



ระบบประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับจักรยานไฟฟ้า

ELECTRIC CHARGER OF LiFePO4 BATTERY FOR ELECTRIC BICYCLE

นายศักดิ์ดา เอี่ยมสะอาด รหัส 51361742
 นายเสกวุฒิ ดิษฐรัมย์ รหัส 51361773

| | |
|-------------------|----------|
| คณะวิศวกรรมศาสตร์ | |
| ปี ๒๕๕๔ | ๒๕๕๕ |
| เลขที่ใบรับ | 16067839 |
| เลขที่ออกหนังสือ | ๑๕ |
| มหาวิทยาลัยนเรศวร | ๓๒๑๕ |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต^{๒๕๕๔}
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
 ปีการศึกษา ๒๕๕๔



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนพอดเฟดสำหรับรถจักรยานไฟฟ้า

ผู้ดำเนินโครงการ นายศักดิ์ดา เอี่ยมสะอาด รหัส 51361742
นายเสกวุฒิ ดิษฐรัมย์ รหัส 51361773

ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2554

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

.....กรรมการ
(ดร. พิสุทธิ อภิษยกุล)

ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตสำหรับ
รถจักรยานไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ นายศักดา เอี่ยมสะอาด รหัส 51361742
นายเสกวุฒิ ดิษฐรัมย์ รหัส 51361773
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพรเรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการเกี่ยวกับการทำงานรถจักรยานไฟฟ้าด้วย
แหล่งจ่ายแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต ซึ่งจะใช้เวลาการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่น้อย
น้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด และในระบบขับเคลื่อนจะใช้ไอซีเบอร์ 555 ต่อ
เข้าเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร ซึ่งวงจรนี้จะสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อป้อน
ให้กับมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะเป็นตัวเปิดหรือปิดกระแสให้แก่มอเตอร์ และขั้นตอนการทดสอบจะ
ใช้ผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม 75 กิโลกรัม และทดสอบแบบไร้ผู้ขับขี่ทดสอบในหัวข้อ
ลักษณะต่างๆ ซึ่งจะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับกัน เช่น กระแส แรงดัน และความเร็ว เป็น
ต้นและการทดสอบการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ จะทดสอบโดยการประจุให้กับแบตเตอรี่ ณ ค่า
แรงดันต่างๆ เหลือจากการใช้งาน เพื่อดูระยะเวลาในการประจุ

Project title Electric Charger of LiFePO₄ Battery for Electric Bicycle

Name Mr. Sakda Earnsaard ID. 51361742
 Mr. Sekkawut Dittayam ID. 51361773

Project advisor Assistant Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2011

.....

Abstract

This thesis presents the scheme of the battery charging system lithium ion nanophosphate by using as the supply source of the electric bicycle and needing less time for the battery charging. Upon comparison with the lead acid battery and in the driving motor system, shall use IC 555 on connection with the unstable multi-vibrator circuit. This circuit shall create the square wave signal for the Mosfet. Mosfet shall open or close the electric current for the motor. The test procedure shall comprise of the test with the driver in weight of 60 and 75 kilograms and the test without driver in the different topics. The derived parameters shall be compared i.e. current, voltage and speed etc. The test of battery charging shall be done by charging battery at different voltages to obtain the timr for battery charging.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความกรุณาในเอาใจใส่ในรายละเอียดของชิ้นงานและการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณที่ปวันรัตน์ มั่นนุชร์ ที่ให้ยืมอุปกรณ์และใช้ห้องปฏิบัติการ อีกทั้งขอขอบคุณนายทศพร อุปคำที่ช่วยตรวจสอบรูปเล่มจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา เป็นที่ปรึกษาปัญหาในทุกๆเรื่อง รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายศักดิ์ดา

เถียมสะอาด

นายเสกวุฒิ

ศิษฐรัมย์

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----|
| ใบรับรองปริญญาโท..... | ก |
| บทคัดย่อ..... | ข |
| Abstract | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ..... | จ |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน | 1 |
| 1.3 แนวทางการดำเนินงาน..... | 1 |
| 1.4 ขอบเขตของโครงการงาน..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงาน | 2 |
| 1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน | 2 |
| 1.7 งบประมาณ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน..... | 4 |
| 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า | 4 |
| 2.1.1 ส่วนประกอบหลักๆของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 5 |
| 2.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง | 6 |
| 2.2 วงจรดีซีช็อปเปอร์ (DC Chopper) | 7 |
| 2.3 ไอซีเบอร์ 555 (Timer IC)..... | 10 |
| 2.4 วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator)..... | 11 |
| 2.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO4) | 12 |
| 2.6 วงจรประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต | 14 |
| 2.6.1 วงจรรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ | 15 |
| 2.6.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตที่นำมาศึกษา..... | 16 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน | 18 |
| 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง | 18 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.2 โครงสร้างของรถจักรยานที่ใช้ในการทดลอง..... | 20 |
| 3.3 วงจรควบคุมจักรยานไฟฟ้า | 21 |
| บทที่ 4 ผลการทดสอบ | 25 |
| 4.1 จุดประสงค์การทดลอง | 25 |
| 4.2 การทดสอบสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM | 26 |
| 4.3 การทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถจักรยาน | 29 |
| 4.3.1 การทดสอบโดยผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม | 30 |
| 4.3.2 การทดสอบโดยผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม | 34 |
| 4.3.3 การทดสอบในลักษณะไร้ภาระ (No load) | 37 |
| 4.4 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต | 41 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 43 |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ | 43 |
| 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข | 44 |
| 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป | 44 |
| เอกสารอ้างอิง | 45 |
| ภาคผนวก ก รายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ | 46 |
| ภาคผนวก ข รายละเอียดของไอซีเบอร์ 555 | 48 |
| ภาคผนวก ค รายละเอียดของ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO4) | 61 |
| ภาคผนวก ง รายละเอียดของ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตที่นำมาศึกษา | 65 |
| ภาคผนวก จ รายละเอียดของ มอเตอร์กระแสตรงที่นำมาใช้กับจักรยานไฟฟ้า | 67 |
| ประวัติผู้ดำเนินโครงการ | 71 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.1 ความเร็วเทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 - 100 % โดยผู้ขับขี่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม..... | 30 |
| 4.2 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในลักษณะความเร็วคงที่..... | 39 |
| 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงความเร็วคงที่..... | 39 |
| 4.4 ความเร็วเทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 - 100 % โดยผู้ขับขี่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม..... | 40 |
| 4.5 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในลักษณะความเร็วคงที่..... | 41 |
| 4.6 ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงความเร็วคงที่..... | 42 |
| 4.7 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในลักษณะความเร็วคงที่ โดยไม่มีผู้ขับขี่..... | 42 |
| 4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงความเร็วคงที่..... | 43 |
| 4.9 เวลาการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต โดยตั้งแต่กระแส ประจุไว้ที่ 6.5 แอมป์..... | 44 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า..... | 4 |
| 2.2 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง..... | 6 |
| 2.3 วงจรตีชีชี้อปเปอร์คลาส A..... | 7 |
| 2.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรตีชีชี้อปเปอร์คลาส A..... | 9 |
| 2.5 ขาของไอซีเบอร์ LM555..... | 10 |
| 2.6 วงจรภายในไอซีเบอร์ LM555 | 10 |
| 2.7 วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator) | 11 |
| 2.8 รูปคลื่นของวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator) | 12 |
| 2.9 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตชนิดความจุขนาดต่างๆ | 12 |
| 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความสามารถในการจ่ายกระแส ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน | 13 |
| 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความสามารถในการจ่ายกระแสต่ออัตราส่วนของประจุ แบตเตอรี่..... | 14 |
| 2.12 วงจรรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ | 15 |
| 2.13 ประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตรุ่น UNAC 6..... | 17 |
| 2.14 หน้าจอแสดงผลของประจุแบตเตอรี่..... | 17 |
| 3.1 รถจักรยานที่ใช้ในการทดลอง..... | 18 |
| 3.2 มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 250 วัตต์ | 19 |
| 3.3 วงจรที่ใช้ในการควบคุมและขับมอเตอร์ | 19 |
| 3.4 ชุดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต | 19 |
| 3.5 เครื่องออสซิลโลสโคป | 20 |
| 3.6 การติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงเข้ากับรถจักรยาน | 20 |
| 3.7 การติดตั้งติดเฟืองที่มีลูกปืนวันเวย์..... | 21 |
| 3.8 วงจรหลัก (Main Circuit)..... | 21 |
| 3.9 วงจรวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator) | 22 |
| 3.10 วงจรหลัก (Main Circuit)..... | 24 |
| 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM..... | 26 |
| 4.2 สัญญาณ ที่ระดับ Duty Cycle 0 % | 26 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| 4.3 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 10 % | 26 |
| 4.4 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 20 % | 27 |
| 4.5 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 30 % | 27 |
| 4.6 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 40 % | 27 |
| 4.7 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 50 % | 27 |
| 4.8 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 60 % | 27 |
| 4.9 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 70 % | 27 |
| 4.10 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 80 % | 28 |
| 4.11 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 90 % | 28 |
| 4.12 สัญญาณ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 100 % | 28 |
| 4.13 การทดสอบในลักษณะผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม | 29 |
| 4.14 การทดสอบในลักษณะผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม | 29 |
| 4.15 การทดสอบในลักษณะไร้ภาระ (No Load Test) | 30 |
| 4.16 ความสัมพันธ์ความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าเทียบกับค่า Duty Cycle | 31 |
| 4.17 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า Duty Cycle ขับขี่ ในความเร็วคงที่ | 32 |
| 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับเวลา ณ ค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 % | 33 |
| 4.19 ความสัมพันธ์ความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าเทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 % | 34 |
| 4.20 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ขับขี่ในความเร็วคงที่ | 35 |
| 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับเวลา ณ ค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 % | 36 |
| 4.22 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ขับขี่ในความเร็วคงที่ | 37 |
| 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับเวลา ณ ค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 % | 38 |
| 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้ากับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ของผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัมและผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม | 39 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 4.25 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0% ถึง 100 % ของผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม และในสภาวะไร้ภาระ โดยขับขี่ในความเร็วกงที่..... | 39 |
| 4.26 ชุดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนนาโนฟอสเฟตแรงดัน 28.8 โวลต์ 8.8 แอมป์..... | 41 |
| 4.27 ประจุแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนนาโนฟอสเฟต..... | 41 |
| 4.28 ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันคงเหลือของแบตเตอรี่กับเวลาในการประจุ | 42 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันรถยนต์จักรยานไฟฟ้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางสั้นๆ แต่ทางเลือกนี้ยังมีปัญหาอยู่มาก ซึ่งเห็นชัดคือในเรื่องของแบตเตอรี่ ซึ่งจักรยานที่ขายตามท้องตลาด จะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดซึ่งมีอายุการใช้งานที่สั้น น้ำหนักที่มาก และมีเวลาการประจุหรือประจุนาน ซึ่งเป็นผลจากคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาและประยุกต์จักรยานไฟฟ้าให้มีศักยภาพที่สูงกว่าเดิม โดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO₄) ใช้เทคโนโลยีอนุภาคของฟอสฟอรัสระดับนาโนเมตรแทนแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดและใช้ระบบขับเคลื่อนและวงจรประจุแบตเตอรี่ที่สัมพันธ์กับแบตเตอรี่ชนิดนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาข้อมูลของการสร้างวงจรขับเคลื่อน และวงจรประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต แล้วนำความรู้ที่ได้รับ ไปใช้ในการทำระบบไฟฟ้าของรถจักรยาน
2. ทดสอบจักรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในลักษณะการทดสอบแบบต่างๆ เช่น ผู้ขับขี่น้ำหนัก 60 กิโลกรัม ผู้ขับขี่ 70 กิโลกรัม และทดสอบโดยไร้ผู้ขับขี่ เพื่อดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกิดขึ้น
3. เพื่อที่จะนำจักรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้ประโยชน์ได้

1.3 แนวทางการดำเนินงาน

1. รวบรวมข้อมูล และศึกษารายละเอียดส่วนต่างๆ เช่น การทำวงจรขับเคลื่อน กระแสตรง การออกแบบจัดตำแหน่งชุดมอเตอร์ให้เหมาะกับตัวจักรยาน และการทำวงจรประจุของแบตเตอรี่
2. การจัดหาอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างจักรยานไฟฟ้า
3. ทำการสร้างส่วนประกอบส่วนต่างๆ ที่ได้ศึกษาและวางแผนไว้ พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของระบบแมคคานิกและอิเล็กทรอนิกส์
4. ทำการทดสอบประสิทธิภาพ

1.7 งบประมาณ

| | | |
|-------------------------------------|-------|-----|
| ค่ารถจักรยาน | 500 | บาท |
| ค่าอุปกรณ์ | 1,000 | บาท |
| ค่าจัดทำรายงาน | 500 | บาท |
| รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันบาทถ้วน) | 2,000 | บาท |

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

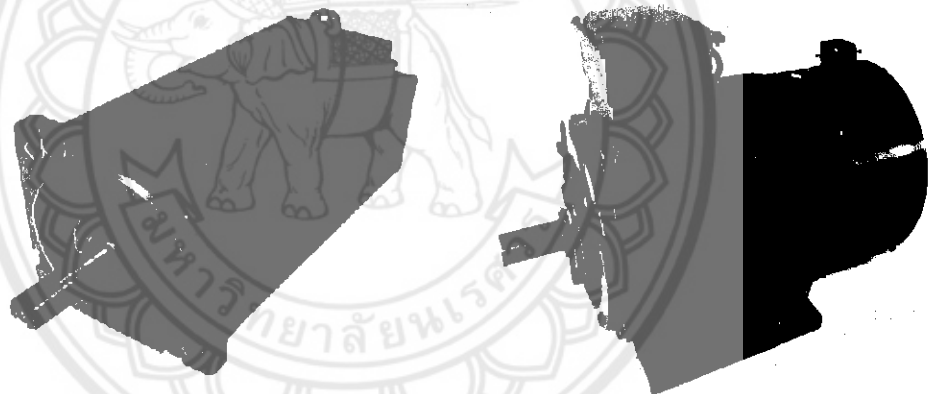


บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

ในชีวิตประจำวันการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นเครื่องอำนวยความสะดวก มักใช้หลักการเคลื่อนที่ เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า เครื่องปั่นผลไม้ เครื่องผสมอาหารและเครื่องดูดฝุ่น อุปกรณ์เหล่านี้จะมีมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) เป็นส่วนประกอบเสมอ มอเตอร์ไฟฟ้าใช้หลักการทำงาน การเปลี่ยนพลังงานจลน์ไฟฟ้า (Electromechanical Energy) โดยใช้พลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) เปลี่ยนเป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) มอเตอร์ไฟฟ้ามีหลายประเภท เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงดังรูป 2.1 (ก) และ 2.1 (ข)



ก. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ข. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.1.1 ส่วนประกอบหลักๆของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือ ขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาน้ำยานวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

2.) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือ แกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

3.) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือ ส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้ เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

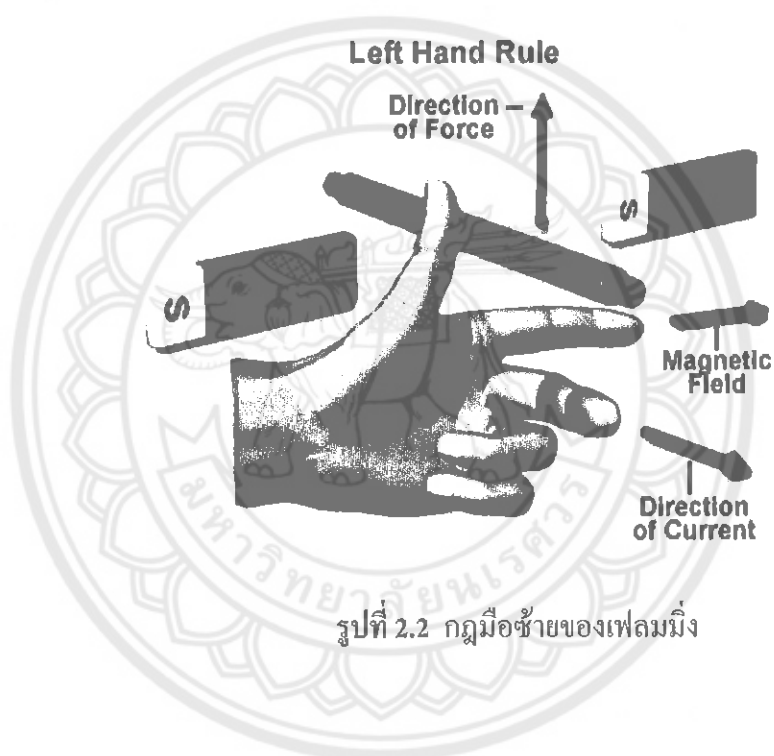
4.) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือ ส่วนเคลื่อนที่จะถูกยึดติดกับเพลลา และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน คือ ลูกปืน ซึ่งตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเจาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาน้ำยานวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิมไฟเบอร์อัดแน่นยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลัดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5.) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือ ส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกันคอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) โดยอาร์เมเจอร์และคอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์

6.) แปรงถ่าน (Brush) คือ ตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามาแปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่าย เพื่อจ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์

2.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์ กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทาง คือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านแปลงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์ เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ซึ่งทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไม่มี การตัดกัน จะมีแต่การหักล้างและการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์เมเจอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ซึ่งในการหมุนนั้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's Left Hand Rule)



รูปที่ 2.2 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

2.2 วงจรดีซีช็อปเปอร์ (DC Chopper)

วงจรดีซีช็อปเปอร์ (DC Chopper) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ให้ได้แรงดันเอาต์พุตกระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ตามที่ต้องการ โดยใช้หลักการเปิดและปิด อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

เนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ และไดโอดที่ใช้ในวงจรเป็นอุปกรณ์ที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียว ดังนั้นทิศทางการไหลของกระแสและแรงดันเอาต์พุต จะถูกกำหนดด้วยชนิดของวงจรดีซีช็อปเปอร์ ที่นำมาใช้ซึ่งจะมีหลายแบบที่กักแรงดันไฟฟ้า

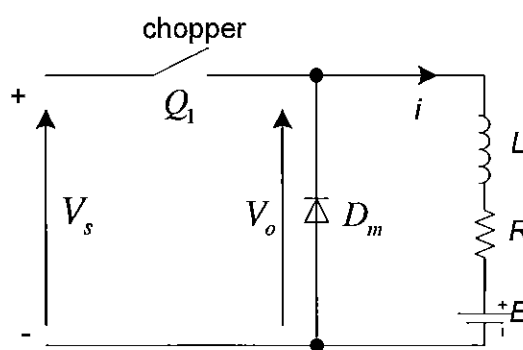
เมื่อป้อนด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าทางด้านขั้วแรงดันสูง V_H และ ต่อโหลดเข้าทางด้านแรงดันต่ำ V_L ซึ่งเป็นการนำหม้อแปลงอโต้ไปใช้งานเพื่อเพิ่มลดระดับแรงดันไฟฟ้า ในการนำหม้อแปลงอโต้ไปต่อใช้งานจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงพิกัดแรงดันไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิเสียก่อน

วงจรดีซีช็อปเปอร์คลาส A

วงจรดีซีช็อปเปอร์คลาส A เป็นวงจรกำลังพื้นฐานของช็อปเปอร์แบบควอดแรนต์เดียว ชนิดแปลงลง คือแรงดันเฉลี่ยที่ขั้วของวงจรราร์เมเจอร์จะน้อยกว่าแรงดันแหล่งจ่าย แบบจำลองวงจรราร์เมเจอร์ของมอเตอร์แสดง โดยองค์ประกอบสามส่วนแยกกัน คือ แรงดัน ความต้านทาน และค่าความเหนี่ยวนำ การทำงานในสภาวะคงตัวจะเป็นไปตามสมการ

$$i_a = \frac{V - E_a}{R_a} \quad (2.1)$$

กระแสเฉลี่ยในวงจรราร์เมเจอร์สามารถควบคุมได้โดยการแปรค่า ช่วงเวลาในการนำกระแสของสวิตช์ Q_1 (t_{on} หรือ D)



