

รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
MODIFIED ELECTRIC MOTORCYCLE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFIED ELECTRIC MOTORCYCLE

TAWAN SUTTISATID

TICHANON PHETNAK

PONGSAKORN BUACHUEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ รดจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
MODIFIED ELECTRIC MOTORCYCLE

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวตะวัน สุทธิสถิตย์ รหัสนักศึกษา 64015050
นายทิวานนท์ เพ็ชรนาค รหัสนักศึกษา 64015054
นายพงศกร บัวชื่น รหัสนักศึกษา 64015090

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2565

| | |
|-------------------------------|------------|
| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
| ผศ.สุธรรม สัทธิธรรมสกุล | |
| รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ | |

| | | | | |
|--------------------|------------------------------|-------------|--------------|----------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง | | | |
| | MODIFIED ELECTRIC MOTORCYCLE | | | |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นางสาวตะวัน | สุทธิสฤติย์ | รหัสนักศึกษา | 64015050 |
| | นายทิวานนท์ | เพ็ชรนาถ | รหัสนักศึกษา | 64015054 |
| | นายพงศกร | บัวชื่น | รหัสนักศึกษา | 64015090 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล | | | |
| ปีการศึกษา | 2565 | | | |

บทคัดย่อ

โปรเจกต์ดัดแปลงรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าโปรเจกต์นี้จะมุ่งเน้นการดัดแปลงรถมอเตอร์ไซค์เครื่องยนต์สันดาปให้เป็นรถมอเตอร์ไซค์ระบบไฟฟ้า 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแรกจะกล่าวถึงการดัดแปลงรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าโดยจะวางแผนการติดตั้งและออกแบบระบบไฟฟ้า ระบบการติดตั้งมอเตอร์ BLDC 3000w โดยมีกล่องคอนโทรลเลอร์ เป็นกล่อง far driver ND 72360 และมี Battery Lithium NMC 72V 43Ah เป็นแหล่งจ่ายให้กับตัวรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าดัดแปลงให้ขับเคลื่อนได้ ส่วนที่สองจะกล่าวถึงการทดลองประสิทธิภาพของรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าดัดแปลง โดยใช้โปรแกรม Dyno test ที่เราได้ทำการสร้างขึ้นโดยมีฮาร์ดแวร์ดังนี้ ESP32 เป็นตัวประมวลผล Omron e3z-r61 เป็นเซ็นเซอร์ในการวัดรอบ Hall split core current sensor เป็นตัววัดกระแสที่ไหลออกจากแบตเตอรี่ และมี Hall voltage sensor เป็นตัววัดแรงดันในการทดสอบประสิทธิภาพพรต และในส่วนของซอฟต์แวร์เราจะใช้โปรแกรม Arduino IDE และโปรแกรม LABVIEW เป็นตัวสร้างเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม Dyno test ในการทดสอบประสิทธิภาพของรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าดัดแปลง

| | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| Thesis Title | MODIFIED ELECTRIC MOTORCYCLE | |
| Authors | Miss.Tawan | Suttisatid |
| | Mr.TICHANON | PHETNAK |
| | Mr.PONGSAKORN | BUACHUEN |
| Thesis Advisor | Assoc. Prof.Suttham Sattthamsakul | |
| Year | 2022 | |

ABSTRACT

Electric motorcycle modification project This project will focus on converting a combustion engine motorcycle into a 100 percent electric motorcycle. The first part will cover the modification of an electric motorcycle by planning the installation and designing the electrical system. BLDC 3000w motor installation system with the controller box being a far driver ND 72360 box and having Battery Lithium NMC 72V 43Ah as a supply source for the electric motorcycle modified to drive. The second part will discuss the performance trials of modified electric motorcycles. Using the Dyno test program that we have created with the following hardware: ESP32 is an Omron e3z-r61 processor, is a sensor for measuring revolutions, Hall split core current sensor is a measure of current flowing from the battery and has Hall. The voltage sensor is a voltage measurement device for testing vehicle performance. And in the software section, we will use the Arduino IDE program and the LABVIEW program to create the working conditions of the Dyno test program to test the performance of modified electric motorcycles.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ. สุธรรม สัทธิธรรมสกุล ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำสอนแนะนำแก่ผู้วิจัยปริญญาานิพนธ์นี้มาตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำเอื้อเฟื้อเครื่องมือต่างๆและติดต่อประสานงานกับหน่วยงานมาอบรมให้แนะนำความรู้เพิ่มเติมในการทำปริญญาานิพนธ์ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ, คุณแม่และเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมวัดคุม อันเป็นที่รักทุกคน ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำให้อุปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ให้เสร็จลุล่วงไปได้

ผู้วิจัยขอให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ให้ความรู้ ประโยชน์ และคุณค่า กับผู้อ่านไม่มากก็น้อย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| สารบัญรูป..... | X |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษา..... | 2 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า..... | 3 |
| 2.1.1 แรงดันไฟฟ้า..... | 3 |
| 2.1.1.1 แรงดันไฟฟ้า DC..... | 3 |
| 2.1.1.2 แรงดันไฟฟ้า AC..... | 5 |
| 2.1.2 กระแสไฟฟ้า..... | 7 |
| 2.1.2.1 กระแสตรงไฟฟ้ากระแสตรง DC..... | 7 |
| 2.1.2.2 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ AC..... | 9 |
| 2.1.3 แรงบิด (Torque)..... | 11 |
| 2.1.4 ความเร็วรอบ (RPM)..... | 14 |
| 2.1.4.1 การหาความเร็วกิโลเมตรต่อชั่วโมงจากความเร็วรอบ (RPM)..... | 15 |
| 2.1.5 กำลังไฟฟ้า (Power)..... | 18 |
| 2.1.5.1 หลักการของกำลังไฟฟ้า..... | 18 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ของ Dyno Test..... | 20 |
| 2.2.1 Dyno Test..... | 20 |
| 2.2.1.1 Engine Dynamometer..... | 20 |
| 2.2.1.2 Chassis Dynamometer..... | 20 |
| 2.2.1.3 Roller Dynamometer..... | 21 |
| 2.2.2 ESP32..... | 22 |
| 2.2.3 เซนเซอร์วัดแรงดัน..... | 23 |
| 2.2.3.1 เซนเซอร์ชนิด Resistive..... | 23 |
| 2.2.3.2 เซนเซอร์ประเภทตัวเก็บประจุ..... | 25 |
| 2.2.3.3 Hall voltage Sensor HV 62..... | 26 |
| 2.2.4 เซนเซอร์วัดกระแส..... | 28 |
| 2.2.4.1 Current Sensing Resistors..... | 28 |
| 2.2.4.2 Hall Effect Senso..... | 29 |
| 2.2.4.3 Current Transformer..... | 30 |
| 2.2.4.4 Hall split core current sensor model HSTS016l..... | 31 |
| 2.2.5 Photoelectric Sensor..... | 32 |
| 2.2.5.1 Opposed mode..... | 32 |
| 2.2.5.2 Retroreflective mode..... | 33 |
| 2.2.5.3 Proximity mode..... | 34 |
| 2.2.5.4 Omron e3z-r61..... | 34 |
| 2.3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า..... | 35 |
| 2.3.1 Motor Hub..... | 35 |
| 2.3.1.1 Brush DC Motor..... | 35 |
| 2.3.1.2 BLDC Motor (Brushless DC Motor)..... | 36 |
| 2.3.1.3 แบบคัมล้อ หรือ Hub Motor ไม่มีเกียร์..... | 37 |
| 2.3.1.4 แบบคัมล้อที่มีเกียร์..... | 38 |
| 2.3.1.5 แบบแกนหมุน (BLDC Motor)..... | 39 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.3.2 Battery | 41 |
| 2.3.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด | 41 |
| 2.3.2.2 แบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium Battery)..... | 43 |
| 2.3.3 Controller..... | 46 |
| 2.3.3.1 Controller ประกอบด้วยพอร์ตการทำงานอยู่ 3 พอร์ต | 46 |
| 2.3.3.2 พอร์ต Hall Sensor..... | 47 |
| 2.3.3.3 พอร์ต Function | 48 |
| 2.3.3.4 พอร์ต Anti-Theft | 49 |
| 2.4 การสอบเทียบ | 49 |
| 2.4.1 Calibration & Adjustment..... | 50 |
| 2.4.2 การสอบเทียบทางไฟฟ้า | 51 |
| 2.4.2.1 การสอบเทียบ DC Voltage | 52 |
| 2.4.2.2 instek GDM 9061 | 53 |
| 2.4.2.3 Metrel MD 9060..... | 55 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 58 |
| 3.1 ขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ดัดแปลง..... | 59 |
| 3.1.1 ขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพ | 60 |
| 3.2 สอบเทียบอุปกรณ์การวัดที่ใช้ในโปรแกรม | 70 |
| 3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Dyno test ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง.. | 72 |
| 3.4 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและวงจรไฟฟ้าภายในตัวรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง | 74 |
| 3.4.1 ออกแบบวงจรไฟฟ้าภายในตัวรถ..... | 75 |
| 3.4.1.1 ออกแบบระบบวงจรไฟฟ้าเชื่อมต่อกับตัว Controller | 75 |
| 3.4.1.2 ออกแบบวงจรไฟฟ้าเอาไว้อย่างไฟให้กับชุดระบบไฟของรถ | 76 |
| 3.4.2 ขั้นตอนการดัดแปลงโครงสร้างและประกอบโครงรถที่ได้ทำการออกแบบ..... | 76 |
| 3.4.2.1 นำล้อมอเตอร์มาประกอบยึดติดกับตัวรถจักรยานยนต์ | 77 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.4.2.2 ประกอบชุด Controller เข้ากับชุดข้างขอตัวรถจักรยานยนต์..... | 77 |
| 3.4.2.3 ออกแบบและสร้าง U-box ให้เป็นช่องใส่แบตเตอรี่..... | 79 |
| 3.4.2.4 ติดตั้งแบตเตอรี่เข้ากับตัวรถจักรยานยนต์และทำจุดชาร์จแบตเตอรี่..... | 80 |
| 3.4.2.5 ติดตั้งดิสเบรกเข้ากับล้อมอเตอร์หลังของรถจักรยานยนต์..... | 81 |
| 3.4.2.6 ประกอบโครงสร้างภายนอก เดินระบบไฟฟ้าและสายเบรก | 82 |
| 3.4.2.7 การประกอบโครงสร้างภายนอกของรถจักรยานยนต์เสร็จสมบูรณ์..... | 83 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง..... | 84 |
| 4.1 การทดสอบบนเครื่องทดสอบ Dyno Test เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพ | 84 |
| 4.1.1 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าแรงดันไฟฟ้า | 85 |
| 4.1.2 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่ากระแสไฟฟ้า | 85 |
| 4.1.3 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่ากำลังไฟฟ้า..... | 86 |
| 4.1.4 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าความจุแบตเตอรี่..... | 87 |
| 4.1.5 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่..... | 87 |
| 4.1.6 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่..... | 88 |
| 4.1.7 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าแรงบิด..... | 89 |
| 4.1.8 แสดงค่าผลการทดสอบขณะอยู่บน Dyno Test..... | 89 |
| 4.2 การทดสอบบนเครื่องทดสอบบนถนนจริง เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพ | 91 |
| 4.2.1 การทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง..... | 91 |
| 4.2.2 แสดงค่าผลการทดสอบขณะขับขี่อยู่บนถนนจริง | 96 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------------|
| 4.3 ทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่รีลิเทียมไอออน NMC..... | 97 |
| 4.3.1 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่รีลิเทียมไอออน NMC ค่าแรงดันไฟฟ้า..... | 97 |
| 4.3.2 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่รีลิเทียมไอออน NMC ค่า Percent of Battey..... | 98 |
| 4.3.3 ค่าผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่รีลิเทียม NMC..... | 98 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 100 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 100 |
| 5.1.1 สรุปผลการสร้างโปรแกรม Dyno Test..... | 100 |
| 5.1.2 สรุปผลการทดลองรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยใช้โปรแกรม Dyno Test | 100 |
| 5.1.3 สรุปผลการทดลองรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงบนถนนจริง..... | 101 |
| 5.1.4 สรุปผลการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่รีลิเทียมไอออน NMC..... | 101 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 101 |
| บรรณานุกรม..... | 102 |
| ภาคผนวก..... | 103 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้าที่ |
|--|---------|
| ตารางที่ 3.1 ตารางการสอบเทียบกระแสไฟฟ้า | 70 |
| ตารางที่ 3.2 ตารางการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้า | 70 |
| ตารางที่ 3.3 ตารางการสอบเทียบความถี่ | 71 |
| ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบขณะอยู่บน Dyno Test | 90 |
| ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง | 96 |
| ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเธียม NMC..... | 98 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้าที่ |
|---|---------|
| รูปที่ 2.1 กราฟรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสตรง..... | 5 |
| รูปที่ 2.2 กราฟรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ..... | 5 |
| รูปที่ 2.3 วงจรกระแสตรง | 9 |
| รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ | 13 |
| รูปที่ 2.5 สูตรการคำนวณกำลังไฟฟ้า | 19 |
| รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino UNO R3 | 22 |
| รูปที่ 2.7 เซนเซอร์แรงดันไฟฟ้าชนิดตัวต้านทาน | 24 |
| รูปที่ 2.8 ตัวเก็บประจุชนิดแรงดันไฟฟ้าเซนเซอร์ | 26 |
| รูปที่ 2.9 Hall voltage sensor hv 62 | 27 |
| รูปที่ 2.10 การวัดกระแสโดยใช้ Multimeter ต่ออนุกรมกับโหลด | 28 |
| รูปที่ 2.11 การวัดกระแสโดยใช้ R Shunt | 29 |
| รูปที่ 2.12 การวัดกระแสโดยใช้ Hall effect sensor | 30 |
| รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์ Hall effect ภายในชิปตระกูล ACS..... | 30 |
| รูปที่ 2.14 หลักการวัดกระแสโดยใช้ Current transformer | 31 |
| รูปที่ 2.15 Hall split core current sensor model HSTS016L..... | 32 |
| รูปที่ 2.16 Omron e3z-r61 | 35 |
| รูปที่ 2.17 ล้อแบบ Brush DC Motor | 36 |
| รูปที่ 2.18 6 สเตปของมอเตอร์ | 36 |
| รูปที่ 2.19 ล้อแบบดุมล้อ หรือ Hub Motor..... | 38 |
| รูปที่ 2.20 ล้อแบบดุมล้อที่มีเกียร์..... | 39 |
| รูปที่ 2.21 ล้อแบบแกนหมุน | 40 |
| รูปที่ 2.22 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด..... | 43 |
| รูปที่ 2.23 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน..... | 44 |
| รูปที่ 2.24 Controller Far driver ND72530..... | 46 |
| รูปที่ 2.25 พอร์ตแบบ Hall Sensor | 47 |
| รูปที่ 2.26 พอร์ตแบบ Function | 48 |
| รูปที่ 2.27 พอร์ตแบบ Anti-Theft | 49 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้าที่ |
|--|---------|
| รูปที่ 2.28 กราฟของการสอบเทียบอย่างเดียว..... | 50 |
| รูปที่ 2.29 กราฟของการสอบเทียบและปรับแต่ง | 51 |
| รูปที่ 2.30 กราฟของอายุการใช้งานของเครื่องมือวัด..... | 51 |
| รูปที่ 2.31 GW Instek GDM-9061/GDM-9060 | 55 |
| รูปที่ 2.32 Metrel MD 9060 | 57 |
| รูปที่ 3.1 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพ | 59 |
| รูปที่ 3.2 โครงสร้างและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Hall split core current sensor..... | 60 |
| รูปที่ 3.3 กราฟแรงดันไฟฟ้าโดยไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 62 |
| รูปที่ 3.4 ออกแบบวงจรการเชื่อมต่อ Hall split core current sensor กับ Arduino..... | 61 |
| รูปที่ 3.5 โค้ดอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจาก pin A0 โดยการนำค่าที่ Analog วัดได้จาก sensor มาคำนวณ .61 | |
| รูปที่ 3.6 ผลการทดลองการทดสอบโปรแกรม..... | 62 |
| รูปที่ 3.7 การเขียนโค้ดเทียบ scale ระหว่างแรงดัน output ที่ได้จาก sensor ให้เป็นกระแสไฟฟ้า | 62 |
| รูปที่ 3.8 ผลการทดลองโปรแกรมผลการทดลองการทดสอบโปรแกรม..... | 62 |
| รูปที่ 3.9 โครงสร้างและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Hall voltage sensor..... | 63 |
| รูปที่ 3.10 วงจรการเชื่อมต่อ Hall voltage sensor กับ Arduino | 63 |
| รูปที่ 3.11 การเขียนโค้ดอ่านค่าแรงที่รับค่ามาจาก pin A1 | 64 |
| รูปที่ 3.12 ผลการทดลองโปรแกรม | 64 |
| รูปที่ 3.13 โครงสร้างและข้อมูลจำเพาะ Omron Sensor E3Z-R61..... | 65 |
| รูปที่ 3.14 วงจรการเชื่อมต่อ E3Z-R61 กับ Arduino | 65 |
| รูปที่ 3.15 การเขียนโค้ดอ่านค่า Interrupt จาก pin 2..... | 66 |
| รูปที่ 3.16 ผลการทดลองของโปรแกรมวัดรอบ | 66 |
| รูปที่ 3.17 ทำการออกแบบการต่อวงจรทั้ง 3 โปรแกรมเข้าด้วยกัน | 67 |
| รูปที่ 3.18 เขียนโปรแกรม Dyno Test โดยการรวม 3 โปรแกรม | 67 |
| รูปที่ 3.19 ผลการทดลองการทดสอบโปรแกรม Dyno Test..... | 68 |
| รูปที่ 3.20 เขียนโปรแกรม NI LabVIEW ในการทำหน้าที่จอแสดงผลการวัดประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์..... | 68 |
| รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมการวัดประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์..... | 69 |
| รูปที่ 3.22 กราฟแสดงผลการวัดประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์..... | 69 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้าที่ |
|--|---------|
| รูปที่ 3.23 การสอบเทียบจริงที่ห้องสอบเทียบตุ๊กภาควัดคุม | 71 |
| รูปที่ 3.24 โพล์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Dyno test..... | 72 |
| รูปที่ 3.25 หน้าต่างโปรแกรม Dyno test | 73 |
| รูปที่ 3.26 การออกแบบโครงสร้างและวงจรไฟฟ้าภายในตัวรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง | 74 |
| รูปที่ 3.27 อุปกรณ์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง | 75 |
| รูปที่ 3.28 วงจรไฟฟ้าเชื่อมต่อกับตัว Controller | 75 |
| รูปที่ 3.29 วงจรระบบไฟเลี้ยงให้กับตัวรถ..... | 75 |
| รูปที่ 3.30 โครงสร้างรถจักรยานยนต์ยี่ห้อ YAMAHA รุ่น NOUVO SX | 75 |
| รูปที่ 3.31 ประกอบล้อมอเตอร์ยึดติดกับตัวรถจักรยานยนต์..... | 77 |
| รูปที่ 3.32 เจาะรูเพื่อติดตั้งกับกล่องคอนโทรลเลอร์..... | 78 |
| รูปที่ 3.33 คอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งกับชุดช่างที่สมบูรณ์..... | 78 |
| รูปที่ 3.34 ตัดเหล็กเพื่อที่จะนำมาทำ U-box ใส่แบตเตอรี่..... | 79 |
| รูปที่ 3.35 การเชื่อมเหล็กที่ได้ทำการตัดเข้ากับโครงรถเดิมเพื่อ U-box ใส่แบตเตอรี่..... | 79 |
| รูปที่ 3.36 ช่องใส่แบตเตอรี่ที่เสร็จสมบูรณ์ | 80 |
| รูปที่ 3.37 วางแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเข้ากับตัวรถจักรยานยนต์..... | 80 |
| รูปที่ 3.38 เจาะรูเพื่อทำจุดชาร์จแบตเตอรี่..... | 81 |
| รูปที่ 3.39 ติดตั้งดิสเบรกเข้ากับล้อมอเตอร์หลังของรถจักรยานยนต์ | 81 |
| รูปที่ 3.40 ติดตั้งปั้มเบรกเข้ากับดิสเบรกหลังพร้อมกับยึดคานเข้ากับแกนล้อมอเตอร์..... | 82 |
| รูปที่ 3.41 ประกอบโครงสร้างภายนอกของตัวรถจักรยานยนต์ | 82 |
| รูปที่ 3.42 โครงสร้างภายนอกของรถจักรยานยนต์เสร็จสมบูรณ์ | 83 |
| รูปที่ 4.1 การทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test..... | 84 |
| รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอยู่บน Dyno Test..... | 85 |
| รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าขณะอยู่บน Dyno Test | 86 |
| รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะอยู่บน Dyno Test | 86 |
| รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความจุแบตเตอรี่ขณะอยู่บน Dyno Test..... | 87 |
| รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ขณะอยู่บน Dyno Test | 88 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้าที่ |
|--|---------|
| รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะอยู่บน Dyno Test..... | 88 |
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าแรงบิดขณะอยู่บน Dyno Test | 89 |
| รูปที่ 4.9 การทดสอบประสิทธิภาพบนถนนจริง..... | 91 |
| รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริงด้วยแอปพลิเคชัน BMS.... | 91 |
| รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง..... | 92 |
| รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง | 93 |
| รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง | 93 |
| รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความจุแบตเตอรี่ขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง..... | 94 |
| รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง | 95 |
| รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง..... | 95 |
| รูปที่ 4.17 การการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน NMC..... | 97 |
| รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ..... | 97 |
| รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ..... | 98 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันยานพาหนะเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเดินทางไปไหนมาไหนของมนุษย์และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของมนุษย์นั้นมามากขึ้น จึงเป็นเหตุผลให้ความต้องการในการใช้ยานพาหนะมีมากขึ้นไปด้วย และยานพาหนะในปัจจุบัน โดส่วนมาก คือรถยนต์ รถมอเตอร์ไซค์ รถโดยสาร ซึ่งสารมากจะมีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันทั้งสิ้นแต่ในปัจจุบันมีวิกฤตการณ์ที่ราคาน้ำมันแปรปรวนอย่างรวดเร็วและมีราคาแพงมากขึ้น โครงการนี้จึงเล็งเห็นถึงพลังงานทดแทนซึ่งจะนำมาทดแทนการใช้ปริมาณน้ำมันซึ่งพลังงานที่ควรจะนำมาใช้ทดแทนควรเป็นพลังงานที่หาได้ง่าย มีราคาถูก ซึ่งได้คิดว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีราคาต่อหน่วย ต่ำกว่ามาก อีกทั้งยังหาได้ง่าย และไม่มีปัญหาในเรื่องของมลพิษที่จะเกิดขึ้นอีกด้วยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปนั้นปกติแล้วจะมีน้ำหนักมากและเมื่อนำมาให้เป็นพาหนะจำเป็นต้องใช้กำลังที่มาก เนื่องจากภาระจากน้ำหนักที่หนัก และอีกแง่หนึ่งอาจมองได้น้ำหนักพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์จะมีน้ำหนักที่สูงกว่า ใช้มอเตอร์เป็นอย่างมากอย่างไรก็ดีในบางประเทศได้นำพาหนะที่ใช้ไฟฟ้านำมาใช้กันอย่างแพร่หลายแล้ว เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำมาใช้แล้วบ้างแต่ยังเป็นส่วนน้อย เนื่องจากติดปัญหาตรงที่ยังมีราคาแพงและ ยังไม่มีความรู้ หรือข้อมูลในตัวยานพาหนะเองโครงการนี้จึงมีความเห็นที่จะรณรงค์ให้คนทั่วไปหันมาประหยัดพลังงานน้ำมัน โดยการหันมาใช้พลังงานไฟฟ้าแทน เพื่อทดแทนพลังงานน้ำมัน อีกทั้งยังช่วยทำให้ลดมลพิษจากไอเสียตามท้องถนนอีกด้วยทั้งการทดสอบประสิทธิภาพสมรรถนะของยานพาหนะก็เป็นสิ่งสำคัญโดยใช้วิธีการ Dyno Test เพื่อทดสอบ แรงม้า แรงบิด ความเร็วรอบ กระแสไฟฟ้าต่างๆในระบบ และปรับแต่งกำลังของยานพาหนะ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาและออกแบบโครงสร้างของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
2. เข้าใจหลักการทำงานของระบบต่างๆ เช่น ระบบส่งกำลัง ระบบควบคุม ความเร็วมอเตอร์เพื่อนำมาทดสอบได้
3. ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมการทดสอบ Dyno Test
4. รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถใช้งานได้จริง

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. ออกแบบและเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้งเพื่อสร้างรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
2. ออกแบบและสร้างโปรแกรมการทดสอบ Dyno Test
3. ทดสอบรอบของมอเตอร์และแบตเตอรี่เพื่อให้มีแรงเพียงพอกับการใช้งานจริง
4. ได้โปรแกรมการทดสอบ Dyno Test และได้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างรถจักรยานยนต์
2. ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์ แบตเตอรี่ คอนโทรลเลอร์ ที่ใช้ในการดัดแปลงรถจักรยานยนต์และศึกษาระบบควบคุมมอเตอร์
3. ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมและภาษาที่ใช้เขียนซอฟต์แวร์ Dyno Test
4. ทำการออกแบบและสร้างรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
5. พัฒนาโปรแกรมการทดสอบ Dyno Test
6. แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำรถไฟฟ้าตัดแปลงมีแนวคิดในการสร้างรถไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริงและเพื่อศึกษาระบบการทำงานศึกษาประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงในรายงานฉบับนี้จึงขอยกตัวอย่างทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแปลงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามาพอสังเขป

1. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ของ Dyno Test
3. อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
4. การสอบเทียบไฟฟ้า

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

2.1.1 แรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้า หรือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage, electric pressure, electric tension หรือ electric potential difference) คือความแตกต่างในพลังงานศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดต่อหน่วยประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดจะมีค่าเท่ากับงานที่ทำต่อหน่วยประจุต้านกับสนามไฟฟ้าคงที่เพื่อเคลื่อนย้ายประจุระหว่างจุดสองจุดและมีการวัดในหน่วยเป็น โวลต์ (จุลต่อคูลอมบ์) แรงดันไฟฟ้าอาจเกิดจากสนามไฟฟ้าสถิต หรือจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสนามแม่เหล็ก หรือจากสนามแม่เหล็กที่แปรตามเวลาหรือทั้งสามอย่างรวมกัน โวลต์มิเตอร์สามารถใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้า (หรือความต่างศักย์) ระหว่างจุดสองจุดในระบบ บ่อยครั้งที่ศักย์อ้างอิงทั่วไปเช่นกราวด์ของระบบจะถูกนำมาใช้เป็นหนึ่งจุดที่ใช้อัด แรงดันไฟฟ้าอาจหมายถึงแหล่งที่มาของพลังงาน (แรงเคลื่อนไฟฟ้า)

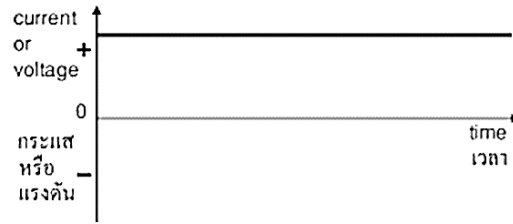
2.1.1.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

แรงดันไฟฟ้า DC (Direct Current Voltage) คือแรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบตรง (Direct Current) ซึ่งหมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่มีการไหลไปในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา โดยไม่มีการสลับทิศทางไปมาตลอดเวลา แรงดันไฟฟ้า DC มักถูกวัดในหน่วยโวลต์ (Volt, V) และเป็นค่าคงที่ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาคุณสมบัติสำคัญของแรงดันไฟฟ้า DC รวมถึงการใช้งานและแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) ความคงที่ ความคงที่ ของแรงดันไฟฟ้า DC (Direct Current Voltage) หมายถึงคุณสมบัติของแรงดัน DC ที่คงที่หรือคงเป็นค่าคงที่ตลอดเวลา โดยไม่

มีการเปลี่ยนแปลงหรือสลับทิศทางไปมา. นี่คือคุณสมบัติหลักของแรงดันไฟฟ้า DC ที่สำคัญสำหรับหลายแอปพลิเคชันและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างเสถียรและแม่นยำ แรงดันไฟฟ้า DC มีค่าแรงดันที่คงที่ตลอดเวลา ไม่มีการสลับทิศทางหรือเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันในระหว่างการทำงาน. นี้ช่วยในการให้พลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพแน่นอนในอุปกรณ์และวงจรที่ต้องการความเสถียรและคงที่ เช่น ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการแรงดันคงที่เพื่อประสิทธิภาพการทำงานและป้องกันความเสียหายแรงดันไฟฟ้า DC ไม่มีความสัจจร (ระยะเวลาที่แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเท่าศูนย์) โดยค่าแรงดัน DC คงที่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ไม่เกิดความสัจจรที่อาจสร้างความเกิดความสัจจรและสัจจรไฟฟ้าในอุปกรณ์และวงจร

- 2) การเติมแบตเตอรี่ กระบวนการใส่พลังงานไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มพลังงานและยืดคงสภาพพร้อมใช้งานของแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้า DC (Direct Current) ใช้ในกระบวนการนี้ เนื่องจากแบตเตอรี่ส่วนใหญ่มีการใช้แรงดันไฟฟ้า DC การเติมแบตเตอรี่ครั้งเดียวหรือการชาร์จประจำจะทำให้แบตเตอรี่สะสมพลังงานไฟฟ้า. กระบวนการนี้เรียกว่าชาร์จและมักใช้แรงดันไฟฟ้า DC จากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า. แรงดันไฟฟ้า DC ที่ส่งเข้าสู่แบตเตอรี่จะทำให้โมเลกุลในแบตเตอรี่สร้างไปเก็บพลังงานไฟฟ้า
- 3) การควบคุมอุปกรณ์ แรงดันไฟฟ้า DC มักถูกใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่ เช่น ในคอมพิวเตอร์, อุปกรณ์เครือข่าย, อุปกรณ์แพลตฟอร์มเพื่อการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล
- 4) การใช้งานพลังงานตรง แรงดันไฟฟ้า DC สามารถใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าตรง เช่น มอเตอร์ DC และหลอดไฟที่ใช้ไฟฟ้า DC
- 5) การเคลื่อนที่ ระบบรถยนต์ไฟฟ้า (electric vehicles) ใช้แรงดันไฟฟ้า DC เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบขับเคลื่อน



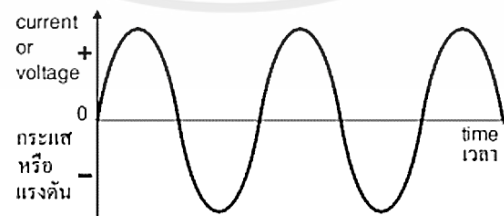
รูปที่ 2.1 กราฟรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.1.2 แรงดันไฟฟ้า AC

แรงดันไฟฟ้า AC (Alternating Current Voltage) คือแรงดันไฟฟ้าที่มีการสักระยะหรือสลับทิศทางไปมาตลอดเวลา แรงดันไฟฟ้า AC มักเปลี่ยนทิศทางไปมาตลอดเวลาในรูปของคลื่น sinusoidal หรือคลื่นคล้ายเครื่องเรื้อน (sine wave) โดยมีระยะเวลาต่อครั้งที่เรียกว่าช่วงเวลา (period) และสัมพันธ์กับแกนเศษเดียว (zero-crossing) ที่จุดเริ่มต้นของแรงดันคลื่น

แรงดันไฟฟ้า AC มักถูกวัดในหน่วยโวลต์ (Volt, V) และมีค่าสูงต่ำในแต่ละช่วงเวลาขณะที่คลื่น AC สลับทิศทาง ตัวอย่างคลื่น AC ที่มักใช้ในเครื่องใช้งานมากคือ แรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกจากกำหนดไฟฟ้าที่มีระยะเวลา 60 ฮีร์ตซ์ (Hz) ในระบบไฟฟ้าที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ๆ ที่ใช้ระบบไฟฟ้า 110 โวลต์ AC หรือ 220 โวลต์ AC และระยะเวลา 50 ฮีร์ตซ์ ในส่วนใหญ่ของยุโรปและที่หลาย ๆ ส่วนของโลก

คำว่า "สลับ" (Alternating) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความสัญญาณของกระแสไฟฟ้าไปมาเรื่อย ๆ ซึ่งสร้างขึ้นคลื่นไฟฟ้าที่สลับทิศทางตลอดเวลา แรงดันไฟฟ้า AC มีข้อดีในการส่งพลังงานไฟฟ้าระยะไกล เนื่องจากคลื่น AC สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายไฟยาวระยะไกล แรงดันไฟฟ้า AC สามารถปรับค่าให้เหมาะสมกับแต่ละการใช้งานต่าง ๆ ด้วยการเปลี่ยนแรงดันและความถี่ของคลื่น AC ตามความเหมาะสม



รูปที่ 2.2 กราฟรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่สำคัญดังนี้

แรงดันไฟฟ้า AC (Alternating Current Voltage) มีคุณสมบัติหลายอย่าง

- 1) ความสัมพันธ์กับเวลา: แรงดันไฟฟ้า AC มีคุณสมบัติที่มีการสังเคราะห์หรือสลับทิศทางไปมาตลอดเวลา แรงดันเปลี่ยนค่าตลอดเวลาในรูปของคลื่น sinusoidal หรือคลื่นคล้ายเครื่องเรื้อน (sine wave) ที่มีระยะเวลาต่อครั้งที่เรียกว่าช่วงเวลา (period). ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ระบบ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ (Hz) ซึ่งหมายถึงระยะเวลา 1 ช่วงเวลาที่มีความยาว 20 มิลลิวินาที (ms) สำหรับระบบ 50 เฮิร์ตซ์ และ 16.67 ms สำหรับระบบ 60 เฮิร์ตซ์ ช่วงเวลาที่มีความยาว 20 มิลลิวินาที (ms) สำหรับระบบ 50 เฮิร์ตซ์ และ 16.67 ms สำหรับระบบ 60 เฮิร์ตซ์
- 2) การสัมผัสที่เดียว (Zero Crossing): แรงดันไฟฟ้า AC มักสัมผัสแกนเศษเดียว (zero-crossing) ที่จุดเริ่มต้นของแรงดันคลื่น คือแรงดันเปลี่ยนทิศทางจากบวกเป็นลบหรือจากลบเป็นบวก การสัมผัสที่เดี่ยวนี้เป็นจุดที่คลื่น AC เปลี่ยนทิศทางและมักถูกใช้ในการครอบคลุมความเป็นศูนย์ของคลื่น
- 3) ความคงที่ของความสูง (Amplitude): ความสูงของคลื่น AC หมายถึงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าในคลื่น แรงดันคลื่น AC มักถูกระบุในหน่วยโวลต์ (Volt, V) และมีค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละช่วงเวลาขณะที่คลื่น AC สลับทิศทาง
- 4) ความถี่ (Frequency): ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า AC คือจำนวนคลื่นที่เปลี่ยนทิศทางต่อหนึ่งวินาที หรือจำนวนรอบของคลื่น AC ในหนึ่งวินาที ความถี่ถูกวัดในหน่วยเฮิร์ตซ์ (Hz) และระบบไฟฟ้าทั่วไปใช้ระบบ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์
- 5) ความสัมพันธ์กับสัญญาณอื่น: แรงดันไฟฟ้า AC สามารถระบุความสัมพันธ์กับคลื่น AC อื่น ๆ หรือสัญญาณคลื่นอื่น ๆ โดยใช้ค่าของความสัมพันธ์ที่เรียกว่า "phase" หรือ เฟส ซึ่งระบุความสัมพันธ์ในระดับเวลาระหว่างสองสัญญาณ
- 6) ความคงที่: แรงดันไฟฟ้า AC มีความคงที่ในค่าความสูงและความถี่ขณะที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา แรงดันไฟฟ้า AC ควรมีค่าคงที่ตลอดเวลาเพื่อให้ระบบไฟฟ้าทำงานอย่างเสถียรและประสิทธิภาพ

