

การพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
The Development of Small-Scale Electric Charging Point for
Micromobility Vehicle



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The Development of Small-Scale Electric Charging Point for Micromobility
Vehicle



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

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

การพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

The Development of Small-Scale Electric Charging Point for Micromobility
Vehicle



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รศ.ดร.อรรถพล เเง่พิทักษ์กุล
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ผศ.ชายชาญ โพธิสาร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย พศุทธิ์ กรุดสอน
2. นาย พิษณุ จินวงค์
3. นาย พูนพล โรจน์นำประทีป
4. นาย ภาคภูมิ เมธาว์ฒนสกุล



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เเงาพิทักษ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาญชาญ โพธิสาร)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

นายพศุทธิ์	กรุดสอน	
นายพิชิฐ	จินะวงศ์	
นายพูนพล	โรจน์นำประทีป	
นายภาคภูมิ	เมธาว์ฒนสกุล	
รศ.ดร. อรรถพล	เง่าพิทักษ์กุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. ชายชาญ	โพธิสาร	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2563		

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่สามารถปรับระดับแรงดันอัดประจุได้ ตั้งแต่แรงดัน 48 โวลต์ ถึง 96 โวลต์โดยสามารถปรับค่าได้จากหน้าจอสัมผัส และมีระบบป้องกันระบบไฟฟ้าภายในตู้อัดประจุ ซึ่งประกอบไปด้วยระบบป้องกันกระแสเกิน ระบบป้องกันแรงดันเกิน และระบบป้องกันการต่อกลับขั้ว ตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กจะถูกออกแบบโดยประกอบด้วย 2 วงจร คือ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและวงจรลดทอนแรงดัน โดยวงจรเรียงกระแสจะทำการแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรลดทอนแรงดันจะทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ตามวิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่/แรงดันคงที่ (Constant current/Constant voltage) โดยการปรับระยะเวลาช่วงเปิดการขับขา Gate ของ MOSFET ผ่านสัญญาณ PWM (Pulse width modulation) และมีระบบป้องกันกระแสเกิน และแรงดันเกิน โดยใช้รีเลย์ในการตัดวงจรออกเมื่อกระแสหรือแรงดันขณะนั้นสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ จากผลการทดลองพบว่าตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ทำขึ้นนั้นสามารถปรับตั้งแรงดันการอัดประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 22 แอมป์-ชั่วโมง ที่แรงดันแบตเตอรี่ 48, 72, 84 และ 96 โวลต์ ได้ตามที่ได้กำหนดไว้ และสามารถหยุดการอัดประจุได้เมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือเมื่อกระแสหรือแรงดันเกินกว่าที่กำหนดไว้ และเมื่อทำการวัดและนำค่าฮาร์มอนิกกระแสไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 แล้วนั้นพบว่าค่าฮาร์มอนิกกระแสไม่เกินค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The Development of Small-Scale Electric Charging Point for Micro-mobility Vehicle

Pasut	Groudsorn	
Phisit	Jinawong	
Phunphon	Rojnampratheap	
Pharkpoom	Methawattanasakul	
Assoc. Prof. Dr. Atthapol	Ngaopitakkul	Advisor
Asst. Prof. Chaichan	Pothisarn	Co-Advisor

Year 2020

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to develop the small-scale electric charging point for micro-mobility vehicle that charging voltage can be adjusted from 48 volts to 96 volts by using touchscreen display and electrical protection system inside the charging cabinet which consists of an overcurrent protection, overvoltage protection and reverse bias protection. The small-scale electric charging point for micro-mobility vehicle consists of 2 circuits a full-wave rectifier and a buck converter circuit. The rectifier converts alternating current (AC) to direct current (DC). And a buck converter circuit to step down the voltage charging voltage level based on CC/CV (Constant current/Constant voltage) charging algorithm by adjusting the MOSFET gate duty cycle through PWM signal (Pulse Width Modulation) and there is a relay to cut the circuit off when an overcurrent and overvoltage condition occurs. Result, the small-scale electric charging point for micro-mobility vehicle can adjust the charging voltage of the 22 AH lead-acid battery at the specified nominal battery voltages 48,72,84 and 96 Volt and it can stop charging when the batteries are fully charged or when the current or voltage more than the pre-set and the current harmonics compare to the IEC 61000-3-2 standard, it found out that the current harmonic values do not exceed the standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณา ความช่วยเหลือและคำปรึกษาจาก รศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล และ ผศ. ชายชาญ โภธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหารวมถึงข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำซึ่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ทั้งนี้ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ให้คำปรึกษา และ ข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้มาใช้ในการประกอบปริญญานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดาและบุคคลในครอบครัวที่ให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุนให้ได้รับโอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และคอยช่วยเหลือเสมอมา

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 วงจรเรียงกระแส	6
2.2 วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง	6
2.2.1 วงจรทอนระดับหรือวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์	6
2.2.2 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	8
2.2.3 วงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบีก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์	10
2.2.4 วงจรเพิ่มหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์	13
2.3 เทคโนโลยีและมาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า	15
2.3.1 การอัดประจุไฟฟ้าระดับที่ 1	15
2.3.2 การอัดประจุไฟฟ้าระดับที่ 2	15
2.3.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว	15
2.3.4 การอัดประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย	15
2.3.5 มาตรฐาน IEC 62196	15
2.4 วิธีการจ่ายกระแสและแรงดัน	16
2.4.1 Constant Current – constant voltage	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 ภาษาและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	16
2.5.1 โปรแกรม Arduino IDE	16
2.5.2 โปรแกรม Nextion Editor	16
2.5.3 ภาษา C	17
2.5.4 ภาษา C++	17
2.5.5. ภาษา Java	17
2.6 แบนด์เตอร์แบบตะกั่ว-กรด	17
2.7 มาตรฐานฮาร์ดมอริกของอุปกรณ์	18
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	19
3.1 การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	19
3.2 การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	20
3.2.1 วงจรกำลัง ซึ่งวงจรกำลังแบ่งเป็นวงจรเรียงกระแสและวงจรลดทอนแรงดัน	20
3.2.2 วงจรควบคุม	21
3.2.3 วงจรป้องกัน	22
3.2.4 การคำนวณพารามิเตอร์	23
3.3 การออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	25
3.3.1 ขั้นตอนการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผ่านหน้าจอ LCD ระบบสัมผัส	25
3.3.2 ขั้นตอนการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าแบตเตอรี่	26
3.3.3 ขั้นตอนการกำหนดสัญญาณ PWM ให้มีความละเอียด 10 บิต	28
3.3.4 ขั้นตอนควบคุมโหมดในการอัดประจุไฟฟ้า	28
3.4 การออกแบบหน้าจอสัมผัส	31
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	36
4.1 บทนำ	36
4.2 การทดลองการอัดประจุไฟฟ้า	37
4.2.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 4 ลูก	37
4.2.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก	39
4.2.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 7 ลูก	41
4.2.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 8 ลูก	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก ด้วยเครื่องอัดประจุตามห้องตลาด	45
4.3 การเปรียบเทียบกับเครื่องอัดประจุตามห้องตลาด	47
4.4 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	48
4.4.1 การเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของการใช้น้ำมันกับการใช้ไฟฟ้า	48
4.4.2 การเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	52
5.1 สรุปผลการวิจัย	52
5.2 ปัญหาที่พบ	54
5.3 แนวทางการพัฒนา	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	58
ภาคผนวก ข ข้อมูลเครื่องมือและอุปกรณ์	63
ภาคผนวก ค โปรแกรมที่ใช้ในโครงการ	70
ประวัติผู้เขียน	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ข้อมูลปริมาณของฝุ่น PM 2.5 ในปี 2016 – 2020	1
1.2 ข้อมูลการจดทะเบียนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 – 30 กันยายน 2563	2
2.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส ชนิดเต็มคลื่น	6
2.2 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์	7
2.3 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	10
2.4 การทำงานของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าแบบอินเวอร์ตติ้ง	11
2.5 กราฟแสดงสถานะสวิตช์นำและไม่นำกระแส	12
3.1 รูปตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ด้านหน้า	19
3.1.1 กรูปร่างภายในตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ออกแบบไว้	19
3.2 วงจรลดทอนแรงดัน	20
3.3 วงจรขับขาเกตมอสเฟต	21
3.4 วงจรจ่ายแรงดัน Arduino	21
3.5 วงจรที่ได้ทำการออกแบบโดยรวม	22
3.6 วงจรลดทอนแรงดันที่ได้ทำการออกแบบ	23
3.7 หน้าจอต้อนรับ	32
3.8 หน้าจอเลือกรูปแบบการปรับตั้งค่าในการอัดประจุ	32
3.9 หน้าจอแสดงในรูปแบบที่ตั้งค่ามาแล้ว	33
3.10 หน้าจอแสดงตัวอย่างรูปแบบที่ตั้งค่ามาแล้วขนาดแรงดันแบตเตอรี่ 60 โวลต์	33
3.11 หน้าจอแสดงในรูปแบบที่ตั้งค่าด้วยตัวเอง	34
3.12 หน้าจอแสดงตัวอย่างรูปแบบที่ตั้งค่าด้วยตัวเอง	34
3.13 หน้าจอแสดงค่าขณะทำการอัดประจุ	35
3.14 หน้าจอแสดงตัวอย่างขณะทำการอัดประจุ	35
4.1 แผนภาพเส้นเดี่ยวของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า	36
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 4 ลูก	38
4.3 ฮาร์โมนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 4 ลูก	38
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 6 ลูก	40
4.5 ฮาร์โมนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 4 ลูก	40
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 7 ลูก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.7 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 7 ลูก	42
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 8 ลูก	44
4.9 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 8 ลูก	44
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 6 ลูก ด้วยเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด	46
4.11 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 6 ลูก ของเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด	46
4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของแก๊สโซฮอล์ 95 กับแบตเตอรี่รีไซเคิลขนาดต่างๆ ตามอัตราปกติ	49
4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของแก๊สโซฮอล์ 95 กับแบตเตอรี่รีไซเคิลขนาดต่างๆ ตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	49
4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าปกติ	51
4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดโครงการ	4
2.1 มาตรฐานฮาร์ดมอริกของอุปกรณ์	18
4.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดประจุที่จัดทำในโครงการนี้กับเครื่องอัดประจุที่มีตามท้องตลาด	47
5.1 แสดงผลการอัดประจุ	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

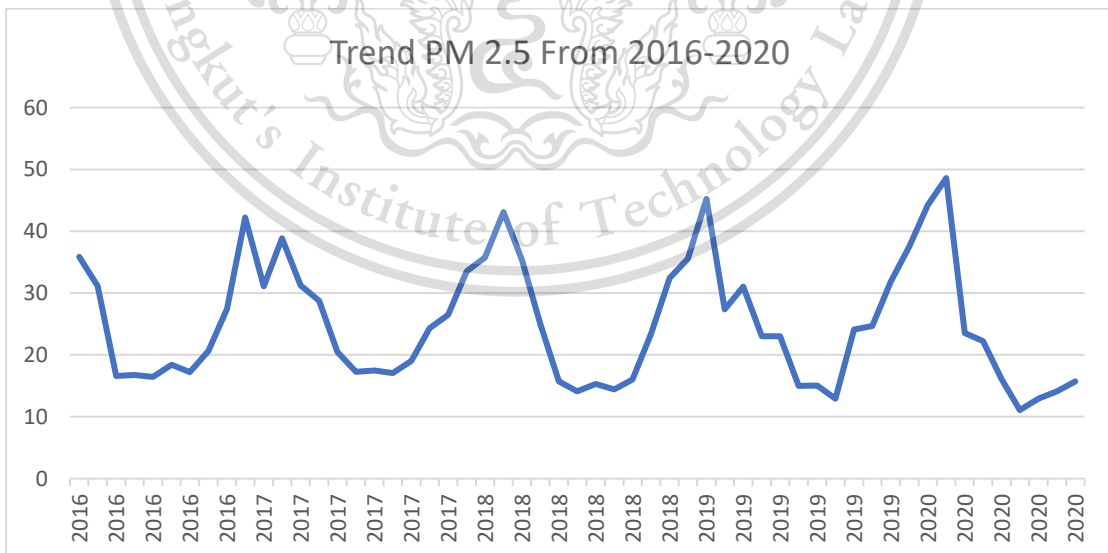
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้น ปัญหามลพิษที่มีเพิ่มมากขึ้นและความต้องการลดการใช้น้ำมัน จึงทำให้แนวโน้มการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กมีโอกาสมากขึ้นและ ณ ปัจจุบัน จุดให้บริการอัดประจุยังมีอยู่ไม่มากจึงเป็นที่ต้องการสูง สังคมโลกให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาโลกร้อนและปัญหามลพิษที่มากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือปัญหาฝุ่น PM 2.5 นั้นส่งผลกระทบต่อผู้คนในประเทศรวมถึงผู้คนทั่วโลกด้วย นอกจากนี้จะส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายแล้ว ยังส่งผลต่อสุขภาพจิตและพฤติกรรมของคนเราในทางที่ไม่ดีอีกด้วย สาเหตุสำคัญของการเกิดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ ฝุ่น PM2.5 ที่กำลังส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันของผู้คนในเมืองใหญ่ ซึ่งมีการจราจรหนาแน่น คือควันไอเสียจากรถยนต์โดยเฉพาะรถที่ปล่อยควันดำ ซึ่งเกิดจากระบบเครื่องยนต์ดีเซลเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นรถยนต์เก่าที่มีอายุการใช้งานนานๆ เช่นรถเมล์ รถบรรทุก รถปิกอัพขนส่งสินค้า ซึ่งจากสถิติในปี 2016-2020 ปริมาณของฝุ่น PM 2.5 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆปีแสดงดังในรูปที่ 1 เนื่องจากในปัจจุบันสังคมไทยมีการจราจรที่หนาแน่นทำให้มีการปล่อยควันและฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะในกลุ่มรถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่อายุการใช้งานที่นานมากแล้ว



รูปที่ 1.1 ข้อมูลปริมาณของฝุ่น PM 2.5 ในปี 2016 – 2020

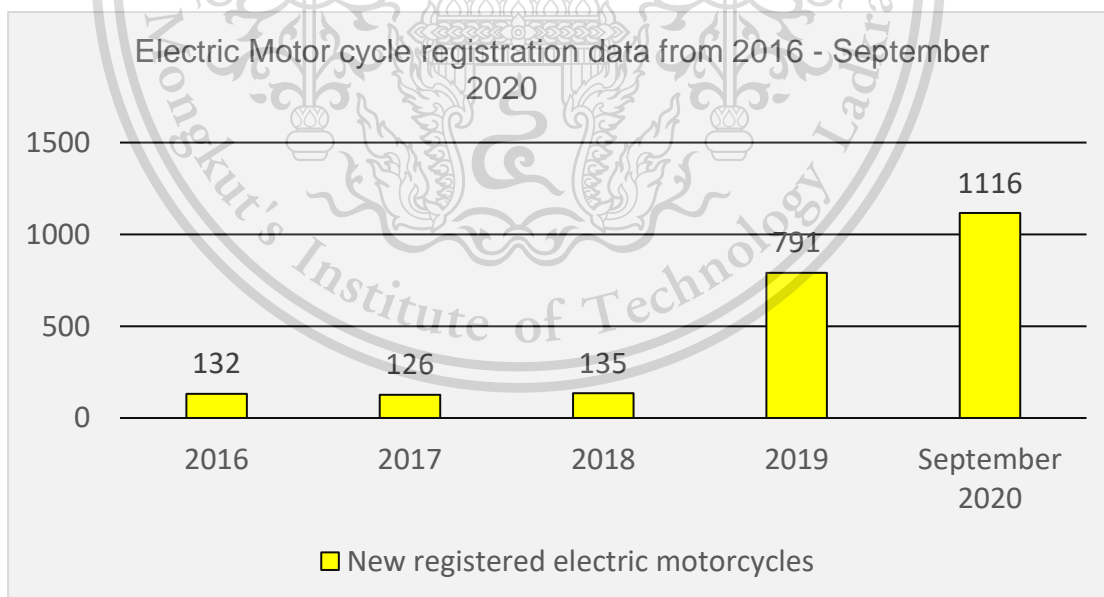
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในสภาวะปัจจุบันการใช้บริการของจักรยานยนต์รับจ้าง มีการใช้เป็นจำนวนมากในประเทศไทยและยังมีการใช้บริการของการส่งสินค้าหรือส่งอาหาร ซึ่งใช้จักรยานยนต์ในการขนส่งและให้บริการดังกล่าว ซึ่งในอนาคตผู้ให้บริการจะมีการเปลี่ยนแปลงมาใช้จักรยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของโลกทำให้ การใช้จักรยานยนต์ไฟฟ้าจะมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้าเรามีสถานีอัดประจุไฟฟ้าประจำจุดที่ผู้ให้บริการจักรยานยนต์รับจ้างและผู้ให้บริการส่งสินค้าหรืออาหาร จอดประจำอยู่นั้นเมื่อเสร็จสิ้นการให้บริการจะสามารถนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามาจอดเพื่อทำการอัดประจุไฟฟ้าระหว่างรอการให้บริการได้

ซึ่งทางรัฐบาลของไทยก็ได้มีมาตรการผลักดัน ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) โดยได้วางแผนการขับเคลื่อนภารกิจด้านพลังงานเพื่อส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ในระหว่างปี 2559 - 2579 และวางแผนการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยระหว่างปี 2557 - 2562 การที่รัฐบาลพยายามผลักดันยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเต็มที่ เพราะนี่คือส่วนหนึ่งของการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากจุดเด่นของยานยนต์ไฟฟ้าคือการเป็นรถไร้ซึ่งไอเสีย เพราะรถยนต์ไฟฟ้านั้นไม่ต้องใช้น้ำมันในการเผาผลาญของเครื่องยนต์ ทำให้ไม่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ PM 2.5 จึงสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษทางอากาศได้ และเมื่อยานยนต์ไฟฟ้ามีความต้องการที่สูงขึ้น ก็ทำให้ความต้องการของตู้อัดประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1.2 ข้อมูลการจดทะเบียนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 – 30 กันยายน 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. เพื่อออกแบบตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
3. เพื่อสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

งานวิจัยนี้มีความต้องการออกแบบและจัดสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยจะมีวงจรเรียงกระแส และ วงจรทอนระดับ เพื่อปรับระดับแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จแรงดันไฟฟ้าในช่วงระดับแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ ถึง 96 โวลต์ โดยจะรับไฟฟ้าเข้ามาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในครัวเรือน และตู้ชาร์จจะมีประสิทธิภาพสูงและอัตราการสูญเสียพลังงานต่ำ รวมไปถึงการชาร์จจะต้องใช้เวลาไม่มาก ซึ่งตู้ชาร์จจะมีระบบป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อตัวตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ขนาดเล็กหรือส่งผลกระทบต่อตัวยานยนต์ขนาดเล็กด้วยเช่นป้องกันการมีกระแสไฟเกินและความร้อนเกิน นอกจากนี้ระบบการอัดประจุไฟฟ้าต้องมีเสถียรภาพ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. สั่งซื้ออุปกรณ์ในการประกอบตู้อัดประจุไฟฟ้า
3. ทดสอบอุปกรณ์ก่อนนำไปประกอบตู้อัดประจุไฟฟ้า
4. ประกอบตู้อัดประจุไฟฟ้า
5. ปรับปรุงตู้อัดประจุไฟฟ้า
6. ทดสอบการใช้งานและประเมินประสิทธิภาพของตู้อัดประจุไฟฟ้า
7. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

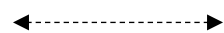
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดโครงการ

กิจกรรม	พ.ศ. 2563					พ.ศ. 2564			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	←-----→		←-----→						
2.) ออกแบบโครงสร้างและวงจรไฟฟ้าของตู้อัดประจุไฟฟ้า		←-----→							
3.) สั่งซื้ออุปกรณ์ในการประกอบตู้อัดประจุไฟฟ้าและประกอบตู้อัดประจุไฟฟ้า			←-----→						
4.) ทดสอบการใช้งานและประเมินประสิทธิภาพของตู้อัดประจุไฟฟ้า					←-----→				
5.) ออกแบบหน้าจอสัมผัส						←-----→			
6.) รวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูล							←-----→		
7.) สรุปโครงการและนำเสนอ								←-----→	



ระยะเวลาในการวางแผน



ระยะเวลาการดำเนินงานจริง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากการทำโครงการนี้ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือประโยชน์ด้านการพัฒนาเทคโนโลยี และด้านสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับด้านการพัฒนาเทคโนโลยี

1. โครงการนี้ทำขึ้นเพื่อพัฒนาและจัดสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยการพัฒนาจากความรู้ทางวิศวกรรมไฟฟ้าที่จะสร้างและออกแบบตู้อัดประจุไฟฟ้า
2. โครงการนี้ทำขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบของตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อสามารถจัดสร้างพัฒนาและเพิ่มจำนวนตู้อัดประจุไฟฟ้าในชุมชนสำหรับผู้ขนส่งสิ่งของหรือจักรยานยนต์รับจ้างที่ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าและรองรับแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กในชุมชน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับด้านสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน

1. ส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดการใช้น้ำมันรถยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือ PM 2.5 จึงเป็นการช่วยลดมลพิษในอากาศได้
2. ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลและแก๊สธรรมชาติเนื่องมาจาก ยานยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

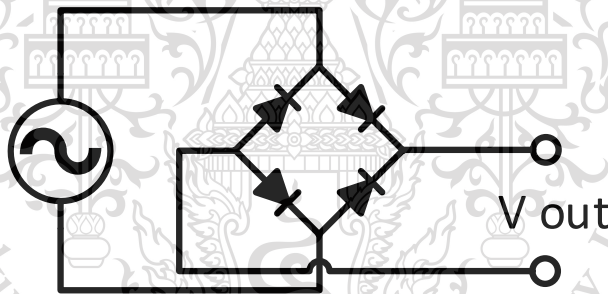
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสคืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง วงจรเรียงกระแสมีหลายประเภททั้งแบบ 1 เฟส ซึ่งแบ่งเป็นครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น ในวงจร 3 เฟสแบ่งเป็นครึ่งคลื่น เต็มคลื่น และแบบ แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้เมื่อพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ มี ripple ที่สูง และวงจรรองมีความจำเป็นเพื่อกำจัดฮาร์มอนิก อย่างไรก็ตามวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้ามีค่าไม่เป็นศูนย์ทำให้เกิดปัญหาที่หม้อแปลงอิ่มตัวได้ง่าย แต่วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นสามารถนำไปใช้งานที่ขนาดพิกัดกำลังสูงได้และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์ทำให้เกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลงที่ต่อกับวงจรด้านเข้าอิ่มตัวยากกว่าแบบครึ่งคลื่น และมี ripple ที่ต่ำ โดยวงจรเรียงกระแสทั้งแบบกระแสเฟสเดียวกับวงจรเรียงกระแสสามเฟสจะมีทั้งแบบไดโอดและแบบควบคุมโดยใช้ไทรสเตอร์



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส ชนิดเต็มคลื่น

2.2 วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบ่งออกเป็น 4 แบบหลักๆ วงจรบัก วงจรบูสต์ วงจรบัก-บูสต์ วงจรชุก มีทั้งแบบกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 วงจรทอนระดับหรือวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

วงจรทอนระดับหรือวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าและเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่มีความเป็นกระแสตรง การคำนวณหากระแสและแรงดันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับโหมดการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นโหมดต่อเนื่องหรือโหมดไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งโดยส่วนมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่

2.2.1.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ ในช่วงที่เป็นสภาวะคงตัว (stead state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของบีกคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t + T) = i_L(t) \quad (2.1)$$

หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากัน ณ ตำแหน่งเดียวกันในทุกคาบเวลา

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (2.2)$$

หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์

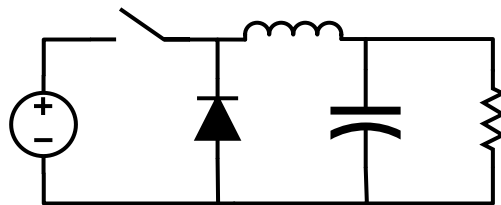
3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_C(\lambda) d\lambda = 0 \quad (2.3)$$

หมายถึงประจุที่ถูกเก็บ (charged) และประจุที่คาย (discharged) ของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากัน

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้ามีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_S = P_O$$



รูปที่ 2.2 วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

วงจรมอเตอร์ระดับแรงดันหรือวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดัน ไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกว่าวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ (boost converter) ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านั่นเอง

2.2.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัวจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ

2 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเวลา ในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์

3 ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่

4 กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

2.2.2.2 หลักการทำงานของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

2.2.2.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้า

$$\begin{aligned} -V_s + v_L &= 0 \\ v_L &= V_s = L \frac{di_L}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_s}{L} \end{aligned} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่า การเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.5)$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะ สวิตช์นำกระแส

2.2.2.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติ แรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0$$

$$v_L = V_s - V_o$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.6)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่า การลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.7)$$