รูปที่ 2.3 วงจรดีซีช็อปเปอร์คลาส A

เนื่องจากสวิตช์ Q_1 จะต้องหยุดนำกระแสในขณะที่ยังมีแรงดันตกคร่อมเป็นบวก ซึ่งต่างจากกรณีของวงจรเรียงกระแสที่สวิตช์จะหยุดนำกระแสในลำดับต่อไปโดยอัตโนมัติ ดังนั้นในกรณีที่ใช้ไทรสเตอร์เป็นสวิตช์ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรบังคับให้หยุดนำกระแส แต่ไม่ต้องใช้ในกรณีที่ใช้สวิตช์จำพวกทรานซิสเตอร์ ไอจีบีหรือมอสเฟต

ค่าเฉลี่ยของ i_a อาจจะถูกคุมได้จากหลายวิธี ดังต่อไปนี้

โดยการแปรค่า t_{on} และคงค่าคาบเวลา T_p ไว้ คือการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation; PWM)

โดยการแปรค่าคาบ T_p และค่า t_{on} ให้คงที่ คือ การมอดดูเลตความถี่ (Frequency Modulation)

ถ้า t_{on} มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับ T_p ก็จะมีโอกาสทำให้เกิดการทำงานในย่านกระแสไม่ต่อเนื่อง และในทำนองกลับกันถ้า t_{on} มีค่าใหญ่มากๆ เมื่อเทียบกับ T_p จะมีโอกาสทำให้เกิดการทำงานในย่านกระแสต่อเนื่อง เนื่องจากความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ของ Q_1 นั้นมีค่าสูง ดังนั้นทำให้กระแสมีโอกาที่จะต่อเนื่องมากกว่า ถึงแม้ว่าวงจรอาร์เมเจอร์จะมีค่าต้านเหนี่ยวนำที่ค่อนข้างต่ำก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามในช่วงสภาวะชั่วคราวกระแสอาจจะกลายเป็นกระแสไม่ต่อเนื่อง

การทำงานในย่านกระแสต่อเนื่องเป็นการทำงานในช่วงปกติ ดังนั้นจะวิเคราะห์การทำงานของวงจรภายใต้เงื่อนไขนี้ จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์

$$v_t = e_L + v_R + E_a \quad (2.2)$$

หรือ
$$\frac{di_a}{dt} + \frac{R_a i_a}{L_a} = \frac{v_t - E_a}{L_a} \quad (2.3)$$

เมื่อ Q_1 นำกระแสที่เวลา $t=0$, $v_t = V$ และ $i_a = I_{a2}$

$$i_a = \frac{V - E_a}{R_a} (1 - e^{-t/\tau_a}) + I_{a2} e^{-t/\tau_a} \quad (2.4)$$

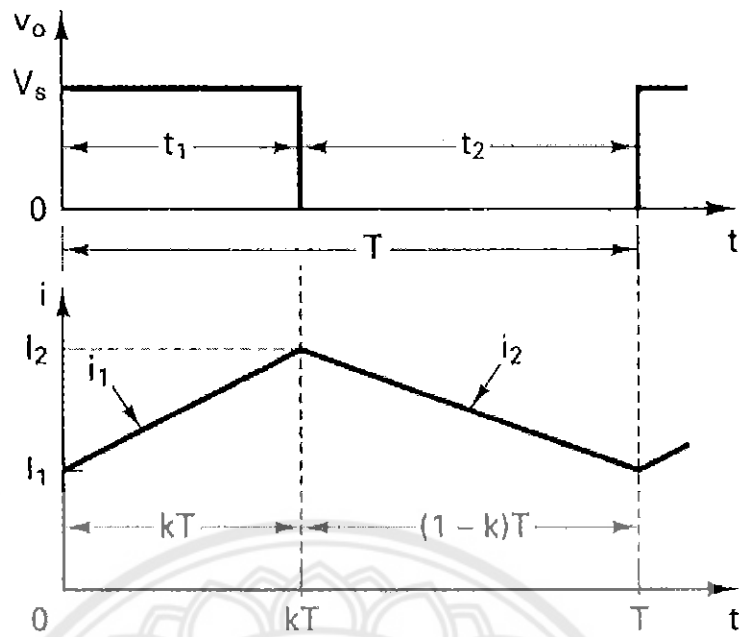
เมื่อ
$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a} \quad (2.5)$$

ที่เวลา $t = t_{on}$ สวิตช์ Q_1 จะหยุดนำกระแส

$$i_a = I_{a1} = \frac{V - E_a}{R_a} (1 - e^{-t_{on}/\tau_a}) + I_{a2} e^{-t_{on}/\tau_a} \quad (2.6)$$

เมื่อสวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส i_a จะไหลผ่านไดโอด D_1 ดังนั้น $v_t = 0$

$$\frac{di_a}{dt'} + \frac{R_a i_a}{L_a} = \frac{-E_a}{L_a} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรตีชี้อุปเปอร์คลาส A

เมื่อ $t' = t - t_{on}$ (2.8)

ที่เวลา $t' = 0, i_a = I_{a1}$ จากสมการและเงื่อนไขเริ่มต้น

$$i_a = -\frac{E_a}{R_a}(1 - e^{-t'/\tau_a}) + I_{a1}e^{-t'/\tau_a} \tag{2.9}$$

ที่เวลา $t' = t - t_{on}$ หรือ $t = T_p$ เมื่อ Q_1 นำกระแสอีกครั้ง

$$i_a = I_{a2} - \frac{E_a}{R_a}(1 - e^{-(T_p - t_{on})/\tau_a}) + I_{a1}e^{-(T_p - t_{on})/\tau_a} \tag{2.10}$$

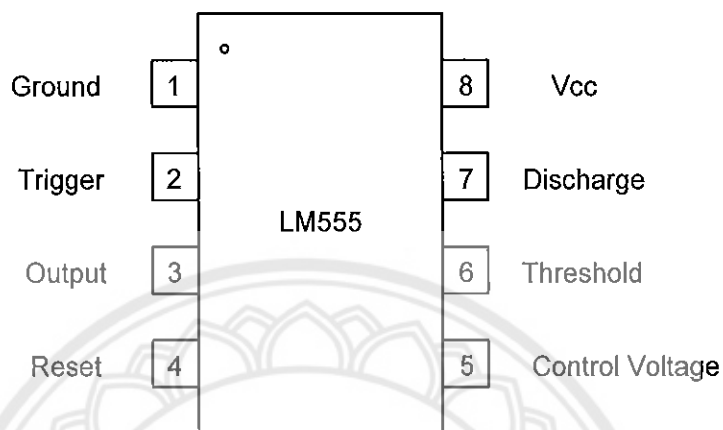
$$I_{a1} = \frac{V}{R_a} \frac{(1 - e^{-t_{on}/\tau_a})}{(1 - e^{-T_p/\tau_a})} - \frac{E_a}{R_a} \tag{2.11}$$

$$I_{a2} = \frac{V}{R_a} \frac{(e^{t_{on}/\tau_a} - 1)}{(e^{T_p/\tau_a} - 1)} - \frac{E_a}{R_a} \tag{2.12}$$

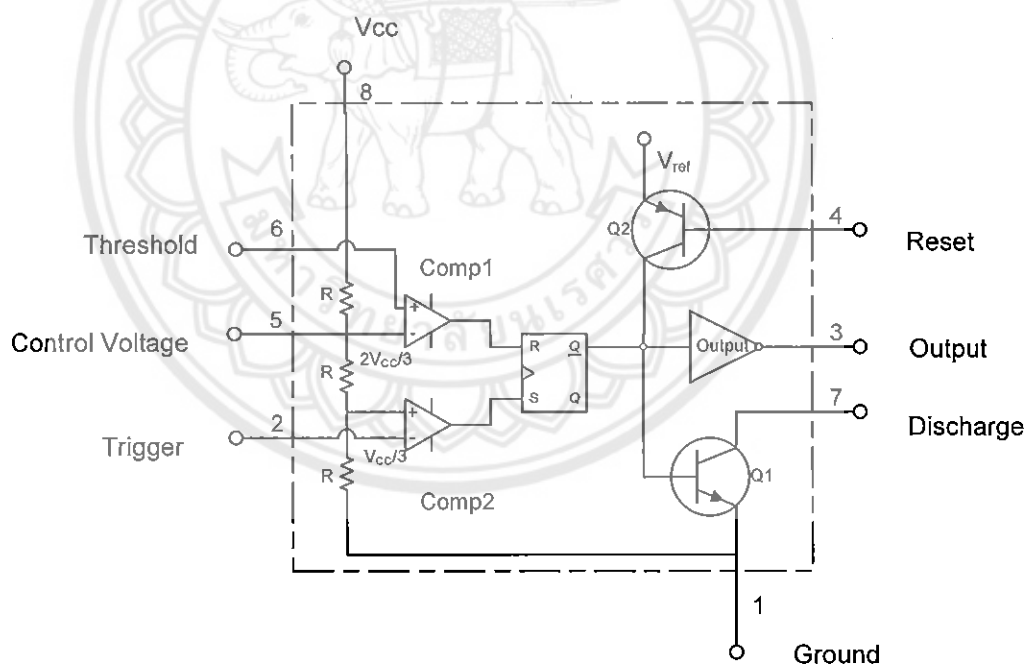
เมื่อ Q_1 นำกระแสไฟฟ้ต่อเนื่องจนกระทั่ง $t_{on} = T_p$ ทั้ง I_{a1} และ I_{a2} มีค่าเท่ากับ i_a

2.3 ไอซีเบอร์ 555 (Timer IC)

ไอซีเบอร์ 555 เป็นไอซีที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และไอซี 556 (Dual Timer) เป็นไอซีที่ประกอบด้วยไอซี 555 อยู่ภายใน 2 ตัว



รูปที่ 2.5 ขาของไอซีเบอร์ LM555



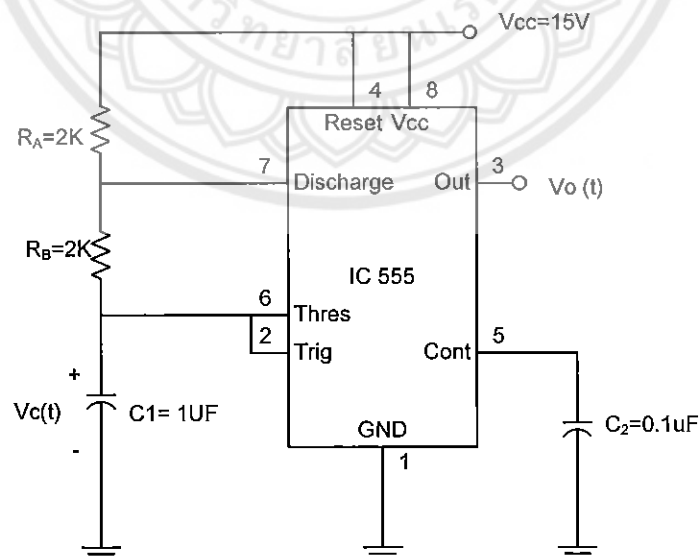
รูปที่ 2.6 วงจรภายในไอซีเบอร์ LM555

ส่วนประกอบต่างๆของวงจรภายในไอซีเบอร์ 555

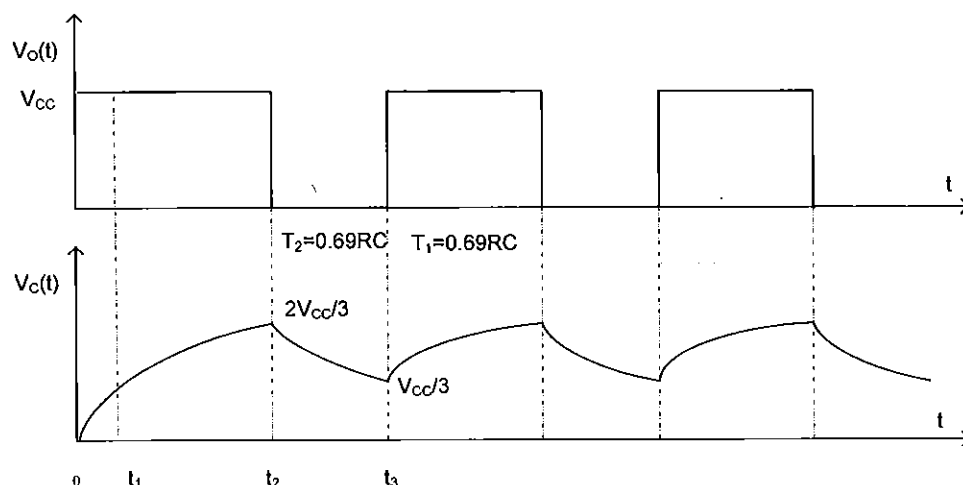
1. ตัวเปรียบเทียบ 2 ตัว ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ อินพุตที่ขาบวกและลบ โดยถ้าแรงดันไฟบวกมีค่าศักดาสูงกว่าแรงดันไฟลบ เอาท์พุทจะเท่ากับไฟเลี้ยงวงจรหรือลอจิกเป็น “0” หรือถ้าแรงดันไฟบวกมีศักดาน้อยกว่าแรงดันไฟลบ เอาท์พุทจะเท่ากับศูนย์โวลต์หรือลอจิกเป็น “1”
2. ตัวต้านทาน 3 ตัว ขนาดความต้านทานประมาณ 5 กิโลโอห์มเท่ากันทั้ง 3 ตัว ถ้าเช่นนั้นจะทำให้ แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเท่ากับหนึ่งในสามของแรงดันไฟเลี้ยงวงจร
3. ทรานซิสเตอร์มี 2 ตัวคือ Q_1 (NPN) ทำหน้าที่คล้ายประจุ เมื่อเอาท์พุท \bar{Q} เป็นลอจิก “1” ทำให้มีกระแสที่ขาเบสเกิดขึ้น กระแสคอลเลกเตอร์ไหลจนอิ่มตัว (Saturation) คือ $V_{CE} = 0$ V และ Q_2 (PNP) ทำหน้าที่ล้าง ให้เอาท์พุทเป็น 0 V คือถ้า ขา 4 (Rcset) ต่อดงกรานด์ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 สถานะเปิด และ $V_{CE} = 0$ V เอาท์พุทที่ขา \bar{Q} เป็น “1” และเอาท์พุทของเอาท์พุทแอมป์ เป็น ลอจิก “0”
4. เอาท์พุทแอมป์ เป็นวงจรขยายกระแส เพื่อออกเอาท์พุทของไอซีแบบตรงข้าม คือถ้าอินพุทเป็น “0” เอาท์พุทจะเป็น “1” ถ้าอินพุทเป็น “1” เอาท์พุทจะเป็น “0”

2.4 วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator)

เป็นวงจรสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ความถี่ที่ต้องการ



รูปที่ 2.7 วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator)



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นของวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator)

2.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO₄)

ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต เป็นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion) ชนิดหนึ่งที่เคลือบขั้วแคโทด (ขั้วบวก) ด้วยอนุภาคของฟอสฟอรัสระดับนาโนเมตร การเคลือบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจะทำให้การเคลื่อนที่ของประจุบวกภายในเซลล์เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ทำให้สามารถรับกระแสประจุและจ่ายกระแสได้สูง



ก. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต

ชนิดความจุ 2.5 Ah

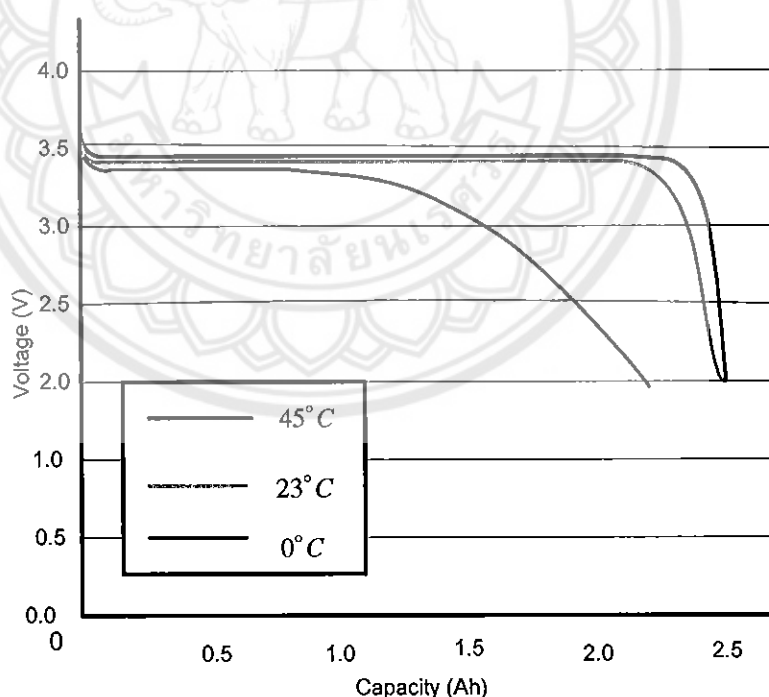
ข. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต

ชนิดความจุ 1.1 Ah

รูปที่ 2.9 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตชนิดความจุขนาดต่างๆ

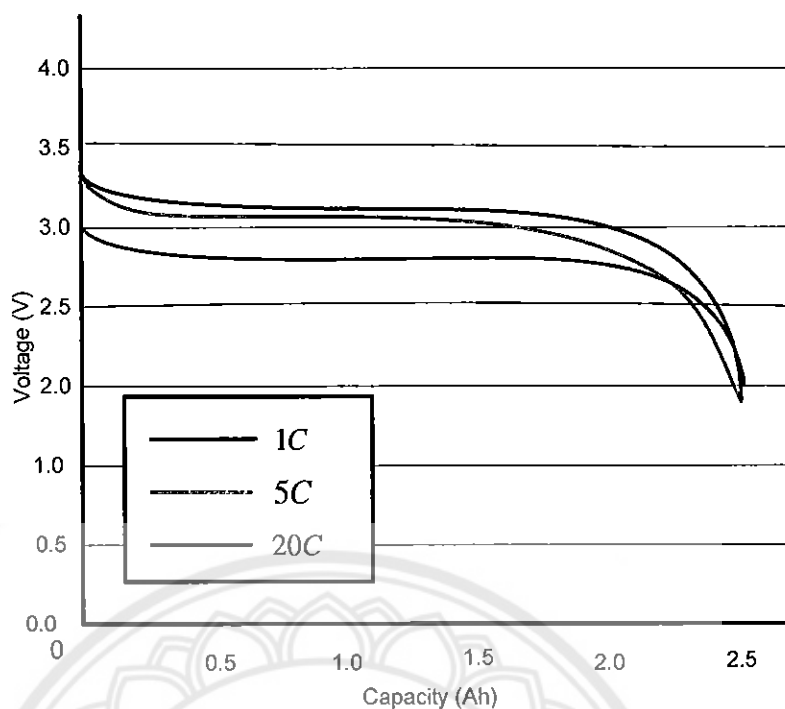
คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต

1. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตจะมีอายุยาวกว่าชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์
2. คงคุณสมบัติทางเคมีได้ยาวนานประมาณ 10 ปี เป็นผลมาจากแรงดันในการออกซิเดชัน (Oxidation) ต่ำว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดอื่น
3. มีความปลอดภัย ไม่เสี่ยงต่อการระเบิด เหมือนแบตเตอรี่ลิเทียมอื่นๆ
4. เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะไม่มีสารประกอบโคบอลต์ (Cobalt) ซึ่งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์มีส่วนประกอบของธาตุโคบอลต์รวมอยู่ด้วย ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสารกัมมันตภาพรังสี
5. อายุการใช้งานยาวนาน จากผลการทดสอบ เมื่อใช้งานถึง 1,000 รอบ (1000 Cycle) ความจุลดลง 95% จากค่าความจุเดิมและได้ทำการทดสอบถึง 7,000 ประจุ ความจุลดลงมาเหลือ 80% จากค่าความจุเดิม
6. ความต้านทานภายในเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
7. ทนอุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความสามารถในการจ่ายกระแส

ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความสามารถในการจ่ายกระแสต่ออัตราส่วนของความ
เก็บประจุแบตเตอรี่

