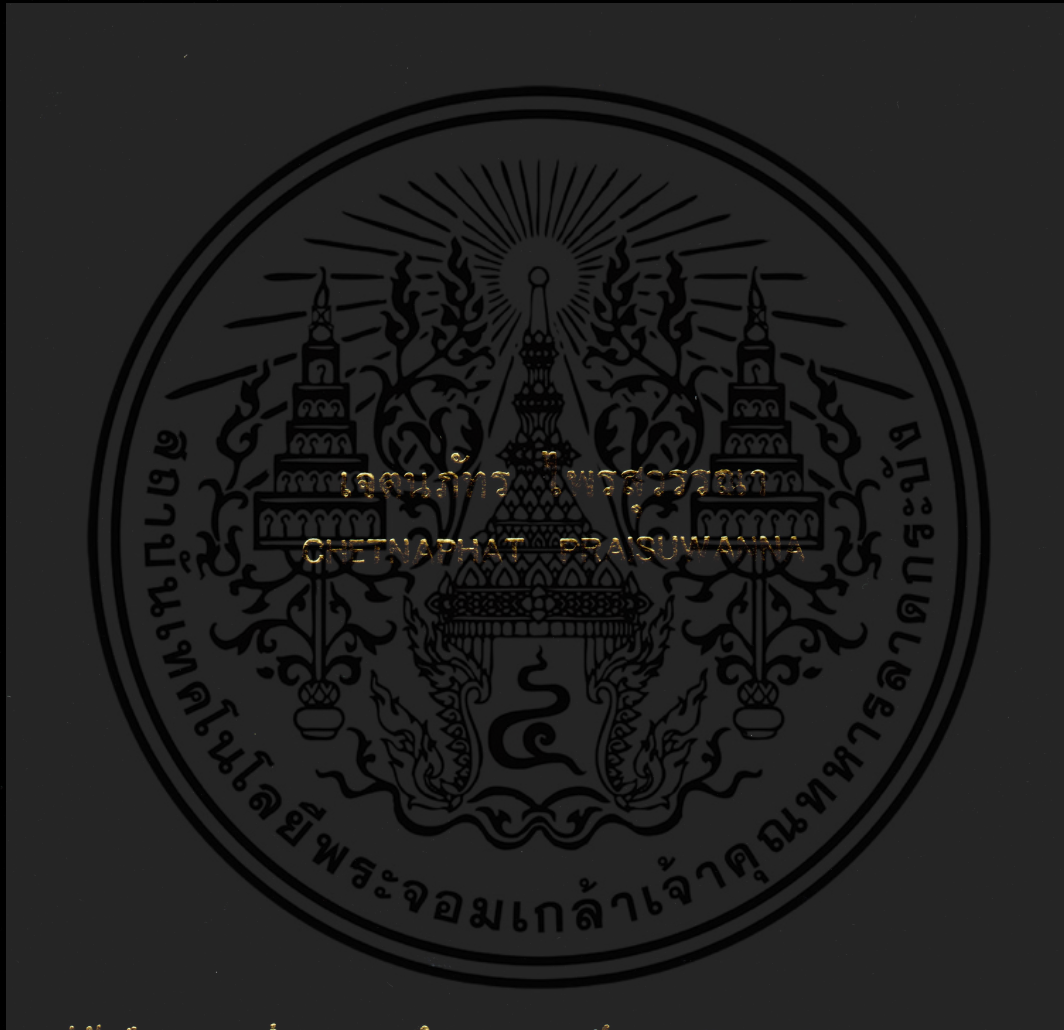


เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า  
อ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

A PULSE CHARGER FOR AN ELECTRIC VEHICLE  
REFERRING TO CHADEMO STANDARD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-147

เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า  
อ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

A PULSE CHARGER FOR AN ELECTRIC VEHICLE  
REFERRING TO CHADEMO STANDARD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-020-147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PULSE CHARGER FOR AN ELECTRIC VEHICLE  
REFERRING TO CHADEMO STANDARD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016  
KMITL-2016-EN-M-020-147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMo  
Thesis Title A Pulse Charger for an Electric Vehicle Referring to Chademo Standard  
นักศึกษา นายเจตน์ภัทร ไพรสุวรรณ  
รหัสประจำตัว 55610704  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-147

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ	
ดร.สมภพ ผลไม้	
รศ.ดร.ไพบุลย์ นาคมหาขลาสินธุ์	
ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม	
รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 12.00-14.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นแก่ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้  
ฉบับตี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะ พลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO
ชื่อนักศึกษา	นายเจตน์ภัทร ไพรสุวรรณ
รหัสประจำตัว	55610704
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO โดยอาศัยการทำงานของวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างพัลส์ด้านบวกและลบ โดยพัลส์ด้านบวกใช้ลักษณะกระแสสูง เพื่อลดระยะเวลาในการอัดประจุสำหรับพัลส์ด้านลบและช่วงพักการอัดประจุ จะช่วยทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลดลง โดยอาศัยการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม PSIM 9.0.3 เพื่อใช้วิเคราะห์การทำงานและเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO ขนาด 50 กิโลวัตต์ ซึ่งผลการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่าการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ช่วยลดระยะเวลาการอัดประจุลงได้จาก 22 นาทีเหลือประมาณ 15 นาที โดยใช้ความถี่ในการอัดประจุ โดยไม่ทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงเกินที่ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ากำหนด ซึ่งจะไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และเหมาะสมสำหรับการสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A PULSE CHARGER FOR AN ELECTRIC VEHICLE REFERRING TO CHADEMO STANDARD
Student	Mr.Chetnaphat Praisuwanna
Student ID.	55610704
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Asso.Prof.Dr.Surin Khomfoi

### ABSTRACT

A quick charger for EVs Using a Pulse Frequency Technique is proposed in this thesis. Pulse charging technique can offer quicker battery charger comparing to conventional constant current technique and lower temperature rise. The full bridge converter configuration is used to perform pulse charging with both positive and negative pulse. The positive pulse charge permits the high peak current charge this will lead to quick charging mode; whereas, the negative pulse and idle state can offer low battery temperature rise. PSIM 9.0.3 is utilized for simulation study and 50kw charger is developed to validate the proposed notion. The simulation and experimental results illustrate that the proposed pulse charging technique requires shorter time. The temperature rise of pulse charging technique is less than setup of EVs: these can lead to quick charge and long battery lifetime. The results suggest that the proposed technique can be applied for quick charger for EVs station.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี ด้วยความกรุณาและคำแนะนำจากท่านอาจารย์ รศ. ดร.สุรินทร์ คำฝอย ที่คอยดูแลให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านวิชาการและงานทางวิศวกรรม

ขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และท่านอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ในการประกอบอาชีพที่สุจริต ทั้งยังช่วยอบรมสั่งสอนให้เป็นคนดีของสังคมและเป็นวิศวกรที่มีคุณภาพ

ขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (REAL LAB) ที่เอื้อเฟื้อที่อยู่และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในการจัดสร้างและทดสอบชิ้นงาน ขอขอบคุณทุกคนในห้องแลปที่ร่วมสร้างความทรงจำที่ดีที่สุดครั้งหนึ่งในชีวิต ขอขอบคุณพี่ต้น พี่ต้าและพี่เล็ก ที่คอยช่วยเหลือดูแลเอาใจใส่และให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณหมู่ที่อยู่เป็นเพื่อนร่วมทุกข์ร่วมสุขด้วยกันตลอดระยะเวลา 4 ปี ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ช่วยกันสร้างบรรยากาศในห้องแลปให้สนุกสนานอยู่เสมอ ต้องขอโทษด้วยที่ไม่ได้กล่าวถึง และขอขอบคุณประสบการณ์ที่ดีที่เกิดขึ้นที่นี่ Real lab

สุดท้ายนี้ผมขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ที่คอยอบรมสั่งสอนและตั้งเตือนให้เป็นคนดี และคอยเป็นกำลังใจอยู่เคียงข้างเสมอจนถึงทุกวันนี้ และขอขอบคุณญาติผู้ใหญ่ทุกท่านที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ ขอขอบคุณสำหรับครอบครัวที่อบอุ่นตลอดมา ขอขอบคุณครับ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-ทวอ. ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 และบริษัท พีระบราเธอร์ จำกัด เลขที่โครงการ MSD5610168 ขอขอบพระคุณครับ

เจตนาถร ไพรสวรรณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	5
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	6
1.6 ระเบียบวิธีวิจัย .....	7
1.7 แผนการดำเนินการวิจัย.....	8
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>9</b>
2.1 บทนำ.....	9
2.2 มาตรฐาน CHAdeMO .....	9
2.3 ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับมาตรฐาน CHAdeMO .....	11
2.4 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO .....	13
2.5 รูปแบบวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่.....	20
2.6 เทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป.....	22
2.7 เทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse charge) .....	26
2.8 บทสรุป.....	28
<b>บทที่ 3 หลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO.....</b>	<b>29</b>
3.1 บทนำ.....	29
3.2 ขั้วต่อสายไฟและสายสัญญาณควบคุม .....	29
3.3 หลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO .....	31
3.4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มาตรฐาน CHAdeMO.....	35
3.5 บทสรุป.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบและการจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO .....	42
4.1 บทนำ .....	42
4.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ .....	42
4.3 การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ .....	44
4.4 การจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	51
4.5 ส่วนประกอบของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO .....	52
4.6 บทสรุป .....	52
บทที่ 5 ผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO .....	53
5.1 บทนำ .....	53
5.2 รายละเอียดเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO .....	53
5.3 รายละเอียดเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO .....	55
5.4 ผลการทดสอบการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO .....	57
5.5 ผลการทดสอบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO .....	60
5.6 ผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO .....	62
5.7 บทสรุป .....	66
บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา .....	67
6.1 บทสรุป .....	67
6.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง .....	67
6.3 แนวทางการพัฒนา .....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม .....	68
ภาคผนวกที่ 1 .....	69
ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	69
ภาคผนวกที่ 2 .....	98
บทความวิชาการ.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินการวิจัย .....	8
2.1 ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO .....	11
2.2 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO .....	13
2.3 เปรียบเทียบเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ.....	25
3.1 ID number ของ เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่และยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า .....	36
3.2 Protocol ที่ใช้ในการสื่อสารจากยานพาหนะที่เป็นตัวส่งเชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุ .....	36
3.3 Protocol ที่ใช้สื่อสารจากเครื่องอัดประจุที่เป็นตัวส่งเชื่อมต่อยังตัวยานพาหนะ .....	37
4.1 ค่าฮาร์มอนิกส์ลำดับต่างๆ ของ Multiples Converter.....	48
5.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป (Technical Specification).....	54
5.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์(Technical Specification).....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ CHAdeMO ทั่วโลก .....	1
1.2 แผนการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ CHAdeMO .....	2
1.3 ปริมาณการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย.....	3
1.4 การคาดการณ์ปริมาณยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าทั่วโลก .....	3
2.1 รูปโลโก้ CHAdeMO .....	9
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอัดประจุกับความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ .....	10
2.3 การควบคุมเฟส.....	20
2.4 รูปแบบวงจรสวิตชิง .....	21
2.5 คุณลักษณะของการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ .....	23
2.6 คุณลักษณะของการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ .....	24
2.7 วงจรพัลส์.....	26
3.1 ส่วนประกอบของหัวอัดประจุยานพาหนะไฟฟ้ามาตรฐาน CHAdeMO.....	29
3.2 ขั้วต่อของหัวคอนเน็คเตอร์ของเครื่องอัดประจุ CHAdeMO.....	30
3.3 วงจรลำดับของเครื่องควบคุมการอัดประจุ .....	31
3.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องควบคุมการอัดประจุ .....	32
3.5 การสื่อสารด้วยระบบ CAN (Controller Area Network).....	35
4.1 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ .....	43
4.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่.....	44
4.3 วงจรไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ได้ออกแบบ .....	45
4.4 แสดงชุดของหม้อแปลงไฟฟ้าและวงจรไฟฟ้าหลักซีกบวก .....	46
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Firing angle กับค่าแรงดันด้านออก (VD).....	49
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Firing angle กับค่าแรงดันด้านออก (VD).....	50
4.7 วงจรที่ใช้ในการจำลองการอัดประจุแบบพัลส์ .....	51
4.8 ผลการจำลองการอัดประจุแบบพัลส์ต้นแบบ.....	51
4.9 ส่วนประกอบของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า อ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป.....	54
5.2 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์.....	55
5.3 สัญญาณการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO .....	57
5.4 การทำงานของสัญญาณต่างๆ ตามมาตรฐาน CHAdeMO .....	58
5.5 กราฟแสดงการทดสอบฉนวนก่อนการอัดประจุ.....	59
5.6 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่ .....	60
5.7 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่.....	61
5.8 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่.....	61
5.9 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่.....	62
5.10 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่.....	63
5.11 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่.....	63
5.12 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่.....	64
5.13 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่.....	65
5.14 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าที่แรกถูกสร้างขึ้นที่สถานีกีฬา ณ กรุงมอสโก ประเทศรัสเซีย ซึ่งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สามารถทำงานได้ 2 พิกัด คือ 43 kW และ 50 kW (CHAdeMO) โดยประสบความสำเร็จในการอัดประจุแบตเตอรี่ได้อย่างรวดเร็ว(Fast Charging) และเป็นไปตามมาตรฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า โดยใช้เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่น้อยกว่า 30 นาที ที่พิกัด 50kW ซึ่งในปัจจุบันพบว่าเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO นั้น ได้มีการติดตั้งใช้งานจริงในประเทศญี่ปุ่นแล้วเป็นจำนวน 1,381 เครื่อง ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นจำนวน 154 เครื่อง และประเทศในทวีปยุโรปอีกเป็นจำนวน 601 เครื่อง แสดงดังรูปที่ 1.1 และมีแผนจะติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เพิ่มในประเทศสหรัฐอเมริกาและทวีปยุโรปกว่า 1400 แห่ง ภายในปี 2013 แสดงดังรูปที่ 1.1 และ 1.2



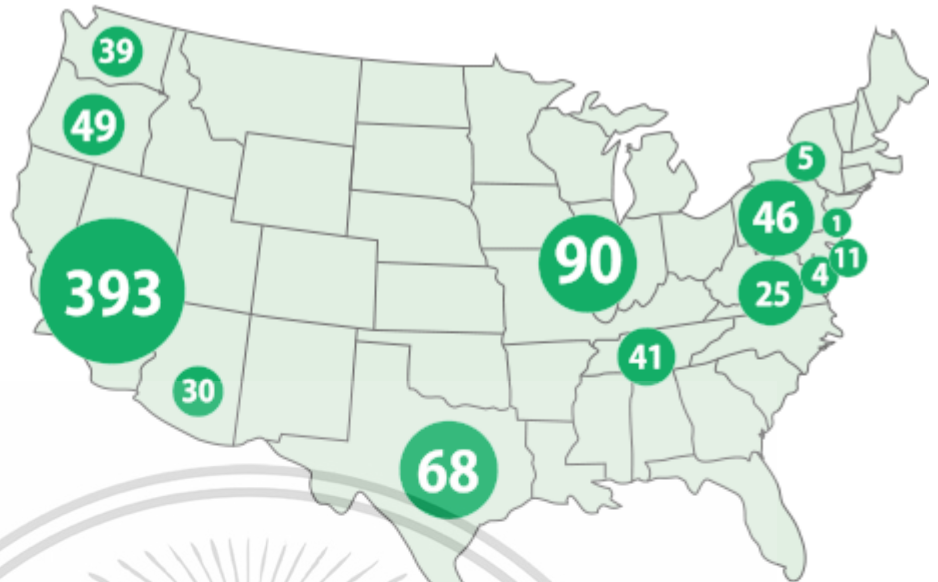
รูปที่ 1.1 สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ CHAdeMO ทั่วโลก [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## The US

### 805 Units

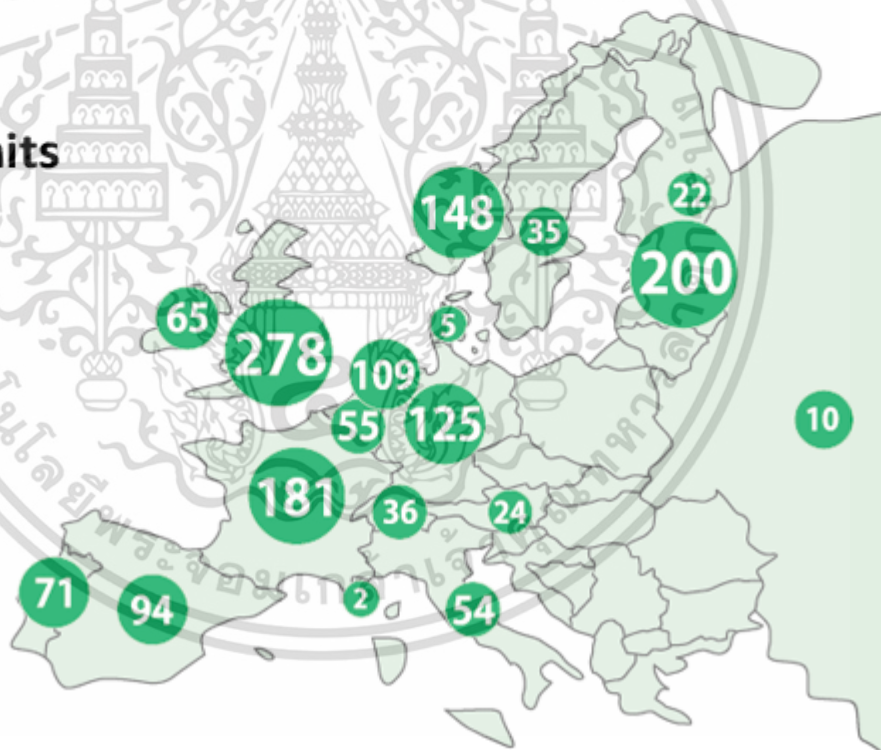
- 711 Planned
- 94 Installed



## Europe

### 1,008 Units

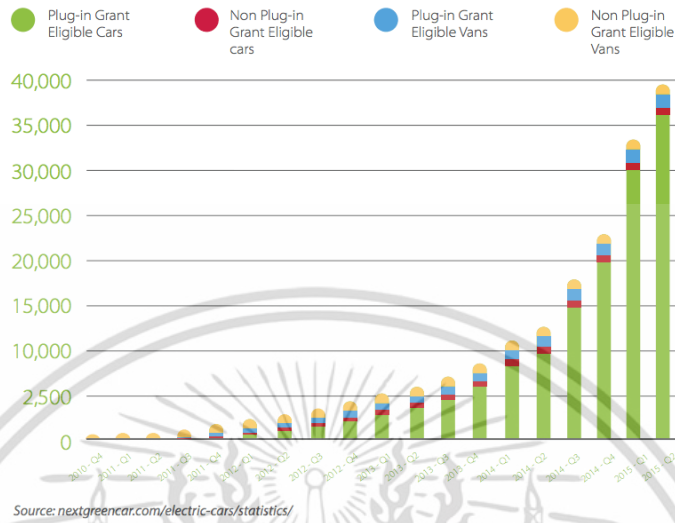
- 725 Planned
- 283 Installed



รูปที่ 1.2 แผนการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ CHAdEMO [9]

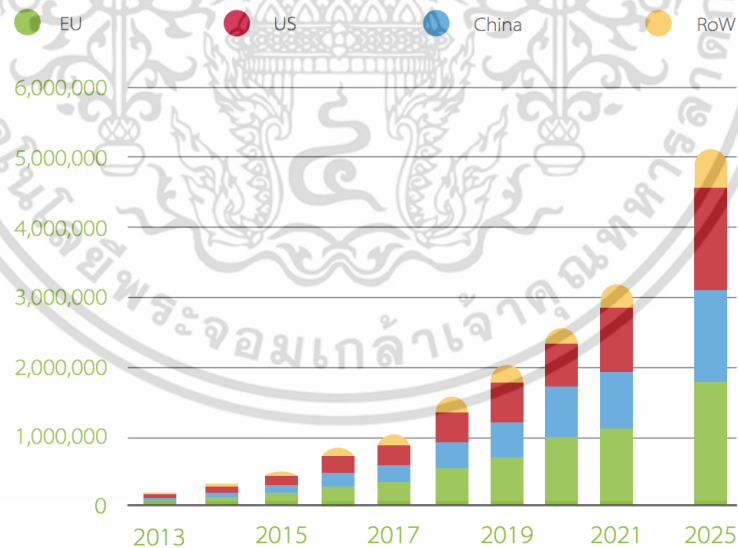
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Cumulative Electric Vehicle Registrations (UK) 2010-2015



รูปที่ 1.3 ปริมาณการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าในประเทศอังกฤษ

### Predictive Global Electric Vehicle Sales



[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/3986/plug-in-vehicle-infrastructure-strategy.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/3986/plug-in-vehicle-infrastructure-strategy.pdf)



รูปที่ 1.4 การคาดการณ์ปริมาณยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้มีการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว โดยในปี 2015 มียานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่จดทะเบียนประมาณ 40,000 คัน แสดงดังรูปที่ 1.3 และ มีการคาดการณ์ว่า ในปี 2025 จะมีจำนวนยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าทั่วโลกถึง 5,000,000 คัน แสดงดังรูปที่ 1.4

จะเห็นได้ว่าการติดตั้งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐานCHAdemo และ ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า มีแนวโน้มที่จะติดตั้งใช้งานมากขึ้น และในอนาคตเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว น่าจะใช้มาตรฐานCHAdemo ทั้งหมด ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของมาตรฐาน CHAdemo และนำไปสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคพัลส์ ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในการขับสัญญาณพัลส์ด้านบวก รวมถึงหลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO
2. เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าให้รวดเร็วกว่าเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป
3. เพื่อสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO ที่มีขนาดพิกัด 50 kW รองรับการอัดประจุในระบบ 500V 120A โดยการประยุกต์ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมการทำงานด้วยระบบดิจิทัล คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการขับสัญญาณพัลส์ด้านบวก โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคพัลส์จะต้องคำนึงถึงปัจจัยในการอัดประจุแบตเตอรี่ คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความถี่ และคาบเวลา เพื่อให้สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้รวดเร็วและไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพลง

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ เพื่อใช้งานกับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่รับรองมาตรฐาน CHAdeMO
2. สามารถนำวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์มาประยุกต์สร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าต้นแบบใช้ได้เองในประเทศ เป็นการลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ
3. องค์ความรู้ทั้งหมดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปบูรณาการเพื่อวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดรวดเร็วสำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

## 1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ ระเบียบวิธีวิจัย และแผนการดำเนินการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงมาตรฐาน CHAdeMO ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับมาตรฐาน CHAdeMO เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO รูปแบบวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป รวมถึงเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

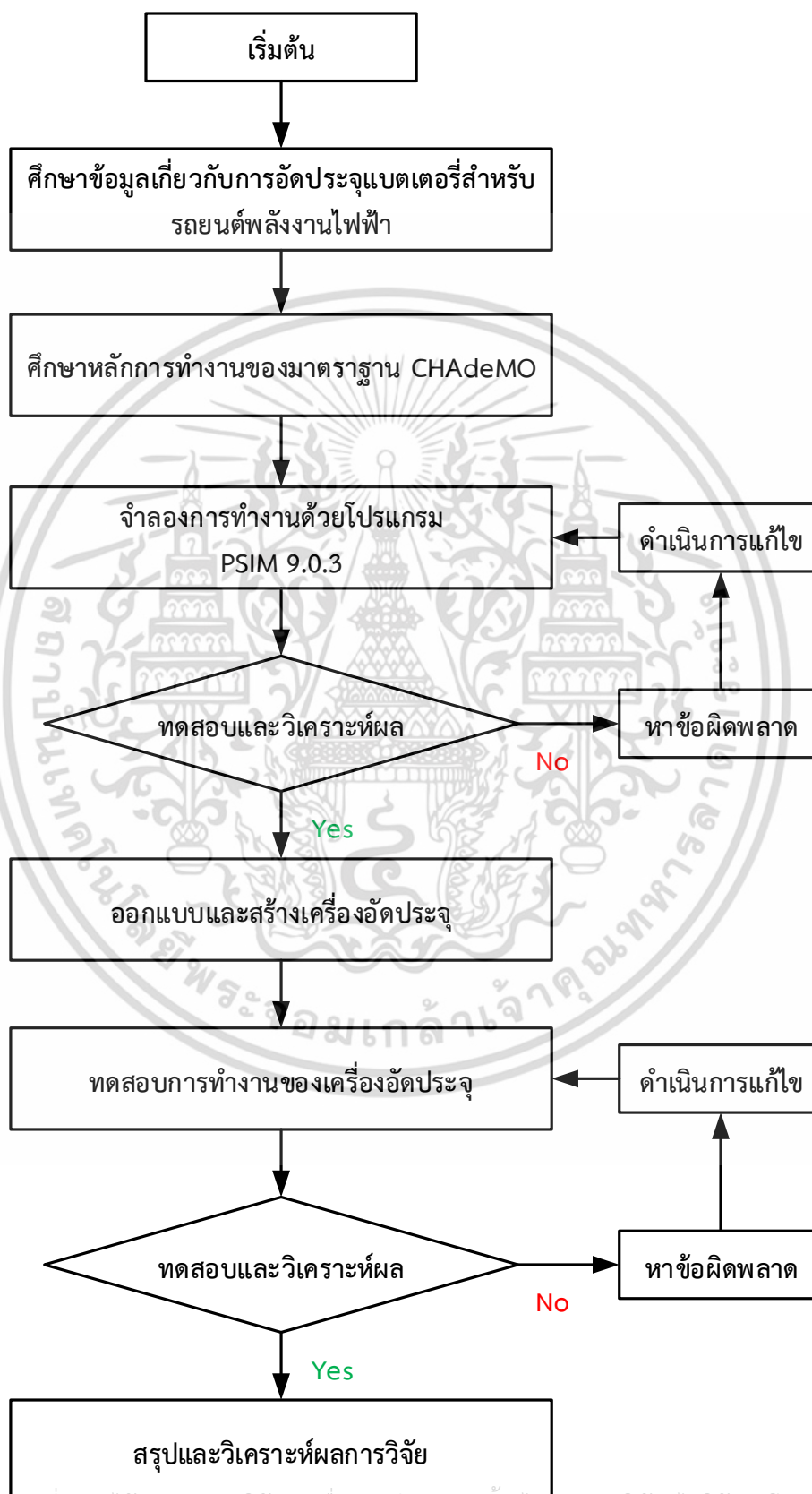
บทที่ 3 หลักการทำงานของ CHAdeMO กล่าวถึงขั้วต่อสายไฟฟ้าและสายสัญญาณควบคุม หลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO รวมถึงส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มาตรฐาน CHAdeMO

บทที่ 4 การออกแบบและการจำลองเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า กล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ รวมถึงรายละเอียดการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการออกแบบเครื่องต้นแบบ

บทที่ 5 ผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO กล่าวถึงรายละเอียดเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO รายละเอียดเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO ผลการทดสอบการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO ผลการทดสอบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO รวมถึงผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยในระดับต่อไป

## 1.6 ระเบียบวิธีวิจัย



## 1.7 แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงาน	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า													
2. ศึกษาหลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdEMO													
3. จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3													
4. วิเคราะห์ผลการจำลอง													
5. ออกแบบและสร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่													
6. ทดสอบการสื่อสารมาตรฐาน CHAdEMO													
7. ทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์													
8. วิเคราะห์ผลการทดสอบ													
9. สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO ประกอบไปด้วยมาตรฐาน CHAdeMO, ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับมาตรฐาน CHAdeMO, เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO, เทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป และเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ ซึ่งทฤษฎีที่ได้นำมาเสนอในบทนี้ จำเป็นต้องนำเอาหลักการทั้งหมดมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

### 2.2 มาตรฐาน CHAdeMO

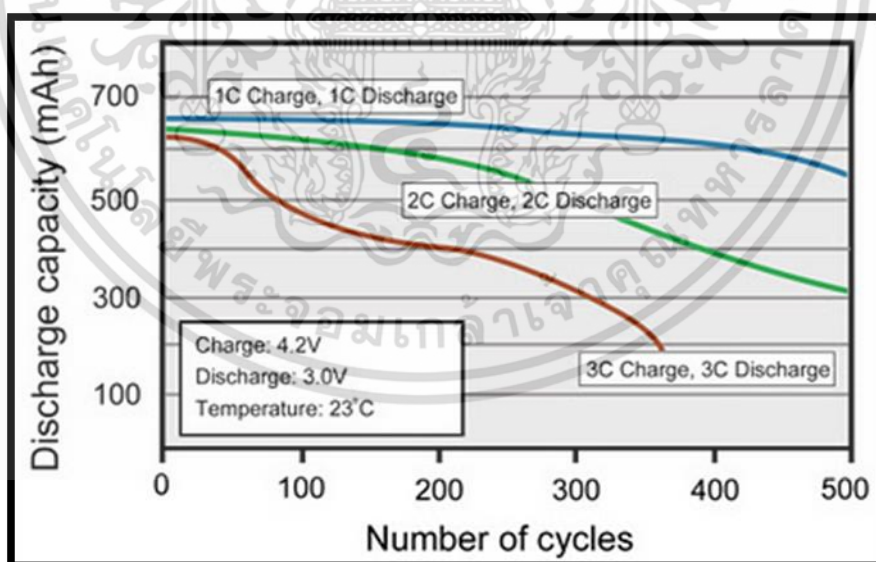
มาตรฐาน CHAdeMO คือชื่อทางการค้าของวิธีการอัดประจุแบบรวดเร็ว (Quick Charge) ซึ่งกำลังถูกเสนอให้เป็นมาตรฐานทางอุตสาหกรรมของโลกโดย CHAdeMO ย่อมาจากคำว่า CHArge de MOve แปลว่า อัดประจุเพื่อเดินทางต่อ (Charge for moving) และเป็นการเล่นคำในภาษาญี่ปุ่นที่ว่า "O cha demo ikaga desuka" ซึ่งแปลว่า "Let's have a tea while charging" ในภาษาอังกฤษ เป็นรูปโลโก้ของ CHAdeMO มีความหมายว่าการยิ้ม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นการรวมกันของสัญลักษณ์ของแบตเตอรี่ในวงจรไฟฟ้า ซึ่งหมายถึงการอัดประจุ และเส้นโค้ง ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ ทั้งสององค์ประกอบจะรวมกันหมายถึงอนาคตที่สดใสและความสุข ส่วนสีเขียวแทนสีของสัญลักษณ์ซึ่งเป็นสีของชาเขียว



