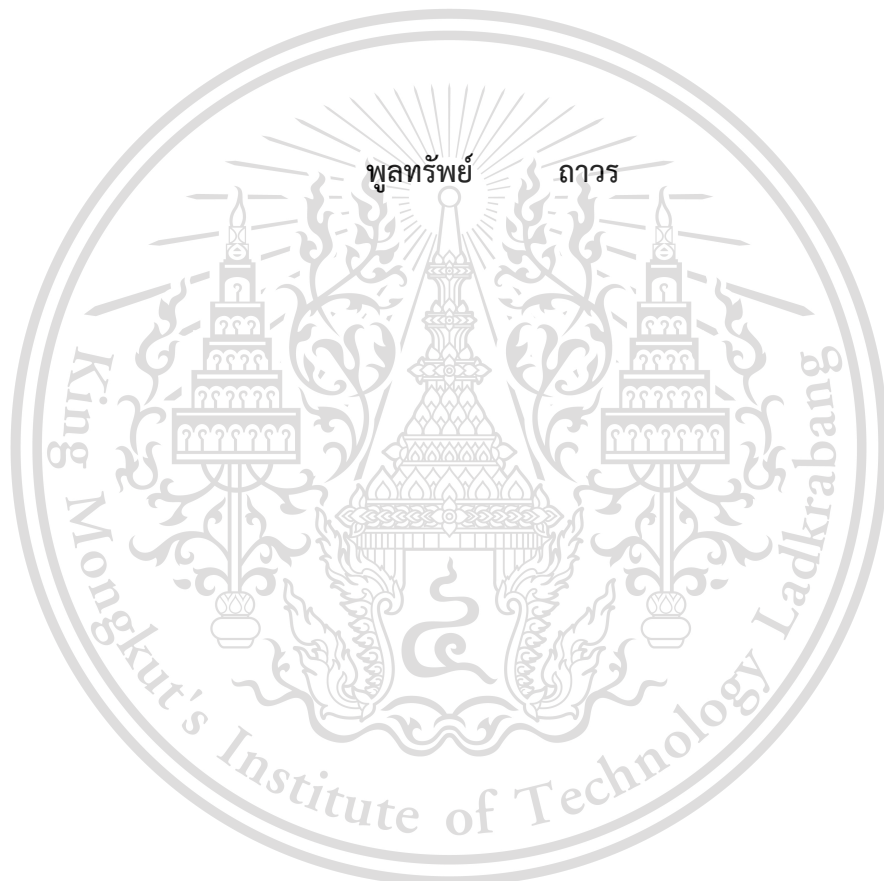


จักรยานไฟฟ้า
Electric Bicycle



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

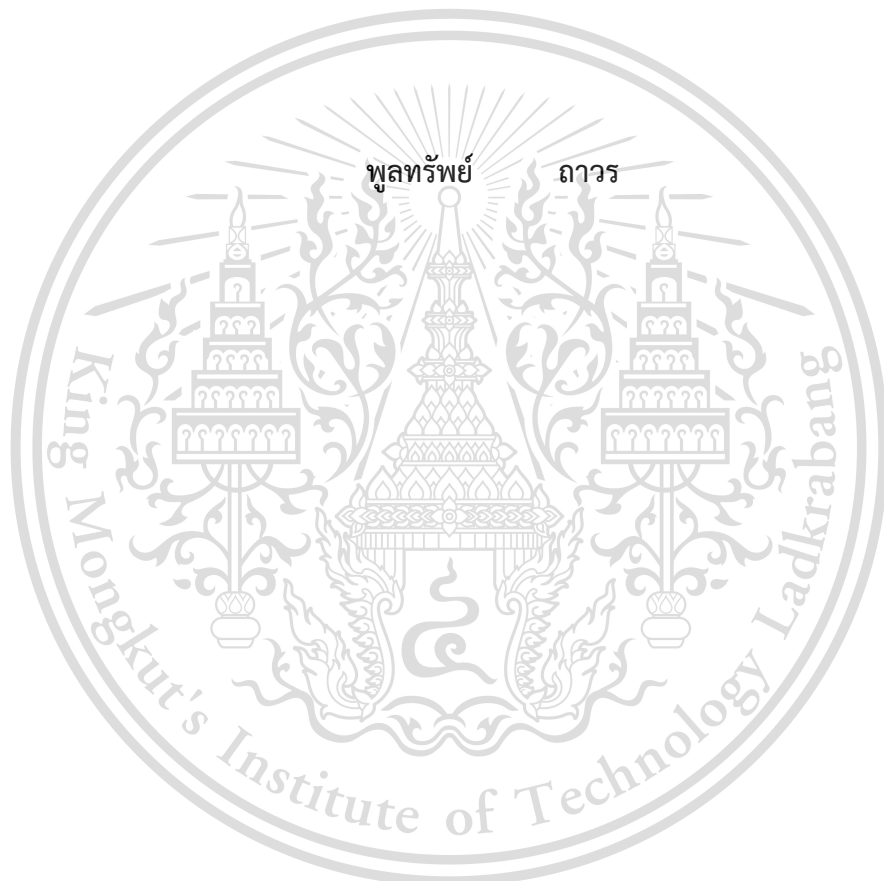
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา 2563 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จักรยานไฟฟ้า
Electric Bicycle



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

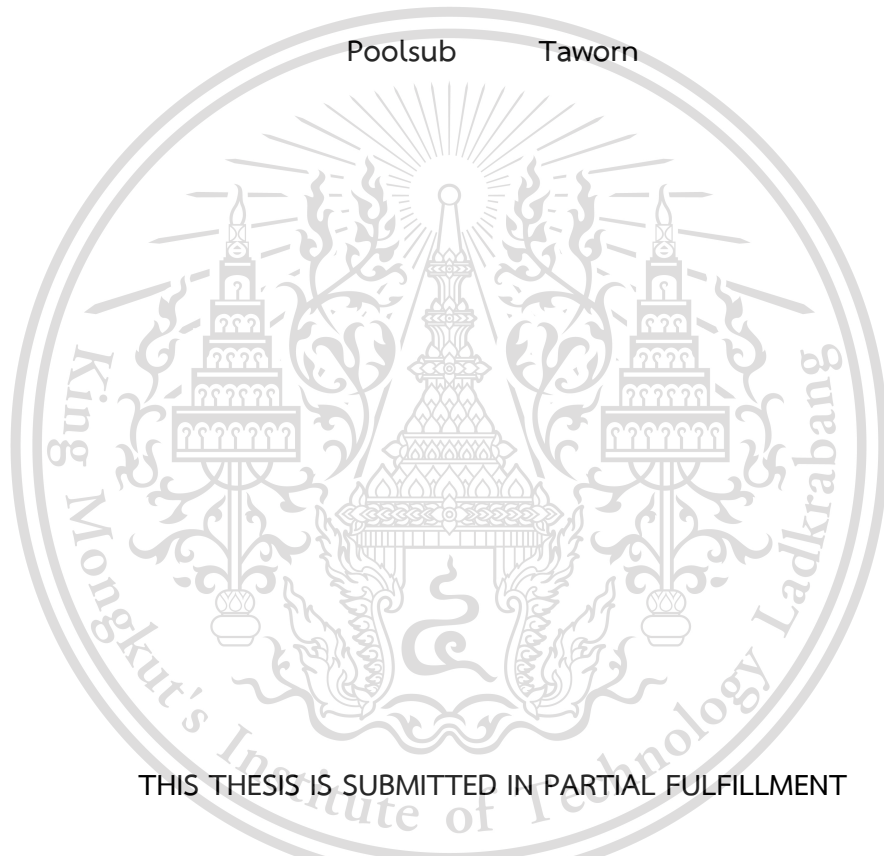
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา 2563 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Electric Bicycle



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง จักรยานไฟฟ้า
Electric Bicycle

ผู้จัดทำ นายพลทรัพย์ ถาวร รหัสนักศึกษา 60010744



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพตล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จักรยานไฟฟ้า

โดย

นายพลทรัพย์ ถาวร 60010744

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาและสร้างจักรยานไฟฟ้าด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปราศจากแปรงถ่านการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนจักรยานเพื่อช่วยลดแรงกาย โดยนำมอเตอร์มาช่วยในการชดเชยแรงเสียดทานจากภายนอกที่มากระทำขณะปั่นจักรยาน ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถปั่นจักรยานโดยแรงที่ออกนั้นใช้ไปกับการปั่นเท่านั้น ไม่ต้องสูญเสียให้กับแรงเสียดทานเสมือนกับการปั่นโดยไร้แรงเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Electric Bicycle

By

Mr. Poolsub Taworn 60010744

Advisor

Asst. Prof. Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2020

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study and construct the electric bicycle with brushless DC motors. The use of electric energy is to drive the bicycle to help reduce physical strength, using the motor to help compensate the external friction that occurs while cycling. This will allow the bike to be able to ride with the force released only for cycling. There is not friction waste as if the riding without friction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{II} only, not allowed for commercial use.

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดี
ยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพตล มณีรัตน์ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องและคอย
แนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี
ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้ความรู้ในทุกรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการทำปริญญานิพนธ์
เล่มนี้โดยคณาจารย์ทุกท่านได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการความรู้ทั่วไปและประสบการณ์ต่าง ๆ
จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดีเยี่ยม

ขอขอบคุณเพื่อนในภาควิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ที่คอยให้คำแนะนำช่วยเหลือซึ่งกันและกัน
ในการทำปริญญานิพนธ์รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้และศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งเป็นผู้ให้ความรักโดยดูแลเอาใจใส่และ
สนับสนุนการศึกษาแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอดทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำ

พูลทรัพย์ ถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{III} only, not allowed for commercial use.

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

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูป | VII |
| สารบัญตาราง | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 บทนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) | 3 |
| 2.1.1 ความหมายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน | 3 |
| 2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานและลักษณะทางกายภาพของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน | 3 |
| 2.1.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) | 8 |
| 2.2 แบตเตอรี่ (Battery) | 10 |
| 2.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-acid) | 10 |
| 2.2.2 แบตเตอรี่นิกเกิล - แคดเมียม (Ni-Cd) | 11 |
| 2.2.3 แบตเตอรี่นิกเกิล - โลหะไฮไดรด์ (NiMH) | 11 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.2.4 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Li-Ion) | 12 |
| 2.2.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-โพลีเมอร์ (Li-Po) | 13 |
| 2.3 การต่อชุดแบตเตอรี่ | 15 |
| 2.3.1 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม (Cell in Series) | 15 |
| 2.3.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน (Cell in Parallel) | 16 |
| 2.3.3 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน | 17 |
| 2.4 วงจรแปลงกำลัง | 17 |
| 2.4.1 วงจรแปลงไฟตรง-ไฟสลับ | 18 |
| 2.4.2 วงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรง | 18 |
| 2.5 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System) | 18 |
| 2.5.1 ฟังก์ชันการทำงานของ Battery Management System | 19 |
| 2.5.2 การทำงานของ Battery Management System | 19 |
| 2.6 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน | 21 |
| 2.6.1 แรงต้านการเคลื่อนที่รวม | 21 |
| 2.6.2 แรงต้านทานการหมุนของล้อ | 22 |
| 2.6.3 แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ | 24 |
| 2.6.4 แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน | 26 |
| 2.7 กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ | 28 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน | 29 |
| 3.1 ออกแบบเบื้องต้น | 29 |
| 3.2 คำนวณเพื่อเลือกขนาดของมอเตอร์ | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีเหตุพิเศษขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.3 ออกแบบวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน | 34 |
| 3.3.1 ระบบจัดการแบตเตอรี่ | 34 |
| 3.3.2 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน | 35 |
| 3.4 ตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน | 36 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน | 38 |
| 4.1 ลักษณะของจักรยานไฟฟ้า | 38 |
| 4.1.1 คุณสมบัติของจักรยานไฟฟ้า | 38 |
| 4.1.2 คุณสมบัติที่ทดสอบได้ | 38 |
| 4.2 ผลการทดสอบความเร็วของจักรยานไฟฟ้า | 39 |
| 4.3 ระยะทางของรถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง | 39 |
| 4.4 ข้อมูลจำเพาะของจักรยานไฟฟ้า | 40 |
| บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ | 41 |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน | 41 |
| 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น | 41 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 41 |
| เอกสารอ้างอิง | 43 |
| ประวัติผู้เขียน | 45 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ Brushless DC Motor | 4 |
| 2.2 โครงสร้างพื้นฐานแบบตัดขวางของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ Inner Rotor และ Outer Rotor | 4 |
| 2.3 สนามแม่เหล็กหมุนที่สร้างขึ้นโดยการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องของขั้วแม่เหล็กโดยพัลส์กระแสตรง | 8 |
| 2.4 ไดอะแกรมพื้นฐานของ Brushless DC Motor | 9 |
| 2.5 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด | 10 |
| 2.6 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม | 11 |
| 2.7 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-โลหะไฮไดรด์ | 12 |
| 2.8 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน | 12 |
| 2.9 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-โพลีเมอร์ | 13 |
| 2.10 การต่อชุดแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนแบบอนุกรม | 15 |
| 2.11 การต่อชุดแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนแบบขนาน | 16 |
| 2.12 การต่อชุดแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนแบบอนุกรมผสมแบบขนาน | 17 |
| 2.13 Battery Management System แบบ Passive balancing | 20 |
| 2.14 Battery Management System แบบ Active balancing | 20 |
| 2.15 วงจรของ Battery Management System | 21 |
| 2.16 แรงต้านการหมุนของล้อของวัตถุบนพื้นราบ | 22 |
| 2.17 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนทางชัน | 27 |
| 2.18 แรงต้านการเคลื่อนที่รวมเทียบกับอัตราเร็วของจักรยาน | 27 |
| 3.1 แบบเบื้องต้นของจักรยานไฟฟ้า | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{VII} only, not allowed for commercial use.

