

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่  
แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ  
DESIGN AND DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGERS WITH AUTOMATIC  
VOLTAGE REGULATORS



โดย  
นางสาวชนัญญอุยส สีสาทะ  
นางสาวชนิดา ชูทอง  
นางสาวเมวิกา ทองสัมฤทธิ์  
นายวิทวัส ชื่นพรม

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGERS WITH AUTOMATIC VOLTAGE  
REGULATORS



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
BACHLOR'S DEGREE  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2565

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่  
แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ

DESIGN AND DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGERS WITH AUTOMATIC VOLTAGE  
REGULATORS



โดย

นางสาว ชนัญอุยส

ลีลาพตะ

นางสาว ชนิตา

ชูทอง

นางสาว เมวิกา

ทองสัมฤทธิ์

นาย วิทวัส

ชื่นพรหม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อรรถพล เ่งพิทักษ์กุล

ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

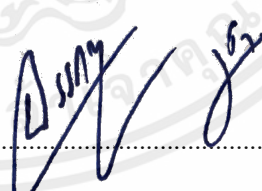
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ชนัญญุส ลีลาพตะ
2. นางสาว ชนินดา ชูทอง
3. นางสาว เมวีกา ทองสัมฤทธิ์
4. นาย วิทวัส ชื่นพรม



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรธพล เจ่าพิทักษ์กุล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ

นางสาวชนัญญอุยส ลีลาพตะ  
นางสาวชนิดา ชูทอง  
นางสาวเมวิกา ทองสัมฤทธิ์  
นายวิหวัส ชื่นพรม  
รศ. ดร.อรรถพล เเง่าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ. ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
ปีการศึกษา 2565

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ ที่สามารถปรับค่าแรงดันอัตโนมัติได้ ตั้งแต่แรงดัน 48V 60V และ 72V โดยสามารถปรับแรงดันได้อัตโนมัติเมื่อทำการเริ่มอัดประจุไฟฟ้า และมีระบบป้องกันระบบไฟฟ้าภายในเครื่องอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยระบบป้องกันกระแสเกิน ระบบป้องกันแรงดันเกิน และระบบป้องกันการต่อกลับขั้ว โดยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปรับแรงดันอัตโนมัติจะออกแบบโดยประกอบด้วย วงจร 2 วงจร คือ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและวงจรลดทอนแรงดัน โดยวงจรเรียงกระแสจะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้ากับตัวเก็บประจุเพื่อให้ไฟฟ้ากระแสตรงขาออกมีความเรียบเป็นกระแสตรงมากขึ้น และวงจรลดทอนแรงดันจะทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ตามวิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่/แรงดันคงที่ (Constant current/Constant voltage) โดยการปรับระยะเวลาช่วงเปิดการขับขา Gate ของ MOSFET ผ่านสัญญาณ PWM (Pulse width modulation) และมีระบบป้องกันกระแสเกิน และแรงดันเกิน โดยใช้รีเลย์ในการตัดวงจรออกเมื่อกระแสหรือแรงดันขณะนั้นสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ จากการทดลองพบว่าตัวอัดประจุไฟฟ้าขนาดเล็กที่ทำนั้นสามารถปรับแรงดันได้อัตโนมัติได้ ที่แรงดันแบตเตอรี่ 48,60,72 โวลต์ ได้ตามที่กำหนดไว้และสามารถหยุดการอัดประจุได้เมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือเมื่อกระแสแรงดันเกินกว่าที่กำหนดไว้

## Design and Development of Electric Vehicle Chargers with Automatic Voltage Regulators

Chanunayut Leelapata

Chanida Chootong

Mewika Thongsumrit

Wittawat Chuenprom

Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul Advisor

Asst. Prof. Dr. Chaiyan Jettanasen Co-Advisor

### ABSTRACT

This thesis is designed to design and develop an automatic pressure-adjusting mobile electric vehicle charger. that can adjust the pressure automatically from the voltage of 48V, 60V and 72V, the voltage can be adjusted automatically when starting to charge. And there is an electrical protection system inside the electric charger. which consists of an overcurrent protection system overpressure protection system and reverse polarity protection system The automatic voltage regulator is designed to consist of two circuits, namely a full-wave rectifier circuit and a voltage attenuation circuit. The rectifier circuit converts AC power to DC power and connects to the capacitor so that the output DC power is smoother into direct current. And the voltage attenuation circuit will reduce the voltage to a level suitable for charging the battery according to the constant current/constant voltage charging method (Constant current/Constant voltage) by adjusting the interval time. Open drive the Gate pin of MOSFET passes PWM (Pulse width modulation) signal and has overcurrent protection. and overpressure By using a relay to cut off the circuit when the current or voltage is higher than the set value. From the experiment, it was found that the small electric charger that was made was able to adjust the pressure automatically. At the battery voltage of 48,60,72 volts as specified and can stop charging when the battery is full or when the current voltage exceeds the predetermined

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร. อรรถพล เงามพิทักษ์กุล และผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจและแก้ไข ปริญญาโทฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ต้องขอขอบคุณ นายณัฐนนท์ พันธุ์นิล และ นายสันติพันธ์ อนันต์วัฒนา รวมทั้งพี่ๆ ปริญญาโทและปริญญาเอก ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำและช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุน ในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการให้ข้อมูลและการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	4
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	5
1.5 แผนการดำเนินงาน	6
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 วงจรเรียงกระแส	9
2.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแส	11
2.3 วิธีจ่ายแรงดันและกระแส CC/CV	25
2.4 มาตรฐานฮาร์มอนิกของอุปกรณ์	26
2.5 ลักษณะรูปทรงของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	26
2.6 อาคูดีโน เมกา 2560 (Arduino Mega 2560)	31
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็ก	33
3.1 การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	33
3.2 การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็ก	34
3.3 การออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดประจุ	42
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	45
4.1 บทนำ	45

4.2 การทดลองการอัดประจุไฟฟ้า	48
4.3 การเปรียบเทียบกับเครื่องอัดประจุตามท้องตลาด	54
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 ปัญหาที่พบ	61
5.3 แนวทางการพัฒนา	61

**เอกสารอ้างอิง**

**ภาคผนวก**

**ประวัติผู้เขียน**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	1
1.2 ลักษณะหัวอัดประจุรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	3
2.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ	9
2.2 (ก) วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงพื้นฐาน (ข) วงจรสมมูลของสวิตช์ (ค) แรงดันไฟฟ้าต้านนอก	12
2.3 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์	15
2.4 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	15
2.5 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	16
2.6 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ก) แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ	18
2.7 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	21
2.8 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	22
2.9 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	23
2.10 เซลล์ถุง (Pouch Cells)	26
2.11 เซลล์ปริซึม (Prismatic Cells)	27
2.12 เซลล์ทรงกระบอก (Cylindrical Cells)	28
2.13 บอร์ดอาคูอิโน้ เมกา 2560	31
2.14 ไตอะแกรมบอร์ดอาคูอิโน้ เมกา 2560	31
3.1 รูปตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ด้านหน้า	33
3.2 รูปวงจรภายในที่ทำการออกแบบ	34
3.3 วงจรเรียงกระแส	35
3.4 วงจรเรียงกระแสที่ออกแบบไว้	35
3.5 วงจรลดทอนแรงดัน	38
3.6 วงจรลดทอนแรงดันที่ออกแบบไว้	38
3.7 วงจรชั้ขาเกตของมอสเฟต	39
3.8 วงจรชั้ขาเกตของมอสเฟตที่ออกแบบไว้	39

3.9	วงจรจ่ายแรงดัน Arduino	40
3.10	วงจรจ่ายแรงดัน Arduino ที่ออกแบบไว้	40
3.11	วงจรโดยรวมทั้งหมด	41
3.12	หน้าจอแสดงผล	42
3.13	แผนผังการทำงานของโค้ด	43
3.14	(ต่อ) แผนผังการทำงานของโค้ด	43
4.1	จำลองอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัดประจุที่ออกแบบ	46
4.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัดประจุที่ออกแบบไว้	47
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V	48
4.4	(ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V lead acid	49
	(ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V lead acid	
4.6	(ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid	51
	(ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid	
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V lead acid	52
4.8	(ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V lead acid	53
	(ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V lead acid	
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V Lithium ion	54
4.10	(ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V Lithium ion	55
	(ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V Lithium ion	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของจักรยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อในท้องตลาด	2
1.2 การอัดประจุแต่ละรูปแบบของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	3
1.2 (ต่อ) การอัดประจุแต่ละรูปแบบของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	4
1.3 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุดโครงการ	6
1.3 (ต่อ) แสดงระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุดโครงการ	7
2.1 มาตรฐานฮาร์โมนิกของอุปกรณ์	26
2.2 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดต่าง ๆ	30
3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบในวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์	37
4.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดประจุที่จัดทำกับเครื่องอัดประจุที่มีตามท้องตลาด	56
4.2 ผลการทดสอบเครื่องอัดประจุที่ออกแบบไว้	58

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ

ในปัจจุบันความต้องการใช้ยานพาหนะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีการนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้ทดแทนรถจักรยานยนต์สันดาป ส่งผลให้การใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีความแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเป็นยานพาหนะสองล้อที่มีน้ำหนักเบา ขนาดกระทัดรัด ไม่มีเสียงรบกวน และใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่แบบอัดประจุได้ แต่การอัดประจุแบตเตอรี่จักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีการบังคับแรงดันไฟฟ้าให้ตรงกับแบตเตอรี่ที่ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้ที่ซื้อจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่มีรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามากกว่า 1 คัน และมีแรงดันที่ต่างกันไม่สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากความต่างศักย์และหัวอัดประจุต่างกัน ทำให้เกิดความสับสนของผู้ใช้งานในการเลือกเครื่องอัดประจุ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องอัดประจุหลายเครื่อง

ผู้จัดทำโครงการจึงได้ทำการศึกษาหลักการการทำงานและพัฒนาเครื่องอัดประจุที่สามารถปรับแรงดันอัตโนมัติได้ตามแรงดันของแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการอำนวยความสะดวก และตอบสนองความต้องการให้แก่ผู้ใช้งานรถจักรยานยนต์



รูปที่ 1.1 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า [1]

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของจักรยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อในท้องตลาด



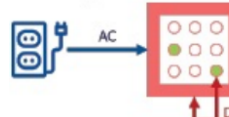
ยี่ห้อ	รุ่น	ประเภท แบตเตอรี่	ความจุแบตเตอรี่ (V/Ah)	กำลังมอเตอร์ ไฟฟ้า (W)	หมายเหตุ
hsem motor	Ciao	ลิเทียม	60/20	2000	[2]
	MOBILAS	ลิเทียม	72/30	3000	
	MOBILAQ	ลิเทียม	72/30	3000	
	wings	ลิเทียม	72/30	3000	
niu thailand	Mqi+Sport	ลิเทียม	48/31	1200	[3]
	NqiGT/S	ลิเทียม	60/26	3000	
ETEAN	MYRA	ลิเทียม	72/40	2000	[4]
Deco GREEN ENERGY	Luciano	ลิเทียม	63/20	1000	[5]
	HANNAH	ลิเทียม	63/20	1000	
	SOFIA	ลิเทียม	63/20	1000	
	SuSu	ลิเทียม	73/58	3000	
	G-Five	ลิเทียม	73.6/42	2000	
	Double	ลิเทียม	73.6/42	2000	
	Ace	ลิเทียม	73.6/30	2000	
	MaxOne	ลิเทียม	73.6/30	2000	
	Super Ace	ลิเทียม	73.6/30	2000	
YADEA	CLION	ลิเทียม	72/20	2000	[6]
DAKO	AMNO	ลิเทียม	72/60	4000	[7]
	Concept	ลิเทียม	72/60	3000	
	AMANO-i	ตะกั่วกรด	72/20	1000	
	CUBE	ตะกั่วกรด	60/20	1000	
	CUBE-i	ลิเทียม	60/20	1000	
	CUBE-i	ลิเทียม	72/60	2000	
	JAZZY	ลิเทียม	72/30	2000	
	JAZZY-i	ลิเทียม	72/60	3000	
	MONKEE	ตะกั่วกรด	72/20	2000	
	NOVA	ลิเทียม	72/30	1500	
	POPPY	ลิเทียม	72/30	1500	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



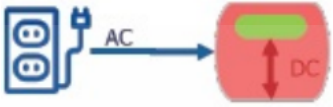

รูปที่ 1.2 ลักษณะหัวอัดประจุรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า [8]

ตารางที่ 1.2 การอัดประจุแต่ละรูปแบบของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า [9]

แผนผังการทำงาน	ข้อดี	ข้อเสีย
1. สถานีประจุไฟฟ้าแบบปกติ ในที่สาธารณะ (Public Charging Station)		
อุปกรณ์แปลงไฟฟ้า : ในรถ ตำแหน่งของแบตเตอรี่ : ในรถ ระยะเวลาประจุไฟฟ้า : ปกติ 	สามารถใช้งานสถานีประจุไฟฟ้าร่วมกันระหว่างแบรนด์ต่างๆ ได้	1. รถมีราคาสูงเนื่องจากต้องติดตั้ง On-Board Charger เพิ่มเข้าไปในตัวรถ 2. ต้องเตรียมโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการจุดประจุไฟฟ้า
2. การประจุไฟในส่วนบุคคล (Private Charger)		
อุปกรณ์แปลงไฟฟ้า : นอกรถ ตำแหน่งของแบตเตอรี่ : ในรถ ระยะเวลาประจุไฟฟ้า : ปกติ 	คุ้มค่าเสียของ off-board Charger มีลักษณะเหมือนตัวเสียบของอุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถใช้งานกับตัวรับในอาคารได้เลย	ผู้ขับขี่ต้องพกพา off-board หากต้องการประจุไฟฟ้าระหว่างการเดินทาง ยังคงมีต้นทุนจาก off-board Charger
3. สถานีสลับแบตเตอรี่ในที่สาธารณะ (Public swapping station)		
อุปกรณ์แปลงไฟฟ้า : นอกรถ ตำแหน่งของแบตเตอรี่ : นอกรถ ระยะเวลาประจุไฟฟ้า : เร็ว 	1. ราคารถใกล้เคียงกับจักรยานยนต์ ICE เนื่องจากแยกความเป็นเจ้าของแบตเตอรี่ออกจากตัวรถ 2. การประจุไฟฟ้าใช้เวลาไม่นาน	อาจเกิดการผูกขาดบริการเข้าแบตเตอรี่ เนื่องจากผลิตรถจักรยานยนต์แต่ละราย ออกแบบแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 1.2 (ต่อ) การอัดประจุแต่ละรูปแบบของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

4. การสลับแบตเตอรี่แบบส่วนบุคคล (Private swapping)		
อุปกรณ์แปลงไฟฟ้า : นอกกรร ตำแหน่งของแบตเตอรี่ : นอกกรร ระยะเวลาประจุไฟฟ้า : เร็ว 	ใช้เวลาประจุไฟฟ้าไม่นาน เนื่องจาก มีแบตเตอรี่ให้สลับใช้	มีต้นทุนการสำรองแบตเตอรี่ มากกว่า 1 ลูก
5. สถานีประจุไฟฟ้าแบบเร็ว ในที่สาธารณะ (Public quick charge)		
อุปกรณ์แปลงไฟฟ้า : นอกกรร ตำแหน่งของแบตเตอรี่ : นอกกรร ระยะเวลาประจุไฟฟ้า : เร็ว 	1. ใช้เวลาประจุไฟฟ้าไม่มาก 2. สามารถใช้งานสถานีประจุไฟฟ้า ระหว่างแบรนด์ได้และใช้ร่วมกับ อุปกรณ์ประจุไฟฟ้าของรถยนต์ได้	เนื่องจากแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ และ ต้องออกแบบแบตเตอรี่ให้เหมาะสม กับการประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานที่สูง จึงส่งผลกระทบต่อต้นทุนเพิ่มมากขึ้น จึง นิยมใช้ในรถ Big bike มากกว่า

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะและวิธีการประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650
- 1.2.2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจรอัดประจุจักรยานยนต์ไฟฟ้า
- 1.2.3. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดประจุจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถปรับแรงดันได้อัตโนมัติ
- 1.2.4. เพื่อศึกษาการออกแบบและทดสอบเครื่องอัดประจุที่ออกแบบ และเปรียบเทียบกับเครื่องอัดประจุเชิงพาณิชย์

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

งานวิจัยนี้มีความต้องการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ โดยมีวงจรเรียงกระแส และวงจรทอนระดับ เพื่อปรับแรงดันกระแสตรงสำหรับการชาร์จแรงดันไฟฟ้าในช่วงระดับแรงดันไฟฟ้า 48V ถึง 72V โดยรับไฟฟ้าเข้ามาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

- 1.4.1. ศึกษาและวางแผนการดำเนินงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.4.2. อบรมวิธีการประกอบแบตเตอรี่และการติดตั้งจักรยานยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.3. ศึกษาวิธีการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 ขนาด 48 V 20 A, 60 V 20 A, 72 V 20 A
- 1.4.4. ทำการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650
- 1.4.5. ประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 ขนาด 60 V 20 A
- 1.4.6. ทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ทำการประกอบขึ้น
- 1.4.7. ออกแบบวงจรสำหรับการอัดประจุในแบตเตอรี่ 48V, 60V, 72V
- 1.4.8. ทดสอบวงจรที่ประกอบและปรับปรุงวงจร
- 1.4.9. ทำการทดลองการชาร์จโดยวงจรที่ประกอบขึ้นและวัดฮาร์มอนิกที่ได้
- 1.4.10. ทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดประจุเชิงพาณิชย์กับเครื่องอัดประจุที่ทำการประกอบขึ้น
- 1.4.11. บันทึกผลการทดลอง

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.3 ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2565				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ปรึกษาและวางแผนการดำเนินงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา					
2. อบรมวิธีการประกอบแบตเตอรี่และการติดตั้งจักรยานยนต์ไฟฟ้า					
3. ศึกษาคุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต 32650					
4. ศึกษาและวางแผนวิธีการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต 32650 ขนาด 48 V 20 A, 60 V 20 A, 72 V 20 A					
5. ทำการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650					
6. ประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 ขนาด 60 V 20 A					
7. ทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ทำการประกอบขึ้น					
8. ออกแบบวงจรสำหรับการอัดประจุในแบตเตอรี่ 48 V, 60 V, 72 V					
9. ทดสอบวงจรที่ประกอบและปรับปรุงวงจร					
10. ทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดประจุเชิงพาณิชย์กับเครื่องอัดประจุที่ทำการประกอบขึ้น					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2566															
	ม.ค.			ก.พ.			มี.ค.			เม.ย			พ.ค			
1. ปรึกษาและวางแผนการดำเนินงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา																
2. อบรมวิธีการประกอบแบตเตอรี่และการติดตั้งจํานวนยนต์ไฟฟ้า																
3. ศึกษาคุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต 32650																
4. ศึกษาและวางแผนวิธีการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต 32650 ขนาด 48 V 20 A, 60 V 20 A, 72 V 20 A																
5. ทำการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650																
6. ประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650 ขนาด 60 V 20 A																
7. ทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ทำการประกอบขึ้น																
8. ออกแบบวงจรสำหรับการอัดประจุในแบตเตอรี่ 48 V, 60 V, 72 V																
9. ทดสอบวงจรที่ประกอบและปรับปรุงวงจร																
10. ทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดประจุเชิงพาณิชย์กับเครื่องอัดประจุที่ทำการประกอบขึ้น																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.6.1. ทราบถึงคุณลักษณะและวิธีการประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650
- 1.6.2. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรอัดประจุรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่สำหรับใช้ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
- 1.6.3. สามารถออกแบบ และสร้างเครื่องอัดประจุรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถปรับแรงดันได้อัตโนมัติตามแรงดันของแบตเตอรี่ที่ต้องการ และมีประสิทธิภาพในการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

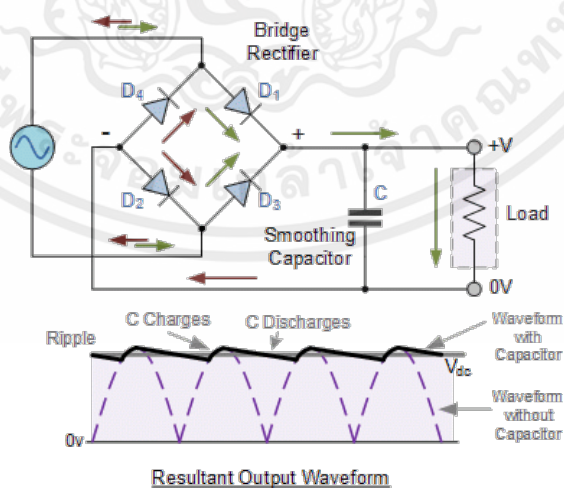
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้า จากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงโดยต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีความเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมากที่สุด วงจรเรียงกระแสมีทั้งที่เป็นครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้เมื่อพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้ามีค่าไม่เป็นศูนย์ทำให้เกิดปัญหาที่หม้อแปลงอิมิตัวได้ง่าย