รูปที่ 2.1 รูปโลโก้ CHAdeMO [9]

มาตรฐาน CHAdeMO เป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงวิธีการอัดประจุอย่างรวดเร็วสำหรับแบตเตอรี่ของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าให้สูงถึง 6.25 kW ถูกสร้างขึ้นโดย The Tokyo Electric Power Company, Nissan, Mitsubishi and Fuji Heavy Industries ซึ่งได้พัฒนารถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการอัดประจุอย่างรวดเร็ว โดยสิ่งสำคัญที่เป็นสื่อกลางในการเชื่อมต่อก็คือ เครื่องควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่










โดยทั่วไปการอัดประจุสำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ามี 3 รูปแบบ คือ 1. การสลับเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Swapping) 2. การอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สาย (Wireless Charging) 3. การอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว (Quick Charging) โดยวิธีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว เป็นวิธีที่นิยมและเหมาะสมต่อการอัดประจุมากที่สุด ซึ่งการอัดประจุวิธีนี้จะทำการอัดประจุที่กระแสสูงคงที่ (Constant Current Charging) อย่างต่อเนื่องและใช้เวลาในการอัดประจุน้อย แสดงดังรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัดประจุที่กระแสสูงเป็นสองเท่าของความจุแบตเตอรี่ (2C) จะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายใน 30 นาทีและมีแบตเตอรี่บางรุ่นสามารถอัดประจุที่กระแสสูงได้ถึงสามเท่าของความจุแบตเตอรี่ (3C) เราจึงสามารถอัดประจุได้เต็มภายในเวลา 20 นาทีภายใต้อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสโดยไม่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง แต่การอัดประจุด้วยกระแสสูงคงที่มีข้อเสียคือ ถ้าทำการอัดประจุแบตเตอรี่ที่กระแสสูงคงที่อย่างต่อเนื่องจะเกิดความร้อนสะสมที่แบตเตอรี่ ทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอัดประจุกับความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่






## 2.3 ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับมาตรฐาน CHAdeMO

ตารางที่ 2.1 ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

		
<b>Nissan LEAF</b> Passengers: 5 Weight: 1520kg Driving range: 200km Battery: 24kWh	<b>Mitsubishi i-MiEV</b> Passengers: 4 Weight: 1110kg Driving range: 180km Battery: 16kWh	<b>Citroen C-ZERO</b> Passengers: 4 Weight: 1120kg Driving range: 160km Battery: 16kWh
		
<b>Peugeot iON</b> Passengers: 4 Weight: 1120kg Driving range: 160km Battery: 16kWh	<b>Citroen Berlingo</b> Weight: 675kg Driving range: 170km Battery: 22.5kWh	<b>Peugeot Partner</b> Weight: 675kg Driving range: 170km Battery: 22.5kWh
		
<b>TOYOTA iQ based EV</b> To be introduced	<b>Micro-vett Fiorino cargo</b> Passengers: 2 Weight: 182kg Driving range: 140km Battery: 31.1kWh	<b>BD Automotive TRAFIC Passenger</b> Passengers: 8 Weight: 2940kg Driving range: 190km Battery: 53kWh



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

		
<p><b>BD Otomotive KANGOO Panel Van</b></p> <p>Passengers: 2</p> <p>Weight: 1918kg</p> <p>Driving range: 110km</p> <p>Battery: 20kWh</p>	<p><b>BD Otomotive DUCATO Passenger</b></p> <p>Passengers: 13+1</p> <p>Weight: 4200kg</p> <p>Driving range: 160km</p> <p>Battery: 62kWh</p>	<p><b>BD Otomotive FIORINO Panel Van</b></p> <p>Passengers: 2</p> <p>Weight: 1700kg</p> <p>Driving range: 110km</p> <p>Battery: 20kWh</p>
		
<p><b>SUBARU Plug-in Stella</b></p> <p>Passengers: 4</p> <p>Weight: 1010kg</p> <p>Driving range: 90km</p> <p>Battery: 9.2kWh</p>	<p><b>MAZDA DEMIO EV</b></p> <p>Passengers: 5</p> <p>Weight: 1180kg</p> <p>Driving range: 200km</p> <p>Battery: 20kWh</p>	<p><b>Mitsubishi Motors MINICAB-MiEV Van</b></p> <p>Passengers: 2/4</p> <p>Weight: 1090-1120kg</p> <p>Driving range: 150km</p> <p>Battery: 16.0kWh</p>
		
<p><b>Nissan NV200</b></p> <p>Passengers: 2</p> <p>Weight: 1580kg</p> <p>Driving range: 200km</p> <p>Battery: 32kWh</p>	<p><b>Nissan Infiniti EV Sedan</b></p> <p>To be introduced</p>	<p><b>Mitsubishi Motors Outlander PHEV</b></p> <p>To be introduced</p>




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.1(ต่อ) ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

	
<p><b>ProtoscarLAMPO2</b></p> <p>Passengers: 2</p> <p>Weight: 1580kg</p> <p>Driving range:200km</p> <p>Battery: 32kWh</p>	<p><b>HondaFit</b></p> <p>Passengers: 5</p> <p>Driving range:225km</p> <p>Battery: 20kWh</p>

### 2.4 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO

#### ตารางที่ 2.2 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

CHAdeMO ver.1.0 Chargers		
		
NIPPON STEEL & SUMIKIN TEXENG	ABB(Switzerland)	Shindengen Electric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

CHAdeMO ver.0.9 Chargers		
		
SGTE(France)	ABB(Switzerland)	EVTRONIC(France)
		
AeroVironment(America)	SIGNET Systems(Korea)	Efacec(Portugal)
		
MAGNUM CAP(Portugal)	GH Electrotermia(Spain)	Schneider(France)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

		
DBT(France)	ECOtality NA(America)	Aker Wade(America)
		
PNE SYSTEMS(Korea) (former name:PNE SOLUTION)	Circontrol(Spain)	EVTEC(Switzerland)
		
Petrotec(Portugal)	Siemens(Germany)	JoongAng Control(Korea)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

		
IES Synergy (France)	Nation-E(Switzerland)	Tritium (Australia)
		
Andromeda S.r.l. (Italy)	Hong Kong Productivity Council (Hong Kong)	INGETEA POWER TECHNOLOGY S.A. (Spain)
		
Delta Electronics(Taiwan)	TAKAOKA TOKO (former name:Takaoka)	Hasetec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

		
Takasago	NIPPON STEEL & SUMIKIN TEXENG.(former name:NS- ELEX)	Nissan
		
Nichicon	GS Yuasa	JFE Engineering
		
NTT FACILITIES	SINFONIA TECHNOLOGY	Fuji Electric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]

		
<p>Kyuden Technosystems Corporation</p>	<p>RELIANCE ELECTRIC LTD.</p>	<p>NEC</p>
		
<p>Hitachi, Ltd.</p>	<p>KIKUSUI ELECTRONICS</p>	<p>Enegate Co, Ltd.</p>
		
<p>DENGEN CO., LTD</p>	<p>NITTO KOGYO</p>	<p>San-Eisha.Ltd.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO [9]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

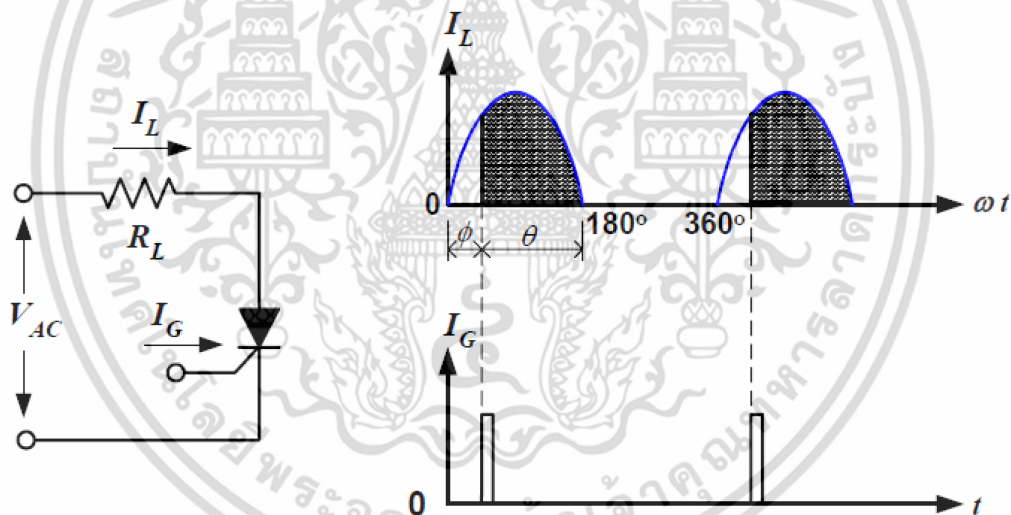
## 2.5 รูปแบบวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. ประเภทควบคุมเฟส (Phase Control)
2. ประเภทวงจรสวิตซ์ (Switching Circuit) การควบคุมเฟส (Phase control)

### 2.5.1 ประเภทควบคุมเฟส (Phase control)

วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ประเภทควบคุมเฟส อาศัยอุปกรณ์ SCR ในการเรียงกระแสและทำการควบคุมกระแสโดยทำการควบคุม SCR ใหนำกระแส ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ในย่านที่เป็นการไบแอสข้างหน้า (forward bias) ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดได้ โดยมีรูปแบบวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยในการควบคุม SCR จะอาศัยสัญญาณกระแส IG ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ที่ใช้จุดชนวนให้ SCR นำกระแส โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.3 จะพบว่ามีตัวแปร 2 ตัวคือ มุมจุดชนวน (Firing Angle)  $\phi$  และ มุมนำกระแส (Conducting angle)  $\theta$  ซึ่งขนาดของมุมจุดชนวนจะส่งผลต่อขนาดของค่าเฉลี่ยของ IL ดังแสดงในรูปที่ 2.3

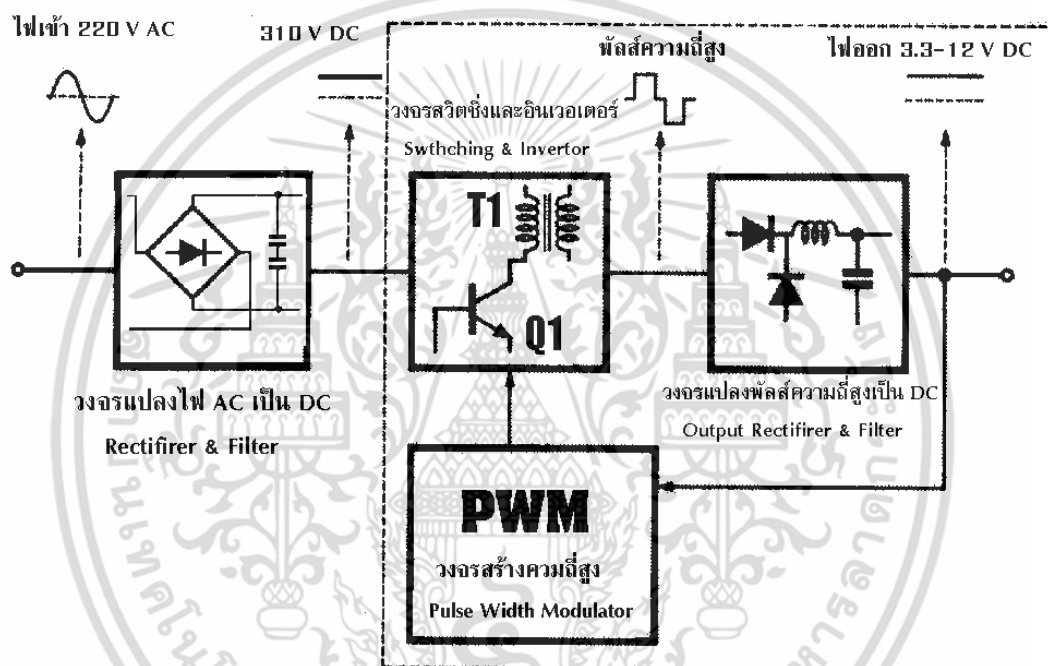


รูปที่ 2.3 การควบคุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 ประเภทวงจรสวิตชิง (Switching Circuit)

การทำงานของวงจรสวิตชิงจะอาศัยวงจรเรียงกระแสเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนและทำการกรองแรงดันกระแสเพื่อให้เรียบโดยอาศัยตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากนั้นแรงดันไฟตรงที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่วงจรสวิตชิงที่ความถี่สูงในระดับกิโลเฮิรตซ์ โดยอาศัยหลักการของการของ PWM เพื่อทำการควบคุมสวิตซ์ให้โดยแรงดันขาออกของวงจรจะมีลักษณะเป็นพัลส์ซึ่งมีความกว้างตามสัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุมสวิตซ์ แรงดันดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปเพื่อทำการกรองให้เป็นแรงดันไฟตรงเรียบโดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออกจะขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์นั่นเอง



รูปที่ 2.4 รูปแบบวงจรสวิตชิง

## 2.6 เทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป

โดยทั่วไปเทคนิคในการอัดประจุแบตเตอรี่สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

1. การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current charging)
2. การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage charging)
3. การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)

### 2.6.1 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current charging)

การอัดประจุแบบกระแสคงที่เป็นการอัดประจุโดยการกำหนดให้กระแสเป็นตัวแปรควบคุม โดยทำการควบคุมให้ขนาดกระแสที่ใช้ในการอัดประจุมีค่าคงที่ซึ่งมีรูปแบบของกราฟกระแสแสดง ในรูปที่ 2.5 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ นับว่าเป็นการอัดประจุที่ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุน้อยกว่าแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพราะการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ จะถูกจำกัดปริมาณการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุเป็นไปตามที่กำหนด ถ้ากระแสไฟฟ้าที่อัดประจุแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการอัดประจุน้อยลง แต่ถ้าหากกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุสูงเกินไปก็จะเกิดความเสียหายขึ้นกับตัวแบตเตอรี่ โดยจะทำให้อุณหภูมิภายในเซลล์แบตเตอรี่สูงขึ้น ส่งผลให้แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคดงอ แตกหรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ และถ้าเซลล์แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติมาก จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดการระเบิดได้

การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่มีข้อดีคือ จะทำให้เซลล์ทุกเซลล์ในชุดของแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุกระแสไฟฟ้าในสัดส่วนเท่าๆ กันทุกเซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ทำให้การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ง่ายและสะดวก เช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 35 แอมแปร์-ชั่วโมง ต้องการอัดประจุในเวลา 5 ชั่วโมง จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุเท่ากับ 7 แอมแปร์

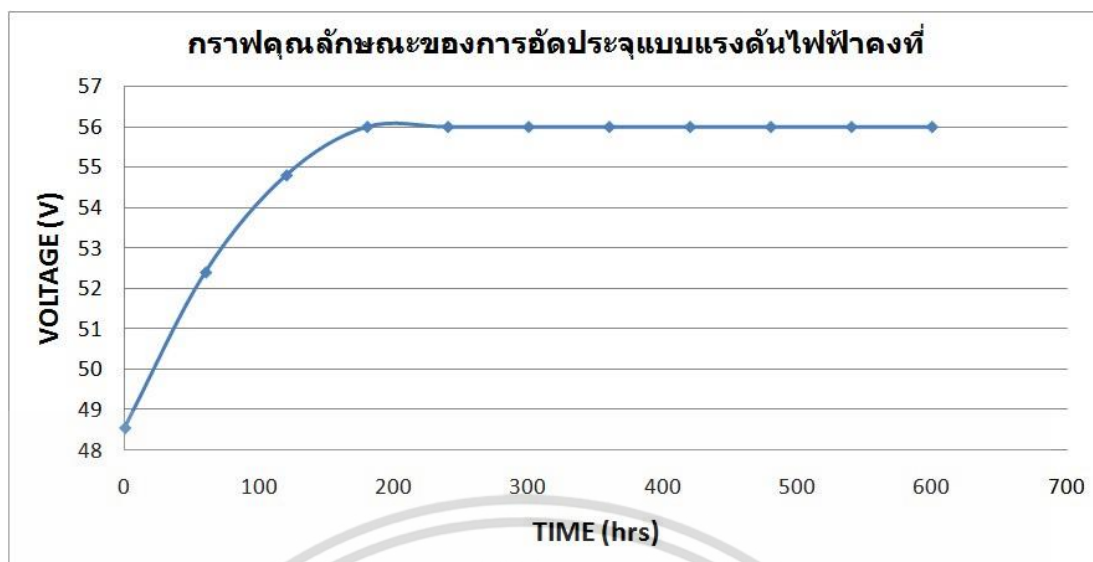


รูปที่ 2.5 คุณลักษณะของการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

### 2.6.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage)

การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่เป็นการอัดประจุโดยการกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าเป็นตัวแปรควบคุม โดยทำการควบคุมให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุมีค่าคงที่ซึ่งมีรูปแบบของกราฟแรงดันไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.6 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ จะใช้เวลาในการอัดประจุมากกว่าการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ ระยะเวลาในการอัดประจุนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องอัดประจุว่าจะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมายังวงจรแบตเตอรี่ได้มากน้อยเท่าใด โดยทั่วไปเครื่องอัดประจุจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 50 % ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการอัดประจุ แต่ในการอัดประจุจะต้องมีการจำกัดกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินจนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมด้วยการอัดประจุแบตเตอรี่โดยระบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องอัดประจุเป็นตัวกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจุอาจมีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่คงที่ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่จะต้องมิตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ เรียกว่า วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator) ถ้าหากวงจรเร็กกูเลเตอร์เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้องก็จะเกิดความเสียหายได้ ในการอัดประจุโดยทั่วไปนั้น การตั้งค่าวงจรรักษาระดับแรงดัน ว่าจะมีค่าแรงดันเท่าใด สามารถกระทำได้โดยการศึกษาจากคู่มือของแบตเตอรี่นั้นๆ เป็นหลัก

ในกรณีที่ไม่มีความรู้หรือไม่มีข้อมูลให้ใช้หลักการดังนี้ คือ ทำการคําระดับแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการอัดประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์ จะปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุเท่ากับ  $2.3 \times 24$  เท่ากับ 56 โวลต์ ขณะที่ทำการอัดประจุปกติ



รูปที่ 2.6 คุณลักษณะของการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่

### 2.6.3 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)

การอัดประจุด้วยวิธีนี้เป็นการผสมผสานการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่เข้าด้วยกัน โดยเกิดจากการนำข้อดีของการอัดประจุทั้ง 2 แบบ มารวมกัน โดยกระบวนการอัดประจุ จะแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1: การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าเต็มที (current limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ค่าความต่างศักย์ที่กำหนดไว้ (ใกล้เต็ม) ระยะนี้เหมือนเป็นการอัดประจุในอัตราเร่ง

ระยะที่ 2: การอัดประจุให้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (maximum voltage limit) คล้ายๆ กับการค่อยๆ เติมประจุ ในระยะนี้กระแสไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุที่เข้าเซลล์จะลดลง และจะตัดการอัดประจุเมื่อกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 3% ของอัตรากระแสเฉลี่ย

ด้วยเหตุนี้วิธีดังกล่าวจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการอัดประจุแบบสองขั้นตอน (Two-step) หรือแบบสองอัตรา (Two-rate)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ

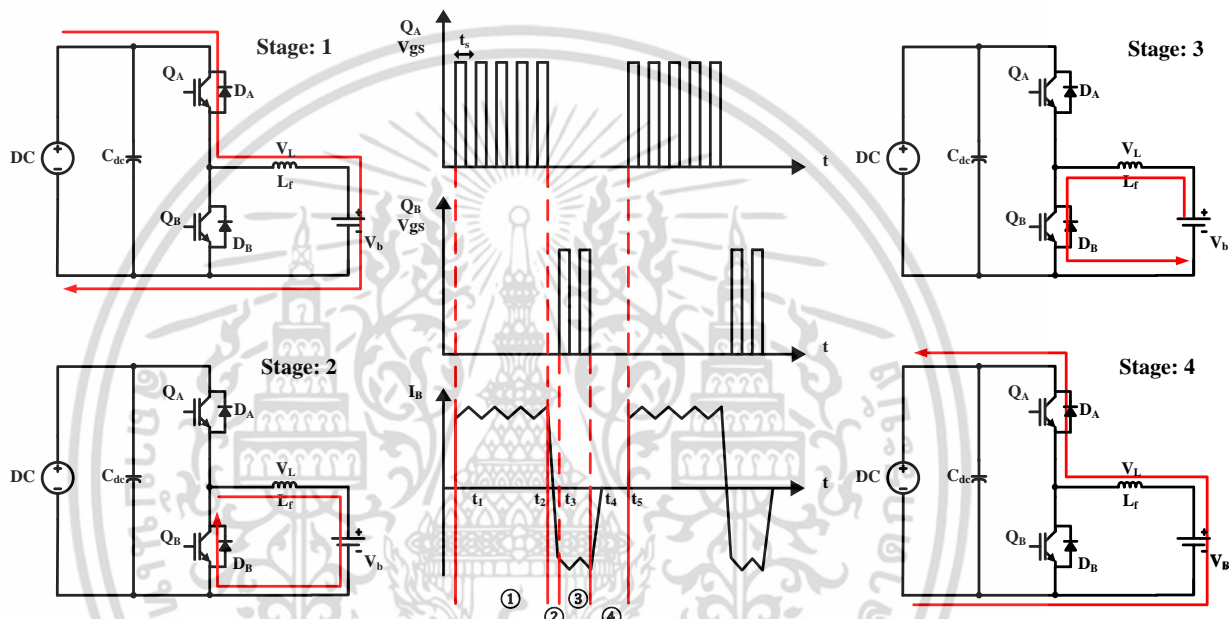
การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่	การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่	การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่และกระแสไฟฟ้าคงที่
<p><b>ข้อดี</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้นานขึ้น</li> <li>- สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้เต็ม 100% ของความจุแบตเตอรี่</li> <li>- ไม่ต้องตรวจสอบอุณหภูมิ ค่า parameter ของแบตเตอรี่</li> </ul>	<p><b>ข้อดี</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ในระยะเวลาอันสั้น</li> </ul>	<p><b>ข้อดี</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้เต็ม 100% ของความจุแบตเตอรี่</li> <li>- ไม่ต้องตรวจสอบอุณหภูมิ และค่า parameter ของแบตเตอรี่</li> <li>- ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม</li> </ul>
<p><b>ข้อเสีย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้เวลานานสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็ม</li> </ul>	<p><b>ข้อเสีย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้เพียง 80% ของความจุแบตเตอรี่</li> <li>- ต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิ ค่า parameter ของแบตเตอรี่</li> <li>- ระยะเวลาใช้งานแบตเตอรี่ลดลง</li> </ul>	<p><b>ข้อเสีย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุมากกว่าการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 เทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse charge)

วิธีการอัดประจุแบบพัลส์นั้นสามารถอัดประจุได้เร็วกว่าอัดประจุแบบแรงดันคงที่ และใช้เวลาใกล้เคียงกับการอัดประจุแบบกระแสคงที่ แต่มีข้อดีว่าการอัดประจุแบบกระแสคงที่ ในแง่ของการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุในการใช้งานมากขึ้นกว่าเดิม การอัดประจุแบบพัลส์นั้นจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 2.7 ได้แก่

1. ช่วงการอัดประจุพัลส์ด้านบวก (Positive pulse charging mode)
2. ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode)
3. ช่วงการคายประจุพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode)
4. ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode)



รูปที่ 2.7 วงจรพัลส์

### 2.7.1 ช่วงการอัดประจุพัลส์ด้านบวก (Positive pulse charging mode) ช่วง T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>

เมื่อทำการอัดประจุในช่วงนี้จะใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์โดยให้ สวิตช์ QA ทำงาน และสวิตช์ QB ไม่ทำงาน สามารถปรับดิโอดีไซน์ได้ที่สวิตช์ QA แสดงดังรูปที่ 2.7 เมื่อสวิตช์ QA หยุดทำงาน แต่ DB ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode แรงดันไฟฟ้าที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมา แสดงดังรูปที่ 2.7 จะได้สมการ

$$Q_A \text{ on} : V_L = V_{dc} - V_R \tag{1}$$

$$Q_A \text{ off} : V_L = -V_B - V_R \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตค่าของ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $V_L$ ) ในช่วงเวลาหนึ่งคาบจะมีค่าเป็น 0

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (3)$$

$$\therefore V_B = D_1 V_{dc} \quad (4)$$

กระแสไฟฟ้าอัดประจุของตัวเหนี่ยวนำ

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_{on}} V_L dt + i_{LT_1} \quad (5)$$

### 2.7.2 ช่วงชะลออิมพัลส์ (Delay mode) ช่วง $T_2-T_3$

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้สวิตช์ QA และ QB จะไม่ทำงานการอัดประจุในช่วงนี้กระแสไฟฟ้า IB จะลดลงเป็นศูนย์ โดย free – wheeling diode ของ DB หลังจากเข้าสู่โหมดนี้ไป 10 s จะเข้าเงื่อนไขสวิตช์ QB สวิตช์ QB ดำเนินงานจนกว่ากระแสไฟฟ้าการคายประจุสูงสุดในด้านลบแล้วสวิตช์ QB จะทำงานในช่วงคายประจุพัลส์ด้านลบต่อไป

### 2.7.3 ช่วงการคายประจุพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging mode) ช่วง $T_3-T_4$

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้แบตเตอรี่จะเกิดกระแสไฟฟ้าคายประจุ ชั่วขณะและพลังงานที่เก็บสะสมจะออกไปยังตัวเก็บประจุของวงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ การคายประจุในช่วงนี้จะใช้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์โดยให้ สวิตช์ QAไม่ทำงาน และสวิตช์ QB ทำงาน แสดงดังรูปที่ 2.7 ต่อมาแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไปสะสมที่ตัวเหนี่ยวนำ เวลานี้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ไปแหล่งจ่ายเมื่อสวิตช์ QB หยุดทำงาน แต่ DA ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode แรงดันที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมา แสดงดังรูปที่ 2.7 จะได้สมการดังนี้

$$Q_B \text{ on} : V_L = V_B - V_R \quad (6)$$

$$Q_B \text{ off} : V_L = V_B - V_{dc} - V_R \quad (7)$$

อินทิเกรตค่าของ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $V_L$ ) ในช่วงเวลาหนึ่งคาบจะมีค่าเป็น 0

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (8)$$

$$\therefore V_{dc} = \frac{V_B}{1-D_2} \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าคายประจุของตัวเหนี่ยวนำ

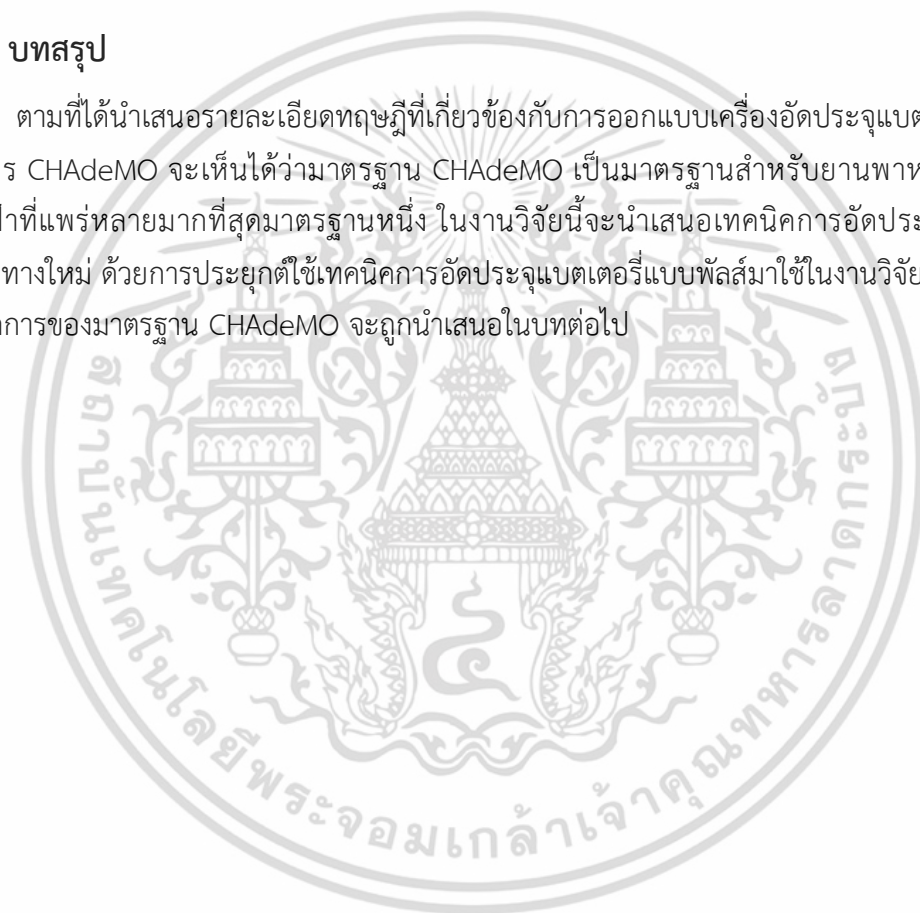
$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_3}^{T_{on}} V_L dt + i_{LT_3} \quad (10)$$

#### 2.7.4 ช่วงพักอิมพัลส์ (Rest mode) ช่วง T4-T5

เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ สวิตช์ QA และ QB จะไม่ทำงาน กระแสอัดประจุ IB จะกลับไปอยู่ที่ศูนย์ โดย free – wheeling diode ของ DA

### 2.8 บทสรุป

ตามที่ได้นำเสนอรายละเอียดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO จะเห็นได้ว่ามาตรฐาน CHAdeMO เป็นมาตรฐานสำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าที่แพร่หลายมากที่สุดมาตรฐานหนึ่ง ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเทคนิคการอัดประจุแบตเตอรี่แนวทางใหม่ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการอัดประจุแบบเตอรีแบบพัลส์มาใช้ในการวิจัยนี้ โดยข้อมูลหลักการของมาตรฐาน CHAdeMO จะถูกนำเสนอในบทต่อไป



