

การออกแบบอุปกรณ์ชาร์จจักรยานยนต์ไฟฟ้า
DESIGN OF ELECTRIC MOTORCYCLE CHARGER

โดย

นายสุวิษยา ราบุรี
นายอภิสิทธิ์ ชื่นเจริญ
นายธีรธร นิลแก้วรัตนกุล
นายสมานนท์ อ้นไชย

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การออกแบบอุปกรณ์ชาร์จจักรยานยนต์ไฟฟ้า
DESING OF ELECTRIC MOTORCYCLE CHARGER

โดย

นายสุวิชา	ราบุรี
นายอภิสิทธิ์	ชินเจริญ
นายอริยะ	สือภิววัฒนกุล
นายอานนท์	อินไชย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

DESIGN OF ELECTRIC MOTORCYCLE CHARGER

SUWITCHA	RABURI
APISIT	CHUENCHAROEN
ARIYA	LEEAPHIWATTHANAKUL
ANON	INCHAI

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELORDEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปีการศึกษา 2557

การออกแบบอุปกรณ์ชาร์จจักรยานยนต์ไฟฟ้า
DESIGN OF ELECTRIC MOTORCYCLE CHARGER

โดย

นาย สุวิชา

นายอภิสิทธิ์

นายอริยะ

นายอานนท์

ราบุรี

ชินเจริญ

สือภวัฒน์กุล

อินไชย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัยยันต์เจตนาเสน

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------|-------------|
| 1. นายสุวิชา | ราบุรี |
| 2. นายอภิสิทธิ์ | ชื่นเจริญ |
| 3. นายอริยะ | ลือภิวฒนกุล |
| 4. นายอานนท์ | อินไชย |

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยันต์เจตนาเสน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

การออกแบบอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

นาย สุวิชา ราบุรี
นาย อภิสสิทธิ์ ชื่นเจริญ
นาย อริยะ ลือภิวัดนกุล
นาย อานนท์ อินไชย
ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบัน การคมนาคมขนส่งต่างๆ เช่น ทางบก ทางเรือ ทางอากาศ ล้วนมีความต้องใช้อิเล็กทริกทั้งสิ้นทั้งประเภทน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในปริมาณที่สูงมากขึ้น ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ แต่ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงพวกนี้ก็มีปริมาณลดลงในขณะที่การใช้งานรถยนต์หรือการขนส่งประเภทอื่นๆเพิ่มขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นพวกใช้แล้วหมด ส่งผลให้ราคาเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้โลกสมัยใหม่หันมามองพลังงานทางเลือกที่มีความสะอาดปราศจากมลพิษ เพื่อชดเชยการใช้เชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปและมีราคาสูงขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสะอาด อีกทั้งยังสามารถผลิตได้จากพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์ฟาร์ม เชื้อเพลิงชีวภาพ ส่งผลให้ยุคสมัยใหม่หันมาสนใจในเรื่องของมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าและเริ่มการศึกษาความเป็นไปได้ อย่างจริงจัง ทำให้มีการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างกว้างขวางมากขึ้น บทความฉบับนี้เป็นรายงานผลการออกแบบอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ออกแบบโดยใช้เทคนิคการชาร์จกระแสคงที่และแรงดันคงที่ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและโหมดการชาร์จแบตเตอรี่

Design of Electric Motorcycle Charger

Suwitcha Raburi
Apisit Chuencharoen
Ariya Leeaphiwatthanakul
Anon Inchai
Asst.Prof.Dr. Chaiyan Jettanasen Supervisor
Year 2014

ABSTRACT

Nowadays, transportation, such as land transport, shipping, air transport must use more and more fuel with all of the oil and natural gas. The fuel is the main of driving. In contrast, the quantity of fuels is decreased while the use of car and other transportations are increased. These fuels are running out, which affect to natural gas and oil price; so the modern world focuses on alternative energy without pollution to compensate using fuels and natural gas. All of this lead to electric motorcycle construction. Electricity can be generated by alternative energy such as solar farm, hydro-energy dam. The modern world significantly supports electric motorcycle and seriously researches about electric motorcycle. This paper presents a design and construction of an electric motorcycle charger for lead-acid battery. This charger is designed and constructed based on constant current, and constant voltage. It is controlled by microcontroller to control constant current and control charging mode.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์ดร.สุรินทร์ คำฝอย ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อ ครงงานมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนศรศักดิ์ แสงสี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจน คุณกมลวรรณ ถาวร เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการ เบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การ สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหา อุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่	6
2.2.1 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	6
2.2.2 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	10
2.2.3 ตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่	11
2.2.4 คำศัพท์เกี่ยวกับแบตเตอรี่	13
2.3 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่	14
2.4 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่	16
2.4.1 การชาร์จแบบกระแสคงที่	16
2.4.2 การชาร์จแบบแรงดันคงที่	17
2.4.3 การชาร์จโดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส	17
2.4.4 การชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่	17
2.4.5 การควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	18
2.5 วงจรสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่	19
2.5.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน	19
2.5.2 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	29
บทที่ 3 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	30
3.1 บทนำ	30
3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	30
3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	31
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	35
4.1 บทนำ	35
4.2 การออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การออกแบบวงจรกำลัง	36
4.2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรกำลัง	38
4.2.1.2 วงจรเรียงกระแสของวงจรกำลัง	39
4.2.1.3 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	42
4.2.1.4 การออกแบบวงจรตรวจจับ	46
4.2.2 การออกแบบวงจรคอนโทรล	49
4.2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรคอนโทรล	50
4.2.1.2 วงจรเรียงกระแสของวงจรคอนโทรล	50
4.2.1.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	53
4.2.1.4 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน	58
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	61
5.1 การทดสอบวงจรควบคุม	61
5.1.1 การทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์	61
5.1.2 การทดสอบสัญญาณขับเคลื่อน	61
5.2 ทดสอบตรวจจับแรงดันและกระแส	61
5.3 ทดสอบวงจรชาร์จแบตเตอรี่	62
5.3.1 การทดสอบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการชาร์จแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์	63
5.3.2 การทดสอบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการชาร์จแบตเตอรี่ ขนาด 72 โวลต์	67
บทที่ 6 บทวิจารณ์และบทสรุป	71
6.1 บทสรุปการดำเนินงาน	71
6.1.1 การทดสอบทางอิเล็กทรอนิกส์	71
6.1.1.1 การทดสอบการชาร์จจากที่บ้าน	71
6.1.1.2 วงจรสวิตช์	71
6.1.1.3 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	71
6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	72
6.3 แนวทางการพัฒนาและการปรับปรุง	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	77
ภาคผนวก ข ชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์	82
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุปกรณ์	94
ประวัติผู้เขียน	119

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่	13
2.2 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ	15
2.3 วงจรที่มีความต้านทาน R_S ต่ออยู่เพื่อจำกัดกระแส	16
2.4 กระบวนการชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่	18
2.5 สัญญาณการสวิตช์ซึ่งที่ได้จากฮิสเตอร์รีซิส	19
2.6 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	20
2.7 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์นำกระแส	21
2.8 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	22
2.9 รูปคลื่นการทำงานของวงจบบัคคอนเวอร์เตอร์	24
2.10 รูปคลื่นการทำงานของวงจบบัคคอนเวอร์เตอร์	26
2.11 ไดอะแกรมควบคุมวงจรถีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์	28
2.12 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น	29
3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่ แบบจำกัดกระแสชาร์จ	31
3.2 แรงดันปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิ และแรงดันดีซี	32
3.3 อัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่	33
3.4 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด	33
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรชาร์จแบตเตอรี่	35
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรถูกำลัง	36
4.3 วงจรถูกำลังจำลองจากโปรแกรม Psim	37
4.4 อุปกรณ์จริงของวาริแอก	38
4.5 วงจรเรียงกระแสของวงจรถูกำลังจำลองจากโปรแกรม Psim	39
4.6 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรเรียงกระแสของวงจรถูกำลัง	40
4.7 ซิลิคอนบริดจ์เรกติไฟล์ RBV2506D	40
4.8 กราฟแสดงระลอกคลื่น	41
4.9 ตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด	41
4.10 วงจบบัคคอนเวอร์เตอร์	42
4.11 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงจริงของวงจบบัคคอนเวอร์เตอร์	43
4.12 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงจริงของมอสเฟต R6030ENZ1	44
4.13 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงจริงของตัวเหนี่ยวนำขนาด 310 ไมโครเฮนรี และตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด	44
4.14 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	47
4.15 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรถวจจับ	47
4.16 ACS712 20A	48
4.17 ตัวต้านทานขนาด 40 กิโลโอห์ม และ 2 กิโลโอห์ม	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของตัวต้านทานขนาด 22 กิโลโอห์ม	49
4.19 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรคอนโทรล	49
4.20 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าอัตราส่วน 220 : 15	50
4.21 วงจรเรียงกระแสของวงจรคอนโทรล	51
4.22 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรคอนโทรล	51
4.23 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของซิลิคอนบริดจ์เรกติไฟล์	52
4.24 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของตัวเก็บประจุขนาด 470 ไมโครฟารัด	52
4.25 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	53
4.26 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรคอนโทรล	54
4.27 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของ IC7805 และ IC7812	54
4.28 ผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	56
4.29 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	57
4.30 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4550	57
4.31 วงจรขั้วเกิด	58
4.32 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรขั้วเกิด	59
4.33 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของ TLP250	60
4.34 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของตัวเก็บประจุขนาด 470 ไมโครฟารัด และ 220 ไมโครฟารัด	60
5.1 ค่าสัญญาณ PWM ดิวตี้ไซเคิล 0.46 ความถี่ 22 กิโลเฮิร์ตซ์	61
5.2 ค่าแรงดันและกระแสที่แสดงบนจอแสดงผล LCD	62
5.3 จุดวัดแรงดัน และ กระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่	62
5.4 ค่ากระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ	66
5.5 ค่าแรงดันแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ	66
5.6 ค่ากระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ	70
5.7 ค่าแรงดันแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	1
1.2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	2
1.3 แผนการดำเนินการ	4
2.1 ขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของแรงดัน	7
2.2 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	8
2.3 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	10
2.4 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	10
2.5 ตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่	11
3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่ แบบจำกัดกระแสชาร์จ	32
5.1 ค่าแรงดันแบตเตอรี่และกระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ	63
5.2 ค่าแรงดันแบตเตอรี่และกระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบัน การคมนาคมขนส่งต่างๆ เช่น ทางบก ทางเรือ ทางอากาศ ล้วนมีความต้องใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้นทั้งประเภทน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในปริมาณที่สูงมากขึ้น ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ แต่ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงพวกนี้ก็ยังมีปริมาณลดลงในขณะที่การใช้งานรถยนต์และจักรยานยนต์หรือการขนส่งประเภทอื่นๆเพิ่มขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงพวกนี้เป็นพวกใช้แล้วหมดไป หรือต้องรอให้มีการถลุงของซากพืชซากสัตว์อีกหลายล้านปี ส่งผลให้ราคาเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้โลกสมัยใหม่หันมามองพลังงานทางเลือกที่มีความสะอาดปราศจากมลพิษ เพื่อชดเชยการใช้เชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปและมีราคาสูงขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสะอาด อีกทั้งยังสามารถผลิตได้จากพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์ฟาร์ม เชื้อนผลิตไฟฟ้า ส่งผลให้ยุคสมัยใหม่หันมาสนใจในเรื่องของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและเริ่มการศึกษาความเป็นไปได้อย่างจริงจัง ทำให้มีการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างกว้างขวางมากขึ้น โดยรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะอาศัยแบตเตอรี่เก็บพลังงานแล้วจ่ายให้กับพาหนะ ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้สันดาปภายในเครื่องยนต์ ทำให้ไม่มีมลพิษ ซึ่งถ้าพลังงานในแบตเตอรี่หมดก็จำเป็นต้องอัดประจุเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถจ่ายพาหนะ ทำให้สามารถเคลื่อนไปได้อีก แต่ก็ยังมีปัญหาอยู่บางประการ เช่น รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าไม่สามารถวิ่งระยะทางไกลได้มากพอ ถ้าจะทำให้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ไกลมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มแบตเตอรี่ให้ใหญ่ขึ้นเพื่อกักเก็บพลังงานไว้ได้ให้มากพอ อาจทำให้น้ำหนักเพิ่มมากขึ้น หรือถ้าเกิดความผิดพลาดอาจเกิดอันตรายต่อผู้ใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้ เช่น การระเบิด อีกทั้งการชาร์จแบตเตอรี่ยังใช้เวลานานกว่าการเติมเชื้อเพลิงหรือแก๊สธรรมชาติ

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

	รถจักรยานยนต์เครื่องยนต์	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
มลพิษด้านเสียง	ปานกลาง - สูง	ไม่มี
มลพิษด้านอากาศ	ปานกลาง - สูง	ไม่มี
การเติมพลังงาน	เร็ว	ช้า
ความเร็วและสมรรถนะ	ปานกลาง - สูง	ต่ำ - ปานกลาง
น้ำหนักรถ	ปานกลาง	ปานกลาง - สูง

ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

	รถน้ำมันมีเกียร์	รถน้ำมันอัตโนมัติ	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
อัตราสิ้นเปลือง	40 กม. / ลิตร	32 กม. / ลิตร	11 กม. / ไฟ 1 Unit
ค่าพลังงาน	Gasohol 91 32.34 บาท / ลิตร	Gasohol 91 32.34 บาท / ลิตร	3.50 บาท / หน่วย
	Gasohol 95 35.37 บาท / ลิตร	Gasohol 95 35.37 บาท / ลิตร	
ระยะทางที่วิ่ง / ปี	18,000 กม. / ลิตร	18,000 กม. / ลิตร	18,000 กม. / ลิตร
ค่าพลังงาน / ปี	Gasohol 91 14,553 บาท / ลิตร	Gasohol 91 18,191 บาท / ลิตร	5,728 บาท / ปี
	Gasohol 95 15,916 บาท / ลิตร	Gasohol 95 19,895 บาท / ลิตร	

การวิจัยครั้งนี้สังเกตเห็นปัญหาของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ว่า แบตเตอรี่ไม่สามารถทำให้มีขนาดใหญ่เกินไปได้ อีกทั้งการชาร์จใช้เวลานาน จึงได้ศึกษาวิธีการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่แบบธรรมดา (Normal charge) และแบบรวดเร็ว (Quick charge) และศึกษาปัญหาขนาดของแบตเตอรี่ รวมถึงปัญหาอุณหภูมิของแบตเตอรี่และปัญหาอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการอัดประจุแบตเตอรี่ เพื่อลดระยะเวลาในการชาร์จประจุของแบตเตอรี่โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ากับแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
2. เพื่อออกแบบ ชาร์จเจอร์สำหรับชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. จำลองระบบการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบต่างๆ
4. เพื่อวัดความเร็วของการชาร์จประจุของแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบต่างๆ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตในการศึกษาปริญญาโทครั้งนี้ คือ การออกแบบชาร์จเจอร์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยทำให้มีการชาร์จประจุเร็ว เข้าไปในแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณลักษณะของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด
2. ศึกษาวิธีการจำลองระบบของการชาร์จประจุของแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. ศึกษาวงจรเรียงกระแส และคอนเวอร์เตอร์ต่างๆเพื่อประกอบเป็นชาร์จเจอร์
4. จำลองระบบของแหล่งจ่ายไฟฟ้า และการชาร์จเข้าแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าโดยโปรแกรม Psim
5. ศึกษาวิธีการเพิ่มความเร็วในการชาร์จประจุของแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
6. ทำการออกแบบและสร้างวงจรชาร์จเจอร์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 1.3 แผนการดำเนินการ

ขั้นตอน	ภาคเรียนที่1				ภาคเรียนที่2					
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.
1.ศึกษาทฤษฎีและองค์ประกอบของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	←→									
2.ศึกษาแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขนาดต่างๆ	←→									
3.ศึกษาการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบต่างๆ	←→									
4.ศึกษาวงจรเรียงกระแส และคอนเวอร์เตอร์แบบต่างๆในวงจรชาร์จเจอร์	←→									
6.จำลองวงจรชาร์จประจูดักร่วมเข้ากับแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		←→								
7.ทำการออกแบบและสร้างวงจรชาร์จเจอร์					←→					
8.นำวงจรชาร์จเจอร์มาเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า พร้อมทั้งตรวจสอบดูสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้า						←→				
9.เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								←→		

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจหลักการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
2. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. สามารถอธิบายการชาร์จแบบต่าง รวมถึงข้อดี ข้อเสียของแต่ละแบบได้
4. สามารถใช้โปรแกรมออกแบบ วิเคราะห์ และคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นได้
5. สามารถสร้างชุดชาร์จเจอร์ที่ต่อเข้ากับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้
6. ได้รับประสบการณ์การศึกษาและการทำงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ วิธีการอัดประจุ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่างๆ ไว้ในบทนี้

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ คืออุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เก็บไว้ในตัวเองเป็นพลังงานไฟฟ้า ประเภทของแบตเตอรี่ แบ่งตามชนิดการอัดประจุเป็น 2 ประเภทดังนี้

แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ เรียกอีกอย่างว่า เซลล์ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ใช้ได้ครั้งเดียว เช่น ถ่านไฟฉาย เป็นต้น แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้ไฟน้อยหรือในที่ที่ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ เรียกอีกอย่างว่า เซลล์ทุติยภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดประจุเรียกว่า ชาร์จเจอร์ หรือ รีชาร์จเจอร์

2.2.1 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead Acid Battery) แบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรดเรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery or Gel Cell) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวอุดขั้ว เรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของแบตเตอรี่ แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็น แบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไป หรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบเจลและแบบ AGM คือ แบตเตอรี่แบบเจลจะเป็นแบตเตอรี่ที่แห้งกว่าแบบ AGM ถ้าเปลือกนอกของมันแตกจะไม่มีน้ำกรดไหลหรือซึมออกมา แต่สำหรับแบบ AGM จะรับน้ำกรดได้ประมาณ 95% ดังนั้นถ้าเปลือกของมันแตก ถึงแม้จะมีน้ำกรดไหลออกมาก็จะมีการซึมออกมาได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในปัจจุบันจะนิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบ AGM มากกว่าแบบเจล ส่วนแบบเจลมีการใช้น้อยลงเนื่องจากมีข้อเสีย คือ เจลมักจะละลายเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและถ้าเกิดการโอเวอร์ชาร์จขึ้นเจลอาจจะเปลี่ยนรูปเป็นสารเหนียว ๆ ที่เรียกว่า วอยด์ (Void) ไปเกาะติดแน่นอยู่ที่แผ่นธาตุขั้วขวางการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอิเล็กโทรไลต์และแผ่นธาตุทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง

แบตเตอรี่ทั้งแบบ AGM และแบบเจลยังแบ่งย่อยออกได้เป็น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบ ปิดผนึกหรือ SLA (Sealed Lead Acid) และแบบปิดผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดันหรือ VRLA (Valve Regulated Lead Acid) แบตเตอรี่แบบ VRLA นี้จะมีการติดตั้งเซฟตี้วาล์ว (Safety Valve) เพื่อใช้ระบาย แก๊สในกรณีที่ความดันภายในเซลล์สูงเกินไป เพื่อป้องกัน แบตเตอรี่ เสียหาย

การชาร์จแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภท คือ SLA และ VRLA จะต้องไม่ชาร์จเร็วหรือมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแก๊สในขณะชาร์จมากนัก การชาร์จมากหรือเร็วเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ดูดซับแก๊สที่เกิดขึ้นไม่ทัน ความดันภายในแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแก๊สและน้ำออกไปจากตัวแบตเตอรี่ การเสียแก๊สและน้ำออกไปก็เท่ากับว่าแบตเตอรี่ได้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากระบบ เพราะแก๊สและน้ำเป็นส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์ เมื่อแบตเตอรี่มีปริมาณอิเล็กโทรไลต์น้อยลงจะสูญเสียความสามารถในการเก็บพลังงานไป ทำให้แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์ของแบตเตอรี่หลังจากการชาร์จไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็น และถ้าแบตเตอรี่มีการเสียแก๊สและน้ำบ่อย ๆ อิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ก็จะหมดไปทำให้ แบตเตอรี่ ใช้งานไม่ได้อีก

ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ขนาดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มาตรฐาน จะมีแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าปกติประมาณ 2 โวลต์ต่อเซลล์ เราจะเห็นได้ว่าแรงดันขนาด 2 โวลต์นับว่าเป็นขนาดแรงดันที่น้อยมาก ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ดังนั้นการที่เราจะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน ทำได้โดยการนำเอาแบตเตอรี่หลายๆ เซลล์ มาต่อกันในลักษณะอนุกรม (Series) โดยการต่อแบบขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 ต่อกับขั้วลบของเซลล์ที่ 2 และต่อกันในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนมีขนาดของแรงดันเพียงพอกับความต้องการ ผลสุดท้ายจะเหลือขั้วบวกเซลล์ที่ 1 และขั้วลบของเซลล์สุดท้าย ขั้วทั้งสองที่กล่าวมานี้เป็นจุดต่อที่จะนำเอาพลังงานไปใช้งาน ขนาดของเซลล์และปริมาณของแรงดันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของแรงดัน

จำนวนเซลล์	ขนาดของแรงดัน (โวลต์)
3	6
6	12
12	24
24	48
30	60

ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับ

ระดับแรงดันปกติ (Float Charge) การชาร์จระดับนี้นับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่ออายุของแบตเตอรี่ การปรับระดับแรงดันที่ Float Charge ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะใช้แรงดันระหว่าง 2.15 – 2.20 โวลต์ต่อเซลล์ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 12 เซลล์ แรงดันที่ใช้ในการชาร์จจะเท่ากับ 2.15×12 เท่ากับ 25.8 โวลต์

การหาแรงดันในระดับ Float Charge ในแต่ละชุดของแบตเตอรี่จะเท่ากับระดับแรงดันในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ในชุดนั้น

ระดับแรงดันรูนแรง (Equalize Charge) การที่ชาร์จแบตเตอรี่ในระบบ Float Charge อย่างเดียวเป็นระยะเวลานานๆยังไม่เพียงพอที่จะรักษาแบตเตอรี่ ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งพอที่จะสรุปเหตุผลย่อยๆได้ดังนี้

ในระดับแรงดันการชาร์จ Float Charge ไม่สามารถที่จะแก้ Self Discharge และ Local Action ได้ 100% ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมเซลล์เกิดความแตกต่างกัน เซลล์บางเซลล์ของแบตเตอรี่ได้รับความร้อน และความเย็นจากอุณหภูมิโดยรอบเซลล์แบตเตอรี่ไม่เท่ากันจะทำให้คุณสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ทุกตารางๆไม่เท่ากัน ขั้วต่อแบตเตอรี่บางส่วนได้รับแรงดันที่ตกคร่อมไม่เท่ากัน อันเนื่องจากความหนาแน่นไม่เท่ากัน

การทำ Equalize Charge คือ การเพิ่มระดับแรงดันในการชาร์จให้สูงกว่าระดับ Float Charge ซึ่งจะช่วยให้กระแสไหลในแบตเตอรี่สูงขึ้น เพื่อเป็นการแก้การสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลภายในวงจรแบตเตอรี่ทั้งหมดและจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุพร้อมที่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานในเวลาที่เราต้องการใช้งาน ระดับแรงดันที่เราใช้ในการทำ Equalize Charge ใช้แรงดันที่ 2.33 โวลต์ต่อเซลล์ โดยแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จะแสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จำนวนเซลล์	ระดับแรงดันในการชาร์จ (โวลต์)	
	Float	Equalize
6	13.2	14.7
12	26.4	25.97
24	52.8	55.92
30	66	73.5
48	105.6	111.84

หมายเหตุ : ระดับแรงดัน Float Charge ใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.2 โวลต์ต่อเซลล์
ระดับแรงดัน Equalize Charge ใช้ในแรงดันเท่ากับ 2.45 โวลต์ต่อเซลล์

อัตราการคายประจุ

อัตราการคายประจุหรืออัตราการดิสชาร์จ หรือที่เรียกว่า ซีเรท ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ไม่ควรเกิน 0.2 C หรือ 20% ของความจุ ถ้าอัตราการดิสชาร์จมากขึ้นประสิทธิภาพของมันจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรจะดิสชาร์จในอัตราที่มากกว่า 1 C สรุปก็คือ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดนี้ชอบคายประจุน้อยนิดหน่อยแล้ว ก็ชาร์จจึงจะทำให้มันมีอายุยืนยาวกว่าการคายประจุมาก ๆ หรือการใช้ประจุจนหมดแล้วจึงชาร์จ

รอบของการทำงาน (Cycle) โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200-300 รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุหรือเรียกย่อว่า DOD, การชาร์จ การบำรุงรักษาและอุณหภูมิในการใช้งาน สาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานลดลงก็คือการกัดกร่อนที่แผ่นธาตุบวก ซึ่งการกัดกร่อนนี้จะมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

อุณหภูมิกับอายุการใช้งาน

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ที่ 25 องศา (77 ฟาเรนไฮต์) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 8 องศา (15 ฟาเรนไฮต์) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่ แบบ VRLA จะมีอายุถึง 10 ปีที่อุณหภูมิ 25 องศา แต่จะลดลงเหลือ 5 ปี ที่อุณหภูมิ 33 องศา (95 ฟาเรนไฮต์) และอายุเหลือไม่ถึง 1 ปีที่อุณหภูมิ 42 องศา (107 ฟาเรนไฮต์) นอกจากนี้มันยังทำงานได้ไม่ดีในที่อุณหภูมิ ต่ำอีกด้วยอุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะทำให้แบตเตอรี่ เก็บประจุได้น้อยลง ความจุของแบตเตอรี่ จะลดลง 50 % ทุกๆ อุณหภูมิที่ต่ำลง 12 องศา (22 ฟาเรนไฮต์) ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมในตอนเช้าที่อากาศเย็นเราถึงสตาร์ทรถติดได้ยากแต่การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำก็ทำให้อายุการใช้งานของมันยาวนานมากขึ้นด้วยเช่นกัน

การเก็บรักษากับคายประจุ

การคายประจุโดยตัวมันเอง (Self Discharge) น้อยมาก ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเปียก อัตราการคายประจุประมาณ 40% ต่อปี (เทียบกับนิกเกิลแคดเมียมที่มีอัตราการคายประจุโดยตัวมันเอง อยู่ที่ 20% ต่อเดือน) ส่วนแบตเตอรี่ แบบแห้งจะมีอัตราการคายประจุน้อยกว่าแบบเปียกโดยเฉพาะ แบตเตอรี่ AGM รุ่นใหม่ ๆ บางชนิด อัตราการคายประจุด้วยตัวมันเองจะไม่เกิน 2% ต่อเดือน

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ข้อดีแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	ข้อเสียแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
<ul style="list-style-type: none"> - ราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นและสามารถผลิตได้ง่าย - มีความทนทานสูง - ไม่เกิด Memory effect - มีความสามารถของอัตราการปล่อยประจุไฟฟ้าสูง - อัตราการปล่อยประจุด้วยตนเอง (self-discharge) ต่ำสุดเมื่อเทียบกับระบบแบตเตอรี่ประเภทสามารถประจุไฟได้ - ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก 	<ul style="list-style-type: none"> - ความจุของพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ ทำให้มีน้ำหนักมาก - ตะกั่วและกรดซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม - ไม่สามารถเก็บไว้ได้โดยไม่มีประจุ เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็ว

2.2.2 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion Battery) เป็นแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (เซลล์ทุติยภูมิ) ซึ่งนิยมใช้ทั่วไปในทางอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีคุณสมบัติ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ไม่เกิด Memory Effect และมีการคายประจุที่ต่ำเมื่อไม่มีการใช้งาน นอกจากนี้ในทางอิเล็กทรอนิกส์แล้ว แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนยังถูกใช้ในทางการทหาร รถยนต์พลังงานไฟฟ้าและทางด้านการบินและอวกาศ

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ข้อดีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	ข้อเสียแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
<ul style="list-style-type: none"> - มีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนาน - มีช่วงการทำงานของอุณหภูมิกว้าง - มีอัตราการคายประจุภายในต่ำ - สามารถอัดประจุได้อย่างรวดเร็ว - อัตราการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูง - ไม่เกิด Memory effect 	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาค่อนข้างสูง คุณภาพลดลงที่อุณหภูมิสูง - ต้องมีวงจรป้องกัน overcharge , overdischarge , ความร้อน - เกิดความร้อนและความสามารถในการเก็บประจุลดลง เมื่อ overcharged

2.2.3 ตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่

Developer	Location	Current EV model	Battery technology
BMW	Munich, Germany	Mini E (2012)	Li-ion
BYD	Shenzhen, China	e6	Li-ion
Chrysler	Auburn Hills, Michigan	GEM	Lead-acid
Daimler Benz	Stuttgart, Germany	Smart EV	Li-ion
Ford	Dearborn, Michigan	Focus EV	Li-ion
Mitsubishi	Tokyo, Japan	iMiEV	Li-ion
Nissan	Yokohama, Japan	Leaf	Li-ion
REVA	Bangalore, India	REVA NXR	Lead-acid, lithium-ion
Tesla	San Carlos, California	Tesla Roadster	Li-ion
Think	Norway	Think EV	Li-ion, sodium/metal-chloride



Nissan LEAF

Passengers: 5

Driving range: 228km

Battery: 24kWh

Mitsubishi Outlander
PHEV

Passengers: 5

Driving range: 60.2km

(When charged power is
used)

Battery: 12kWh

Citroen C-ZERO

Passengers: 4

Driving range: 160km

Battery: 16kWh

Peugeot iON

Passengers: 4

Driving range: 160km

Battery: 16kWh



Nissan e-NV200	Tesla Model S with Adapter	Citroen Berlingo	Peugeot Partner
Passengers: 2/5/7	Passengers: 5+2(Children)	payloads: 636kg	payloads: 636kg
Driving range: 185-190km	Driving range: 390/502km	Driving range: 170km	Driving range: 170km
Battery: 24kWh	Battery: 60/85kWh	Battery: 22.5kWh	Battery: 22.5kWh



Kia Soul EV	Mitsubishi i-MiEV	Mitsubishi MINICAB-MiEV	Mitsubishi MINICAB-MiEV Truck
Passengers: 5	Passengers: 4	Passengers: 2/4	Passengers: 2
Driving range: 148km	Driving range: 120/180km	Driving range: 100/150km	Driving range: 110km
Battery: 27kWh	Battery: 10.5/16kWh	Battery: 10.5/16.0kWh	Battery: 10.5kWh



Nissan Infiniti EV Sedan	BD Otomotive eFiorino	BD Otomotive eTRAFIC Panel Van	BD Otomotive eKANGOO Passenger
To be introduced	Passengers: 4	Passengers: 3	Passengers: 5
	Driving range: 100km	Driving range : 190km	Driving range: 110km
	Battery: 20kWh	Battery: 53kWh	Battery: 20kWh