2.1.2 กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า (Electric current) คือการไหลของประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในประจักษ์สามารถถูกนำพาโดยไอออนได้เช่นกันในสารอิเล็กโทรไลต์ หรือโดยทั้งไอออนและอิเล็กตรอนเช่นใน พลาสมา

กระแสไฟฟ้ามีหน่วยวัด SI เป็น แอมแปร์ ซึ่งเป็นการไหลของประจุไฟฟ้าที่ไหลข้ามพื้นผิวหนึ่งด้วยอัตราหนึ่ง คูლობ์ ต่อวินาที กระแสไฟฟ้าสามารถวัดได้โดยใช้ แอมป์มิเตอร์

กระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดผลหลายอย่าง เช่น ความร้อน (Joule heating) ซึ่งผลิต แสงสว่าง ในหลอดไฟ และยังก่อให้เกิด สนามแม่เหล็ก อีกด้วย ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายใน มอเตอร์, ตัวเหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

อนุภาคที่นำพาประจุถูกเรียกว่า พาหะของประจุไฟฟ้า ในโลหะตัวนำไฟฟ้า อิเล็กตรอนจากแต่ละอะตอมจะยึดเหนี่ยวอยู่กับอะตอมอย่างหลวม ๆ และพวกมันสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระอยู่ภายในโลหะนั้นภายใต้สภาวะการณหนึ่ง อิเล็กตรอนเหล่านี้เรียกว่า อิเล็กตรอนนำกระแส (Conduction Electron) พวกมันเป็นพาหะของประจุในโลหะตัวนำนั้น

กระแสไฟฟ้า (I) เกิดขึ้นจากการไหลของอิเล็กตรอนผ่านวัสดุชนิดหนึ่ง นั่นคือการถ่ายโอนประจุไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ถ้าอยู่ในสนามไฟฟ้าซึ่งสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองบริเวณ เพราะฉะนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงจำเป็นในการทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าเป็นวงจรปิดประกอบด้วยแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

2.1.2.1 กระแสตรงไฟฟ้ากระแสตรง DC

กระแสตรงไฟฟ้า (Direct Current, DC) คือ ประเภทของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในทิศทางเดียวเสมอ โดยไม่มีการสลับทิศทางไปมาตลอดเวลา กระแส DC มีค่าคงที่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่เหมือนกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ที่มีคลื่น sinusoidal ที่สลับไปมาตลอดเวลา

กระแส DC มีลักษณะที่กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว โดยไม่มีการสลับทิศทาง เปรียบเสมือนน้ำที่ไหลในท่อหรือแม่น้ำที่ไหลในทิศทางเดียว นอกจากนี้ กระแส DC มีความคงที่มีค่าคงที่ตลอดเวลา และไม่มีความสัจจร ไม่เปลี่ยนทิศทางตลอดเวลาเหมือนกระแสไฟฟ้าสลับทิศทาง

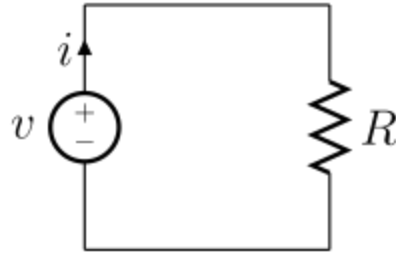
กระแส DC มักใช้ในหลายแอปพลิเคชันและอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าตรงหลายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แบตเตอรี่, มอเตอร์ DC, อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์, และอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ ใช้กระแส DC เพื่อการทำงานอย่างเสถียรและประสิทธิภาพ

คำว่า "ตรง" (Direct) ในกระแสตรงไฟฟ้าหมายถึงการไหลในทิศทางเดียว โดยไม่มีการสลับทิศทาง เพื่อเขียนแผนการและดำเนินการในรูปแบบที่เสถียร ในกระแส DC นี้ถือเป็นไปตาม

ความคงเสถียรและไม่มีควมสัจจาระหว่างเวลา เป็นจุดเด่นของกระแส DC ที่มีความสมบัติที่สถิตและไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความคงที่และควบคุมแม่นยำของพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ไม่สลับทิศทาง

● **หลักการของกระแสตรงไฟฟ้าได้รับการอธิบายดังนี้:**

- 1) การสร้างกระแสตรงไฟฟ้า: กระแสตรงไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สลับทิศทาง เช่น แบตเตอรี่, แผงโซลาร์เซลล์, หรืออุปกรณ์ที่เรียกว่า "ตัวแปลงกระแสตรง" (DC power supply) ซึ่งแปลงกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) เป็นกระแสตรง
- 2) ความคงที่: กระแสตรง DC มีค่าคงที่ตลอดเวลา ไม่มีการสลับทิศทางหรือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตลอดเวลา นี้ทำให้กระแส DC มีคุณสมบัติที่สถิตและไม่มีควมสัจจ
- 3) การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์: กระแส DC มักใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น มอเตอร์ DC, หลอดไฟ LED, อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ โดยการป้องกันควมเสียหายที่เกิดจากความไม่แม่นยำของแรงดันไฟฟ้า AC
- 4) การเติมแบตเตอรี่: การเติมแบตเตอรี่หรือแบตเตอรี่แห้งทำโดยใช้กระแส DC เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในภายหลัง
- 5) การใช้งานพลังงานตรง: แบตเตอรี่และแหล่งพลังงานตรงอื่น ๆ ใช้กระแส DC เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าตรงให้กับอุปกรณ์และระบบที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบนี้
- 6) การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์: กระแส DC มักใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น มอเตอร์ DC, หลอดไฟ LED, อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ โดยการป้องกันควมเสียหายที่เกิดจากความไม่แม่นยำของแรงดันไฟฟ้า AC



รูปที่ 2.3 วงจรกระแสตรง

2.1.2.2 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ AC

กระแสไฟฟ้าสลับ (Alternating Current, AC) เป็นรูปแบบของกระแสไฟฟ้าที่มีการสลับทิศทางไปมาตลอดเวลา คลื่น AC มีลักษณะคลื่นที่คล้ายคลื่น sinusoidal ที่สลับทิศทางและมีความสมดุล โดยที่ค่าความสูงของคลื่น AC เปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา แต่ความสูงนี้สามารถเปลี่ยนไปตามเวลาและตามความถี่ที่กำหนด

คลื่น AC มีความสัมพันธ์กับเวลาและมีความคงที่ในรูปของความถี่ (frequency) ที่หน่วยเฮิรตซ์ (Hz) ซึ่งระบุจำนวนคลื่นที่สร้างขึ้นต่อวินาที. คลื่น AC สามารถทำงานในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในหลายแนวทาง, เช่น การขับเคลื่อนมอเตอร์, การสร้างความเย็นในระบบปรับอากาศ, และการให้พลังงานไฟฟ้าในบ้านและอุตสาหกรรม

คลื่น AC สลับทิศทางไปมาตลอดเวลาตามระบบ 50 หรือ 60 เฮิรตซ์ (Hz) ซึ่งใช้ในประเทศต่าง ๆ โดยทั่วไป คุณสมบัตินี้ทำให้สามารถถ่ายเทความสูงของแรงดันไฟฟ้าผ่านสายไฟในระบบไฟฟ้า และมีความคงที่ในการใช้งานและการสื่อสารกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้ระบบไฟฟ้าสลับ AC

ในกระแสสลับ (AC) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้ากลับไป - กลับมาอย่างรวดเร็ว เช่นไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านหรืออาคารทั่วไป รูปร่างเป็น sine wave ในบางอย่างอาจเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือรูปสี่เหลี่ยม ส่วนใหญ่มีกระแสสูง อันตรายมาก สามารถผลิตจากไฟ DC ได้ แต่ในขนาดเล็ก เช่นเปลี่ยนจากไฟเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็น AC เพื่อให้แสงสว่างหรือเปิดทีวีในพื้นที่ห่างไกล ระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ ดังนี้

- 1) ระบบไฟฟ้า 1 เฟส คือระบบไฟฟ้าที่มีสายไฟฟ้าจำนวน 2 เส้น เส้นที่มีไฟเรียกว่าสายไฟ หรือสายเฟส หรือสายไลน์ เขียนแทนด้วยตัวอักษร L (Line) เส้นที่ไม่มีไฟเรียกว่าสายนิวทรัล หรือสายศูนย์ เขียนแทนด้วยตัวอักษร N (Neutral) ทดสอบได้โดยใช้ไขควงวัดไฟ เมื่อใช้ไขควงวัดไฟแตะสายเฟส หรือสายไฟ หรือสายไลน์ หลอดไฟเรืองแสงที่อยู่ภายในไขควงจะติด สำหรับสายนิวทรัล หรือสายศูนย์ จะไม่ติด แรงดันไฟฟ้าที่ใช้มี

ขนาด 220 โวลต์ (Volt) ใช้สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไปที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่มากนัก

- **คุณสมบัติของระบบไฟฟ้า 1 เฟสรวมถึง**

- แรงดัน: ระบบไฟฟ้า 1 เฟสมีแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียว ซึ่งมักเป็น 120 โวลต์ (V) หรือ 230 โวลต์ (V) ที่หลายประเทศใช้

- ความถี่: ความถี่ของระบบไฟฟ้า 1 เฟสใช้งานทั่วไปมักเป็น 60 เฮิร์ตซ์ (Hz) ในสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ๆ ที่ใช้ระบบไฟฟ้า 60 เฮิร์ตซ์ และ 50 เฮิร์ตซ์ ในหลายส่วนของโลก

- การใช้งาน: ระบบไฟฟ้า 1 เฟสใช้งานในหลายแอปพลิเคชันที่ไม่ต้องการพลังงานไฟฟ้ามาก เช่น ระบบไฟฟ้าในบ้าน, ร้านค้า, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เล็ก ๆ, และอุปกรณ์เครื่องมือแบบพกพา

- การจัดการพลังงาน: ระบบไฟฟ้า 1 เฟสมีความจำเป็นในการจัดการพลังงานไฟฟ้าและมักใช้ในแอปพลิเคชันที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่มากนัก

- การต่อเข้ากับอุปกรณ์: ระบบไฟฟ้า 1 เฟสสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเฟสเดียว เช่น หลอดไฟ, มอเตอร์, และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เล็ก ๆ โดยง่าย

ระบบไฟฟ้า 1 เฟสเป็นระบบไฟฟ้าที่สำคัญในชีวิตประจำวันและมีการใช้งานและการปรับใช้ในหลายแวดวงของสังคม เพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กหรือปกติในบ้านและธุรกิจ

- 2) ระบบไฟฟ้า 3 เฟส คือระบบไฟฟ้าที่มีสายเส้นไฟจำนวน 3 เส้น และสายนิวทรัล 1 เส้น จึงมีสายรวม 4 เส้น ระบบไฟฟ้า 3 เฟส สามารถต่อใช้งานเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส ได้ โดยการต่อจากเฟสใดเฟสหนึ่งและสายนิวทรัลอีกเส้นหนึ่ง แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสเส้นใดเส้นหนึ่งกับสายนิวทรัลมีค่า 220 โวลต์ (Volt) และแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสด้วยกันมีค่า 380 โวลต์ (Volt) ระบบนี้จึงเรียกว่าระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 220/380 โวลต์ (Volt) ระบบนี้มีข้อดีคือสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าระบบ 1 เฟส ถึง 3 เท่า จึงเหมาะสมกับสถานที่ที่ต้องการใช้ไฟฟ้ามาก ๆ เช่น อาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

- **คุณสมบัติของระบบไฟฟ้า 3 เฟสรวมถึง**

- 3 เฟส: ระบบไฟฟ้า 3 เฟสมี 3 เฟสที่สลับทิศทาง 120 องศาอยู่ระหว่างเฟสที่เลื่อนไปตามช่วงเวลาและมีการกำหนดค่าความสูงแรงดันในแต่ละเฟส. การใช้ 3 เฟสช่วยให้กระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องและสมดุล และสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากขึ้น

- ความถี่: ระบบไฟฟ้า 3 เฟสมักมีความถี่ 60 ฮีร์ตซ์ (Hz) ในสหรัฐอเมริกาและประเทศบางแห่ง, และ 50 ฮีร์ตซ์ (Hz)

- การใช้งาน: ระบบไฟฟ้า 3 เฟสมักใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการพลังงานไฟฟ้ามาก, เช่น โรงงานผลิต, โรงแรม, อาคารสูง, และอุปกรณ์ที่ต้องการทรัพยากรพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก เรียกว่า "โหราศาสตร์ไฟฟ้า"

- การจัดการพลังงาน: ระบบไฟฟ้า 3 เฟสช่วยในการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีความมากมายและมีคุณสมบัติที่ให้ความสมดุลและความเสถียรในระบบไฟฟ้าใหญ่

- การต่อเข้ากับอุปกรณ์: ระบบไฟฟ้า 3 เฟสสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส, หลอดไฟ 3 เฟส, และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

2.1.3 แรงบิด (Torque)

แรงบิด (Torque) คือ ความสามารถในการกวนหมุนหรือทราบอัตราการหมุนของวัตถุที่เป็นที่ลุกตำแหน่งเมื่อมีแรงบิดที่มีผลบนมัน แรงบิดจะทำให้วัตถุหมุนเกิดความเร็วหมุน หรือเสถียรภาพขณะหมุน นั่นคือ, ความสามารถในการกวนหมุนหรือสร้างประจุบนวัตถุที่มีแรงบิดที่กระทำ

แรงบิดมักถูกวัดในหน่วยของ นิวตันเมตร (Newton-Meter) หรือเทอร์คเมตร (torque meter), แต่อาจเรียกว่าเทอร์ค (torque) หรือพลังบิด (turning force) ในบางกรณี นี่เป็นค่าที่สำคัญในการวัดแรงที่ใช้ในการหมุนวัตถุ เช่น ในการหมุนล้อรถยนต์, การหมุนเพลลาเครื่องจักร, การหมุนสกรูหรือสลัก, และการหมุนความต้องการของเครื่องจักรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ การหมุนเครื่องจักร, เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า, แรงบิดที่กำหนดขึ้นจะมีผลต่อความเร็วและแรงที่เกิดขึ้นในการหมุนของเครื่องจักร

แรงบิดมักถูกหาจากการคูณระยะที่แรงบิดกระทำกับความสมบูรณ์แรงบิด โดยมีสูตร
คำนวณว่า:

สูตรการหาแรงบิด จาก RPM และ Power

$$Torque = \frac{Power \times 9.5488}{Speed(RPM)}$$

เมื่อ Torque = แรงบิด (N. m)

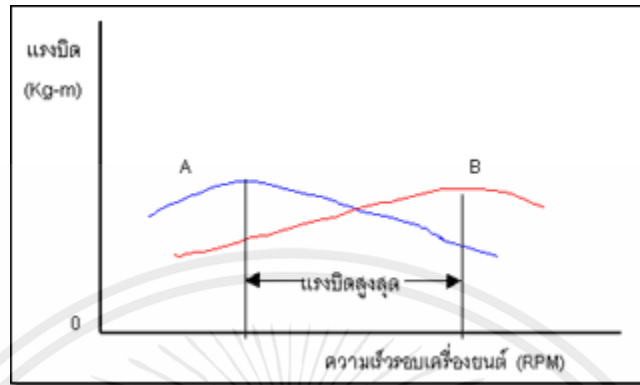
Power = กำลังไฟฟ้า (W)

Speed = ความเร็วรอบ (RPM)

- คุณสมบัติของแรงบิด (Torque)

- 1) หน่วยวัด: แรงบิดวัดในหน่วยของ นิวตัน-เมตร (Newton-Meter, Nm) หรือ แฮร์-เมตร (Horsepower-Meter, HPM)
- 2) ทิศทาง: แรงบิดมีทิศทางเหมือนกับแรงบิดที่กระทำต่อมัน แรงบิดที่กระทำตามเข็มนาฬิกาจะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงบิดที่กระทำตรงตรงข้ามกับเข็มนาฬิกา
- 3) การเปลี่ยนแปลงความเร็ว: แรงบิดมีความสามารถในการเปลี่ยนความเร็วของวัตถุที่กำลังหมุน โดยที่ความเร็วเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าแรงบิดที่กระทำ
- 4) ings ความกว้างของการกระทำแรง: แรงบิดสามารถกระทำที่จุดใดบนวัตถุก็ได้, และคุณสมบัตินี้เกี่ยวข้องกับการทำงานของมาร์ซินแรงบิด ที่อาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่แรงบิดเมื่อทำงานในจุดที่ไม่ใช่จุดหมุน
- 5) ความสมดุล: แรงบิดจะต้องสมดุลกับแรงเคลื่อนที่ทำให้วัตถุหมุนได้อย่างสมดุลและเสถียร
- 6) การหมุนในการหมุนหรือการเคลื่อนที่: แรงบิดมักมีผลบนความเร็วและความเร่งในการหมุนหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- 7) การปรับใช้: แรงบิดมีการปรับใช้ในหลายแอปพลิเคชัน, เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิต, การขับเคลื่อน, การใช้งานในรถยนต์, และการใช้งานเครื่องจักร

- 8) ความเหมาะสมกับงาน: คุณสมบัติแรงบิดต้องเหมาะสมกับงานและอุปกรณ์ที่ใช้งาน เพื่อให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ตัวอย่างการคำนวณที่ 2.1 จากการทดสอบประสิทธิภาพจากเครื่อง Dyno Test วัดความเร็วรอบได้ที่ 450 RPM และมีกำลังไฟฟ้า 300W

$$Torque = \frac{Power \times 9.5488}{Speed(RPM)}$$

จากนั้นแทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned} Torque &= \frac{300 \times 9.5488}{450} \\ &= 6.365 N.m \end{aligned}$$

สูตรการหาแรงม้า

$$Hp = \frac{Power}{745.7W}$$

เมื่อ Power = กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (W)

ค่าคงที่ของ Power = 745.7 (W)

Hp = แรงม้า

ตัวอย่างการคำนวณที่ 2.2 จากค่าที่วัดได้จากตัวอย่างการคำนวณที่ 2.1 จะมีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 300W
จากค่าที่วัดได้จากตัวอย่างการคำนวณที่ 2.1 จะมีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 300W

$$Hp = \frac{300}{745.7}$$

$$= 0.402Hp$$

2.1.4 ความเร็วรอบ (RPM)

ความเร็วรอบ หรือ รอบต่อนาที หรือ Revolutions per minute (ตัวย่อ rpm, RPM, rev/min, r/min) คือจำนวนรอบในหนึ่งนาทีที่เป็นหน่วยของความเร็วในการหมุนหรือความถี่ของการหมุนรอบแกนคงที่ นี่คือนิยามที่อธิบายจำนวนครั้งที่วัตถุหมุนรอบในหนึ่งนาที วิศวกรนี้สามารถเป็นอะไรก็ได้เช่นลูกสูบในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เคลื่อนไหวข้อเท้า หรือก้านหลุมหมุนรอบ การหมุนต่อนาทีเป็นหัวข้อที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพูดถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วย RPM ที่สูงขึ้นจะผลิตพลังงานมากขึ้นสำหรับปริมาณพลังงานเท่ากันในแต่ละรอบ โดยทั่วไปจะสะดวกที่จะทำให้ RPM ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงกับความถี่ของกริดไฟฟ้า (หรือหลายความถี่นั้น) แม้ว่าความถี่กริดมักจะวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hz) แทนที่จะเป็น RPM (การแปลงที่มีประโยชน์สองแบบ: 1 RPM = 0.02 Hz และ 50 RPM = 1 Hz)

- **ทฤษฎีความเร็วรอบ (RPM) ที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของวัตถุสามารถสรุปได้ดังนี้**

- 1) RPM คำนวณจากจำนวนรอบที่วัตถุทำไปในหนึ่งนาที (หรือหน่วยเวลา อื่น ๆ) โดยใช้สูตร: $RPM = (\text{จำนวนรอบ}) / (\text{เวลาในนาที})$
- 2) หากวัตถุหมุนหนึ่งรอบต่อวินาที (1 รอบต่อวินาที) จะมีค่า RPM เท่ากับ 60 RPM เนื่องจากมี 60 วินาทีในหนึ่งนาที
- 3) 3) ความเร็วรอบ (RPM) มีความสัมพันธ์กับความเร็วเชิงเส้นของวัตถุที่หมุน โดย RPM จะสูงขึ้นเมื่อวัตถุหมุนเร็วขึ้นและต่ำลงเมื่อวัตถุหมุนช้าลง

ทฤษฎีความเร็วรอบมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานทางวิทยาศาสตร์ เทคนิค และอุตสาหกรรมเพื่อวัดและคำนวณความเร็วของการหมุนของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นเครื่องจักร มอเตอร์ รถยนต์ เครื่องบิน และอื่น ๆ ที่มีการหมุนเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานของพวกนี้ โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

สูตรการหา RPM จาก Hz

$$RPM = Hz \times 60$$

เมื่อ RPM = ความเร็วรอบ

Hz = ความถี่

ตัวอย่างการคำนวณที่ 2.3 จากการวัดความเร็วรอบด้วยเซนเซอร์ โดยมีความถี่อยู่ที่ 6 Hz

$$\begin{aligned} RPM &= 6 \times 60 \\ &= 360rpm \end{aligned}$$

2.1.4.1 การหาความเร็วกิโลเมตรต่อชั่วโมงจากความเร็วรอบ (RPM)

เพื่อหาความเร็วในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) จากความเร็วรอบ (RPM) ของล้อหรือวัตถุที่หมุนเป็นวงกลม, คุณต้องรู้รัศมี (หรือระยะทางจากศูนย์กลางของการหมุนไปยังขอบของวัตถุ) ของวัตถุนั้น โดยที่การหาความเร็ว กม/ชม นั้น จะนำค่าจากเซนเซอร์ที่วัดได้มาคำนวณหาความเร็ว กม/ชม จะหาได้จากสูตรดังนี้

สูตรการหาเส้นรอบวง

$$L = 2\pi r$$

เมื่อ L = เส้นรอบวง (m)

r = รัศมี (m)

สูตรการหาความเร็วรอบต่อวินาที

$$R1 = L \times Hz$$

เมื่อ $R1$ = ความเร็วรอบต่อวินาที (m/s)

L = เส้นรอบวง (m)

Hz = ความถี่ (Hz)

สูตรการหาความเร็วรอบต่อนาที

$$R2 = R1 \times 60$$

เมื่อ $R2$ = ความเร็วรอบต่อนาที (m/min)

$R1$ = ความเร็วรอบต่อวินาที (m/s)

สูตรการหาความเร็วรอบต่อชั่วโมง

$$R3 = R2 \times 60$$

เมื่อ $R3$ = ความเร็วรอบต่อชั่วโมง (m/h)

$R2$ = ความเร็วรอบต่อนาที (m/min)

สูตรการหาความเร็วรอบกิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$R4 = \frac{R3}{1000}$$

เมื่อ $R4$ = ความเร็วรอบกิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h)

$R3$ = ความเร็วรอบต่อชั่วโมง (m/h)

ตัวอย่างการคำนวณที่ 2.4 จากการทดสอบประสิทธิภาพรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าบนเครื่อง Dyno Test วัด
ความถี่ได้ 6.5 Hz และรัศมีของล้ออยู่ที่ 0.2025 เมตร

จากสูตร

$$L = 2\pi r$$

$$L = 2 \times \pi \times 0.2025$$

$$= 1.272m$$

จากนั้นหาความเร็วรอบต่อวินาที

$$R1 = L \times Hz$$

$$R1 = 1.272 \times 6.5$$

$$= 8.268m / s$$

จากนั้นหาความเร็วรอบต่อนาที

$$R2 = R1 \times 60$$

$$R2 = 8.268 \times 60$$

$$= 496.08m / min$$

จากนั้นหาความเร็วรอบต่อชั่วโมง

$$R3 = R2 \times 60$$

$$R3 = 496.08 \times 60$$

$$= 29764.8m / h$$

จากนั้นหาความเร็วกิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$R4 = \frac{R3}{1000}$$

$$R4 = \frac{29764.8}{1000}$$

$$= 29.7648 \text{ km / h}$$

2.1.5 กำลังไฟฟ้า (Power)

ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า (Electrical Power) เป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายพลังงานที่ถูกแปลงจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรไฟฟ้า เหตุการณ์นี้มักเกี่ยวข้องกับการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า และมีหน่วยวัดในหน่วยวัตต์ (Watt) ที่แสดงความสามารถในการทำงานหรือส่งพลังงานไฟฟ้า

- ทฤษฎีกำลังไฟฟ้าถูกบอกโดยสูตรต่อไปนี้:

$$\text{กำลังไฟฟ้า (P)} = \text{กระแสไฟฟ้า (I)} \times \text{แรงดันไฟฟ้า (V)}$$

กำลังไฟฟ้า (P) มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) และแสดงความสามารถในการทำงานหรือส่งพลังงานไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า (I) มีหน่วยเป็นแอมป์ (Ampere) และแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร

แรงดันไฟฟ้า (V) มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt) และแสดงแรงดันหรือความสูงของความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้า

2.1.5.1 หลักการของกำลังไฟฟ้า

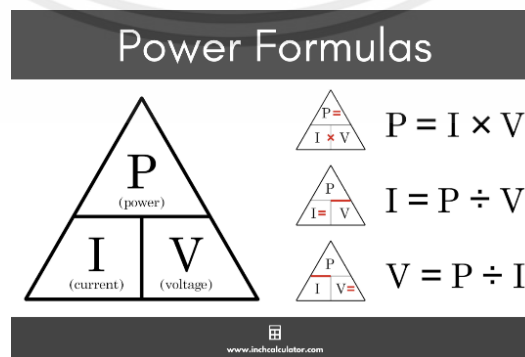
- 1) แรงดันไฟฟ้า (Voltage, V) แรงดันไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของพลังงานไฟฟ้าในระบบ ค่าแรงดันไฟฟ้าวัดในหน่วยโวลต์ (Volt, V) และมีหน่วยอ้างอิงเป็นโวลต์

- 2) กระแสไฟฟ้า (Current, I) กระแสไฟฟ้าคือปริมาณของกระแสที่ไหลผ่านในวงจร กระแสไฟฟ้าวัดในหน่วยแอมป์ (Ampere, A) และมีหน่วยอ้างอิงเป็นแอมป์
- 3) ความต้านทาน (Resistance, R) ความต้านทานคือคุณสมบัติของวัตถุของวัตถุที่ต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า ความต้านทานวัดในหน่วยโอห์ม (Ohm, Ω) และมีหน่วยอ้างอิงเป็นโอห์ม
- 4) กำลังไฟฟ้า (Power, P) กำลังไฟฟ้าคือผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการ $P = VI$ ซึ่งหน่วยวัดกำลังไฟฟ้าคือวัตต์ (Watt, W) และมีหน่วยอ้างอิงเป็นวัตต์

การคำนวณกำลังไฟฟ้าช่วยในการเข้าใจประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า และช่วยในการวัดและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในหลายแหล่งที่ใช้ไฟฟ้า เช่น ในบ้าน, โรงงาน, หรือโรงไฟฟ้า. การเข้าใจกำลังไฟฟ้าช่วยในการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่าย

กำลังไฟฟ้า(Electric Power) บนเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดจะมีตัวเลขกำกับไว้เสมอ เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ เช่น หม้อหุงข้าว ขนาด "220 V 800 W" 200 V หมายถึง หม้อหุงข้าวใบนี้ใช้กับไฟที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ ส่วน 800 W หมายถึง ค่าพลังงานที่หม้อหุงข้าวนี้ใช้ใน เวลา 1 วินาที หรือ เรียกว่ากำลังไฟฟ้า ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไปในเวลา 1 วินาที เช่น เตารีด 1,000 วัตต์ คือ เมื่อใช้เตารีดนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1,000 จูลต่อวินาที หรือวัตต์

กำลังไฟฟ้า จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า เขียนสมการได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สูตรการคำนวณกำลังไฟฟ้า

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ของ Dyno Test

2.2.1 Dyno Test

Dyno test คือการทดสอบและวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์หรือเครื่องกลโรลเลอร์ (engine or rolling road) โดยใช้เครื่องมาตรวัดแรงบิดและแรงม้า เพื่อให้ทราบค่าแรงบิด (torque) และความเร็ว (rpm) ของเครื่องยนต์หรือเครื่องกลโรลเลอร์เมื่อทำงานในเงื่อนไขที่แน่นอน ซึ่งช่วยในการประเมินและวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์หรือระบบที่ถูกทดสอบ

Dyno test มักทำในรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์เพื่อวัดแรงม้า (horsepower) และแรงบิด (torque) ของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งในยานพาหนะ โดยทั่วไปท่านสามารถทดสอบเครื่องยนต์ในเงื่อนไขเดิมที่ใช้ในการขับรถ หรือในเงื่อนไขทดสอบแบบควบคุมได้อย่างแม่นยำ ผลลัพธ์จาก dyno test จะแสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ โดยรวมและที่แต่ละระดับของความเร็วหรือความเร็วของเครื่องยนต์ (rpm) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรับแต่งเครื่องยนต์, ตรวจสอบปัญหา, หรือทดสอบประสิทธิภาพของระบบในรถยนต์

Dyno test ยังสามารถใช้ในรถแข่งรถ (racing cars) เพื่อวัดแรงม้าและแรงบิดในรถแข่ง และในงานวิจัยและพัฒนาในอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องจักรอื่น ๆ เพื่อวัดแรงม้าและแรงบิดของเครื่องยนต์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในเงื่อนไขทดสอบที่มาตรฐาน

Dynamometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังงาน แรงม้า แรงบิด และอื่นๆ ของเครื่องยนต์ ได้รับการเรียกขานกันโดยทั่วไปว่า Dyno - ไตโนหรือการทดสอบบน Dyno test สำหรับการทดสอบรถยนต์แบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

2.2.1.1 Engine Dynamometer

เป็น Dyno ที่ใช้ทดสอบกำลังงานของเครื่องยนต์โดยตรงที่ไม่มีการผ่านโหลดหรือระบบส่งกำลังใดๆ เรียกว่าการวัดกำลังงานที่หน้าฟลายวีล ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังงานแรงม้าและแรงบิดของเครื่องยนต์จริงๆ Dyno ประเภทนี้จะถูกใช้ในโรงงานผลิตรถยนต์ และผู้ผลิตรถยนต์จะใช้ค่าดังกล่าวนี้แจ้งข้อมูลกำลังงานของเครื่องยนต์ให้ผู้บริโภคทราบ (ค่ากำลังงานที่วัดจากฟลายวีลจะสูงกว่าค่าที่วัดจ่ายเพลลาหรือล้อประมาณ 10-15%)

2.2.1.2 Chassis Dynamometer

เป็น Dyno ที่วัดกำลังงานของเครื่องยนต์ที่มีการถ่ายทอดกำลังงานผ่านเกียร์และเพลลาขับหรือเฟืองท้ายมาแล้ว การทดสอบจะต้องถอดล้อคู่หน้าหรือหลังที่เป็นล้อขับเคลื่อนออก เพื่อทำการสวมอะแดปเตอร์ของ Dyno เข้ากับเพลลา Dyno ประเภทนี้มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัย

และสามารถจำลองโหลดในสภาวะต่างๆ ได้แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการทดสอบมาก เพราะต้องถอด-ใส่ ล้อ และการจัดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์

2.2.1.3 Roller Dynamometer

เป็น Dyno ที่วัดกำลังงานของเครื่องยนต์ที่มีการถ่ายทอดกำลังงานผ่านเกียร์และเพลาขับหรือเฟืองท้ายมาแล้วเช่นเดียวกับ Chassis Dynamometer แต่ต่างกันตรงที่วิธีการทดสอบ โดย Roller Dynamometer จะมีความสะดวกมากกว่า เพราะไม่ต้องถอดล้อ สามารถนำรถขึ้น Dyno เพื่อทดสอบได้เลย เพราะ Dyno แบบนี้จะมีลูกกลิ้งทำหน้าที่รองรับการหมุนของล้อ จำลองโหลด และบันทึกค่าต่างๆ Dyno ประเภทนี้ได้รับความนิยมแพร่หลายที่สุด เนื่องจากความสะดวกตามที่บอกไป และยังสามารถทดสอบค่าต่างๆ ได้ใกล้เคียงกับการขับบนถนนจริงที่สุดทั้งนี้ค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับการทดสอบบนถนนจริงมากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้หรือเลือกทดสอบบน Dyno ที่มีประสิทธิภาพด้วย Dyno ประเภท Roller Dynamometer

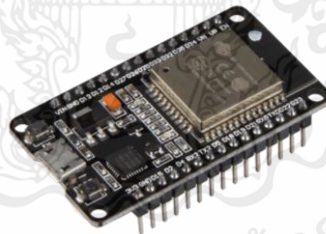
- ขั้นตอนและหลักการของ dyno test ประกอบด้วย
 - 1) การติดตั้งบน Dyno ยานพาหนะหรือเครื่องยนต์จะถูกติดตั้งบน Dyno (เครื่องวัดแรงดัน). Dyno มีลูกบิดหรือโรลเลอร์ที่แขวนกับล้อหน้าหรือล้อหลังของยานพาหนะ และสามารถสร้างคาบดิ่งในทิศทางที่ต้องการ
 - 2) การรับสัญญาณ มีเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดแรงม้าและแรงบิดขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังระบบมาตรวัด
 - 3) การทดสอบ เครื่องยนต์จะถูกเปิดทำงานและใช้กำลังในระหว่างที่ยานพาหนะหรือเครื่องยนต์ยังติดตั้งบน Dyno. การทดสอบนี้จะใช้เรดที่แตกต่างกันเช่นความเร็วหรือคาบดิ่งของล้อในการคำนวณแรงม้าและแรงบิด
 - 4) การวัดแรงม้าและแรงบิด: Dyno จะวัดแรงม้าและแรงบิดที่เครื่องยนต์สร้างขึ้นที่แต่ละความเร็วหรือเรดที่ผลลัพธ์นี้จะแสดงในกราฟหรือชาร์ตที่แสดงแรงม้าและแรงบิดข้างที่แยกตามความเร็วหรือเรดที่ของเครื่องยนต์
 - 5) การวิเคราะห์ผลลัพธ์: ข้อมูลที่ได้จาก dyno test สามารถใช้ในการปรับแต่งและพัฒนาเครื่องยนต์หรือระบบเช่นเพิ่มแรงม้าหรือแรงบิดในช่วงความเร็วที่มากขึ้นหรือลดการใช้พลังงาน

2.2.2 ESP32

ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Espressif Systems ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มด้านการเชื่อมต่อไร้สาย (Wireless Connectivity) ระดับสูงที่ใช้เทคโนโลยี Wi-Fi และ Bluetooth Low Energy (BLE) ในการสื่อสาร. ESP32 ถูกออกแบบให้เหมาะสำหรับการพัฒนาโปรแกรมและโปรเจกต์ต่าง ๆ ที่ต้องการการเชื่อมต่อไร้สายและความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์หลาย ๆ ตัวได้ ซึ่งทำให้มันเป็นที่นิยมในการสร้างโปรเจกต์เชิง IoT (Internet of Things) และโปรเจกต์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุปกรณ์ที่สื่อสารผ่านระบบไร้สาย.