## บทที่ 3

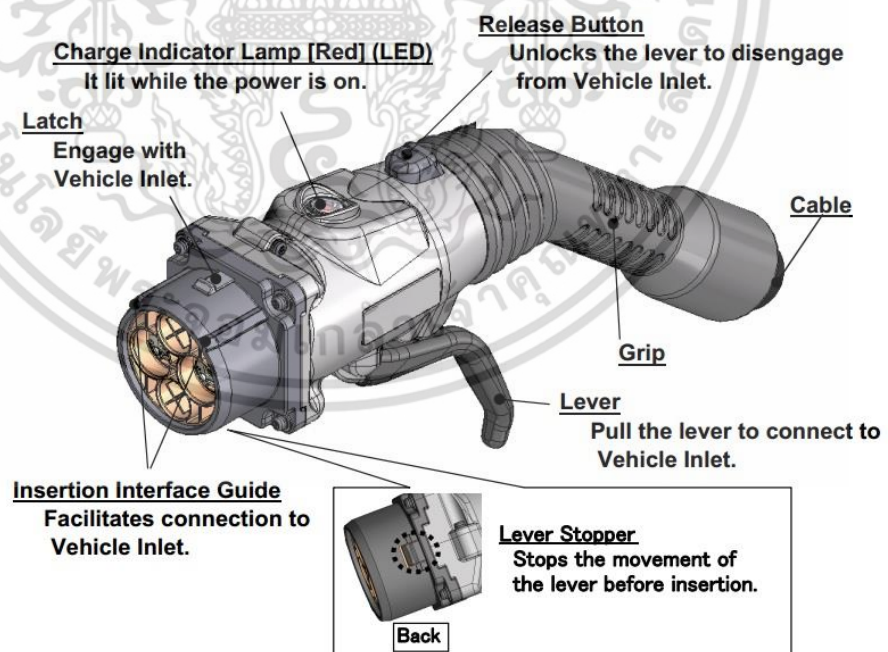
# หลักการทํางานของมาตรฐาน CHAdeMO

### 3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทํางานของมาตรฐาน CHAdeMO ประกอบไปด้วย ขั้วต่อสายไฟและสายสัญญาณควบคุมหลักการทํางานของมาตรฐาน CHAdeMO และส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มาตรฐาน CHAdeMO เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับออกแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

### 3.2 ขั้วต่อสายไฟและสายสัญญาณควบคุม

ในมาตรฐานการอัดประจุแบตเตอรี่ของ CHAdeMO จะออกแบบให้หัวอัดประจุมีขนาดใหญ่สามารถจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงเข้าสู่แบตเตอรี่ได้โดยตรงและเนื่องจากเป็นการอัดประจุเข้าที่แบตเตอรี่โดยตรงนี้เองจึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมการอัดประจุที่ถูกต้องสามารถใช้ร่วมกันได้สำหรับแบตเตอรี่แต่ละขนาดของยานพาหนะไฟฟ้าแต่ละคันที่ออกแบบให้รองรับกับการอัดประจุแบตเตอรี่แบบ CHAdeMO นี้ ดังนั้นในหัวและสายอัดประจุในมาตรฐานนี้จึงมีการออกแบบให้ปลอดภัยและมีเสถียรภาพมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของหัวอัดประจุยานพาหนะไฟฟ้ามาตรฐาน CHAdeMO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสายไฟที่ใช้มีจำนวนมากในมาตรฐานการอัดประจุแบตเตอรี่แบบ CHAdeMO นี้จึงได้ออกแบบตำแหน่งของสายไฟให้แยกจากกันเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ สีแดงแสดงถึงสายเมน ประกอบด้วย pin 5 และ 6 สีส้มแสดงถึงสายสัญญาณ ควบคุมประกอบด้วย pin 1,2,4,7 และ 10 สีเหลืองแสดงถึงสายข้อมูลประกอบด้วย pin 8 และ 9 ส่วนสีน้ำเงินไม่มีการใช้งาน

สีและขนาดของสายไฟที่ใช้สำหรับสายอัดประจุแบตเตอรี่ยังแบ่งออกไปอีกหลายชนิด แบ่งไปตามโซนของแต่ละประเทศแต่ที่ทำวิจัยนี้อ้างอิงตามมาตรฐานในประเทศญี่ปุ่นจึงแบ่งได้ดังนี้

PIN 1 : ใช้สีดำ (BLACK) ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณ Grounding wire เชื่อมสายกราวด์ของทั้งสองระบบ

PIN 2 : ใช้สีเขียว (GREEN) ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณ Charge sequence signal 1 ให้นยานพาหนะไฟฟ้ารู้ว่าจะเริ่มมีการอัดประจุแบตเตอรี่

PIN 3 : ไม่มีการใช้งาน EMPTY CIRCUIT

PIN 4 : ใช้สีน้ำตาล (BROWN) ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณ Vehicle charge permission

PIN 5 : ใช้สีดำ (BLACK) ทำหน้าที่เป็นสายเมนขั้ว ลบ เชื่อมเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ในรถ

PIN 6 : ใช้สีขาว (WHITE) ทำหน้าที่เป็นสายเมนขั้ว บวก เชื่อมเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ในยานพาหนะ

PIN 7 : ใช้สีน้ำเงิน (BLUE) ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณ Connector proximity detection ตรวจจับหัวอัดประจุ

PIN 8 : ใช้สีส้ม (ORANGE) ทำหน้าที่เป็นสายข้อมูล คือ CAN H

PIN 9 : ใช้สีแดง (RED) ทำหน้าที่เป็นสายข้อมูล คือ CAN L

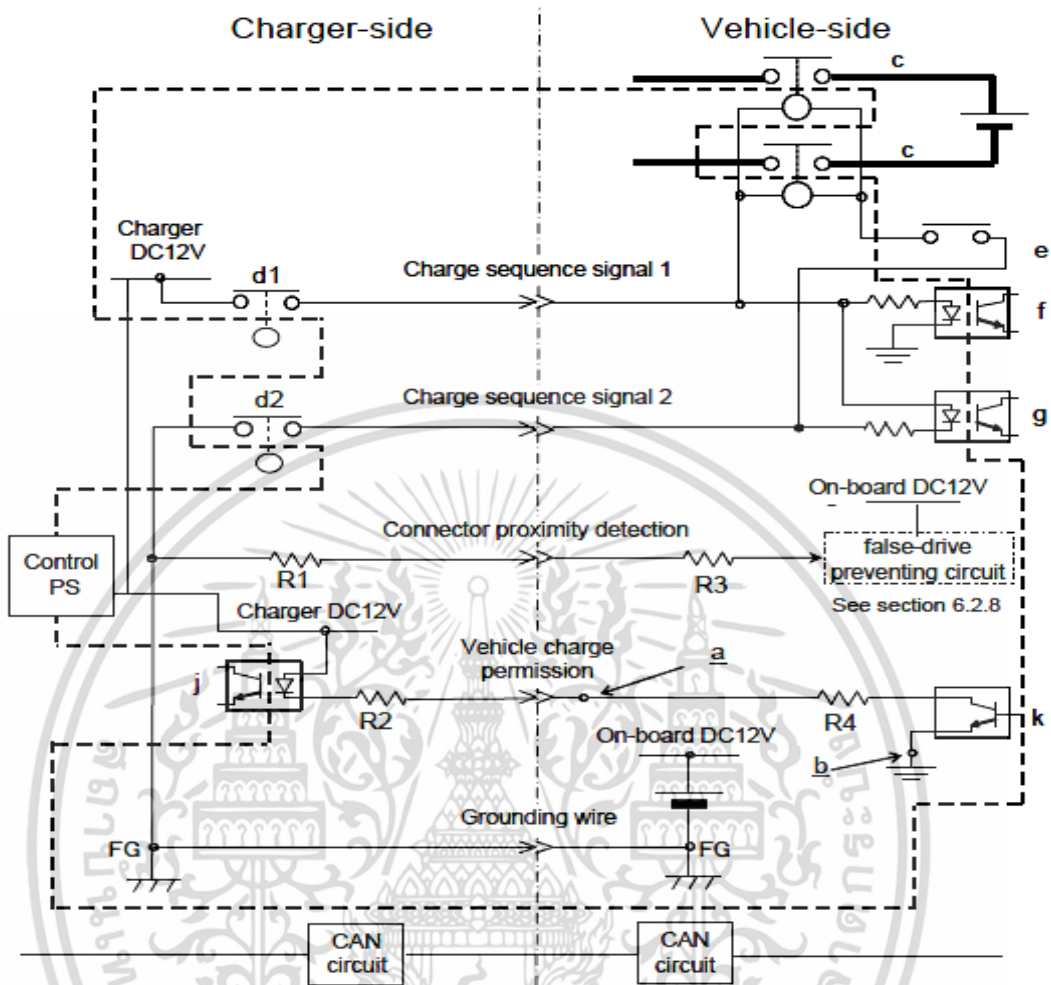
PIN 10 : ใช้สีชมพู (PINK) ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณ Charge sequence signal 2 ยืนยันการอัดประจุอีกครั้ง

ส่วนประกอบของหัวอัดประจุเชื่อมต่อ (Sequence circuit) แสดงดังรูปที่ 3.2 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างยานพาหนะไฟฟ้ากับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้มาตรฐาน CHAdeMO และสายสัญญาณต่างๆ และจะได้อธิบายถึงขั้นตอนการทำงานต่อไป



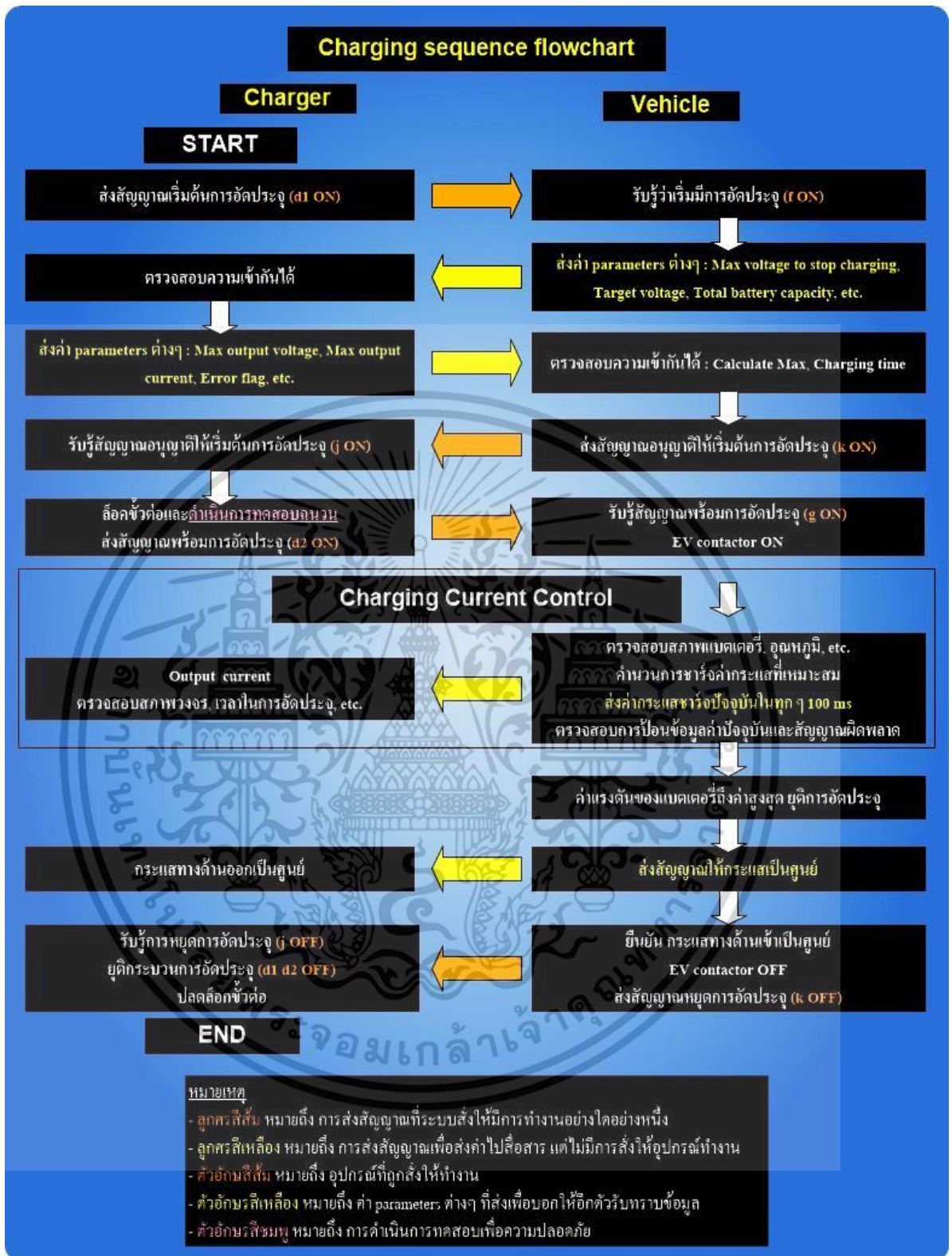
รูปที่ 3.2 ขั้วต่อของหัวคอนเน็คเตอร์ของเครื่องอัดประจุ CHAdeMO [9]

### 3.3 หลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO



รูปที่ 3.3 วงจรลำดับของเครื่องควบคุมการอัดประจุ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องควบคุมการอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องอัดประจุมาตรฐาน CHAdeMO นั้น จะใช้การส่งผ่านข้อมูลทั้งสัญญาณนาฬิกา และสัญญาณดิจิทัลผ่านทางสายสื่อสารแบบ CAN สาเหตุที่ต้องส่งผ่านข้อมูลทั้งวิธีอนาล็อกและดิจิทัลเพื่อ

1. ป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการอัดประจุเนื่องจากการทำงานผิดพลาดของส่วนระบบควบคุมแบบดิจิทัล (Digital control system)
2. ช่วยในการยืนยันลำดับการทำงานของทั้งเครื่องอัดประจุและยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า ให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง
3. เมื่อสัญญาณนาฬิกาขาดหาย ขั้นตอนการอัดประจุจะทำการปิดตัวเองลงอย่างทันที (การปิดตัวเองลงอย่างทันทีจะเร็วกว่าการส่งข้อมูลผ่านทางสัญญาณนาฬิกา)

การทำงานของเครื่องอัดประจุนั้นในระหว่างการทำงานจะมีการตอบสนองกันระหว่างเครื่องอัดประจุและยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า ทั้งแบบพาสซีฟ (Passive) และแบบแอคทีฟ (Active) เพื่อการรับรู้และกำหนดเงื่อนไขข้อตกลงในการอัดประจุระหว่างเครื่องอัดประจุและยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดประจุมี 3 ขั้นตอนหลัก แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 คือ 1. การเตรียมการสำหรับการอัดประจุ 2. การเริ่มทำการอัดประจุ และ 3. การจบการอัดประจุ

### 3.3.1 การเตรียมการสำหรับการอัดประจุ

เครื่องอัดประจุจะทำการจ่ายไฟให้คอยล์เพื่อให้รีเลย์ d1 ทำงาน จากรูปที่ 3.3 เมื่อรีเลย์ d1 ทำงาน แรงดันกระแสตรง จากเครื่องอัดประจุจะทำการจ่ายพลังงานผ่านหัวสัญญาณอนาล็อก (Analog pins) หมายเลข 2 ไปยังยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า ทำให้ออปโตคัปเปิลเลอร์ ' f ' ทำงาน ณ จุดนี้เป็นการสื่อสารจากเครื่องอัดประจุไปยังยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าว่าเริ่มขั้นตอนการอัดประจุ เมื่อยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารับรู้จะทำการส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าแรงดันสูงสุดในการหยุดการอัดประจุ, ค่าแรงดันที่ต้องการในการอัดประจุ, ค่าความจุของแบตเตอรี่ (ซึ่งเป็นการดึงข้อมูลมาจากส่วนของ BMS) ผ่านทางการสื่อสารแบบ CAN หลังจากเครื่องอัดประจุได้รับข้อมูลและยืนยันว่าสามารถทำการอัดประจุแก่ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าได้ เครื่องอัดประจุจะทำการส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าแรงดันสูงสุดขาออก และค่ากระแสสูงสุดขาออก ผ่านทางการสื่อสารแบบ CAN ไปยังยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า

ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะทำการตรวจสอบความเข้ากันได้และความเหมาะสมของข้อมูลที่เครื่องอัดประจุส่งมา ถ้าไม่มีปัญหาใดๆ ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะทำการส่งสัญญาณอนุญาตการอัดประจุโดยผ่านทางหัวสัญญาณอนาล็อก (Analog pins) หมายเลข 4 ทำให้ทรานซิสเตอร์ ' K ' ทำงาน เมื่อเครื่องอัดประจุได้รับสัญญาณอนุญาตการอัดประจุแล้วออปโตคัปเปิลเลอร์ ' J ' ทำงาน (หลังจากหัวต่อได้ทำการล็อกแล้ว) เครื่องอัดประจุจะทำการจ่ายแรงดันในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เพื่อทดสอบวงจร, ตรวจสอบฉนวน รวมถึงการตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างหัวต่อเพื่อยืนยันว่าไม่มีความผิดปกติในวงจร เช่น การลัดวงจร หรือว่าความผิดพลาดเกิดขึ้น เนื่องจากผลกระทบเมื่อเกิดการลัดวงจร และความผิดพลาดนั้นส่งผลต่อความเสื่อม สภาพของหัวต่อ (Connector).....

เมื่อทำการทดสอบเรียบร้อยแล้ว ถ้าไม่มีสิ่งผิดปกติใดๆ จะมีการจ่ายไฟให้คอยล์เพื่อทำให้รีเลย์ d2 ทำงาน จากนั้นเครื่องอัดประจุจะทำการส่งสัญญาณเตรียมพร้อมการอัดประจุไปยังยานพาหนะ พลังงานไฟฟ้าผ่านทางหัวสัญญาณอนาล็อก (Analog pins) หมายเลข 10 ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า จะตอบสนองโดยให้ออปโตคัปเปลอร์ 'g' ทำงาน สุดท้ายเครื่องอัดประจุจะทำการจ่ายพลังงานไปยัง ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำการอัดประจุต่อไป

### 3.3.2 การเริ่มการอัดประจุ

ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะทำการปิดคอนแทคเตอร์ (close EV contactor) เพื่อเริ่มการอัดประจุ ระหว่างการอัดประจุยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่, สถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC), ความลึกของการคายประจุของแบตเตอรี่ในการอัดประจุแบตเตอรี่ใหม่ในแต่ละครั้ง (depth of discharge : DOD) ฯลฯ จากส่วนของ BMS และการคำนวณค่ากระแส (current) ที่เหมาะสมสำหรับการอัดประจุในช่วงเวลานั้น (ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆ) และทำการส่งข้อมูลที่ได้ไปยังเครื่องอัดประจุทุกๆ 100 mSec ผ่านทางการสื่อสารแบบ CAN จากนั้นเครื่องอัดประจุจะทำการปรับค่ากระแสให้คงที่ (Constant current) ตามค่าที่ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าส่งมาในระหว่างทำการอัดประจุอยู่นั้น ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะทำการตรวจสอบค่าต่างๆของแบตเตอรี่รวมทั้งค่ากระแสที่จ่ายเข้ามายังแบตเตอรี่ ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์ผิดปกติขึ้น จะมีวิธีในการหยุดจ่ายพลังงาน 4 วิธีดังนี้

1. การส่งค่าสัญญาณกระแสไฟฟาลำดับศูนย์ (Zero current signal) ไปยังเครื่องอัดประจุผ่านทาง การสื่อสารแบบ CAN
2. การส่งสัญญาณผิดพลาด (error signal) ไปยังเครื่องอัดประจุ
3. หยุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ 'k' เมื่อส่งสัญญาณยกเลิกการอัดประจุไปยังเครื่องอัดประจุ
4. ทำการเปิดคอนแทคเตอร์ และทำการบล็อกกระแสอินพุต

ในด้านของเครื่องอัดประจุจะทำการตรวจสอบค่าแรงดัน, กระแสและอุณหภูมิของวงจรภายในเครื่องอัดประจุ ในกรณีที่ค่าต่างๆ เกินพิกัดที่กำหนดไว้ เครื่องอัดประจุจะหยุดการส่งจ่ายพลังงานและ ส่งสัญญาณผิดพลาด (error signal) ไปยังยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า ผ่านทางการสื่อสารแบบ CAN เครื่องอัดประจุจะหยุดการส่งจ่ายพลังงานใน 4 วิธีดังนี้

1. บล็อกทางผ่านของสัญญาณคอนเวอร์เตอร์
2. บล็อกทางผ่านของสัญญาณอินเวอร์เตอร์
3. ทำการเปิดคอนแทคเตอร์ในสายสัญญาณเอาต์พุต (output lines)
4. ทำการเปิดเบรกเกอร์ของสายสัญญาณอินพุต (Input lines)

### 3.3.3 การจบการอัดประจุ

การอัดประจุจะยุติลงเมื่อยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าส่งสัญญาณกระแสลำดับศูนย์ (Zero current signal) ผ่านทางการสื่อสารแบบ CAN เพื่อหยุดการอัดประจุ หลังจากเครื่องอัดประจุได้รับสัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ (Zero current signal) แล้วยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะทำการเปิดคอนแทคเตอร์และทำการส่งสัญญาณห้ามอัดประจุโดยการหยุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ 'k' เพื่อทำการยืนยันสัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ (Zero current signal) เครื่องอัดประจุทำการเปิดรีเลย์ 'd1' และ 'd2' เพื่อจบการทำงาน

### 3.4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มาตรฐาน CHAdEMO

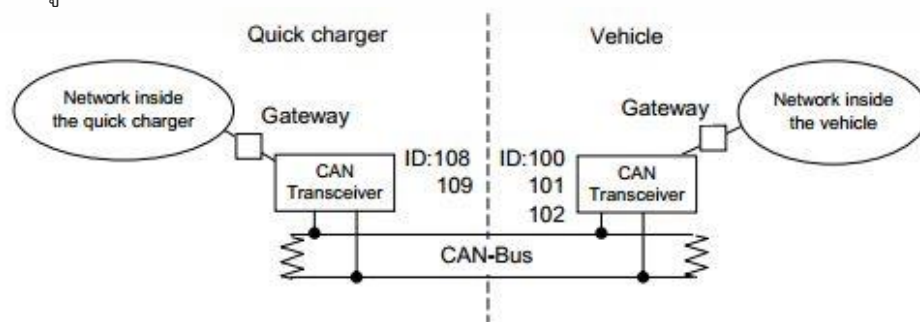
ส่วนประกอบภายในที่เป็นระบบไฟฟ้านั้นจะประกอบอยู่ด้วยกัน 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. วงจรกำลัง เป็นส่วนของสายไฟเมนที่จ่ายไฟให้กับแบตเตอรี่
2. วงจรสัญญาณควบคุม เป็นสายไฟที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างเครื่องอัดประจุกับยานพาหนะไฟฟ้า

โดยวงจรกำลัง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่นำกระแสไฟจากเครื่องอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ในยานพาหนะไฟฟ้าโดยตรงซึ่งปริมาณของกระแสและแรงดันที่รวมถึงสถานความพร้อมรับการอัดประจุของแบตเตอรี่ต้องการนั้นจะส่งผ่านสายสัญญาณควบคุมไป ส่วนวงจรสายสัญญาณควบคุมจะแบ่งออกเป็นสองประเภทด้วยกันคือ สายที่ทำหน้าที่สื่อสารให้ข้อมูลเป็นแค่สถานะ และสายที่ทำหน้าที่เป็นสาย DATA ส่งของข้อมูลจำนวนมากซึ่งใช้ระบบเดียวกัน กับที่ใช้ในยานพาหนะทั่วไปก็คือ เป็นที่ใช้แบบ CAN BUS ที่นิยมใช้กันทั่วไปในยานพาหนะ โดยจะใช้ Protocol CAN2.0B Active, ISO11898 ,Standard format Transmission rate: 50 0kbps Transmission cycle: 100msec±10%

CAN ย่อมาจาก Controller Area Network หมายถึง การควบคุมพื้นที่เครือข่าย (การนำคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้ข้อมูล โปรแกรมหรืออุปกรณ์บางอย่างร่วมกัน) ซึ่ง CAN คือ มาตรฐานการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม, มันต้องการการส่งข้อมูลเป็นรหัสจิ้งหะทางไฟฟ้า โดยการใช้สายสัญญาณการติดต่อสื่อสารเพียง 2 เส้น, ซึ่งได้รับมาตรฐาน ISO 11898.ลักษณะสำคัญและการใช้ประโยชน์ ของ CAN

CAN Bus (Controller area network) เป็นโพรโตคอลในการติดต่อสื่อสารโดยออกแบบมาเพื่อยานพาหนะเป็นหลักโดยในการติดต่อสื่อสารของ CAN จะใช้คู่สัญญาณสองเส้นคือ CANH และ CANL แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การสื่อสารด้วยระบบ CAN (Controller Area Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบการสื่อสารที่เป็น Protocol ในยานพาหนะไฟฟ้าภายใต้มาตรฐาน CHAdeMO จะใช้ Protocol แบบ CAN ในการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอัดประจุและยานพาหนะไฟฟ้า โดยจะใช้ ID number ที่มีตัว H นำหน้า ซึ่งย่อมาจาก H' indicates hexadecimal เชื่อมต่อระหว่าง ยานพาหนะและเครื่องอัดประจุแสดงดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.3

ตารางที่ 3.1 ID number ของ เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่และยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า

	ID number
เครื่องอัดประจุ	H'108, H'109
ยานพาหนะ	H'100, H'101, H'102

ตารางที่ 3.2 Protocol ที่ใช้ในการสื่อสารจากยานพาหนะที่เป็นตัวส่งเชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุ

ส่งจาก	มายัง	ID	ไบต์	เนื้อหา	เพิ่มเติม
ยานพาหนะ	เครื่องอัดประจุ	H'100	0		ไม่ใช่
			1		ไม่ใช่
			2		ไม่ใช่
			3		ไม่ใช่
			4, 5	แรงดันแบตเตอรี่สูงสุด	435 Vdc
			6	พิกัดจากค่าอ้างอิงแบตเตอรี่	138 %
			7		ไม่ใช่
		H'101	0		ไม่ใช่
			1	ตั้งเวลาการอัดประจุ ( วินาที )	10 S
			2	ตั้งเวลาการอัดประจุ ( นาที )	Min
			3	การประมาณเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ	Min
			4		ไม่ใช่
			5		ไม่ใช่
			6		ไม่ใช่
		H'102	0	Protocol ควบคุม การสื่อสาร	CHAdeMO
			1, 2	ค่าแรงดันที่รถต้องการในการอัดประจุ	410 Vdc
			3	ค่ากระแสที่รถต้องการในการอัดประจุ	รถคำนวณ
			4	สถานะการผิดพลาด	
			5	สถานะของเครื่องอัดประจุ	
			6	เปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่	
			7		ไม่ใช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 Protocol ที่ใช้สื่อสารจากเครื่องอัดประจุที่เป็นตัวส่งเชื่อมต่ออย่างตัวยานพาหนะ

ส่งจาก	มายัง	ID	ไบต์	เนื้อหา	เพิ่มเติม
เครื่องอัดประจุ	ยานพาหนะ	H'108	0	ตรวจสอบหัวอัดประจุกับยานพาหนะ	
			1,2	สเปคของเครื่องอัดประจุ	แรงดัน
			3	สเปคของเครื่องอัดประจุ	กระแส
			4,5	แรงดันที่ยานพาหนะต้องการ	จากยานพาหนะ
			6		ไม่ใช่
			7		ไม่ใช่
			H'109	0	Protocol ควบคุม การสื่อสาร
		1,2	แรงดันจริงขาออกจากเครื่องอัดประจุ	10 Sec	
		3	กระแสจริงขาออกจากเครื่องอัดประจุ	60 Min	
		4		ไม่ใช่	
		5	สถานะและความผิดพลาด		
		6	การตั้งเวลาจากเครื่องอัดประจุ	10 Sec	
		7	การตั้งเวลาจากเครื่องอัดประจุ	Min	

ข้อมูลการสื่อสารผ่าน protocol จากยานพาหนะไปยังเครื่องอัดประจุ

1. แรงดันแบตเตอรี่สูงสุด [ H'100 ]

ไบต์	5	4
	0	2 5 8

1 V / บิต , 0 – 600 โวลต์ : 16 บิต

2. พิกัดจากค่าอ้างอิงแบตเตอรี่ [ H'101 ]

ไบต์	6
	6 4

1 V / บิต , 0 – 600 โวลต์ : 8 บิต

3. ตั้งเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยผู้ใช้งานมีการตั้งเวลามาจากภายในยานพาหนะ [ H'101 ]

- ตั้งเวลาอัดประจุจากยานพาหนะโดยมีการกำหนดหน่วยเป็น 10 วินาที ใช้ ไบต์ 1

ไบต์	1
	F F

10 วินาที / บิต , 0-2540 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตั้งเวลาการอัดประจุจกยานพาหนะโดยมีการกำหนดหน่วยเป็น 1 นาที ใช้ ไบต์ 2

ไบต์	2	
	F	F

1 นาที / บิต , 0-255 นาที

4. การประมาณเวลาที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ยานพาหนะในหน่วยเป็น นาที [ H'101 ]

ไบต์	3	
	F	F

1 นาที / บิต , 0-254 นาที : 8 บิต

5. Protocol ควบคุม การสื่อสาร [ H'102 ]

ไบต์	0	
	F	F

1 / บิต , Ver. 0-255 : 8 บิต

6. ค่าแรงดันที่รถต้องการในการอัดประจุ [ H'102 ]

ไบต์	2		1	
	0	2	5	8

1 V / บิต , 0 – 600 โวลต์ : 16 บิต

7. ค่ากระแสที่รถต้องการในการอัดประจุ [ H'102 ]

ไบต์	3	
	F	F

1 A / บิต , Ver. 0-255 A : 8 บิต

8. สถานะการผิดพลาด ( Fault flag ) [ H'102 ]