MAZDA DEMIO EV	HONDA Fit EV	TOYOTA eQ	SUBARU Plug-in Stella
Passengers: 5	Passengers: 5	Passengers: 4	Passengers: 4
Driving range: 200km	Driving range: 225km	Driving range: 100km	Driving range: 90km
Battery: 20kWh	Battery: 20kWh	Battery: 12kWh	Battery: 9.2kWh

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้งานแบตเตอรี่

2.2.4 คำศัพท์เกี่ยวกับแบตเตอรี่

ความลึกของการคายประจุหรือความลึกของการดิสชาร์จ (Depth of Discharge หรือเรียกย่อ ๆ ว่า DoD) คือระดับของการคายประจุ เช่นถ้าแบตเตอรี่สามารถเก็บประจุไว้ได้ 100% ถ้าเราดิสชาร์จประจุไป 10% หรือ 20% การดิสชาร์จประจุไป 20% ก็จะถือว่ามีความลึกของการดิสชาร์จมากกว่าการใช้ไปแค่ 10% ดังนั้น ถ้าเราใช้แบตเตอรี่จนประจุเกือบหมดหรือหมดเลย ก็จะถือว่ามีความลึกของการดิสชาร์จมาก ซึ่งการดิสชาร์จที่ลึกมาก ๆ ไม่สมควรใช้กับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด เพราะจะทำให้อายุการใช้งานของมันสั้นลง

การดิสชาร์จในช่วงแคบ (Shallow Discharge) หรือการดิสชาร์จตื้นจะตรงกันข้ามกับการดิสชาร์จลึก (Deep Discharge) คือการใช้แบตเตอรี่ ไปสักเล็กน้อย เช่น 10% หรือ 20% ของความจุทั้งหมดแล้วก็ชาร์จใหม่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด จะชอบการใช้งานแบบนี้

การชาร์จแบบทริกเกิลและฟลอต (Trickle Charge, Float Charge, Topping Charge) เป็นการชาร์จโดยให้กระแสกับแบตเตอรี่น้อยๆ ส่วนมากจะใช้ในการชาร์จเพื่อชดเชยประจุ (หลังจากชาร์จประจุของแบตเตอรี่ ที่มีประจุเต็มแล้ว) เมื่อประจุของแบตเตอรี่ ลดลงเนื่องจากการคายประจุด้วยตัวมันเอง (Self Discharge) หรือเพื่อเติมประจุในขั้นตอนการชาร์จขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้แบตเตอรี่ มีความจุเต็ม 100% จริง

ซีเรท (C-Rate) หน่วยของการชาร์จและดิสชาร์จ จะคิดเป็นจำนวนเท่าของความจุของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ ขนาด 80 แอมป์ ชั่วโมง (Ah) ถ้าให้มันดิสชาร์จ ที่ 1C ก็คือให้มันดิสชาร์จกระแส 80 แอมป์ ซึ่งจะใช้งานได้ 1 ชั่วโมงแบตเตอรี่ก็จะหมด แต่ถ้าดิสชาร์จที่ 0.5 C ก็คือให้มันดิสชาร์จกระแสที่ 40 แอมป์ซึ่งจะใช้งานแบตเตอรี่ ได้ 2 ชั่วโมง หรือถ้าให้แบตเตอรี่ ดิสชาร์จที่ 2 C ก็คือให้มัน

ดิสชาร์จกระแส 160 แอมป์ ซึ่งจะใช้งานได้แค่ 30 นาที เป็นต้น สำหรับแบตเตอรี่ แบบตะกั่ว-กรดการ ดิสชาร์จที่ซีเรามากขึ้นประสิทธิภาพจะลดลง เช่น แบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์ชั่วโมง ถ้าดิสชาร์จที่ 1 C ในทางปฏิบัติแล้วจะจ่ายกระแสได้ไม่ถึง 1 ชั่วโมง

เมมโมรีเอฟเฟค (Memory Effect) คือกรณีที่แบตเตอรี่ถูกใช้ไฟไม่หมดประจุแล้วมีการ นำไปชาร์จไฟใหม่อยู่บ่อย ๆ ทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจำค่าสูงสุดที่มันเคยเก็บไว้ได้ จะทำให้การชาร์จ แบตเตอรี่ไม่เต็มเท่าความจุที่กำหนดไว้ของแบตเตอรี่ ส่งผลให้เวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ในแต่ละครั้ง สั้นลง หรือพลังงานของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็วนั่นเอง และเสื่อมสภาพไปในที่สุด ส่วนใหญ่ปัญหา Memory Effect จะมีผลกระทบต่อแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cad แต่สำหรับ Li-on และ Li-Polymer จะไม่มี ผลกระทบแต่อย่างใด

2.3 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูง กว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการคายประจุ ในการชาร์จแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่อง ชาร์จต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และขั้วลบของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่โดยที่ กระแสที่ทำการชาร์จจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสที่แบตเตอรี่ได้ทำการจ่ายออกมา จากรูป 2.2 เป็น วงจรการชาร์จแบตเตอรี่อย่างง่าย

โดยที่ E คือ แรงดันที่ทำการชาร์จ

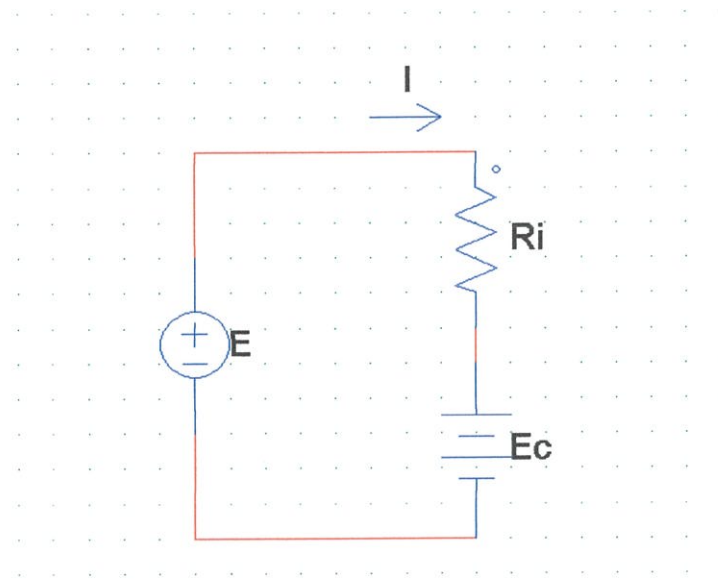
E_c คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

R_i คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.2 จะได้สมการ

$$E = E_c + IR_i \quad (2.1)$$

$$I = \frac{E - E_c}{R_i} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ (E_c) มีค่าเท่ากับแรงดันที่ชาร์จ จะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้มีกระแสไหล เพื่อเข้าไปชาร์จแบตเตอรี่ แต่ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันที่ชาร์จจะทำให้กระแสนอนกลับจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลง ในขณะที่มีการชาร์จแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ทำการชาร์จว่ามากหรือน้อย ถ้ากระแสในการชาร์จมีปริมาณมากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การจะลดปริมาณของกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่ให้ต่ำลง ทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.3

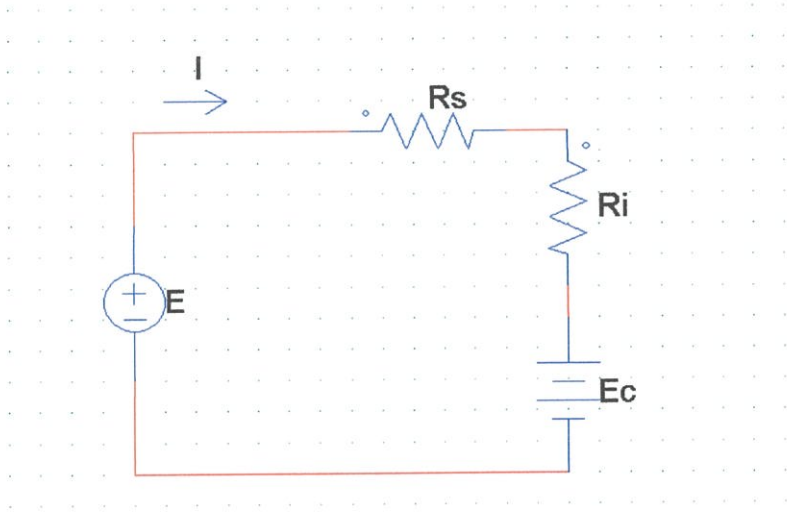
จากรูปที่ 2.3 เราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ R_i

$$I = \frac{(E - E_c)}{R_i + R_s} \quad (2.3)$$

$$R_s = \frac{E - E_c}{I} - R_i \quad (2.4)$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการชาร์จหรือดิสชาร์จจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ พิกัดของกระแสชาร์จแบตเตอรี่บอกไว้เป็นชั่วโมง ดังนั้นค่าของกระแสหาได้จากค่าความจุซึ่งมีหน่วยเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ทหารด้วยจำนวนชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าเรารู้กระแส จำนวนชั่วโมงจะหาได้จากความจุ(Ah) ทหารด้วยกระแสจะได้เป็นจำนวนชั่วโมงในการชาร์จนี้จะไม่แปรผันตามตลอด เช่น แบตเตอรี่

100 Ah จ่ายกระแส 5 แอมแปร์ ในเวลา 20 ชั่วโมง แต่ถ้าจ่ายกระแส 10 แอมแปร์ อาจจะจ่ายได้ในเวลาเพียง 7 ชั่วโมง หรืออาจจะจ่ายกระแส 20 แอมแปร์ได้ในเวลา 3 ชั่วโมง เป็นต้น



รูปที่ 2.3 วงจรที่มีความต้านทาน R_s ต่ออยู่เพื่อจำกัดกระแส

2.4 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ สามารถแบ่งได้ 4 วิธีดังนี้

2.4.1 การชาร์จแบบกระแสคงที่ (Constant current charging)

การชาร์จแบบกระแสคงที่นับว่าเป็นการชาร์จที่ได้ประสิทธิภาพมากกว่าการชาร์จแบบแรงดันคงที่ ถ้ากระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการชาร์จน้อยลง แต่ถ้าหากกระแสในการชาร์จสูงเกินไป จะเกิดผลเสียต่อตัวแบตเตอรี่ คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการชาร์จ และในที่สุดแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เป็น วัสดุแอคทีฟ (Active material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคดงอ เกิดรอยร้าว ซึ่งถ้าหากมีปริมาณอุณหภูมิที่สูงมากๆ อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดการระเบิดได้ดังนั้นเราพอสรุปได้ว่าเหตุผลที่ทำให้การชาร์จแบบกระแสคงที่ใช้เวลาานหรือช้าอาจสรุปได้ดังนี้

1. ขึ้นอยู่กับค่าความจุหรือขนาดของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุ
2. ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ทำการชาร์จ กระแสมีค่าเยอะจะทำการชาร์จได้เร็วมาก
3. ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่จะทำการชาร์จ

อย่างไรก็ดี การชาร์จแบบกระแสคงที่ไม่ได้บอกค่าแรงดันไว้ แต่การชาร์จแบบนี้เป็นพื้นฐานของการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Motorcycle) หรือที่เรียกกันว่า quick charge แต่การจะชาร์จด้วยกระแสที่สูงนั้น เราต้องคำนึงถึงแบตเตอรี่ด้วยว่า มีความสามารถรับกระแสได้มากน้อยเพียงใด เพราะอาจทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง หรือ เกิดการระเบิดได้

2.4.2 การชาร์จแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage charging)

ในการชาร์จแบบแรงดันคงที่ จะใช้เวลาในการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จแบบกระแสคงที่ ระยะเวลาในการชาร์จจะเร็วหรือช้าเท่าไรนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจ่ายกระแสออกมายัง วงจร แบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงใด

การชาร์จแบตเตอรี่โดยระบบแรงดันคงที่สามารถชาร์จได้ 100% ของแบตเตอรี่รถยนต์ ไฟฟ้า แต่จะใช้เวลานานกว่า การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าสูง การชาร์จแบบแรงดันคงที่สามารถให้เครื่อง ชาร์จเป็นตัวกำเนิดแรงดันขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดแรงดันอาจมีแรงดันไม่คงที่ ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่จะต้องมีส่วนควบคุมแรงดันให้คงที่ เรียกว่า วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator) ถ้าหากวงจรรักษาระดับแรงดันเสีย อาจทำให้แบตเตอรี่รับแรงดันไม่ถูกต้องอาจเกิดความเสียหายได้ โดยการชาร์จแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่ควรคู่มือว่าแบตเตอรี่นั้นแรงดันเท่าไร

2.4.3 การชาร์จโดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapped current charging)

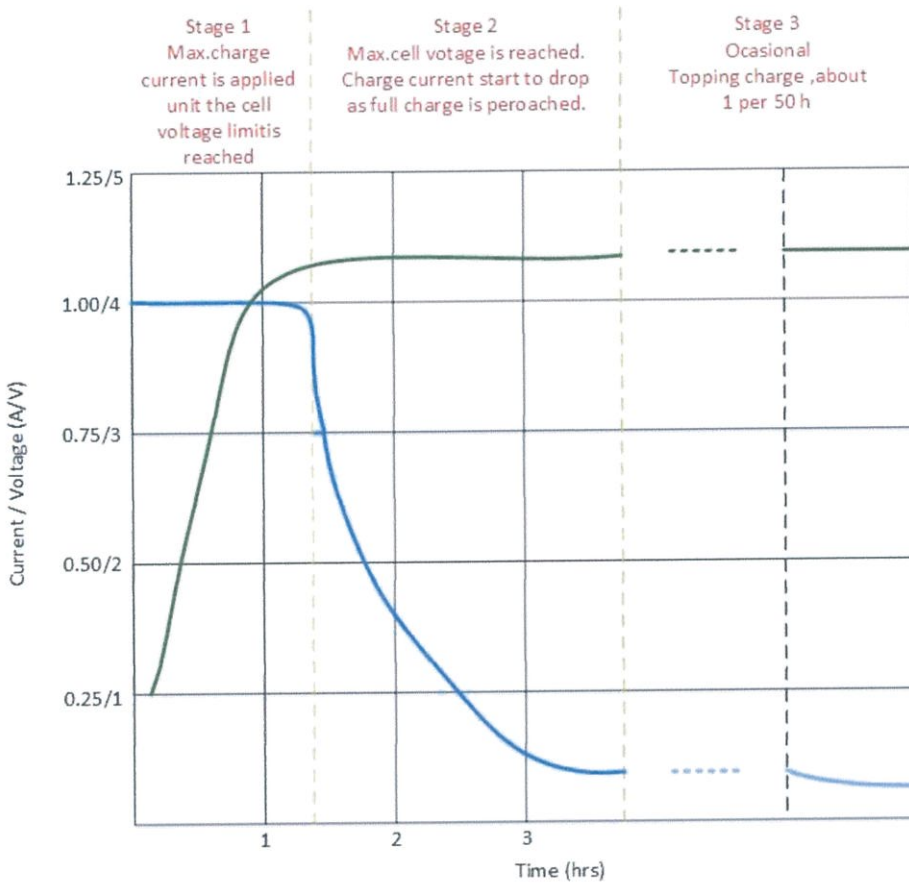
เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ไม่ซับซ้อนเกินไป และมีราคาถูกอีกด้วย วงจรชาร์จ ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรียงกระแส และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัด กระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะในการชาร์จแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้ชาร์จจะกระเพื่อม ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่สามารถลดผลอันนี้ได้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มี แรงดันต้านทานหุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับกระแส การใช้ข้อนี้ สามารถใช้แทนการชาร์จแบบกระแสคงที่ได้

2.4.4 การชาร์จด้วยกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (Constant current – Constant voltage)

วิธีนี้บางที่เรียกว่า Two-step หรือ Two-rate เกิดจากการรวม 2 วิธี คือการชาร์จแบบ กระแสคงที่กับการชาร์จแบบแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยกระบวนการชาร์จ จะแบ่งเป็น 2 ระยะ

ระยะที่ 1 : การชาร์จด้วยกระแสเต็มที่(current limit) จนเซลล์แบตเตอรี่ได้ความต่าง ศักย์ที่กำหนดไว้ (เกือบเต็ม) ระยะนี้เหมือนเป็นการชาร์จในอัตราเร่ง ดังภาพที่ 2.4

ระยะที่ 2 : การชาร์จให้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ถึงระดับความต่างศักย์สูงสุด (maximum voltage limit) จะคล้ายๆกับการค่อยๆเติมประจุ ในระยะนี้กระแสที่ไหลเข้าเซลล์จะลดลง



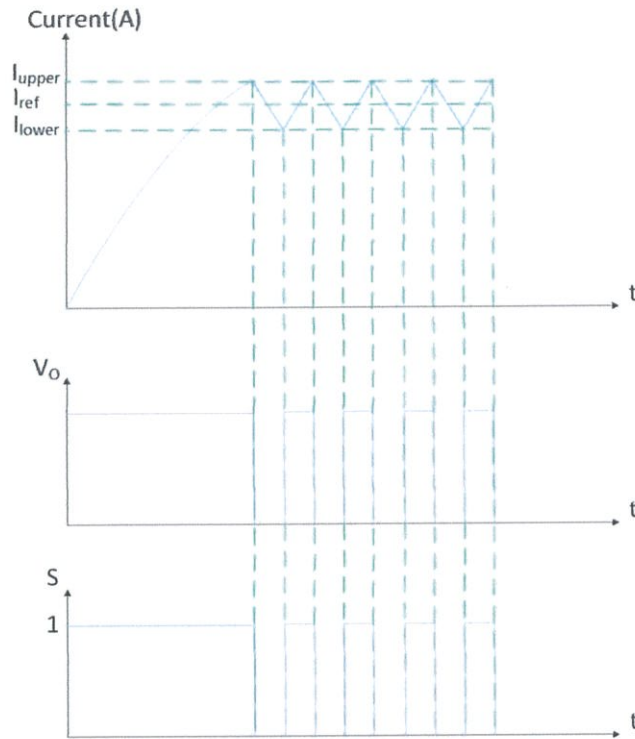
รูปที่ 2.4 กระบวนการชาร์จด้วยวิธีกระแสคงที่และแรงดันคงที่

2.4.5 การควบคุมการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

การชาร์จแบตเตอรี่จะทำการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยจำกัดกระแสชาร์จไว้ที่ 5 แอมป์ โดยใช้วงจรถับคอนเวอร์เตอร์ในการชาร์จ จะควบคุมให้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ ใช้เทคนิคการกำหนดขอบเขต (Tolerance band control , Hysteresis band control)

การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยมีการกำหนดขอบเขต

การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยกำหนดขอบเขตจะใช้ความผิดพลาดของสัญญาณกระแสไฟฟ้า (error) บังคับให้ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ ซึ่งความถี่สวิตชิ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของ ΔI_L รวมถึงค่าพารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ การควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยมีการกำหนดขอบเขตจะใช้ได้ในโหมดของกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง



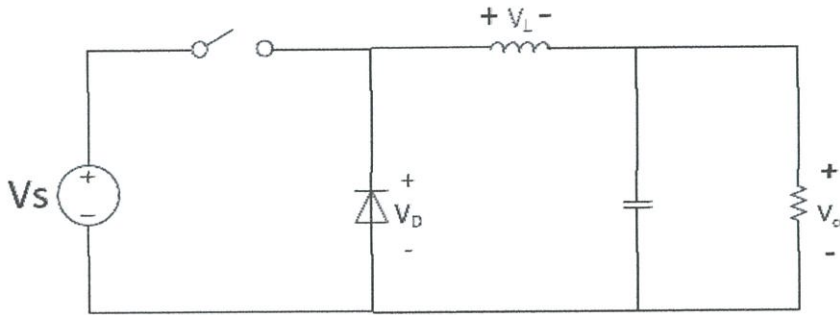
รูปที่ 2.5 สัญญาณการสวิตซ์ที่ได้จากฮิสเตอร์รีซิส

จากรูปที่ 2.5 แสดงถึงการทำงานของฮิสเตอร์รีซิส โดยช่วงแรกกระแสไหลจะขึ้นไป กระแสอ้างอิงที่ตั้งไว้ แต่เมื่อใดที่กระแสไหลสูงกว่ากระแสอ้างอิงจนถึงขอบบนของฮิสเตอร์รีซิส ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ ที่เอาต์พุตฮิสเตอร์รีซิส ในทางกลับกันเมื่อใดที่กระแสไหลต่ำกว่ากระแสอ้างอิงจนถึงขอบล่างของฮิสเตอร์รีซิส จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบวกที่เอาต์พุตของฮิสเตอร์รีซิสและนำสัญญาณนี้ไปขับสวิตซ์

2.5 วงจรสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่

2.5.1 วงจรลดทอนระดับแรงดัน (Buck converter)

วงจรทอนระดับแรงดันหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.6 คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้านำเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้านำอินพุต และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้านำเอาต์พุตที่มีกระแสสูงซึ่งเป็นกระแสตรง มีการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) เพราะมี อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนรบกวนผกผันกับกำลังสองของความถี่ เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่ได้อย่างเดียว ไม่สามารถจ่ายกลับได้ สามารถใช้กับวิธีการชาร์จได้ 3 แบบ คือ ควบคุมกระแสคงที่ ควบคุมแรงดันคงที่ และควบคุมกระแสคงที่และแรงดันคงที่



รูปที่ 2.6 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

เงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในช่วงที่เป็นสภาวะอยู่ตัว (Steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

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

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

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

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_c = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_c(t) dt \quad (2.7)$$

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังด้านออก

$$P_s = P_o \quad (2.8)$$

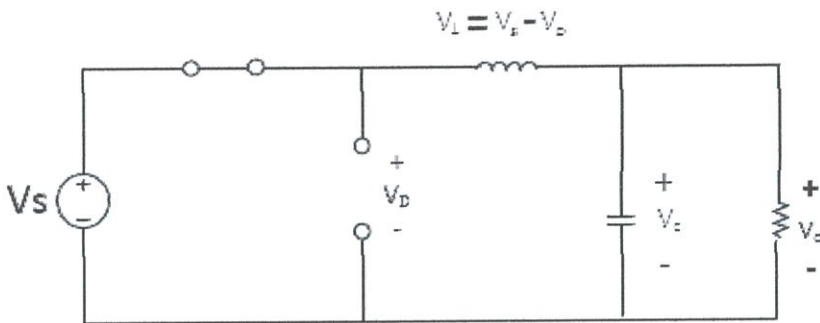
กรณีนี้กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติทำให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร ประสิทธิภาพของวงจรจึงเท่ากับ 100%

หลักการทํางานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

หลักการทํางานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ จะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตได้ ตามที่ต้องการคือต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ 2.12 การวิเคราะห์การทํางานของสวิตซ์ในแต่ละโหมด จะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัวดังนี้

ขณะสวิตซ์นำกระแส

จากรูปที่ 2.7 กระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตซ์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด จากกฎของเคอร์ชอฟสามารถเขียนเป็นสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ ดังนี้



รูปที่ 2.7 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตซ์นำกระแส

$$V_L = V_s - V_o \quad (2.9)$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.10)$$

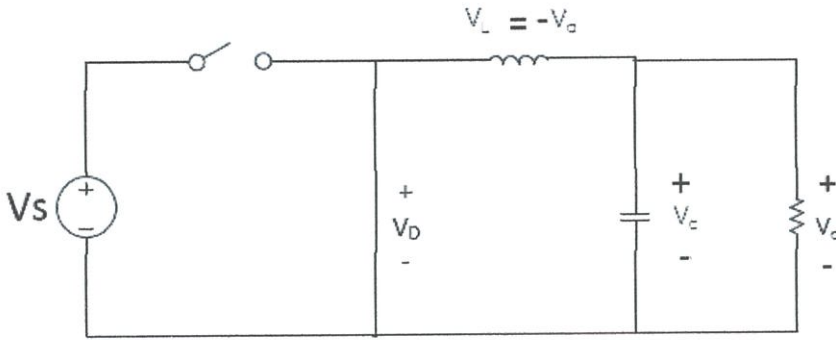
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.11)$$

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.12)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

จากรูปที่ 2.8 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.8 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.13)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = -\frac{V_o}{L} \quad (2.14)$$

ความหมายของสมการที่ (2.14) คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ มีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

dt ในกรณีอยู่ช่วงเวลาที่หยุดนำกระแสคือ $dt = (1 - D)T$ ดังนั้นจากสมการที่ (2.14) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.15)$$

เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงสุทธิของกระแส i_L ใน 1 คาบเวลา การสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.16)$$

แทนสมการที่ (2.12) และ (2.15) ลงในสมการที่ (2.16) จะได้

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.17)$$

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

จากสมการที่ (2.18) จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับค่า แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตและค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle: D) โดยแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตเสมอ เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงที่ ค่ากระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเฉลี่ย (I_c) ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์ (T) มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ย (I_L) จะเท่ากับ ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเฉลี่ย (i_o) ดังนั้นจะได้ว่า

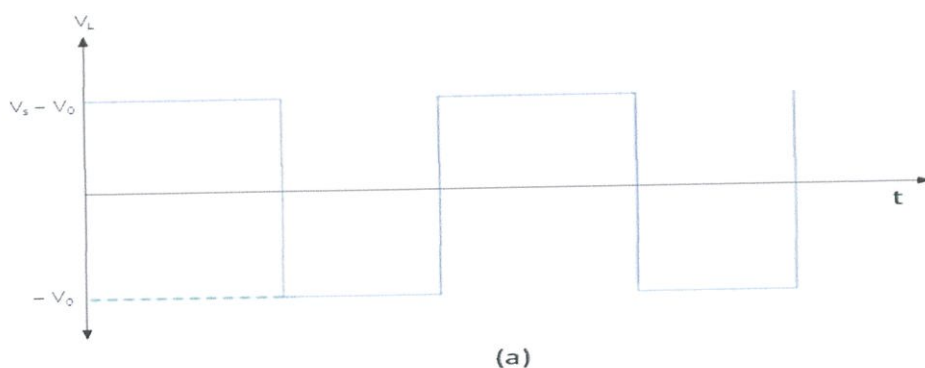
$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.19)$$

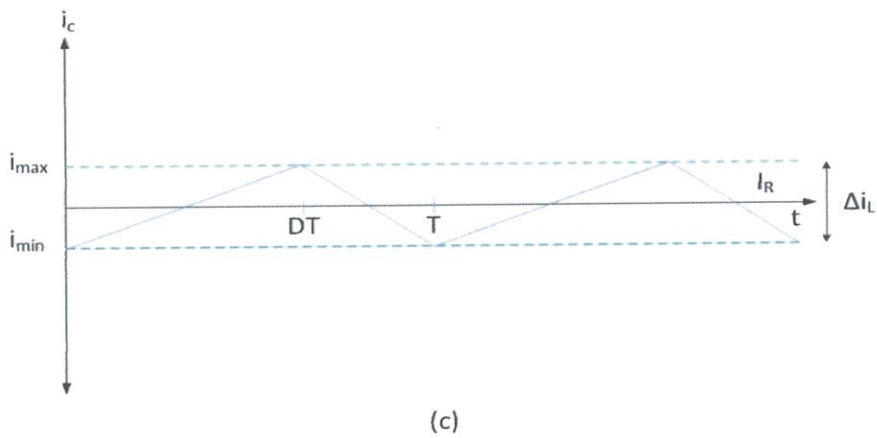
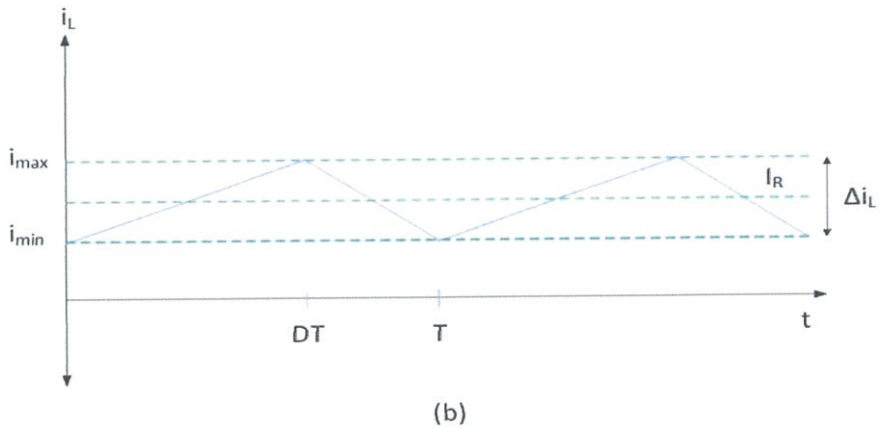
การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ (2.12) และ (2.15) ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำคือ

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.20)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D) \right] \quad (2.21)$$

$$\therefore I_{L,max} = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.22)$$





รูปที่ 2.9 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

- (a) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ
- (b) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
- (c) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_L = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.23)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.24)$$

$$I_L = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.25)$$

จากสมการที่ (2.25) หาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด (L_{\min}) ที่ยังคงทำให้วงจรบิ๊คคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมด Constant current mode โดยกำหนดให้ $I_{L,\min}$ มีค่าเท่ากับศูนย์

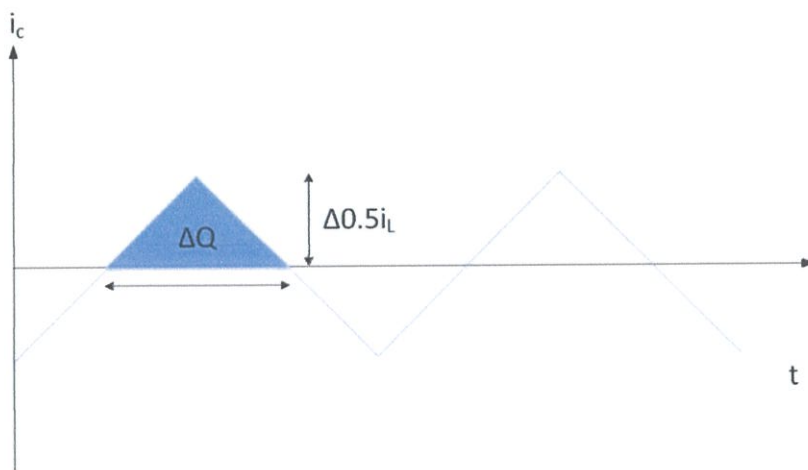
$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (2.26)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานของโหลด

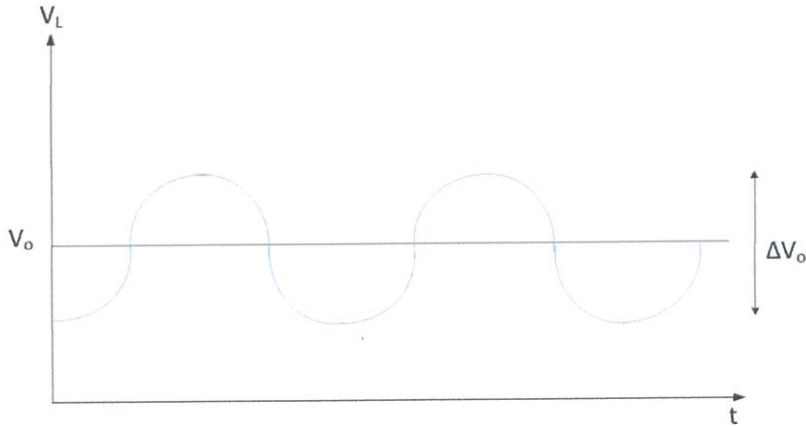
ค่าอัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

สำหรับการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันด้านเอาต์พุตสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 2.10 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$i_c = i_L - i_R \quad (2.27)$$



(a)



(b)

รูปที่ 2.10 รูปคลื่นการทำงานของวงจรถักคอนเวอร์เตอร์

(a) กระแสตัวเก็บประจุ

(b) ระลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวกซึ่งช่วงเวลาดังกล่าว ตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณจาก

$$Q = CV_o \quad (2.28)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_o \quad (2.29)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.30)$$

โดยที่ ΔQ คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

ΔV คือ ค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่เปลี่ยนแปลงน้อยระหว่างยอดถึงยอด

หาค่า ΔQ ได้จากพื้นที่แรงในรูปที่ ดังสมการ 2.31

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad (2.31)$$

$$\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} \quad (2.32)$$

จากสมการที่ (2.15) แทนค่า $\Delta i_{L,off}$ ลงในสมการที่ 2.32 จะได้ว่า

$$\Delta V_o = \left(\frac{T}{8C}\right)\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.33)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \left(\frac{T}{8C}\right)\left(\frac{1}{L}\right)(1-D)T \quad (2.34)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \left(\frac{T^2}{8C}\right)\left(\frac{1}{L}\right)(1-D) \quad (2.35)$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.36)$$

การควบคุมการทำงานของวงจร ดิซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

วงจรดิซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้าและควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าในการถ่ายโอนพลังงาน โดยวงจรจะประกอบไปด้วย ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และสวิตช์ เมื่อเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่สวิตช์ จะทำหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมแก่การนำไปใช้ชาร์จแบตเตอรี่โดยในช่วงการชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ และจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้มีปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่สามารถจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าได้ในปริมาณที่กำหนดไว้ โดยปริมาณแรงดันไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามค่าตัวดีไอเคิลที่จ่ายให้แก่สวิตช์ ซึ่งค่าตัวดีไอเคิลของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.37

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (2.37)$$

และสามารถคำนวณขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้วงจรสามารถทำงานได้แบบกระแสต่อเนื่องในการทำงานแบบบัคคอนเวอร์เตอร์ได้จากสมการที่ 2.38

$$L_{min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (2.38)$$

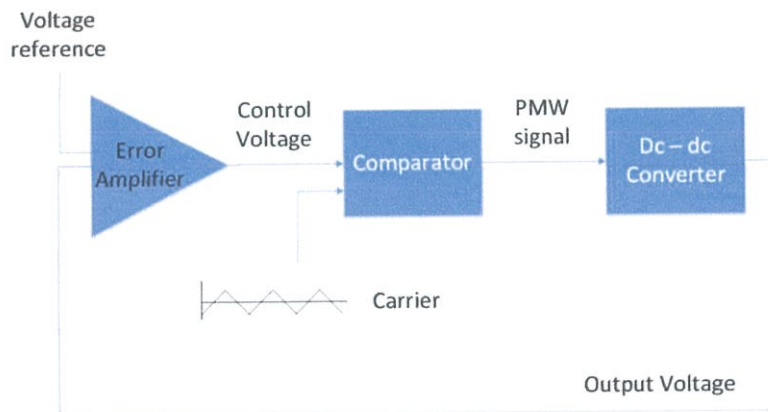
และสามารถหาค่าตัวเก็บประจุสำหรับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ได้จากสมการที่ 2.39

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (2.39)$$

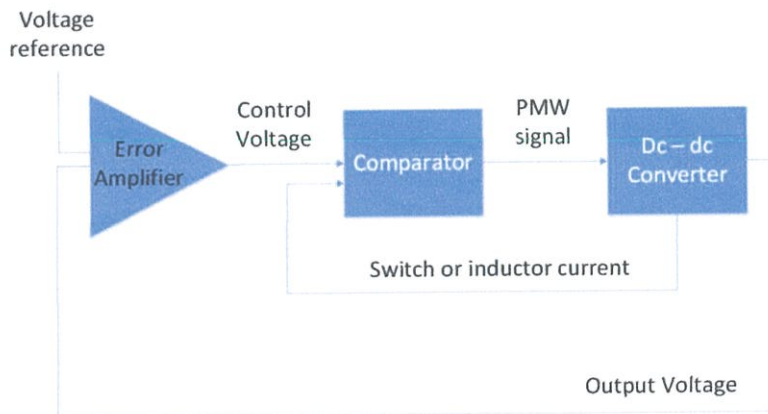
โดยที่ L_{min} คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำที่ต่ำที่สุด

D คือ ค่าตัวดีไอเคิล

- f คือ ความถี่สวิตซ์ซิ่ง
- V_s คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุท
- V_o คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท
- I_o คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
- ΔV_o คือ อัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท



(a)



(b)

รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมควบคุมวงจรถีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

(a) โหมดควบคุมแรงดัน (b) โหมดควบคุมกระแส

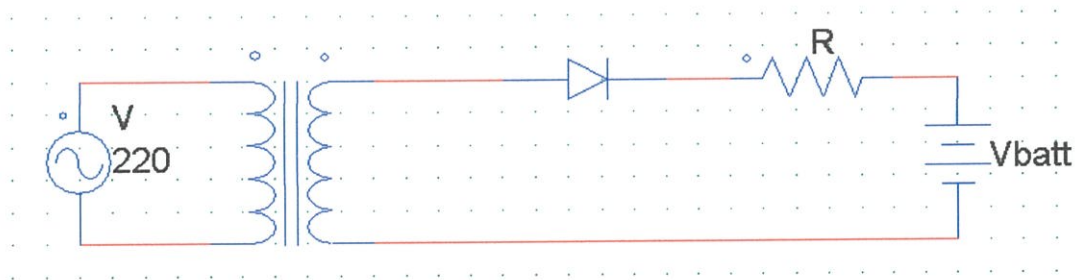
จากรูปที่ 2.11 (a) อัตราขยายของค่าผิดพลาดจะส่งผลต่อแรงดันเอาต์พุตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการควบคุมแรงดันจะต้องเหมาะสมกับโหลด ในการควบคุมแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับการหาค่าตัวรีเซ็ต โดยแรงดันอ้างอิงที่ป้อนเข้าจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิงหรือมีค่าความผิดพลาดเข้าใกล้ศูนย์

การควบคุมกระแสจะมีการเพิ่ม loop เข้ามาดังรูปที่ 2.11 (b) เพื่อจะได้มีการป้อนกลับของกระแส เมื่อป้อนกลับมาแล้วจะต้องเปลี่ยนจากกระแสเป็นแรงดัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับลูกคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อนำมาปรับปรุงค่าของตัวรีเซ็ต

2.5.2 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นนี้ เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.12 โดยประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านไดโอดแปลงแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ ในวงจรจะมีตัวต้านทานมาต่ออนุกรมไว้เพื่อเป็นตัวจำกัดกระแสไม่ให้กระแสที่ใช้ในการชาร์จมีค่ามาก อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้

สำหรับวงจรแบบนี้มีข้อดี คือ เป็นวงจรที่สร้างได้ง่าย อีกทั้งยังต้นทุนต่ำ แต่ประสิทธิภาพสูงและมีกระแสกระเพื่อมต่ำ



รูปที่ 2.12 วงจรชาร์จที่ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่น

บทที่ 3

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 บทนำ

สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งช่วยในการจำลองการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีทั้งการชาร์จแบบแรงดันคงที่และแบบจำกัดกระแส โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0 เพื่อตรวจสอบการทำงานในสภาวะต่างๆ และหาค่าพารามิเตอร์ของวงจร ก่อนที่จะนำไปสร้างเครื่องต้นแบบชิ้นงานจริง เพื่อที่จะทำการทดลอง บันทึกผล และนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากชิ้นงานจริง เป็นการศึกษาการทำงานของวงจรในขณะที่ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเทคนิคการชาร์จแบบกระแสคงที่ร่วมกับแรงดันคงที่โดยจำกัดกระแสไม่ให้เกิน 5A โดยที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะชาร์จ 72 V จากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เพื่อเป็นการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0 ซึ่งจะเป็นเครื่องยืนยันแนวความคิดให้ถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎีและเป็นแนวทางการดำเนินก่อนที่จะไปทำการจัดสร้างเครื่องต้นแบบชิ้นงานจริงต่อไป

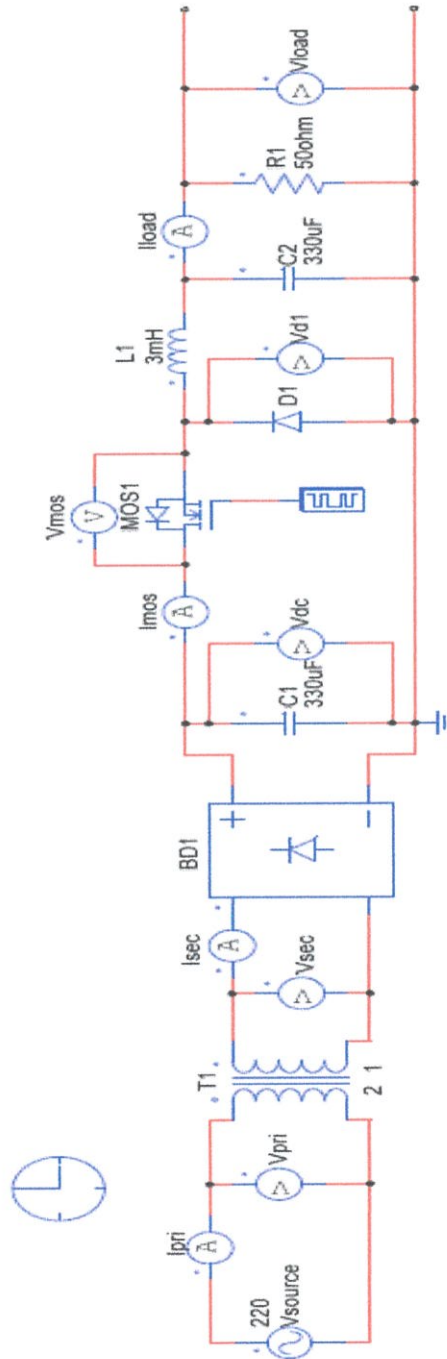
การชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Constant Voltage with Current Limit Mode By Buck Converter)

1. เพื่อศึกษาอัตราการลือกคลื่นของกระแสและแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะแรงดันและกระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่

3.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3.1 การชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์แสดง

ดังรูป 3.1

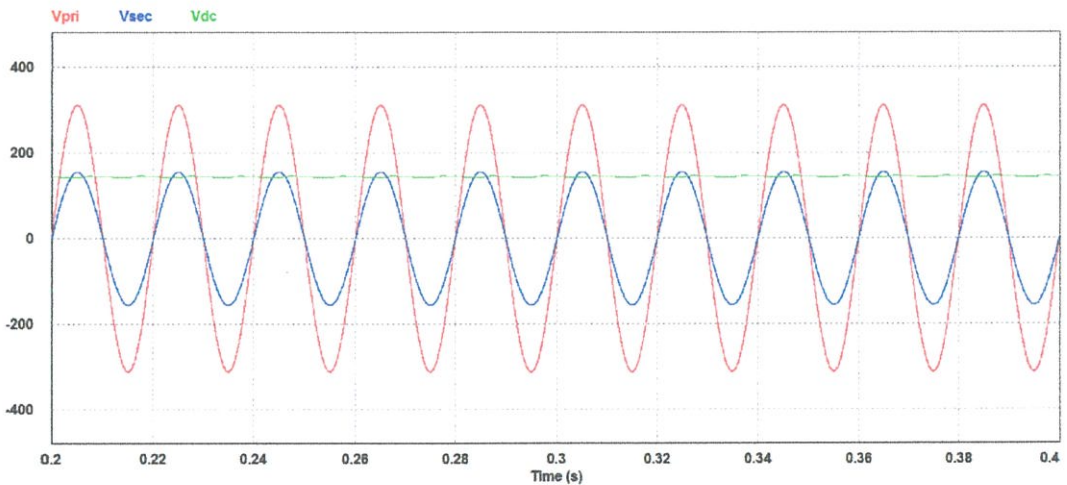


รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

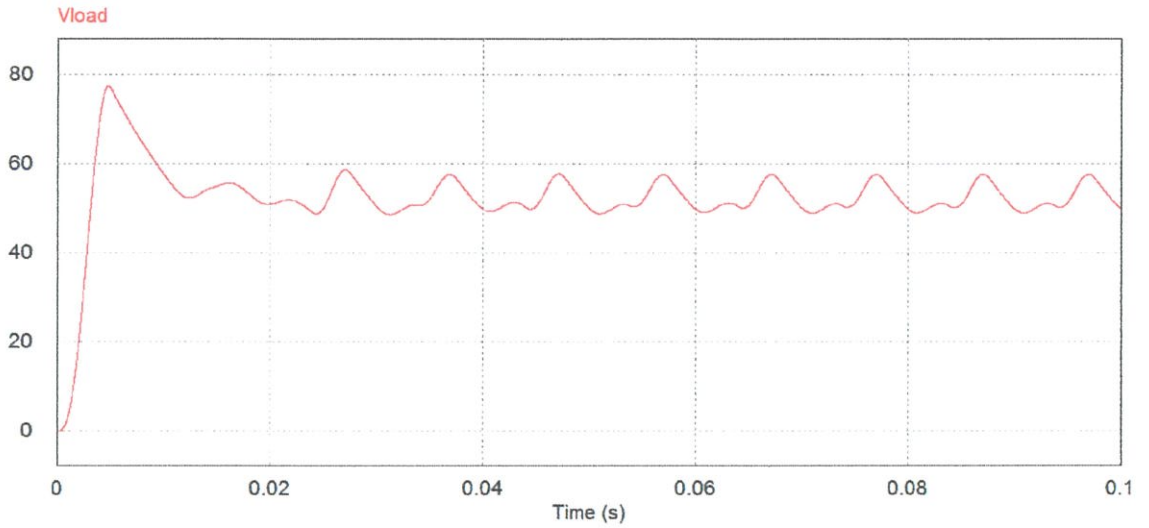
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานในโหมดชาร์จด้วยแรงดันคงที่แบบจำกัดกระแสชาร์จ

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความถี่ในการสวิตช์	20kHz
หม้อแปลงไฟฟ้า	220/110 (2:1)
C_1	330 μ F
C_2	330 μ F
L_1	330 μ H

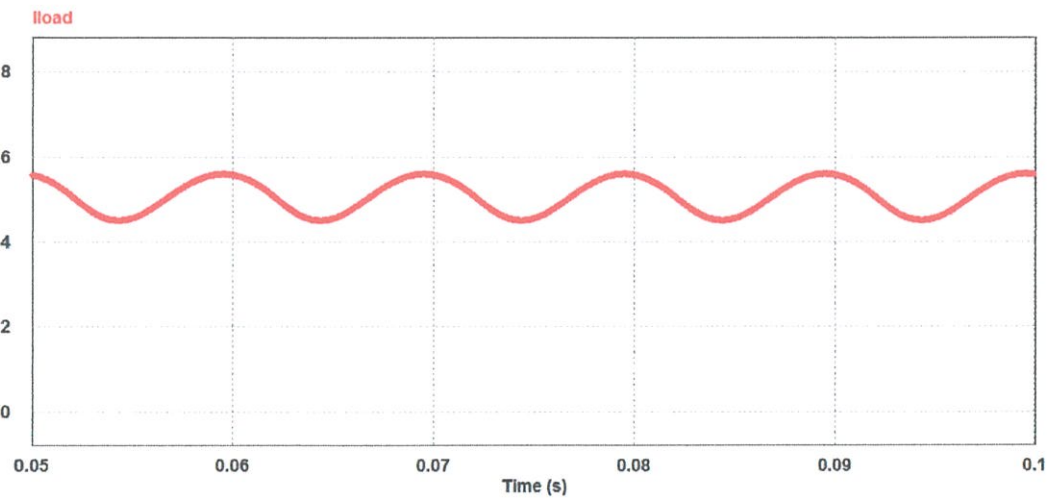
ในการจำลองการทำงานของวงจรในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยการทำการรับไฟจากการไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าลดระดับแรงดันลงมา แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตีซีลิงค์ จากนั้นทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ตีซีลิงค์ลงมาให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยบัคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณ 72 โวลต์ โดยที่ส่วนประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรที่ใช้ในการจำลองโปรแกรมเป็นไปดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แรงดันปฐมภูมิ(สีแดง) แรงดันทุติยภูมิ(สีน้ำเงิน) และแรงดันตีซี(สีเขียว)



รูปที่ 3.3 อัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 3.4 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด

การจำลองการชาร์จแบตเตอรี่จะจำลองให้รับไฟจากการไฟฟ้าเพื่อชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ขนาด 65 โวลต์ รูปที่ 3.2 แสดงรูปสัญญาณแรงดันด้านขาเข้าของหม้อแปลง ด้านขาออกของหม้อแปลง และ สัญญาณแรงดันที่โหลด รูปที่ 3.3 แสดงอัตราระลอกคลื่นที่แรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่รูปที่ 3.4 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ดีซิงค์เทียบกับแรงดันไฟฟ้า ที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ

ที่ตีซีลิงค์ใน ช่วงแรกจะเกิดเป็นลักษณะแรงดันเกินไป (Overshoot) แล้วลดระดับลงมาเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งเกิดจากผลของตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ที่ตีซีลิงค์ เมื่อผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดระดับแรงดันจากตีซีลิงค์ลงมา จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เท่ากับ 72 โวลต์ สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 65 โวลต์ เมื่อทำการขยายสัญญาณแรงดันที่ชาร์จแบตเตอรี่ออกมาเพื่อดูการกระเพื่อมของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.4 พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราระลอกคลื่นของแรงดัน

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (3.1)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-0.46}{8 \times 300 \times 10^{-6} \times 330 \times 10^{-6} \times (20 \times 10^3)^2} \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.0017\% \quad (3.3)$$

จะได้ว่า อัตราระลอกคลื่นของแรงดันมีค่าเท่ากับ 0.0017 %

รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากพื้นที่ทางด้านซีกบวกและซีกลบของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นผลคูณระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบมีค่าเท่ากัน นั่นหมายความว่าเมื่อทำการหาผลรวมแล้วจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากันและมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่าวงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานอยู่ในโหมดกระแสต่อเนื่อง ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือประจุที่ถูกสะสมและคายออกมาของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

จากการจำลองการทำงานของโปรแกรม Psim ซึ่งเป็นการชาร์จแบบแรงดันคงที่และจำกัดกระแส โดยแบตเตอรี่ มีแรงดันที่ ขั้ว 55 V แต่ทำการชาร์จที่ 72 V โดยรับจากไฟบ้าน ผ่านหม้อแปลงลดระดับแรงดันลงมาที่ 110 V และผ่านวงจร ฟลูบริดจ์เรกติไฟล์ เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟตรง จะได้แรงดัน 155V จากนั้นผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เพื่อลดทอนแรงดันให้เหลือ 72 V สำหรับใช้ในการชาร์จ

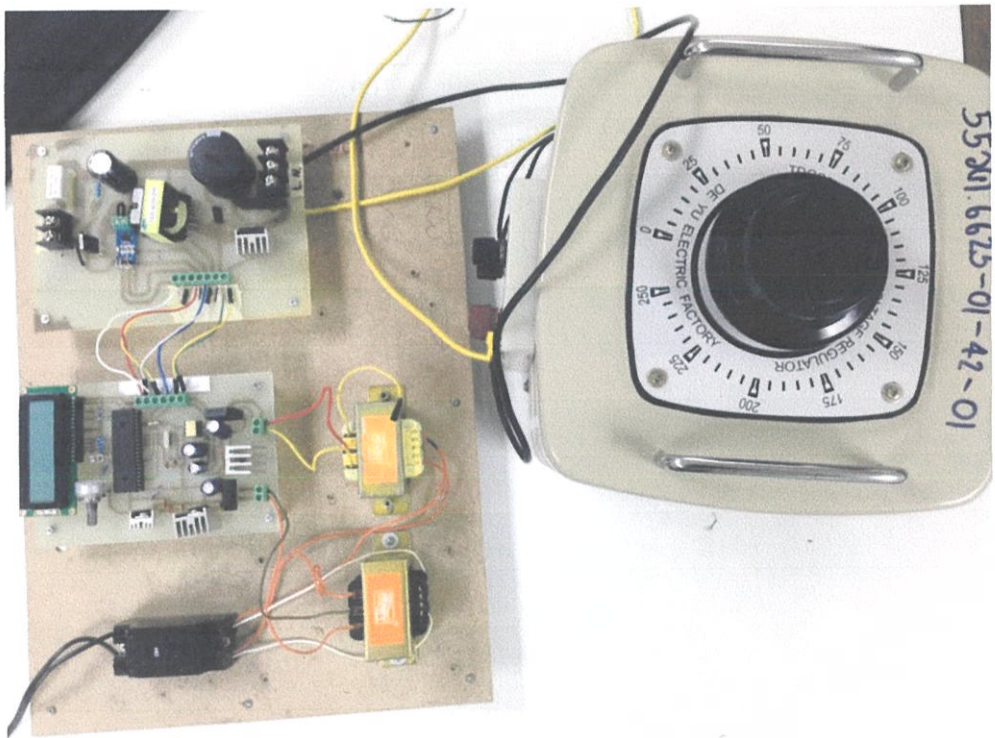
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

4.1 บทนำ

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า จะอาศัยหลักการทำงานของวงจรลดทอนแรงดันแบบบิโคมคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานและโครงสร้างโดยรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่จะนำมาประกอบรวมกัน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ ซึ่งจะประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักๆสองส่วน คือ ส่วนของวงจรกำลัง และส่วนของวงจรควบคุมที่มีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 การออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่

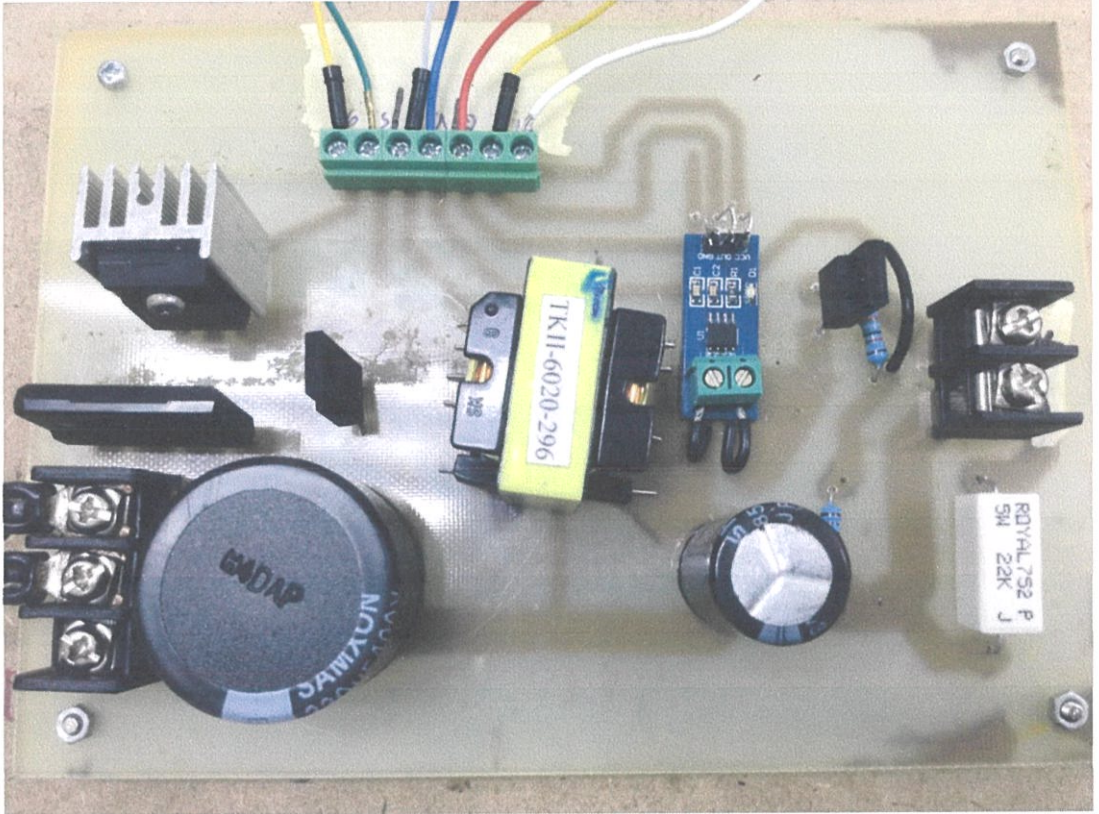
วงจรชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ เป็นดังนี้



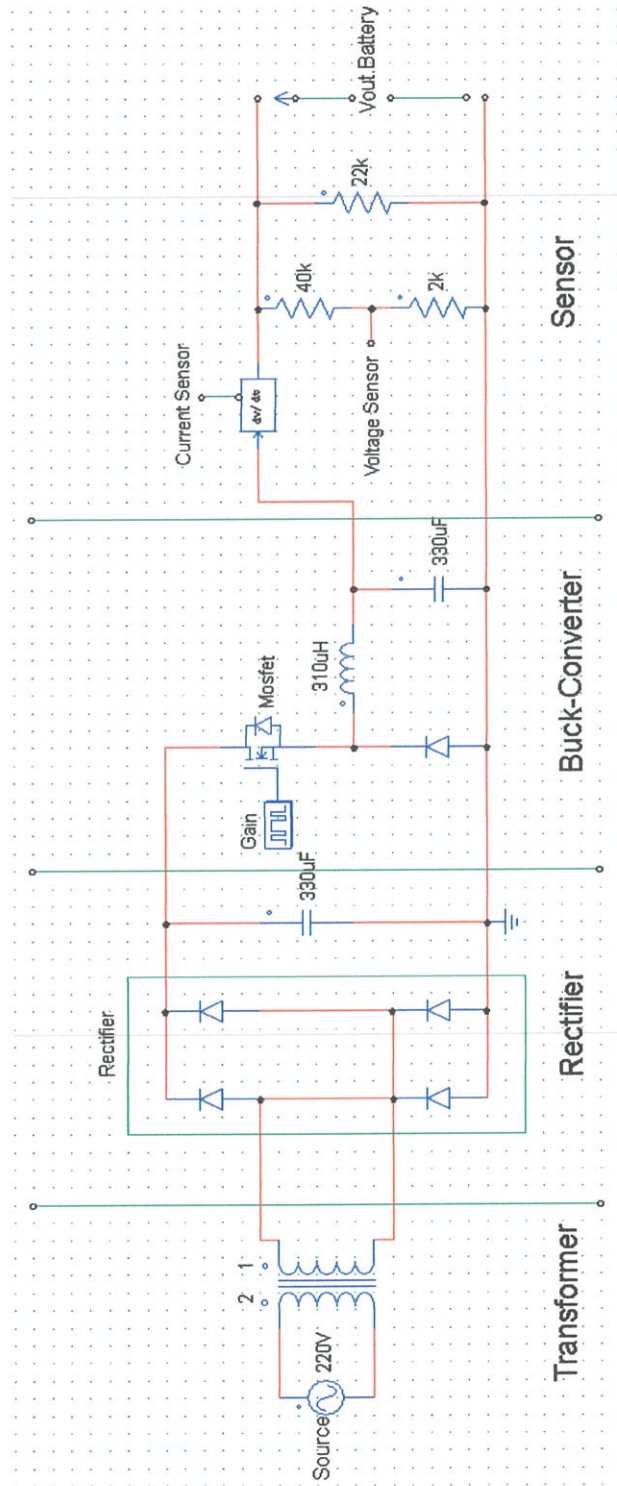
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

4.2.1 การออกแบบวงจรกำลัง

วงจรกำลังเป็นวงจรที่เปลี่ยนพลังงานจากแหล่งจ่ายเข้าสู่ตู้แบตเตอรี่



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรกำลัง



รูปที่ 4.3 วงจรกำลังจำลองจากโปรแกรม Psim

4.2.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรกำลัง

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่รับจากแหล่งจ่ายมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกิน อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในวงจรไม่สามารถทนรับแรงดันไฟฟ้าที่สูงได้ และการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำได้ยาก จึงต้องมีการลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า ใช้อัตราส่วน 2 : 1 ซึ่งจะแปลงแรงดันไฟฟ้าลงจาก 220 โวลต์ เป็น 110 โวลต์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้วาริแอกที่สามารถปรับค่าได้ตามอัตราส่วนลดลงของแรงดันไฟฟ้าได้เหมือนกันกับหม้อแปลงไฟฟ้าจึงใช้ในการวิจัยนี้เปรียบเสมือนหม้อแปลงโดยปรับค่าวาริแอกให้มีอัตราส่วนอยู่ 2 : 1 ของแรงดันไฟฟ้า