ESP32 มาพร้อมความสามารถที่หลากหลายรวมถึงการประมวลผล CPU dual core, การรองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2, GPIO (General Purpose Input/Output) pins ในการควบคุมอุปกรณ์และเซนเซอร์ต่าง ๆ, การสนับสนุนการเชื่อมต่อการ์ด microSD, การเรียนรู้เสมือนจริง (virtual reality) และการเชื่อมต่อหน้าจอ LCD รวมถึงความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา Python และ C/C++ ผ่าน Arduino IDE หรือต่างๆ Platform พัฒนา.

ESP32 ถูกนำมาใช้ในการสร้างโครงการที่ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ เช่น โครงการอัจฉริยะที่ใช้เซนเซอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, แสง หรือโครงการที่ควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไร้สาย และอื่นๆ อีกมากมายที่เกี่ยวข้องกับ IoT และการเชื่อมต่อไร้สายในชีวิตประจำวัน



รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino UNO R3

ESP32 (Espressif System Processor 32) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อไร้สายผ่าน Wi-Fi และ Bluetooth ในตัวเดียว โดยมีหลักการทำงานอย่างย่อคือการควบคุมและจัดการฮาร์ดแวร์และโปรแกรมอย่างต่าง ๆ ดังนี้

- การประมวลผล (Processing): ESP32 มาพร้อมหน่วยประมวลผล dual-core Xtensa LX6 CPU ที่ใช้เทคโนโลยีสองคอร์ เพื่อทำงานพร้อมกัน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลและการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้มากขึ้น

- การเชื่อมต่อ Bluetooth: นอกจาก Wi-Fi ยังมีความสามารถในการเชื่อมต่อแบบ Bluetooth Low Energy (BLE) ซึ่งเหมาะสำหรับการควบคุมและการสื่อสารกับอุปกรณ์เช่นสมาร์ทโฟน, แม้จะมีการใช้พลังงานน้อย
- GPIO (General Purpose Input/Output) Pins: ESP32 มีขา GPIO อย่างมาก 34 ขา (หรือมากกว่านั้นในบางรุ่น) ที่สามารถใช้เพื่อควบคุมอุปกรณ์และเซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น LED, โมเตอร์, หน้าจอแสดงผล, หรืออุปกรณ์ที่ต้องการการควบคุมแบบดิจิทัลและอนาล็อก
- การจัดการพลังงาน: ESP32 มีระบบการจัดการพลังงานที่ช่วยลดการใช้พลังงานในโหมดที่ไม่ได้ทำงานอยู่ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการขยายอายุแบตเตอรี่ในการทำงาน
- การโปรแกรม: ESP32 สามารถโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ โดยใช้เครื่องมือพัฒนา เช่น Arduino IDE, PlatformIO, หรือ IDF (IoT Development Framework) ที่พัฒนาโดย Espressif Systems

2.2.3 เซนเซอร์วัดแรงดัน

เซนเซอร์นี้ใช้เพื่อตรวจสอบค่าแรงดันและกำหนดแรงดันไฟฟ้า เซนเซอร์นี้สามารถกำหนดระดับแรงดันไฟฟ้า AC หรือ DC ได้ อินพุตของเซนเซอร์นี้อาจเป็นแรงดันไฟฟ้าในขณะที่เอาต์พุตคือสวิทช์สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบอนาล็อกสัญญาณกระแสสัญญาณเสียง ฯลฯ เซนเซอร์บางตัวมีรูปคลื่นไซน์หรือรูปคลื่นพัลส์เช่นเอาต์พุตและอื่น ๆ สามารถสร้างเอาต์พุตเช่น AM (การมอดูเลตแอมพลิจูด) PWM (การมอดูเลตความกว้างพัลส์) หรือ FM (การมอดูเลตความถี่) การวัดของเซนเซอร์เหล่านี้อาจขึ้นอยู่กับตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้า เซนเซอร์เหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.2.3.1 เซนเซอร์ชนิด Resistive

เซนเซอร์ชนิด Resistive (เรียกอีกชื่อว่า resistive sensors หรือ resistive transducers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดหรือตรวจวัดขนาดหรือสภาพสภาพของวัตถุหรือสภาพแวดล้อม โดยการใช้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของอุปกรณ์ตามเงื่อนไขที่เรียกว่า resistive response. ส่วนใหญ่เซนเซอร์ชนิด Resistive มีความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องการวัด เช่น อุณหภูมิ, ความเป็นฉนวน, แรงกด, ความชื้น, ระดับของสารละลาย, และอื่น ๆ

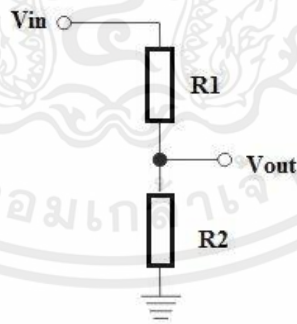
เซนเซอร์ชนิด Resistive ทำงานโดยการใช้ความต้านทานในวงจรที่เปลี่ยนแปลงเมื่อสภาพหรือตัวแปรที่ต้องการวัดเปลี่ยนแปลง ความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงเพื่อส่งสัญญาณไปยัง

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแปลงค่าความต้านทานเหล่านี้เป็นข้อมูลตัวเลขหรือแสดงผลออกมาในรูปแบบที่เราเข้าใจได้

• ตัวอย่างของเซนเซอร์ชนิด Resistive รวมถึง

- 1) เซนเซอร์อุณหภูมิเช่น ตัวอัจฉริยะ (thermistors) และ เซนเซอร์อุณหภูมิเช่น (RTDs)
- 2) เซนเซอร์ความชื้น เช่น หัวตรวจวัดความชื้นแบบอิมปีแดนซ์ (humidity sensors).
- 3) เซนเซอร์แรงกด (force sensors) ที่มีความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามแรงที่ประกอบอยู่
- 4) เซนเซอร์ระดับน้ำ ที่ใช้การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำเปลี่ยนไป

เซนเซอร์ชนิด Resistive มักใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการการวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอุตสาหกรรมอาหาร, การทดสอบและวัด, ระบบควบคุมการอัตราการไหลของของเหลว, และระบบควบคุมอุณหภูมิในอุตสาหกรรมทั่วไป



รูปที่ 2.7 เซนเซอร์แรงดันไฟฟ้าชนิดตัวต้านทาน

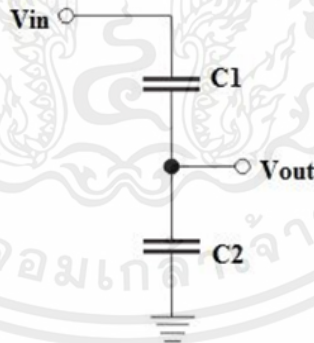
2.2.3.2 เซนเซอร์ประเภทตัวเก็บประจุ

ทฤษฎีเซนเซอร์ประเภทตัวเก็บประจุ (Capacitive Sensors) เป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายการทำงานของเซนเซอร์ที่มีความสัมพันธ์กับความเปลี่ยนแปลงของความจุความจุไฟฟ้าในอุปกรณ์ของเซนเซอร์. เซนเซอร์ประเภทนี้ใช้หลักการการจับตริงความจุและสามารถใช้ในหลากหลายแอปพลิเคชันเพื่อตรวจวัดความห่าง, ตรวจจับวัตถุ, หรือวัดสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, แรงกด, และอื่น ๆ

ทฤษฎีเซนเซอร์ประเภทตัวเก็บประจุนี้มีคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญคือความจุ (Capacitance) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกประจุไฟฟ้าในตัวของเซนเซอร์ และความจุนี้เกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวตัวเก็บประจุและระยะห่างระหว่างตัวเก็บประจุและวัตถุหรือสภาพแวดล้อมที่เราต้องการวัด

เมื่อตัวเก็บประจุของเซนเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หรือระยะห่าง, ความจุของเซนเซอร์จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราที่อธิบายในทฤษฎีเซนเซอร์ประเภทตัวเก็บประจุ ทำให้เราสามารถวัดหรือตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงนี้เพื่อค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมหรือวัตถุที่ต้องการ

เซนเซอร์ประเภทตัวเก็บประจุนี้มักใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการความแม่นยำในการวัดและควบคุม, เช่น เซนเซอร์จอทัชในอุปกรณ์จอแสดงผลที่ซัสกรีน, เซนเซอร์ความชื้นในอุตสาหกรรมอาหาร, และเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุในระบบโรบอติกส์และแมชชีนที่ต้องการการตรวจจับแบบไร้สัมผัส



รูปที่ 2.8 ตัวเก็บประจุชนิดแรงดันไฟฟ้าเซนเซอร์

2.2.3.3 Hall voltage Sensor HV 62

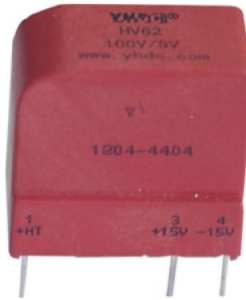
Hall Voltage Sensor HV 62 คืออุปกรณ์เซนเซอร์ประเภท Hall Effect Sensor ที่ใช้ในการวัดแรงแม่เหล็กหรือแรงแม่เหล็กแปรผันที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจรเซนเซอร์. ความสามารถในการวัดแรงแม่เหล็กหรือแรงแม่เหล็กแปรผันที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าในวงจรเป็นผลจาก "Hall Effect" ซึ่งเป็นฤทธิ์การไฟฟ้าของวัสดุที่มีแรงแม่เหล็ก

HV 62 คือรุ่นหรือรหัสรุ่นของเซนเซอร์ Hall Effect และอาจมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติและสเปกตรัมที่เซนเซอร์มี, เช่น ช่วงการวัด, แรงแม่เหล็กสูงสุดที่เซนเซอร์สามารถตรวจจับได้, แรงกระทำที่มีอิทธิพลต่อเซนเซอร์ และความถี่ที่เซนเซอร์สามารถทำงานได้

เซนเซอร์ Hall Effect Sensor สามารถใช้ในหลายแอปพลิเคชัน เช่น ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อวัดการเคลื่อนที่, ในระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์เพื่อวัดความเร็วหรือตำแหน่ง, และในการวัดกระแสไฟฟ้าหรือแรงสนับสนุนในโลกการนิวเคลียร์ และการวิจัย. สามารถต้องการค้นหาคุณสมบัติและข้อมูลเซนเซอร์ HV 62 จากผู้ผลิตหรือแหล่งข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับการใช้งานและการติดตั้งของเซนเซอร์นี้ในแอปพลิเคชันของคุณ

คุณสมบัติของ Hall voltage Sensor HV 62

- อินพุตที่ได้รับการจัดอันดับ: $\pm 50V/\pm 100V/\pm 200V$
- ช่วงการวัดอินพุต: $\pm 70V/\pm 150V/\pm 300V$
- อัตราผลผลิต: $5V \pm$
- ความแม่นยำ: 1%
- ความเป็นเส้นตรง: 0.2%
- แรงดันไฟฟ้า ($\pm 5\%$) $\pm 15V/\pm 12V$
- ทนไฟ: UL94-V0
- อุณหภูมิในการทำงาน: $-10 \sim + 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิการจัดเก็บ: $-25 \sim + 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- แบนด์วิดท์: -
- ความเป็นฉนวน: 2.5KV 50เฮิร์ตซ์1นาที่
- การบริโภคปัจจุบัน: $\leq 15\text{mA}$ + คือ
- ความต้านทานโหลด: $>10\text{K}\Omega$
- ศูนย์ชดเชย $TA = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \pm 30\text{mV}$
- เวลาตอบกลับ: $40 \sim 200 \mu\text{s}$



รูปที่ 2.9 Hall voltage sensor hv 62

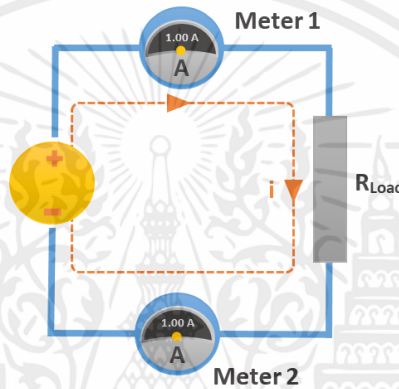
เซ็นเซอร์ Hall Voltage Sensor HV62 (หรือเซนเซอร์ฮอลล์) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงดันฮอลล์ (Hall voltage) ซึ่งเกิดจากการวิ่งของกระแสไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ต่อจุดตรงกลางของเซนเซอร์ Hall

- หลักการทำงานของเซนเซอร์ Hall Voltage Sensor HV62 คือดังนี้

- 1) - การเชื่อมต่อแรงดันฮอลล์: เซนเซอร์ Hall มีหลายขา (pin) ซึ่งประกอบด้วย VCC (Voltage Supply), GND (Ground), OUT (Output), และศักย์สัมผัส (Sense Voltage). เมื่อคุณให้แรงดัน VCC และ GND และวางเซนเซอร์ Hall ในสนามแม่เหล็กที่คุณต้องการวัด แรงดันฮอลล์จะเกิดขึ้นตามความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่วัด
- 2) การสร้างแรงดัน: เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสนามแม่เหล็กที่วัด แรงดันฮอลล์จะเกิดขึ้นในทิศทางที่ตรงกับสนามแม่เหล็กนั้น ๆ และเซนเซอร์ Hall จะสร้างแรงดันในทิศทางนี้บนขา OUT ของเซนเซอร์
- 3) การวัดแรงดัน: แรงดันที่สร้างขึ้นบนขา OUT ของเซนเซอร์ Hall เรียกว่า Hall voltage หรือ Voltage Output. ค่า Hall voltage จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่วัด โดยทั่วไปแล้วเป็นแรงดันไฟฟ้าในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) หรือมีการเพิ่มเท่ากับอัตราของค่า Hall voltage ที่สร้างขึ้น
- 4) การตรวจวัดค่า: ค่า Hall voltage ที่ออกมาจะถูกตรวจวัดและแปลงเป็นค่าแรงดันที่มีค่าใช้งานได้โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในแอปพลิเคชันต่าง ๆ เช่นการวัดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก, การตรวจวัดความเร็วหรือการเคลื่อนที่, ระบบควบคุม, หรือควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่วัด

2.2.4 เซนเซอร์วัดกระแส

หากวงจรหนึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟ และโหลด (R_{Load}) กระแส (I) จะไหลจาก ขั้วบวกของแหล่งจ่าย ผ่านโหลดและไปยังขั้วลบของแหล่งจ่าย ถ้าต้องการทราบกระแส (I) ที่ไหลผ่าน โหลด (R_{Load}) วิธีที่ง่ายที่สุดคือใช้สูตร $I=V/R$ คือต้องทราบแรงดันแหล่งจ่าย (V) ค่าความต้านทานโหลด (R) ก็จะทราบกระแส (I) ที่ไหลผ่านโหลด (R_{Load}) หรือใช้ Multimeter ต่ออนุกรมกับโหลด (R_{Load}) ซึ่ง สามารถวัด ก่อนเข้าโหลด Meter1 หรือหลังโหลด Meter2 ดังรูปที่ 2.9 Meter ทั้งสองจะอ่านกระแสได้ เท่ากันรูปแบบการวัดกระแสมีด้วยกัน 3 ประเภท



รูปที่ 2.10 การวัดกระแสโดยใช้ Multimeter ต่ออนุกรมกับโหลด

2.2.4.1 Current Sensing Resistors

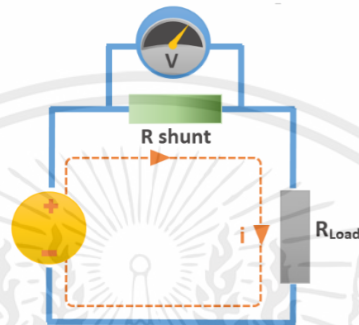
Current Sensing Resistors เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่ ไหลผ่านในวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่ในการสร้างความต้านทานในวงจรซึ่งเปลี่ยนแปลงตาม ขนาดของกระแสที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถนำไปวัดหรือตรวจวัดค่ากระแสนั้นได้ รูปแบบการทำงานและ ออกแบบของ Current Sensing Resistors มีความคล้ายคลึงกับตัวต้านทาน (resistors) ทั่วไป แต่มี คุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า.

Current Sensing Resistors มักมีค่าความต้านทานที่ตรงกับค่ากระแสที่ไหล ผ่านมัน การวัดค่ากระแสสามารถให้ข้อมูลสำคัญในการควบคุมการทำงานของวงจรไฟฟ้า และใช้ใน หลากหลายแอปพลิเคชัน เช่น ในระบบควบคุมกระแสในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, ระบบจ่ายไฟในรถยนต์, ระบบอินเวอร์เตอร์, ระบบอานานิคมสาธารณะ, และอุตสาหกรรมอื่น ๆ.

Current Sensing Resistors มักมีความต้านทานต่ำเพื่อไม่สร้างความสูญเสีย ของพลังงานในวงจร และมักมีค่าความต้านทานที่สามารถทนต่อกระแสไฟฟ้าสูงได้โดยไม่เกิดความ เสียหายหรือทำให้อุปกรณ์ร้อนเกินไป. สามารถหา Current Sensing Resistors ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึง

แผ่นแบบสองขา (surface-mount), โลหะลอยน้ำตาล (shunt resistors), และแบบตัวทอ (thru-hole resistors) ที่ใช้งานและติดตั้งได้อย่างหลากหลายตามแต่ละแอปพลิเคชัน.

การวัดกระแสโดยใช้ R Shunt โดยอาศัยหลักการคือ วัดแรงดันที่ตกคร่อม R ค่าน้อยๆ ซึ่งต่ออนุกรมกับ R Load เรียกว่า R shunt และ คำนวณกลับเป็นกระแส โดยจากสูตร $I = V_{shunt} / R_{shunt}$ และสามารถวัดได้ทั้งไฟ DC และ AC



รูปที่ 2.11 การวัดกระแสโดยใช้ R Shunt

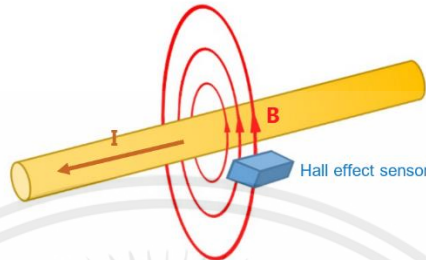
2.2.4.2 Hall Effect Sensor

Hall Effect Sensor (เซนเซอร์ Hall Effect) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี Hall Effect เพื่อวัดหรือตรวจจับแรงแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กแปรผัน หรือแรงที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กในสภาพแวดล้อมหรือวัตถุต่าง ๆ ซึ่งสามารถใช้ในหลากหลายแอปพลิเคชัน. เทคโนโลยี Hall Effect ต้องการอุปกรณ์ Hall Effect Sensor เพื่อทำงาน ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือสามารถตอบสนองต่อแรงแม่เหล็กและสร้างสัญญาณไฟฟ้าตามความเปลี่ยนแปลงในแรงแม่เหล็ก

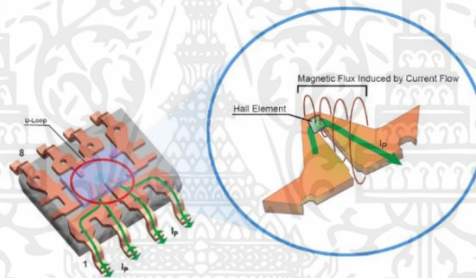
เซนเซอร์ Hall Effect มีคุณสมบัติหลักคือเมื่อตัวเซนเซอร์ได้รับการกระทำด้วยแรงแม่เหล็ก, มันสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามความแรงแม่เหล็ก. สามารถนำสัญญาณไฟฟ้านี้ไปวัดหรือตรวจจับแรงแม่เหล็ก หรือแปลงเป็นข้อมูลตัวเลขที่ใช้ในควบคุมหรือควบคุมระบบในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น ในรถยนต์เพื่อวัดความเร็วของล้อหรือตรวจจับการเปลี่ยนเสถียรภาพ, ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงแม่เหล็ก, และในหลายแอปพลิเคชันแวดล้อมเพื่อวัดแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับน้ำและอุณหภูมิ

เซนเซอร์ Hall Effect มีความคล้ายคลึงกับ Current Sensing Resistors ในบางกรณี แต่มีความสามารถในการวัดแรงแม่เหล็กและมีคุณสมบัติการทำงานที่แตกต่างกัน

Hall effect sensor เป็นการวัดกระแสทางอ้อม เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้ง DC และ AC จะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กรอบสายไฟ เมื่อเซ็นเซอร์ Hall effect อยู่ในบริเวณเส้นสนามแม่เหล็กของสายไฟ จะส่งสัญญาณออกมา ตามระดับสนามแม่เหล็กที่วัดได้



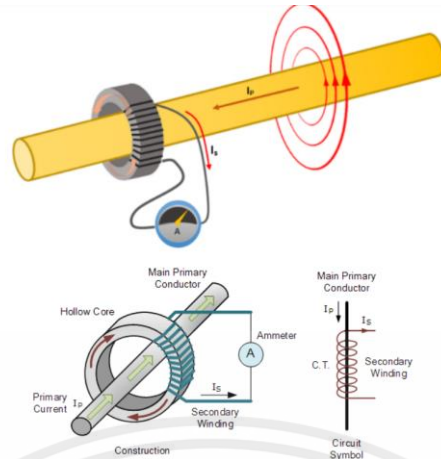
รูปที่ 2.12 การวัดกระแสโดยใช้ Hall effect sensor



รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์ Hall effect ภายในชิปตระกูล ACS

2.2.4.3 Current Transformer

Current Transformer เป็นการวัดกระแสไฟฟ้าทางอ้อมเช่นกัน โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า แต่เปลี่ยนให้ฝั่ง Primary เป็นสายไฟที่ต้องการวัดกระแสแทน และมีเพียงขดลวดฝั่ง Secondary เรียกว่า Current Transformer เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านสายไฟ จะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปมา และไปตัดกับขดลวดที่พันรอบแกน Inductive Sensor- ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่อต่อกับโหนด ซึ่งจะวัดได้เฉพาะกระแสไฟฟ้า AC เท่านั้น กรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้า DC เข้าไปในสายไฟ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะไม่เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก หลักการนี้สามารถนำไปใช้กับ Clamp meter



รูปที่ 2.14 หลักการวัดกระแสโดยใช้ Current transformer

2.2.4.4 Hall split core current sensor model HSTS016L

Hall split core current sensor model HSTS016L เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์รุ่นที่ใช้เทคโนโลยี Hall Effect เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยอุปกรณ์นี้มีลักษณะเป็นคอนเนคเตอร์แบบแขนงแบ่งเป็นสองส่วนที่สามารถแยกออกจากกันและมองเห็นตัวสายไฟที่ผ่านที่มีกระแสไฟฟ้าในรูปแบบแหลมคล้ายคอนเนคเตอร์ โดยอุปกรณ์นี้สามารถตรวจจับกระแสไฟฟ้าโดยวิธีการวัดความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเปลี่ยนแปลงในกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน สามารถนำสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปวัดหรือตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้านั้นได้.

เซนเซอร์วัดกระแส ชนิด เปิด LOOP แยกประเภทแกน แขนงติดตั้ง ตรวจจับ DC, AC และ PULSE current

คุณสมบัติของ Hall split core current sensor model HSTS016L

- เป็นตัวตรวจจับ DC AC และ กระแสพัลส์ ฉนวนสูง
- อินพุตที่กำหนด: $\pm 10A/20A/30A/50A/100A/150A/200A$
- เอาต์พุตสูงสุด: $2.5 \pm 0.625V$
- แรงดันไฟฟ้า ($\pm 5\%$) + 5V
- ความถูกต้อง: 1%
- Linearity: 1%
- เปลวไฟ: UL94-V0
- อุณหภูมิในการทำงาน: $-10 \sim + 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิ: $-25 \sim + 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- แบนด์วิดท์: DC -25KHz
- ความเป็นฉนวน: 2,5KV 50Hz 1min
- Current เชื้อเพลิง: 12mA
- ความต้านทานโหลด: $\geq 10K\Omega$
- Zero Offset TA = 25 °C $\leq \pm 15mV$
- เวลาตอบสนอง: 5 μ S
- น้ำหนัก: 86g



รูปที่ 2.15 Hall split core current sensor model HSTS016L

2.2.5 Photoelectric Sensor

พื้นฐานของ Photoelectric Sensor คือการใช้งานสัญญาณแสงที่ส่งออกมาจากตัวส่ง (Emitter) สู่ตัวรับ (Receiver) หากมีวัตถุมาขวางการรับส่งสัญญาณแสงนั้น ตัวเซนเซอร์ก็จะทำการส่งสัญญาณข้อมูลเข้าสู่เครื่องจักรที่ทำงานคู่กัน ให้ทำการดำเนินงานที่ถูกตั้งค่าไว้ทำงานของ Photoelectric Sensor รูปแบบการ Photoelectric sensor มีการแบ่งรูปแบบการทำงานออกเป็น 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ Opposed, Retroreflective และ Proximity ซึ่งมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันออกไป และภายใน Proximity mode ทำงานที่ละเอียดอ่อนยิ่งขึ้น รูปแบบการทำงานมี 3 ประเภท

2.2.5.1 Opposed mode.

Opposed mode คือการที่อุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง (Emitter) และอุปกรณ์รับสัญญาณ (Receiver) ถูกตั้งอยู่ตรงข้ามกันโดยทาง Receiver จะรับรู้ได้ว่ามีวัตถุผ่านหากลำแสงนั้นส่งมาไม่ถึงตัวเอง Opposed Mode จะมีระยะในการตรวจจับไกลกว่ารูปแบบอื่นๆ เหมาะสำหรับการตรวจจับวัตถุแบบทึบแสงมีขนาดใหญ่

Opposed mode คือ การตั้งค่าหรือการวางแผนในโหมดที่กำหนดให้สององค์ประกอบหรือส่วนต่าง ๆ อยู่ในทางที่ขัดกันหรือตรงข้ามกันในระบบหรือกระบวนการใด ๆ โดยที่สององค์ประกอบนี้หากอยู่ในตำแหน่งที่ขัดกันหรือตรงข้ามกัน ก็จะมีผลตอบสนองหรือการทำงานของระบบหรือกระบวนการนั้นตรงข้ามกันด้วยความหมายตรงข้ามกันนั้น

ตัวอย่างของ "opposed mode" สามารถพบเจอในหลายแง่ของการใช้งาน

- 1) การตรวจจับการเคลื่อนที่: ในเซนเซอร์การตรวจจับการเคลื่อนที่, โหมดที่ขัดกัน (opposed mode) อาจหมายถึงการวางแผนเซนเซอร์สองตัวที่ตรงข้ามกัน และเมื่อวัตถุผ่านเข้าไปในพื้นที่ที่มีเซนเซอร์นี้, ความต้านทานหรือสัญญาณของเซนเซอร์ที่ขัดกันก็จะเปลี่ยนแปลง.
- 2) เซนเซอร์ระบบควบคุม: ในระบบควบคุมหรือระบบอัตโนมัติ, opposed mode อาจหมายถึงการกำหนดค่าหรือสถานะที่ตรงข้ามกัน เพื่อให้ระบบทำงานตรงข้ามกันหรือถูกกำหนดให้ทำงานตรงข้ามกัน เช่น การปิดประตูเมื่อมีแรงดันอากาศมากขึ้น หรือปิดระบบเมื่ออุณหภูมิเย็นลง.
- 3) การติดตั้งทางกายภาพ: ในการติดตั้งทางกายภาพ, opposed mode อาจหมายถึงการวางอยู่ในทิศทางที่ตรงข้ามกัน เพื่อให้สององค์ประกอบหรือระบบทำงานตรงข้ามกัน, เช่น การติดตั้งสองกล้องโทรทัศน์ในทิศทางที่ตรงข้ามกันเพื่อให้สามารถดูไปยังทิศทางที่ต่างกัน.

คำว่า "opposed mode" จึงเป็นคำที่ใช้ในหลายระบบและแอปพลิเคชันเพื่ออธิบายการตั้งค่าหรือการทำงานในทางที่ขัดกันหรือตรงข้ามกัน เพื่อให้สามารถควบคุมหรือตรวจจับสถานะตรงข้ามกันตามที่เราต้องการในการออกแบบหรือใช้งานต่าง ๆ.

2.2.5.2 Retroreflective mode

การทำงานประเภท Retroreflective mode นั้น อุปกรณ์ส่งสัญญาณแสงจะถูกติดตั้งอยู่ฝั่งเดียวกับอุปกรณ์รับสัญญาณโดยฝั่งตรงข้ามจะเป็นแผ่นสะท้อน (Reflector) ตัวเซนเซอร์จะทำการตรวจจับลำแสงที่ส่งกลับมาจากแผ่นสะท้อน หากมีสิ่งใดมาขวางระหว่างกลางก็จะมีผลส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกับรับเหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่จำกัดสามารถตรวจจับวัตถุได้ในระยะไกล

2.2.5.3 Proximity mode

การทำงานของ Proximity Mode ก็เป็นการทำงานอีกรูปแบบที่อุปกรณ์ส่งสัญญาณและรับสัญญาณนั้นอยู่ฝั่งเดียวกัน เพียงแต่ไม่ได้มีการใช้งานแผ่นสะท้อน แต่เป็นการตรวจจับแสงที่สะท้อนจากตัววัตถุที่ผ่านเข้ามาโดยตรงเลย Proximity mode จะมีการแบ่งแยกย่อยออกไปอีกตามรูปแบบการสะท้อนของแสง โดยจะมี 4 รูปแบบย่อย ดังนี้

- 1) Diffuse mode การส่งสัญญาณแสงไปยังวัตถุให้สะท้อนกลับมา โดยตัวรับสัญญาณจะรับเฉพาะแสงที่ส่งกลับมาในมุมตั้งฉากเท่านั้น
- 2) Divergent mode การส่งสัญญาณแสงแบบกระจายออกไปยังวัตถุ เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุที่มีความมันวาวได้ดียิ่ง แลกด้วยระยะเวลาการตรวจจับที่สั้นลง เนื่องจากระยะเวลาการสะท้อนกลับของแสงที่เกิดจากการกระจายนั่นเอง
- 3) Convergent mode การส่งสัญญาณแสงแบบรวมศูนย์ไปที่จุดโฟกัสการตรวจสอบจะระยะคงที่เหมาะสำหรับการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็ก
- 4) Background suppression mode การส่งสัญญาณแสงสองชุดไปยังเป้าหมาย ชุดแรกจะเป็นการส่งแสงไปยังวัตถุชุดที่สองนั้นจะเป็นการส่งแสงไปยังพื้นหลัง เหมาะสำหรับติดตั้งในพื้นที่แคบ เนื่องจากตัวรับสัญญาณจะสามารถแยกแยะระหว่างวัตถุและสิ่งที่อยู่ด้านหลังวัตถุได้ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำงานน้อย

2.2.5.4 Omron e3z-r61

Omron E3Z-R61 เป็นเซ็นเซอร์แสงอินฟราเรด (infrared photoelectric sensor) ที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุหรือวัตถุกำลังเคลื่อนที่โดยใช้แสงอินฟราเรดเป็นสัญญาณ. เมื่อเซ็นเซอร์ทำงานและตรวจจับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่หรือตรวจจับวัตถุที่ถูกวางไว้ในตัวเซ็นเซอร์ให้เหมาะสม จะมีการส่งสัญญาณออกมาเพื่อแจ้งระบบหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

การทำงานของเซ็นเซอร์ Omron E3Z-R61 จะเริ่มต้นด้วยการส่งแสงอินฟราเรดจากอุปกรณ์ที่มีแม่เหล็กไปยังอุปกรณ์ที่รับสัญญาณ ที่รับสัญญาณจะตรวจจับว่ามีแสงหรือไม่ หากมีวัตถุบังแสงหรือมีวัตถุอยู่ในสิ่งทดสอบของเซ็นเซอร์ แสงอินฟราเรดจะถูกบังคับให้ไม่ส่งสัญญาณ และเซ็นเซอร์จะตรวจจับว่ามีของอยู่ในตัวเซ็นเซอร์ นี่คือการที่เซ็นเซอร์ทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุ

การเชื่อมต่อและการกำหนดค่าการทำงานของ Omron E3Z-R61 จะขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชันและความต้องการของระบบที่คุณ เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบ Retro-reflective พร้อมฟังก์ชัน MSR ขนาดเล็กพร้อมแอมพลิฟายเออร์ในตัวแรงดันไฟฟ้า : 12 – 24 VDC

- คุณสมบัติของ Omron e3z-r61
 - แรงดันไฟฟ้า: 12 – 24 VDC
 - วิธีการตรวจจับ: Retro-reflective
 - วิธีเชื่อมต่อ: มีสายในตัว (2 ม.)
 - ระยะตรวจจับ: 4 ม. (เมื่อใช้ E39-R1S)
3 ม. (เมื่อใช้ E39-R1)
 - ประเภทเอาต์พุต: NPN
 - แหล่งกำเนิดแสง: LED สีแดง
 - มาตรฐานการป้องกัน: IP67



รูปที่ 2.16 Omron e3z-r61

2.3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

2.3.1 Motor Hub

2.3.1.1 Brush DC Motor

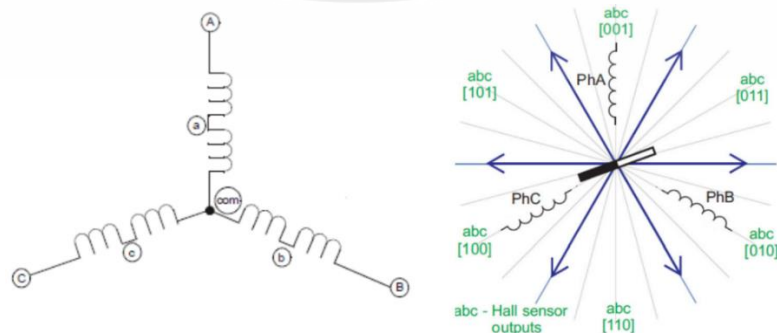
แปรงถ่านมอเตอร์ลักษณะนี้ทุกคนรู้จักกันดีอยู่แล้ว กล่าวคือเป็นมอเตอร์ที่หมุนได้โดยใช้ขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กมาผลักกับแม่เหล็กถาวรภายในตัวมอเตอร์เอง โดยการจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายผ่าน"แปรงถ่าน" มายังคอมมิวเตเตอร์ซึ่งเป็นหน้าสัมผัส นำไฟฟ้าไปสู่ขดลวดอาร์มาเจอร์ ซึ่งพันอยู่บนแกนเพลลาของมอเตอร์เป็นช่อง Slot มอเตอร์แบบนี้ก็มีทั้งแบบดุมล้อจะมีสายใช้งานหลัก 2 เส้น คือ มอเตอร์เป็นช่อง Slot มอเตอร์แบบนี้ก็มีทั้งแบบดุมล้อจะมีสายใช้งานหลัก 2 เส้น คือ บวก และ ลบ หากต้องการให้หมุนกลับทางเพียงแค่ว่า สลับขั้วมอเตอร์และมอเตอร์แบบนี้ และ แบบแกนหมุน และก็มีทั้งแบบมีเกียร์ และ ไม่มีเกียร์ ภายในเช่นกัน



