

การออกแบบและวิเคราะห์รถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแบตเตอรี่
POWER TRAIN DESIGN AND ANALYSIS OF URBAN EV USING BATTERY

โดย

นายวิษณุภาส

ไชยศรียา

นายวัชระ

ศรีประภาพงศ์

นายสิริวิษณุ

อังวิบูลย์

นายเสกฐ์วุฒิ

ยิวเหียง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การออกแบบและวิเคราะห์รถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแบตเตอรี่

POWER TRAIN DESIGN AND ANALYSIS OF URBAN EV USING BATTERY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER TRAIN DESIGN AND ANALYSIS OF URBAN EV USING BATTERY



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

การออกแบบและวิเคราะห์รถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแบตเตอรี่

POWER TRAIN DESIGN AND ANALYSIS OF URBAN EV USING BATTERY



โดย

นายวิษณุภาส ไชยศรียา

นายวัชรระ ศรีประภาพงศ์

นายสิริวิษณุ อังวิบูลย์

นายเสฏฐวุฒิ ยัวเหียง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ร.อ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน

ดร. วิวัฒน์ เกตุรวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ทรายนต์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแบตเตอรี่

ผู้จัดทำ

- 
1. นายวัชระ ศรีประภาพงศ์
 2. นายวิษณุภาส ไชยศรียา
 3. นายสิริวิษณุ อังวิบูลย์
 4. นายเสฏฐวุฒิ ยิวเหียง

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ร.อ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. วิวัฒน์ เกยรวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและวิเคราะห์รถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแบตเตอรี่

นายวิษณุภาส ไชยศรียา
นายวัชระ ศรีประภาพงศ์
นายสิริวิษณุ อังวิบูลย์
นายเสกฐวุฒิ ยิวเหียง
รศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. วิวัฒน์ เกยรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบระบบการส่งพลังงานในรถพลังงานไฟฟ้า และประดิษฐ์รถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban electric vehicle) รวมถึงการทดสอบหาแนวโน้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในรถเพื่อให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด โดยมีเป้าหมาย 10 กิโลเมตร ที่ความเร็วเฉลี่ย 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีการวัดค่าประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพของมอเตอร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อให้ได้ผลลัพธ์เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ การออกแบบภายใต้กฎการแข่งขันของโครงการ Shell-eco marathon 2019 ซึ่งได้มีการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ให้มีความเหมาะสมในการขับเคลื่อนรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 1,500 วัตต์ โดยคำนึงถึงน้ำหนักของรถ 150 กิโลกรัม และน้ำหนักคนขับ 70 กิโลกรัม มีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาวิธีการขับเคลื่อนจริงที่ทำให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อทดสอบด้วยระยะทาง 10 km ค่าพลังงานที่วัดได้มีค่า 123.21 Wh หรือสามารถขับเคลื่อนได้ 81.16 km/kWh จึงได้ทำการออกแบบสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็กวิ่งในเมือง โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อให้รถมีน้ำหนักเบาและใช้ปริมาตรน้อยลง

Power Train Design and Analysis of Urban EV Using Battery

Wichapas chaiseya

Watchara Sriprapapong

Sirawit Aungvibool

Setthawut Yiewhiang

Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern Advisor

Dr. Wiwat Keyoonwong Advisor

2018

Abstract

The objective of this thesis is to design power train of electric vehicle and build 4-wheel electric vehicle (urban electric vehicle). High ratio of km per kWh is our design target. Moreover, measuring is required to find efficiency of inverter and motor. Efficiency of overall urban electric vehicle is analyzed in order to be high efficiency urban electric vehicle as expected result. The design is done based on regulation of Shell-eco marathon 2019. Proper size of selected motor is calculated as 1,500 W based on gross vehicle weight which is 150 kg and driver weight which is 70 kg. Driving pattern is proposed to find the best pattern while driving on track using Microsoft Excel. The urban EV consumes 123.21 Wh to cover 10 km distance or 81.16 km/kWh. The urban EV prototype powered by lithium battery is built and developed to reduce the weight and size of the EV.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณ รศ. ร.อ. ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน และ ดร. วิวัฒน์ เกยุรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือ แนะนำแนวทางในการศึกษาค้นคว้าตลอดการทำงาน และขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ โอกาสในการศึกษา และเรียนรู้การใช้ชีวิตในระดับอุดมศึกษา

และสุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่าง เป็นผู้ให้ที่ยิ่งใหญ่ของ คณะผู้จัดทำ ทำให้งานประสบความสำเร็จสมดังปรารถนา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ^{III} และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญรูป(ต่อ).....	IX
สารบัญรูป(ต่อ).....	X
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า.....	5
2.1.1 โครงสร้างรถ.....	5
2.1.2 ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า.....	5
2.2 แบตเตอรี่ลิเทียม.....	6
2.2.1 คุณสมบัติของพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียม.....	6
2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	7
2.3.1 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน.....	7
2.3.2 การออกแบบระบบควบคุม.....	8

สารบัญ(ต่อ)

2.3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	9
2.3.2.2 วงจรขับเคลื่อนและวงจรภาคกำลัง	9
2.3.2.3 ขั้นตอนควบคุมการทำงาน.....	9
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)	10
2.4.1 ประวัติความเป็นมา.....	10
2.4.2 หลักการและส่วนประกอบพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)	11
2.4.3 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor).....	12
2.4.4 อนุกรมไฟฟ้าและอนุกรมทางกล.....	13
2.5 สนามแม่เหล็กหมุน.....	13
2.6 ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Hall Sensor)	16
2.6.1 หลักการทำงานของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก.....	16
2.6.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect).....	17
2.7 การคำนวณมอเตอร์ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า.....	20
2.8 อุปกรณ์การวัด.....	23
2.8.1 Arduino Mega 2560	23
2.8.2 Data Logger Shield	25
2.8.3 Current Sensor Module	26
2.8.4 Voltage Sensor Module.....	26
บทที่ 3 การออกแบบ	27
3.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า	27
3.1.1 โครงสร้างรถ.....	27
3.1.2 ระบบภายในรถยนต์ไฟฟ้า.....	28

สารบัญ(ต่อ)

3.1.2.1 ระบบไฟฟ้า.....	28
3.1.2.2 ระบบเครื่องกล	28
3.2 แบตเตอรี่.....	29
3.3 ชุดควบคุมที่ใช้ในการขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน 2000W BLDC Motor Controller.....	30
3.4 การคำนวณมอเตอร์ของรถพลังงานไฟฟ้า	31
3.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 1500W (1500W BLDC Motor).....	37
3.6 อุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง	38
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	39
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน	42
4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน	42
4.1.2 วัดคุณสมบัติ.....	45
4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง	45
4.1.4 ผลการทดลอง	49
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานโครงการ.....	59
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	59
5.1.1 ระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Power train)..	59
5.1.2 วิธีการเลือกมอเตอร์	59
5.1.3 รูปแบบการขับของรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban).....	60
5.2 ปัญหาและข้อจำกัด	60
5.3 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก.....	63



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า.....6
2.2	three phase full bridge inverter.....8
2.3	ไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุม.....9
2.4	วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน..... 10
2.5	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ใช้ในการศึกษา.....12
2.6	ตัวอย่างโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ชนิดสองขั้ว..... 13
2.7	เวกเตอร์กระแสไฟฟ้า..... 14
2.8	เฟสเซอร์ไดอะแกรมกระแสไฟฟ้า..... 14
2.9	การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน..... 14
2.10	ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบอนาล็อก และตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอล.....16
2.11	การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์..... 18
2.12	การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ (V_H)..... 19
2.13	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน.....21
2.14	Arduino Mega 2560..... 25
2.15	Data Logger Shield..... 25
2.16	Current Sensor Module.....26
2.17	Voltage Sensor Module.....26
3.1	รูปร่างโครงสร้างรถ..... 27
3.2	ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า..... 28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3	คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO ₄ ,LFP).....29
3.4	ตารางแสดงข้อมูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO ₄).....29
3.5	2000W BLDC Motor Controller.....30
3.6	รูปตารางแสดงค่า Rolling Resistance.....32
3.7	รูปตารางแสดงค่า Aerodynamics เพื่อคำนวณ Air Drag Force.....34
3.8	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 1500W (1500W BLDC Motor).....37
3.9	ไดอะแกรมการวัดของอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง.....38
3.10	ส่วนประกอบในอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง.....38
4.1	ชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....39
4.2	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านที่นำมาทดสอบ.....41
4.3	การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ.....46
4.4	การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ.....46
4.5	ขอบเขตการทดสอบของการทดลองที่1 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์ สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน.....46
4.6	ขอบเขตการทดสอบของการทดลองที่2 ทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแส ตรงไร้แปรงถ่าน.....47
4.7	ขอบเขตการทดสอบของการทดลองที่3 ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของ รถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง.....48
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและกำลังไฟฟ้าอินพุต.....50
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต.....50

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์.....52
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์.....54
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์.....55
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกระแสสำหรับการขับเคลื่อนจริง.....56
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงดันสำหรับการขับเคลื่อนจริง.....56
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกำลังไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง.....57
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงลาและพลังงานสำหรับการขับเคลื่อนจริง.....57
4.17	ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริงที่ความเร็ว 30 km/hr..... 58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การเปรียบเทียบพลังงานเฉพาะของเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดต่างๆ.....6
2.2	ลำดับคอมมิวเตชันสำหรับการหมุน.....8
4.1	ผลการทดลองทำการคงที่ค่า Duty Cycle ที่ 100 % แล้วทำการถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้น.....49
4.2	ผลการทดลองทำการคงที่ค่า Duty Cycle ที่ 100 % แล้วทำการถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้น.....53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากโครงการเชลล์ อีโค-มาราธอน (Shell Eco-marathon) ได้มีการคัดเลือกเพื่อสรรหารถยนต์ไฟฟ้าจากทีมต่างๆ หลายประเทศที่เข้าร่วมแข่งขัน โดยทีมที่ได้อันดับ 1-3 จะได้รับสิทธิ์เป็นตัวแทนภูมิภาคเอเชียไปแข่งขันต่อที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ในแต่ละปีทีมที่เข้าร่วมการแข่งขันนั้นได้พัฒนาและออกแบบส่วนประกอบโครงสร้างต่างๆ เกี่ยวกับรถแข่งของทีมในเชิงวิศวกรรมมาโดยตลอด ซึ่งทีมของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ดำเนินการโดยชมรมอินโนเจน (Innogen) มีการพัฒนาและออกแบบรถยนต์ไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการในด้านวิศวกรรม อาทิเช่น การพัฒนาระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญต่อการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

ด้วยเหตุนี้ที่ผ่านมา จึงได้ศึกษาและค้นคว้าเพื่อพัฒนา และออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอย่างต่อเนื่อง ผู้ศึกษาจึงได้มุ่งเน้นไปยังการใช้ขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสมที่สุดกับรถยนต์ไฟฟ้า โดยมอเตอร์ที่ใช้ในปีที่ผ่านมา มีขนาด 3 kW น้ำหนัก 8 kg จะเห็นว่าน้ำหนักมอเตอร์มีขนาดใหญ่เกินความเหมาะสม ซึ่งทำให้ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นในการแข่งขันปีนี้จึงได้มีการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อนำค่าที่ได้ไปพิจารณาเลือกมอเตอร์มาใช้งานเพื่อเป็นการลดน้ำหนักรวมของรถให้เบาขึ้น ทางกลุ่มผู้จัดทำยังศึกษาระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า (Power train) หาค่าประสิทธิภาพการทำงานของ มอเตอร์, ชุดอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพรวมของระบบขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ Arduino mega2560 เป็นตัวประมวลผลและเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์

ในปฏิญานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า (Power train) และหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของ มอเตอร์, ชุดอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพรวมของระบบขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า

1.2.2. เพื่อศึกษาวิธีการเลือกมอเตอร์จากการคำนวณค่าพลังงานที่เป็นไปได้ในการใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ทำให้สามารถลดขนาดมอเตอร์ให้มีขนาดเล็กลง และน้ำหนักเบาขึ้น

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1.3.1 ออกแบบระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า (Power train) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่คาดหวังไว้ดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพของรถไฟฟ้าพลังงาน: 70%
- การใช้พลังงาน: 70 km / kWh

1.3.2 รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบต้องออกแบบโครงสร้างรถแข่งตามกฎกติกาการแข่งขันของ Shell – Eco marathon 2019 ดังนี้

- ขนาดของรถ
 - ความกว้าง : 1.2 เมตร
 - ความยาว : 2.6 เมตร
 - ความสูง : 1.1 เมตร
- น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ
 - น้ำหนักรถ : 130 กิโลกรัม
 - น้ำหนักคนขับ : 70 กิโลกรัม

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษากฎกติกาการแข่งขัน Shell – Eco marathon

1.4.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลของชุดอินเวอร์เตอร์ ชนิดและขนาดที่เหมาะสมของมอเตอร์เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกชุดอินเวอร์เตอร์ และมอเตอร์

1.4.3 ทำการสร้างรถพลังงานไฟฟ้า

1.4.4 ทำการวัดค่า กำลังไฟฟ้าขาเข้า (P_{in}) กำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) ของมอเตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์ แล้วบันทึกค่าเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์

1.4.5 ทำการวัดค่า กำลังไฟฟ้าขาเข้า (P_{in}) กำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) ของมอเตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์ แล้วบันทึกค่าเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ชุดอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพรวมทั้งระบบขณะวิ่งจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ระยะเวลา (2561-2562)																																			
	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1. หาหัวข้อโครงการที่สนใจ	■																																			
2. บทนำ - ที่มาและความสำคัญ - วัตถุประสงค์ - ขอบเขต - ประโยชน์ที่ได้รับ	■	■	■	■																																
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง					■	■	■	■																												
4. จัดทำมอเตอร์และชุด อินเวอร์เตอร์									■	■	■	■																								
5. ทำการสร้างรถพลังงาน ไฟฟ้า													■	■	■	■																				
6. ทำการทดสอบหา ประสิทธิภาพของ - มอเตอร์ - ชุดอินเวอร์เตอร์																	■	■	■	■																
7. ทำการทดสอบหา ประสิทธิภาพของ - มอเตอร์ - ชุดอินเวอร์เตอร์ - ทั้งระบบของรถพลังงาน ไฟฟ้า ขณะขับเคลื่อนจริง																					■	■	■	■												
8. สรุปผลและข้อเสนอแนะ																									■	■	■	■								
9. จัดทำรายงาน สื่อ นำเสนอ และส่งรายงาน ฉบับสมบูรณ์ พร้อม นำเสนอโครงการในงาน Project Day 2019																													■	■	■	■				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ทำให้มีความเข้าใจระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า (Power train) และหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของ มอเตอร์,ชุดอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพรวมของระบบขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า และสามารถทราบวิธีการเลือกมอเตอร์จากการคำนวณค่าพลังงานที่เป็นไปได้ในการใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ทำให้สามารถลดขนาดมอเตอร์ให้มีขนาดเหมาะสมกับน้ำหนักของรถได้ รวมถึงประสบการณ์การใช้ Arduino mega2560 เป็นตัวประมวลผลและเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการ ซึ่งเนื้อหาดังกล่าวจึงเป็นประโยชน์ในการแข่งขันในโครงการ Shell-eco marathon 2019 และเป็นประสบการณ์แก่ผู้ทำวิจัยเป็นอย่างมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

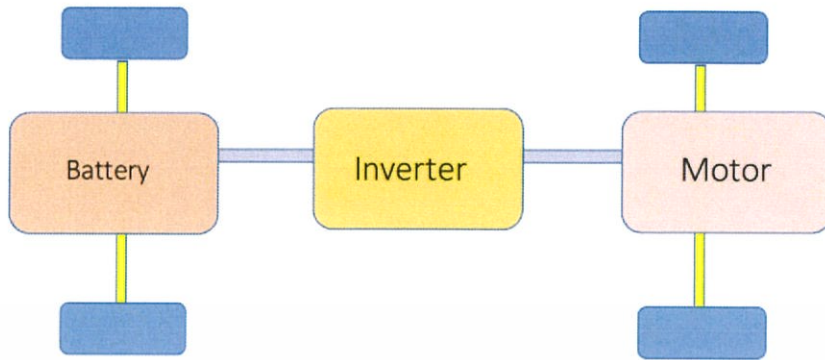
2.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า

ในการสร้างรถยนต์ไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วนคือ โครงสร้างรถ และระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า

2.1.1 โครงสร้างรถ การออกแบบโครงสร้างรถยนต์นั้นจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ความปลอดภัย และสมรรถนะ โดยการด้านความปลอดภัยนั้นต้องเลือกวัสดุที่มีความคงทนสูงแต่การออกแบบให้มีความปลอดภัยอาจต้องแลกมาด้วยสมรรถนะในการขับเคลื่อนที่ต่ำลงอันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้นั้นมีน้ำหนักที่มาก จึงจำเป็นต้องหาวัสดุที่มีความแข็งแรงมากและมีน้ำหนักที่เบาเพื่อใช้ในการสร้างรถยนต์พลังงานไฟฟ้า และในการออกแบบให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้านั้นมีความปลอดภัยสูงไม่ได้ขึ้นกับการใช้วัสดุเพียงอย่างเดียวแต่สามารถขึ้นกับการออกแบบรูปทรงของรถด้วยเช่นกันและการออกแบบจะพิจารณาควบคู่ไปกับรูปทรงของรถยนต์ที่ทำให้มีสมรรถนะสูง เช่น การออกแบบนั้นควรให้รูปทรงรถยนต์ไฟฟ้ามีมุมเหลี่ยมน้อยที่สุดโดยเฉพาะบริเวณกันชนของรถอันเนื่องมาจากเมื่อมีการชนบริเวณมุมเหลี่ยมจะทำให้เกิดการแตหักได้ง่ายซึ่งไม่เป็นผลดีในด้านความปลอดภัยของผู้ขับขี่ และอีกประการคือ สมรรถนะในการทำงานต่ำอันเนื่องมาจากความต้านทานอากาศของโครงสร้างรถที่มีมุมเหลี่ยม จะสูงกว่าโครงสร้างรถที่มีความโค้งมนจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบโครงสร้างรถให้คำนึงถึง ความปลอดภัย และสมรรถนะของรถเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบ