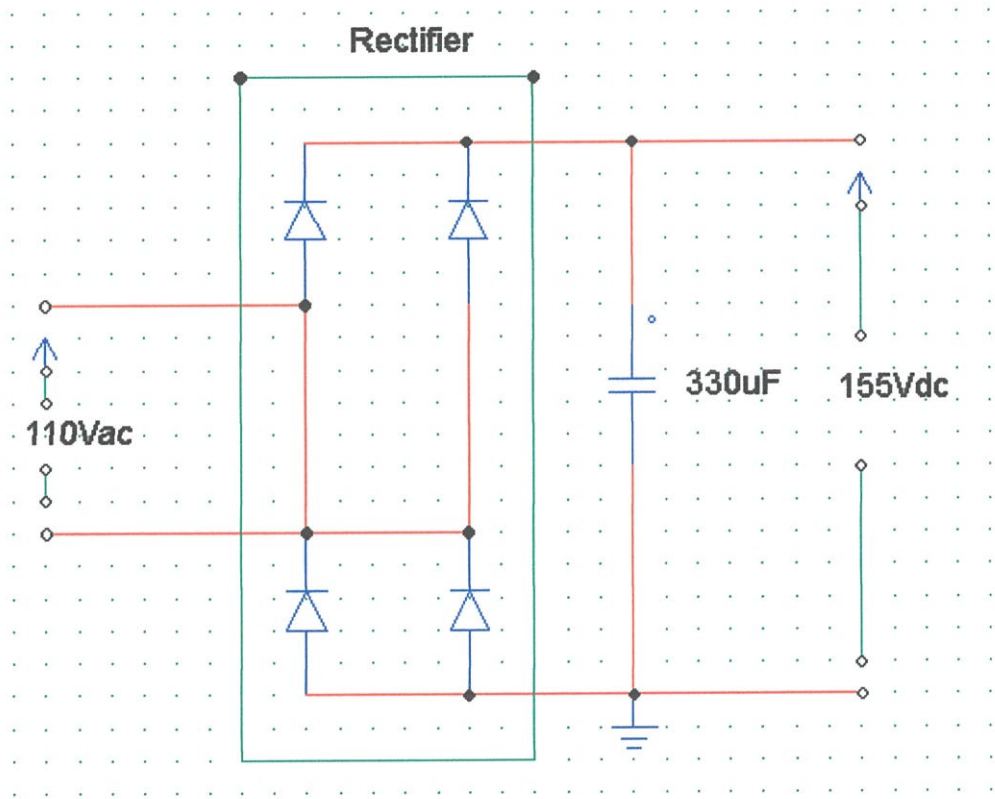


รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวาริแอก

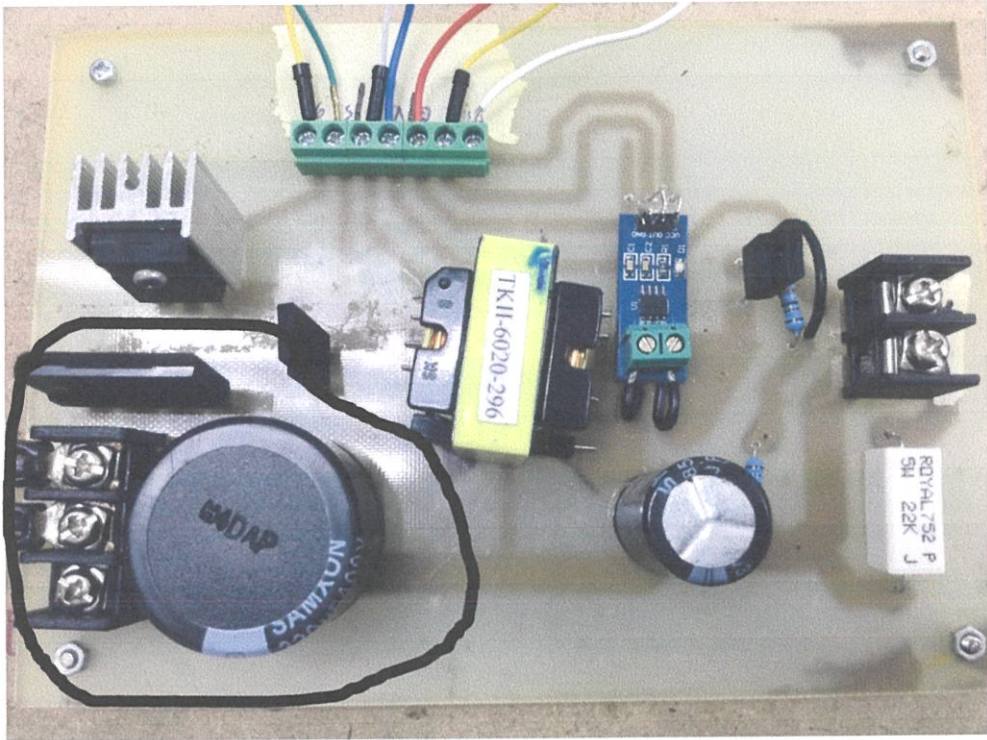
4.2.1.2 วงจรเรียงกระแสของวงจรกำลัง

วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่

วงจรเรียงกระแสที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นดังนี้



รูปที่ 4.5 วงจรเรียงกระแสของวงจรกำลังจำลองจากโปรแกรม Psim

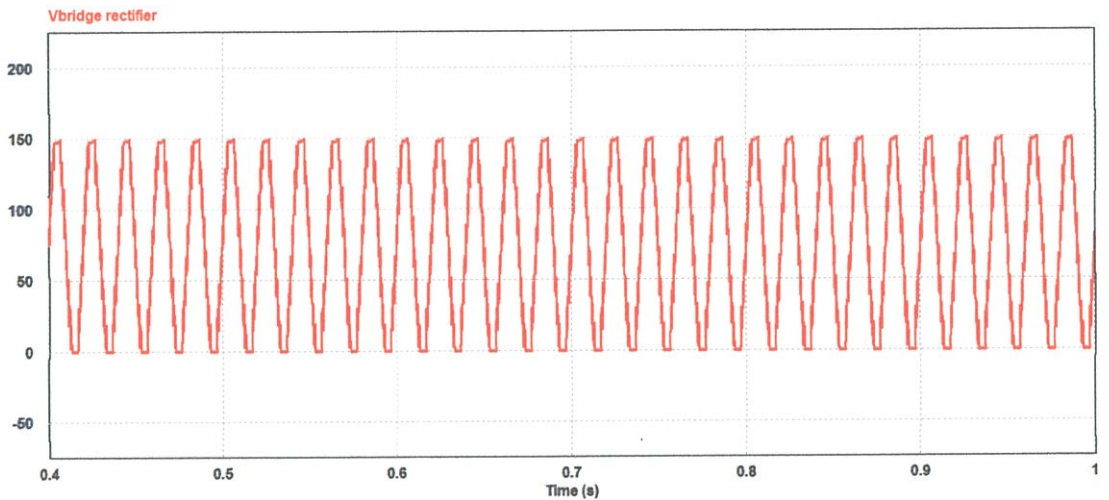


รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรเรียงกระแสของวงจรกำลัง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ซิลิคอนบริดจ์เรกติไฟล์ RBV2500D - RBV2510D ดังรูปที่ 4.7 เป็นอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า ทำหน้าที่เหมือนวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 155 โวลต์ แต่มีระลอกคลื่นไม่เรียบ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ซิลิคอนบริดจ์เรกติไฟล์ RBV2506D



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงระลอกคลื่น

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ ดังรูปที่ 4.9 ในการช่วยลดระลอกคลื่นจากบริดจ์เรกติไฟล์ ให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ ซึ่งจะต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดที่มากพอสำหรับการลดระลอกคลื่นที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 155 โวลต์ โดยขนาดที่ยิ่งใหญ่ทำให้ขนาดแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่และเรียบมากขึ้น

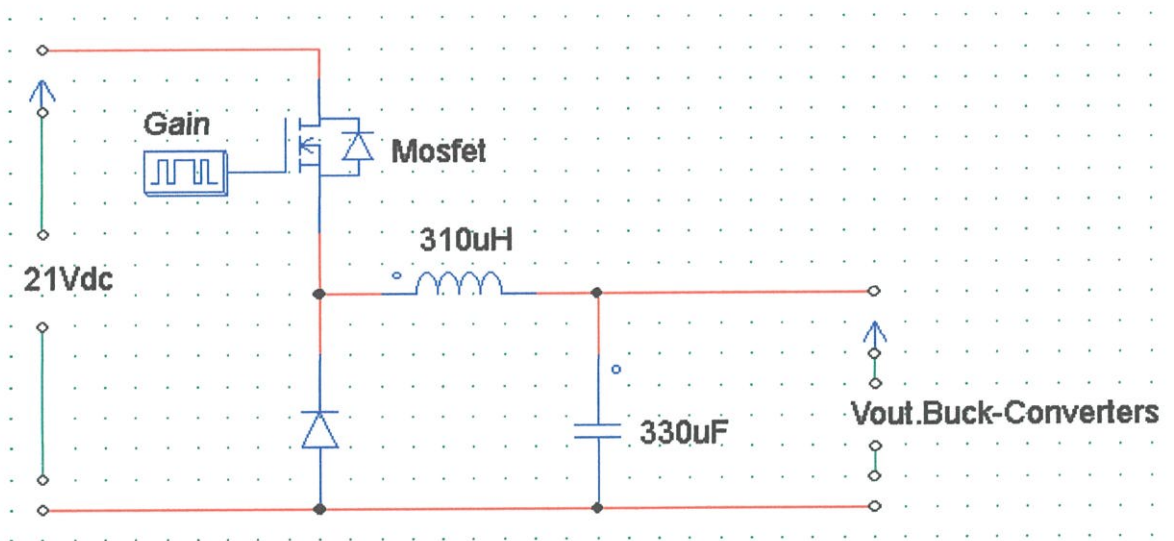


รูปที่ 4.9 ตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด

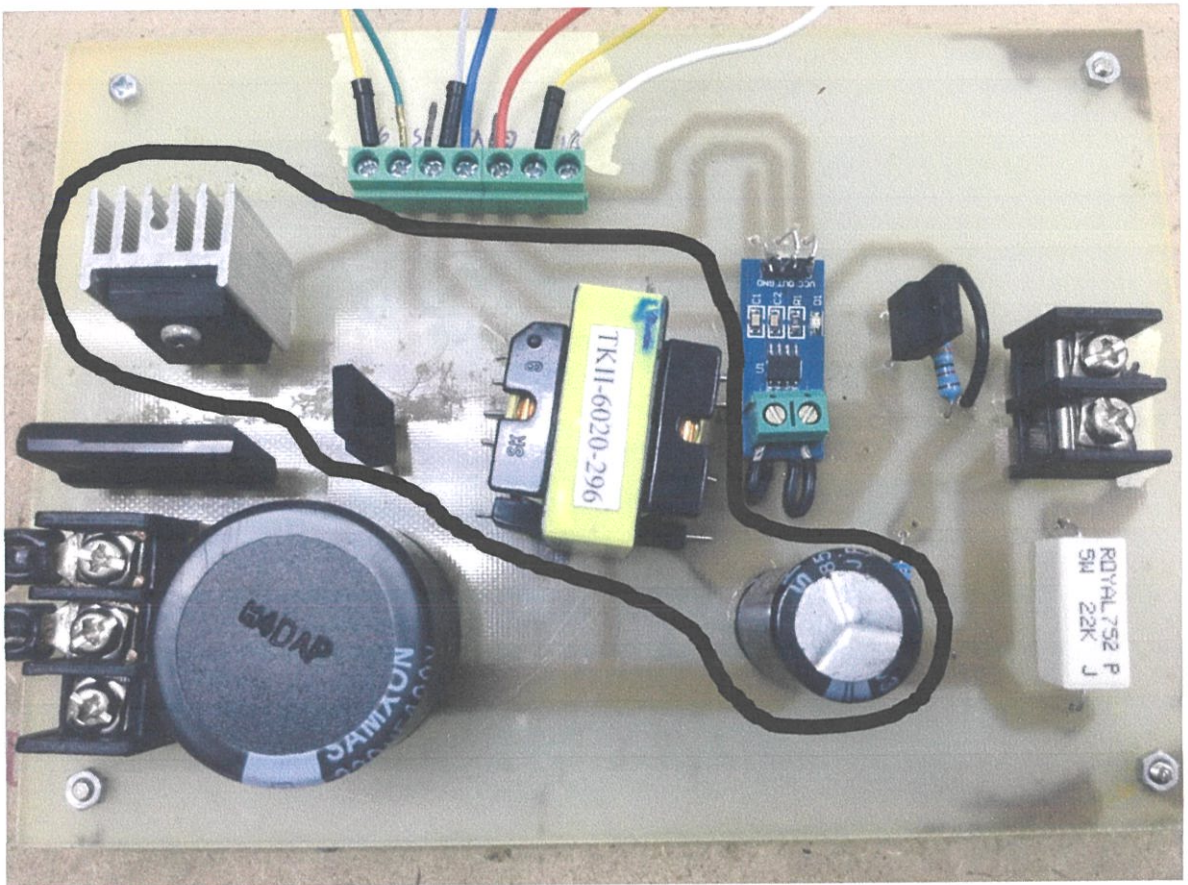
4.2.1.3 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรลดระดับแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ ใช้ในการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงในระดับต่างๆด้วยการเปิด-ปิดสวิทช์ของมอสเฟตจากสัญญาณขับของไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นดังนี้

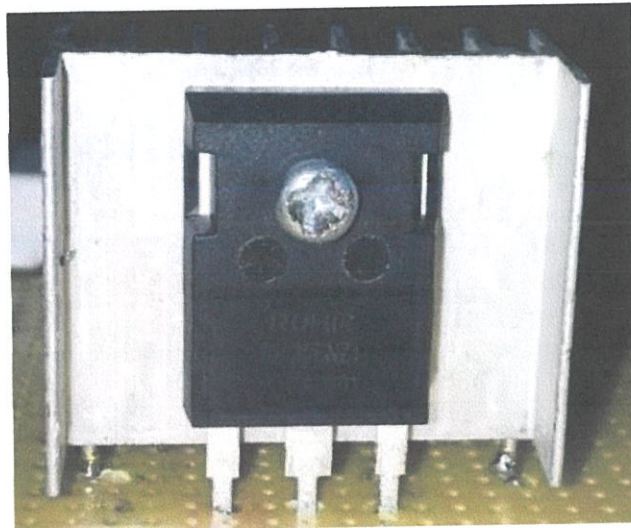


รูปที่ 4.10 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์



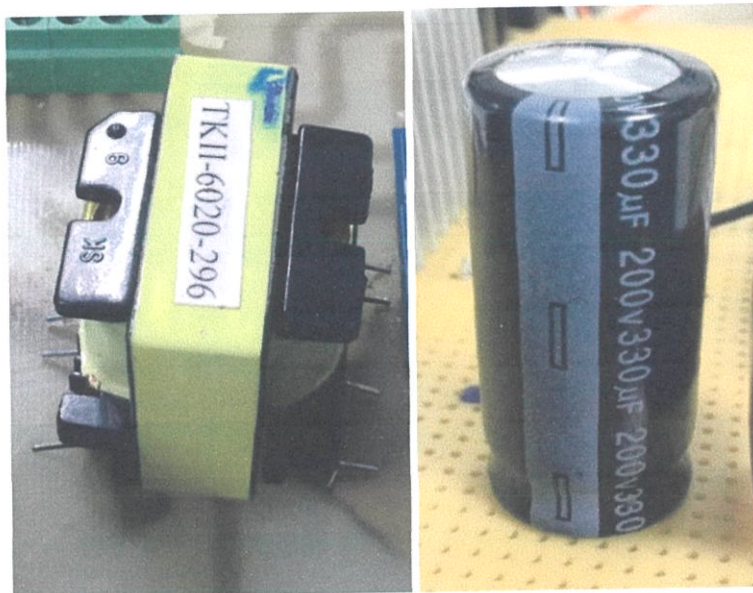
รูปที่ 4.11 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

งานวิจัยนี้เลือกใช้สวิตช์มอสเฟตเบอร์ R6030ENZ1 ดังรูปที่ 4.12 ใช้ในการควบคุมระดับแรงฟ้าด้านเอาต์พุท โดยจะถูกขับด้วยสัญญาณข้บเกิดของ TLP 250 ที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะสัญญาณแรงดันเอาต์พุทที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นไม่สามารถขับเกิดมอสเฟตโดยตรงได้ เนื่องจากเอาต์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์มีแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 5 โวลต์ ซึ่งไม่สามารถใช้ขับมอสเฟตได้ จึงจำเป็นต้องใช้ TLP 250 ทำการขับสวิตช์มอสเฟต เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 5 โวลต์ ให้มีค่ามากกว่า 10 โวลต์ เพื่อใช้ในการขับสวิตช์มอสเฟส



รูปที่ 4.12 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของมอสเฟต R6030ENZ1

งานวิจัยนี้ใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 310 ไมโครเฮนรี่ และตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด 200 โวลต์ เพื่อให้พารามิเตอร์ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้แรงดันด้านเอาต์พุต ออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจากการเปิด-ปิดของมอสเฟส และการไหลวนของไดโอดเมื่อมอสเฟสทำงาน ในช่วงไม่นำกระแส



รูปที่ 4.13 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของตัวเหนี่ยวนำขนาด 310 ไมโครเฮนรี่ และตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด

ค่าขนาดตัวเหนี่ยวนำคำนวณจาก

การคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ช่วงของแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

1. ช่วงแรกจะคำนวณดีวีทีไอเคิลของแบตเตอรี่ขณะเริ่มชาร์จ แรงดันที่ขั้วเท่ากับ 55 V

$$\text{จาก} \quad D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (4.1)$$

$$D = \frac{55V}{155V}$$

$$D = 0.354$$

ดังนั้นจะได้ ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ำสุด L_{\min}

$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o} \quad (4.2)$$

$$L_{\min} = \frac{(1-0.354)}{2 \times (22 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{72V}{4A}$$

$$L_{\min} = 264 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

2. ช่วงที่สองจะคำนวณดีวีทีไอเคิลของแบตเตอรี่ขณะเต็ม แรงดันที่ขั้วเท่ากับ 72 V

$$\text{จาก} \quad D = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$D = \frac{72V}{155V}$$

$$D = 0.464$$

ดังนั้นตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าต่ำสุด L_{\min}

$$L_{\min} = \frac{(1-D)}{2f} \times \frac{V_o}{I_o}$$

$$L_{\min} = \frac{(1-0.464)}{2 \times (22 \times 10^3 \text{ Hz})} \times \frac{72V}{4A}$$

$$L_{\min} = 219 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

ดังนั้นต้องเลือก $L_{\min} \geq 264$ ไมโครเฮนรี่ ในการออกแบบวงจรนี้ใช้ $L_{\min} = 370$ ไมโครเฮนรี่

การเลือกตัวเก็บประจุของวงจรบัคคอคเวอร์เตอร์ จะเลือกที่อัตราระลอกคลื่นเท่ากับ 0.5% ดังสมการนี้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (4.3)$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \times \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (4.4)$$

การคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ช่วงของแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

ช่วงแรกจะคำนวณดิฟฟิเคิลของแบตเตอรี่ขณะเริ่มชาร์จ แรงดันที่ขั้วเท่ากับ 55 V. ดิฟฟิเคิลที่คำนวณได้จากการคำนวณตัวเหนี่ยวนำที่แล้วได้ $D=0.354$ แทนลงสมการข้างบน จะได้

$$C = \frac{1-0.354}{8 \times 310 \times 10^{-6} \times (22 \times 10^3)^2 \frac{0.5}{100}}$$

$$C = 107 \text{ ไมโครฟารัด}$$

ช่วงที่สองจะคำนวณดิฟฟิเคิลของแบตเตอรี่ขณะเต็ม แรงดันที่ขั้วเท่ากับ 72 V. ดิฟฟิเคิลที่คำนวณได้จากการคำนวณตัวเหนี่ยวนำที่แล้วได้ $D=0.464$ แทนลงสมการข้างบน จะได้

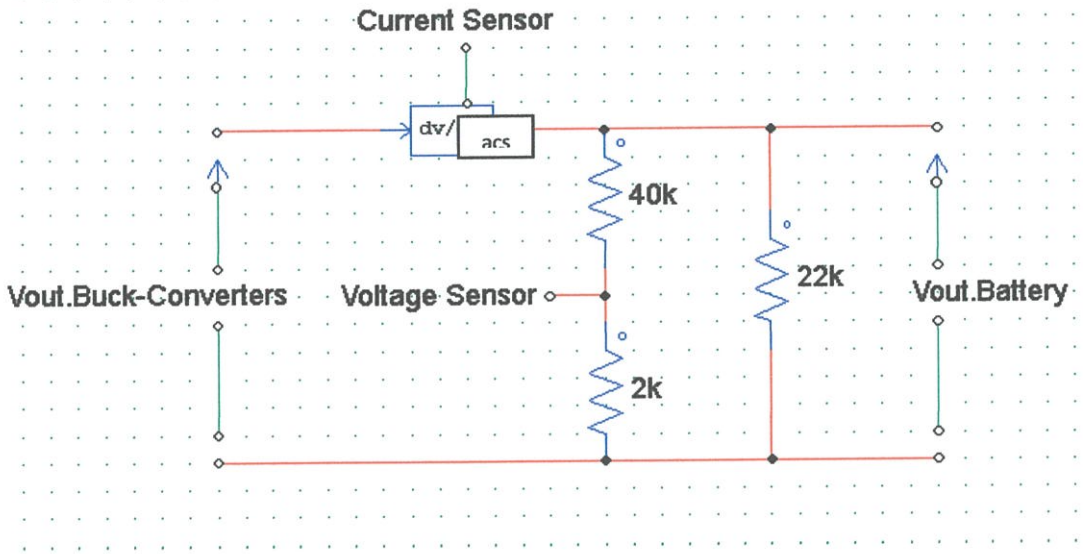
$$C = \frac{1-0.464}{8 \times 310 \times 10^{-6} \times (22 \times 10^3)^2 \frac{0.5}{100}}$$

$$C = 89 \text{ ไมโครฟารัด}$$

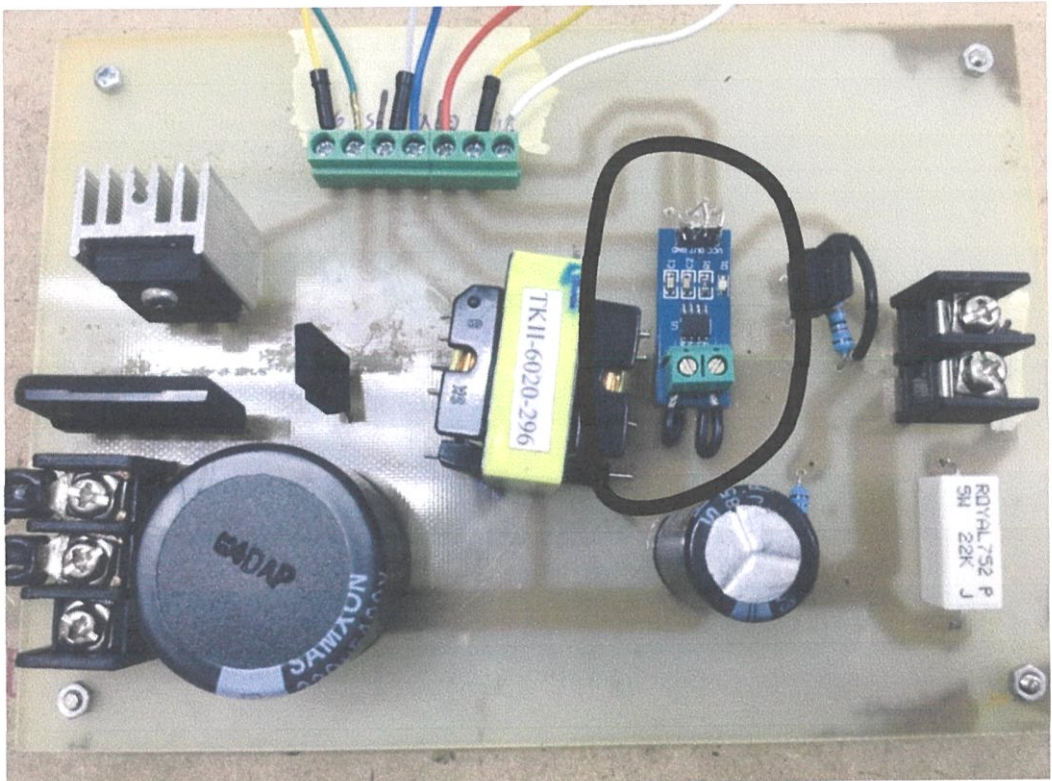
ดังนั้นต้องเลือก $C_{\min} \geq 107$ ไมโครเฮนรี่ ในการออกแบบวงจรนี้ใช้ $C_{\min} = 330$ ไมโครเฮนรี่

4.2.1.4 การออกแบบวงจรตรวจจับ

ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ แล้วนำค่าที่ตรวจจับได้ส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าไปคำนวณและประมวลผลเพื่อขับสัญญาณขาเกตของมอสเฟตต่อไป

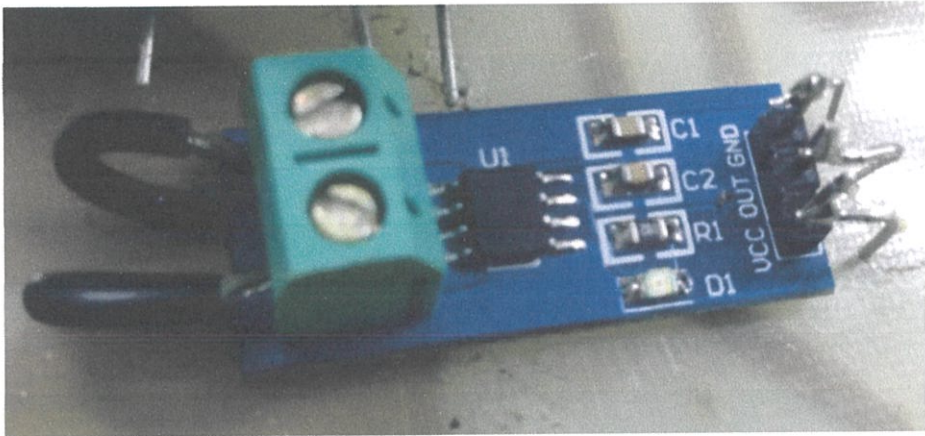


รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า



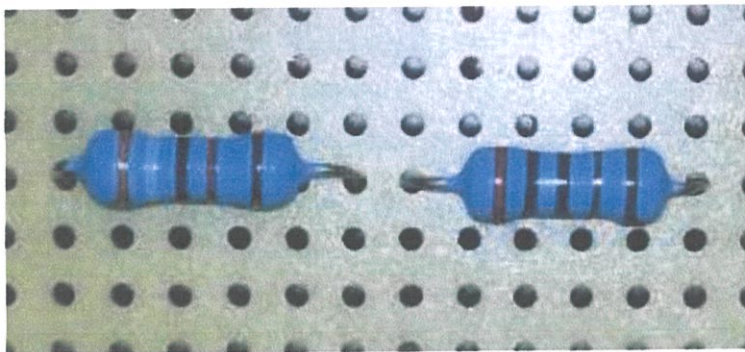
รูปที่ 4.15 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรตรวจจับ

ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ใช้ ACS712 20 A โดยอัตราส่วนกระแสต่อแรงดันเอาท์พุทเป็น 1A:100mV ซึ่งถ้ากระแสไหลผ่าน 0 A จะรับส่งค่าแรงดัน 2.5V เป็นตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าเพื่อตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าขนาดเท่าใด แล้วนำค่าที่ตรวจจับได้เวลาที่ใดๆ ส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการควบคุมแรงดันและกระแสต่อไป



รูปที่ 4.16 ACS712 20A

ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าใช้การแบ่งแรงดันไฟฟ้าเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลงมาที่ค่าแรงดันที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับได้คือ 0 ถึง 5 โวลต์ โดยการใช้ตัวต้านทาน 2 ตัวที่ต่ออนุกรมกัน ต่อขนานกับโพลด ตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ โดยการต่อคร่อมตัวต้านทานเพียงหนึ่งตัว ค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานจะถูกส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าจะเป็นอัตราส่วนค่าจริงกับค่าที่ส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น 20 : 1 ด้วยการใช้อัตราส่วนของขนาดตัวต้านทานขนาด 40 กิโลโอห์ม และ 2 กิโลโอห์ม



รูปที่ 4.17 ตัวต้านทานขนาด 40 กิโลโอห์ม และ 2 กิโลโอห์ม

งานวิจัยนี้ใช้ตัวต้านทานขนาด 22 กิโลโอห์ม 5 วัตต์ ดังรูป 4.18 เพื่อป้องกันการ
 ดิสชาร์จของแบตเตอรี่และความปลอดภัย

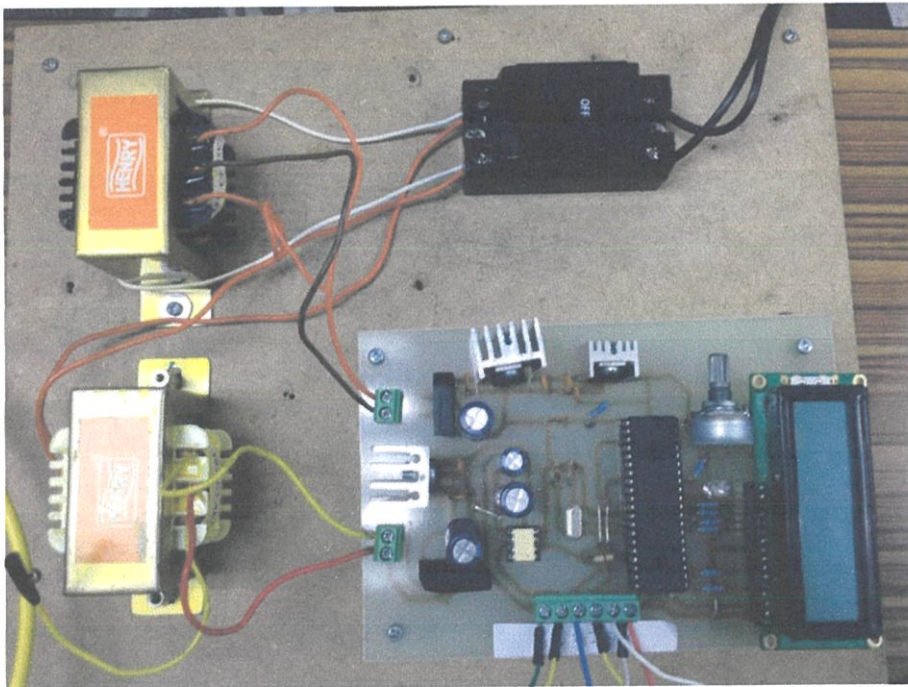


รูปที่ 4.18 อุปกรณ์จริงของตัวต้านทานขนาด 22 กิโลโอห์ม

4.2.2 การออกแบบวงจรคอนโทรล

วงจรควบคุมเป็นวงจรที่รับข้อมูลมาจากวงจรกำลังมาทำการประมวลผลแล้วส่งสัญญาณ
 ออกไปเพื่อสั่งการทำงานการเปิดปิดขาเกตของมอสเฟตเพื่อทำการควบคุมแรงดันและกระแสต่อไป และ
 แสดงผลผ่าน LCD

วงจรคอนโทรลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นดังนี้



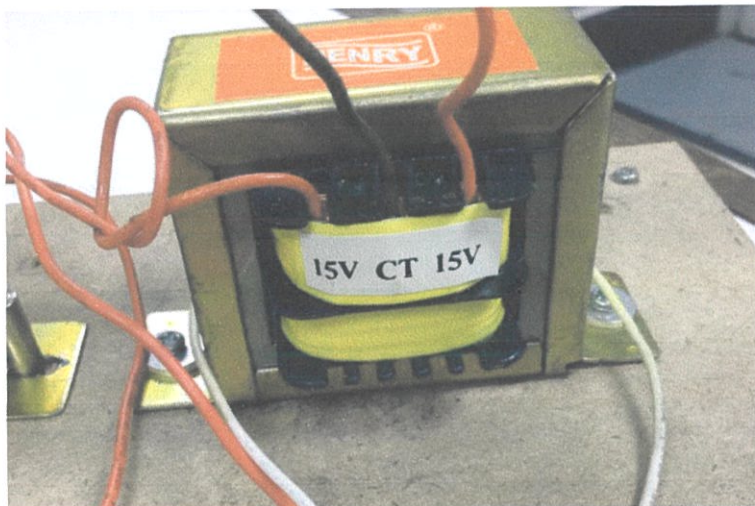
รูปที่ 4.19 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรคอนโทรล

4.2.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรคอนโทรล

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าลงให้อยู่ในระดับแรงดันที่ต่ำ เพื่อใช้ในวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับเคลื่อนที่ใช้แรงดันไฟฟ้าในระดับต่ำ

การแยกวงจรของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับเคลื่อน และวงจรกำลัง ออกจากกัน จำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมวงจร การประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์จะผิดพลาด และถูกรบกวนได้ ถ้าไม่ได้มีการแยกวงจรและแยกกราวด์แต่ละวงจรออกจากกัน การแยกวงจรออกจากกันสามารถทำได้ โดยการใช้หม้อแปลง

งานวิจัยเลือกใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าอัตราส่วน 220 : 15 สำหรับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้หม้อแปลงอีกตัวเพื่อเป็นการแยกวงจรและแยกกราวด์ อัตราส่วน 220 : 15 สำหรับวงจรขับเคลื่อน ดังรูปที่ 4.20 เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าลงมาในระดับแรงดันต่ำสำหรับการนำไปในวงจรคอนโทรล ดังรูปที่ 4.19

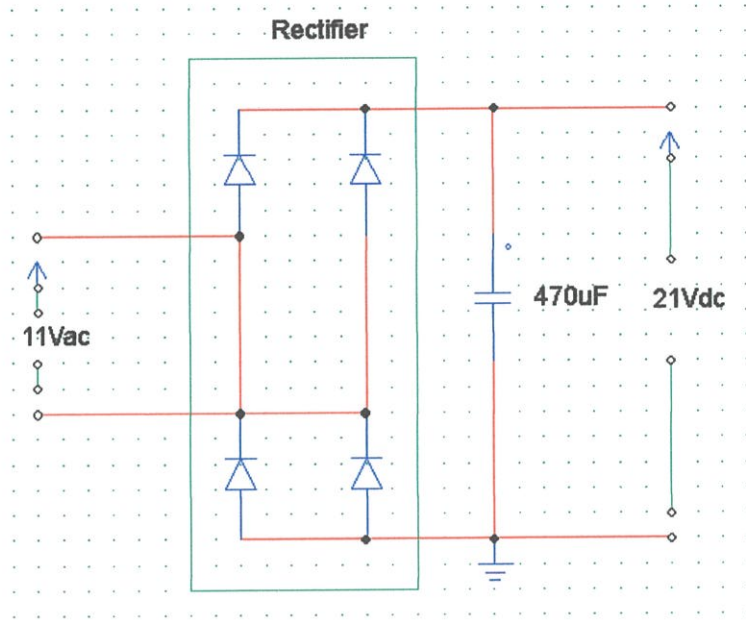


รูปที่ 4.20 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าอัตราส่วน 220 : 15

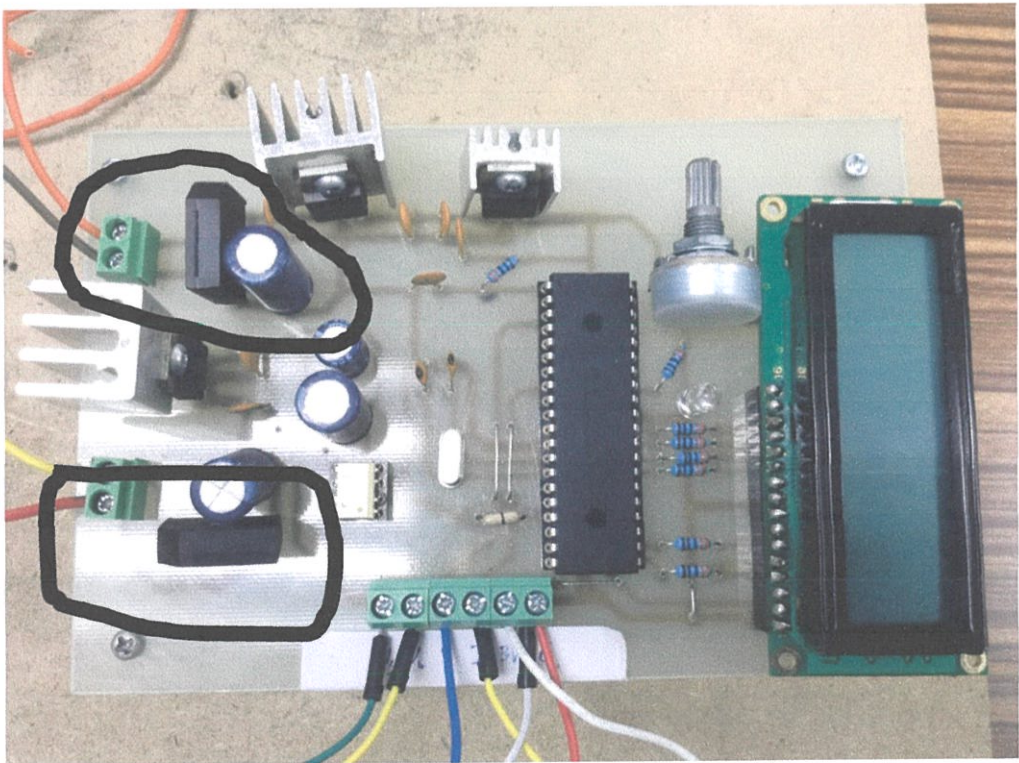
4.2.2.2 วงจรเรียงกระแสของวงจรคอนโทรล

วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการใช้ในวงคอนโทรล

วงจรเรียงกระแสที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นดังนี้



รูปที่ 4.21 วงจรเรียงกระแสของวงจรคอนโทรล



รูปที่ 4.22 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรคอนโทรล

งานวิจัยนี้เลือกใช้ซิลิคอนบริดจ์เรกติไฟเลอร์ RBV2500D - RBV2510D ดังรูปที่ 4.22 เป็นอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 15 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 21 โวลต์ แต่มีระลอกคลื่นไม่เรียบ

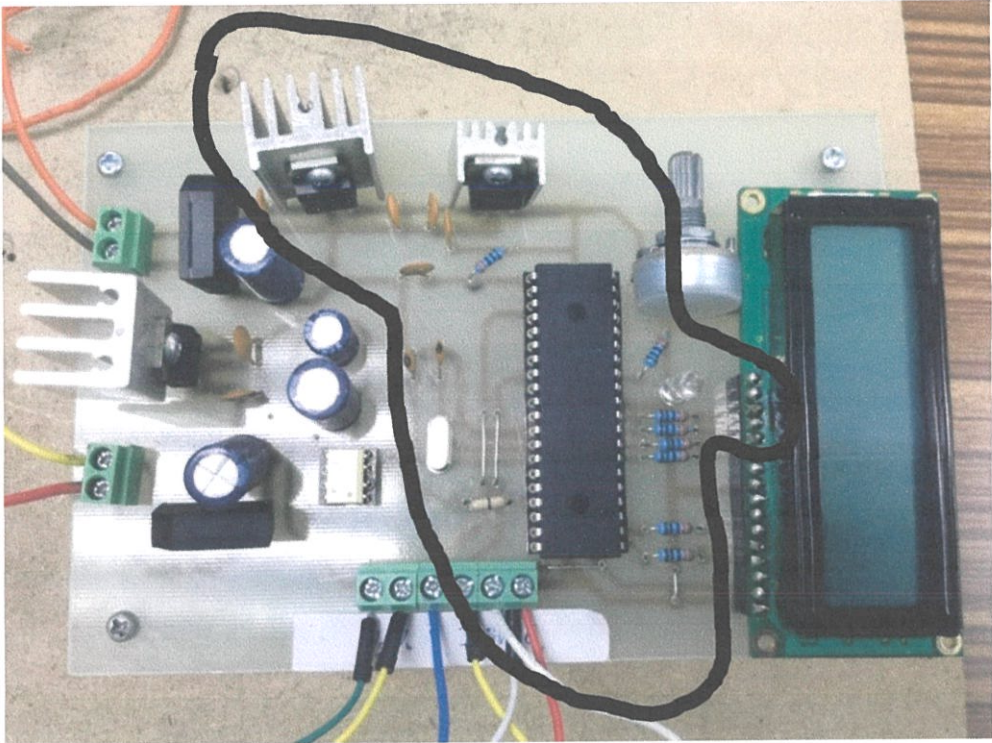


รูปที่ 4.23 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของซิลิคอนบริดจ์เรกติไฟเลอร์

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ตัวเก็บประจุ ขนาด 470 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ดังรูปที่ 4.24 ในการช่วยลดระลอกคลื่นจากบริดจ์เรกติไฟเลอร์ ให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ ซึ่งจะต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดที่มากพอสำหรับการลดระลอกคลื่นที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 21 โวลต์ โดยขนาดที่ยังมากยิ่งขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้ามืดค่าคงที่เรียบมากขึ้น

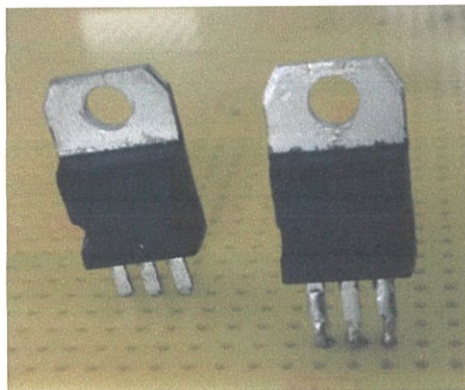


รูปที่ 4.24 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของตัวเก็บประจุขนาด 470 ไมโครฟารัด



รูปที่ 4.26 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรคอนโทรล

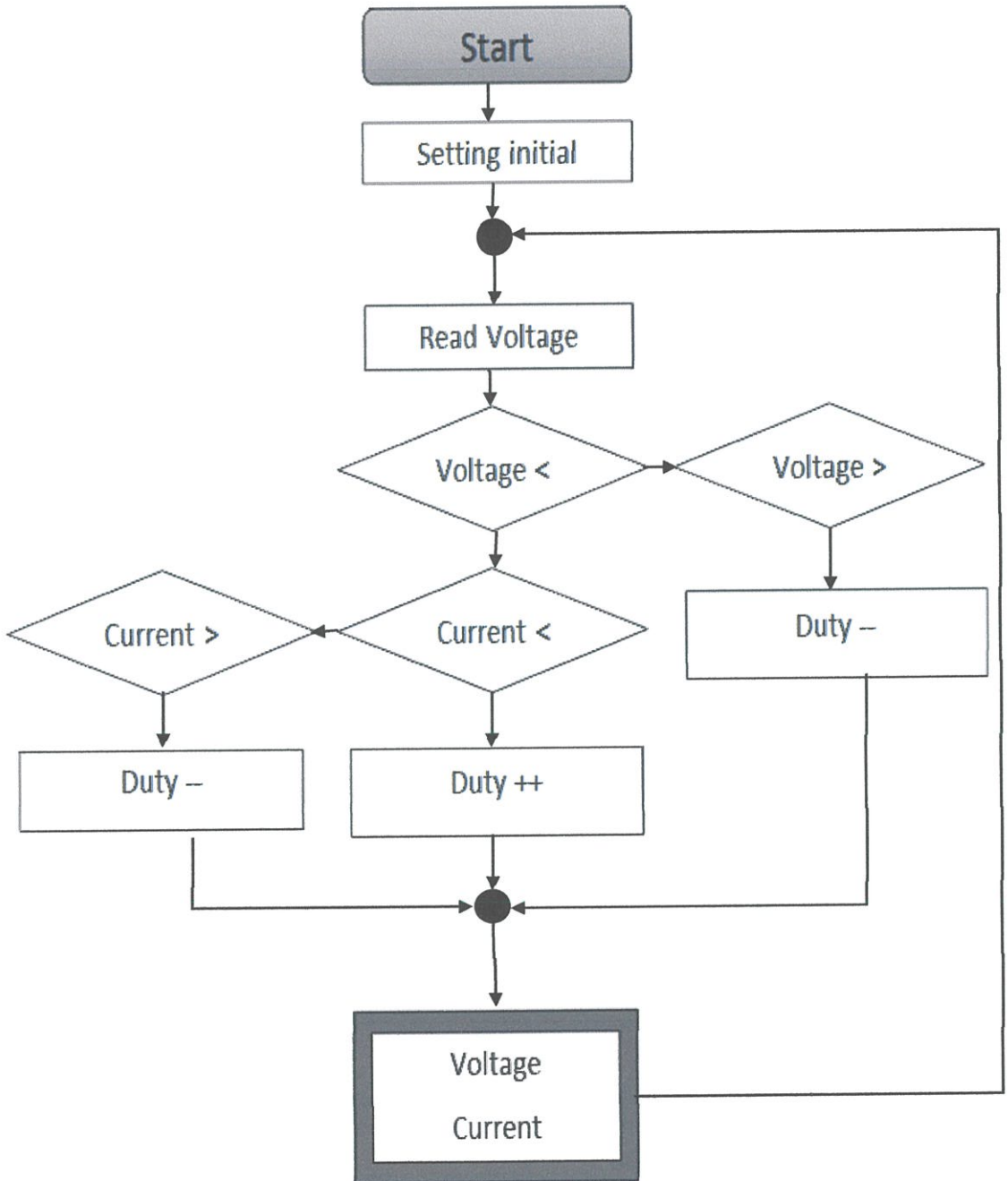
งานวิจัยนี้ใช้ IC เบอร์ 7812 และ 7805 ดังรูปที่ 4.27 ในการลดระดับแรงไฟฟ้ากระแสตรงจาก 15 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ เพื่อใช้ในการจ่ายกระแสไฟเลี้ยงเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย IC เบอร์ 7812 จะช่วยลดการทำงานของ IC เบอร์ 7805 เพื่อไม่ให้ IC เบอร์ 7805 มีความร้อนสูงและทำงานหนักเกินไป



รูปที่ 4.27 อุปกรณ์จริงของ IC7805 และ IC7812

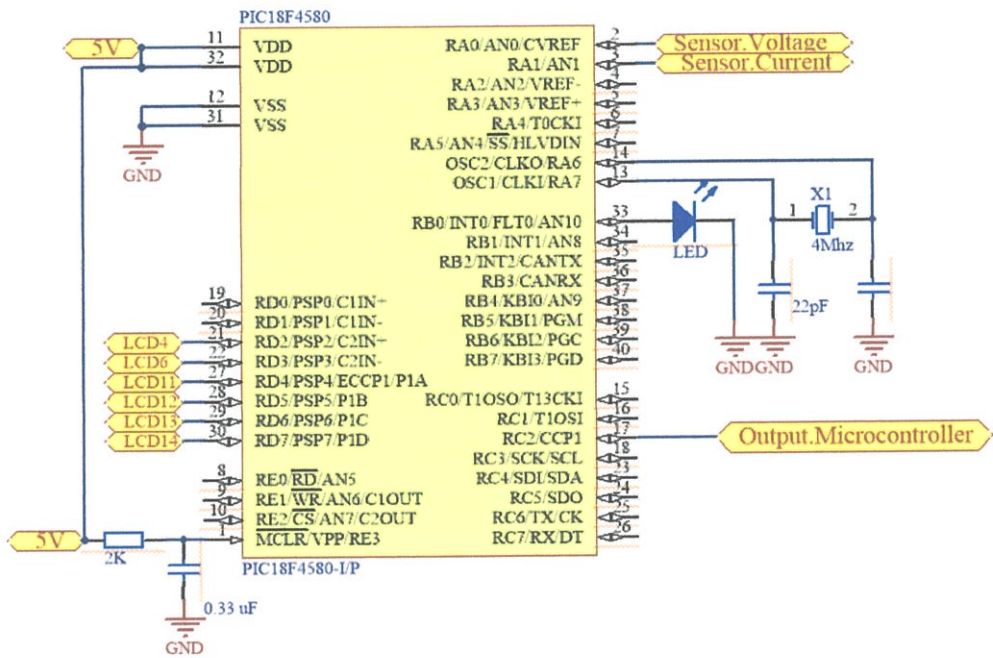
ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือชิปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประมวลผลอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่ง โครงสร้างภายในเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ ประกอบไปด้วยหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสต่าง ๆ พอร์ต รีจิสเตอร์ หน่วยความจำ วงจรนับและวงจรจับเวลารวมกันอยู่ภายในชิป ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุทและเอาต์พุทได้สะดวกและใช้งานง่าย

โดยผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นดังนี้



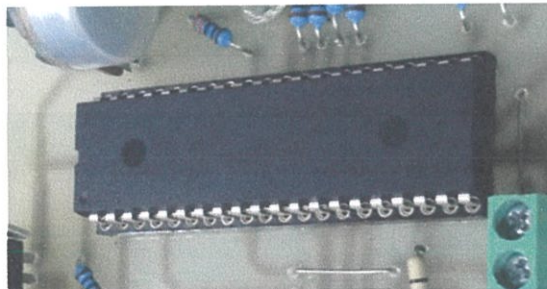
รูปที่ 4.28 ผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

โค้ดชุดคำสั่งที่เขียนลงไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นการตั้งค่าการคำนวณ ประมวล และแสดงผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นดังนี้
 งานวิจัยนี้ใช้วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นดังนี้



รูปที่ 4.29 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

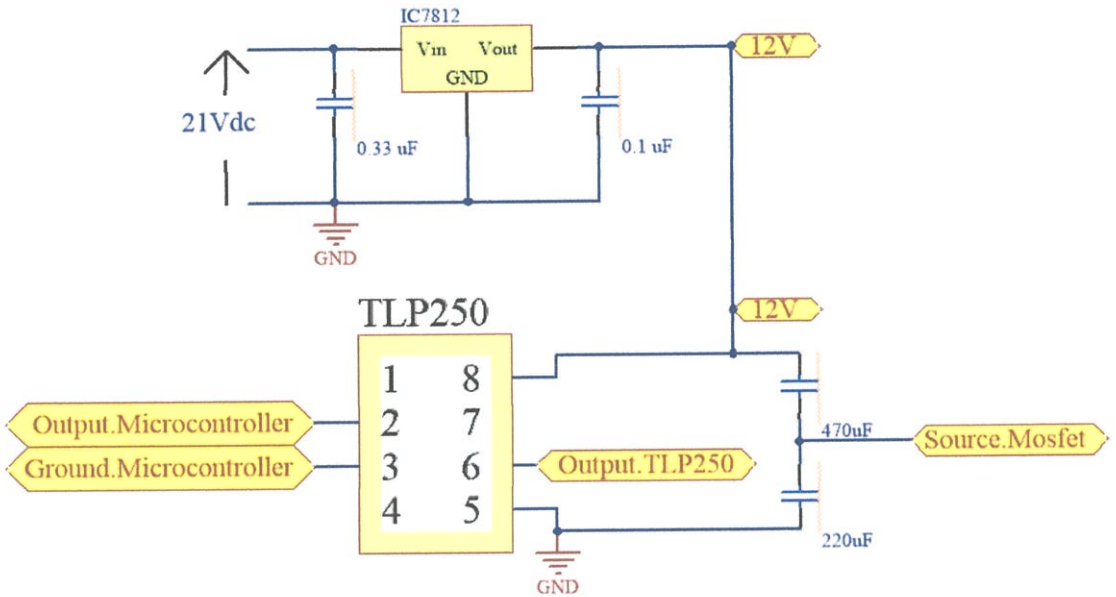
โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Microchip เบอร์ PIC18F4550 ดังรูปที่ 4.30 จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้ในการคำนวณและประมวลผลของวงจร ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาที่เข้าใจง่ายและสะดวกในการเขียนชุดคำสั่งลงไมโครคอนโทรลเลอร์



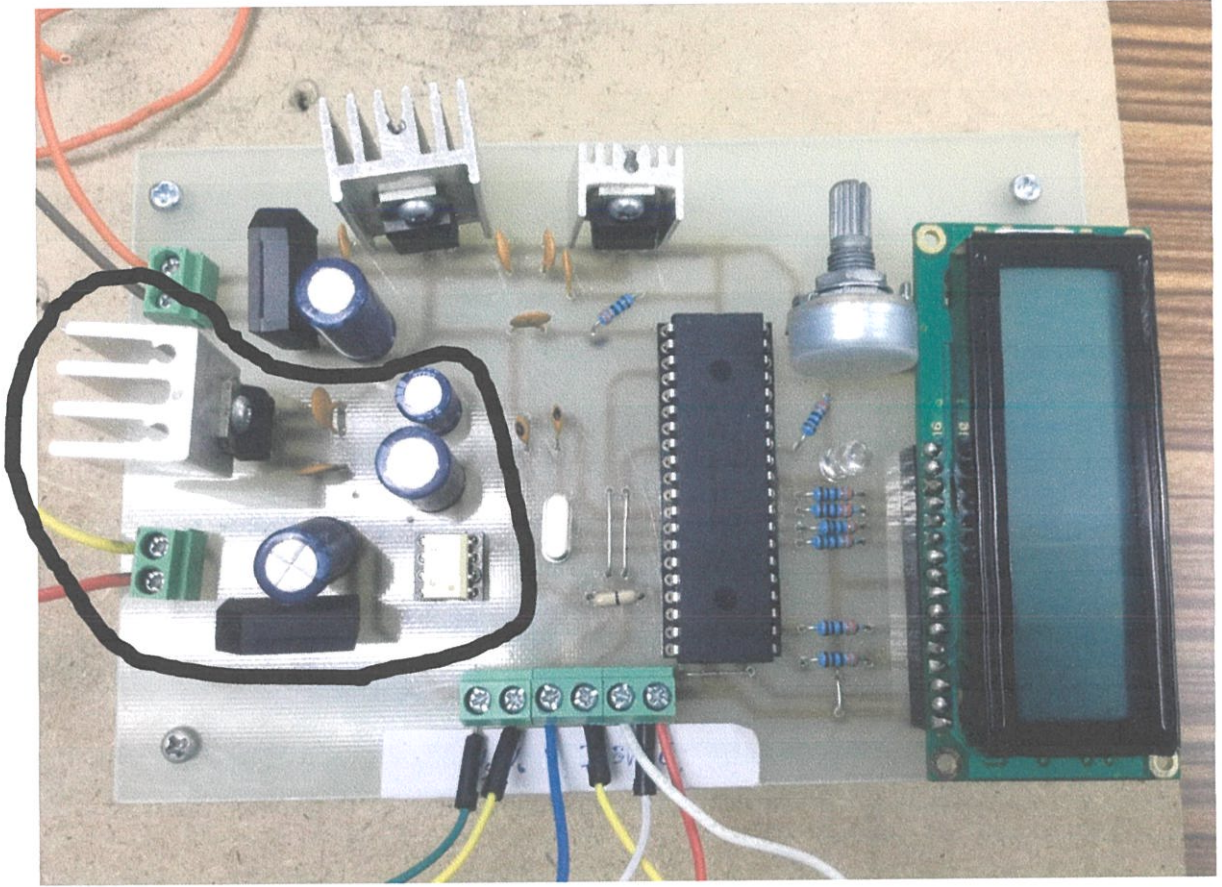
รูปที่ 4.30 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4550

4.2.2.4 การออกแบบวงจรขั้บเกต

ในการขั้บสวิตช์นั้นต้องได้รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งส่งสัญญาณออกมาขั้บสวิตช์ มีแรงดันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ แต่สวิตช์นั้นต้องการแรงดันในการขั้บสวิตช์อยู่ในช่วง 10 โวลต์ขึ้นไป จึงต้องมีวงจรในการช่วยขั้บเกตที่รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นคือ TLP 250 ดังรูปที่ 4.31

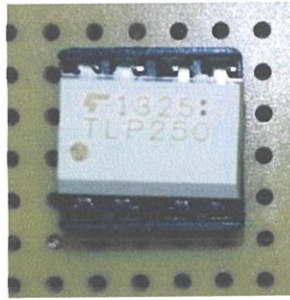


รูปที่ 4.31 วงจรขั้บเกต

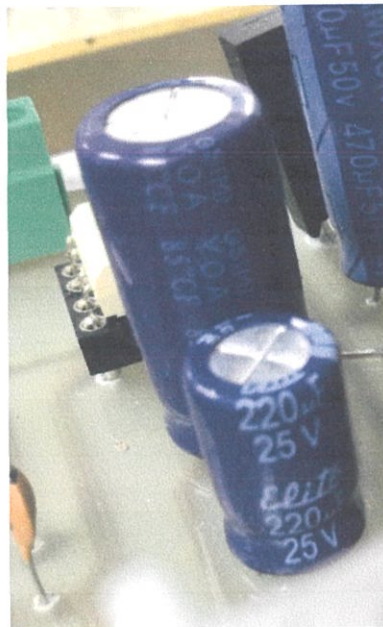


รูปที่ 4.32 อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงของวงจรขับเคลื่อน

โดยงานวิจัยนี้ใช้ตัวขับเคลื่อนเป็น TLP250 ดังรูปที่ 4.33 โดยจะทำงานเมื่อมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามายังขาที่ 2 ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 5 โวลต์ เป็นการสั่งให้ TLP250 ทำงานส่งสัญญาณขับเคลื่อนจากขาที่ 6 หรือ 7 เข้าขาเกตของมอสเฟต ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 15 โวลต์ และต่อลงกราวด์ลรอยไปสู่ขา Source ของมอสเฟต ด้วยการต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัว ขนาด 470 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ และ 220 ไมโครฟารัด 25 โวลต์ เป็นกราวด์ลรอย เพื่อแยกกราวด์ออกจากวงจรกำลัง ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 อุปกรณ์จริงของ TLP250



รูปที่ 4.34 อุปกรณ์จริงของตัวเก็บประจุขนาด 470 ไมโครฟารัด และ 220 ไมโครฟารัด

จากนั้นนำอุปกรณ์ต่างๆมาประกอบกันจะได้เครื่องต้นแบบดังรูปที่ 4.1 และทำการวัดผล
ต่อไป

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

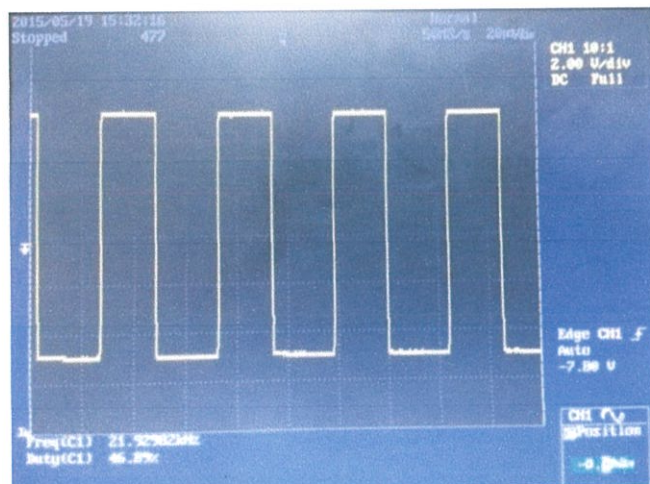
5.1. การทดสอบวงจรควบคุม

5.1.1 การทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทดลองนั้นทำการจ่ายไฟเลี้ยงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำการทดลองวัดค่าสัญญาณ PWM เพื่อทดสอบวงจรควบคุมว่าสามารถทำงานได้และให้ค่าตามที่ต้องการ

5.1.2 การทดสอบสัญญาณชับเกต

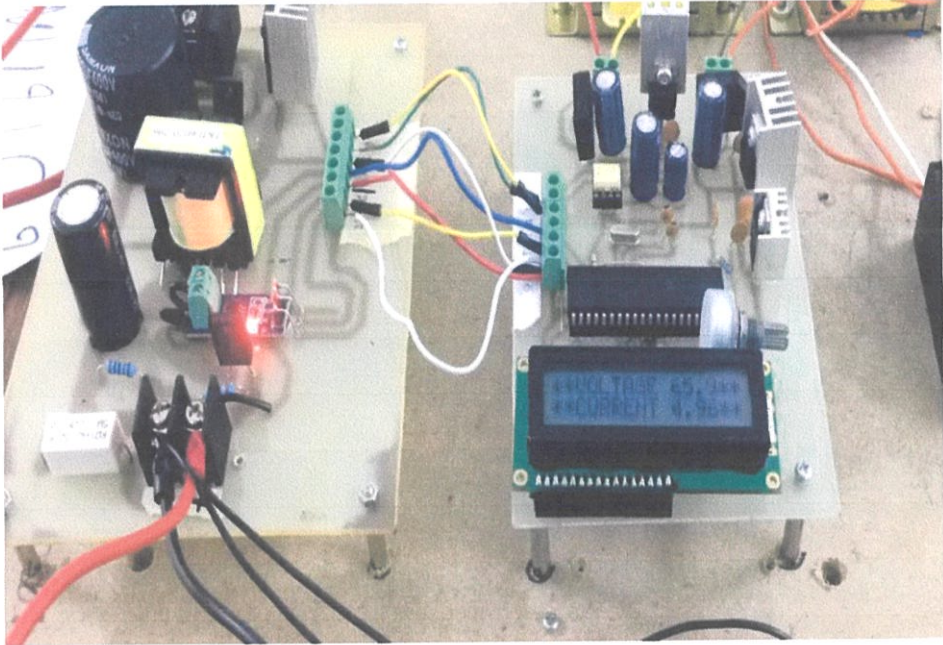
ในการทดลองทำการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงกระแสตรง 12 โวลต์ ให้กับวงจรชับเกต ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ IC เบอร์ TLP250 และรับค่าสัญญาณ PWM ที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นสังเกตสัญญาณชับเกต โดยแรงดันขาเกตควรมีค่ามากกว่า 10 โวลต์