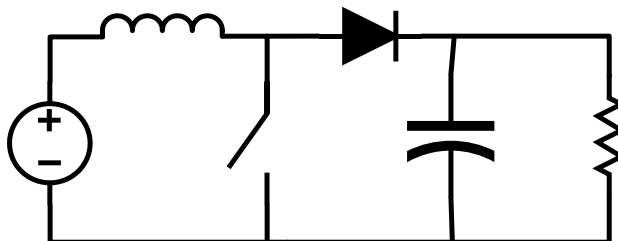
จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้า ด้านเข้าที่เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน สามารถหาได้โดยวิธีง่ายๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย

ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณ ค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่า D เมื่อค่า D เพิ่มขึ้น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหาวิธีให้ลดแปลงเมื่อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราการขยาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่ำสุดคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์



รูปที่ 2.3 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

2.2.3 วงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้า เป็นหนึ่งในประเภทของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีแรงดันไฟฟ้าฝั่งขาออกมากกว่า หรือ น้อยกว่าแรงดันขาเข้า วงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้านี้ มีลักษณะเหมือนกับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) โดยจะใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำแทนที่ หม้อแปลงที่อยู่ในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ทั้ง 2 วงจรนี้ถูกเรียกว่าวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ โดยที่ทั้ง 2 วงจรนี้สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกให้มากกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า หรือ ลดลงจนแรงดันไฟฟ้าเข้าใกล้ค่าศูนย์

การต่อวงจรแบบอินเวอร์ตติ้ง จะทำให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเข้าและขาออกมีขั้วตรงข้ามกัน การต่อนี้จะมึลักษณะคล้ายกับวงจรลดทอนระดับแรงดันและวงจรทบระดับแรงดัน หรือ เรียกว่า สวิตช์โหมดทาวเวอร์ซัพพลาย

การต่อวงจรลดทอนระดับแรงดันเข้ากับวงจรทบระดับแรงดัน จะทำให้ได้วงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้า ที่มีแรงดันด้านขาเข้าและขาออกมีขั้วตรงกัน

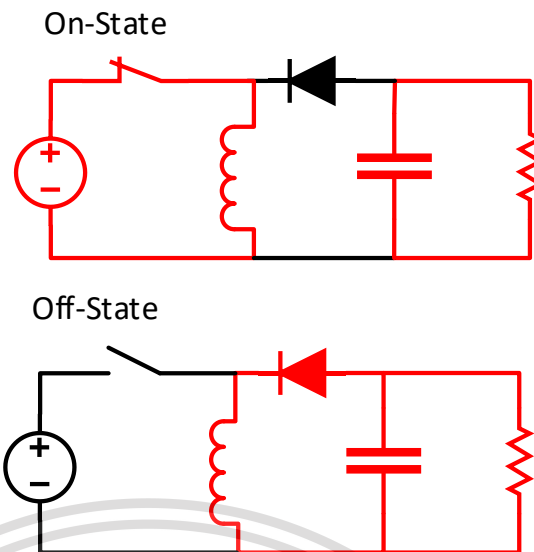
2.2.3.1 หลักการทำงานของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้า (อินเวอร์ตติ้ง)

หลักการทำงานของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าแบบอินเวอร์ตติ้ง แบ่งเป็น 2 ช่วงดังรูปที่ 2.4 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 การทำงานของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าแบบอินเวอร์ตติ้ง

ขณะที่สวิตช์นำกระแส แรงดันขาเข้าจะทำการต่อเข้ากับตัวเหนี่ยวนำโดยตรงทำให้เกิดการเก็บสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ในช่วงนี้ตัวเก็บประจุจะทำการจ่ายพลังงานให้โหลดขาออก

ขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส ตัวเหนี่ยวนำจะถูกต่อกับโหลดขาออกและตัวเก็บประจุ ดังนั้นพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำที่สะสมอยู่จะถูกถ่ายให้กับตัวเก็บประจุและโหลด

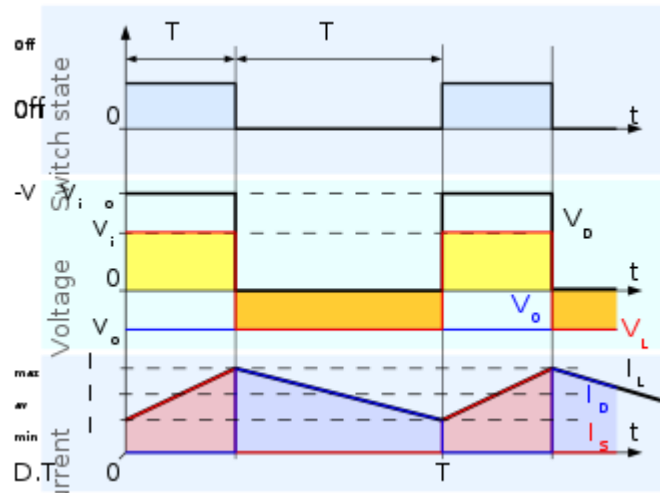
เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าและวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า วงจรแบบอินเวอร์ตติ้งจะมีลักษณะเฉพาะหลายๆ คือ มีขั้วแรงดันขาออกตรงข้ามกับขาเข้า และสามารถปรับค่าแรงดันขาออกได้ตั้งแต่ 0 ไปจนถึง $-\infty$ (สำหรับวงจรแบบอุดมคติ) โดยที่วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าและวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า V_i โดยจะมีค่าตั้งแต่ 0 ไปจนถึง V_i และ ตั้งแต่ V_i ไปจนถึง ∞ ตามลำดับ โดยการทำงานของวงจรจะสามารถทำงานได้ทั้งโหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

โหมดกระแสต่อเนื่อง คือ โหมดที่กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนั้นไม่มีค่าต่ำลงจนเป็น 0 ตามรูป 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงสภาวะสวิตช์นำและไม่นำกระแส

จากเวลา \$t=0\$ ถึง \$t=DT\$, วงจรจะอยู่ในสภาวะสวิตช์นำกระแสการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเป็นดังสมการนี้

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

ที่จุด \$t=DT\$ กระแสที่เพิ่มขึ้นจะเป็นไปตามสมการดังนี้:

$$\begin{aligned} \Delta i_{L,on} &= \int_0^{DT} di_L \\ &= \int_0^{DT} \frac{V_i}{L} dt \\ \Delta i_{L,on} &= \frac{V_s DT}{L} \end{aligned}$$

(2.8)

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_o}{L}$$

ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำระหว่างขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

$$\begin{aligned} \Delta i_{L,off} &= \int_0^{(1-D)T} di_L \\ &= \int_0^{(1-D)T} \frac{V_o}{L} dt \\ \Delta i_{L,off} &= \frac{V_o(1-D)T}{L} \end{aligned}$$

(2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่เริ่มคาบและจบคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน
ดังนั้น

$$\begin{aligned}\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} &= 0 \\ \Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} &= \frac{V_i DT}{L} + \frac{V_o(1-D)T}{L} = 0\end{aligned}\quad (2.10)$$

ดังนั้นเราสามารถ เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-D}{1-D} \quad (2.11)$$

2.2.4 วงจรเพิ่มหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์

วงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่สามารถเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าขาออกให้มากกว่าหรือน้อยกว่าแรงดันขาเข้าได้ซึ่งทำหน้าที่เหมือนวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าแต่วงจรชุกก์จะมีความสามารถในการลดทอนฮาร์โมนิกได้มากกว่าวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งในวงจรมีมีตัวเหนี่ยวนำทางขาเข้าและวงจรกรองความถี่ต่ำด้านขาออก

2.2.4.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์จะทำได้ในช่วง steady state เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. ตัวเหนี่ยวนำมีขนาดใหญ่พอที่ทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่
2. ตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีขนาดใหญ่พอที่ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีค่าคงที่
3. กระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากันในเวลาเดียวกับที่คาบเดียวกัน
4. กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก กรณีไม่มีการสูญเสียจากการทำงาน
ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งในร้อยเปอร์เซ็นต์

2.2.4.2 หลักการทำงานของวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็นขั้นตอนเพื่อให้ได้อัตราการขยายของวงจรชุกก์คอนเวอร์เตอร์ โดยขั้นตอนที่หนึ่ง คือการหาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ โดยเริ่มคิดจากสมการแรงดันรอบนอกสุดซึ่งมีแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุดังนี้ $V_C = V_S - V_o$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา $V_C = V_S - V_o$ (2.12)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อสวิตช์นำกระแสไดโอดจะไม่มีกระแสไหลผ่าน จะมีกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุ เป็นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ได้สมการดังนี้

$$i_{C,on} = -I_{L2} \quad (2.13)$$

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะนำกระแสทำให้ตัวเก็บประจุมีกระแสไหลผ่านตัว เก็บประจุ

$$i_{C,off} = I_{L1} \quad (2.14)$$

จากกำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับขาออก โดยไม่คิดถึงการสูญเสียจากการทำงานจะ ได้สมการดังนี้

$$V_s I_{L1} = V_o (-I_{L2}) \quad (2.15)$$

จากการที่อยู่ในสภาวะคงตัวกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยได้ มาจากสมการ $i_{C,on} = -I_{L2}$ และ $i_{C,off} = I_{L1}$ จะได้

$$i_{C,on}(DT) + i_{C,off}(1-D)T = 0$$

$$\frac{i_{L1}}{i_{L2}} = \frac{D}{1-D} \quad (2.16)$$

และจากกำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับขาออก โดยไม่คิดถึงการสูญเสียจากการทำงานจะ ได้สมการดังนี้

$$V_s I_{L1} = V_o (-I_{L2})$$

$$\frac{i_{L1}}{i_{L2}} = -\frac{V_o}{V_s} \quad (2.17)$$

จะได้สมการความสัมพันธ์อัตราขยายแรงดันดังนี้ [1]

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{D}{1-D} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 เทคโนโลยีและมาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

2.3.1 การอัดประจุไฟฟ้าระดับที่ 1

การอัดประจุไฟฟ้าระดับที่ 1 หรือ AC level 1 charging เป็นการอัดประจุโดยที่มาตรฐาน SAE J1772 บอไว้ว่าใช้ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 120 V AC โดยมีกระแสอยู่ที่ 12 หรือ 16 A

2.3.2 การอัดประจุไฟฟ้าระดับที่ 2

การอัดประจุไฟฟ้าระดับที่ 2 หรือ AC level 2 charging เป็นการอัดประจุที่ 208 ถึง 240 V AC โดยมีกระแสอยู่ที่น้อยกว่า 80 A โดยผ่านอุปกรณ์ on-board charger เพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่

2.3.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว

การอัดประจุแบบเร็ว หรือ DC Fast Charging เป็นการอัดประจุแบบ off board โดยมีแรงดันกระแสตรงด้านขาออกที่ 50 – 1000 V DC มีกระแสได้ถึง 400 A

2.3.4 การอัดประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย

การอัดประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย หรือ Wireless Charging เป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบไม่ใช้สายไฟฟ้าหรือเคเบิล โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ความถี่สูงจะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าความถี่ต่ำให้มีความถี่สูง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเรโซแนนซ์ สร้างขึ้นจากเครื่องส่งสัญญาณจะส่งพลังงานไปที่ตัวเรียงกระแสเพื่อแปลงเป็นกระแสตรงเพื่อทำการอัดประจุให้แบตเตอรี่

2.3.5 มาตรฐาน IEC 62196

มาตรฐาน IEC62196 เป็นมาตรฐานยุโรป ที่ควบคุมในส่วน ของหัวปลั๊ก เติ้ารับ, เพลาารถยนต์, ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเต้ารับการประจุ โหมตการประจุ การกำหนดค่าการเชื่อมต่อและข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจงซึ่งรวมถึงในส่วนของความปลอดภัย ของทั้งยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า (EVSE)

มาตรฐาน IEC 62196 ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป หัวปลั๊ก การทำงานร่วมกัน และการสับเปลี่ยน

มาตรฐานอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Charging modes) ที่ใช้ในสหภาพยุโรป SAE J1772 อเมริกาเหนือ ชื่อหัวปลั๊ก Yazaki connector VDE-AR E 2623-2:2 ยุโรป ชื่อหัวปลั๊ก Mennekes connector JEVS G105-1993 ญี่ปุ่น ชื่อหัวปลั๊ก CHAdeMO Scame connector อิตาลี [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 วิธีการจ่ายกระแสและแรงดัน

2.4.1 Constant Current – constant voltage

การอัดประจุแบบกระแสและแรงดันคงที่ (CC/CV) ได้พัฒนาและนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับ แบตเตอรี่ lithium-ion เพราะความง่าย การอัดประจุแบบ CC/CV กระแสคงที่จะถูกจ่ายให้กับแบตเตอรี่จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปถึงจุดที่ตั้งไว้หลังจากนั้นจะเข้าสู่แรงดันคงที่และกระแสก็จะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลและการอัดประจุจะหยุดลงเมื่อกระแสถึงจุดที่ตั้งไว้

กระบวนการ CC/CV จำเป็นต้องมีการตรวจความปลอดภัยและการป้องกัน โดยเริ่มจากสภาพของแบตเตอรี่ตอนเริ่มเช่น อุณหภูมิ แรงดันขณะเปิดวงจร (OCV) ว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ถ้า OCV มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดัน cutoff แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุแบบ trickle charge (TC) ด้วยกระแสต่ำ เช่น 0.1C โดย C คือ ความจุของแบตเตอรี่ จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ถึงจุด cut off จากนั้นจึงจะเริ่มแบบกระแสคงที่โดยกระแสเลือกจากรายละเอียดของแบตเตอรี่ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.5 C ถึง 3.2 C และเข้าสู่แรงดันคงที่ โดยทำการอัดประจุจนกระทั่งกระแสอัดประจุมีค่าน้อยกว่า 0.1 C หรือ ถึงเวลาที่กำหนดแล้ว

ในแบบ CC จะใช้เวลาในการอัดประจุตั้งแต่ 1 ถึง 2.5 ชั่วโมง โดยทั่วไป ยิ่งกระแสต่ำการอัดประจุจะมีประสิทธิภาพและเวลาในการอัดประจุจะนานและอายุของแบตเตอรี่ก็จะนาน เซนเซอร์ที่จำเป็นที่จะวัดแรงดันของแบตเตอรี่ กระแส และ อุณหภูมิมีใน CC/CV นั้นง่ายและถูก เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ microcontroller [3-5]

2.5 ภาษาและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE หรือ Arduino Integrated Development Environment คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานทั้งระบบปฏิบัติการ ไมโครซอฟท์ วินโดวส์, แมคโอเอส และ ลินุกซ์ ซึ่งเขียนด้วยภาษา C, C++ และ จาวา ใช้ในการเขียนและอัปโหลดใส่บอร์ด Arduino โดยผู้ใช้งานจะเขียนเฉพาะส่วนเริ่มต้น และ ส่วนโปรแกรมทำซ้ำ โดย ปกติ avrdude จะถูกใช้เพื่อทำการอัปโหลดโปรแกรมลงในตัวบอร์ด Arduino

2.5.2 โปรแกรม Nextion Editor

Nextion Editor คือ โปรแกรมที่ใช้สำหรับการออกแบบสร้างหน้าจอที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างผู้คนและอุปกรณ์ด้วยการสัมผัสผ่านตัวจอของ Nextion ภายในตัวโปรแกรมจะมีปุ่มต่าง ๆ รองรับกับการใช้งานของเรา โดยตัวโปรแกรมสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE ได้ทำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ให้สามารถรับส่งข้อมูลกับบอร์ด Arduino ชนิดต่าง ๆ ได้โดยผ่านช่องทางการเชื่อมต่อ Rx Tx หรือ ขาที่ใช้สำหรับส่งและรับข้อมูล

2.5.3 ภาษา C

ภาษา C คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมเชิงโครงสร้าง สามารถกำหนดตัวแปรและเรียกซ้ำ เพื่อใช้งานบนระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ เป็นภาษาระดับต่ำ โดยสามารถใช้งานได้ตั้งแต่ ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ ถึง โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ และระบบฝังตัว โดยสามารถใช้ได้กับหลายแพลตฟอร์มและระบบปฏิบัติการได้โดยเปลี่ยนแปลงโค้ดเพียงเล็กน้อยและเป็นพื้นฐานสำหรับภาษา C++ และ จาวา

2.5.4 ภาษา C++

ภาษา C++ เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาต่อมาจากภาษา C โดยเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ มีการจัดข้อมูลแบบสทิตเป็นภาษาที่ใช้หน่วยความจำที่ต่ำ โดยตัวภาษานำไปใช้กับระบบของโปรแกรมและระบบฝังตัว โดยมีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการใช้งาน เป็นพื้นฐานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เกมส์ เซิร์ฟเวอร์ โดยมีองค์กรที่ให้การสนับสนุน เช่น LLVM, ไมโครซอฟท์, Intel, Oracle และ IBM

2.5.5 ภาษา Java

ภาษา Java เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้อย่างง่าย โดยตัวโปรแกรมสามารถนำไปใช้ทุกแพลตฟอร์มเมื่อทำการคอมไพล์แล้วโดยไม่ต้องคอมไพล์ใหม่ มีการตรวจข้อผิดพลาด โดยมีจุดประสงค์ให้่ง่าย แข็งแกร่งปลอดภัย ไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์มเคลื่อนย้ายสะดวก มีประสิทธิภาพสูง และเป็นพลวัต คล้ายคลึงกับภาษา C และ C++ แต่จะมีภาษาเครื่องที่น้อยกว่าและมีความซับซ้อนที่น้อยกว่า

2.6 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (lead-acid battery) เป็นแบตเตอรี่ที่มีอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาตรต่ำที่สุด แต่สามารถจ่ายกระแสกระชากสูงได้หมายความว่า มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักสูง และมีราคาถูก มีส่วนประกอบคือแผ่นตะกั่ว สารอิเล็กโทรไลต์กรดซัลฟิวริก ในกระบวนการคายประจุ ทั้งแผ่นบวกและลบจะกลายเป็น $PbSO_4$ สารอิเล็กโทรไลต์สูญเสียกรดซัลฟิวริกแล้วกลายเป็นน้ำ ในกระบวนการอัดประจุ ในสถานะอัดประจุเต็ม แผ่นลบจะประกอบไปด้วย Pb ตะกั่ว และแผ่นบวกจะเป็น PbO_2 การอัดประจุด้วยแรงดันสูงเกินจะทำให้เกิดแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจนโดยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของน้ำ ทำให้เป็นฟองอากาศและสูญเสียไป ภายหลังได้มีการออกแบบแบตเตอรี่ชนิด AGM (Absorbent Glass Mat) จะทำการออกแบบแผ่นกั้นจากวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แผ่นใยจากแก้วโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดกระบวนการออกซิไดซ์ทำให้แบตเตอรี่ไม่จำเป็นต้องเติมน้ำ แคลเซียมถูกผสมในแผ่นเพื่อลดการสูญเสีย น้ำ และเพื่อลดผลจากแรงดันเกินที่สามารถเกิดจากการอัดประจุหรือคายประจุอย่างรวดเร็วโดยทำการใส่วาล์วทางเดียวหรือเรียกว่า valve-regulated lead-acid (VRLA) แบตเตอรี่เจล ผสมเจลซิลิกา กับสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เป็นสารกึ่งแข็งมีข้อเสียคือความสามารถในการจ่ายกระแสแบบกระชากจะลดต่ำลง

2.7 มาตรฐานฮาร์โมนิกของอุปกรณ์

ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ที่มีกระแสขาเข้าน้อยกว่า 16 แอมป์ต่อเฟส โดยตามมาตรฐานจะแบ่งอุปกรณ์ต่างๆออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

Class A คือ โหลด 3 เฟสสมดุล, หรือเครื่องใช้อื่นๆที่นอกเหนือจาก Class D

Class B คือ เครื่องมือกลต่างๆ, เครื่องเชื่อม

Class C คือ อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่าง

Class D คือ อุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 75 วัตต์ แต่ไม่เกิน 600 วัตต์ [6]

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานฮาร์โมนิกของอุปกรณ์

Harmonics [n]	Class A [A]	Class B [A]	Class C [% of fund]	Class D [mA/W]
3	2.3	3.45	$30 \times \lambda$	3.4
5	1.14	1.71	10	1.9
7	0.77	1.155	7	1.0
9	0.40	0.60	5	0.5
11	0.33	0.495	3	0.35
13	0.21	0.315	3	3.85/13
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$	$0.225 \times 15/n$	3	$3.85/n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

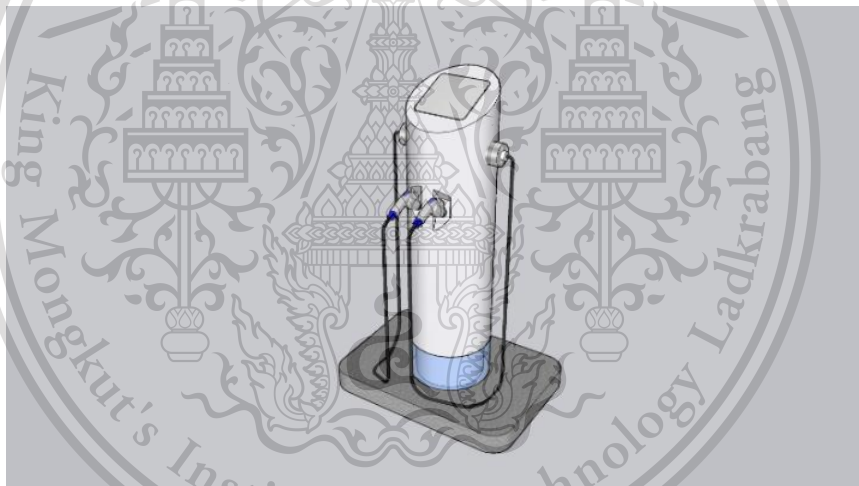
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

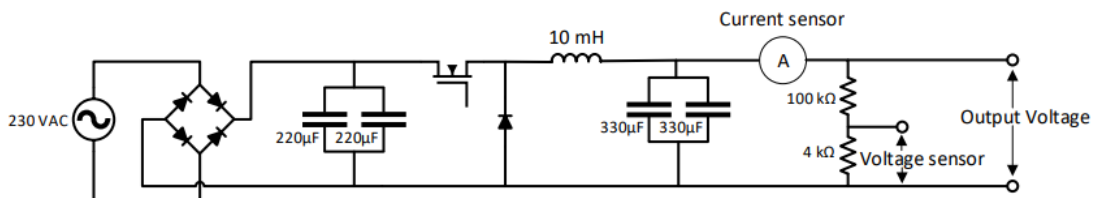
การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

3.1 การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การออกแบบและการสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กจะทำการออกแบบเพื่อนำไปใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กในที่สาธารณะ ดังนั้นการออกแบบตู้จะเริ่มทำการออกแบบจากการออกแบบตู้อัดประจุไฟฟ้าให้สามารถใช้งานได้ในที่สาธารณะโดยตัวตู้จะสร้างจากโลหะและอลูมิเนียมและมีสายเคเบิล 2 สายสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยหัวในการอัดประจุไฟฟ้าเป็นหัวแบบ 2 ที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยลักษณะของตู้เป็นทรงกระบอกตัวตัดวางไว้บนพื้น โดยตัวตู้อัดประจุไฟฟ้าจะรับแรงดันขาเข้าจากไฟบ้านที่ระดับแรงดันเฟส 220 V นอกจากนี้ตัวตู้อัดประจุไฟฟ้าจะมีหน้าจอสัมผัสในการเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ข้างบนตู้อัดประจุไฟฟ้าเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานดังรูปที่ 3.1 และวงจรภายในดังรูปที่ 3.1ก



รูปที่ 3.1 รูปตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ด้านหน้า



รูปที่ 3.1ก รูปวงจรรภายในที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

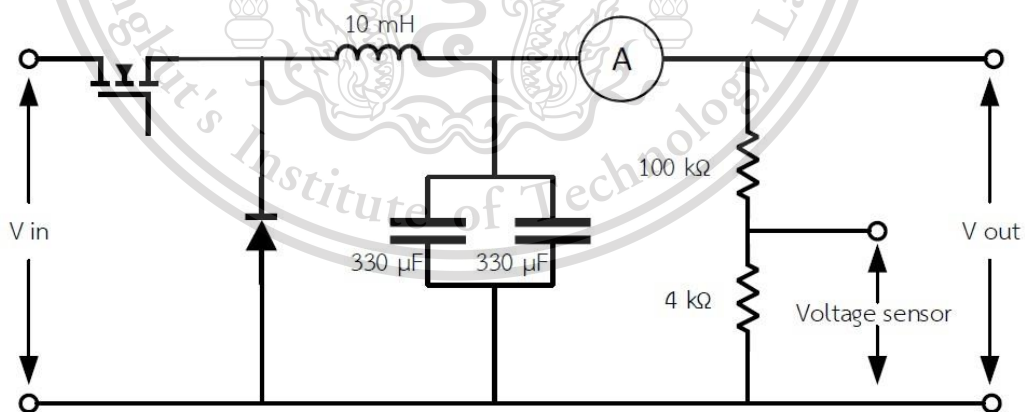
3.2 การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กประกอบด้วย 2 วงจร ดังต่อไปนี้