ไบต์	4			
	1	F		

(4) (3) (2) (1) (0)

- |                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| (0) แรงดันแบตเตอรี่เกิน              | (0: ปกติ, 1: บกพร่อง) |
| (1) แรงดันแบตเตอรี่ต่ำ               | (0: ปกติ, 1: บกพร่อง) |
| (2) กระแสของแบตเตอรี่เกิดข้อบกพร่อง  | (0: ปกติ, 1: บกพร่อง) |
| (3) อุณหภูมิแบตเตอรี่สูง             | (0: ปกติ, 1: บกพร่อง) |
| (4) แรงดันของแบตเตอรี่เกิดข้อบกพร่อง | (0: ปกติ, 1: บกพร่อง) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9. สถานะของยานพาหนะ ( Status flag ) [ H'102 ]

ไบนารี	5							
	1				F			

(4) (3) (2) (1) (0)

(0) ยานพาหนะถูกต้องสายอัดประจุ

(0: ไม่ใช่, 1: ใช่)

(1) ยานพาหนะจอดไม่ตรงตำแหน่ง

(0: ตรงตำแหน่ง, 1: ไม่ตรงตำแหน่ง)

(2) ระบบการอัดประจุมีปัญหา

(0: ปกติ, 1: บกพร่อง)

(3) สถานะของยานพาหนะ

(0: แมกเนติกคอนเทคเตอร์ของหัวอัดประจุถูกต้อง,

1: แมกเนติกคอนเทคเตอร์ของหัวอัดประจุไม่ถูกต้อง)

(4) สถานะคำสั่งการอัดประจุและหยุดอัดประจุ

(0: มีการอัดประจุ, 1: หยุดอัดประจุ)

## 10. เปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ที่นำออกไปแสดงบนหน้าจอเครื่องอัดประจุ

ไบนารี	6							
	6				4			

1 % / บิต , 0-100 % : 8 บิต

ข้อมูลการสื่อสารผ่าน protocol จากเครื่องอัดประจุไปยังยานพาหนะ

## 1. ตรวจสอบหัวอัดประจุกับยานพาหนะ [ H'108 ]

ไบนารี	0							
	F				F			

1 / บิต , 0 - 255 : 8 บิต

0 : เครื่องอัดประจุหรือหัวอัดประจุไม่สามารถเข้ากับยานพาหนะ

## 2. แรงดันสูงสุดของเครื่องอัดประจุที่สามารถใช้งานได้ [ H'108 ]

ไบนารี	2				1			
	0		2		5		8	

1 V / บิต , 0 - 600 โวลต์ : 16 บิต

## 3. กระแสสูงสุดของเครื่องอัดประจุที่สามารถใช้งานได้ [ H'108 ]

ไบนารี	3							
	F				F			

1 A / บิต , 0 - 600 โวลต์ : 16 บิต

4. แรงดันที่ยานพาหนะต้องการโดยตัวยานพาหนะจะส่งออกมา [ H'108 ]

ไบต์	5		4	
	0	2	5	8

1 V / บิต , 0 – 600 โวลต์ : 16 บิต

5. Protocol ควบคุม การสื่อสาร [ H'109 ]

ไบต์	0	
	F	F

1 / บิต , 0 – 255 : 8 บิต

6. แรงดันขาออกขณะมีการอัดประจุ [ H'109 ]

ไบต์	2		1	
	0	2	5	8

1 V / บิต , 0 – 600 โวลต์ : 16 บิต

7. กระแสขาออกขณะมีการอัดประจุ [ H'109 ]

ไบต์	3	
	F	F

1 A / บิต , 0 – 255 A : 8 บิต

8. สถานะการผิดพลาด ( Fault flag ) [ H'109 ]

ไบต์	5				
	3			F	

(5) (4) (3) (2) (1) (0)

- |  |  |
|--|--|
| (0) สถานะของเครื่องอัดประจุ                  | (0: เตรียมอัดประจุ, 1: อัดประจุ)       |
| (1) สถานะของเครื่องอัดประจุไม่สามารถทำงานได้ | (0: ปกติ, 1: บกพร่อง)                  |
| (2) หัวอัดประจุล๊อคเรียบร้อย                 | (0: เปิด , 1: ล๊อค)                    |
| (3) สถานะตรวจสอบแบตเตอรี่                    | (0: ใช้ได้, 1: ใช้ไม่ได้)              |
| (4) ระบบการอัดประจุไม่สามารถทำงานได้         | (0: ไม่ใช่, 1: ใช่)                    |
| (5) เครื่องอัดประจุหยุดการทำงาน              | (0: เครื่องทำงาน, 1: เครื่องหยุดทำงาน) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ตั้งเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยผู้ใช้งานมีการตั้งเวลาหน้าเครื่องอัดประจุ [ H'109 ]

- ตั้งเวลาอัดประจุโดยมีการกำหนดหน่วยเป็น 10 วินาที ใช้ โบท์ 6

โบท์	6	
	F	F

10 วินาที / บิต , 0-2540 วินาที

- ตั้งเวลาอัดประจุโดยมีการกำหนดหน่วยเป็น 1 นาที ใช้ โบท์ 7

โบท์	7	
	F	F

2 นาที / บิต , 0-255 นาที

### 3.5 บทสรุป

ตามที่ได้นำเสนอหลักการการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO ในการวิจัยนี้จะใช้มาตรฐานการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าของ CHAdeMO ปัจจัยที่สำคัญของมาตรฐาน CHAdeMO จะต้องคำนึงถึง หัวข้อประจุ ขั้นตอนการอัดประจุ รวมถึงการควบคุมการสื่อสารระหว่างยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะถูกนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำลองการทำงานของวงจรอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ในบทต่อไป

## บทที่ 4

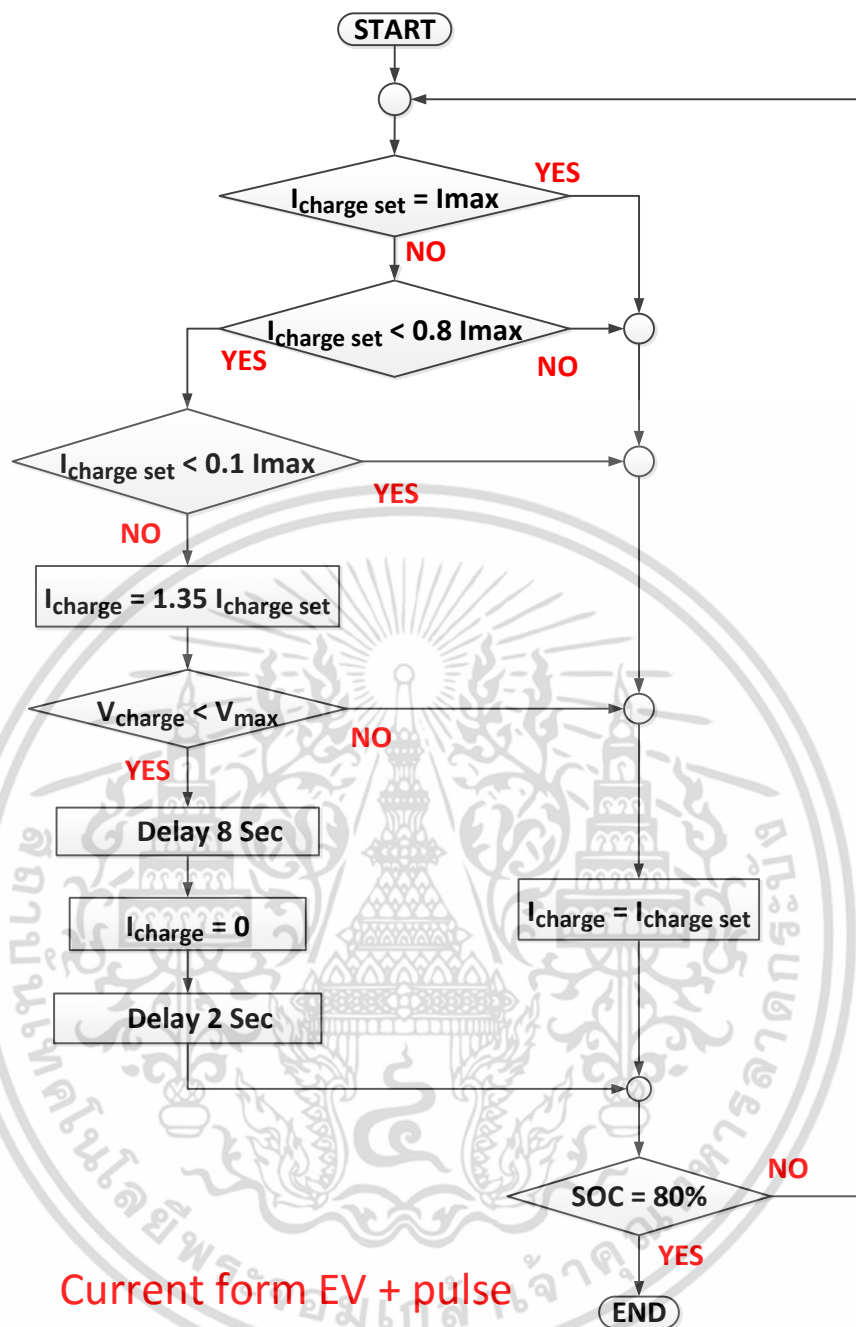
# การออกแบบและการจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

### 4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO ประกอบไปด้วย หลักการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ การจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และส่วนประกอบของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO เพื่อที่จะสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

### 4.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

จากรูปที่ 4.1 เป็นไดอะแกรมการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ ใช้การควบคุมมอดูเลตด้านบวก โดยมีการกำหนดดิวิตีไซเคิลและความถี่ตั้งแต่เริ่มต้น โดยเครื่องอัดประจุจะพิจารณาแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่มากกว่าแรงดันที่กำหนด จะทำการลดมอดูเลตด้านบวกลงเพื่อให้แรงดันของแบตเตอรี่ไม่เกิดที่กำหนด แต่ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่าแรงดันที่กำหนด ต้องมาดูที่กระแสว่าเกินที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเกินต้องลดมอดูเลตด้านบวก ถ้าไม่เกินต้องเพิ่มมอดูเลตด้านบวก



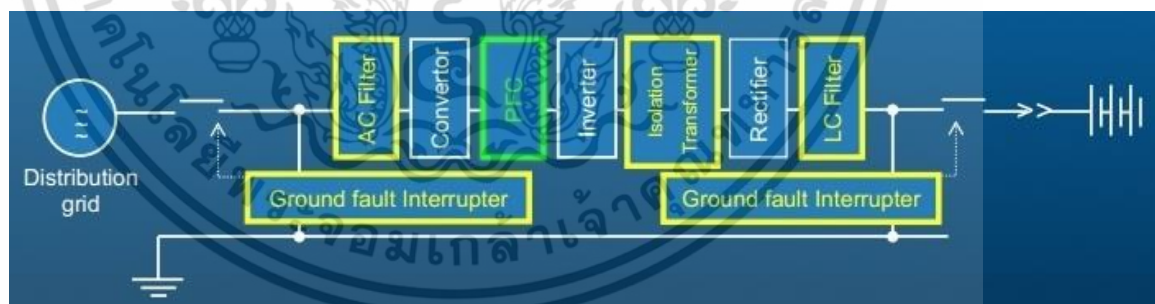
รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะไฟฟ้าให้มีความจุสูงขึ้นและสามารถอัดประจุได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะไฟฟ้าจำเป็นต้องมีพิกัดสูงขึ้นตามไปด้วยจึงได้มีการออกแบบสร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดต่างๆเกิดขึ้น แต่ในขณะที่มีการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาดใหญ่มีประจุมากทั้งยังติดตั้งอยู่ภายในตัวยานพาหนะ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย (Safety) ต่อยานพาหนะและผู้ใช้งานจึงต้องออกแบบให้มีการแยกกราวด์ระหว่างยานพาหนะไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าภายนอกเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะไฟฟ้า โดยทั่วไปมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 4.2

1. ภาค AC Line Filter ทำหน้าที่กรองฮาร์มอนิกส์จากเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ไม่ให้ออกไปสู่ระบบภายนอก
2. ภาค Converter ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า AC ไปเป็น DC
3. ภาค Power Fraction Correction ทำหน้าที่ควบคุมชุด Converter เพื่อรักษาระดับแรงดัน DC และค่า Power Factor
4. ภาค Inverter ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า DC กลับเป็น AC ที่ความถี่สูง
5. ภาค Isolation Transformer ทำหน้าที่ แยกกราวด์ระหว่างไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุกับระบบไฟในยานพาหนะไฟฟ้า
6. ภาค LC Filter ทำหน้าที่กรองแรงดันด้านออกให้เรียบก่อนนำไปอัดประจุแบตเตอรี่
7. ภาค Ground fault Interrupter ทำหน้าที่ตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วของทั้งสองระบบและตัดการทำงาน

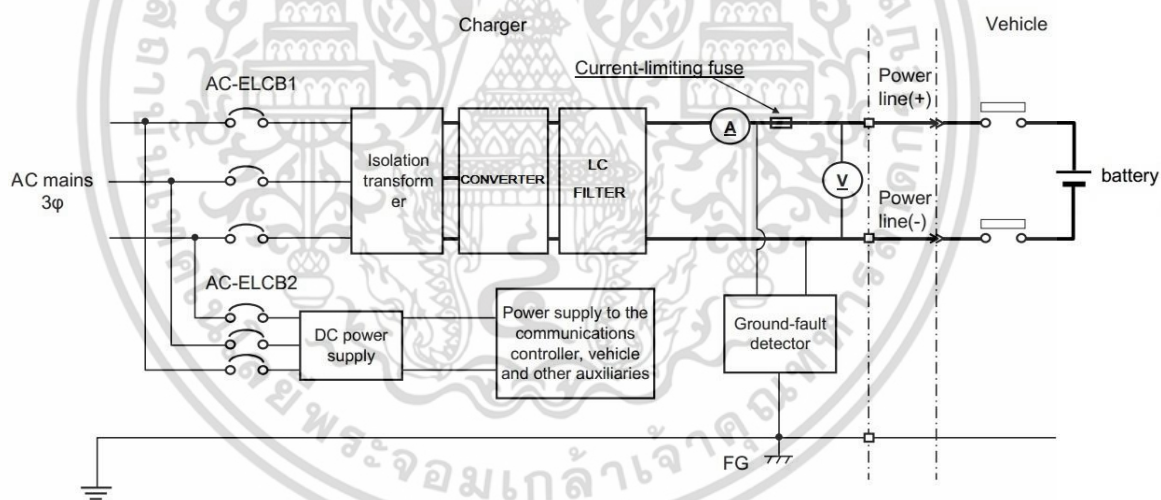


รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว จึงได้ออกแบบให้มีโครงสร้างลักษณะเดียวกันนั้น เพียงแต่เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ออกแบบสร้างจะออกแบบให้มีลักษณะพิเศษสามารถจ่ายเป็นพัลส์ กระแสได้ จ่ายไฟลบได้ และสามารถดึงไฟฟ้าจากยานพาหนะไฟฟ้าย้อนกลับได้ โดยเครื่องอัดประจุ แบตเตอรี่ที่ได้ออกแบบและสร้างนี้มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าต่างๆ ดังต่อไปนี้ และวงจรเครื่องอัดประจุ แบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4.3

- DC Charging standard: CHAdeMO
- Pulse Charging standard: CHAdeMO
- User interface: SIEMENS Color LCD and Emergency buttons
- Maximum output power 50 kW
- Maximum output Positive current 120 A, Negative current 120 A
- Output Positive voltage range 500 V, Negative voltage range - 500 V
- Output over-current protection Yes
- Ground fault protection Yes
- Connections One 50 kW max CHAdeMO compliant DC output



รูปที่ 4.3 วงจรไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

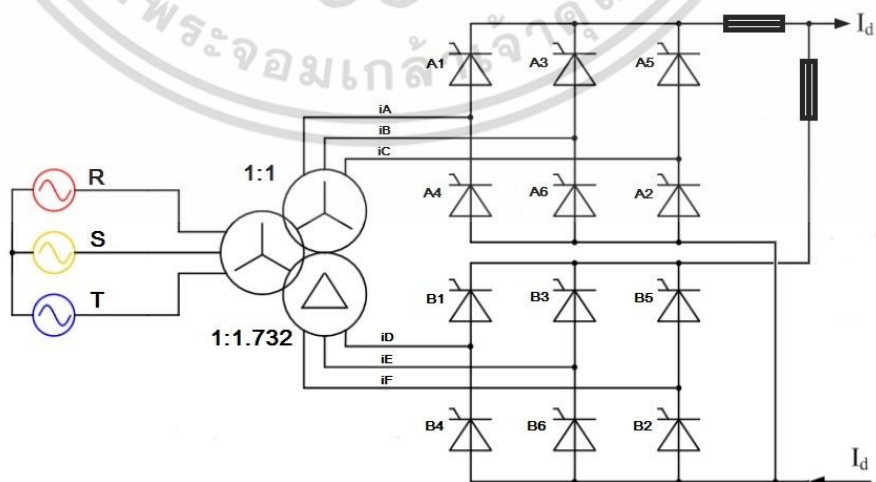
### 4.3.1 โครงสร้างของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ได้ทำการออกแบบ

การออกแบบมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. AC Circuit Breaker แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ AC-ELCB1 ใช้เปิดปิดวงจรหลักและ AC-ELCE2 ใช้เปิดปิดวงจรควบคุม
2. Isolation Transformer ทำหน้าที่ แยกกราวด์ระหว่างไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุกับระบบไฟฟ้าใน ยานพาหนะไฟฟ้า
3. Converter ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า AC ไปเป็น DC และควบคุมค่ากระแส, แรงดัน DC Charging ในการอัดประจุ
4. LC Filter ทำหน้าที่กรองแรงดันด้านออกให้เรียบก่อนนำไปอัดประจุแบตเตอรี่
5. Ground fault Interrupter ทำหน้าที่ตรวจค่ากระแสไฟฟ้าวัดของยานพาหนะไฟฟ้าและตัดการทำงาน
6. Magnetic contactor ทำหน้าที่เชื่อมต่อวงจรของเครื่องอัดประจุเข้ากับแบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้า

### 4.3.2 หลักการทำงานที่สำคัญของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ Phase Control ในการควบคุมค่ากระแสและแรงดัน โดยประเภทที่ใช้เป็นแบบ Multiples Converter ในที่นี้เลือกใช้แบบ 12 Pulse เพราะโดยหลักการแล้วมีค่า Harmonic ต่ำ และมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบ STAR และ DELTA ซึ่งมีเฟสห่างกัน 30 องศาและให้มีอัตราการพันของแบบ STAR เท่ากับ 1:1 ส่วนแบบ DELTA เท่ากับ 1:1.172 เพื่อให้ได้อัตราส่วนแรงดันด้านเข้าต่อแรงดันด้านออกเท่ากัน จากนั้นจึงใช้ชุด Rectifier แบบ 6 Pulse ที่ใช้ SCR 6 ตัวสองชุดต่อร่วมกัน Rectifier ชุดที่ 1 ประกอบด้วย A1-A6 ในชุดที่ 2 ประกอบด้วย B1-B6 แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงชุดของหม้อแปลงไฟฟ้าและวงจรไฟฟ้าหลักซึกบว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากความผิดเพี้ยนของกระแส

กระแสด้านอินพุทของ Rectifier ชุดที่ 1 ได้แก่  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  จะมีรูปร่างเหมือนกับ Rectifier แบบ 6 Pulse ทั่วไปจะมีเฟสห่างกันอยู่ 120 องศาเช่นเดียวกันกระแสด้านอินพุทของ  $i_D$ ,  $i_E$ ,  $i_F$  ของ Rectifier ชุดที่ 2 จะมีเฟสห่างกันอยู่ 120 องศา แต่ว่ากระแส  $i_D$  ล้าหลังกระแส  $i_A$  อยู่ 30 องศา เฟสอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน สามารถแสดงผลรวมกระแสด้านเข้าหม้อแปลงได้ดังนี้

$$i_R = i_A + \frac{1}{\sqrt{3}}(i_D - i_E) \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5

$$i_A^5 = I \sin(5\omega t)$$

$$i_D^5 = I \sin(5(\omega t - \pi/6)) = I \sin(5\omega t - 5\pi/6)$$

$$i_E^5 = I \sin(5(\omega t - 5\pi/6)) = I \sin(5\omega t - \pi/6)$$

แทนค่า  $i_A^5 \cdot i_D^5 \cdot i_E^5$  ในสมการที่ 1  $\Rightarrow i_R^5 = 0$

เช่นเดียวกันฮาร์มอนิกส์ ลำดับที่ 7<sup>th</sup>, 17<sup>th</sup>, 19<sup>th</sup> และอีกหลายๆลำดับจะมีค่าเป็นศูนย์ เช่นเดียวกันดังนั้นพอจะสรุปได้แสดงดังตารางที่ 4.1 นี้

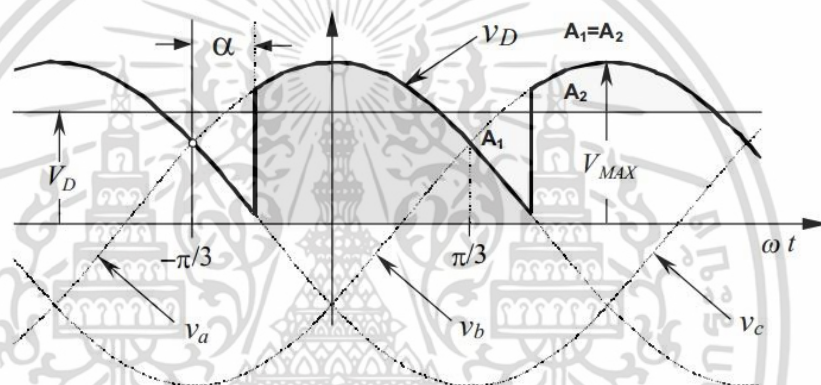
ตารางที่ 4.1 ค่าฮาร์มอนิกส์ลำดับต่างๆ ของ Multiples Converter

Harmonic Number	Typical Harmonics by Rectifier Type		
	6-pulse	12-pulse	18-pulse
5th	✓		
7th	✓		
11th	✓	✓	
13th	✓	✓	
17th	✓		✓
19th	✓		✓
23rd	✓	✓	
25th	✓	✓	
29th	✓		
31st	✓		
35th	✓	✓	✓
37th	✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 แรงดันด้านขาออก (VD)

หลักการของ Phase Control สามารถควบคุมแรงดันด้านขาออกได้โดยการปรับค่าของ Firing angle  $\alpha$  แสดงดังรูปที่ 4.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Firing angle  $\alpha$  เมื่อค่ามุมนี้ลดลงจะทำให้พื้นที่ที่ที่แรง (VD) มีค่ามากขึ้นและแรงดันเฉลี่ยที่ได้สูงตามไปด้วย แต่เมื่อค่ามุม  $\alpha$  มีค่ามากขึ้นแรงดันที่ได้ก็น้อยลง โดยทั่วไปสามารถปรับได้ตั้งแต่ค่า 180 องศาไปจนถึง มุมที่ 0 องศา แต่ในทางปฏิบัตินั้น ถ้าเป็น Rectifier แบบ 6 Pulse ที่จ่ายแรงดันได้ทิศทางเดียวควรจะใช้มุม Firing angle  $\alpha$  ไม่น้อยกว่า 5 องศา แต่ถ้าเป็นแบบจ่ายแรงดันได้สองทิศทางจะใช้มุม  $\alpha$  ไม่น้อยกว่า 30 องศา ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าเมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางการจ่ายแรงดันในทันทีที่มุม  $\alpha$  นี้จะต้องไปจับในทิศที่กลับกันแล้วจึงต้องควบคุมแรงดันให้ได้อีกด้วย



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Firing angle กับค่าแรงดันด้านขาออก (VD)

ค่าแรงดันด้านขาออกหาได้จากสมการแรงดันดังต่อไปนี้

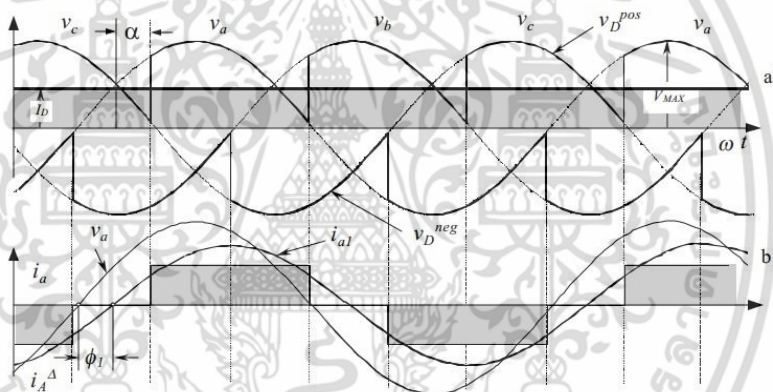
$$V_D = \frac{V_{MAX}}{\frac{\pi}{3}} \int_{-\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha} \cos \omega t \cdot d(\omega t) = V_{MAX} \frac{\sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} \cdot \cos \alpha \approx 1.35 \cdot V_{f-N}^{rms} \cdot \cos \alpha \quad \dots (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่นี้ต้องการแรงดันด้านไฟ DC ที่ 500 Vdc และมุม Firing angle  $\alpha$  ออกแบบให้ได้แรงดันสูงสุดที่มุม  $\alpha$  เท่ากับ 30 องศา จึงสามารถออกแบบค่าแรงดันด้านเข้าได้อย่างถูกต้องแทนค่าตามสมการที่ 2 ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการคือ 417.08 Vac เพื่อให้ได้กระแสที่ต่อเนื่องจำเป็นต้องใช้มุม  $\alpha$  น้อยกว่า 60 องศา แรงดันจะเหลือประมาณ 281.5 Vac และเพื่อให้สามารถปรับค่าแรงดันของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ได้ตามที่ออกแบบไว้จำเป็นต้องลดอัตราส่วนใหม่ เพื่อให้ได้ต่ำสุดที่ 50 Vdc ที่มุม  $\alpha$  เท่ากับ 60 องศา จะต้อง 74.07 Vac จึงได้มีการออกแบบหม้อแปลงให้มีแทบตามค่าแรงดันคำนวณได้

### 4.3.5 ค่าตัวประกอบกำลัง ( PF )

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 Firing angle  $\alpha$  ในขณะที่ปรับค่าของแรงดันอยู่นั้นจะเห็นว่าค่ามุมเฟสของกระแสจะเปลี่ยนไปด้วยแปรผันตามค่าของมุม  $\alpha$



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Firing angle กับค่าแรงดันด้านออก (VD)

ดังนั้นค่า

$$\cos \phi_1 = \cos \alpha$$

ค่า PF หาค่าได้จาก

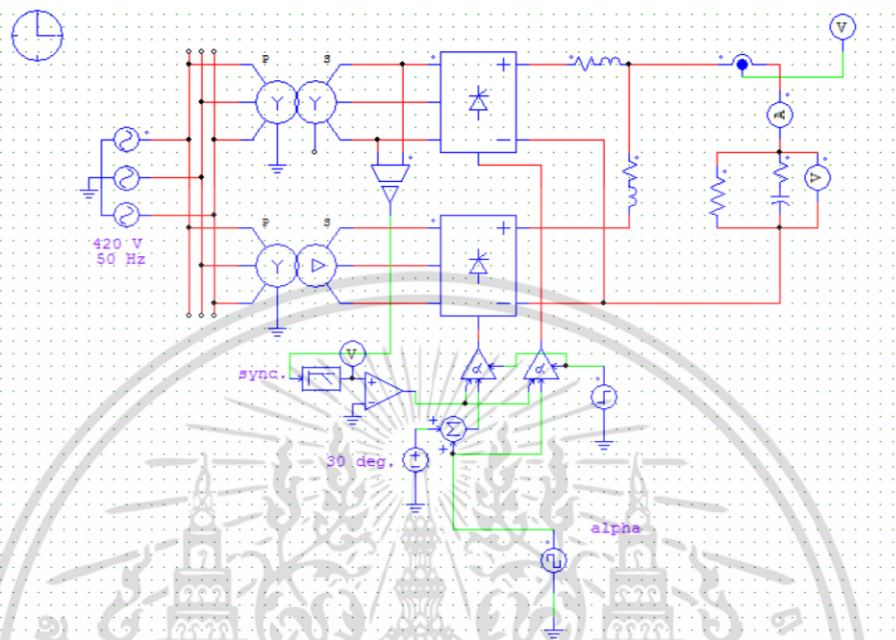
$$PF = \frac{I_{a1}^{rms}}{I_a^{rms}} \cos \alpha$$

เมื่อค่าของมุม  $\alpha$  มีผลต่อค่าของ PF จึงจำเป็นต้องออกแบบให้ใช้ค่ามุมอยู่ใกล้เคียงมุมศูนย์มากที่สุดแต่ก็ต้องให้สามารถที่จะปรับค่าแรงดันได้ตามที่ต้องการด้วย

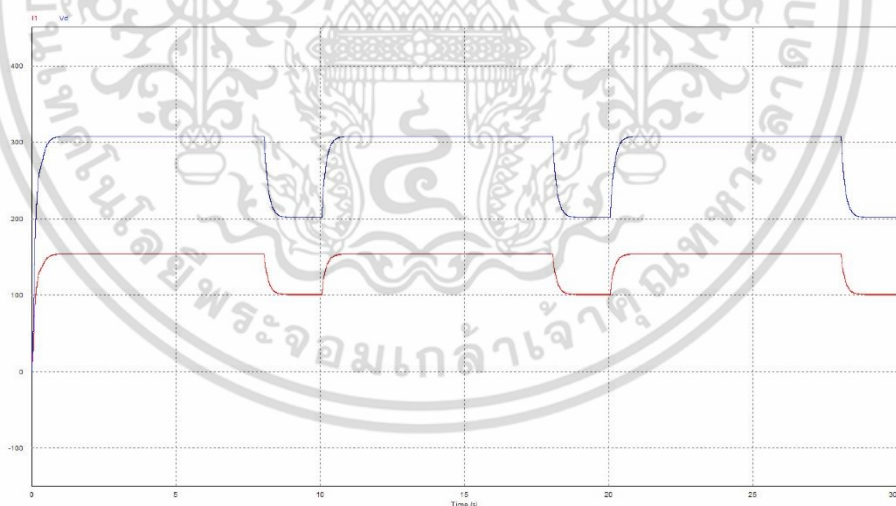
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การแสดงการจำลองการทำงานในโหมดการอัดประจุแบบพัลส์จะใช้วงจรแบบการควบคุมเฟสแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 วงจรที่ใช้ในการจำลองการอัดประจุแบบพัลส์