รูปที่ 2.17 ล้อแบบ Brush DC Motor

2.3.1.2 BLDC Motor (Brushless DC Motor)

ซึ่งจะไม่มีแปรงถ่าน มอเตอร์แบบนี้ ภายในจะมี ขดลวดต่อแบบ STAR ดังรูป ด้านล่าง แต่จะมีที่ขด ก็โพลขึ้นอยู่กับการจำนวนแม่เหล็ก ที่โรเตอร์หมุน ซึ่งทำหลักการทำงานก็เหมือนกับ แปรงถ่านคือ ต้อง จัดไฟเข้าไปให้เกิด สนามแม่เหล็กผลัดคู่กัน เพื่อให้แกนใช้งานมอเตอร์หมุนได้ แต่ แบบ BLDC MOTOR นี้จะมีการทำงานที่ซับซ้อน ขึ้น เพราะต้องจ่ายไฟเข้าไปให้ถูกจังหวะมีทั้งหมด 6 สเตปในแต่ละ Sequence เพื่อป้องกันการหมุน สะดุด หรือ เกิด การล๊อคทางสนามแม่เหล็กเอง ซึ่งการ ตรวจจับ ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์นั้น จะมีเซนเซอร์แม่เหล็ก ที่เรียกว่า Hall Sensor ที่ทำหน้าที่ ส่ง ค่ากลับไปทีกล่องควบคุม เพื่อให้ทราบตำแหน่งของโรเตอร์ว่าอยู่ลักษณะอย่างไรว่าจุดนั้นๆเป็นขั้วเหนือ หรือขั้วใต้เพื่อที่จะได้จัดสเตปการจ่ายกระแสออกไปที่ขดลวดทั้ง 3 แบบ สมบูรณ์โดยจะทำงานเป็นสเตป ทีละ 2 ขด เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กและมีขดหนึ่งว่าง ทำงานวนๆไป 1 รอบ จะมี 6 สเตป ซึ่งมอเตอร์แบบนี้ จะแบ่งเป็นแบบที่ไม่ต้องใช้ เซนเซอร์กับใช้เซนเซอร์อีกเช่น BLDC Motor ในพวกพัดลม หรือ มอเตอร์ รอบสูงๆ จะไม่ใช้เซนเซอร์ เพราะ ไม่ต้องการความแม่นยำในการหมุนมากนัก ส่วนพวก BLDC Motor ที่ ต้องใช้เซนเซอร์คือประเภทที่ต้อง ใช้ความแม่นยำ สูงในการหมุน ออกตัวหรือหมุนช้าๆ เป็นต้น เช่นพวก รถไฟฟ้า แต่ในรถไฟฟ้าก็มีกล่องควบคุมแบบไม่ใช้เซนเซอร์ออกมาใช้งานให้เห็นกันมากขึ้นแล้ว เพื่อความ สะดวก ในการใช้งาน และ ซ่อมบำรุง



รูปที่ 2.18 6 สเตปของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLDC Motor แบบนี้มี 2 แบบ คือ แบบคัมล้อ (Hub Motor) และ แบบแกนหมุน (BLDC Motor) ซึ่งทั้ง 2 แบบ มีทั้งแบบมีเกียร์และ ไม่มีเกียร์ภายใน แต่จะเรียกว่า “บัสเลทมอเตอร์” หรือ “มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน”

2.3.1.3 แบบคัมล้อ หรือ Hub Motor ไม่มีเกียร์

แบบคัมล้อ หรือ Hub Motor ไม่มีเกียร์ ซึ่งจะอยู่ที่ศูนย์กลางของล้อ ซึ่งที่เรียกว่า Hub จึงนิยมติดปากเรียกกันว่า Hub Motor นั้นเอง ซึ่งมอเตอร์แบบนี้ ราคาจะสูงกว่าแปรงถ่าน และวงจรควบคุมจะมีความซับซ้อนกว่ามาก ภายในมอเตอร์มีขดลวด 3 ชุดแต่จะมีหลายชุดและมีการป้อนกลับของสัญญาณจาก hall sensor ทั้งหมด 3 ตัว ทำงานในลักษณะ sink และ source คือเป็น Low และ High ตามขั้วของแม่เหล็ก (ซึ่งจะไม่เหมือนกับ Hall Sensor ในคันเร่ง จะมีการทำงานเป็นแบบลิเนียร์เหมือนวอลลุ่ม) โดย hall sensor ในล้อนี้จะวางใกล้ๆกัน (เฟสเอง ซึ่งรวมๆ แล้วจะมีสายไฟทั้งหมดของสายเซนเซอร์และขดลวด ออกจากมอเตอร์ทั้งหมด 8 เส้น) ซึ่ง Hub Motor แบบธรรมดาถึงจะปั่นหมุนอยู่บ้าง (แรงหมุนจากการดึงดูดของแม่เหล็ก) แต่มอเตอร์ลักษณะนี้ดูแลรักษาได้ง่ายกว่า สามารถจ่ายกระแสออกมาได้สูง 5 – 10 A เมื่อนำมาหมุนเพื่อปั่นไฟ มอเตอร์ประเภทนี้จึงนิยมนำไปทำ “กังหันลมผลิตไฟฟ้า” หรือนำไปทำ “จักรยานปั่นไฟ” ซึ่งสามารถนำมาออกแบบให้มีการนำไฟฟ้ามา “ชาร์จกลับได้”

Hub motor เป็นชนิดหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้าที่มักถูกใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า, จักรยานไฟฟ้า, สกูตเตอร์ไฟฟ้า, และยานพาหนะไฟฟ้าอื่น ๆ ที่มีล้อหรือล้อหลัง โดยมอเตอร์นี้ถูกติดตั้งโดยตรงในล้อหรือล้อหลังของยานพาหนะ.

Hub motor ใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานไฟฟ้า (เช่น แบตเตอรี่) เพื่อสร้างการหมุนของล้อโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านระบบเฟืองหรือลูกสูบเชิงดิस्क เราสามารถแบ่ง hub motor ออกเป็นสองประเภทหลัก:

- 1) n-Wheel Hub Motor: ในประเภทนี้, มอเตอร์ถูกติดตั้งภายในล้อของยานพาหนะ ซึ่งทำให้มีรูปร่างและการใช้งานที่ค่อนข้างเรียบง่าย เนื่องจากมอเตอร์ติดตั้งในล้อ, มันสามารถเรียกใช้พลังงานโดยตรงในการขับเคลื่อนล้อและยานพาหนะ นี่คือนิยามที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าและจักรยานไฟฟ้า เนื่องจากมันไม่มีส่วนของระบบขับเคลื่อนภายนอก ทำให้มันมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเสถียรสูง.

- 2) Mid-Drive Hub Motor: ในประเภทนี้, มอเตอร์ถูกติดตั้งในช่วงกลางของ ยานพาหนะ และมอเตอร์จะทำงานร่วมกับระบบขับเคลื่อนอื่น ๆ เช่น ล้อ หน้าหรือล้อหลังของจักรยาน มอเตอร์จะสร้างพลังงานเสริมเพื่อช่วยในการ ขับเคลื่อนยานพาหนะ นี่คือนประเภทที่ใช้ในจักรยานไฟฟ้าและสกูตเตอร์ ไฟฟ้า

Hub motor มีข้อดีเช่นง่ายต่อการบำรุงรักษาและไม่มีส่วนออกมาที่มองเห็นได้ ซึ่งทำให้มีความสงบ และมันสามารถสร้างแรงบิด (torque) มากในช่วงความเร็วต่ำ แต่มีข้อจำกัดเช่นมี น้ำหนักที่ติดตั้งในล้อหรือช่วงกลางของยานพาหนะทำให้มีปัญหาในการทำความสะอาดหรือซ่อมแซม และ มักมีต้นทุนสูงกว่าระบบขับเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์ภายนอก



รูปที่ 2.19 ล้อแบบคัมล้อ หรือ Hub Motor

2.3.1.4 แบบคัมล้อที่มีเกียร์

Planetary Gear มอเตอร์แบบนี้ จะมีเกียร์ภายใน ช่วยเสริมแรงบิด และ ลด การกระพือช่วงออกตัว ให้การขับขี่ ที่นุ่มนวลกว่า เวลาเราปั่นตัวเปล่า จะเบาแรงและขนาดเล็กกระทัดรัด กว่า Hub Motor แบบไม่มีเกียร์ กินไฟน้อย แรงบิดดี แต่เนื่องจากอุปกรณ์ภายในซับซ้อน ของระบบเกียร์ อาจจะเสียหายในอนาคตได้ เมื่อรับแรงบิดสูงๆ เนื่องจากไม่ใช่โลหะ อีกทั้งราคาแพงกว่ามากเทียบที่ กำลังวัตต์เท่ากัน

มอเตอร์แบบคัมล้อที่มีเกียร์ (Gear Hub Motor) เป็นรูปแบบของมอเตอร์ไฟฟ้า ที่มีเกียร์ติดตั้งอยู่ในตัวมอเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการสร้างแรงบิด (torque) และประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนล้อของยานพาหนะ. เกียร์มาช่วยในการเพิ่มความแรงและความเร็ว ให้กับมอเตอร์เพื่อให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นในสถานการณ์ต่าง ๆ

คุณสมบัติและข้อดีของมอเตอร์แบบดุมล้อที่มีเกียร์

- 1) ความสามารถในการพัฒนาแรงบิด: เกียร์ช่วยเพิ่มแรงบิดของมอเตอร์ โดยทำให้มอเตอร์สามารถโยกย้ายยานพาหนะหนักหรือพนักหนักได้มากขึ้นโดยใช้อัตราเกียร์ที่ต่างกัน
- 2) ประสิทธิภาพการเข้ารอบสูง: มอเตอร์แบบดุมล้อที่มีเกียร์มักมี ประสิทธิภาพการเข้ารอบสูง ซึ่งทำให้มีความสามารถในการเพิ่มความเร็วของยานพาหนะได้ดีขึ้น
- 3) ขนาดเล็กและบางกำลังไฟ: เนื่องจากมีเกียร์ที่ช่วยเพิ่มแรงบิด มอเตอร์แบบดุมล้อที่มีเกียร์มักมีขนาดเล็กและมีความพิเศษที่ช่วยให้มันสามารถติดตั้งได้ในพื้นที่จำกัด
- 4) การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า: เกียร์ช่วยในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนยานพาหนะ และทำให้มอเตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประหยัด

มอเตอร์แบบดุมล้อที่มีเกียร์มักใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า, จักรยานไฟฟ้า, สกูตเตอร์ไฟฟ้า, และยานพาหนะไฟฟ้าอื่น ๆ เนื่องจากมีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพและการสั่งสม.



รูปที่ 2.20 ล้อแบบดุมล้อที่มีเกียร์

2.3.1.5 แบบแกนหมุน (BLDC Motor)

มอเตอร์แบบนี้จะเหมือนสำหรับ งานหนัก หรือไม่กี่งานที่ต้องการประยุกต์ ออกแบบติดตั้งที่ต้องการ กำหนดอัตราทดได้ เพื่อให้ได้รอบ และ แรงบิด ตามที่ต้องการให้เหมาะสมกับการใช้งาน มอเตอร์แบบนี้ก็มีทั้ง แบบมีเกียร์ และ ไม่มีเกียร์ ภายใน ส่วนตัวอย่างด้านล่างเป็นแบบมีเกียร์ เพื่อ เน้นใช้งาน บรรทุก ต้องการแรงบิด

BLDC Motor มีข้อดีต่าง ๆ ที่ทำให้มันเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการใช้งาน

- 1) ประสิทธิภาพสูง: BLDC Motor มีประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและมีสูญเสียพลังงานน้อยมาก ซึ่งทำให้มันเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบที่ต้องการประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานสูง
- 2) การควบคุมแบบดิจิทัล: การควบคุม BLDC Motor มักใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น PID หรือตัวควบคุมอัตโนมัติอื่น ๆ ซึ่งช่วยให้การควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์เป็นไปอย่างแม่นยำ
- 3) ประสิทธิภาพสูงในการทำงานต่อเนื่อง: BLDC Motor มีความทนทานและสามารถทำงานต่อเนื่องได้นาน โดยไม่ต้องการการบำรุงรักษา
- 4) การควบคุมความเร็วและตำแหน่ง: BLDC Motor สามารถควบคุมความเร็วและตำแหน่งของแกนหมุนได้อย่างแม่นยำ ทำให้มันเหมาะสำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการการควบคุมที่แม่นยำเช่นการใช้ในหุ่นยนต์, หุ่นยนต์บริการลักษณะ, หุ่นยนต์อุตสาหกรรม, และอื่น ๆ

BLDC Motor มีความหลากหลายในขนาดและความจุ (torque) ที่ต่าง ๆ ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับหลายแอปพลิเคชัน และมักใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุมมอเตอร์อย่างแม่นยำและประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.21 ล้อแบบแกนหมุน

2.3.2 Battery

แบตเตอรี่ เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าออกไปใช้งาน เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เซลล์ หรือมากกว่า โดยเซลล์นี้จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันทางไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ส่วน

- 1) ขั้วบวก (Positive Electrode)
- 2) ขั้วลบ (Negative Electrode)
- 3) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)
- 4) ตัวขึ้นเซลล์ (Separator)

ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับรถมอเตอร์ไซด์ไฟฟ้าจะมี แบตเตอรี่ตะกั่วกรดและ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กันมากที่สุด ส่วนแบ่งทางการตลาดของแบตเตอรี่ชนิดนี้มากกว่าครึ่งของตลาดแบตเตอรี่ ทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิรวมกัน แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้สำหรับจุดระเบิดเครื่องยนต์ใช้เป็นหน่วยจ่ายพลังงานฉุกเฉินในขณะที่ไฟฟ้ามดับ เป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาถูก เนื่องจากใช้วัสดุที่หาได้ง่าย และมีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังมีอายุการใช้งานยาวนานแม้ว่าสารตะกั่วจะเป็นพิษแต่ในขณะนี้ ได้มีการรีไซเคิลแบตเตอรี่ชนิดนี้อย่างจริงจัง โดย 95 – 98 เปอร์เซ็นต์ของตัวแบตเตอรี่ได้ถูกนำมาแปรรูปและใช้ใหม่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด มีขั้วลบซึ่งทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Pours Pb) ส่วนขั้วบวกนั้นเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO₂) ที่มีลักษณะพรุนเช่นกันโดยมีกรดซัลฟูริก (H₂ SO₄) เข้มข้นเป็นอิเล็กโทรไลต์

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery) เป็นชนิดของแบตเตอรี่ที่มีประวัติยาวนานในการใช้งานและมีข้อดีต่าง ๆ ที่ทำให้มันยังคงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจใน

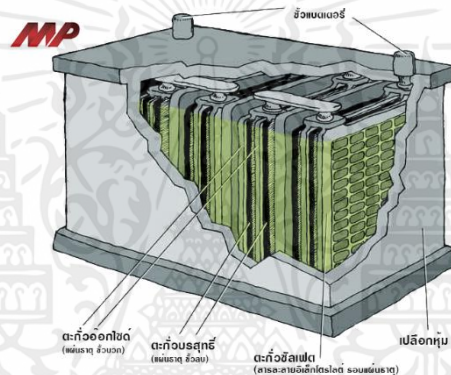
- 1) ราคาประสิทธิภาพสูง: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีราคาที่คุณค่าต่อหน่วยความจุ (Ah) เมื่อเทียบกับหลายชนิดของแบตเตอรี่ ทำให้มันเป็นตัวเลือกที่คุณค่าสำหรับการเก็บพลังงาน.
- 2) ประสิทธิภาพการชาร์จ: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีความสามารถในการรับและจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพการชาร์จที่สูง.

- 3) การใช้งานและบำรุงรักษาง่าย: การดูแลรักษาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเรียบง่าย ไม่ต้องการการดูแลรักษาเฉพาะมาก และมักไม่ต้องการการบำรุงรักษาที่ซับซ้อน.
- 4) ความทนทานและการใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและสภาวะที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เร็วและร้อน.
- 5) ความประสิทธิภาพในการชาร์จอีกครั้ง (rechargeability): แบตเตอรี่ตะกั่วกรดสามารถชาร์จอีกครั้งได้หลายครั้ง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่.
- 6) การใช้งานในระบบพลังงานสำรอง: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองในกรณีฉุกเฉินหรือการไฟฟ้าไม่มีส่ง.
- 7) สภาพแวดล้อม: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นรายได้ที่สมบูรณ์และไม่เกิดปัญหาสาธารณสุขเมื่อถูกทิ้งเสีย.

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery) มีข้อเสียหลายอย่างที่ควรพิจารณาเมื่อใช้งาน:

- 1) น้ำหนักและขนาดใหญ่: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีน้ำหนักมากและขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหรือลิเทียม-พอลิเมอร์ ทำให้ไม่เหมาะสำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการแบตเตอรี่ที่บางและเบา.
- 2) ประสิทธิภาพพลังงานต่ำ: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีประสิทธิภาพพลังงานต่ำ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหรือลิเทียม-พอลิเมอร์ ซึ่งทำให้มีความจำเป็นต้องชาร์จบ่อยและมีอัตราการสูญเสียพลังงานสูง.
- 3) อายุการใช้งานสั้น: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีอายุการใช้งานที่สั้นเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหรือลิเทียม-พอลิเมอร์ ซึ่งทำให้ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยขึ้น.
- 4) ความสามารถในการสตาร์ทมอเตอร์: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดอาจไม่มีความสามารถในการสตาร์ทมอเตอร์ได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ ทำให้ต้องคาดคะเนการใช้งานในสภาวะอุณหภูมิต่ำ.

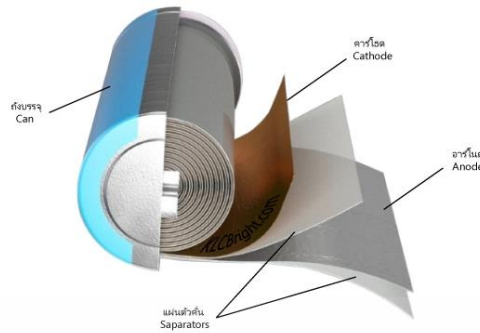
- 5) การรื้อซิมและการควบคุมความลึก: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดต้องการการรักษาและควบคุมความลึกของน้ำกรดในแบตเตอรี่ และมีความรื้อซิมที่จะต้องควบคุมให้ดีเพื่อป้องกันการร่วกรดและการสังเคราะห์ของแบตเตอรี่.
- 6) สารตะกั่วกรด: แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีสารตะกั่วกรดที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และต้องการการจัดการอย่างรอบคอบเมื่อทิ้งแบตเตอรี่เก่าหรือเสีย.
- 7) ความแพงในระยะยาว: แม้ว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะมีราคาต่ำตอนซื้อ แต่ความต้องการในการเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อย และค่าใช้จ่ายสำหรับการเชื่อมต่อตลอดระยะยาวอาจทำให้มันกลายเป็นทางเลือกที่แพงในระยะยาว



รูปที่ 2.22 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

2.3.2.2 แบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium Battery)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium Ion Battery) นั้นเรียกชื่อตามการกักเก็บพลังงานในลิเทียมไอออน (Li ion) โดยการสร้างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ และคั่นด้วยฉนวนที่เรียกว่า ตัวคั่น (Separator) ตัวคั่นหรือ Separator สามารถเป็นได้ทั้งฉนวนและนำไอออน เมื่อตอนชาร์จไฟ ลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปยังขั้วลบผ่านตัวคั่น และเมื่อตอนคายประจุ ลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้าม การเคลื่อนที่ของประจุลิเทียมไอออนนี้เองทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือที่เรียกว่าโวลต์ (Voltage) เกิดขึ้น แต่เมื่อไม่มีการใช้งานแบตเตอรี่ตัวคั่นจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันไม่ให้ไอออนเคลื่อนที่ข้ามไปมา และเมื่อมีการเอาแบตเตอรี่ไปต่อเข้ากับอุปกรณ์เพื่อใช้งาน ประจุลิเทียมไอออนหรืออิเล็กตรอนที่ถูกกั้นอยู่ด้วยตัวคั่นหรือ Separator อยู่ นั้นจะถูกดันให้วิ่งผ่านตัวคั่นได้



รูปที่ 2.23 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียม (Types of Lithium Battery) ประเภทหรือชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียม นั้น ส่วนใหญ่เรียกชนิดตามองค์ประกอบของคาร์โบต แต่ก็มีที่เรียกตามองค์ประกอบของอาร์โนตด้วยเช่นกัน ดูจากภายนอกเราไม่สามารถจำแนกได้ ดังนั้นเราจึงควรตรวจสอบให้แน่ชัดและศึกษารายละเอียดให้แน่ใจก่อนเลือกซื้อและนำไปใช้งาน ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพสูงสุดและมีคุณสมบัติตรงตามแต่ละประเภทการใช้งานของอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่น ๆ ชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมมี 6 ชนิดหลักๆ ได้แก่

- แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต (Lithium Ion Phosphate : LFP)

แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต หรือ LiFePO_4 หรือ LFP หรือเราอาจจะรู้จักกันในชื่อ Li-PO หรือที่บ้านเรานิยมเรียกกันว่า แบตเตอรี่ลิโป เป็นแบตเตอรี่ลิเทียมที่มีใช้ทั่วไปและใช้อยู่มากที่สุด ใช้ฟอสเฟตเป็นคาร์โบต ใช้กราไฟต์เป็นอาร์โนตแบตเตอรี่ LiPo มีรอบอายุการใช้งานที่นานไม่ค่อยมีปัญหาด้านความร้อน มีประสิทธิภาพด้านเคมีไฟฟ้าที่ดีแบตเตอรี่ LFP หรือ LiPo 1 cell มีความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าประมาณ 3.2V ถ้าต้องการนำไปใช้งานเป็นระบบ 12V ต้องเอามาต่ออนุกรมกัน 4cell จะได้ 12.8V จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมแบตเตอรี่ LiPo จึงนำมาใช้อย่างแพร่หลายที่สุด รวมถึงไฟถนนโซล่าเซลล์ เพราะสามารถใช้ 4cell แล้วนำมาใช้แทนแบตเตอรี่แบบตะกั่วหรือแบบ deep cycle ได้

- แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide : LCO)

แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ หรือ LCO หรือที่บ้านเรานิยมเรียกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (ซึ่งไม่ถูกต้องมากนัก เพราะว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นคำที่กว้าง ที่กำลังกล่าวถึงทั้งหมดล้วนเป็นลิเทียมไอออน) มีค่าพลังงานจำเพาะ (specific power) สูงแต่มีกำลังงานจำเพาะ (specific power) ต่ำ กล่าวคือสามารถจ่ายไฟได้นานแต่จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ที่กินไฟสูงได้ไม่ดี จึงเหมาะและมีใช้ในงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต โน้ตบุ๊ก กล้องถ่ายรูป ที่ต้องการกำลังน้อยๆแต่อยู่ได้นานๆ โดยที่ แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ 1cell มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 3.7V

- แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide : LMO)

แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ หรือ LMO ใช้ส่วนผสมของธาตุลิเทียมแมงกานีสออกไซด์เป็นคาร์โธด ซึ่งองค์ประกอบของธาตุสามชนิดนี้ เมื่อรวมกันจะสร้างให้เกิดโครงสร้างแบบ 3 มิติ ทำให้การไหลของอิเล็กตรอนดีขึ้น มีความต้านทานภายในต่ำลง เพิ่มกระแสได้มากขึ้น และมีค่าการทนต่อความร้อนได้มากขึ้นด้วย การค้นพบแบตเตอรี่ LMO (ประมาณ ค.ศ.1981) ถือเป็นความสำเร็จก้าวสำคัญในวงการแบตเตอรี่ ด้วยความที่มีความต้านทานภายในเซลล์ต่ำจึงสามารถชาร์จแบบเร็ว (fast charge) และจ่ายกระแสสูง (high discharge current) ได้ แบตเตอรี่ LMO สามารถที่จ่ายกระแสได้ถึง 20-30A โดยที่ค่าความร้อนไม่ขึ้นสูงมากได้ แต่แบตเตอรี่ LMO ก็มีค่าการเก็บพลังงานได้น้อยและอายุการใช้งานที่ไม่ได้ยาวมากนักแบตเตอรี่ชนิด LMO มีใช้งาน ในอุปกรณ์ประเภทเครื่องมือไร้สาย (power tools) อุปกรณ์ทางการแพทย์ รถไฟฟ้าและรถไฮบริด

- แบตเตอรี่ลิเทียมนิเคิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: NMC)

แบตเตอรี่ลิเทียมนิเคิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ หรือ NMC ด้วยการเพิ่มนิเคิล Ni ซึ่งมีความจุพลังงานจำเพาะ (Specific Capacity; Ah/kg) สูง เข้าไปในส่วนประกอบของคาร์โธด ทำให้แบตเตอรี่ NMC มีค่าพลังงานจำเพาะสูงขึ้น ผลที่ได้คือได้เซลล์ที่มีความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าสูงถึงประมาณ 4V/cell เดิมทีเดียวแบตเตอรี่ชนิด NMC ไม่ได้มีส่วนผสมของแมงกานีส ต่อมานักวิจัยจึงได้เพิ่มแมงกานีสเข้าไปเพื่อเพิ่มความเสถียร ผลก็คือแบตเตอรี่ NMC มีทั้งความเสถียรและใช้งานได้ในงานแรงดันสูง (high voltage applications) การปรับเปลี่ยนส่วนผสมระหว่าง นิเคิลแมงกานีส และโคบอลต์ ทำให้เกิดชนิดย่อยและคุณสมบัติที่แตกต่างกันและยังคงเป็นจุดขายของผู้ผลิตแต่ละราย เช่น รุ่น NMC111 (ส่วนผสมเท่ากัน) รุ่น NMC442 รุ่น NMC622 หรือ รุ่น NM811 ในปัจจุบัน แบตเตอรี่ NMC มีความต้องการสูงในอุตสาหกรรมรถยนต์ EV เพราะด้วยคุณสมบัติ มีค่าพลังงานสูง จ่ายกระแสได้สูง มีเสถียรภาพ และทนต่ออุณหภูมิได้ดีมาก มีใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าหลายรุ่น

- แบตเตอรี่ลิเทียมนิเคิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide: NCA)

แบตเตอรี่ลิเทียมนิเคิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ หรือ NCA มีคุณสมบัติคล้ายกับ NMC คือเก็บไฟได้มากและจ่ายไฟได้นาน แต่มีข้อเสียคือด้านความปลอดภัยยังไม่ค่อยสูงต้องมีระบบตรวจเช็คความปลอดภัยอยู่ตลอดเวลาเมื่อนำมาใช้ในรถ EV

- แบตลิเทียมไททาเนต (Lithium Titanate : LTO)

แบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต หรือ LTO ที่เปลี่ยนอาร์โนดจากกราไฟต์ เป็นลิเทียมไททาเนต ส่วนคาร์โธดมีทั้งเป็น LMO หรือ LMC ผลคือได้แบตเตอรี่ที่ทั้ง ชาร์จเร็วกว่า แบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ อายุการใช้งานนาน และมีความปลอดภัยขึ้น แบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต (LTO) มีใช้ใน รถยนต์ EV เวอร์ชันที่มีใช้ภายในประเทศญี่ปุ่นเอง เช่น รถยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi i-MiEV , Honda Fit EV , Tosa Electric Concept Bus นอกจากนี้ยังมีใช้ในเครื่องมือทางการแพทย์ ไฟถนนโซล่าเซลล์ รถ EV สถานีชาร์จรถ EV UPS เครื่องมือสื่อสาร รวมไปถึงอุปกรณ์ทางอวกาศ

2.3.3 Controller

Controller Driver หรือ กล้องควบคุมรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า มีความสำคัญมากและเป็น ส่วนสำคัญหลักเพราะเป็นเสมือนสมองสั่งการในการจ่ายไฟไปเลี้ยงอุปกรณ์ต่างๆ กล้องควบคุมจะรับไฟ จากแบตเตอรี่มาเต็มๆ และลดทอนกระแสไฟเพื่อจ่ายไฟให้กับชิ้นเร่ง เบรก ไฟหน้า ไฟเบรก แตร กุญแจ หัวชาร์จ และมอเตอร์



รูปที่ 2.24 Controller Far driver ND72530

2.3.3.1 Controller ประกอบด้วยพอร์ตการทำงานอยู่ 3 พอร์ต

- 1) Port Hall Sensor จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์จะทำงาน ในลักษณะ Low และ High
- 2) Port Function จะทำหน้าที่ควบคุมฟังก์ชันการทำงานของระบบต่างๆ ภายในรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้ารวมถึงการควบคุมระดับ Speed ของมอเตอร์
- 3) Port Anti-theft จะทำหน้าที่ควบคุมระบบสัญญาณกันขโมยจากรีโมท

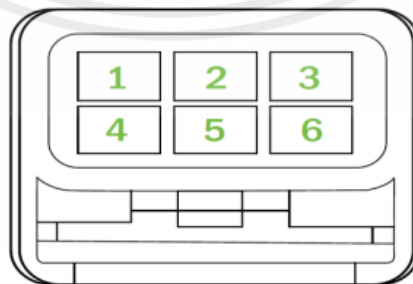
2.3.3.2 พอร์ต Hall Sensor

Hall Sensor คือ เป็นเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก การทำงานของอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับผล Hall ผลกระทบนี้จะขึ้นอยู่กับหลักการ ต่อไปนี้ถ้าตัวนำบางตัวถูกวางไว้กับกระแสไฟฟ้าตรงในสนามแม่เหล็กแรงดันไฟฟ้า Hall (Hall voltage) จะปรากฏขึ้นใน ตัวนำดังกล่าว กล่าวคืออุปกรณ์นี้ทำหน้าที่วัดความแรงของสนามแม่เหล็ก

Hall sensor มักถูกใช้ในหลายแอปพลิเคชัน เช่น

- 1) ควบคุมมอเตอร์: Hall sensor สามารถตรวจจับตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ และใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในแอปพลิเคชันเช่นพัดลม, เครื่องจักร, หุ่นยนต์, และรถยนต์ไฟฟ้า
- 2) ควบคุมการเคลื่อนที่: Hall sensor สามารถใช้ในระบบตรวจจับความเร็วและตำแหน่งของรถยนต์, สกู๊ตเตอร์, หุ่นยนต์, และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการควบคุมการเคลื่อนที่
- 3) การตรวจจับแรงกระทำ: Hall sensor สามารถใช้ในการตรวจจับแรงกระทำในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ปุ่มการกดในโทรศัพท์มือถือ, เม้าส์คอมพิวเตอร์, หมุนครีบน้าจอแทชสกรีน, และอุปกรณ์อื่น ๆ
- 4) การตรวจจับแรงสีกหรือ (magnetic field sensing): Hall sensor สามารถใช้ในการตรวจจับแรงสีกหรือในแอปพลิเคชันเช่นควบคุมตุ้มล้อในอุตสาหกรรม, รถยนต์ไฟฟ้า, และอุปกรณ์วัดความแรงสีกหรือ

Hall sensor มีความแม่นยำในการตรวจจับแรงแม่เหล็กและมีความเร็วในการตอบสนองสูง ซึ่งทำให้เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมและตรวจจับในหลายแอปพลิเคชันที่ต้องการความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจจับแรงแม่เหล็กและการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.25 พอร์ตแบบ Hall Sensor

Pin สำหรับใช้งาน มีดังต่อไปนี้

- 1) Pin 1. สายควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (สีน้ำเงิน)
- 2) Pin 2. สายควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (สีเขียว)
- 3) Pin 3. สายควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (สีเหลือง)
- 4) Pin 4. สายไฟลบ (สีดำ)
- 5) Pin 6. สายไฟบวก 5V (สีแดง)

2.3.3.3 พอร์ต Function

พอร์ต Function คือ พอร์ตควบคุมระบบฟังก์ชันการทำงานต่างๆของรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- 1) ควบคุมระบบ Level Speed 1,2,3
- 2) ควบคุมระบบความเร็ว
- 3) ควบคุมระบบ Speedometer
- 4) ควบคุมระบบไฟ



รูปที่ 2.26 พอร์ตแบบ Function

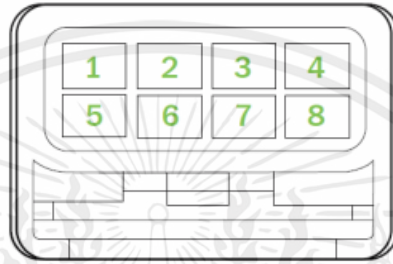
Pin สำหรับใช้งาน มีดังต่อไปนี้

- 1) Pin 1. สายสัญญาณไฟเบรก (เขียว/เหลือง)
- 2) Pin 2. สายแสดงผลหน้าจอ Speedometer (ชมพู)
- 3) Pin 5. สายควบคุมการทำงานของสปีด (น้ำเงิน/ขาว)
- 4) 4Pin 6. ระดับ Speed 3 (เขียว/ขาว)
- 5) Pin 7. ระดับ Speed 2 (ดำ/ขาว)
- 6) Pin 8. ระดับ Speed 1 (แดง/ขาว)
- 7) Pin 11. สายควบคุมการทำงานของสปีด (แดง/ดำ)

- 8) Pin 12. สายควบคุมการทำงานของสปิด (เหลือง/ขาว)
- 9) Pin 16. สายไฟ 72v (เหลือง)

2.3.3.4 พอร์ต Anti-Theft

พอร์ต Anti-Theft เป็นพอร์ตควบคุมสัญญาณกันขโมย จะทำหน้าที่รับและตัดสัญญาณจากรีโมทคอลล็อก



รูปที่ 2.27 พอร์ตแบบ Anti-Theft

Pin สำหรับใช้งาน มีดังต่อไปนี้

- 1) Pin 4. สายไฟลบ
- 2) Pin 5. สายส่งสัญญาณกันขโมย (สีน้ำเงิน)
- 3) Pin 6. สายตัดสัญญาณกันขโมย (สีเหลือง)
- 4) Pin 7. สายไฟเข้าตัวส่งสัญญาณ (สีส้ม)
- 5) Pin 8. สายไฟบวกจากแบตเตอรี่ (สีแดง)