2.1.2 ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า การออกแบบระบบไฟฟ้าจะแบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

- แบตเตอรี่ : แบตเตอรี่จะเป็นส่วนแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า
- อินเวอร์เตอร์ : อินเวอร์เตอร์นั้นเป็นส่วนที่รับพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์
- มอเตอร์ : มอเตอร์เป็นส่วนสุดท้ายที่รับพลังงานจากแบตเตอรี่โดยรับพลังงานผ่านทางอินเวอร์เตอร์เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการขับเคลื่อนทางกล



รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า

2.2 แบตเตอรี่ลิเทียม

2.2.1 คุณสมบัติของพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียม แรงดันที่ขั้วของเซลล์ลิเทียมมีค่าตั้งแต่ 80 เฟอร์เซ็นต์ ถึง 300 เฟอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเซลล์เคมีชนิดอื่นมาก อีกทั้งยังมีค่าความหนาแน่นของพลังงานสูงอีกด้วย ด้านการวิเคราะห์เชิงปริมาณและปริมาตรก็ดีกว่าเซลล์เคมีชนิดอื่น ในขณะที่ค่าความจุของเซลล์ในหน่วยแอมป์ชั่วโมง(Amp-h) ก็มีค่าใกล้เคียงกับนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์(NiMH) และนิกเกิลแคดเมียม(NiCd) แต่ค่าความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่ามากเพราะมีแรงดันที่ขั้วที่สูงกว่า ทั้งหมดนี้จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมในรถพลังงานไฟฟ้าในช่วงหลายปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบพลังงานเฉพาะของเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดต่างๆ

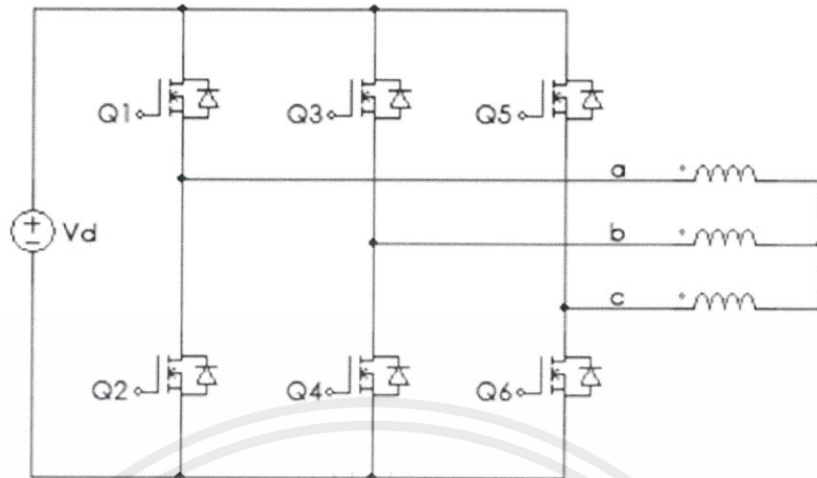
	ความหนาแน่นของพลังงาน (Wh/Kg)	แรงดันที่ขั้ว (Volts)
Lead Acid	12.3	2
NiMH	46	1.7
USABC Mid-Term	80-100	
LiMnO ₄	100	4
LiFePO ₄	100	3.3
LiNiO ₂	130	3.6
LiCoO ₂	140	3.7
USABC Long-Term	150-200	

จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียม มีมากมายหลายชนิดแต่ชนิดที่นำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันนั้นคือ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4) เนื่องจากทดสอบของสถาบันเทคโนโลยีแมตซาชูเซต (MIT) เรื่อง Evaluation of Lithium Iron Phosphate Batteries for Electric Vehicles Application ได้ทำการทดสอบแบตเตอรี่ลิเทียมชนิดต่างๆที่เหมาะสมต่อการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้า โดยได้ผลการทดสอบดังนี้ การทดสอบความจุ, วัฏจักรการทำงาน และการประเมินจากการวิ่งบนถนนจำลองของรถพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4) โดยได้ทำการทดสอบเป็นจำนวน 8 เซลล์ 50 วัฏจักรการทำงาน ค่าการคายประจุ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ 20 องศาเซลเซียส โดยผลการทดสอบของเซลล์ LiFePO_4 เป็นดังนี้ ความจุของเซลล์ได้ 160 Ah และเซลล์ยังเต็มความจุหลังจากผ่านไป 50 วัฏจักรการทำงาน โดยที่ไม่มีการเสื่อมสภาพของแรงดันที่ชั่วในช่วงของการคายประจุและไม่มีผลกระทบจากความร้อน และในการทดสอบเซลล์ตัวอย่างบนถนนจำลองนั้น ปรากฏว่าค่ากระแสของเซลล์ลิเทียมไอออนฟอสเฟต(LiFePO_4)ที่ได้จากการทดลองนั้นเพียงพอต่อรถพลังงานไฟฟ้าเมื่อวิ่งบนถนนจริง โดยในการทดลองบนถนนจำลองได้ทำการทดลอง 4 ครั้ง ในแต่ละครั้งกำหนดค่าอุณหภูมิต่างกันดังนี้ -20 , 0 , 20 และ 40 องศาเซลเซียส และได้ผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์ลิเทียมไอออนฟอสเฟต(LiFePO_4) เหมาะที่จะนำมาใช้กับรถพลังงานไฟฟ้าที่สุด

2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน โดยส่วนใหญ่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงนั้น สามารถใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมแรงบิดและความเร็วรอบ ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์ได้พัฒนาไปอย่างมาก และมีการใช้งานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านอย่างแพร่หลายมากขึ้น

2.3.1 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านที่ใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการสับเปลี่ยนทิศทางของกระแสสำหรับกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ใช้งานจริงแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้โครงสร้างบริดจ์สามเฟสเต็มลูกคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.2 สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จะควบคุมด้วยสวิตช์ตัวบนของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า โดยใช้การควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์บิวดิวเอ็ม (PWM) ซึ่งเกิดจากการมอดูเลตระหว่างสัญญาณแรงดันรูปสามเหลี่ยมฟันเลื่อยกับสัญญาณแรงดันกระแสตรง โดยปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง วิธีการนี้ทำได้ง่ายและสามารถจำกัดค่ากระแสเริ่มหมุน เพื่อควบคุมความเร็วและแรงบิด หลักการทำงานที่อธิบายข้างต้นสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.2 เป็นการแสดงค่าองศาตำแหน่งของตัวตรวจจับฮอลล์ และการกำหนดรูปแบบการสวิตช์

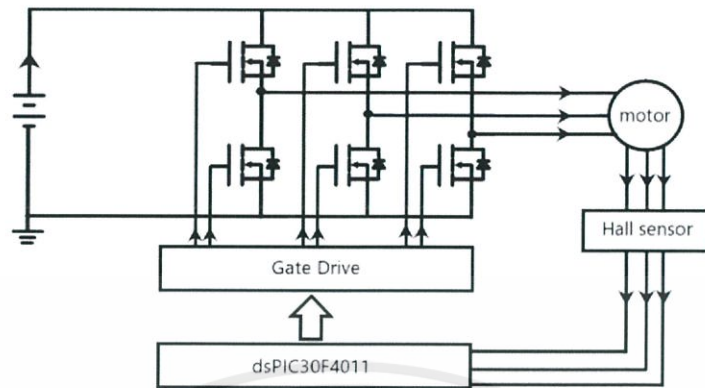


รูปที่ 2.2 three phase full bridge inverter

ตารางที่ 2.2 ลำดับคอมมิวเตชันสำหรับการหมุน

Electrical angle	Hall sensor			Phase current			Switch closed	
	H1	H2	H3	la	lb	lc		
0 - 60	1	0	1	+	-	off	Sw1	Sw4
60 - 120	1	0	0	+	off	-	Sw1	Sw6
120 - 180	1	1	0	off	+	-	Sw3	Sw6
180 - 240	0	1	0	-	+	off	Sw3	Sw2
240 - 300	0	1	1	-	off	+	Sw5	Sw2
300 - 360	0	0	1	off	-	+	Sw5	Sw4

2.3.2 การออกแบบระบบควบคุม ในการออกแบบระบบควบคุมนั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือส่วนงานทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยวงจรขับเคลื่อนสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์กำลังและระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F4011 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบควบคุมดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุม

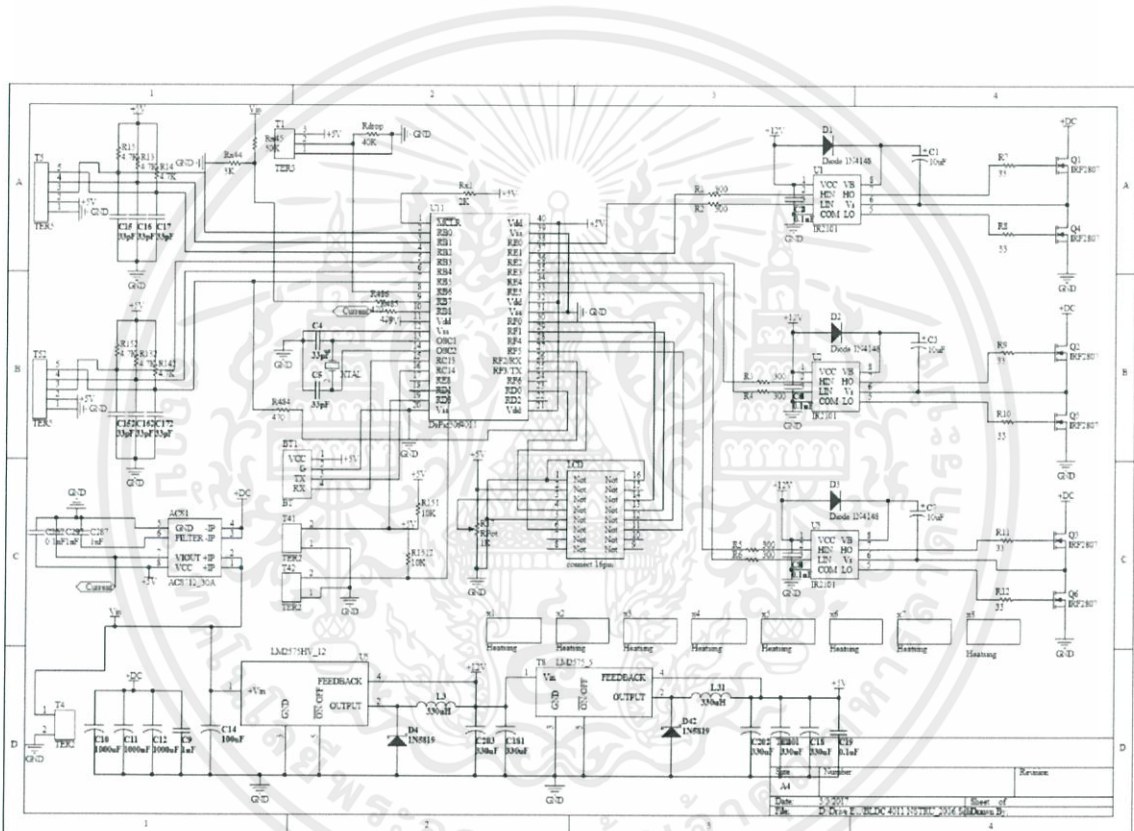
2.3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F4011 ซึ่งสามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต ซึ่งมีความเร็วเพียงพอสำหรับการออกแบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมีความสามารถหลักคือ มีโมดูลสร้างสัญญาณพีดับเอ็ม 6 ช่องอิสระหรือ 3 คู่ เป็นคอมพรีเมนต์และมีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ขนาด 10 บิต เป็นต้น

2.3.2.2 วงจรขับเคลื่อนและวงจรภาคกำลัง ในส่วนของวงจรขับเคลื่อน (gate drive) นี้ ได้ถูกนำมาใช้เพื่อขับขาเกตของทรานซิสเตอร์กำลัง (power transistor) มอสเฟต (MOSFET) เพื่อการทำงานของสวิทช์กำลังเหล่านี้ โดยอาศัยการทำให้มอสเฟตนำกระแสและหยุดนำกระแสอย่างรวดเร็วทำได้โดยการใช้ทรานซิสเตอร์คู่คอมพลีเมนต์ (complement) ต่อร่วมกันแบบวงจรคอลเลกเตอร์ร่วม (common collector) ทำหน้าที่ใส่ประจุและดึงประจุออกจากเกตของมอสเฟตเพื่อกระตุ้นให้การสะสมประจุและการคายประจุของเกตในมอสเฟตวงจรภาคกำลัง ส่วนวงจรภาคกำลังชนิด 3 เฟส แบบบริดจ์

2.3.2.3 ขั้นตอนควบคุมการทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F4011 ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน โดยตัวตรวจจับฮอลล์จะตรวจจับตำแหน่งของสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ป้อนกลับมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลส่งสัญญาณไปยังวงจรขับเคลื่อนเพื่อขับขาเกตของมอสเฟต (MOSFET) มอสเฟตจะปล่อยกระแสไหลตามสัญญาณที่ขับขาเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้หลักการรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal method) ที่มีมุมต่างกัน 120 องศา โดยการทำงาน 1 รอบใช้การอ้างอิง 6 ชั้นแสดงดังตารางที่ 2.5 (0-360) เพื่อสร้างสัญญาณพิคดับ บิวเอ็ม สำหรับควบคุมการทำงานของวงจรบริดจ์สามเฟส เพื่อจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงไร้แปรงถ่าน โดยตัวตรวจจับฮอลล์จะส่งสัญญาณเข้ามาที่พอร์ต RB3 RB4 และ RB5 เพื่อ กำหนดลำดับการทำงานของสวิตช์กำลัง ทั้ง 6 ตัว (SW1-SW6) โดยสัญญาณควบคุมของวงจรจาก ไมโครพิคดับ บิวเอ็มของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อกับขั้ววงจรขับเคลื่อนเพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

2.4.1 ประวัติความเป็นมา ครั้งหนึ่งเมื่ออุตสาหกรรมเติบโตขึ้น หลายๆส่วนได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งรวมถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านด้วย ซึ่งมีการพัฒนาในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้ถือกำเนิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านขึ้น ในปี ค.ศ.1962

เมื่อ T.G. Wilson และ P.H. Trickey ได้สร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านขึ้น ซึ่งในตอนแรกให้ชื่อว่า “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมมิวเตเตอร์อิเล็กทรอนิกส์”

จุดเด่นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านคือไม่มีซีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน ซึ่งการพัฒนานี้ได้เป็นตัวเลือกที่ได้รับความนิยมใช้ในงานที่มีความพิเศษ เช่น เครื่องเล่นเทป อุปกรณ์อ่านข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุม ตำแหน่งในงานอุตสาหกรรมแบบต่างๆ รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีอากาศยานด้วย เหตุผลที่มอเตอร์ชนิดนี้ได้รับความนิยม เพราะมีความทนทาน และได้รับความนิยมในด้านอากาศยานเพราะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านมีความชื้นต่ำ เนื่องจากไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านสมัยใหม่ต่างจากในสมัยอดีต ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น และตอบสนองต่อความถี่สวิตซ์ได้สูงขึ้นมาก เช่น ทรานซิสเตอร์ที่สามารถทนแรงดันได้มากกว่าในสมัยอดีต และในปลาย ค.ศ.1980 Robert E. Lordo จากบริษัท Industrial Corporation ได้สร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้ โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC motor) ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ 50 แรงม้า หลังจากนั้น จึงได้เริ่มมีการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าต่างๆ ตั้งแต่ 0.5 HP. ถึง 300 HP. ตั้งแต่ปี 1980 จนถึงปัจจุบัน

ในปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านมีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 96 % จึงทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) เป็นที่นิยมใช้ ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางเช่นกัน

2.4.2 หลักการและส่วนประกอบพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน หรือ Brushless DC Motor เป็นมอเตอร์กระแสตรงที่ไม่มีแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ สามารถนำมาใช้ในการขับเคลื่อนล้อของยานพาหนะได้โดยตรง โดยยังต้องมีการเชื่อมต่omotorเข้ากับระบบเฟืองของเครื่องยนต์อยู่ ซึ่งความแตกต่างของมอเตอร์ชนิดนี้กับมอเตอร์ชนิดอื่นคือ ส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะอยู่ด้านนอก โดยภายในส่วนของโรเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวร (Rare Earth Magnet) และส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์จะอยู่ด้านใน ดังรูปที่ 2.5 ภายในสเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ 3 ชุด ควบคุมสัญญาณไฟฟ้า 3 เฟส ได้แก่ เฟส A, เฟส B และ เฟส C ยึดติดกับแกนล้อ และมีตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอล (Digital Hall Sensor) 3 ชุดซึ่งใช้วัด เฟส A, เฟส B และ เฟส C เช่นเดียวกัน โดยตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอลจะป้อนค่ากลับค่าสัญญาณที่วัดออกมาได้ เป็นค่าลอจิก Low(0) และ High(1) ตามตำแหน่งของสนามแม่เหล็กที่วัดได้ โดยตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กจะถูกวางตัวใกล้ๆกันในตำแหน่งใกล้กับแกนล้อซึ่งจะห่างกัน 60 องศา หรือ 120 องศาทางไฟฟ้า ซึ่ง

ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอลจะมีจำนวนสายไฟเพิ่มจากสายไฟของตัวตรวจจับที่ตรวจจับไฟฟ้า 3 เฟส อีก 2 เส้น นั่นคือ สายไฟเลี้ยงตัวตรวจจับ