2.6 วงจรประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต

วงจรนี้จะเป็นตัวประจุแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต ซึ่งจะมีหลักการประจุที่แตกต่างจากแบตเตอรี่ทั่วไปวิธีประจุแบตเตอรี่แบบ ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต คือ วิธี ประจุกระแสคงที่ก่อนจากนั้นแรงดันคงที่ (Constant Current - Constant Voltage) วิธีการประจุแบบนี้จะเหมือนกับการประจุแบตเตอรี่แบบลิเทียมโพลิเมอร์และลิเทียมไอออน (Li-Po, Li-Ion) ต่างกันที่ค่าพารามิเตอร์ โดยการประจุแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตมีข้อกำหนดดังนี้

1.1 เริ่มต้นการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสประจุคงที่ 3 แอมป์ ต่อเนื่องจนกว่าค่าแรงดันแบตเตอรี่ขึ้นถึง 3.6 โวลต์ต่อเซลล์

1.2 เปลี่ยนการประจุจากกระแสไฟคงที่ไปประจุแบบแรงดันคงที่ โดยรักษาแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 3.6 โวลต์

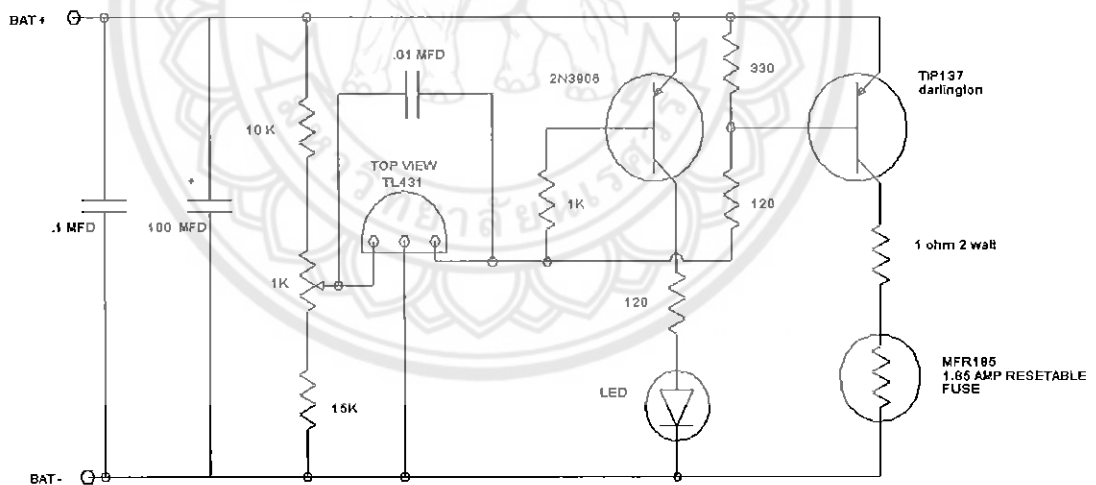
1.3 จุดสิ้นสุดการประจุ (Cut Off) เมื่อกระแสประจุมีค่าต่ำกว่า 0.05 แอมป์

1.4 วิธีนี้จะประจุแบตเตอรี่ได้เต็ม 100 %

2.6.1 วงจรรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่

การทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ คือ จะทำหน้าที่ปรับให้แรงดันของแบตเตอรี่ทุกเซลล์เท่ากันเสมอทุกเซลล์ ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยงภายนอก เพราะวงจรมีใช้ไฟจากแบตเตอรี่โดยตรงจะใช้ในตอนประจุแบตเตอรี่ สาเหตุที่ต้องทำการรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ก็เพื่อเวลาประจุแบตเตอรี่ ถ้ามีเซลล์ใดเซลล์หนึ่ง มีแรงดันต่ำกว่าเซลล์อื่นจะทำให้เครื่องประจุแบตเตอรี่ตรวจสอบแรงดันรวมยังไม่ถึงกำหนด เครื่องจึงประจุแบตเตอรี่ต่อไป โดยเซลล์ที่มีแรงดันสูงที่สุดจะถูกประจุด้วยแรงดันเกินทำให้แบตเตอรี่ เซลล์นั้นถูกประจุเกินจนเสื่อมได้

เซลล์ที่แรงดันต่ำจะถูกคายกระแสจนหมดทำให้แรงดันต่ำกว่าที่เซลล์แบตเตอรี่จะทนได้ซึ่งห้ามให้แรงดันไฟฟ้าในตัวแบตเตอรี่เหลือน้อยกว่า 3.0 V เพราะอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายอย่างถาวรได้ซึ่งจะใช้วงจรรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมด 8 ชุด มาต่อขนานกับแบตเตอรี่แต่ละเซลล์

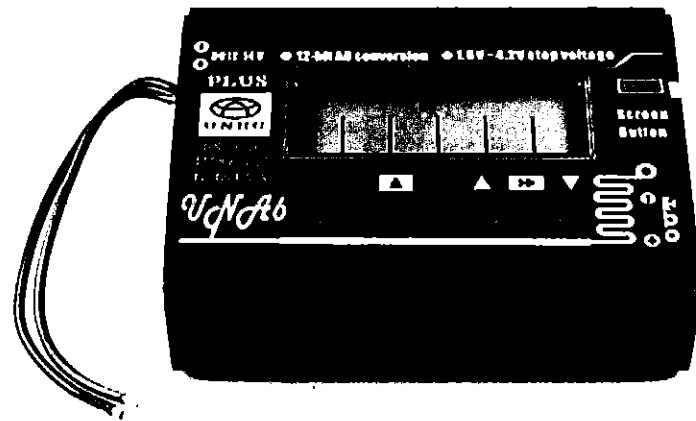


รูปที่ 2.12 วงจรรักษาระดับแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่

2.6.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่เชื่อมไอออนนาโนฟอตเฟตที่นำมาศึกษา

การทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่เชื่อมไอออนนาโนฟอตเฟตรุ่น UNAC 6 เครื่องจะประจุแบบแยกเซลล์อิสระ ใช้สำหรับประจุแบตเตอรี่เชื่อมไอออนนาโนฟอตเฟต ซึ่งสามารถกำหนดค่าแรงดัน และกระแส ประจุได้ ตัวเครื่องมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) แรงดันไฟฟ้าอินพุตจะปรากฏในเครื่องประจุแบตเตอรี่
- 2) ฟังก์ชันควบคุมแบบไดนามิกจะถูกเพิ่มในการปรับการประจุเพื่อลดระยะเวลาการประจุตามแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ในแบตเตอรี่
- 3) เครื่องประจุนรุ่น NUAC 6 สามารถใช้ 2 เครื่องประจุมารวมกันเพื่อประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 เซลล์
- 4) ความแม่นยำของแรงดันบวกกลับไม่เกิน 2 มิลลิโวลต์ ความแม่นยำของกระแส 0.1 แอมป์
- 5) สามารถประจุชุดแบตเตอรี่เชื่อมแบบต่างๆ ได้ 2 เซลล์ถึง 6 เซลล์
- 6) มีระบบแยกประจุแบตเตอรี่หลายขนาด
- 7) มีการป้องกันวงจรไฟฟ้าในเครื่อง รวมทั้งการป้องกัน แรงดันเกิน ป้องกันอุณหภูมิสูงมากเกินไป การป้องกันการเชื่อมต่อเอาต์พุตผิดขั้ว
- 8) การควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติจากแผ่นวงจรภายในของเครื่องประจุ ถ้าไม่มีความร้อนพัดลมจะไม่ถูกเปิดใช้งาน แต่ถ้าเริ่มมีความร้อนพัดลมจะทำงาน
- 9) วงจรประจุทำงานแยกกัน 6 วงจรไม่มีการรบกวนซึ่งกันละกัน
- 10) เมื่อตรวจพบแรงดันของแบตเตอรี่ ไม่ถึงค่าเริ่มต้น วงจรการประจุของช่องนี้จะถูกหยุดการทำงาน
- 11) กระแสประจุสูงสุด 8 แอมป์ และสามารถปรับได้ 0.3 ถึง 8 แอมป์
- 12) แรงดันไฟฟ้ารับเข้ากระแสตรง ตั้งแต่ 12 - 14 โวลต์



รูปที่ 2.13 เครื่องประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตรุ่น UNAC 6



รูปที่ 2.14 หน้าจอแสดงผลขณะประจุแบตเตอรี่

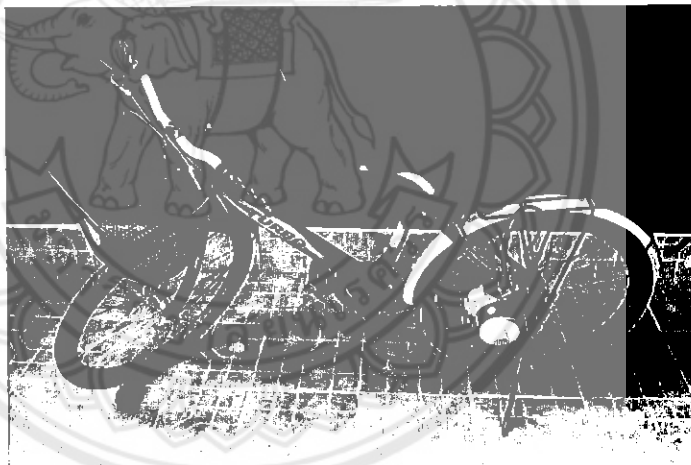
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

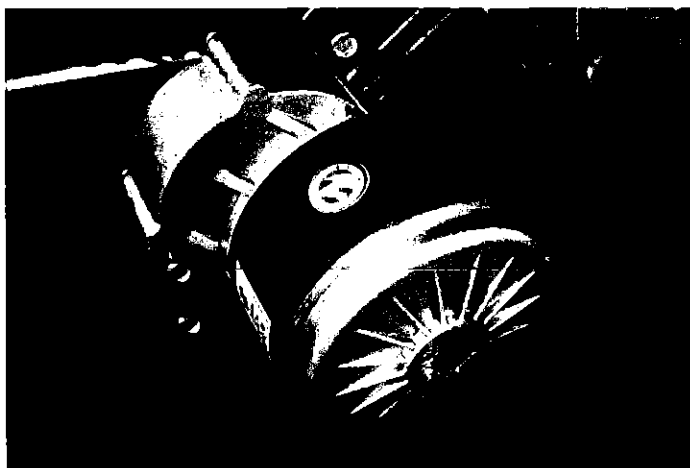
ในส่วนการทำงานหลักการและทฤษฎีต่างๆ จากที่กล่าวมาในบทที่ 2 ในบทนี้ผู้จัดโครงการได้เริ่มการออกแบบวงจรควบคุมกับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง และได้เริ่มสร้างวงจรควบคุมกับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงตามทฤษฎี และได้ประกอบแบตเตอรี่เข้าเป็นชุดเพื่อใช้ในการจ่ายไฟให้กับวงจร ซึ่งรายละเอียดการออกแบบมีดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลองหลักๆ ที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 รถจักรยานที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 250 วัตต์



รูปที่ 3.3 วงจรที่ในการควบคุมและขับมอเตอร์



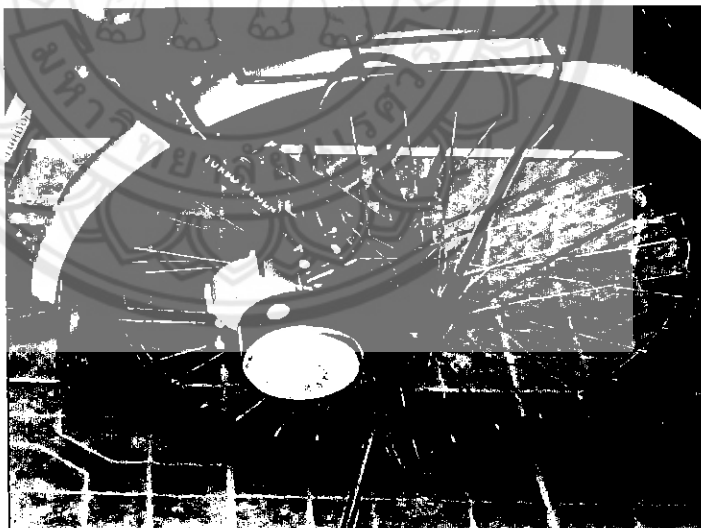
รูปที่ 3.4 ชุดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต



รูปที่ 3.5 เครื่องออสซิลโลสโคป

3.2 โครงสร้างของรถจักรยานที่ใช้ในการทดลอง

จากโครงสร้างของรถจักรยาน ได้ทำการติดตั้งมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 250 วัตต์ไว้ที่
 ทานหลังของรถจักรยาน ดังรูปที่ 3.6 และติดเฟืองที่มีลูกปืนวันเวย์ไว้ที่เพลาหลัง และติด โซ่เพื่อใช้
 ในการส่งกำลังของมอเตอร์



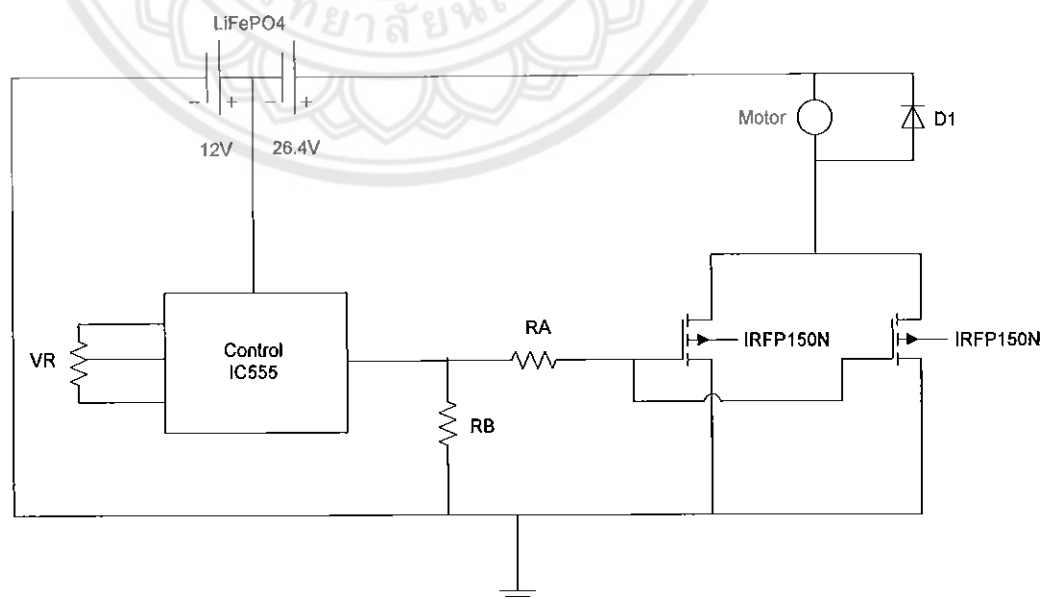
รูปที่ 3.6 การติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงเข้ากับรถจักรยาน



รูปที่ 3.7 การติดตั้งติดเฟืองที่มีลูกปืนวันเวย์

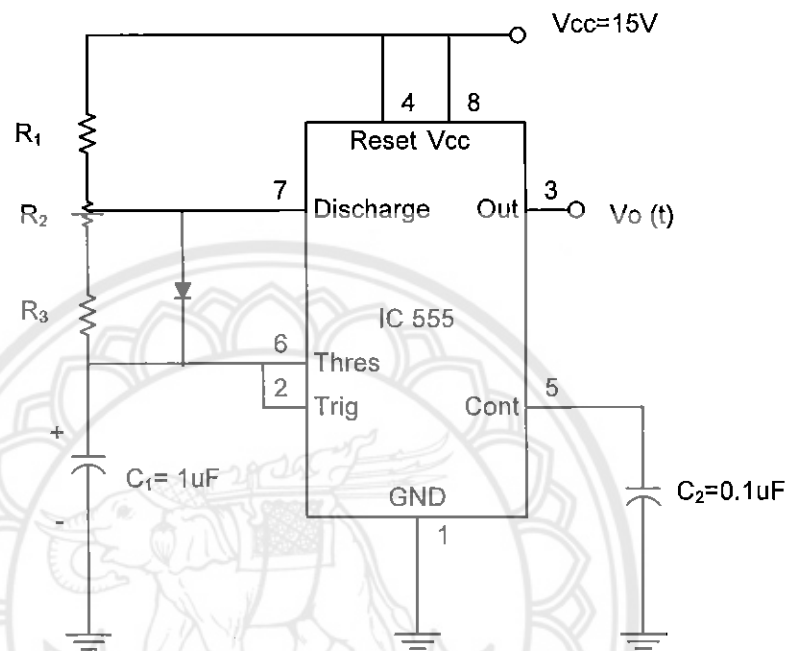
3.3 วงจรควบคุมจักรยานไฟฟ้า

วงจรหลัก (Main Circuit) จะมีวงจรควบคุมและวงจรขับมอเตอร์ ซึ่งในส่วนของวงจรควบคุมได้ใช้ ไอซีเบอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่สามารถปรับค่าดีวตีไซเคิล (Duty cycle) ได้ตั้งแต่ 1% ถึง 99% ที่จะป้อนให้กับมอสเฟตเบอร์ IRF150 ทั้ง 2 ตัวซึ่งเป็นตัวเปิดหรือปิดกระแสให้แก่มอเตอร์ 24 โวลต์ 250 วัตต์



รูปที่ 3.8 วงจรหลัก (Main Circuit)

วงจรควบคุมซึ่งจะใช้วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator) โดยกำหนดให้มีค่าความถี่เท่ากับ 50 Hz และสามารถปรับค่าของความกว้างของพัลส์ (Duty Cycle) ได้ จากความต้านทานปรับค่า โดยการใช้งานจริงจะประยุกต์ให้เป็นคั่นเร่ง



รูปที่ 3.9 วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator)

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าของตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุได้จาก

$$T_1 = 0.69(R_1 + R_x)C \quad (3.1)$$

$$T_2 = 0.69(R_3 + R_y)C \quad (3.2)$$

$$T = T_1 + T_2 = 0.69(R_1 + R_2 + R_3)C \quad (3.3)$$

ต้องการผลิตความถี่ $f = 50$ Hz

$$T = 20\text{mSec} = 0.69(R_1 + R_2 + R_3)C$$

$$\text{ดังนั้น } (R_1 + R_2 + R_3) = \frac{20 \times 10^{-3}}{C} \quad (3.4)$$

เลือก $C = 0.027$ uF

$$(R_1 + R_2 + R_3) = 107.35K$$

เมื่อปรับค่า R_2 ให้ $R_x = 0$

$$T_1 = 1\% \text{ duty cycle} = 0.01(20) \text{ mSec}$$

$$0.2\text{mSec} = 0.69(R_1)C \quad (3.5)$$

เมื่อปรับค่า R_2 ให้ $R_x = R_2$

$$T_1 = 99 \% \text{ duty cycle} = 0.99(20) \text{ mSec}$$

$$19.8 \text{ mSec} = 0.69(R_1 + R_2)C$$

(3.6)