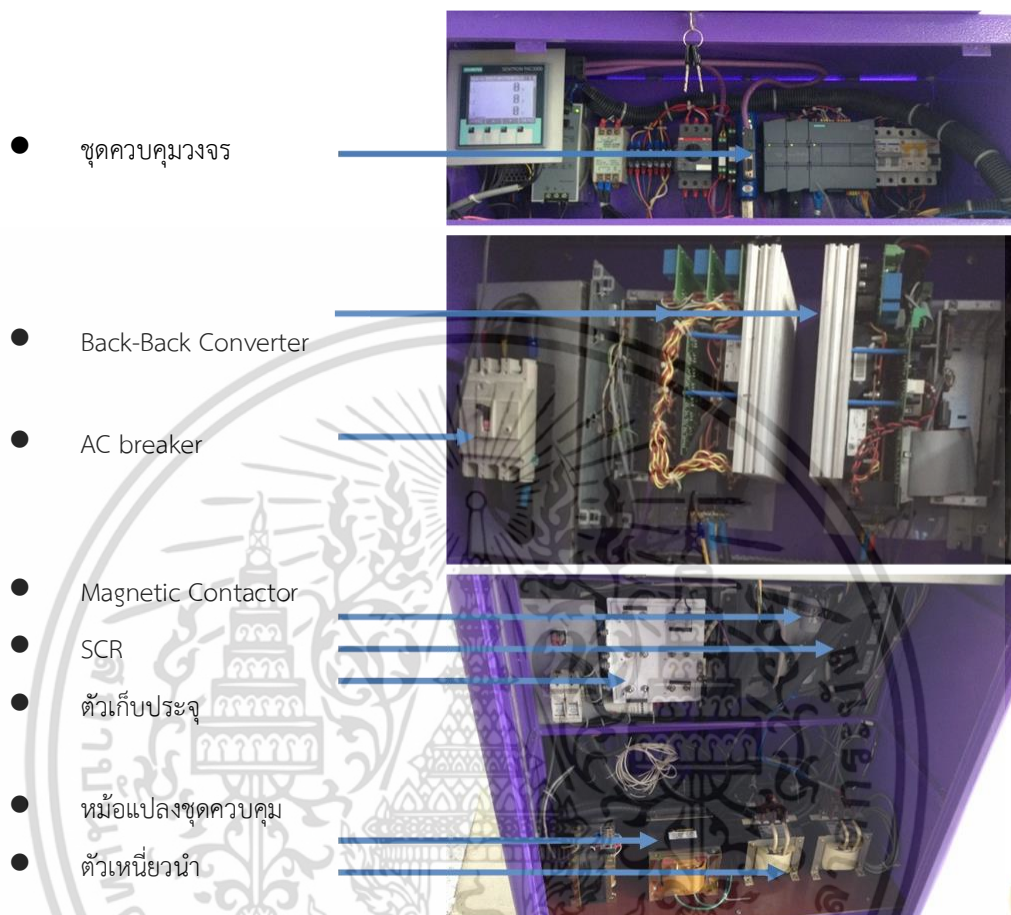


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองการอัดประจุแบบพัลส์ต้นแบบ

ผลการจำลองการอัดประจุแบบเตอร์แบบพัลส์แสดงดังรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าตรงกับตามที่ได้ศึกษาคือการอัดประจุจะทำการอัดประจุแบบเตอร์ 8 วินาที และ หยุดการทำงาน 2 วินาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ส่วนประกอบของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO



รูปที่ 4.9 ส่วนประกอบของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

#### 4.6 บทสรุป

ตามที่ได้นำเสนอรายละเอียดของการออกแบบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับมาตรฐาน CHAdeMO การออกแบบวงจรจะใช้หลักการและทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 3 รวมถึงผลที่ได้จากการจำลองในบทที่ 4 จะถูกนำมาคำนวณค่าพิกัดของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ โดยผลการทดสอบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้ารองรับมาตรฐาน CHAdeMO จะถูกนำเสนอในบทต่อไป

## บทที่ 5

# ผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับ ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

### 5.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ ประกอบไปด้วยรายละเอียดเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO รายละเอียดเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO ผลทดสอบการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO ผลทดสอบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO และ ผลทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

### 5.2 รายละเอียดเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO

สำหรับเครื่องอัดประจุที่ใช้โดยทั่วไปนั้นในช่วงการอัดประจุ SOC ที่ 20-80 % จะใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที ในการอัดประจุแต่ละครั้งซึ่งมาตรฐานของเครื่องอัดประจุ Quick Charger จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 30 นาทีสำหรับการทดสอบกับยานพาหนะจริง คือ NISSAN LEAF ขนาดแบตเตอรี่ 24 kWh จะใช้เวลาในการอัดประจุเฉลี่ยที่ 22 นาทีที่ SOC 80 % เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปแสดงดังรูปที่ 5.1 และรายละเอียดของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปแสดงดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไป (Technical Specification)

	TQVC500M2	TQVC200M1
Charge Output Voltage	50VDC to 500VDC	
Charge Output Current	0 to 125A	0 to 62A
Charge Output Power	50kW	20kW
User Interface	Interface to Vehicle, serial 1 ch Remote control port: serial 1ch LAN I/F (option)	
Electrical Input Requirements	AC200V±30V Three-phase 50/60Hz	
Operation Temperature	-10 to +40°C	
Operation Humidity	30 to 90% non-condensing	
Model Dimension	1000mm(W) × 600mm(D) × 1900mm(H)	600mm(W) × 600mm(D) × 1600mm(H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 รายละเอียดเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัสส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า อ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

เครื่องอัดประจุที่สร้างขึ้นใหม่นี้ พัฒนาโดยได้ศึกษาโครงสร้างของเครื่องอัดประจุโดยทั่วไป และศึกษาข้อมูลของเกี่ยวกับเงื่อนไขข้อจำกัดของแบตเตอรี่ที่ต้องอัดประจุอยู่ในยานพาหนะรวมถึงต้องสามารถใช้งานได้ด้วยยานพาหนะที่ใช้มาตรฐาน CHAdeMO ในเวอร์ชันที่ได้ระบุไว้ เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัสส์แสดงดังรูปที่ 5.2 และรายละเอียดของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัสส์แสดงดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.2 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัสส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ (Technical Specification)

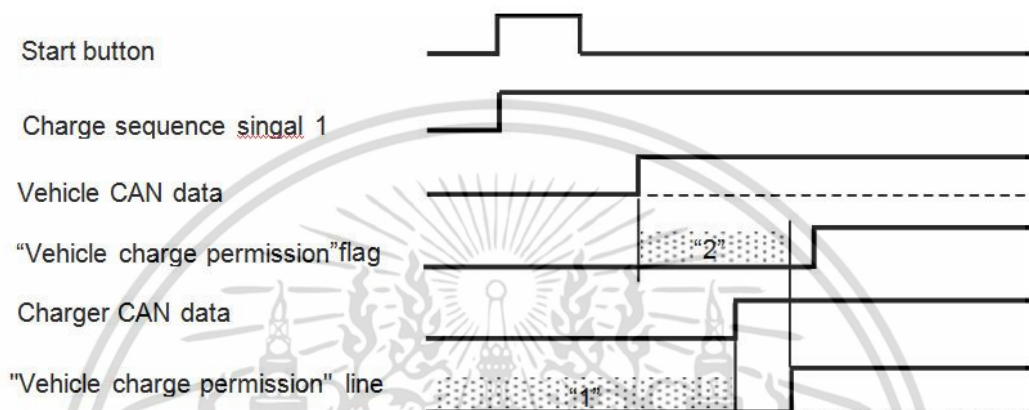
<b>System</b>	Type	Single DC fast-charging station
	Environment	Indoor / outdoor
<b>Input</b>	AC Power Connection	3P+PE
	Input voltage range	400 Vac +/- 10%
	Nominal input voltage	400 Vac
	Nominal input current	70 A
	Nominal input power	50 kVA
	Nominal input frequency	50 Hz
<b>Output for Electric Vehicle</b>	Maximum output power	50 kW
	Maximum output current	120 A
	Output voltage	50-500 V
<b>Output for Electric Bike</b>	Maximum output power	900 w
	Maximum output current	15 A
	Output voltage	10- 60 V
<b>General</b>	DC connection standard	CHAdeMO compliant
	DC cable length	3 m.
	DC plug type	JEVS G105
	RFID system	13.56MHz, ISO 14443A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ผลการทดสอบการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO

1. เริ่มต้นด้วยการกดปุ่มสตาร์ทเพื่ออัดประจุ สัญญาณ Charge Sequence signal 1 จะถูกส่งจากเครื่องอัดประจุไปยังตัวยานพาหนะเมื่อยานพาหนะรับสัญญาณ Charge Sequence signal 1 นี้ ยานพาหนะก็จะเริ่มต้นส่งสัญญาณ CAN ตอบกลับไปที่เครื่องอัดประจุแบบเตอรี

2. มีการสั่งปิดคอนแทค Relay ภายในตัวยานพาหนะ และจะส่งสัญญาณกลับมาในบิตที่เป็น การเชื่อมต่อ Protocol ระหว่างตัวยานพาหนะกับเครื่องอัดประจุแบบเตอรี (Vehicle charge permission) แสดงดังรูปที่ 5.3 พร้อมทั้งล๊อคหัวอัดประจุในขั้นตอนนี้



รูปที่ 5.3 สัญญาณการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO

3. เมื่อยานพาหนะได้สื่อสารข้อมูลกับเครื่องอัดประจุแบบเตอรีผ่านการสื่อสารมาตรฐาน CHAdeMO และตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์และการเข้ากันได้ระหว่างเครื่องอัดประจุแบบเตอรีและยานพาหนะเรียบร้อยแล้ว ยานพาหนะจะ Enabled บิตที่เรียกว่า Vehicle charging enabled โดยจะส่งสัญญาณกลับไปที่เครื่องอัดประจุแบบเตอรีและจะรอสัญญาณ Charge Sequence signal 2 ที่มาจากเครื่องอัดประจุแบบเตอรีอีกครั้งเพื่อรอการตรวจสอบสถานะความพร้อมฝั่งเครื่องอัดประจุแบบเตอรี

4. เมื่อยานพาหนะมีสถานะพร้อมที่จะอัดประจุแบบเตอรียานพาหนะก็จะเซตบิต Vehicle status และจะส่งสถานะไปแจ้งเครื่องอัดประจุแบบเตอรีเพื่อจะเริ่มกระบวนการอัดประจุ โดยเครื่องอัดประจุแบบเตอรีเองจะสามารถเริ่มทำงาน และจะทำการส่งข้อมูลเป็นสถานะของเครื่องอัดประจุแบบเตอรีออกไปแจ้ง โดยจะส่งจากบิตของ Charging stop control และ Charger status เพื่อบ่งบอกว่าเครื่องอัดประจุแบบเตอรีเริ่มจ่ายกระแสเพื่ออัดประจุแบบเตอรีได้ทันที

5. ในขณะที่หยุดการอัดประจุ จะมีอยู่ 2 กรณี

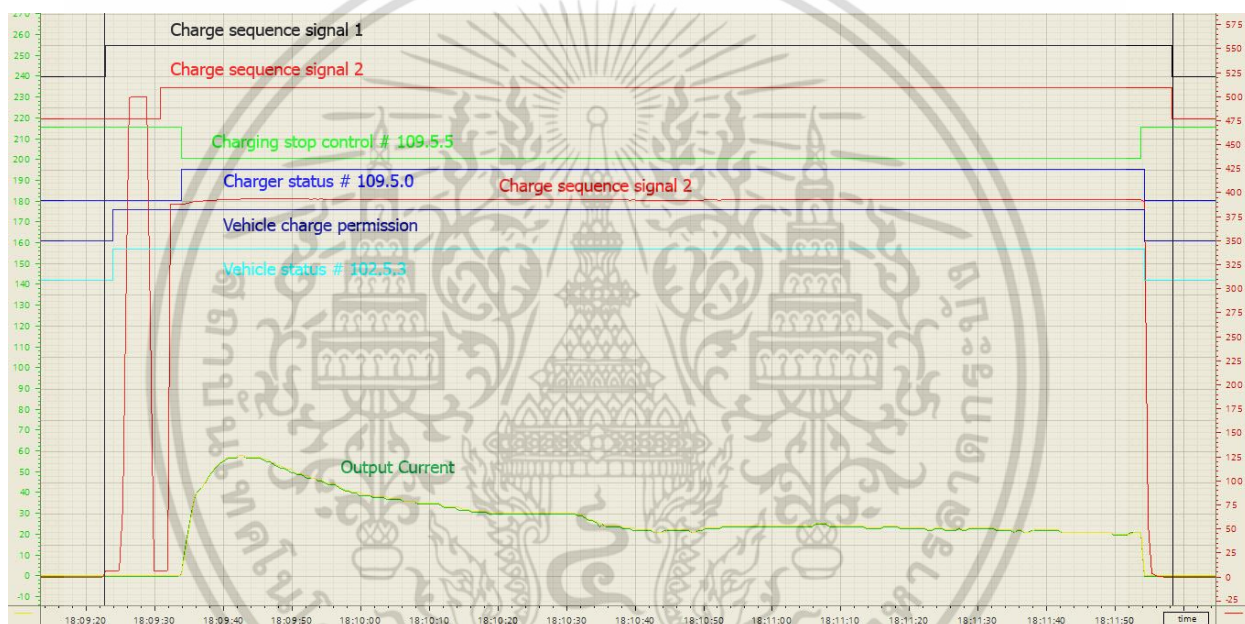
- ถ้ามีการสั่งตัดจากเครื่องอัดประจุแบบเตอรีบิต Charging stop control จะหยุดทำงานก่อน แล้วบิต ของ Vehicle charging enabled จึงจะหยุดตาม
- ถ้ามีการสั่งตัดจากยานพาหนะในกรณีที่แบบเตอรีเต็มหรือยานพาหนะมีปัญหาที่จะส่งบิต ของ Vehicle charging enabled จะหยุดทำงานก่อน แล้วบิต Charging stop control จึงจะหยุดตาม เพื่อเป็นการสั่งตัดตัวเครื่องอัดประจุ

6. หลังจากบิตของ Charging stop control และ Vehicle charging enabled ตัดการทำงานแล้วจึงตัดการเชื่อมต่อที่ตัว Contactor ภายในยานพาหนะเพื่อป้องกันความเสียหายของหน้าคอนแทคจะต้องรอกกระแสให้ต่ำกว่า 5 A และจะส่งบิต Vehicle charge permission กลับมาที่เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

7. เมื่อกระแสหยุดไหล เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จะส่งปลดล๊อคหัวอัดประจุทันที

8. เครื่องอัดประจุจะสั่งหยุดการทำงานโดยส่งบิตที่เรียกว่า Charger status ไปที่ยานพาหนะและการทำงานก็เช่นเดียวกันยานพาหนะก็จะหยุดบิตที่เรียกว่า Vehicle status

9. เมื่อสถานะยานพาหนะและเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่หยุดทำงานแล้ว เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ก็จะตัดสัญญาณของ Charge Sequence signal 2 และ Charge Sequence signal 1 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การทำงานของสัญญาณต่างๆ ตามมาตรฐาน CHAdeMO

1. Charge Sequence signal 1 : เป็นสัญญาณแรกที่เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ส่งให้ยานพาหนะโดยจะเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2. Charge Sequence signal 2 : เป็นสัญญาณยืนยันอีกครั้งที่เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ส่งให้ยานพาหนะหลังจากที่ยานพาหนะมีเชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ได้แล้ว

3. Charging stop control : เป็นการสื่อสารที่บอกสถานะของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (ทำงาน , หยุด)

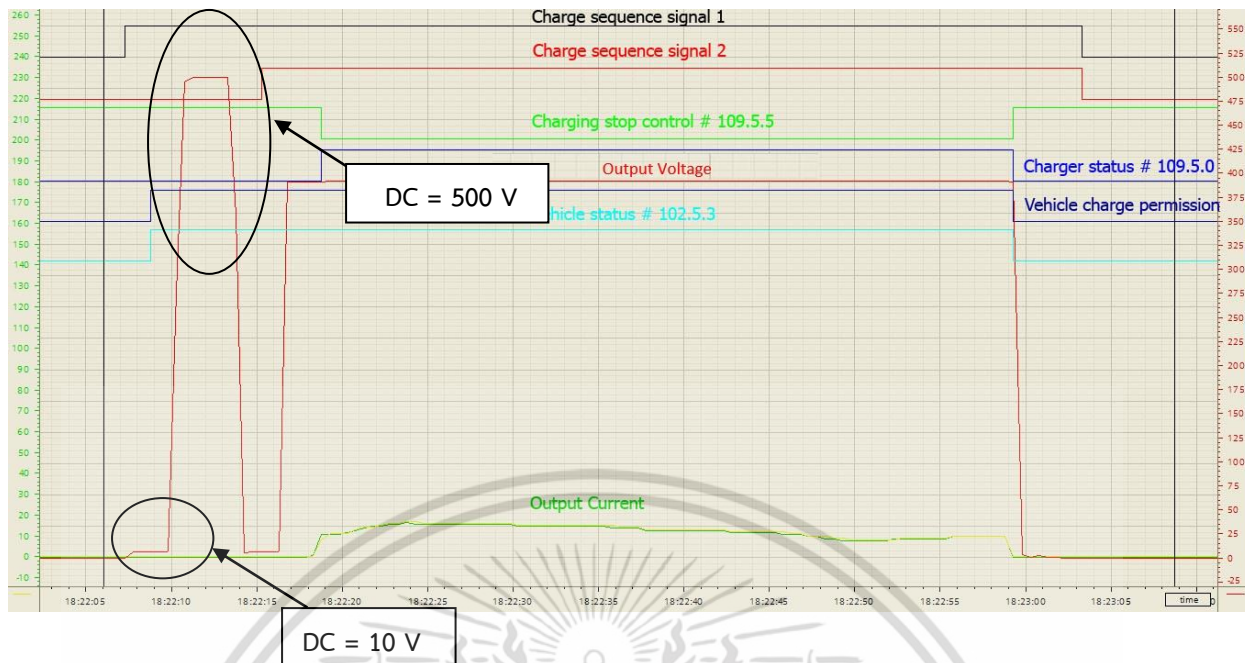
4. Charger status : เป็นการสื่อสารที่บอกสถานะของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (พร้อม , ไม่พร้อม)

5. Vehicle charge permission : เป็นสัญญาณบ่งบอกสถานะ Relay ภายในตัวยานพาหนะ

6. Vehicle charging enabled : เป็นการสื่อสารที่บอกถึงสถานะการเชื่อมต่อการสื่อสาร

7. Vehicle status : เป็นการสื่อสารที่บอกสถานะของยานพาหนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการทดสอบฉนวนก่อนการอัดประจุ

ก่อนการอัดประจุแบตเตอรี่ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าทุกครั้งจะต้องมีการทดสอบระบบ ขั้นตอนแรกจะต้องมีการจ่ายแรงดันกระแสตรงเท่ากับ 10 V ก่อนจะจ่ายแรงดันกระแสตรง 500 V แสดงดังรูปที่ 5.5 เพื่อตรวจสอบหน้าคอนแทคของยานพาหนะซึ่งต้องเปิดอยู่ เพราะถ้าหน้าคอนแทคปิดอยู่อาจจะส่งผลต่อแบตเตอรี่ได้ในขณะที่มีการทดสอบความเป็นฉนวน

- ถ้าหน้าคอนแทคเปิดอยู่กระแสจะไม่เกิน 10 V เข้าสู่ขั้นตอนต่อไป
- ถ้าหน้าคอนแทคปิดอยู่กระแสจะเกิน 10 V เครื่องอัดประจุจะสั่งตัดการทำงานทันที

เมื่อทดสอบตำแหน่งของหน้าคอนแทคเรียบร้อยแล้ว จะมีการทดสอบความเป็นฉนวนสำหรับวงจร โดยเครื่องอัดประจุจะจ่ายแรงดันกระแสตรงเท่ากับ 500 V ไปในยานพาหนะทุกครั้งก่อนเริ่มทำการอัดประจุแบตเตอรี่ยานพาหนะ

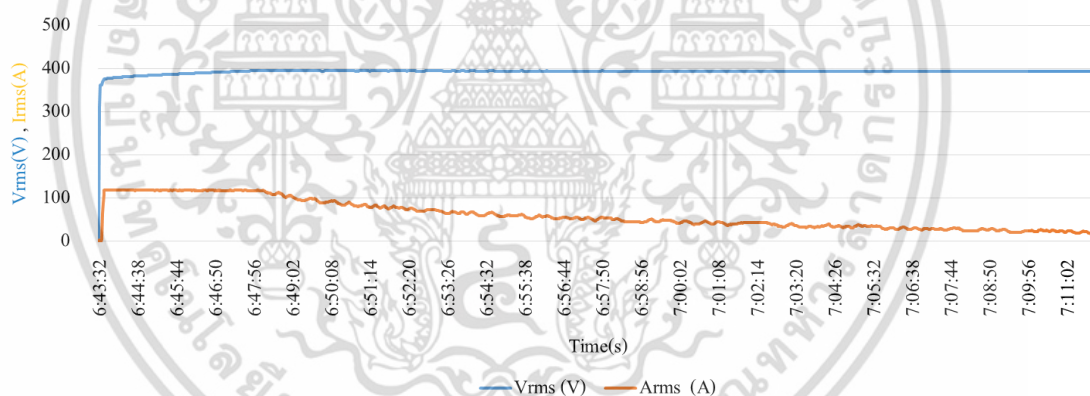
- Ground fault และ Short circuit ภายในเครื่องอัดประจุหรือสายไฟ
- หน้าคอนแทคของยานพาหนะจะต้องปิดหลังจากมีการทดสอบ

ความต้านทานระหว่างขั้วบวกและขั้วลบจะต้องมีค่ามากกว่า 100 kOhm เพื่อป้องกันการ Short circuit ภายในวงจรและ ถ้ามีค่าความต้านทานต่ำกว่า 100 kOhm เครื่องอัดประจุจะไม่ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ยานพาหนะ

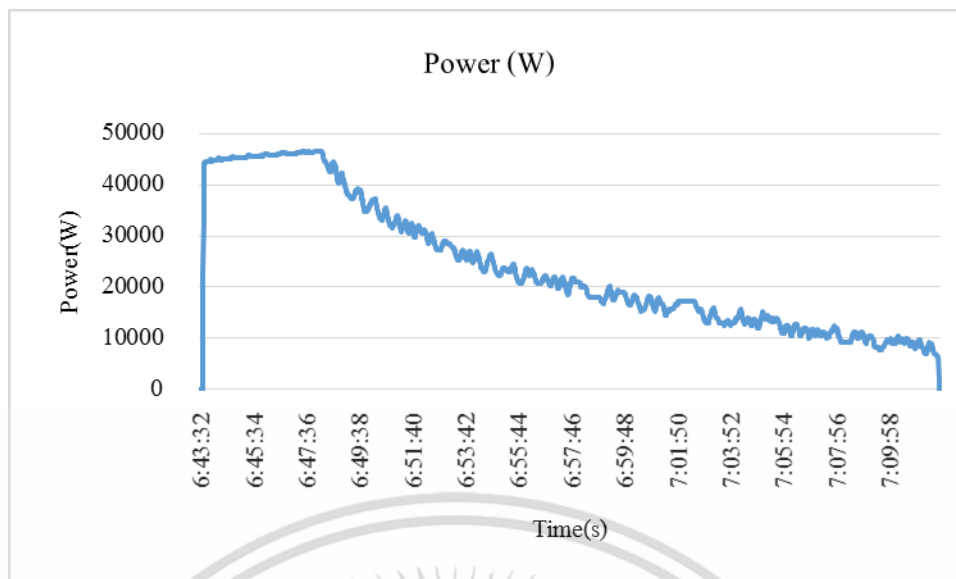
## 5.5 ผลการทดสอบเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปรองรับมาตรฐาน CHAdeMO

ระบบการอัดประจุแบตเตอรี่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO ของเครื่องอัดประจุทั่วไปจะต้องได้รับค่าแรงดันและกระแสที่ยานพาหนะต้องการส่งผ่านทาง การสื่อสาร เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดประจุให้จ่ายกระแสตามที่ยานพาหนะต้องการโดยจากรูปจะ มีการอัดประจุแบบ Constant Current ที่ กระแส 120 A แรงดัน 380 V ในชั่วแรก และจะลดกระแสลงในช่วงที่แบตเตอรี่มีค่าแรงดันและค่า % SOC สูงขึ้น ทั้งนี้ยานพาหนะจะทำการคำนวณค่ากระแสที่ต้องการจากค่าแรงดัน, อุณหภูมิ, %SOC และค่าอื่นๆเพื่อควบคุมการอัดประจุและสภาพให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยืนยาวที่สุด และมีการตัดการทำงานในทันทีที่ผิดปกติผ่านการสื่อสาร ในยานพาหนะโดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้บริการเครื่อง Quick Charger ในย่าน % SOC ไม่เกิน 80% และในยานพาหนะก็จะมีระบบเตือนแบตเตอรี่หมดที่ 20% ดังนั้นการอัดประจุที่ใช้กันจึงอยู่ที่ %SOC ที่ 20-80 %

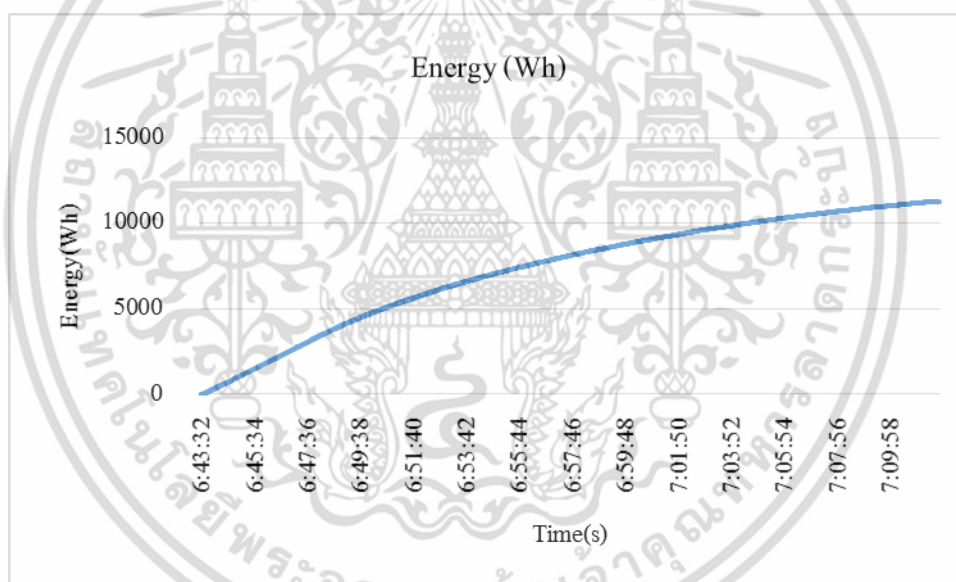
ในการอัดประจุแบตเตอรี่ในโหมดแบบอัดประจุทั่วไป (Standard) ที่ SOC 20-80% แต่ครั้ง สำหรับรถ NISSAN LEAF ใช้เวลา 22 นาที ใช้ไฟฟ้าไปประมาณ 10 kWh เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายคิดที่หน่วยละ 5 บาท จะมีค่าใช้จ่ายต่อครั้งอยู่ที่ 50 บาทและจากการทดสอบจะวิ่งได้ระยะทาง 110 km ผลการทดสอบแรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5.6 กำลังไฟฟ้การอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5.7 และพลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.6 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 5.7 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่



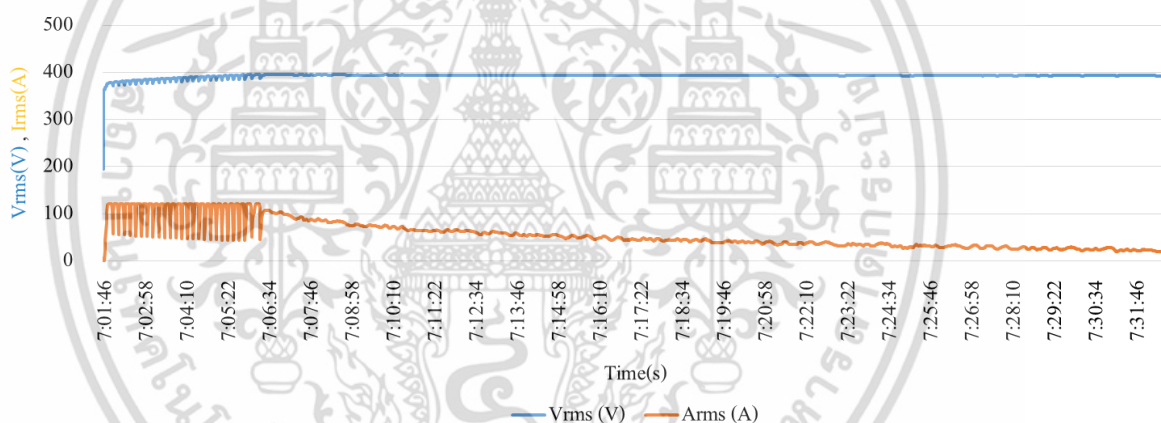
รูปที่ 5.8 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