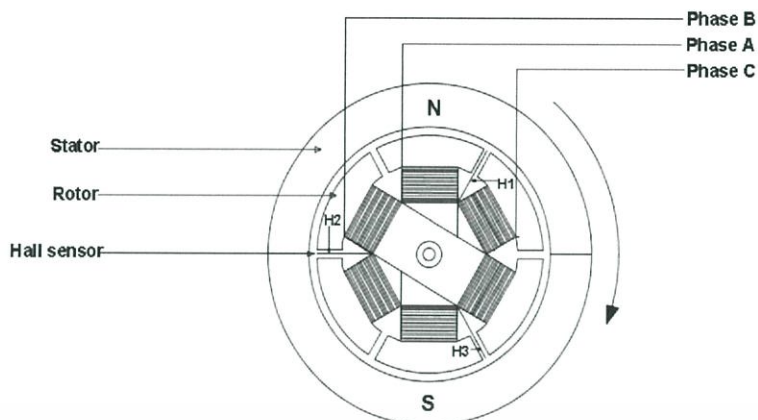
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีข้อเสีย คือ ชุดควบคุมมีความซับซ้อน จึงทำให้มีราคาแพง อีกทั้งยังมีแรงบิดขณะออกตัวต่ำ ทำให้มีการออกตัวที่ช้า แต่ด้วยเหตุนี้จึงไม่เกิดการกระชากขึ้น และเนื่องจากเป็นมอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่านและซีคอมมิวเตเตอร์ จึงไม่เกิดการสูญเสียจากการเสียดสีจากการหมุนตัวของโรเตอร์ ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น และมีข้อดี คือ ให้สามารถใช้งานที่ความเร็วรอบที่สูง ทำให้แรงบิดที่ความเร็วสูง นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวของความร้อนในขดลวดที่สเตเตอร์ที่ดีทำให้ไม่มีปัญหาที่เกิดจากความร้อน มีโครงสร้างที่มิดชิด ทำให้ลดสัญญาณรบกวนทั้งทางไฟฟ้าและทางกล ลดการสั่นสะเทือน และมีความน่าเชื่อถือสูง มอเตอร์ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ยอมรับมาใช้งานในด้านยานยนต์ เช่น รถไฟฟ้า จักรยานไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ใช้ในการศึกษา

2.4.3 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ มีแม่เหล็กถาวรกระจายสม่ำเสมอโดยรอบ
2. ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ภายในประกอบด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ 3 ชุด
3. ส่วนที่เป็นชุดตรวจจับสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ชนิดสองขั้ว

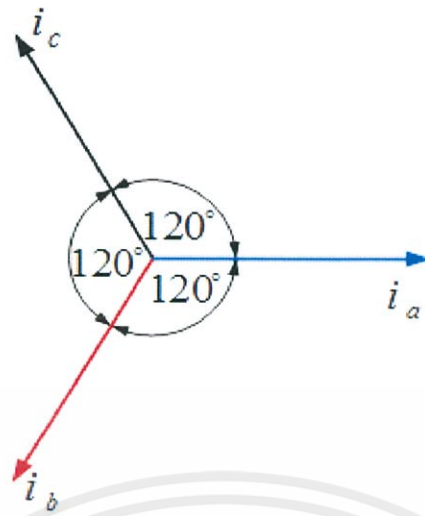
2.4.4 องศาทางไฟฟ้าและองศาทางกล เมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่จากขั้วแม่เหล็กถาวรขั้วเหนือไปหาขั้วแม่เหล็กถาวรขั้วเหนือ จะเรียกว่าเคลื่อนที่เป็นระยะหนึ่งคู่ขั้ว (เป็นระยะขั้วแม่เหล็กถาวรเหนือ-ใต้ที่โรเตอร์) จะเท่ากับโรเตอร์เคลื่อนที่ครบรอบ 360 องศาทางไฟฟ้า

ดังนั้น องศาทางไฟฟ้า = จำนวนคู่ขั้วของแม่เหล็ก x องศาทางกล

$$\text{หรือ} \quad \theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \quad (2.1)$$

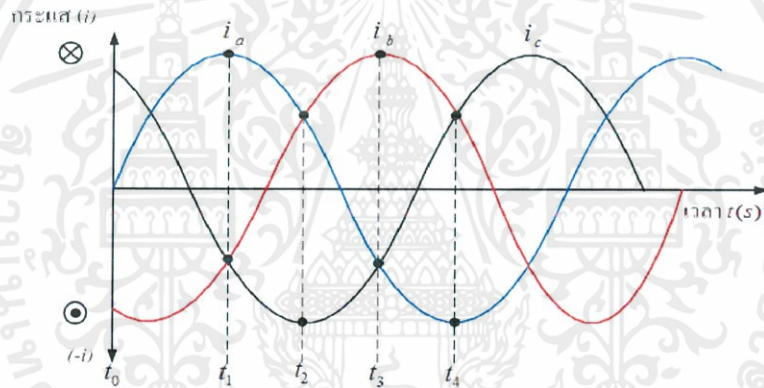
2.5 สนามแม่เหล็กหมุน

สนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส เกิดจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวด 3 ชุด คือ ชุด A, ชุด B และชุด C ที่พันอยู่ในร่องแกนเหล็กที่สเตเตอร์ โดยขดลวดทั้ง 3 ชุด จะมีคุณลักษณะที่เหมือนกันทุกอย่าง ไม่ว่าจะเป็นขนาดของขดลวด ความต้านทาน และรีแอกแตนซ์ของขดลวด โดยวางมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าซึ่งกันและกัน มีการต่อใช้งานได้ทั้งแบบสตาร์และเดลต้า ดังนั้น เมื่อจ่ายแรงดันให้กับขดลวดทั้ง 3 ชุดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทั้ง 3 ชุด ทำมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 เวกเตอร์กระแสไฟฟ้า

(Source: <http://xn-m.blogspot.com/2011/10/blog-post.html>)



รูปที่ 2.8 เฟสเซอร์ไดอะแกรมกระแสไฟฟ้า

(Source: <http://xn-m.blogspot.com/2011/10/blog-post.html>)



(1) ที่เวลา t_1

(2) ที่เวลา t_2

(3) ที่เวลา t_3

(4) ที่เวลา t_4

รูปที่ 2.9 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน

(Source: <http://xn-m.blogspot.com/2011/10/blog-post.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส แสดงดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 ที่มีความสัมพันธ์กันของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา ในการพิจารณารูปคลื่นกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์ มีหลักการคือ ถ้าพบรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าอยู่ในด้านบวกแสดงว่ากระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ต้นและออกทางปลายของขดลวด ในทางตรงกันข้ามถ้าพบรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าอยู่ในด้านลบ แสดงว่า กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ปลายและออกที่ต้นของขดลวด

เมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นพิจารณาที่เวลา t_1 พบว่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_a มีค่าอยู่ในด้านบวก แสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดจะเข้าที่ต้น (A) และออกที่ปลาย (A') ส่วนรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_b และ i_c มีค่าเท่ากันอยู่ในด้านลบ แสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดจะเข้าที่ปลาย (B',C') และออกที่ต้น (B,C) ดังนั้น เมื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กรวมจะวิ่งจากด้านขวามือไปทางด้านซ้ายมือตามลูกศร แสดงดังรูปที่ 2.9,(1)

เมื่อพิจารณาที่เวลา t_2 พบรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_a และ i_b มีค่าเท่ากันอยู่ในด้านบวก แสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทั้ง 2 ชุด จะเข้าที่ต้น (A,B) และออกที่ปลาย (A',B') ส่วนรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_c พบอยู่ในด้านลบ แสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดจะเข้าที่ปลาย (C') และออกที่ต้น (C) เมื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กรวมจะวิ่งจากด้านล่างเฉียงขึ้นด้านบนตามลูกศร แสดงดังรูปที่ 2.9,(2)

เมื่อพิจารณาที่เวลา t_3 พบรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_b มีค่าเท่ากันอยู่ในด้านบวก แสดงว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด จะเข้าที่ต้น (B) และออกที่ปลาย (B') ส่วนรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_a และ i_c มีค่าเท่ากันอยู่ในด้านลบ แสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทั้ง 2 ชุดจะเข้าที่ปลาย (A',C') และออกที่ต้น (A,C) ดังนั้นเมื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กรวมจะวิ่งจากด้านล่างเฉียงขึ้นด้านบนตามลูกศร แสดงดังรูปที่ 2.9,(3)

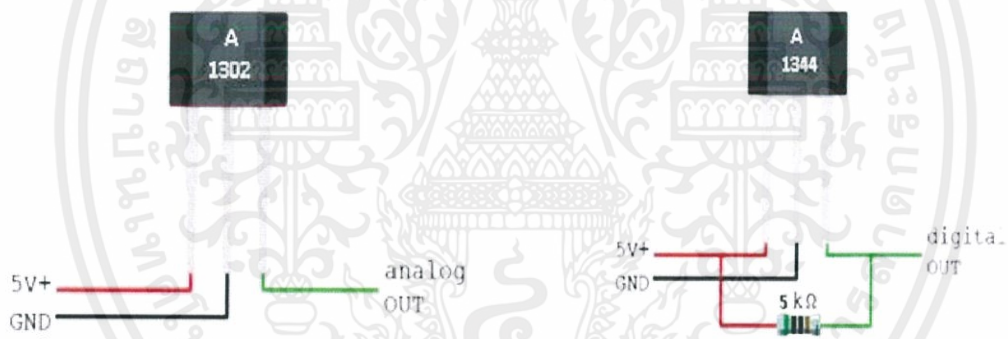
เมื่อพิจารณาที่เวลา t_4 พบรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_b และ i_c มีค่าเท่ากันอยู่ในด้านบวก กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทั้ง 2 ชุด จะเข้าที่ต้น (B,C) และออกที่ปลาย (B',C') ส่วนรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า i_a พบอยู่ในด้านลบ แสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดจะเข้าที่ปลาย (A') และออกที่ต้น (A) เมื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กรวมจะวิ่งจากด้านซ้ายมือไปด้านขวามือตามลูกศรนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 2.9,(4)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาเส้นแรงแม่เหล็กรวมที่เกิดขึ้นตามทิศทางของลูกศร ตามการเปลี่ยนแปลงของเวลาจาก $t_1 - t_4$ จะเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กจะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.9

2.6 ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Hall Sensor)

แม่เหล็ก (Magnet) เป็นวัตถุที่มีสนามแม่เหล็กอยู่บริเวณโดยรอบ แม่เหล็กในอดีตสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กโดยใช้เข็มทิศ แต่ไม่สามารถทราบขนาดของสนามแม่เหล็กได้ นักวิทยาศาสตร์จึงพยายามหาวิธีการวัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งในปัจจุบันสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวกและรวดเร็ว โดยใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Hall sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้ง เมื่อนำตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ และนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ตัวตรวจจับแบบอนาล็อก (Analog Hall Sensor) และตัวตรวจจับแบบดิจิทัล (Digital Hall Sensor) โดยแบบอนาล็อกจะให้ผลของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กออกมาตามขนาดแรงดันที่วัดได้ ส่วนแบบดิจิทัลจะให้ผลของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กออกมา 2 ค่า คือ ค่าต่ำ (Low) และค่าสูง (High)



รูปที่ 2.10 ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบอนาล็อก และตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบดิจิทัล

Source: <http://www.theorycircuit.com/hall-effect-sensor-arduino-program/>

ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นวงจรรวม มีลักษณะดังรูปที่ 2.6 และมีคุณสมบัติดังนี้

- input voltage 4.5-6V
- offset voltage 2.5 V (โดยประมาณ)
- Sensitivity 13 V/T

2.6.1 หลักการทำงานของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5-6 โวลต์ เข้ากับขา 5V+ และขา GND จากนั้นทำการต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขา GND และขา Analog output โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็นความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก เรียกว่า แรงดันออฟเซต (Offset voltage)

ซึ่งเป็นค่าที่ผู้ผลิตกำหนดขึ้นมา ซึ่งแล้วแต่แต่ละบริษัท ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 5V+ และขา GND

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้บริเวณกระตุ้น (Active area) ของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือ ถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) ดังนี้

$$B = (V_{out}(B) - V_{out}(0)) * S^{-1} \quad (2.2)$$

เมื่อ $V_{out}(0)$ เป็นความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

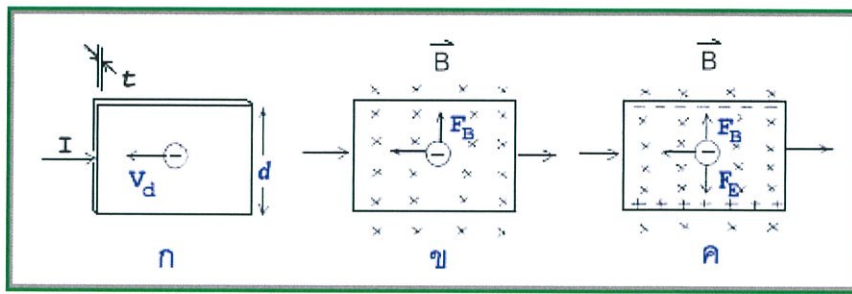
$V_{out}(B)$ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

S เป็นสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา (V/T)

และ B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก หรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กสามารถวัดสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้แม่เหล็กถาวร, สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณปลายโซเลนอยด์ และสนามแม่เหล็กใกล้เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้

2.6.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุในแผ่นตัวนำจะเกิดการเบี่ยงเบน และการเบี่ยงเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบาง ในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)



รูปที่ 2.11 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

(Source: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hall/hall.htm>)

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้ดังรูปที่ 2.7 ก-ค ดังนี้

รูป 2.11 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (Conventional current), I ไหลผ่านในทิศทางจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน v_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า จากด้านขวาไปด้านซ้าย

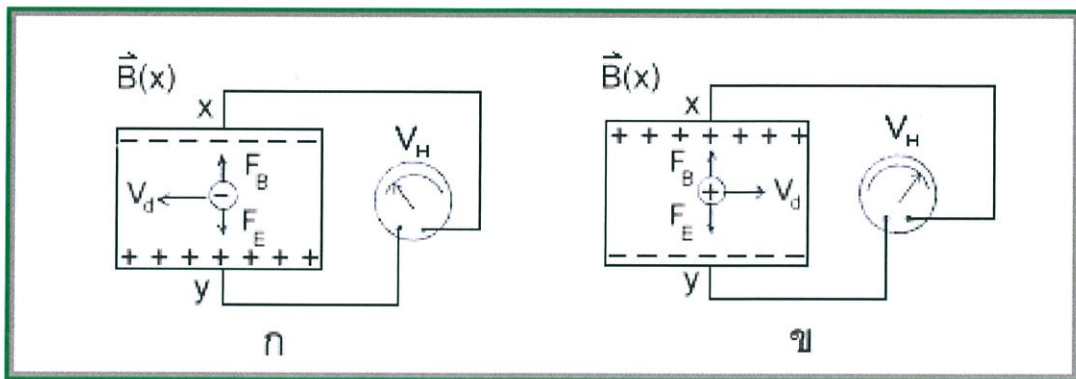
รูป 2.11 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูป 2.11 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall Field), E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้าย และไม่เกิดการเบี่ยงเบน สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือแรงดัน (V) ดังนี้

$$E_H = \frac{V_H}{d} \quad (2.3)$$

ความต่างศักย์หรือแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall Potential Difference หรือ Hall Voltage), V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad (2.4)$$

รูปที่ 2.12 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ (V_H)

(Source: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hall/hall.htm>)

เราสามารถวัด V_H ได้ โดยต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูปที่ 2.12 ก สภาพขั้วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์

จากรูป 2.12 ก พาหะประจุ คือ อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ V_H จะตรงข้ามกันในรูป 2.12 ก แต่ทิศของ F_B และ F_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 2.12 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

จากรูป 2.12 ก ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$(-e)E_H = (-e)V_d B \quad (2.5)$$

$$E_H = V_d B$$

จากสมการ (2) จะได้

$$V_H = E_H d$$

$$V_H = V_d B d \quad (2.6)$$

เนื่องจากอัตราเร็วเลื่อนลอย V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (2.7)$$

เมื่อ n คือ จำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ)

$(-e)$ คือ ประจุอิเล็กตรอน

และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

แทนสมการ (5) ลงในสมการ (4) จะได้

$$V_H = \frac{IB}{neA} \quad (2.8)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือ ความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (2.9)$$

สมการ (7) เขียนใหม่ได้เป็น

$$B = netl^{-1}V_H \quad (2.10)$$

ปริมาณ $V_H I$ และ t ในสมการ (8) หาได้จากการวัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ จะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n = 10^{22} m^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n = 10^{28} m^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (8) ได้ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (Tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T และหน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็ก คือ เกาส์ (Gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1T = 10^4 G$

2.7 การคำนวณมอเตอร์ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่ามอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังน้อยจะทำให้รถไม่สามารถทำออกตัวได้ หรือถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังที่ใหญ่เกินไปจะทำให้มอเตอร์มีน้ำหนักมากและใช้พลังงานที่เปลือง จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่ำ ดังนั้นมอเตอร์ที่นำมาใช้ขับเคลื่อนควรมีค่าที่เหมาะสมเพื่อที่จะประหยัดพลังงานให้มากที่สุด

ในการคำนวณมอเตอร์ต้องคำนึงถึงค่าแรงต่างๆที่กระทำกับตัวรถได้แก่ แรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน แรงในการขึ้นทางลาดเอียง แรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุดและแรงต้านอากาศ แสดงในสมการดังนี้

$$F_{tt} = F_{rr} + F_{gr} + F_{ac} + F_{ad} \quad (2.11)$$

F_{tt} คือแรงทั้งหมด

F_{rr} คือแรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน

F_{gr} คือแรงในการขึ้นทางลาดเอียง

F_{ac} คือแรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุด

F_{ad} คือแรงต้านอากาศ

หาค่า F_{rr} ได้จาก

$$F_{rr} = G_{vw} \times C_{rr} \quad (2.12)$$

G_{vw} คือน้ำหนักของรถ

C_{rr} คือสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน หาได้จากตาราง

Rolling Resistance Coefficient		
c	c_l (mm)	
0.001 - 0.002	0.5	railroad steel wheels on steel rails
0.001		bicycle tire on wooden track
0.002 - 0.005		low resistance tubeless tires
0.002		bicycle tire on concrete
0.004		bicycle tire on asphalt road
0.005		dirty tram rails
0.006 - 0.01		truck tire on asphalt
0.008		bicycle tire on rough paved road
0.01 - 0.015		ordinary car tires on concrete, new asphalt, cobbles small new
0.02		car tires on tar or asphalt
0.02		car tires on gravel - rolled new
0.03		car tires on cobbles - large worn
0.04 - 0.08		car tire on solid sand, gravel loose worn, soil medium hard
0.2 - 0.4		car tire on loose sand

รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน

(Source : <http://coachrobmuller.blogspot.com/2017/11/rolling-resistance-revisited.html>)