##### 2.1.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ

การต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูงๆ ขนานกับโหลดตัวต้านทานของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด จะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ได้ดังแสดงในรูป 2.1 สำหรับการวิเคราะห์จะคล้ายกับวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่นแบบไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ เว้นเพียงแต่การคายประจุของตัวเก็บประจุจะมีช่วงเวลาที่สั้นกว่ากรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านนอกของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดจะมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งของกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น นอกจากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านนอกจะมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น อันเป็นผลมาจากแรงดันตกคร่อมไดโอดที่ทำงานพร้อมกันที่ละสองตัว



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ

การวิเคราะห์จะเหมือนกันกับกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น เพราะฉะนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านนอกจะมีค่าเท่ากับ

$$v_o = |V_m \sin(\omega t)| \quad \text{ไดโอด 1 คู่ นำกระแส} \quad (2.1)$$

$$v_o = [V_m \sin(\theta)] \cdot e^{-\frac{(\omega t)}{\omega RC}} \quad \text{ไดโอดไม่นำกระแส} \quad (2.2)$$

โดยที่  $\theta$  หมายถึงมุมที่ไดโอดเริ่มหยุดนำกระแสซึ่งจะคล้ายกับกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่นจะได้

$$\theta = \tan^{-1}(-\omega RC) = -\tan^{-1}(\omega RC) + \pi \quad (2.3)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านนอกจะมีค่าเท่ากับ  $V_m$  และค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดด้านนอกจะหาได้จากการแทนค่ามุมที่ไดโอดคู่ที่สองเริ่มนำกระแส  $\omega t = \pi + \alpha$  ลงในสมการที่ (2.3) ดังนั้นที่จุดขอบเขต (boundary point) จะได้

$$\begin{aligned} & [V_m \sin(\theta)] \cdot e^{-\frac{(\pi + \alpha - \theta)}{\omega RC}} = -V_m \sin(\pi + \alpha) \\ \text{หรือ} & [\sin(\theta)] \cdot e^{-\frac{(\pi + \alpha - \theta)}{\omega RC}} - \sin(\alpha) = 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

สำหรับการแก้สมการอดิศัยในสมการที่ (2.4) จะต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการหาค่า  $\alpha$

ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

$$\Delta V_o = V_m - |V_m \sin(\pi + \alpha)| = V_m [1 - \sin(\alpha)] \quad (2.5)$$

กรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น แต่ค่ามุม  $\alpha$  จะมีค่ามากกว่าและค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าน้อยกว่าเช่นกันสำหรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะเหมือนกับกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น

สำหรับวงจรในทางปฏิบัติจะได้  $\omega RC \gg \pi$

$$\theta \approx \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha \approx \frac{\pi}{2} \quad (2.6)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดด้านออกจะสามารถประมาณค่าจากสมการที่ (2.1) และ (2.2) เมื่อไดโอดหยุดนำกระแสที่เวลา  $\omega t = \pi$

$$v_o(\pi + \alpha) = V_m \cdot e^{-\frac{(\pi + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2})}{\omega RC}} = V_m \cdot e^{-\frac{\pi}{\omega RC}} \quad (2.7 ก)$$

ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าประมาณเท่ากับ

$$\Delta V_o \approx V_m(1 - e^{-\frac{\pi}{\omega RC}}) \quad (2.7 ข)$$

สำหรับเทอม  $e^{-\frac{\pi}{\omega RC}}$  จะสามารถประมาณโดยใช้วิธีกระจายแบบอนุกรมจะได้

$$e^{-\frac{\pi}{\omega RC}} \approx 1 - \frac{\pi}{\omega RC}$$

แทนค่าลงในสมการ (2.7) จะได้

$$\Delta V_o \approx \frac{V_m \pi}{\omega RC} \approx \frac{V_m}{2fRC} \quad (2.8)$$

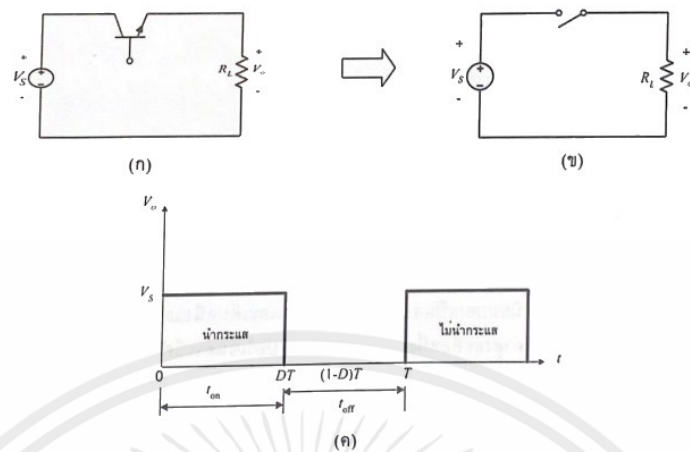
เปรียบเทียบระหว่างค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกในกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งหนึ่งและค่ากระแสเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้านำเข้าจะมีค่าเป็นศูนย์

## 2.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแส

วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบ่งออกเป็น 4 แบบหลักๆ วงจร บั๊ก วงจรบูสต์ วงจรบัก-บูสต์ วงจรชุก มีทั้งแบบกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่อง โดยมี รายละเอียดดังนี้

### 2.2.1. หลักการทำงานของวงจรสวิตชิง

อุปกรณ์สวิตชิงเช่น มอสเฟส หรือ ไอจีบีที จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมดการทำงานคือ โหมดนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยสมมติให้มอสเฟส หรือ ไอจีบีที ที่ใช้เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในอุดมคติดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 (ก) วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงพื้นฐาน (ข) วงจรสมมูลของสวิตช์  
(ค) แรงดันไฟฟ้าด้านนอก

เมื่อสวิตช์นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านนอกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ( $v_o = v_s$ ) และเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านนอกจะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ ( $v_o = 0$ )

ช่วงเวลาในการนำกระแสจะหยุดนำกระแส จะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านนอกเป็นพัลส์ดังในรูปที่ 2.2 (ค) ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยหรือค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านนอกได้จากสมการที่ (2.9)

$$v_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt$$

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{DT} v_s dt$$

$$V_o = V_s D \quad (2.9)$$

เมื่อ  $V_s =$  แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

$D =$  ดิวตี้ไซเคิล

จากสมการที่ (2.9) จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านออกจะถูกควบคุมได้จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle หรือ Duty ratio :  $D$ ) ซึ่ง  $D$  หมายถึงอัตราส่วนของช่วงเวลาที่มีสวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตช์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.10)

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.10)$$

$$t_{on} = DT$$

$$t_{off} = (1 - D)T$$

เมื่อ  $t_{on}$  = เวลานำกระแส

$t_{off}$  = เวลาไม่นำกระแส

$T$  = เวลาหนึ่งคาบ

การกำหนดค่า  $D$  นิยมบอกเป็นสองลักษณะ คือเป็นเลขเต็มหนึ่งและบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าต่ำสุดของ  $D$  คือศูนย์และค่าสูงสุดคือหนึ่ง ขณะที่บอกเป็นเปอร์เซ็นต์จะมีค่าต่ำสุดเป็นศูนย์เปอร์เซ็นต์และค่าสูงสุดคือหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

## 2.2.2. วงจรทอนระดับหรือวงจรบักคอน

วงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรงมากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่

### 2.2.2.1 เชื้อไขการทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ในช่วงที่เป็นสภาวะอยู่ตัว (stead state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

- กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

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

หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากัน ณ ตำแหน่งเดียวกันในทุกคาบเวลา

- แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกรวมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (2.12)$$

หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกรวมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (volt-second) ในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

- กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_C(t) dt = 0 \quad (2.13)$$

หมายถึงประจุที่ถูกเก็บ (charged) และที่คาย (discharged) ของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะต้องเท่ากัน

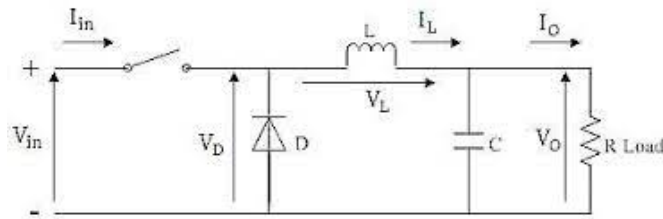
- กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านนอก

$$P_S = P_O \quad (2.14)$$

กรณีนี้กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร ประสิทธิภาพของวงจรจึงเท่ากับร้อยเปอร์เซ็นต์

#### 2.2.2.2. หลักการทำงานของวงจรบู้คอนเวอร์เตอร์

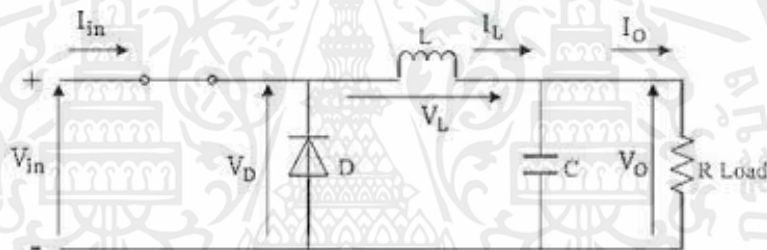
หลักการทำงานของวงจรบู้คอนเวอร์เตอร์ เพื่อจะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกรวมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ (2.18) การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้



รูปที่ 2.3 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์

- ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.3 กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.15)$$

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

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

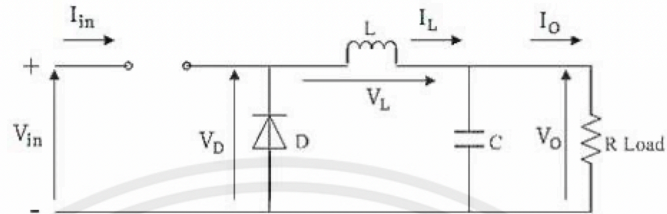
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.17)$$

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ  $dt = DT$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$v_L = -v_o \quad (2.19)$$

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.20)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.21)$$

ความหมายของสมการที่ 2.21 คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำค่อยๆ มีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

$dt$  กรณีอยู่ในช่วงหยุดเวลาหยุดนำกระแสคือ  $dt = (1 - D)T$  ดังนั้นจากสมการ (2.21) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1 - D) \quad (2.22)$$

### 2.2.2.3 การหาค่าอัตราการขยายแรงดันของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

จากเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในสมการ (2.11) คือ ในช่วงสภาวะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแส จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแสหรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ (2.18) กับสมการที่ (2.22) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.23)$$

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

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

$$(V_s - V_o)D - V_o(1 - D)T = 0$$

$$V_s D - V_o D - V_o(1 - D) = 0$$

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

ในสมการที่ (2.24) อัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า  $D$  วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า  $D$  โดยการปรับค่า  $D$  สามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง ซึ่งในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับได้ถึง 100 โวลต์เพราะเกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำ ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าน้อยลงเล็กน้อย

จากการหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าหรือที่เรียกว่าอัตราขยายแรงดัน (voltage gain) สามารถหาได้อีกวิธีหนึ่งโดยสมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ (2.12) จะได้

$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.25)$$

$$V_{L,av} = (V_s - V_o)(t_{on}) + (-V_o)(t_{off}) = 0 \quad (2.26)$$

$$(V_s - V_o)(DT) - V_o(1 - D)T = 0$$

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

เมื่อ  $V_{L,av}$  คือ แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

$V_{L,on}$  คือ แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

$V_{L,off}$  คือ แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

### 2.2.2.4 การหาค่าเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะทำให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.27)$$

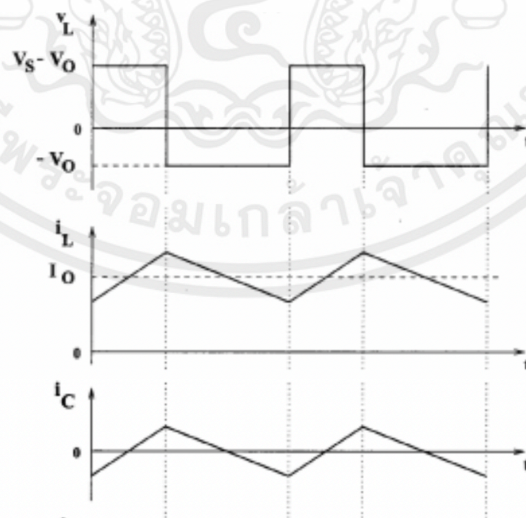
จากรูปที่ 2.2 (ข) จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.28)$$

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

หรือเขียนให้ง่ายขึ้นได้ดังนี้

$$I_{L,max} = V_o \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.29)$$



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (ก) แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

ดังนั้นกระแสตัวเหนี่ยวนำที่ต่ำที่สุดคือ

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

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

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

$$I_{L,min} = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.31)$$

เงื่อนไขสำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องคือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นกระแสบวกเสมอ สมการที่ (2.31) สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่ในการสวิตซ์ซึ่ง หาก  $I_{L,min}$  เท่ากับศูนย์พอดี เป็นช่วงต่อระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

$$I_{L,min} = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0 \quad (2.32)$$

$$\left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0$$

$$\frac{1}{R} = \frac{(1-D)}{2Lf}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.33)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{min}} \quad (2.34)$$

สมการที่ (2.32) ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดตั้งสมการที่ (2.33) ดังนั้นหากต้องการจะออกแบบให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดโดยที่วงจรยังทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง ก็จะสามารถเลือกออกแบบได้สองแนวทางคือ กรณีที่หนึ่งการพยายามทำให้เศษในสมการที่ (2.33) มีค่าน้อยที่สุดโดยการให้ค่า  $D$  มีค่าเข้าใกล้หนึ่งหรือการทำให้โหลด  $R$  มีค่าน้อยๆ แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือกระแสไหลสูง อีกกรณีหนึ่งคือพยายามทำให้ค่าส่วนที่ต้องการในสมการ (2.33) มีค่ามากๆ เช่น ความถี่ในการสวิตช์เพิ่มขึ้นจาก 50 kHz เป็น 100 kHz ก็จะทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบเล็กลงสองเท่าได้เช่นกัน ส่วนสมการที่ (2.34) ใช้สำหรับการพิจารณาหาความถี่ในการสวิตช์ที่เหมาะสม เมื่อตัวเหนี่ยวนำถูกกำหนดค่าความเหนี่ยวนำ

#### 2.2.2.5 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของตัวเก็บประจุ ซึ่งกระแสในตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$i_c = i_L - i_R \quad (2.35)$$

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุสะสมประจุโดยสามารถคำนวณจาก

$$Q = CV_o \quad (2.36)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.37)$$

เมื่อ  $\Delta Q$  คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

$\Delta V_o$  คือ ค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆระหว่างยอดถึงยอด

อัตราระลอกคลื่น (ripple ratio) แสดงเป็นอัตราส่วนของระลอกแรงดันไฟฟ้าด้านออกระหว่างยอดถึงยอดกับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออก หาได้จาก

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.38)$$

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้กำลังจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ สมมติการสูญเสียเป็นศูนย์

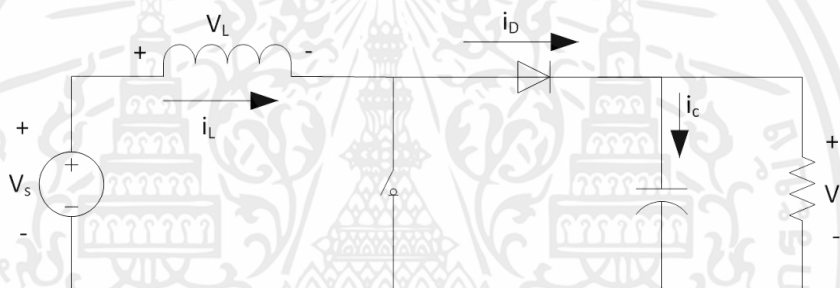
$$P_s = P_o \quad (2.39)$$

### 2.2.3. วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์คือ วงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้า

#### 2.2.3.1. เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์วงจรการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์



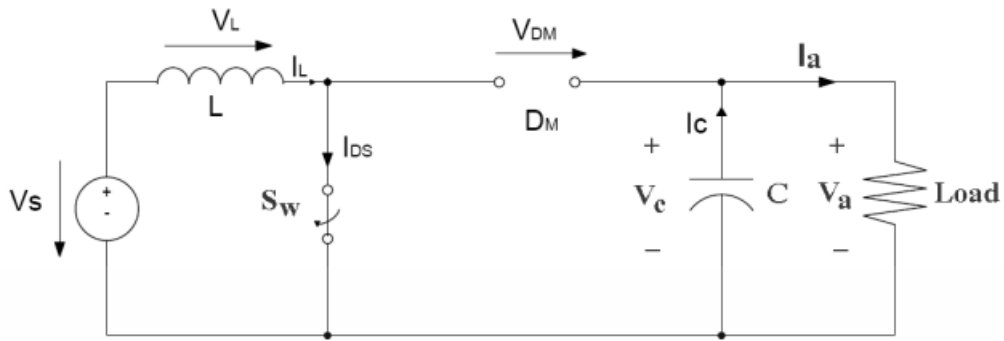
รูปที่ 2.7 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

#### 2.2.3.2. หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด

- ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.7 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.40)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.41)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.42)$$

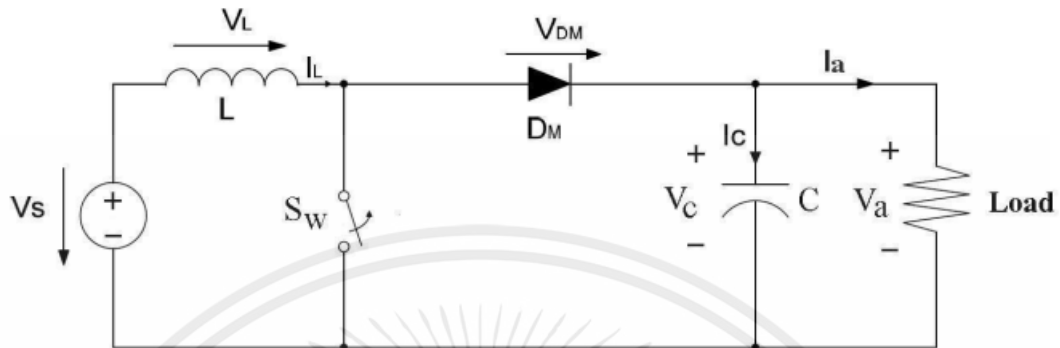
ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.43)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.44)$$

$\Delta i_{L,on}$  หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

- ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.45)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.46)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1 - D)T$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ ถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right) (1 - D)T \quad (2.47)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.48)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.49)$$

การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า เมื่อค่า  $D$  เพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายแรงดันจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางทฤษฎีอัตราการขยายของแรงดันด้านออกเท่ากับ

แรงดันด้านเข้า แต่ในทางปฏิบัติแรงดันด้านออกจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดและตัวอุปกรณ์สวิตช์

### 2.2.3.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

สมมติการสูญเสียภายในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.50)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด หาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงที่สวิตช์นำกระแส จะได้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด คือ

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.51)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.52)$$

จะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ที่ทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังนี้

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.53)$$

การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่า  $D$  หรือค่าความต้านทานโหลด  $R$  หรือค่าความถี่สวิตซ์  $f$

#### 2.2.3.4. ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆ ได้เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$$|\Delta Q| = C\Delta V_o = I_o\Delta t_{on} \quad (2.54)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} = \frac{D}{RCf} \quad (2.55)$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก จะทำได้โดยการลดค่า  $D$  ให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น [10]