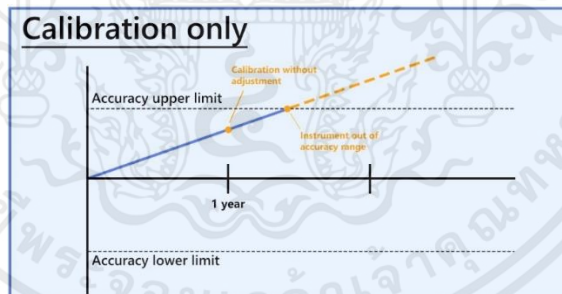
2.4 การสอบเทียบ

การสอบเทียบ (Calibration) คือ การปฏิบัติการเปรียบเทียบผลการวัด ของเครื่องมือวัดที่ไม่รู้ค่าความถูกต้องกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์มาตรฐาน ที่รู้ค่าความถูกต้องเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกัน และ รายงานผล รวมทั้งปรับแต่งเครื่องมือวัด ในกรณี ที่ผลการตรวจวัดผิดไปจากเกณฑ์ที่กำหนด มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละรายการกระทำโดยเจ้าหน้าที่ภายในหรือภายนอกของห้องปฏิบัติการ ที่มีความรู้ ประสบการณ์ และผ่านการอบรมที่เกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละรายการ ในปัจจุบันนี้ การสอบเทียบ (Calibration) คงเป็นที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมและวงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัด ไม่ว่าจะเป็น หน่วยงานราชการ สถานศึกษาและหน่วยงานเอกชนต่างๆและยังมีห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดเกิดขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นของ

หน่วยงานราชการและเอกชน เพื่อรับบริการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้กับลูกค้า หรือโรงงานอุตสาหกรรม ที่ไม่ได้มีห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายในโรงงาน แต่ในหลักการสอบเทียบนั้นไม่ได้มีแค่เฉพาะการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด เท่านั้น จะต้องรวมไปถึงการปรับตั้ง (Adjustment) หรือปรับค่าแก้ (Correction) ให้กับเครื่องมือวัดด้วย การสอบเทียบถึงจะสมบูรณ์ ซึ่งในห้องปฏิบัติการสอบเทียบบางห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้มีการปรับตั้งให้กับลูกค้า แต่ก็ยังมีห้องปฏิบัติการสอบเทียบหลายห้องปฏิบัติการที่ยังไม่สามารถปรับตั้งเครื่องมือให้กับลูกค้าหรือปรับตั้งไม่เป็นก็อาจเป็นไปได้ มุ่งเน้นแต่จะหาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดให้ลูกค้าเป็นคนตัดสินใจเองว่าจะยังใช้เครื่องมือนี้อีกหรือไม่ หรือจะนำค่าแก้ (Correction) นั้นไปใช้

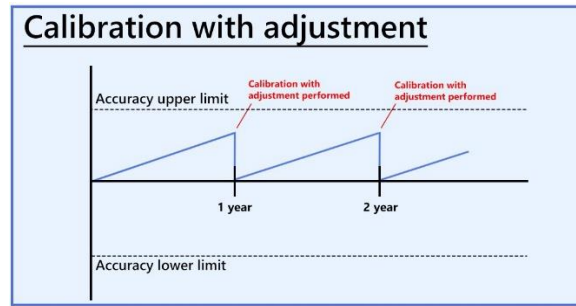
2.4.1 Calibration & Adjustment

การสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างเดียว โดยไม่มีการปรับตั้ง (Adjustment) หรือ ปรับค่าแก้ (Correction) ให้กับเครื่องมือวัดนั้นมันอาจจะส่งผลให้เครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่ จะมีค่าความผิดพลาดมากกว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Tolerance) เมื่อนำเครื่องมือวัดนั้นไปวัดงานโดยไม่ได้คำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่ได้จากการสอบเทียบรวมไปถึงทำให้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องมือวัดนั้นไม่อยู่ในขีดจำกัดของความแม่นยำ (Accuracy Limit) และถ้าไม่มีการปรับตั้งหรือปรับค่าแก้ให้กับเครื่องมือวัดหลายๆปีอาจส่งผลให้เครื่องมือวัดไม่สามารถปรับตั้งหรือปรับค่าแก้ให้กับเครื่องมือวัดนั้นได้เลย



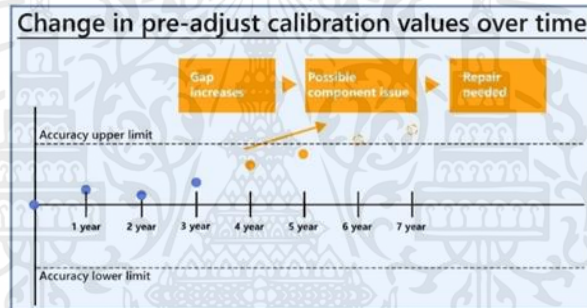
รูปที่ 2.28 กราฟของการสอบเทียบอย่างเดียว

การปรับตั้งหรือการปรับค่าแก้ให้กับเครื่องมือวัดอย่างสม่ำเสมอจะทำให้เครื่องมือวัดมีค่าที่แม่นยำที่ดีขึ้น และยังทำให้เครื่องมือวัดอยู่ในขีดจำกัดของความแม่นยำ (Accuracy Limit)



รูปที่ 2.29 กราฟของการสอบเทียบและปรับแต่ง

อายุการใช้งานของเครื่องมือวัดจะขึ้นอยู่กับเวลาการใช้งานและวิธีการใช้งาน แต่ถ้ามีการปรับตั้งหรือการปรับค่าแก้ให้กับเครื่องมือวัดก็จะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือวัดยาวนานยิ่งขึ้น จนกว่าจะถึงเวลาที่จะต้องซ่อมหรือบำรุงรักษา (Maintenance)



รูปที่ 2.30 กราฟของอายุการใช้งานของเครื่องมือวัด

2.4.2 การสอบเทียบทางไฟฟ้า

วิธีการวัดเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่าที่จะวัดได้ การเลือกวิธีการวัดขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น ความถูกต้อง ระยะเวลาในการวัด เครื่องมือ รวมทั้งความรู้ความชำนาญของผู้ที่จะทำการวัด หรือระยะเวลาในการวัด โดยปัจจัยในแต่ละข้อควรเลือกให้สอดคล้องกับการวัดในแต่ละครั้งเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดจากการวัด

- วิธีการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ
 - 1) การวัดโดยตรง (direct measurement)
 - 2) การวัดความแตกต่าง (differential measurement)

- **เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง**

หลักการการทำงานของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคือ การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้า เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งได้หลายชนิด เช่น

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแบบเข็ม (Analog Voltmeter)

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Voltmeter)

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแบบ Potentiometer

2.4.2.1 การสอบเทียบ DC Voltage

- 1) ต่อด้ายวัดจากขั้ว ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เข้ากับขั้ว NORMAL HI ของ Calibrator จากขั้ว COM ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปยังที่ฟังก์ชัน NORMAL LO ของคาลิเบรเตอร์
- 2) ปรับ Rotary Switch บนดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปยังฟังก์ชัน 300mV (DC)
- 3) ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่คาลิเบรเตอร์ โดยตั้งค่าที่ 300mV จากนั้นกดปุ่ม OPR ที่คาลิเบรเตอร์ เพื่อจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์
- 4) รอให้ค่าบนจอแสดงผลของดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีค่าคงที่ บันทึกค่า 3 ครั้งลงในตารางจากนั้นกดปุ่ม STBY ที่คาลิเบรเตอร์
- 5) ปรับ Rotary Switch บนดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปที่ฟังก์ชันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (VDC)
- 6) เลือกย่านการวัดที่ต้องการตามตารางบันทึกผลการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (VDC)
- 7) ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่คาลิเบรเตอร์ ตามตารางบันทึกผล โดยให้สัมพันธ์กับย่านการวัดที่เลือกได้ จากนั้นกดปุ่ม OPR ที่คาลิเบรเตอร์เพื่อจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์
- 8) รอให้ค่าบนจอแสดงผลของดิจิตอลมัลติมิเตอร์คงที่บันทึกค่าที่ได้ 3 ครั้งลงในตารางบันทึกผล จากนั้นกดปุ่ม STRY ที่คาลิเบรเตอร์
- 9) สำหรับย่านการวัดอื่นๆ ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 6 ถึงข้อที่ 8 จนครบทุกย่านการวัด

2.4.2.2 instek GDM 9061

เครื่องวัดความเร็วรอบ หรือ Tachometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วรอบ (RPM) ของวัตถุหมุน เช่น เครื่องจักร, โมเตอร์, หรืออุปกรณ์ที่หมุนรอบเรียบ. Tachometer ทำงานโดยวัดจำนวนรอบที่วัตถุหมุนในหนึ่งหนึ่งช่วงเวลา แล้วแปลงผลวัดเหล่านี้เป็นความเร็วรอบต่อนาที (RPM) หรือหน่วยวัดที่ถูกกำหนดไว้

GDM-9061 ไม่ใช่ Tachometer แต่เป็นรุ่นของ Digital Multimeter (DMM) ที่ผลิตโดยบริษัท GW Instek (Good Will Instrument Co., Ltd.) ซึ่งเป็นผู้ผลิตเครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชื่อเสียงด้านเครื่องมือวัดและเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ รุ่น GDM-9061 คือ Digital Multimeter ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทาน (Resistance), ค่าไฟฟ้ากระแสตรง (DC current), ความสัมพันธ์ของไฟฟ้า (AC current), แรงดันไฟฟ้า (Voltage), ความต้านทานของไฟฟ้า (Impedance), และฟังก์ชันอื่น ๆ ในการวัดและทดสอบอิเล็กทรอนิกส์และงานที่เกี่ยวข้อง

ความสามารถของ GDM-9061 อาจรวมถึงความแม่นยำและคุณภาพของการวัดที่สูง, ฟังก์ชันการทดสอบที่หลากหลาย, การบันทึกข้อมูล, และฟังก์ชันอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ในการทดสอบและวัดอิเล็กทรอนิกส์. ถ้าคุณมีความสนใจใน GDM-9061 หรือเครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) คุณควรติดต่อผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายเพื่อรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสเปกตรัมและการใช้งานของอุปกรณ์นี้

GDM-9061 เป็น Digital Multimeter (DMM) ที่ใช้ในการวัดและทดสอบค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานหลักของ GDM-9061 อธิบายได้ดังนี้

- 1) การวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage): GDM-9061 มีฟังก์ชันการวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage) โดยการต่อสายไฟที่ต้องการวัดแรงดันลงกับที่ขั้วขอยัดบนอุปกรณ์ แล้ว GDM-9061 จะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนที่ขั้วขอยัดและแสดงผลพีซีในหน้าจอดิจิทัล
- 2) การวัดกระแสไฟฟ้า (Current): GDM-9061 สามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร โดยการต่ออุปกรณ์วัดกระแสกับวงจรและ GDM-9061 จะแสดงผลพีซีในหน้าจอ
- 3) การวัดความต้านทาน (Resistance): เครื่องสามารถวัดความต้านทานในวงจร โดยการต่อสายไฟบนอุปกรณ์ที่ต้องการวัดความต้านทาน และ GDM-9061 จะแสดงค่าความต้านทานในหน้าจอ

- 4) การวัดความถี่ (Frequency): เครื่องสามารถวัดความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า โดยการต่อสายไฟกับสัญญาณและ GDM-9061 จะแสดงค่าความถี่ในหน้าจอ
- 5) การทดสอบความต้านทานของอิล็กทรอนิกส์ (Diode Test): GDM-9061 มีฟังก์ชันทดสอบอิล็กทรอนิกส์เช่น ไดโอด (Diode) และตัวถ้ง (Transistor) เพื่อตรวจสอบค่าความต้านทานและการทำงานของอิล็กทรอนิกส์เหล่านี้
- 6) การบันทึกข้อมูล (Data Logging): บางรุ่นของ DMM อาจมีฟังก์ชันบันทึกข้อมูลเพื่อบันทึกค่าที่วัดได้ในระยะเวลาหนึ่ง ที่ผู้ใช้สามารถดูผลลัพธ์หลังจากทดสอบ

การทำงานของ GDM-9061 นี้เกี่ยวข้องกับ การส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ และวัดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณนั้น ๆ แล้วแสดงผลพธิ์ในหน้าจอดิจิทัลของเครื่อง

GW Instek GDM-9061/GDM-9060 คุณสมบัติทางเทคนิค

- 1) 6 1/2 Digit Display:1,200,000 Counts
- 2) 4.3 TFT Graphic LCD
- 3) DCV Basic Accuracy:0.0035%(GDM-9061)/0.0075%(GDM-9060)
- 4) 12 Measurement Functions: DCV, ACV, DCI, ACI, 2-wire and 4-wire Resistance, Frequency, Period, Diode, Continuity, Temperature and Capacitance
- 5) Sampling Rate up to 10k SPS (GDM-9061)
- 6) Dual Measurement Function to Providing Two Selected Measurement Simultaneously
- 7) Offer Graphical Capabilities including Histogram, Bar Meter and Trend
- 8) Temperature Measurement Support RTD, Thermistor as Well as Thermocouple
- 9) Standard Interfaces: USB Host/Device, RS-232C, LAN, Digital I/O
- 10) Optional Interface: GPIB



รูปที่ 2.31 GW Instek GDM-9061/GDM-9060

2.4.2.3 Metrel MD 9060

Metrel MD 9060 คือรุ่นของอุปกรณ์ทดสอบและวัดสำหรับงานทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตโดย Metrel, บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทดสอบและวัดคุณภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. รุ่น MD 9060 นี้อาจมีความสามารถหรือฟังก์ชันที่แตกต่างกันตามโมเดลหรือแบบรุ่นเฉพาะของ Metrel แต่รวมทั้งฟังก์ชันสำคัญเกี่ยวกับการทดสอบและวัดค่าในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

Metrel MD 9060 เป็น Multimeter หรือ Digital Multimeter (DMM) ที่มีคุณสมบัติและฟังก์ชันเพื่อการวัดและทดสอบค่าต่าง ๆ ในงานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ต่อไปนี้คือคุณสมบัติของรุ่น MD 9060

- 1) การวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage): MD 9060 สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าในระหว่าง 0.1 mV ถึง 1000 V และรองรับการวัดแรงดัน AC และ DC
- 2) การวัดกระแสไฟฟ้า (Current): อุปกรณ์สามารถวัดกระแสไฟฟ้าในระหว่าง 0.1 μ A ถึง 20 A และรองรับการวัดกระแส AC และ DC
- 3) การวัดความต้านทาน (Resistance): สามารถวัดความต้านทานในระหว่าง 0.1 Ω ถึง 100 M Ω
- 4) การวัดความถี่ (Frequency): อุปกรณ์สามารถวัดความถี่ในระหว่าง 10 Hz ถึง 10 MHz
- 5) การทดสอบความต้านทานของอิเล็กทรอนิกส์ (Diode Test): สามารถทดสอบอิเล็กทรอนิกส์เช่น ไดโอด (Diode) และตัวถัง (Transistor) เพื่อตรวจสอบความต้านทานและการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้

- 6) การวัดอุณหภูมิ (Temperature Measurement): อุปกรณ์สามารถวัดอุณหภูมิในระหว่าง -50°C ถึง 1000°C
- 7) การทดสอบความปลอดภัย (Safety Testing): MD 9060 อาจมีฟังก์ชันทดสอบความปลอดภัยของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ
- 8) การบันทึกข้อมูล (Data Logging): อุปกรณ์สามารถบันทึกข้อมูลการวัดเพื่อการรายงานและการวิเคราะห์เพิ่มเติม
- 9) การวัด True RMS: สามารถวัดแรงดันและกระแสที่มีคลื่นซุ่มที่มีคุณภาพ
- 10) การวัดค่าความเข้มแสง (Light Measurement): สามารถวัดค่าความเข้มแสงใน Lux
- 11) การวัดค่าความค้ำแน่นของความหนาแน่น (Capacitance Measurement): สามารถวัดค่าความค้ำแน่นของความหนาแน่นในการเก็บพลังงาน (Capacitance) และค่าความสัมพันธ์ (Duty Cycle) ของสัญญาณ
- 12) การวัดค่าความต้านทานของดินกรีด (Continuity Test): สามารถใช้ในการตรวจสอบความต้านทานของดินกรีดหรือสายไฟที่ต้องการทดสอบ
- 13) การทดสอบแบตเตอรี่ (Battery Testing): สามารถใช้ในการทดสอบแบตเตอรี่และแสดงสถานะแบตเตอรี่
 - คุณสมบัติทางเทคนิค
 - 1) มาตรฐานความปลอดภัยตัวเครื่อง CAT IV/1000V
 - 2) หน้าจอ 2 บรรทัด แสดงผลพร้อมกัน 50,000 counts ในการวัดปกติและ 500,000 count ในการวัด DC Volt
 - 3) True RMS AC และ DC Voltage
 - 4) True RMS AC และ DC Current
 - 5) วัดตัวเก็บประจุสูงสุด $50\ \mu\text{F} - 50.000\ \mu\text{F}$
 - 6) วัดอุณหภูมิด้วย K-type thermocouple probe ได้ 2 channel

- 7) มีการแจ้งเตือนหากใช้สายวัดผิดในการทดสอบ
- 8) เชื่อมต่อกับ Computer ผ่าน Software PC-Link
- 9) มี Function VFD เพื่อการวัดแรงดันที่แม่นยำในงานซ่อมบำรุง Motor & Drives



รูปที่ 2.32 Metrel MD 9060

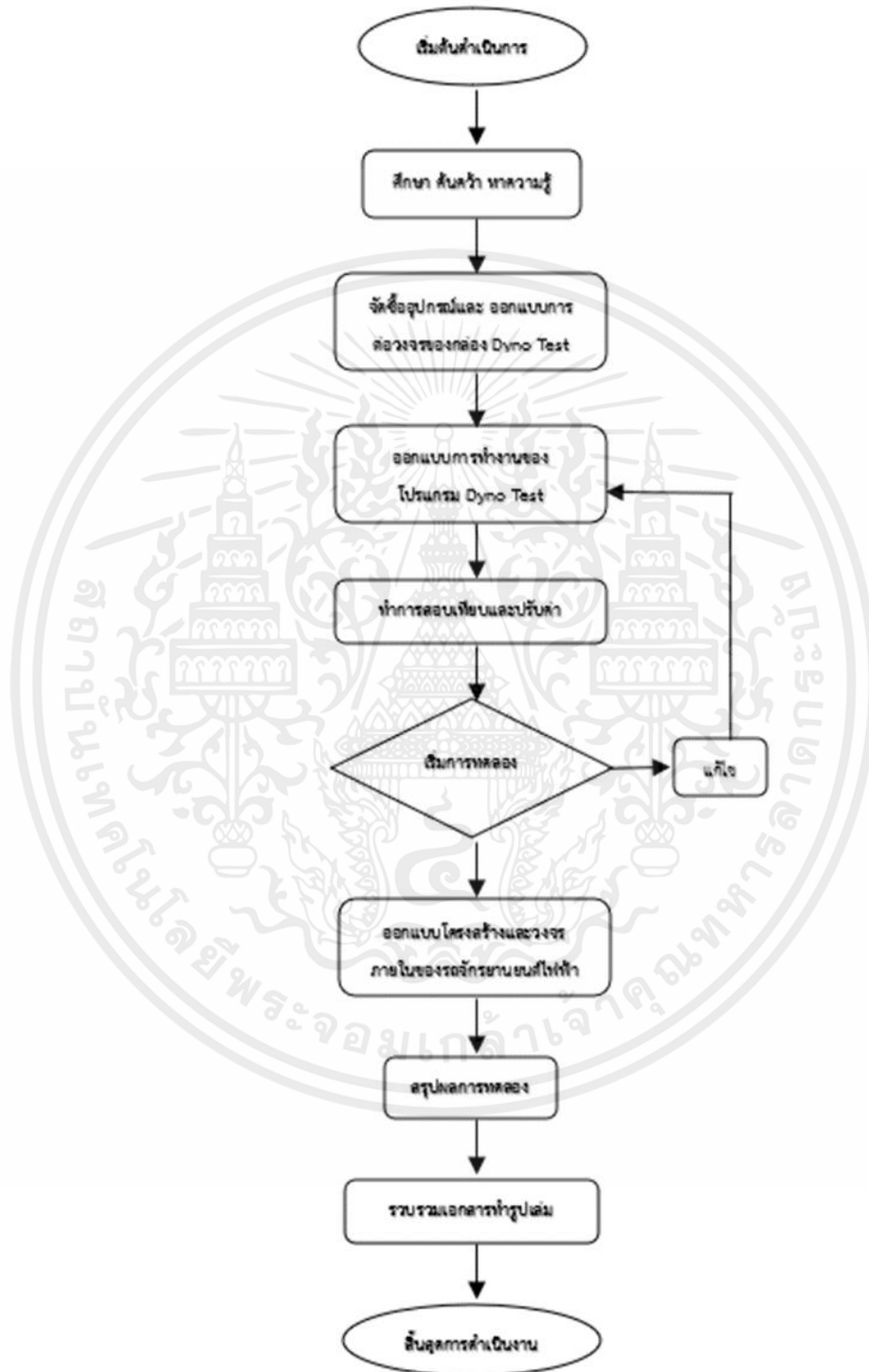
บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

โครงการรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง เริ่มจากการศึกษาหลักการการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ โปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการออกแบบ โครงสร้างและระบบไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง หลักการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง และการทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง และเก็บค่าข้อมูลการวัด กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังของมอเตอร์ รอบของมอเตอร์ และนำค่าไปปรับปรุงแก้ไข โดยการเลือกใช้มอเตอร์ในการสร้างรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง จะคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งานงบประมาณ และเนื่องจากการทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง จึงมีการสร้างโปรแกรมการทดสอบการวัดค่าต่างๆ ของตัวรถจักรยานยนต์เพื่อนำค่าต่างๆ ไปศึกษาต่อไป จากหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามบทที่ 2 นั้น โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
2. สอบเทียบอุปกรณ์การวัดที่ใช้ในโปรแกรม
3. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Dyno test ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
4. ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและประกอบชิ้นส่วนรถและระบบไฟฟ้า

3.1 ขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง



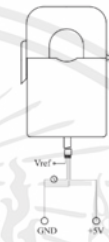
รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

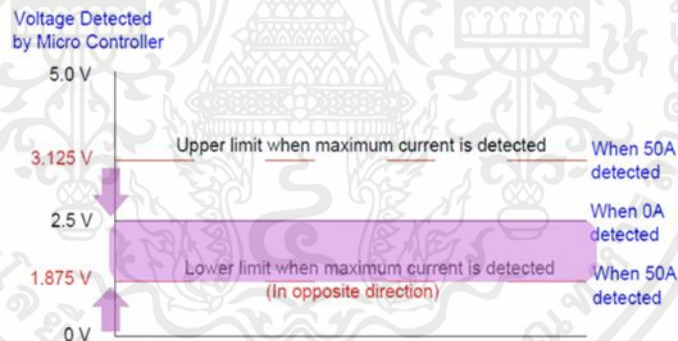
3.1.1 ขั้นตอนการศึกษาและสร้างโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพ

ทำการศึกษาและสร้างโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพ โดยการใช้โปรแกรม Arduino และ โปรแกรม LabVIEW ในการเขียนโค้ดเงื่อนไขการทำงานและสร้างไดอะแกรม ดังนี้

3.1.1.1. Hall split core current sensor.

| Electrical parameters: | | | Connection Diagram: | |
|------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|---|
| I_p | Rated input | ± 200 | A |  <p>4-core shielding wire Red:+5V Black:0V Yellow:Vout White:Vref</p> |
| I_{PM} | Input measured range | ± 250 | A | |
| V_{OUT} | Rated output | 2.5 ± 0.625 | V | |
| X | Accuracy | 1 | % | |
| E_L | Linearity | < 0.1 | % | |
| V_c | Supply voltage(+5%) | +5 | V | |
| I_c | Current consumption | ± 15 | mA | |
| R_L | Load impedance | $\geq 10K$ | Ω | |
| V_{iso} | Zero offset(A-25°C) | $\leq \pm 15$ | mV | |
| T_R | Response time | < 3 | μs | |
| N.W | Weight | 70 | g | |

รูปที่ 3.2 โครงสร้างและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Hall split core current sensor



รูปที่ 3.3 กราฟแรงดันไฟฟ้าโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

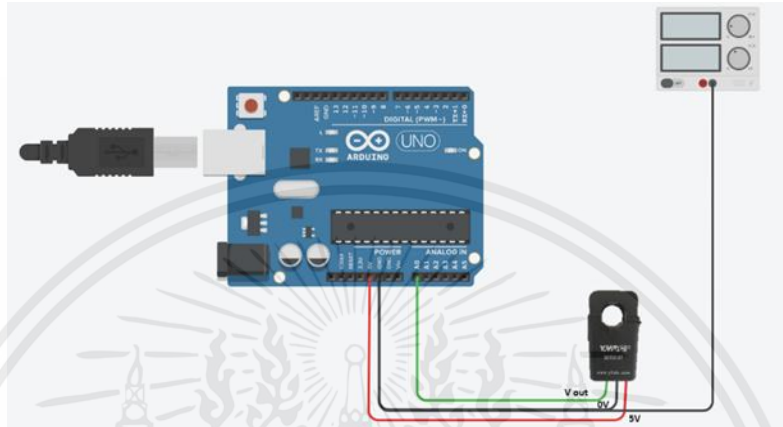
3.1.1.2. คำนวณหา scale ระหว่าง Hall split core current sensor กับ Arduino ความละเอียดระหว่าง 0-5v กับ 0-1024

$$\frac{5}{4096} = 0.00122v$$

ความละเอียดระหว่าง 0-200A กับ 0-4096 ในช่วง $2.5 \pm 6.25v$

$$\frac{200}{512} = 0.40A$$

3.1.1.3 ออกแบบวงจร Hall split core current sensor กับ Arduino



รูปที่ 3.4 ออกแบบวงจรการเชื่อมต่อ Hall split core current sensor กับ Arduino

3.1.1.4 เขียนโค้ดวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Hall split core current sensor ด้วย

โปรแกรม Arduino IDE

```

1
2 float voltage = 0;
3 float current1 = 0;
4 float current2 = 0;
5 float current = 0;
6
7 void setup() {
8   Serial.begin(9600);
9 }
10
11 void loop() {
12   int sensorValue = analogRead(A0);
13   sensorValue = analogRead(A0);
14   voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
15   current1 = voltage / 0.00488;
16
17   Serial.print(voltage);
18   delay (500);
19 }

```

รูปที่ 3.5 โค้ดอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจาก pin A0 โดยการนำค่าที่ Analog วัดได้จาก sensor มาคำนวณ

3.1.1.5 Hall voltage sensor

| | | | | | |
|------------|-------------------------|------------------------|------------|------------|---|
| I_{in} | Rated input | $\pm 50V$ | $\pm 100V$ | $\pm 200V$ | Standard input |
| I_{in} | Input measurement range | $\pm 70V$ | $\pm 150V$ | $\pm 300V$ | Default is 1.5 times of rated input |
| I_{out} | Rated output | $\pm 5V$ | | | Standard output |
| δ | Accuracy | 1% | | | $1 \sim I_{in}$ |
| δL | Linearity | 0.2% | | | $1 \sim I_{in}$ |
| V_c | Supply voltage | $\pm 12V / \pm 15V$ | | | One or the other Supply voltage range=7% |
| I_c | Current consumption | $< 15mA + I_e$ | | | Reference will be subject to the measured |
| R_l | Load impedance | $\geq 10K \Omega$ | | | Collection part impedance while lower voltage affect accuracy |
| V_{ze} | Zero offset voltage | $\leq \pm 30mV$ | | | $1A \sim 25^\circ C$ |
| T_r | Response time | $10 \sim 200 \mu s$ | | | Reference will be subject to the measured |
| K_w | Weight | 30g | | | Reference will be subject to the measured |
| T_o | Operation temperature | $-10 \sim +70^\circ C$ | | | |
| T_s | Storage temperature | $-25 \sim +70^\circ C$ | | | |
| B_w | Band width | - | | | Factory test according to DC |
| V_d | Dielectric strength | 2.5KV 50Hz 1min | | | |

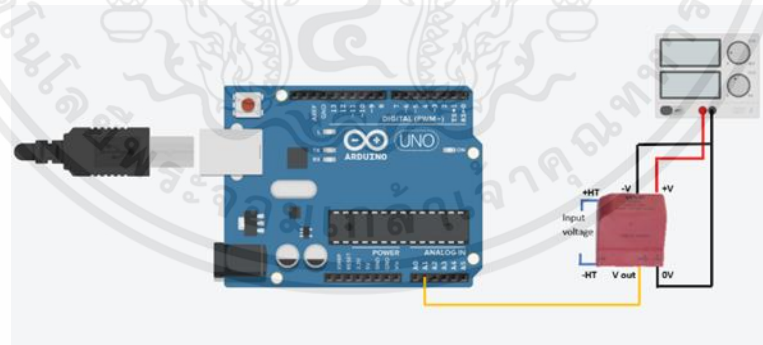


รูปที่ 3.9 โครงสร้างและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Hall voltage sensor

3.1.1.6 คำนวณหา scale ระหว่าง Hall voltage sensor กับ Arduino ความละเอียดระหว่าง 0-100v กับ 0-1024

$$\frac{100}{4096} = 0.0244A$$

3.1.1.7 ออกแบบวงจรการเชื่อมต่อ Hall voltage sensor กับ Arduino



รูปที่ 3.10 วงจรการเชื่อมต่อ Hall voltage sensor กับ Arduino

3.1.1.8 ทำการเขียนโค้ดวัดแรงดันไฟฟ้าด้วย Hall voltage sensor ด้วยโปรแกรม Arduino IDE การเขียนโค้ดอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจาก pin A1



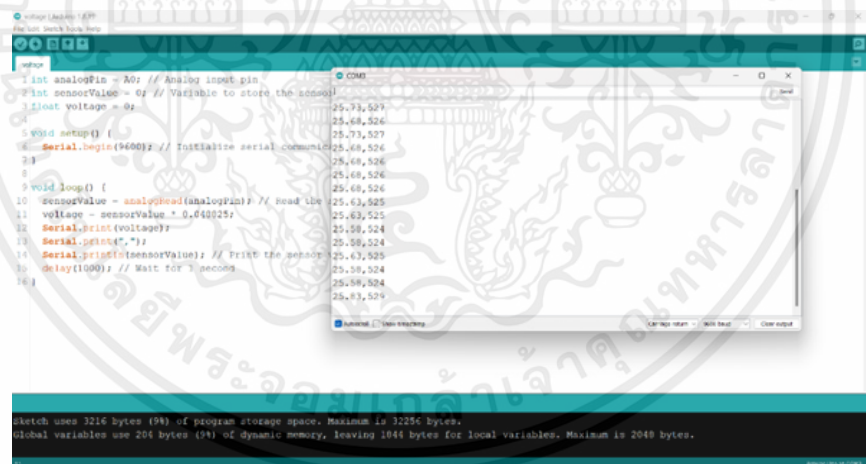
```

1 #pin
2 int analogPin = A0; // Analog input pin
3 int sensorValue = 0; // Variable to store the sensor value
4 float voltage = 0;
5
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600); // initialize serial communication
8 }
9
10 void loop() {
11   sensorValue = analogRead(analogPin); // Read the sensor value
12   voltage = sensorValue * 0.048825;
13   Serial.print(voltage);
14   Serial.println("\n");
15   Serial.println(sensorValue); // Print the sensor value to the serial monitor
16   delay(1000); // Wait for 1 second
17 }

```

รูปที่ 3.11 การเขียนโค้ดอ่านค่าแรงที่รับค่ามาจาก pin A1

3.1.1.9 ผลการทดลองโปรแกรม



```

1 #pin
2 int analogPin = A0; // Analog input pin
3 int sensorValue = 0; // Variable to store the sensor
4 float voltage = 0;
5
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600); // Initialize serial communication
8 }
9
10 void loop() {
11   sensorValue = analogRead(analogPin); // Read the
12   voltage = sensorValue * 0.048825;
13   Serial.print(voltage);
14   Serial.println("\n");
15   Serial.println(sensorValue); // Print the sensor
16   delay(1000); // Wait for 1 second
17 }

```

```

25.73,529
25.68,526
25.73,529
25.68,526
25.68,526
25.68,526
25.68,526
25.68,526
25.63,525
25.63,525
25.58,524
25.58,524
25.63,525
25.58,524
25.58,524
25.63,524

```

Sketch uses 3216 bytes (98%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 204 bytes (94%) of dynamic memory, leaving 1841 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

รูปที่ 3.12 ผลการทดลองโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.10 Omron Retroreflective Photoelectric Sensor E3Z-R61

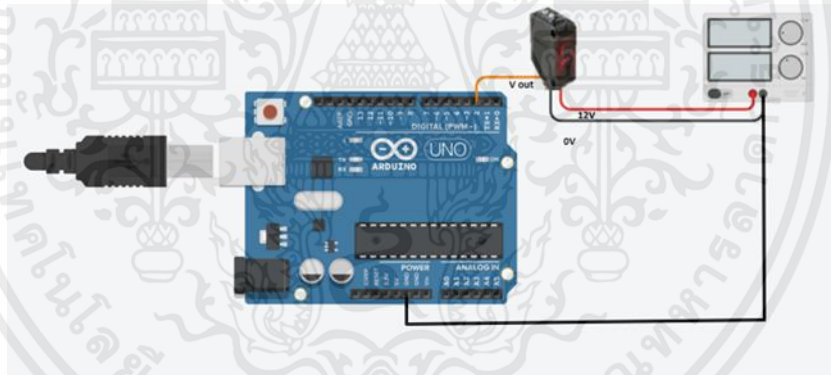
Specifications

| Item | Sensing method NPN output PNP output | Through beam | Polarized retroreflective | Diffuse reflective | |
|----------------------------|--|--|---|--|---------------------------------------|
| | | E3Z-T61/T66 E3Z-T81/T86 | E3Z-R61/R66 E3Z-R81/R86 | E3Z-D61/D66 E3Z-D81/D86 | E3Z-D62/D67 E3Z-D82/D87 |
| Sensing distance | | 15 m | 100 mm (4 m Note 1) (when using E39-R1S) 100 mm (3 m Note 2) (when using E39-R1) | White paper (100 × 100 mm): 100 mm | White paper (300 × 300 mm): 1 m |
| Standard sensing object | | Opaque: 12 mm (dia. min.) | Opaque: 75 mm (dia. min.) | --- | |
| Hysteresis | | --- | | 20% max. of setting distance | |
| Directional angle | | Both emitter and receiver: 3 to 15° | 2 to 10° | --- | |
| Light source (wave length) | | Infrared LED (860 nm) | Red LED (680 nm) | Infrared LED (860 nm) | |
| Power supply voltage | | 12 to 24 VDC ± 10% including 10% (p-p) max. ripple | | | |
| Current consumption | | Emitter: 15 mA Receiver: 20 mA | 30 mA max. | | |
| Control output | | 100 mA max. at 28.4 VDC, open collector output (residual voltage: 1 V max.) L-ON-D-ON, switch selectable | | | |
| Circuit protection | | Load short-circuit and reversed power supply protection | Reversed power supply connection, output short-circuit, and mutual interference protection | | |



รูปที่ 3.13 โครงสร้างและข้อมูลจำเพาะ Omron Retroreflective Photoelectric Sensor E3Z-R61