หาค่า F_{gr} ได้จาก

$$F_{gr} = G_{vw} \times \sin \theta \quad (2.13)$$

θ คือมุมของทางลาดเอียง

หาค่า F_{ac} ได้จาก

$$F_{ac} = G_{vw} \times \frac{v_2 - v_1}{g \times t_a} \quad (2.14)$$

v_2 คือความเร็วสุดท้าย (m/s)

v_1 คือความเร็วเริ่มต้น (m/s)

t_a คือเวลาในการเร่ง (s)

g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

หาค่า F_{ad} ได้จาก

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \times \rho \times c_d \times A_f \times v^2 \quad (2.15)$$

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$)

A_f คือพื้นที่ของหน้ารถ (m^2)

v คือความเร็ว (m/s)

c_d คือสัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ หาได้จาก

เมื่อได้ผลรวมของแรงทั้งหมดแล้ว ก็นำไปหาแรงบิดที่ล้อ จากสมการต่อไปนี้

$$\tau_\omega = F_{tt} \times R_\omega \times R_f \quad (2.16)$$

R_ω คือค่ารัศมีของล้อรวมยาง

R_f คือความต้านทานของล้อและเพลลา

เมื่อได้ค่าแรงบิดที่ล้อยอดนำมาเทียบกับค่าแรงบิดที่ล้อยอดสูงสุดที่จะทำให้ล้อยอดไม่สลีป โดยค่าแรงบิดที่ล้อยอดต้องน้อยกว่าค่าแรงบิดที่ล้อยอดสูงสุดจึงจะทำให้ล้อยอดไม่สลีป

$$M_{TT} = W_{\omega} \times \mu \times R_{\omega} \quad (2.17)$$

M_{TT} คือแรงบิดที่ยางทนได้โดยไม่เกิดสลีป

W_{ω} คือน้ำหนักที่ลงบนล้อ

μ คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ต่อไปคือนำค่าแรงบิดที่ล้อยอดที่ได้ไปหาค่ากำลังของมอเตอร์ จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} P_m &= \tau_{\omega} \times \omega \\ &= \tau_{\omega} \times 2\pi f \\ P_m &= \tau_{\omega} \times \frac{2\pi n_{rpm}}{60} \end{aligned} \quad (2.18)$$

n_{rpm} คือความเร็วเชิงมุมในการหมุนของมอเตอร์

2.8 อุปกรณ์การวัด

2.8.1 Arduino Mega 2560 คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาจาก ATmega2560 มี 54 อินพุต / เอาต์พุตดิจิตอลโดยมี 14 ขาสามารถใช้เป็นเอาต์พุตแบบ PWM ได้มี อินพุตแบบอนาล็อก 16 ขา มี UARTs (พอร์ตอนุกรมฮาร์ดแวร์) 4 ขาทำงานที่ 16 MHz สามารถ เชื่อมต่อ กับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB หรือใช้อะแดปเตอร์ AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นการใช้งานและมี ปุ่มรีเซ็ตสามารถต่อเข้ากับโล่ที่ออกแบบเพื่อใช้งานกับ Arduino Duemilanove หรือ Diecimila

1. พินทั่วไป

- VIN เป็นแรงดันอินพุตของบอร์ด Arduino โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก
- 5V เป็นเอาต์พุตพินที่ควบคุม 5 V จากบอร์ด
- 3V เป็น 3.3 volt supply ที่สร้างขึ้นจาก regulator บนบอร์ดและรับกระแสสูงสุด 50 mA
- GND เป็น ground pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- IOREF เป็นพินที่ให้แรงดันอ้างอิงกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเลือกค่าแรงดันให้กับโวลต์ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ด

2. หน่วยความจำ

ATmega2560 มีหน่วยความจำ 256 KB (8 KB ใช้สำหรับ bootloader)

นอกจากนี้ยังมีอีก 8 KB สำหรับ SRAM และ 4 KB สำหรับ EEPROM

3. อินพุตและเอาต์พุต

ในรูปดิจิตอลทั้งหมดทั้ง 54 พินบนบอร์ด Arduino Uno สามารถรับทั้งอินพุตและเอาต์พุตโดยจะทำงานที่แรงดัน 5 V และให้กระแส 40 mA ฟังก์ชันอื่น ๆ

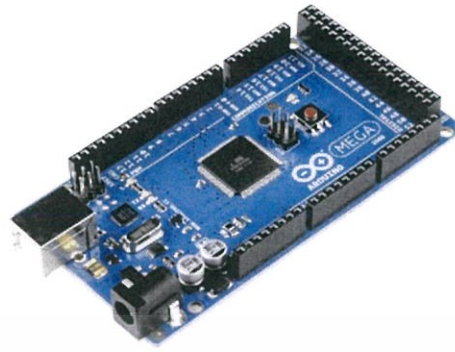
- อินเทอร์รัปต์ภายนอก: 2 (อินเทอร์รัปต์ 0), 3 (อินเทอร์รัปต์ 1), 18 (อินเทอร์รัปต์ 5), 19 (อินเทอร์รัปต์ 4), 20 (อินเทอร์รัปต์ 3), 21 (ซัดจ์หระ 2) หมุดเหล่านี้สามารถกำหนดค่าที่เรียกซัดจ์หระในค่าต่ำสุดขอขาขึ้นและลงหรือเปลี่ยนแปลงค่า

- PWM: 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้เอาต์พุต PWM เอาต์พุต 8-bits
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ใช้ SPI โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนหัว ICSP ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Uno, Duemilanove และ Diecimila

- LED 13: เป็น LED แบบบิวต์อินที่เชื่อมต่อกับพินดิจิตอล 13 เมื่อพินมีค่าสูง LED จะติด แต่เมื่อพินเป็น LOW LED จะดับ

- TWI: 20 (SDA) และ 21 (SCL) สเตอริโอการเชื่อมต่อแบบ TWI (I2C)
- บอร์ด Mega2560 มีอินพุตแบบอะนาล็อก 16 ช่องหมุดให้รายละเอียด 10 บิต
- พินที่ แรงดันอ้างอิงสำหรับอินพุตแบบอะนาล็อก
- รีเซ็ตใช้ในการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วไปจะใช้โดยการเพิ่มปุ่มรีเซ็ตไว้

บนโวลต์เพื่อป้องกันปุ่มที่อยู่บนบอร์ด



รูปที่ 2.14 Arduino Mega 2560

(Source : <https://uae.souq.com/ae-en/arduino-mega-2560-r3-6567186/i/>)

2.8.2 Data Logger Shield เป็น shield ที่ใช้สำหรับเก็บค่าต่างๆ ตามเวลาที่ต้องการ เช่น ค่าของ Sensor ต่างๆ โดยค่าที่ต้องการจะบันทึกค่าลงบน SD Card ใน shield ประกอบด้วย Real time clock (RTC) ช่องเสียบ SD Card และช่องใส่ถ่าน Back up เพื่อช่วยให้ RTC ยังทำงานอยู่ในกรณีไม่มีไฟเลี้ยงบอร์ด ใช้งานได้กับบอร์ด Arduino UNO, Duemilanove, Diecimila, Leonardo, ADK/Mega R3

Library ที่นำมาใช้งานจะประกอบด้วยกัน 2 ส่วนคือ

- Library SD CARD
- Library Real Time Clock (RTC)

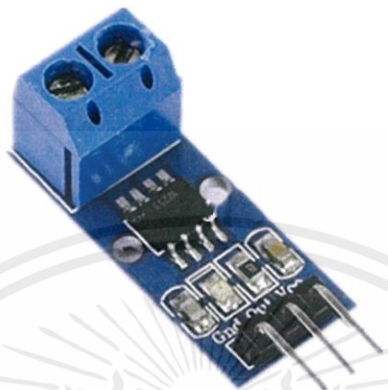


รูปที่ 2.15 Data Logger Shield

(Source : <https://www.arduinoall.com/product/166/data-logger-shield-arduino>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

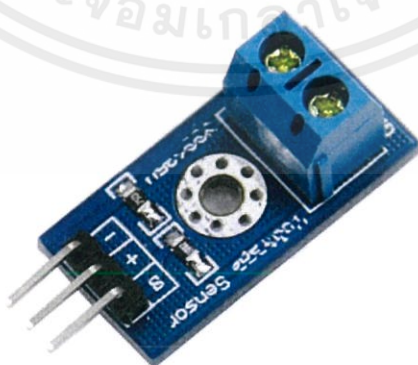
2.8.3 Current Sensor Module ACS712-30A Current Sensor Module เป็น Module วัดกระแสไฟฟ้าโดยง่าย Output ออกมาเป็นสัญญาณ Analog สามารถต่อได้ทั้งไฟ DC และ AC โดยสามารถทำงานได้ 3 Mode คือ 5A, 20A และ 30A



รูปที่ 2.16 Current Sensor Module

(Source : <https://www.amazon.com/ACS712-Current-Sensor-Arduino-Raspberry/dp/B01F134PWY>)

2.8.4 Voltage Sensor Module เป็นโมดูลสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้า DC สำหรับ Arduino ซึ่งปกติแล้วขา Analog ของ Arduino เป็น ADC ขนาด 10 bit วัดออกมาเป็นค่า 0-1023 โมดูลนี้จะช่วยในการแบ่งแรงดันไฟฟ้าให้สามารถวัดแรงดันได้สูงสุดที่ 24.9 VDC หากใช้ไฟเลี้ยงโมดูล 5 VDC และสามารถวัดแรงดันสูงสุดได้ที่ 16.5 VDC หากใช้แรงดันไฟเลี้ยงที่ 3.3 VDC



รูปที่ 2.17 Voltage Sensor Module

(Source : <https://www.amazon.com/ACS712-Current-Sensor-Arduino-Raspberry/dp/B01F134PWY>)

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า

3.1.1 โครงสร้างรถ

1. รูปร่างโครงสร้างรถ รูปร่างของโครงสร้างรถจะได้รับการออกแบบตามนักออกแบบยานยนต์ตามรูปที่ 3.1 เพื่อให้รถรูปทรงรถมีการต้านอากาศน้อยที่สุด โดยมีความกว้าง 1.20 เมตร, ความยาว 2.6 เมตร, สูง 1.1 เมตร



รูปที่ 3.1 รูปร่างโครงสร้างรถ

2. วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างรถ ในการออกแบบการทำวัสดุของโครงสร้างรถ จะต้องพิจารณาความคงทน และความเบาเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงใช้แผ่นโพลีเมทริก P60 มาสร้างเป็นโครงสร้างรถ โดยแผ่นโพลีเมทริก P60 นั้นมีความเบาตามคุณสมบัติที่ต้องการแต่ขาดซึ่งความคงทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเสริมสร้างความแข็งแรงให้แผ่นโพลีเมทริกโดยใช้ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ในการเสริมความแข็งแรง

3.1.2 ระบบภายในรถยนต์ไฟฟ้า

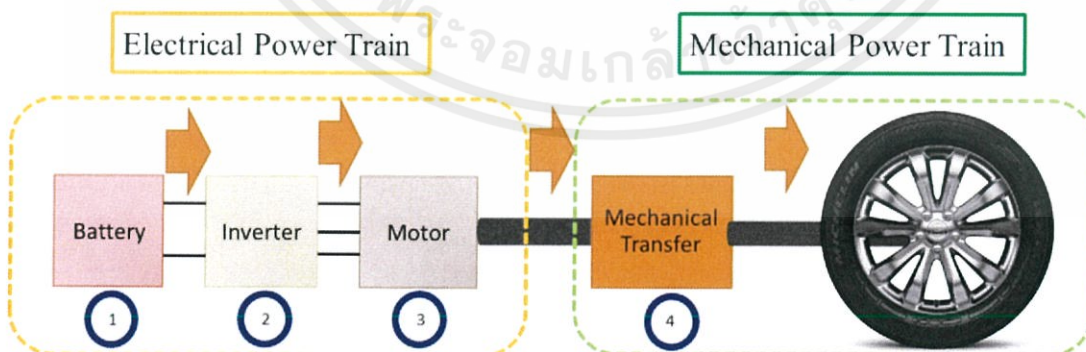
การออกแบบระบบภายในรถจะแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ

3.1.2.1 ระบบไฟฟ้า

- แบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะเป็นส่วนแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า
- อินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์นั้นเป็นส่วนที่รับพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์
- มอเตอร์ มอเตอร์เป็นส่วนสุดท้ายที่รับพลังงานจากแบตเตอรี่โดยรับพลังงานผ่านทางอินเวอร์เตอร์เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการขับเคลื่อนทางกล

3.1.2.2 ระบบเครื่องกล

- ระบบแปลงกำลังทางกล ส่วนนี้จะเป็นส่วนเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ออกจากมอเตอร์โดยใช้เฟืองขับเพื่อแปลงพลังงานทางกลให้เพียงพอสำหรับการขับเคลื่อน

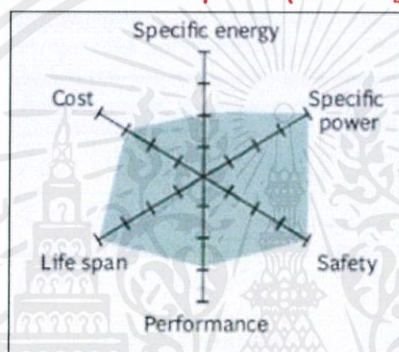


รูปที่ 3.2 ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า

3.2 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์พลังงานไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4 , LFP) เพราะว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีน้ำหนักเบาและสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้สูงถ้าเทียบกับแบตเตอรี่อื่น,สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งานสูง และราคาที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น ทำให้ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตเหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

Lithium Iron Phosphate(LiFePO_4 , LFP)



รูปที่ 3.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4 , LFP)

Lithium Iron Phosphate(LiFePO_4 , LFP)

Lithium Iron Phosphate: LiFePO_4 cathode, graphite anode
Short form: LFP or Li-phosphate
Since 1996

Voltages 3.20, 3.30V nominal; typical operating range 2.5–3.65V/cell

Specific energy (capacity) 90–120Wh/kg

Charge (C-rate) 1C typical, charges to 3.65V, 3h charge time typical

Discharge (C-rate) 1C, 25C on some cells, 40A pulse (2s), 2.50V cut-off (lower than 2V causes damage)

Cycle life 1000–2000 (related to depth of discharge, temperature)

Thermal runaway 270°C (518°F) Very safe battery even if fully charged

Applications Portable and stationary needing high load currents and endurance

Comments Very flat voltage discharge curve but low capacity. One of safest Li-ions. Used for special markets. Elevated self-discharge. **ระวังระเบิด**

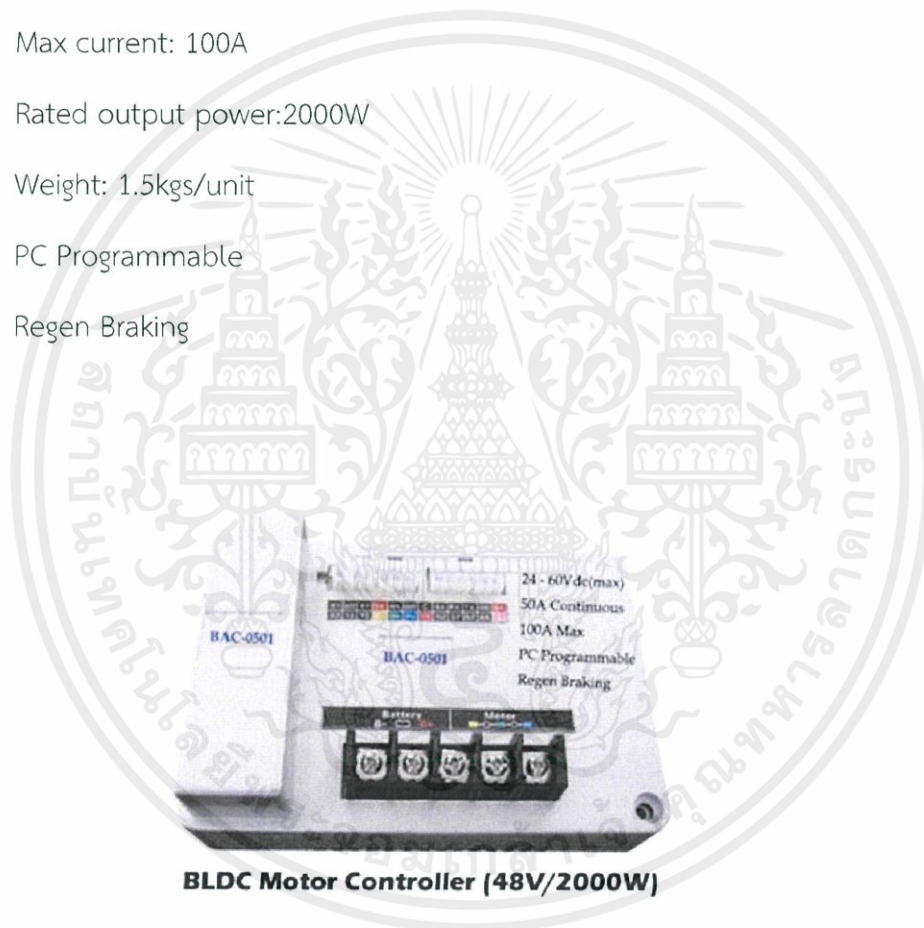
รูปที่ 3.4 ตารางแสดงข้อมูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดควบคุมที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน 2000W BLDC Motor Controller

Model: BAC-0501

- Cruise/Regen Controller, Programmable!
- Multi-Voltage of 24V/36V/48V/60V(MAX)
- Continuous current: 50A
- Max current: 100A
- Rated output power:2000W
- Weight: 1.5kgs/unit
- PC Programmable
- Regen Braking



รูปที่ 3.5 2000W BLDC Motor Controller

(Source : <https://www.goldenmotor.com/frame-bldcmotor.htm>)

3.4 การคำนวณมอเตอร์ของรถพลังงานไฟฟ้า

มอเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนรถ Urban car จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่ามอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรถ Urban car ถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังน้อยจะทำให้รถไม่สามารถทำออกตัวได้ หรือถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังที่ใหญ่เกินไปจะทำให้มอเตอร์มีน้ำหนักมากและใช้พลังงานที่เปลือง จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่ำ ดังนั้นมอเตอร์ที่นำมาใช้ขับเคลื่อนควรมีค่าที่เหมาะสมเพื่อที่จะประหยัดพลังให้มากที่สุด