รูป 5.1 ค่าสัญญาณ PWM ดิวตี้ไซเคิล 0.46 ความถี่ 22 กิโลเฮิร์ตซ์

5.2 ทดสอบตรวจจับแรงดันและกระแส

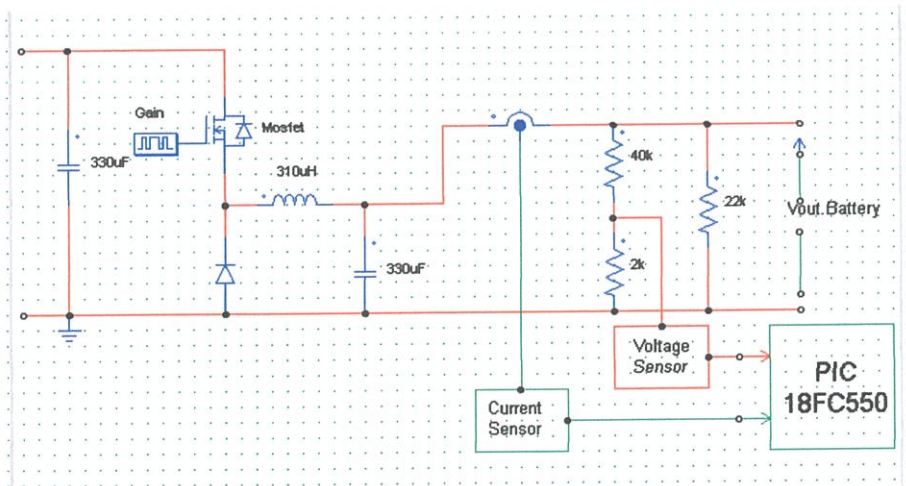
ในการทดลองตรวจจับแรงดันและกระแสที่ใช้ป้อนให้กับวงจรควบคุม ทำการวัดค่ากระแสและแรงดันขาออกของวงจรกำลัง (วงจรบีคคอนเวอเตอร์) ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับแรงดัน (วงจรแบ่งแรงดัน) และอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (ACS712) จากนั้นสังเกตค่าแรงดันและกระแสที่แสดงบนจอแสดงผล LCD



รูป 5.2 ค่าแรงดันและกระแสที่แสดงบนจอแสดงผล LCD

5.3 ทดสอบวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ในการทดลองทำการวัดค่าแรงดันและกระแสขาออกในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรกำลังและวงจรควบคุม เริ่มทำการทดลองที่ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 1 ลูก จากนั้นจึงทำการทดลองกับแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 5 ลูก (แบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์) ดังรูป



รูปที่ 5.3 จุดวัดแรงดัน และ กระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่

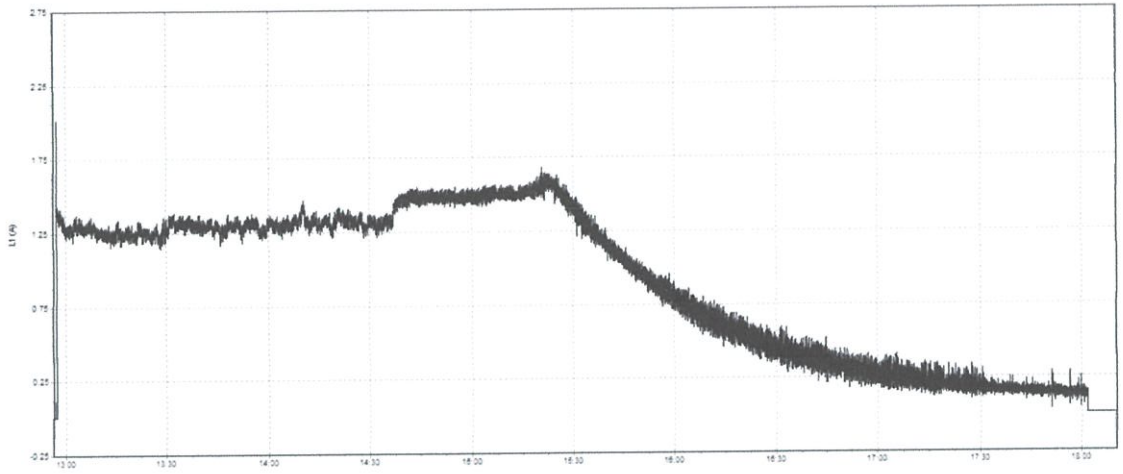
5.3.1 การทดลองวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

ตารางที่ 5.1 ค่าแรงดันแบตเตอรี่และกระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ

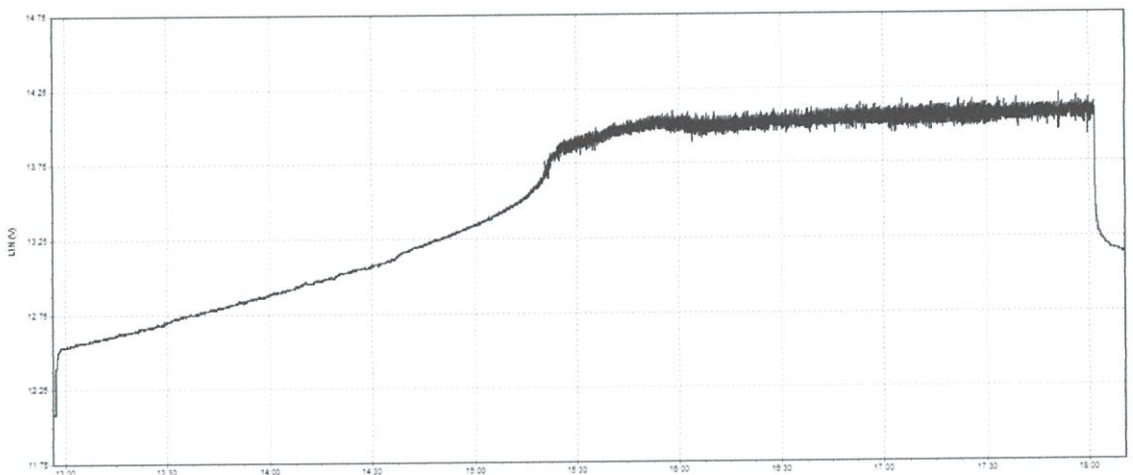
ระยะเวลาในการชาร์จ (ชั่วโมง)	แรงดันแบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแสขณะทำการชาร์จ (แอมป์)
0:00:00	12.08	0.007
0:00:01	12.09	0.007
0:00:02	12.11	0.735
0:00:03	12.27	2.012
0:00:04	12.3	1.685
0:00:05	12.32	1.518
0:00:06	12.34	1.512
0:00:07	12.36	1.439
0:00:08	12.37	1.448
0:00:09	12.39	1.455
0:00:10	12.39	1.392
0:00:11	12.4	1.424
0:00:12	12.41	1.392
0:00:13	12.42	1.417
0:00:14	12.43	1.433
0:00:15	12.43	1.376
0:00:16	12.44	1.393
0:00:17	12.44	1.387
0:00:18	12.45	1.405
0:00:19	12.46	1.41
0:00:20	12.46	1.404
0:00:21	12.46	1.371
0:00:22	12.47	1.406
0:00:23	12.47	1.424
0:00:24	12.47	1.37
0:00:25	12.47	1.415
0:00:26	12.47	1.394
0:00:27	12.48	1.384

0:00:28	12.48	1.394
0:00:29	12.48	1.37
0:00:30	12.48	1.37
0:05:00	12.55	1.273
0:10:00	12.58	1.348
0:15:00	12.6	1.283
0:20:00	12.63	1.202
0:25:00	12.66	1.312
0:30:00	12.69	1.276
0:35:00	12.72	1.374
0:40:00	12.75	1.326
0:45:00	12.78	1.303
0:50:00	12.8	1.285
0:55:00	12.83	1.264
1:00:00	12.86	1.258
1:05:00	12.9	1.286
1:10:00	12.92	1.282
1:15:00	12.95	1.306
1:20:00	12.99	1.335
1:25:00	13.03	1.351
1:30:00	13.06	1.358
1:35:00	13.08	1.244
1:40:00	13.13	1.394
1:45:00	13.19	1.465
1:50:00	13.23	1.499
1:55:00	13.27	1.498
2:00:00	13.31	1.501
2:05:00	13.36	1.451
2:10:00	13.42	1.496
2:15:00	13.49	1.518
2:20:00	13.59	1.577
2:25:00	13.8	1.622
2:30:00	13.9	1.503
2:35:00	13.86	1.325

2:40:00	13.91	1.241
2:45:00	13.98	1.116
2:50:00	13.98	0.997
2:55:00	14.05	0.952
3:00:00	14.05	0.856
3:05:00	14.01	0.838
3:10:00	14.02	0.674
3:15:00	14.06	0.656
3:20:00	13.97	0.552
3:25:00	14.06	0.6
3:30:00	14.02	0.513
3:35:00	14	0.445
3:40:00	14.07	0.368
3:45:00	14.05	0.325
3:50:00	14.02	0.352
3:55:00	14.02	0.351
4:00:00	14.06	0.407
4:05:00	13.98	0.343
4:10:00	14.08	0.221
4:15:00	14.05	0.211
4:20:00	14.13	0.173
4:25:00	14.06	0.257
4:30:00	14.04	0.196
4:35:00	14.06	0.186
4:40:00	14.05	0.165
4:45:00	14.08	0.144
4:50:00	14.1	0.153
4:55:00	14.06	0.134
5:00:00	14.1	0.16
5:05:00	13.36	0.009
5:10:00	13.17	0.009
5:15:00	13.13	0.009
5:20:00	13.12	0.009
5:25:00	13.1	0.009



รูป 5.4 ค่ากระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ



รูป 5.5 ค่าแรงดันแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ

5.3.2 การทดลองวงจรรีคอนเวอร์เตอร์ในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์

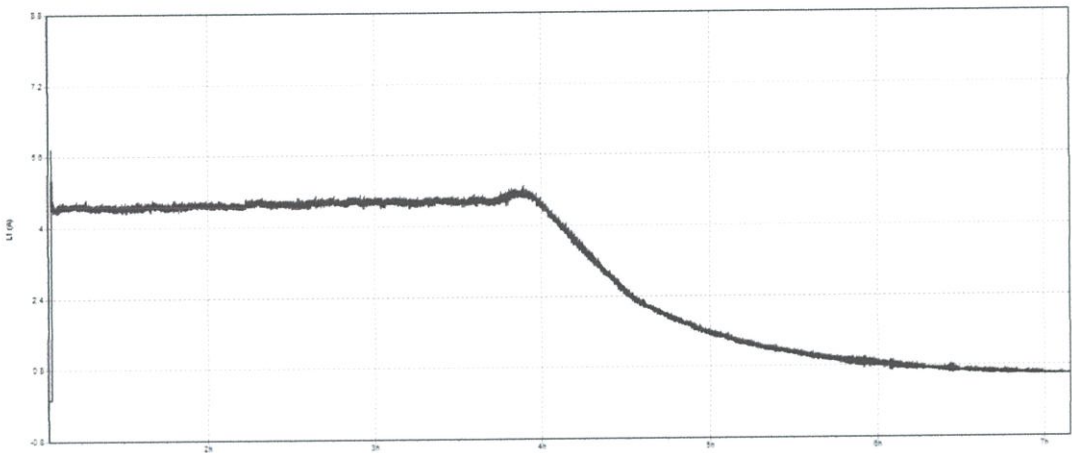
ตารางที่ 5.2 ค่าแรงดันแบตเตอรี่และกระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการชาร์จ (ชั่วโมง)	แรงดันแบตเตอรี่ (โวลต์)	กระแสขณะทำการชาร์จ (แอมป์)
0:00:00	56.72	0.133
0:00:01	62.34	4.429
0:00:02	56.75	0.156
0:00:03	62.35	4.42
0:00:04	56.95	0.287
0:00:05	62.35	4.4
0:00:06	63.44	0.52
0:00:07	62.36	4.405
0:00:08	57.85	2.126
0:00:09	62.43	4.493
0:00:10	58.82	3.636
0:00:11	62.4	4.427
0:00:12	60.05	5.241
0:00:13	62.46	4.495
0:00:14	60.6	5.771
0:00:15	62.43	4.422
0:00:16	60.69	5.566
0:00:17	62.48	4.506
0:00:18	60.76	5.416
0:00:19	62.45	4.42
0:00:20	60.79	5.273
0:00:21	62.5	4.496
0:00:22	60.8	5.149
0:00:23	62.47	4.415
0:00:24	60.96	5.243
0:00:25	62.5	4.453
0:00:26	60.97	5.108
0:00:27	62.5	4.429

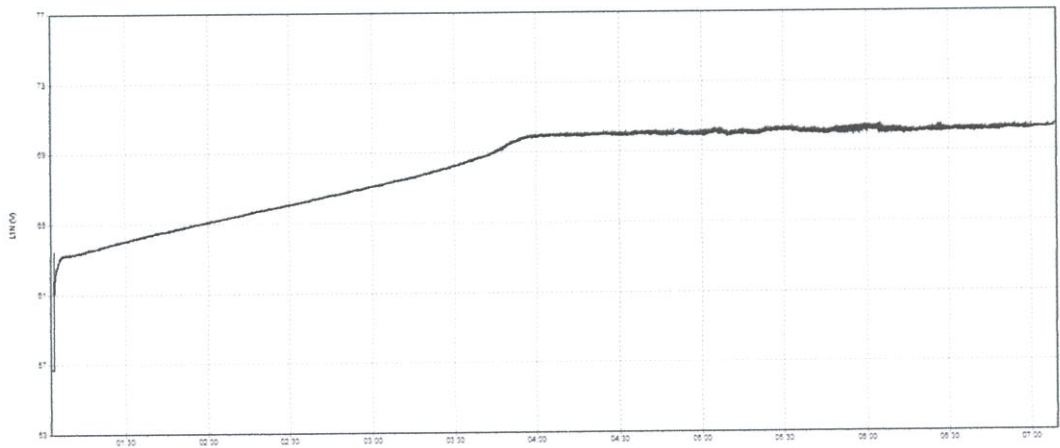
0:00:28	61.08	5.136
0:00:29	62.49	4.411
0:00:30	61.09	4.978
0:05:00	63.25	4.47
0:10:00	63.39	4.491
0:15:00	63.56	4.396
0:20:00	63.8	4.454
0:25:00	64.02	4.452
0:30:00	64.2	4.45
0:35:00	64.42	4.55
0:40:00	64.57	4.481
0:45:00	64.75	4.536
0:50:00	64.9	4.474
0:55:00	65.06	4.454
1:00:00	65.27	4.563
1:05:00	65.41	4.505
1:10:00	65.59	4.549
1:15:00	65.75	4.569
1:20:00	65.91	4.573
1:25:00	66.03	4.47
1:30:00	66.21	4.535
1:35:00	66.45	4.691
1:40:00	66.57	4.604
1:45:00	66.73	4.567
1:50:00	66.9	4.577
1:55:00	67.06	4.539
2:00:00	67.23	4.544
2:05:00	67.41	4.52
2:10:00	67.56	4.46
2:15:00	67.84	4.65
2:20:00	68.02	4.598
2:25:00	68.21	4.549
2:30:00	68.46	4.563
2:35:00	68.74	4.625

2:40:00	68.96	4.532
2:45:00	69.33	4.596
2:50:00	69.73	4.704
2:55:00	69.88	4.474
3:00:00	69.9	4.162
3:05:00	70.01	3.93
3:10:00	69.99	3.523
3:15:00	70.03	3.186
3:20:00	69.98	2.808
3:25:00	69.98	2.492
3:30:00	70.04	2.303
3:35:00	70.11	2.131
3:40:00	70.17	1.969
3:45:00	70.14	1.854
3:50:00	69.94	1.695
3:55:00	69.98	1.581
4:00:00	70.15	1.514
4:05:00	70.01	1.374
4:10:00	70.22	1.376
4:15:00	70.12	1.252
4:20:00	70.21	1.188
4:25:00	70.21	1.105
4:30:00	70.24	1.082
4:35:00	70.16	1.067
4:40:00	70.18	0.992
4:45:00	70.17	0.906
4:50:00	70.35	0.945
4:55:00	70.35	0.886
5:00:00	70.3	0.817
5:05:00	70.15	0.835
5:10:00	70.07	0.776
5:15:00	70.1	0.728
5:20:00	70.18	0.71
5:25:00	70.19	0.681

5:30:00	70.26	0.709
5:35:00	70.24	0.683
5:40:00	70.23	0.638
5:45:00	70.3	0.666
5:50:00	70.32	0.661
5:55:00	70.23	0.615
6:00:00	70.33	0.618



รูปที่ 5.6 ค่ากระแสขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 5.7 ค่าแรงดันแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 72 โวลต์ ณ ระยะเวลาต่างๆ

บทที่ 6

บทวิจารณ์และบทสรุป

6.1 บทสรุปการดำเนินงาน

โครงการชุดชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้านี้ จะเป็นการรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากที่พิกอาศัย โดยผ่านกระบวนการทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปสู่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากนั้นทำการลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เท่ากับขั้วของแบตเตอรี่ เพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าผ่านวงจรชาร์จเจอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งผลทางทฤษฎีกับปฏิบัตินั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

6.1.1 การทดสอบทางอิเล็กทรอนิกส์

6.1.1.1 การทดสอบการชาร์จจากที่พิกอาศัย

จากกราฟผลการทดลอง V-I curve จะเห็นว่าช่วงเริ่มต้นชาร์จ แรงดันที่ขั้วจะมีค่าน้อยประมาณ 55-57 โวลต์ และกระแสจะคงที่ค่าไว้ที่ 4A ดังนั้นจะมีการปรับดิวิตซ์ไซเคิล เพื่อเปิด-ปิดสวิตช์มอสเฟต ทำให้สามารถควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าได้คงที่ ที่ 4A และสามารถรักษาแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันคงที่ได้ที่ 72 โวลต์ โดยใช้เวลาในการชาร์จประมาณ 6-8 ชั่วโมง

6.1.1.2 วงจรสวิตช์

วงจรสวิตช์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้ IC เบอร์ TLP 250 สามารถทำงานได้ปกติ คือ เปิดและปิดสวิตช์ตามที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สั่งไว้ และสามารถควบคุมกระแสคงที่ไว้ที่ 4A ในช่วงการชาร์จกระแสคงที่และคงค่าแรงดันไว้ในช่วงการชาร์จแรงดันคงที่

6.1.1.3 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ สามารถทนแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงได้ 155 โวลต์หรือมากกว่า และสามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ 4A หรือมากกว่า จากการทดลองพบว่ากราฟ V-I curve (V คือ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ I คือ กระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่) เมื่อทำการเปรียบเทียบ V-I curve ในทางทฤษฎีและในทางปฏิบัติ กราฟจะหน้าตาคล้ายกันแต่อาจมีการกระเพื่อมของแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้าเล็กน้อย เป็นผลเนื่องมาจากการเปิด-ปิดการทำงานของสวิตช์โดยได้รับคำสั่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

ปัญหาที่พบในการดำเนินการพัฒนาโครงการมีดังต่อไปนี้

1. ในการทดลองและการเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น มอสเฟต ไดโอด ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ควรเลือกใช้ค่าให้มากกว่าที่ได้จากการคำนวณไว้ข้างต้น ควรดูทั้งแรงดันพิกัดที่สามารถทนได้ และกระแสพิกัดที่ไหลต่อเนื่องที่สามารถทนได้
2. ควรตรวจเช็คการบัดกรีอุปกรณ์ต่างๆในแผง PCB ว่าเชื่อมติดกับแผ่นทองแดงได้แผ่น PCB หรือไม่
3. ในการเลือกตัวเหนี่ยวนำควรเลือกแกน และพันเส้นลวดที่สามารถรองรับกระแสที่คำนวณไว้ได้ มิฉะนั้นอาจเกิดการไหม้หรือการสั้นวงจรของแกน เนื่องจากการอิ่มตัวของแกนของตัวเหนี่ยวนำ
4. ควรอ่าน Datasheet ของอุปกรณ์ต่างๆให้ละเอียด เนื่องจากการต่อวงจรของอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นมีการต่อไม่เหมือนกัน ถ้าต่อไม่ตรงตาม Datasheet อาจเกิดความเสียหายต่อวงจรโดยรวมได้

6.3 แนวทางการพัฒนาและการปรับปรุง

1. ในการออกแบบเครื่องต้นแบบของโครงการนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ สามารถทำให้เล็กลงได้ โดยการใช้หลักการของ Switching Power Supply ซึ่งใช้หม้อแปลงความถี่สูง
2. สามารถเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม เพื่อให้มี Function ในการทำงานมากขึ้น
3. การพัฒนาในด้านการออกแบบรูปลักษณะของวงจรเพื่อความสวยงามและความทนทานในการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชั้นเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics), กรุงเทพฯ, หจก.วี.เจ. พรินติง, 2554.
- [2] Sivaprasad.A, K.Deepa, K.Mathew, "Half bridge Converter for Battery Charging Application, "International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), July-August 2012, On page(s): 994-999
- [3] D. D. C. Lu and V. G. Agelidis, "Photovoltaic-Battery-Powered DC Bus System for Common Portable Electronic Devices," IEEE Trans. on Power Electronics, 2009, On page(s): 849-855.
- [4] J. M. Ogden, "Annual energy outlook," U.S. Dept. of Energy, 2011, On page(s): 1-4.
- [5] Sideng Hu, Xiaoming Wang, Ruichi Wang, Jiande Wu, Xiangning He, "Hybrid Sinusoidal-Pulse Charging Strategy for Lilon Battery in Electric Vehicle Application," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2015 On page(s): 3117-3123.
- [6] Toyota Motor Sales,U.S.A, "Fast Charging," ,On page(s): 1-19
- [7] World Energy Council, "Energy technologies for the 21st century," Energy Research, Development and Demonstration Expenditure, On page(s): 1-54.
- [8] M. Doyle and J. S. Newman, "Analysis of capacity-rate data for lithium batteries using simplified models of the discharge process," J. Applied Electrochem., vol. 27, no. 7, pp. 846–856, July 1997.
- [9] Stanley R. Bull, "Renewable Energy Today and Tomorrow," IEEE, Vol. 89, No.8, 2012, On page(s): 1217-1226.
- [10] J. Johnson, "The new world of solar energy," Chem. Eng. News, 2012, On page(s) 24–28.
- [11] Huang Wei, Wang Xin, Guo Jiahuan; Zhang Jianhua, Yang Jingyan, "Discussion on Application of Super capacitor Energy Storage System in Microgrid," Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09 IEEE., 2009, On page(s): 1-4.
- [12] Arjan M. van Voorden, Laura M. Ramirez Elizondo, Gerard C. Paap, "The Application of Super Capacitors to relieve Battery-storage systems in Autonomous Renewable Energy Systems," Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, 2007, On page(s): 479-484.
- [13] John Wood, "Integrating Renewables into the Grid: Applying UltraBattery® Technology in MW Scale Energy Storage Solutions for Continuous Variability Management," Power System Technology (POWERCON), 2012 IEEE International Conference on, 2012, On page(s): 1-4.
- [14] Knut Erik Nielsen., "Superconducting magnetic energy storage in power systems with renewable energy sources," Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, 2010, On page(s): 2487-2492.

- [15] Chetnaphat Praisuwannl, Surin Khomfoi, "A pulse frequency technique for a quick charger," *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2013 10th International Conference on, 2013, On page(s): 1-6.
- [16] J J A Wilkinson, G A Covic., "A new pulse charging methodology for lead acid batteries," *IPENZ Transactions*, Vol.3, No.1, 2010, On page(s): 1-5.
- [17] Genesis EnerSys, "Initial Charge Current Limit," *Battery Application Manual*, 2009, On page(s): 1-4.
- [18] L T Lam, H Ozgun, O V Lim, J A Hamilton, L H Vu, D G Vella, D A J Rand, "Pulsed Current charging of lead-acid batteries - a possible means for overcoming premature capacity loss?," *Journal of Power Sources*, 2012, On page(s): 215-228.
- [19] H. Chum, "Two decades of progress in research, development, and commercialization of renewable energy," in *The Enduring Nuclear Fuel Cycle*, C. E. Walter, Ed: Amer. Nuclear Soc. Winter Meeting, 2009, On page(s): 1-4.
- [20] M. Doyle and J. S. Newman, "Analysis of capacity-rate data for lithium batteries using simplified models of the discharge process," *J. Applied Electrochem.*, vol. 27, no. 7, pp. 846-856, July 1997.
- [21] Adam, M., Andrusca, M., Pancu, C., "Aspects regarding solar battery charge controllers," *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2013 8th International Symposium, 2013, On page(s): 1-6.
- [22] Promode R, Bandyopadhyay, Member, Daniel P. Thivierge, "An Electronic Circuit for Trickle Charge Harvesting From Littoral Microbial Fuel Cells," *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*, Volume.38, No.1, 2013, On page(s): 1-6.
- [23] Li Siguang, Zhang Chengning, Xie Shaobo, "Research on Fast Charge Method for Lead-acid Electric Vehicle Batteries," *Intelligent Systems and Application ISA 2009. International Workshop on*, 2009, On page(s): 1-5.
- [24] Gang Ye, Xiaoming Chen, Mingjian Bo, "The Design of Charging Device in Stand-alone Photovoltaic System," *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2012 Asia-Pacific, 2012, On page(s): 1-4.
- [25] Krummenacher, F., Robortella, R., Simon-Vermot, R., Kayal. M., "A fully integrated solar battery charger," *Circuits and Systems and TAISA Conference*, 2009. NEWCAS-TAISA '09. Joint IEEE North-East Workshop on, 2009, On page(s): 1-4.
- [26] Hua and M. Y. Lin, "A study of charging control of Lead-Acid battery for electric vehicles," *IEEE*, vol. 1, 2011, On page(s): 135-140.
- [27] F. Sissine, "Renewable energy: key to sustainable energy supply," *Congr. Res. Service Issue Brief for Congress*, Available at: <http://www.cnire.org/nle/eng-29.html>, 2011.

- [28] DENVER, COLORADO, "Battery charging and specific gravity temperature correction," STORAGE BATTERY MAINTENANCE AND PRINCIPLES, Internet version of This Manual Created June, 1998, On page(s): 2-3
- [29] J. M. Ogden, "Annual energy outlook," U.S. Dept. of Energy, 2011, On page(s): 1-4.
- [30] Philip Zuk and Sanjay Havanur, "TWO-SWITCH FORWARD CONVERTER OPERATION," Two-Switch Forward Converter: Operation, FOM, and MOSFET Selection Guide, Document Number: 91616, VISHAY SILICONIX
- [31] Miroslav M. Begovic; Insu Kim, "Distributed Renewable PV Generation in Urban Distribution Networks," Power Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011, On page(s): 1-3.
- [32] Stanley R. Bull, "Renewable Energy Today and Tomorrow," IEEE, Vol. 89, No.8, 2012, On page(s): 1217-1226.
- [33] M. Doyle, T. F. Fuller, and J. S. Newman, "Modeling of galvanostatic charge and discharge of the lithium/polymer/insertion cell," J. Electrochem. Soc., vol. 140, pp. 1526–1533, June 1993
- [34] Carla-Fabiana Chiasserini, Member, IEEE, and Ramesh R. Rao, Senior Member, IEEE, , " Energy Efficient Battery Management. ", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 19, NO. 7, JULY 2001 , On page(s): 1235-1245.
- [35] Arjan M. van Voorden, Laura M. Ramirez Elizondo, Gerard C. Paap, "The Application of Super Capacitors to relieve Battery-storage systems in Autonomous Renewable Energy Systems," Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, 2007, On page(s): 479-484.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
บทความทางวิชาการ

การออกแบบอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

Design of Electrical Motorcycle Charger

อภิสิทธิ์ ชื่นเจริญ¹ อริยะ ลือภักดิ์กุล² สุวิษารามบุรี³ อานนท์ อินไชย⁴

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย หลอดกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 023298341

Email: apisit0@gmail.com¹, serburus@gmail.com², jingjookman@gmail.com³, inchai.an@hotmail.com⁴

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบัน การคมนาคมขนส่งต่างๆ เช่น ทางบก ทางเรือ ทางอากาศ ล้วนมีความต้องใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้นทั้งประเภทน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในปริมาณที่สูงมากขึ้น ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ แต่ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงพวกนี้ก็ยังมีปริมาณลดลง ในขณะที่การใช้งานรถยนต์หรือการขนส่งประเภทอื่นๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นพวกใช้แล้วหมด ส่งผลให้ราคาเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้โลกสมัยใหม่หันมามองหาพลังงานทางเลือกที่มีความสะอาดปราศจากมลพิษ เพื่อชดเชยการใช้เชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปและมีราคาสูงขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสะอาด อีกทั้งยังสามารถผลิตได้จากพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์ฟาร์ม เซลล์ผลิตไฟฟ้า ส่งผลให้ยุคสมัยใหม่หันมาสนใจในเรื่องของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและเริ่มการศึกษาความเป็นไปได้ของจริงจึง ทำให้มีการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างกว้างขวางมากขึ้น บทความฉบับนี้เป็นรายงานผลการออกแบบอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ออกแบบโดยใช้เทคนิคการชาร์จกระแสคงที่และแรงดันคงที่ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและโหมดการชาร์จแบตเตอรี่

คำสำคัญ: ชาร์จเจอร์, กระแสคงที่, แรงดันคงที่

ABSTRACT

Nowadays, transportation, such as land transport, shipping, air transport must use more and more fuel with all of the oil and natural gas. The fuel is the main of driving. In contrast, the quantity of fuels is decreased while the use of car and other transportations are increased. These fuels are running out, which affect to natural gas and oil price; so the modern world focuses on alternative energy without pollution to compensate using fuels and natural gas. All of this lead to electric motorcycle construction. Electricity can be generated by alternative energy

such as solar farm, hydro-energy dam. The modern world significantly supports electric motorcycle and seriously researches about electric motorcycle. This paper presents a design and construction of an electric motorcycle charger for lead-acid battery. This charger is designed and constructed based on constant current, and constant voltage. It is controlled by microcontroller to control constant current and control charging mode.