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

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.2 แบบเบื่องตันของจักรยานไฟฟ้า | 30 |
| 3.3 แบบเบื่องตันของจักรยานไฟฟ้า | 30 |
| 3.4 Brushless DC Motor ขนาด 36V 350W | 33 |
| 3.5 วงจรของ Battery Management System ขนาด 36V 5A 10S2P | 34 |
| 3.6 Battery Management System ขนาด 36V 5A 10S2P | 35 |
| 3.7 Li-Ion Battery ขนาด 3.7V 2600mah | 35 |
| 3.8 ตัวควบคุมการทำงาน Brushless DC Motor | 36 |
| 3.9 วงจรภายในของตัวควบคุมการทำงาน Brushless DC Motor | 37 |
| 4.1 จักรยานไฟฟ้า | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{VIII} only, not allowed for commercial use.

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

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน | 5 |
| 2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่แต่ละประเภท | 13 |
| 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อ | 23 |
| 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ | 24 |
| 4.1 ผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าบนพื้นถนนคอนกรีต | 39 |
| 4.2 รายละเอียดข้อมูลของจักรยานไฟฟ้า | 40 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use ^{IX} only, not allowed for commercial use.

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้จักรยานในการดำเนินชีวิตประจำวันและจักรยานเป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่างกายในการขับเคลื่อนมากพอสมควรและเพื่อรักษาระดับความเร็วทางผู้จัดทำได้สังเกตเห็นว่าควรจะมีอุปกรณ์ที่ช่วยในเรื่องของการผ่อนแรงโดยได้ศึกษาหลักการการทำงานของมอเตอร์พบว่ามีความสอดคล้องกับความต้องการดังนั้นจึงได้นำเอามอเตอร์มาช่วยผ่อนแรงโดยให้มอเตอร์ทำหน้าที่ชดเชยแรงให้กับผู้ขับขี่ผู้จัดทำได้พยายามพัฒนาจักรยานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อที่ผู้ขับขี่จักรยานจะได้ไม่ต้องออกแรงมากเกินไปให้กับแรงเสียดทานและปั่นด้วยแรงที่สม่ำเสมอตลอดระยะทางที่ใช้เพื่อการเดินทางบนท้องถนน

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบจักรยานไฟฟ้า
- 1.2.2 เพื่อช่วยทุ่นแรงของผู้ขับขี่
- 1.2.3 เพื่อสร้างจักรยานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 จักรยานไฟฟ้า 2 ล้อ สามารถวิ่งได้ไม่น้อยกว่า 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 1.3.2 ใช้ได้ทั้ง 2 ระบบ แบบใช้ไฟฟ้าและแรงปั่นจากผู้ขับขี่
- 1.3.3 มีโครงจักรยานที่แข็งแรงและน้ำหนักเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | พ.ศ. 2563 | | | | | พ.ศ. 2564 | | | |
|--------------------------------------|-----------|------|------|------|------|-----------|------|-------|-------|
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 1.ศึกษาทฤษฎีและหาข้อมูลเพิ่มเติม | ← | | → | | | | | | |
| 2.ออกแบบโครงจกรยาน | | ← | | → | | | | | |
| 3.จัดหาอุปกรณ์และติดตั้ง | | | ← | | → | | | | |
| 4.ทำการทดสอบ | | | | | | ← | | → | |
| 5.ปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น | | | | | | | ← | | → |
| 6.สรุปผลและตรวจสอบความเรียบร้อย | | | | | | | | ← | |

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เรียนรู้วิธีการออกแบบจกรยานไฟฟ้า
- 1.5.2 มีความสะดวกในการใช้งานเนื่องจากการดูแลรักษาทำได้ง่าย
- 1.5.3 เป็นยานพาหนะอีกทางเลือกในการเดินทาง
- 1.5.4 ออกแบบให้จกรยานมีความปลอดภัยที่มากขึ้น
- 1.5.5 ตอบสนองต่อความต้องการจกรยานไฟฟ้าที่ราคาย่อมเยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านเป็นมอเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานและมีแนวโน้มว่าจะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยทั่วไปมักจะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า, อุตสาหกรรมรถยนต์, ทางการแพทย์และระบบอัตโนมัติ เป็นต้น จากคำว่า “ไม่มีแปรงถ่าน” นั้นหมายถึง มอเตอร์ไม่จำเป็นต้องใช้การคอมมิวเตชันหรือกระบวนการในการนำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โรเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปแล้วกระบวนการนี้ต้องใช้แปรงถ่านทำให้ต้องหมั่นดูแลรักษาแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอแต่สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านแล้วจะใช้อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวคอมมิวเตชันแทนซึ่งมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป เช่น ให้ความเร็วและแรงบิดที่ดีกว่า, มีประสิทธิภาพสูง, อายุการใช้งานยาวนาน, ขณะทำงานมีเสียงรบกวนต่ำและความเร็วตามพิกัดมีให้เลือกมากมาย เป็นต้น

2.1.1 ความหมายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor) หมายถึง ซิงโครนัสมอเตอร์ซึ่งกระแสอาร์เมเจอร์ในสเตเตอร์ถูกควบคุมโดยวงจรโซลิตสเททในลักษณะที่ทำให้เกิดแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วที่กำหนดในมอเตอร์กระแสตรงมาตรฐานใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ทำให้แกนแม่เหล็กของฟลักซ์สนามและของฟลักซ์อาร์เมเจอร์ทำมุม 90 องศาไฟฟ้าในสเปซทำให้ฟลักซ์มีค่าคงที่มีคุณสมบัติที่ดีด้านแรงบิดต่อน้ำหนักและแรงบิดต่อพลังงานไม่เกิดประกายไฟสามารถระบายความร้อนได้ดีเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน

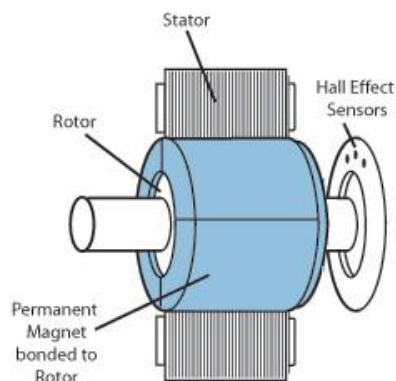
2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานและลักษณะทางกายภาพของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์กระแสตรงไม่มีแปรงถ่านมีส่วนประกอบสำคัญหลักคือโรเตอร์ที่มีแม่เหล็กที่เป็นขั้ว N และ S ติดอยู่ (Permanent Magnet Rotor) สเตเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่รอบ ๆ (Winding) และตัวรับรู้ฮอลล์ (Hall Element) ดังในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

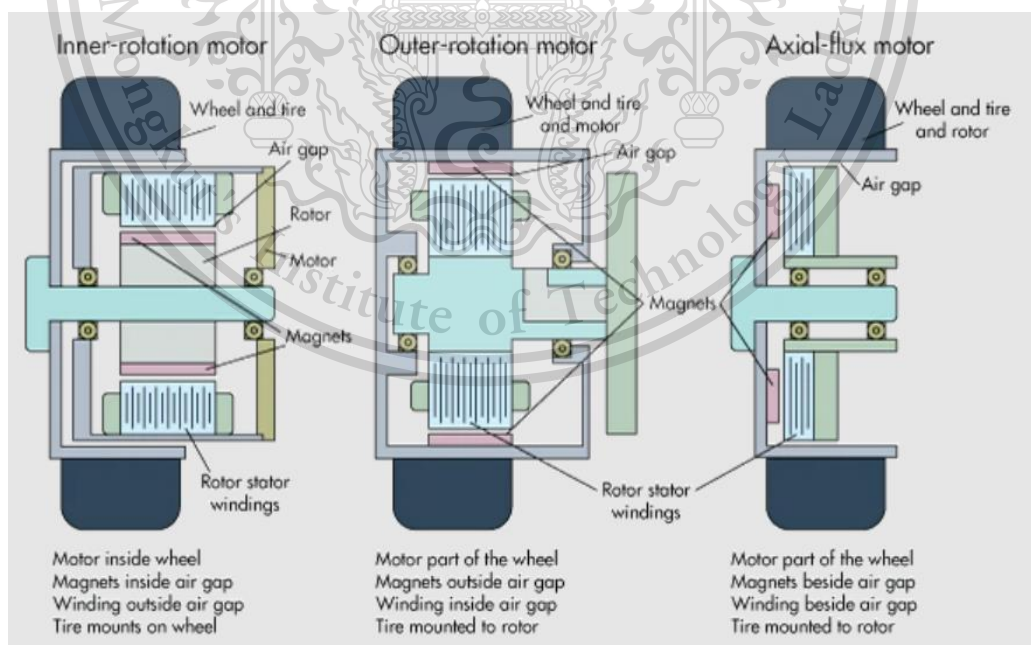
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ Brushless DC Motor

มอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน Brushless DC Motor แบ่งออกเป็นสองประเภทตามลักษณะทางกายภาพได้แก่แบบโรเตอร์อยู่ด้านใน (Inner rotor type) และแบบโรเตอร์อยู่ด้านนอก (Outer rotor type) ดังในรูปที่ 2.2 ภาพตัดมอเตอร์ไร้แปรงถ่านแบบ Inner rotor type แสดงตัวหมุน (Rotor) ที่เป็นแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลางและขดลวด A, B และ C อยู่รอบข้างแต่ในกรณีเป็นมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่านที่เปลือกรวม Outer rotor type จะกลับกันคือขดลวดจะอยู่ตรงกลางแล้วจะมีเปลือกแม่เหล็กเป็นวงกลมอยู่รอบนอกแทน



เอกสารนี้รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานแบบตัดขวางของ Brushless Dc Motor ทั้งแบบ Inner Rotor และ Outer Rotor

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อกระแสเฟสในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่านสวิตช์กลับขั้วทำให้เกิดขั้วแม่เหล็ก ตามลำดับ มอเตอร์จะทำงานในลักษณะการกระตุ้นแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave Drive) และ Back-EMF กรณีนี้จะถูกสร้างขึ้นเป็นรูปเหลี่ยมในรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของ Back-EMF จะถูกสร้างขึ้นให้เป็นรูปเหลี่ยมในรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของ Back-EMF จะถูกใช้ในการอ้างถึงมอเตอร์และชุดควบคุม อย่างไรก็ตามยังมีโหมดการทำงานแบบอื่นอีกซึ่งกระแสเฟสจะถูกสร้างขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine wave Drive) และเป็นสาเหตุที่ทำให้ Back-EMF ในทางอุดมคติเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วยรูปร่างของมอเตอร์และชุดควบคุมของมันจะเหมือนกับมอเตอร์ที่ขับด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแต่ทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกันที่สำคัญคือมอเตอร์ที่ขับแบบรูปคลื่นไซน์ในการหมุนจะมีการกระจายอัตราส่วนกระแสต่อตัวนาที่ต่ำกว่าเหมือนกับสนามแม่เหล็กหมุนในอินดักชันมอเตอร์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซิงโครนัส Brushless DC Motor แบบนี้คือ Synchronous AC Motor ที่แท้จริงจากการกระตุ้นที่คงที่จากแม่เหล็กถาวรมันดูเหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปและเป็นสาเหตุที่ทำให้เรียกมอเตอร์นี้ว่า “Brushless DC Motor”

ลักษณะทางกายภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่านไว้วามอเตอร์ชนิดนี้ไม่มีส่วนที่เกิดการเสียดสีจึงมีข้อได้เปรียบในการบำรุงรักษาและขนาดของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่านแต่มีความจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ในการบอกตำแหน่งเพื่อใช้ในการควบคุมดังนั้นในการควบคุมจึงมีข้อจำกัดเมื่อมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่านมีความเร็วรอบสูงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่านดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|-------------------|-------------------------------|
| ประสิทธิภาพสูง | ต้องใช้แม่เหล็กถาวร |
| มีขนาดกะทัดรัด | ต้องใช้เซ็นเซอร์บอกตำแหน่ง |
| เกิดการรบกวนต่ำ | ความเร็วรอบถูกจำกัด |
| การบำรุงรักษาน้อย | ชุดควบคุมการขับเคลื่อนยุ่งยาก |
| ง่ายต่อการควบคุม | ค่าใช้จ่ายสูง |

การเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กคือเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่านขดลวดเส้นหนึ่งจะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กดังสมการที่ (2.1) ฟลักซ์แม่เหล็กจะทำให้เกิด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำดังสมการที่ (2.2) เมื่อพิจารณาถึงจำนวนรอบของคอยล์มอเตอร์จะพบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นดังสมการที่ (2.3)

$$\lambda_s = (\pi r l) * B_f * \left(\frac{\phi}{\pi/2}\right) \quad (2.1)$$

$$e_s = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$= \frac{d}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

$$= \left(\frac{\pi r l B_f \omega_r}{\pi/2}\right)$$

$$e_s = 2B_f l r \omega_r \quad (2.2)$$

$$e_s = 2N_s B_f l r \omega_r \quad (2.3)$$

เมื่อ

λ_s คือ ฟลักซ์ของคอยล์ (Wb)

l คือ ความยาวคอยล์ (m)

r คือ รัศมีของคอยล์ (m)

B_f คือ สนามแม่เหล็ก (T)

ω_r คือ ความเร็วมอเตอร์ (rad/s) หรือ (rpm)

e_s คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ (V)

λ คือ ฟลักซ์ของคอยล์รวม (Wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น N_s คือ จำนวนรอบของคอยล์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เครื่องจักรกลซิงโครนัสเกือบทั้งหมดมีขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่บนสเตเตอร์และขดลวดอยู่บนโรเตอร์โดยกระแสอาร์มาเจอร์เป็นกระแสสลับและกระแสสนามเป็นกระแสตรงซึ่งระบบป้อนกระแสสนามประกอบด้วยสองระบบคือ

1. เครื่องจักรกลรุ่นเก่าจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งโรเตอร์จะต่อรวมเพลลาเดียวกันกับโรเตอร์ของเครื่องจักรกลซิงโครนัสป้อนกระแสเข้าขดลวดโดยผ่านวงแหวนสลิปและแปรงถ่านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่าเอ็กไซเตอร์จึงเป็นระบบป้อนกระแสสนามที่ใช้แปรงถ่าน

2. เครื่องจักรกลรุ่นใหม่ใช้เอ็กไซเตอร์กระแสสลับและวงจรถูกิดสเตทป้อนกระแสเข้าขดลวดสนามโดยที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ของเอ็กไซเตอร์กระแสสลับกับวงจรถูกิดสเตทติดตั้งอยู่บนเพลลาเดียวกันโรเตอร์ของเครื่องจักรกลซิงโครนัสจึงเป็นการป้อนกระแสสนามที่ไม่มีแปรงถ่าน

สมการแรงดันสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสดังสมการที่ (2.4)

$$E_{rms} = \sqrt{2} \pi f_m e K_w N_{ph} \Phi_p \quad (2.4)$$

เมื่อ

E_{rms} คือ แรงดันกำเนิดประสิทธิผล (rms) ต่อหนึ่งเฟส

f_m คือ ความเร็วเชิงไฟฟ้าของโรเตอร์ในหน่วย Hz

K_w คือ ตัวประกอบขดลวดของขดลวดอาร์เมเจอร์ (winding factor)

N_{ph} คือ จำนวนรอบของคอยล์

Φ_p คือ ฟลักซ์แม่เหล็กถาวรต่อหนึ่งขดลวดสนาม

สมการแรงบิดสำหรับมอเตอร์ซิงโครนัสดังสมการที่ (2.5)

$$T = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi_R F_f \sin \delta_{RF} \quad (2.5)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| | | |
|---------------|-----|--|
| T | คือ | แรงบิด (N.m) |
| P | คือ | จำนวนขั้วแม่เหล็ก |
| Φ_R | คือ | ฟลักซ์ช่องอากาศลัพท์ต่อหนึ่งขั้ว |
| F_f | คือ | แรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วของขดลวดสนาม |
| δ_{RF} | คือ | มุมสเปซเฟสในหน่วยองศาไฟฟ้า |

ซึ่งใน Brushless dc motor มุมสเปซเฟสจะมีค่า 90 องศาทำให้เกิดแรงบิดสูงสุด

2.1.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

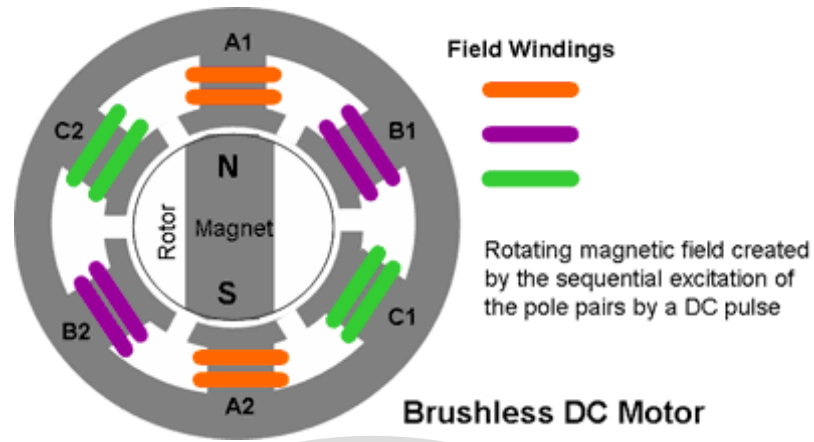
ทฤษฎีเครื่องจักรกลกระแสตรงตำแหน่งของขดลวดสนามและขดลวดอาร์เมเจอร์อาจจะกลับกันได้กล่าวคือขดลวดสนามอยู่บนโรเตอร์และขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่บนสเตเตอร์ก็ได้ตัวอย่างในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่านจะใช้ตัววัดตำแหน่งของโรเตอร์ (Motor position sensor) และอินเวอร์เตอร์ในการควบคุมกระแสในขดลวดสเตเตอร์ดังนั้นตัววัดตำแหน่งของโรเตอร์และสวิตช์เซมิคอนดักเตอร์กำลังในอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เหมือนกับแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ทางกลของมอเตอร์กระแสตรง

มาตรฐานความเร็วของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์จะเท่ากับความเร็วของโรเตอร์ตลอดเวลา (Synchronism) เนื่องจากความถี่ของการตัด-ต่อของสวิตช์เซมิคอนดักเตอร์กำลังถูกควบคุมให้เท่ากับความเร็วของโรเตอร์โดยอัตโนมัติเพราะว่ารับสัญญาณจากตัววัดตำแหน่งของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

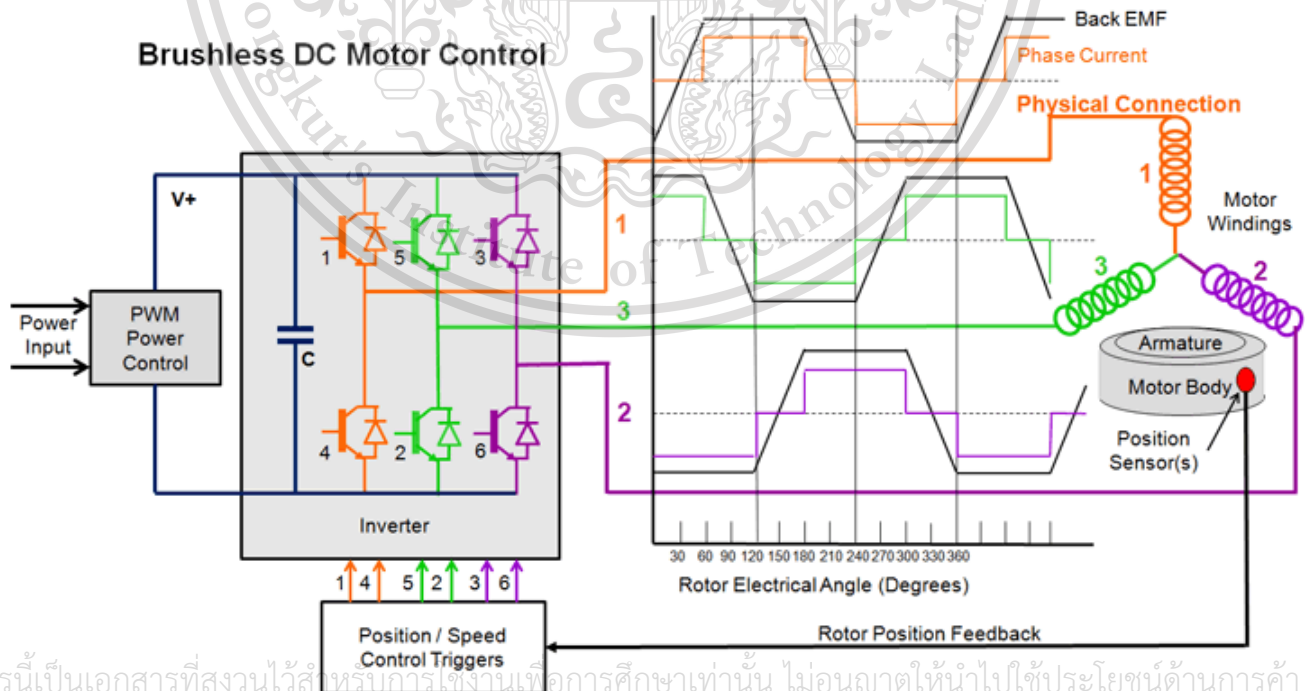
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กหมุนที่สร้างขึ้นโดยการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องของขั้วแม่เหล็กโดยพัลส์กระแสตรง

การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีแปรงถ่านทำงานโดยมีตัวแปรถ่านเป็นตัวคอยสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จะมีขดลวดอยู่ 3 ชุดและจะทำงานครั้งละ 2 ชุดสับเปลี่ยนกันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านจะมีสายจำนวน 3 เส้นต่อออกมาตามรูปที่ 2.3 คือขั้ว A, B, และ C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมพื้นฐานของ Brushless DC Motor

2.2 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่คือ

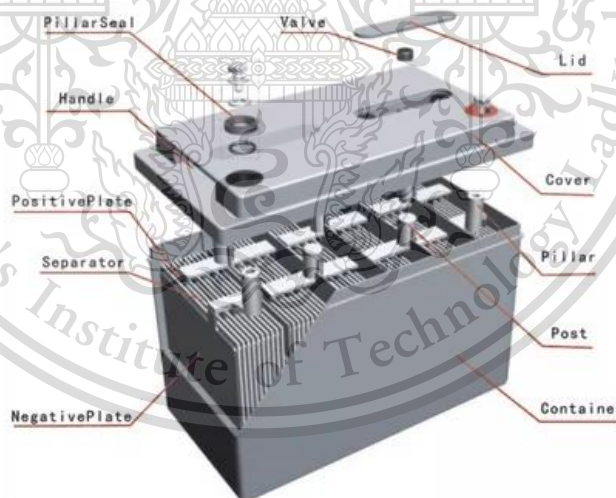
1. ชนิดแห้ง (Dry cell) คือพวกถ่านไฟฉาย
2. ชนิดน้ำ (Wet cell) มี 2 ชนิดคือ

2.1 แบตเตอรี่ลักษณะต่างๆ เช่น แบตเตอรี่ในมือถือ, วิทยุสื่อสาร

2.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด (Lead-Acid Battery) คือแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป Traction battery ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-acid)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส Gaston Plant ประดิษฐ์ขึ้นในปี 1859 เป็นเซลล์ไฟฟ้ากระแสตรงคือแบตเตอรี่ที่อัดประจุไฟฟ้าได้ใหม่และใช้กันทั่วไปมากที่สุดในเวลาหนึ่ง เป็นการออกแบบที่ตั้งเดิมสุดตั้งนั้นอัตราส่วน Energy-to-weight จะต่ำที่สุดประมาณ 30Wh/kg ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วน Energy-to-volume ต่ำจากการเปรียบเทียบกับชนิดอื่นดังรูปที่ 2.5 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-acid)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