ในการคำนวณมอเตอร์ต้องคำนึงถึงค่าแรงต่างๆที่กระทำกับตัวรถได้แก่ แรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน แรงในการขึ้นทางลาดเอียง แรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุดและแรงต้านอากาศ แสดงในสมการดังนี้

$$F_{tt} = F_{rr} + F_{gr} + F_{ac} + F_{ad} \quad (3.1)$$

F_{tt} คือแรงทั้งหมด

F_{rr} คือแรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน

F_{gr} คือแรงในการขึ้นทางลาดเอียง

F_{ac} คือแรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุด

F_{ad} คือแรงต้านอากาศ

หาค่า F_{rr}

$$F_{rr} = G_{vw} \times C_{rr} \quad (3.2)$$

G_{vw} คือน้ำหนักของรถ

C_{rr} คือสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน หาได้จากตาราง

Rolling Resistance Coefficient		
c	c_l (mm)	
0.001 - 0.002	0.5	railroad steel wheels on steel rails
0.001		bicycle tire on wooden track
0.002 - 0.005		low resistance tubeless tires
0.002		bicycle tire on concrete
0.004		bicycle tire on asphalt road
0.005		dirty tram rails
0.006 - 0.01		truck tire on asphalt
0.008		bicycle tire on rough paved road
0.01 - 0.015		ordinary car tires on concrete, new asphalt, cobbles small new
0.02		car tires on tar or asphalt
0.02		car tires on gravel - rolled new
0.03		car tires on cobbles - large worn
0.04 - 0.08		car tire on solid sand, gravel loose worn, soil medium hard
0.2 - 0.4		car tire on loose sand

รูปที่ 3.6 รูปตารางแสดงค่า Rolling Resistance

(Source : <http://coachrobmuller.blogspot.com/2017/11/rolling-resistance-revisited.html>)

$$F_{rr} = (145 \times 9.81) \times 0.005$$

$$F_{rr} = 7.11 \text{ N}$$

หาค่า F_{gr}

$$F_{gr} = G_{vw} \times \sin \theta \quad (3.3)$$

θ คือมุมของทางลาดเอียง

$$F_{gr} = (145 \times 9.81) \times \sin 0$$

$$F_{gr} = 0 \text{ N}$$

หาค่า F_{ac}

$$F_{ac} = G_{vw} \times \frac{v_2 - v_1}{g \times t_a} \quad (3.4)$$

v_2 คือความเร็วสุดท้าย (m/s)

v_1 คือความเร็วเริ่มต้น (m/s)

t_a คือเวลาในการเร่ง (s)

g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$$F_{ac} = 145 \times 9.81 \times \frac{8.33 - 0}{9.81 \times 7}$$

$$F_{ac} = 172.62 \text{ N}$$

หาค่า F_{ad}

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \times \rho \times c_d \times A_f \times v^2 \quad (3.5)$$

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$)

A_f คือพื้นที่ของหน้ารถ (m^2)

v คือความเร็ว (m/s)

c_d คือสัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ หาได้จาก

HUMAN POWERED VEHICLE PERFORMANCE													
DESCRIPTION	FORCED AT 20 MPH POUNDS	AERODYNAMIC DATA				LEVEL GROUND, NO WINDS			EFFECT OF HILLS				
		C _D	A	C _D A	C _R	HORSEPOWER REQUIRED AT 20 MPH AS A PERCENTAGE OF THE TOURING (ARMS STRAIGHT) BIKE (100%)	ALL DAY TOURING SPEED AT 0.1 HORSEPOWER OUTPUT MPH	MAXIMUM SPEED WITH 1.0 HORSEPOWER OUTPUT MPH	STEADY STATE SPEED IN 5% GRADE AT 0.1 HORSEPOWER OUTPUT MPH	STEADY STATE COASTING DOWN A 5% GRADE MPH			
STANDARD BICYCLES	BMX (YOUTH OFF ROAD RACER)	35 LB BIKE 120 LB RIDER 20" DIA. 40PSI KNobby TIRES		5.52 2.10	1.1	4.9	5.4	.014	146%	10.1	27.8	12.2	19.8
	EUROPEAN UPRIGHT COMMUTER	40 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 40PSI TIRES		6.14 1.20	1.1	5.5	6.0	.006	140%	11.3	27.6	10.9	24.0
	TOURING (ARMS STRAIGHT)	25 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 90PSI CLINCHER TIRES		4.40 .83	1.0	4.3	4.3	.0045	100%	13.1	31.1	12.2	27.7
	RACING (FULLY CROUCHED)	20 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 90PSI SEWUP TIRES		3.48 .54	.88	3.9	3.4	.003	77%	14.7	33.9	13.0	31.2
PROVED PRODUCTION	AEROCOMPONENT (FULLY CROUCHED)	20 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 105PSI SEWUP TIRES		3.27 .54	.83	3.9	3.2	.003	73%	15.0	34.6	13.0	32.2
	PARTIAL FAIRING (ZIPPER) CROUCHED	21 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 105PSI SEWUP TIRES		2.97 .54	.70	4.1	2.9	.003	67%	15.4	35.7	13.1	33.9
	RECUMBENT (EASY RACER)	17 LB BIKE 160 LB RIDER 20" FRONT 90PSI CLINCHERS		2.97 .94	.77	3.8	2.9	.005	75%	14.4	35.2	12.5	33.7
	TANDEM	42 LB BIKE TWO 160 LB RIDERS 27" DIA. 90PSI CLINCHERS (180 LBS PER PERSON)		5.32 1.62 (2.66 1.81)	1.0	5.2	5.2	.0045 (12.6 per person)	66%	15.2	36.6	13.0	35.2
RECORD HPV'S	DRAFTING (CLOSELY FOLLOWING ANOTHER BICYCLIST)	20 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 105PSI SEWUP TIRES		1.94 .54	.50	3.9	1.9	.003	47%	17.5	41.0	13.6	41.7
	BLUE BELL 2 WHEELED SINGLE RIDER	40 LB BIKE 160 LB RIDER 27" REAR 20" FRONT 105PSI SEWUPS		.61 .80	.12	7.3 5.0	.6	.004	27%	22.5	58.6	12.9	77.4
	KYLE 2 WHEELED TWO RIDERS	52 LB BIKE TWO 90 LB RIDERS 105PSI SEWUPS (180 LBS PER PERSON)		1.44 1.12 (.72 1.56)	.2	7.0	1.4	.003 (1.2 per person)	24%	23.3	56.6	14.0	69.9
	VECTOR SINGLE TRIKE	96 LB BIKE 160 LB RIDER 27" REAR 24" FRONT SEWUPS		.51 1.02	.11	4.56	.5	.0045	29%	21.8	61.2	11.3	90.1
RETICAL LIMITS	VECTOR TANDEM TRIKE	75 LB BIKE TWO 160 LB RIDERS 24" SEWUPS (300 LBS PER PERSON)		.62 1.31 (.89)	.13	4.7	.6	.0045 (1.3 per person)	23%	25.6	72.5	13.0	108.4
	PERFECT BIKE	NO ROLLING RESISTANCE ZERO DRAG ON ENTIRE BIKE DRAG OF HUMAN ONLY IN TOURING POSITION		3.07 0	.8	3.8	3.0	0	59%	16.7	35.9	13.4	34.7
	DRAGLESS HUMAN	ZERO DRAG ON HUMAN DRAG OF BIKE ONLY ROLLING RESISTANCE INCLUDES HUMAN'S WEIGHT		1.33 .81	1.1	1.2	1.3	.0045	41%	18.4	45.8	13.3	50.3
	PERFECT RECUMBENT	DRAG ON FLAT ON BACK HUMAN ONLY		.72 0	.6	1.2	.7	0	14%	27.1	58.3	16.8	66.9
	PERFECT PRONE BIKE	DRAG ON 176 LB SMALL SULT POWERFUL HUMAN ONE		.51 0	.6	.8	.5	0	10%	30.4	65.3	23.2	65.3
	PERFECT PRONE STREAMLINER			.07 0	.05	1.4	.07	0	1%	58.3	125.9	15.6	174.5
TT	MOTOR PACED	42 LB BIKE 180 LB RIDER VEHICLE BREAKS AIR FOR RIDER		0 1.21	—	—	VARIES WITH SPEED (MINUS OVER 100 MPH)	.006	23%	29.4	294.0	12.6	∞
	MOON BIKE	25 LB BIKE 160 LB RIDER 15 LB SPACE SUIT 27" DIA. 90PSI SEWUPS		0 .15	—	—	0	.0045	3%	237.5	2,375	78.4	∞

รูปที่ 3.7 รูปตารางแสดงค่า Aerodynamics เพื่อคำนวณ Air Drag Force

(source : <http://flocycling.blogspot.com/2012/11/flo-cycling-cycling-wheel-aerodynamics.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 0.3 \times 0.85 \times 8.33^2$$

$$F_{ad} = 10.63 \text{ N}$$

หาค่า F_{tt}

$$F_{tt} = F_{rr} + F_{gr} + F_{ac} + F_{ad}$$

$$F_{tt} = 7.11 + 0 + 172.62 + 10.63$$

$$F_{tt} = 190.36 \text{ N}$$

คำนวณหาค่าแรงบิดที่ล้อ

$$\tau_{\omega} = F_{tt} \times R_{\omega} \times R_f \quad (3.6)$$

R_{ω} คือค่ารัศมีของล้อรวมยาง

R_f คือความต้านทานของล้อและเพลลา

$$\tau_{\omega} = 190.36 \times 0.28 \times 1.1$$

$$\tau_{\omega} = 58.63 \text{ N.m}$$

เมื่อได้ค่าแรงบิดที่ล้อต้องนำมาเทียบกับค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดที่จะทำให้ล้อไม่สลิป โดยค่าแรงบิดที่ล้อจะต้องน้อยกว่าค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดที่จะทำให้ล้อไม่สลิป

$$M_{TT} = W_{\omega} \times \mu \times R_{\omega} \quad (3.7)$$

M_{TT} คือแรงบิดที่ยางทนได้โดยไม่เกิดสลิป

W_{ω} คือน้ำหนักที่ลงบนล้อ

μ คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

$$M_{TT} = 145 \times 9.81 \times 0.6 \times 0.28$$

$$M_{TT} = 238.97 \text{ N}$$

เมื่อนำค่า τ_ω มาเทียบกับค่า M_{TT}

$$\tau_\omega < M_{TT}$$

ค่าแรงบิดที่ล้นน้อยกว่าค่าแรงบิดที่ล้นสูงสุดที่จะทำให้ล้อไม่สลลลป ดังนั้นการออกตัวจะไม่ทำให้ล้อรถสลลลป

หาขนาดกำลังของมอเตอร์

$$P_m = \tau_\omega \times \omega \quad (3.8)$$

$$= \tau_\omega \times 2\pi f$$

$$P_m = \tau_\omega \times \frac{2\pi n_{rpm}}{60} \quad (3.9)$$

n_{rpm} คือความเร็วเชิงมุมในการหมุนของมอเตอร์

$$n_{rpm} = \frac{V \times 60}{R_\omega \times 2\pi} \quad (3.10)$$

$$n_{rpm} = \frac{8.33 \times 60}{0.28 \times 2 \times 3.14}$$

$$n_{rpm} = 284.35$$

หาค่า P_m

$$P_m = \tau_\omega \times \frac{2\pi n_{rpm}}{60}$$

$$= 58.63 \times 2 \times 3.14 \times \frac{284.35}{60}$$

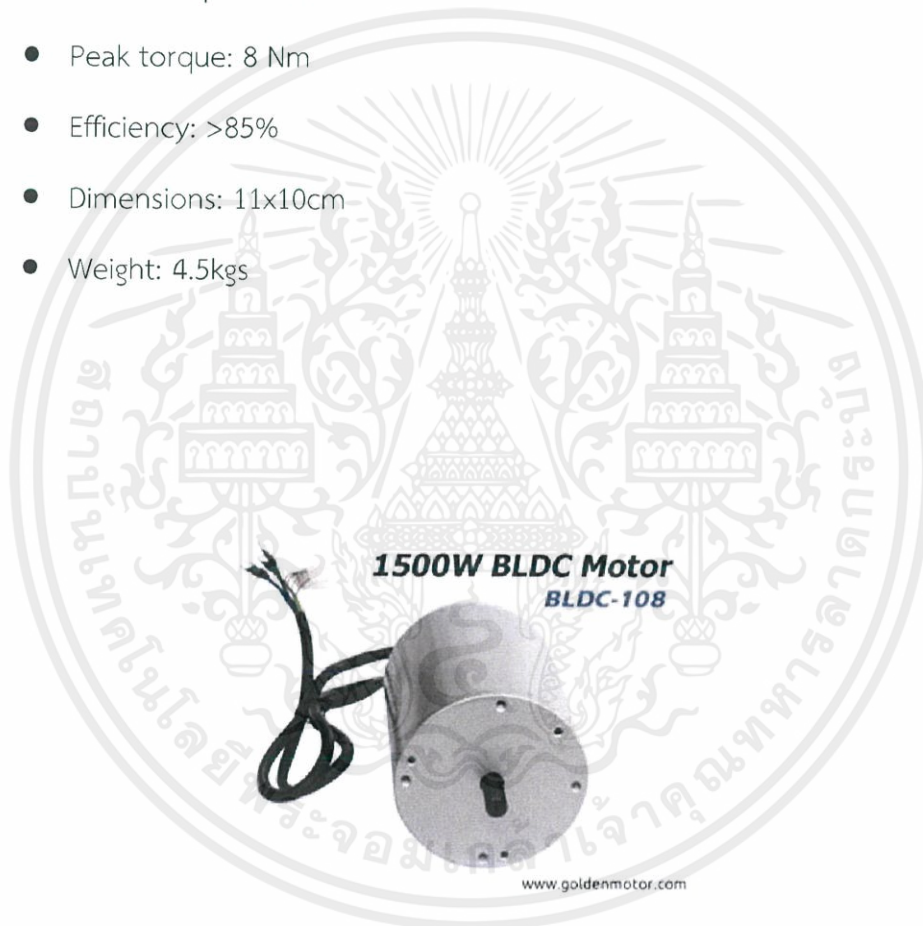
$$P_m = 1.75 \text{ kW}$$

ได้ขนาดกำลังของมอเตอร์เท่ากับ 1.75 kW

3.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 1500W (1500W BLDC Motor)

Model: BLDC-108

- Voltages: 48 Vdc
- Rated power: 1.5 KW
- Peak power: 3.0 KW
- Speed: 3200-5000 rpm
- Rated torque: 4 Nm
- Peak torque: 8 Nm
- Efficiency: >85%
- Dimensions: 11x10cm
- Weight: 4.5kgs

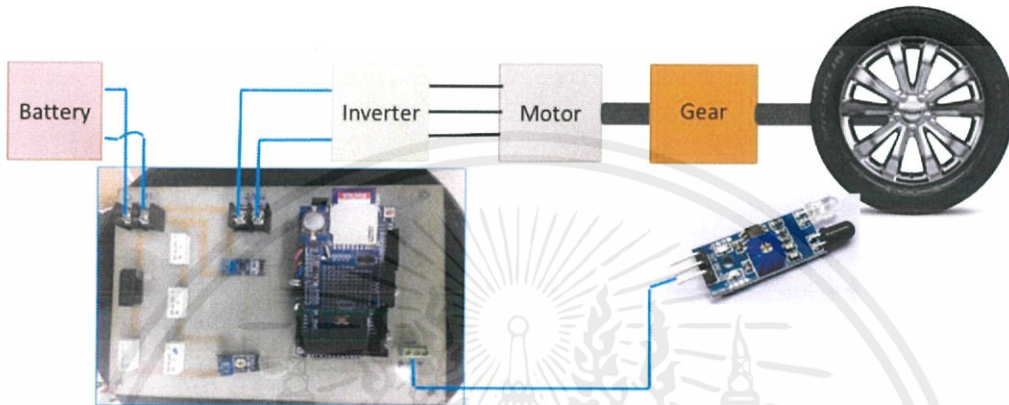


รูปที่ 3.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 1500W (1500W BLDC Motor)

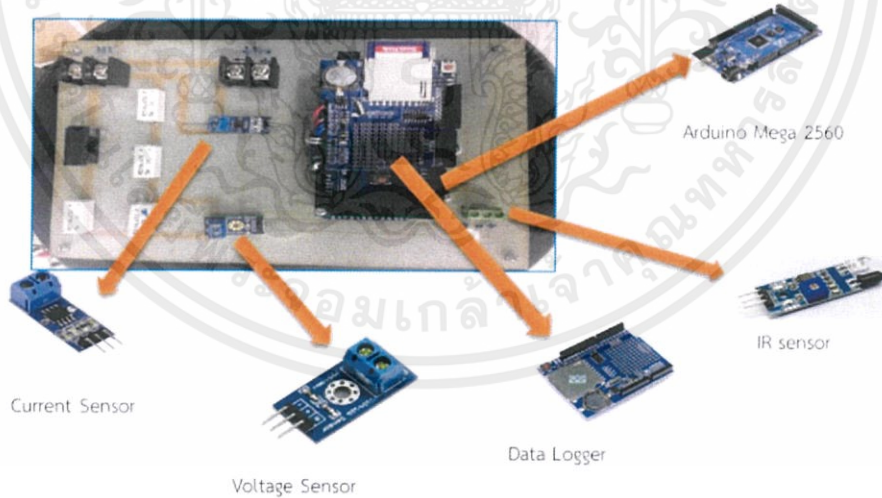
(Source : <https://www.goldenmotor.com/frame-bldcmotor.htm>)

3.6 อุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง

อุปกรณ์การวัดขณะขับเคลื่อนจริงเป็นอุปกรณ์ที่สร้างเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบการหมุน เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณค่าพลังงานในขณะขับเคลื่อนจริง



รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมการวัดของอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง



รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบในอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบ 5 การทดลอง คือ การทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน, การทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน, การทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านขณะขับเคลื่อนจริง, การทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านขณะขับเคลื่อนจริง และการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง มีการนำเสนอตารางข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน วิเคราะห์ผลที่ได้จากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ รวมถึงสรุปผลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละรูปแบบ



รูปที่ 4.1 ชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

ชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน มีข้อมูลจำเพาะดังนี้

- Voltages: 48 Vdc
- Rated power: 1.5 KW
- Peak power: 3.0 KW
- Speed: 3200-5000 rpm
- Rated torque: 4 Nm
- Peak torque: 8 Nm
- Efficiency: >85%
- Dimensions: 11x10cm
- Weight: 4.5kgs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