### 2.3 วิธีจ่ายแรงดันและกระแส CC/CV

วิธีการจ่ายกระแสและแรงดัน 2.4.1 Constant Current – constant voltage การอัดประจุแบบกระแสและแรงดันคงที่ (CC/CV) ได้พัฒนาและนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับ แบตเตอรี่ lithium-ion เพราะความง่าย การอัดประจุแบบ CC/CV กระแสคงที่ จะถูกจ่ายให้กับแบตเตอรี่จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปถึงจุดที่ตั้งไว้หลังจากนั้นจะเข้าสู่แรงดัน คงที่และกระแสก็จะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลและการอัดประจุจะหยุดลงเมื่อกระแสถึงจุดที่ตั้งไว้ กระบวนการ CC/CV จำเป็นต้องมีการตรวจความปลอดภัยและการป้องกัน โดยเริ่ม จากสภาพวะของแบตเตอรี่ตอนเริ่มเช่น อุณหภูมิ แรงดันขณะเปิดวงจร (OCV) ว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ถ้า OCV มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดัน cutoff แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุแบบ trickle charge (TC) ด้วยกระแสต่ำ เช่น 0.1C โดย C คือ ความจุของแบตเตอรี่ จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ถึงจุด cut off จากนั้น จึงจะเริ่มแบบกระแสคงที่โดยกระแสเลือกจากรายละเอียดของแบตเตอรี่ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.5 C ถึง 3.2 C และเข้าสู่แรงดันคงที่ โดยทำการอัดประจุจนกระทั่งกระแสอัดประจุมีค่าน้อยกว่า 0.1 C หรือ ถึง เวลาที่กำหนดแล้ว ในแบบ CC จะใช้เวลาในการอัดประจุตั้งแต่ 1 ถึง 2.5 ชั่วโมง โดยทั่วไป ยิ่งกระแสต่ำการอัดประจุจะยิ่งมีประสิทธิภาพและเวลาในการอัดประจุจะนานและอายุของแบตเตอรี่ก็จะนาน เซนเซอร์ที่จำเป็นที่จะวัดแรงดันของแบตเตอรี่ กระแส และ อุณหภูมิผิว CC/CV นั้นง่ายและถูก เพราะว่าไม่จำเป็นต้องใช้ microcontroller [11]

## 2.4 มาตรฐานฮาร์มอนิกของอุปกรณ์

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

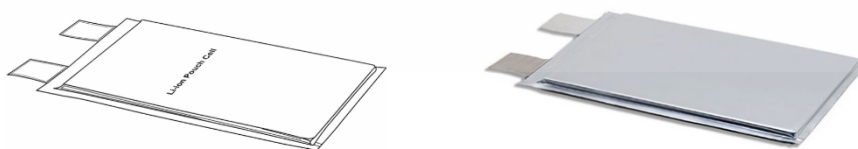
Class D คือ อุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 75 วัตต์ แต่ไม่เกิน 600 วัตต์ [12]

### ตารางที่ 2.1 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	$3.85/n$

## 2.5 ลักษณะรูปทรงของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

เซลล์ถุง (Pouch Cells)



รูปที่ 2.10 เซลล์ถุง (Pouch Cells)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเซลล์แบตเตอรี่รูปแบบง่ายที่สุด เซลล์นี้ไม่มีภาชนะบรรจุด้านนอกที่แข็ง แต่ใช้พอลิเอทิลีนที่ปิดสนิทเป็นภาชนะใส่แบตเตอรี่ ภายในประกอบด้วยแคโทดและแอโนดคั่นด้วยตัวคั่น โดยจะถูกพับทบไปมาหลายๆ ครั้งภายในเซลล์เพื่อเพิ่มความจุของแบตเตอรี่ มักพบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แลปท็อป และโทรศัพท์มือถือ เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด เซลล์นี้สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยกาวในแบบแท็บต่อแท็บ หรือแท็บต่อบัสบาร์ นอกจากนี้อาจเชื่อมต่อกันด้วยการเชื่อมต่อแบบเข้ารูปโดยใช้สกรูและบัสบาร์เป็นสะพานเชื่อม

เซลล์กระป๋ามีโครงสร้างที่อ่อนนุ่มซึ่งต้องใช้โครงสร้างรองรับกับเซลล์เหล่านี้ นอกจากนี้ไม่ควรวางเซลล์ใกล้กับของแหลมหรือมีคม ช่วงความจุเซลล์โดยประมาณคือ 2.5-8 แอมแปร์ชั่วโมง (Ah) และน้ำหนักโดยประมาณอยู่ที่ 75-225 กรัม

### เซลล์ปริซึม (Prismatic Cells)

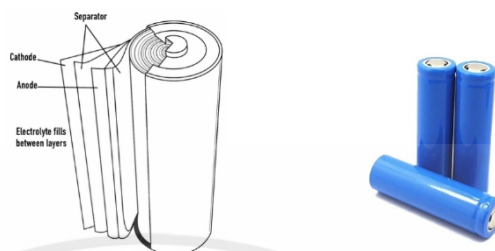


รูปที่ 2.11 เซลล์ปริซึม (Prismatic Cells)

เซลล์ปริซึมประกอบด้วยแผ่นแอโนด แคโทด และตัวคั่นขนาดใหญ่ที่ประกบ ม้วน และกดให้พอดีกับตัวภาชนะบรรจุโลหะหรือพลาสติกแข็งในรูปแบบลูกบาศก์ มีความแข็งแรงมากกว่าเซลล์ถั่ว เซลล์ปริซึมมักมีขั้วเกลียวที่ช่วยให้สามารถใช้น็อตหรือสลักเกลียวสำหรับการเชื่อมต่อได้ ทำให้ง่ายต่อการรวมเซลล์เป็นโมดูลแบตเตอรี่ขนาดใหญ่

เซลล์แบบแท่งปริซึมผลิตขึ้นมีความจุตั้งแต่ 20-100 แอมแปร์ชั่วโมง (Ah) หรือมากกว่านั้น มักจะใช้ในอุปกรณ์จัดเก็บพลังงานขนาดใหญ่ เช่น แบตเตอรี่สำหรับใช้ในบ้านหรือรถยนต์ไฟฟ้า ช่วงน้ำหนักอยู่ที่ 0.8-5.2 กิโลกรัม

## เซลล์ทรงกระบอก (Cylindrical Cells)



รูปที่ 2.12 เซลล์ทรงกระบอก (Cylindrical Cells)

เซลล์ทรงกระบอกประกอบด้วยแอโนด แคโทด และตัวคั่นของแบตเตอรี่ที่มีลักษณะคล้ายแผ่น ซึ่งประกบ ม้วน และบรรจุลงในภาชนะทรงกระบอก เซลล์ประเภทนี้เป็นหนึ่งในกลุ่มแรกๆ ที่ผลิตจำนวนมากและยังคงได้รับความนิยมอย่างมาก มักพบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น รีโมทคอนโทรล ไฟฉาย และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ การยัดเซลล์ควมยัดเซลล์ทรงกระบอกเข้ากับโมดูลแบตเตอรี่ (Battery Module) หรือแพ็คด้วยตัวเว้นระยะแบบแข็ง (Rigid Spacers) แถบตัวเว้นระยะ (Spacer Strips) หรือตัวยึดสำหรับติดตั้ง (Mounting Brackets) การยัดเหล่านี้จะเพิ่มน้ำหนักและความซับซ้อนให้กับชุดแบตเตอรี่

เซลล์ทรงกระบอกมักผลิตในรูปแบบมาตรฐาน โดยขนาดทั่วไปที่นิยมใช้คือประเภท 18650 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร สูง 65 มิลลิเมตร) โดยมีมวลรวมประมาณ 45 กรัม และรองรับความจุได้ประมาณ 1.2-3 แอมแปร์ชั่วโมง (Ah) ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ [7]

### 2.5.1 ชนิดและองค์ประกอบ (เชิงทฤษฎี) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

การจัดประเภทแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วแคโทด สามารถแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ตามองค์ประกอบ ดังนี้

- ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide)

ผลิตจากลิเทียมคาร์บอเนต ( $\text{LiCoO}_2$ ) และโคบอลต์ มีความจุประจุที่สูง นิยมใช้ในโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และกล้องดิจิทัล โดยมีขั้วแคโทดเป็นโคบอลต์ออกไซด์ และมีแกรไฟต์เป็นขั้วแอโนด มีสัดส่วนการใช้งานประมาณร้อยละ 75 อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อจำกัดบางอย่าง คือ ช่วงการใช้งานสั้น (short lifespan) จึงต้องมีการประจุไฟใหม่อีกครั้ง

- ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (lithium manganese oxide : LMO)

ผลิตจากลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) หรืออาจเรียกว่า Lithium Manganese Spinel โดยเทคโนโลยีดังกล่าวถูกค้นพบในยุค ค.ศ. 1980 และถูกนำมาผลิตเพื่อใช้งานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1996 โดย Moli Energy จัดว่ามีความเสถียรทางอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ มักใช้งานในอุปกรณ์การแพทย์ อุปกรณ์ชาร์จ และอื่น ๆ มีสัดส่วนการใช้งานร้อยละ 8

- ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate)

ผลิตจาก  $\text{LiFePO}_4$  มีสัดส่วนการใช้งานอยู่ที่ร้อยละ 2 มีความต้านทานต่ำจึงส่งผลให้อุณหภูมิค่อนข้างเสถียร มีช่วงอายุการใช้งานยาวนานให้ความคุ้มค่า แต่ให้พลังงานที่ต่ำกว่า นิยมใช้ในแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ที่ต้องการอายุการใช้งานยาวนาน มีสัดส่วนการใช้งานที่ร้อยละ 2

- ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide : NMC)

หรือ  $\text{Li Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$  มีองค์ประกอบของนิกเกิลแมงกานีสและโคบอลต์อย่างละ 1/3 เพื่อให้ได้แบตเตอรี่ที่มีกำลังมาก ถูกนำมาใช้งานในอุปกรณ์ชาร์จรถยนต์และรถไฟฟ้า เนื่องจากมีอัตราการเกิดความร้อนต่ำ (Low Self-heating Rate) มีราคาสูงกว่าชนิดลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้ปริมาณโคบอลต์ที่น้อยกว่า

- ลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide : NCA)

ยังไม่เป็นที่แพร่หลายแต่เริ่มถูกนำมาใช้งานมากขึ้นในรถไฟฟ้าและอุปกรณ์เก็บพลังงาน (Grid Storage) มีราคาค่อนข้างแพง นิยมใช้ในยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ต้องการพลังงานสูง มีอายุการใช้งานยาวนานและไม่พบปัญหาการติดไฟหรือระเบิด

- ลิเทียมนิกเกิลออกไซด์ (Lithium Nickel Oxide)

ผลิตจาก  $\text{LiNiO}_2$  เป็นขั้วแคโทด [13]

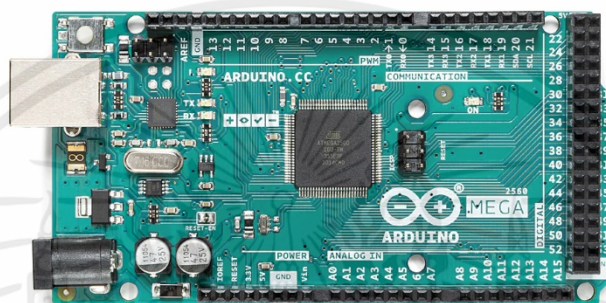
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดต่าง ๆ

Type	Lithium Cobalt Oxide	Lithium Nickel Oxide	Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide	Lithium Manganese Spinel	Lithium Iron Phosphate	Lithium Titanate
Short Name	LCO	LNO	NCA	NMC	LMO	LFP	LTO
Cathode	LiCoO <sub>2</sub>	LiNiO <sub>2</sub>	Li(Ni <sub>0.85</sub> Co <sub>0.1</sub> Al <sub>0.05</sub> )O <sub>2</sub>	Li(Ni <sub>0.33</sub> Mn <sub>0.33</sub> Co <sub>0.33</sub> )O <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	LiFePO <sub>4</sub>	e.g. LMO, NCA
Anode	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite	Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub>
Cell Voltage	3.7-3.9 V	3.6 V	3.65 V	3.8-4.0 V	4.0 V	3.3 V	2.3-2.5 V
Energy Density	150 mAh/g	150 Wh/kg	130 Wh/kg	170 Wh/kg	120 Wh/kg	130 Wh/kg	85 Wh/kg
Power	+	o	+	o	+	+	++
Safety	-	o	o	o	+	++	++
Lifetime	-	o	+	o	o	+	+++
Cost	--	+	o	o	+	+	o

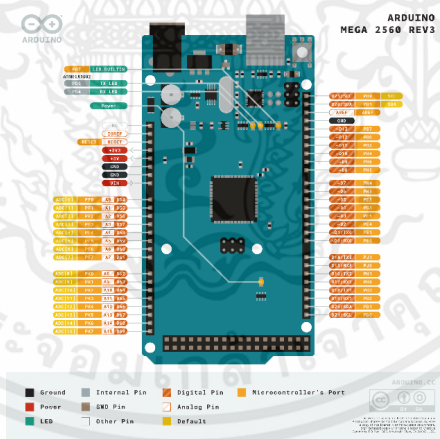
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 อาดูดีโน่ เมกา 2560 (Arduino Mega 2560)

อาดูดีโน่ เมกา 2560 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไมโครชิพ ATmega 2560 ภายในบอร์ดประกอบไปด้วย ขาอินพุตและขาเอาต์พุตดิจิทัลจำนวน 54 ขา ( 15 ขาสามารถใช้เป็นเอาต์พุต PWM), อินพุตอะนาล็อกจำนวน 16 ขา, UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) จำนวน 4 ช่อง (ช่องอนุกรมของฮาร์ดแวร์), ออสซิลเลเตอร์คริสตัล 16 MHz, การเชื่อมต่อ USB, ช่องเสียบแหล่งจ่ายไฟ, ICSP (In Circuit Serial Programming), และปุ่มรีเซ็ต



รูปที่ 2.13 บอร์ดอาดูดีโน่ เมกา 2560



รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมบอร์ดอาดูดีโน่ เมกา 2560

- กำลังไฟฟ้า

บอร์ดอาดูดีโน่ เมกา 2560 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านการเชื่อมต่อ USB หรือแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากภายนอก โดยกำลังไฟฟ้าภายนอกอาจมาจากเครื่องอัดประจุกระแสสลับ (AC-to-DC) หรือจากแบตเตอรี่ สามารถเชื่อมต่อเครื่องอัดประจุกระแสสลับได้โดยเสียบสายไฟที่มีขนาดเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านศูนย์กลาง 2.1 มิลลิเมตร เข้ากับช่องเสียบแหล่งจ่ายไฟของบอร์ด หรือสามารถเสียบสายไฟจากแบตเตอรี่ในส่วนของเขา GND และ Vin ได้

บอร์ดสามารถทำงานกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าภายนอกขนาด 6-20 โวลต์ หากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 7 โวลต์ ขา 5 โวลต์ อาจจ่ายแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 5 โวลต์ และบอร์ดอาจจะไม่เสถียรหรือจ่ายแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 12 โวลต์ ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าอาจร้อนเกินไปและทำให้บอร์ดเสียหายได้ ช่วงแรงดันไฟฟ้าที่แนะนำควรอยู่ในช่วง 7-12 โวลต์

#### - หน่วยความจำ

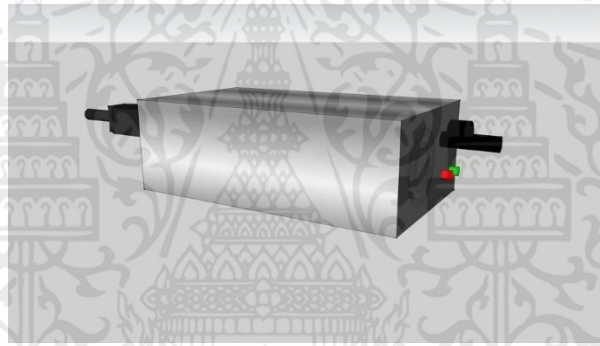
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไมโครชิพ ATmega 2560 มีหน่วยความจำแฟลช (Flash Memory) 256 กิโลไบต์ สำหรับจัดเก็บรหัส (โดย 8 กิโลไบต์ ใช้สำหรับการบูตโหลดเดอร์), 8 กิโลไบต์ สำหรับสแตตติกแรม (SRAM) และ 4 กิโลไบต์ สำหรับอีอีพรอม (EEPROM) ซึ่งสามารถอ่านและเขียนด้วยไลบรารี EEPROM [14]

### บทที่ 3

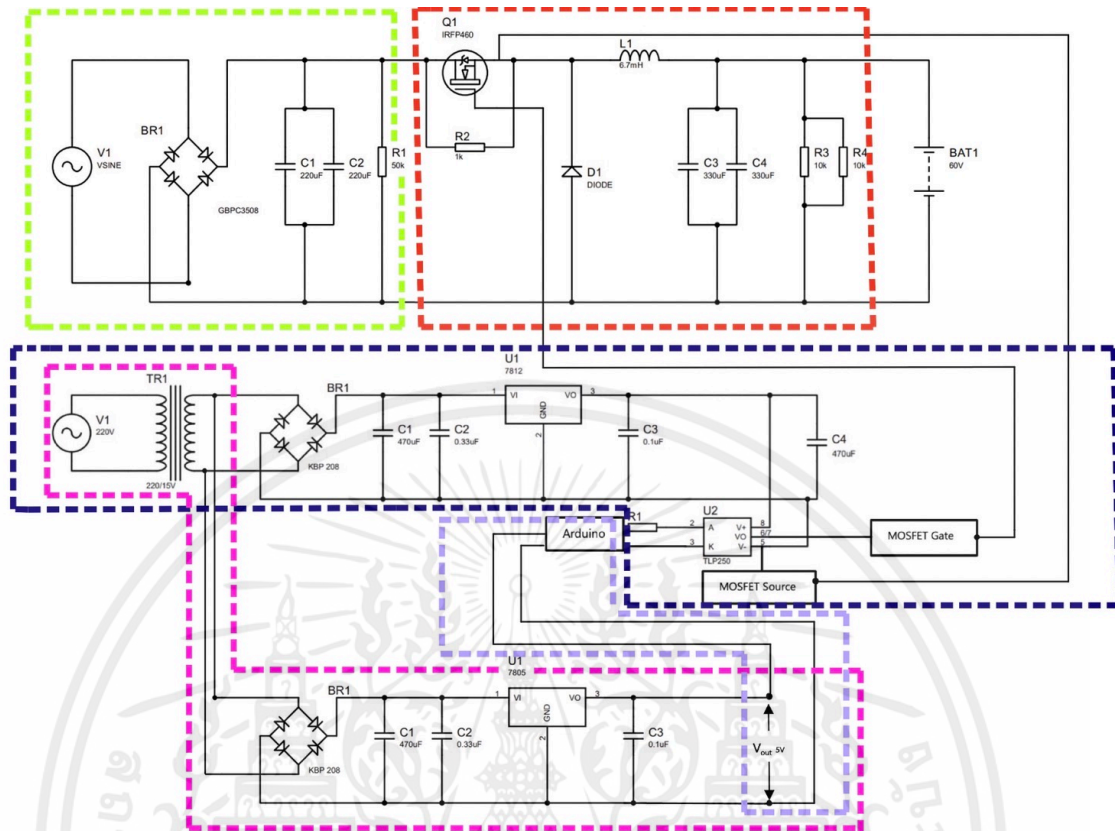
## การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็ก

### 3.1 การออกแบบและสร้างตู้อัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

การออกแบบตู้จะเริ่มทำการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ในที่สาธารณะโดยตัวตู้จะสร้างจากโลหะและอลูมิเนียมและจะมีสายเคเบิล 2 สาย สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าจะเข้าสู่แบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็กโดยทั่วไปในการอัดประจุไฟฟ้าเป็นแบบที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยตัวตู้จะรับแรงดันขาเข้าจากไฟบ้าน 220 V และตัวตู้ชาร์จสามารถใช้เข้ากับทุกๆแรงดันของแบตเตอรี่ 48V, 60 V และ 72 V ได้แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.1 รูปตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ด้านหน้า



รูปที่ 3.2 รูปวงจรภายในที่ทำการออกแบบ

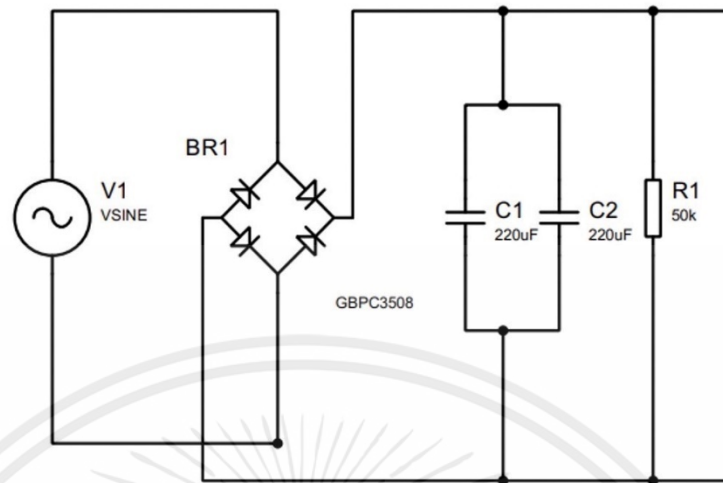
### 3.2 การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็ก

การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็กประกอบด้วย 3 วงจร ดังต่อไปนี้

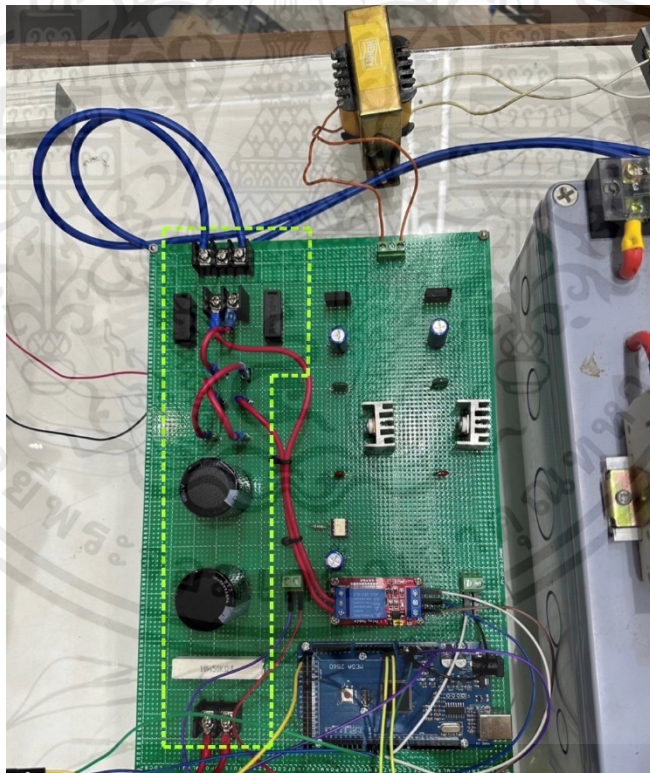
#### 3.2.1 วงจรกำลัง ซึ่งวงจรกำลังแบ่งเป็นวงจรเรียงกระแสและวงจรลดทอนแรงดัน

การออกแบบวงจรเรียงกระแส มีอุปกรณ์ดังนี้ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น กับ ตัวเก็บประจุ ซึ่งทำการออกแบบโดยคำนวณจากแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 220 V เป็นแรงดันไฟฟ้าบ้าน จึงใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น GBPC 3508 ซึ่งมีคุณสมบัติ รับแรงดันขาเข้าสูงสุด 560 V สามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ 35 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 220  $\mu$ F 450 V 2 ตัว ทำการต่อขนานกัน และใส่ตัวต้านทานขนาด 50  $k\Omega$  10W เพื่อทำการคลายประจุจากตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 3.4 วงจรเรียงกระแสที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคิดพารามิเตอร์สำหรับวงจรลดทอนแรงดันจะคิดหาค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจร โดยแรงดันขาเข้าสูงสุดคือ 220 V และแรงดันขาออก 90 V สำหรับการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้จะได้มาจากคำนวณดังนี้

### 3.2.1.1. คำนวณหาค่า Duty cycle

จากสมการ 
$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (3.1)$$

โดยที่  $V_{out}$  = แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ต้องการ  
 $V_{in}$  = แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$D = \frac{90}{311}$$

$$D = 0.289$$

### 3.2.1.2. คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ

จากสมการ 
$$L = \frac{V_{out} \times (1-D)}{\Delta I_L \times f_s} \quad (3.2)$$

โดยที่  $V_{out}$  = แรงดันไฟฟ้าขาออก  
 $D$  = Duty cycle  
 $\Delta I_L$  = ค่าประมาณของกระแสแฉกระเพื่อมที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  
 $f_s$  = ความถี่สวิตช์ขั้วต่ำของวงจรแปลงผันสัญญาณ

$$L = \frac{V_{out} \times (1 - D)}{\Delta I_L \times f_s}$$

$$L = \frac{90 \times (1 - 0.289)}{0.48 \times 50000}$$

$$L = 2.666 \text{ mH}$$

## 3.2.1.3. การคำนวณหาตัวเก็บประจุ

จากสมการ 
$$C_{out} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{out}} \quad (3.3)$$

โดยที่  $\Delta I_L$  = ค่าประมาณของกระแสกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

$V_{out}$  = แรงดันไฟฟ้าขาออก

$f_s$  = ความถี่สวิตช์อย่างต่ำของวงจรแปลงผันสัญญาณ

$$C_{out} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{out}}$$

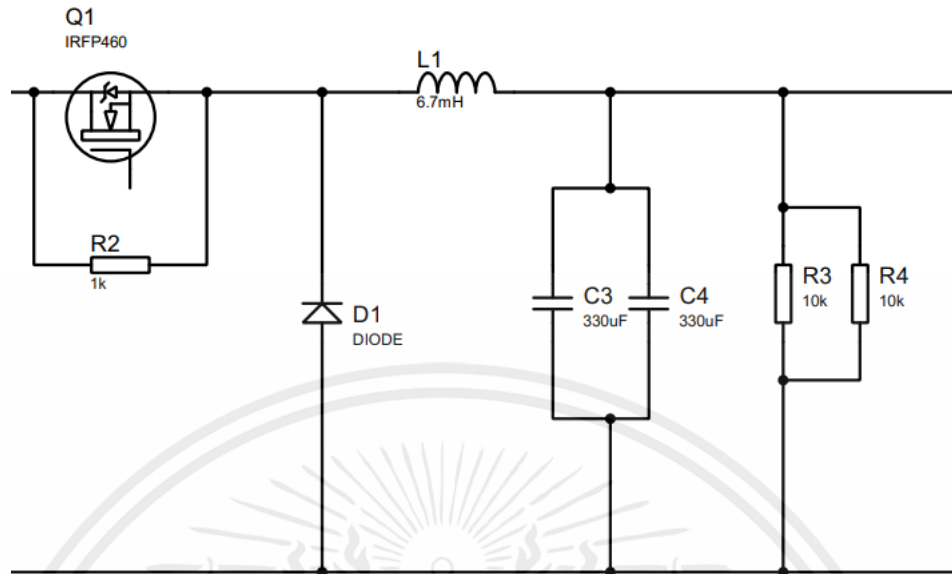
$$C_{out} = \frac{0.48}{8 \times 50000 \times 90}$$

$$C_{out} = 133.33 \mu F$$

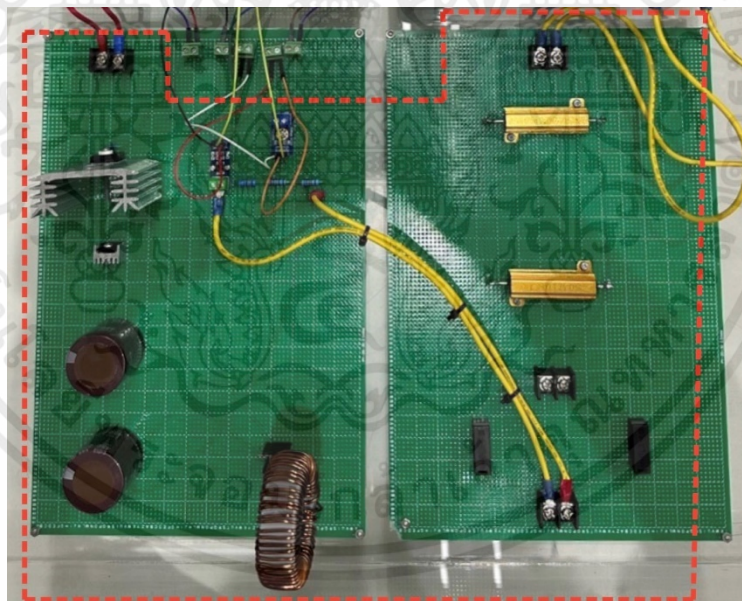
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
แรงดันขาเข้า ( $V_{in}$ )	311 V
แรงดันขาออก ( $V_{out}$ )	90 V
ความถี่สวิตช์ ( $f_s$ )	50 kHz
กระแสกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ( $\Delta I_L$ )	0.48
Duty cycle (D)	0.289
ตัวเหนี่ยวนำ (L)	2.666 mH
ตัวเก็บประจุ (C)	133.33 $\mu F$

โดยวงจรที่คิดค่าพารามิเตอร์แล้วนำมาออกแบบวงจรลดทอนแรงดัน มีอุปกรณ์ดังนี้ ใช้ มอสเฟต เบอร์ IRFP460 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ สามารถทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด 500 V และกระแสสูงสุด 20 A ต่อกับ ไดโอดเบอร์ RFUH20TF6S สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ 600 V ใช้เพื่อเป็นทางไหลของ กระแสสะสมในตัวเหนี่ยวนำเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ต่อกับตัวเหนี่ยวนำ 6.7 mH และต่อกับตัวเก็บประจุ 330  $\mu F$  450 V จำนวน 2 ตัว และมีตัวต้านทานขนาด 10  $k\Omega$  50W 2 ตัวต่อขนานกัน เพื่อใช้ในการ คลายประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุเมื่อไม่มีโหลด



รูปที่ 3.5 วงจรลดทอนแรงดัน

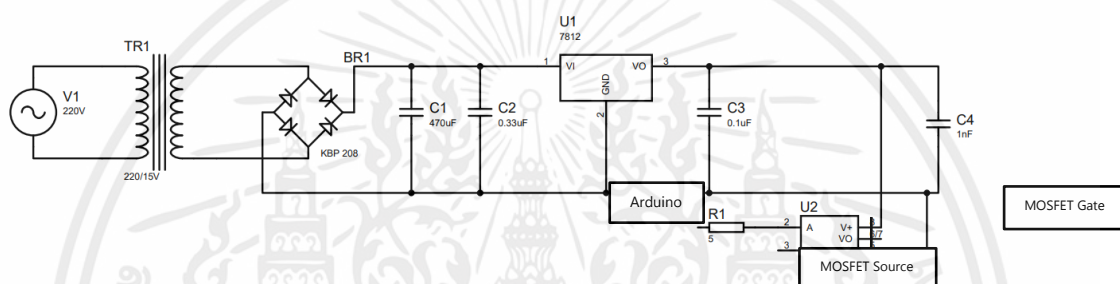


รูปที่ 3.6 วงจรลดทอนแรงดันที่ออกแบบไว้

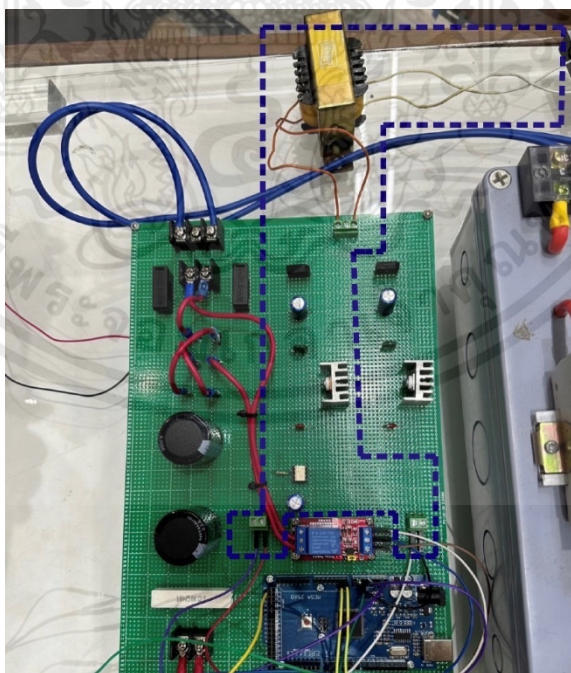
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 วงจรควบคุม

การออกแบบวงจรควบคุมเริ่มจาก ใช้หม้อแปลงแรงดัน 220/15 V ต่อกับ Bridge Rectifier KBP 208 ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 2 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V ต่อตัวเก็บประจุขนาด 470  $\mu\text{F}$  35 V และตัวเก็บประจุขนาด 0.33  $\mu\text{F}$  ต่อด้วย IC 7812 ต่อด้วยตัวเก็บประจุ 0.1  $\mu\text{F}$  ต่อกับ TLP 250 และต่อขา 2 ออก ส่งสัญญาณ PWM เพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนของมอสเฟต ต่อขา 3 เพื่อเป็น ground สำหรับ TLP 250 และมีตัวเก็บประจุ 470  $\mu\text{F}$  ต่อไว้ที่ขา 8 และ ขา 5 ของ TLP 250 เพื่อดับสัญญาณขับเคลื่อนของมอสเฟตเพื่อลดการสูญเสียในการสวิตช์



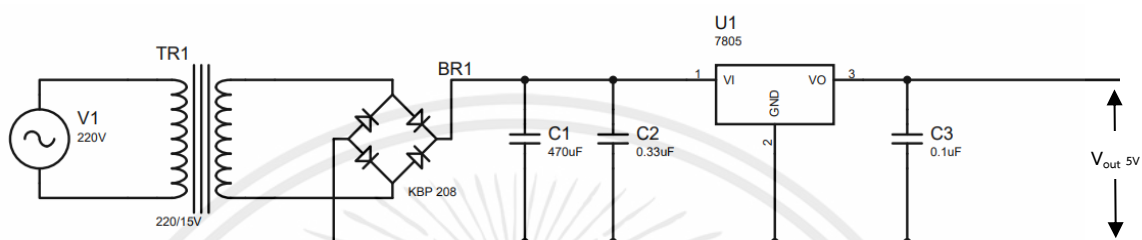
รูปที่ 3.7 วงจรขับเคลื่อนของมอสเฟต



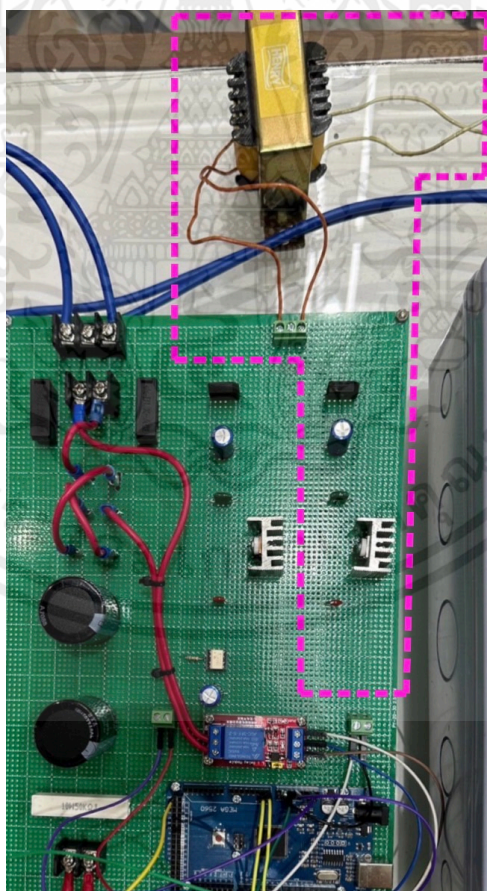
รูปที่ 3.8 วงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรเพื่อใช้จ่ายแรงดันให้ Arduino ใช้หม้อแปลง 220/15 V ต่อกับ Bridge Rectifier KBP 208 ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด 560 V กระแสไฟฟ้า 2 A และแรงดันย้อนกลับ 800 V ต่อตัวเก็บประจุขนาด 470  $\mu\text{F}$  35 V และตัวเก็บประจุขนาด 0.33  $\mu\text{F}$  ต่อด้วย IC 7812 ต่อด้วยตัวเก็บประจุ 0.1  $\mu\text{F}$  เพื่อนำแรงดัน 5 V ไปใช้สำหรับแหล่งจ่าย Arduino



รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายแรงดัน Arduino

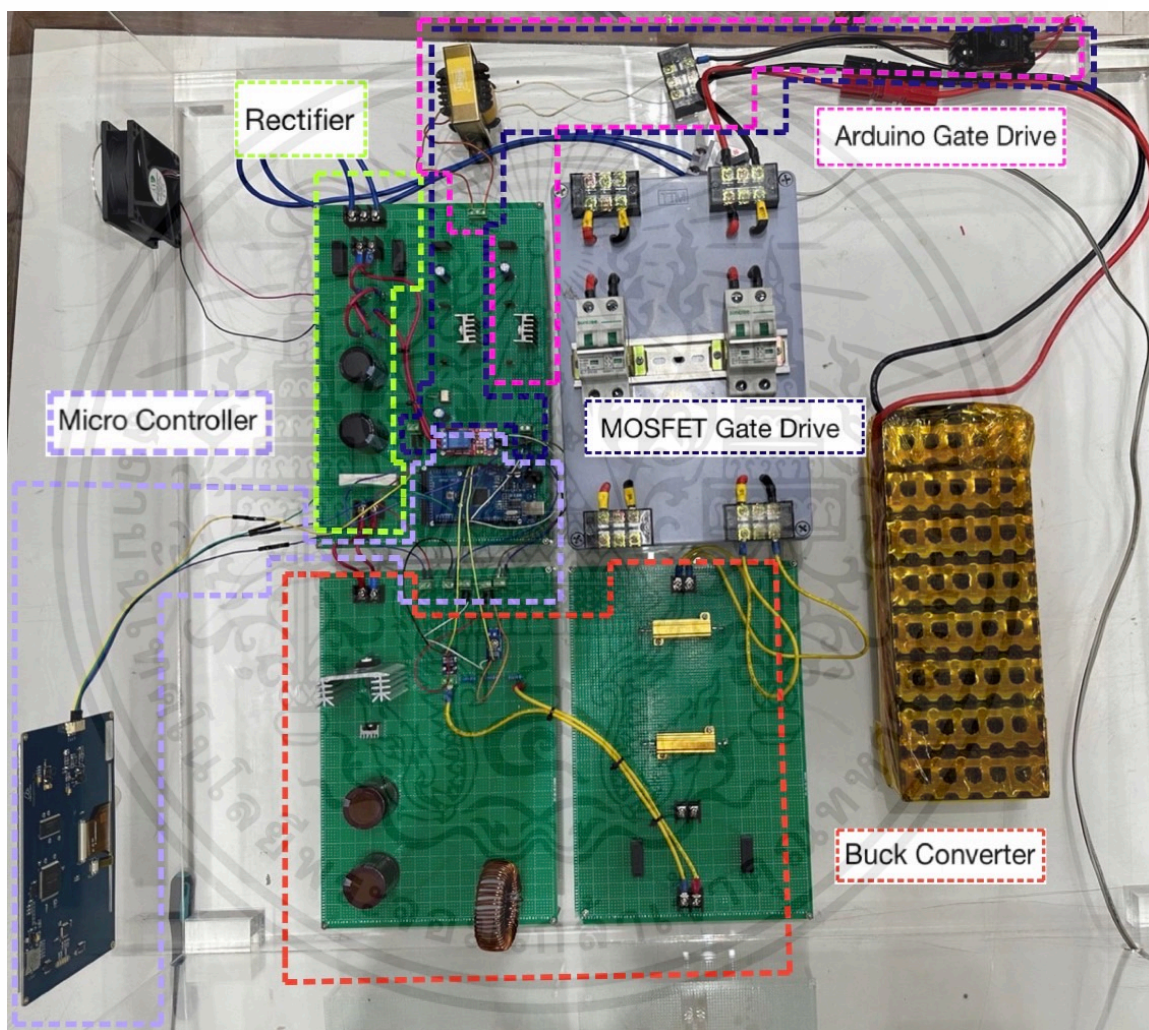


รูปที่ 3.10 วงจรจ่ายแรงดัน Arduino ที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 วงจรป้องกัน

วงจรป้องกันนี้ใช้สำหรับป้องกันแรงดันและกระแสเกินโดยมีรีเลย์สำหรับการตัดต่อโดยรับค่ามาจาก Arduino โดยใช้ รีเลย์ JQC-3FF-S-Z ซึ่งเป็นโมดูลรีเลย์สำหรับ Arduino โดยแรงดันและกระแสจากโมดูลกระแสจากโมดูลกระแสและวงจรแบ่งแรงดันที่ได้จัดทำในวงจรกำลัง โดยอ่านวิเคราะห์และสั่งการผ่าน Arduino