ดังนั้น $\frac{(6)}{(5)} = 99 = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

$$99R_1 = R_1 + R_2$$

เลือก R_2 (ความต้านทานปรับค่า) = 100 K

แทนค่าจะได้ $R_1 = 1 \text{ K}$

$$(R_1 + R_2 + R_3) = \frac{20 \times 10^{-3}}{C}$$

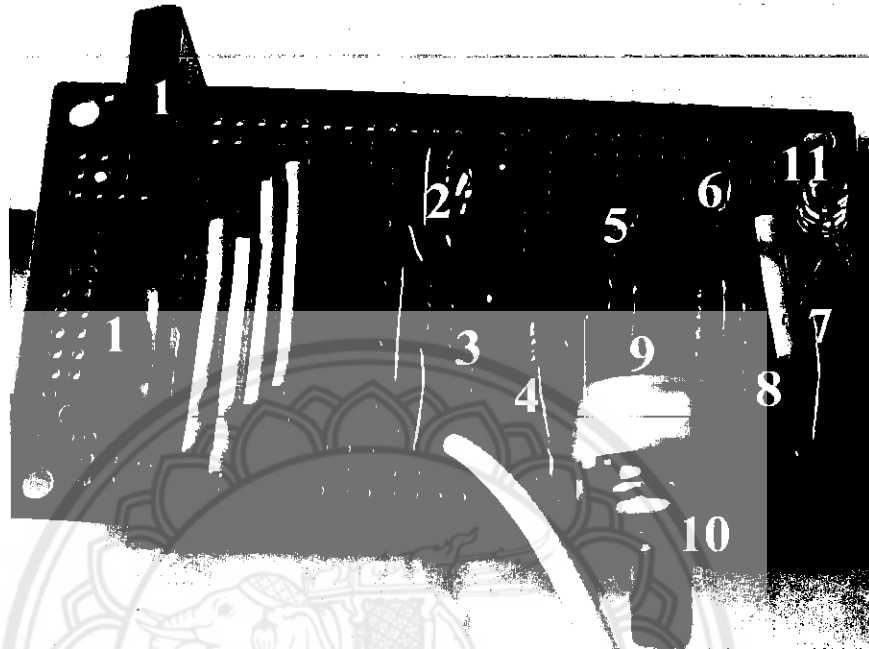
$$R_3 = 6 \text{ k}$$

เลือก $R_3 = 12 \text{ K}$

$$C = \frac{0.2 \text{ mS}}{0.69 \times 1 \text{ k}} = 0.27 \mu\text{F}$$



จากการคำนวณข้างต้นจะได้ค่าตัวต้านทานและค่าตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการต่อเป็นวงจรหลัก (Main Circuit) ใช้ในการควบคุมและขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.10 วงจรหลัก (Main Circuit) ที่พร้อมใช้งาน

| | |
|------------|--|
| หมายเลข 1 | หมายถึง มอสเฟตเบอร์ IRF 150 |
| หมายเลข 2 | หมายถึง ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟาร์ด |
| หมายเลข 3 | หมายถึง ตัวเก็บประจุ 0.27 ไมโครฟาร์ด |
| หมายเลข 4 | หมายถึง ตัวต้านทาน 6 กิโลโอห์ม |
| หมายเลข 5 | หมายถึง ตัวต้านทาน 500 โอห์ม |
| หมายเลข 6 | หมายถึง ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม |
| หมายเลข 7 | หมายถึง ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม |
| หมายเลข 8 | หมายถึง ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม |
| หมายเลข 9 | หมายถึง ไอซีเบอร์ 555 |
| หมายเลข 10 | หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม |
| หมายเลข 11 | หมายถึง หลอดไฟแอลอีดีสีแดง |

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

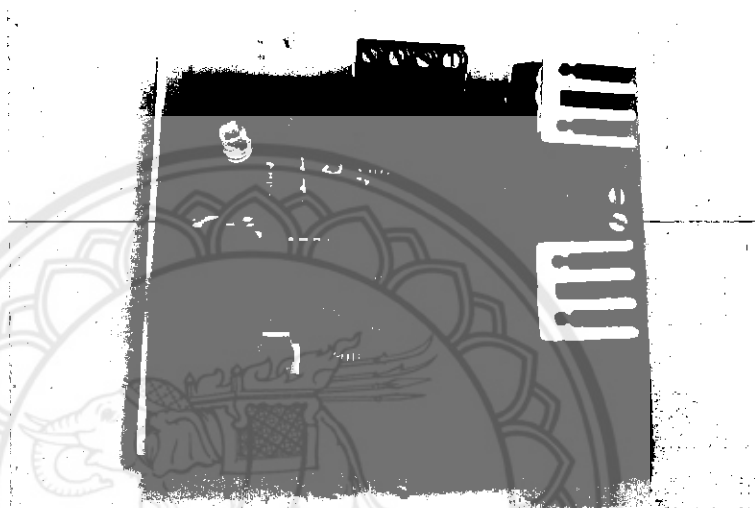
4.1 จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อต้องการทดสอบและศึกษาการทำงานและประสิทธิภาพของวงจรในส่วนระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ของวงจรขับที่ใช้วงจรมัลติไวเบรเคอร์แบบไม่เสถียร และการประจุไฟฟ้าโดยใช้วงจรประจุระดับแรงดันเท่ากับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO₄) โดยการทดสอบการขับเคลื่อนมอเตอร์ จะมีการทดสอบโดยไร้ภาระ (No Load) และแบบมีภาระ (Full Load) ที่ระดับ Duty Cycle 0 – 100 % และการทดสอบประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO₄) จะทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ที่มีแรงดันคงเหลือที่ค่าต่างๆ โดยใช้วงจรประจุ และจับเวลาเมื่อประจุของแบตเตอรี่เต็ม



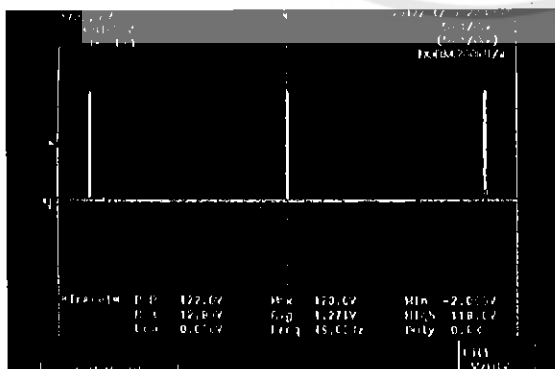
4.2 การทดสอบสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM

การทดสอบลำดับแรก เริ่มจากการทดสอบวงจรมัลติไวเบเรเตอร์แบบไม่เสถียร (Astable Multivibrator) ซึ่งเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณ PWM โดยหลักการที่ให้ออสเฟตเป็นสวิตช์ เปิด-ปิด กระแสให้แก่มอเตอร์ ควบคุมโดยค่า Duty cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ที่สร้างจากไอซีเบอร์ 555 โดยการวัดค่าสัญญาณจะใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ขาเกตเทียบกับขาซอสของมอสเฟต

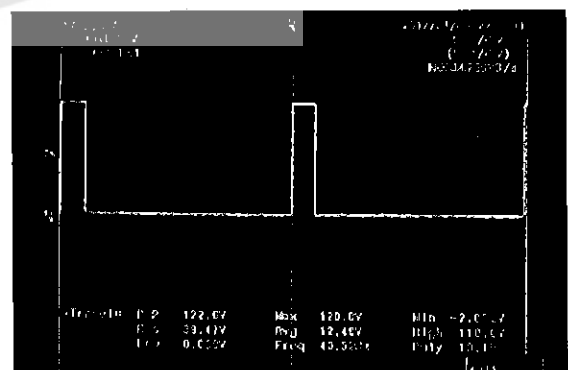


รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM

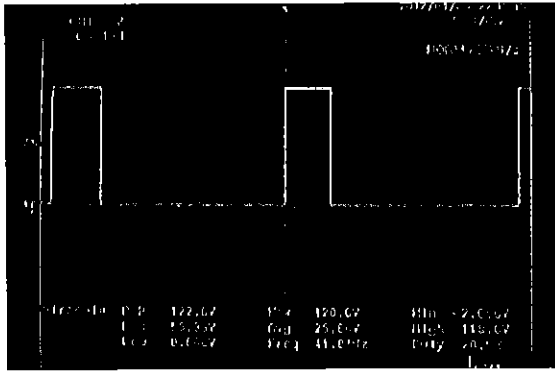
รูปที่ 4.2 ถึง 4.12 เป็นการแสดงรูปสัญญาณที่ได้ทดสอบจากการบิดคันเร่ง ซึ่งจะเริ่มที่ค่า Duty Cycle เท่ากับ 0% ถึง 100 % โดยค่า Duty Cycle จะเพิ่มตามการบิดคันเร่ง



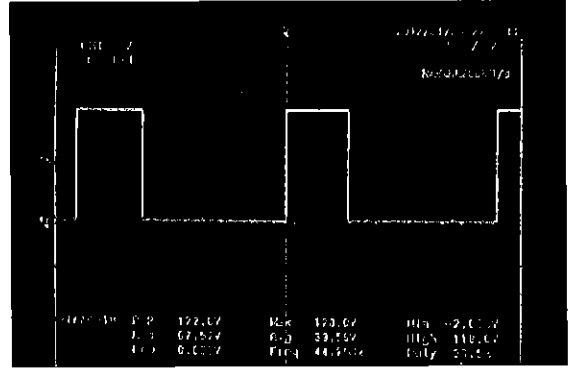
รูปที่ 4.2 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 0 %



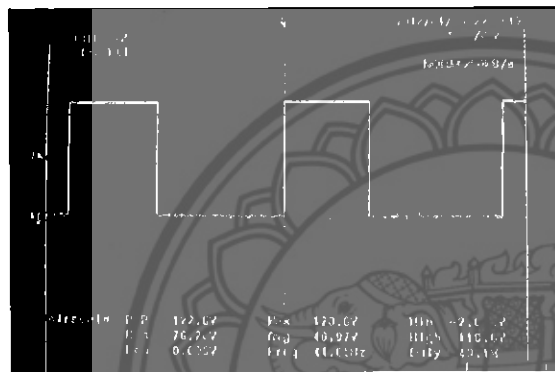
รูปที่ 4.3 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 10 %



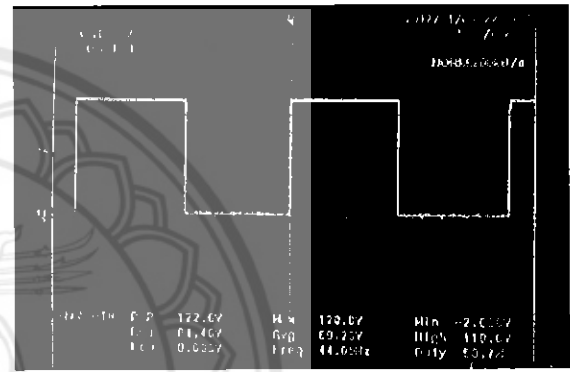
รูปที่ 4.4 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 20 %



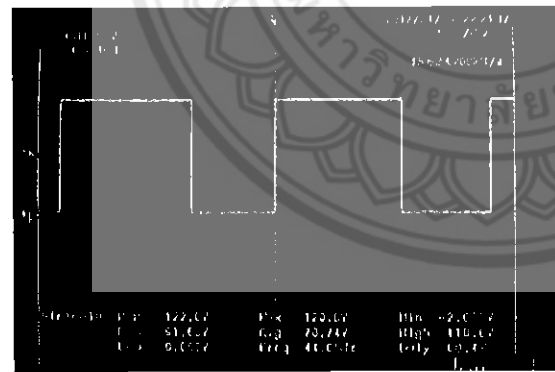
รูปที่ 4.5 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 30 %



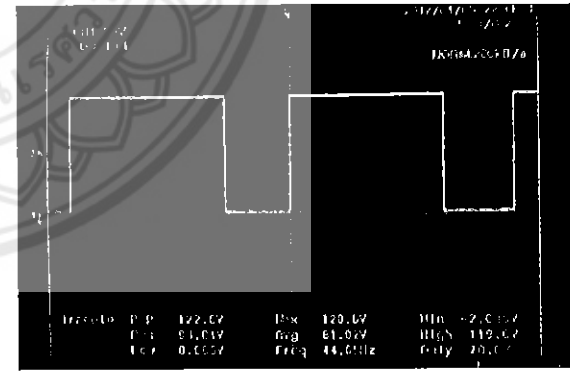
รูปที่ 4.6 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 40 %



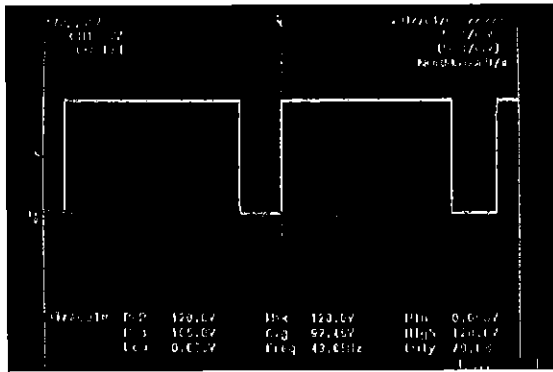
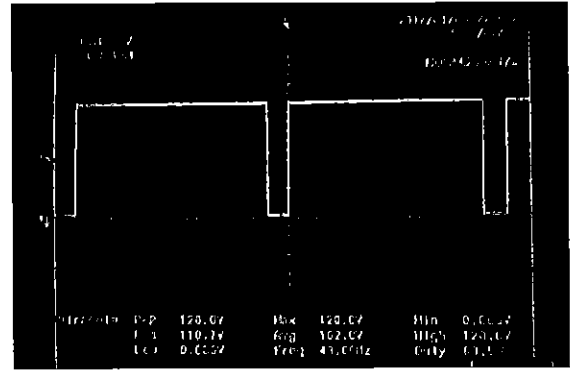
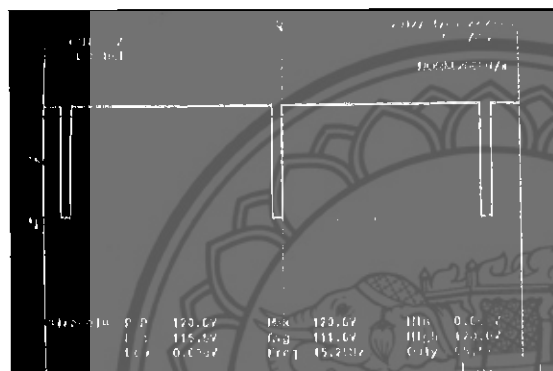
รูปที่ 4.7 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 50 %



รูปที่ 4.8 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 60 %



รูปที่ 4.9 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 70 %

รูปที่ 4.10 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 80 %รูปที่ 4.11 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 90 %รูปที่ 4.12 กราฟ V_{GS} ที่ระดับ Duty Cycle 100 %

4.3 การทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถจักรยาน

การทดสอบการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้า จะแบ่งเป็นการทดสอบ 3 ลักษณะ คือ ผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัมและการทดสอบโดยไร้ภาระ (No Load)



รูปที่ 4.13 การทดสอบในลักษณะผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม



รูปที่ 4.14 การทดสอบในลักษณะผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม



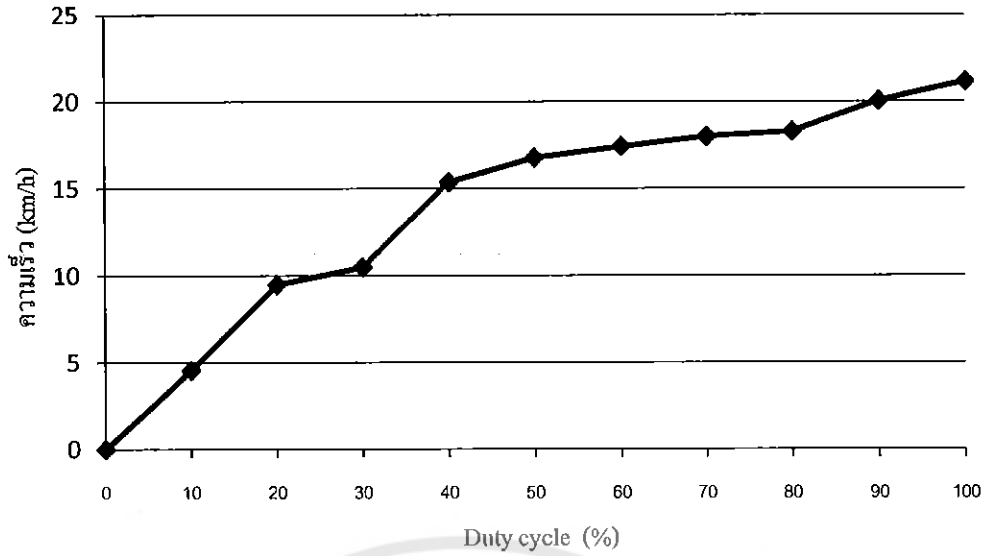
รูปที่ 4.15 การทดสอบในลักษณะไร้ภาระ (No Load Test)

4.3.1 การทดสอบโดยผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองในการทดสอบความเร็ว เทียบกับค่า Duty Cycle

ตั้งแต่ 0 - 100 % โดยผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

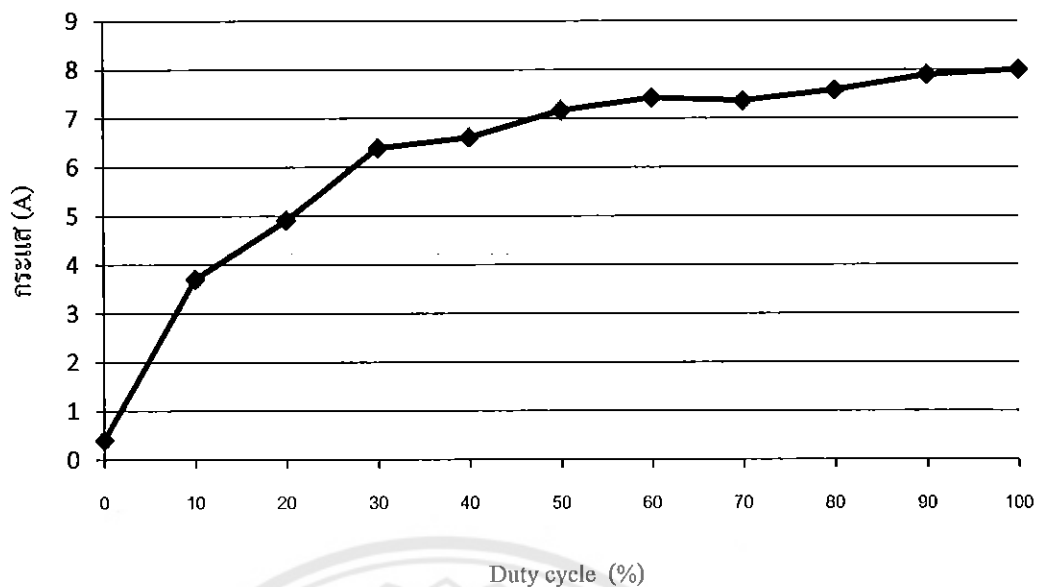
| Duty Cycle (%) | ความเร็ว (m/s) | | | | ความเร็ว (km/h) |
|----------------|----------------|------------|------------|--------|-----------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1.20 | 1.42 | 1.17 | 1.26 | 4.54 |
| 20 | 2.55 | 2.55 | 2.78 | 2.63 | 9.47 |
| 30 | 2.99 | 2.90 | 2.85 | 2.91 | 10.48 |
| 40 | 4.23 | 4.40 | 4.19 | 4.27 | 15.37 |
| 50 | 4.76 | 4.53 | 4.70 | 4.66 | 16.78 |
| 60 | 4.88 | 4.90 | 4.75 | 4.84 | 17.42 |
| 70 | 5.03 | 5.00 | 4.97 | 5.00 | 18.00 |
| 80 | 5.09 | 5.15 | 5.00 | 5.08 | 18.29 |
| 90 | 5.42 | 5.71 | 5.58 | 5.57 | 20.05 |
| 100 | 6.00 | 5.70 | 5.95 | 5.88 | 21.17 |



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าเทียบกับค่า Duty Cycle

ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในลักษณะความเร็วคงที่
เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 - 100 %

| Duty Cycle (%) | กระแส (A) | | | | แรงดัน (V) | | | |
|----------------|------------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |
| 0 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| 10 | 3.61 | 3.56 | 3.92 | 3.70 | 5.84 | 5.74 | 5.78 | 5.79 |
| 20 | 4.72 | 4.98 | 5.02 | 4.91 | 11.82 | 11.68 | 11.59 | 11.70 |
| 30 | 6.60 | 6.31 | 6.25 | 6.39 | 15.43 | 15.84 | 15.61 | 15.63 |
| 40 | 6.65 | 6.74 | 6.44 | 6.61 | 18.44 | 18.23 | 18.67 | 18.45 |
| 50 | 7.05 | 7.29 | 7.15 | 7.16 | 19.57 | 19.50 | 19.23 | 19.43 |
| 60 | 7.24 | 7.22 | 7.81 | 7.42 | 21.43 | 21.94 | 21.38 | 21.58 |
| 70 | 7.38 | 7.41 | 7.28 | 7.36 | 22.20 | 22.04 | 22.43 | 22.22 |
| 80 | 7.51 | 7.58 | 7.66 | 7.58 | 22.69 | 22.12 | 22.71 | 22.51 |
| 90 | 7.92 | 7.87 | 7.90 | 7.89 | 24.25 | 24.01 | 24.38 | 24.21 |
| 100 | 8.00 | 7.87 | 8.14 | 8.00 | 24.00 | 24.21 | 24.37 | 24.19 |