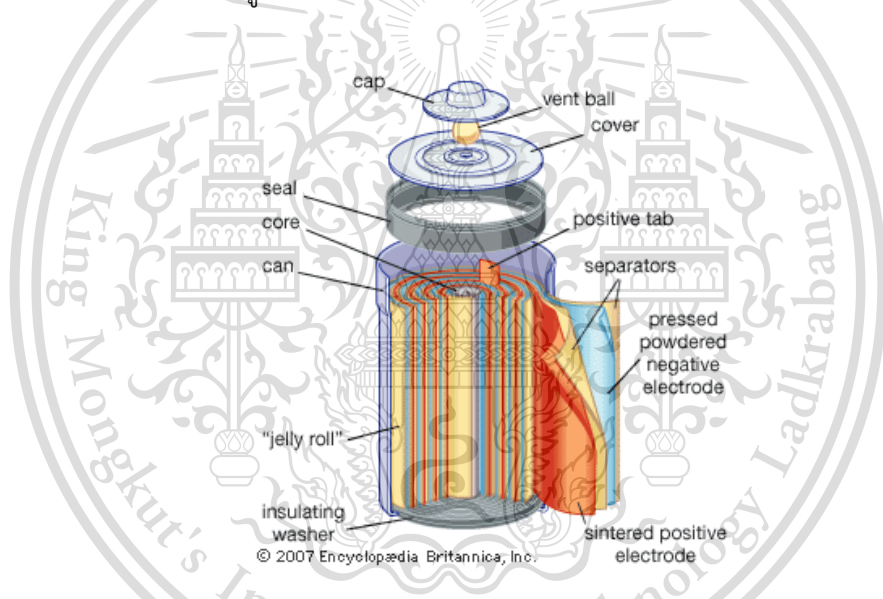
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2.2 แบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม (Ni-Cd)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อได้เปรียบที่ดีกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เช่น น้ำหนักเบา มีรอบการคายประจุที่นานกว่าและทนอุณหภูมิได้สูง เป็นต้น จึงได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น กล้องวิดีโอและอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาสูง และในปัจจุบันสารแคดเมียมนั้นถูกจำกัดในการนำไปใช้งานเนื่องจากเป็นสารปนเปื้อนที่อันตรายและไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีฝังกลบนอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบทางความจำ (Memory effect) กล่าวคือกรณีที่แบตเตอรี่ใช้งานประจุไฟฟ้าไม่หมดแล้วถ้านำไปชาร์จไฟใหม่อยู่บ่อยๆ อาจทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจำค่าสูงสุดที่เคยเก็บไว้ได้เพราะสาเหตุนี้ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมลงอย่างรวดเร็วซึ่งมีผลทำให้ความจุมีค่าลดลงเมื่อแบตเตอรี่ไม่ได้ถูกนำไปใช้งานเป็นเวลานานดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดอื่นมาใช้แทนดังรูปที่ 2.6 โครงสร้างของแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม (Ni-Cd)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม

2.2.3 แบตเตอรี่นิกเกิล-โลหะไฮไดรด์ (NiMH)

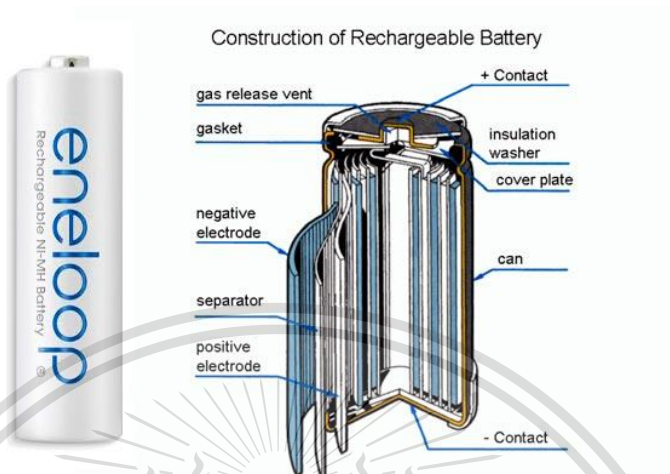
แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการพัฒนาต่อจากแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียมโดยการเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานในแบตเตอรี่ที่ใช้อาโนดใช้โลหะไฮไดรด์แทนแคดเมียมซึ่งสามารถลดปัญหาสารพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอีกด้วยและแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังได้เปรียบแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียมเกี่ยวกับความสามารถในการลดปัญหาผลกระทบทางความจำได้แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้งานในรถยนต์ประเภท

ไฮบริดแต่ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือความสามารถในการส่งกำลังที่น้อยโดยอัตรา Self-discharge สูง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ไวต่อการถูกทำลายเมื่อมีการอัดประจุมากเกินไปและมีราคาแพงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม
 ดังรูปที่ 2.7 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-โลหะไฮโดรด์



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-โลหะไฮโดรด์

2.2.4 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Li-Ion)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความหนาแน่นพลังเป็น 3 เท่าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วและมีแรงดันสูงถึง 3.7 โวลต์ต่อเซลล์ซึ่งในการติดตั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้จะใช้จำนวนแบตเตอรี่น้อยในการต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันตามที่ต้องการสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตแต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าที่หนาทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงส่งผลให้มีราคาแพงและไวต่อการทำลายเมื่อมีการอัดประจุที่มากเกินไปดังรูปที่ 2.8 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน

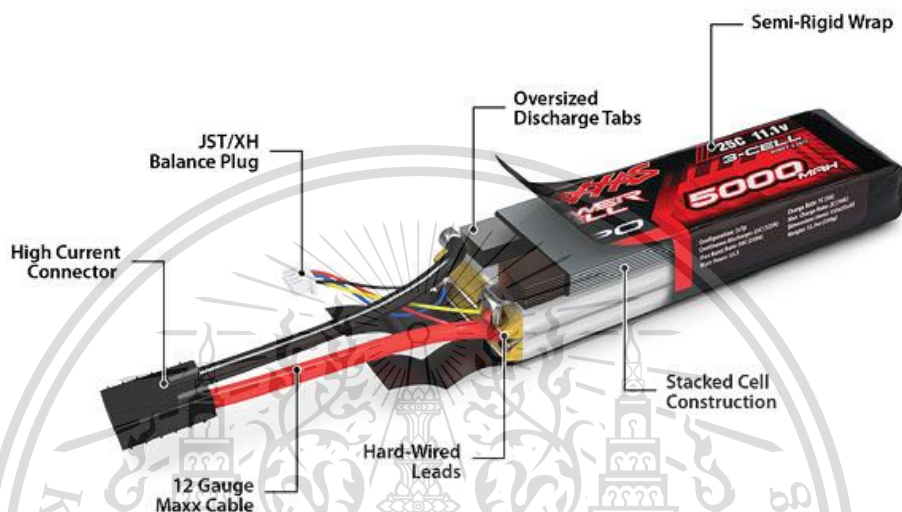
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-โพลีเมอร์ (Li-Po)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้ลิเทียมเป็นขั้วไฟฟ้าและใช้โพลีเมอร์ที่เป็นของแข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์ สารอิเล็กโทรไลต์จะช่วยเพิ่มค่าพลังงานจำเพาะให้กับเซลล์ของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 2.9 โครงสร้างของตัวแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-โพลีเมอร์



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-โพลีเมอร์

จากแบตเตอรี่ทุกชนิดที่กล่าวมาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักได้แก่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด, แบตเตอรี่ชนิดที่ใช้นิกเกิลเป็นขั้วไฟฟ้า (Nickel-based batteries) และแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้ลิเทียมเป็นขั้วไฟฟ้า (Lithium-based batteries) ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ประเภทสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่แต่ละประเภท

| ประเภทของแบตเตอรี่ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|--------------------|---|---|
| ชนิดตะกั่ว | <ol style="list-style-type: none"> 1. ราคาถูกและง่ายในการผลิต 2. ราคาวัสดุต่อชั่วโมงมีค่าไม่สูง 3. เป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมีหลาย | <ol style="list-style-type: none"> 1. มีค่าอัตราส่วนต่อน้ำหนักต่ำ 2. ใช้เวลาในการอัดประจุให้เต็มนาน 3. มีรอบการคายประจุและอัดประจุ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ บริษัทผู้ผลิตและมีขนาดให้เลือกหลากหลายขนาดให้จำกัดข้อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| ประเภทของแบตเตอรี่ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---------------------------------|--|--|
| | <ol style="list-style-type: none"> 4. มีการคายประจุด้วยตัวเองต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุใหม่ได้ชนิดอื่น 5. มีค่าพลังงานจำเพาะสูง 6. ปลดปล่อยกระแสไฟค่าสูงในช่วงคายประจุ | |
| ชนิดนิกเกิลเป็น ขั้วไฟฟ้า | <ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้เวลาในการอัดประจุเต็มน้อยกว่าถึงแม้ว่าจะไม่ใช้แบตเตอรี่เป็นเวลานาน 2. มีจำนวนวัฏจักรการอัดประจุและคายประจุสูง 3. มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานและสามารถเก็บไว้ในสภาวะที่แบตเตอรี่คายประจุหมดได้ 4. สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้โดยที่ประสิทธิภาพยังดีอยู่ 5. มีให้เลือกหลากหลายขนาดและประสิทธิภาพ | <ol style="list-style-type: none"> 1. มีค่าพลังงานจำเพาะต่ำ 2. มีผลจากภาวะผลกระทบทางความจำ 3. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถ้าใช้แคดเมียมเป็นส่วนประกอบ 4. มีการคายประจุด้วยตัวเองสูง 5. เกิดความร้อนเมื่ออัดประจุอย่างรวดเร็วและคายประจุค่าสูง 6. ประสิทธิภาพลดลงเมื่อเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิสูง |
| ชนิดใช้ลิเทียมเป็น ขั้วไฟฟ้า | <ol style="list-style-type: none"> 1. ความหนาแน่นของพลังงานมีค่าสูง 2. มีค่าการคายประจุด้วยตัวเองต่ำเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดที่นิกเกิลเป็นขั้วไฟฟ้า 3. ไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อย 4. ต้องมีการปล่อยประจุออกจากแบตเตอรี่เป็นระยะๆ | <ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องใช้วงจรป้องกันเพื่อจำกัดแรงดันและกระแส 2. มีข้อจำกัดในการขนส่งโดยเฉพาะถ้าขนส่งในปริมาณมาก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.3 การต่อชุดแบตเตอรี่

การต่อแบตเตอรี่ใช้งานเพื่อให้ได้แรงดันและความจุตามที่ต้องการซึ่งการต่อนั้นสามารถทำได้ 3 วิธีได้แก่

2.3.1 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม (Cell in Series)

เป็นการต่อเพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยที่ความจุของแบตเตอรี่นั้นมีความเท่าเทียมการต่อแบบอนุกรมนี้ขั้วบวกของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะเชื่อมต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ตัวถัดไป โดยที่ขนาดแรงดันที่ได้จะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่ทุกตัวที่นำมาต่อดังรูปที่ 2.10 โดยที่แบตเตอรี่แต่ละตัวมีขนาดแรงดัน 3.7 โวลต์ถ้านำมาต่ออนุกรม 5 ตัวสามารถคำนวณแรงดันได้ตามสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.10 การต่อชุดแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนแบบอนุกรม

$$V_{total} = S * 3.7 \quad (2.6)$$

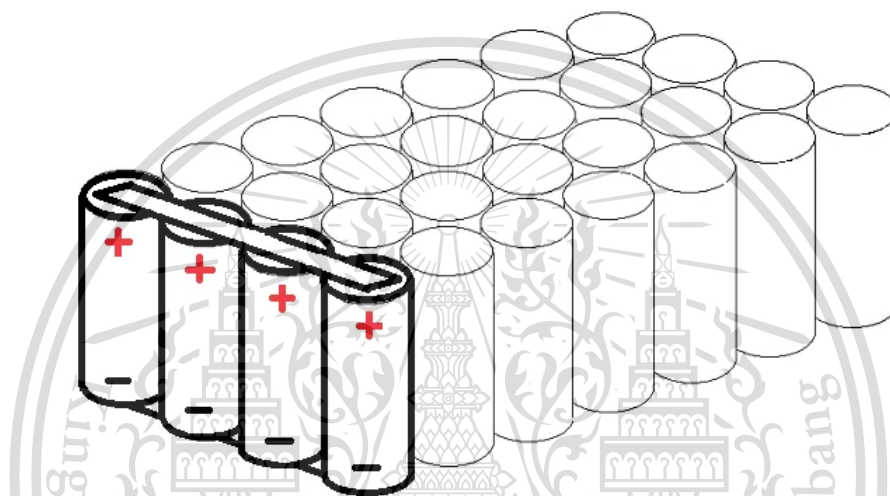
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.3.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน (Cell in Parallel)