รูปที่ 3.11 วงจรโดยรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่อัดประจุแบบปรับแรงดันอัตโนมัติ

การออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่อัดประจุแบบปรับแรงดันอัตโนมัติแบบแรงดันคงที่ โดยโปรแกรมจะทำวัดแรงดันของแบตเตอรี่ ด้วยเซนเซอร์วัดแรงดัน และจะทำการควบคุมสัญญาณ PWM ให้ MOSFET จ่ายแรงดันคงที่จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปจุดที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นจะเข้าสู่แรงดันคงที่ที่กระแสดลงแบบเอ็กโพเนนเชียลและการอัดประจุจะหยุดลงเมื่อแรงดันถึงจุดที่ตั้งไว้ สามารถตัดการจ่ายแรงดันได้โดยใช้รีเลย์ทำงานตัดไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายแล้วทุกอย่างจะหยุดทำงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

#### 3.3.1 ขั้นตอนการรับค่าแรงดันจากแบตเตอรี่ด้วยเซนเซอร์วัดแรงดัน

รับค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่รับได้จากขั้ววัดแรงดัน โดยค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าอนาล็อกที่ A0 โดยบอร์ดคอนโทรลเลอร์ นำมาหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นทำไปคูณค่าแรงดันอ้างอิงที่รับมาจากเซนเซอร์ และวัดค่าเปรียบเทียบกับจำนวนบิตจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าจริง ในส่วนของกระแสค่าที่ได้จากเซนเซอร์มาหาค่าเฉลี่ยจากนั้นนำไปลบกับค่าที่อ่านได้เมื่อกระแสจริงเท่ากับศูนย์เมื่อได้แล้วเอามาคูณกับแรงดันอ้างอิงหารจำนวนบิตก็จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเซนเซอร์

#### 3.3.2 ขั้นตอนการเลือกใช้สัญญาณ PWM ตามค่าแรงดันที่รับมาจากเซนเซอร์วัดแรงดัน

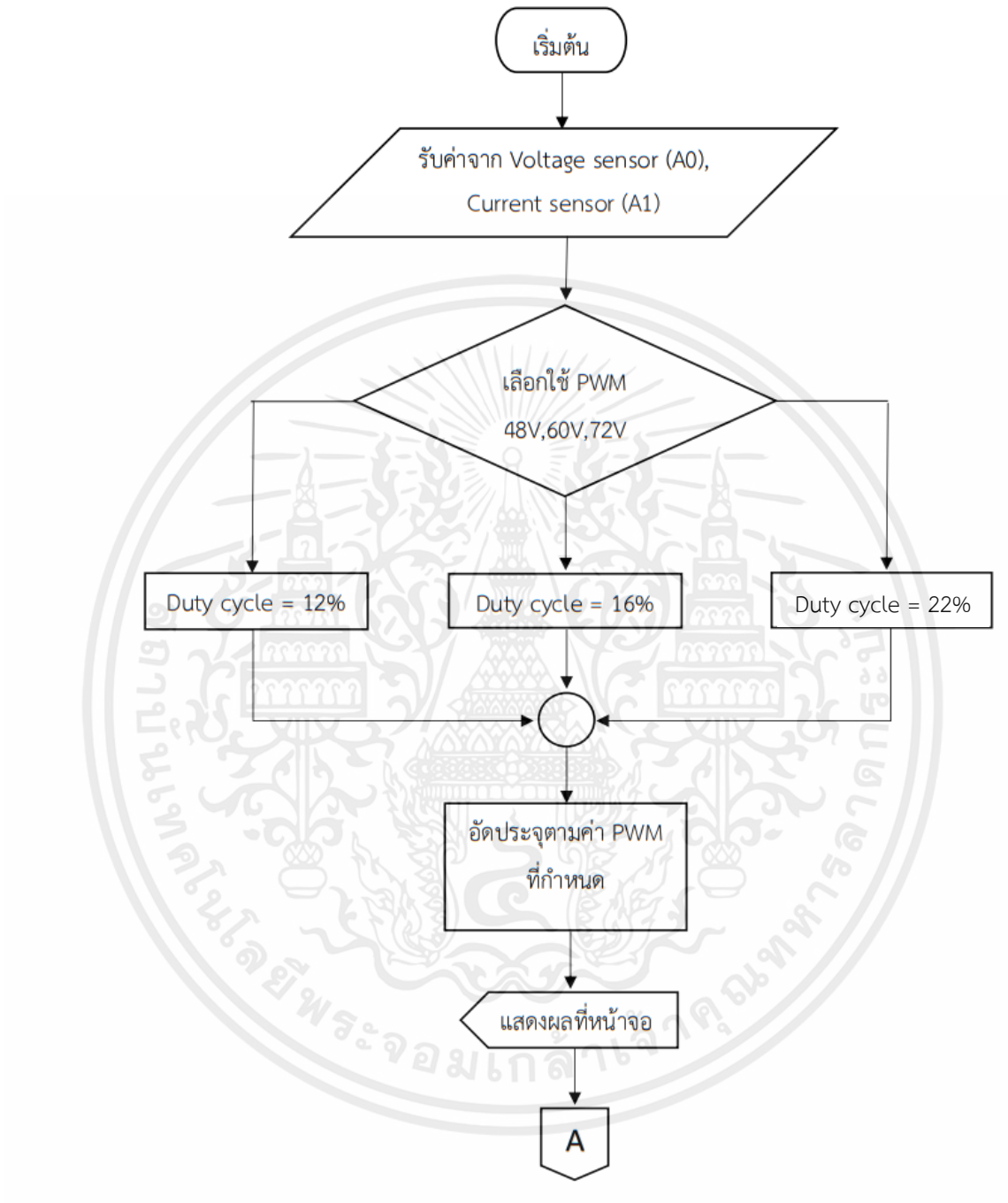
หลังจากรับค่ามาจากเซนเซอร์วัดแรงดันและประมวลผล บอร์ดคอนโทรลเลอร์จะทำการเลือกค่าที่เหมาะสมเพื่อทำการสร้างสัญญาณ PWM ส่งสัญญาณไปยังมอสเฟตให้เหมาะสมต่อแรงดันนั้น ๆ เพื่อทำการอัดประจุด้วยแรงดันตามพิกัดของแบตเตอรี่

#### 3.3.3 ขั้นตอนการตัดแรงดันที่แหล่งจ่ายเพื่อหยุดการอัดประจุแบตเตอรี่

เมื่อเซนเซอร์วัดแรงดันวัดค่าที่แบตเตอรี่ถึงจุดที่เต็มแล้ว คอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ไปตัดไฟที่แหล่งจ่ายและจะหยุดการอัดประจุทันที

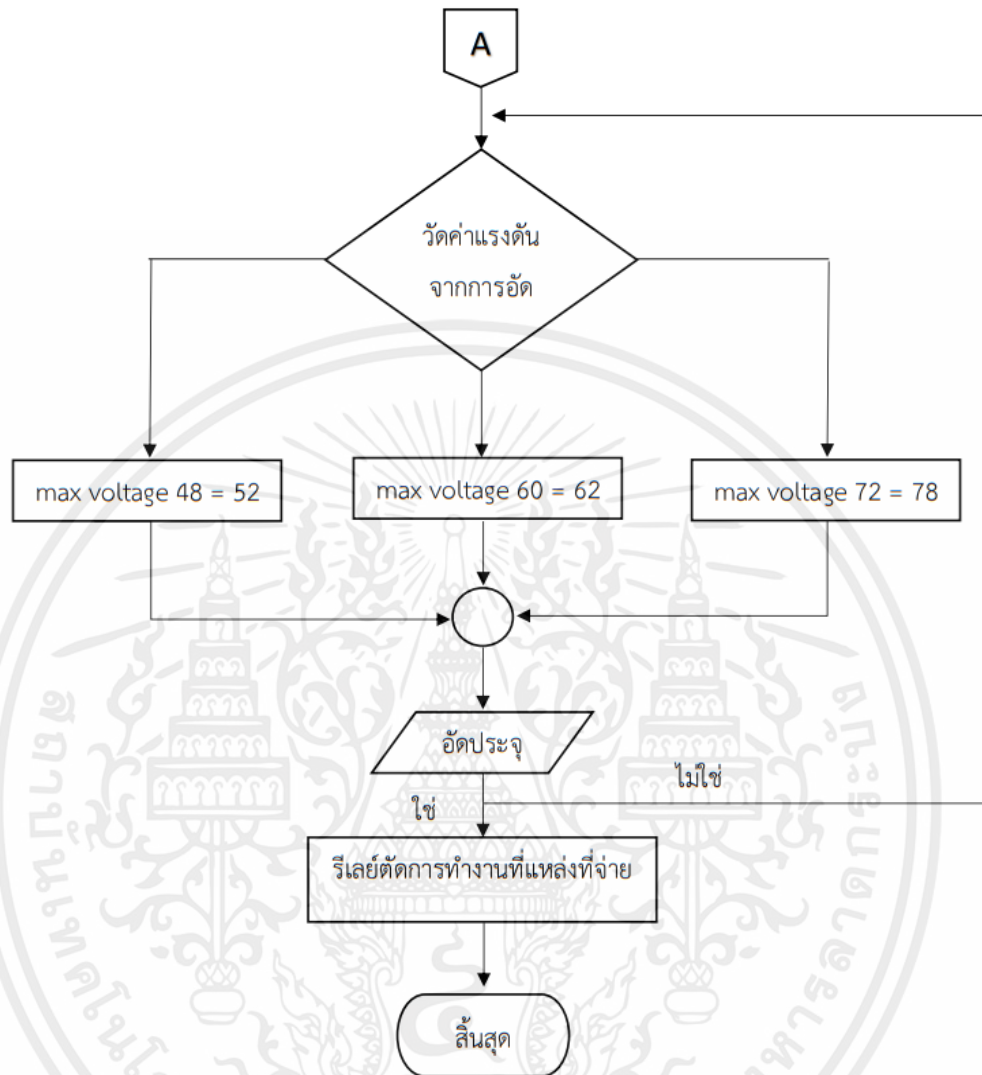
Voltage	0.00
Current	0.00
Status	

รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของโค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของคัต

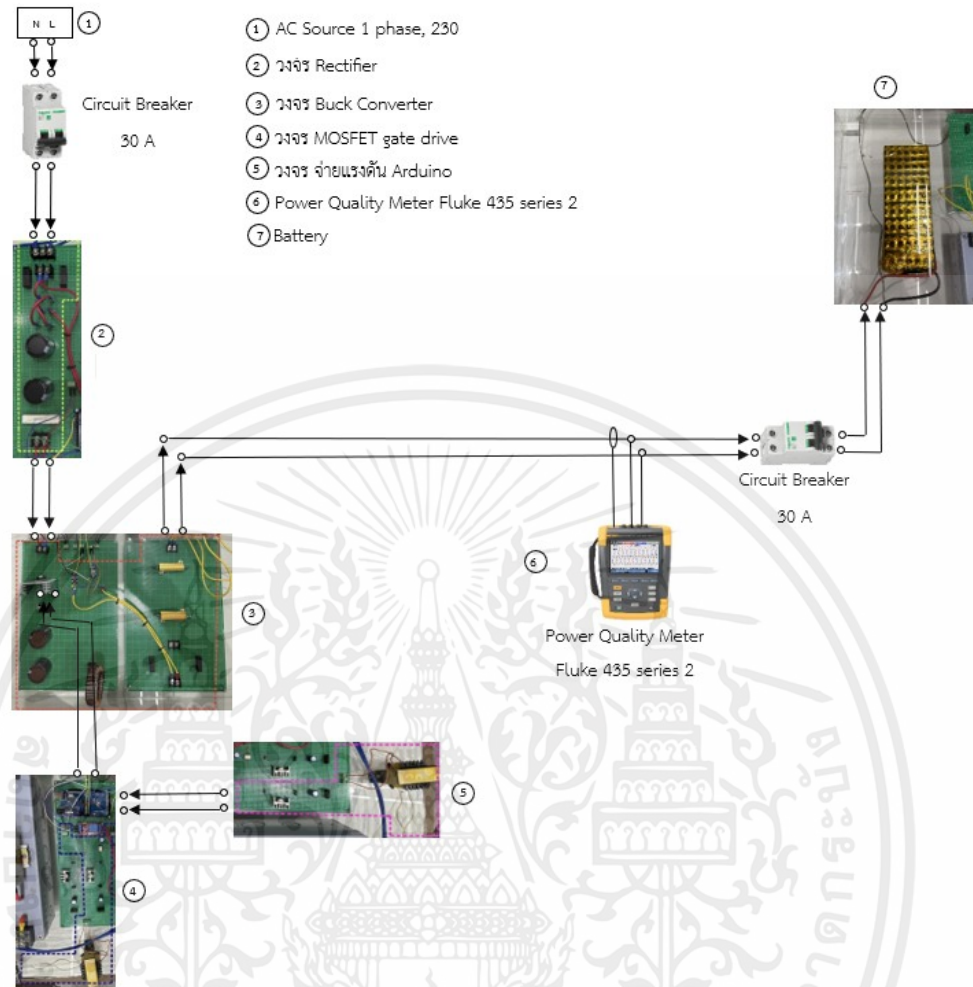
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

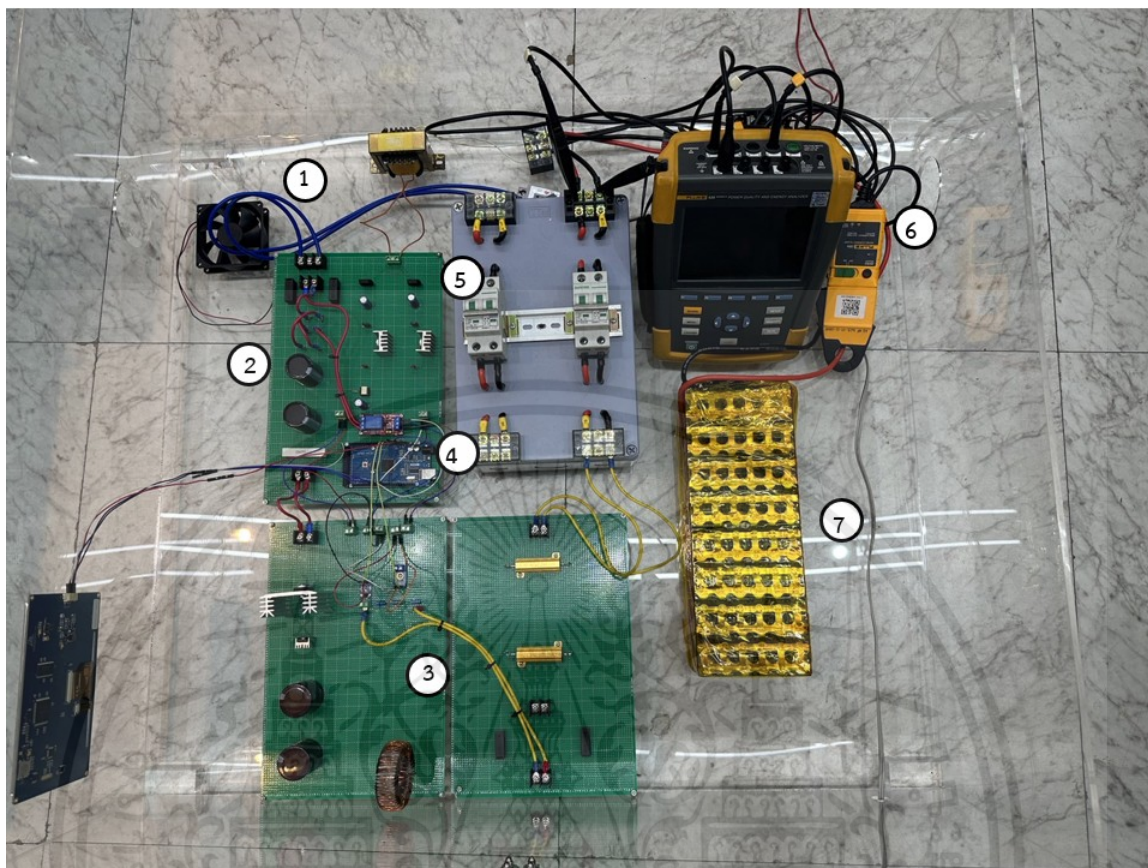
#### 4.1 บทนำ

การทดสอบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็กโดยทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ที่แรงดันต่างๆ ตั้งแต่ 48 V ถึง 72 V เพื่อเป็นการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบสามารถใช้งานจริงได้ ทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดประจุระหว่างอุปกรณ์ที่ออกแบบและเครื่องอัดที่มีในท้องตลาด อัดประจุที่แบตเตอรี่แรงดัน 60 V และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอัดประจุโดยเครื่องอัดประจุที่ออกแบบกับแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid battery กับ 60 V Lithium ion battery เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 และทำการเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าด้วยระดับแรงดันต่างๆ ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและฮาร์โมนิก โดยใช้ Fluke 435 series II วัดทางด้านขาออกของเครื่องอัดประจุ



รูปที่ 4.1 จำลองอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัตโนมัติที่ออกแบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัดประจุที่ออกแบบไว้

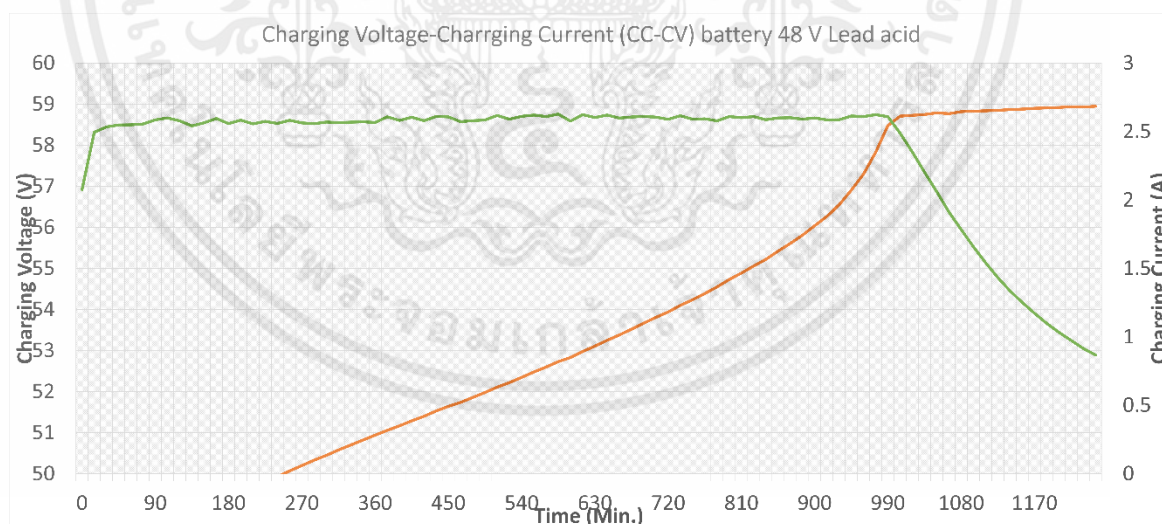
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองการอัดประจุไฟฟ้า

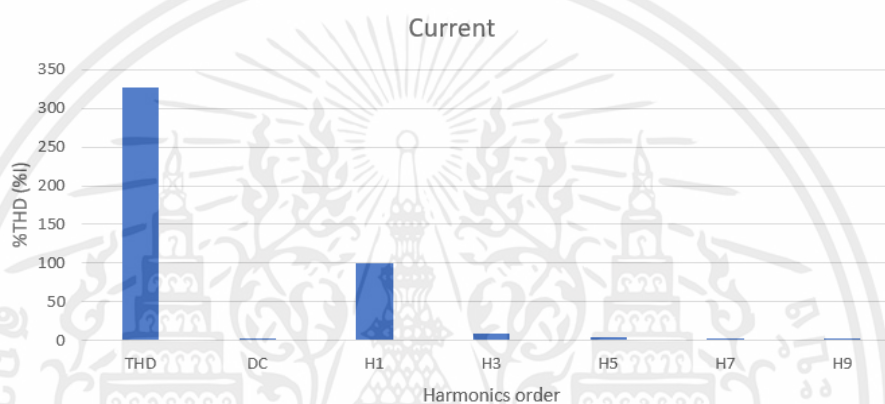
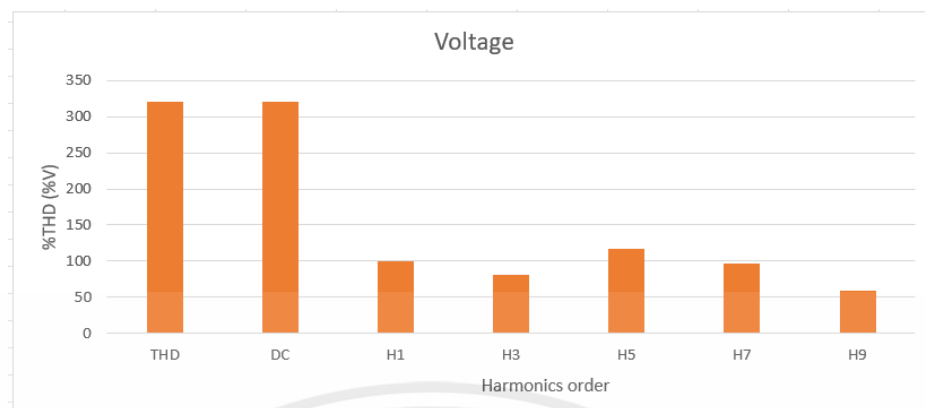
ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้าโดยทำการวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้า และฮาร์มอนิกทางฝั่งที่ใช้สำหรับการอัดประจุโดยค่าที่วัดทั้งหมดเป็นแบบไฟฟ้ากระแสตรง