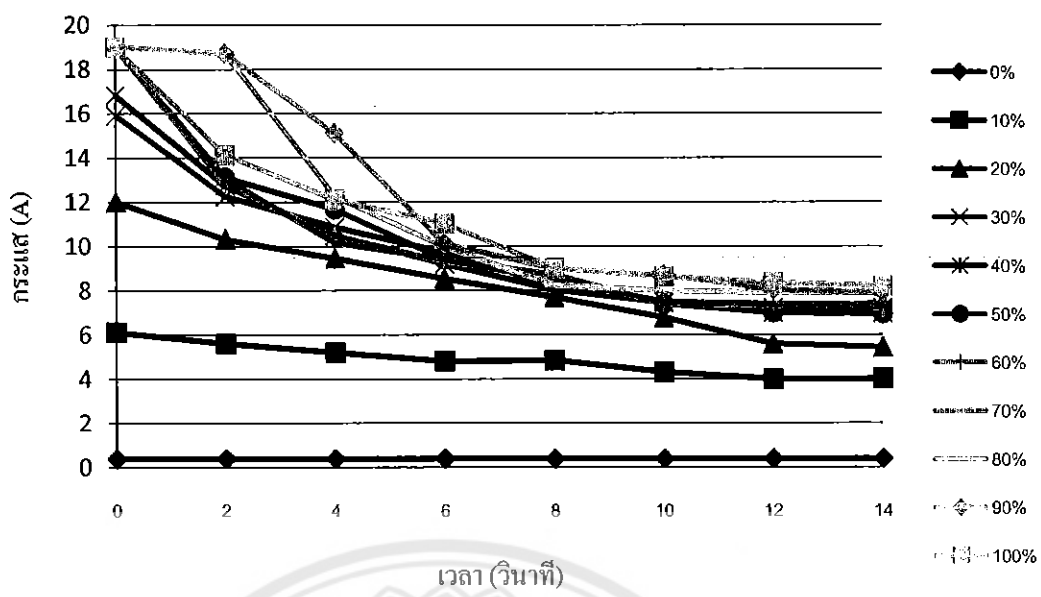


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า

Duty Cycle ขยับขึ้นในความเร็วคงที่

ตารางที่ 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงความเร็วคงที่
เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 - 100 %

| Duty Cycle (%) | กระแส (A) | | | | | | | |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| | 0 s | 2 s | 4 s | 6 s | 8 s | 10 s | 12 s | 14 s |
| 0 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| 10 | 6.12 | 5.61 | 5.21 | 4.82 | 4.86 | 4.32 | 4.00 | 4.02 |
| 20 | 12.00 | 10.32 | 9.46 | 8.54 | 7.70 | 6.78 | 5.59 | 5.43 |
| 30 | 15.91 | 12.25 | 10.86 | 9.72 | 8.21 | 7.50 | 7.21 | 7.20 |
| 40 | 16.82 | 12.74 | 10.50 | 9.21 | 8.03 | 7.45 | 7.00 | 6.97 |
| 50 | 19.00 | 13.12 | 11.68 | 9.42 | 8.72 | 7.40 | 7.00 | 6.95 |
| 60 | 18.98 | 12.78 | 10.49 | 9.32 | 8.69 | 7.40 | 7.32 | 7.21 |
| 70 | 19.02 | 13.06 | 10.16 | 9.42 | 8.44 | 7.50 | 7.40 | 7.41 |
| 80 | 19.02 | 18.72 | 12.26 | 9.99 | 8.24 | 7.98 | 7.90 | 7.88 |
| 90 | 19.00 | 18.72 | 15.12 | 10.13 | 9.00 | 8.72 | 8.05 | 7.92 |
| 100 | 19.00 | 14.12 | 12.11 | 11.03 | 9.00 | 8.62 | 8.35 | 8.20 |



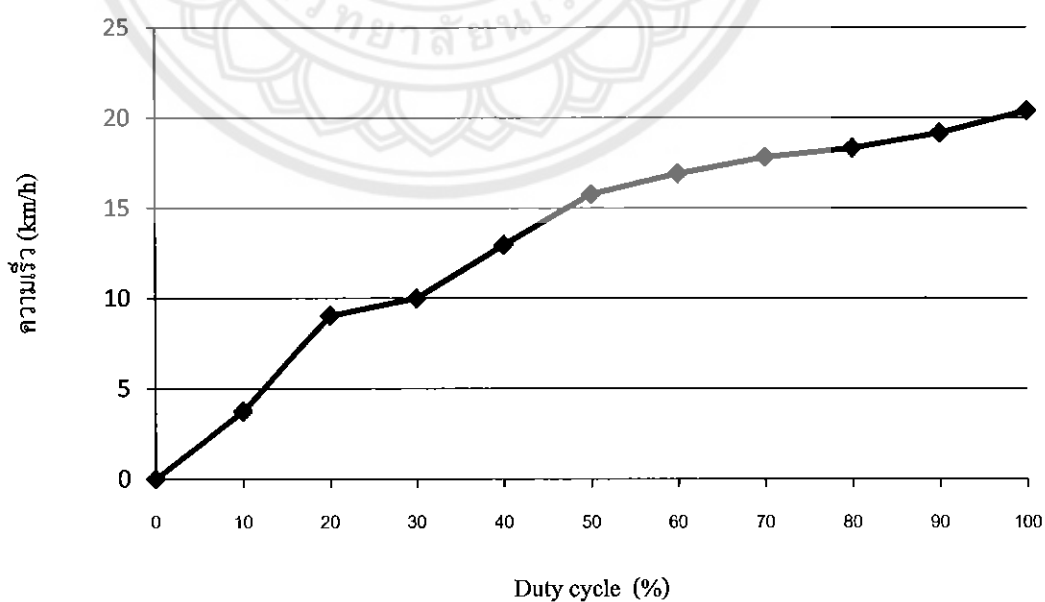
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับเวลา ณ ค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0%-100%



4.3.2 การทดสอบโดยผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.4 ความเร็วเทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 – 100 %

| Duty Cycle (%) | ความเร็ว (m/s) | | | | ความเร็ว (km/h) |
|----------------|----------------|------------|------------|--------|-----------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1.09 | 1.01 | 1.02 | 1.04 | 3.74 |
| 20 | 2.71 | 2.43 | 2.40 | 2.51 | 9.04 |
| 30 | 2.79 | 2.80 | 2.75 | 2.78 | 10.00 |
| 40 | 3.40 | 3.62 | 3.78 | 3.60 | 12.96 |
| 50 | 4.43 | 4.42 | 4.29 | 4.38 | 15.77 |
| 60 | 4.71 | 4.75 | 4.64 | 4.70 | 16.92 |
| 70 | 4.97 | 5.00 | 4.87 | 4.95 | 17.82 |
| 80 | 5.24 | 4.98 | 5.05 | 5.09 | 18.32 |
| 90 | 5.40 | 5.42 | 5.15 | 5.32 | 19.15 |
| 100 | 5.73 | 5.61 | 5.65 | 5.66 | 20.39 |

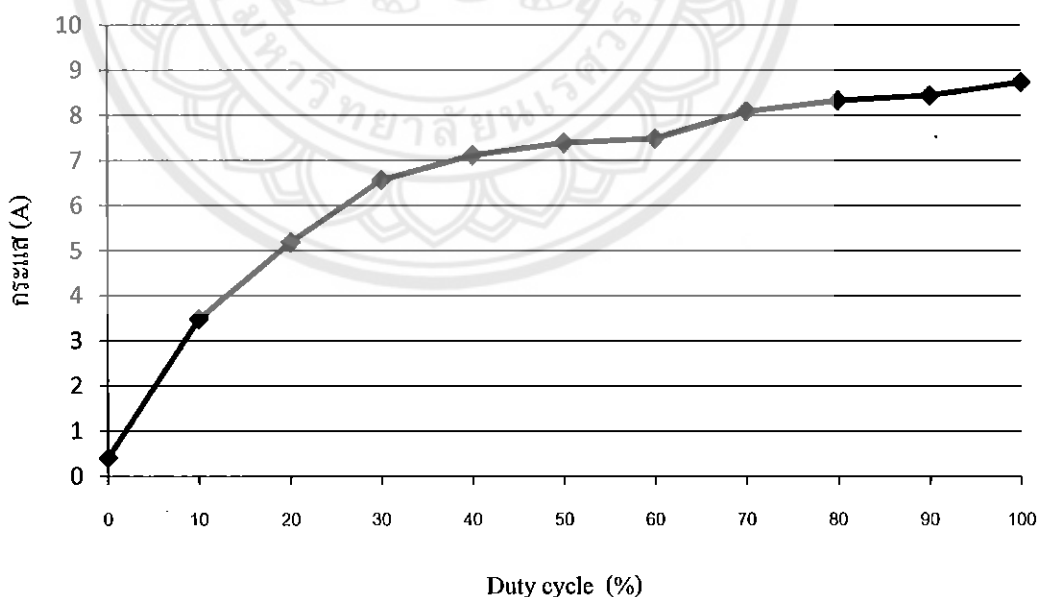


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าเทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 %

ตารางที่ 4.5 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในลักษณะความเร็วคงที่

เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 ถึง 100 %

| Duty Cycle (%) | กระแส (A) | | | | แรงดัน (V) | | | |
|----------------|------------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |
| 0 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| 10 | 3.46 | 3.51 | 3.48 | 3.48 | 5.3 | 5.21 | 5.64 | 5.38 |
| 20 | 5.27 | 5.37 | 4.89 | 5.18 | 12.2 | 12.40 | 12.68 | 12.43 |
| 30 | 6.53 | 6.84 | 6.32 | 6.56 | 14.3 | 14.16 | 14.62 | 14.36 |
| 40 | 7.00 | 7.21 | 7.11 | 7.11 | 17.34 | 17.38 | 17.91 | 17.54 |
| 50 | 7.33 | 7.28 | 7.54 | 7.38 | 19.20 | 19.35 | 19.08 | 19.21 |
| 60 | 7.54 | 7.15 | 7.74 | 7.48 | 20.11 | 20.33 | 20.48 | 20.31 |
| 70 | 8.00 | 8.11 | 8.14 | 8.08 | 22.00 | 22.67 | 22.08 | 22.25 |
| 80 | 8.25 | 8.24 | 8.47 | 8.32 | 23.15 | 23.69 | 23.47 | 23.44 |
| 90 | 8.32 | 8.29 | 8.67 | 8.43 | 22.00 | 22.44 | 22.38 | 23.50 |
| 100 | 8.80 | 8.94 | 8.46 | 8.73 | 23.80 | 23.91 | 23.71 | 23.81 |



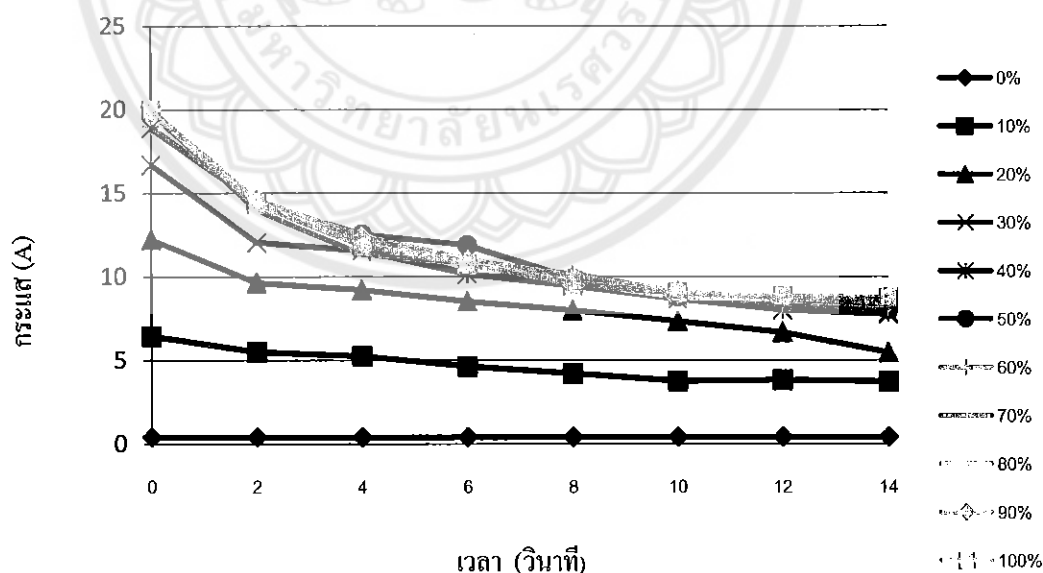
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า

Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ขับขี่ในความเร็วคงที่

ตารางที่ 4.6 ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงความเร็วคงที่

เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 ถึง 100 %

| Duty Cycle (%) | กระแส (A) | | | | | | | |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | 0 s | 2 s | 4 s | 6 s | 8 s | 10 s | 12 s | 14 s |
| 0 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| 10 | 6.42 | 5.49 | 5.23 | 4.61 | 4.20 | 3.74 | 3.80 | 3.70 |
| 20 | 12.22 | 9.63 | 9.21 | 8.53 | 7.99 | 7.34 | 6.67 | 5.46 |
| 30 | 16.67 | 12.03 | 11.53 | 10.14 | 9.43 | 8.65 | 7.99 | 7.73 |
| 40 | 18.87 | 14.42 | 11.99 | 10.15 | 9.61 | 8.86 | 8.00 | 7.83 |
| 50 | 19.90 | 14.42 | 12.53 | 11.87 | 9.87 | 8.80 | 8.40 | 7.99 |
| 60 | 19.00 | 14.42 | 12.36 | 10.97 | 10.10 | 8.82 | 8.31 | 8.10 |
| 70 | 19.86 | 13.98 | 11.32 | 10.81 | 10.15 | 9.04 | 8.62 | 8.30 |
| 80 | 19.83 | 14.36 | 11.94 | 10.73 | 9.67 | 8.75 | 8.66 | 8.60 |
| 90 | 19.99 | 14.59 | 12.41 | 10.99 | 9.98 | 9.12 | 8.66 | 8.43 |
| 100 | 19.97 | 14.36 | 11.86 | 10.74 | 9.55 | 9.03 | 8.80 | 8.73 |



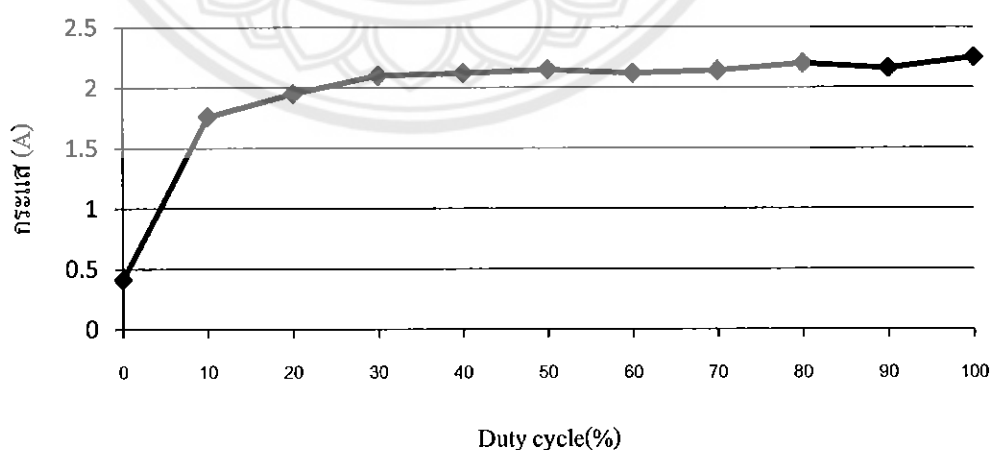
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับเวลา

ณ ค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 %

4.3.3 การทดสอบในลักษณะไร้ภาระ (No load)

ตารางที่ 4.7 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในลักษณะความเร็วคงที่
เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0-100%

| Duty Cycle (%) | กระแส (A) | | | | แรงดัน (V) | | | |
|----------------|------------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |
| 0 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| 10 | 1.73 | 1.81 | 1.75 | 1.76 | 11.10 | 11.5 | 11.24 | 11.28 |
| 20 | 1.97 | 1.87 | 2.03 | 1.95 | 18.42 | 18.49 | 18.5 | 18.47 |
| 30 | 2.05 | 2.14 | 2.12 | 2.10 | 21.95 | 21.87 | 22.01 | 21.94 |
| 40 | 2.10 | 2.12 | 2.14 | 2.12 | 23.51 | 23.44 | 23.21 | 23.38 |
| 50 | 2.10 | 2.21 | 2.14 | 2.15 | 24.24 | 24.06 | 24.52 | 24.27 |
| 60 | 2.10 | 2.11 | 2.16 | 2.12 | 24.70 | 24.87 | 24.79 | 24.78 |
| 70 | 2.15 | 2.13 | 2.14 | 2.14 | 25.10 | 25.31 | 25.14 | 25.18 |
| 80 | 2.21 | 2.29 | 2.11 | 2.20 | 25.50 | 25.62 | 25.49 | 25.53 |
| 90 | 2.15 | 2.16 | 2.17 | 2.16 | 25.70 | 25.65 | 25.91 | 25.75 |
| 100 | 2.20 | 2.24 | 2.31 | 2.25 | 25.80 | 24.91 | 26.42 | 25.71 |

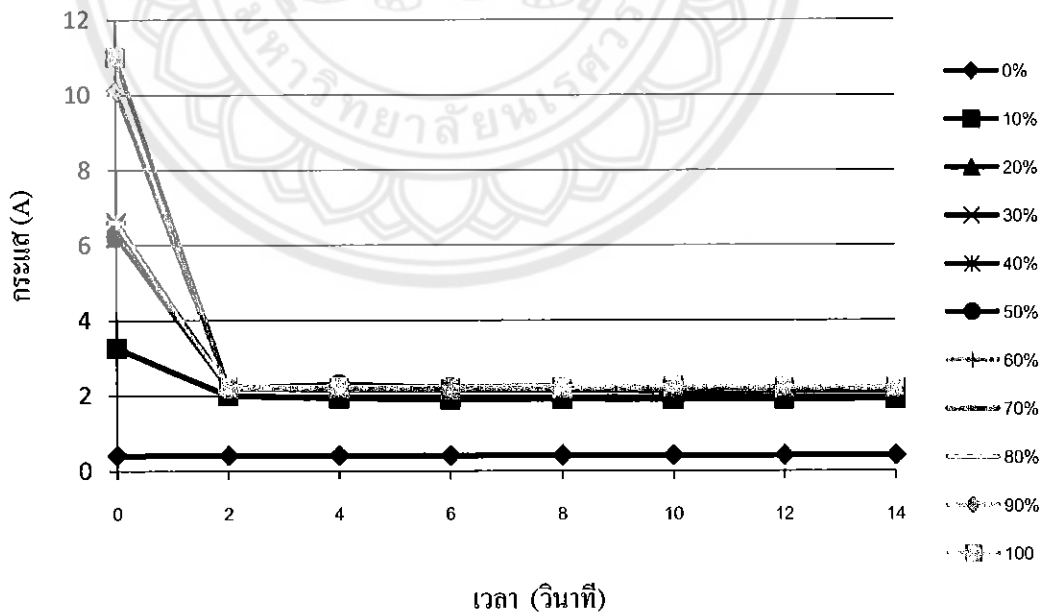


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า

Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % จับชี้ในความเร็วคงที่

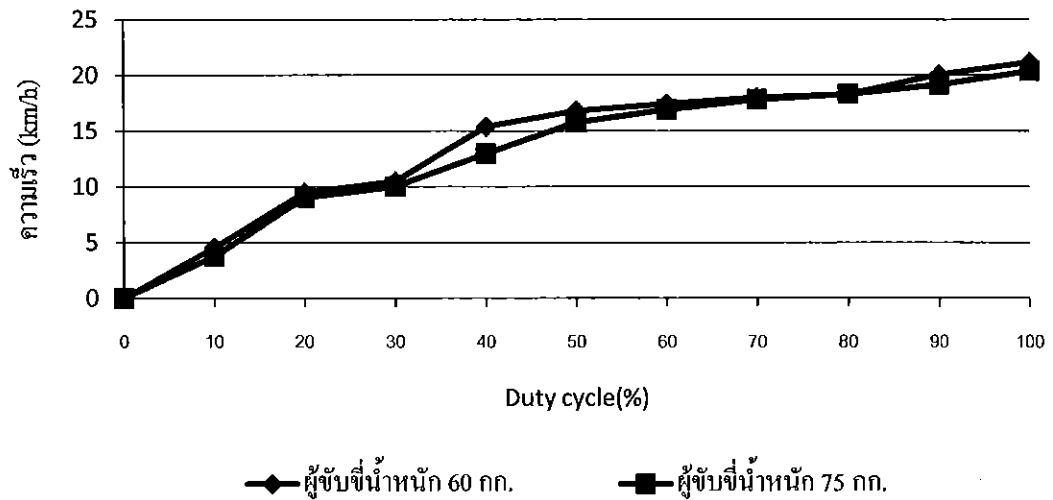
ตารางที่ 4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงความเร็วคงที่
เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 ถึง 100 %

| Duty Cycle (%) | กระแส (A) | | | | | | | |
|----------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 s | 2 s | 4 s | 6 s | 8 s | 10 s | 12 s | 14 s |
| 0 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 |
| 10 | 3.26 | 2.00 | 1.93 | 1.90 | 1.91 | 1.90 | 1.90 | 1.91 |
| 20 | 6.22 | 2.22 | 2.15 | 2.16 | 2.16 | 2.12 | 2.12 | 2.12 |
| 30 | 6.55 | 2.24 | 2.21 | 2.20 | 2.18 | 2.17 | 2.17 | 2.17 |
| 40 | 6.62 | 2.20 | 2.21 | 2.20 | 2.18 | 2.18 | 2.18 | 2.18 |
| 50 | 6.22 | 2.20 | 2.30 | 2.21 | 2.21 | 2.20 | 2.19 | 2.18 |
| 60 | 6.62 | 2.21 | 2.21 | 2.20 | 2.19 | 2.20 | 2.19 | 2.20 |
| 70 | 6.22 | 2.21 | 2.18 | 2.24 | 2.24 | 2.20 | 2.20 | 2.20 |
| 80 | 6.61 | 2.20 | 2.21 | 2.20 | 2.21 | 2.20 | 2.20 | 2.20 |
| 90 | 10.11 | 2.21 | 2.21 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 |
| 100 | 11.00 | 2.22 | 2.21 | 2.17 | 2.20 | 2.24 | 2.21 | 2.20 |