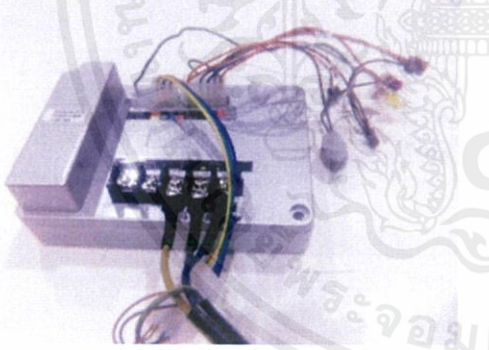
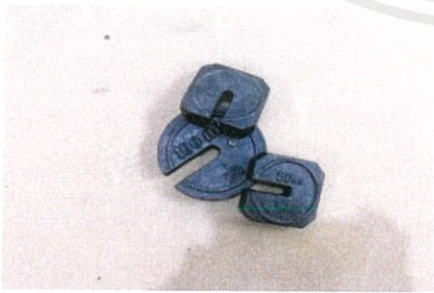
รูปที่ 4.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านที่นำมาทดสอบ


มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านที่นำมาทดสอบ มีข้อมูลจำเพาะดังนี้

- Voltages: 48 Vdc
- Rated power: 1.5 KW
- Peak power: 3.0 KW
- Speed: 3200-5000 rpm
- Rated torque: 4 Nm
- Peak torque: 8 Nm
- Efficiency: >85%
- Dimensions: 11x10cm
- Weight: 4.5kgs

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

รูปถ่ายอุปกรณ์การทดลอง	รายละเอียด
	<p>Oscilloscope 1 เครื่อง</p>
	<p>ชุด Inverter สำหรับขับ BLDC motor 1 เครื่อง</p>
	<p>ก้อนน้ำหนักร 1 ชุด</p>

รูปถ่ายอุปกรณ์การทดลอง	รายละเอียด
	<p>แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต 1 เครื่อง</p>
	<p>BLDC motor 1 เครื่อง</p>
	<p>current probe</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่ายอุปกรณ์การทดลอง	รายละเอียด
	Dc power meter 1 เครื่อง
	Tachometer 1 เครื่อง
	Multimeter 1 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

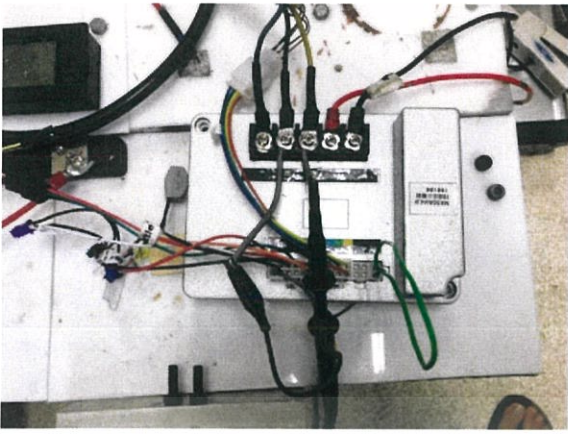
4.1.2 วัตถุประสงค์

1. ทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านขณะขับเคลื่อนจริง
2. ทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านขณะขับเคลื่อนจริง
3. ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง

4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

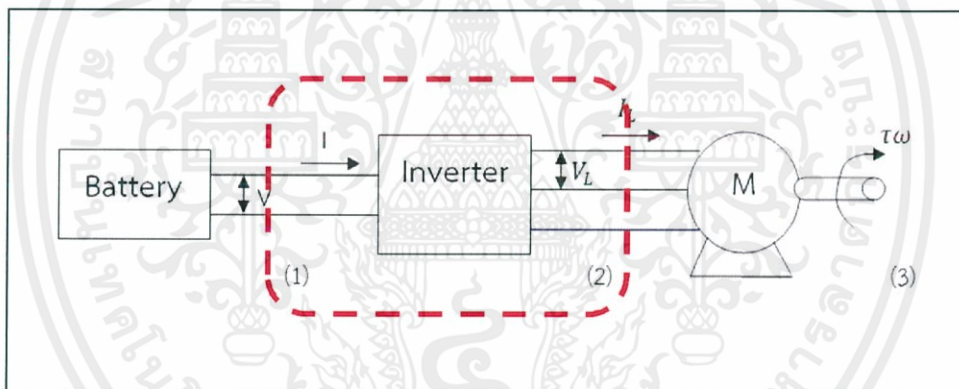
1. ทำการเตรียมอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.3 และ 4.4 เพื่อพร้อมสำหรับการทดสอบ
2. ทำการใส่ภาระทางกลที่มู่เล่ โดยให้ค่า duty คงที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยก้อนน้ำหนักขนาด 0.5 , 1 , 2 , 3 และ 4 กิโลกรัม ตามลำดับ และทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (Vdc), กระแสไฟฟ้า (Idc) ก่อนเข้าสู่ Inverter จากเครื่อง Dc power meter และทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (Vac), กระแสไฟฟ้า (Iac) ของทั้งสามเฟสจากเครื่อง Multimeter หลังออกจากชุด Inverter
3. ทำการหามุมเฟสขั้วระหว่างค่า แรงดันไฟฟ้า (Vac), กระแสไฟฟ้า (Iac) จากเครื่อง Oscilloscope และทำการบันทึกผลการทดลอง
4. นำค่า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มาหาค่า กำลังไฟฟ้า (P) โดยค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin) ใช้สมการ $P_{in} = V_{dc} \times I_{dc}$ ในการคำนวณ และในส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout) สามารถใช้สมการ $P_{out} = \sqrt{3} \times V_{ac} \times I_{ac} \times \cos\phi$
5. เมื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin) และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout) ได้แล้ว สามารถหาประสิทธิภาพของชุด Inverter ได้จากสมการ $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$



รูปที่ 4.3 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 4.4 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

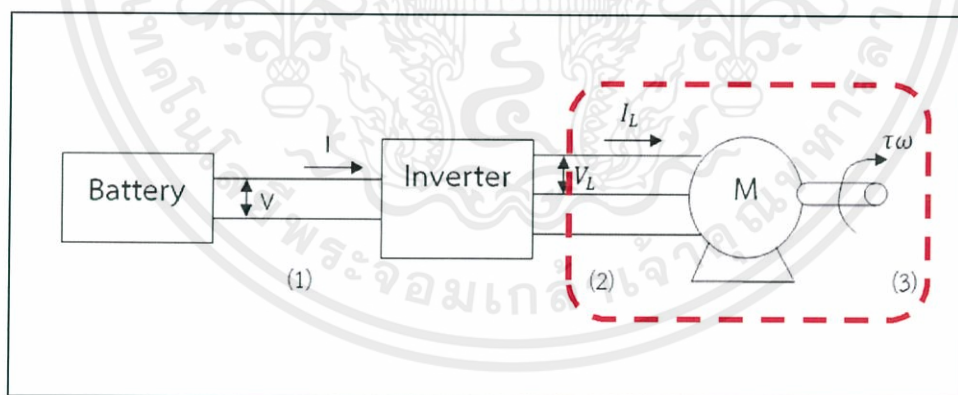


รูปที่ 4.5 ขอบเขตการทดสอบของการทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

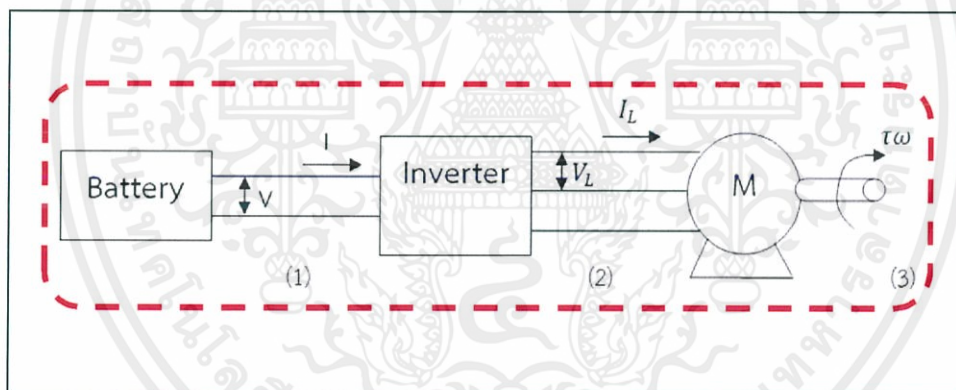
1. ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.3 และ 4.4 เพื่อพร้อมสำหรับการทดสอบ
2. ทำการใส่ภาระทางกลที่มู่เล่ โดยให้ค่า duty คงที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยก้อนน้ำหนักขนาด 0.5 , 1 , 2 , 3 และ 4 กิโลกรัม ตามลำดับ และทำการบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (Vac), กระแสไฟฟ้า (Iac) ของทั้งสามเฟสจากเครื่อง Multimeter หลังออกจากชุด Inverter และทำการบันทึกค่า แรงทางกล(F), อัตราเร็วรอบต่อนาที (RPM) จากเครื่อง Tachometer หลังออกจากมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน
3. ทำการหามุมเฟสชั้ระหว่างค่า แรงดันไฟฟ้า(Vac), กระแสไฟฟ้า (Iac) จากเครื่อง Oscilloscope และทำการบันทึกผลการทดลอง
4. นำค่า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มาหาค่า กำลังไฟฟ้า(P) โดยค่ากำลังไฟฟ้า อินพุต(Pin)ใช้สมการ $P_{in} = \sqrt{3} \times V_{ac} \times I_{ac} \times \cos\phi$ ในการคำนวณ และในส่วนของ ค่ากำลังไฟฟ้าเอาพุต(Pout) สามารถใช้สมการ $P_{out} = (F \times r) \times (RPM \times \frac{2\pi}{60})$
5. เมื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต(Pin)และกำลังเอาพุต(Pout)ได้แล้ว สามารถหา ประสิทธิภาพของชุด Inverter ได้จากสมการ $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$



รูปที่ 4.6 ขอบเขตการทดสอบของการทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง

1. ทำการขับรถตามวิธีการขับที่ออกแบบไว้ และให้ Data Logger Shield ทำการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{dc}), กระแสไฟฟ้า (I_{dc}) ก่อนเข้าสู่ Inverter และทำการบันทึกค่า แรงทางกล (F), อัตราเร็วรอบต่อนาที (RPM) จากเครื่อง Tachometer หลังออกจากมอเตอร์ กระแสตรงไร้แปรงถ่าน
2. นำค่า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มาหาค่า กำลังไฟฟ้า (P) โดยค่ากำลังไฟฟ้า กระแสตรง (P_{dc}) ใช้สมการ $P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc}$ ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (P_{ac}) ใช้สมการ $P_{ac} = \sqrt{3} \times V_{ac} \times I_{ac} \times \cos\phi$ และในส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าทางกล (P_{mec}) สามารถใช้สมการ $P_{mec} = (F \times r) \times (RPM \times \frac{2\pi}{60})$
3. เมื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุท (P_{in}) และกำลังไฟฟ้าเอาพุท (P_{out}) ของส่วนต่างๆ ได้แล้ว สามารถหาประสิทธิภาพของชุด Inverter ได้จากสมการ $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$



รูปที่ 4.7 ขอบเขตการทดสอบของการทดลองที่3 ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง

4.1.4 ผลการทดลอง

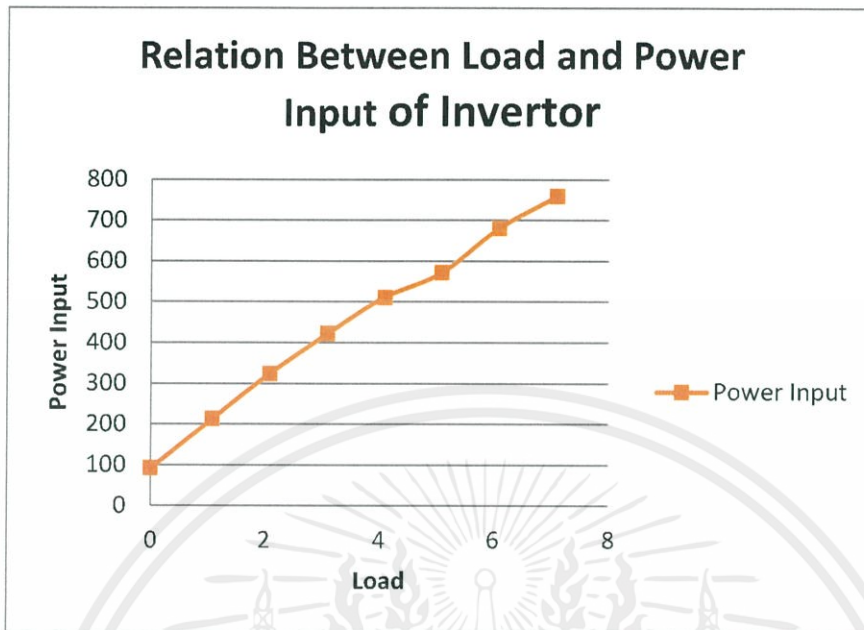
การทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองทำการคงที่ค่า Duty Cycle ที่ 100 % แล้วทำการถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้น

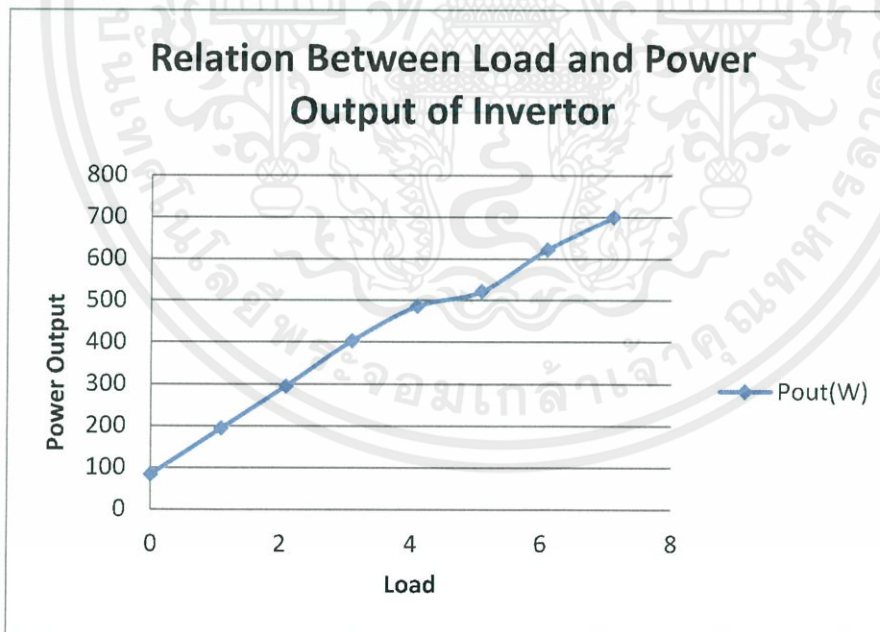
Duty Cycle (%)	น้ำหนักถ่วง (kg)	INPUT			OUTPUT											
		I(A)	V(A)	Pin (W)	Vab (V)	Vbc (V)	Vca (V)	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Vlag(V)	Iavg(A)	P.F.	Pout(W)	Efficiency (%)	Speed (RPM)
100	no load	1.76	52.14	91.76	34.4	34.4	34.4	1.5	1.5	1.5	34.4	1.5	0.93	82.76	90.19	5099
	1.095	4.15	51.34	213.06	33.6	33.6	33.6	3.58	3.58	3.58	33.6	3.58	0.93	192.92	90.55	4998
	2.095	6.41	50.46	323.44	32.35	32.35	32.35	5.67	5.67	5.67	32.35	5.67	0.93	294.19	90.95	4748
	3.095	8.57	49.34	422.84	32.14	32.14	32.14	7.82	7.82	7.82	32.14	7.82	0.93	403.11	95.33	4572
	4.095	10.53	48.58	511.54	31.67	31.67	31.67	9.56	9.56	9.56	31.67	9.56	0.93	485.59	94.92	4436
	5.095	12.09	47.34	572.34	30.26	30.26	30.26	10.75	10.75	10.75	30.26	10.75	0.93	521.73	91.15	4360
	6.095	14.55	46.8	680.94	29.95	29.95	29.95	12.94	12.94	12.94	29.95	12.94	0.93	621.58	91.28	4339
	7.095	16.33	46.5	759.34	29.48	29.48	29.48	14.78	14.78	14.78	29.48	14.78	0.93	698.83	92.03	4231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและกำลังไฟฟ้าอินพุต



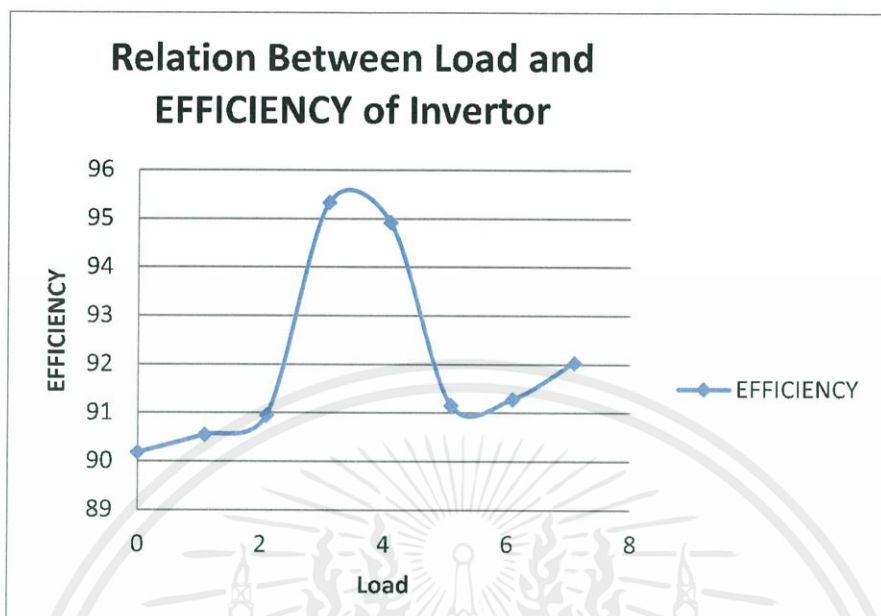
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต ได้จากการนำค่า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มาหาค่า กำลังไฟฟ้า(P) โดยค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต(Pin)ใช้สมการ $P_{in} = V_{dc} \times I_{dc}$ ในการคำนวณ และในส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต(Pout) สามารถใช้สมการ $P_{out} = \sqrt{3} \times V_{ac} \times I_{ac} \times \cos\phi$ และนำค่าทั้งสองมาหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของชุดอินเวอร์เตอร์โดยจะแสดงในกราฟต่อไป