### 4.2.1 การอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่แรงดัน 48 V lead acid

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead acid โดยแบตเตอรี่ก่อนชาร์จมีแรงดัน 46.07 โวลต์ และแรงดันหลังอัดประจุมีแรงดันเท่ากับ 54.87 โวลต์ ทำการตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุที่กระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่แรงดันคงที่ 58.8 โวลต์ ทำการวัดค่ากระแสจากเครื่อง Fluke 435 series II โดยวัดทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิก (%THD) จะได้ว่าฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 320.19% ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าที่ 81.06%, 116.87%, 96.02%, 59.11% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 327.57% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับ 3,5,7,9 มีค่าที่ 9.42%, 4.64%, 2.80%, 2.12% โดยข้อมูลของกระแสและแรงดันอัดประจุจะได้ตามรูป 4.1 และข้อมูลความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.2 ค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 6100-3-2 ฮาร์มอนิกไม่เกินมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V

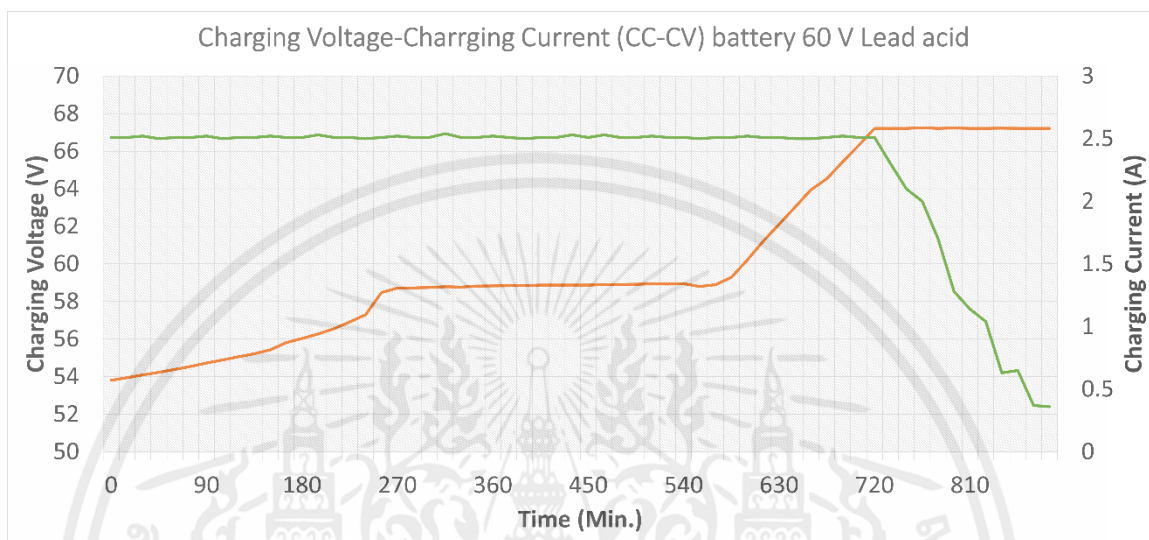


รูปที่ 4.4 (ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V lead acid  
(ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V lead acid

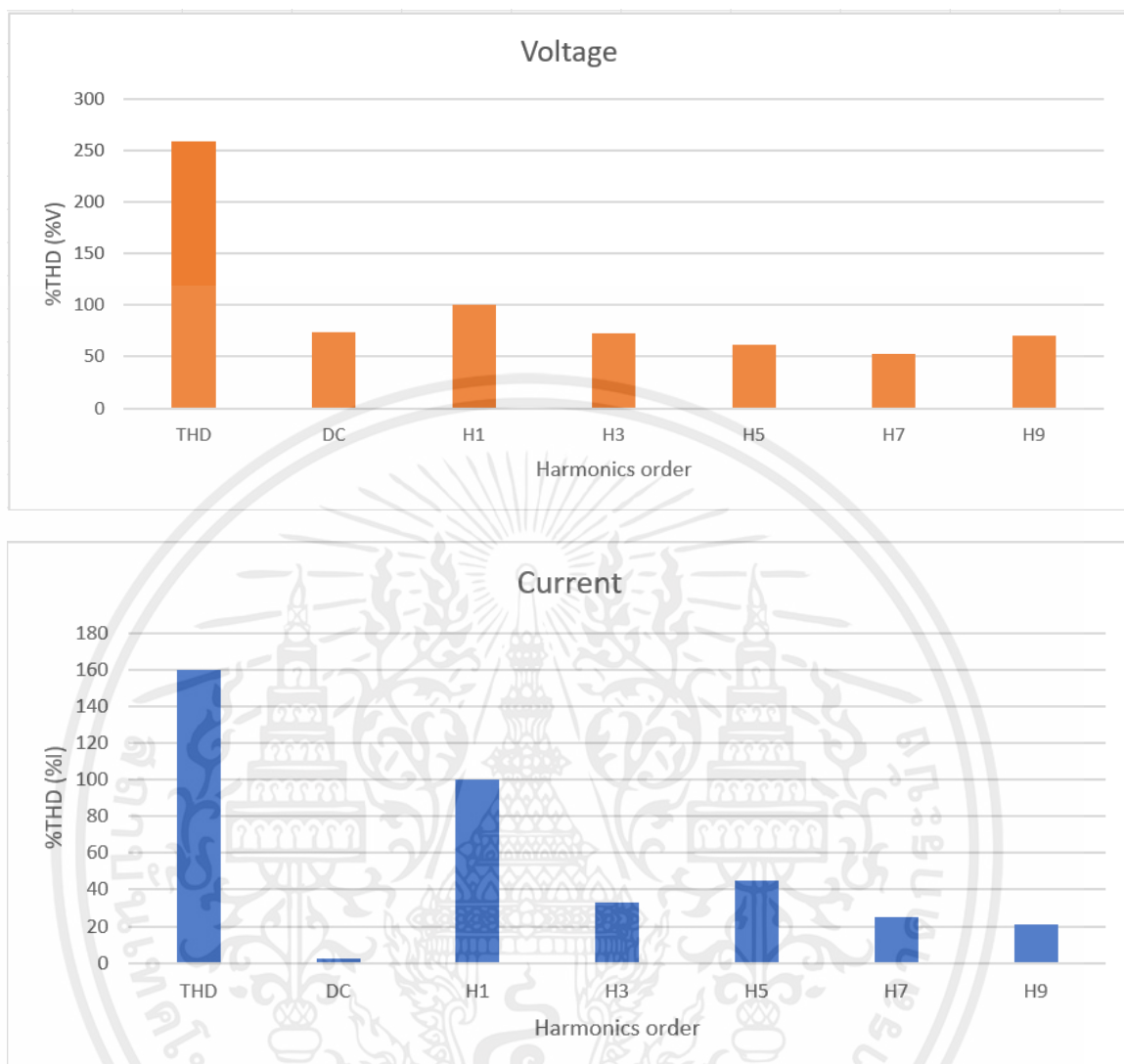
#### 4.2.2 การอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 60 V Lead acid

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead acid โดยแบตเตอรี่ก่อนชาร์จมีแรงดัน 53.86 โวลต์ และแรงดันหลังอัดประจุมีแรงดันเท่ากับ 68.6 โวลต์ ทำการตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุที่กระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่แรงดันคงที่ 72.4 โวลต์ ทำการวัดค่ากระแสจากเครื่อง Fluke 435 series II โดยวัดทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 11 ชั่วโมง 20 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิก (%THD) จะได้ว่าฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 258.5 ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าที่ 72.4%, 61.2%, 52.8%, 70.3% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 159.50% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับ 3,5,7,9 มีค่าที่ 32.9%, 44.8%, 25%, 20.9% โดยข้อมูลของกระแสและแรงดันอัดประจุจะได้ตามรูป 4.3 และ

ข้อมูลความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.4 ค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 6100-3-2 ฮาร์มอนิกเกินมาตรฐาน



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid

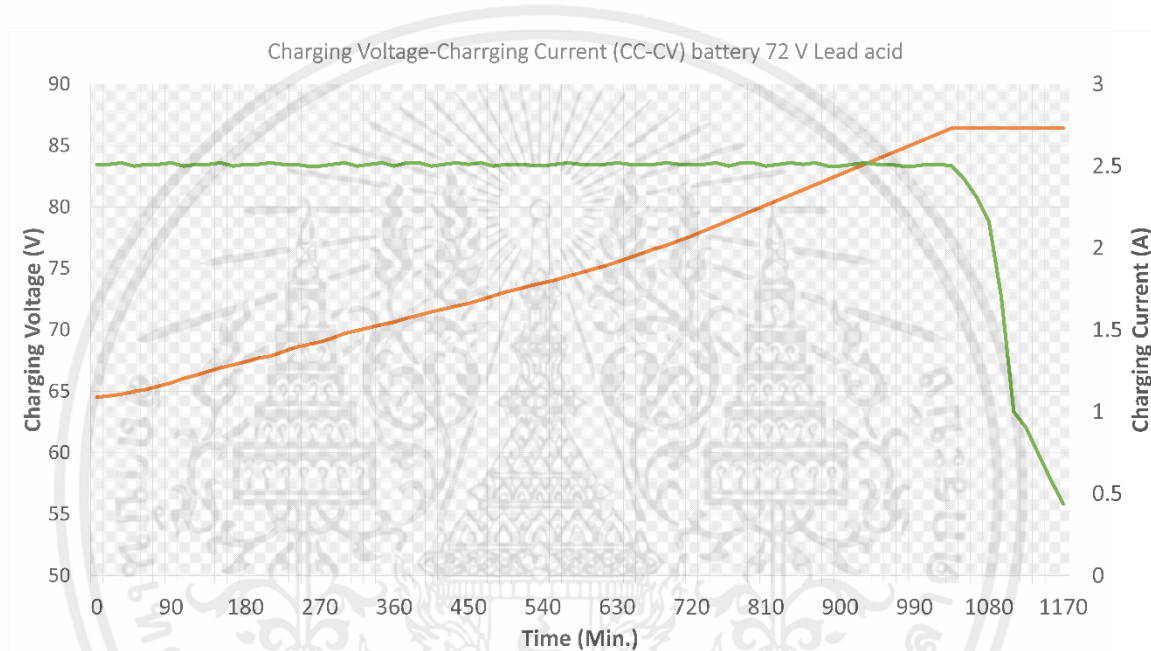


รูปที่ 4.6 (ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid  
(ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid

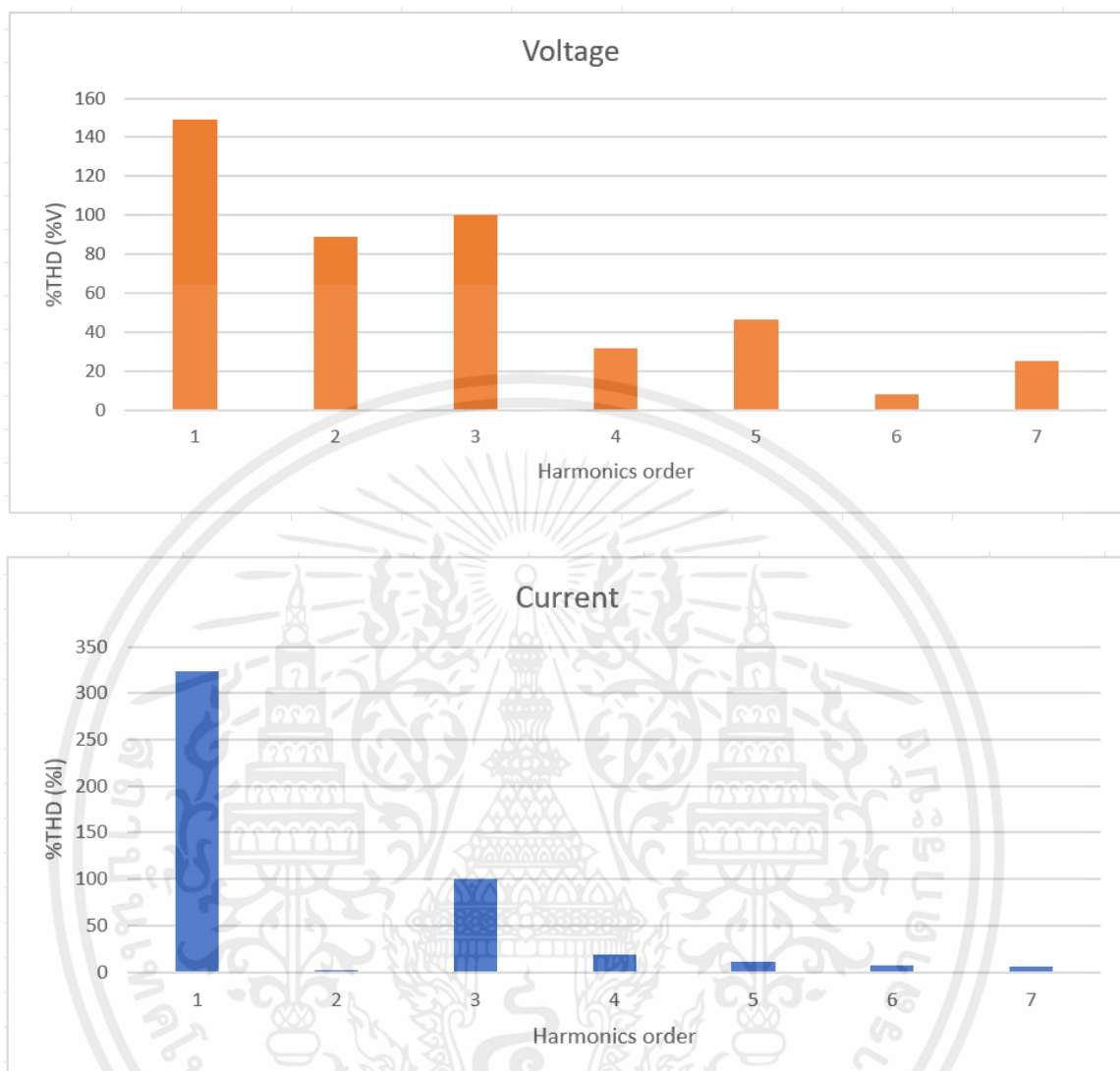
#### 4.2.3 การอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 72 V lead acid

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lead acid โดยแบตเตอรี่ก่อนชาร์จมีแรงดัน 64.52 โวลต์ และแรงดันหลังอัดประจุมีแรงดันเท่ากับ 72.56 โวลต์ ทำการตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุที่กระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่แรงดันคงที่ 86.42 โวลต์ ทำการวัดค่ากระแสจากเครื่อง Fluke 435 series II โดยวัดทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 19 ชั่วโมง 48 นาที เมื่อทำการวัดความ

เพี้ยนฮาร์มอนิก (%THD) จะได้ว่าฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 258.5 ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าที่ 31.5%, 46.7%, 8.1%, 24.9% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 327.57% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับ 3,5,7,9 มีค่าที่ 19.32%, 10.52%, 7.23%, 5.64% โดยข้อมูลของกระแสและแรงดันอัดประจุจะได้ตามรูป 4.7 และข้อมูลความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.8 ค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 6100-3-2 ฮาร์มอนิกไม่เกินมาตรฐาน



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V lead acid

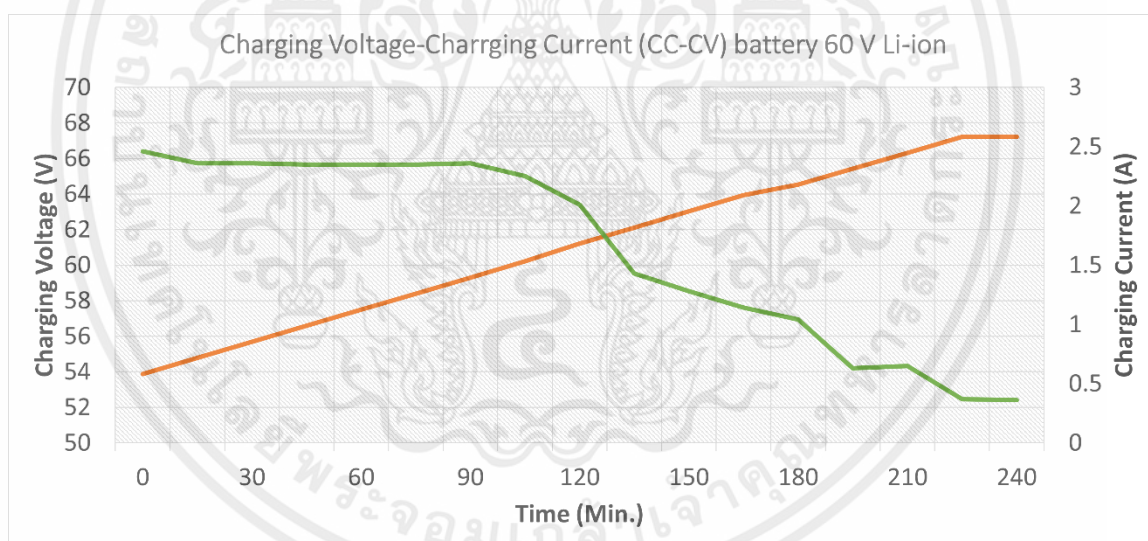


รูปที่ 4.8 (ก) ฮาร์โมนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V lead acid  
 (ข) ฮาร์โมนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V lead acid

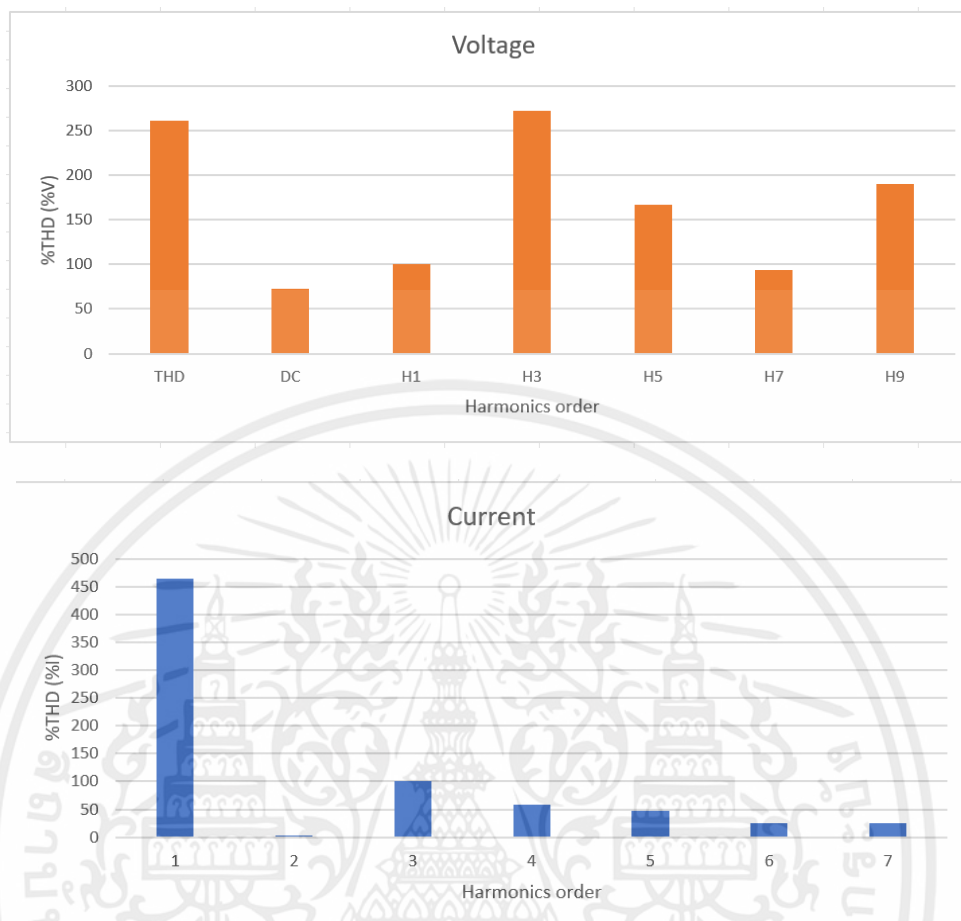
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 60 V Lithium Ion

ในการทดลองจะทำการอัดประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ชนิด Lithium Ion โดยแบตเตอรี่ก่อนชาร์จมีแรงดัน 53.88 โวลต์ และแรงดันหลังอัดประจุมีแรงดันเท่ากับ 68.21 โวลต์ ทำการตั้งค่ากระแสช่วงอัดประจุที่กระแสคงที่ 2.5 แอมป์ และแรงดันที่อัดประจุที่แรงดันคงที่ 71.3 โวลต์ ทำการวัดค่ากระแสจากเครื่อง Fluke 435 series II โดยวัดทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 50 นาที เมื่อทำการวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิก (%THD) จะได้ว่าฮาร์มอนิกแรงดันรวมที่ 258.5 ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3,5,7,9 มีค่าที่ 271.9%, 166.70%, 93.70%, 190.30% ฮาร์มอนิกกระแสรวมที่ 464.10% ฮาร์มอนิกกระแสลำดับ 3,5,7,9 มีค่าที่ 58.80%, 46.60%, 24.30%, 25% โดยข้อมูลของกระแสและแรงดันอัดประจุจะได้ตามรูป 4.5 และข้อมูลความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามรูปที่ 4.6 ค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 6100-3-2 ฮาร์มอนิกเกินมาตรฐาน



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V



รูปที่ 4.10 (ก) ฮาร์มอนิกแรงดันของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lithium ion  
 (ข) ฮาร์มอนิกกระแสของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lithium ion

จากการทดสอบโดยการเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ lead acid และ แบตเตอรี่ lithium ion พบว่าระยะเวลาของการอัดประจุที่แบตเตอรี่ lithium ion มีระยะเวลาที่สั้นกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพของตัวแบตเตอรี่เอง และตัวแบตเตอรี่นั้นมี BMS ในการจัดการกระแสปลั๊กแรงดันอีกด้วย ในส่วนของแบตเตอรี่ lead acid นั้นใช้ชั่วโมงเยอะกว่าอาจด้วยประสิทธิภาพของตัวแบตเตอรี่ที่อาจไม่ถึง 100% จึงทำให้การอัดประจุมีความคลาดเคลื่อนได้

#### 4.4 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดประจุที่ออกแบบไว้กับเครื่องอัดประจุเชิงพาณิชย์

การเปรียบเทียบนี้จะเปรียบเทียบเฉพาะขนาดแบตเตอรี่แรงดัน 60V เท่านั้น เนื่องจากเครื่องอัดประจุตามท้องตลาดไม่สามารถปรับแรงดันได้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดประจุที่จัดทำกับเครื่องอัดประจุที่มีตามท้องตลาด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	เครื่องอัดประจุที่ทำการออกแบบที่แรงดัน 60V	เครื่องอัดประจุเชิงพาณิชย์ที่แรงดันขนาด 60V
เวลาอัดประจุ	6 ชั่วโมง 50 นาที	4 ชั่วโมง 30 นาที
แรงดันก่อนอัดประจุ	53.88V	54.7V
แรงดันหลังอัดประจุ	67.21V	67V
%THD V	260.4%	4.9%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3	271.9%	3.47%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 5	166.7%	2.58%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 7	93.7%	0.96%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 9	190.3%	0.64%
%THD A	464.1%	327.23%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3	58.8%	132.87%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 5	46.6%	103.34%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 7	24.3%	118.4%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 9	25%	122.25%
มาตรฐานฮาร์มอนิก	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าเวลาอัดประจุที่แตกต่างกันมากเนื่องจากการจ่ายของกระแสที่ต่างกัน และแรงดันที่จ่ายเริ่มต้นที่ต่างกันและการจ่ายกระแสที่แตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องอัดแรงดันที่ออกแบบจ่ายแรงดันที่ 71.3 โวลต์แต่เครื่องอัดประจุตามท้องตลาดจ่าย 69.8 โวลต์ และเครื่องที่ออกแบบสามารถจ่ายกระแสคงที่ที่ 2.5 แอมป์ และเครื่องตามท้องตลาดจ่ายได้ 3.34 แอมป์ จึงได้ค่าที่แตกต่างกันซึ่งทั้ง 2 เครื่องอัดประจุไม่ผ่านมาตรฐาน IEC 61000-3-2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเครื่องอัดประจุที่ออกแบบไว้

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	Battery Voltage			
	48V	60V Lead acid	60V Lithium Ion	72V
เวลาอัดประจุ	10 ชั่วโมง 30 นาที	11 ชั่วโมง 20 นาที	6 ชั่วโมง 50 นาที	19 ชั่วโมง 48 นาที
แรงดันก่อนอัดประจุ	46.07V	53.86V	53.88V	64.52V
แรงดันหลังอัดประจุ	54.87V	68.6V	67.21V	72.56V
%THD V	320.19%	258.5%	260.4%	258.5%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3	81.06%	72.4%	271.9%	31.5%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 5	116.87%	61.2%	166.7%	46.7%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 7	96.02%	52.8%	93.7%	8.1%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 9	59.11%	70.3%	190.3%	24.9%
%THD A	327.57%	159.5%	464.1%	327.5%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 3	9.42%	32.9%	58.8%	19.32%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 5	4.64%	44.8%	46.6%	10.52%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 7	2.8%	25%	24.3%	7.23%
ฮาร์มอนิกแรงดันลำดับที่ 9	2.12%	20.9%	25%	5.64%
มาตรฐานฮาร์มอนิก	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบจะพบว่าการอัดประจุที่แรงดัน 48 V lead acid เป็นแรงดันเดียวที่ผ่านมาตรฐานฮาร์โมนิก เนื่องมาจากยังมีกระแสและแรงดันน้อยกว่า 60 V 72 V lead acid และ 60 V lithium ion ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นงานพัฒนาตัวอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็ก ที่สามารถอัดประจุได้ตั้งแต่แรงดัน 48 โวลต์ ถึง 72 โวลต์ โดยทำการออกแบบเครื่องอัดประจุ โดยภายในเครื่องอัดประจุประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรลดทอนระดับแรงดันเพื่อลดทอนแรงดันได้ตามที่ต้องการโดยทำการส่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการปรับค่า Duty cycle เพื่อทำการควบคุมการเปิดปิดของสวิตช์ MOSFET โดยสามารถโดยแรงดันเป็นการอัดแรงดันโดยอัตโนมัติ ซึ่งวงจรอัดประจุไฟฟ้านี้ รับไฟฟ้าขาเข้า 220V จากไฟบ้านผ่านวงจรลดทอนระดับแรงดัน วงจรขับ MOSFET และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตัวอัดประจุไฟฟ้ามีระบบป้องกันโดยใช้รีเลย์สั่งการเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าและจะทำการตัดวงจรเมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้าสำเร็จ และหากมีการเกิดเหตุขัดข้องโดยอาจเกิดการจ่ายกระแสและแรงดันเกินจะทำการตัดวงจรไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์การอัดประจุ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเครื่องอัดประจุยังไม่สามารถที่จะมีสิทธิภาพมากพอเนื่องจากใช้เวลานานในการอัดประจุโดยประมาณ 10 ชั่วโมงขึ้นไปในแบตเตอรี่ lead acid แต่เนื่องจากการอัดประจุในแบตเตอรี่ Lithium Ion ซึ่งใน Datasheet ของตัวแบตเตอรี่จะทำการชาร์จที่ 4 ชั่วโมง แต่ตัวแบตเตอรี่มีราคาที่สูง จึงอาจจะไม่เหมาะแก่ผู้ผลิตในเรื่องของต้นทุน

การอัดประจุในงานวิจัยนี้จะทำให้เห็นว่ามีค่าฮาร์มอนิกเกิดขึ้นซึ่งฮาร์มอนิกที่ได้นั้นมีแบตเตอรี่ 60 V Lithium Ion และ 60 V Lead acid ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน IEC 61000-3-2 อาจเนื่องมาจากกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่สูงขึ้นได้จึงคิดว่าเครื่องอัดประจุที่ทำในงานวิจัยนี้สามารถที่จะยังพัฒนาต่อไปในเรื่องของการควบคุมฮาร์มอนิกที่ดีขึ้นเพื่อผ่านมาตรฐานของ IEC 61000-3-2 นั้นเอง

## 5.2 ปัญหาที่พบ

- 5.2.1. การจัดหาซื้อแบตเตอรี่ Lithium Ion ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างหายากและมีราคาสูง
- 5.2.2. แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระเพื่อมในตอนที่ทำการอัดประจุค่อนข้างมาก
- 5.2.3. มีเสียงสัญญาณรบกวนขณะจ่ายสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

- 5.3.1. สามารถปรับปรุงเครื่องอัดแรงดันนี้ได้โดยการใส่วงจรกรองหรือทำการปรับปรุงตัวเหนี่ยวนำให้มีการสูญเสียน้อยลงได้กว่านี้
- 5.3.2. ปรับปรุงการจ่ายสัญญาณไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความถี่ที่เหมาะสมกับประเภทตัวเหนี่ยวนำและไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายความถี่ที่สูงได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท กรังด์ปรีซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (มหาชน). Yamaha E01 สตู๊ดเตอร์ไฟฟ้าเต็มระบบ สะท้อนภาพลักษณ์ล้ำสมัย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://motorcycmagazine.grandprix.co.th/yamaha-e01-ev/rev3> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [2] บริษัท เอช เซม มอเตอร์. รถ 2 ล้อไฟฟ้า ก้าวล้ำทุกสไตล์ในแบบคุณ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.hsemmotor.com/จักรยานยนต์ไฟฟ้า/> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [3] Nip Phuket. มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า NIU Electric Scooter. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://niuphuket.co.th/th/home-th/> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [4] บริษัท อีทราน เรนทัล จำกัด. มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า ETRAN MYRA. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.etrangroup.com> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [5] บริษัท เดโก้ กรีน เอนเนอร์จี้ จำกัด. ELECTRIC MOTORCYCLES. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://decogreenenergy.com/index.php/th/product-deco/electric-motorcycles> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [6] บริษัท เอเจ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน). รถจักรยานไฟฟ้า AJ EV BIKE. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.ajevbike.com/ev-bicycle> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [7] บริษัท ดยุกอล เทคโนโลยี จำกัด. รถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า 2 ล้อ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.dako.in.th/มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า-2-ล้อ> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [8] Project Elec Shop. ชาร์จแบตเตอรี่ 36V 12-14 AH สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://www.electhai.com/สินค้า-242-ชาร์จแบตเตอรี่\\_36v\\_12-14ah\\_สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า.html](http://www.electhai.com/สินค้า-242-ชาร์จแบตเตอรี่_36v_12-14ah_สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า.html) (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [9] บริษัท ฐานเศรษฐกิจ มัลติมีเดีย จำกัด. โอกาสแจ้งเกิดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.thansettakij.com/motor/432784> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2565)
- [10] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. (2552), อิเล็กทรอนิกส์กำลัง = power electronic, พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: วี.เจ. พรินติ้ง.

- [11] 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.
- [12] IEC, **Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase)**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://webstore.iec.ch/publication/28164> (วันที่ค้นข้อมูล: 25 มีนาคม 2566)
- [13] สงบ คาค้อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2017). **การศึกษาสภาพภาพการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในไทย**. หน้า 61-63 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2020/20200128-situation-recycling-lithium-battery.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 ธันวาคม 2565)
- [14] Arduino store. **Arduino Mega 2560 Rev3**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 ธันวาคม 2565)
- [15] Chaiyan Jettanasen and Chaichan Pothisarn, “The Electrical Motorcycle Charger for Application in a Residence E3S Web of Conferences,” Vol.186, 2020
- [16] Brigitte Hauke. (2015), **Basic Calculation of a Buck Converter’s Power Stage**. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 26 พฤศจิกายน 2565)
- [17] Electronics Project Hub. (2019), **Arduino Lithium-ion Battery Charger**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://electronics-project-hub.com/arduino-lithium-ion-battery-charger/> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 ธันวาคม 2565)
- [18] Micah Toll, **DIY Lithium Batteries How to Your Own Battery Packs, Form factors of lithium cells**, p. 13-17.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ

## Design and Development of Electric Vehicle Chargers with Automatic Voltage Regulators

นางสาวชนัญญอุส ลีลาพตะ นางสาวชนิดา ชูทอง นางสาวเมวิกา ทองสัมฤทธิ์ และ นายวิทวัส ชื่นพรม  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

E-Mail: chanunayut.leelapata@gmail.com spy2543spy@gmail.com chanunayut.leelapata@gmail.com  
tmii240@gmail.com

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่แบบปรับแรงดันอัตโนมัติ ที่สามารถปรับค่าแรงดันอัตโนมัติได้ ตั้งแต่แรงดัน 48V 60V และ 72V โดยสามารถปรับแรงดันได้อัตโนมัติเมื่อทำการเริ่มอัดประจุไฟฟ้า และมีระบบป้องกันระบบไฟฟ้าภายในเครื่องอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยระบบป้องกันกระแสเกิน ระบบป้องกันแรงดันเกิน และระบบป้องกันการต่อกลับขั้ว โดยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปรับแรงดันอัตโนมัติจะออกแบบโดยประกอบด้วย วงจร 2 วงจร คือ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและวงจรลดทอนแรงดัน โดยกระแสและแรงดันในการอัดประจุจ่ายแบบ CC/CV และเปรียบเทียบกับค่าฮาร์มอนิกกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2

**คำสำคัญ:** ตู้อัดประจุไฟฟ้า, ยานยนต์ไฟฟ้า

### Abstract

This purpose is designed to design and develop an automatic pressure-adjusting mobile electric vehicle charger. that can adjust the pressure automatically From the voltage of 48V, 60V and 72V, the voltage can be adjusted automatically when starting to charge. And there is an electrical protection system inside the electric

charger. which consists of an overcurrent protection system overpressure protection system and reverse polarity protection system The automatic voltage regulator is designed to consist of two circuits, namely a full-wave rectifier circuit and a voltage attenuation circuit. By current and voltage in CC/CV charging and comparing harmonic values with IEC 61000-3-2 standard.

**Keyword:** Electric Charging point, Electric vehicle

### 1. บทนำ

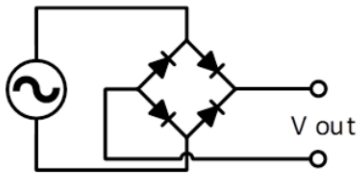
ในปัจจุบันโลกมีแนวโน้มการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเพิ่มขึ้นเพื่อแก้ปัญหาโลกร้อนและลดมลพิษที่มากขึ้นแต่จุดให้บริการอัดประจยังมีอยู่ไม่มาก คณะผู้จัดทำจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสคืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบ่งเป็น 1 เฟส และ 3 เฟส โดยมีทั้งแบบครึ่งคลื่น เต็มคลื่น แบบไดโอดและแบบควบคุมโดยใช้ไทรสเตอร์

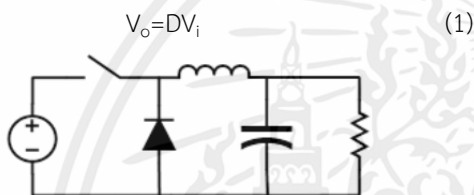
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 0.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสชนิดเต็มคลื่น

## 2.2 วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้ามีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกดังสมการที่ 1 [1]



รูปที่ 0.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

## 2.3 วิธีการจ่ายแรงดันและกระแส

Constant Current – Constant Voltage (CC/CV) การอัดประจุแบบกระแสและแรงดันคงที่ กระแสคงที่จะถูกจ่ายให้กับแบตเตอรี่จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปถึงจุดที่ตั้งไว้หลังจากนั้นจะเข้าสู่แรงดันคงที่และกระแสจะลดลงเอ็กซ์โพเนนเชียลและการอัดประจุจะหยุดลงเมื่อกระแสถึงจุดที่ตั้งไว้ [2]

## 2.4 มาตรฐานฮาร์โมนิก

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 [3]

Class D คือ อุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 75 วัตต์ แต่ไม่เกิน 600 วัตต์ [3]

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 ≤ n ≤ 39	$0.15 \times 15/n$	$0.225 \times 15/n$	3	$3.85/n$

## 3. การออกแบบและสร้างตัวอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก

### 3.1 การออกแบบวงจรอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก

การคิดพารามิเตอร์สำหรับวงจรลดทอนแรงดันจะคิดหาค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจร

การคำนวณพารามิเตอร์ค่าตัวเหนี่ยวนำ

$$L = \frac{V_{out} \times (1-D)}{\Delta I_L \times f_s} \quad (2)$$

$$L = \frac{90 \times (1 - 0.289)}{0.48 \times 50000}$$

$$L = 2.666 \text{ mH}$$

การคำนวณพารามิเตอร์ค่าตัวเก็บประจุ

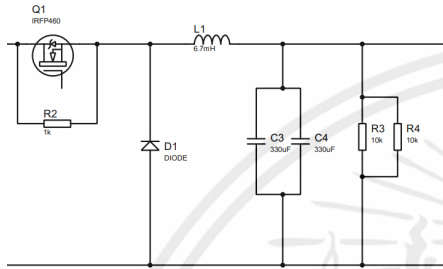
$$C_{out} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{out}} \quad (3)$$

$$C_{out} = \frac{0.48}{8 \times 50000 \times 90}$$

$$C_{out} = 133.33 \mu F$$

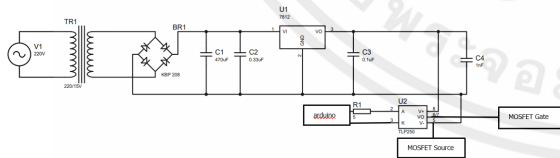
โดยวงจรที่คิดค่าพารามิเตอร์แล้วนำมาออกแบบวงจรลดทอนแรงดัน มีอุปกรณ์ดังนี้ ใช้ MOSFET เบอร์ IRFP460 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ สามารถทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด 500 V และกระแสสูงสุด 20 A ต่อกับ ไดโอดเบอร์

RFUH20TF6S สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ 600 V ใช้  
 เพื่อเป็นทางไหลของกระแสสะสมในตัวเหนี่ยวนำเมื่อสวิตช์  
 ไม่นำกระแส ต่อกับตัวเหนี่ยวนำ 6.7 mH และต่อกับตัวเก็บ  
 ประจุ 330  $\mu\text{F}$  450 V จำนวน 2 ตัว และมีตัวต้านทาน  
 ขนาด 10  $\text{k}\Omega$  50W 2 ตัวต่อขนานกัน เพื่อใช้ในการคลาย  
 ประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุเมื่อไม่มีโหลด

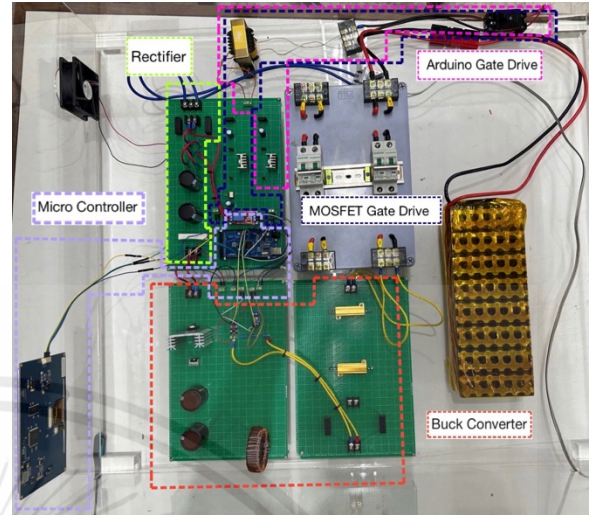


รูปที่ 0.3 วงจรลดทอนแรงดัน

การออกแบบวงจรควบคุมเริ่มจาก ใช้หม้อแปลงแรงดัน  
 220/15 V ต่อกับ Bridge Rectifier KBP 208 ต่อตัวเก็บ  
 กระจายขนาด 470  $\mu\text{F}$  35 V และตัวเก็บประจุขนาด 0.33  
 $\mu\text{F}$  ต่อด้วย IC 7812 ต่อด้วยตัวเก็บประจุ 0.1  $\mu\text{F}$  ต่อกับ  
 TLP 250 และต่อขา 2 ออก ส่งสัญญาณ PWM เพื่อนำไปใช้  
 ในการขับเคลื่อนของมอสเฟต ต่อขา 3 เพื่อเป็น ground  
 สำหรับ TLP 250 และมีตัวเก็บประจุ 470  $\mu\text{F}$  ต่อไว้ที่ขา 8  
 และ ขา 5 ของ TLP 250 [4]