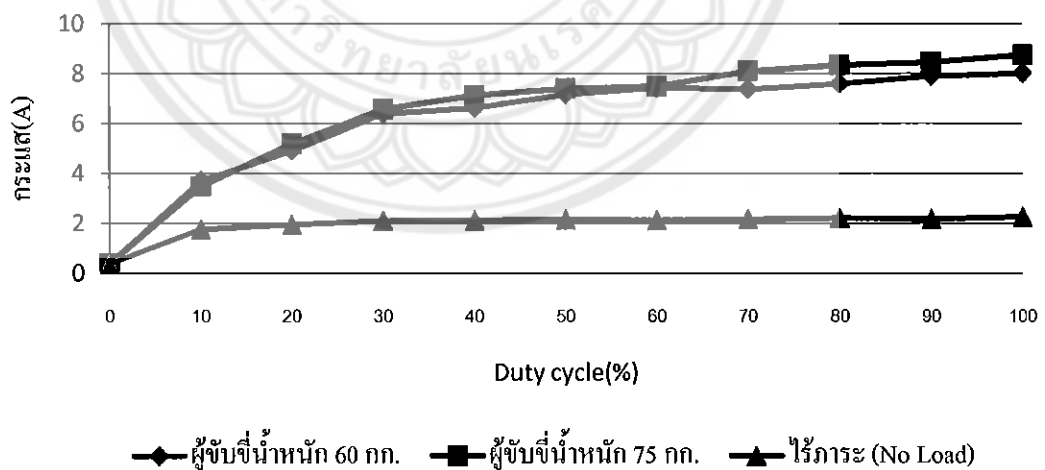
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับเวลา

ณ ค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % - 100 %



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้ากับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ของผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัมและผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม

จากรูปกราฟที่ 4.19 เมื่อเปรียบเทียบที่ Duty Cycle ในช่วงเดียวกัน จะเห็นได้ว่าผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ทำความเร็วสูงสุดได้ประมาณ 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม ทำความเร็วได้ประมาณ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งผู้ที่มีน้ำหนักน้อยจะทำความเร็วได้สูงกว่าผู้ที่มีน้ำหนักมาก ฉะนั้นความเร็วของจักรยานไฟฟ้าจะแปรผกผันกับน้ำหนักของผู้ขับขี่



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เทียบกับค่า Duty Cycle ตั้งแต่ 0% ถึง 100 % ของผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม และในสถานะไร้ภาระ โดยขับขี่ในความเร็วกงที่

จากรูปกราฟที่ 4.20 ผู้ขับขี่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ปิดคันเร่งให้ค่า Duty cycle เท่ากับ 100 % จะทำความเร็วสูงสุดได้ประมาณ 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระแสเฉลี่ยที่ความเร็วสูงสุดได้ 8 แอมป์ ฉะนั้นถ้ารถจักรยานวิ่งด้วยความเร็วคงที่ ความเร็วสูงสุดคือ 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ขับขี่น้ำหนัก 60 กิโลกรัม จะใช้พลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต 8.8 แอมป์ต่อชั่วโมง ได้ประมาณ 1.1 ชั่วโมง

ผู้ขับขี่มีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม ปิดคันเร่งให้ค่า Duty cycle เท่ากับ 100 % จะทำความเร็วสูงสุดได้ประมาณ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระแสเฉลี่ยที่ความเร็วสูงสุดได้ 8.73 แอมป์ ฉะนั้นถ้ารถจักรยานวิ่งด้วยความเร็วคงที่ ความเร็วสูงสุดคือ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ขับขี่น้ำหนัก 75 กิโลกรัม จะใช้พลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต 8.8 แอมป์ต่อชั่วโมง ได้ประมาณ 1 ชั่วโมง

เมื่อทดลองในสภาวะไร้ภาระ (No Load) ปิดคันเร่งให้ค่า Duty cycle เท่ากับ 100 % กระแสเฉลี่ยที่ค่า Duty cycle เท่ากับ 100 % ได้ 2.25 แอมป์ ฉะนั้นในสภาวะไร้ภาระ (No Load) ปิดคันเร่งสูงสุดจะใช้พลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต 8.8 แอมป์ต่อชั่วโมง ได้ประมาณ 3.9 ชั่วโมง



4.4 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต

การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต จะทดสอบโดยการคายประจุ (Discharge) ออกให้เหลือแรงดันคงเหลือ 2.4 โวลต์ 2.6 โวลต์ 2.8 โวลต์ 3.0 โวลต์ และ 3.2 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งทั้งชุดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตของรถจักรยานไฟฟ้า จะแบ่งออกเป็น 8 เซลล์ เมื่อคายประจุ (Discharge) ออกให้เหลือแรงดันค่าต่างๆแล้วจะประจุกลับเข้าไปให้กับแบตเตอรี่ โดยใช้เครื่องประจุดิจิทัล โดยตั้งกระแสการประจุไฟฟ้าไว้ที่ 6.5 แอมป์ เพื่อดูเวลาในประจุที่แรงดันคงเหลืออื่นๆ



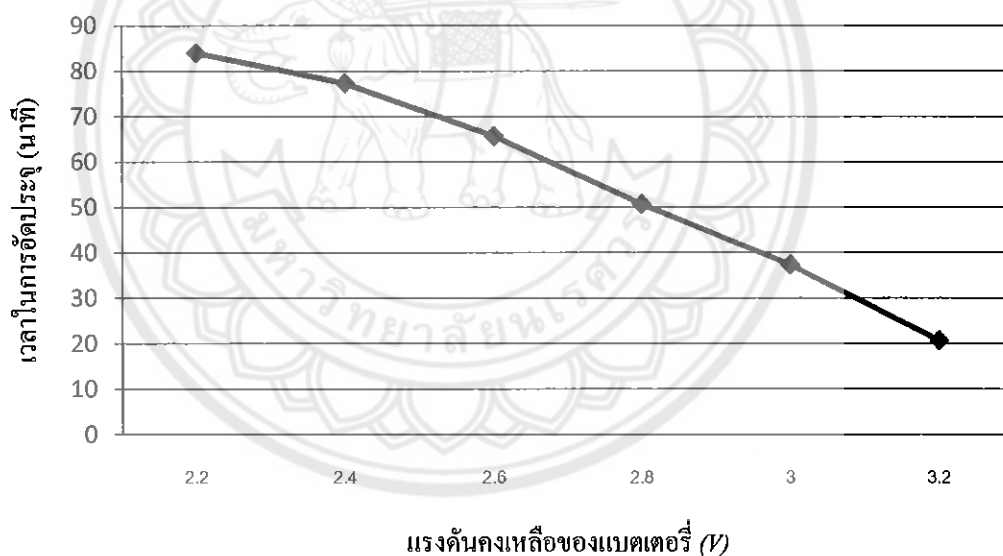
รูปที่ 4.26 ชุดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟตแรงดัน 28.8 โวลต์ 8.8 แอมป์



รูปที่ 4.27 เครื่องประจุแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนนาโนฟอสเฟต

ตารางที่ 4.9 เวลาการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต
โดยตั้งแต่กระแสประจุไว้ที่ 6.5 แอมป์

| แรงดันแบตเตอรี่ (V) | เวลาที่ใช้ในการประจุ (นาที) | | | |
|---------------------|-----------------------------|----|----|-------|
| 2.20 | 85 | 81 | 86 | 84.00 |
| 2.40 | 78 | 76 | 78 | 77.33 |
| 2.60 | 65 | 64 | 68 | 65.66 |
| 2.80 | 47 | 52 | 53 | 50.66 |
| 3.00 | 35 | 38 | 39 | 37.33 |
| 3.20 | 20 | 21 | 21 | 20.66 |



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันคงเหลือของแบตเตอรี่ (V) กับเวลาในการประจุ

การประจุให้กับแบตเตอรี่จะใช้เครื่องประจุแบบแยกเซลล์ซึ่งจะทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ที่ใช้ทดลองขนาด 28.8 โวลต์ 8.8 แอมป์ โดยแบ่งออกเป็น 8 เซลล์ ซึ่งเวลาในการประจุจะแตกต่างกันไปตามแรงดันคงเหลือของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นเพราะการใช้งานจักรยานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจากกราฟรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า ถ้าแรงดันคงเหลือของแบตเตอรี่มากเวลาในการประจุน้อย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองจักษยานไฟฟ้า โดยจะใช้ไอซีเบอร์ 555 ซึ่งจะสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ได้โดยการอ้างอิงกับค่าของดิวตี้ไซเคิล เพื่อนำมาวัดหาค่ากระแส แรงดันที่ค่าคงที่และค่ากระแสขณะเริ่มเดินมอเตอร์ ทั้งขณะมีโหลดและไม่มีโหลด พร้อมเสนอแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนา ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้ศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้โดยใช้วงจรมัลติไวเบเรเตอร์แบบไม่เสถียร จากไอซีเบอร์ 555 เพื่อออกแบบเป็นชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยมีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO_4) เป็นแหล่งให้พลังงานแก่จักษยานไฟฟ้า และเมื่อมีการควบคุมค่าของดิวตี้ไซเคิล ก็จะส่งผลต่อค่ากระแสและแรงดันของมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนจักษยานไฟฟ้า ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของรถจักษยานไฟฟ้าตามที่ต้องการได้

จากผลการทดสอบในบทที่ 4 สามารถควบคุมค่าของดิวตี้ไซเคิล ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเทียบกับภาระต่างๆ ซึ่งใช้ผู้ขับที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม 75 กิโลกรัมและไม่มีผู้ขับ จะเห็นได้ว่ามีค่ากระแสและแรงดันของผู้ขับทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของดิวตี้ไซเคิล 10-30 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 40 เปอร์เซ็นต์ ค่ากระแสจะต่างกันประมาณ 0.75 แอมป์ และแรงดันจะใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 24 โวลต์

ผลการทดลองขณะเริ่มเดินมอเตอร์ขณะมีโหลดซึ่งมีผู้ขับกระแสสูงสุดอยู่ที่ 20 แอมป์ ที่ดิวตี้ไซเคิล ตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป และกระแสจะลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลา 12 วินาที ในส่วนไม่มีโหลดนั้นกระแสสูงสุดอยู่ที่ 11 แอมป์ และกระแสจะลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลา 2 วินาที

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ปัญหาด้านการเชื่อมแบตเตอรี่โดยตรงด้วยตะกั่ว อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพได้และขั้วต่อแบตเตอรี่หลุดได้ง่ายจากการสั่นสะเทือนของรถจักรยาน แก๊ซโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นตัวกวดหน้าสัมผัสขั้วแบตเตอรี่ แต่มีปัญหาเรื่องการประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าได้ไม่สูงมากนักสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการ สปอตแบตเตอรี่ (Spot Welding Battery) มีปัญหาเรื่องการประจุไฟฟ้าที่จากเดิมประจุไฟฟ้าทีละเซลล์ ทำให้เสียเวลาในการประจุไฟฟ้า แก๊ซโดยประจุไฟฟ้าหลายเซลล์โดยใช้สายบาลานซ์

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

1. สร้างมาตรฐานค่าการทำงานของจักรยานไฟฟ้า เช่น ค่าความจุแบตเตอรี่ การทำงานของมอเตอร์และความเร็วของรถ
2. ใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น มอเตอร์ดีซีบลิสเลส
3. จัดให้วงจรประจุแบตเตอรี่อยู่ร่วมในจักรยานไฟฟ้า เมื่อประจุของแบตเตอรี่ต่ำ ผู้ขับสามารถประจุไฟได้ทุกที่ที่มีปลั๊กไฟ
4. ควรมีวงจรป้องกันแบตเตอรี่จ่ายไฟแรงดันต่ำเกินและกระแสสูงเกิน เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหายไม่สามารถประจุได้และยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
5. ติดตั้งสวิตช์ฉุกเฉินเพื่อตัดการทำงานทุกอย่างเมื่อเกิดเหตุไม่คาดคิด เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์และชีวิต
- 6) ใช้การแพ็คแบตเตอรี่ด้วยเครื่องสปอตแบตเตอรี่ (Spot Welding Battery) หรือใช้แบตเตอรี่ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบขันน็อต ทำให้สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้สูงขึ้นและมีความแข็งแรงทนทาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ. ดร. ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง. (2554). อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน. ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] Smart Learning. (2551). ออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรด้วย Proteu. ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์Smart Learning
- [3] ผศ.ศุภชัย สุรินทร์วงศ์ (2548). มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น) ส.ส.ท.
- [4] M. H. Rashid. (1999). Microelectronics Circuit Analysis and Design : PWS Pub.
- [5] <http://www.a123systems.com/lithium-ion-cells-2665-cylindrical-cell.htm> สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2554
- [6] <http://ebikethaikit.com/uploads/443/files/MY1016Z250W.pdf> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ.2554

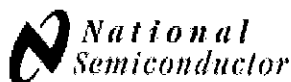




| ลำดับที่ | อุปกรณ์ | จำนวน |
|----------|------------------------------------|-------|
| 1 | ไอซีเบอร์ 555 | 1 |
| 2 | มอสเฟตเบอร์ IRF150 | 2 |
| 3 | ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม | 2 |
| 4 | ตัวต้านทาน 6 กิโลโอห์ม | 1 |
| 5 | ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม | 2 |
| 6 | ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม | 1 |
| 7 | ตัวต้านทาน 500 โอห์ม | 1 |
| 8 | ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด | 1 |
| 9 | ตัวเก็บประจุ 0.27 ไมโครฟารัด | 1 |
| 10 | หลอดไดโอดเปล่งแสง | 1 |
| 11 | ไดโอด 1N4148 | 1 |
| 12 | ไดโอด FR 304 | 1 |
| 13 | Connect แบบต่างๆ | |



รายละเอียดของ ไอซีเบอร์ 555



July 2003

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

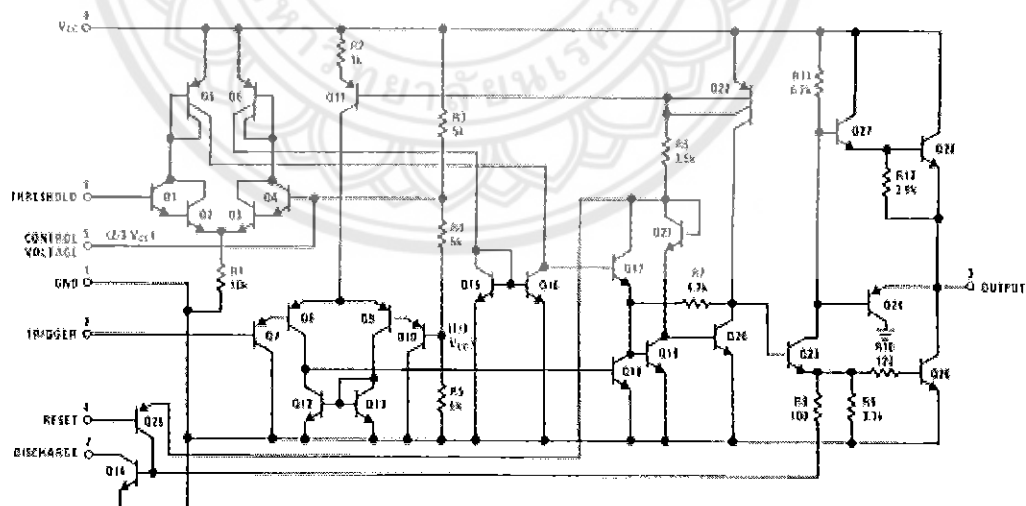
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

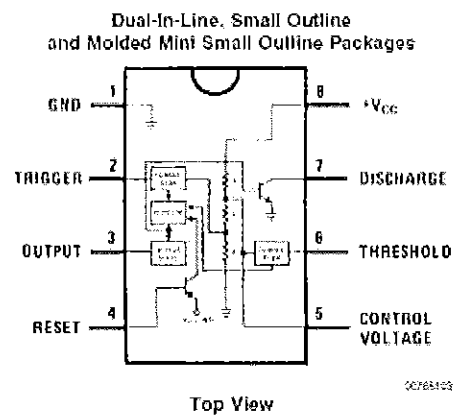
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



00785191

Connection Diagram



Ordering Information

| Package | Part Number | Package Marking | Media Transport | NSC Drawing |
|------------|-------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| 8-Pin SOIC | LM555CM | LM555CM | Reels | M08A |
| | LM555CMX | LM555CM | 2.5k Units Tape and Reel | |
| 8-Pin MSOP | LM555CMM | Z55 | 1k Units Tape and Reel | MUA08A |
| | LM555CMMX | Z55 | 3.5k Units Tape and Reel | |
| 8-Pin MDIP | LM555CN | LM555CN | Reels | N08E |

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

| | |
|------------------------------|-----------------|
| Supply Voltage | +18V |
| Power Dissipation (Note 2) | |
| LM555CM, LM555CN | 1180 mW |
| LM555CMM | 613 mW |
| Operating Temperature Ranges | |
| LM555C | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |

Soldering information

| | |
|---|-------|
| Dual-In-Line Package | |
| Soldering (10 Seconds) | 260°C |
| Small Outline Packages (SOIC and MSOP) | |
| Vapor Phase (60 Seconds) | 215°C |
| Infrared (15 Seconds) | 220°C |