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้าและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ เมื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุท(Pin)และกำลังไฟฟ้าเอาพุท(Pout)ได้แล้ว สามารถหา ประสิทธิภาพของชุด Inverter ได้จากสมการ $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$ โดยนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟจะเห็น ว่าเมื่อทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่

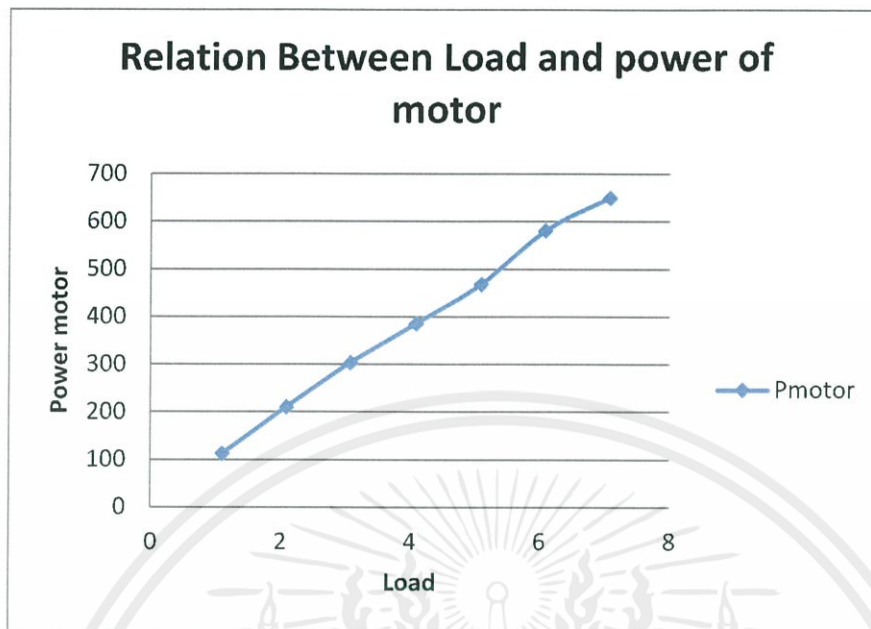
การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองทำการคงที่ค่า Duty Cycle ที่ 100 % แล้วทำการถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้น

Duty Cycle(%)	Load(kg)	W2(kg)	w1-w2 (kg)	Input								Output				
				Va(V)	Vb(V)	Vc(V)	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	P.F	Pin(W)	SPEED (RPM)	Torque (Nm)	N (rad/s)	Pout(W)	Efficiency (%)
100	1.095	0.21	0.885	33.6	33.6	33.6	3.58	3.58	3.58	0.93	192.92	4998	0.22	523.12	113.43	58.79
	2.095	0.36	1.735	32.35	32.35	32.35	5.67	5.67	5.67	0.93	294.19	4748	0.46	496.96	211.24	71.8
	3.095	0.5	2.595	32.14	32.14	32.14	7.82	7.82	7.82	0.93	403.11	4572	0.64	478.54	304.24	75.47
	4.095	0.7	3.395	31.67	31.67	31.67	9.56	9.56	9.56	0.93	485.59	4436	0.83	464.3	386.19	79.53
	5.095	0.9	4.195	30.26	30.26	30.26	10.75	10.75	10.75	0.93	521.73	4360	1.03	456.35	469.02	89.89
	6.095	0.87	5.225	29.95	29.95	29.95	12.94	12.94	12.94	0.93	621.58	4339	1.28	454.15	581.37	93.53
	7.095	1.1	5.995	29.48	29.48	29.48	14.78	14.78	14.78	0.93	698.83	4231	1.47	442.84	650.44	93.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

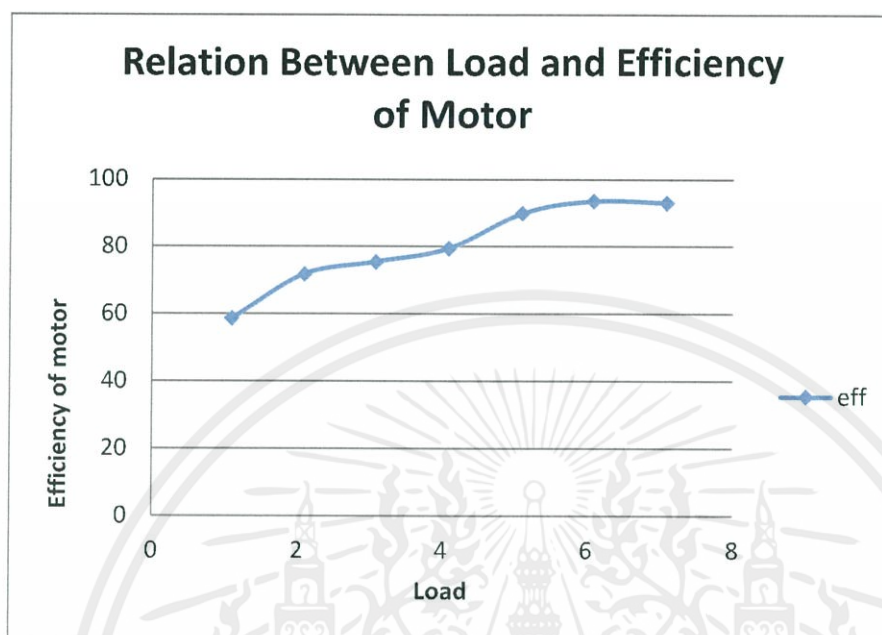
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้าและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ เมื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต(Pin)และกำลังไฟฟ้าเอาพุต(Pout)ได้แล้ว สามารถหา ประสิทธิภาพของชุด Inverter ได้จากสมการ $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$ โดยนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟจะเห็น ว่าเมื่อทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์

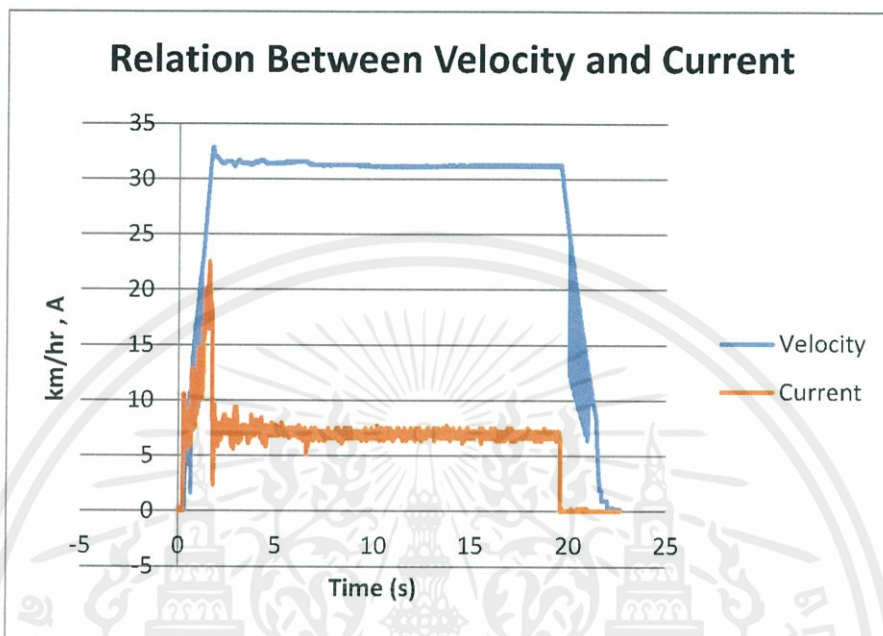


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้าและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ เมื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต(Pin)และกำลังไฟฟ้าเอาพุต(Pout)ได้แล้ว สามารถหา ประสิทธิภาพของชุด Inverter ได้จากสมการ $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$ โดยนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟจะเห็น ว่าเมื่อทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่

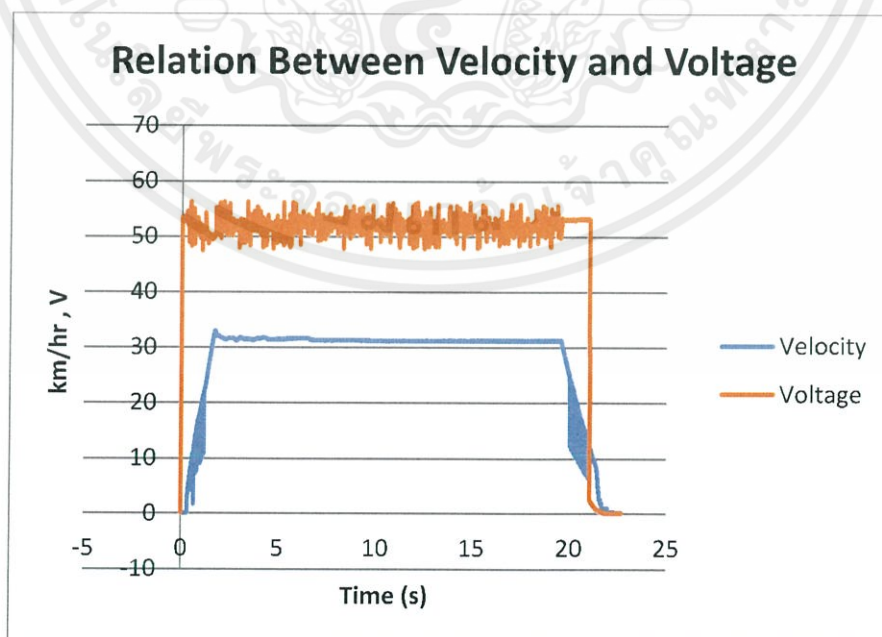
การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกระแสสำหรับการขับเคลื่อนจริง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกระแสสำหรับการขับเคลื่อนจริง

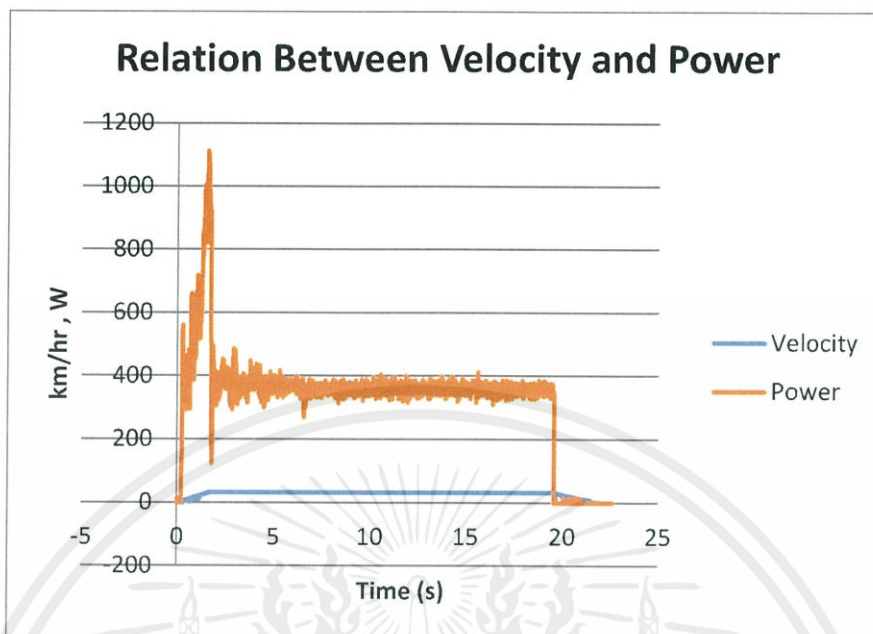
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงดันสำหรับการขับเคลื่อนจริง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงดันสำหรับการขับเคลื่อนจริง

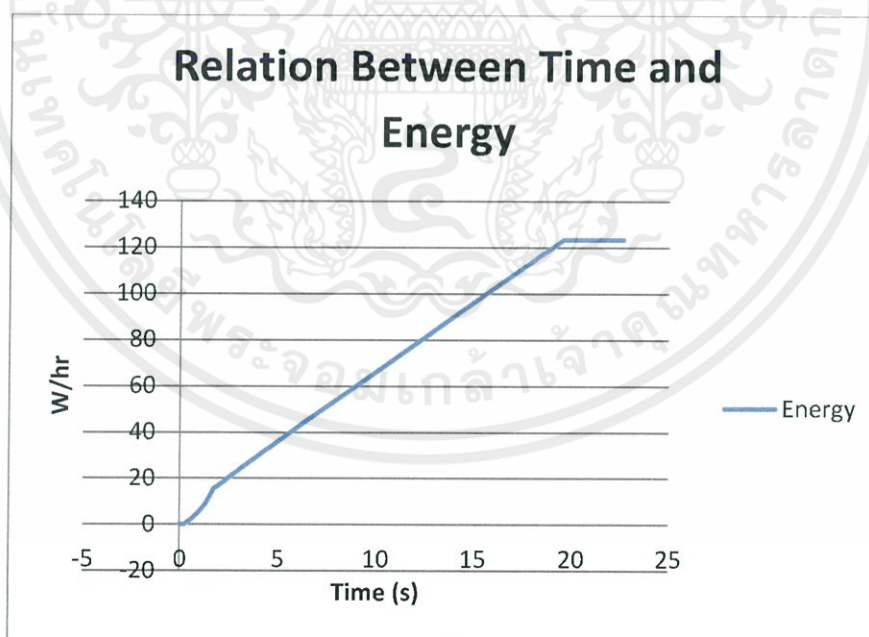
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกำลังไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง



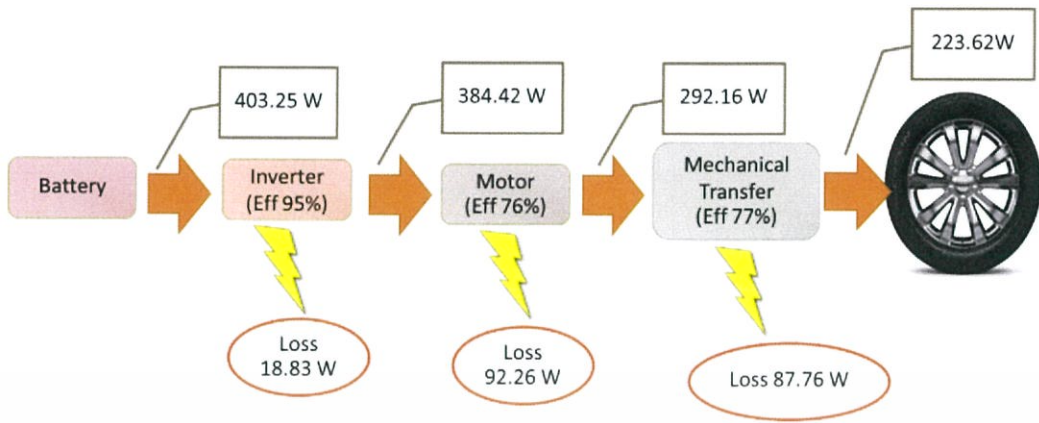
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกำลังไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและพลังงานสำหรับการขับเคลื่อนจริง



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและพลังงานสำหรับการขับเคลื่อนจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนจริง ที่ความเร็ว 30 km/hr



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานโครงการ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

5.1.1 ระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Power train)

โครงการศึกษาระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Power train) และหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของ มอเตอร์, ชุดอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพรวมของระบบขับเคลื่อนรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban) การทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

- ค่าประสิทธิภาพการทำงานของ มอเตอร์ มีประสิทธิภาพการทำงาน 76%
- ค่าประสิทธิภาพการทำงานของ ชุดอินเวอร์เตอร์ มีประสิทธิภาพการทำงาน 95%
- ค่าประสิทธิภาพการทำงานทางกล มีประสิทธิภาพการทำงาน 77%
- ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบขับเคลื่อนรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban) มีประสิทธิภาพการทำงาน 56%

การศึกษานี้ทำให้สามารถทราบประสิทธิภาพการทำงานของส่วนต่างๆภายในระบบรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าในการแข่งขันครั้งต่อไป

5.1.2 วิธีการเลือกมอเตอร์

โครงการการศึกษาวิธีการเลือกมอเตอร์จากการคำนวณค่าพลังงานที่เป็นไปได้ในการใช้ขับเคลื่อนรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban) ทำให้สามารถลดขนาดมอเตอร์ให้มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบาขึ้น การทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

- น้ำหนักของรถมีขนาดลดลงอันเนื่องมาจากเปลี่ยนขนาดมอเตอร์ จาก 3 KW เป็น 1.5 KW ซึ่งน้ำหนักลดลงไป 3 Kg
- ความเร็วในการขับเคลื่อนของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเพียงพอสำหรับความเร็วสูงสุดที่ได้ ออกแบบวิธีการขับไว้ คือ 8.33 m/s

5.1.3 รูปแบบการขับของรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban)

โครงการการศึกษาศึกษารูปแบบการขับของรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban) ให้ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนน้อยที่สุด การทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

- รูปแบบการขับสามารถวิ่งในระยะทาง และทำเวลาตามกฎการแข่งขันของโครงการ Shell – Eco marathon 2019 ได้อย่างถูกต้อง
- รถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban) ใช้พลังงานในการวิ่ง 123.21 Wh เป็นระยะทาง 10 km หรือวิ่งได้ 81.16 km/kWh

5.2 ปัญหาและข้อจำกัด

จากการดำเนินโครงการออกแบบและวิเคราะห์การไหลของพลังงานไฟฟ้าในรถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนสี่ล้อ (Urban) มีปัญหาและข้อจำกัดดังนี้

- ปัญหาการสร้างเครื่องวัดเพื่อเก็บค่ากำลังไฟฟ้าทางกลที่ออกจากมอเตอร์ เนื่องจากการเก็บค่าความเร็วรอบค่าที่ได้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนมากทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าทางกลที่เก็บได้มีค่าไม่คงที่
- ปัญหาการขบกันของเฟืองคอบันเนื่องจากเมื่อมีการใช้ในระยะเวลานานทำให้เฟืองคอบมีการสึกกร่อนทำให้ในบางช่วงของการขับเฟืองขบเกิดการสลิปขึ้นทำให้ค่าที่เก็บเกิดความผิดพลาด
- ปัญหาการหาจำนวนการทดรอบของเฟืองขบไม่สามารถหาอัตราส่วนทดรอบที่เหมาะสมที่สุดได้ทำให้เมื่อเก็บค่าไม่สามารถเก็บค่าของมอเตอร์ทำงานเต็มพิกัดได้เนื่องจากรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเกินไปอาจเกิดอันตรายต่อผู้ขับได้
- ข้อจำกัดการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่เฟืองขบโดยโครงการนี้ไม่พิจารณาการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ส่วนนั้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาและข้อจำกัดข้างต้น สามารถปรับปรุงแก้ไข และพัฒนา เพื่อความสะดวกในการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ดังนี้

- สามารถสั่งทำชุดเฟืองขับที่มีอัตราส่วนทดรอบประมาณ 1 ต่อ 7 จะสามารถทำให้มอเตอร์สามารถทำงานเต็มพิกัดและรถยนต์พลังงานไฟฟ้าวิ่งด้วยความเร็วไม่สูงมากเกินไป
- สามารถสร้างการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่เฟืองขับเพื่อให้สามารถหาค่าของประสิทธิภาพการทำงานของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น
- หาวิธีการวัดความเร็วรอบทางกลที่เกิดขึ้นที่ล้อรถยนต์ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะสามารถทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลงได้
- สามารถออกแบบให้มีการแสดงค่าแบบเรียลไทม์และติดตั้งการแสดงผลไว้ในรถเพื่อในคนขับสามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาวิธีการขับเฉพาะหน้าได้ในขณะแข่งขันจริง
- สามารถออกแบบโครงสร้างรถให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดและเหมาะสมสำหรับการขับเคลื่อนเพื่อให้นำหนักที่ได้น้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Train Design and Analysis of Urban EV Using Battery

Wichapas Chaiseya, Watchara Sriprapong, Sirawit Aungwibool, Setthawut Yiwhiang
Assoc.Prof.Dr. Werachet Khan-ngern, Dr. Wiwat Keyoonwong

Abstract

This paper presents the power-train design and analysis of Urban electric vehicle using lithium battery. Urban electric vehicle is created to serve the desired low energy consumption vehicle used in urban, also observe high efficiency electric vehicle for Shell - eco marathon competition 2019. Urban electric vehicle is emphasized to power-train and improved to save energy consumption. Urban electric vehicle is designed with 4 wheels and 1 seat pattern model and can be operated at 1500 W and reach 27 km/h to cover 15 km distance.