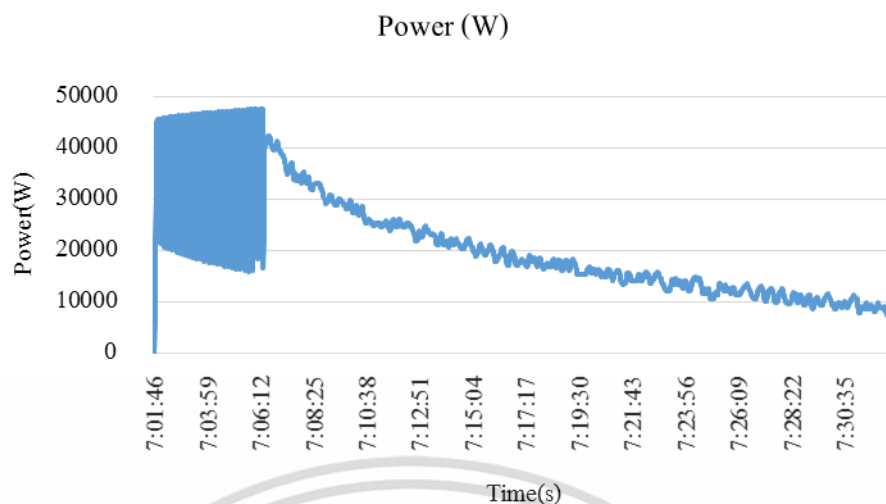
## 5.6 ผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า อ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO

สำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ออกแบบในครั้งนี้ได้ออกแบบให้สามารถอัดประจุได้สองชนิดของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าคือ สามารถอัดประจุได้กับรถจักรยานไฟฟ้าที่มีหัวอัดประจุแยกต่างหากและสามารถอัดประจุได้กับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย และนอกจากนี้ในโหมดการใช้งานกับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะออกแบบให้มีการอัดประจุที่เร็วเป็นพิเศษให้สามารถอัดประจุได้เร็วยิ่งขึ้นกว่าเครื่องอัดประจุโดยทั่วไป โดยได้สร้างเครื่องให้สามารถอัดประจุด้วยกระแสไม่คงที่มีการอัดประจุและจะหยุดอัดประจุชั่วคราวเพื่อให้สามารถจ่ายกระแสในการอัดประจุได้มากขึ้นเล็กน้อยจากค่าที่รถต้องการโดยที่ไม่ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับยานพาหนะและยังคงสามารถสื่อสารกันได้เป็นอย่างดี

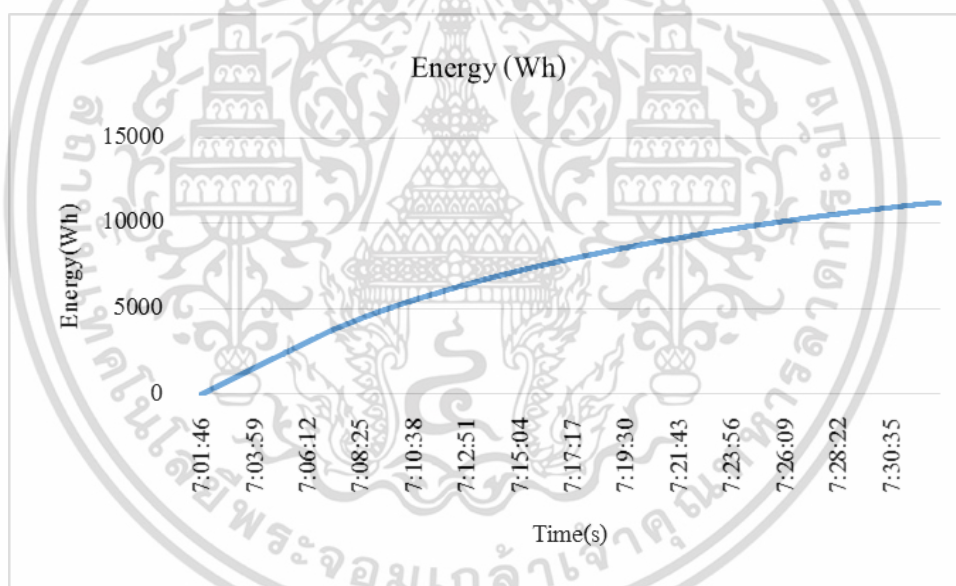
เครื่องอัดประจุที่สร้างขึ้นมานี้สามารถเลือกโหมดการอัดประจุได้ทั้งแบบอัดประจุทั่วไป (Standard) และโหมดการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่ ใช้เวลา 30 นาทีใช้ไฟฟ้าไปประมาณ 10 kWh ผลการทดสอบแรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่แสดงดังรูปที่ 5.9 กำลังไฟฟ้การอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่แสดงดังรูปที่ 5.10 และพลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่แสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.9 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสคงที่



รูปที่ 5.10 กำลังไฟฟ้การอดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสที่

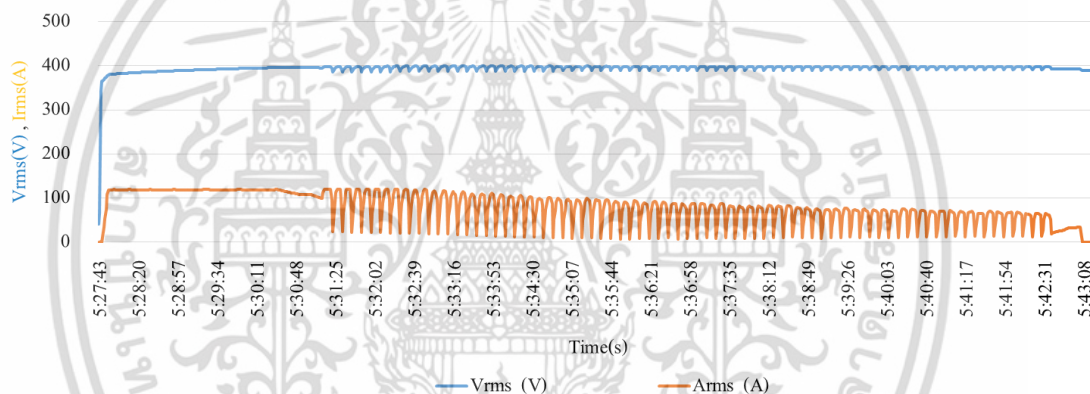


รูปที่ 5.11 พลังงานไฟฟ้การอดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงกระแสที่

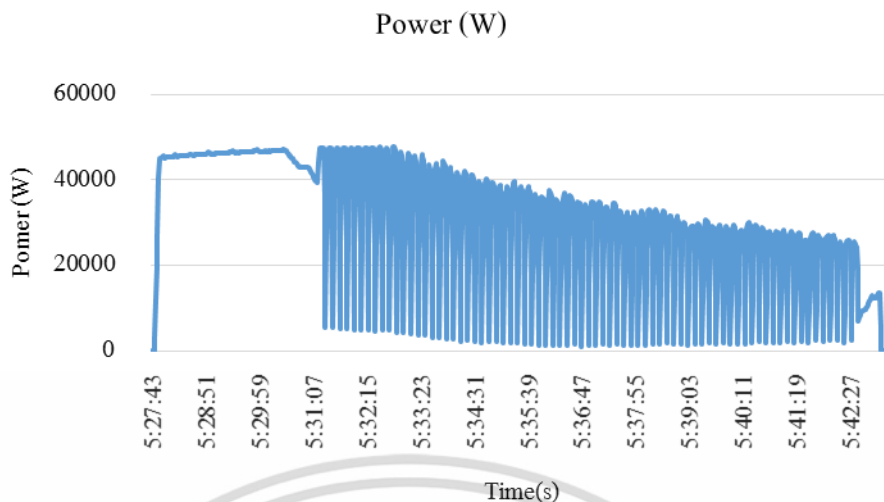
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ออกแบบในครั้งนี้ได้ออกแบบให้สามารถอัดประจุได้สองชนิดของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าคือสามารถอัดประจุได้กับรถจักรยานไฟฟ้าที่มีหัวอัดประจุแยกต่างหาก และสามารถอัดประจุได้กับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย และนอกจากนี้ในโหมดการใช้งานกับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าจะออกแบบให้มีการอัดประจุที่เร็วเป็นพิเศษให้สามารถอัดประจุได้เร็วยิ่งขึ้นกว่าเครื่องอัดประจุโดยทั่วไป โดยได้สร้างเครื่องให้สามารถอัดประจุด้วยกระแสไม่คงที่มีการอัดประจุและจะหยุดอัดประจุชั่วคราวเพื่อให้สามารถจ่ายกระแสในการอัดประจุได้มากขึ้นเล็กน้อยจากค่าที่ยานพาหนะต้องการโดยที่ไม่ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับยานพาหนะและยังคงสามารถสื่อสารกันได้ดีเป็นอย่างดี

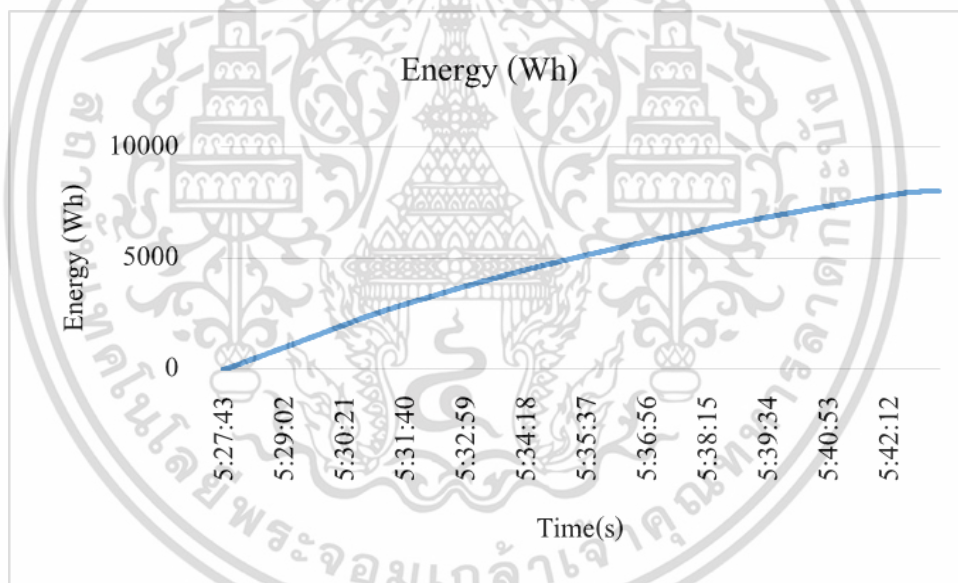
เครื่องอัดประจุที่สร้างขึ้นมานี้สามารถเลือกโหมดการอัดประจุได้ทั้งแบบอัดประจุทั่วไป (Standard) และโหมดการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่ ใช้เวลา 15.8 นาทีใช้ไฟฟ้าไปประมาณ 9.3 kWh ผลการทดสอบแรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่แสดงดังรูปที่ 5.12 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่แสดงดังรูปที่ 5.13 และพลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่แสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.12 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงแรงดันคงที่



รูปที่ 5.13 กำลังไฟฟ้การอัดประจุแบตเตอรี่แบบพ้ลส์ช่วงแรงดันคงที่



รูปที่ 5.14 พลังงานไฟฟ้การอัดประจุแบตเตอรี่แบบพ้ลส์ช่วงแรงดันคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.7 บทสรุป

ตามที่ได้นำเสนอผลการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องในการอัดประจุแบตเตอรี่ทั้งเรื่อง แรงดัน กระแส และอุณหภูมิ ในส่วนของการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์นี้จะมีปัจจัยอื่นเพิ่มขึ้นมาอีก คือ ความถี่ และคาบเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ ในบทนี้จึงเป็นการทดสอบเพื่อหาปัจจัยและองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายหรือเสื่อมสภาพแต่อย่างใด จะเห็นได้ว่าการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ช่วงช่วงแรงดันคงที่ใช้เวลา 15.8 นาทีใช้ไฟฟ้าไปประมาณ 9.3 kWh



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

#### 6.1 บทสรุป

จากผลการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบพาสส์สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า อ้างอิงตามมาตรฐาน CHAdeMO ที่ต้องการระยะเวลาในการอัดประจุที่รวดเร็ว เมื่อทำการเปรียบเทียบจากผลการทดลองระหว่างการอัดประจุแบบทั่วไปแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสการอัดประจุกับการอัดประจุแบบพาสส์ สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า พบว่าเทคนิคการอัดประจุแบบพาสส์ สามารถช่วยลดระยะเวลาการอัดประจุลงได้จากเดิม 22 นาทีเหลือเพียง 15 นาที และไม่ทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่าที่กำหนดของยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ จะเห็นได้ว่าการอัดประจุแบบพาสส์เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการความเร่งรีบในการใช้งาน เช่น ในช่วงเช้าและเย็นที่มีความต้องการในการใช้บริการเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังสามารถทำให้เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นสื่อกลางในการจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้า โดยสามารถควบคุมแรงดันและความถี่ด้านเอาท์พุท

#### 6.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดงานวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรเสนอแนะและข้อควรระวังดังต่อไปนี้

1. ระบบระบายความร้อนต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้กระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ที่สูง หากระบบระบายความร้อนทำงานไม่ดี จะทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้
2. ควรระมัดระวังในขณะที่ทำการคายประจุแบตเตอรี่ อย่าให้แบตเตอรี่คายประจุมากเกินไป เพราะจะทำให้แบตเตอรี่ตาย หรือเสื่อมสภาพ

#### 6.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ได้ดังนี้

1. การทำงานในโหมดจ่ายพลังงานคืนกลับอย่างอิสระ สามารถออกแบบให้จ่ายพลังงานคืนกลับสู่ระบบได้
2. ระบบบริหารจัดการสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า สามารถใช้ร่วมกันหลายๆสถานีได้

## บรรณานุกรม

- [1] Zhipeng Liu, Fushuan Wen, and Gerard Ledwich, “Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 1, pp 102 – 110, January 2013.
- [2] T. J. Liang, T. Wen, K. C. Tseng, and J. E. Chen, “Implementation of a Regenerative Pulse Charger Using Hybrid Buck-Boost Converter,” IEEE Power Electronics and Drive Systems, 2001, pp 437 – 442.
- [3] Chih-Chiang Hua, Ching-Hsiang Hsu, “Implementation of a Regenerative Pulse and Equalization Battery Charger Using a DSP,” IEEE Power Electronics and Drive Systems, 2005, pp 955 -959.
- [4] K. C. Tseng, T. J. Liang, J. E. Chen, and M. T. Chang, “High Frequency Positive/Negative Pulse Charger with Power Factor Correction,” IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2002, pp 671 – 675.
- [5] Liang-Rui Chen, “A Design of an Optimal Battery Pulse Charge System by Frequency-Variied Technique,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54 no. 1, pp 398 -405, February 2007.
- [6] Liang-Rui Chen, “Design of Duty-Variied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56 no. 2, pp 480 -487, February 2009.
- [7] Hussein, H.A.-H., Batarseh, I. “A Review of Charging Algorithms for Nickel and Lithium Battery Chargers” , IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60 no. 3, March 2011, pp 1 – 6.
- [8] O. Veneri, L. Ferraro, C. Capasso, D. Iannuzzi, “Charging Infrastructures for EV: Overview of Technologies and Issues,” IEEE Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion, 2012, pp 1 – 6.
- [9] [www.chademo.com](http://www.chademo.com)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:27:43	41.1	0	0	0
5:27:44	64.4	0	0	0
5:27:45	343.5	1.2	195.4474	0.054291
5:27:46	365.1	0	0	0.054291
5:27:47	366.1	12.2	3273.29	0.854956
5:27:48	368.9	33.8	12213.25	4.247525
5:27:49	371.4	53.6	19754.2	9.734803
5:27:50	373.8	73.3	27281.31	17.31294
5:27:51	378	108	40597.97	28.59016
5:27:52	379.7	118.6	44982.44	41.08528
5:27:53	380	118.5	45015.09	53.58947
5:27:54	380.3	118.7	45104.46	66.11849
5:27:55	380.5	118.6	45084.99	78.6421
5:27:56	380.8	119	45297.07	91.22462
5:27:57	381.1	119.6	45532.24	103.8725
5:27:58	381.3	119.3	45449.39	116.4973
5:27:59	381.4	118.8	45274.46	129.0735
5:28:00	381.6	118.6	45204.09	141.6302
5:28:01	381.8	118.6	45246.82	154.1988
5:28:02	381.9	118.7	45293.67	166.7804
5:28:03	382.1	118.6	45268.07	179.3548
5:28:04	382.3	118.6	45294.5	191.9366
5:28:05	382.4	118.6	45313.55	204.5237
5:28:06	382.6	118.6	45328.9	217.1151
5:28:07	382.8	118.6	45351.71	229.7128
5:28:08	382.9	118.8	45467.08	242.3425
5:28:09	383.1	118.6	45379.95	254.9481
5:28:10	383.2	118.7	45440.17	267.5703
5:28:11	383.4	119.1	45629.82	280.2453
5:28:12	383.6	119.5	45817.98	292.9725
5:28:13	383.7	119.2	45715.5	305.6713
5:28:14	383.8	118.7	45527.54	318.3178
5:28:15	384	118.7	45530.57	330.9652
5:28:16	384.1	118.6	45507.5	343.6061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:28:17	384.2	118.6	45540.9	356.2564
5:28:18	384.4	118.7	45575.96	368.9164
5:28:19	384.5	118.6	45548.89	381.5689
5:28:20	384.6	118.5	45559.87	394.2244
5:28:21	384.8	118.5	45572.64	406.8834
5:28:22	384.9	118.5	45592.5	419.548
5:28:23	385	118.6	45610.61	432.2176
5:28:24	385.1	118.6	45654.04	444.8993
5:28:25	385.3	118.6	45656.64	457.5817
5:28:26	385.4	118.6	45689.71	470.2733
5:28:27	385.5	118.6	45679.07	482.9619
5:28:28	385.6	118.5	45680.11	495.6509
5:28:29	385.8	118.7	45758.41	508.3615
5:28:30	385.9	119	45894.89	521.1101
5:28:31	386.1	119.5	46102.14	533.9163
5:28:32	386.2	119.4	46092.31	546.7197
5:28:33	386.3	119	45925.07	559.4766
5:28:34	386.4	118.7	45833.02	572.208
5:28:35	386.5	118.6	45794.14	584.9286
5:28:36	386.6	118.5	45790.75	597.6483
5:28:37	386.7	118.8	45901.65	610.3987
5:28:38	386.8	118.7	45866.11	623.1393
5:28:39	386.9	118.6	45845.3	635.8741
5:28:40	387	118.7	45884.48	648.6198
5:28:41	387.1	118.5	45849.58	661.3558
5:28:42	387.2	118.6	45881.02	674.1005
5:28:43	387.3	118.6	45890.61	686.8479
5:28:44	387.4	118.6	45897.98	699.5974
5:28:45	387.5	118.6	45913.7	712.3512
5:28:46	387.6	118.7	45971.54	725.121
5:28:47	387.7	118.7	45971.54	737.8909
5:28:48	387.8	118.5	45939.79	750.652
5:28:49	387.9	118.6	45954.43	763.4171
5:28:50	388	118.6	45966.48	776.1856

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:28:51	388.1	118.6	45986.11	788.9595
5:28:52	388.2	118.7	46036.02	801.7473
5:28:53	388.4	119.4	46348.66	814.6219
5:28:54	388.5	119.6	46419.97	827.5163
5:28:55	388.6	119.4	46345.96	840.3902
5:28:56	388.7	119	46212.11	853.2269
5:28:57	388.8	118.9	46192.05	866.058
5:28:58	388.8	118.6	46085.17	878.8595
5:28:59	388.9	118.6	46067.91	891.6561
5:29:00	389	118.6	46086.16	904.4578
5:29:01	389.1	118.5	46089.61	917.2605
5:29:02	389.2	118.5	46087.55	930.0626
5:29:03	389.3	118.8	46193.32	942.8941
5:29:04	389.4	118.6	46159.2	955.7161
5:29:05	389.5	118.8	46216.64	968.554
5:29:06	389.5	118.5	46139.71	981.3706
5:29:07	389.6	118.6	46161.5	994.1932
5:29:08	389.7	118.5	46146.68	1007.012
5:29:09	389.8	118.6	46183.25	1019.84
5:29:10	389.9	118.6	46190.36	1032.671
5:29:11	390	118.5	46183.61	1045.5
5:29:12	390.1	118.5	46204.5	1058.334
5:29:13	390.2	118.5	46211.77	1071.171
5:29:14	390.2	118.6	46236.12	1084.014
5:29:15	390.3	118.7	46294.2	1096.874
5:29:16	390.4	118.8	46341.02	1109.746
5:29:17	390.5	118.5	46249.82	1122.594
5:29:18	390.6	118.6	46268.36	1135.446
5:29:19	390.7	118.5	46275.12	1148.3
5:29:20	390.8	118.8	46388.7	1161.186
5:29:21	390.9	119.2	46556.24	1174.118
5:29:22	391	119.5	46698.7	1187.09
5:29:23	391.1	119.5	46688.91	1200.059
5:29:24	391.2	119.5	46696.32	1213.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:29:25	391.3	119.5	46727.88	1226.01
5:29:26	391.3	119.2	46603.97	1238.956
5:29:27	391.4	119.2	46624.48	1251.907
5:29:28	391.5	118.7	46438.32	1264.807
5:29:29	391.5	118.6	46406.05	1277.697
5:29:30	391.6	118.6	46415.43	1290.59
5:29:31	391.7	118.5	46392.68	1303.477
5:29:32	391.7	118.5	46377.93	1316.36
5:29:33	391.8	118.5	46404.19	1329.25
5:29:34	391.9	118.6	46462.46	1342.156
5:29:35	392	118.6	46467.52	1355.064
5:29:36	392.1	118.5	46428.15	1367.961
5:29:37	392.1	118.5	46434.32	1380.859
5:29:38	392.2	118.5	46457.34	1393.764
5:29:39	392.3	118.5	46455.2	1406.668
5:29:40	392.4	118.5	46468.41	1419.576
5:29:41	392.5	118.6	46490.45	1432.49
5:29:42	392.5	118.5	46492.63	1445.405
5:29:43	392.6	118.5	46503.7	1458.322
5:29:44	392.7	118.5	46504.38	1471.24
5:29:45	392.8	118.6	46555.53	1484.172
5:29:46	392.8	118.5	46512.12	1497.092
5:29:47	392.9	118.5	46520.2	1510.015
5:29:48	393	118.5	46534.87	1522.941
5:29:49	393	118.5	46542.91	1535.87
5:29:50	393.1	118.5	46557.59	1548.802
5:29:51	393.2	118.5	46564.7	1561.737
5:29:52	393.3	118.9	46744.8	1574.722
5:29:53	393.4	119.1	46817.46	1587.726
5:29:54	393.5	119.2	46854.75	1600.742
5:29:55	393.6	119.5	46998.07	1613.797
5:29:56	393.7	119.5	47009.83	1626.855
5:29:57	393.7	119.3	46937.83	1639.893
5:29:58	393.8	119	46812.42	1652.897

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:29:59	393.8	118.7	46703.73	1665.87
5:30:00	393.9	118.6	46686.5	1678.838
5:30:01	393.9	118.6	46676.18	1691.804
5:30:02	394	118.5	46661.11	1704.765
5:30:03	394	118.6	46677.21	1717.731
5:30:04	394.1	118.6	46702.68	1730.704
5:30:05	394.2	118.5	46682.54	1743.672
5:30:06	394.3	118.6	46710.08	1756.647
5:30:07	394.3	118.5	46702.5	1769.62
5:30:08	394.4	118.7	46765.03	1782.61
5:30:09	394.5	118.5	46692.07	1795.58
5:30:10	394.5	118.5	46709.07	1808.555
5:30:11	394.6	118.5	46710	1821.53
5:30:12	394.6	118.5	46721.63	1834.508
5:30:13	394.7	118.4	46705.55	1847.482
5:30:14	394.8	118.4	46712.61	1860.457
5:30:15	394.9	118.5	46746.39	1873.442
5:30:16	394.9	118.5	46751.19	1886.429
5:30:17	395	118.5	46755.83	1899.417
5:30:18	395	118.5	46761.58	1912.406
5:30:19	395.1	118.5	46767.43	1925.397
5:30:20	395.2	118.5	46772.36	1938.389
5:30:21	395.2	118.5	46802.85	1951.39
5:30:22	395.3	118.5	46797.98	1964.389
5:30:23	395.3	118.5	46806.3	1977.391
5:30:24	395.4	118.4	46794.23	1990.39
5:30:25	395.5	118.5	46820.68	2003.395
5:30:26	395.6	118.5	46827.43	2016.403
5:30:27	395.6	118.4	46817.55	2029.408
5:30:28	395.7	118.8	46984.27	2042.459
5:30:29	395.8	119.3	47198.29	2055.57
5:30:30	395.9	119.4	47216.59	2068.685
5:30:31	396	119.4	47246.81	2081.81
5:30:32	395.9	118.5	46899.16	2094.837

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:30:33	396	118.4	46865.66	2107.855
5:30:34	395.9	117.7	46554.86	2120.787
5:30:35	395.9	116.8	46196.93	2133.62
5:30:36	395.9	116.5	46104.05	2146.426
5:30:37	395.9	115.6	45711.57	2159.124
5:30:38	395.9	115.4	45631.9	2171.8
5:30:39	395.8	114.6	45319.42	2184.388
5:30:40	395.8	113.9	45036.01	2196.898
5:30:41	395.8	113.6	44923.94	2209.377
5:30:42	395.8	112.9	44645.1	2221.779
5:30:43	395.8	112.6	44522.55	2234.146
5:30:44	395.7	112	44290.39	2246.449
5:30:45	395.7	111.5	44098.86	2258.698
5:30:46	395.7	110.8	43782.35	2270.86
5:30:47	395.7	110.6	43732.61	2283.008
5:30:48	395.6	109.7	43360.86	2295.053
5:30:49	395.6	109.5	43293.81	2307.079
5:30:50	395.6	108.8	42988.68	2319.02
5:30:51	395.6	108.7	42952.82	2330.952
5:30:52	395.6	108.7	42947.98	2342.882
5:30:53	395.6	108.7	42961.29	2354.815
5:30:54	395.7	108.7	42957.58	2366.748
5:30:55	395.7	108.6	42952	2378.679
5:30:56	395.7	108.7	42963.93	2390.613
5:30:57	395.8	108.7	42969.16	2402.549
5:30:58	395.8	108.6	42959.04	2414.482
5:30:59	395.9	108.7	42982.81	2426.422
5:31:00	395.9	108.7	42992.21	2438.364
5:31:01	395.9	108.7	42986.39	2450.305
5:31:02	395.9	108.1	42758.45	2462.182
5:31:03	395.9	107.5	42511.05	2473.991
5:31:04	395.8	106.3	42019.23	2485.663
5:31:05	395.7	105.6	41758.54	2497.263
5:31:06	395.6	104.6	41359.12	2508.751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:31:07	395.5	103.7	40981.08	2520.135
5:31:08	395.4	102.8	40596.36	2531.412
5:31:09	395.3	101.9	40231.25	2542.587
5:31:10	395.3	101.4	40044.82	2553.711
5:31:11	395.2	100.5	39681.31	2564.733
5:31:12	395.2	100.1	39538.64	2575.716
5:31:13	395.1	99.5	39262.25	2586.622
5:31:14	396.7	112.9	44596.36	2599.01
5:31:15	397.6	119.4	47420.38	2612.182
5:31:16	397.7	119.4	47439.43	2625.36
5:31:17	397.8	119.3	47436.3	2638.537
5:31:18	397.9	119.4	47460.43	2651.72
5:31:19	398	119.4	47466.42	2664.905
5:31:20	398	119.4	47476	2678.093
5:31:21	398.1	119.3	47473.77	2691.28
5:31:22	394.9	95.8	35829.55	2701.233
5:31:23	385.7	23.6	5461.922	2702.75
5:31:24	391.4	67.7	26289.92	2710.053
5:31:25	394.1	91.4	35887.09	2720.022
5:31:26	396.7	112.2	44439.32	2732.366
5:31:27	397.8	119.3	47425.64	2745.54
5:31:28	397.9	119.4	47470.1	2758.726
5:31:29	398	119.3	47459.78	2771.909
5:31:30	398.1	119.3	47477.48	2785.097
5:31:31	395.1	96.8	36396.55	2795.207
5:31:32	385.8	23.4	5490.304	2796.732
5:31:33	391.5	67.5	26250.96	2804.024
5:31:34	394.3	91.4	35897.9	2813.996
5:31:35	396.8	112.3	44472.42	2826.35
5:31:36	397.9	119.3	47430.68	2839.525
5:31:37	398	119.3	47460.09	2852.708
5:31:38	398.1	119.3	47473.64	2865.895
5:31:39	398.3	119.3	47492.91	2879.088
5:31:40	395.2	96.4	36144.79	2889.128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:31:41	385.9	22.9	5304.795	2890.601
5:31:42	391.6	66.8	25977.65	2897.817
5:31:43	394.3	90.4	35506.48	2907.68
5:31:44	396.9	111.2	44031.2	2919.911
5:31:45	398	119.3	47448.01	2933.091
5:31:46	398.2	119.3	47473.39	2946.278
5:31:47	398.3	119.3	47493.02	2959.471
5:31:48	398.4	119.4	47520.71	2972.671
5:31:49	395.5	97.3	36734.61	2982.875
5:31:50	386.1	22.7	5337.479	2984.358
5:31:51	391.7	66.9	26020.3	2991.586
5:31:52	394.5	90.4	35527.15	3001.454
5:31:53	397	111	43991.8	3013.674
5:31:54	398.2	119.3	47463.39	3026.858
5:31:55	398.3	119.3	47495.99	3040.052
5:31:56	398.5	119.3	47507.5	3053.248
5:31:57	398.6	119.3	47512.79	3066.446
5:31:58	395.7	97.2	36665.09	3076.631
5:31:59	386.3	21.8	5025.371	3078.027
5:32:00	391.8	65.5	25486.45	3085.107
5:32:01	394.5	88.8	34897.57	3094.8
5:32:02	397	109.3	43286.91	3106.824
5:32:03	398.3	119.1	47418.96	3119.996
5:32:04	398.5	119.3	47523.55	3133.197
5:32:05	398.6	119.3	47522.64	3146.398
5:32:06	398.7	119.3	47538.72	3159.603
5:32:07	396.1	98.5	37409.9	3169.995
5:32:08	386.5	21.5	5026.252	3171.391
5:32:09	392	65.5	25482.98	3178.47
5:32:10	394.7	88.7	34886.6	3188.16
5:32:11	397.2	109	43194.12	3200.159
5:32:12	398.5	119	47386.91	3213.322
5:32:13	398.7	119.3	47526.64	3226.524
5:32:14	398.8	119.3	47540.76	3239.729