3.2.1 วงจรกำลัง ซึ่งวงจรกำลังแบ่งเป็นวงจรเรียงกระแสและวงจรลดทอนแรงดัน

การออกแบบวงจรเรียงกระแส มีอุปกรณ์ดังนี้ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น กับ ตัวเก็บประจุ ซึ่งจากการออกแบบ โดยคำนวณจากแรงดันไฟฟ้าเข้าซึ่งใช้เป็นไฟฟ้าบ้านอยู่ที่ แรงดันเพส 220 V จึงใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น GBPC 3508 ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 35 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 220 μF 450 V 2 ตัว และใส่ตัวต้านทานขนาด 50 $\text{k}\Omega$ 10 W เพื่อทำการคลายประจุจากตัวเก็บประจุ

การออกแบบวงจรลดทอนแรงดัน มีอุปกรณ์ดังนี้ มอสเฟต เบอร์ IRFP460 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ ทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด 500 V และกระแสสูงสุด 20 A ต่อกับ ไดโอดเบอร์ RFUH20TF6S ที่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ 600 V ที่ใช้เพื่อใช้เป็นทางไหลของกระแสสะสมในตัวเหนี่ยวนำเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ต่อกับตัวเหนี่ยวนำ 10 mH และต่อตัวเก็บประจุขาออก 330 μF 250 V จำนวน 2 ตัว และมีตัวต้านทานขนาด 22 $\text{k}\Omega$ 5W ใช้เพื่อทำการคลายประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุเมื่อไม่มีโหลด และใช้ ACS712 20A เพื่อวัดปริมาณกระแสขาออก กับ วงจรแบ่งแรงดันโดยมีอัตราส่วนเป็น 4/104 เพื่อวัดแรงดันขาออก



รูปที่ 3.2 วงจรลดทอนแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

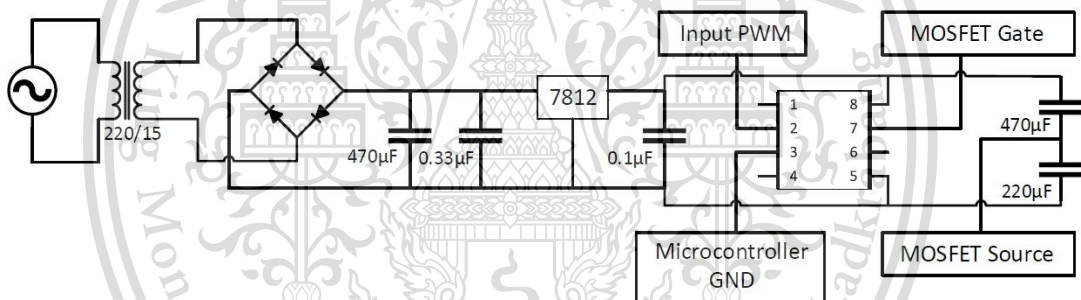
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

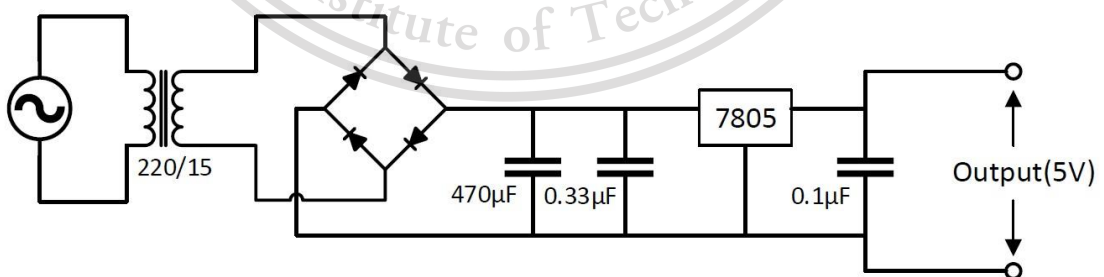
3.2.2 วงจรควบคุม

การออกแบบวงจรควบคุมเริ่มจาก หม้อแปลงแรงดัน 220/15 V ต่อกับ Bridge Rectifier KBP 208 ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 2 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 470 μF 35V และ ตัวเก็บประจุขนาด 0.33 μF ต่อด้วย IC 7812 ต่อด้วยตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF ต่อกับ TLP 250 เพื่อนำไปใช้ขับขาเกตมอสเฟต โดยมีตัวเก็บ 470 μF และ 220 μF ต่อไว้ระหว่างขา 8 และ 5 ของ TLP 250 ไว้เพื่อดับสัญญาณขับเกตของมอสเฟต เพื่อลดความสูญเสียในการสวิตช์

การออกแบบวงจรเพื่อใช้จ่ายแรงดันให้ Arduino หม้อแปลงแรงดัน 220/15 V ต่อกับ Bridge Rectifier KBP 208 ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 2 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 470 μF 35V และ ตัวเก็บประจุขนาด 0.33 μF ต่อด้วย IC 7805 ต่อด้วยตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF เพื่อนำแรงดัน 5 V ไปใช้เป็นแหล่งจ่าย สำหรับ Arduino [7]



รูปที่ 3.3 วงจรขับขาเกตมอสเฟต



รูปที่ 3.4 วงจรจ่ายแรงดัน Arduino

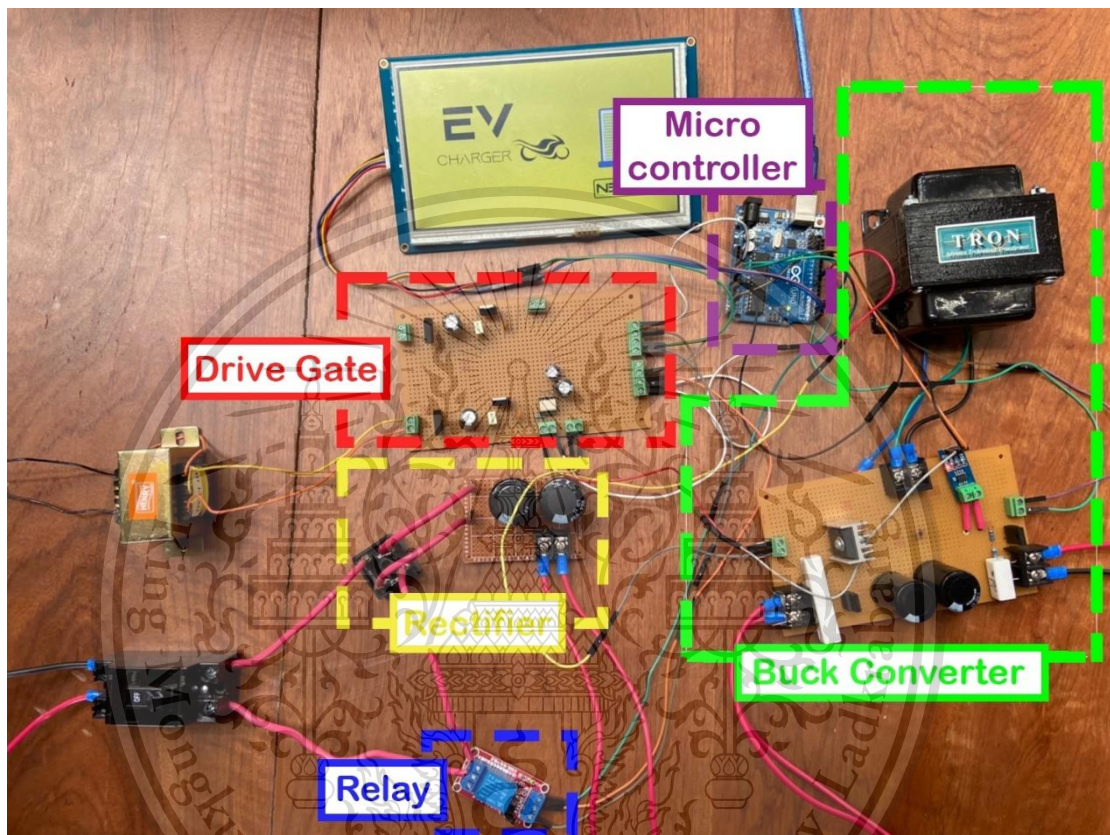
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.3 วงจรป้องกัน

วงจรป้องกันนี้ใช้สำหรับป้องกันแรงดันและกระแสเกินโดยมีรีเลย์สำหรับการตัดต่อ โดยรับค่ามาจาก Arduino โดยใช้ รีเลย์ JQC-3FF-S-Z ซึ่งเป็นโมดูลรีเลย์สำหรับ Arduino โดยอ่านค่าแรงดันและกระแสจาก โมดูลกระแส และวงจรแบ่งแรงดันที่ได้จัดทำในวงจรกำลัง โดยอ่านวิเคราะห์และสั่งการผ่าน Arduino และมี ไดโอดเบอร์ RFUH20TF6S ไว้เพื่อป้องกันการต่อกลับขั้ว

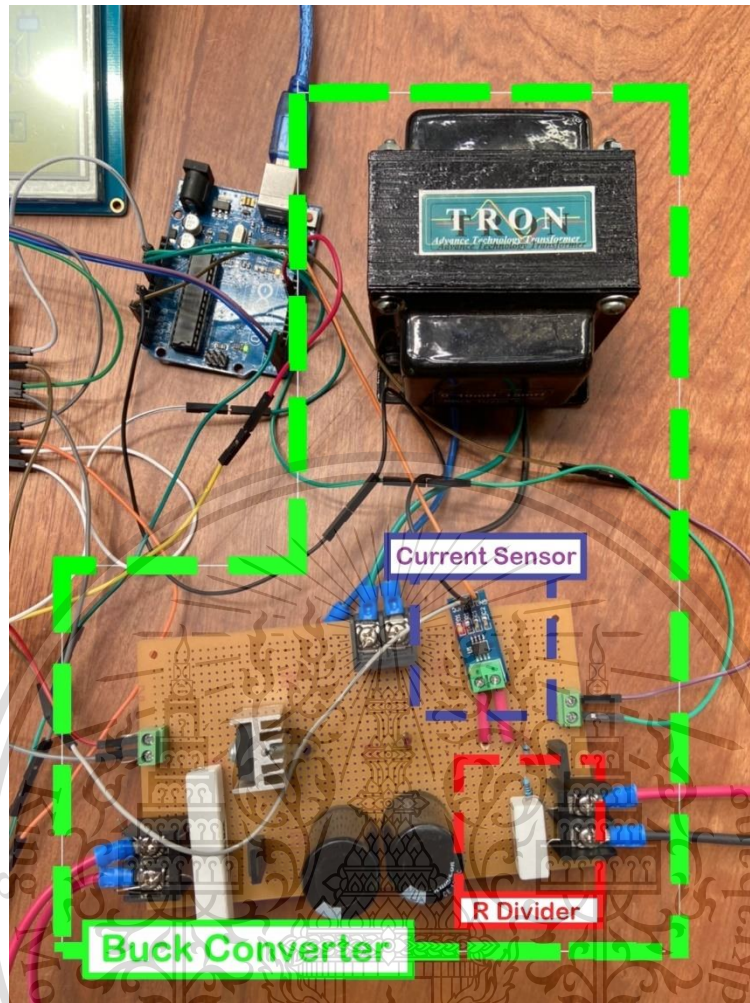


รูปที่ 3.5 วงจรที่ได้ทำการออกแบบโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 วงจรลดทอนแรงดันที่ได้ทำการออกแบบ

3.2.4 การคำนวณพารามิเตอร์

การคำนวณตัวเหนี่ยวนำโดยใช้สูตรดังนี้

$$L = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \times f_S \times V_{IN}} \quad (3.1)$$

โดยที่

V_{IN} = แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

V_{out} = แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ต้องการ

f_s = ความถี่การสวิตช์อย่างต่ำของวงจรแปลงผันกำลัง

ΔI_L = ค่าประมาณของกระแสกระแสเพื่อที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้วงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$L_{min} = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \times f_S \times V_{IN}}$$

$$= \frac{120 \times (400 - 120)}{0.6 \times 15625 \times 400}$$

$$L_{min} = 8.96 \text{ mH}$$

การคำนวณตัวเก็บประจุขาออกสามารถคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ [8]

$$C_{OUT(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_S \times \Delta V_{OUT}} \quad (3.2)$$

โดยที่

$C_{OUT(min)}$ = ค่าขั้นต่ำของตัวเก็บประจุขาออก

ΔI_L = ค่าประมาณของกระแสกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

f_S = ความถี่การสวิตช์อย่างต่ำของวงจรแปลงผันกำลัง

ΔV_{out} = แรงดันไฟฟ้ากระแสเฟืองขาออกที่ต้องการ

$$C_{OUT(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_S \times \Delta V_{OUT}}$$

$$= \frac{0.6}{8 \times 15625 \times 0.1}$$

$$C_{OUT(min)} = 48 \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

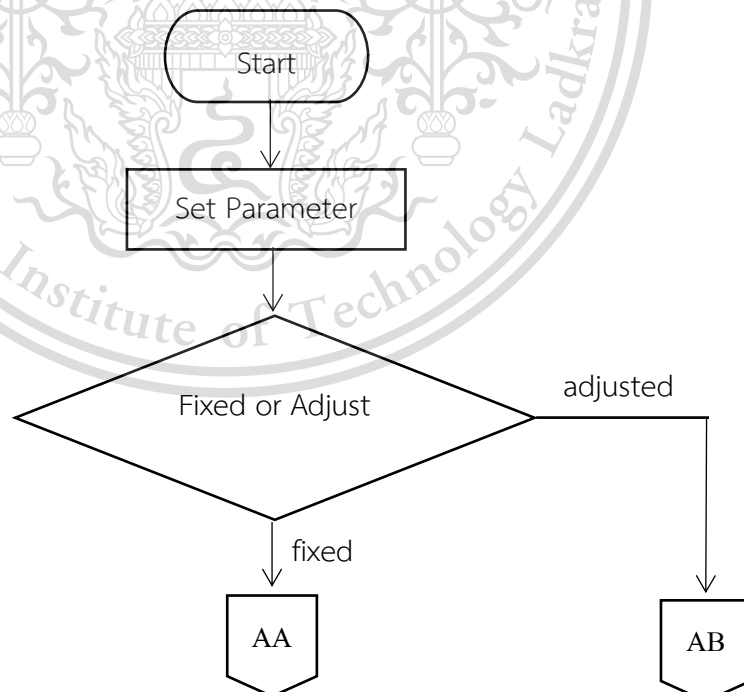
3.3 การออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรถัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรถัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้หลักการอัดประจุแบบ กระแสคงที่และแรงดันคงที่ โดยโปรแกรมจะทำการควบคุมสัญญาณ PWM ให้ MOSFET จ่ายกระแสที่คงที่ จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปถึงจุดที่ตั้งไว้หลังจากนั้นจะเข้าสู่แรงดันคงที่และกระแสก็จะลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียลและการอัดประจุจะหยุดลงเมื่อกระแสถึงจุดที่ตั้งไว้ สามารถปรับ แรงดัน กระแสและกระแสตัดขณะแบตเตอรี่เต็มได้ มีโปรแกรมสำหรับการป้องกันโดยเป็นการป้องกันแรงดันและกระแสเกินที่กำหนด จะสั่งให้รีเลย์ทำงานเมื่อแรงดันหรือกระแสถึงจุดที่กำหนดไว้ โดยสามารถแบ่งโปรแกรมเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผ่านหน้าจอ LCD ระบบสัมผัส

โดยมีให้เลือก 2 ระบบคือระบบที่โปรแกรมมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้นเอาไว้แล้วให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้และอีกหนึ่งระบบคือที่สามารถกำหนดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้นตามที่ใช้ต้องการ

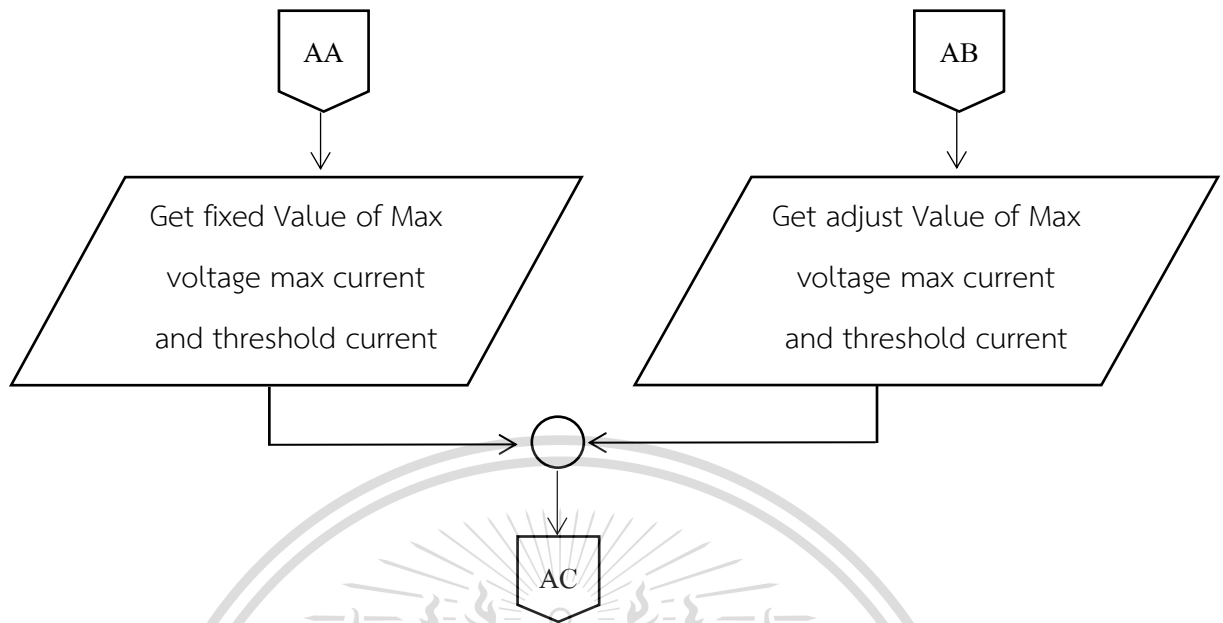
[9]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

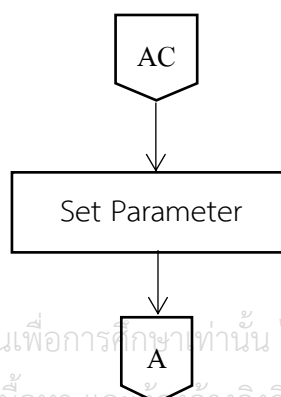
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



3.3.2 ขั้นตอนการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าแบตเตอรี่

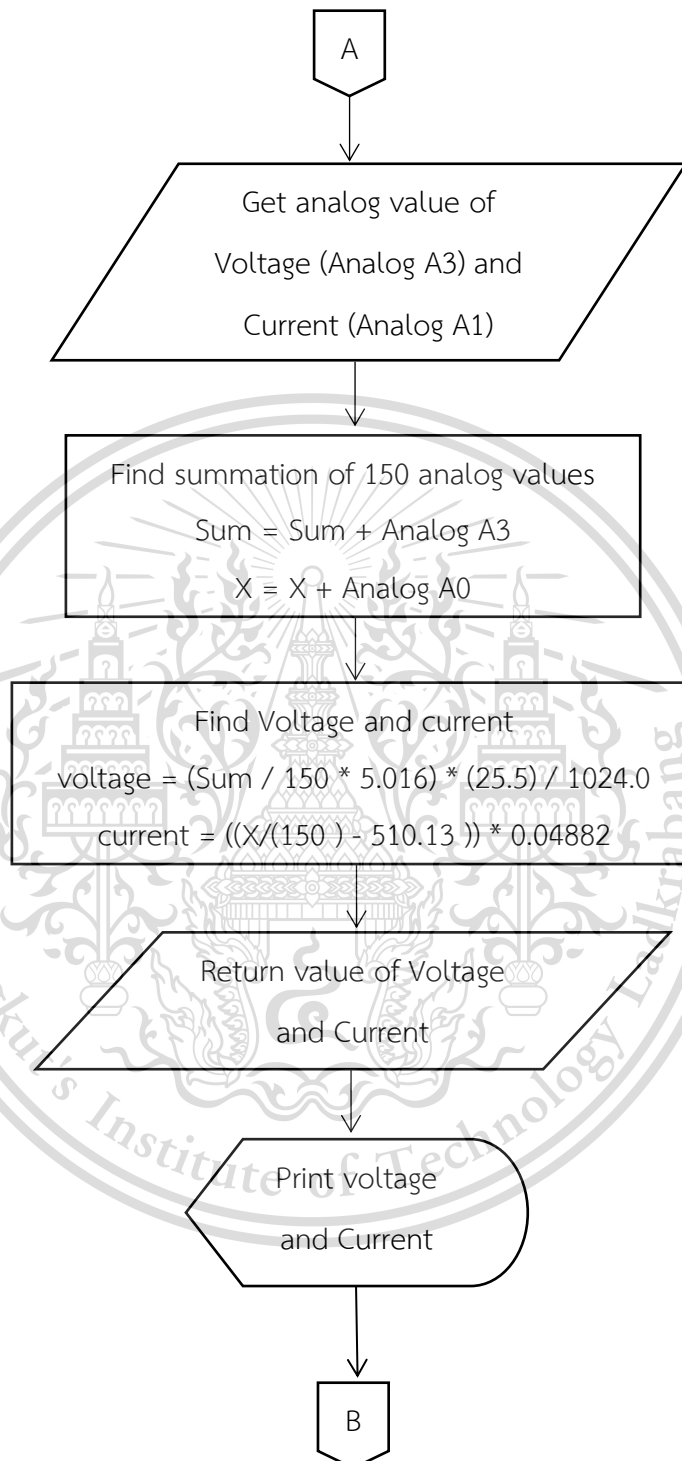
ซึ่งเป็นการสร้างฟังก์ชันเพื่อนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าไปใช้ต่อซึ่งจะเริ่มจากการรับค่าอนาล็อกจากเซ็นเซอร์ หลังจากนั้นโปรแกรมจะนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและคำนวณให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจริงโดยการนำค่าอนาล็อกที่ได้จาก A3 มาหาค่าเฉลี่ยหลังจากนั้นนำไปคูณกับค่าแรงดันอ้างอิงที่มาจากแรงดันที่จ่ายให้กับเซ็นเซอร์และค่าวัดปรับเทียบหารกับจำนวนบิตจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าจริง ในส่วนของกระแสนำค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์มาหาค่าเฉลี่ยจากนั้นนำไปลบกับค่าที่อ่านได้เมื่อกระแสจริงเท่าศูนย์เมื่อได้แล้วเอามาคูณกับแรงดันอ้างอิงหารจำนวนบิตก็จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ โดยโปรแกรมมีขั้นตอนการทำงานดังแผนผังแสดงการทำงานต่อไปนี้โดย [10-11]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และที่ยังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



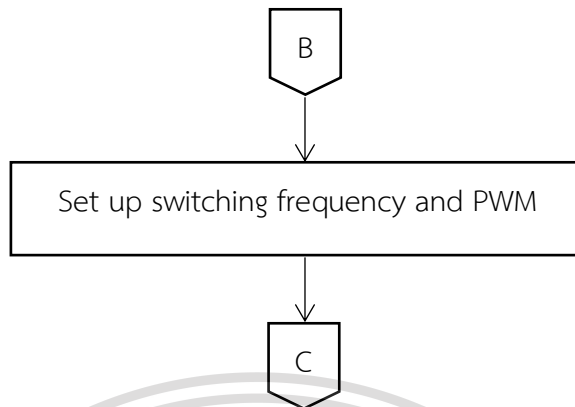
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

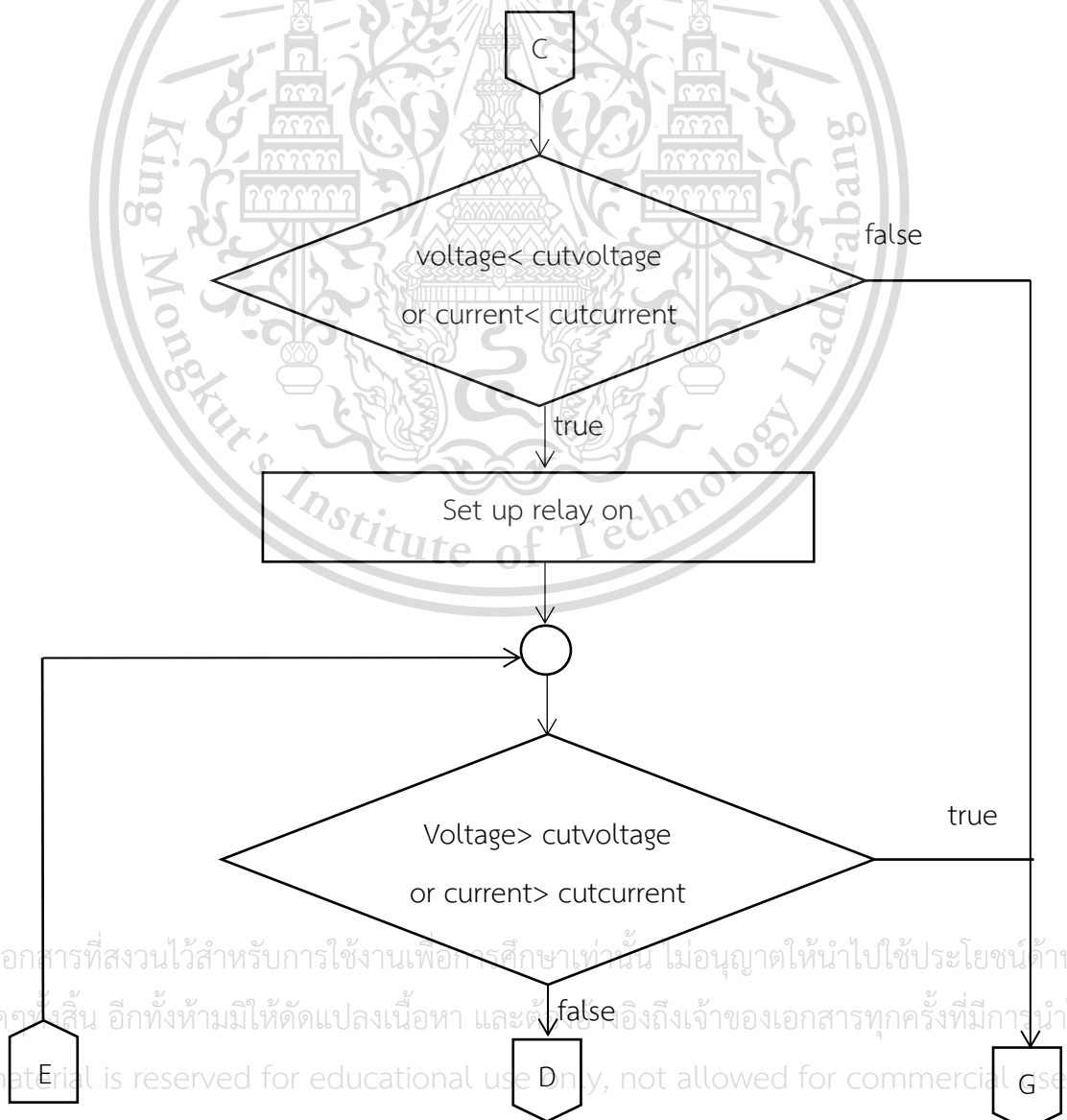
3.3.3 ขั้นตอนการกำหนดสัญญาณ PWM ให้มีความละเอียด 10 บิต