เป็นการต่อชุดแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มความจุของแบตเตอรี่ให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งานหรือเพิ่มเวลาที่ต้องการสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งานโดยแรงดันยังมีขนาดเท่าเดิมการต่อแบบนี้ขั้วบวกของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะต่อขนานกับขั้วลบของแบตเตอรี่ตัวถัดไปความจุชุดแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัวที่นำมาต่อดังรูปที่ 2.11 แบตเตอรี่แต่ละตัวขนาดความจุ 2600 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมงนำมาต่อขนานกัน P ตัวจะคำนวณความจุแบตเตอรี่ได้ตามสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.11 การต่อชุดแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนแบบขนาน

$$C_{total} = P * 2600 * 10^{-3} \quad (2.7)$$

เมื่อ V_{total} คือ แรงดันรวมของแบตเตอรี่

C_{total} คือ ความจุรวมของแบตเตอรี่

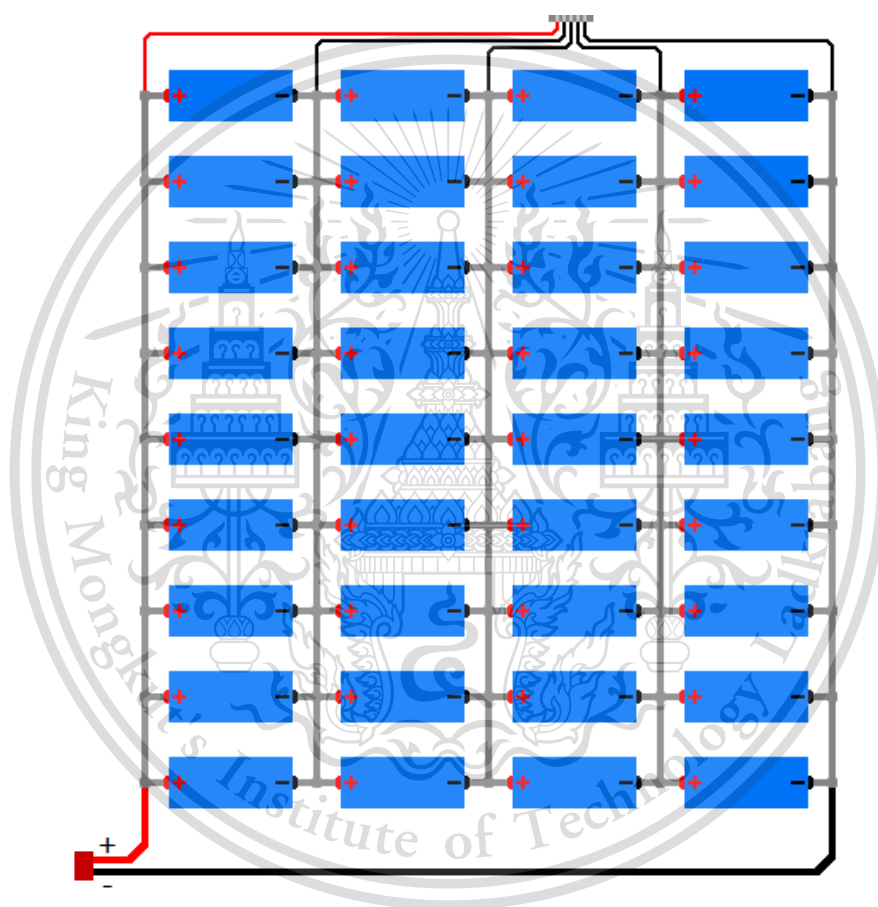
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.3.3 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน

เป็นการต่อเพื่อเพิ่มแรงดันและความจุของชุดแบตเตอรี่ให้เพียงพอและเหมาะสมในการใช้งานการต่อแบบแบบอนุกรมผสมกับแบบขนานดังรูปที่ 2.12 ซึ่งแรงดันรวมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันแบตเตอรี่ทุกตัวที่นำมาต่อโดยความจุของชุดแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับผลรวมของชุดแบตเตอรี่แต่ละตัวที่นำมาต่อกัน



รูปที่ 2.12 การต่อชุดแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนแบบอนุกรมผสมแบบขนาน

2.4 วงจรแปลงกำลัง

วงจรแปลงกำลังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการแปลงกำลัง ได้แก่ วงจรแปลงไฟตรง-ไฟตรง, วงจรแปลงไฟตรง-ไฟสลับ, วงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรงและวงจรแปลงไฟสลับ-ไฟสลับซึ่งวงจรแปลงไฟที่ใช้ร่วมกับแบตเตอรี่คือวงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรงเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าไฟตรงกลับเป็นแรงดันไฟสลับเพื่อ

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

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

จ่ายแรงดันกลับเข้าสู่ระบบส่งและวงจรไฟตรง-ไฟสลับเพื่อแปลงแรงดันไฟสลับจากระบบส่งเป็นแรงดันไฟตรงเข้าสู่แบตเตอรี่

2.4.1 วงจรแปลงไฟตรง-ไฟสลับ

วงจรนี้เรียกอีกอย่างว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นวงจรที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสลับให้กับโหลดโดยจ่ายแรงดันที่แปรค่าได้และความถี่แปรค่าได้

2.4.2 วงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรง

วงจรนี้เรียกอีกอย่างว่าวงจรเรียงกระแสหรือ AC-DC Converter ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรงโดยวงจรนี้จะใช้ไดโอดเป็นสวิตช์หรือใช้ SCR ก็จะเรียกว่าวงจรเรียงกระแสควบคุม (Controlled Rectifier) โดยสวิตช์นี้กระแสจะไหลทิศทางเดียววงจรแปลงในอุดมคติจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ, หม้อแปลง, สวิตช์และตัวเหนี่ยวนำองค์ประกอบอุดมคติไม่มีการสูญเสียดังนั้นกำลังเฉลี่ยด้านออกจึงเท่ากับกำลังเฉลี่ยด้านเข้า

วงจรแปลงกำลังของกำลังอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดแหล่งจ่ายไฟตรงว่าเป็นแหล่งจ่ายกระแสหรือแหล่งแรงดัน ดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์และคอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage-Source Inverter: VSIs; และ Voltage-Source Converters: VSCs) วงจรแปลงชนิดนี้มีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายแรงดันโดยที่กระแสที่ไหลผ่านสามารถมีค่าเป็นลบหรือบวกทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างไฟสลับและไฟตรงไหลได้สองทิศทาง (Bidirectional) ตามทิศทางของกระแส

2. อินเวอร์เตอร์และคอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (Current-Source Inverter: CSIs และ Current-Source Converters: CSCs) วงจรแปลงชนิดนี้มีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกระแสและแรงดันคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าเป็นลบหรือบวกทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างด้านไฟสลับและด้านไฟตรงไหลได้สองทิศทาง (Bidirectional) ตามทิศทางของแรงดัน

2.5 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System)

เป็นตัวระบบที่จัดการแบตเตอรี่ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในลักษณะที่เป็นอันตราย เช่น เกิดการชาร์จไฟมากเกินไปหรือจ่ายไฟออกมากเกินไปรวมทั้งการ Balance Cell Battery เพื่อประจุไฟให้เต็มมากที่สุด (Maximize Battery Capacity) และทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยมีหน้าที่ตัดไฟจากวงจรเมื่อมีการชาร์จเต็มแล้วหรือเมื่อแบตเตอรี่ก้อนใดก้อนหนึ่งใกล้หมดอีกหน้าที่หนึ่งที่มีความสำคัญคือการตัดวงจรเมื่อมีการชาร์จหรือการใช้แบตเตอรี่ด้วยกระแสเกินกว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามมิให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Battery Management System จะรับได้รวมถึงการตัดเมื่อทำการชาร์จที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศา (ไม่ได้มีฟังก์ชันนี้ทุก Battery Management System) เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากตัวแบตเตอรี่เช่นกัน

2.5.1 ฟังก์ชันการทำงานของ Battery Management System

1. ป้องกันการชาร์จประจุไฟเกิน (Overcharge Protection)
2. ป้องกันการใช้งานต่ำกว่าจุดใช้งานของแบตเตอรี่ (Over-discharge Protection)
3. ป้องกันกระแสไฟเกิน (Overcurrent Protection)
4. ป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด (Overheat Protection, NTC)
5. ป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection)
6. ตรวจวัดอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ (Temperature sensing)
7. ตรวจวัดระดับแรงดัน และบาลานซ์เซลล์ (Cell monitoring & balancing)
8. มีการสื่อสารร่วมกับอุปกรณ์ที่ต่อพ่วง (Communication interface)
9. มีระบบจัดการพลังงานให้เพิ่มประสิทธิภาพให้กับแพ็คเกจแบตเตอรี่ (Performance Optimization)
10. มีระบบตรวจสอบตัวเอง (Health monitoring and Diagnostic)
11. สามารถแสดงสถานะของระดับพลังงานได้ (Power Gauge)

2.5.2 การทำงานของ Battery Management System

ระบบจัดการแบตเตอรี่จะทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าหรือออกจากแบตเตอรี่เพื่อให้ทันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนเท่ากันอยู่เสมอ (เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่เท่ากันหมายความว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เหลืออยู่จะเท่ากันด้วย) ระบบจัดการแบตเตอรี่จะมีอยู่ด้วยกันสองแบบซึ่งการทำงานจะแตกต่างกัน

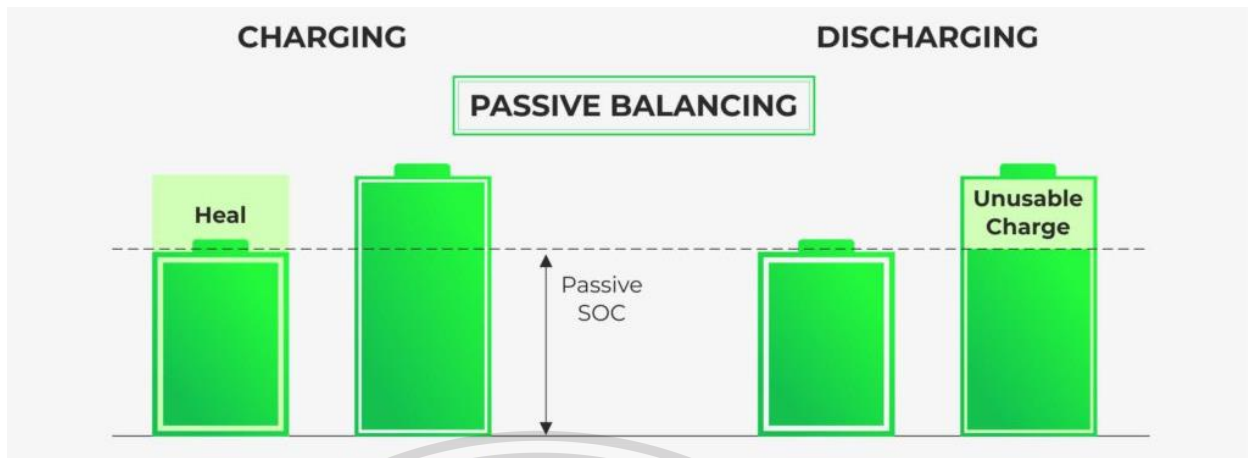
1. Battery Management System แบบ Passive balancing

เป็นระบบจัดการแบตเตอรี่ที่จะทำงานก็ต่อเมื่อมี Battery เซลล์ใดเซลล์หนึ่งเต็ม Bypass กระแสไฟฟ้าของเซลล์นั้นทิ้งไปเมื่อนำ Battery ไปต่อใช้งานวงจรของระบบจัดการแบตเตอรี่จะไม่ได้ทำหน้าที่อะไรทำให้การคายประจุของแต่ละเซลล์ไม่ Balance กันส่งผลให้บางเซลล์ยังมีพลังงานเหลืออยู่ไม่ได้ใช้งานซึ่งจะใช้งาน Battery ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

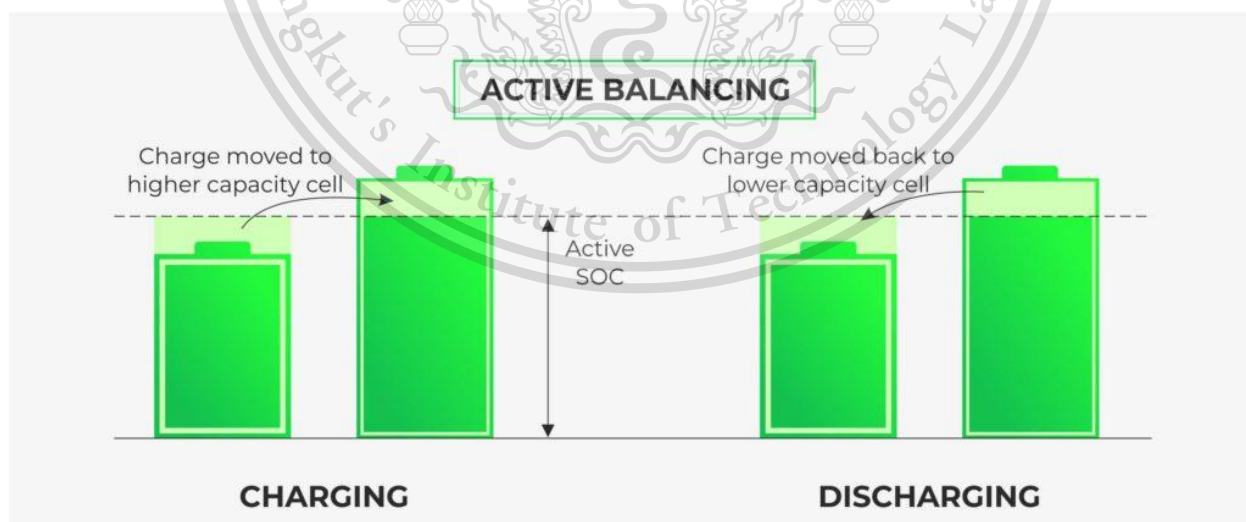
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 Battery Management System แบบ Passive balancing