3.1.1.11 ออกแบบวงจรการเชื่อมต่อ E3Z-R61 กับ Arduino



รูปที่ 3.14 วงจรการเชื่อมต่อ E3Z-R61 กับ Arduino

3.1.1.12 ทำการเขียนโค้ดวัดความเร็วรอบด้วย E3Z-R61 ด้วยโปรแกรม Arduino IDE การเขียนโค้ดอ่านค่า Interrupt จาก pin 2

```

1 int sensorPin = 2;
2 volatile float rpmCount = 0;
3 volatile float rpmWheel = 0;
4 volatile float speed = 0;
5 volatile float speed1 = 0;
6
7 volatile float trigger = 0;
8 unsigned long rpmTime;
9 volatile float circumference = 0;
10
11 volatile float rpm2 = 0;
12 volatile int rpmWheel_2 = 0;
13
14 volatile float rw = 0.165;
15 volatile float r1 = 0.30;
16 volatile float pi = 3.141592654;
17
18 unsigned long timer;
19
20 void rpm_Func() {
21   rpmCount++;
22 }
23
24 void setup() {
25   pinMode(sensorPin, INPUT_PULLUP);
26   Serial.begin(9600);
27   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), rpm_Func, RISING);
28   rpmTime = millis();
29 }
30
31 void loop() {
32
33
34
35   if (rpmWheel_2 != rpmCount) {
36     timer = millis();
37     float rpmTime = 1000 /
38     circumference = 2 * pi * rw;
39     rpmWheel = rpmCount - rpmTime / 2;
40     speed = (rpmCount * 60) / rpmTime;
41     speed1 = (speed * 60) / 1000;
42
43     Serial.println("RPM: ");
44     Serial.println(rpmCount);
45     Serial.println("RPM1: ");
46     Serial.println(rpmWheel);
47     Serial.println("RPM2: ");
48     Serial.println(rpmWheel_2);
49     Serial.println(speed);
50     rpmCount = 0;
51     rpmTime = timer;
52   }
53 }

```

รูปที่ 3.15 การเขียนโค้ดอ่านค่า Interrupt จาก pin 2

3.1.1.13 ผลการทดลองโปรแกรม

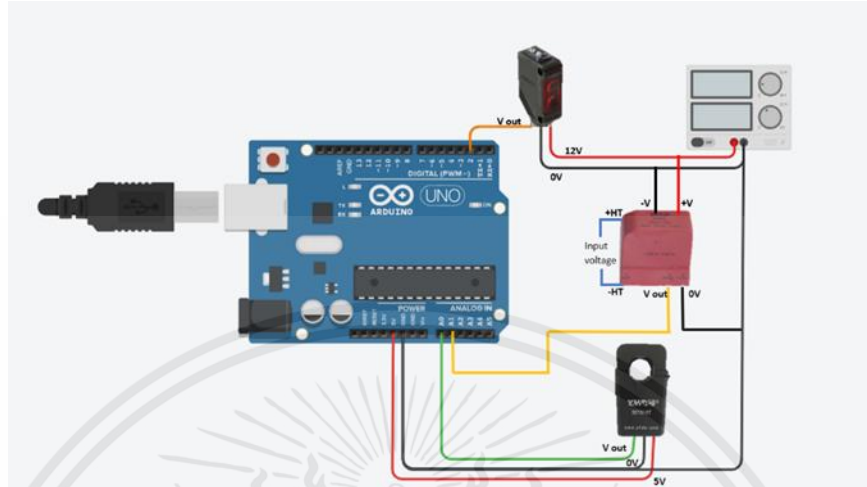
The screenshot shows the Arduino IDE with the code from Figure 3.15. The serial monitor window displays the following output:

| RPM | RPM1 | RPM2 | Speed |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6.00 | 6.00 | 6.00 | 1.97 |
| 7.00 | 7.00 | 7.00 | 2.06 |
| 8.00 | 8.00 | 8.00 | 2.15 |
| 9.00 | 9.00 | 9.00 | 2.24 |
| 10.00 | 10.00 | 10.00 | 2.33 |
| 11.00 | 11.00 | 11.00 | 2.42 |
| 12.00 | 12.00 | 12.00 | 2.51 |
| 13.00 | 13.00 | 13.00 | 2.60 |
| 14.00 | 14.00 | 14.00 | 2.69 |
| 15.00 | 15.00 | 15.00 | 2.78 |
| 16.00 | 16.00 | 16.00 | 2.87 |
| 17.00 | 17.00 | 17.00 | 2.96 |
| 18.00 | 18.00 | 18.00 | 3.05 |
| 19.00 | 19.00 | 19.00 | 3.14 |
| 20.00 | 20.00 | 20.00 | 3.23 |
| 21.00 | 21.00 | 21.00 | 3.32 |

รูปที่ 3.16 ผลการทดลองของโปรแกรมวัดรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.14 ทำการรวมโปรแกรมทั้ง 3 โปรแกรมเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.17 ทำการออกแบบการต่อวงจรทั้ง 3 โปรแกรมเข้าด้วยกัน

3.1.1.15 ทำการเขียนโปรแกรม Dyno Test โดยการรวม 3 โปรแกรม

```

// Include libraries
#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Servo.h>
#include <Stepper.h>
#include <Encoder.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_ILI9341.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_SHT1x.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <Adafruit_DHT.h>
#include <Adafruit_LSM9DS0X.h>
#include <Adafruit_LSM9DS30.h>
#include <Adafruit_LSM9DS33.h>
#include <Adafruit_LSM9DS35.h>
#include <Adafruit_LSM9DS39.h>
#include <Adafruit_LSM9DS40.h>
#include <Adafruit_LSM9DS41.h>
#include <Adafruit_LSM9DS42.h>
#include <Adafruit_LSM9DS43.h>
#include <Adafruit_LSM9DS44.h>
#include <Adafruit_LSM9DS45.h>
#include <Adafruit_LSM9DS46.h>
#include <Adafruit_LSM9DS47.h>
#include <Adafruit_LSM9DS48.h>
#include <Adafruit_LSM9DS49.h>
#include <Adafruit_LSM9DS50.h>
#include <Adafruit_LSM9DS51.h>
#include <Adafruit_LSM9DS52.h>
#include <Adafruit_LSM9DS53.h>
#include <Adafruit_LSM9DS54.h>
#include <Adafruit_LSM9DS55.h>
#include <Adafruit_LSM9DS56.h>
#include <Adafruit_LSM9DS57.h>
#include <Adafruit_LSM9DS58.h>
#include <Adafruit_LSM9DS59.h>
#include <Adafruit_LSM9DS60.h>
#include <Adafruit_LSM9DS61.h>
#include <Adafruit_LSM9DS62.h>
#include <Adafruit_LSM9DS63.h>
#include <Adafruit_LSM9DS64.h>
#include <Adafruit_LSM9DS65.h>
#include <Adafruit_LSM9DS66.h>
#include <Adafruit_LSM9DS67.h>
#include <Adafruit_LSM9DS68.h>
#include <Adafruit_LSM9DS69.h>
#include <Adafruit_LSM9DS70.h>
#include <Adafruit_LSM9DS71.h>
#include <Adafruit_LSM9DS72.h>
#include <Adafruit_LSM9DS73.h>
#include <Adafruit_LSM9DS74.h>
#include <Adafruit_LSM9DS75.h>
#include <Adafruit_LSM9DS76.h>
#include <Adafruit_LSM9DS77.h>
#include <Adafruit_LSM9DS78.h>
#include <Adafruit_LSM9DS79.h>
#include <Adafruit_LSM9DS80.h>
#include <Adafruit_LSM9DS81.h>
#include <Adafruit_LSM9DS82.h>
#include <Adafruit_LSM9DS83.h>
#include <Adafruit_LSM9DS84.h>
#include <Adafruit_LSM9DS85.h>
#include <Adafruit_LSM9DS86.h>
#include <Adafruit_LSM9DS87.h>
#include <Adafruit_LSM9DS88.h>
#include <Adafruit_LSM9DS89.h>
#include <Adafruit_LSM9DS90.h>
#include <Adafruit_LSM9DS91.h>
#include <Adafruit_LSM9DS92.h>
#include <Adafruit_LSM9DS93.h>
#include <Adafruit_LSM9DS94.h>
#include <Adafruit_LSM9DS95.h>
#include <Adafruit_LSM9DS96.h>
#include <Adafruit_LSM9DS97.h>
#include <Adafruit_LSM9DS98.h>
#include <Adafruit_LSM9DS99.h>
#include <Adafruit_LSM9DS100.h>
// Define pins
#define SERVO_PIN 9
#define STEPPER_PIN 8
#define ENCODER_A 2
#define ENCODER_B 3
#define DHT_PIN 4
#define BMP280_I2C_ADDR 0x76
#define SHT1X_I2C_ADDR 0x40
// Define variables
int servoAngle = 0;
int stepperSteps = 0;
int encoderA = 0;
int encoderB = 0;
float dhtHumidity = 0;
float dhtTemperature = 0;
float bmpAltitude = 0;
float shtHumidity = 0;
float shtTemperature = 0;
// Define functions
void servoWrite(int angle) {
  servoWriteMicroseconds(20000 - angle * 4);
}
void stepperWrite(int steps) {
  stepperWriteMicrosteps(steps);
}
void encoderRead() {
  encoderReadA();
  encoderReadB();
}
void dhtRead() {
  dhtReadHumidity();
  dhtReadTemperature();
}
void bmpRead() {
  bmpReadAltitude();
}
void shtRead() {
  shtReadHumidity();
  shtReadTemperature();
}
// Define setup
void setup() {
  pinMode(SERVO_PIN, OUTPUT);
  pinMode(STEPPER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ENCODER_A, INPUT);
  pinMode(ENCODER_B, INPUT);
  pinMode(DHT_PIN, INPUT);
  SPI.begin();
  Wire.begin();
  DHT.begin(DHT_PIN);
  BMP280.begin(BMP280_I2C_ADDR);
  SHT1X.begin(SHT1X_I2C_ADDR);
}
// Define loop
void loop() {
  servoWrite(servoAngle);
  stepperWrite(stepperSteps);
  encoderRead();
  dhtRead();
  bmpRead();
  shtRead();
  servoAngle++;
  stepperSteps++;
  delay(100);
}

```

รูปที่ 3.18 เขียนโปรแกรม Dyno Test โดยการรวม 3 โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.16 ผลการทดลองการทดสอบโปรแกรม Dyno Test

```

27 }
28
29 void setup() {
30   pinMode(sensorPin, INPUT_VOLTAG);
31   Serial.begin(9600);
32   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), rpm_fun, RISING);
33   rpmTime = millis();
34 }
35
36 void loop() {
37   //if (Serial.available() > 0) {
38   //  Serial.read();
39   //}
40   // voltage and current sensor
41   sensorValue1 = analogRead(sensorPin);
42   voltage1 = sensorValue1 * 0.0488225;
43
44   int sensorValue = analogRead(A0);
45   voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
46
47   if (sensorValue == 519 && sensorValue != 519) {
48     current = 0;
49   } else {
50     current1 = voltage / 0.00458;
51     current2 = (current1 - 827.92) / 2;
52   }
53
54   // rpm sensor
55   if (rpmTime != rpmCount) {
56     time = millis();
57     if (time - rpmTime >= 1000) {
58       rpmCount = time;
59       rpmValue = 2 * rpm * 60 / (time - rpmTime);
60     }
61   }
62 }

```

COM3

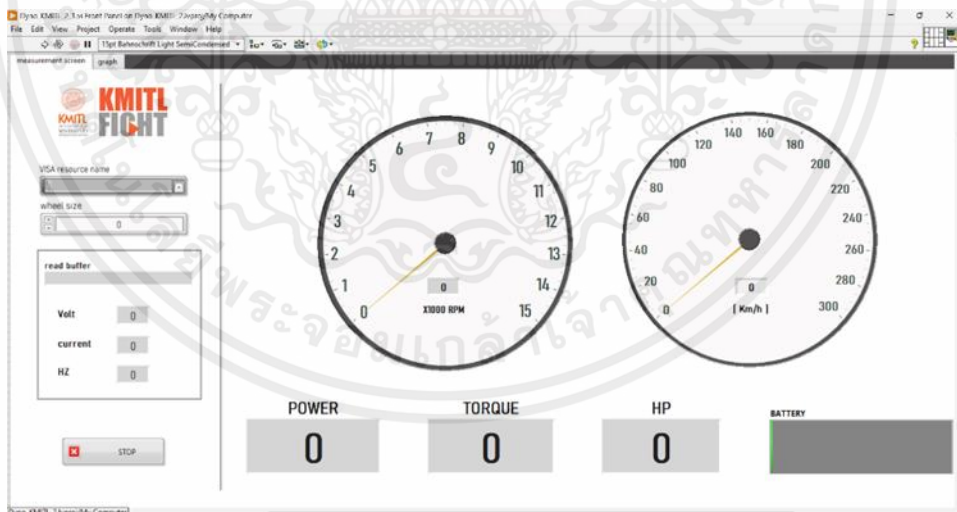
```

12.00, 0.20, 1.41, 360.00, 22.39
12.00, 0.24, 1.41, 360.00, 22.39
11.00, 0.20, 2.97, 330.00, 20.52
12.00, 0.10, 9.23, 360.00, 22.39
12.00, 0.20, 1.41, 360.00, 22.39
11.00, 0.14, -1.72, 330.00, 20.83
10.00, 0.10, -3.29, 300.00, 18.66
10.00, 0.09, -0.14, 300.00, 19.66
7.00, 0.19, -3.29, 240.00, 14.93
7.00, 0.20, -3.29, 210.00, 13.06
7.00, 0.13, -4.89, 210.00, 13.06
5.00, 0.19, -3.29, 150.00, 9.33
5.00, 0.19, -3.29, 150.00, 9.33
4.00, 0.15, -1.72, 120.00, 7.46
3.00, 0.17, -4.89, 90.00, 5.40
2.00, 0.19, -3.29, 60.00, 3.73
2.00, 0.19, -6.42, 60.00, 3.73
0.00, 0.19, 0.41, 0.00, 0.00
3.00, 0.05, -1.72, 90.00, 5.40
6.00, 0.19, 1.41, 120.00, 7.46
6.00, 0.05, -0.14, 120.00, 7.46

```

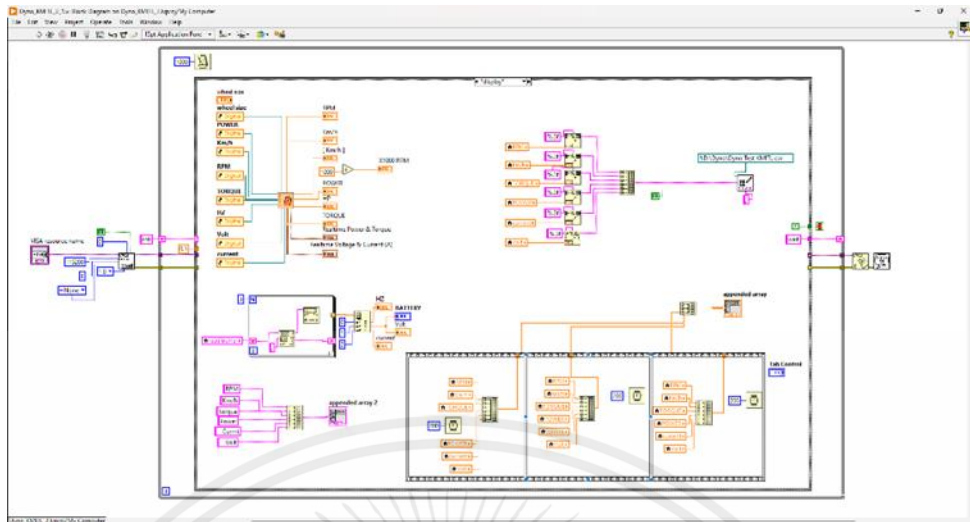
รูปที่ 3.19 ผลการทดลองการทดสอบโปรแกรม Dyno Test

3.1.1.17 การเขียนโปรแกรม NI LabVIEW ในการทำหน้าจอสถาปัตยกรรมประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์

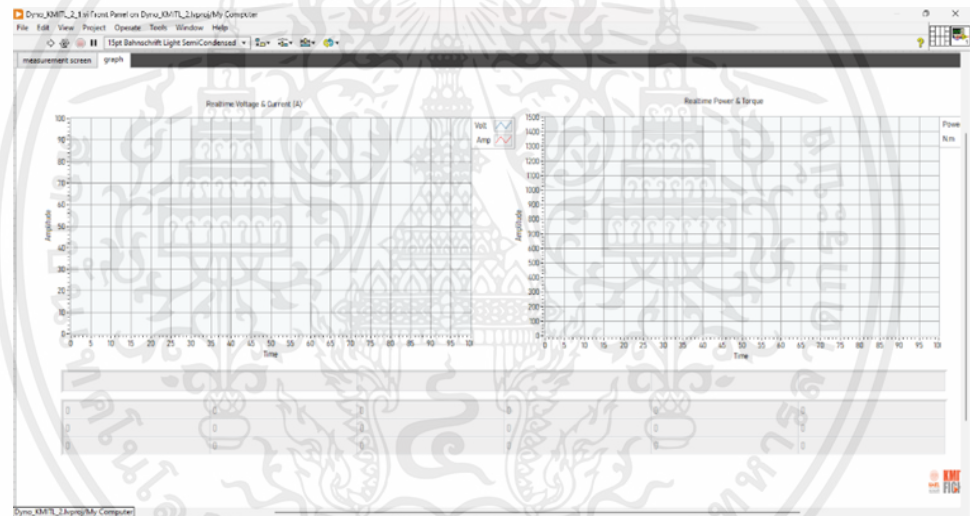


รูปที่ 3.20 เขียนโปรแกรม NI LabVIEW ในการทำหน้าจอสถาปัตยกรรมประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมการวัดประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงผลการวัดประสิทธิภาพมอเตอร์ไซค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สอบเทียบอุปกรณ์การวัดที่ใช้ในโปรแกรม

ทำการการสอบเทียบอุปกรณ์การวัดและเซ็นเซอร์

3.3.1 โดยที่จะสอบเทียบกระแสมี instek GDM 9061 เป็น Standard และ Hall split core current sensor เป็น UUC และมีผลการสอบเทียบดังนี้.

ตารางที่ 3.1 ตารางการสอบเทียบกระแสไฟฟ้า

| Input | Read 1 | Read 2 | Read 3 | Read 4 | Read 5 | Average | S.D. | Error (%) | Uncertainty type A |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|-----------|--------------------|
| 0 A | -0.16 | -0.16 | -1.72 | -0.16 | -0.16 | -0.478 | 0.704 | 0 | 0.318 |
| 5 A | 6.1 | 4.54 | 4.54 | 6.1 | 4.54 | 5.164 | 4.913 | 3.28 | 0.3821 |
| 10.5 A | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 12.36 | 12.36 | 11.424 | 0.854 | 8.8 | 0.4132 |
| 21 A | 21.75 | 23.2 | 23.2 | 21.75 | 23.2 | 22.18 | 2.807 | 5.62 | 0.438 |
| 42 A | 40.53 | 42.10 | 43.66 | 45.23 | 43.66 | 43.036 | 1.785 | 2.46 | 0.801 |

3.3.2 โดยที่จะสอบเทียบแรงดันไฟฟ้ามี instek GDM 9061 เป็น Standard และ Hall voltage sensor (HV62) เป็น UUC และมีผลการสอบเทียบดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้า

| Input | Read 1 | Read 2 | Read 3 | Read 4 | Read 5 | Average | S.D. | Error (%) | Uncertainty type A |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|-----------|--------------------|
| 0 V | 0.24 | 0.22 | 0.24 | 0.15 | 0.02 | 0.2 | 0.046 | 0 | 0.020 |
| 5 V | 5.22 | 5.13 | 5.27 | 5.13 | 5.13 | 5.176 | 0.065 | 3.52 | 0.029 |
| 10 V | 10.35 | 10.36 | 10.45 | 10.40 | 10.25 | 10.36 | 0.074 | 3.6 | 0.033 |
| 15 V | 15.33 | 15.43 | 15.48 | 15.33 | 15.43 | 15.4 | 0.067 | 2.66 | 0.029 |
| 20 V | 20.41 | 20.56 | 20.51 | 20.56 | 20.41 | 20.49 | 0.075 | 2.45 | 0.033 |
| 25 V | 25 | 25.73 | 25.68 | 25.54 | 25.68 | 25.52 | 0.302 | 2.08 | 0.061 |

3.3.3 โดยที่จะสอบเทียบความถี่มี METREL MD9060 เป็น Standard และ Omron Retroreflective Photoelectric Sensor (E3Z-R61) เป็น UUC และมีผลการสอบเทียบดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตารางการสอบเทียบความถี่

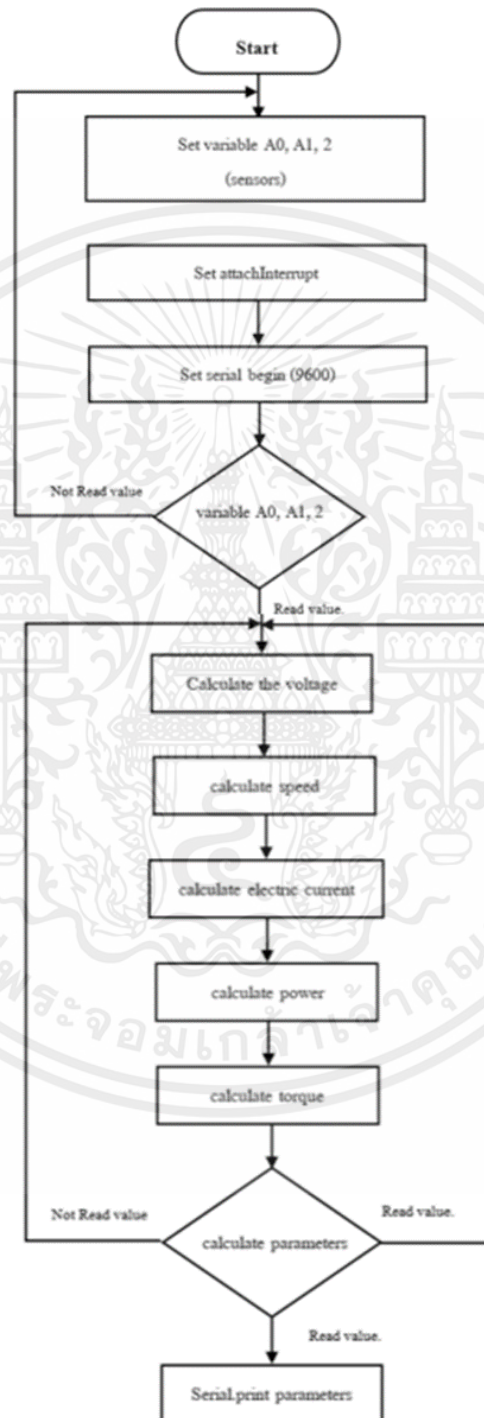
| No. | METREL MD9060 | E3Z-R61 | |
|------------|---------------|---------|-------|
| 1 | 11.85 | 12 | |
| 2 | 11.85 | 12 | |
| 3 | 11.9 | 12 | |
| 4 | 11.9 | 12 | |
| 5 | 11.9 | 12 | |
| Average | 11.88 | 12 | Error |
| S.D. | 0.02738 | 0 | 1.01% |
| Resolution | 0.001 | 1 | |



รูปที่ 3.23 การสอบเทียบจริงที่ห้องสอบเทียบตึกภาควัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

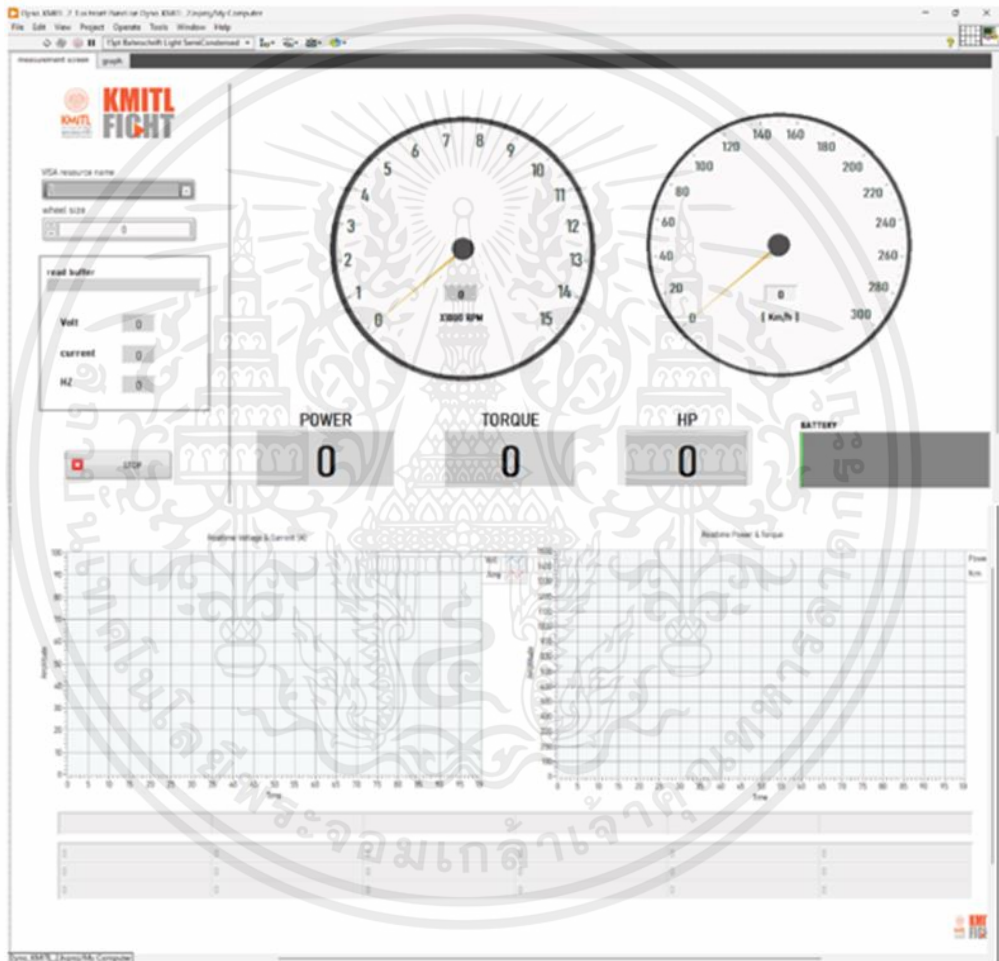
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Dyno test ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ดัดแปลง



รูปที่ 3.24 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Dyno test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

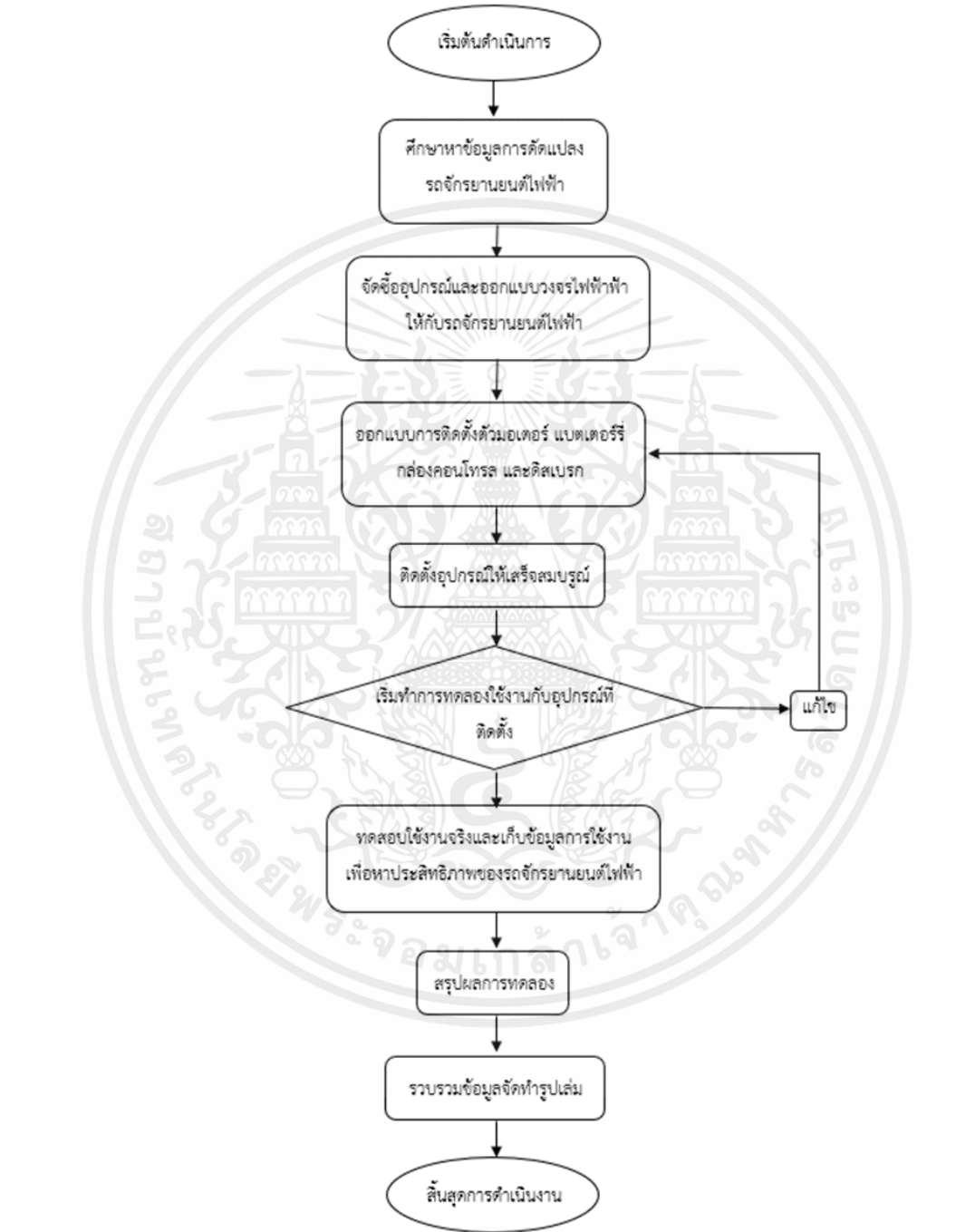
โปรแกรม Dyno test ที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมานั้นจะใช้ โปรแกรม Arduino IDE เป็นตัวเขียน เจริญไขการทำงานการรับค่า และนำมาคำนวณส่งต่อให้กับโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำมาแสดงผลเป็น ข้อมูลที่มองเห็นและวิเคราะห์ได้ง่ายต่อผู้ใช้งาน โดยที่หน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW จะแสดงถึง ความเร็ว (Km/h), ความเร็วรอบ (RPM), Power(Watt), แรงบิด (N • m), แรงม้า (HP) ในรูปแบบของ ตัวเลขและเข็มอนาล็อกที่ผ่านจากการคำนวณตามเงื่อนไขที่เราได้กำหนดขึ้นมา และมีกราฟแสดงผลให้ เห็นถึงข้อมูลจากการวัดในช่วงเวลานั้นๆ



รูปที่ 3.25 หน้าต่างโปรแกรม Dyno test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและวงจรไฟฟ้าภายในตัวรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

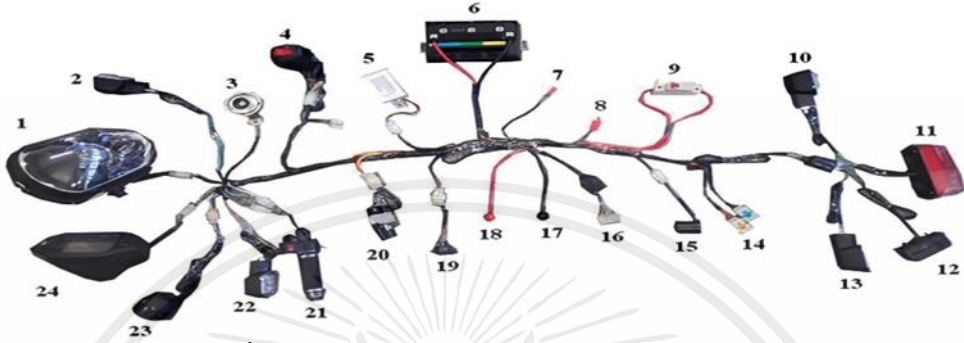


รูปที่ 3.26 การออกแบบโครงสร้างและวงจรไฟฟ้าภายในตัวรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ออกแบบวงจรไฟฟ้าภายในตัวรถ

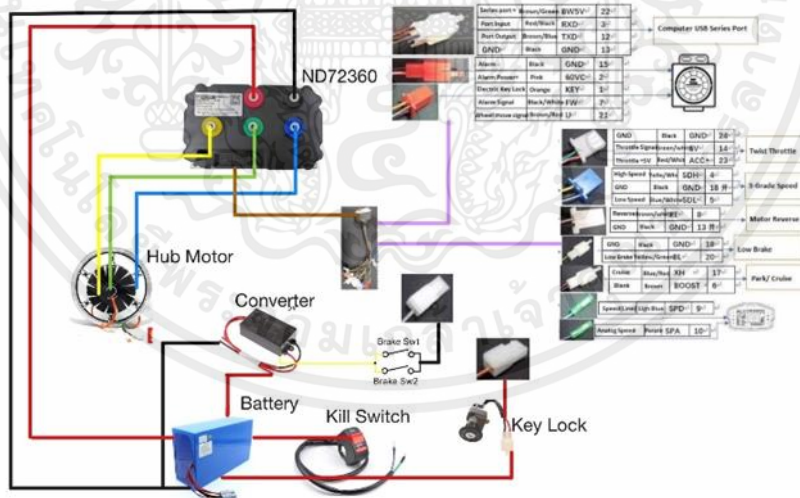
ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับตัวชุด Controller และเชื่อมต่อใช้กับรถจักรยานยนต์



รูปที่ 3.27 อุปกรณ์ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

3.4.1.1 ออกแบบระบบวงจรไฟฟ้าเชื่อมต่อกับตัว Controller

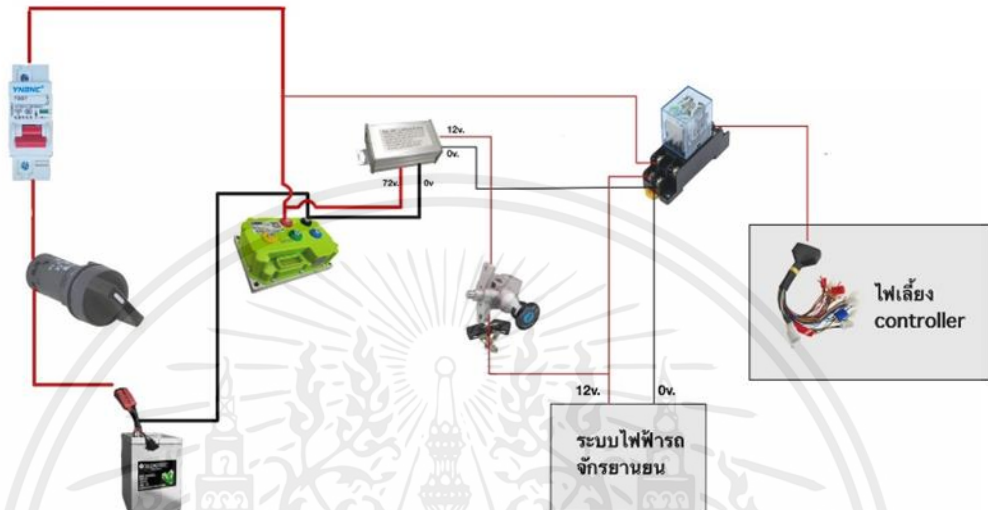
ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าให้กับตัวคอนโทรลเลอร์ เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงตามรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.28 วงจรไฟฟ้าเชื่อมต่อกับตัว Controller