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:32:15	399	119.3	47564.83	3252.942
5:32:16	396.2	98	37157.07	3263.263
5:32:17	386.6	21.2	4912.656	3264.628
5:32:18	392.1	64.8	25225.43	3271.635
5:32:19	394.7	87.6	34456.57	3281.206
5:32:20	397.2	107.7	42702.36	3293.068
5:32:21	398.7	119.1	47462.75	3306.252
5:32:22	398.9	119.3	47552.84	3319.461
5:32:23	399	119.4	47587.57	3332.68
5:32:24	399.2	119.3	47592.07	3345.9
5:32:25	396.7	99.9	38174.25	3356.504
5:32:26	386.9	20.2	4746.738	3357.823
5:32:27	392.3	64.2	24982.2	3364.762
5:32:28	394.9	87	34249.05	3374.276
5:32:29	397.3	106.7	42315.46	3386.03
5:32:30	398.6	116	46206.59	3398.865
5:32:31	399.1	119.3	47571.64	3412.079
5:32:32	399.2	119.4	47613.46	3425.305
5:32:33	399.2	118.4	47251.11	3438.431
5:32:34	396.6	98	37398.75	3448.819
5:32:35	387.1	20.5	4786.642	3450.149
5:32:36	392.4	63.8	24865.23	3457.056
5:32:37	395	86.3	33961.75	3466.49
5:32:38	397.3	105.3	41760.88	3478.09
5:32:39	398.5	113.6	45232.61	3490.655
5:32:40	399.2	119	47473.52	3503.842
5:32:41	399.3	118	47058.27	3516.913
5:32:42	399.1	115.3	45991.14	3529.689
5:32:43	396.8	97.9	37589.14	3540.13
5:32:44	387.3	20.4	4801.539	3541.464
5:32:45	392.6	63.3	24676.64	3548.319
5:32:46	395.1	85.6	33699.3	3557.679
5:32:47	397.5	105.2	41718.85	3569.268
5:32:48	398.9	116.2	46320.17	3582.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:32:49	399.5	119.3	47624.74	3595.364
5:32:50	399.6	119.2	47607.65	3608.588
5:32:51	399.5	117.4	46876.58	3621.609
5:32:52	397	97.6	37389.72	3631.995
5:32:53	387.4	18.8	4321.311	3633.196
5:32:54	392.6	62	24141.71	3639.902
5:32:55	395.1	84.3	33183.57	3649.12
5:32:56	397.5	103.6	41118.73	3660.541
5:32:57	398.7	112.5	44826.68	3672.993
5:32:58	399.3	116.8	46590.71	3685.935
5:32:59	399.2	114.6	45716.38	3698.634
5:33:00	399	111.7	44508.95	3710.998
5:33:01	396.9	95	36559.84	3721.153
5:33:02	387.5	18.4	4205.884	3722.322
5:33:03	392.6	60.9	23707.77	3728.907
5:33:04	395.2	83.1	32717.07	3737.995
5:33:05	397.5	102.2	40543.41	3749.257
5:33:06	398.6	110.6	44050.06	3761.493
5:33:07	399.4	116.1	46333.05	3774.364
5:33:08	399.5	115.7	46197.39	3787.196
5:33:09	399.5	114.5	45706.08	3799.892
5:33:10	397.2	96.1	36937.44	3810.153
5:33:11	387.6	17.8	4062.117	3811.281
5:33:12	392.8	60.4	23541.03	3817.82
5:33:13	395.3	82.5	32484.59	3826.844
5:33:14	397.6	102	40451.55	3838.08
5:33:15	398.9	111.4	44379.85	3850.408
5:33:16	399.3	114.1	45525.13	3863.054
5:33:17	399.1	110.9	44219.1	3875.337
5:33:18	398.8	107.8	42960	3887.27
5:33:19	396.8	92.4	35497.08	3897.131
5:33:20	387.7	17	3790.584	3898.184
5:33:21	392.8	59.5	23182.23	3904.623
5:33:22	395.3	81.6	32122.77	3913.546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:33:23	397.6	100.3	39792.42	3924.6
5:33:24	398.8	109.9	43781.32	3936.761
5:33:25	399.6	115.1	45936.8	3949.521
5:33:26	399.5	113.7	45375.91	3962.126
5:33:27	399.3	111.1	44320.17	3974.437
5:33:28	397.3	94.6	36403.1	3984.549
5:33:29	387.8	16.6	3707.921	3985.579
5:33:30	392.9	59.2	23061.74	3991.985
5:33:31	395.4	81.2	32001.82	4000.874
5:33:32	397.7	100	39703.75	4011.903
5:33:33	398.7	107.7	42906.68	4023.822
5:33:34	399	109.2	43550.89	4035.919
5:33:35	398.8	106	42250.67	4047.655
5:33:36	398.5	103.1	41068.1	4059.063
5:33:37	396.7	88.6	33967.09	4068.498
5:33:38	387.8	14.9	3164.376	4069.377
5:33:39	392.8	57	22175.55	4075.537
5:33:40	395.3	79	31107.41	4084.178
5:33:41	397.5	97.9	38852.61	4094.971
5:33:42	398.7	107	42603.5	4106.805
5:33:43	399.3	110.2	43976.89	4119.021
5:33:44	399.2	108.6	43301.14	4131.049
5:33:45	399.1	106.9	42603.11	4142.883
5:33:46	397.1	91.3	35144.17	4152.645
5:33:47	387.9	14.5	3133.083	4153.516
5:33:48	392.8	56.5	22003.32	4159.628
5:33:49	395.3	78.6	30965.45	4168.229
5:33:50	397.6	97.3	38594.38	4178.95
5:33:51	398.8	106.6	42479.27	4190.75
5:33:52	399.5	111.3	44422.07	4203.089
5:33:53	399.4	109.6	43729.82	4215.236
5:33:54	399.4	108.2	43171.98	4227.228
5:33:55	397.4	92.5	35569.25	4237.109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:33:56	388	13.8	2948.256	4237.928
5:33:57	393	56.1	21855.66	4243.999
5:33:58	395.4	77.8	30657.71	4252.515
5:33:59	397.6	96.6	38344.5	4263.166
5:34:00	398.8	105.2	41902.46	4274.806
5:34:01	399.3	107.9	43041.36	4286.762
5:34:02	399.1	105.8	42193.75	4298.482
5:34:03	398.9	103.6	41285.75	4309.95
5:34:04	397.1	88.5	34104.33	4319.424
5:34:05	388.1	13	2743.381	4320.186
5:34:06	392.9	54.9	21361.21	4326.119
5:34:07	395.4	76.9	30294.44	4334.535
5:34:08	397.6	95.3	37819.32	4345.04
5:34:09	398.7	103.4	41173.21	4356.477
5:34:10	399	104.7	41737.83	4368.071
5:34:11	398.8	102.5	40821.04	4379.41
5:34:12	398.7	100.7	40104.33	4390.55
5:34:13	396.9	86.8	33345.29	4399.813
5:34:14	388	11.3	2290.548	4400.449
5:34:15	392.8	53	20579.47	4406.165
5:34:16	395.3	74.9	29480.05	4414.354
5:34:17	397.5	93.6	37109.04	4424.662
5:34:18	398.7	102.5	40803.93	4435.997
5:34:19	399.2	105.8	42197.97	4447.718
5:34:20	399.1	104.1	41515.98	4459.251
5:34:21	398.9	102	40661.6	4470.546
5:34:22	397.3	88.7	34260.34	4480.062
5:34:23	388.2	11.5	2379.048	4480.723
5:34:24	392.9	52.9	20558.92	4486.434
5:34:25	395.4	75.1	29563.64	4494.646
5:34:26	397.5	93.1	36929.68	4504.904
5:34:27	398.6	101.1	40263.59	4516.089
5:34:28	399	103.4	41203.35	4527.534
5:34:29	399.1	103	41062.62	4538.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:34:30	398.9	100.8	40175.69	4550.1
5:34:31	397.1	86.2	33231.75	4559.331
5:34:32	388.3	11	2249.125	4559.956
5:34:33	392.9	52.1	20242.83	4565.579
5:34:34	395.4	74	29126.99	4573.67
5:34:35	397.4	91.7	36389.86	4583.778
5:34:36	398.4	98.3	39099.55	4594.639
5:34:37	398.6	99.2	39518.66	4605.617
5:34:38	398.6	98	39016.91	4616.455
5:34:39	398.4	95.8	38114.88	4627.042
5:34:40	396.8	83.4	32201.79	4635.987
5:34:41	388.2	9.8	1944.428	4636.527
5:34:42	392.8	50.7	19672.2	4641.992
5:34:43	395.3	72.9	28713.84	4649.968
5:34:44	397.4	91	36110	4659.998
5:34:45	398.5	98.9	39365.78	4670.933
5:34:46	398.9	101.3	40358.55	4682.144
5:34:47	399	101.2	40344.55	4693.351
5:34:48	398.9	99.8	39794.45	4704.405
5:34:49	397.3	86.6	33479.47	4713.705
5:34:50	388.4	10.3	2073.127	4714.28
5:34:51	392.9	50.6	19634.93	4719.735
5:34:52	395.4	72.6	28587.77	4727.676
5:34:53	397.6	91.4	36264.95	4737.749
5:34:54	398.7	99.2	39500.57	4748.722
5:34:55	398.7	98.5	39219.96	4759.616
5:34:56	398.6	96.5	38423.26	4770.289
5:34:57	398.4	94.9	37769.64	4780.781
5:34:58	397.1	83.6	32384.33	4789.776
5:34:59	388.5	10.6	2155.533	4790.375
5:35:00	393	50.4	19571.94	4795.812
5:35:01	395.4	72.2	28443.46	4803.713
5:35:02	397.5	89.9	35676.59	4813.623
5:35:03	398.4	96.7	38482.72	4824.313

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:35:04	398.6	97.1	38660.44	4835.052
5:35:05	398.4	94.7	37686.55	4845.52
5:35:06	398.2	92.3	36730.87	4855.723
5:35:07	396.8	81.1	31388.52	4864.442
5:35:08	388.5	9.1	1765.26	4864.932
5:35:09	392.9	49	18998.27	4870.21
5:35:10	395.4	71.1	27988.46	4877.984
5:35:11	397.4	89.1	35339.55	4887.801
5:35:12	398.4	96.3	38325.78	4898.447
5:35:13	398.6	96.6	38484.98	4909.137
5:35:14	398.4	94.1	37447.3	4919.539
5:35:15	398.3	92.5	36806.94	4929.763
5:35:16	397	81.9	31742.73	4938.581
5:35:17	388.6	9.8	1935.331	4939.118
5:35:18	393	49.3	19132.81	4944.433
5:35:19	395.4	71.2	28018.73	4952.216
5:35:20	397.6	89.9	35645.25	4962.118
5:35:21	398.8	98.7	39316.38	4973.039
5:35:22	399	99.6	39690.02	4984.064
5:35:23	398.9	97.4	38803.67	4994.843
5:35:24	398.7	94.8	37752.85	5005.329
5:35:25	397.3	83.5	32420.81	5014.335
5:35:26	388.7	9.9	1941.074	5014.874
5:35:27	393.1	49.1	19018.69	5020.157
5:35:28	395.5	70.9	27940.86	5027.919
5:35:29	397.6	89.1	35355.96	5037.74
5:35:30	398.6	96.4	38372.18	5048.399
5:35:31	398.7	95.9	38183.24	5059.005
5:35:32	398.6	94.6	37666.8	5069.468
5:35:33	398.6	93.7	37307.72	5079.831
5:35:34	397.2	82.2	31796.85	5088.664
5:35:35	388.7	8.4	1577.293	5089.102
5:35:36	393	47.7	18455.63	5094.229
5:35:37	395.5	69.7	27429.5	5101.848

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:35:38	397.5	86.7	34414.03	5111.407
5:35:39	398.4	94.3	37546.34	5121.837
5:35:40	398.8	96.3	38366.24	5132.494
5:35:41	398.7	95.2	37937.7	5143.032
5:35:42	398.6	93.7	37298.37	5153.393
5:35:43	397.3	82.6	32018.07	5162.287
5:35:44	388.8	8.6	1585.592	5162.727
5:35:45	393	46.8	18057.09	5167.743
5:35:46	395.5	69.1	27216.52	5175.303
5:35:47	397.5	86.7	34415.89	5184.863
5:35:48	398.3	92	36622.55	5195.036
5:35:49	398.3	91.7	36492	5205.173
5:35:50	398.2	90.1	35854.88	5215.133
5:35:51	398.2	89.6	35662.76	5225.039
5:35:52	396.9	79	30521.38	5233.517
5:35:53	388.8	7.3	1317.783	5233.883
5:35:54	392.9	46	17745.49	5238.813
5:35:55	395.4	68.1	26805.66	5246.259
5:35:56	397.4	85.3	33829.97	5255.656
5:35:57	398.1	90.4	35968.89	5265.647
5:35:58	398.2	90.2	35885.73	5275.615
5:35:59	398.1	88.8	35328.8	5285.429
5:36:00	398	87.6	34823.43	5295.102
5:36:01	396.8	77.4	29943.63	5303.42
5:36:02	388.8	7.1	1209.033	5303.756
5:36:03	392.8	44.6	17122.39	5308.512
5:36:04	395.4	67.2	26437.82	5315.856
5:36:05	397.5	85.7	33983.55	5325.296
5:36:06	398.6	93.9	37391.48	5335.682
5:36:07	398.7	94.6	37687.28	5346.151
5:36:08	398.6	92.9	36976	5356.422
5:36:09	398.5	90.9	36192.16	5366.475
5:36:10	397.2	80.3	31187.8	5375.139
5:36:11	389	8.2	1446.552	5375.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:36:12	393	45.3	17409.84	5380.376
5:36:13	395.5	67.5	26552.7	5387.752
5:36:14	397.4	84.2	33402.64	5397.031
5:36:15	398.2	89.4	35572.1	5406.912
5:36:16	398.2	88.8	35313.24	5416.721
5:36:17	398.1	87.2	34687.26	5426.356
5:36:18	398	86	34172.94	5435.849
5:36:19	396.9	77.2	29980.53	5444.177
5:36:20	389	7.7	1278.484	5444.532
5:36:21	392.8	43.9	16763.43	5449.188
5:36:22	395.4	66.5	26163.03	5456.456
5:36:23	397.4	83.3	33020.59	5465.628
5:36:24	398.3	90.2	35901.34	5475.601
5:36:25	398.6	92.5	36856.15	5485.839
5:36:26	398.6	91.8	36541.62	5495.989
5:36:27	398.6	91.1	36295.14	5506.071
5:36:28	397.5	81.1	31516.02	5514.826
5:36:29	389.1	8.3	1397.365	5515.214
5:36:30	393	44	16850.3	5519.894
5:36:31	395.5	66.4	26123.82	5527.151
5:36:32	397.6	84.5	33504.21	5536.458
5:36:33	398.5	91.4	36384.52	5546.565
5:36:34	398.6	90.8	36140.69	5556.604
5:36:35	398.4	88.6	35244.21	5566.394
5:36:36	398.2	86.1	34229.48	5575.902
5:36:37	397.2	77.5	30265.48	5584.309
5:36:38	389.2	9.3	1587.566	5584.75
5:36:39	393	43.6	16615.02	5589.365
5:36:40	395.6	66.3	26088.31	5596.612
5:36:41	397.5	83.2	33019.17	5605.784
5:36:42	398.1	87.5	34784.94	5615.447
5:36:43	398.1	86.6	34453.16	5625.017
5:36:44	398.2	86.5	34419.41	5634.578
5:36:45	398.3	86.5	34424.5	5644.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:32:48	398.9	116.2	46320.18	3582.135
5:36:46	397.1	77.3	29972.91	5652.466
5:36:47	389.1	7.2	1125.194	5652.779
5:36:48	392.9	42.1	16015.72	5657.227
5:36:49	395.5	64.7	25469.21	5664.302
5:36:50	397.4	81.2	32206.53	5673.248
5:36:51	398.1	86.5	34411.2	5682.807
5:36:52	398.1	86.1	34247.07	5692.32
5:36:53	398	84.2	33469.78	5701.617
5:36:54	397.9	82.8	32889.91	5710.753
5:36:55	397	75.5	29423.9	5718.927
5:36:56	389.3	8.4	1358.839	5719.304
5:36:57	392.9	42.2	16016.29	5723.753
5:36:58	395.5	65	25586.84	5730.861
5:36:59	397.5	82	32523.48	5739.895
5:37:00	398.3	87.9	34977.61	5749.611
5:37:01	398.4	87.8	34943.34	5759.317
5:37:02	398.4	87.5	34826.43	5768.991
5:37:03	398.4	86.8	34539.2	5778.586
5:37:04	397.4	78.2	30466	5787.048
5:37:05	389.4	8.7	1414.892	5787.441
5:37:06	393	41.9	15884.53	5791.854
5:37:07	395.6	64.5	25370.16	5798.901
5:37:08	397.6	82.4	32693.71	5807.983
5:37:09	398.3	87.6	34854.81	5817.664
5:37:10	398.4	87.4	34793.47	5827.329
5:37:11	398.4	86.5	34422.91	5836.891
5:37:12	398.3	85.2	33893.52	5846.306
5:37:13	397.4	77.1	30147.6	5854.68
5:37:14	389.5	9.2	1510.017	5855.1
5:37:15	393	41.7	15819.06	5859.494
5:37:16	395.6	64.2	25251.08	5866.508
5:37:17	397.5	80.9	32079.89	5875.419
5:37:18	398.1	84.5	33596.53	5884.752

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:37:19	398.1	84.3	33528.74	5894.065
5:37:20	398.1	83.5	33202.37	5903.288
5:37:21	398	82.6	32826.65	5912.407
5:37:22	397.1	74.3	28932.19	5920.443
5:37:23	389.4	7.8	1205.144	5920.778
5:37:24	392.9	40.4	15231.29	5925.009
5:37:25	395.5	63.1	24805.87	5931.9
5:37:26	397.5	80.7	32027.09	5940.796
5:37:27	398.4	86.9	34569.42	5950.399
5:37:28	398.4	86.5	34439.93	5959.965
5:37:29	398.5	86.5	34429.44	5969.529
5:37:30	398.4	85.3	33941.33	5978.957
5:37:31	397.5	77.4	30332.91	5987.383
5:37:32	389.7	10.2	1673.418	5987.848
5:37:33	393.1	41	15490.52	5992.151
5:37:34	395.6	63.5	24985.79	5999.091
5:37:35	397.5	79.3	31483.37	6007.837
5:37:36	398	82.8	32901.87	6016.976
5:37:37	397.9	81.4	32355.09	6025.964
5:37:38	397.8	79.8	31699.16	6034.769
5:37:39	397.8	79.6	31615.22	6043.551
5:37:40	397.1	73.5	28657.87	6051.511
5:37:41	389.5	8	1205.061	6051.846
5:37:42	392.8	39	14576.19	6055.895
5:37:43	395.5	62	24369.11	6062.664
5:37:44	397.4	78.8	31238.73	6071.342
5:37:45	397.9	81.9	32561.71	6080.387
5:37:46	397.8	80.4	31953.27	6089.263
5:37:47	397.7	78.5	31171.89	6097.921
5:37:48	397.7	78.4	31138.6	6106.571
5:37:49	397	72.4	28252.46	6114.419
5:37:50	389.6	7.9	1180.307	6114.747
5:37:51	392.8	38.8	14488.19	6118.771
5:37:52	395.5	61.7	24255.53	6125.509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:37:53	397.5	78.9	31306.77	6134.205
5:37:54	398	82	32581.95	6143.256
5:37:55	397.9	80.2	31857.42	6152.105
5:37:56	397.7	78.6	31233.85	6160.781
5:37:57	397.8	78.9	31369.76	6169.495
5:37:58	397.2	73.4	28708.98	6177.47
5:37:59	389.7	9.1	1393.43	6177.857
5:38:00	392.8	38.3	14235.8	6181.811
5:38:01	395.5	61.6	24209.01	6188.536
5:38:02	397.4	77.8	30883.65	6197.115
5:38:03	398	82.1	32650.25	6206.184
5:38:04	398	80.7	32067.29	6215.092
5:38:05	397.8	78.4	31151.66	6223.745
5:38:06	397.6	76.6	30442.69	6232.201
5:38:07	397	70.9	27764.91	6239.914
5:38:08	389.7	8.9	1388.212	6240.299
5:38:09	392.9	38.4	14293.5	6244.27
5:38:10	395.6	61.3	24117.34	6250.969
5:38:11	397.4	77.3	30684.25	6259.492
5:38:12	398.1	82.5	32812.82	6268.607
5:38:13	398.3	83	33024.23	6277.78
5:38:14	398.3	82.7	32904.95	6286.921
5:38:15	398.3	82.1	32657.45	6295.992
5:38:16	397.6	75.7	29725.84	6304.249
5:38:17	389.9	10.8	1750.38	6304.736
5:38:18	392.9	38.1	14057.96	6308.641
5:38:19	395.6	61.3	24128.92	6315.343
5:38:20	397.7	79	31357.8	6324.054
5:38:21	398.2	82.9	32989.27	6333.217
5:38:22	398.2	81.5	32415.2	6342.222
5:38:23	398.2	81	32225.06	6351.173
5:38:24	398.2	80.5	32020.17	6360.067
5:38:25	397.5	74.1	29078.61	6368.145
5:38:26	390	10.1	1613.799	6368.593

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:38:27	393	38.1	14140.29	6372.521
5:38:28	395.7	61	24009.79	6379.19
5:38:29	397.6	77.8	30880.76	6387.768
5:38:30	398.2	82.3	32726.54	6396.859
5:38:31	398.3	82.1	32665.04	6405.933
5:38:32	398.3	81.3	32364.9	6414.923
5:38:33	398.2	80.2	31916.47	6423.789
5:38:34	397.5	73.7	28976.31	6431.838
5:38:35	390.1	11.1	1829.21	6432.346
5:38:36	393	37.4	13730.98	6436.16
5:38:37	395.7	60.6	23844.31	6442.783
5:38:38	397.6	76.6	30392.93	6451.226
5:38:39	398	79.5	31590.79	6460.001
5:38:40	398	79.1	31469.1	6468.742
5:38:41	398	77.8	30921.3	6477.332
5:38:42	397.9	76.9	30546.72	6485.817
5:38:43	397.2	70.8	27764.77	6493.529
5:38:44	390.1	9.7	1510.784	6493.949
5:38:45	392.9	36.3	13275.99	6497.637
5:38:46	395.6	59.5	23384.88	6504.133
5:38:47	397.5	75.6	30005.1	6512.467
5:38:48	398	79.1	31431.39	6521.198
5:38:49	397.9	77.7	30871.83	6529.774
5:38:50	397.8	76.1	30222.75	6538.169
5:38:51	397.6	74.1	29432.21	6546.345
5:38:52	397.1	68.8	27063.2	6553.862
5:38:53	390.1	10.4	1669.439	6554.326
5:38:54	392.9	36.3	13240.45	6558.004
5:38:55	395.7	59.7	23493.16	6564.53
5:38:56	397.3	73.7	29245.84	6572.653
5:38:57	397.6	75.5	29996.02	6580.986
5:38:58	397.6	74.9	29755.21	6589.251
5:38:59	397.5	73.4	29126.88	6597.342
5:39:00	397.4	71.8	28483.07	6605.254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:39:01	396.8	66.5	26054.58	6612.491
5:39:02	390	8.7	1323.589	6612.859
5:39:03	392.7	34.8	12606.25	6616.361
5:39:04	395.5	58.2	22875.34	6622.715
5:39:05	397.2	72.4	28721.58	6630.693
5:39:06	397.4	73.5	29181.03	6638.799
5:39:07	397.5	73.5	29183.51	6646.905
5:39:08	397.6	73.8	29292.73	6655.042
5:39:09	397.6	73.7	29282	6663.176
5:39:10	397.1	68.7	26970.9	6670.668
5:39:11	390.2	10	1601.423	6671.113
5:39:12	392.7	34.4	12310.68	6674.533
5:39:13	395.5	58	22806.34	6680.868
5:39:14	397.4	74.2	29443.98	6689.047
5:39:15	397.6	75.2	29881.95	6697.347
5:39:16	397.6	74.4	29532.92	6705.551
5:39:17	397.6	73.3	29090.44	6713.631
5:39:18	397.5	72	28583.75	6721.571
5:39:19	397	67.6	26579.46	6728.954
5:39:20	390.2	9.9	1570.368	6729.391
5:39:21	392.8	34.7	12512.97	6732.866
5:39:22	395.6	58.1	22840.11	6739.211
5:39:23	397.3	73.1	29005.37	6747.268
5:39:24	397.8	76.8	30506.81	6755.742
5:39:25	398	77	30592.24	6764.24
5:39:26	398	76.4	30366.36	6772.675
5:39:27	397.9	75.5	30015.14	6781.013
5:39:28	397.4	70.7	27860.83	6788.752
5:39:29	390.4	11.6	1924.169	6789.286
5:39:30	392.9	34.9	12613.51	6792.79
5:39:31	395.7	58.2	22880.59	6799.146
5:39:32	397.3	71.9	28506.72	6807.064
5:39:33	397.6	73.4	29154.38	6815.163
5:39:34	397.6	72.8	28892.05	6823.188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:39:35	397.5	72	28572.79	6831.125
5:39:36	397.6	71.9	28557.88	6839.058
5:39:37	397.1	68	26671.45	6846.467
5:39:38	390.2	9.4	1476.561	6846.877
5:39:39	392.8	33.8	12085.06	6850.234
5:39:40	395.6	57.2	22477.61	6856.478
5:39:41	397.4	73.1	28980	6864.528
5:39:42	397.7	74.5	29592.92	6872.748
5:39:43	397.7	74	29384.26	6880.91
5:39:44	397.6	71.9	28554.46	6888.842
5:39:45	397.5	70.7	28072.38	6896.64
5:39:46	397	66.6	26227.25	6903.925
5:39:47	390.4	11.2	1840.679	6904.436
5:39:48	392.8	33.8	12116.38	6907.802
5:39:49	395.6	57.3	22512.82	6914.056
5:39:50	397.3	72	28577.23	6921.994
5:39:51	397.6	73.6	29224.81	6930.112
5:39:52	397.6	72.1	28625.98	6938.063
5:39:53	397.5	71.3	28320.13	6945.93
5:39:54	397.5	70.3	27915.68	6953.684
5:39:55	397	66.2	26043.57	6960.919
5:39:56	390.4	10.4	1692.993	6961.389
5:39:57	392.7	32.9	11617.38	6964.616
5:39:58	395.6	56.5	22212.5	6970.786
5:39:59	397.3	71.7	28442.69	6978.687
5:40:00	397.7	74.1	29452.6	6986.868
5:40:01	397.7	72.7	28880.15	6994.891
5:40:02	397.6	71	28209.42	7002.726
5:40:03	397.5	70.1	27820.99	7010.455
5:40:04	396.9	65.3	25724.41	7017.6
5:40:05	390.4	10.3	1669.74	7018.064
5:40:06	392.8	33.4	11913.08	7021.373
5:40:07	395.7	56.8	22333.01	7027.577
5:40:08	397.3	70.7	28060.44	7035.371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:40:09	397.5	71.5	28387.11	7043.257
5:40:10	397.5	70.6	28008.68	7051.037
5:40:11	397.4	69.9	27744.53	7058.744
5:40:12	397.4	69.6	27622.71	7066.417
5:40:13	397.1	66.1	25968.11	7073.63
5:40:14	390.5	9.8	1569.444	7074.066
5:40:15	392.7	31.8	11152	7077.164
5:40:16	395.6	55.8	21919.32	7083.252
5:40:17	397.4	71.8	28470.74	7091.161
5:40:18	397.9	74.8	29725.22	7099.418
5:40:19	398	75.5	30031.58	7107.76
5:40:20	398	74.7	29688.76	7116.007
5:40:21	398	73.9	29369.93	7124.165
5:40:22	397.5	69.5	27408.79	7131.779
5:40:23	390.6	11.5	1927.82	7132.314
5:40:24	392.9	32.5	11444.29	7135.493
5:40:25	395.7	56.1	22068.97	7141.624
5:40:26	397.6	72.2	28661.7	7149.585
5:40:27	397.9	74.5	29595.69	7157.806
5:40:28	398	74.2	29477.22	7165.994
5:40:29	397.9	73.1	29042.96	7174.062
5:40:30	397.9	72.3	28729.34	7182.042
5:40:31	397.5	68.3	26950.18	7189.528
5:40:32	390.8	12.6	2192.629	7190.137
5:40:33	392.8	31.7	10999.31	7193.193
5:40:34	395.7	55.7	21902.18	7199.277
5:40:35	397.4	70.4	27951.69	7207.041
5:40:36	397.8	72.5	28790.14	7215.038
5:40:37	397.8	72.2	28696.29	7223.01
5:40:38	397.8	71.3	28333.62	7230.88
5:40:39	397.7	70.4	27946.31	7238.643
5:40:40	397.3	66.6	26263.08	7245.938
5:40:41	390.8	11.6	1971.717	7246.486
5:40:42	392.9	31.7	11048.22	7249.555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:40:43	395.7	55.4	21768.54	7255.602
5:40:44	397.4	69.6	27602.35	7263.269
5:40:45	397.6	70.6	28023.65	7271.053
5:40:46	397.6	70	27810.18	7278.778
5:40:47	397.6	69.1	27448.57	7286.403
5:40:48	397.5	67.9	26938.78	7293.886
5:40:49	397	63.5	25036.37	7300.84
5:40:50	390.8	11.3	1916.221	7301.373
5:40:51	392.7	30.5	10491.69	7304.287
5:40:52	395.7	54.6	21437.15	7310.242
5:40:53	397.4	69.3	27506.89	7317.883
5:40:54	397.6	70.4	27971.96	7325.653
5:40:55	397.6	69.6	27623.03	7333.326
5:40:56	397.7	69.6	27628.7	7341
5:40:57	397.7	69.5	27612.17	7348.67
5:40:58	397.3	66.1	26048.22	7355.906
5:40:59	390.8	11.5	1954.155	7356.449
5:41:00	392.8	30.8	10671.84	7359.413
5:41:01	395.7	54.6	21438.84	7365.368
5:41:02	397.4	69.2	27440.16	7372.991
5:41:03	397.8	71.4	28356.6	7380.868
5:41:04	397.7	70.1	27833.76	7388.599
5:41:05	397.6	68.5	27205.36	7396.156
5:41:06	397.5	66.9	26573.95	7403.538
5:41:07	397.1	63.3	25044.21	7410.495
5:41:08	391	13.1	2336.285	7411.144
5:41:09	392.8	30.5	10462.31	7414.05
5:41:10	395.7	54.5	21436.03	7420.004
5:41:11	397.2	67.2	26671.86	7427.413
5:41:12	397.6	69.2	27476.05	7435.045
5:41:13	397.7	70.1	27851.29	7442.782
5:41:14	397.7	69.2	27479.38	7450.415
5:41:15	397.7	68.5	27198.93	7457.97
5:41:16	397.2	64.4	25424.69	7465.033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:41:17	391	11.9	2056.497	7465.604
5:41:18	392.8	30.1	10339.7	7468.476
5:41:19	395.7	54	21198.56	7474.365
5:41:20	397.3	67	26560.15	7481.742
5:41:21	397.6	68.5	27207.38	7489.3
5:41:22	397.6	68.7	27297.12	7496.882
5:41:23	397.8	69.5	27602.59	7504.55
5:41:24	397.8	69.2	27474.25	7512.182
5:41:25	397.4	65.6	25938.31	7519.387
5:41:26	391.1	13	2324.766	7520.032
5:41:27	392.8	29.8	10131.15	7522.847
5:41:28	395.8	53.8	21158.23	7528.724
5:41:29	397.1	65.4	25943.02	7535.93
5:41:30	397.3	65.5	25992.85	7543.151
5:41:31	397.3	65.5	25987.99	7550.369
5:41:32	397.3	65.5	25995.01	7557.59
5:41:33	397.4	65.5	26003.87	7564.814
5:41:34	397.2	63.5	25052.87	7571.773
5:41:35	391	11.1	1862.513	7572.29
5:41:36	392.7	28.7	9731.56	7574.993
5:41:37	395.6	52.8	20721.83	7580.749
5:41:38	397.3	67	26566.77	7588.129
5:41:39	397.6	68.7	27300.53	7595.712
5:41:40	397.8	69.5	27612.98	7603.383
5:41:41	397.8	69.4	27558.07	7611.038
5:41:42	397.8	68.4	27183.98	7618.589
5:41:43	397.4	65.3	25825.59	7625.763
5:41:44	391.2	13.6	2431.915	7626.438
5:41:45	392.9	29.7	10140.67	7629.255
5:41:46	395.8	53.5	21007.02	7635.09
5:41:47	397.5	67.6	26824.33	7642.542
5:41:48	397.6	68.3	27143.75	7650.081
5:41:49	397.6	67	26602.09	7657.471
5:41:50	397.5	66	26184.26	7664.744