เพื่อให้การควบคุมให้การสวิตช์มีความละเอียด โดยมีความถี่ 15,625 เฮิรตซ์ [12]



3.3.4 ขั้นตอนควบคุมโหมดในการอัดประจุไฟฟ้า

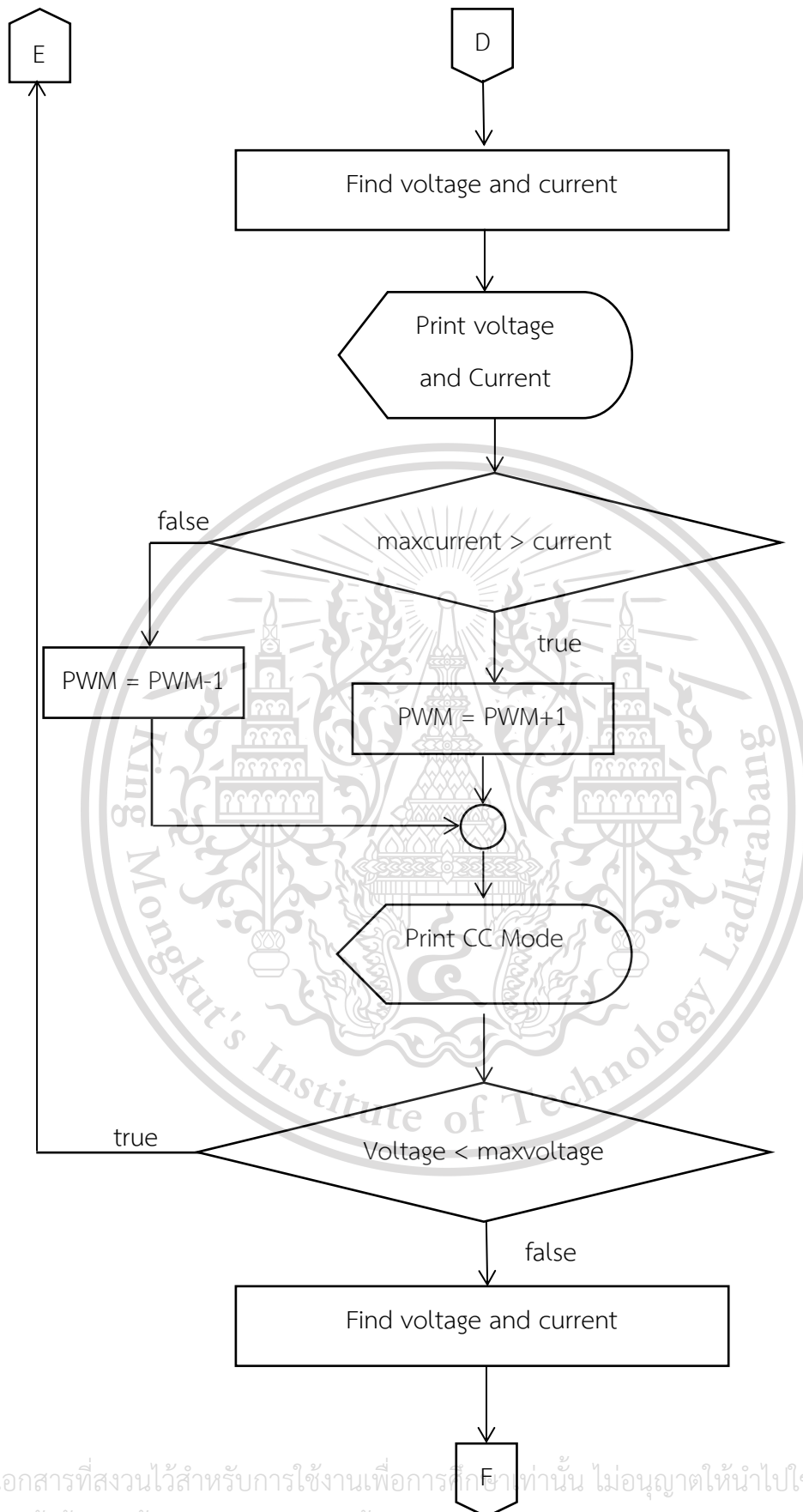
มีการทำงานในโหมดกระแสคงที่และโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่โปรแกรมมีแผนผังดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

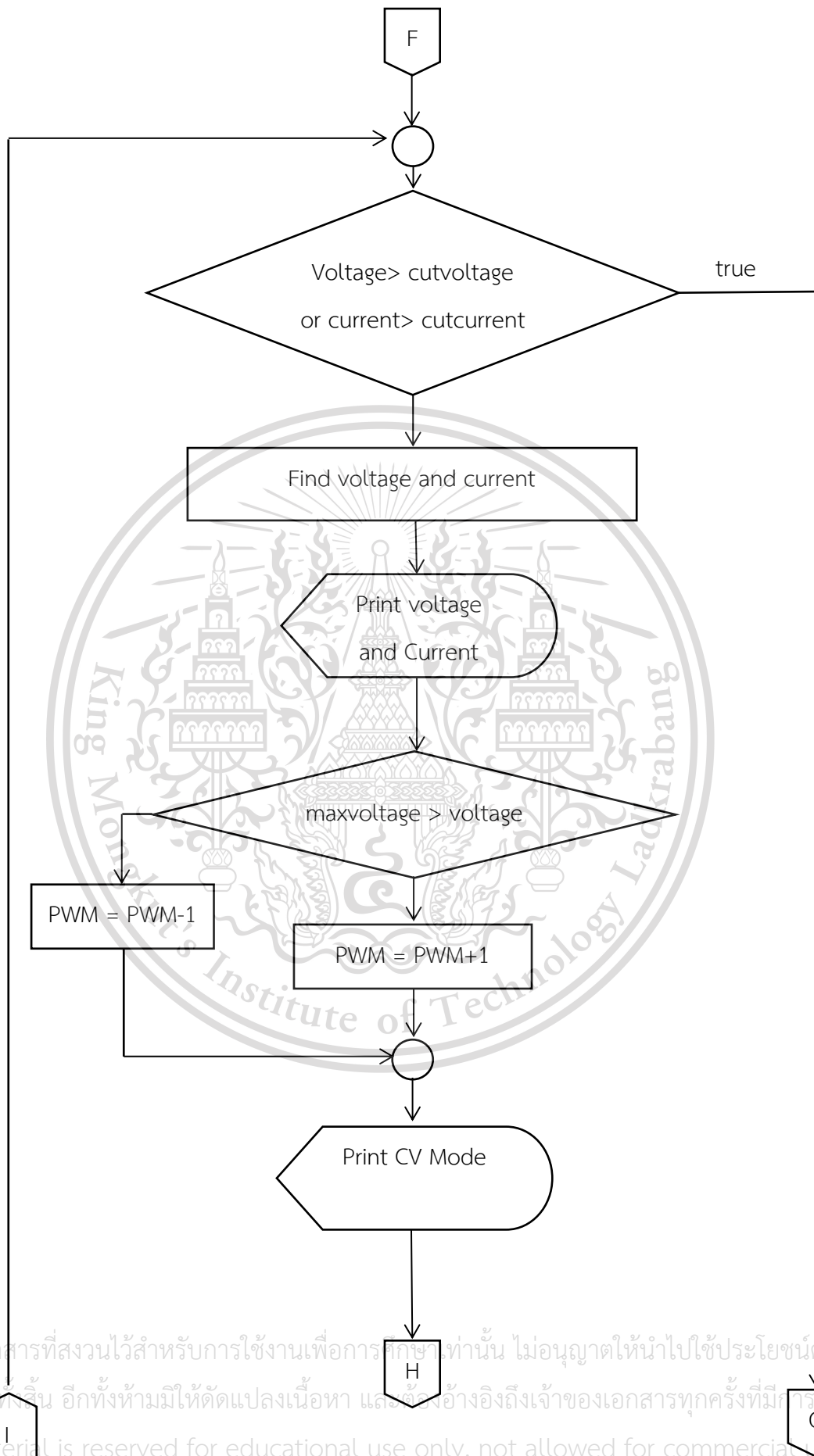
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

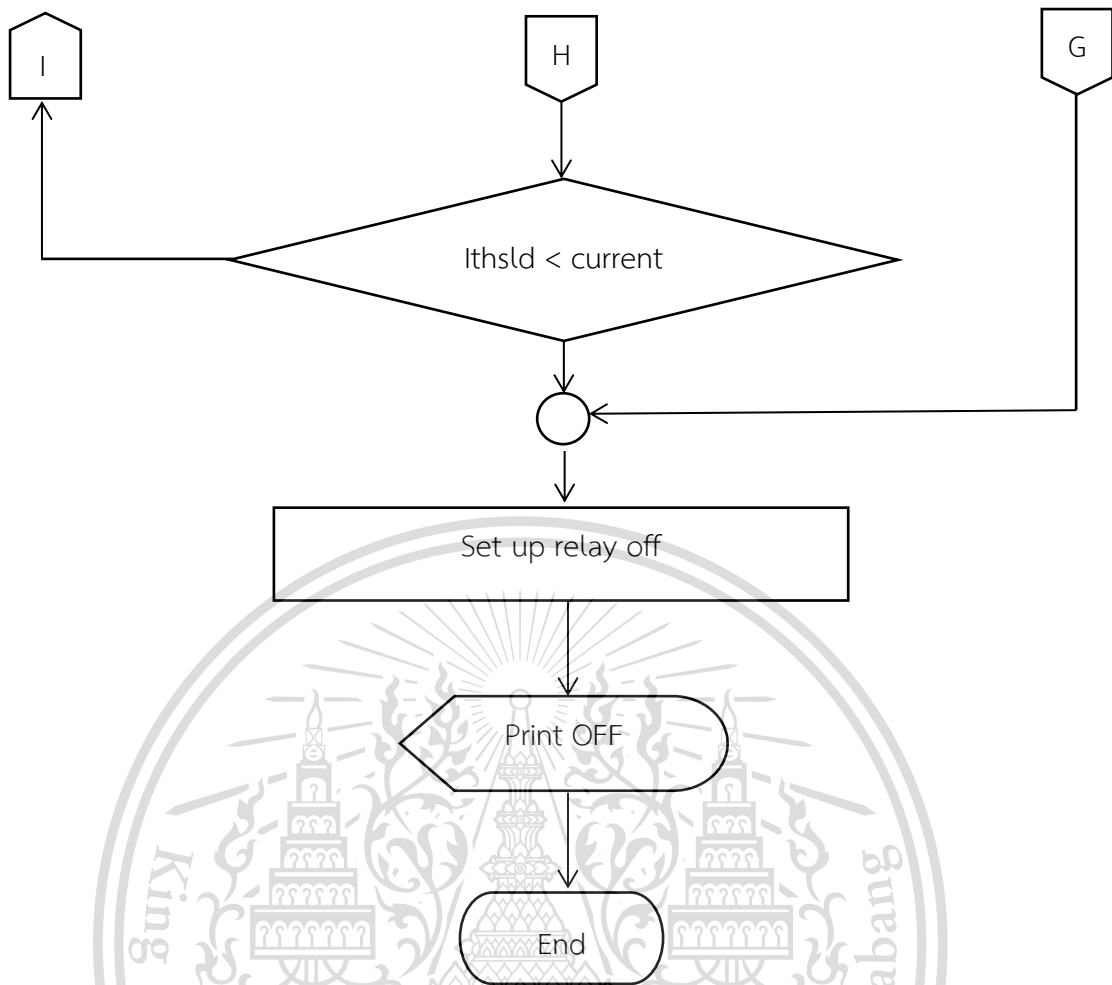
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



3.4 การออกแบบหน้าจอสัมผัส

หน้าจอสัมผัสที่ใช้เป็นรุ่น NX8048T070 ขนาดหน้าจอ 7.0 นิ้ว โดยทำการออกแบบผ่านโปรแกรม Nextion Editor หน้าจอสัมผัสทำการสื่อสารเพื่อสั่งการต่าง ๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทาง Rx Tx หน้าจอใช้แรงดัน 5 โวลต์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยได้ทำการออกแบบเป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

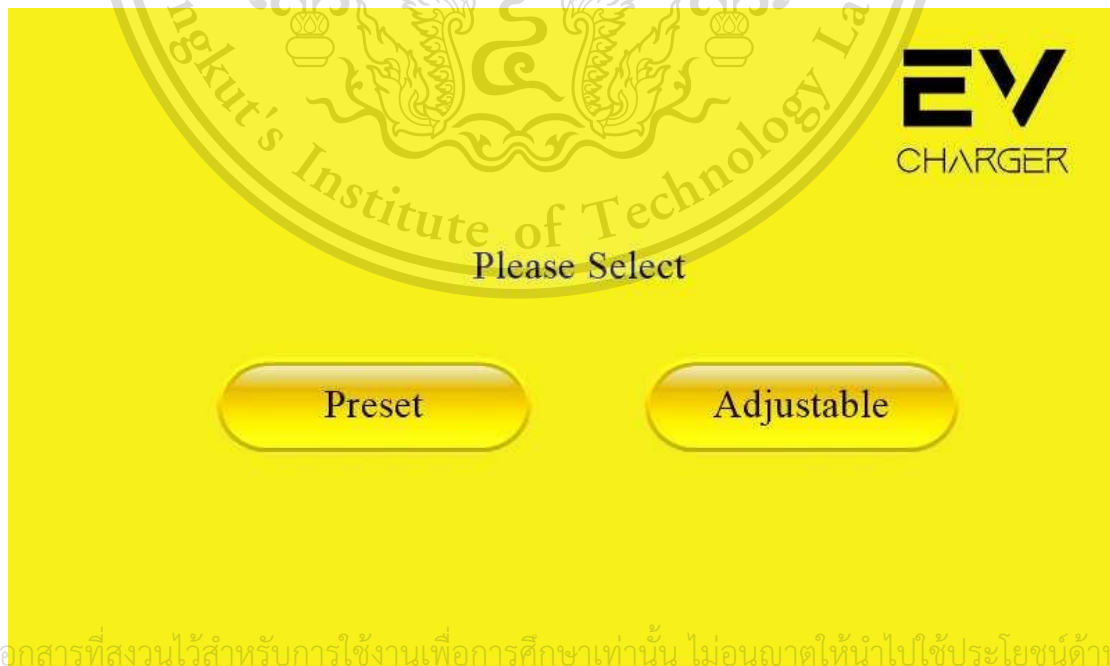
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.7 แสดงภาพหน้าจอต้อนรับโดยทำการกดปุ่ม Next เพื่อไปหน้าต่อไป



รูปที่ 3.7 หน้าจอต้อนรับ

รูปที่ 3.8 แสดงภาพหน้าจอในการเลือกรูปแบบการอัดประจุโดยมี 2 แบบคือ แบบที่ตั้งค่ามาแล้วกับแบบตั้งค่าด้วยตัวเอง โดยเป็นค่าแรงดันอัดประจุ กระแสอัดประจุ และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

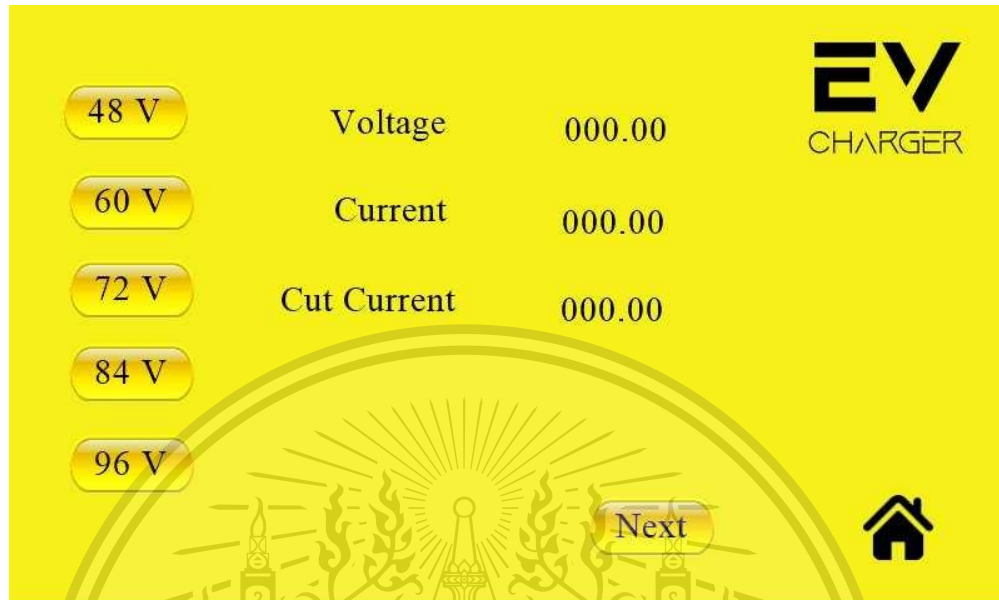
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 หน้าจอเลือกรูปแบบการปรับตั้งค่าในการอัดประจุ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

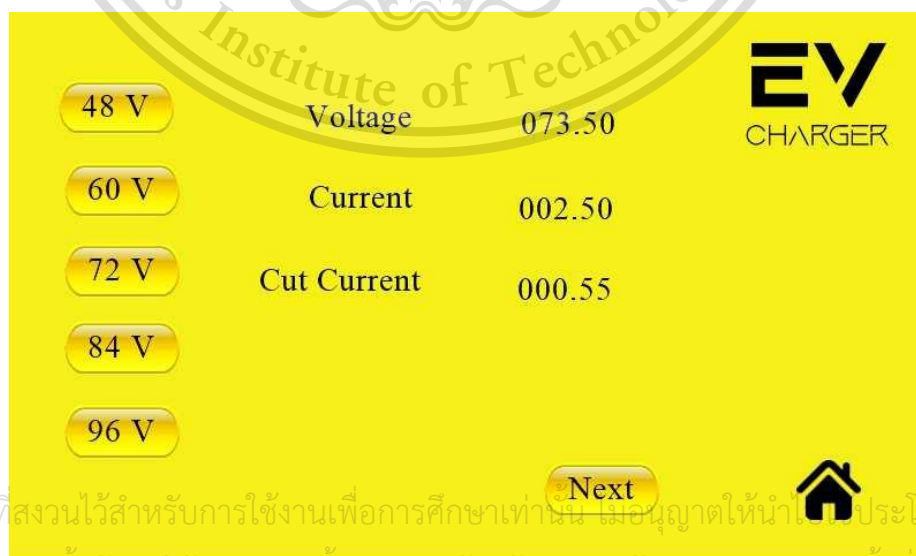
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.9 แสดงภาพหน้าจอในการเลือกรูปแบบที่ตั้งค่ามาแล้ว โดยต่อมาให้เลือกขนาดของแบตเตอรี่ ค่าด้านขวาแสดงค่าแรงดันอัดประจุ กระแสอัดประจุ และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้น โดยมีปุ่ม Next เพื่อไปยังหน้าต่อไป และ ปุ่มรูปบ้านเพื่อย้อนกลับไปหน้าต้อนรับ



รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงในรูปแบบที่ตั้งค่ามาแล้ว

รูปที่ 3.10 แสดงภาพหน้าจอตัวอย่างการกดปุ่ม 60 V โดยค่าด้านขวาจะแสดงค่าแรงดันอัดประจุที่ 73.50 โวลต์ หรือ 14.7 โวลต์ต่อแบตเตอรี่ 1 ลูก กระแสอัดประจุที่ 2.5 แอมป์ และกระแสขณะอัดประจุเสร็จที่ 0.55 แอมป์ โดยค่าต่าง ๆ เป็นการนำค่ามาจากค่าแนะนำในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแรงดัน 12 โวลต์ ขนาด 22 Ah



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้า

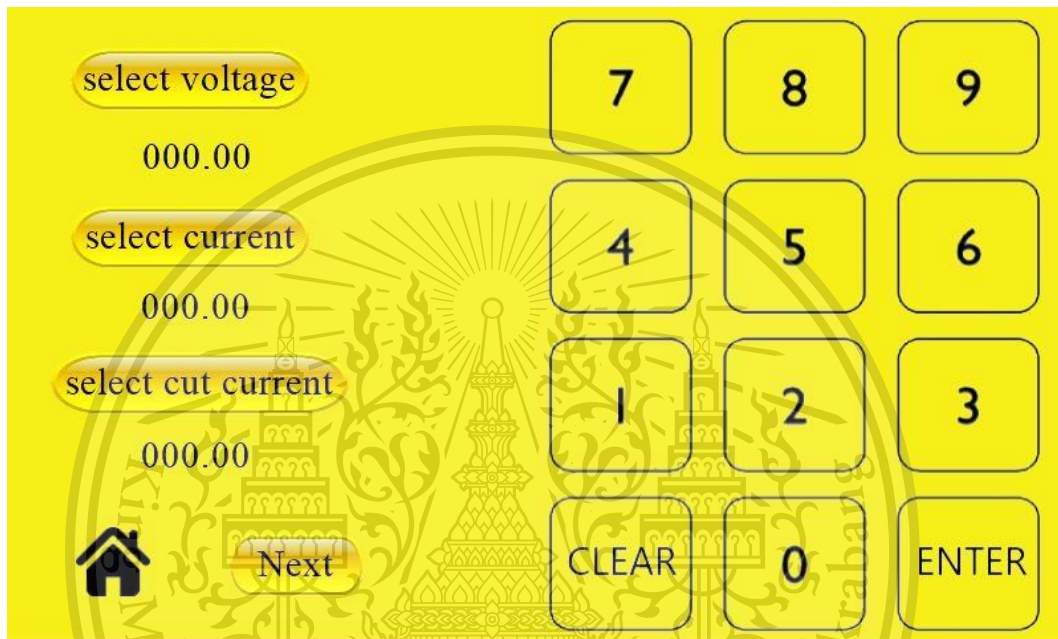
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 หน้าจอแสดงตัวอย่างรูปแบบที่ตั้งค่ามาแล้วขนาดแรงดันแบตเตอรี่ 60 โวลต์

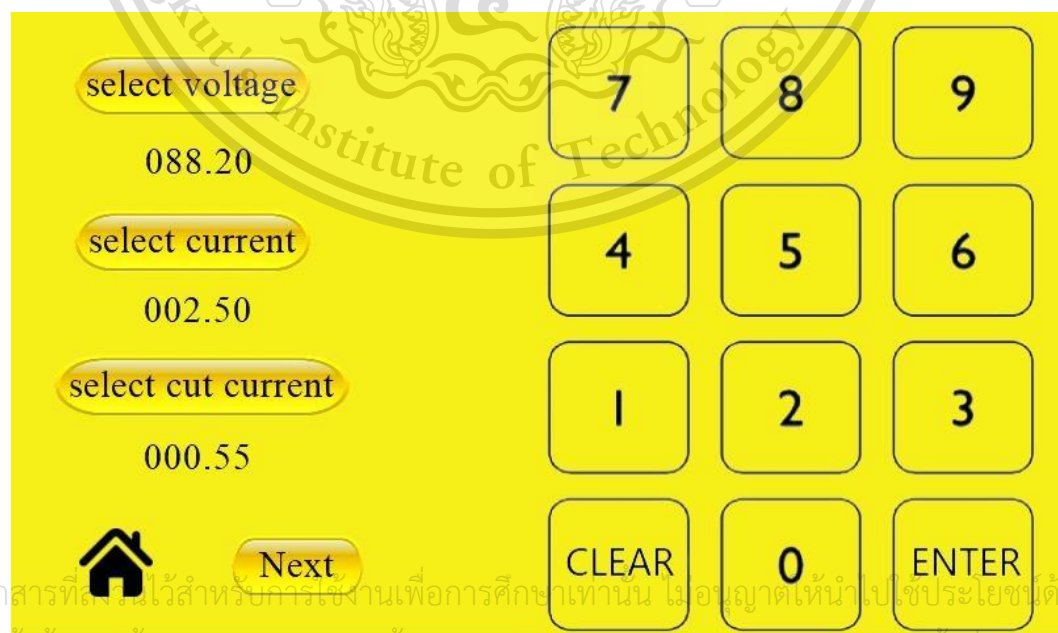
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.11 แสดงภาพหน้าจอที่ใช้ในการเลือกแรงดันอัดประจุ กระแสอัดประจุ และ กระแสขณะอัดประจุด้วยตัวเอง โดยมีวิธีการใช้งานดังนี้ ในกรณีเลือกแรงดันการอัดประจุ กดปุ่ม select voltage แล้วทำการกดตัวเลขโดยตัวเลขจะไล่จากด้านขวามาเรื่อย ๆ เช่นการจะกดแรงดัน 88.20 ให้ทำการกด 8 8 2 0 แล้วจึงกด ENTER ถ้าต้องการแก้ไขให้ทำการกดปุ่ม CLEAR ในการเลือก กระแสอัดประจุ และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้น เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน กดปุ่ม Next เมื่อใส่ ข้อมูลทุกอย่างครบถ้วน ปุ่มรูปบ้านจะทำการย้อนไปหน้าต้อนรับ