Introduction

Shell Eco-marathon is one of the world's leading energy efficiency competition programs. In the name of 'Innogen', has developed high efficiency vehicle, all of the part of vehicle such as power-train development, structure and material which are the most important key in operation of Urban electric vehicle.

Moreover, electric vehicles play an important role in communication and transport. Loss of energy is less than internal combustion engine type, also innovation is modern and environment friendly. Required Urban electric is designed and created to comply domestic industry. Another purpose is to reduce import spare parts, in result that the trend of consumption of electric vehicle will be increased in the future.

EVs are promoted to achieve a better global environment. Therefore design of very low energy consumption for innovative Urban EV is very beneficial.

Methodology

Urban electrical vehicle power train design process

Step 1: Clarify Urban EV specification.

Urban EV has 4 wheels and can be operated by 1 driver. Urban EV should reach 30 km/h speed from standstill within 7 second. Urban EV can run at maximum speed at more than 30 km/h on asphalt road.

Step 2: Calculate motor size

Calculate enough force to drive the EV Prototype as shown in (1)

$$F_{TT} = F_{RR} + F_{GR} + F_{AC} + F_{AD} \quad (1)$$

The wheel torque is based on the total traction force. The wheel torque can be calculated in (2).

$$\tau_w = F_{TT} \times R_w \times R_f \quad (2)$$

the motor power is calculated from (3)

$$P_m = \tau_{max} \times \omega \quad (3)$$

Maximum power from calculation is 1.83 kW. Then 1.5 kW brushless DC (BLDC) with 3 kW peak power motor is selected.

Step 3: Define motor

BLDC motor has many advantages such as high efficiency and reliability, low acoustic noise, small and light, great dynamic response. According to mentioned advantages, BLDC motor is selected to used with Urban EV.

Step 4: Define battery

Urban EV is required battery to supply desired main power to power train, also to be energy storage with enough energy. LiFePO4 battery is selected to provided 48 V, 10 Ah with 1C discharge rate to cover 15 km distance.

Results

Relation Between Velocity and Power



Fig.1 The result of cranking mode on asphalt road

Relation Between Time and Energy

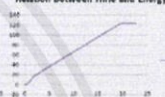


Fig.2 The result of energy consumption while running on track

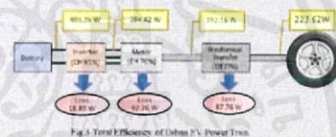


Fig.3 Total Efficiency of Urban EV Power Train

Conclusion

Urban EV is designed and tested, also calculation is proposed. After on-track test the flat road condition as asphalt road, Urban EV consume low energy and can be operated to cover 15 km distance allowing Shell-eco marathon 2019.

Total Efficiency of Urban EV Power Train

- The efficiency of electrical power train is 71.5 percent.
- The efficiency of mechanical power train is 77 percent.
- The total efficiency of Urban EV power train is 55.5 percent.

References

- Shell Eco-Marathon Asia. Retrieved March 3, 2019, from <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/asia.html>.
- Electric bicycle battery modules and accessories. [Online]. Retrieved March 4, 2019, from www.vision-batt.com/site/product_files/V-LFP-48V10Ah.pdf
- Solar Car BLDC Motor. [Online]. Retrieved March 10, 2019, from <https://www.mitsuba.co.jp/scr/products/m0548-%E2%85%A2%E2%85%BC%E2%85%8Fm1096-%E2%85%A2>
- IRF2807PbF MOSFET [Online]. Retrieved March 20, 2019, from <https://www.infineon.com/dgdl/irf2807pbf.pdf?fileId=5546d462533600a4015355dca79c1812>





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Analysis of Urban EV Using Battery

Wichapas Chaiseya, Watchara Sriprapapong, Sirawit Aungwiboon, Setthawut Yiwhiang

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Werachet Khan-ngern, Dr. Wiwat Keyoonwong

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Thailand,

Abstract— The objective of this project is to design power train of electric vehicle and build 4-wheel electric vehicle (urban electric vehicle). Energy consumption trend in order to consume the least energy. Moreover, measuring is required to find efficiency of inverter and motor. Efficiency of overall urban electric vehicle is analyzed in order to be high efficiency urban electric vehicle as expected result. Design is following regulation of Shell-eco marathon 2019. Proper size of selected motor is calculated as 1,500 W based on gross vehicle weight which is 150 kg and driver weight which is 70 kg. Driving pattern is proposed to find the best pattern while driving on track using Microsoft Excel. The EV urban prototype powered by lithium battery is built and developed to reduce the weight and size of the EV.

I. INTRODUCTION

Shell Eco-marathon is one of the world's leading energy efficiency competition programs. In the name of 'Innogen', has developed high efficiency vehicle, all of the part of vehicle such as power-train development, structure and material which are the most important key in operation of Urban electric vehicle.

Moreover, electric vehicles play an important role in communication and transport. Loss of energy is less than internal combustion engine type, also innovation is modern and environment friendly. Required prototype electric is designed and created to comply domestic industry. The other purpose is to reduce import spare parts, in result that the trend of consumption of electric vehicle will be increased in the future.

EVs are promoted to achieve a better global environment. Therefore design of very low energy consumption for innovative Urban EV is very beneficial. Section II proposes design of Urban electric vehicle model to describe steps

of calculation to reach the purpose of vehicle design. Power train of Urban electric vehicle is planned and calculated. Section III proposes power train design process. Section IV provides Urban electric vehicle test and show test or experiment result while conclusion of result is analyzed in Section V.

I. DESIGN OF PROTOTYPE EV MODEL

The first requirement is to create 4 wheels electric vehicle which is follow Shell-eco marathon 2019 regulation. Urban electric vehicle; 1 seat model; is operated at 1500 W and can reach 30 km/h speed to cover 10 km distance within 25 minutes.

Battery can be the main energy supply to provide power to Urban electric vehicle to reach 30 km/h and can run within total 25 minutes. The purpose of low energy consumption Urban electric vehicle is to consume low energy, thus Urban electric vehicle should be as light as possible and follow Shell-eco marathon 2019 regulation. Material of vehicle, type of battery, size of motor can be calculated and chosen to be used with Urban electric vehicle.

5 steps calculation of power train on Urban electric vehicle is shown as follow:

1. Clarify EV specification
2. Calculate power-train
3. Define motor
4. Define motor driver
5. Define battery

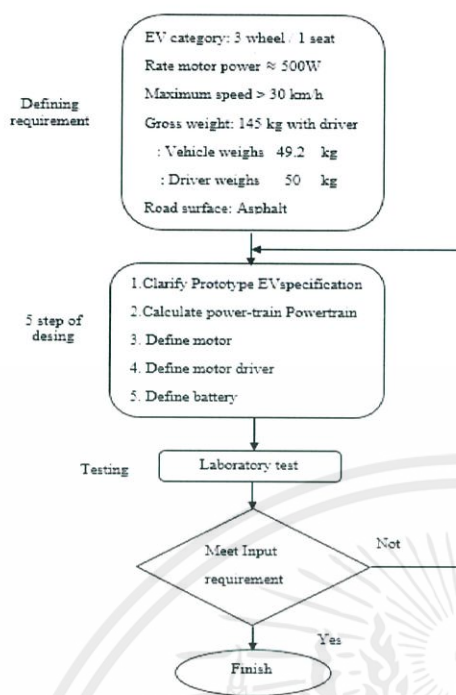


Fig.1. Urban EV design model

The diagram of Urban electric vehicle model design as shown in Fig.1. Once the specification and used material are suitable, calculation of motor size is done, motor and battery are chosen, motor drive and Urban electrical vehicle body are built. The gross mass of Urban electric vehicle is 55 kg.

The suitable driver is 50 kg, allowing Shell-eco marathon regulation. Then operation solution is including to testing to find power train efficiency, also on-track testing to find consumed energy.

II. PROTOTYPE EV POWER TRAIN DESIGN PROCESS

Step 1: Clarify Prototype EV specification.

Regulation of Shell Eco-marathon 2019 for Urban EV as shown below:

- a) The vehicle maximum height must be less than 1000 mm.
- b) The vehicle track width must be at least 500 mm, measured between the midpoints where the tires of the outermost wheels touch the ground.
- c) The ratio of height divided by track width must be less than 1.25.
- d) The vehicle wheelbase must be at least 1000 mm.

e) The maximum total vehicle width must not exceed 1300 mm.

f) The maximum total length must not exceed 3500 mm.

g) The maximum vehicle weight, without the Driver is 155 kg.

So, specification of prototype electric vehicle is designed allowing Shell-eco marathon 2019 as shown in Table1. And feature of prototype electric vehicle design is shown in Fig.2

Table1. Specification of Urban EV

Dimension	Width	1200 mm.
	Length	2600 mm.
	Height	1100 mm.
Gross mass		130 kg.
Driver mass		50 kg.
Maximum speed		50 km/h
Wheels		2 front wheels 2 back wheel
seat		1 seat



Fig.2 Feature of Urban electric vehicle design

Carbon fiber is chosen to be used as body of Urban electric vehicle, graphite fibers contain up to 95% carbon and yield the highest tensile strength in the FRP industry. These fibers woven together form graphite fabric. These fabrics offer higher strength and stiffness-to-weight ratios than any other commonly available reinforcements. While there are hundreds of types to choose from, we have selected three styles of standard modulus carbon fiber which are suitable for use in racing, aircraft, competition marine, and light industrial applications. To maximize the property of fiber we recommend using only epoxy or vinyl ester resin, although polyesters will bond to the fabrics. This 2x2 twill weave fabric offers the cosmetic appearance so desirable on modern composite parts. But don't just use it for looks, this fabric is highly formable and slightly stronger than the plain.

General Properties for Carbon Fiber Fabrics:

- Lightweight
- High Modulus
- Fire Resistant
- Dimensionally Stable
- Fatigue Resistant

Step 2: Calculate power-train

Powertrain

The power flow between 48 v battery and wheels which need to pass inverter and BLDC motor as shown in Fig.3 Direct current electricity flow from battery into inverter. Inverter converts energy from main battery to motor. The power from battery into Inverter as show in (1)

$$P = V \times I \quad (1)$$

Which

V is direct voltage (V)

I is direct current (A)

Data logging

The system collects the measured values according to the time that the user set to save automatically. The showed values are as follows speed, voltage, current, power, total energy

Calculate motor size

Calculate enough force to drive the EV Prototype as shown in (2)

$$F_{TT} = F_{RR} + F_{GR} + F_{AC} + F_{AD} \quad (2)$$

which

F_{tt} is Total Tractive Effort (N)

F_{rr} is Force to overcome rolling resistance (N)

F_{gr} is Force required to climb a grade (N)

F_{ac} is Force required to accelerate to final velocity (N)

F_{ad} is Force to overcome air drag (N)

Due to competition without slope

$$F_{GR} = 0 \text{ N}$$

Determine wheel torque

The wheel torque is based on the total traction force. The wheel torque can be calculated in (3).

$$\tau_w = F_{TT} \times R_w \times R_f \quad (3)$$

Which

τ_w is wheel torque (N.m)

R_w is wheel radius including tire (m)

R_f is resistance factor of the wheel and axles

Determine required motor power

the motor power is calculated from (4)

$$P_m = \tau_{max} \times \omega \quad (4)$$

Which

P_m is maximum power. Maximum power from calculation is 1.83 kW. It is confirmed that required motor power should be 1.83 kW. Then 1.5 kW brushless DC (BLDC) and 3 kW peak power motor is selected.

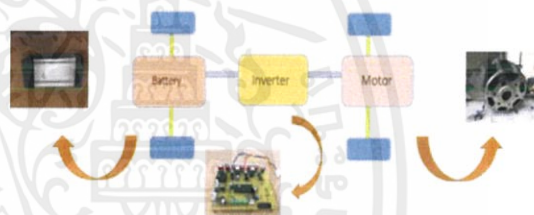


Fig.3 Powertrain

Step 3: Define motor

The BLDC motor is widely used in applications including appliances, automotive, aerospace, consumer, medical, automated industrial equipment and instrumentation.

The BLDC motor is electrically commutated by power switches instead of brushes. Compared with a brushed DC motor or an induction motor.

the BLDC motor has many advantages:

- Higher efficiency and reliability
- Lower acoustic noise
- Smaller and lighter
- Greater dynamic response
- Better speed versus torque characteristics
- Higher speed range
- Longer life

According to mentioned advantage, BLDC motor is selected to use with Urban electric vehicle as shown in Fig.4



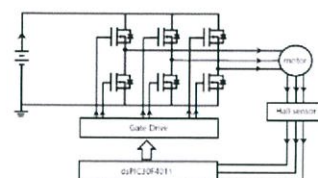
Fig.4 1.5 kW BLDC motor

Step 4: Define motor driver

To drive a DC brushless electric motor, most of which use energy from batteries which supply direct current to control the electric motor for high efficiency can be supplied to inverters to control torque and speed, the inverter has been developed and used to drive the DC brushless motor more widely.

The motor driver circuit consists of the main parts, namely the MOSFET circuit, which has a rectifier, a gate pin driver and a regulator 12V, maintaining the voltage level of the rectifier and the control circuit with the microcontroller. The signal is received from the Hall sensor and processed and sent to the Rectifier in order to drive the gate of the MOSFET. The regulator 5V maintains the voltage level of the microcontroller.

Three phase inverter which has 63 V rated voltage, 50 A rated current, 2 kW output power and more than 90% efficiency is designed with input 48 V_{DC} link voltage supplied to control the BLDC motor from 0 rpm to 5,000 rpm. 6 MOSFETs of IRFP2807 with 82 A rated current, 75 V rated voltage and 13 mΩ, $R_{DS(on)}$ are selected to operate 1.5 kW BLDC motor controlled by dsPic30F4011. 12 V auxiliary battery for horn and other light as shown in Fig. 5.



a) BLDC motor driver



b) Inverter and line voltage and current waveform



Fig. 5. Inverter drive diagram and the controller

Step 5: Define battery

Urban electric vehicle is required battery to supply desired main power to powertrain, also to be energy storage with enough energy. So LiFePO₄ battery as shown in Fig.6 is selected to provided 48 V, 20 Ah with 1C discharge rate to cover 10 km distance with 100 kg gross weight Urban electric vehicle allowing regulation of Shell-eco marathon 2019 competition. LiFePO₄ battery is designed for lower voltage, lower power and longer run-time applications.

Lithium Iron Phosphate Battery Advantages:

- High Voltage DC Distribution Improves Efficiency
- Lighter Than Conventional Batteries
- Increased Cyclability
- Longer Life

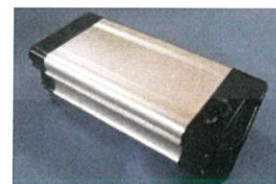


Fig.6 Battery

ประวัติผู้เขียน



นาย วัชระ ศรีประภาพงศ์ รหัสนักศึกษา 58011135

เกิดวันที่ 3 ธันวาคม 2539

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนราชสิมาวิทยาลัย

ระดับปริญญาตรี : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เบอร์ : 082-1586448



นาย วิชัญภาส ไชยศรียา รหัสนักศึกษา 58011147

เกิดวันที่ 13 กรกฎาคม 2539

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนมหาวิทยาลัยราชวูธ จังหวัดสงขลา

ระดับปริญญาตรี : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เบอร์ : 084-3963136



นาย สิริวิชญ์ อังวิบูลย์ รหัสนักศึกษา 58011313

เกิดวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2540

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระดับปริญญาตรี : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เบอร์ : 061-3042771



นาย นายเสฏฐวุฒิ ยิวเที่ยง รหัสนักศึกษา 58011376

เกิดวันที่ 6 กรกฎาคม 2538

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนบูรณะรำลึก ตรัง

ระดับปริญญาตรี : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เบอร์ : 091-8231896

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้