3.4.1.2 ออกแบบวงจรไฟฟ้าเอาไว้อย่างไฟให้กับชุดระบบไฟของรถ

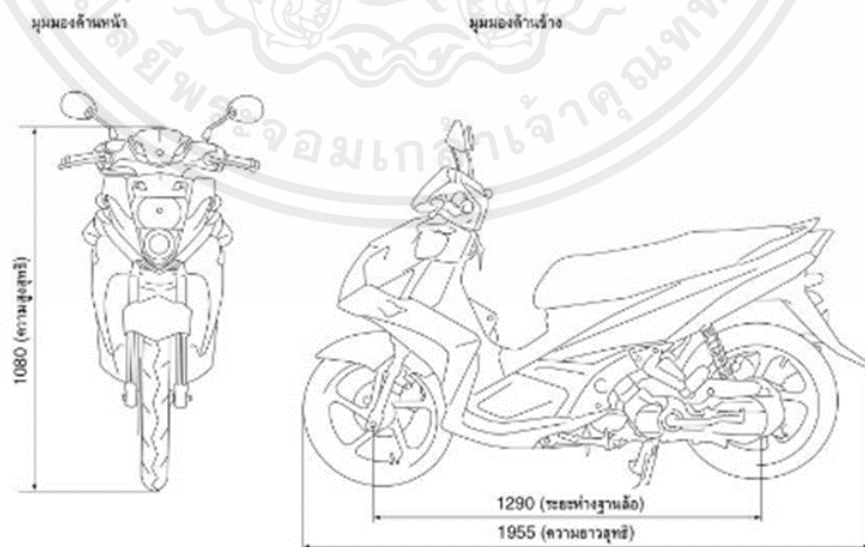
ออกแบบวงจรไฟฟ้าเอาไว้อย่างไฟให้กับชุดระบบไฟของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
ดัดแปลงโดยมีรีเลย์เพื่อเข้ามาช่วยในการควบคุมแทนสวิตช์กุญแจเดิม



รูปที่ 3.29 วงจรระบบไฟเลี้ยงให้กับตัวรถ

3.4.2 ขั้นตอนการดัดแปลงโครงสร้างและประกอบโครงรถที่ได้ทำการออกแบบ

รถจักรยานยนต์สันดาปที่นำมาดัดแปลงเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นเป็นรถ
ยี่ห้อ YAMAHA รุ่น NOUVO SX โดยได้มีการศึกษาโครงสร้างเกี่ยวกับรถรุ่นนี้ก่อนนำมาดัดแปลง



รูปที่ 3.30 โครงสร้างรถจักรยานยนต์ยี่ห้อ YAMAHA รุ่น NOUVO SX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดัดแปลงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าของเรานั้นจะเน้นการดัดแปลงให้รถนั้นอยู่สภาพเดิมมากที่สุดโดยที่เราจะใช้ชุดข้างของตัวรถเดิมไม่ได้ใส่สวิงอาร์มใหม่เพียงแต่ต้องดัดแปลงตัวชุดข้างเดิมให้ใส่เข้ากับมอเตอร์ได้และแข็งแรงมั่นคง

3.4.2.1 นำล้อมอเตอร์มาประกอบยึดติดกับตัวรถจักรยานยนต์

นำมอเตอร์ขนาด 3000 วัตต์มาติดตั้งกับชุดข้างรถเดิมโดยที่เราจะต้องทำการกลึงปาดชุดข้างเดิมให้ใส่มอเตอร์ได้พอดี และกลึงบุชรองมอเตอร์เพิ่มทั้งสองข้างในมอเตอร์นั้นได้ ศูนย์กลางและใส่เข้ากับชุดข้างเดิมได้แน่นแข็งแรง



รูปที่ 3.31 ประกอบล้อมอเตอร์ยึดติดกับตัวรถจักรยานยนต์

3.4.2.2 ประกอบชุด Controller เข้ากับชุดข้างของตัวรถจักรยานยนต์

ทำการออกแบบการติดตั้งกล่องคอนโทรลเลอร์เข้ากับชุดข้างเดิมโดยสาเหตุที่ต้องติดตั้งกล่องคอนโทรลเลอร์เข้ากับชุดข้างเดิมก็คือ เราต้องการพื้นที่ใช้สอยใต้เบาะของรถดัดแปลงของเรา เพื่อจะติดตั้งแบตเตอรี่ไว้ใต้เบาะและติดตั้งกล่องเข้ากับชุดข้างเดิม เพื่อง่ายต่อการเชื่อมต่อระบบไฟ

ทำการเจาะรูชุดข้างเพื่อที่จะใช้น็อตในการจับยึดกล่องคอนโทรลเลอร์เข้ากับตัวชุดข้างเดิมและใส่ฉนวนกันเพื่อกันไฟฟ้าช็อตกับตัวโครงรถ



รูปที่ 3.32 เจาะรูเพื่อติดตั้งกับกล่องคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.33 คอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งกับชุดช่างที่สมบูรณ์

3.4.2.3 ออกแบบและสร้าง U-box ให้เป็นช่องใส่แบตเตอรี่

ทำการตัดเหล็กที่จะมาเชื่อมเข้ากับตัวโครงรถเดิม เพื่อทำ U-box ใส่แบตเตอรี่ โดยจะตัดเหล็กเส้นจำนวน 8 เส้นขนาดแตกต่างกันไปตามการออกแบบ



รูปที่ 3.34 ตัดเหล็กเพื่อที่จะนำมาทำ U-box ใส่แบตเตอรี่

นำเหล็กที่ได้ตัดมาแล้ว มาเชื่อมติดเข้ากับตัวโครงรถโดยที่จะไม่มีการตัดหรือตัดแปลงโครงรถเดิมเลย



รูปที่ 3.35 การเชื่อมเหล็กที่ได้ทำการตัดเข้ากับโครงรถเดิมเพื่อ U-box ใส่แบตเตอรี่

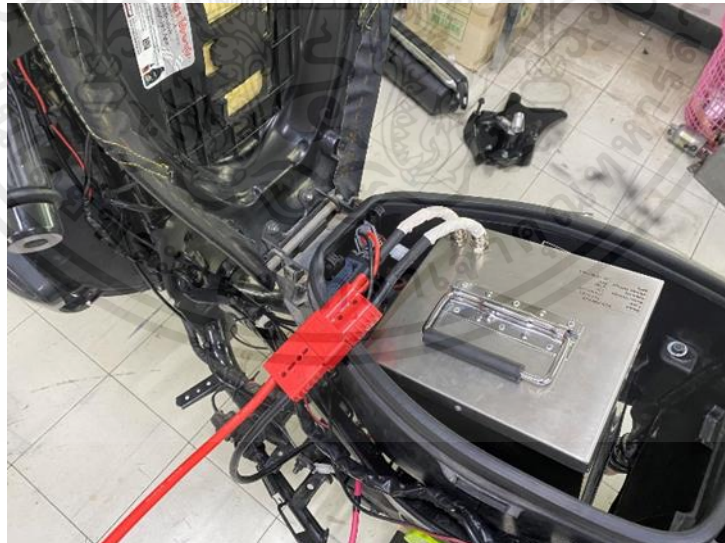
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 ช่องใส่แบตเตอรี่ที่เสร็จสมบูรณ์

3.4.2.4 ติดตั้งแบตเตอรี่เข้ากับตัวรถจักรยานยนต์และทำจุดชาร์จแบตเตอรี่

ในส่วนนี้เราจะนำตัวแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมาใส่ไว้ในช่องใต้เบาะคนขับแทนถังน้ำมันเดิมและได้มีการทำฐานวางเพื่อให้พอดีกับตัวแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่นำมาใช้



รูปที่ 3.37 วางแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเข้ากับตัวรถจักรยานยนต์

เจาะรูฝาปิดแบตเตอรี่เพื่อติดตั้งหัวชาร์จแบตเตอรี่เข้ากับตัวฝา ให้ง่ายต่อการใช้งาน

และการชาร์จ



รูปที่ 3.38 เจาะรูเพื่อทำจุดชาร์จแบตเตอรี่

3.4.2.5 ติดตั้งดิสเบรกเข้ากับล้อมอเตอร์หลังของรถจักรยานยนต์

ทำการติดตั้งดิสเบรกเข้ากับล้อมอเตอร์หลังของรถจักรยานยนต์



รูปที่ 3.39 ติดตั้งดิสเบรกเข้ากับล้อมอเตอร์หลังของรถจักรยานยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการติดตั้งปั๊มเบรกเข้ากับดิสเบรกและยึดคานเข้ากับแกนล้อมอเตอร์เพื่อล๊อค ล้อมอเตอร์ให้ไม่มีการเหวี่ยงหรือสลับป้องกันการกระชากสายไฟของล้อมอเตอร์



รูปที่ 3.40 ติดตั้งปั๊มเบรกเข้ากับดิสเบรกหลังพร้อมกับยึดคานเข้ากับแกนล้อมอเตอร์

3.4.2.6 ประกอบโครงสร้างภายนอก เดินระบบไฟฟ้าและสายเบรก

นำเฟรมรถจักรยานยนต์มาประกอบกลับใส่ที่เดิมพร้อมจัดระเบียบสายไฟที่ เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆและเดินสายเบรกให้เป็นระเบียบเรียบร้อย



รูปที่ 3.41 ประกอบโครงสร้างภายนอกของตัวรถจักรยานยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.7 การประกอบโครงสร้างภายนอกของรถจักรยานยนต์เสร็จสมบูรณ์

เมื่อประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์จัดระเบียบสายไฟทุกอย่างเสร็จสมบูรณ์แล้วจะได้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่อยู่ในสภาพเดิมมากที่สุด



รูปที่ 3.42 โครงสร้างภายนอกของรถจักรยานยนต์เสร็จสมบูรณ์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในส่วนของ การทดสอบนี้ จะประกอบไปด้วย การทดสอบทั้งหมด 3 การทดสอบด้วยกัน คือ ทดสอบบนเครื่อง Dyno Test ในส่วนนี้จะเก็บค่าด้วยกัน 7 อย่างคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความจุแบตเตอรี่ เปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ อุณหภูมิแบตเตอรี่ และแรงบิด การทดสอบบนถนนจริง จะเก็บค่าด้วยกัน 6 อย่างด้วยกันคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความจุแบตเตอรี่ เปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ อุณหภูมิแบตเตอรี่ และการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC จะเก็บค่า 2 อย่าง ดังนี้ การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC ค่าแรงดันไฟฟ้า และการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC ค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่

4.1 การทดสอบบนเครื่องทดสอบ Dyno Test เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพ

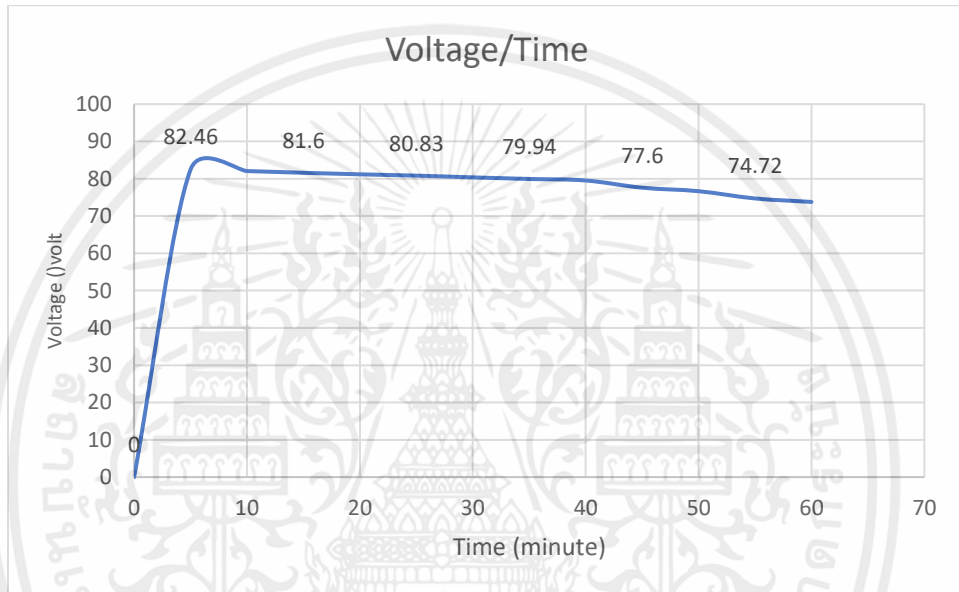
ในการทดสอบประสิทธิภาพบนเครื่องทดสอบ Dyno Test จะทดสอบด้วยกัน 3 อย่าง คือ ค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแรงบิดของมอเตอร์ โดยที่จะนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขึ้นบนแท่น Test และใช้โปรแกรม Dyno Test ที่สร้างขึ้นมาในการวัดและเก็บค่า ในการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยความเร็วรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ความเร็วไม่ต่ำกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จำนวนไม่น้อยกว่า 30 นาที



รูปที่ 4.1 การทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.1 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าแรงดันไฟฟ้า

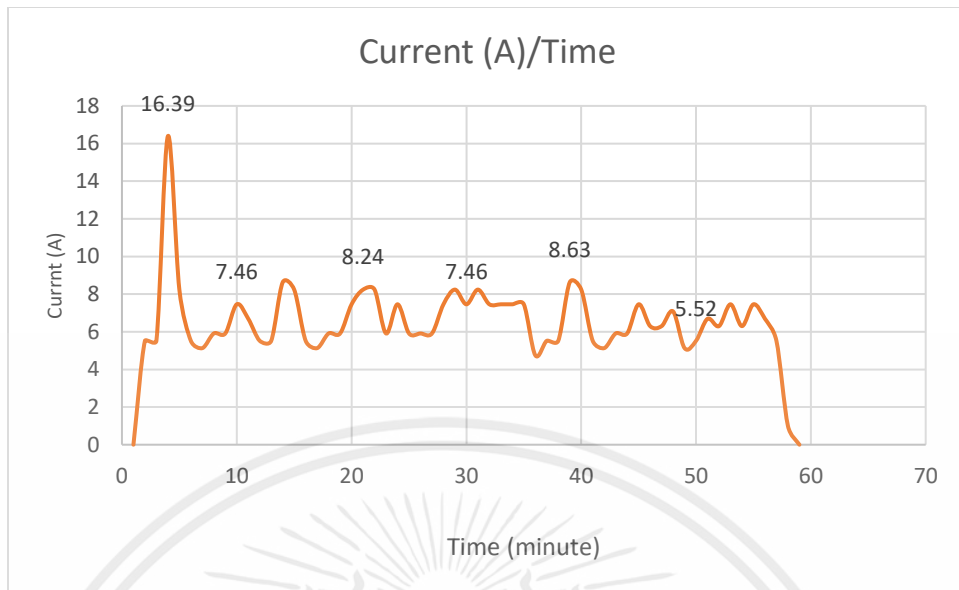
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าแรงดันไฟฟ้า ในระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นอยู่ที่ 82.46 v และจะมามีค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาทีจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 74.72 v จะมีการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าไป 7.74 v



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.2 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่ากระแสไฟฟ้า

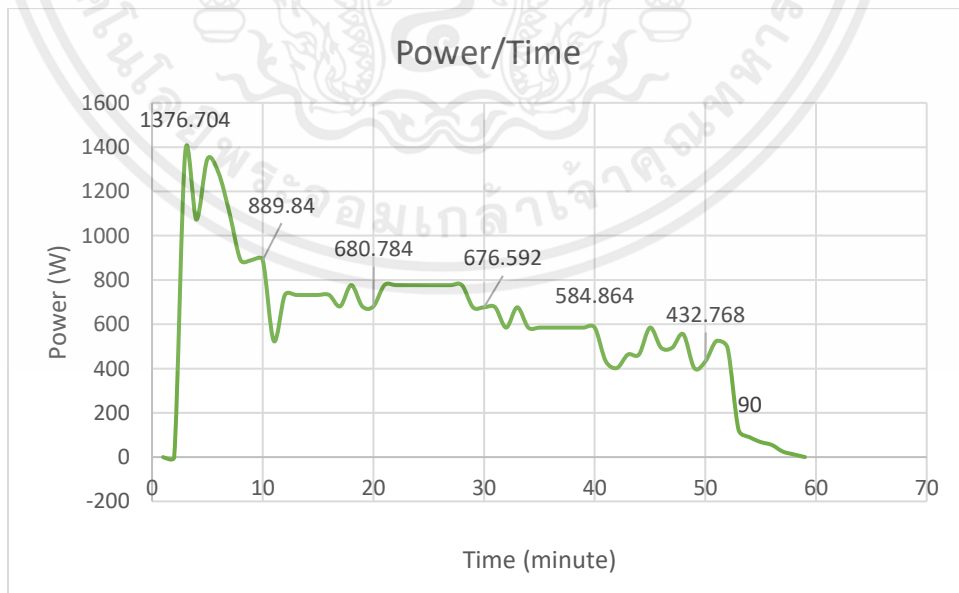
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่ากระแสไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นสูงสุดอยู่ที่ 16.39 A และเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 5.52 A



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.3 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่ากำลังไฟฟ้า

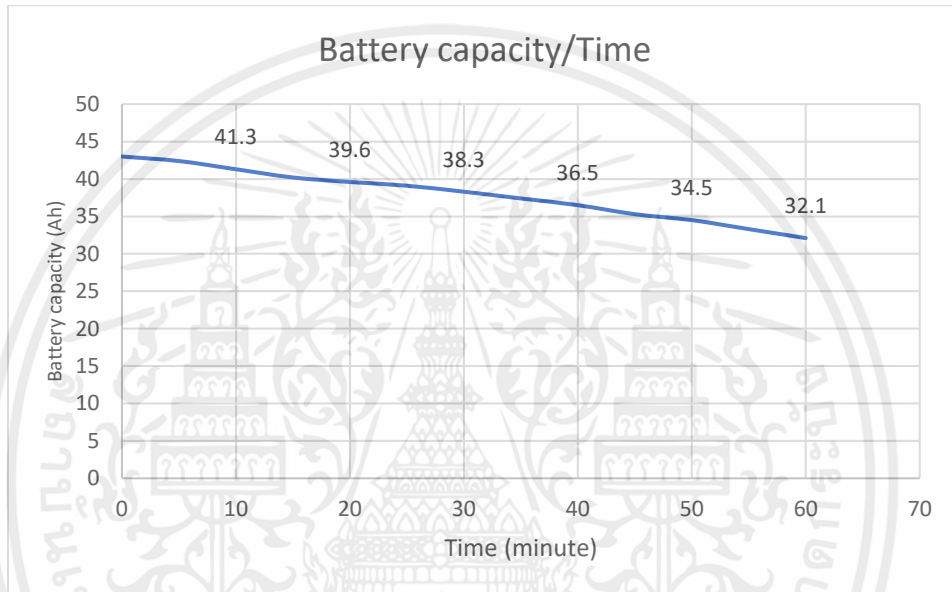
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่ากำลังไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเริ่มต้นสูงสุดอยู่ที่ 1,376.704 w และเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาที ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดจะอยู่ที่ 90 w



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.4 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าความจุแบตเตอรี่

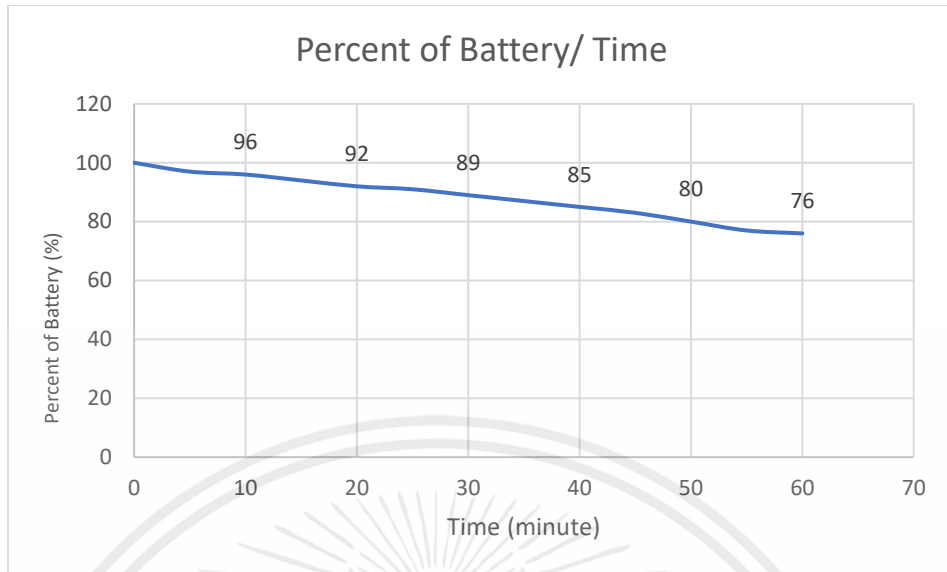
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าความจุแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าความจุแบตเตอรี่เริ่มต้นอยู่ที่ 43 Ah และเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาที ค่าความจุแบตเตอรี่จะลดลงเหลืออยู่ที่ 32.1 Ah และจะมีการสูญเสียความจุแบตเตอรี่ไป 10.9 Ah



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความจุแบตเตอรี่ขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.5 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่

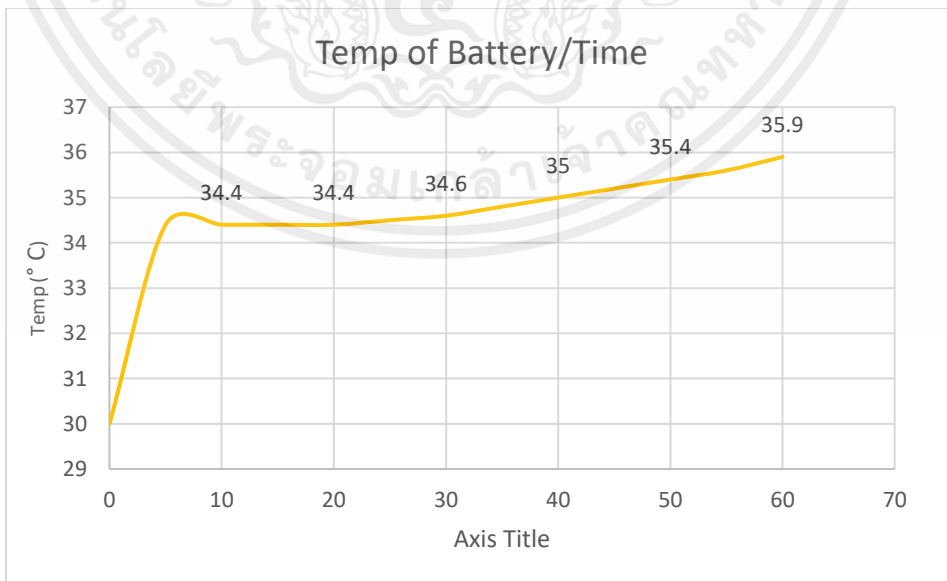
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่เริ่มต้นอยู่ที่ 100% และเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาที ค่าความเปอร์เซ็นต์จะลดลงเหลืออยู่ที่ 76% และจะมีการสูญเสียค่าเปอร์เซ็นต์ไป 24%



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.6 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่

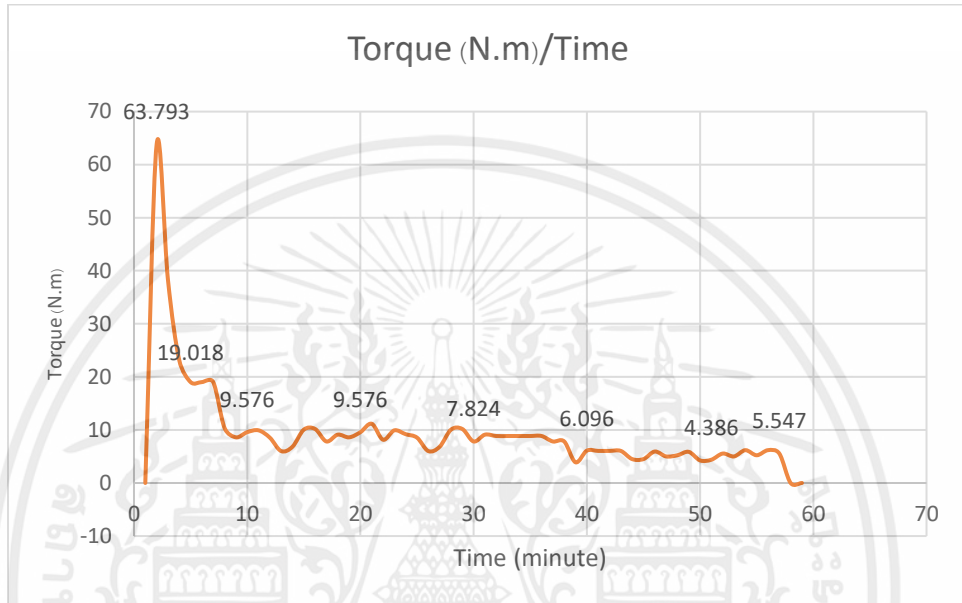
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่เริ่มต้นอยู่ 30 องศาเซลเซียส และเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาที ค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่จะสูงขึ้นอยู่ที่ 35.9 องศาเซลเซียส จะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 5.9 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.7 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าแรงบิด

จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าแรงบิด เป็นระยะเวลา 60 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าแรงบิดเริ่มต้นอยู่ที่ 63.793 N.m และเมื่อถึงระยะเวลา 60 นาที ค่าแรงบิดจะต่ำสุดอยู่ที่ 5.547 N.m



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าแรงบิดขณะอยู่บน Dyno Test

4.1.8 ค่าผลการทดสอบขณะอยู่บน Dyno Test

ค่าผลการทดสอบขณะอยู่บน Dyno Test จะแสดงให้เห็นค่า ความเร็ว ค่าแรงบิด ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าความจุแบตเตอรี่ ค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ ค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบขณะอยู่บน Dyno Test

| เวลา (นาทื) | ความเร็ว (km/h) | แรงบิด (Nm.) | กระแส ไฟฟ้า (A) | แรงดัน ไฟฟ้า (V) | กำลัง ไฟฟ้า (W) | ความจุ แบตเตอรี่ (Ah) | อุณหภูมิ (องศา) | เปอร์เซ็นต์ แบตเตอรี่ (%) |
|----------------|--------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43.0 | 30 | 100 |
| 5 | 45 | 19.01 | 5.52 | 82.46 | 1376.70 | 42.4 | 34.4 | 97 |
| 10 | 45 | 9.57 | 7.46 | 82.06 | 889.84 | 41.3 | 34.4 | 96 |
| 15 | 45 | 10.05 | 8.24 | 81.60 | 732.32 | 40.2 | 34.4 | 94 |
| 20 | 45 | 9.57 | 8.24 | 81.19 | 680.78 | 39.6 | 34.4 | 92 |
| 25 | 45 | 8.54 | 5.91 | 80.83 | 776.70 | 39.1 | 34.5 | 91 |
| 30 | 45 | 7.82 | 7.46 | 80.37 | 676.59 | 38.3 | 34.6 | 89 |
| 35 | 45 | 8.85 | 4.75 | 79.94 | 584.86 | 37.4 | 34.8 | 87 |
| 40 | 45 | 6.09 | 8.63 | 79.54 | 584.86 | 36.5 | 35 | 85 |
| 45 | 45 | 4.56 | 7.46 | 77.60 | 493.92 | 35.3 | 35.2 | 83 |
| 50 | 45 | 4.38 | 5.52 | 76.66 | 432.76 | 34.5 | 35.4 | 80 |
| 55 | 45 | 5.54 | 5.52 | 74.72 | 432.76 | 33.3 | 35.6 | 77 |
| 60 | 45 | 4.36 | 0 | 73.78 | 0 | 32.1 | 35.9 | 76 |

จากผลการทดสอบสรุปผลได้ในการใช้เวลา 60 นาที วิ่งด้วยความเร็วคงที่โดยประมาณ 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีค่าสูญเสียจากการใช้แบตเตอรี่ดังต่อไปนี้

- แรงดันสูญเสียไป $82.46 - 73.78 = 8.68v$
- ความจุแบตเตอรี่สูญเสียไป $43.0 - 32.1 = 10.9Ah$
- เปอร์เซนต์แบตเตอรี่สูญเสียไป $100\% - 76\% = 24\%$

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมาวิ่งบน Dyno Test ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 5-9 A กำลังไฟฟ้าจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 430-850w แรงบิดจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 4.36-8.56Nm. และใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งได้ใช้เวลาไปทั้งหมด 60 นาที พบว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถผ่านตามมาตรฐานที่กรมการขนส่งทางบกกำหนดได้ ทำให้สามารถนำผลทดสอบไปยืนยันเพื่อจดทะเบียนได้

4.2 การทดสอบบนเครื่องทดสอบบนถนนจริง เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพ

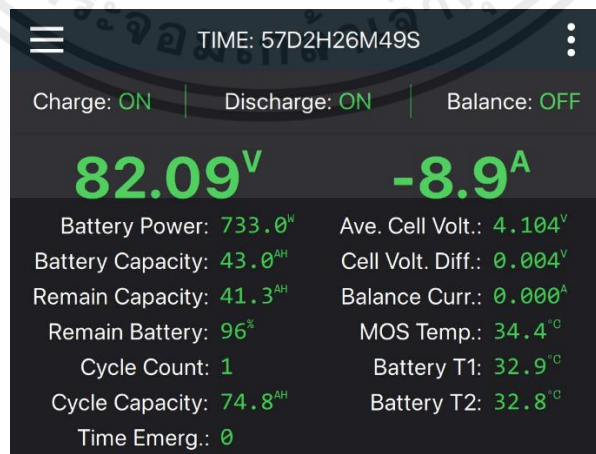
ในการทดสอบประสิทธิภาพบนถนนจริง จะวัดค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแรงบิดของมอเตอร์ผ่านทางหน้าจอ Display และใช้แอปพลิเคชัน BMS บนโทรศัพท์มือถือ ในการเก็บค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ประจุแบตเตอรี่ แบบ Realtime ในการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยความเร็วรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงที่ความเร็วไม่ต่ำกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จำนวนไม่น้อยกว่า 30 นาที



รูปที่ 4.9 การทดสอบประสิทธิภาพบนถนนจริง

4.2.1 การทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง

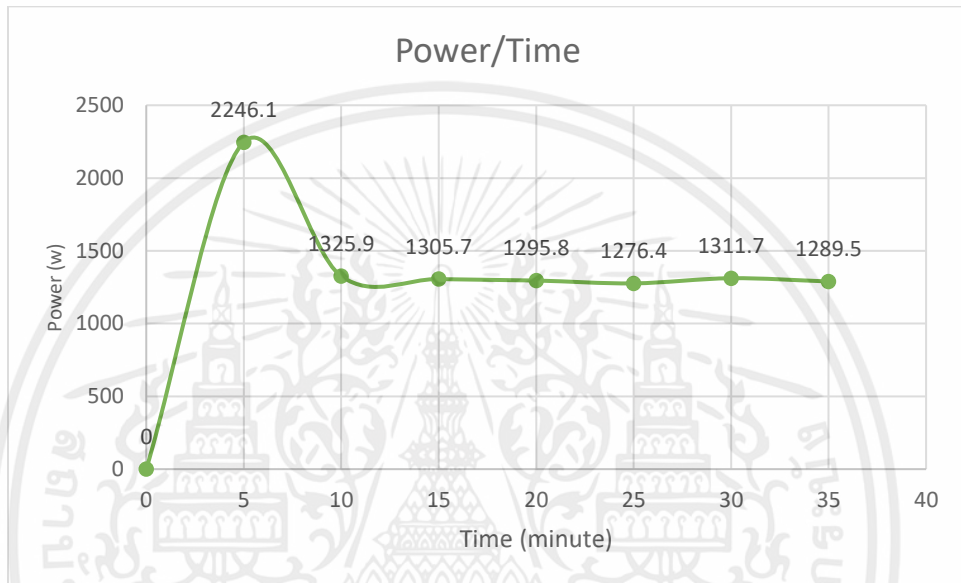
ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริงโดยจะวัดค่าต่างๆ ดังนี้ กำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, ความจุแบตเตอรี่, เปอร์เซนต์แบตเตอรี่, และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ด้วยแอปพลิเคชัน BMS



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริงด้วยแอปพลิเคชัน BMS

4.2.1.1 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่ากำลังไฟฟ้า

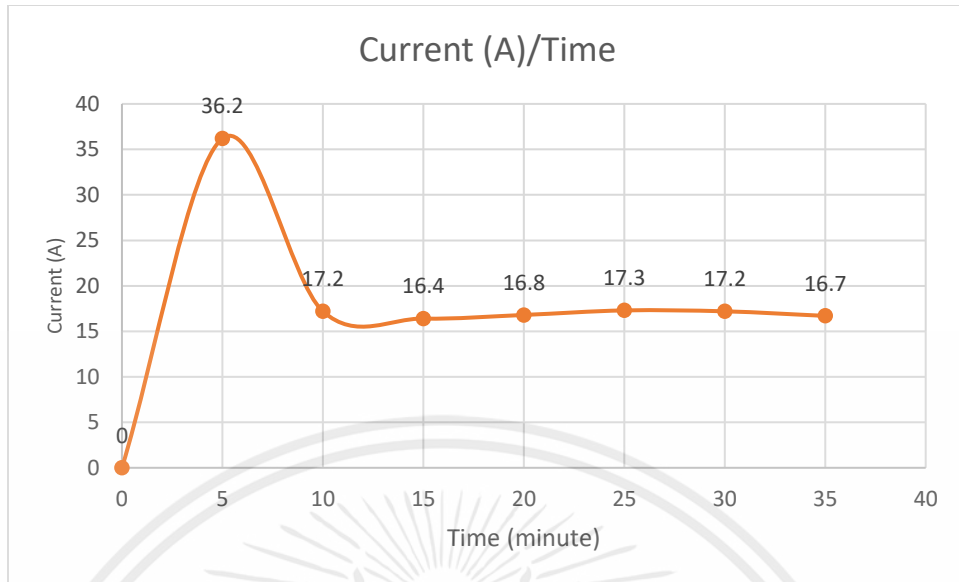
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่ากำลังไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 35 นาที จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเริ่มต้นสูงสุดอยู่ที่ 2,246.1 w และเมื่อถึงระยะเวลา 35 นาที ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดจะอยู่ที่ 1,289.5 w