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงในรูปแบบที่ตั้งค่าด้วยตัวเอง



รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงตัวอย่างรูปแบบที่ตั้งค่าด้วยตัวเอง

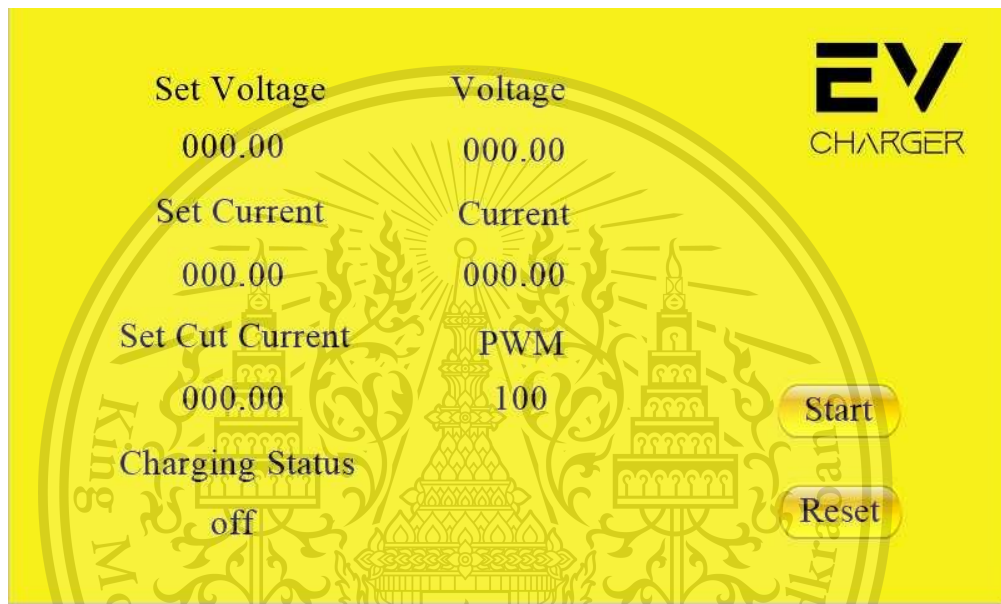
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

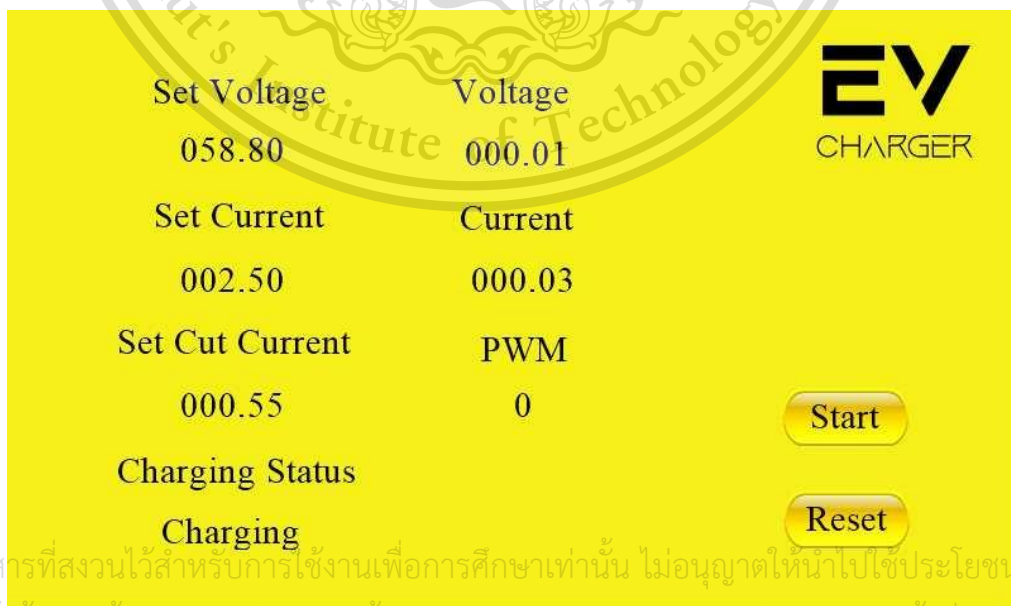
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.13 แสดงหน้าจอเมื่อทำการกดปุ่ม Next ทั้ง รูปแบบการตั้งค่ามาแล้ว หรือ รูปแบบที่ตั้งค่าด้วยตัวเอง โดยหน้าจอจะแสดงค่าที่ได้ทำการตั้งไว้ของ แรงดันอัดประจุ กระแสอัดประจุ และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้น แสดงค่าแรงดัน กระแส ขณะที่ทำการอัดประจุ ค่า duty cycle ของ สัญญาณ PWM โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1,023 และแสดงสถานะอัดประจุ ระบบจะทำการอัดประจุเมื่อกดปุ่ม Start และปุ่ม Reset มีไว้ใช้เมื่อทำการอัดประจุเสร็จสิ้น หรือ เกิดเหตุฉุกเฉินที่จำเป็นต้องการหยุดอัดประจุ โดยระบบจะทำการตัดวงจรด้วยรีเลย์ และ ทำการตั้งค่าทุก ๆ อย่างเป็น 0



รูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงค่าขณะทำการอัดประจุ



รูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงตัวอย่างขณะทำการอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

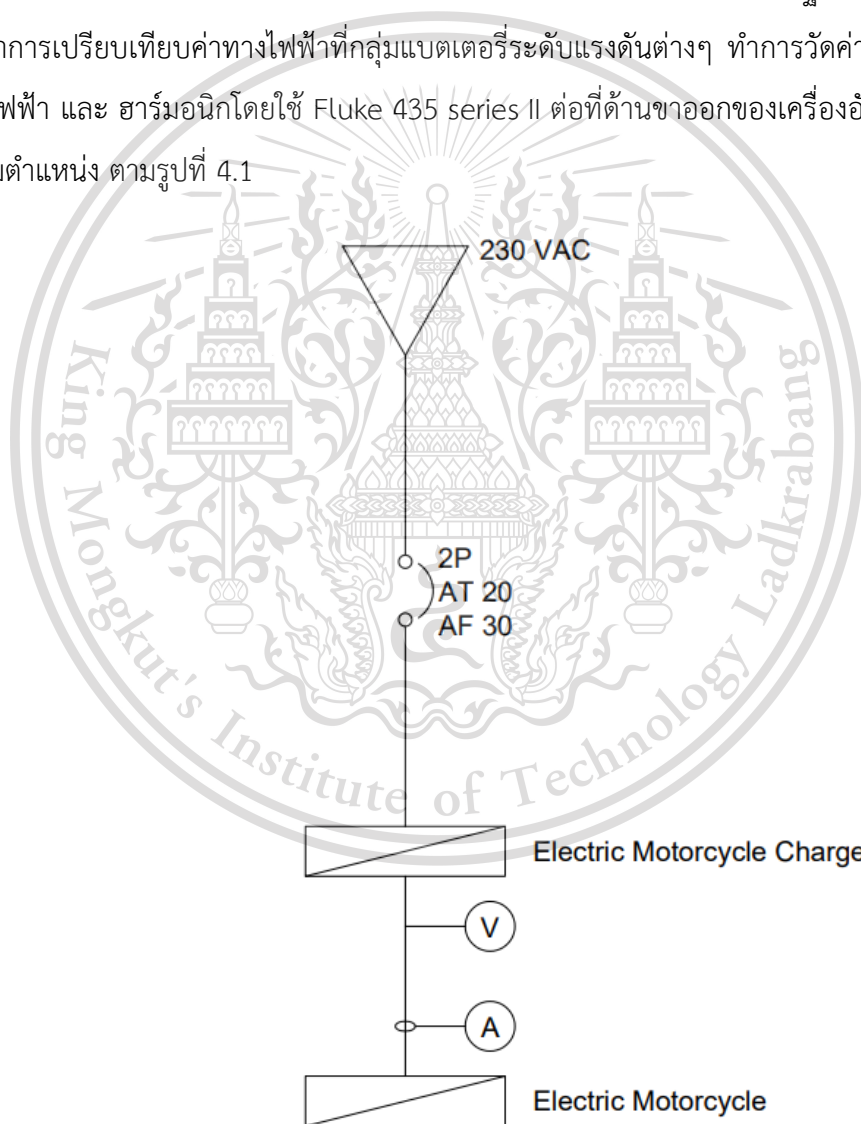
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

การทดสอบตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับกลุ่มแบตเตอรี่ที่ระดับแรงดันต่าง ๆ ตั้งแต่ 4 ลูก 48 V ถึง 8 ลูก 96 V ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละลูกมีขนาด 12 V 22.8 Ah เพื่อเป็นการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบว่าสามารถใช้งานจริงได้ ทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดประจุที่จัดทำในงานวิจัยนี้กับเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดที่ขนาด 72 V เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 และทำการเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่กลุ่มแบตเตอรี่ระดับแรงดันต่างๆ ทำการวัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และ ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fluke 435 series II ต่อที่ด้านขาออกของเครื่องอัดประจุ ทำการวัดตามตำแหน่ง ตามรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.1 แผนภาพเส้นเดียวของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การทดลองการอัดประจุไฟฟ้า

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้าโดยจะทำการวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้า และฮาร์มอนิกทางฝั่งที่ใช้สำหรับการอัดประจุโดยค่าที่วัดทั้งหมดเป็นแบบไฟฟ้ากระแสตรง

4.2.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 4 ลูก

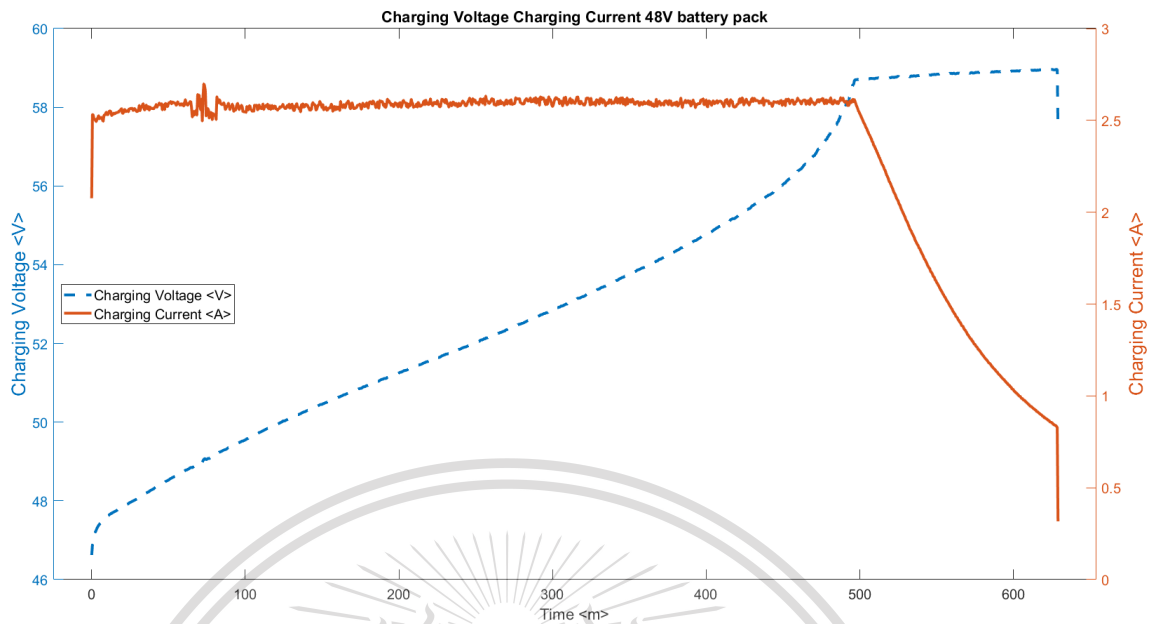
ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid โดยแบตเตอรี่มีแรงดัน 46.07 โวลต์ขณะก่อนทำการอัดประจุและมีแรงดัน 54.87 โวลต์หลังจากทำการอัดประจุเสร็จสิ้น ตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุกระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุในช่วงแรงดันคงที่ 58.8 โวลต์ โดยทำการวัดจากเครื่อง Fluke 435 series II ค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายกับค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 10 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) จะได้ว่า ฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 320.19% ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 81.06% 116.87% 96.02% 59.11% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 327.57% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 9.42% 4.64% 2.80% 2.12% และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 59.82% โดยได้ข้อมูลของแรงดันและกระแสอัดประจุตามรูปที่ 4.2 และข้อมูลของความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.3

จากมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ตู้อัดประจุจัดอยู่ใน Class D และกำลังสูงสุดอยู่ที่ 138 วัตต์ จะต้องมีการฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าไม่เกิน 469,262,138 และ 69 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ และจากการทดลองได้ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าเป็น 71.9,35.4,21.4 และ 16.2 มิลลิแอมป์ จะได้ว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 4 ลูกมีฮาร์มอนิกไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2

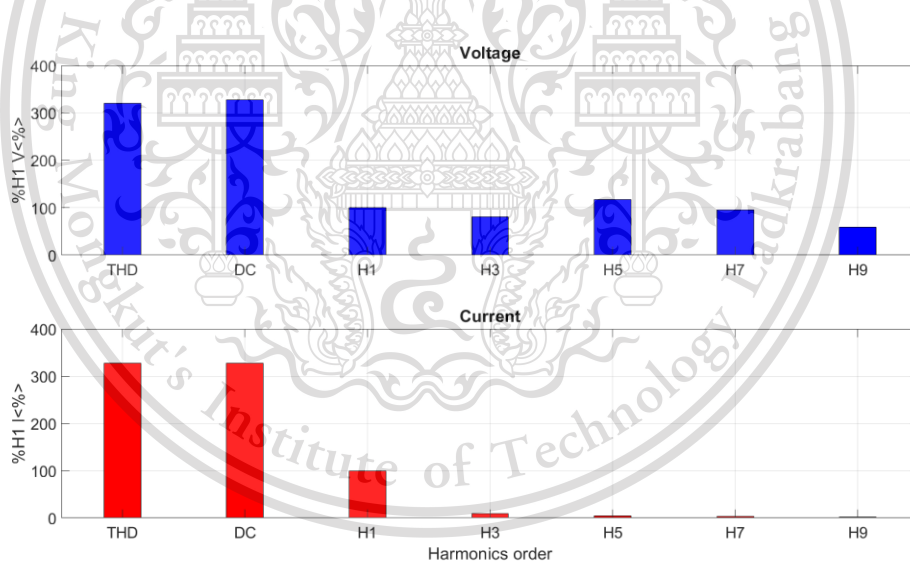
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสต่อประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 4 ลูก



รูปที่ 4.3 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 4 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid โดยแบตเตอรี่มีแรงดัน 66.9 โวลต์ขณะก่อนทำการอัดประจุและมีแรงดัน 83.5 โวลต์หลังจากทำการอัดประจุเสร็จสิ้น ตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุกระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่ช่วงแรงดันคงที่ 88.2 โวลต์ โดยทำการวัดจากเครื่อง Fluke 435 series II ค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายกับค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 13 ชั่วโมง 6 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) จะได้ว่า ฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 324.73% ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 121.49% 89.03% 80.28% 67.29% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 324.25% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 19.32% 10.52% 7.23% 5.64% และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 60.00% โดยได้ข้อมูลของแรงดันและกระแสอัดประจุตามรูปที่ 4.4 และข้อมูลของความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.5

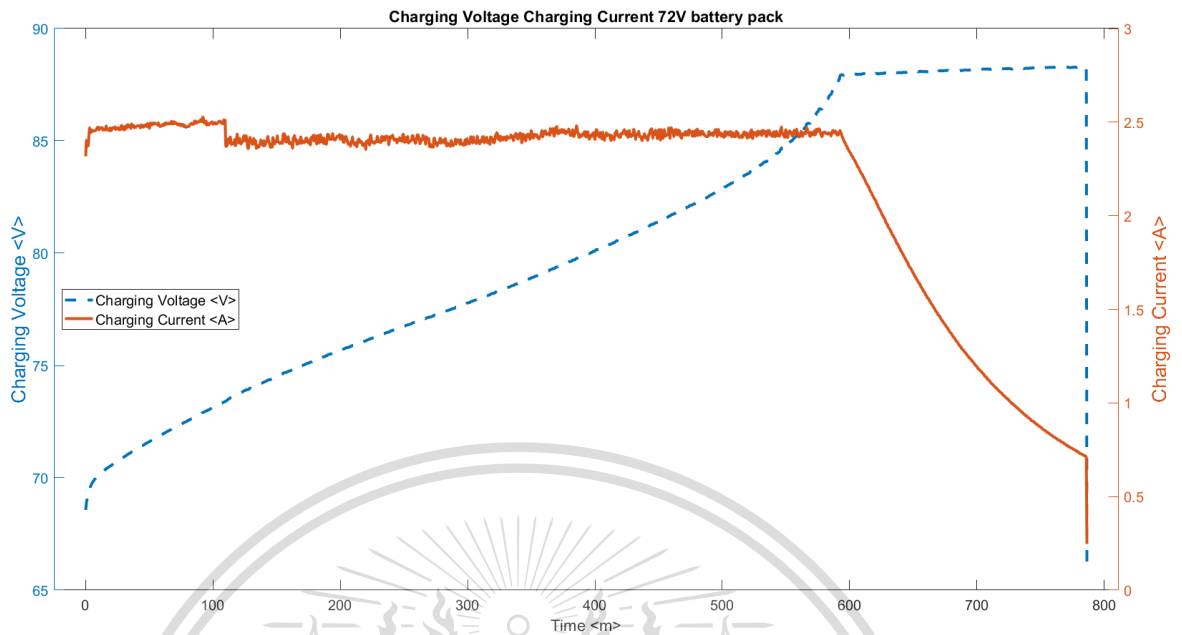
จากมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ตู้อัดประจุจัดอยู่ใน Class D และกำลังสูงสุดอยู่ที่ 209 วัตต์ จะต้องมีการฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าไม่เกิน 710,397,209 และ 105 มิลลิแอมป์ตามลำดับ และจากการทดลองได้ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าเป็น 147,80,55 และ 43 มิลลิแอมป์ จะได้ว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูกมีฮาร์มอนิกไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2



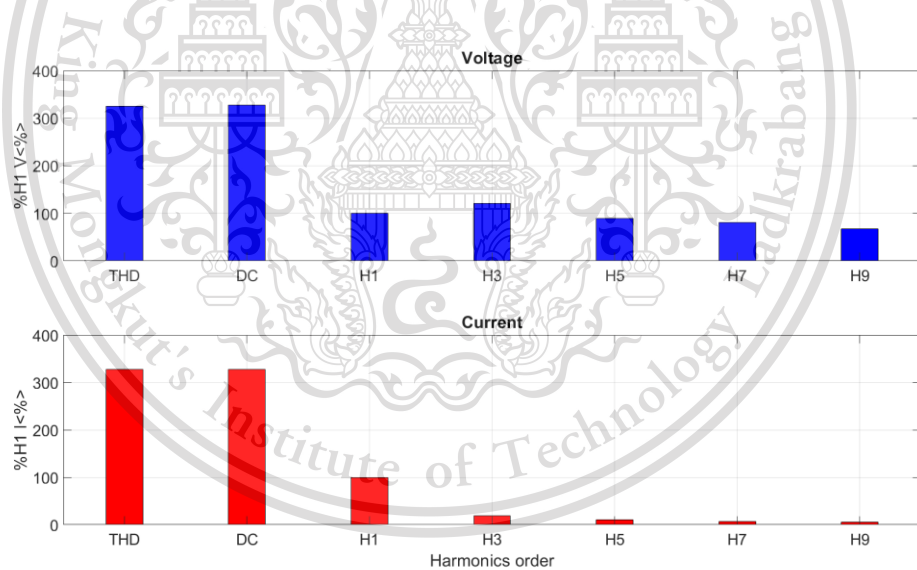
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 6 ลูก



รูปที่ 4.5 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 4 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 7 ลูก

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid โดยแบตเตอรี่มีแรงดัน 80.9 โวลต์ขณะก่อนทำการอัดประจุและมีแรงดัน 95.7 โวลต์หลังจากทำการอัดประจุเสร็จสิ้น ตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุกระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่ช่วงแรงดันคงที่ 102.9 โวลต์ โดยทำการวัดจากเครื่อง Fluke 435 series II ค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายกับค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 10 ชั่วโมง 28 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) จะได้ว่า ฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 287.69% ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 48.44% 64.61% 44.04% 35.56% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 317.11% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 26.97% 17.24% 12.64% 10.18% และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 45.89% โดยได้ข้อมูลของแรงดันและกระแสอัดประจุตามรูปที่ 4.6 และข้อมูลของความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.7

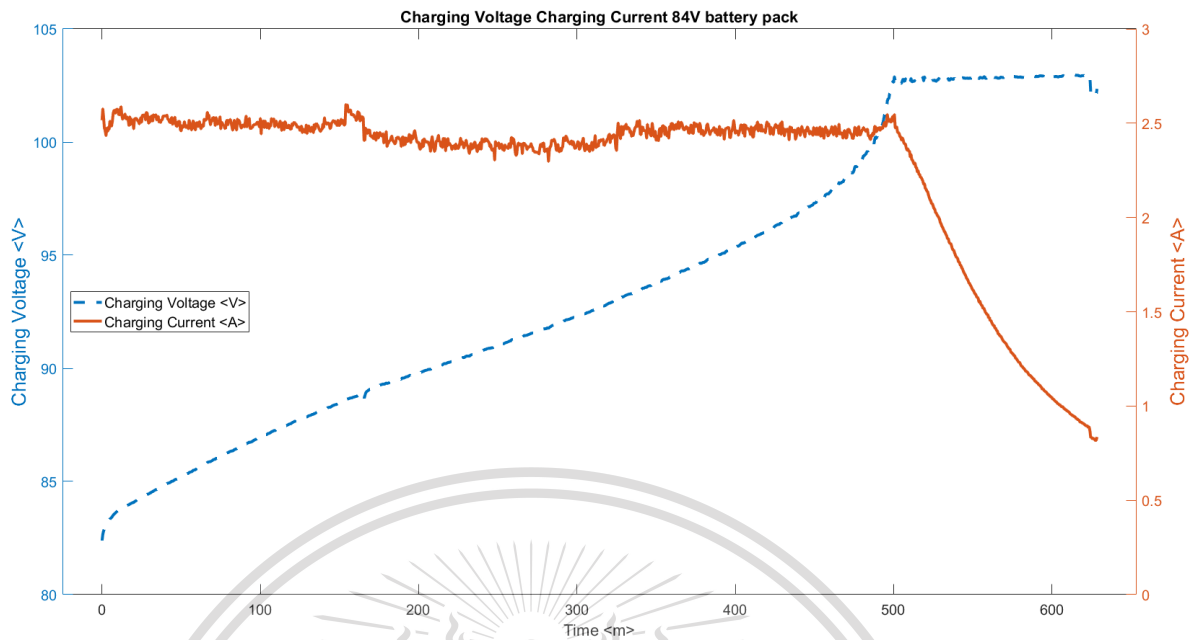
จากมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ตู้อัดประจุจัดอยู่ใน Class D และกำลังสูงสุดอยู่ที่ 239 วัตต์ จะต้องมีการฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าไม่เกิน 813,455,239 และ 120 มิลลิแอมป์ตามลำดับ และจากการทดลองได้ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าเป็น 206,131,96 และ 78 มิลลิแอมป์ จะได้ว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 7 ลูกมีฮาร์มอนิกไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2