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

| Parameter | Conditions | Limits | | | Units |
|---------------------------|---|----------|------------|---------|-----------------|
| | | LM555C | | | |
| | | Min | Typ | Max | |
| Supply Voltage | | 4.5 | | 16 | V |
| Supply Current | $V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4) | | 3 10 | 6 15 | mA |
| Timing Error, Monostable | | | | | |
| Initial Accuracy | | | 1 | | % |
| Drift with Temperature | $R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5) | | 50 | | ppm/°C |
| Accuracy over Temperature | | | 1.5 | | % |
| Drift with Supply | | | 0.1 | | %/V |
| Timing Error, Astable | | | | | |
| Initial Accuracy | | | 2.25 | | % |
| Drift with Temperature | $R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5) | | 150 | | ppm/°C |
| Accuracy over Temperature | | | 3.0 | | % |
| Drift with Supply | | | 0.30 | | %/V |
| Threshold Voltage | | | 0.667 | | $\times V_{CC}$ |
| Trigger Voltage | $V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ | | 5 1.67 | | V V |
| Trigger Current | | | 0.5 | 0.9 | μA |
| Reset Voltage | | 0.4 | 0.5 | 1 | V |
| Reset Current | | | 0.1 | 0.4 | mA |
| Threshold Current | (Note 6) | | 0.1 | 0.25 | μA |
| Control Voltage Level | $V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ | 0 2.6 | 10 3.33 | 11 4 | V V |
| Pin 7 Leakage Output High | | | 1 | 100 | nA |
| Pin 7 Sat (Note 7) | | | | | |
| Output Low | $V_{CC} = 15\text{V}$, $I_T = 15\text{mA}$ | | 180 | | mV |
| Output Low | $V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_T = 4.6\text{mA}$ | | 80 | 200 | mV |

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

| Parameter | Conditions | Limits | | | Units |
|----------------------------|--|--------|------|------|-------|
| | | LM555C | | | |
| | | Min | Typ | Max | |
| Output Voltage Drop (Low) | $V_{CC} = 15\text{V}$ | | | | |
| | $I_{\text{SINK}} = 10\text{mA}$ | | 0.1 | 0.25 | V |
| | $I_{\text{SINK}} = 50\text{mA}$ | | 0.4 | 0.75 | V |
| | $I_{\text{SINK}} = 100\text{mA}$ | | 2 | 2.5 | V |
| | $I_{\text{SINK}} = 200\text{mA}$ | | 2.5 | | V |
| | $V_{CC} = 5\text{V}$ | | | | |
| Output Voltage Drop (High) | $I_{\text{SOURCE}} = 200\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$ | | 12.5 | | V |
| | $I_{\text{SOURCE}} = 100\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$ | 12.75 | 13.3 | | V |
| | $V_{CC} = 5\text{V}$ | 2.75 | 3.3 | | V |
| Rise Time of Output | | | 100 | | ns |
| Fall Time of Output | | | 100 | | ns |

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 100°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 6\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

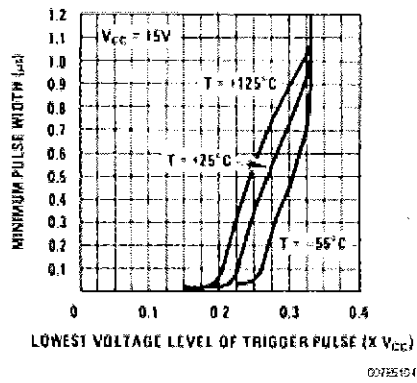
Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

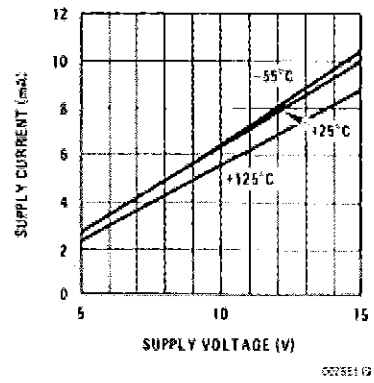
Note 8: Refer to RET555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Typical Performance Characteristics

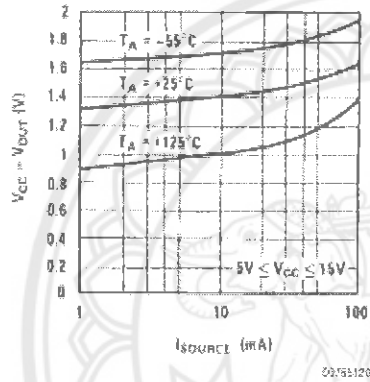
Minimum Pulse Width Required for Triggering



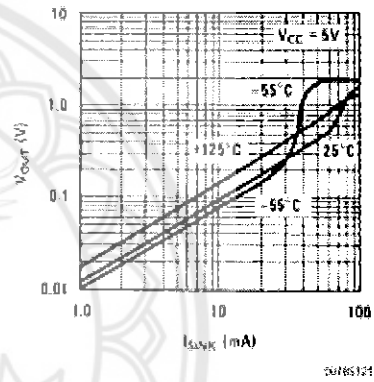
Supply Current vs. Supply Voltage



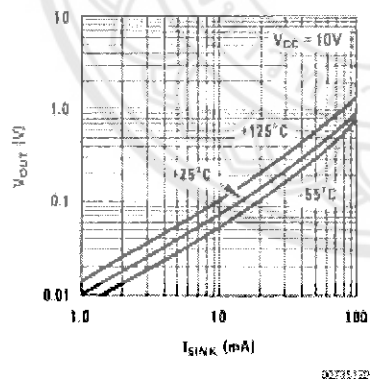
High Output Voltage vs. Output Source Current



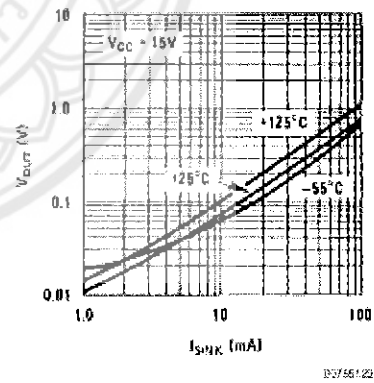
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current

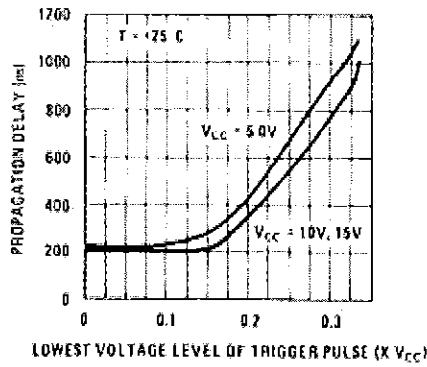


Low Output Voltage vs. Output Sink Current



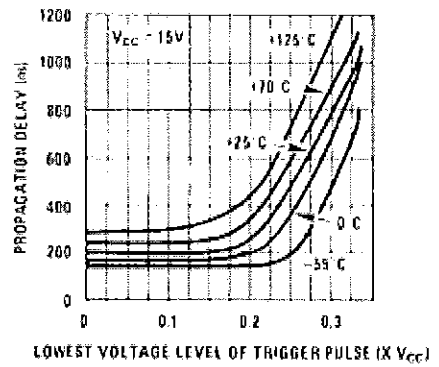
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



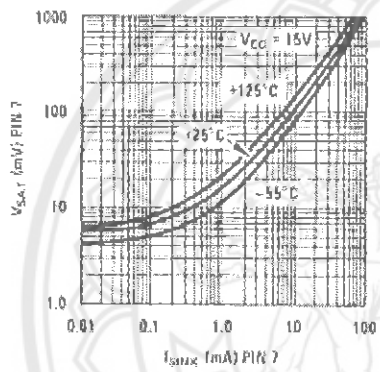
00785124

Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



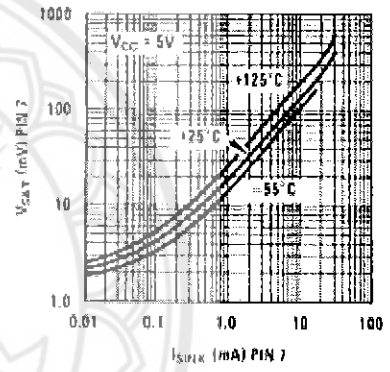
00785125

Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



00785126

Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



00785127

Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

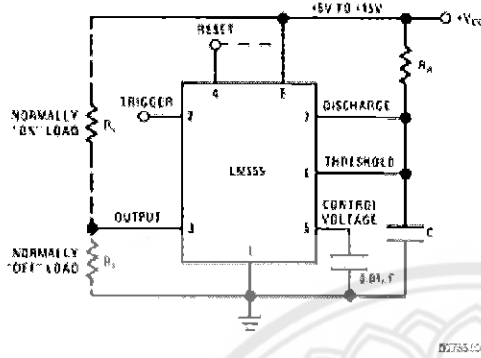
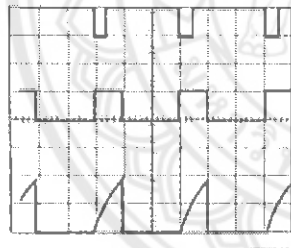


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/DIV.
 Middle Trace: Output 5V/DIV.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/DIV.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset

during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

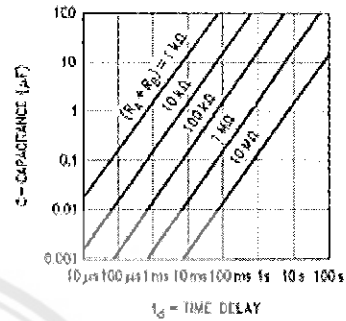


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

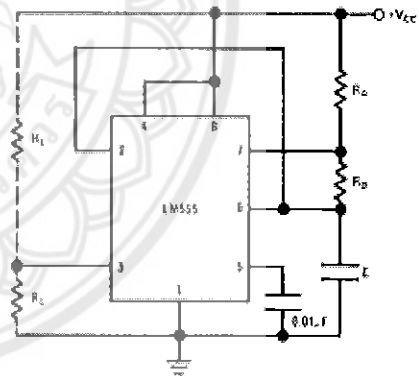
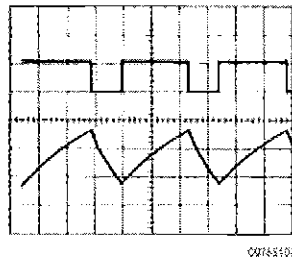


FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20µs/DIV. Top Trace: Output 5V/Div.
 $R_A = 3.6k\Omega$ Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

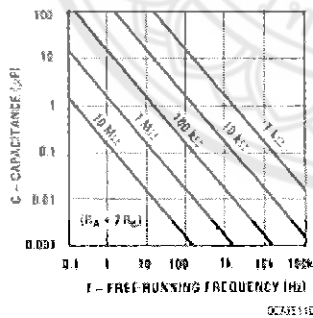
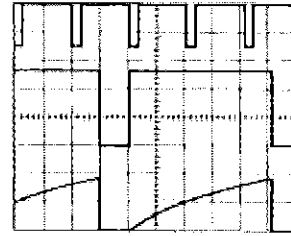


FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20µs/DIV. Top Trace: Input 4V/Div.
 $R_A = 8.1k\Omega$ Middle Trace: Output 2V/Div.
 $C = 0.01\mu F$ Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

FIGURE 7. Frequency Divider

PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.

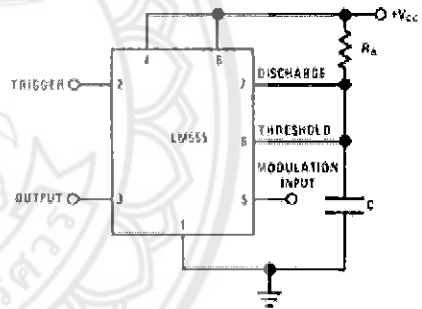
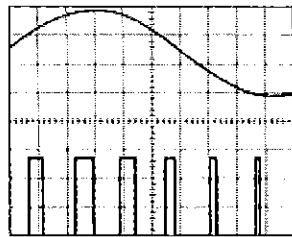


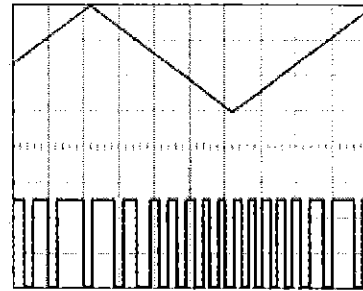
FIGURE 8. Pulse Width Modulator

Applications Information (Continued)



V_{CC} = 5V
 TIME = 0.2 ms/DIV. Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.
 R_A = 9.1kΩ
 C = 0.01μF

FIGURE 9. Pulse Width Modulator



V_{CC} = 5V
 TIME = 0.1 ms/DIV. Bottom Trace: Output 2V/Div.
 R_Z = 3.9kΩ
 R_D = 3kΩ
 C = 0.01μF

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

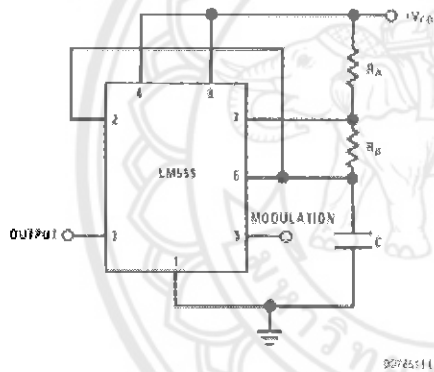


FIGURE 10. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A, in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.

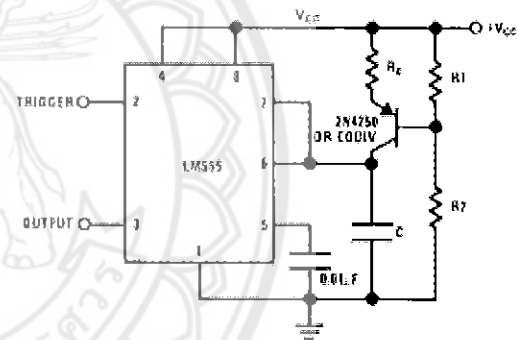


FIGURE 12.

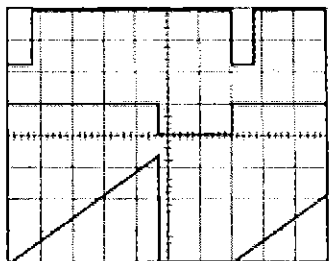
Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} \approx 0.6V$$

$$V_{BE} \approx 0.6V$$

Applications Information (Continued)



00785117
 $V_{CC} = 5V$ Top Trace: Input 5WDiv.
 TIME = 20µs/DIV. Middle Trace: Output 5WDiv.
 $R_1 = 47k\Omega$ Bottom Trace: Capacitor Voltage 1WDiv.
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_T = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 13. Linear Ramp

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 14. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[\frac{(R_A R_B)/(R_A + R_B)}{C} \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right] \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

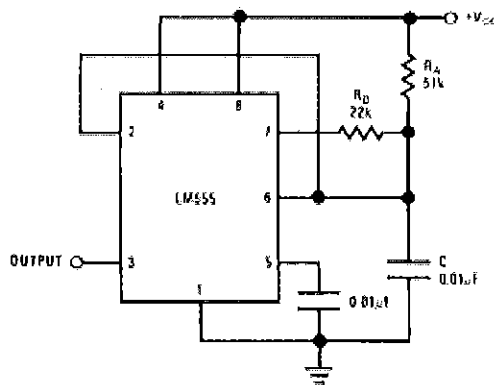


FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

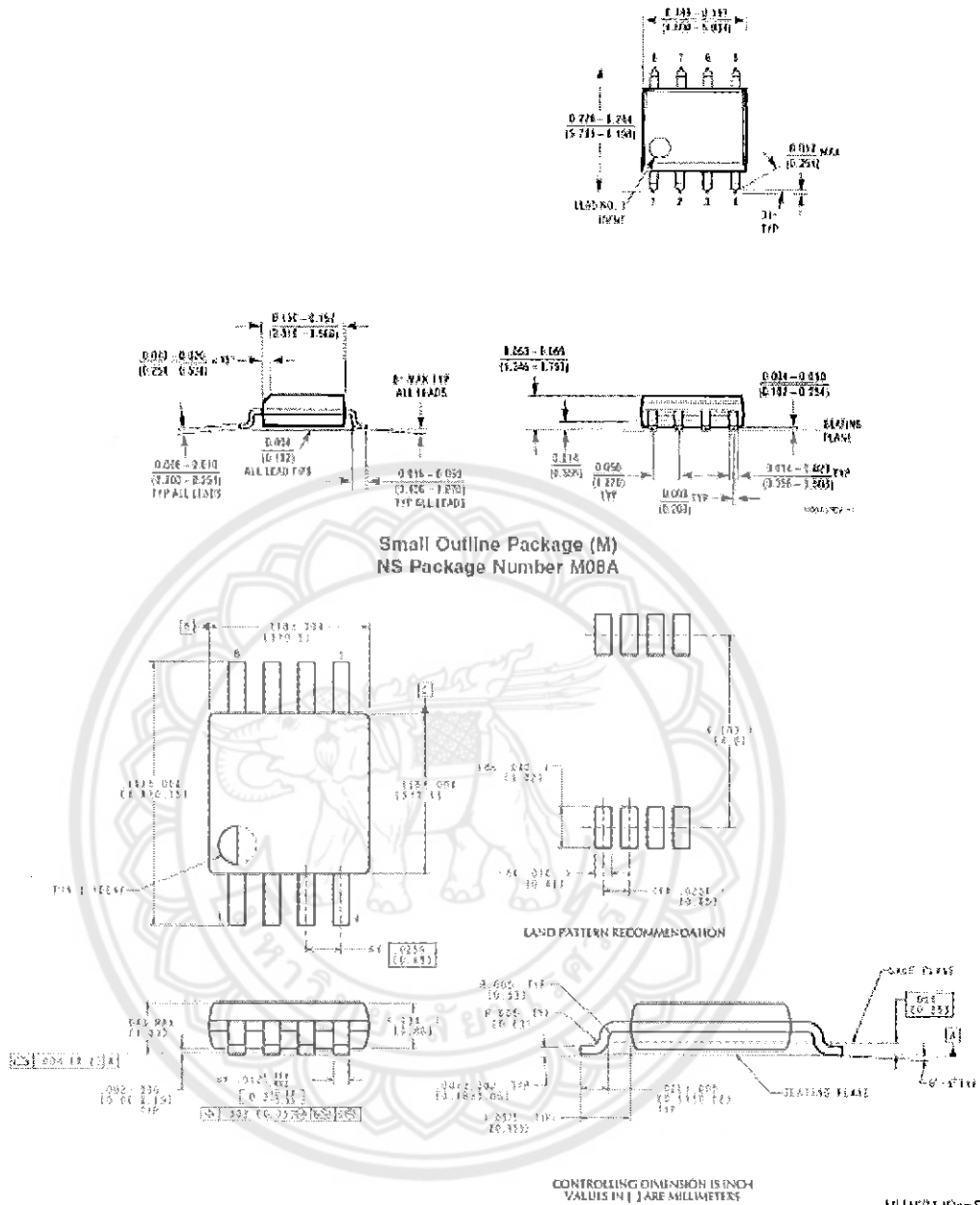
Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu F$ in parallel with $1\mu F$ electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as $10\mu s$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10\mu s$ minimum.

Delay time reset to output is $0.47\mu s$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3\mu s$, typical.

Pin 7 current switches within $30ns$ of the output (pin 3) voltage.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



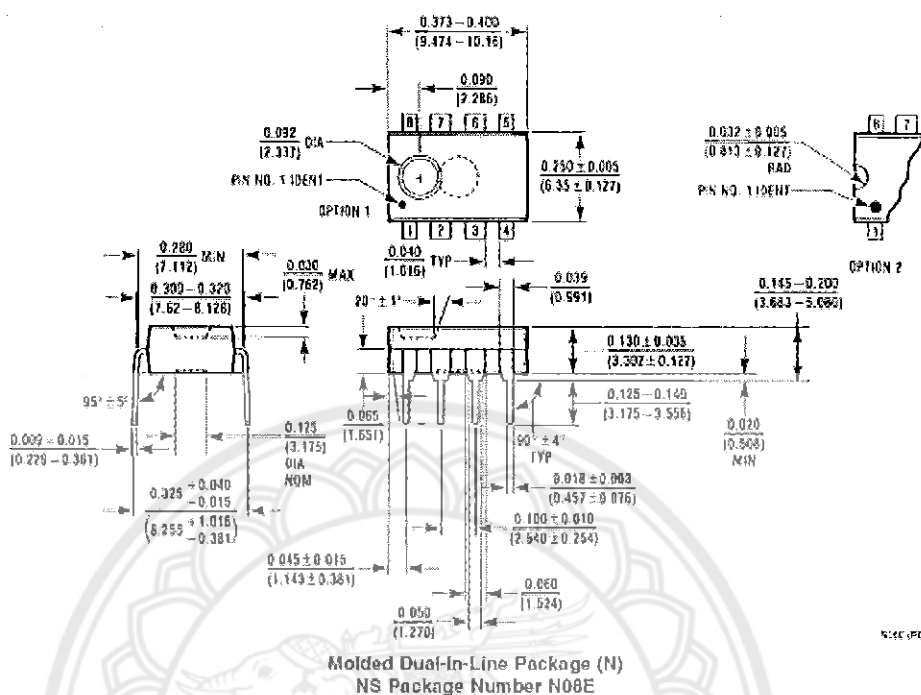
Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A

8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A

CONTROLLING DIMENSION IS INCH
VALUES IN [] ARE MILLIMETERS

MUA08A (Rev E)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at www.national.com.