2. Battery Management System แบบ Active balancing

เป็นระบบจัดการแบตเตอรี่ที่ทำงานก็ต่อเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์ต่างกัน หมายความว่าทำงานตลอดเวลาทั้งตอนชาร์จและการนำไปต่อกับโหลดโดยเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์ต่างกันระบบจัดการแบตเตอรี่จะทำการนำกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าไปชาร์จให้กับเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าในทุกๆเซลล์จะคายประจุจนหมดพร้อมๆกันส่งผลทำให้ระบบจัดการของตัวแบตเตอรี่แบบ Active balance นี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบจัดการแบตเตอรี่แบบ Passive balance

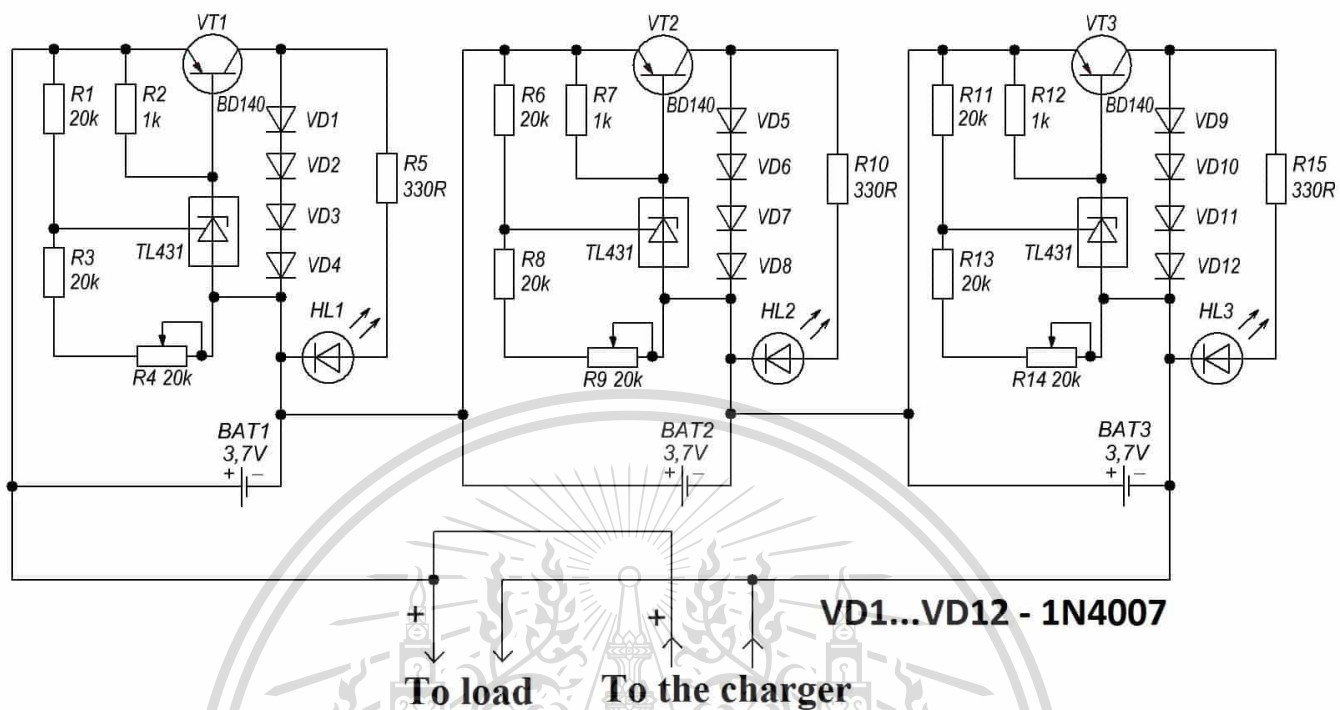


รูปที่ 2.14 Battery Management System แบบ Active balancing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.15 วงจรของ Battery Management System

2.6 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน

2.6.1. แรงต้านการเคลื่อนที่รวม

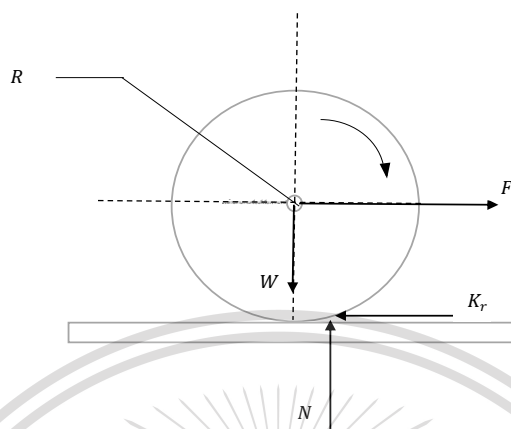
ในขณะที่จักษยานกำลังเคลื่อนที่จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน ดังนั้นแรงที่จะใช้ในการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากับแรงต้านทานการเคลื่อนที่โดยที่แรงต้านการเคลื่อนที่ทำได้จากสมการที่ (2.8) ดังนี้

$$R_t = R_r + R_a + R_g \tag{2.8}$$

- เมื่อ R_t คือ แรงต้านการเคลื่อนที่รวม
- R_r คือ แรงต้านทานการหมุนของล้อ
- R_a คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ
- R_g คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 แรงต้านทานการหมุนของล้อ (Rolling Resistance) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แรงต้านทานการหมุนของล้อของวัตถุบนพื้นราบ

$$R_f = K_r W = K_r mg$$

(2.9)

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ
 g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 K_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อ (Coefficient of Rolling Resistance)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อ (K_r) จะใช้ค่าโดยประมาณดังนี้

$$K_r = 0.015 + 0.000016V$$

(2.10)

เมื่อ V คือ ความเร็วของจักรยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อ (K_r) ตามชนิดและสภาพของถนน

| ชนิดของถนน | สภาพถนน | K_r (เฉลี่ย) |
|------------------------|------------------|----------------|
| ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต | สภาพดีเยี่ยม | 0.014-0.018 |
| | สภาพพอใช้ | 0.018-0.020 |
| ถนนหินบด | ถนนหินบดปูพื้น | 0.023-0.030 |
| ถนนดิน | ถนนดินลูกรัง | 0.020-0.025 |
| | ดินแห้งอัดแน่น | 0.025-0.035 |
| | ดินเปียกหลังฝนตก | 0.050-0.150 |
| | ถนนทราย | 0.100-0.300 |

ชนิดและสภาพของถนนที่มีผลต่อแรงต้านทานการหมุนของล้อมีดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของพื้นผิวของถนนจากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าสภาพพื้นผิวถนนลาดยางและถนนคอนกรีตที่มีผิวเรียบกว่าถนนหินบดปูพื้นและถนนดินที่มีผิวขรุขระมากกว่าซึ่งจะมีผลต่อแรงต้านทานการหมุนของล้อ

2. รูปร่างของยาง, ความดันลมภายในยางและโครงสร้างของยางก็มีส่วนที่ทำให้เกิดแรงต้านทานการหมุนของล้อ เช่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมดาที่ยางเรเดียลจะพบว่ายางเรเดียลมีแรงที่ต้านทานการหมุนของล้อต่ำกว่ายางธรรมดาประมาณ 20 – 30 % และยางที่มีชั้นผ้าใบมากขึ้นหรือมีดอกยางมากก็จะมีแรงต้านทานการหมุนของล้อมากขึ้นรูปร่างของยางพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตและหน้ายางแคบจะมีสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อต่ำกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและหน้ายางกว้างองค์ประกอบของยางมีความสำคัญเช่นกันเพราะสามารถช่วยควบคุมการเกิดความร้อนภายในยางความร้อนเกิดขึ้นเมื่อยางสัมผัสกับพื้นผิวถนนยางจะเกิดการยุบตัวและคืนตัวสลับกันไปการเพิ่มของอุณหภูมิจะทำให้ความดันของอากาศภายในยางเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3. น้ำหนักของตัวจักรยานรวมกับตัวผู้ขับขี่ทำให้เกิดแรงต้านทานการหมุนของล้อถ้ามีน้ำหนักมากแสดงว่าจะมีแรงต้านทานการหมุนของล้อมากตามไปด้วย
4. อัตราเร็วของจักรยานจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อเมื่ออัตราเร็วเพิ่มขึ้นจะเกิดแรงต้านทานการหมุนของล้อที่แสดงอย่างชัดเจน
5. การเพิ่มแรงปั่นหรือแรงขับเคลื่อนทำให้แรงต้านทานการหมุนของล้อเพิ่มตามไปด้วย

2.6.3 แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ (Air Resistance)

ความต้านทานของอากาศมีอิทธิพลต่อสมรรถนะทั้งการขับขี่และการทรงตัวของรถ ความต้านทานอากาศจะขึ้นกับขนาดและรูปร่างของตัวถังรถ ความเร็วรถและความเร็วลมแต่โดยทั่วไปจะไม่คำนึงถึงความเร็วลมด้วยเหตุนี้ความต้านทานของอากาศจะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ (2.11)

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (2.11)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ
 C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (Coefficient of Drag)
 A คือ พื้นที่ด้านหน้าที่ยปะทะลม
 V คือ ความเร็วของจักรยาน

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (C_d) ตามชนิดและสภาพพื้นผิว

| ประเภทของวัตถุ | สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (C_d) | สภาพของพื้นผิว |
|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| Laminar flat plate (Re = 106) | 0.001 | |
| ปลาโลมา | 0.0036 | พื้นผิวเปียก |
| Turbulent flat plate (Re = 106) | 0.005 | |
| เครื่องบินขนส่งความเร็วสูง | 0.012 | |
| Supersonic Fighter, M= 2.5 | 0.016 | |
| Streamlined body | 0.04 | $\pi d^2 / 4$ |
| ปีกเครื่องบิน ณ ตำแหน่งปีกตกติ | 0.05 | |
| Streamlined half-body | 0.09 | |

| ประเภทของวัตถุ | สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (C_d) | สภาพของพื้นผิว |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Long stream-lined body | 0.1 | |
| จักรยาน ชนิด Streamlined Velomobile | 0.12 | $5 \text{ ft}^2 (0.47 \text{ m}^2)$ |
| ปีกเครื่องบิน ณ ตำแหน่งกำลังเหินขึ้น | 0.15 | |
| รถยนต์ Tesla model 3 หรือ model Y | 0.23 | |
| รถยนต์ Toyota Prius, Tesla model S | 0.24 | บริเวณด้านหน้า |
| รถยนต์ Tesla model X | | |
| รถยนต์สปอร์ต | 0.2-0.3 | บริเวณด้านหน้า |
| รถยนต์ทั่วไป | 0.29 | บริเวณด้านหน้า |
| Hollow semi-sphere facing stream | 0.38 | |
| นก | 0.4 | บริเวณด้านหน้า |
| วัตถุครึ่งวงกลมที่เป็นของแข็ง | 0.42 | $\pi d^2 / 4$ |
| วัตถุวงกลม | 0.5 | |
| รถเก๋ง | 0.4-0.5 | บริเวณด้านหน้า |
| จักรยานที่ปั่นตามหลังจักรยานคันหน้า | 0.5 | $3.9 \text{ ft}^2 (0.36 \text{ m}^2)$ |
| รถเปิดประทุน | 0.6-0.7 | บริเวณด้านหน้า |
| รถบัส | 0.6-0.8 | บริเวณด้านหน้า |
| รถเก่า | 0.7-0.9 | บริเวณด้านหน้า |
| วัตถุทรงลูกบาศก์ | 0.8 | s^2 |
| รถมอเตอร์ไซค์สปอร์ตสำหรับแข่ง | 0.88 | $3.9 \text{ ft}^2 (0.36 \text{ m}^2)$ |
| จักรยาน | 0.9 | |
| รถบรรทุกพ่วง | 0.96 | บริเวณด้านหน้า |
| รถบรรทุก | 0.8-1.0 | บริเวณด้านหน้า |
| มนุษย์ที่ยืน | 1.0-1.3 | |
| รถมอเตอร์ไซค์ | 1.1 | $5.5 \text{ ft}^2 (0.51 \text{ m}^2)$ |
| วัตถุที่เป็นแผ่นทรงกลมบาง | 1.1 | $\pi d^2 / 4$ |
| วัตถุครึ่งวงกลมที่ไหลไปตามแนวราบ | 1.17 | $\pi d^2 / 4$ |
| วัตถุทรงสี่เหลี่ยมแบน ที่ 90 องศา | 1.17 | |
| สายไฟและสายเคเบิล | 1.0-1.3 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| ประเภทของวัตถุ | สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (C_d) | สภาพของพื้นผิว |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| มนุษย์ที่ยืนตรง | 1.0-1.3 | |
| Hollow semi-cylinder opposite stream | 1.2 | |
| นักเล่นสกีที่กระโดดอยู่ | 1.2-1.3 | |
| Hollow semi-sphere opposite stream | 1.42 | |
| รถไฟโดยสาร | 1.8 | บริเวณด้านหน้า |
| รถจักรยานยนต์ที่มีผู้ขับขี่ | 1.8 | บริเวณด้านหน้า |
| วัตถุแบนยาว ที่ 90 องศา | 1.98 | |
| กล่องสี่เหลี่ยม | 2.1 | |