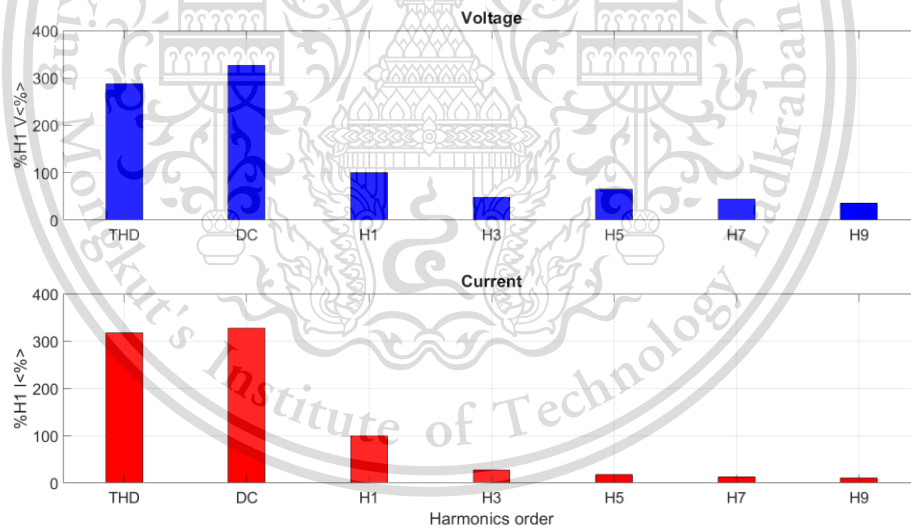
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 7 ลูก



รูปที่ 4.7 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 7 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 8 ลูก

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid โดยแบตเตอรี่มีแรงดัน 91.48 โวลต์ขณะก่อนทำการอัดประจุและมีแรงดัน 109.5 โวลต์หลังจากทำการอัดประจุเสร็จสิ้น ตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุกระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่ช่วงแรงดันคงที่ 117.6 โวลต์ โดยทำการวัดจากเครื่อง Fluke 435 series II ค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายกับค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 11 ชั่วโมง 32 นาที ฮาร์โมนิกแรงดันรวมทั้ง 304.31% ฮาร์โมนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 74.13% 23.44% 25.64% 23.02% ฮาร์โมนิกกระแสรวมทั้ง 327.14% ฮาร์โมนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 28.81% 17.15% 12.19% 9.61% และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 46.17% โดยได้ข้อมูลของแรงดันและกระแสอัดประจุตามรูปที่ 4.8 และข้อมูลของความเพี้ยนฮาร์โมนิกตามรูปที่ 4.9

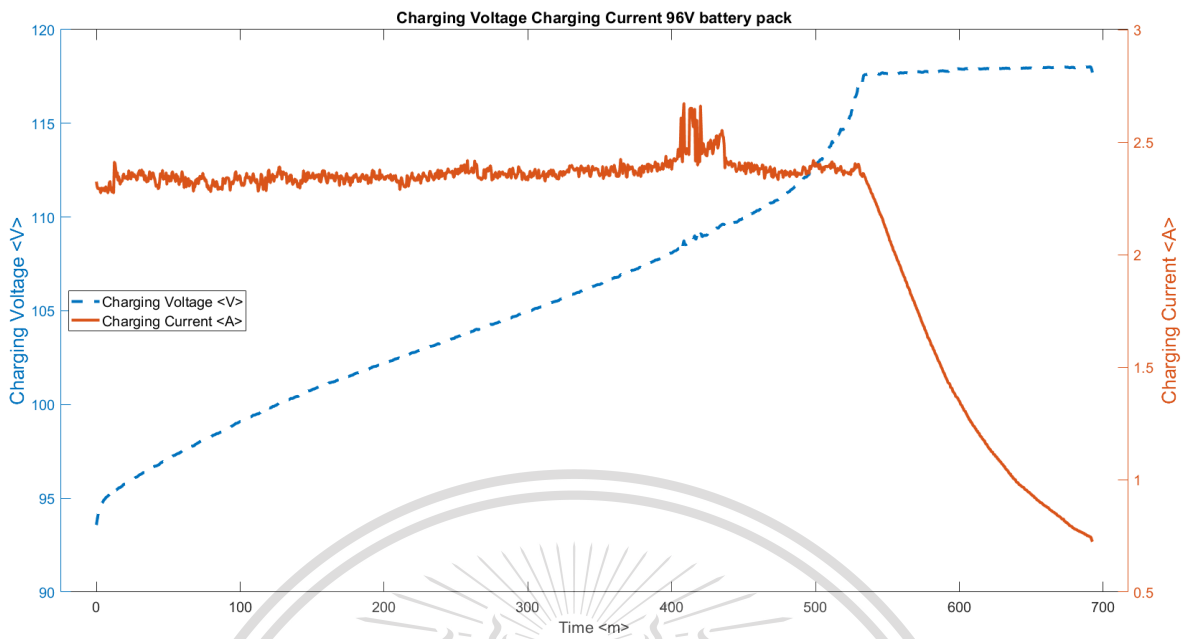
จากมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ตั้อัดประจุจัดอยู่ใน Class D และกำลังสูงสุดอยู่ที่ 274 วัตต์ จะต้องมีการฮาร์โมนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าไม่เกิน 930,520,274 และ 137 มิลลิแอมป์ตามลำดับ และจากการทดลองได้ฮาร์โมนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าเป็น 219,131,93 และ 73 มิลลิแอมป์ จะได้ว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 8 ลูกมีฮาร์โมนิกไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2



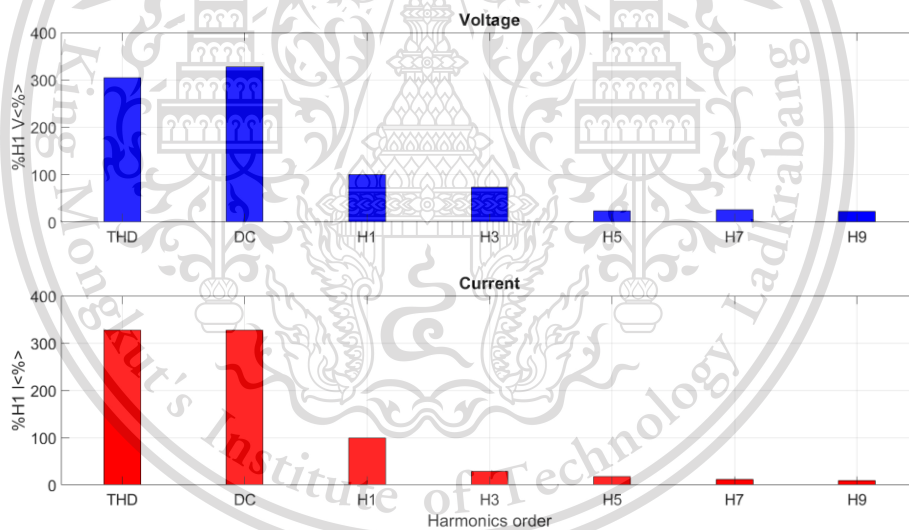
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 8 ลูก



รูปที่ 4.9 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 8 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

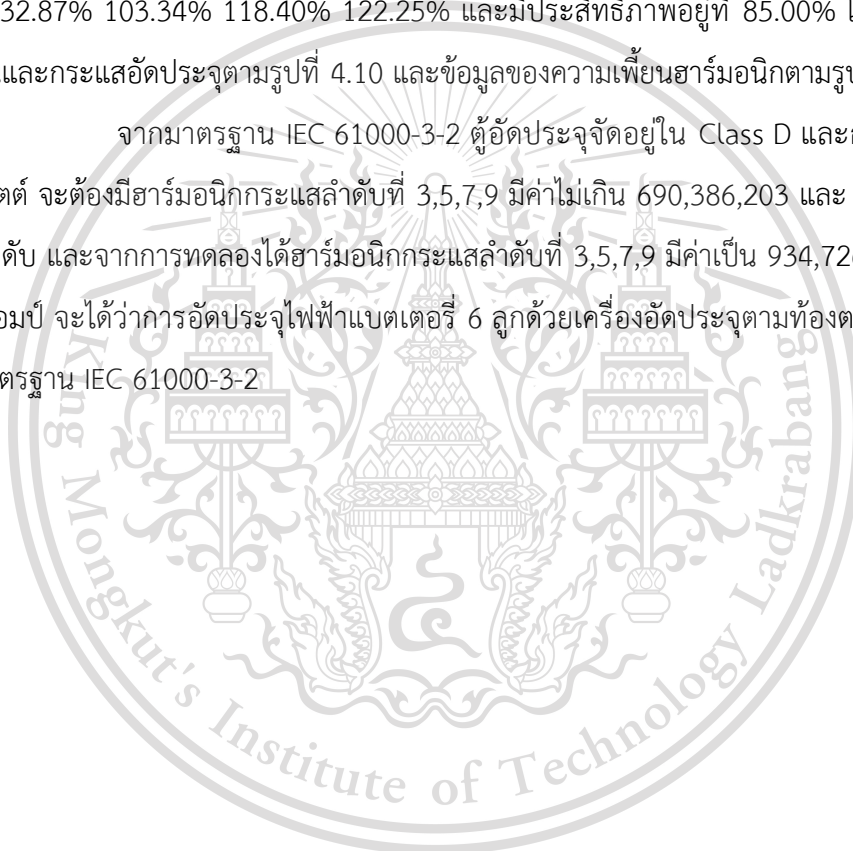
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก ด้วยเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid โดยแบตเตอรี่มีแรงดัน 74.56 โวลต์ขณะก่อนทำการอัดประจุและมีแรงดัน 87.64 โวลต์หลังจากทำการอัดประจุเสร็จสิ้น ตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุกระแสคงที่ 2.3 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่ช่วงแรงดันคงที่ 88.05 โวลต์ โดยทำการวัดจากเครื่อง Fluke 435 series II ค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายกับค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) จะได้ว่า ฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 4.90% ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 3.47% 2.58% 0.96% 0.64% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 327.23% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่า 132.87% 103.34% 118.40% 122.25% และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 85.00% โดยได้ข้อมูลของแรงดันและกระแสอัดประจุตามรูปที่ 4.10 และข้อมูลของความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.11

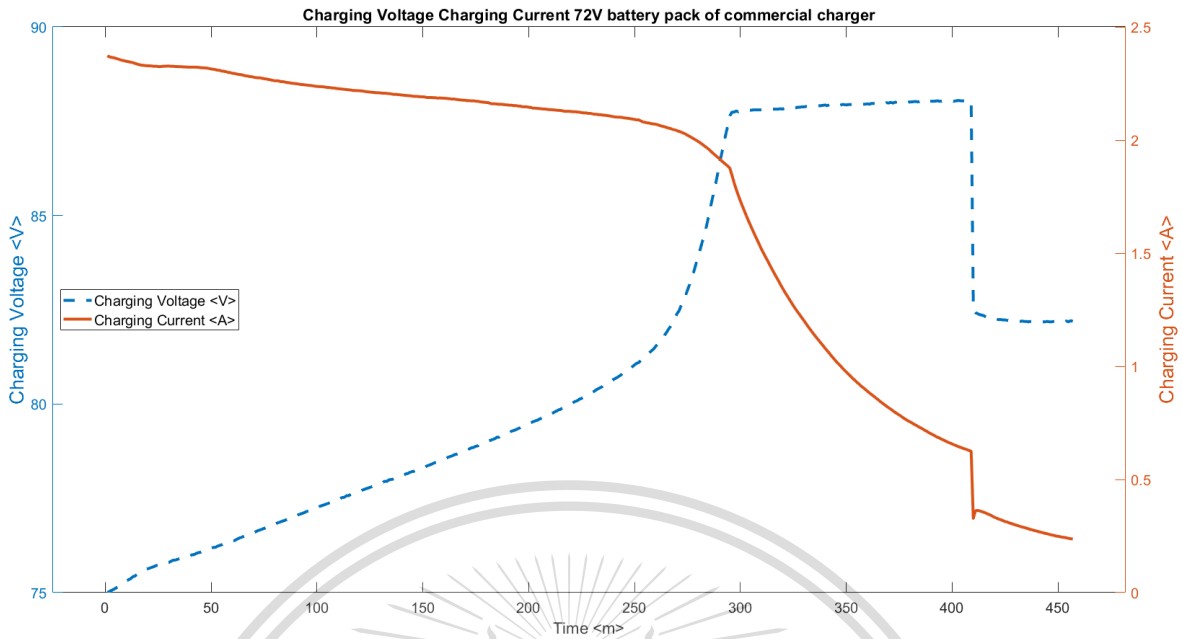
จากมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ตู้อัดประจุจัดอยู่ใน Class D และกำลังสูงสุดอยู่ที่ 203 วัตต์ จะต้องมีการฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าไม่เกิน 690,386,203 และ 102 มิลลิแอมป์ตามลำดับ และจากการทดลองได้ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าเป็น 934,726,832 และ 859 มิลลิแอมป์ จะได้ว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูกด้วยเครื่องอัดประจุตามท้องตลาดมีฮาร์มอนิกเกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2



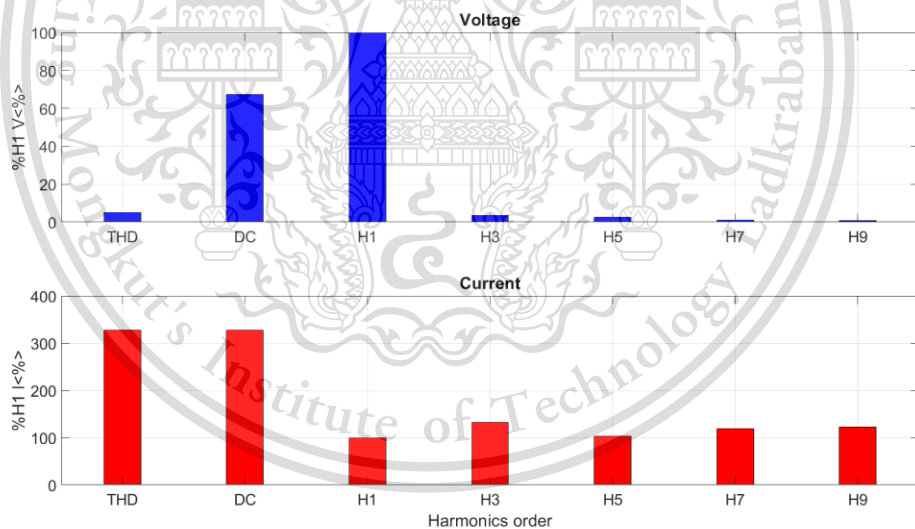
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 6 ลูก ด้วยเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด



รูปที่ 4.11 ฮาร์มอนิกแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ 6 ลูก ของเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การเปรียบเทียบกับเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด

การเปรียบเทียบนี้จะเปรียบเทียบเฉพาะขนาดแบตเตอรี่ 6 ลูกเท่านั้นเนื่องมาจากเครื่องอัดประจุตามท้องตลาดไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันได้

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดประจุที่จัดทำในโครงการนี้กับเครื่องอัดประจุที่มีตามท้องตลาด

	เครื่องอัดประจุที่จัดทำในโครงการนี้ อัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก	เครื่องอัดประจุที่มีตามท้องตลาด อัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก
เวลาอัดประจุ	13 ชั่วโมง 6 นาที	7 ชั่วโมง 30 นาที
ประสิทธิภาพ	60.00%	85.00%
แรงดันก่อนอัดประจุ	66.90	74.56
แรงดันหลังอัดประจุ	83.50	87.64
%THD V	324.73%	4.90%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3	121.49%	3.47%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 5	89.03%	2.58%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 7	80.28%	0.96%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 9	67.29%	0.64%
%THD A	324.25%	327.23%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3	19.32%	132.87%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 5	10.52%	103.34%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 7	7.23%	118.40%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 9	5.64%	122.25%
มาตรฐานฮาร์มอนิก	ผ่าน	ไม่ผ่าน

จะเห็นได้ว่าเวลาอัดประจุต่างกันมากแต่เนื่องมาจากแรงดันเริ่มต้นก่อนอัดประจุของแบตเตอรี่ที่ต่างกันโดยที่ขณะทำการวัดของเครื่องอัดประจุที่จัดทำในโครงการนี้อยู่ที่ 66.9 โวลต์ แต่ของเครื่องอัดประจุที่มีตามท้องตลาดอยู่ที่ 74.56 โวลต์ เมื่อดูที่ค่ากำลังไฟฟ้าจริงขาเข้าจะพบว่าเครื่องอัดประจุที่จัดทำในโครงการนี้ 286.77 วัตต์ ขณะที่เครื่องอัดประจุตามท้องตลาดอยู่ที่ 159.90 วัตต์ แต่ก็เพราะว่าค่ากระแสขณะอัดประจุมีค่าไม่เท่ากันอยู่ที่ 2.5 แอมป์สำหรับเครื่องอัดประจุที่

จัดทำในโครงการนี้ และ 2.3 แอมป์สำหรับเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4.4.1 การเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของการใช้น้ำมันกับการใช้ไฟฟ้า

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นเกณฑ์ประกอบการตัดสินใจของผู้ใช้งานระหว่างการใช้รถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ราคาของแก๊สโซฮอล์ 95 ในปัจจุบัน (วันที่ 25 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564) อยู่ที่ประมาณ 27.25 บาท/ลิตร โดยที่รถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมีอัตราเผาผลาญน้ำมันอยู่ที่ 64 กม./ลิตร โดยเมื่อคิดเป็นจำนวนราคาต่อระยะทางแล้วจะได้ 0.4258 บาท/กม.

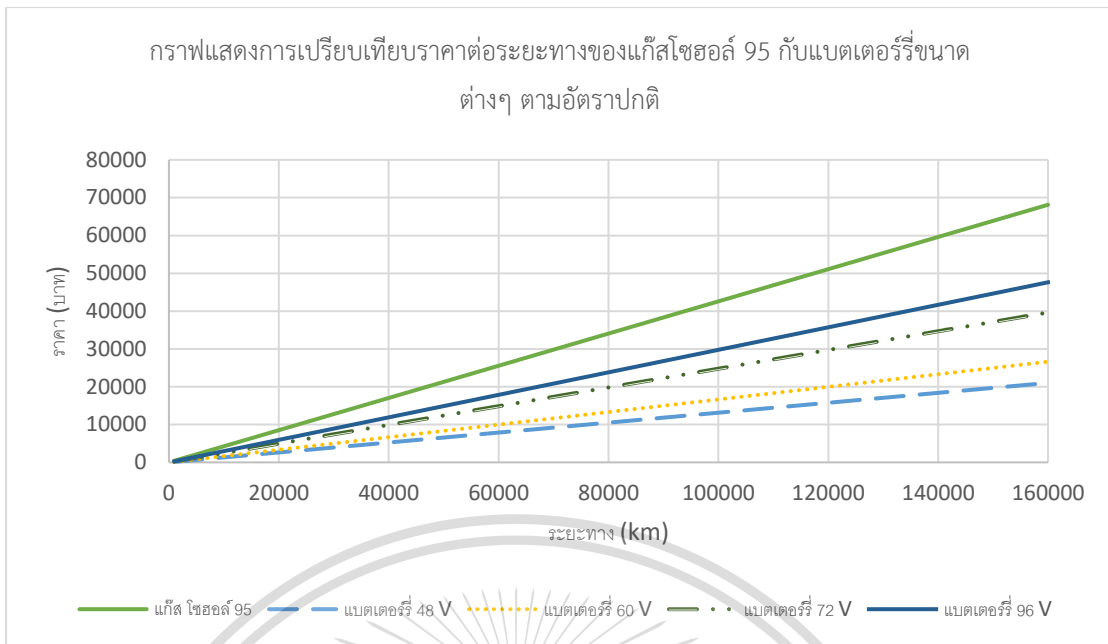
อัตราค่าไฟตามหลักเกณฑ์การกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าปี 2558 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดค่าพลังงานไฟฟ้าของอัตราปกติสำหรับบ้านอยู่อาศัยอยู่ที่ 4.4217 บาท/หน่วย และกำหนดค่าพลังงานไฟฟ้าของอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ที่เวลา Off Peak อยู่ที่ 2.6369 บาท/หน่วย โดยที่ค่าพลังงานในการอัดประจุไฟฟ้าในโครงการนี้ให้กับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 60 โวลต์ 72 โวลต์ และ 96 โวลต์ อยู่ที่ 226.2857 วัตต์ 286.7722 วัตต์ 426.7742 วัตต์ และ 512.8282 วัตต์ โดยเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 10 ชั่วโมง 30 นาที และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ประมาณ 80 กิโลเมตร ต่อการอัดประจุหนึ่งครั้ง และเมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณหาจำนวนราคาต่อระยะทางแล้วจะได้ 0.1313 บาท/กม. 0.1664 บาท/กม. 0.2477 บาท/กม. และ 0.2976 บาท/กม. ตามอัตราปกติ และ 0.0783 บาท/กม. 0.0992 บาท/กม. 0.1477 บาท/กม. และ 0.1775 บาท/กม. ตามอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

เมื่อนำค่าราคาต่อระยะทางของการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 ของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมาเปรียบเทียบกับราคาต่อระยะทางของการอัดประจุไฟฟ้าที่ได้ทำในโครงการนี้ พบว่าการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 มีราคาที่สูงกว่าการใช้ไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในทุกระดับแรงดัน ตามรูปที่ 4.12 และ 4.13

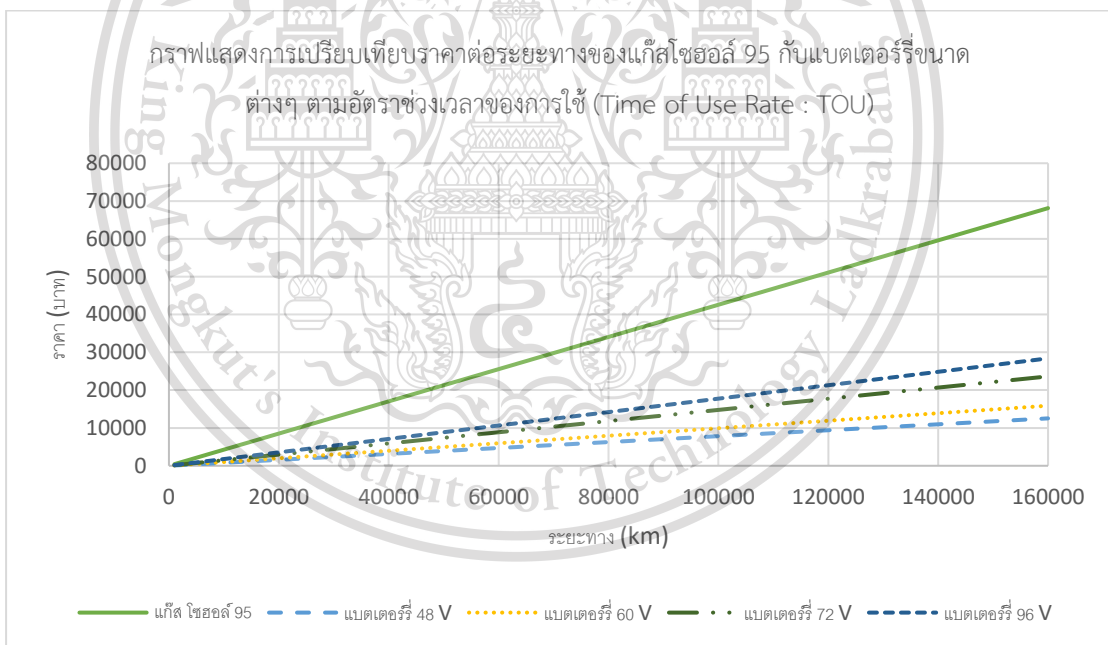
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของแก๊สโซฮอล์ 95 กับแบตเตอรี่ขนาดต่างๆ ตามอัตราปกติ



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของแก๊สโซฮอล์ 95 กับแบตเตอรี่ขนาดต่างๆ ตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 การเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

เมื่อนำราคาต้นทุนของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยใช้ตัวอย่างคือรถจักรยานยนต์ Honda Wave 125i ที่มีราคาอยู่ที่ 56,000 บาท รวมเข้ากับราคาน้ำมันที่ได้คำนวณไว้ในหัวข้อ 4.4.1 จะได้จำนวนราคาต่อระยะทางเมื่อรวมราคาทุนแล้วอยู่ที่ $56,000 + [0.4258 \times \text{ระยะทาง(กม.)}]$ บาท/กม.

รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า NIU NGT Sport มีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 3,000 วัตต์ สามารถวิ่งได้ประมาณ 110 กิโลเมตร ต่อการชาร์จหนึ่งรอบ โดยเวลาใช้ในการชาร์จโดยประมาณอยู่ที่ 3 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อคิดเป็นจำนวนราคาต่อกิโลเมตรอยู่ที่ 0.4221 บาท/กม. ตามอัตราค่าไฟฟ้าปกติ และ 0.2517 บาท/กม. ตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (TOU) และเมื่อนำมารวมกับราคาทุนของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า NIU NGT Sport ที่มีราคา 109,000 บาท จะได้จำนวนราคาต่อระยะทางเมื่อรวมราคาทุนแล้วอยู่ที่ $109,000 + [0.4221 \times \text{ระยะทาง(กม.)}]$ บาท/กม. ตามอัตราค่าไฟฟ้าปกติ และ $109,000 + [0.2517 \times \text{ระยะทาง(กม.)}]$ บาท/กม. ตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า SWAG EV Type-S มีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 1,750 วัตต์ สามารถวิ่งได้ประมาณ 70 กิโลเมตร ต่อการชาร์จหนึ่งรอบ โดยเวลาใช้ในการชาร์จโดยประมาณอยู่ที่ 3 ชั่วโมง เมื่อคิดเป็นจำนวนราคาต่อกิโลเมตรอยู่ที่ 0.2902 บาท/กม. ตามอัตราค่าไฟฟ้าปกติ และ 0.1730 บาท/กม. ตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (TOU) และเมื่อนำมารวมกับราคาทุนของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า SWAG EV Type-S ที่มีราคา 62,900 บาท จะได้จำนวนราคาต่อระยะทางเมื่อรวมราคาทุนแล้วอยู่ที่ $62,900 + [0.2902 \times \text{ระยะทาง(กม.)}]$ บาท/กม. ตามอัตราค่าไฟฟ้าปกติ และ $62,900 + [0.1730 \times \text{ระยะทาง(กม.)}]$ บาท/กม. ตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

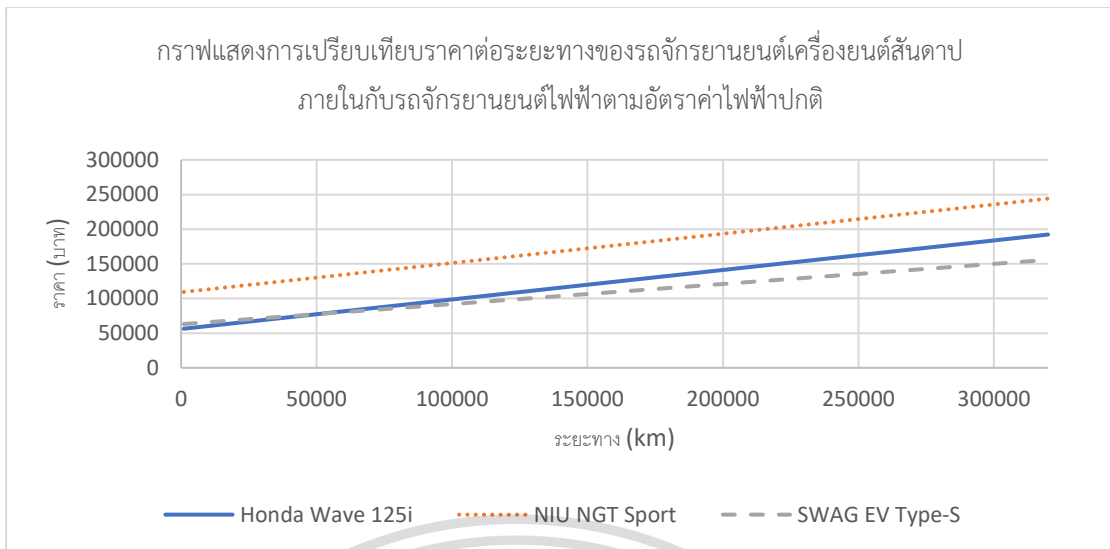
เมื่อนำค่าราคาต่อระยะทางเมื่อรวมราคาทุนของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกัน ตามรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าในการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า SWAG EV Type-S จะมีความคุ้มค่ามากกว่า Honda Wave 125i เมื่อระยะทางผ่านไปประมาณ 51,000 กิโลเมตร ขึ้นไป แต่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า NIU NGT Sport ยังคุ้มค่าน้อยกว่า Honda Wave 125i แต่เมื่อคิดค่าไฟแบบตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (TOU) จะพบว่า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า SWAG EV Type-S จะมีความคุ้มค่ามากกว่า Honda Wave 125i เมื่อระยะทางผ่านไปประมาณ 28,000 กิโลเมตร ขึ้นไป และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า NIU NGT Sport จะมีความคุ้มค่ามากกว่า Honda Wave 125i เมื่อระยะทางผ่านไปประมาณ 305,000 กิโลเมตร ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

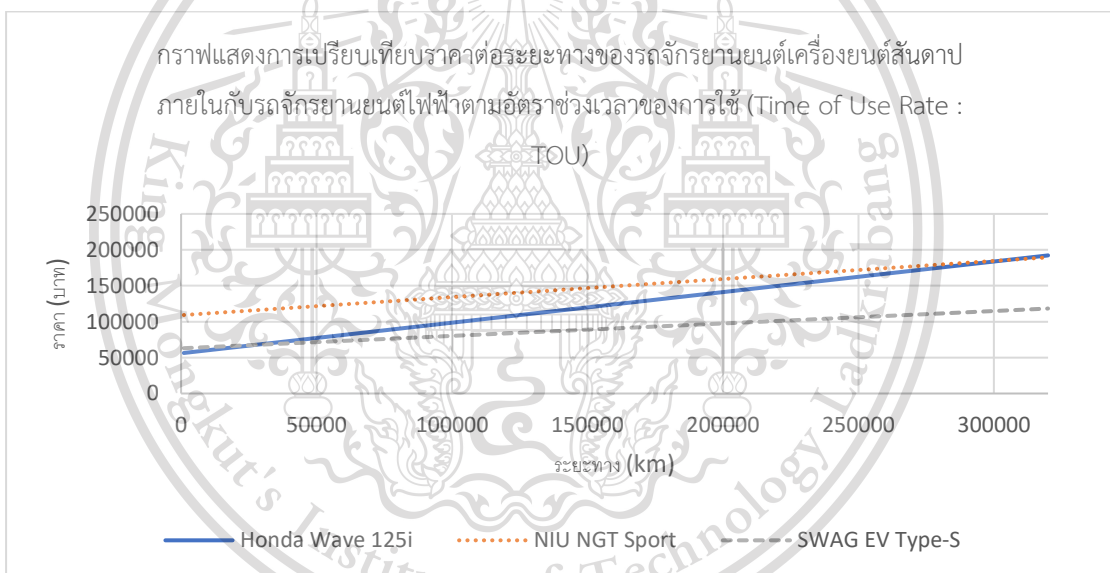
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าปกติ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบราคาต่อระยะทางของรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาตัวอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้ในช่วงระดับแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ ถึง 96 โวลต์ โดยภายในวงจรอัดประจุไฟฟ้ามีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรลดทอนระดับแรงดันเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการโดยสั่งการผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการปรับค่า Duty Cycle เพื่อทำการควบคุมการสวิตช์ของ MOSFET โดยสามารถเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าและระดับกระแสโดยสั่งการผ่านหน้าจอสัมผัส ซึ่งวงจรอัดประจุไฟฟ้ารับไฟฟ้าเข้ามาจากเต้ารับไฟฟ้าโดยมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เพื่อจ่ายให้กับวงจรลดทอนระดับแรงดัน วงจรขับ MOSFET และไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวอัดประจุไฟฟ้ามีระบบป้องกันโดยใช้รีเลย์สั่งการทั้งเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้า ในการตัดวงจรเมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้าเสร็จสิ้น และเมื่อเกิดเหตุขัดข้องระหว่างในการทำการอัดประจุไฟฟ้าเฉพาะกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินหรือกระแสไฟฟ้าเกินเท่านั้น ไม่ให้ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์การอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กและตัวยานยนต์ไฟฟ้าจะพบว่าเมื่อนำไปทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้ามีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำในการอัดประจุไฟฟ้าและใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมงในการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดขนาด 22 Ah ที่กระแส 2.5 แอมป์จนเต็ม

การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ทำในวิจัยนี้เป็นการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมทำให้การเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่เป็นการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น แต่ความจุแบตเตอรี่ (Ah) มีค่าเท่าเดิมทำให้เวลาที่ชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละรูปแบบมีเวลาที่ใกล้เคียงกันขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ก่อนทำการอัดประจุไฟฟ้าเมื่อดูที่ประสิทธิภาพจะพบว่าเมื่อแบตเตอรี่มีจำนวนที่มากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุต่ำลง และแรงดันไฟฟ้าในช่วงกระแสคงที่มีความกระเพื่อมที่มากกว่า เมื่อสังเกตที่ฮาร์มอนิกแรงดันตรงฝั่งขาออกจะพบว่าเมื่อมีจำนวนแบตเตอรี่ที่เพิ่มมากขึ้นฮาร์มอนิกแรงดันตรงฝั่งขาออกจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อสังเกตที่ฮาร์มอนิกกระแสตรงฝั่งขาออกจะพบว่าเมื่อมีจำนวนแบตเตอรี่ที่เพิ่มมากขึ้นฮาร์มอนิกกระแสตรงฝั่งขาออกจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และทำการเทียบกระแสฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 พบว่าผ่านมาตรฐานในทุกกรณี

รีเลย์ในวงจรจะทำการตัดวงจรก็ต่อเมื่อเซนเซอร์กระแสหรือวงจรแบ่งแรงดันรับค่าที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นสิ่งที่ควรจะเป็นแล้วนำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตัดวงจรได้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการอัดประจุ

	การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 4 ลูก	การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 6 ลูก	การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 7 ลูก	การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 8 ลูก
เวลาอัดประจุ	10 ชั่วโมง 30 นาที	13 ชั่วโมง 6 นาที	10 ชั่วโมง 28 นาที	11 ชั่วโมง 32 นาที
ประสิทธิภาพ	59.82%	60.00%	45.89%	46.17%
แรงดันก่อนอัดประจุ	46.07	66.09	80.90	91.48
แรงดันหลังอัดประจุ	54.87	83.50	95.70	109.50
%THD V	320.19%	324.73%	287.69%	304.31%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3	81.06%	121.49%	48.44%	74.13%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 5	116.87%	89.03%	64.61%	23.44%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 7	96.02%	80.28%	44.04%	25.64%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 9	59.11%	67.29%	35.56%	23.02%
%THD A	327.57%	324.25%	317.11%	327.14%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 3	9.42%	19.32%	26.97%	28.81%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 5	4.64%	10.52%	17.24%	17.15%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 7	2.80%	7.23%	12.64%	12.19%
ฮาร์มอนิกกระแสลำดับที่ 9	2.12%	5.64%	10.18%	9.61%
มาตรฐานฮาร์มอนิก	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

5.2 ปัญหาที่พบ

1. ประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่สร้างมีค่าต่ำ
2. แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระเพื่อมในตอนทำการอัดประจุไฟฟ้า
3. มีเสียงรบกวนขณะอัดประจุไฟฟ้าจากการเปลี่ยนสัญญาณของ MOSFET

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าโดยการใส่วงจรกรองหรือทำการปรับปรุงตัวเหนี่ยวนำให้มีกำลังสูญเสียที่น้อยกว่านี้
2. ปรับปรุงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความถี่สูงกว่านี้เพื่อลดผลกระทบจากเสียงรบกวนของ MOSFET ขณะทำการสวิตช์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. (2552). *อิเล็กทรอนิกส์กำลัง = power electronics*. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: วี.เจ. พรินติ้ง.
- [2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). *การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://thaiauto.or.th/2012/th/services/ev/pdf/research/2017/การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 21 พฤศจิกายน 2563)
- [3] Sandy J Thomson, Polly Thomas, Anjali R, Elizabeth Rajan, “Design and Prototype Modelling of a CC/CV Electric Vehicle Battery Charging Circuit,” *IEEE ICCSDET*, 2018
- [4] H. Suryoatmojo, “Design Li-Po Battery Charger with Buck Converter under Partially CC-CV Method,” *IEEE ISITIA*, 2020
- [5] Aswinth Raj. (2019). *7.4V Two Step Lithium Battery Charger Circuit - CC and CV mode*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/two-step-lithium-battery-charger-circuit-with-cc-cv-mode> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 ธันวาคม 2563)
- [6] IEC, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://webstore.iec.ch/publication/28164> (วันที่ค้นข้อมูล: 25 มีนาคม 2564)
- [7] Chaiyan Jettanasen and Chaichan Pothisarn, “The Electrical Motorcycle Charger for Application in a Residence *E3S Web of Conferences*, Vol.186, 2020
- [8] Brigitte Hauke. (2015). *Basic Calculation of a Buck Converter’s Power Stage*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 6 พฤศจิกายน 2563)
- [9] Electronics Project Hub. (2019). *Arduino Lithium-ion Battery Charger*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://electronics-project-hub.com/arduino-lithium-ion-battery-charger/> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 ธันวาคม 2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [10] rkoptev. (2018). *ACS712-arduino*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://github.com/rkoptev/ACS712-arduino> (วันที่ค้นข้อมูล: 28 พฤศจิกายน 2563)
- [11] Starting Electronics. (2013). *Measuring DC Voltage using Arduino*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://startingelectronics.org/articles/arduino/measuring-voltage-with-arduino/> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 ธันวาคม 2563)
- [12] Zápisník experimentátora. (2018). *16-bit PWM resolution for Arduino*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.arduinosllovakia.eu/blog/2017/7/16-bitove-rozlisenie-pwm-pre-arduino?lang=en> (วันที่ค้นข้อมูล: 21 ธันวาคม 2563)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

The Development of Small-Scale Electric Charging Point for Micromobility Vehicle

พศุคม์ กรุดสอน พิชญู นະวงค์ พุนพล โจรจน์นำประทีป และ ภาคภูมิ เมธาวัฒน์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: tong_pasut@hotmail.com saebbie@gmail.com

phunphon_51742@hotmail.com fantasy.poll1@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและพัฒนาตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่สามารถปรับระดับแรงดันอัดประจุได้ ตั้งแต่แรงดัน 48 โวลต์ ถึง 96 โวลต์โดยสามารถปรับค่าได้จากหน้าจอสัมผัส และมีระบบป้องกันระบบไฟฟ้าภายในตู้อัดประจุ ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบป้องกันกระแสเกิน ระบบป้องกันแรงดันเกิน และระบบป้องกันการต่อกลับขั้ว ตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กจะถูกออกแบบโดยประกอบด้วย 2 วงจร คือ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและวงจรลดทอนแรงดัน วิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่/แรงดันคงที่ และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2

คำสำคัญ: ตู้ประจุไฟฟ้า, ยานยนต์ไฟฟ้า

Abstract

The purpose of this thesis is to develop the small-scale electric charging point for micro-mobility vehicle that charging voltage can be adjusted from 48 volts to 96 volts by using touchscreen display and electrical protection system inside the charging cabinet which consists of an overcurrent protection, overvoltage protection and reverse bias protection. The small-scale electric charging point for micro-mobility vehicle consists of 2 circuits a full-wave rectifier and a buck converter circuit using CC/CV (Constant current/Constant voltage) charging methodology and comparing current harmonics to the IEC 61000-3-2 standard.

Keywords: Electric Charging Point, Electric Vehicle

1. บทนำ

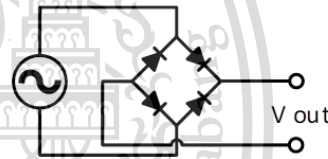
ในปัจจุบันโลกของเรามีแนวโน้มการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นเพื่อแก้ปัญหาโลกร้อนและปัญหามลพิษที่มากขึ้น แต่จุดให้บริการอัดประจุยังมีอยู่ไม่มากจึงเป็นที่ต้องการสูง ทางรัฐบาลของ

ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสคืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบ่งเป็น 1 เฟส และ 3 เฟส โดยมีทั้งแบบ ครึ่งคลื่น เต็มคลื่น แบบไดโอดและแบบควบคุมโดยใช้ไทรสเตอร์

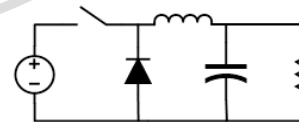


รูปที่ 0.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสชนิดเต็มคลื่น

2.2 วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า มีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออกดังสมการที่ 1 [1]

$$V_o = DV_i \tag{1}$$



รูปที่ 0.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

2.3 วิธีการจ่ายกระแสและแรงดัน

Constant Current – Constant Voltage (CC/CV) การอัดประจุแบบกระแสและแรงดันคงที่ กระแสคงที่จะถูกจ่ายให้กับแบตเตอรี่จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปถึงจุดที่ตั้งไว้หลังจากนั้นจะเข้าสู่แรงดันคงที่และกระแสก็จะลดลงเรื่อยๆ โฟเนนเชียลและการอัดประจุจะหยุดลงเมื่อกระแสถึงจุดที่ตั้งไว้ [2-3]

2.4 มาตรฐานฮาร์มอนิกของอุปกรณ์

มาตรฐาน IEC 61000-3-2 มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ที่มีกระแสขาเข้าน้อยกว่า 16 แอมป์ต่อเฟส โดยตามมาตรฐานจะแบ่งอุปกรณ์ต่างๆออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ 1) Class A คือ โหลด 3 เฟสสมดุล, หรือเครื่องใช้อื่นๆที่นอกเหนือจาก Class D 2) Class B คือ เครื่องมือกลต่างๆ, เครื่องเชื่อม 3) Class C คือ อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่าง 4) Class D คือ อุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 75 วัตต์ แต่ไม่เกิน 600 วัตต์ [4]

ตารางที่ 2 มาตรฐานฮาร์มอนิกของอุปกรณ์

Harmonics [n]	Class A [A]	Class B [A]	Class C [% of fund]	Class D [mA/W]
3	2.3	3.45	$30 \times \lambda$	3.4
5	1.14	1.71	10	1.9
7	0.77	1.155	7	1.0
9	0.40	0.60	5	0.5
11	0.33	0.495	3	0.35
13	0.21	0.315	3	3.85/13
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$	$0.225 \times 15/n$	3	$3.85/n$

3.การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

3.1 การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การออกแบบวงจรกำลัง วงจรเรียงกระแสมีอุปกรณ์ดังนี้ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น กับ ตัวเก็บประจุ ใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น GBPC 3508 ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 220 μ F 450 V 2 ตัว และใส่ตัวต้านทานขนาด 50 $k\Omega$ 10 W วงจรลดทอนแรงดันมีอุปกรณ์ดังนี้ มอสเฟต IRFP460 ต่อกับ ไดโอด RFU20TF6S ตัวเหนี่ยวนำ 10 mH และตัวเก็บประจุขาออก 330 μ F 250 V จำนวน 2 ตัว ตัวต้านทานขนาด 22 $k\Omega$ 5W เซ็นเซอร์วัดกระแส ACS712 20A วงจรแบ่งแรงดันโดยมีอัตราส่วนเป็น 4/104

การคำนวณพารามิเตอร์ การคำนวณตัวเหนี่ยวนำ

$$L = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{IN}} \quad (2)$$

$$= \frac{120 \times (400 - 120)}{0.6 \times 15625 \times 400}$$

$$L_{min} = 8.96 \text{ mH}$$

การคำนวณตัวเก็บประจุขาออก

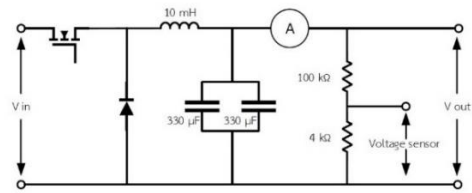
$$C_{OUT(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{OUT}} \quad (3)$$

$$= \frac{0.6}{8 \times 15625 \times 0.1}$$

$$C_{OUT(min)} = 48 \mu\text{F}$$

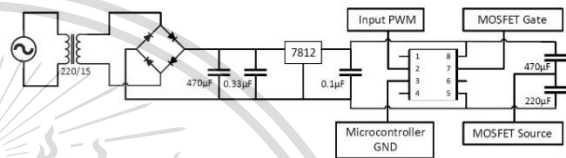
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของการนำเนื้อหาไปใช้



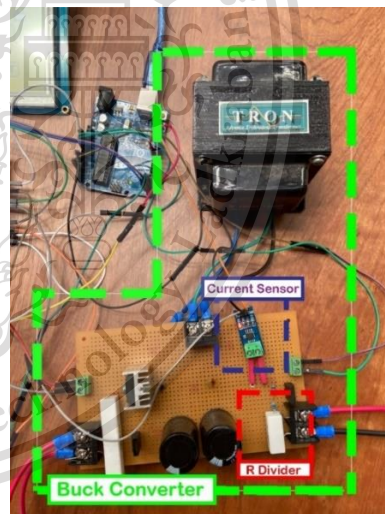
รูปที่ 0.3 วงจรลดทอนแรงดัน

การออกแบบวงจรควบคุม หม้อแปลงแรงดัน 220/15 V ต่อกับ Bridge Rectifier KBP 208 ตัวเก็บประจุขนาด 470 μ F 35V และ ตัวเก็บประจุขนาด 0.33 μ F ต่อด้วย IC 7812 ต่อด้วยตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μ F ต่อกับ TLP 250 ตัวเก็บ 470 μ F และ 220 μ F ต่อไว้ระหว่างขา 8 และ 5 ของ TLP 250 [5-6]

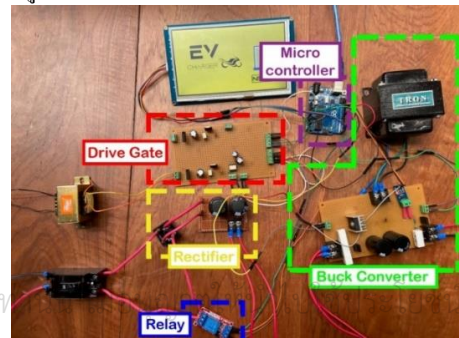


รูปที่ 0.4 วงจรขับจากคอมสเฟต

วงจรป้องกัน ใช้สำหรับป้องกันแรงดันและกระแสเกิน โดยมีรีเลย์ JQC-3FF-S-Z และ ไดโอด RFU20TF6S ไว้เพื่อป้องกันการต่อกลับขั้ว



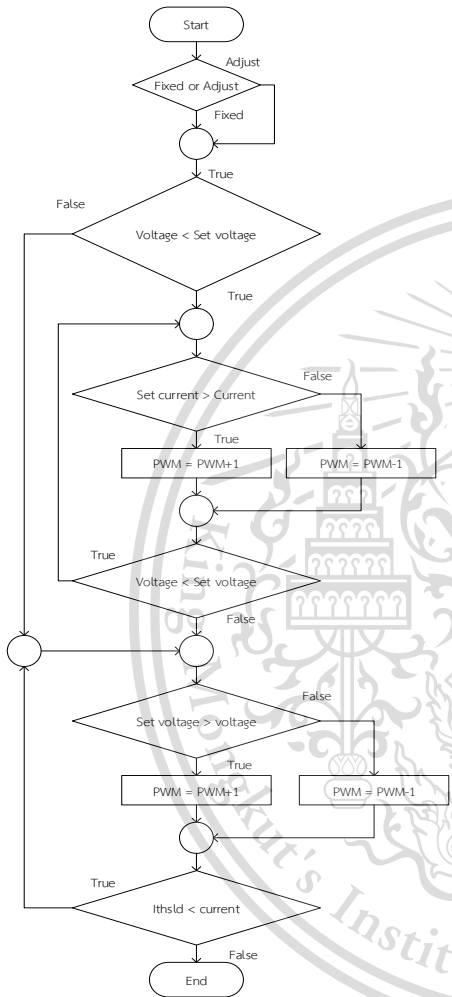
รูปที่ 0.5 วงจรลดทอนแรงดันที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 0.6 วงจรที่ได้ทำการออกแบบโดยรวม

3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า

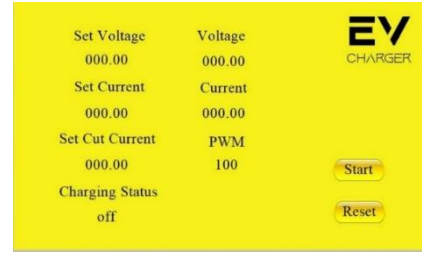
การออกแบบโปรแกรม โปรแกรมจะทำการควบคุมสัญญาณ PWM ให้ MOSFET ซึ่งมีความละเอียด 10 bits ความถี่ 15,625 Hz มีให้เลือก 2 ระบบคือระบบที่โปรแกรมกับตั้งค่าโดยเป็นการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกระแสขณะอัดประจุเสร็จสิ้น ทำการอัดประจุด้วยวิธีการกระแสและแรงดันคงที่ และมีโปรแกรมสำหรับการป้องกันโดยเป็นการป้องกันแรงดันและกระแสเกินที่กำหนด



รูปที่ 0.7 แผนผังการอัดประจุ

3.3 การออกแบบหน้าจอสัมผัส

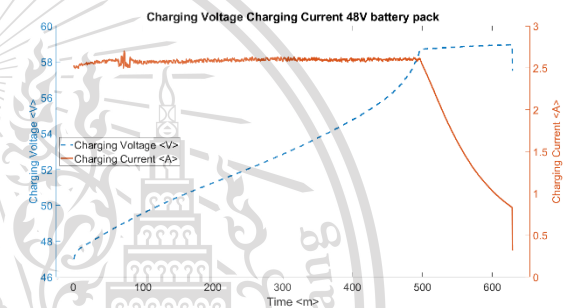
หน้าจอสัมผัสใช้เป็นรุ่น NX8048T070 ขนาดหน้าจอ 7.0 ไร่ ใช้สำหรับควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า หน้าจอแสดงในรูปแบบที่ตั้งค่ามาแล้วสำหรับค่าแรงดันอัดประจุ 14.7 โวลต์ต่อแบตเตอรี่ 1 ลูก กระแสอัดประจุที่ 2.5 แอมป์ และกระแสขณะอัดประจุเสร็จที่ 0.55 แอมป์ โดยค่าต่าง ๆ เป็นการนำค่ามาจากค่าแนะนำในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแรงดัน 12 โวลต์ ขนาด 22 Ah หน้าจอแสดงค่าขณะทำการอัดประจุปุ่ม Reset มีไว้ใช้เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินที่จำเป็นต้องการหยุดอัดประจุโดยระบบจะทำการตรวจวัดด้วยวิธี และ ทำการตั้งค่าทุก ๆ อย่างเป็น 0