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:41:51	397.5	65.6	26029.2	7671.975
5:41:51	397.5	65.6	26029.2	7671.975
5:41:52	397.2	63	24891.84	7678.889
5:41:53	391.1	12.5	2187.995	7679.497
5:41:54	392.8	28.5	9583.046	7682.159
5:41:55	395.7	52.4	20601.87	7687.882
5:41:56	397.2	64.9	25743.87	7695.033
5:41:57	397.5	66.8	26533.63	7702.403
5:41:58	397.6	67.4	26762.77	7709.837
5:41:59	397.7	67.5	26798.41	7717.281
5:42:00	397.8	68.2	27096.04	7724.808
5:42:01	397.6	66	26100.86	7732.058
5:42:02	391.3	14	2534.99	7732.762
5:42:03	392.9	29.1	9874.949	7735.505
5:42:04	395.8	52.9	20786.21	7741.279
5:42:05	397.5	67.2	26686.24	7748.692
5:42:06	397.7	68.1	27042.4	7756.204
5:42:07	397.7	67.2	26686.5	7763.617
5:42:08	397.6	66	26206.08	7770.896
5:42:09	397.5	64.4	25576.62	7778.001
5:42:10	397.2	62.1	24584.27	7784.83
5:42:11	391.3	13.8	2505.067	7785.526
5:42:12	392.8	28.2	9419.688	7788.142
5:42:13	395.8	52.5	20606.55	7793.866
5:42:14	397.2	64.4	25551.15	7800.964
5:42:15	397.3	63.9	25357.54	7808.008
5:42:16	397.3	63.3	25127.42	7814.987
5:42:17	397.2	62.5	24812.25	7821.88
5:42:18	397.2	61.9	24547.35	7828.698
5:42:19	397	59.8	23623.48	7835.261
5:42:20	391.2	11.5	1961.101	7835.805
5:42:21	392.7	27.4	9135.539	7838.343
5:42:22	395.7	51.4	20181.12	7843.949
5:42:23	397.2	64.6	25638.4	7851.071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:42:24	397.5	65.5	26004.72	7858.294
5:42:25	397.5	65.5	26004.7	7865.518
5:42:26	397.6	65.4	25963.74	7872.73
5:42:27	397.5	63.9	25370.14	7879.777
5:42:28	397.2	61.1	24152.43	7886.486
5:42:29	391.4	13.2	2375.588	7887.146
5:42:30	392.8	27.4	9109.216	7889.676
5:42:31	395.8	51.8	20323.12	7895.322
5:42:32	397.3	64.3	25491.8	7902.403
5:42:33	397.3	64.2	25476.7	7909.48
5:42:34	397.3	63.1	25019.13	7916.429
5:42:35	397.3	62.2	24655.37	7923.278
5:42:36	397.2	61.3	24303.65	7930.029
5:42:37	395.8	51.4	18913.21	7935.283
5:42:38	392.5	18.1	7001.248	7937.227
5:42:39	392.5	20.1	7779.51	7939.388
5:42:40	392.6	21.6	8381.105	7941.717
5:42:41	392.7	22.9	8909.866	7944.191
5:42:42	392.7	24.1	9384.132	7946.798
5:42:43	392.7	24	9354.872	7949.397
5:42:44	392.6	24	9332.574	7951.989
5:42:45	392.7	25	9732.976	7954.693
5:42:46	392.7	25	9726.767	7957.395
5:42:47	392.6	25.2	9835.246	7960.127
5:42:48	392.7	26	10129.36	7962.94
5:42:49	392.7	26.6	10373.82	7965.822
5:42:50	392.8	27.7	10807.09	7968.824
5:42:51	392.9	28.9	11285.79	7971.959
5:42:52	393	30.2	11789.05	7975.234
5:42:53	393.1	31.2	12187.09	7978.619
5:42:54	393.2	32	12539.65	7982.102
5:42:55	393.3	32.9	12895.77	7985.684
5:42:56	393.3	32.7	12796.99	7989.239
5:42:57	393.2	31.8	12450.44	7992.697

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) บันทึกการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์

เวลา	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
5:42:58	393.2	31.9	12468.15	7996.161
5:42:59	393.1	31.9	12475.67	7999.626
5:43:00	393.1	31.9	12484.03	8003.094
5:43:01	393.2	32.7	12806.31	8006.651
5:43:02	393.3	33.4	13077.93	8010.284
5:43:03	393.4	34.3	13447.55	8014.02
5:43:04	393.4	34.9	13661.04	8017.814
5:43:05	393.5	34.9	13674.42	8021.613
5:43:06	391.2	21.5	5237.489	8023.068
5:43:07	389.6	0	0	8023.068
5:43:08	389.4	0	0	8023.068
5:43:09	389.3	0	0	8023.068
5:43:10	389.3	0	0	8023.068
5:43:11	389.3	0	0	8023.068
5:43:12	389	0	0	8023.068
5:43:13	389	0	0	8023.068
5:43:14	389	0	0	8023.068
5:43:15	389	0	0	8023.068
5:43:16	388.9	0	0	8023.068
5:43:17	388.7	0	0	8023.068
5:43:18	388.6	0	0	8023.068
5:43:19	388.6	0	0	8023.068
5:43:20	358.5	2	59.38222	8023.051
5:43:21	0	3.4	0	8023.051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 35<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-35)



SCHOOL OF  
**ENGINEERING**  
BANGKOK UNIVERSITY

**NECTEC**  
a member of NSTDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

PE023	<b>PIC Based Phase Lock Control System for SVC</b> พินิจ ศรีชร, ชวัช เกิดชื่น และ ภูริศย์ แก่นกลางดอน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	441
PE024	<b>A dc to dc Multilevel Modular Capacitor Clamped Converter with Electrical Grounding Isolation and Bidirectional Power Flow for Multiple dc Load in dc Microgrid Application</b> พงศกร สิ้นทุพัฒน์สุข สุรินทร์คำ ฝอย และ ประภาส ไพรสวรรณา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	445
PE025	<b>Battery Charger for Electric Vehicles supporting to Energy Backup in Smart Grid</b> ปรเมษฐ์ จิตเจนการ สุรินทร์ คำฝอย ประภาส ไพรสวรรณา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	449
PE026	<b>A Multilevel Converter Charger Utilizing Superimposed Pulse Frequency Method for Prolonging Lead-Acid Battery Lifetime</b> ธีชพล จิร โมฬี สุรินทร์ คำฝอย ประภาส ไพรสวรรณา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	453
PE027	<b>การประยุกต์อินเวอร์เตอร์คลาส ดี เรโซแนนซ์เป็นแหล่งจ่ายสำหรับกระบวนการสเป็คเตอร์ริง</b> วรวัช ไชยคุณ และพิสิษฐ์ ลีวัฒนกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	457
PE028	<b>การออกแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง ประสิทธิภาพสูง บนพื้นฐานวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเรโซแนนซ์คลาสอี</b> ไชยรินทร์ อัครวิโรดม <sup>1</sup> และ กมล จิรเสรีอมรกุล <sup>2</sup> <sup>1</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ <sup>2</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	461
PE029	<b>Pulse Frequency Charger for Supporting Plug-in Public Electric Motorcycles</b> เจตน์ภัทร ไพรสวรรณา ปรเมษฐ์ จิตเจนการ และสุรินทร์ คำฝอย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	465

# เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ความถี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเลียบบปลั๊ก

## Pulse Frequency Charger for Supporting Plug-in Public Electric Motorcycles

เจตนภัทร ไพรสุวรรณ<sup>1</sup> ปรเมษฐ์ จิตเจณการ<sup>1</sup> และสุรินทร์ คำฝอย<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>2</sup>ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอย นลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Email:s55610704@kmitl.ac.th, s3610541@kmitl.ac.th, kkhsurin@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ความถี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง โดยใช้เทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ โดยอาศัยการทำงานของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างพัลส์ด้านบวกและลบ โดยพัลส์ด้านบวกใช้ลักษณะกระแสสูงทำให้การอัดประจุรวดเร็วขึ้น สำหรับพัลส์ด้านลบและช่วงพักการอัดประจุจะช่วยให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลดลง พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการอัดประจุระหว่างการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ และการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสอัดประจุ โดยอาศัยการจำลองการทำงานผ่าน โปรแกรม PSIM 9.0.3 เพื่อใช้วิเคราะห์การทำงาน และเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ความถี่ต้นแบบขนาด 500 วัตต์ ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ช่วยลดระยะเวลาการอัดประจุลงได้จาก 720 นาทีเหลือ 250 นาที โดยใช้ความถี่ในการอัดประจุ 25 เฮอร์ตซ์ และ คิวดีซีเคิล 0.75 โดยมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าประมาณ 1 °C ซึ่งจะไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และเหมาะสมสำหรับการสร้างสถานีอัดประจुरถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้าง

คำสำคัญ: การอัดประจุแบบพัลส์ความถี่, การอัดประจुरวดเร็ว

### Abstract

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

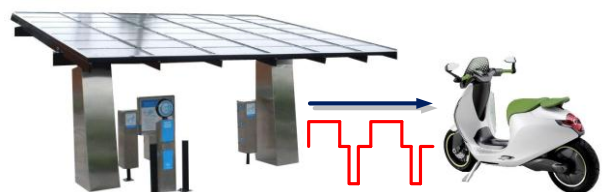
charging technique requires shorter time to fully charge battery comparing with conventional constant current and constant voltage technique about 3 times at same average charging current. The temperature rise of pulse frequency charging technique is less than a conventional one about 1 °C; these can lead to quicker charge and longer battery lifetime. The results suggest that the proposed technique can be applied for quick public motorcycle charger station.

Keyword: pulse frequency charging, quick charge

### 1. บทนำ

ปัจจุบันมีผู้ใช้บริการรถจักรยานยนต์รับจ้างเป็นจำนวนมากเพราะมีความรวดเร็วในการเดินทาง ซึ่งในกรุงเทพมหานครมีรถจักรยานยนต์รับจ้างประมาณ 2 แสนคัน ต้องเสียค่าน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 150 บาทต่อวันต่อคัน คิดเป็นประมาณกว่า 1 หมื่นล้านบาทต่อปี ดังนั้นถ้าเปลี่ยนเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเติมน้ำมัน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและลดมลภาวะทางเสียงเนื่องจากเสียงที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าจะเบากว่าการทำงานของเครื่องยนต์

การขับขี่ยานยนต์รับจ้างต้องมีการแข่งขันกับเวลา และปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ต้องมีความรวดเร็วและไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ซึ่งการออกแบบและสร้างสถานีอัดประจุจะใช้เทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่เพื่อที่จะอัดประจุในเวลาอันสั้น และทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น ในการสร้างสถานีอัดประจุจะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นหลังคา ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการอัดประจุก่อนที่แหล่งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถานีอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้นบทความฉบับนี้นำเสนอการนำเอาเทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ที่ใช้เวลาในการอัดประจุรวดเร็วเข้ามาประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนเพื่อตอบสนองความต้องการต่อผู้ใช้งานรถจักรยานยนต์รับจ้าง

## 2. การอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ [1]

การอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ในงานวิจัยนี้มีแหล่งจ่ายมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงหลักๆ คือ

### 2.1 ช่วงอัดประจุพัลส์ด้านบวก (Positive pulse charging)

สวิตช์  $Q_A$  ทำงาน และสวิตช์  $Q_B$  ไม่ทำงาน สามารถปรับความถี่ไซเคิลได้ที่สวิตช์  $Q_A$  เมื่อสวิตช์  $Q_A$  หยุดทำงาน แต่  $D_B$  ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode แรงดันที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมา โดยมีสมการแสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำดังสมการที่ 1.5

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

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

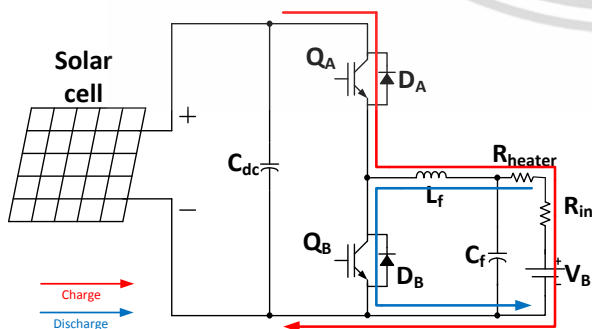
$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (1.3)$$

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

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_2} V_L dt + i_{LT_1} \quad (1.5)$$

### 2.2 ช่วงคายประจุพัลส์ด้านลบ (Negative pulse discharging)

เมื่อเข้าสู่โหมดคืนแบตเตอรี่จะเกิดการคายประจุ ช่วงนี้และพลังงานที่เก็บสะสมจะถูกถ่ายเทไปยังตัวเก็บประจุของวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ การคายประจุในช่วงนี้จะใช้วงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์โดยให้ สวิตช์  $Q_A$  ไม่ทำงาน และสวิตช์  $Q_B$  ทำงาน ทิศทางการไหลของกระแสจะไหลจากแบตเตอรี่ไปแหล่งจ่าย เมื่อสวิตช์  $Q_B$  หยุดทำงานในขณะที่  $D_A$  ทำงานทำให้เกิด free-wheeling diode พลังงานที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงานออกมามดังสมการที่ 2.4



รูปที่ 2 วงจรสำหรับกรอัดประจุแบบพัลส์ความถี่

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

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

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

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

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{T_1}^{T_2} V_L dt + i_{LT_1} \quad (2.5)$$

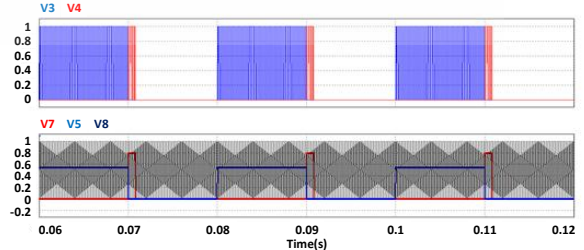
โดยที่ความสัมพันธ์ด้านเวลาในการสวิตช์ของ  $Q_A$  และ  $Q_B$  จะขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น  $Q_A$  จึงมีผลต่อความเร็วในการอัดประจุและ  $Q_B$  จะมีผลต่ออุณหภูมิ

## 3. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 โดยมีผลการจำลองดังนี้

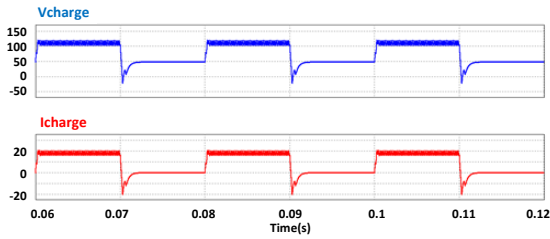
ในรูปที่ 3 เป็นการจำลองการสร้างสัญญาณขับสวิตช์ของการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่โดยใช้รูปคลื่นพาหะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าความถี่ไซเคิลสำหรับสวิตช์  $Q_A$  เป็น 0.5 และค่าความถี่ไซเคิลสำหรับสวิตช์  $Q_B$  เป็น 0.08 ที่ความถี่เท่ากับ 50 Hz โดยมีดัชนีการมอดูเลชันเป็น 0.55 และ 0.8 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดค่าดัชนีการมอดูเลชันให้มีค่าดังกล่าวพบว่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอัดประจุสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่มีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยที่กระแสไฟฟ้านับว่ามีค่าสูงสุดที่ 20 แอมป์ และกระแสไฟฟ้าด้านลบมีค่าต่ำสุดที่ 20 แอมป์ โดยลักษณะของกระแสอัดประจุสำหรับแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป และ จะเห็นได้ว่าการทำให้กระแสอัดประจุเป็นแบบพัลส์ความถี่ได้นั้น ต้องอาศัยการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของคอนเวอร์เตอร์ โดยกระแสไม่ต่อเนื่องที่ใหญ่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ตัวเหนี่ยวนำสามารถคายพลังงานได้หมด หรือมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางการไหลอย่างทันทีทันใดได้



รูปที่ 3 การสร้างสัญญาณขับสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

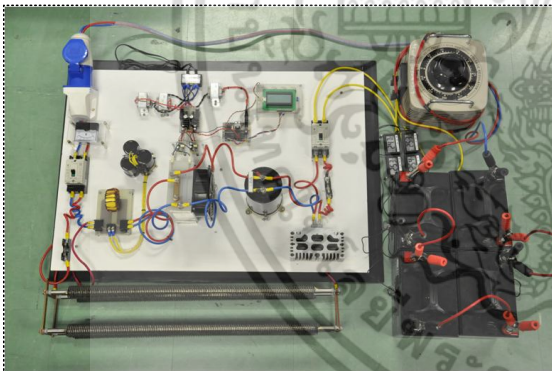


รูปที่ 4 ลักษณะกระแสและแรงดันสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่

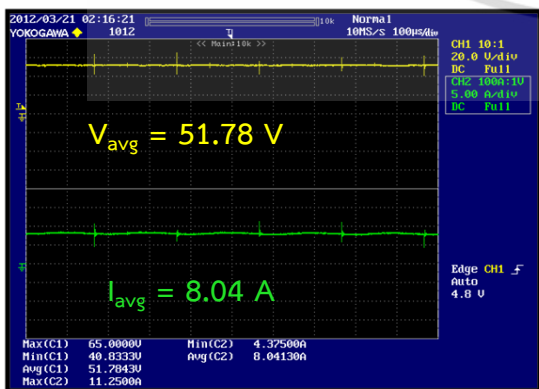
ผลการจำลองการอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ความถี่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า ผลที่ได้ตรงกับตามที่ได้ศึกษาทางทฤษฎีคือการอัดประจุจะถูกแบ่งออกเป็น 2 โหมดการทำงานหลักๆ คือ โหมดอัดประจุพัลส์ด้านบวก และโหมดคายประจุพัลส์ด้านลบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัว

#### 4. ผลการทดลอง

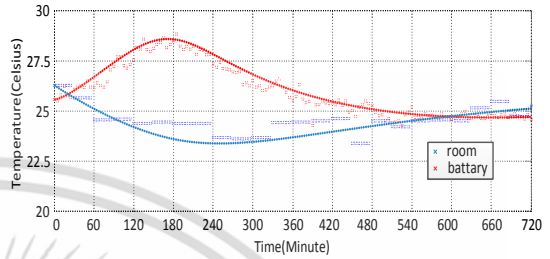
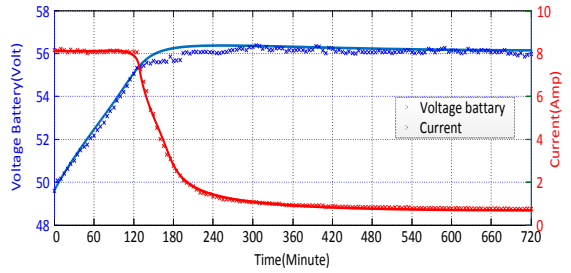
ทำการทดลองเครื่องอัดประจุต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 5 โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 33Ah จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรม ทำให้ได้แบตเตอรี่ขนาด 48V 33Ah เพื่อทำการทดลองโดยเปรียบเทียบการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสกับการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ที่กำหนดให้กระแสในการอัดประจุมีค่าเฉลี่ย 8A เท่ากัน ด้วยมีผลการทดสอบดังนี้



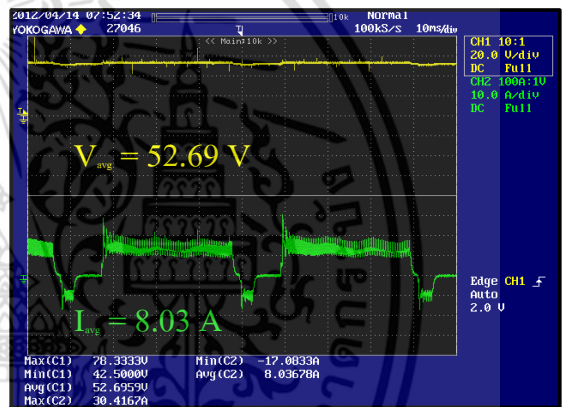
รูปที่ 5 เครื่องอัดประจุต้นแบบ



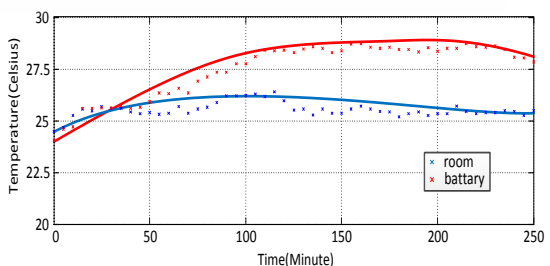
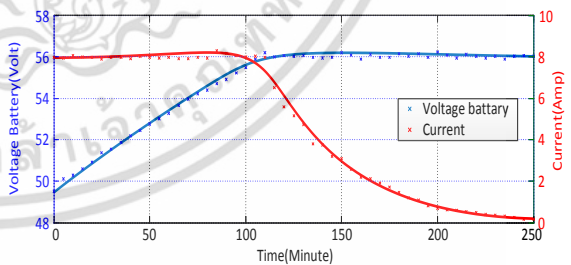
รูปที่ 6 ผลการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแส



รูปที่ 7 กราฟการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแส



รูปที่ 8 ผลการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ที่ความถี่ 25 Hz ด้วีไซเคิล 0.75



รูปที่ 9 กราฟการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ที่ความถี่ 25 Hz ด้วีไซเคิล 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ที่กระแสอัดประจุเฉลี่ย 8 แอมป์ที่ความถี่ 50 Hz

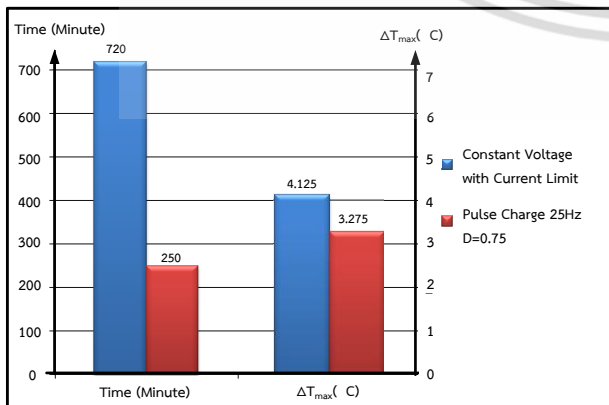
ความถี่ (Hz)	ดิวตี้ไซเคิล	เวลา (นาที)
50	0.5	325
50	0.75	250

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุที่ความถี่ต่างๆกัน

ความถี่ (Hz)	ดิวตี้ไซเคิล	$\Delta T_{max}$ (C)
25	0.75	3.275
50	0.75	3.575
100	0.75	3.650
200	0.75	3.875

ผลการทดสอบการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นว่าแรงดันเริ่มต้นในการอัดประจุมีค่าคงที่เท่ากับ 51.78V และกระแสในการอัดประจุมีค่าคงที่เท่ากับ 8.04A ผลการอัดประจุแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นว่าได้เวลาในการอัดประจุ 720 นาที และ อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 4.125 °C จากอุณหภูมิปกติ โดยตัดการทำงานที่กระแสอัดประจุลดลงจนมีค่าประมาณ 0.74A

จากตารางที่ 1 และ 2 เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาออกแบบค่าความถี่ในการสวิตซ์และดิวตี้ไซเคิล จะเห็นว่าค่าดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการอัดประจุลดลงและความถี่ต่ำลงจะทำให้อุณหภูมิมีค่าคงที่ ดังนั้นความถี่และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมกับการทดสอบการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ที่ความถี่ 25 Hz ดิวตี้ไซเคิล 0.75 ดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าแรงดันเริ่มต้นในการอัดประจุมีค่าคงที่เท่ากับ 52.69V และกระแสในการอัดประจุมีค่าคงที่เท่ากับ 8.03A ผลการอัดประจุแสดงในรูปที่ 9 จะเห็นว่าได้เวลาในการอัดประจุ 250 นาที และ อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 3.275 °C จากอุณหภูมิปกติ โดยตัดการทำงานที่กระแสอัดประจุลดลงจนมีค่าประมาณ 0.17A



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบการอัดประจุทั้ง 2 แบบมีผลต่าง

จากผลการทดลอง พบว่าเทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ด้วยการใช้ความถี่ในการอัดประจุ 25Hz และดิวตี้ไซเคิลการอัดประจุ 0.75 สามารถช่วยระยะเวลาการอัดประจุแบตเตอรี่ลงได้จากเดิม 720 นาทีเหลือ 250 นาที และมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ต่ำกว่า โดยของอุณหภูมิอยู่ที่ 3.275 °C ในขณะที่การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสอัดประจุมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 4.125 °C ดังแสดงในรูปที่ 10 สำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 33 แอมป์ ชั่วโมง โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ซึ่งวัดจากค่าอิมพีแดนซ์ภายในและค่าความจุของแบตเตอรี่

## 5. บทสรุป

จะเห็นได้ว่าการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการความเร่งรีบในการใช้งาน และการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสอัดประจุเหมาะสมสำหรับการอัดประจุในช่วงที่อัตราการใช้บริการน้อย หรืออาจใช้สำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่สำรองไว้สำหรับการสับเปลี่ยน (Battery Swapping) แทนได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่จะเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการอัดประจุที่รวดเร็วเสมือนสถานีการอัดประจุ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) ประจำปี 2554 ขอขอบคุณนักศึกษาปีการศึกษา 2554 ผู้ร่วมจัดทำโครงการมีดังนี้ นายชาคริต ทรัพย์เอนกนันต์ นายเชิดศักดิ์ ชันตะบุศย์ และนายจิตติพงษ์ ทองวิฑูรย์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Chih-Chiang Hua, Ching-Hsiang Hsu "Implementation of a Regenerative Pulse and Equalization Battery Charger Using a DSP" 2005 IEEE pp 955 -959
- [2] T. J. Liang Member, IEEE, T. Wen, K. C. Tseng, and J. E. Chen, "Implementation of a Regenerative Pulse Charger Using Hybrid Buck-Boost Converter" IEEE PEDS 2001 INDONESIA pp 437 - 442
- [3] K. C. Tseng, T. J. Liang, J. E. Chen, and M. T. Chang, "High Frequency Positive/Negative Pulse Charger with Power Factor Correction" 2002 IEEE , pp 671 - 675
- [4] Chang-Hua Lin, Hom-Wei Liu, Chien-Ming Wang, "Design and Implementation of a Bi-directional Power Converter for Electric Bike with Charging Feature" 2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp538-543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเจตน์ภัทร ไพรสุวรรณา
วัน-เดือน-ปี เกิด	1 กรกฎาคม พ.ศ.2533
ที่อยู่	117 ซอยร่มเกล้า19/1 แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ.2555 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 2.) ระบบการอัดประจุแบตเตอรี่
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
ปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการ บริษัท ไพรอนันต์ พาวเวอร์ จำกัด
บทความวิชาการ	

[1] เจตน์ภัทร ไพรสุวรรณา, ประเมษฐ์ จิตเจนการและสรินทร์ คำฝอย “เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ความถี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารับจ้างประเภทเสียบปลั๊ก” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35 (EECON 35) นครนายก ประเทศไทย วันที่ 12-14 ธันวาคม 2555

[2] Chetnaphat Praisuwanna, Surin Khomfoi “A Pulse Frequency Technique for a Quick Charger”, ECTI-CON 2013, Krabi, Thailand, 15-17 May 2013

[3] Chetnaphat Praisuwanna, Surin Khomfoi “A Quick Charger Station for EVs Using a Pulse Frequency Technique”, ECCE2013, Denver, Colorado, USA, 15-19 September 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้