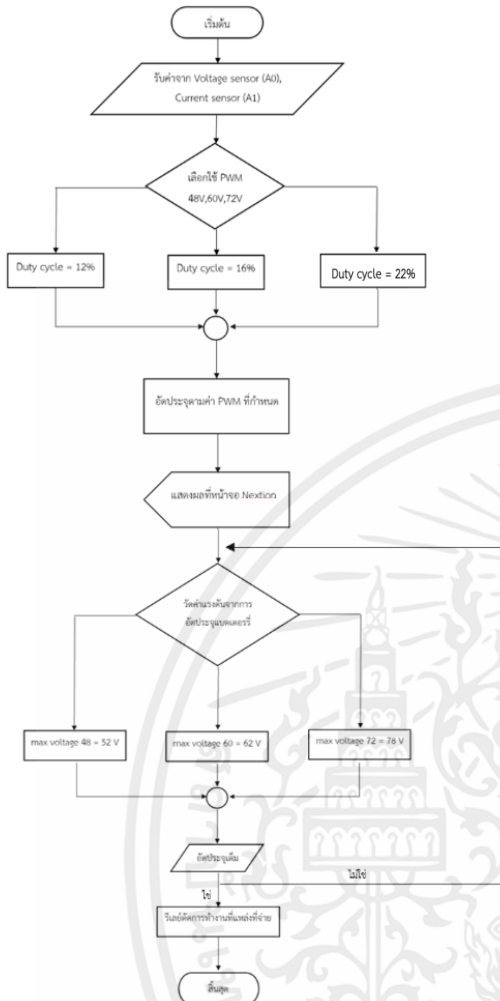
รูปที่ 0.4 วงจรขับขาเกตมอสเฟต



รูปที่ 0.5 รูปวงจรที่ออกแบบโดยรวม

### 3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการอัดประจุ

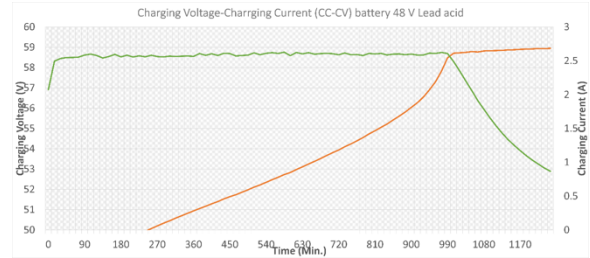
การออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการ  
 ทำงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่อัดประจุ  
 แบบปรับแรงดันอัตโนมัติแบบแรงดันคงที่ โดยโปรแกรมจะ  
 ทำวัดแรงดันของแบตเตอรี่ ด้วยเซนเซอร์วัดแรงดัน และจะ  
 ทำการควบคุมสัญญาณ PWM ให้ MOSFET จ่ายแรงดันคงที่  
 จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นไปจุดที่ตั้งไว้ หลังจากนั้น  
 จะเข้าสู่แรงดันคงที่กระแสลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียลและ  
 การอัดประจุจะหยุดลงเมื่อแรงดันถึงจุดที่ตั้งไว้ สามารถตัด  
 การจ่ายแรงดันได้โดยใช้รีเลย์ทำงานตัดไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย  
 แล้วทุกอย่างจะหยุดทำงาน โดยมีขั้นตอนการรับค่าแรงดัน  
 จากแบตเตอรี่ด้วยเซนเซอร์วัดแรงดัน การเลือกใช้สัญญาณ  
 PWM ตามค่าแรงดันที่รับมาจากเซนเซอร์วัดแรงดัน และ  
 การตัดแรงดันที่แหล่งจ่ายเพื่อหยุดการอัดประจุแบตเตอรี่



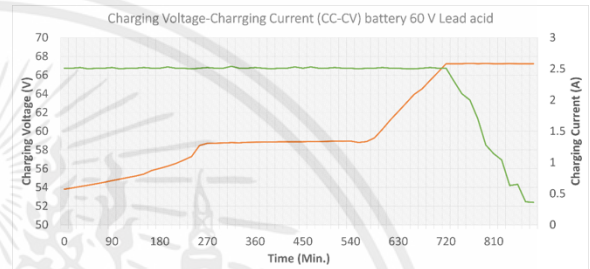
รูปที่ 0.6 แผนผังการอัดประจุ

#### 4. การทดลองและผลการทดลอง

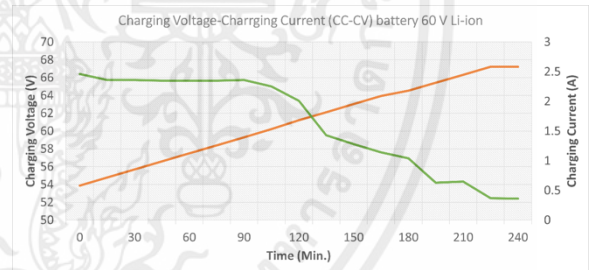
การทดสอบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดเล็กโดยทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ที่แรงดันต่างๆ ตั้งแต่ 48 V ถึง 72 V เพื่อเป็นการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบสามารถใช้งานจริงได้ทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดประจุระหว่างอุปกรณ์ที่ออกแบบและเครื่องอัดที่มีในท้องตลาด อัดประจุที่แบตเตอรี่แรงดัน 60 V และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอัดประจุโดยเครื่องอัดประจุที่ออกแบบกับแบตเตอรี่แรงดัน 60 V lead acid battery 60 V Lithium ion battery เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2



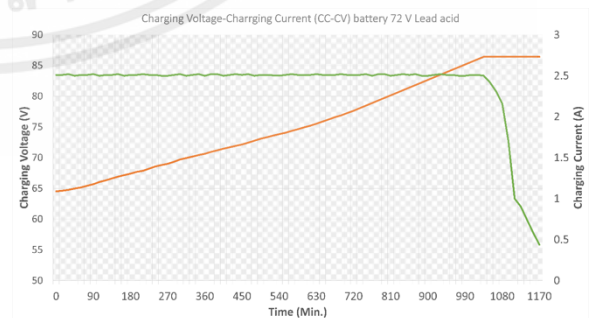
รูปที่ 0.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 48 V



รูปที่ 0.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V Lead acid



รูปที่ 0.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 60 V Lithium Ion



รูปที่ 0.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอัดประจุกับเวลาของแบตเตอรี่แรงดัน 72 V

## 5. สรุปผลการทดลอง

เครื่องอัดประจุไฟฟ้าสามารถอัดประจุได้ในช่วงระดับแรงดันไฟฟ้า 48V ถึง 72V มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมงในการอัดประจุเวลาในการอัดประจุต่างกันมีปัจจัยจากแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นของแบตเตอรี่ก่อนทำการอัดประจุไฟฟ้า การเปรียบเทียบฮาร์โมนิกไม่ผ่านมาตรฐาน IEC 61000-2-3 ที่แบตเตอรี่ Lithium Ion ที่แรงดัน 60V

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล และผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจและแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] วีระเชษฐ 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] IEC, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://webstore.iec.ch/publication/28164> (วันที่ค้นข้อมูล: 25 มีนาคม 2566)

[4] Chaiyan Jettanasen and Chaichan Pothisarn, "The Electrical Motorcycle Charger for Application

in a Residence E3S Web of Conferences, Vol.186, 2020

## ประวัติผู้เขียน



นางสาวชญญุส สีสาทะ  
ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวชนิดา ชูทอง  
ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวเมวิกา ทองสัมฤทธิ์  
ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



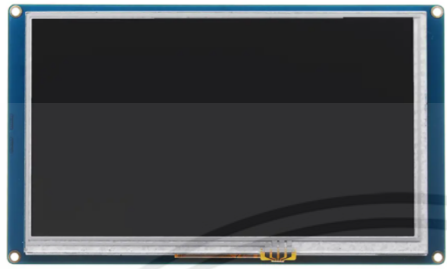
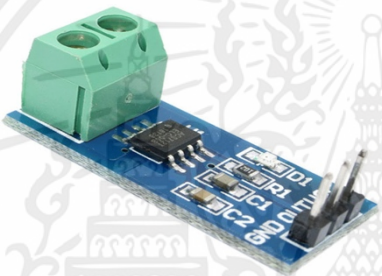
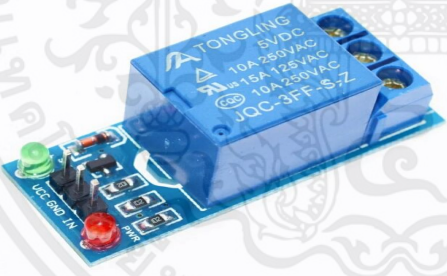
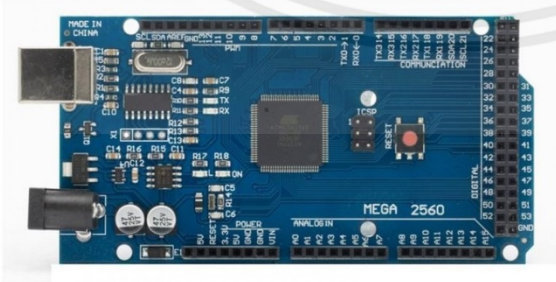
นายวิทวัส ชื่นพรม  
ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญาโท

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>NX8048T070 LCD Touch Display จอสัมผัสขนาด 7.0 นิ้ว มีหน้าที่ทำ การสื่อสาร เพื่อสั่งการต่าง ๆ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์</p>
	<p>ACS712 20A Current Sensor Module ใช้สำหรับการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า และวัดปริมาณกระแสขาออก</p>
	<p>JQC-3FF-S-Z Relay Module ใช้สำหรับป้องกันแรงดันและกระแส เกิน โดยรับค่ามาจาก Arduino</p>
	<p>Arduino Uno MEGA 2560 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เป็นตัว ประมวลผลหลักของวงจรควบคุม และวงจรป้องกัน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

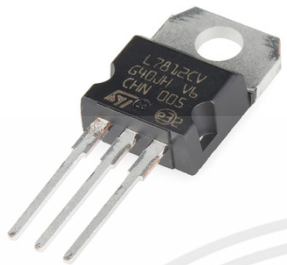
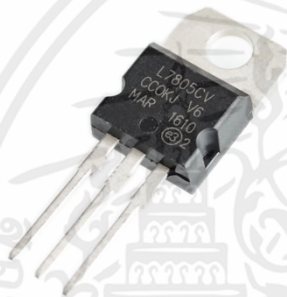


ตารางภาคผนวก ข (ต่อ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญาโท

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>KBP 208 Bridge Rectifier                      วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้ใน                      วงจรเรียงกระแสเพื่อจ่ายแรงดันให้                      Arduino ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้า                      สูงสุด 560 V                      กระแสไฟฟ้า 2 A และแรงดันย้อนกลับ                      800 V</p>
	<p>RFUH20TF6S Diode                      ใช้ในการป้องกันการต่อกลับขั้ว สามารถ                      ทนแรงดันย้อนกลับ 600 V</p>
	<p>GBPC3508 Bridge Rectifier                      วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้ใน                      วงจรเรียงกระแสเพื่อจ่ายแรงดันให้กับ                      วงจรกำลัง ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันขาเข้า                      สูงสุด 560 V                      กระแสไฟฟ้า 35 A และแรงดัน                      ย้อนกลับ 800 V</p>
	<p>Transformer 200/15 V                      หม้อแปลงแรงดัน 200/15 V ทำหน้าที่                      ลดระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้ในวงจร                      ควบคุม</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรรณเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาคให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านกรรณ

ไม่ว่ากรรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญาโท

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>IC 7812</p> <p>ใช้สำหรับการแปลงแรงดันให้ลดลงเหลือ 12 V เพื่อจ่ายแรงดันให้ Arduino สามารถทนกระแสสูงสุดได้ 1.5 A</p>
	<p>IC 7805</p> <p>ใช้สำหรับการแปลงแรงดันให้ลดลงเหลือ 5 V เพื่อจ่ายแรงดันให้ Arduino สามารถทนกระแสสูงสุดได้ 1.5 A</p>
	<p>IRFP460 MOSFET</p> <p>เป็นทรานซิสเตอร์ ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า สามารถทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด 500 V และกระแสสูงสุด 20 A</p>
	<p>Capacitor 470 uF 35 V ตัวเก็บประจุขนาด 470 uF 35 V ใช้ในวงจรควบคุม</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>Capacitor 0.33 uF 50 V                      ตัวเก็บประจุขนาด 0.33 uF 50 V ใช้ใน                      วงจรควบคุม</p>
	<p>Capacitor 220 uF 450 V                      ตัวเก็บประจุขนาด 220 uF 450 V ใช้                      ในวงจรเรียงกระแส</p>
	<p>Capacitor 0.1 uF 50 V                      ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 uF 50 V ใช้ใน                      วงจรควบคุม</p>
	<p>Resistor 50 k ohms 10 W                      ตัวต้านทานขนาด 50 k ohms 10 W                      ใช้สำหรับการคลายประจุที่สะสมในตัว                      เก็บประจุ ในวงจรเรียงกระแส</p>


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญาโท

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>TLP 250 ไอซีออปโตคัปเปิลตัวถังแบบ DIP สำหรับนำไปใช้ขับขาคอมมอเตอร์</p>
	<p>Resistor 10 k ohms 50 W ตัวต้านทานขนาด 10 k ohms 50 W ใช้สำหรับการคลายประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุในวงจรเรียงกระแส</p>
	<p>Fluke 435 series II Power Quality and Energy Analyzers ใช้สำหรับเก็บค่าแรงดันและกระแสของแหล่งจ่าย ค่าแรงดันและกระแสอัดประจุ กับฮาร์มอนิกส์แรงดันและกระแสตรง ฝั่งขาออกทุกๆ 30 วินาที</p>
	<p>Fluke 115 Field Service Technicians Multimeter มัลติมิเตอร์สามารถใช้สำหรับวัดค่า DC voltage</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปริญญาโท

	Fluke 325 True-rms Clamp Meter แคลมป์มิเตอร์ True RMS ใช้สำหรับวัดค่า DC current
---	--



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ในโครงการใช้โปรแกรม Arduino ในการทำงาน

```
1 #include <NexButton.h>
2 #include <NexCheckbox.h>
3 #include <NexConfig.h>
4 #include <NexCrop.h>
5 #include <NexDualStateButton.h>
6 #include <NexGauge.h>
7 #include <NexGpio.h>
8 #include <NexHardware.h>
9 #include <NexHotspot.h>
10 #include <NexNumber.h>
11 #include <NexObject.h>
12 #include <NexPage.h>
13 #include <NexPicture.h>
14 #include <NexProgressBar.h>
15 #include <NexRadio.h>
16 #include <NexRtc.h>
17 #include <NexScrolltext.h>
18 #include <NexSlider.h>
19 #include <NexText.h>
20 #include <NexTimer.h>
21 #include <NexTouch.h>
22 #include <NexUpload.h>
23 #include <NexVariable.h>
24 #include <NexWaveform.h>
25 #include <Nexion.h>
26 #include <doxygen.h>
27 #include <Nexion.h>
28
29 const int pwmPin = 4;
30 const int relayPin = 3;
31 const int voltagePin = A0;
32 const int currentPin = A1;
33
34 NexText voltageText = NexText(0, 2, "voltageText");
35 NexText currentText = NexText(0, 3, "currentText");
36
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

37 NexTouch *nex_listen_list[] = {
38     &voltageText,
39     &currentText,
40 };
41
42 char voltageTextBuffer[10];
43 char currentTextBuffer[10];
44
45 const int minVoltage_48V = 42000;
46 const int maxVoltage_48V = 52000;
47 const int minVoltage_60V = 54000;
48 const int maxVoltage_60V = 62000;
49 const int minVoltage_72V = 64000;
50 const int maxVoltage_72V = 78000;
51
52 const int maxChargingCurrent = 2500;
53 const int trickleChargingCurrent = 600;
54
55 int relayStatus = LOW;
56
57 void setup() {
58     nexInit();
59     pinMode(relayPin, OUTPUT);
60     pinMode(pwmPin, OUTPUT);
61     TCCR0A = _BV(COM0A1) | _BV(WGM01) | _BV(WGM00);
62     TCCR0B = _BV(WGM02) | _BV(CS00);
63     OCR0A = 255;
64
65     int dutyCycle = map(0, 0, 100, 0, 255);
66     analogWrite(pwmPin, dutyCycle);
67
68     pinMode(relayPin, OUTPUT);
69 }
70
71 void loop() {
72     nexLoop(nex_listen_list);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

74 int voltage = analogRead(voltagePin);
75 int current = analogRead(currentPin);
76
77 float voltageValue = voltage * (5.0 / 1023.0) * 1000.0;
78 float currentValue = current * (5.0 / 1023.0) * 1000.0;
79
80 dtostrf(voltageValue, 5, 2, voltageTextBuffer);
81 dtostrf(currentValue, 5, 2, currentTextBuffer);
82
83 voltageText.setText(voltageTextBuffer);
84 currentText.setText(currentTextBuffer);
85
86 if (voltageValue >= minVoltage_48V && voltageValue <= maxVoltage_48V) {
87     chargeBattery(48000, 12);
88     relayStatus = LOW;
89 } else if (voltageValue >= minVoltage_60V && voltageValue <= maxVoltage_60V) {
90     chargeBattery(60000, 16);
91     relayStatus = LOW;
92 } else if (voltageValue >= minVoltage_72V && voltageValue <= maxVoltage_72V) {
93     chargeBattery(72000, 22);
94     relayStatus = LOW;
95 } else {
96     stopCharging();
97     relayStatus = HIGH;
98 }
99 }
100
101 void chargeBattery(int targetVoltage, int dutyCyclePercent) {
102     int dutyCycle = map(dutyCyclePercent, 0, 100, 0, 255);
103     analogWrite(pwmPin, dutyCycle);
104 }
105
106 void stopCharging() {
107     analogWrite(pwmPin, 0);
108     digitalWrite(relayPin, relayStatus);
109 }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นางสาวชนัญอุยส ลีลาพตะ  
ที่อยู่ 200/115 หมู่6 ตำบลบางรีน อำเภอเมือง จังหวัดระนอง 85000  
เกิดวันที่ 09/01/2544  
ประวัติการศึกษา จบการศึกษามัธยมปลายจาก โรงเรียนพิชัยรัตนาคาร  
ประวัติฝึกงาน บริษัท ไทยทราฟ จำกัด แผนกวิศวกรรมฝ่ายผลิต  
อีเมล chanunayut.leelapata@gmail.com



นางสาวชนิดา ชูทอง  
ที่อยู่ 40/53 พหลโยธิน 52 แยก 44 แขวงคลองถนน เขตสายไหม กทม.  
10220  
เกิดวันที่ 23/01/2543  
ประวัติการศึกษา จบการศึกษามัธยมปลายจาก โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย  
ประวัติฝึกงาน บริษัท สยามพาวเวอร์ จำกัด แผนกวิศวกรรมซ่อมบำรุง  
และฝ่ายผลิต  
อีเมล spy2543spy@gmail.com



นางสาวเมวิกา ทองสัมฤทธิ์  
ที่อยู่ 468 ถนนเลียบคลองลำกอไผ่ แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม.  
10520  
เกิดวันที่ 12/09/2542  
ประวัติการศึกษา จบการศึกษามัธยมปลายจาก โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่วมเกล้า  
ประวัติฝึกงาน บริษัท J.S.T. Group จำกัด  
อีเมล tmii240@gmail.com



นายวิทวัส ชื่นพรม  
ที่อยู่ 96 หมู่ 2 ซอยนนทบุรี23แยก4 ถ.นนทบุรี23 ต.บางกระสอบ อ.เมือง  
จ.นนทบุรี 11000  
เกิดวันที่ 11/11/2543  
ประวัติการศึกษา จบการศึกษามัธยมปลายจาก โรงเรียนศรีบุญยานนท์  
ประวัติฝึกงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
อีเมล top\_w.t.w@hotmail.com  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้