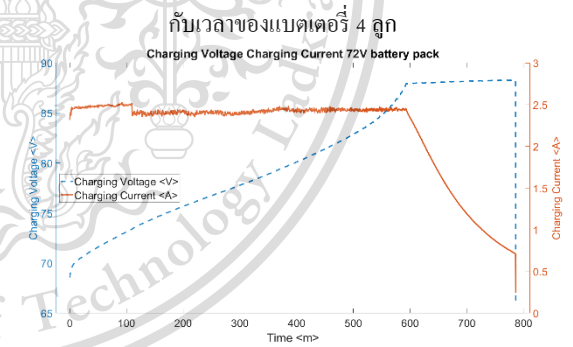
รูปที่ 0.8 หน้าจอแสดงค่าขณะทำการอัดประจุ

4.การทดลองและผลการทดลอง

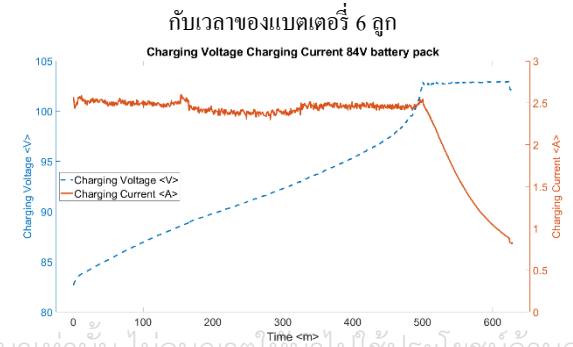
การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับกลุ่มแบตเตอรี่ที่ระดับแรงดันต่าง ๆ ตั้งแต่ 4 ลูก 48 V ถึง 8 ลูก 96 V ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละลูกมีขนาด 12 V 22 Ah โดยจะทำการวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้า และฮาร์มอนิกทางฝั่งที่ใช้สำหรับการอัดประจุโดยค่าที่วัดทั้งหมดเป็นแบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการวัดทุก ๆ 30 วินาที และเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2



รูปที่ 0.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุ

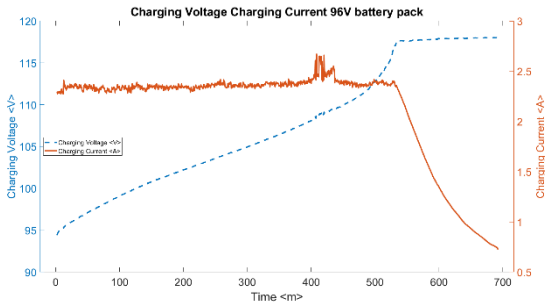


รูปที่ 0.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุ



รูปที่ 0.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ส่วนบุคคลสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงกับเวลาของแบตเตอรี่ 7 ลูก รังที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 0.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่ 8 ลูก

5. สรุป

เครื่องอัดประจุไฟฟ้าสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้ในช่วงระดับแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ ถึง 96 โวลต์ มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมงในการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดขนาด 22 Ah ที่กระแส 2.5 แอมป์จนเต็ม เวลาในการอัดประจุที่ต่างกันมีปัจจัยมาจากแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นของแบตเตอรี่ก่อนทำการอัดประจุไฟฟ้า ประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุมีประสิทธิภาพที่ต่ำ แรงดันไฟฟ้าและกระแสมีความกระเพื่อม การเทียบกระแสฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 พบว่าผ่านมาตรฐานในทุกกรณี ตารางที่ 3 แสดงผลการอัดประจุ

	Battery voltage			
	48 V	72 V	84 V	96 V
Efficiency	59.82%	60.00%	45.89%	46.17%
Charging Time	10:30hrs	13:06hrs	10:28hrs	11:32hrs
Initial voltage	46.07	66.90	80.90	91.48
Final voltage	54.87	83.50	95.70	109.50
%THD V	320.19%	324.73%	287.69%	304.31%
3 rd Harmonic V	81.06%	121.49%	48.44%	74.13%
5 th Harmonic V	116.87%	89.03%	64.61%	23.44%
7 th Harmonic V	96.02%	80.28%	44.04%	25.64%
9 th Harmonic V	59.11%	67.29%	35.56%	23.02%
%THD A	327.57%	324.25%	317.11%	327.14%
3 rd Harmonic A	9.42%	19.32%	26.97%	28.81%
5 th Harmonic A	4.64%	10.52%	17.24%	17.15%
7 th Harmonic A	2.80%	7.23%	12.64%	12.19%
9 th Harmonic A	2.12%	5.64%	10.18%	9.61%
IEC 61000-3-2	Passed	Passed	Passed	Passed

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
 ปรากฏนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณา ความช่วยเหลือและคำปรึกษาจาก รศ.ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์

กุล และ ผศ. ชายชาญ โภทิสาร ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมถึงข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำซึ่งปัญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. (2552). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง = power electronics. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: วี.เจ. พรินติ้ง.
- [2] Sandy J Thomson, Polly Thomas, Anjali R, Elizabeth Rajan, “Design and Prototype Modelling of a CC/CV Electric Vehicle Battery Charging Circuit,” IEEE ICCSDET, 2018
- [3] H. Suryatomojo, “Design Li-Po Battery Charger with Buck Converter under Partially CC-CV Method,” IEEE ISITIA, 2020
- [4] IEC, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase)
- [5] Chaiyan Jettanasen and Chaichan Pothisarn, “The Electrical Motorcycle Charger for Application in a Residence E3S Web of Conferences, Vol.186, 2020
- [6] Brigitte Hauke. (2015). Basic Calculation of a Buck Converter’s Power Stage. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf>

ประวัติผู้เขียน



นายพศุคม์ กรุดสอน
 ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพิมรุฑู จินะวงค์
 ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพูนพล โรจนนำประทีป
 ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง







นายภาคภูมิ เมธราชันสกุล
 ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เป็นตัวประมวลผลหลักของ วงจรควบคุม และวงจรป้องกัน</p>
	<p>NX8048T070 LCD Touch Display จอสัมผัสขนาด 7.0 นิ้ว มีหน้าที่ทำการสื่อสารเพื่อสั่งการต่าง ๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์</p>
	<p>JQC-3FF-S-Z Relay Module ใช้สำหรับป้องกันแรงดันและกระแสเกิน โดยรับค่ามาจาก Arduino</p>
	<p>ACS712 20A Current Sensor Module ใช้สำหรับการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า และวัดปริมาณกระแสขาออก</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.





Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>Transformer 220/15 V หม้อแปลงแรงดัน 220/15 V ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้ในวงจรควบคุม</p>
	<p>GBPC3508 Bridge Rectifier วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้ในวงจรเรียงกระแสเพื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจรกำลัง ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 35 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V</p>
	<p>KBP 208 Bridge Rectifier วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้ในวงจรเรียงกระแสเพื่อจ่ายแรงดันให้ Arduino ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 2 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V</p>
	<p>RFUH20TF6S Diode ใช้ในการป้องกันการต่อกลับขั้ว สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ 600 V</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>IRFP460 MOSFET</p> <p>เป็นทรานซิสเตอร์ ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า สามารถทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด 500 V และกระแสสูงสุด 20 A</p>
	<p>IC 7812</p> <p>ใช้สำหรับการแปลงแรงดันให้ลดลงเหลือ 5V เพื่อจ่ายแรงดันให้ Arduino สามารถทนกระแสสูงสุดได้ 1.5A</p>
	<p>TLP 250</p> <p>ไอซีออปโตคัปเปิลตัวถังแบบ DIP สำหรับนำไปใช้ขับขาคอมมอเตอร์</p>
	<p>Inductor 10 mH</p> <p>ตัวเหนี่ยวนำขนาด 10 mH ใช้ในวงจรลดทอนแรงดัน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>Capacitor 220 μF 450 V ตัวเก็บประจุขนาด 220 μF 450 V ใช้ในวงจร เรียงกระแส</p>
	<p>Capacitor 330 μF 250 V ตัวเก็บประจุขนาด 330 μF 250 V ใช้ในวงจร ลดทอนแรงดัน</p>
	<p>Capacitor 470 μF 35V ตัวเก็บประจุขนาด 470 μF 35V ใช้ในวงจร ควบคุม</p>
	<p>Capacitor 0.33 μF 50V ตัวเก็บประจุขนาด 0.33 μF 50V ใช้ในวงจร ควบคุม</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.




Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>Capacitor 0.1 μF 50V</p> <p>ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 μF 50V ใช้ในวงจรควบคุม</p>
	<p>Resistor 50 kΩ 10 W</p> <p>ตัวต้านทานขนาด 50 kΩ 10 W ใช้สำหรับการคลายประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุ ในวงจรเรียงกระแส</p>
	<p>Resistor 22 kΩ 10 W</p> <p>ตัวต้านทานขนาด 22 kΩ 10 W ใช้สำหรับการคลายประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุ เมื่อไม่มีโหลด ในวงจรลดทอนแรงดัน</p>
	<p>6-DZF-22.8 Lead-acid Battery</p> <p>แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ขนาด 12V 22.8Ah</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>Fluke 435 series II Power Quality and Energy Analyzers</p> <p>ใช้สำหรับเก็บค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ กับฮาร์มอนิกส์แรงดันและกระแสตรงฝั่งขาออกทุกๆ 30 วินาที</p>
	<p>Fluke 115 Field Service Technicians Multimeter</p> <p>มัลติมิเตอร์สามารถใช้สำหรับวัดค่า DC voltage</p>
	<p>Fluke 325 True-rms Clamp Meter</p> <p>แคลมป์มิเตอร์ True RMS ใช้สำหรับวัดค่า DC current</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในโครงการใช้โปรแกรม Arduino ในการทำงาน

```

#include <Nextion.h>
#include <avr/wdt.h>

int relay = 2;
int relaystatus = 5;
int Ithslid=0;
float voltage=0;
float current = 0;
int pwm=0;
long sum=0;
unsigned char sample_count = 0;
int analogPin = A2;
int amp = A0;
float x=0;
uint16_t icr = 0x03ff;
float maxvoltage=10;
float maxcurrent=1;
int volfix = 0;
int currentfix = 0;
float setvoltage = 0;
float setcurrent =0;
int CurrentPage = 0;
int numpad = 0;
long count=0;
int key = 0 ;
int voltages=0;
int currents=0;
int satart = 0;
NexButton b0 = NexButton(2, 2, "b0");
NexButton b1 = NexButton(2, 3, "b1");
NexButton b2 = NexButton(2, 4, "b2");
NexButton b3 = NexButton(2, 5, "b3");
NexButton b4 = NexButton(2, 6, "b4");
NexButton homel = NexButton(2, 7, "b5");
NexButton home2 = NexButton(3, 3, "b12");
NexButton selectvoltage = NexButton(3, 5, "b13");
NexButton selectcurrent = NexButton(3, 6, "b14");
NexButton selectcutcurrent = NexButton(3, 21, "b16");
NexButton seven = NexButton(3, 7, "b0");
NexButton eight = NexButton(3, 8, "b1");
NexButton nine = NexButton(3, 9, "b2");
NexButton four = NexButton(3, 10, "b3");
NexButton five = NexButton(3, 11, "b4");
NexButton six = NexButton(3, 12, "b5");
NexButton one = NexButton(3, 13, "b6");
NexButton two = NexButton(3, 14, "b7");
NexButton three = NexButton(3, 15, "b9");
NexButton klear = NexButton(3, 18, "b11");
NexButton zero = NexButton(3, 17, "b10");
NexButton enter = NexButton(3, 16, "b9");
NexButton startbut = NexButton(4, 10, "b0");
NexButton reset = NexButton(4, 11, "b1");
NexText t9=NexText(4,21,"t9");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

NexPage page0 = NexPage(0, 0, "page0");
NexPage page1 = NexPage(1, 0, "page1");
NexPage page2 = NexPage(2, 0, "page2");
NexPage page3 = NexPage(3, 0, "page3");
NexPage page4 = NexPage(4, 0, "page4");
NexPage page5 = NexPage(2, 15, "page5");
NexTouch *nex_listen_list[] =
{
    &b0,
    &b1,
    &b2,
    &b3,
    &b4,
    &home1,
    &home2,
    &selectvoltage,
    &selectcurrent, // Button added
    &selectcutcurrent,
    &seven,
    &eight,
    &nine,
    &four,
    &five,
    &six,
    &one,
    &two,
    &three,
    &clear,
    &zero,
    &enter,
    &startbut,
    &reset,
    &page0, // Page added as a touch event
    &page1, // Page added as a touch event
    &page2, // Page added as a touch event
    &page3, // Page added as a touch event
    &page4, // Page added as a touch event
    &page5, // Page added as a touch event
    NULL // String terminated
};
void analogWrite16(uint8_t pin, uint16_t val)
{
    switch (pin) {
        case 9: OCR1A = val; break;
        case 10: OCR1B = val; break;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void autobot()
{
  if(CurrentPage == 5)
  {
    int changevol = 10;
    changevol = opvoltage();
    Serial.print("x0.val=");
    Serial.print(changevol);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    int changecur = 10;
    changecur = opcurrent();
    Serial.print("x1.val=");
    Serial.print(changecur);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x2.val=");
    Serial.print(voltages);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x3.val=");
    Serial.print(currents);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x4.val=");
    Serial.print(Ithsld);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("n4.val=");
    Serial.print(Ithsld);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("n0.val=");
    Serial.print(pwm);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("n1.val=");
    Serial.print(relaystatus);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("n2.val=");
    Serial.print(satart);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

if (relaystatus == 1){
    Serial.print("t9.txt=");
    Serial.print("\n");
    Serial.print("Charging");
    Serial.print("\n");
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);}
if (relaystatus == 0){
    Serial.print("t9.txt=");
    Serial.print("\n");
    Serial.print("Charged");
    Serial.print("\n");
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);}
if (relaystatus != 0&&relaystatus != 1){
    Serial.print("t9.txt=");
    Serial.print("\n");
    Serial.print("Failed");
    Serial.print("\n");
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);}
}
}
void setupPWM16() {
    DDRB |= _BV(PB1) | _BV(PB2);
    TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(COM1B1)
            | _BV(WGM11);
    TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(WGM12)
            | _BV(CS10);
    ICR1 = icr;
}
void reset1()
{
    wdt_enable(WDTO_15MS);
    while(1)
    {
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

float opvoltage(){
    #define NUM_SAMPLES 150
    unsigned char sample_count = 0;
    float voltage=0;
    long sum=0;
    int pasut = 0;
    while (sample_count < NUM_SAMPLES) {
        sum += analogRead(A3);
        sample_count++;
        delay(1);
    }
    voltage=((float)sum / (float)NUM_SAMPLES * 4.954)*(25.5) /1.25/ 1024.0;
    pasut = voltage*100;
    return pasut;
}
float opcurrent(){
    float current = 0;
    float x = 0;
    int pasut2 = 0;
    for(int i = 0; i < 150; i++)
    {
        x += analogRead(A0);
        //Serial.println(x/150);
        current = ((x/(150)-503.291)*0.04882;
        delay(1);
    }
    pasut2 = current*100;
void printvoltage()
{
    Serial.print("x0.val=");
    Serial.print(voltage);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}
void printcurrent()
{
    Serial.print("x1.val=");
    Serial.print(current);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}
void printIthsld()
{
    Serial.print("x2.val=");
    Serial.print(Ithsld);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void startbutPopCallback(void *ptr)
{
    satart = 1;
    CurrentPage = 5;
}
void b0PopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    maxvoltage = 58.8;
    maxcurrent = 2.5;
    Ithslid = 0.55*100;
    voltages = maxvoltage*100;
    currents = maxcurrent*100;
    Serial.print("x0.val=");
    Serial.print(voltages);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x1.val=");
    Serial.print(currents);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x2.val=");
    Serial.print(Ithslid);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}
void b1PopCallback(void *ptr) // Release event for button b1
{
    maxvoltage = 73.5;
    maxcurrent = 2.5;
    Ithslid = 0.55*100;
    voltages = maxvoltage*100;
    currents = maxcurrent*100;
    Serial.print("x0.val=");
    Serial.print(voltages);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x1.val=");
    Serial.print(currents);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x2.val=");
    Serial.print(Ithslid);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void b2PopCallback(void *ptr) // Release event for button b2
{
    maxvoltage = 88.2;
    maxcurrent = 2.5;
    Ithsld = 0.55*100;
    voltages = maxvoltage*100;
    currents = maxcurrent*100;
    Serial.print("x0.val=");
    Serial.print(voltages);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x1.val=");
    Serial.print(currents);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x2.val=");
    Serial.print(Ithsld);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}

void b3PopCallback(void *ptr) // Release event for button b3
{
    maxvoltage = 102.9;
    maxcurrent = 2.5;
    Ithsld = 0.55*100;
    voltages = maxvoltage*100;
    currents = maxcurrent*100;
    Serial.print("x0.val=");
    Serial.print(voltages);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x1.val=");
    Serial.print(currents);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.print("x2.val=");
    Serial.print(Ithsld);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void b4PopCallback(void *ptr) // Release event for button b4
{
    maxvoltage = 117.6;
    maxcurrent = 2.5;
    Ithslid = 0.55*100;
    voltages = maxvoltage*100;
    currents = maxcurrent*100;
    printvoltage();
    printcurrent();
    printIthslid();
}
void home1PopCallback(void *ptr)
{
    satart=0;
    CurrentPage = 5;
    maxvoltage = 0;
    maxcurrent = 0;
    Ithslid = 0;
    voltages=0;
    currents=0;
    printvoltage();
    printcurrent();
    printIthslid();
    reset1();
    delay(500);
}
void home2PopCallback(void *ptr)
{
    satart=0;
    CurrentPage = 5;
    maxvoltage = 0;
    maxcurrent = 0;
    Ithslid = 0;
    voltages=0;
    currents=0;
    printvoltage();
    printcurrent();
    printIthslid();
    reset1();
    delay(500);
}
void resetPopCallback(void *ptr)
{
    satart=0;
    CurrentPage = 5;
    maxvoltage = 0;
    maxcurrent = 0;
    Ithslid = 0;
    voltages=0;
    currents=0;
    printvoltage();
    printcurrent();
    printIthslid();
    reset1();
    delay(500);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void selectvoltagePopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    key=0;
    voltages=0;
}
void selectcurrentPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    key=1;
    currents=0;
}
void selectcutcurrentPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    key=2;
    Ithsld=0;
}

void sevenPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 7;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithsld=Ithsld*10+numpad;
        printIthsld();
    }
}
void eightPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 8;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithsld=Ithsld*10+numpad;
        printIthsld();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void ninePopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 9;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithsld=Ithsld*10+numpad;
        printIthsld();
    }
}
void fourPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 4;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithsld=Ithsld*10+numpad;
        printIthsld();
    }
}
void fivePopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 5;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithsld=Ithsld*10+numpad;
        printIthsld();
    }
}
void sixPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 6;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithsld=Ithsld*10+numpad;
        printIthsld();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆที่ลิขสิทธิ์ของงานเป็นข้อมูลพลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void onePopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 1;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithslid=Ithslid*10+numpad;
        printIthslid();
    }
}
void twoPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 2;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithslid=Ithslid*10+numpad;
        printIthslid();
    }
}
void threePopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 3;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithslid=Ithslid*10+numpad;
        printIthslid();
    }
}
void klearPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    if(key==0){
        voltages=0;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=0;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithslid=0;
        printIthslid();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆที่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void zeroPopCallback(void *ptr) // Release event for button b0
{
    numpad = 0;
    if(key==0){
        voltages=voltages*10+numpad;
        printvoltage();
    }
    if(key==1){
        currents=currents*10+numpad;
        printcurrent();
    }
    if(key==2){
        Ithslid=Ithslid*10+numpad;
        printIthslid();
    }
}
void enterPopCallback(void *ptr)
{
    maxvoltage = voltages/100;
    maxcurrent = currents/100;

    printvoltage();
    printcurrent();
    printIthslid();
}

void page0PushCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 0;
}
void page1PushCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 1;
}
void page2PushCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 2;
}
void page3PushCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 3;
}
void page4PushCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 4;
}
void page5PopCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 5;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff);
  Serial.end();
  Serial.begin(9600); // Start serial communication at baud=115200

  b0.attachPop(b0PopCallback);
  b1.attachPop(b1PopCallback);
  b2.attachPop(b2PopCallback);
  b3.attachPop(b3PopCallback);
  b4.attachPop(b4PopCallback);
  home1.attachPop(home1PopCallback);
  home2.attachPop(home2PopCallback);
  selectvoltage.attachPop(selectvoltagePopCallback);
  selectcurrent.attachPop(selectcurrentPopCallback);
  selectcutcurrent.attachPop(selectcutcurrentPopCallback);
  seven.attachPop(sevenPopCallback);
  eight.attachPop(eightPopCallback);
  klear.attachPop(klearPopCallback);
  nine.attachPop(ninePopCallback);
  four.attachPop(fourPopCallback);
  five.attachPop(fivePopCallback);
  six.attachPop(sixPopCallback);
  one.attachPop(onePopCallback);
  two.attachPop(twoPopCallback);
  three.attachPop(threePopCallback);
  zero.attachPop(zeroPopCallback);
  enter.attachPop(enterPopCallback);
  startbut.attachPop(startbutPopCallback);
  reset.attachPop(resetPopCallback);

  page0.attachPush(page0PushCallback); // Page press event
  page1.attachPush(page1PushCallback); // Page press event
  page2.attachPush(page2PushCallback); // Page press event
  page3.attachPush(page3PushCallback); // Page press event
  page4.attachPush(page4PushCallback); // Page press event
  page5.attachPop(page5PopCallback); // Page press event
  setupPWMI6();
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
  digitalWrite(relay, LOW);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void loop() {
  if(voltages>12000||voltages<0)
  {
    voltages = 0;
    printvoltage();
  }
  if(currents>1000||currents<0)
  {
    currents = 0;
    printcurrent();
  }
  if(Ithslid>1000||Ithslid<0)
  {
    Ithslid = 0;
    printIthslid();
  }

autobot();
int changevol = 10;
changevol = opvoltage();
int changecur = 10;
changecur = opcurrent();
float cutvoltage=voltages/100+3;
float cutcurrent=currents/100+1;

while(satart==1)
{
  autobot();
  if((changevol/100.0)<cutvoltage || (changecur/100.0)<cutcurrent)
  {
    digitalWrite(relay,HIGH);
    relaystatus = 1;
  }
  //cc
  while(changevol<voltages)
  {
    if((changevol/100.0)>cutvoltage || (changecur/100.0)>cutcurrent )
    {
      autobot();
      relaystatus = 50;
      digitalWrite(relay,LOW);
    }

    changevol = opvoltage();
    changecur = opcurrent();
    autobot();
    nexLoop(nex_listen_list);
    if (currents > changecur)
    {
      pwm = pwm+1;
      pwm = constrain(pwm, 1, 1022);
    }
    if (currents < changecur)
    {
      pwm = pwm-1;
      pwm = constrain(pwm, 1, 1022);
    }
    analogWrite(9,pwm);
    nexLoop(nex_listen_list);
  }
  nexLoop(nex_listen_list);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

changevol=opvoltage();
changecur=opcurrent();
autobot();
while((Ithsld/100.0)<(changecur/100.0))
{
  autobot();
  relaystatus = 12345;
  if((changevol/100.0)>cutvoltage || (changecur/100.0)>cutcurrent)
  {
    autobot();
    relaystatus = 10000;
    digitalWrite(relay,LOW);
    nexLoop(nex_listen_list);
  }
  autobot();
  changevol=opvoltage();
  changecur=opcurrent();
  nexLoop(nex_listen_list);
  if (voltage > changevol)
  {
    pwm = pwm+1;
    pwm = constrain(pwm, 1, 1022);
  }
  if (voltage < changevol)
  {
    pwm = pwm-1;
    pwm = constrain(pwm, 1, 1022);
  }
  analogWrite(9,pwm);
  nexLoop(nex_listen_list);
  if((Ithsld/100.0)>(changecur/100.0))
  {
    autobot();
    relaystatus = 2130;
    digitalWrite(relay,LOW);
    nexLoop(nex_listen_list);
  }
  nexLoop(nex_listen_list);
}
relaystatus = 300;
satart=0;
nexLoop(nex_listen_list);
}

else
{
  autobot();
  relaystatus = 5123;
  digitalWrite(relay,LOW);
  nexLoop(nex_listen_list);
}
}
autobot();
relaystatus = 0;
digitalWrite(relay,LOW);
nexLoop(nex_listen_list);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน



นายพศุทธิ์ กรุดสอน

ที่อยู่ 127 ซอยฉลองกรุง 23 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

อีเมล tong_pasut@hotmail.com



นายพิชิต จินะวงศ์

ที่อยู่ 294 หมู่บ้านสันทรายใหม่ ซอย 1 หมู่ 11 ตำบลแม่สาย อำเภอแม่สาย
เชียงราย 57130

อีเมล saebbie@gmail.com



นายพูนพล โรจน์นำประทีป

ที่อยู่ 23/72 ซอยเอกชัย34 แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร
10150

อีเมล phunphon_51742@hotmail.com



นายภาคภูมิ เมธาวัฒนสกุล

ที่อยู่ 33/100 ซอยกาญจนวิถีสอย4 ถนนกาญจนวิถีสอย ตำบลบางกุ่ม อำเภอบางกุ่ม สุราษฎร์ธานี 84000

อีเมล fantasy.poll1@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.