พื้นที่ด้านหน้าที่ปะทะลมของจักรยานไฟฟ้ามีน้อยมากพื้นที่จากการปะทะส่วนมากมาจากตัวของผู้ขับขี่ซึ่งพื้นที่นั้นไม่ได้เป็นรูปทรงเหลี่ยมจึงต้องใช้วิธีประมาณค่าพื้นที่ด้านหน้าที่ปะทะลมดังสมการที่ (2.12)

$$A = 0.78WH$$

(2.12)

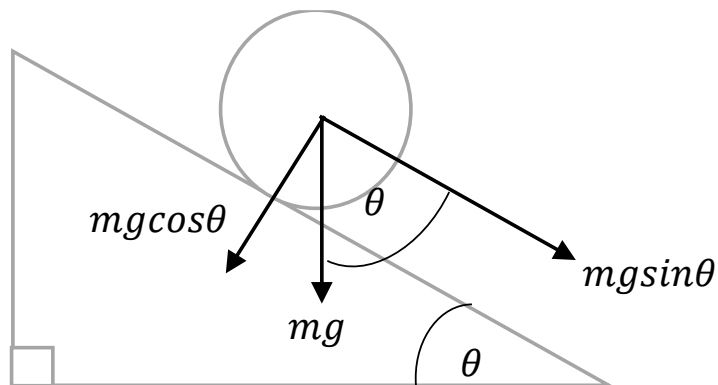
เมื่อ W คือ ความกว้างของผู้ขับขี่
 H คือ ความสูงด้านหน้าจักรยานรวมผู้ขับขี่

2.6.4 แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน (Gradient Resistance) ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



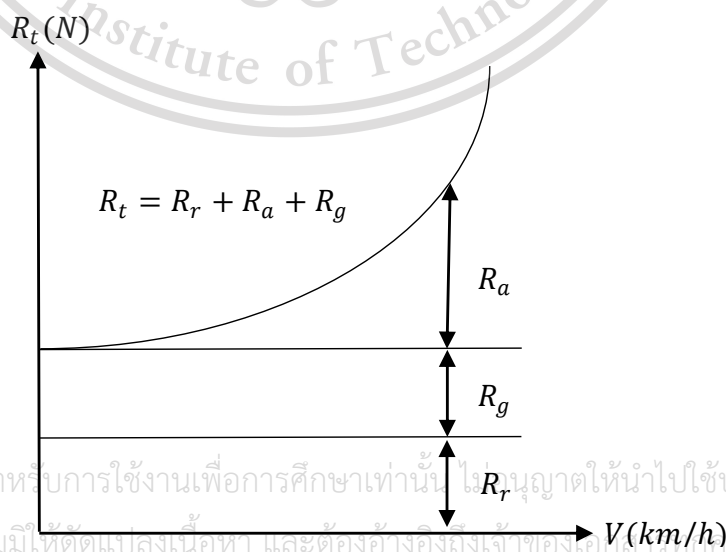
รูปที่ 2.17 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนทางชัน

ความต้านทานของทางชันเกิดจากแรงย่อยของน้ำหนักที่ตกอยู่ในแนวขนานกับพื้นของถนนซึ่งจะขึ้นอยู่กับความชันของทางลาดชันและน้ำหนักของตัวจักรยานซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.13)

$$R_g = mg \sin \theta \tag{2.13}$$

- เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ
 g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 θ คือ มุมที่ความชันทำกับแนวถนน

เมื่อนำมาวัดเทียบค่าระหว่างแรงต้านทานการเคลื่อนที่รวมกับอัตราเร็วของจักรยานจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 แรงต้านการเคลื่อนที่รวมเทียบกับอัตราเร็วของจักรยาน

2.7 กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์

จากกฎข้อที่ 1 ของนิวตันสามารถที่จะสรุปได้ว่าในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานด้วยอัตราเร็วคงที่นั้น แรงขับเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้นดังนั้น

$$\text{แรงขับเคลื่อน } (F) = \text{แรงต้านทั้งหมด } (R_t)$$

สามารถที่จะหากำลังขับเคลื่อนที่ล้อจักรยานไฟฟ้าได้โดยใช้แรงขับเคลื่อนคูณกับอัตราเร็วของจักรยานในขณะนั้นจะได้สมการที่ (2.14)

$$P_w = FV \quad (2.14)$$

เมื่อ P_w คือ กำลังขับเคลื่อนของล้อ

F คือ แรงขับเคลื่อน

V คือ ความเร็วของจักรยาน

ถ้ามีประสิทธิภาพของมอเตอร์จะได้สมการที่ (2.15)

$$P_w = FV / \eta_{motor} \quad (2.15)$$

เมื่อ η_{motor} คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การเริ่มต้นปริญญาโทนิพนธ์จักรยานไฟฟ้า นั้น เริ่มต้นโดยการเขียนแบบรูปร่างของตัวจักรยานและจำลองการเคลื่อนที่โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละส่วน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ต้องการโดยใช้หลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของจักรยานไฟฟ้าสามารถทำการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์ได้

3.1 ออกแบบเบื้องต้น

เป็นการออกแบบลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เริ่มต้นด้วยโปรแกรม Solidworks โดยอาศัยรูปทรงและรูปร่างจากจักรยานจริงโดยใช้วัสดุเป็นอะลูมิเนียมเพื่อรับแรงกระแทกและเป็นวัสดุน้ำหนักเบา ราคาไม่สูงมากสามารถหาได้ง่ายและใช้ทั้งการตัด, การเชื่อมได้ง่ายมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1 , รูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.2 แบบเบื้องต้นของจักรยานไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 แบบเบื้องต้นของจักรยานไฟฟ้า

3.2 คำถามเพื่อเลือกขนาดของมอเตอร์

ข้อมูลของจักรยานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการออกแบบ

มวลของจักรยาน (m_a) 10 kg

มวลที่สามารถบรรทุกได้สูงสุด (m_b) 80 kg

มวลรวม (m_t) 90 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) 9.81 m/s^2

ความเร็วบนทางราบ (V_a) 30 km/h

ความเร็วบนทางชัน (V_b) 4 km/h

จากสมการที่ (2.10)

จะใช้ค่าของความเร็วบนทางราบในการคำนวณ

$$\begin{aligned} K_r &= 0.015 + 0.000016V \\ &= 0.015 + 0.000016(30) \\ &= 0.01548 \end{aligned}$$

แทนในสมการที่ (2.9)

$$\begin{aligned} R_f &= K_r W = K_r m g \\ &= 0.01548 * 90 * 9.81 \\ &= 13.6673 \end{aligned}$$

ความสูงด้านหน้ารถรวมผู้ขับขี่ (H) 1.5 m

ความกว้างของผู้ขับขี่ (W) 0.5 m

มุมทางชันที่รถสามารถวิ่งขึ้นได้ (θ) 10°

ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) 1.2 kg/m^3

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η_{motor}) 80%

จากตารางที่ 2.4

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานของอากาศที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_d = 0.9$$

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

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

ความเร็วบนทางราบ (V_a) 30 km/h แปลงเป็น $\frac{30}{3.6}$ m/s

แทนในสมการที่ (2.11)

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2$$

$$= \frac{1}{2} * 1.2 * 0.9 * (0.78 * 1.5 * 0.5) * \left(\frac{30}{3.6}\right)^2$$

$$= 21.9375 \text{ N}$$

จากสมการที่ (2.13)

$$R_g = mg \sin \theta$$

$$= 90 * 9.81 \sin 10^\circ$$

$$= 153.3140$$

เมื่อจักรยานปั่นบนทางราบ

จากสมการที่ (2.10)

$$R_t = R_r + R_a + R_g$$

$$= 21.9375 + 13.6673 + 0$$

$$= 35.6048$$

จากสมการที่ (2.15)

ถ้าคิดประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ 80 %

$$P_w = FV / \eta_{motor}$$

$$= (35.6048 * 30) / (3.6 * 0.8)$$

$$= 349.067 \text{ W}$$

เมื่อจักรยานปั่นบนทางลาดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากสมการที่ (2.10)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_r + R_a + R_g \\
 &= 21.9375 + 13.6673 + 153.3140 \\
 &= 188.9188
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.15)

ถ้าคิดประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ 80 %

$$\begin{aligned}
 P_w &= FV / \eta_{motor} \\
 &= (188.9188 * 4) / (3.6 * 0.8) \\
 &= 262.3872 \text{ W}
 \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านที่มีขายตามท้องตลาดแล้วมีขนาด 250W, 350W และ ฯลฯ ตามลำดับจึงทำการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านขนาด 350W นำมาใช้ออกแบบและสร้างจักรยานไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.4 Brushless DC Motor ขนาด 36V 350W
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

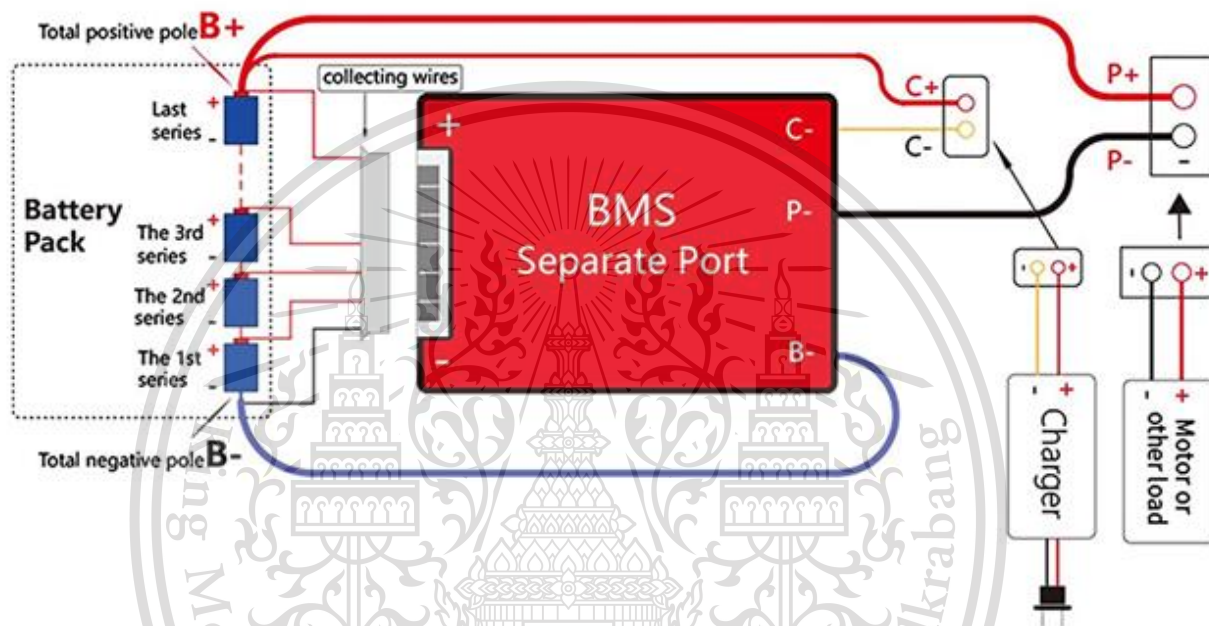
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

3.3 ออกแบบวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน

3.3.1 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System)

ใช้วงจรจัดการแบตเตอรี่ขนาด 36V 5A 10S2P เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานจักรยานไฟฟ้าในการดำเนินชีวิตประจำวัน

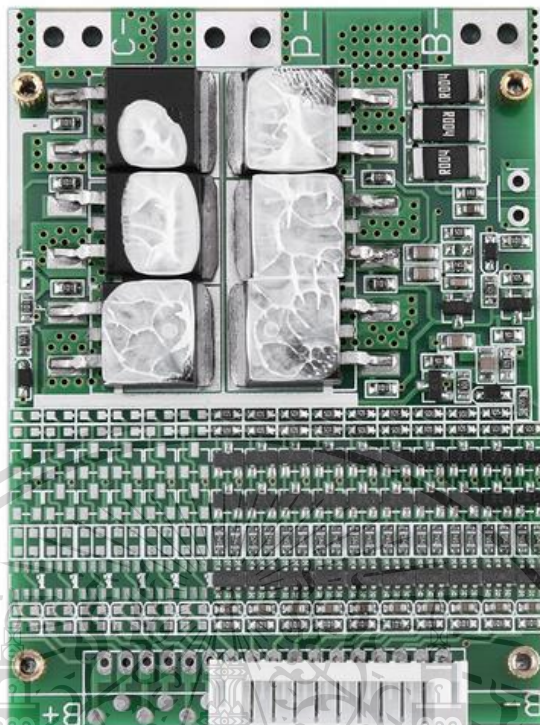


รูปที่ 3.5 วงจรของ Battery Management System ขนาด 36V 5A 10S2P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.6 Battery Management System ขนาด 36V 5A 10S2P