Keywords : Charger, Constant current, Constant voltage

1. บทนำ

การนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้จำเป็นต้องเข้าใจหลักการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่อยู่ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และเพื่อเป็นการรองรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ดังนั้นจึงทำการออกแบบชาร์จเจอร์สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าไว้สำหรับใช้งานในบ้าน เพื่อความสะดวกในการใช้งานโดยไม่ต้องไปที่สถานีชาร์จเจอร์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในวงจรประกอบด้วยหลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน (Buck Converter) คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออก มีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรงมากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการผกผันกับกำลังสองของความถี่ และทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่

2.1 หลักการทำงานของวงจร Buck Converter

ขณะสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.1)$$

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.2)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \tag{2.3}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{2.4}$$

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ $dt = DT$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT \tag{2.5}$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

$$v_L = -V_o \tag{2.6}$$

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \tag{2.7}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \tag{2.8}$$

dt ในกรณีอยู่ในช่วงเวลาที่หยุดนำกระแสคือ $dt = (1 - D)T$ ดังนั้นจากสมการที่ (2.8) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1 - D)T \tag{2.9}$$

ในช่วงสภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.9) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \tag{2.10}$$

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT + \left(-\frac{V_o}{L}\right)(1 - D)T = 0 \tag{2.11}$$

$$(V_s - V_o)D - V_o(1 - D) = 0 \tag{2.12}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \tag{2.13}$$

จากสมการที่ (2.13) สามารถปรับค่า D ได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับแรงดันขาออกเท่ากับแรงดันขาเข้าได้ เพราะเกิดแรงดันตกคร่อมที่สวิตช์และไดโอด และการควบคุมควิตซ์ไซเคิลได้ยาก โดยปกติจะทำการควบคุมควิตซ์ไซเคิล ที่ประมาณ 0.3 - 0.7

2.2 ทฤษฎีและหลักการชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการคายประจุ ในการชาร์จแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และขั้วลบของเครื่องชาร์จต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ โดยที่กระแสที่ทำการชาร์จจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสที่แบตเตอรี่ได้ทำการจ่ายออกมา จากรูป 2.1 เป็นวงจรการชาร์จแบตเตอรี่อย่างง่าย

โดยที่ E คือ แรงดันที่ทำการชาร์จ

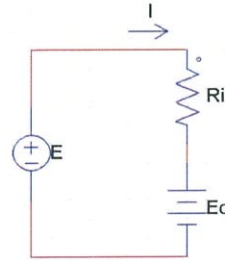
E_c คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

R_i คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการ

$$E = E_c + IR_i \tag{2.14}$$

$$I = \frac{E - E_c}{R_i} \tag{2.15}$$



รูปที่ 2.1 ทิศทางของกระแสที่ไหลขณะทำการชาร์จ

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการ

$$E = E_c + IR_i \tag{2.16}$$

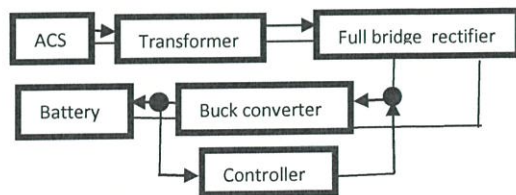
$$I = \frac{E - E_c}{R_i} \tag{2.17}$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ[2] อัตรการชาร์จหรือดิชาร์จจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ที่คของกระแสชาร์จแบตเตอรี่บอกไว้เป็นชั่วโมง ดังนั้นค่าของกระแสหาได้จากค่าความจุซึ่งมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) หารด้วยจำนวนชั่วโมง

3. หลักการทำงานของวงจร

หลักการทำงานของวงจรประจุไฟฟ้าจากไฟบ้านประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้า วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ และวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter) วงจรขับเกต (Gate Drive) และ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) โดยการจำลองระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ตอนที่1 การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ (Buck Converter)
- ตอนที่2 หลักการทำงานของวงจรรวม



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของการทำงานการประจุไฟฟ้าจากไฟบ้าน

3.1.การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่[1]

ก่อนจะทำการออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ เราจำเป็นต้องรู้รายละเอียดของแบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จก่อน การทดลองนี้ใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยแบตเตอรี่ 5 ลูก ลูกละ 12 V 21Ah แรงดันเริ่มชาร์จอยู่ที่ 55V และแรงดันเมื่อแบตเตอรี่เต็มอยู่ที่ 72 V จะได้ควิตีไซเคิล 2 ค่า คือ 0.35 และ 0.464 โดยทำการจำกัดกระแสการชาร์จไว้ 4A[3]

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำในวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter) นั้นอาศัยหลักการของการทำงานที่โหมคกระแสดังเนื่องค่าตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่ทำให้วงจรยังคงทำงานในโหมคกระแสดังเนื่องมีค่า

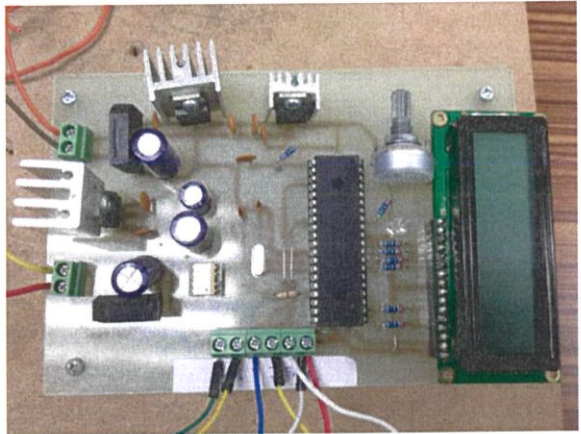
$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{3.1}$$

โดยใช้ค่าควิตีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.35 ในการหาค่าความเหนี่ยวนำ จะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุด 264 μ H และใช้ค่าควิตีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.464 จะได้ค่าเท่ากับ 219 μ H วงจรที่ออกแบบใช้ 370 μ H

การออกแบบตัวเก็บประจุในวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า นั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการรักษาระดับแรงดันขาออก โดยหลักการคือการรักษาให้อัตราการลดลงของแรงดันขาออกมีค่าน้อยกว่า 0.5% โดยสมการการหาค่าตัวเก็บประจุคือ

$$C = \frac{(1-D)V_o}{8Lf \Delta V_o} \tag{3.2}$$

โดยใช้ค่าควิตีไซเคิลเท่ากับ 0.35 ในการคำนวณหาค่าความจุของตัวเก็บประจุไฟฟ้า จะได้ค่าความจุไฟฟ้าต่ำที่สุดเท่ากับ 107 μ F และเมื่อใช้ค่าควิตีไซเคิลเท่ากับ 0.464 ในการคำนวณ จะได้ค่าตัวเก็บประจุมีขนาด 89 μ F วงจรที่ออกแบบใช้ 330 μ F



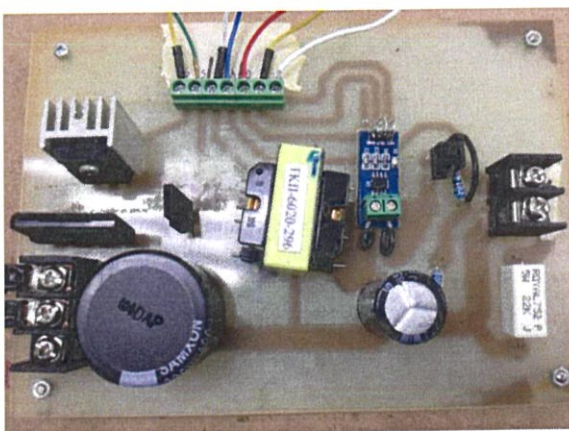
รูปที่ 3.2 การออกแบบวงจรควบคุม

3.2. หลักการทำงานของวงจรรวม

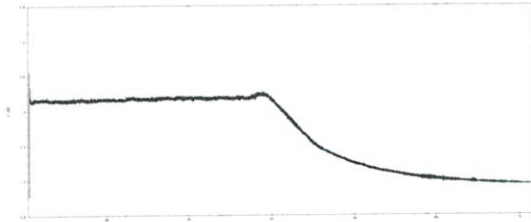
ในวงจรใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F4550 ในการประมวลผลและสั่งการให้มอสเฟตเปิดปิดตามคำสั่งเพื่อคงที่ค่ากระแสไว้ที่ 4A โดยการทำงานชาร์จแบตเตอรี่จะมี 2 ช่วง ช่วงแรกเมื่อกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่มีค่ามากกว่า 4A มอสเฟตจะทำการเปิดสวิตช์ และเมื่อกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่ต่ำกว่า 4A มอสเฟตจะทำการเปิดสวิตช์ เพื่อให้กระแสที่ไหลเข้าไหลลงที่ไว้ 4A จนแรงดันขั้วแบตเตอรี่มีค่า 72 V โดยรับค่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ผ่าน ตัวจับแรงดัน และรับค่ากระแสไฟฟ้าผ่านตัวจับกระแสไฟฟ้าจากนั้นนำมาประมวลผลเพื่อควบคุมกระแสต่อไป ช่วงที่ 2 จะเป็นการรักษาแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ให้เท่ากับ 72 V จะเป็นการปล่อยๆเคมีกระแสเพื่อรักษาระดับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ไว้ 72 V

4. ผลการทดลอง

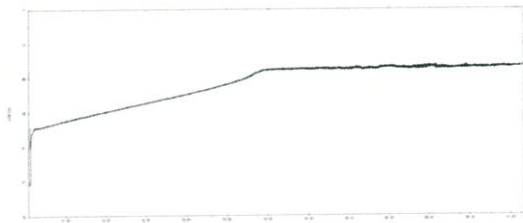
จากการทดลองชาร์จไฟจากไฟฟ้าบ้านเข้าสู่จักรยานยนต์ไฟฟ้า พบว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าบรรจุแบตเตอรี่ 5 ลูก แรงดันเริ่มชาร์จอยู่ที่ 55V และแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่สิ้นสุดที่ 72 V โดยช่วงแรกจะทำการชาร์จในโหมคกระแสดังที่ 4A และในช่วงที่สองจะทำการชาร์จโดยแรงดันคงที่ กระแสในช่วงที่สองจะลดลงตามลำดับ เพื่อเติมประจุให้แบตเตอรี่เต็ม เพราะช่วงนี้แบตเตอรี่จะดีสชาร์จตัวเองอยู่ตลอดเวลา จากการจับเวลาสามารถชาร์จแบตเตอรี่ 5 ลูก 55V-72V ได้เต็มภายในเวลา 6-8 ชม. ด้วยกระแสที่ 4 A



รูปที่ 3.1 การออกแบบวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter)



รูปที่ 4.1 กราฟกระแสการชาร์จด้วยกระแสที่ 4A



รูปที่ 4.2 กราฟแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ที่ชาร์จด้วยกระแส 4A

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาทำการชาร์จค่อนข้างเร็ว เพราะแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสได้ 21Ah ถ้าทำการชาร์จที่กระแสไฟฟ้า 4A แบตเตอรี่จะมีประจุเต็มอยู่ที่ 6-8 ชั่วโมง[5] นับว่าเป็นการชาร์จที่รวดเร็ว สาเหตุที่ไม่ชาร์จกระแสมากกว่า 4A เพราะไม่สามารถวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้ จึงไม่ทราบว่าแบตเตอรี่ได้รับความร้อนมากเกินไปหรือไม่[4] จากกราฟผลการทดลอง กระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่มีค่าไม่แปรปรวนที่ 4A มีสาเหตุมาจาก กระแสไม่สามารถเปลี่ยนทันทีทันใดได้ที่ตัวเหนี่ยวนำขดลวด และมีการเปิดปิดสวิตซ์ของมอสเฟต ทำให้กระแสขาออกถูปร่างเป็น 3 เหลี่ยม แต่มีการไหลที่ต่อเนื่อง จึงจ่ายกระแสไฟฟ้าไปสู่แบตเตอรี่ได้อย่างไม่ขาดช่วง

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics), พิมพ์ครั้งที่ 10, กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง, 2553
- [2] Hua and M. Y. Lin, "A study of charging control of Lead-Acid battery for electric vehicles," IEEE, vol. 1, 2011, On page(s): 135-140.
- [3] Genesis EnerSys, "Initial Charge Current Limit," Battery Application Manual, 2009, On page(s): 1-4.

[4] DENVER, COLORADO, "Battery charging and specific gravity temperature correction," STORAGE BATTERY MAINTENANCE AND PRINCIPLES, Internet version of This Manual Created June, 1998, On page(s): 2-3

[5] Toyota Motor Sales,U.S.A, "Fast Charging," .On page(s): 1-19

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ซึ่งเป็นผลมาจากการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ทั้งฝ่ายอาจารย์หลายๆท่านที่ถ่ายทอดความรู้อย่างเต็มความสามารถ อีกทั้งยังให้คำแนะนำที่ดีและเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้ดูแลอุปกรณ์และสถานที่ต่างๆที่ช่วยอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี รวมถึงบุคคลอื่นๆอีกหลายท่านที่มีส่วนช่วยให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ต้องขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายอภิสิทธิ์ ชื่นเจริญ

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล นายอริชเย ลือภักพัฒน์กุล

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล นายสุวิชชา รานูรี

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล นายอนันท์ อินไชย

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข.

ชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์

Code Microcontroller

```

#include <18F4550.h>

#DEVICE ADC=10

#fuses HSPLL,CPUDIV1,NOWDT,NOPROTECT

#use delay(clock = 20000000)

#use fast_io(A)

#use fast_io(B)

#use fast_io(C)

#use fast_io(D)

int16 overflow = 0 ;

int16 Voltage , Current ;

int32 SampleC[200] , SampleV[200] ;

int16 i ;

int16 error ;

int Voltage_10 = 0 ;

int Voltage_1 = 0 ;

int Voltage_01 = 0 ;

int Current_1 = 0 ;

int Current_01 = 0 ;

int Current_001 = 0 ;

float RealVoltage ;

float RealCurrent ;

struct lcd_pin_map
{
    int unused : 2 ;

    BOOLEAN rs ;

    BOOLEAN enable ;

    int data : 4 ;

```

```

} lcd;

#define lcd = 0xF83

#define set_tris_lcd(X) set_tris_d(X)

#define lcd_type 2

#define lcd_line_two 0x40;

byte const LCD_INIT_STRING[4] = {0x20 | (lcd_type << 2) , 0x0C , 1 , 6 };

struct lcd_pin_map const LCD_WRITE = {0,0,0,0} ;

struct lcd_pin_map const LCD_READ = {0,0,0,15} ;

void lcd_send_nibble(byte n)

{

    lcd.data = n ;

    delay_cycles(1) ;

    output_high(PIN_D3) ;

    delay_us(2) ;

    output_low(PIN_D3) ;

}

void lcd_send_byte(byte address , byte n)

{

    lcd.rs = 0 ;

    delay_us(500) ;

    lcd.rs = address ;

    delay_cycles(1) ;

    output_low(PIN_D3) ;

    lcd_send_nibble(n>>4) ;

    lcd_send_nibble(n & 0x0f) ;

}

```

```
void lcd_gotoxy(byte x , byte y)
{
    byte address ;
    If (y!=1)
        {
            address = lcd_line_two ;
        }
    else
        address = 0 ;
        address += x-1 ;
        lcd_send_byte(0,0x80|address) ;
}
```

```
void lcd_init()
{
    byte i ;
    set_tris_lcd(LCD_WRITE) ;
    lcd.rs = 0 ;
    output_low(PIN_D3) ;
    delay_ms(15) ;
    for(i=1 ; i<=3 ; ++i)
    {
        lcd_send_nibble(3) ;
        delay_ms(5) ;
    }
    lcd_send_nibble(2) ;
    for(i=0 ; i<=3 ; ++i)
        lcd_send_byte(0,LCD_INIT_STRING[i]) ;
}
```

```

}

void lcd_putc(char c)
{
    switch(c)
    {
        case '\f' : lcd_send_byte(0,1) ;
                    delay_ms(2) ;
                    break ;

        case '\n' : lcd_gotoxy(1,2) ;
                    break ;

        case '\b' : lcd_send_byte(0,0x10) ;
                    break ;

        case '\m' : lcd_gotoxy(9,2) ;
                    break ;

        default  : lcd_send_byte(1,c) ;
    }
}

#INT_TIMER0
void intTMR0_isr(void)
{
    overflow ++ ;

    If(overflow >= 1000)
    {
        overflow = 0 ;

        RealVoltage = Voltage*0.102639296 ;

        RealCurrent = Current*0.048875855-25 ;
    }
}

```

```
Voltage_10 = RealVoltage/10 ;
Voltage_1  = RealVoltage-(Voltage_10*10) ;
Voltage_01 = (RealVoltage-(Voltage_10*10)-(Voltage_1))*10 ;
Current_1  = RealCurrent/1 ;
Current_01 = (RealCurrent-Current_1)*10 ;
Current_001 = ((RealCurrent-Current_1)*10-(Current_01))*10 ;

lcd_init();

lcd_putc('\f') ;
lcd_putc('*') ;
lcd_putc('*') ;
lcd_putc('V') ;
lcd_putc('O') ;
lcd_putc('L') ;
lcd_putc('T') ;
lcd_putc('A') ;
lcd_putc('G') ;
lcd_putc('E') ;
lcd_putc(' ') ;

lcd_putc(48+Voltage_10) ;
lcd_putc(48+Voltage_1) ;
lcd_putc('.') ;
lcd_putc(48+Voltage_01) ;
lcd_putc('*') ;
lcd_putc('*') ;
lcd_putc('\n') ;
lcd_putc('*') ;
lcd_putc('*') ;
lcd_putc('C') ;
```

```
    lcd_putc('U');  
    lcd_putc('R');  
    lcd_putc('R');  
    lcd_putc('E');  
    lcd_putc('N');  
    lcd_putc('T');  
    lcd_putc(' ');  
    lcd_putc(48+Current_1);  
    lcd_putc('.');  
    lcd_putc(48+Current_01);  
    lcd_putc(48+Current_001);  
    lcd_putc('*');  
    lcd_putc('*');  
}  
set_timer0(63036);  
}
```

```
void main()  
{  
    int PWM_Value = 0;  
    setup_ccp1(CCP_PWM);  
    setup_ccp2(CCP_PWM);  
    set_pwm2_duty(75);  
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,227,1);  
    set_timer2(0);  
    set_tris_A(0B00100010);  
    set_tris_B(0B00000000);  
    set_tris_C(0B00000000);
```

```
set_tris_D(0B00000000);  
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);  
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);  
enable_interrupts(GLOBAL);  
enable_interrupts(INT_TIMER0);  
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_2);  
set_timer0(63036);  
while(1)  
{  
    for( i=0 ; i<200 ; i++)  
    {  
        set_adc_channel(1);  
        delay_us(10);  
        SampleV[i] = read_adc();  
        set_adc_channel(5);  
        delay_us(10);  
        SampleC[i] = read_adc();  
    }  
    for(i=1 ; i<200 ; i++)  
    {  
        SampleV[i] = SampleV[i]+SampleV[i-1];  
        SampleC[i] = SampleC[i]+SampleC[i-1];  
    }  
    Voltage = ((SampleV[199])/200)-13;  
    Current = ((SampleC[199])/200)-6;  
    If ( Voltage < 682) // Voltage = 70 V  
    {  
        If (Current < 593) // Constant Current = 4 A
```

```
{  
    error=593-Current ;  
    if(error < 6)  
    {  
        PWM_Value = PWM_Value ;  
        set_pwm1_duty(PWM_Value) ;  
        delay_ms(1) ;  
    }  
    else  
    {  
        PWM_Value = PWM_Value+1 ;  
        set_pwm1_duty(PWM_Value);  
        delay_ms(1) ;  
    }  
}  
else  
    If (Current > 593)  
    {  
        error=Current-593 ;  
        If (error < 6)  
        {  
            PWM_Value = PWM_Value ;           set_pwm1_duty(PWM_Value) ;  
            delay_ms(1) ;  
        }  
        else  
        {  
            PWM_Value = PWM_Value-1 ;  
            set_pwm1_duty(PWM_Value);  
        }  
    }  
}
```

```
    delay_ms(1);
  }
}
else
{
    PWM_Value = PWM_Value ;
set_pwm1_duty(PWM_Value);
    delay_ms(1);
}
}
else
{
    If ( Voltage > 682 ) // Voltage = 70 V
    {
        If ( Voltage > 682)
        {
            error = Voltage - 682 ;
            If ( error > 5 )
            {
                PWM_Value = PWM_Value-1 ;
set_pwm1_duty(PWM_Value);
                delay_ms(1);
            }
        }
        else
        {
            PWM_Value = PWM_Value ;    set_pwm1_duty(PWM_Value);
            delay_ms(1);
        }
    }
}
```

```
    }  
    else  
    If ( Voltage < 682 )  
    {  
        error = 682 - Voltage ;  
        If ( error > 5 )  
        {  
            PWM_Value = PWM_Value+1 ;  
set_pwm1_duty(PWM_Value);  
            delay_ms(1) ;  
        }  
        else  
        {  
            PWM_Value = PWM_Value ;  
set_pwm1_duty(PWM_Value);  
            delay_ms(1) ;  
        }  
    }  
    else  
    {  
        PWM_Value = PWM_Value ;  
set_pwm1_duty(PWM_Value);  
        delay_ms(1) ;  
    }  
    }  
    If(PWM_Value < 46 )  
    {
```

```
    PWM_Value = 46 ;  
}  
If(PWM_Value > 193 )  
{  
    PWM_Value = 193 ;  
}  
If ( Current > 522 ) // Current = 0.5 A  
    {  
        output_high(PIN_B0) ;      //led red  
    }  
else  
    {  
        output_low(PIN_B0) ;      //led green  
    }  
}  
}
```

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลอุปกรณ์


MICROCHIP
PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant SIE
- Low-speed (1.5 Mb/s) and full-speed (12 Mb/s)
- Supports control, interrupt, isochronous and bulk transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-board USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep current down to 0.1 μ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Five Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High current sink/source: 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead-time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Addressable USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

Special Microcontroller Features:

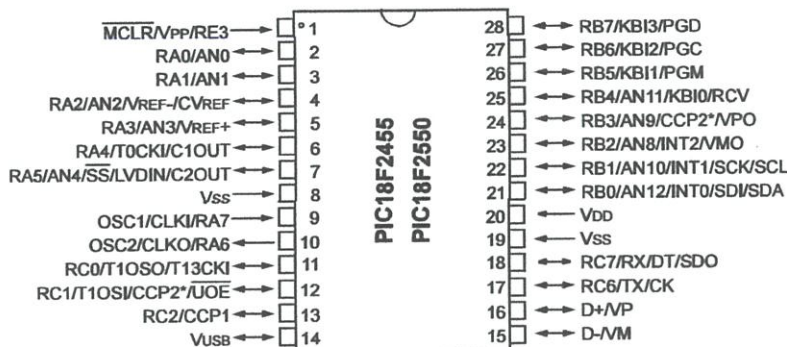
- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8, x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		IO	10-bit A/D (ch)	CCP/ ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-bit
	FLASH (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

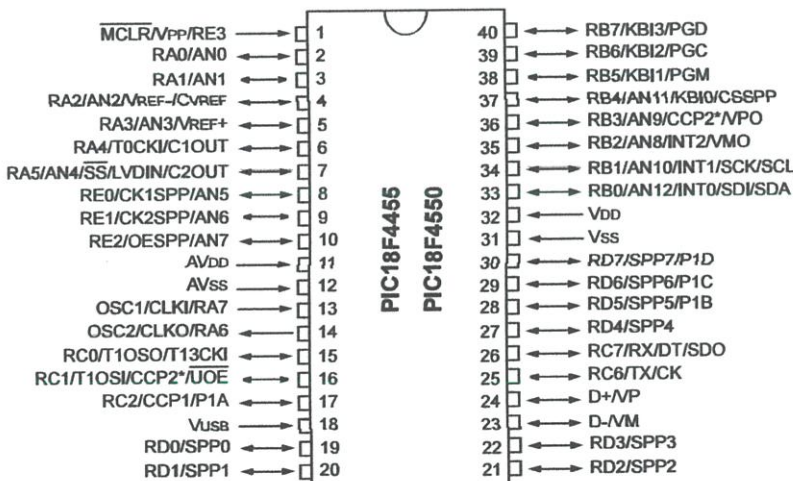
PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams

28-Pin SDIP, SOIC



40-Pin PDIP



Note: Pinouts are subject to change.

* Assignment of this feature is dependent on device configuration.



Three-Terminal Positive Voltage Regulators

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 A
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance
- Available in Surface Mount D²PAK and Standard 3-Lead Transistor Packages
- Previous Commercial Temperature Range has been Extended to a Junction Temperature Range of -40°C to +125°C

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE

MC7805AC	5.0 V	MC7812C	12 V
LM340AT-5		LM340T-12	
MC7805C		MC7815AC	
LM340T-5	6.0 V	LM340AT-15	15 V
MC7806AC		MC7815C	
MC7806C		LM340T-15	
MC7808AC	8.0 V	MC7818AC	18 V
MC7808C		MC7818C	
MC7809C	9.0 V	MC7824AC	24 V
MC7812AC	12 V	MC7824C	
LM340AT-12			

ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Operating Temperature Range	Package
MC78XXACT	2%	$T_J = -40^\circ \text{ to } +125^\circ \text{C}$	Insertion Mount
LM340AT-XX			Surface Mount
MC78XXACD2T			Insertion Mount
MC78XXCT	4%		Insertion Mount
LM340T-XX			Surface Mount
MC78XXCD2T			Surface Mount

XX indicates nominal voltage.

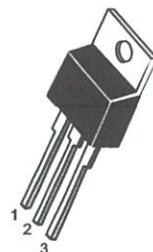
MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

T SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 221A

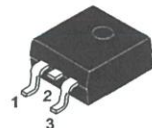
Heatsink surface
connected to Pin 2.



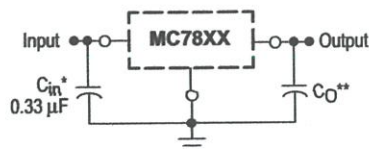
Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

D2T SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 936 (D²PAK)

Heatsink surface (shown as terminal 4 in
case outline drawing) is connected to Pin 2.



STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response. Values of less than 0.1 μF could cause instability.

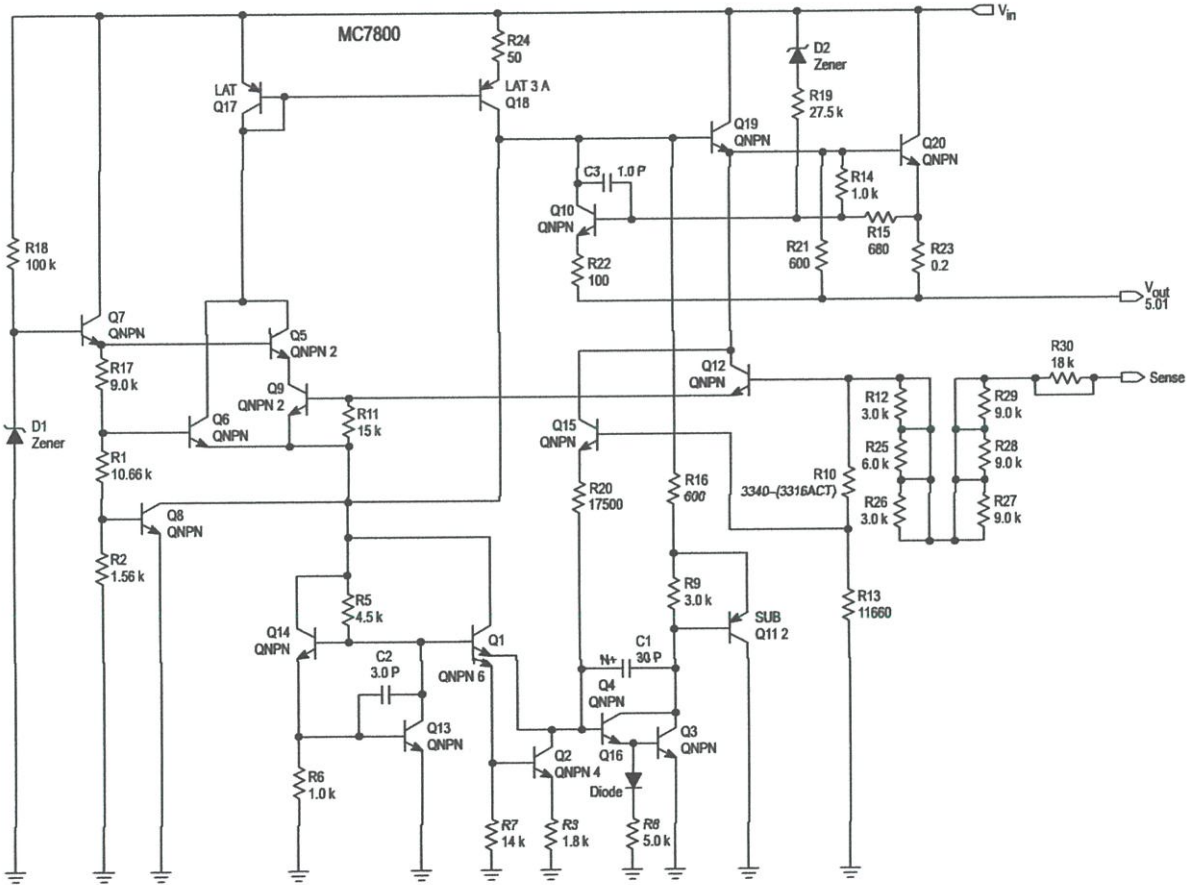
MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (5.0 – 18 V) (24 V)	V_I	35 40	Vdc
Power Dissipation Case 221A $T_A = 25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-Case Case 936 (D ² PAK) $T_A = 25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-Case	P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JC}$ P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JA}$	Internally Limited 65 5.0 Internally Limited See Figure 13 5.0	W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$ W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$
Storage Junction Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature	T_J	+150	$^\circ\text{C}$

NOTE: ESD data available upon request.

Representative Schematic Diagram



This device contains 22 active transistors.