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะขี่อยู่บนถนนจริง

4.2.1.2 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่ากระแสไฟฟ้า

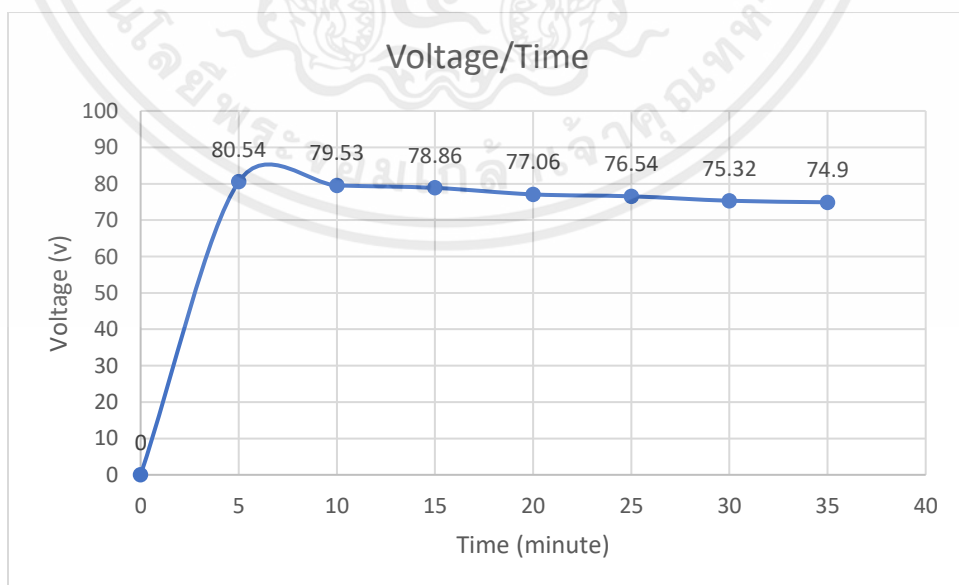
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่ากระแสไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 35 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นสูงสุดอยู่ที่ 36.2 A และเมื่อถึงระยะเวลา 35 นาที ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 16.7 A



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

4.2.1.3 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าแรงดันไฟฟ้า

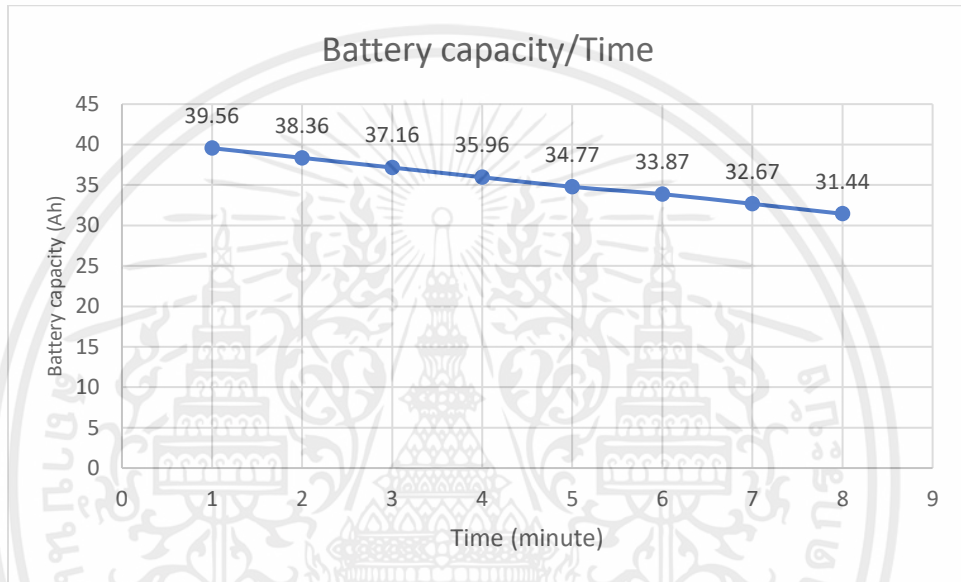
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าแรงดันไฟฟ้า ในระยะเวลา 35 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นอยู่ที่ 80.54 v และจะมามีค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเมื่อถึงระยะเวลา 35 นาทีจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 74.9 v จะมีการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าไป 5.64 v



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

4.2.1.4 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าความจุแบตเตอรี่

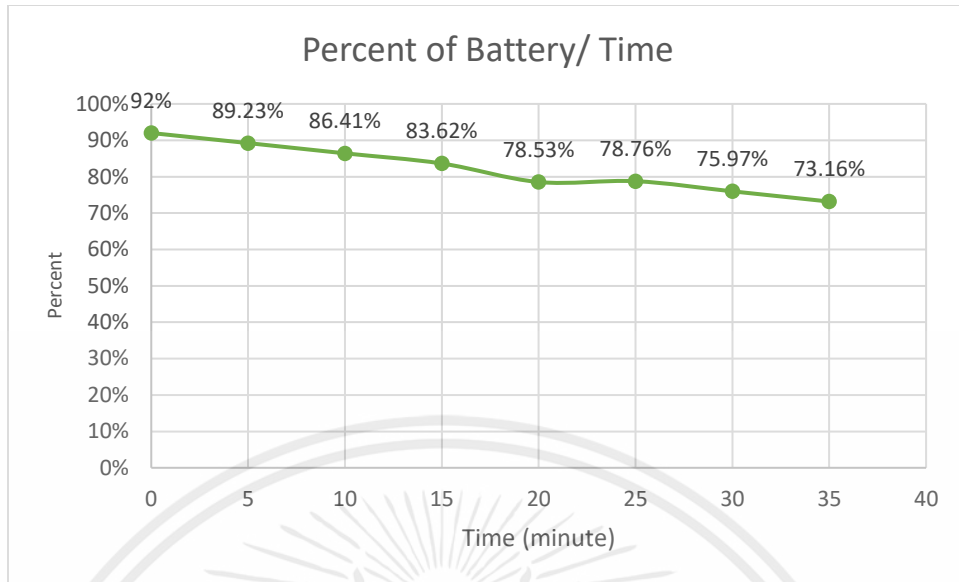
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บน Dyno Test วัดค่าความจุแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 35 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าความจุแบตเตอรี่เริ่มต้นอยู่ที่ 39.56 Ah และเมื่อถึงระยะเวลา 35 นาที ค่าความจุแบตเตอรี่จะลดลงเหลืออยู่ที่ 31.44 Ah และจะมีการสูญเสียความจุแบตเตอรี่ไป 8.12 Ah



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความจุแบตเตอรี่ขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

4.2.1.5 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่,

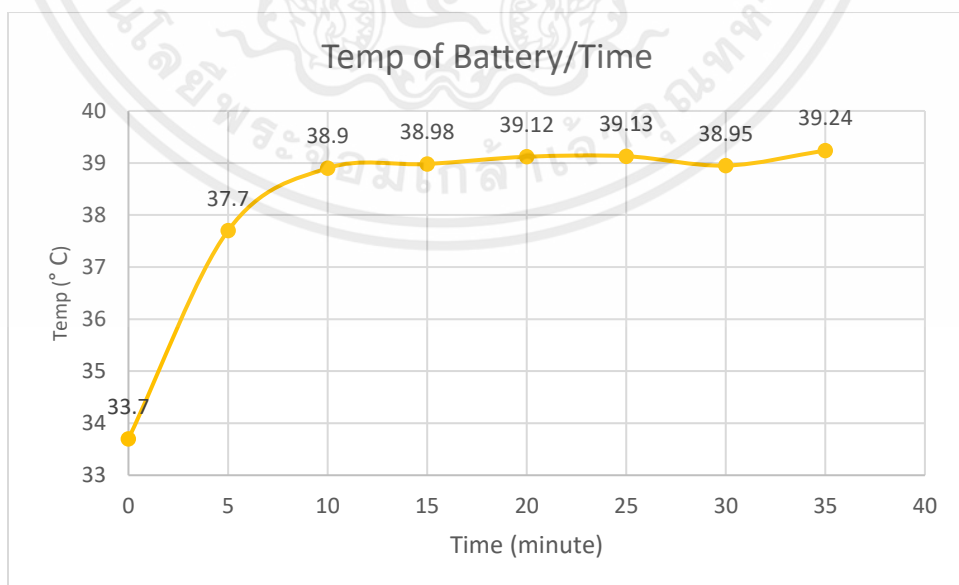
จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 35 นาที จะเห็นได้ว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่เริ่มต้นอยู่ที่ 92% และเมื่อถึงระยะเวลา 35 นาที ค่าความเปอร์เซ็นต์จะลดลงเหลืออยู่ที่ 73.16% และจะมีการสูญเสียค่าเปอร์เซ็นต์ไป 18.84%



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

4.2.1.6 ผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่

จากผลการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนถนนจริง วัดค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 35 นาที จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่เริ่มต้นอยู่ 33.7 องศาเซลเซียส และเมื่อถึงระยะเวลา 35 นาที ค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่จะสูงขึ้นอยู่ที่ 39.24 องศาเซลเซียส จะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 5.54 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

4.2.2 แสดงค่าผลการทดสอบขณะขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

ค่าผลการทดสอบขณะอยู่บนถนนจริง จะแสดงให้เห็นค่า ความเร็ว ค่าแรงบิด ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าความจุแบตเตอรี่ ค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ ค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบขณะที่ขับอยู่บนถนนจริง

| เวลา (นาท) | ความเร็ว (km/h) | กระแสไฟ ฟ้า (A) | แรงดัน ไฟฟ้า (V) | กำลัง ไฟฟ้า (W) | ความจุ แบตเตอรี่ (Ah) | อุณหภูมิ (องศา) | เปอร์เซ็นต์ แบตเตอรี่ (%) |
|---------------|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39.56 | 33.7 | 92% |
| 5 | 45 | 36.2 | 80.54 | 2246.1 | 38.36 | 37.7 | 89.23% |
| 10 | 46 | 17.2 | 79.53 | 1325.9 | 37.16 | 38.9 | 86.41% |
| 15 | 47 | 16.4 | 78.86 | 1305.7 | 35.96 | 38.98 | 83.62% |
| 20 | 45 | 16.8 | 77.06 | 1295.8 | 34.77 | 39.12 | 78.53% |
| 25 | 46 | 17.3 | 76.54 | 1276.4 | 33.87 | 39.13 | 78.76% |
| 30 | 45 | 17.2 | 75.32 | 1311.7 | 32.67 | 38.95 | 75.97% |
| 35 | 45 | 16.7 | 74.9 | 1289.5 | 31.44 | 39.24 | 73.16% |

จากผลการทดสอบสรุปผลได้ในการใช้เวลา 35 นาที วิ่งด้วยความเร็วคงที่โดยประมาณ 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีค่าสูญเสียจากการใช้แบตเตอรี่ดังต่อไปนี้

- แรงดันสูญเสียไป $80.54 - 74.9 = 5.64\text{v}$
- ความจุแบตเตอรี่สูญเสียไป $39.56 - 32.1 = 8.12\text{Ah}$
- เปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่สูญเสียไป $92\% - 73.16\% = 18.84\%$

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมาวิ่งบนถนนจริง ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 16-17 A กำลังไฟฟ้าจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 1200-1325w. และใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งได้ใช้เวลาไปทั้งหมด 35 นาที พบว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถผ่านตามมาตรฐานที่กรมการขนส่งทางบกกำหนดได้ ทำให้สามารถนำผลทดสอบไปยืนยันเพื่อจดทะเบียนได้

4.3 ทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC

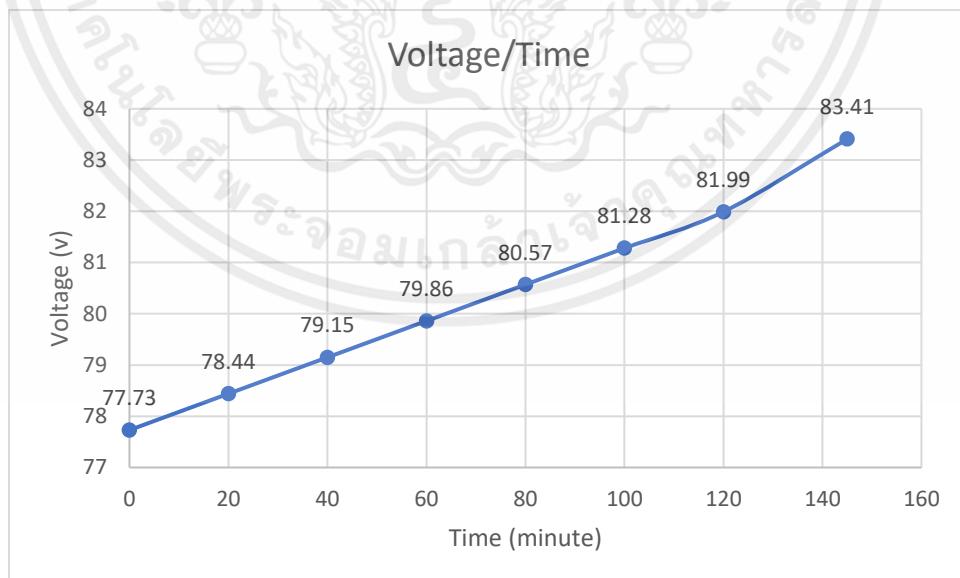
ในการทดสอบจะทำการทดสอบโดยทำการเสียบสายชาร์จจากบ้านผ่านตัวแปลงไฟเข้าสู่ตัวเต้ารับของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง และบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 4.17 การการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC

4.3.1 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC ค่าแรงดันไฟฟ้า

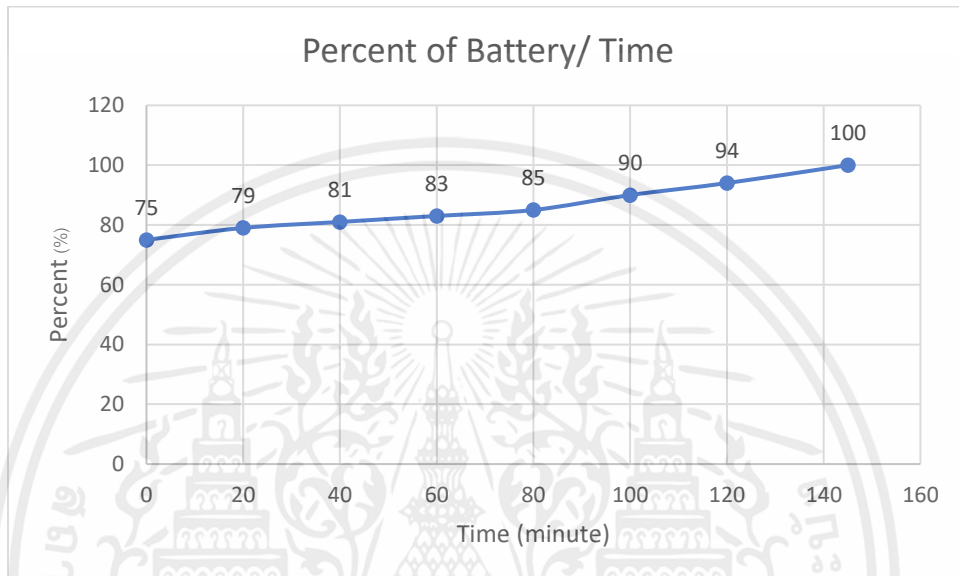
ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC เริ่มชาร์จอยู่ที่ 77.73 v เมื่อชาร์จไป 145 นาที แรงดันไฟฟ้าจะอยู่ที่ 83.41v



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ

4.3.2 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC ค่า Percent of Battery

ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC วัดค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ จะเริ่มชาร์จที่ 75% จะใช้เวลาในการชาร์จ 145 นาที แบตเตอรี่จึงเต็ม 100%



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ

4.3.3 แสดงค่าผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC

| เวลา (นาที) | แรงดัน (V) | เปอร์เซ็นต์ (%) |
|-------------|------------|-----------------|
| 0 | 77.73 | 75 |
| 20 | 78.44 | 79 |
| 40 | 79.15 | 81 |
| 60 | 79.86 | 83 |
| 80 | 80.57 | 85 |
| 100 | 81.28 | 90 |
| 120 | 81.99 | 94 |
| 145 | 83.41 | 100 |

ทำการชาร์จแบตเตอรี่จาก 75 % ใช้ระยะเวลา 145 นาที

จากผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นดังต่อไปนี้

- ค่าแรงดันที่ได้รับ $83.41 - 77.73 = 5.68\text{v}$

- เปอร์เซนต์แบตเตอรี่ที่ได้รับ $100\% - 75\% = 25\%$

100% จะใช้ระยะเวลา 145 นาที ซึ่งจะใช้เวลาในการชาร์จนานพอสมควร

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเธียม NMC ทำการชาร์จแบตเตอรี่จาก 75 % ใช้ระยะเวลา 145 นาที จะเห็นได้เปอร์เซนต์แบตเตอรี่ที่ได้รับ 25% ดังนั้นถ้าเริ่มชาร์จจาก 0% จะใช้เวลาในการชาร์จประมาณ 8-10 ชั่วโมง ซึ่งถ้าระยะเวลาในการชาร์จจะใช้เวลานานพอสมควร



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในโครงการนี้ ได้มีการสร้างโปรแกรม Dyno Test และการสร้างรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ในส่วนของการทดลองได้มีการทดลองโดยใช้โปรแกรม Dyno Test และการทดลองบนถนนจริง และทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC เนื่องด้วยรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง สร้างขึ้นมาจากรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปจึงจะต้องมีการทดลองประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงบนแท่น Dyno Test เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแรงบิดของมอเตอร์ก่อนที่จะนำไปทดสอบบนถนนจริงและนำไปใช้จริง

จากการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแรงบิดของมอเตอร์ที่ทำการทดลองนั้นอยู่ที่ใช้เกณฑ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพต่อการใช้งาน

5.1.1 สรุปผลการสร้างโปรแกรม Dyno Test

จากการสร้างโปรแกรม Dyno Test โดยใช้โปรแกรม LabView นั้นเห็นได้ว่าโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาและหน้าจอ Display มีประสิทธิภาพในการใช้งาน มีความเสถียรภาพในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแรงบิดรอบของมอเตอร์

5.1.2 สรุปผลการทดลองรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยใช้โปรแกรม Dyno Test

จากการทดลองรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยใช้โปรแกรม Dyno Test สรุปได้ว่า จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมาวิ่งบน Dyno Test ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 5-9 A กำลังไฟฟ้าจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 430-850w แรงบิดจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 4.36-8.56Nm. และใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งได้ใช้เวลาไปทั้งหมด 60 นาที พบว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถผ่านตามมาตรฐานที่กรมการขนส่งทางบก กำหนดได้ ทำให้สามารถนำผลทดสอบไปยืนยันเพื่อจดทะเบียนได้ ค่าที่วัดได้และประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้านั้นไปในทิศทางที่ดี มีความเสถียรในการใช้งาน

5.1.3 สรุปผลการทดลองรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงบนถนนจริง

จากการทดลองรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยนำไปขับบนถนนจริงนั้น สรุปได้ว่า จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมาวิ่งบน Dyno Test ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 5-9 A กำลังไฟฟ้าจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 430-850w แรงบิดจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 4.36-8.56Nm. และใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งได้ใช้เวลาไปทั้งหมด 60 นาที พบว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถผ่านตามมาตรฐานที่กรมการขนส่งทางบก กำหนดได้ ทำให้สามารถนำผลทดสอบไปยืนยันเพื่อจดทะเบียนได้ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงว่ามีเสียงที่เงียบมากและการขับขี่ได้ปกติเหมือนรถจักรยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปทั่วไปเพียงแต่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมีความนุ่มนวลและขับได้ลื่นกว่ามีสมรรถนะที่ดีกว่า และสามารถประหยัดค่าน้ำมันและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5.1.4 สรุปผลการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC

การทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน NMC จากตารางที่ 4.3 การทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC ทำการชาร์จแบตเตอรี่จาก 75 % ใช้ระยะเวลา 145 นาที จะเห็นได้เปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ที่ได้รับ 25% ดังนั้นถ้าเริ่มชาร์จจาก 0% จะใช้เวลาในการชาร์จประมาณ 8-10 ชั่วโมง ซึ่งถ้าระยะเวลาในการชาร์จจะใช้เวลานานพอสมควร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ช่วงการออกตัวครั้งแรกจะมีความแรงหากมีคนซ้อนท้ายต้องระมัดระวัง
2. ในการชาร์จแบตเตอรี่ใช้เวลาในการชาร์จเป็นเวลา 8 ชั่วโมง หากต้องการจะขับออกไปข้างนอก ควรตรวจเช็คแบตเตอรี่ไว้ก่อนที่จะใช้งาน
3. รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงนี้จะมีหมดทั้งหมด 3 โหมดในการขับเคลื่อนสามารถปรับได้ตามที่ต้องการ
4. ในการใช้โปรแกรม Dyno Test จำเป็นจะต้องมีแท่น Test ในการใช้งานและจะต้องมัดรถจักรยานยนต์ติดกับแท่น Test ให้แน่นเพื่อป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้

บรรณานุกรม

- [1] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี, LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาาระบบการวัดและควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น/se-ed , 2551
- [2] รวมบทความจากวารสารเทคนิค, มอเตอร์และระบบขับเคลื่อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี , 2554
- [3] เชื้อ ชูขำ, งานไฟฟ้ายานยนต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น/se-ed , 2559
- [4] รศ.บุญเรือง วังศิลาบัตร, วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น/se-ed , 2556
- [5] R.C. Hibbeler, Engineering Mechaning Statics. USA: Printed in the United States of America, 2553
- [6] eBikeThaikit. 2554 “เรียนรู้การสร้างจักรยานไฟฟ้า” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.ebikethaikit.com/-980.page>
- [7] ThaiEasyElec enable your design. 2557 “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Current Sensor” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://blog.thaieasyelec.com/basic-knowledge-about-current-sensor/>
- [8] Noppadon B. 2562. “แบตเตอรี่ลิเธียมมีกี่ชนิด” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.klcbright.com/lithium-battery-type.php>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

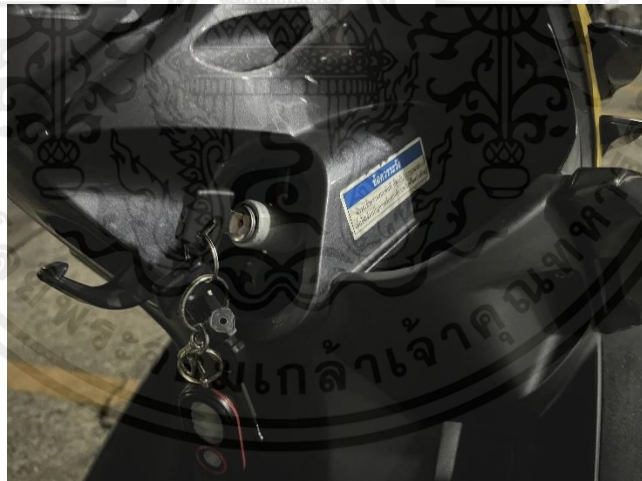
คู่มือการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

วิธีการสตาร์ทรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

1. เปิดสวิตช์ ON-OFF



2. บิดกุญแจเพื่อสตาร์ทรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



3. จะมีไฟขึ้นที่หน้าจอ Display



5. ค่อยๆบิดคันเร่งเพื่อให้รถเคลื่อนที่

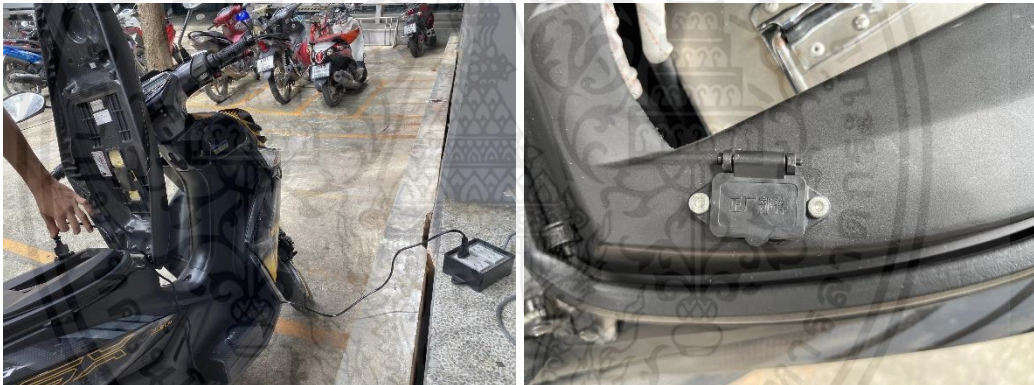


วิธีการชาร์จแบตเตอรี่รถ

1. บิดกุญแจเพื่อเปิดเบาะรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง



2. เสียบตัวแปลงไฟเข้ากับเต้าปลั๊กไฟนำสายจากตัวแปลงไฟเสียบเข้ากับตัวรถ



หมายเหตุ ควรชาร์จแบตเตอรี่ในสถานะที่ไม่มีน้ำเพื่อป้องกันอันตราย



ภาคผนวก ข

รายงานผลการทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หน่วยบริการวิชาการเฉพาะทางด้านทดสอบสมรรถนะรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

Academic Service Unit for Electric Motorcycle Performance Testing: ASUEMPT

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยสองกรุง 1 ด.สองกรุง แขวงลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520: โทร 02-329-8000 โทรสาร: 02-329-8321

รายงานผลการทดสอบ

| | | |
|---|--|--|
| หมายเลขรายงาน | INS001/66 | |
| หมายเลขปฏิบัติการ | ASU26102023 | |
| ชื่อและที่อยู่ของผู้รับบริการ | ผศ. สุธรรม สัทธรรมสกุล ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | |
| รายละเอียดตัวอย่าง | ชื่อผลิตภัณฑ์ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ยี่ห้อ YAMAHA รุ่น NUVO SX 125 แบบย่อย MIT มอเตอร์ไฟฟ้า ยี่ห้อ OSMOTOR มอเตอร์DCแบบไร้แปรงถ่าน BLDC แรงดันไฟฟ้า72Vกำลังที่กักมอเตอร์ 3 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด | |
| หมายเลขตัวอย่าง | - | |
| ลักษณะและสภาพตัวอย่าง | ปกติ | |
| วัน/เดือน/ปีที่รับตัวอย่าง | 26 ตุลาคม 2566 | |
| วัน/เดือน/ปีที่ทดสอบ | 26 ตุลาคม 2566 | |
| วันที่ออกรายงาน | 10 พฤศจิกายน 2566 | |
| มาตรฐานที่ทดสอบ | มาตรฐานการทดสอบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง เรื่องกำหนดกำลังขงมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในขับเคลื่อนรถ ตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ. 2563 | |
| รายงานผลการทดสอบ | ผลการทดสอบมีรายละเอียดคังหน้าถัดไป | |
| เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการทดสอบ | นาย ภิชาพันธ์ เพ็ชรนาค ผู้ทดสอบ | |
| หัวหน้าหน่วยบริการวิชาการเฉพาะ ทางด้านทดสอบสมรรถนะรถจักรยานยนต์ ไฟฟ้า | | |
| คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ | | |

รูปแสดงตัวอย่าง



หมายเหตุ

รายละเอียดตัวอย่าง

แบตเตอรี่ NMC , แบตเตอรี่ 72V 43Ah

จำนวนแบตเตอรี่ที่ใช้โมดูล 20s-10

มอเตอร์สูงสุด 160 กิโลกรัม มอเตอร์เมื่อพร้อมใช้งาน 111 กิโลกรัม

ตารางที่ 1 เครื่องมือทดสอบ

| ลำดับ | รายชื่อเครื่องมือ | ผู้ผลิต | รุ่น | วันที่สอบเทียบ | กำหนดการสอบเทียบ |
|-------|--|---------------------|----------|-----------------|------------------|
| 1 | Hall Voltage sensor | YHDC | HV62 | 03 พฤษภาคม 2566 | 02 พฤษภาคม 2566 |
| 2 | Omron Retroreflective Photoelectric Sensor | Omron | E3Z-R61 | 03 พฤษภาคม 2566 | 02 พฤษภาคม 2566 |
| 3 | Hall Split Core Current Sensor | YHDC | H5TS016L | 03 พฤษภาคม 2566 | 02 พฤษภาคม 2566 |
| 4 | Dynamometer | KTT Embedded System | 120ABE | 16 มีนาคม 2566 | 15 มีนาคม 2566 |

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ

| รายการตรวจสอบ | เงื่อนไขเกณฑ์ทดสอบ | ผลการทดสอบ/การตัดสินใจ | |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| อุณหภูมิโดยรอบของการทดสอบ | ไม่กำหนด | 33 องศาเซลเซียส | |
| สภาพพื้นผิวทดสอบ | เรียบ แห้ง การยึดเกาะปกติ | เรียบ แห้ง การยึดเกาะปกติ | |
| มวลรถในสภาพพร้อมใช้งาน | | รวมน้ำหนัก | 111 กิโลกรัม |
| มวลรถในสภาพพร้อมใช้งานรวมจับหนัก | | รวมน้ำหนัก | 171 กิโลกรัม |
| ความเร็วสูงสุดรถ | | 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง | |
| ขนาดยางที่ใช้ | | ล้อหน้า | 70/90-16 |
| | | ล้อหลัง | 70/90-16 |
| ลมยางที่ใช้ | ใช้ความดันลมตามที่ผู้ผลิตกำหนด | ล้อหน้า | 225 กิโลปาสกาล |
| | | ล้อหลัง | 250 กิโลปาสกาล |

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ

| ที่ | ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ | ผลการทดสอบ | หน่วย |
|---|--|------------|--------------------|
| 1 | ความเร็วที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง) | 45 | กิโลเมตรต่อชั่วโมง |
| 2 | เวลา (ไม่น้อยกว่า 30 นาที) | 35 | นาที |
| มอเตอร์ไฟฟ้าต้องสามารถขับเคลื่อนรถในขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกน้ำหนักบรรทุก ตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุดต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที | | | |

รูปภาพประกอบผลการทดสอบ

รูปที่ 1 เลขมอเตอร์ QS72V300W220805 400037



รูปที่ 2 เลขตัวถังรถ RLCSE621111022343



รูปภาพประกอบผลการทดสอบ (ต่อ)

รูปที่ 3 ขนาดยางล้อ



รูปที่ 4 แบตเตอรี่

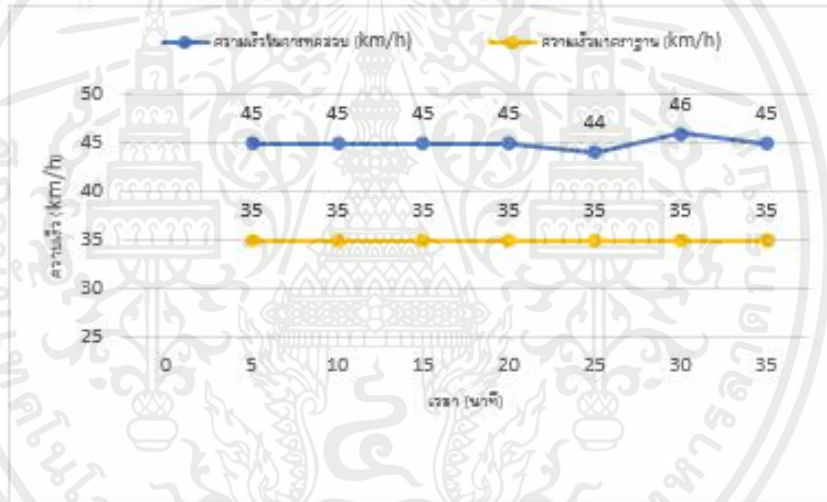


รูปภาพประกอบผลการทดสอบ (ต่อ)

รูปที่ 5 รถทดสอบ



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลการทดสอบความเร็ว (ไม่น้อยกว่า 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)



- สิ้นสุดรายงานการทดสอบ -

แบบแสดงข้อมูล
Technical Information

| | | |
|----|--|--|
| 1. | ข้อมูลทั่วไป: General: | |
| | (1) ชนิด: Make: | YAMAHA NLVO SX 125 |
| | (2) รุ่น: Type: | 1DC1 (AT125FC) |
| | (3) ประเภท: Vehicle category: | รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าคัดแปลง |
| | (4) ชื่อและที่อยู่ของผู้รับบริการ Name and address | ผศ. สุธรรม สัทธรรมสกุล ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 2. | มวล: Mass: | |
| | (1) มวลของรถเมื่อพร้อมใช้งาน: Mass of vehicle in running order: | 111 กิโลกรัม (kg) |
| | (2) มวลสูงสุดของรถ: Technical Maximum Gross Weight: | 160 กิโลกรัม (kg) |
| | (3) มิติ (กว้าง * ยาว * สูง): Dimension: | 705 * 1955 * 1080 มิลลิเมตร (mm) |
| 3. | ระบบส่งกำลัง: Transmission: | |
| | (1) ความเร็วสูงสุดของรถและเกียร์ที่ใช้: Maximum speed and gear in which it: | 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง |
| 4. | มอเตอร์ไฟฟ้า: Electric motor: | |
| | (1) ยี่ห้อ: Make: | Motor Make: QSMOTOR |
| | (2) แบบรถ: Type: | Motor type: QS72V3000W220805 400037 |
| | (3) กำลังสูงสุด: Maximum hourly output: | 3 กิโลวัตต์ |

5. แบตเตอรี่:
Battery:
- | | |
|--|--|
| (1) ยี่ห้อ: Make: | Batteries Make: Box Energy Batteries Type: Pouch Type |
| (2) ชนิด: Make: | NMC |
| (3) ความจุแบตเตอรี่รวม: Total Battery capacity: | 72V 43Ah จำนวน 1 Pack |
| (4) จำนวนแบตเตอรี่: Number of batteries: | 20s-1p |
6. ระบบกันสะเทือน:
Suspension:
- | | |
|--|--|
| (1) ยางและขอบยาง: Tires and rims: | หน้า: 70/90-16 หลัง: 70/90-16 |
| (2) ความดันลมยางที่ผู้ผลิตรถแนะนำ: Tire pressure recommended: | หน้า: 225 กิโลปาสกาล, 33 psi หลัง: 250 กิโลปาสกาล, 36 psi |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ - นามสกุล

นางสาวตะวัน สุทธิสถิตย์

วัน เดือน ปีเกิด

30 มกราคม 2544

ที่อยู่

14/193 ซ.อุดมสุข4 ต.เนินพระ อ.เมืองระยอง
จ.ระยอง 21150

หมายเลขโทรศัพท์

0892453786

E-mail

64015050@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเครื่องมือวัดและควบคุม
วิทยาลัยเทคนิคสัทหีบ

ประวัติผู้จัดทำ



| | |
|------------------|---|
| ชื่อ - นามสกุล | นายทิวานันท์ เพ็ชรนาค |
| วัน เดือน ปีเกิด | 03 กุมภาพันธ์ 2544 |
| ที่อยู่ | 423/27 ถ.สุขุมวิท ต.ห้วยโป่ง อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21150 |
| หมายเลขโทรศัพท์ | 0918817953 |
| E-mail | 64015054@kmitl.ac.th |
| ประวัติการศึกษา | ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ |

ประวัติผู้จัดทำ



| | |
|------------------|---|
| ชื่อ - นามสกุล | นายพงศกร บัวชื่น |
| วัน เดือน ปีเกิด | 11 เมษายน 2544 |
| ที่อยู่ | 189/15 หมู่ 1 ต.หนองขาม อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110 |
| หมายเลขโทรศัพท์ | 0922690089 |
| E-mail | 64015090@kmitl.ac.th |
| ประวัติการศึกษา | ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสตั๊ทหีบ |