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor follows the provisions of the Product Stewardship Guide for Customers (CSP-9-111C2) and Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) for regulatory environmental compliance. Details may be found at: www.national.com/quality/green.

Lead free products are RoHS compliant.



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: nsw.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9939

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 189-9330 65 88
Email: europa.support@nsc.com
Deutsch: Tel: +49 (0) 89 5928 6508
English: Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français: Tel: +33 (0) 1 41 61 6790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 61-3-6629-7507
Email: jp.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7550

www.national.com



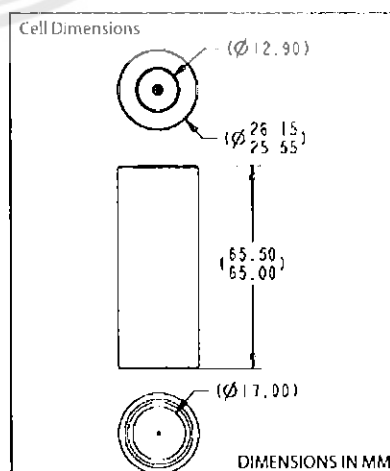
รายละเอียดของ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO₄)

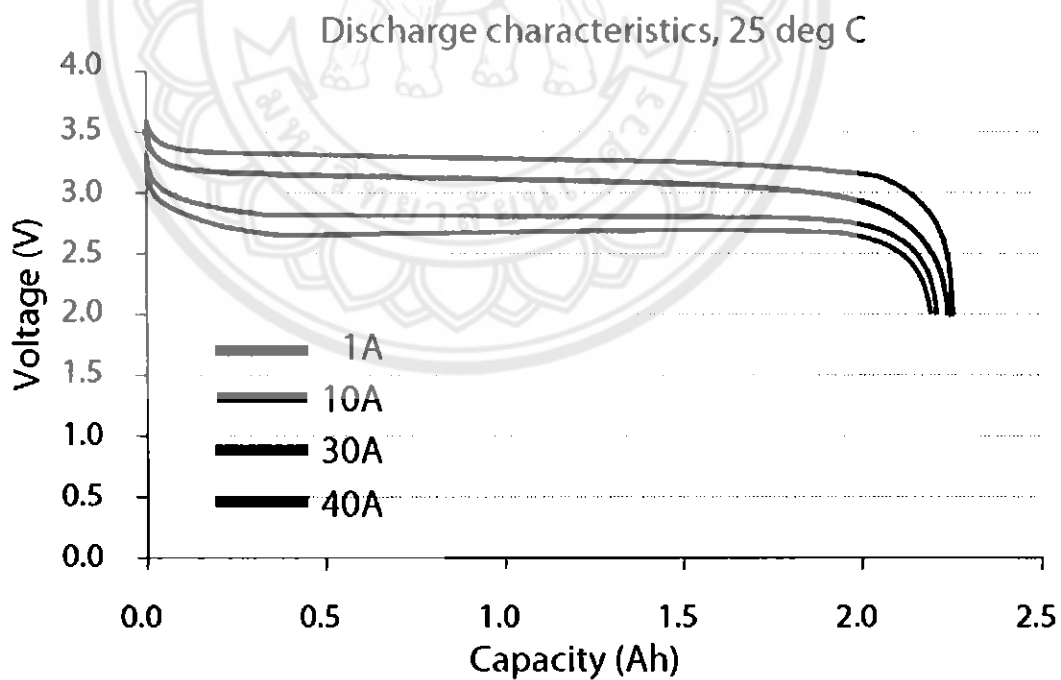
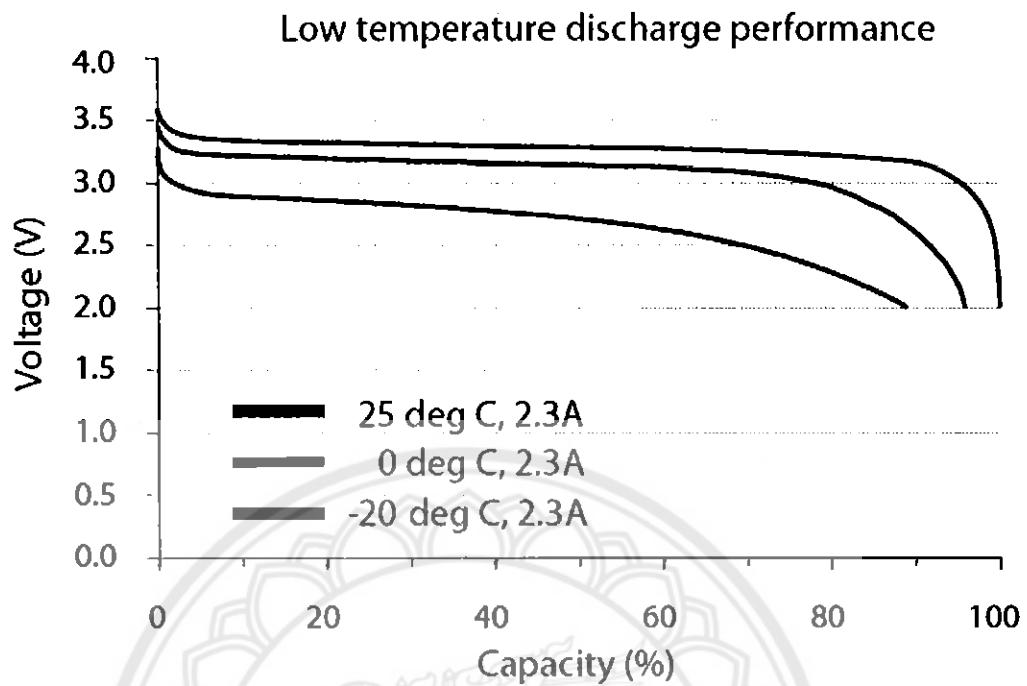
รายละเอียดของ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอสเฟต (LiFePO4)

RC Developer Kit - Single Cell

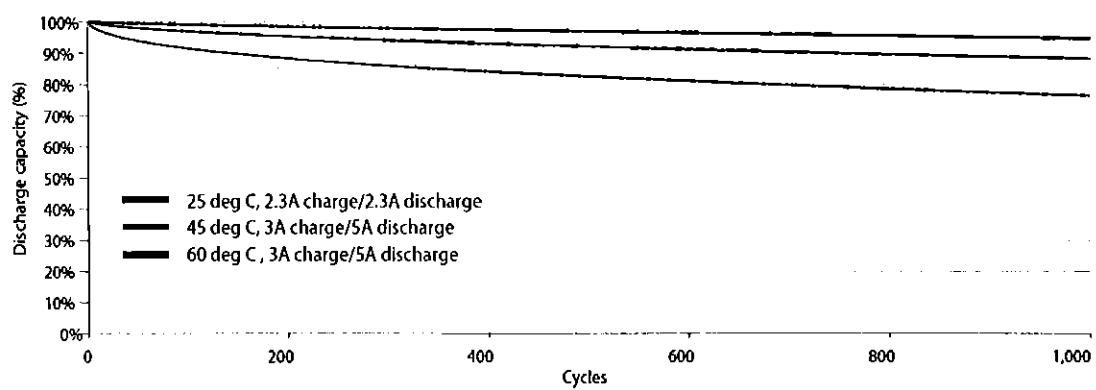
performance r/c products

| | |
|--|-------------------------|
| Nominal capacity and voltage | 2.3 Ah, 3.3 V |
| Internal impedance (1kHz AC) | 8 m Ω typical |
| Internal resistance (10A, 1s DC) | 10 m Ω typical |
| Recommended standard charge method | 3A to 3.6V CCCV 45 min |
| Recommended fast charge current | 10A to 3.6V CCCV 15 min |
| Max continuous discharge | 70A |
| Pulse discharge at 10 sec | 20A |
| Cycle life at 10C discharge, 100%DOD | Over 1,000 cycles |
| Recommended charge and cut-off V at 25°C | 3.6V to 2V |
| Recommended charge and cut-off V below 0°C | 4.2V to 0.5V |
| Operating temperature range | -30°C to +60°C |
| Storage temperature range | -50°C to +60°C |
| Core cell weight | 70 grams |





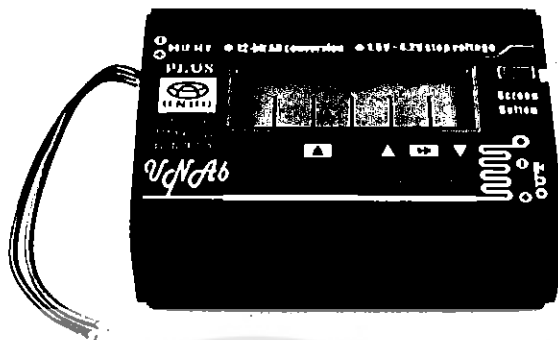
Cycle life performance, 100% DOD, various temperatures





รายละเอียดของ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เชื่อมไอออนนาโนฟอตเฟตที่นำมาศึกษา

รายละเอียดของ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนาโนฟอตเฟตที่นำมาศึกษา



ตัวเครื่องมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) แรงดันไฟฟ้าอินพุตอาจจะปรากฏในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่นี้
- 2) ฟังก์ชันความสมดุลแบบไดนามิกจะถูกเพิ่มในการปรับการชาร์จเพื่อลดระยะเวลาการชาร์จตามแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ในแบตเตอรี่
- 3) เครื่องชาร์จรุ่น NUAC 6 สามารถใช้ 2 เครื่องชาร์จรวมกันเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12S
- 4) ความแม่นยำของแรงดัน +/- 2mV ความแม่นยำของกระแส 0.1A
- 5) สามารถชาร์จชุดแบตเตอรี่ Li-Po 2-6S
- 6) มีระบบแยกชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 3x2S, 2x3S, 1x6S
- 7) มีการป้องกันวงจรไฟฟ้าในเครื่อง รวมทั้งการป้องกัน แรงดันเกิน ป้องกันอุณหภูมิสูงมากเกินไป การป้องกันการเชื่อมต่อเอาต์พุตผิดขั้ว
- 8) การควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติจากแผ่นวงจรภายในของเครื่องชาร์จ ถ้าไม่มีความร้อนพัดลม จะไม่ถูกเปิดใช้งาน แต่ถ้าเริ่มมีความร้อนพัดลมจะทำงาน
- 9) วงจรชาร์จทำงานแยกกัน 6 วงจรไม่มีการรบกวนซึ่งกันละกัน
- 10) เมื่อตรวจพบแรงดันของแบตเตอรี่ไม่ถึงค่าเริ่มต้น, วงจรการชาร์จของช่องนี้จะถูกหยุดการทำงานเพื่อให้คุณไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับแบตเตอรี่จะถูกชาร์จเกิน
- 11) กระแสชาร์จสูงสุด 8A และสามารถปรับได้ 0.3A-8A
- 12) แรงดันไฟฟ้ารับเข้ามา DC 12V-14V /> 12A



ภาคผนวก จ
รายละเอียดของ มอเตอร์กระแสตรงที่นำมาใช้กับจักรยานไฟฟ้า

รายละเอียดของ มอเตอร์กระแสตรงที่นำมาใช้กับจักรยานไฟฟ้า

ข้อมูลทางเทคนิค :

แรงดันและกำลังมอเตอร์ : 24V250W

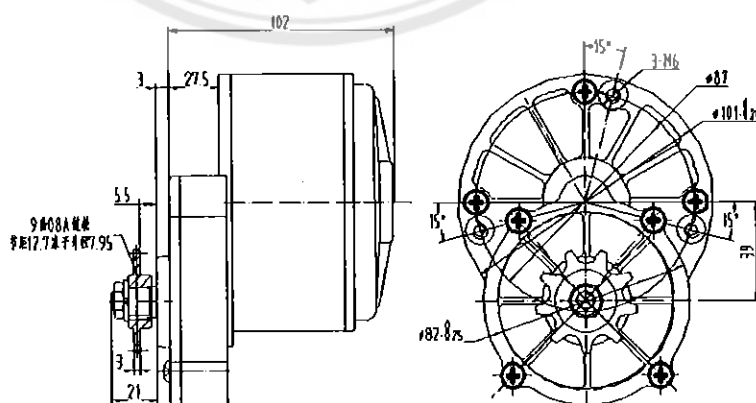
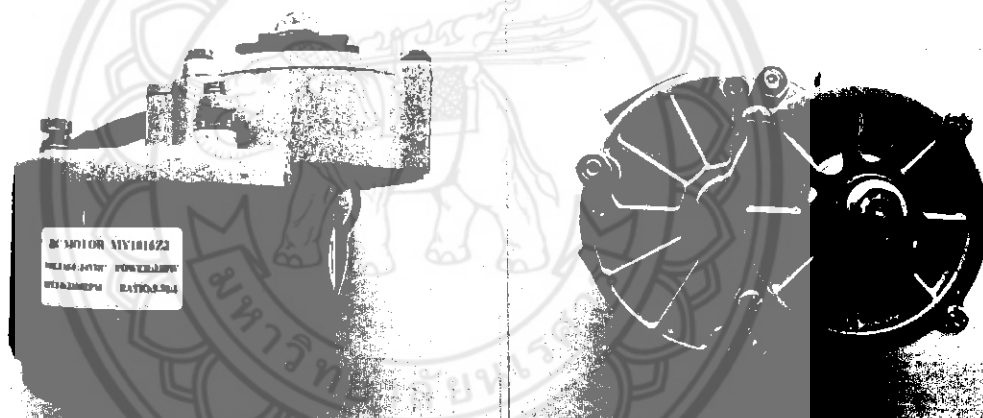
กินกระแส : 13.8A (พิกัดโหลด)

ความเร็วรอบ : 3,300 รอบต่อนาที ทดรอบเพื่อเพิ่มแรงบิด Ratio 9.78 : 1 (ความเร็วหลังทดรอบ 337 รอบต่อนาที)

แรงบิด : 6.65 N.M

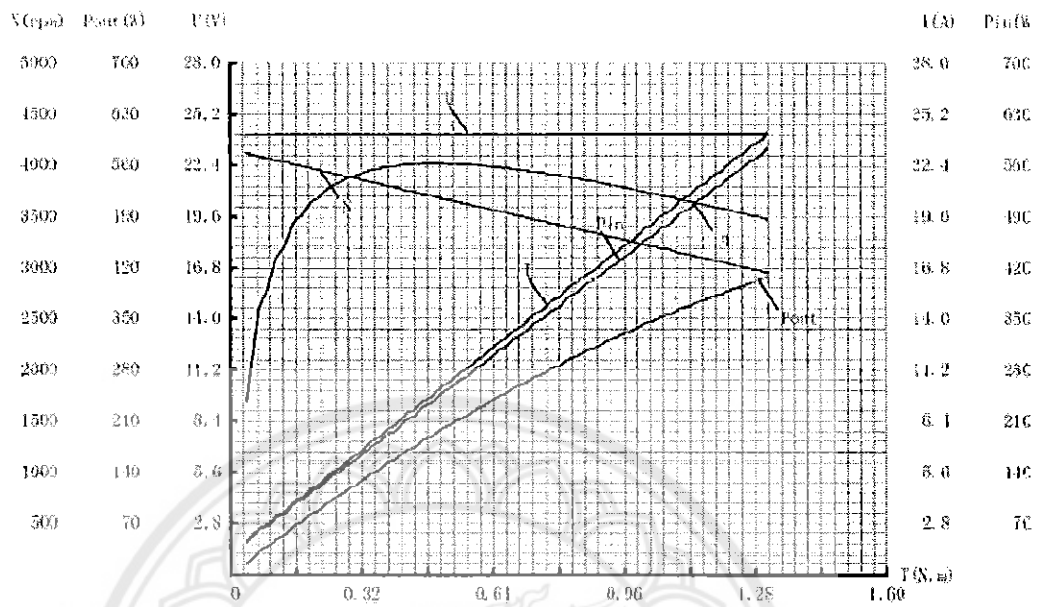
ประสิทธิภาพ : มากกว่า 78%

น้ำหนักมอเตอร์ : 2,300 กรัม (2.3 กก.)



单位:浙江龙奈特电机有限公司

日期: 2005年

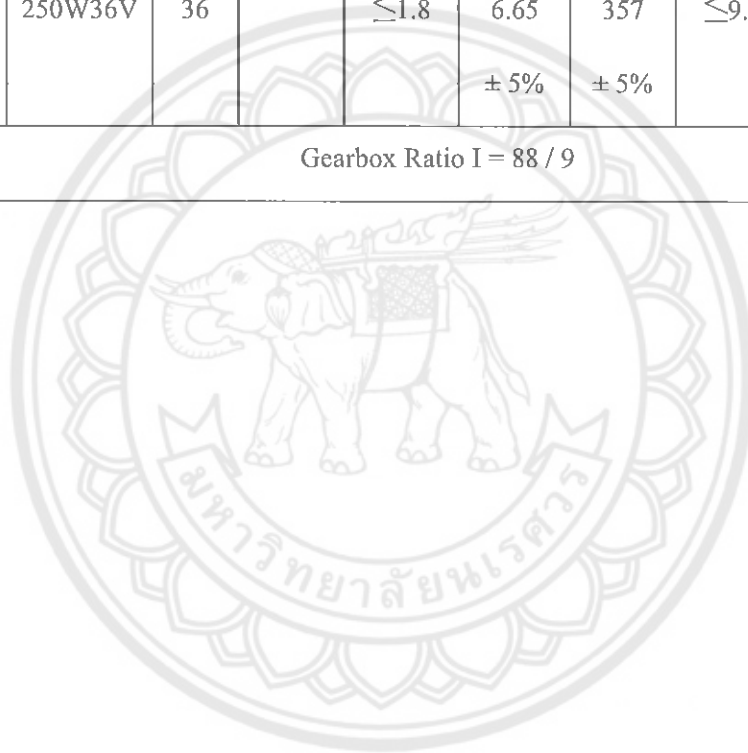


ตารางแสดงโหลดในลักษณะต่างๆ

| | Torque/N.m | Speed/rpm | P-out/W | Volt/V | Current/A | P-in/W | Efficient/% |
|---------------|------------|-----------|---------|--------|-----------|--------|-------------|
| No Load | 0.39 | 421 | 15.12 | 24.09 | 1.86 | 44.71 | 33.81 |
| Max Efficient | 4.79 | 379 | 188.97 | 24.11 | 9.74 | 234.87 | 80.46 |
| Rated Load | 6.65 | 361 | 251.54 | 24.12 | 13.12 | 316.47 | 79.48 |
| Max Torque | 11.5 | 315 | 380.74 | 24.14 | 21.91 | 528.92 | 71.98 |

ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะ

| Model | Spccs | V | No Load | | Rated Load | | | | |
|--------------------------|---------|----|--------------|--------------|-------------------|------------------|--------------|------------|--------------------|
| | | | Speed RPM | Current A | Torque NM | Speed RPM | Current A | P-out W | Effici ent n |
| 1016Z2 | 250W24V | 24 | 434 | ≤ 1.8 | 6.65 $\pm 5\%$ | 357 $\pm 5\%$ | ≤ 13.7 | 250 | ≥ 76 % |
| 1016Z2 | 250W36V | 36 | | ≤ 1.8 | 6.65 $\pm 5\%$ | 357 $\pm 5\%$ | ≤ 9.1 | 250 | ≥ 76 % |
| Gearbox Ratio I = 88 / 9 | | | | | | | | | |



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายศักดิ์ เอี่ยมสะอาด
ภูมิลำเนา 94 หมู่ 5 ต.วัดตายนม อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย
พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sakda_doc@hotmail.com



ชื่อ นายเสกวุฒิ ดิษฐรัมย์
ภูมิลำเนา 57 ถ.ประเวศน์เหนือ อ.บางมูลนาก จ.พิจิตร
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย
พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: thai_airforce_390@hotmail.com