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7805C/LM340T-5			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	4.75 –	5.0 –	5.25 –	Vdc
Line Regulation (Note 2) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$	Reg _{line}	– –	0.5 0.8	20 10	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$ ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	Reg _{load}	– –	1.3 1.3	25 25	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.2	6.5	mA
Quiescent Current Change $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	ΔI_B	– –	0.3 0.08	1.0 0.8	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	62	83	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	–	10	–	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	–	0.9	–	m Ω
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	–	0.6	–	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	–	2.2	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	–	–0.3	–	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7805AC/LM340AT-5			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	4.9	5.0	5.1	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Line Regulation (Note 2) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $7.3\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	– – – –	0.5 0.8 1.3 4.5	10 12 4.0 10	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	– – –	1.3 0.8 0.53	25 25 15	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.2	6.0	mA
Quiescent Current Change $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	– – –	0.3 – 0.08	0.8 0.8 0.5	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	68	83	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc

NOTES: 1. $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7809CT			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	8.65	9.0	9.35	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 24\text{ Vdc}$	V_O	8.55	9.0	9.45	Vdc
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 2) $11\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$ $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 17\text{ Vdc}$	Reg _{line}	–	6.2 1.8	32 16	mV
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	Reg _{load}	–	1.5	35	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.4	8.0	mA
Quiescent Current Change $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	–	–	1.0 0.5	mA
Ripple Rejection $11.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 21.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	56	61	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	–	10	–	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	–	1.0	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	–	0.2	–	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	–	2.2	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	–	–0.5	–	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7812C/LM340T–12			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	11.5	12	12.5	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $14.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$	V_O	11.4	12	12.6	Vdc
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 2) $14.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$ $16\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 22\text{ Vdc}$ $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$	Reg _{line}	–	3.8 0.3 –	24 24 48	mV
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	Reg _{load}	–	8.1	60	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.4	6.5	mA
Quiescent Current Change $14.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $15\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	–	–	0.7 0.8 0.5	mA
Ripple Rejection $15\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	55	60	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc

NOTES: 1. $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT–XX, LM340T–XX $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT–XX, LM340T–XX2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued) ($V_{in} = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7812C/LM340T-12			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	–	10	–	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	–	1.1	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	–	0.2	–	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	–	2.2	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	–	–0.8	–	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 19\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7812AC/LM340AT-12			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	11.75	12	12.25	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$	V_O	11.5	12	12.5	Vdc
Line Regulation (Note 2) $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $16\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 22\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$ $14.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	–	3.8 2.2 6.0	18 20 120	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	Reg _{load}	–	–	25 25	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.4	6.0	mA
Quiescent Current Change $15\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $14.8\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 27\text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	ΔI_B	–	–	0.8 0.8 0.5	mA
Ripple Rejection $15\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	55	60	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	–	10	–	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	–	1.1	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	–	0.2	–	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	–	2.2	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	–	–0.8	–	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

NOTES: 1. $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7815C/LM340T-15			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	14.4	15	15.6	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$	V_O	14.25	15	15.75	Vdc
Line Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 2) $17.9\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$ $20\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$	Regline	–	8.5 3.0	30 28	mV
Load Regulation, $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	Regload	–	1.8	55	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.5	6.5	mA
Quiescent Current Change $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$ $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	–	–	0.8 0.7 0.5	mA
Ripple Rejection $18.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 28.5\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	54	58	–	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_1 - V_O$	–	2.0	–	Vdc
Output Noise Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	–	10	–	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance $f = 1.0\text{ kHz}$	r_O	–	1.2	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current Limit ($T_A = 25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{SC}	–	0.2	–	A
Peak Output Current ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_{max}	–	2.2	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	–	–1.0	–	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 23\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7815AC/LM340AT-15			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_O	14.7	15	15.3	Vdc
Output Voltage ($5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$) $17.9\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$	V_O	14.4	15	15.6	Vdc
Line Regulation (Note 2) $17.9\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $20\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 26\text{ Vdc}$ $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	Regline	–	8.5 3.0 7.0	20 22 20	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Regload	–	1.8 1.5 1.2	25 25 15	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.5	6.0	mA
Quiescent Current Change $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $17.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 30\text{ Vdc}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	–	–	0.8 0.8 0.5	mA

NOTES: 1. $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX $T_{high} = +125^\circ\text{C}$ for MC78XXAC, C, LM340AT-XX, LM340T-XX

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



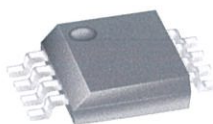
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

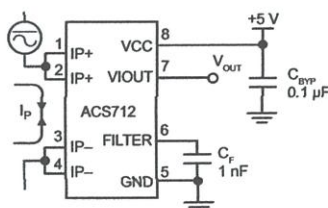
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _{OP} (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(Source)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(Sink)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	100 total pulses, 250 ms duration each, applied at a rate of 1 pulse every 100 seconds.	60	A
Maximum Transient Sensed Current	I _{R(max)}	Junction Temperature, T _J < T _{J(max)}	60	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C



TÜV America
Certificate Number:
U8V 06 05 54214 010

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

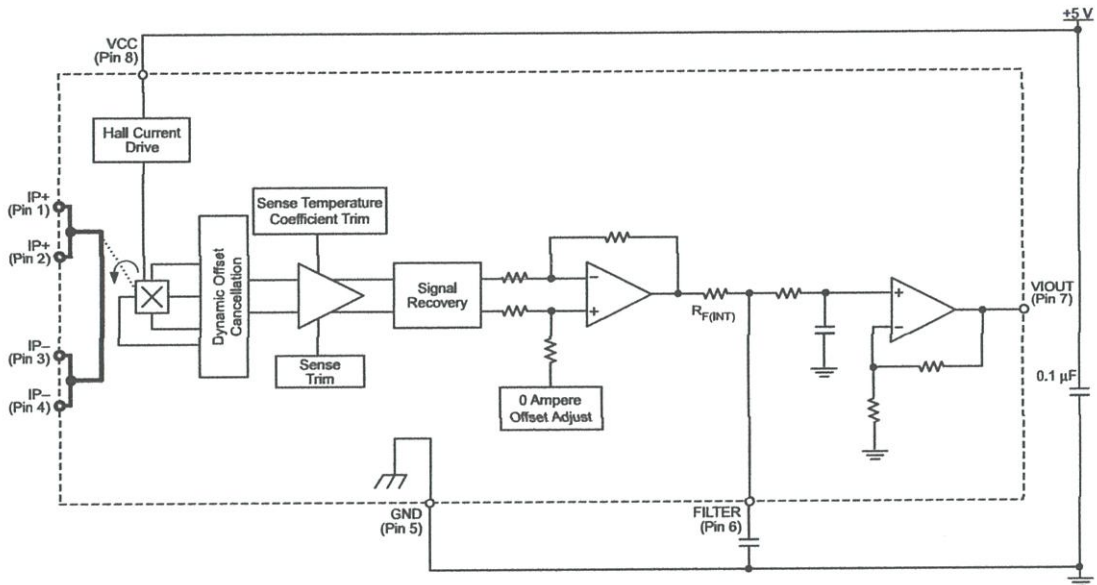


Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

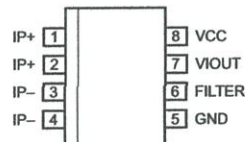
ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_{OP} , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	6	8	11	mA
Output Zener Clamp Voltage	V_Z	$I_{CC} = 11$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$	6	8.3	–	V
Output Resistance	R_{IOUT}	$I_{IOUT} = 1.2$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1	2	Ω
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
RMS Isolation Voltage	V_{ISORMS}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2100	–	–	V
DC Isolation Voltage	V_{ISODC}	Pins 1-4 and 5-8; 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	5000	–	V
Propagation Time	t_{PROP}	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3	–	μs
Response Time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	7	–	μs
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	50	–	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	± 1	± 1.5	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Magnetic Offset Error	V_{ERROM}	$I_P = 0$ A, after excursion of 5 A	–	0	–	mV
Clamping Voltage	V_{CH}		Typ. –110	$V_{CC} \times 0.9375$	Typ. +110	mV
	V_{CL}		Typ. –110	$V_{CC} \times 0.0625$	Typ. +110	mV
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_{OP}	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

x05A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	185	-	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	178	-	193	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	-	45	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	20	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	-	75	-	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-40	-	40	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	100	-	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	97	-	103	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	-	24	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	10	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	-	40	-	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	-	30	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	66	-	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	64	-	68	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	-	20	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	-	35	-	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	-	30	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.





Certificate Number: Q10561

Certificate Number: E17276

RBV2500D - RBV2510D

SILICON BRIDGE RECTIFIERS

PRV : 50 - 1000 Volts

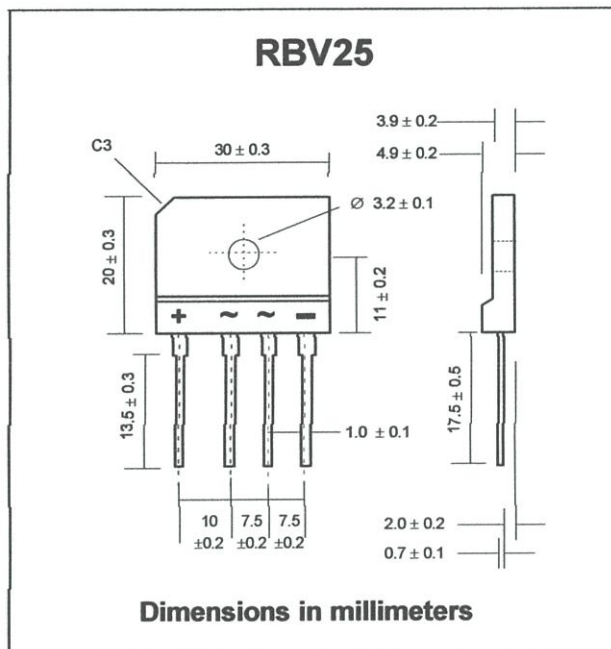
Io : 25 Amperes

FEATURES :

- * High current capability
- * High surge current capability
- * High reliability
- * Low reverse current
- * Low forward voltage drop
- * High case dielectric strength of 2000 V_{DC}
- * Ideal for printed circuit board
- * Very good heat dissipation
- * Pb / RoHS Free

MECHANICAL DATA :

- * Case : Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique
- * Epoxy : UL94V-O rate flame retardant
- * Terminals : Plated lead solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- * Polarity : Polarity symbols marked on case
- * Mounting position : Any
- * Weight : 8.17 grams (Approximally)



MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	RBV 2500D	RBV 2501D	RBV 2502D	RBV 2504D	RBV 2506D	RBV 2508D	RBV 2510D	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Current T _c = 55°C	I _{F(AV)}	25							A
Peak Forward Surge Current Single half sine wave Superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	400							A
Current Squared Time at t < 8.3 ms.	I _t ²	375							A ² S
Maximum Forward Voltage per Diode at I _F = 25 A	V _F	1.1							V
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	I _R	10							μA
	I _{R(T)}	200							μA
Typical Thermal Resistance (Note 1)	R _{θJC}	1.2							°C/W
Operating Junction Temperature Range	T _J	- 40 to + 150							°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	- 40 to + 150							°C

Notes :

1. Thermal Resistance from junction to case with units mounted on a 5" x 6" x 4.9" (12.8cm.x 15.2cm.x 12.4cm.) Al.-Finned Plate



Certificate Number: Q10561

Certificate Number: E17276

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (RBV2500D - RBV2510D)

FIG.1 - DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT

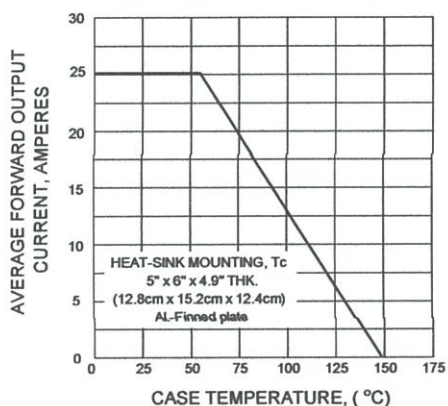


FIG.2 - MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

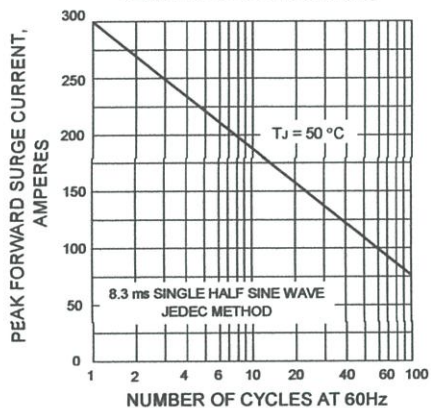


FIG.3 - TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS PER DIODE

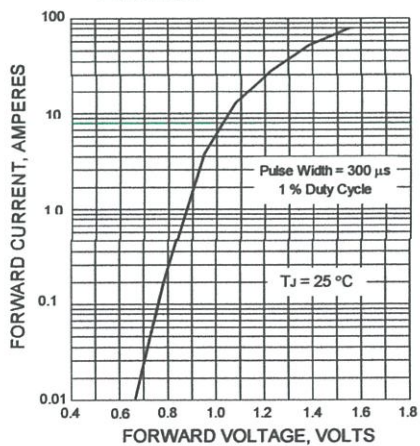
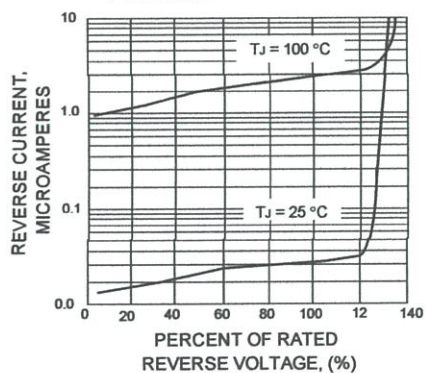


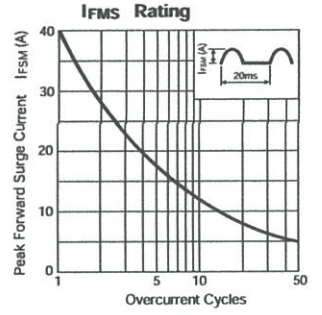
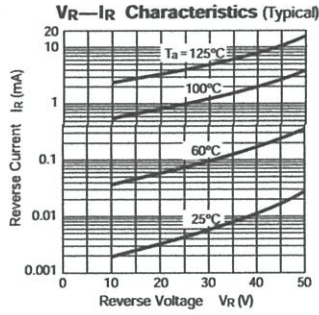
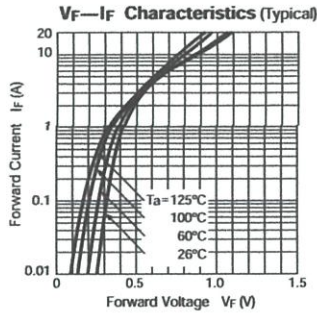
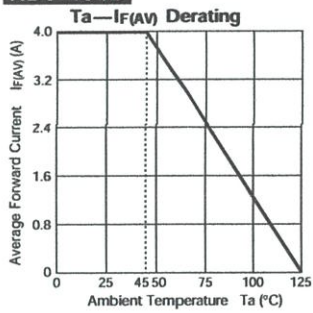
FIG.4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER DIODE



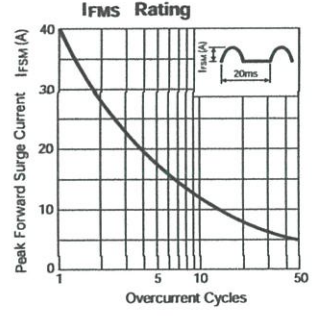
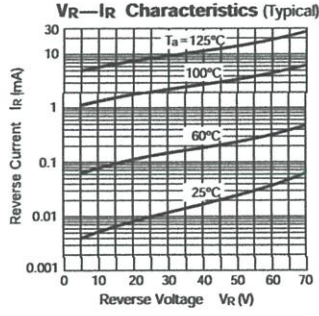
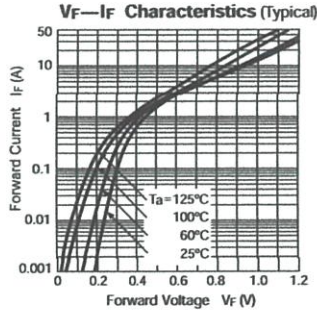
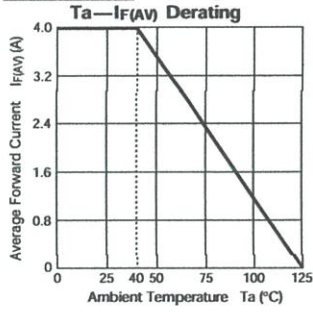
Bridge Diodes (Schottky Barrier)

Parameter Type No.	Absolute Maximum Ratings					Electrical Characteristics (Ta=25°C)					Others			
	V _{RM} (V)	I _{F(AV)} (A) With Heatsink	I _{FSM} (A) 50Hz Half-cycle Sinewave Single Shot	T _J (°C)	T _{stg} (°C)	V _F (V)		I _R (mA)	I _{R(H)} (mA)	t _{rr} (ns)	R _{th(j-c)} (°C/W)	Mass (g)	Fig.	
						max per element	I _F (A)	V _R =V _{RM} max per element	V _R =V _{RM} , Ta=100°C max per element					
RBV-404B	40	4.0	40	-40 to +125		0.55	2.0	2.0	20	100	100/100	5.0	4.25	Ⓐ
RBV-406B	60					0.62								
RBV-1004B	40	10.0	60			0.55	5.0	5.0	35 (T _J =125°C)					

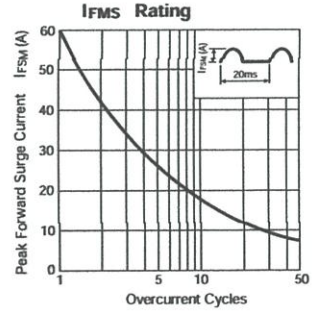
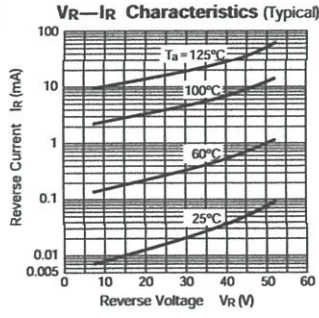
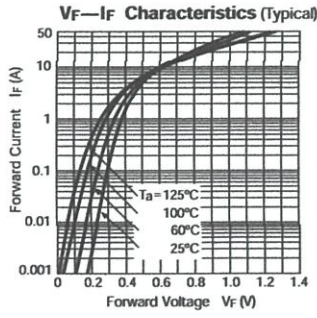
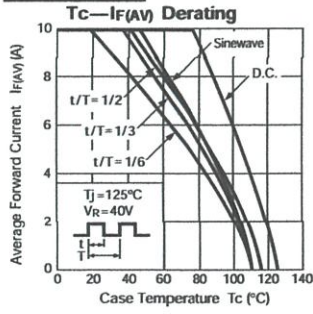
RBV-404B



RBV-406B



RBV-1004B

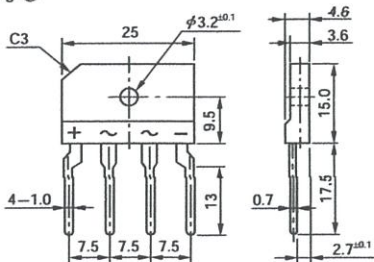


External Dimensions

(Unit: mm)

Flammability:
UL94V-0 or Equivalent

Fig. Ⓐ



V_{DSS}	500V
$R_{DS(on)}(Max.)$	1.05Ω
I_D	±7A
P_D	40W

●Features

- 1) Low on-resistance.
- 2) Fast switching speed.
- 3) Gate-source voltage (V_{GSS}) guaranteed to be ±30V.
- 4) Drive circuits can be simple.
- 5) Parallel use is easy.
- 6) Pb-free lead plating ; RoHS compliant

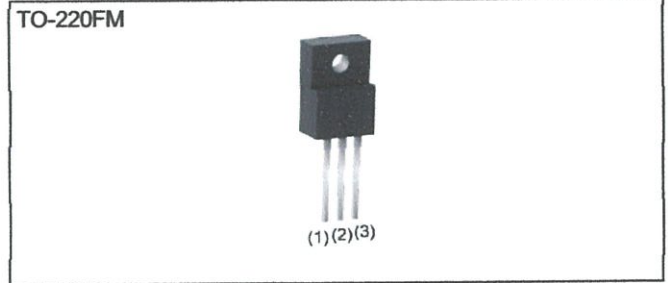
●Application

Switching Power Supply

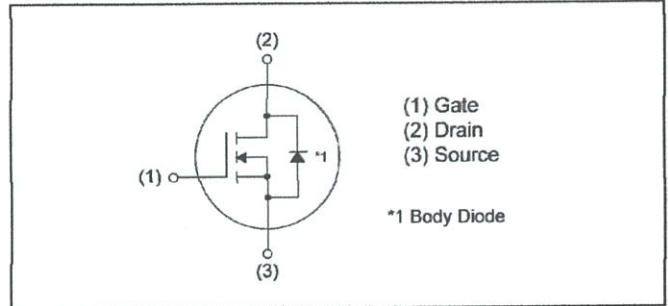
●Absolute maximum ratings ($T_a = 25^\circ C$)

Parameter	Symbol	Value	Unit	
Drain - Source voltage	V_{DSS}	500	V	
Continuous drain current	$T_C = 25^\circ C$	I_D^{*1}	±7	A
	$T_C = 100^\circ C$	I_D^{*1}	±3.4	A
Pulsed drain current	$I_{D,pulse}^{*2}$	±28	A	
Gate - Source voltage	V_{GSS}	±30	V	
Avalanche energy, single pulse	E_{AS}^{*3}	3.2	mJ	
Avalanche energy, repetitive	E_{AR}^{*4}	2.6	mJ	
Avalanche current	I_{AR}^{*3}	3.5	A	
Power dissipation ($T_C = 25^\circ C$)	P_D	40	W	
Junction temperature	T_j	150	°C	
Range of storage temperature	T_{stg}	-55 to +150	°C	
Reverse diode dv/dt	dv/dt	15	V/ns	

●Outline



●Inner circuit



●Packaging specifications

Type	Packing	Bulk
	Reel size (mm)	-
	Tape width (mm)	-
	Basic ordering unit (pcs)	500
	Taping code	-
	Marking	R5007ANX

● Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	Conditions	Values	Unit
Drain - Source voltage slope	dv/dt	$V_{DS} = 400V, I_D = 7A$ $T_j = 125^\circ C$	50	V/ns

● Thermal resistance

Parameter	Symbol	Values			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
Thermal resistance, junction - case	R_{thJC}	-	-	3.13	$^\circ C/W$
Thermal resistance, junction - ambient	R_{thJA}	-	-	70	$^\circ C/W$
Soldering temperature, wavesoldering for 10s	T_{sold}	-	-	265	$^\circ C$

● Electrical characteristics ($T_a = 25^\circ C$)

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Drain - Source breakdown voltage	$V_{(BR)DSS}$	$V_{GS} = 0V, I_D = 1mA$	500	-	-	V
Drain - Source avalanche breakdown voltage	$V_{(BR)DS}$	$V_{GS} = 0V, I_D = 3.5A$	-	580	-	V
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	$V_{DS} = 500V, V_{GS} = 0V$ $T_j = 25^\circ C$ $T_j = 125^\circ C$	-	0.1	100	μA
Gate - Source leakage current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 30V, V_{DS} = 0V$	-	-	± 100	nA
Gate threshold voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = 10V, I_D = 1mA$	2.5	-	4.5	V
Static drain - source on - state resistance	$R_{DS(on)}^{*6}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 3.5A$ $T_j = 25^\circ C$ $T_j = 125^\circ C$	-	0.8	1.05	Ω
Gate input resistance	R_G	f = 1MHz, open drain	-	7.3	-	Ω

●Electrical characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Transconductance	g_{fs}^{*6}	$V_{DS} = 10\text{V}, I_D = 3.5\text{A}$	2.5	4.5	-	S
Input capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{V}$	-	500	-	pF
Output capacitance	C_{oss}	$V_{DS} = 25\text{V}$	-	300	-	
Reverse transfer capacitance	C_{riss}	$f = 1\text{MHz}$	-	23	-	
Effective output capacitance, energy related	$C_{o(er)}$	$V_{GS} = 0\text{V},$ $V_{DS} = 0\text{V to } 400\text{V}$	-	22.4	-	pF
Effective output capacitance, time related	$C_{o(tr)}$		-	65.0	-	
Turn - on delay time	$t_{d(on)}^{*6}$	$V_{DD} \approx 250\text{V}, V_{GS} = 10\text{V}$ $I_D = 3.5\text{A}$ $R_L = 71.4\Omega$ $R_G = 10\Omega$	-	20	-	ns
Rise time	t_r^{*6}		-	22	-	
Turn - off delay time	$t_{d(off)}^{*6}$		-	50	100	
Fall time	t_f^{*6}		-	25	50	

●Gate charge characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Total gate charge	Q_g^{*6}	$V_{DD} \approx 250\text{V}$	-	13	-	nC
Gate - Source charge	Q_{gs}^{*6}	$I_D = 7\text{A}$	-	3.5	-	
Gate - Drain charge	Q_{gd}^{*6}	$V_{GS} = 10\text{V}$	-	5.5	-	
Gate plateau voltage	$V_{(plateau)}$	$V_{DD} \approx 250\text{V}, I_D = 7\text{A}$	-	5.9	-	V

*1 Limited only by maximum temperature allowed.

*2 $P_w \leq 10\mu\text{s}$, Duty cycle $\leq 1\%$

*3 $L \approx 500\mu\text{H}$, $V_{DD} = 50\text{V}$, $R_G = 25\Omega$, starting $T_j = 25^\circ\text{C}$

*4 $L \approx 500\mu\text{H}$, $V_{DD} = 50\text{V}$, $R_G = 25\Omega$, starting $T_j = 25^\circ\text{C}$, $f = 10\text{kHz}$

*5 Reference measurement circuits Fig.5-1.

*6 Pulsed

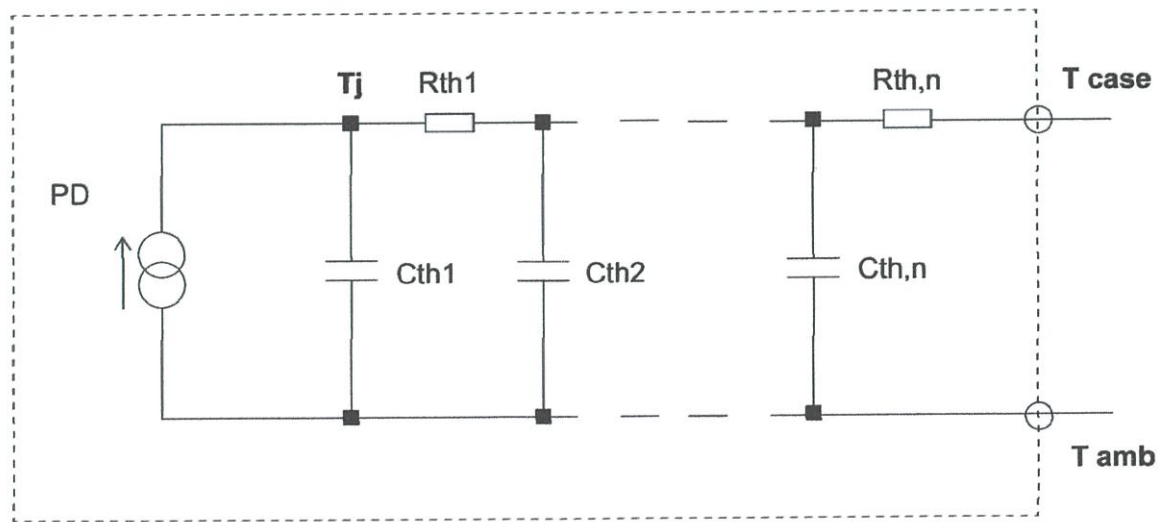
● Body diode electrical characteristics (Source-Drain) ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Inverse diode continuous, forward current	I_S^{*1}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	-	7	A
Inverse diode direct current, pulsed	I_{SM}^{*2}		-	-	28	A
Forward voltage	V_{SD}^{*6}	$V_{GS} = 0\text{V}, I_S = 7\text{A}$	-	-	1.5	V
Reverse recovery time	t_{rr}^{*6}	$I_S = 7\text{A}$ $di/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	302	-	ns
Reverse recovery charge	Q_{rr}^{*6}		-	2.02	-	μC
Peak reverse recovery current	I_{rm}^{*6}		-	13	-	A
Peak rate of fall of reverse recovery current	di_{rr}/dt	$T_j = 25^\circ\text{C}$	-	250	-	$\text{A}/\mu\text{s}$

● Typical transient thermal characteristics

Symbol	Value	Unit
R_{th1}	0.327	K/W
R_{th2}	1.12	
R_{th3}	2.00	

Symbol	Value	Unit
C_{th1}	0.00167	Ws/K
C_{th2}	0.0151	
C_{th3}	0.391	



TLP250

Transistor Inverter

Inverter For Air Conditionor

IGBT Gate Drive

Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

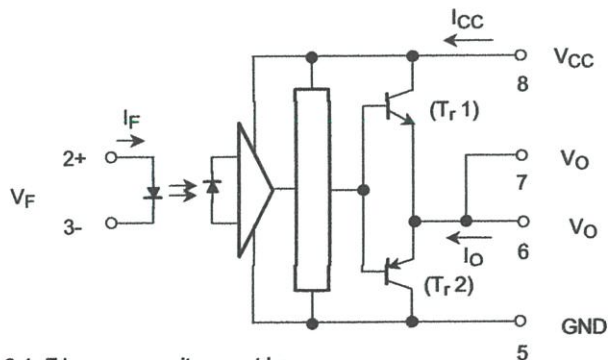
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
 - VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 - Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 - Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

Schematic

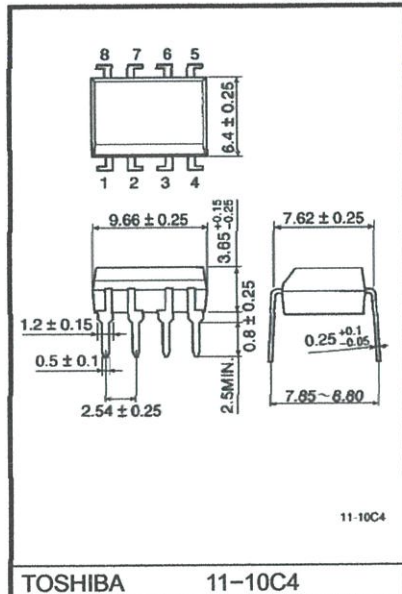


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Truth Table

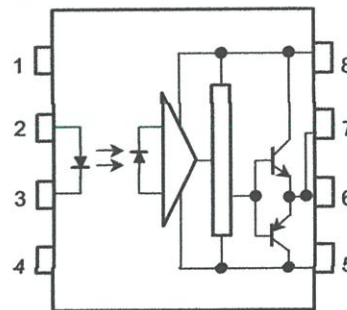
		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Unit in mm



TOSHIBA 11-10C4
Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I_F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V_R	5	V	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Detector	"H" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15\text{kHz}$) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15\text{kHz}$) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
Junction temperature		T_J	125	°C	
Operating frequency (Note 3)		f	25	kHz	
Operating temperature range		T_{opr}	-20~85	°C	
Storage temperature range		T_{stg}	-55~125	°C	
Lead soldering temperature (10 s)		T_{sol}	260	°C	
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)		BV_S	2500	Vrms	

(Note 1) Pulse width $P_W \leq 1\mu s$, 300pps

(Note 2) Exponential waveform

(Note 3) Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$, $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

(Note 4) Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1 μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30 20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	70 85	°C

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V ₈₋₆ = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}	2		I _F = 0 V ₆₋₅ = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t _{pLH}	6	I _F = 8mA V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t _{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t _r			—	—	—	
Output fall time		t _f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C _{MH}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 8mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C _{ML}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 0mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายอภิสิทธิ์ ชื่นเจริญ
 ที่อยู่ 151 ถนนประชาอุทิศ ซอยประชาอุทิศ แขวงดอนเมือง
 เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพฯ 10210
 เบอร์โทร 0917808443
 อีเมลล์ Apisit.chuencharoen@gmail.com



ชื่อ-สกุล นายอริยะ ลือภิวฒนกุล
 ที่อยู่ 206/30 ซอยอินทรพิทักษ์ แขวงบางยี่เรือ เขตธนบุรี
 จังหวัดกรุงเทพฯ 10600
 เบอร์โทร 0845646455
 อีเมลล์ pong_zal47@hotmail.com



ชื่อ-สกุล นายสุวิชา ราบุรี
 ที่อยู่ 58 แยก33 ซอยลาดพร้าว101 ถนนลาดพร้าว
 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ จังหวัดกรุงเทพฯ 10240
 เบอร์โทร 0855669871
 อีเมลล์ goodjeeman@gmail.com



ชื่อ-สกุล นายอานนท์ อินไชย
 ที่อยู่ 34 หมู่ 8 ตำบลแสนทอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดน่าน
 55140
 เบอร์โทร 0813730939
 อีเมลล์ inchai.an@hotmail.com