3.3.2 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

ใช้แบตเตอรี่รุ่น 18650 3.7V 2600mah จำนวน 20 ก้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

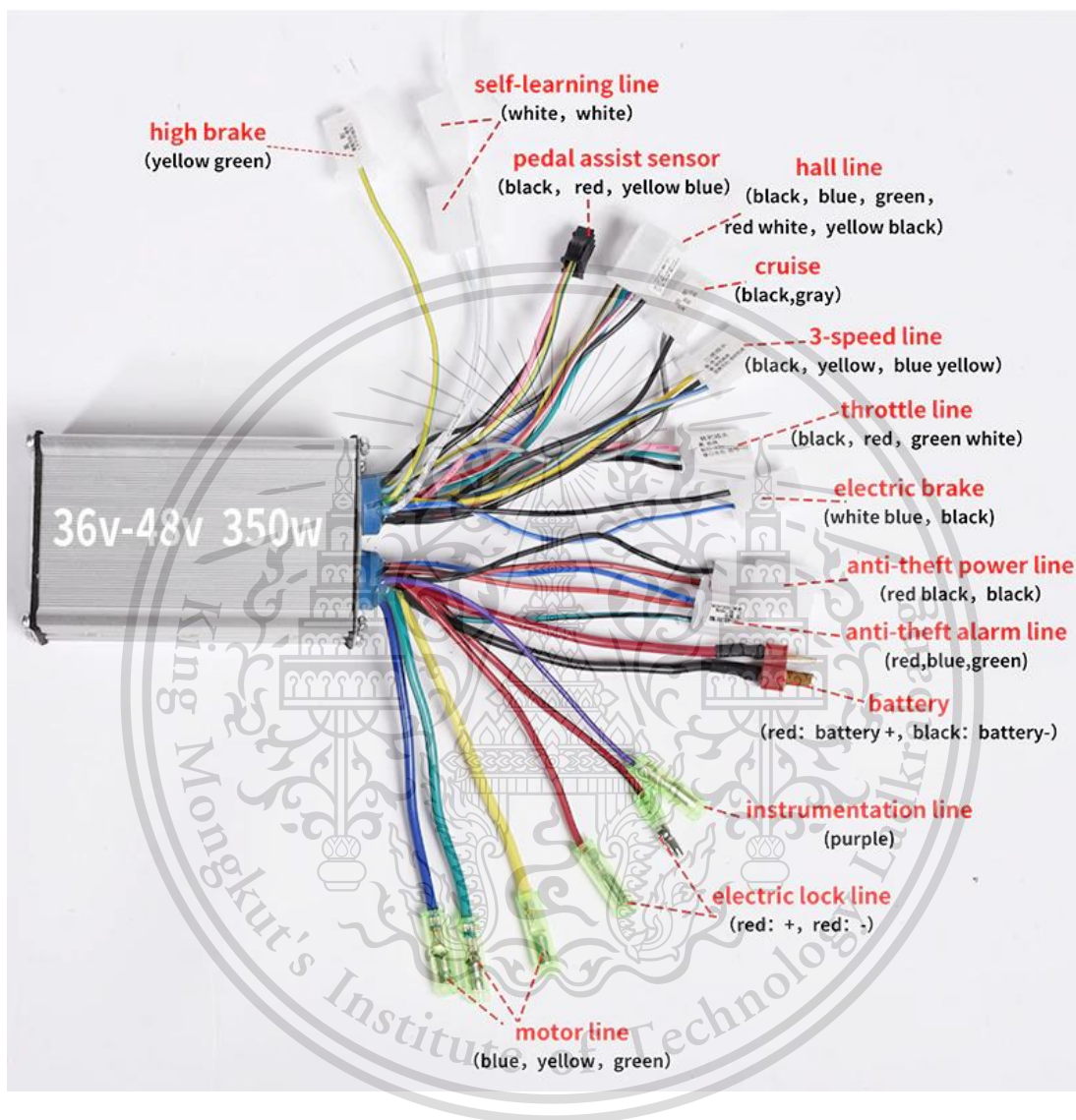
รูปที่ 3.7 Li-Ion Battery ขนาด 3.7V 2600mah

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

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

3.4 ตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่าน

เป็นตัวสั่งการทำงานและจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์



รูปที่ 3.9 ตัวควบคุมการทำงานของ Brushless DC Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในส่วนต่างๆตามขั้นตอนและวิธีการในบทที่ 3 เมื่อนำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบและปรับแต่งในทุกส่วนแล้วทำให้ได้จักรยานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่านและทดสอบจักรยานไฟฟ้าเพื่อทราบถึงคุณลักษณะการใช้งานของจักรยานไฟฟ้าดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะของจักรยานไฟฟ้า

4.1.1 คุณสมบัติของจักรยานไฟฟ้า

1. จักรยานไฟฟ้าสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 80 กิโลกรัม
2. จักรยานไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ 30-35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

4.1.2 คุณสมบัติที่ทดสอบได้

1. ระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง
2. จักรยานไฟฟ้าทำความเร็วได้สูงสุดและระยะทางที่วิ่งได้ทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารเผยแพร่สำหรับกิจกรรมการเรียนการสอนและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only. Not allowed for commercial use.

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

4.2 ผลการทดสอบความเร็วของจักรยานไฟฟ้า

ผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าบนถนนพื้นถนนคอนกรีตโดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าบนถนนพื้นถนนคอนกรีต

| ครั้งที่ | ระยะเวลาใช้งานแบตเตอรี่ (นาที) | ความเร็วสูงสุด (กม./ชม.) | ระยะทางที่วิ่งได้ (กม.) |
|----------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 32 | 33 | 7.2 |
| 2 | 33 | 31 | 7.5 |
| 3 | 30 | 35 | 7.4 |
| 4 | 31 | 32 | 7.0 |
| 5 | 30 | 35 | 7.5 |
| เฉลี่ย | 31.2 | 33.2 | 7.32 |

4.3 ระยะทางของรถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

การหาระยะทางที่จักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้งในที่นี่จะใช้ผู้ทดสอบที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัมเป็นผู้ขับขี่โดยได้ระยะทางรอบละประมาณ 7 กิโลเมตรแบตเตอรี่ที่เลือกมาใช้เป็นแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนขนาด 36v 5ah จำนวน 1 ลูกเพื่อให้จักรยานไฟฟ้ามีน้ำหนักเบาและขนย้ายสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.4 ข้อมูลจำเพาะของจักรยานไฟฟ้า

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดข้อมูลของจักรยานไฟฟ้า

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน | 36V 350 Watt |
| แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน | 36V 5Ah |
| ความเร็วสูงสุด | 35 กม./ชม. |
| ระยะทาง/การประจุไฟ 1 ครั้ง | 7 กิโลเมตร |
| ระยะเวลาชาร์จ | 3 ชั่วโมง |
| น้ำหนักจักรยานโดยรวม | 10 กิโลกรัม |
| รับน้ำหนักได้สูงสุด | 80 กิโลกรัม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จักรยานไฟฟ้าเป็นการออกแบบพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นให้สามารถขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยไม่ต้องอาศัยแรงผู้ขับขี่ในการปั่นจักรยานจากการศึกษาและออกแบบโครงจักรยานที่มีล้อยางเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว และได้ผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งบนทางราบทำความเร็วสูงสุดได้ 35 กม./ชม. โดยที่น้ำหนักของตัวจักรยานไฟฟ้าพร้อมกับแบตเตอรี่และตัวควบคุมการขับเคลื่อนมีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม และสามารถวิ่งบนทางลาดชันที่ระดับความชัน 10 องศาได้ด้วยความเร็ว 4 กม./ชม. การชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ระยะทาง 7 กิโลเมตรโดยมีน้ำหนักของผู้ขับขี่ที่บรรทุกได้สูงสุด 80 กิโลกรัม

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินงานที่ผ่านมาพบปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ในส่วนของน้ำหนักที่จักรยานสามารถรองรับผู้ขับขี่ได้นั้นมีขีดจำกัดที่น้อยเกินไป

5.2.2 แบตเตอรี่มีรอบการใช้งานระยะทางต่อ 1 การชาร์จมีระยะทางที่ปั่นได้สั้นเกินไป

5.2.3 อุปกรณ์ที่เลือกใช้ไม่ได้มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศ เช่น ฝนตกทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายขึ้นได้

5.2.4 ในส่วนของบอร์ดระบบจัดการแบตเตอรี่ทำหน้าที่จัดการพลังงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพทำให้เกิดความร้อนที่ตัวแบตเตอรี่เกิดขึ้น

5.2.5 การชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งใช้เวลานานเกินไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรออกแบบโครงจักรยานให้ใช้วัสดุที่สามารถรองรับน้ำหนักของผู้ขับขี่ได้มากขึ้น

5.3.2 เพิ่มขนาดความจุของแบตเตอรี่ให้เป็น 36V 10.5Ah เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

5.3.3 ควรออกแบบวัสดุให้ป้องกันและครอบคลุมทั้งสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศที่อาจจะเกิดขึ้น

5.3.4 เลือกใช้บอร์ดระบบจัดการแบตเตอรี่ที่มีราคาสูงขึ้นเพื่อให้ประสิทธิภาพของบอร์ดทำงานได้ดีมากยิ่งขึ้น

5.3.5 ใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุใหญ่ขึ้นเพื่อให้ระยะเวลาที่ใช้งานมีความสอดคล้องกับระยะเวลาที่ชาร์จแบตเตอรี่

5.3.6 พัฒนาให้จกัรยานไฟฟ้ามีความสามารถในการบอกระยะทางที่สามารถเดินทางได้และปริมาณของแบตเตอรี่เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบ

5.3.7 พัฒนาให้มีไฟหน้าและไฟท้ายเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ตอนกลางคืน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง

[1] “ Brushless DC Motor vs. AC Motor vs. Brushed Motor ? ” (Online). Available:

<https://www.orientalmotor.com/brushless-dc-motors-gear-motors/technology/AC-brushless-brushed-motors.html>

[2] “ Designing In-Hub Brushless Motors ” (Online). Available:

<https://www.machinedesign.com/motors-drives/article/21833665/designing-inhub-brushless-motors>

[3] วัชรพล ทรงหอม, “การปรับปรุงรถปั่นพลังงานมนุษย์โดยใช้พลังงานไฟฟ้า,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2557

[4] “ Electric Drives ” (Online). Available:

<https://www.mpoweruk.com/motorsbrushless.htm>

[5] “ Introduction to Brushless DC Motors (BLDC Motor) ” (Online). Available:

<https://www.electronicshub.org/brushless-dc-motor-bldc-motor/>

[6] “ Introduction to battery pack design and building, Part-1. ” (Online). Available:

<https://www.electricbike.com/introduction-battery-design-1/>

[7] “ Introduction to battery pack design and building, Part-2. ” (Online). Available:

<https://www.electricbike.com/introduction-battery-design-2/>

[8] “ BMS (Battery Management System) คืออะไร ” (Online). Available:

<https://thiti.dev/blog/8369/>

[9] “ BMS คืออะไร ทำไมถึงต้องมี ? ” (Online). Available:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
<https://www.spabattery.com/blog/what-is-bms-battery-management-system>
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] “ How Does Cell Balancing Improve Battery Life ” (Online). Available:
<https://www.ionenergy.co/resources/blogs/cell-balancing-battery-life/>
- [11] “ Make BMS for Lithium Ion Batteries Charging ” (Online). Available:
<https://electronicsprojectshub.com/make-bms-for-lithium-ion-batteries-charging/>
- [12] อธิษฐาน สุวรรณประทีป, วิศวกรรมยานยนต์ Automotive Engineering, กรุงเทพฯ, สนพ. วิทยพัฒน์, 2552.
- [13] “ Drag Coefficient ” (Online). Available:
https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html
- [14] “ Rolling friction and rolling resistance ” (Online). Available:
<http://www.energiazero.org/esercizi/calcolo%20resistenza%20aerodinamica.pdf>
- [14] “ Sensorless BLDC motor controller using PIC18F4550 microcontroller ”
(Online). Available:
<https://simple-circuit.com/pic18f4550-esc-sensorless-bldc-motor-controller/>
- [15] กิตติศักดิ์ หาญฝึกแว่น, ชนิตา อินทวิเศษ และ ณัฐพันธ์ ทาปลัด, “รถจักรยานไฟฟ้า,” **ปริญญา นวัตกรรมศาสตร์บัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [16] ปกรณ์ นพรัตน์ไกรลาศ และ สุทธิ เวศม์มัชวาน, “จักรยานไฟฟ้า,” **ปฏิญานวัตกรรมศาสตร์บัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพูลทรัพย์ ถาวร

วัน เดือน ปีเกิด 20 เมษายน 2541

ที่อยู่ 73/25 หมู่ 9 ต.บางปูใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280

E-mail poolsub.taworn@gmail.com

เบอร์โทร 095-5276750

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2560 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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