โฮเวอร์บอร์ด

HOVERBOARD

ณัฐิวุฒิ ชะนำพร
NATTHIWUT CHANAMPORN

ธนาภา ควรมิตร
THANAPHA KUANNMIT

ธัชภูมิ ภูเมฆ
TACHABHUM PHUMEK

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฮเวอร์บอร์ด

HOVERBOARD

โดย

ณัฐิวุฒิ ชะนำพร

ธนาภา ควรมิตร

ธัชภูมิ ภูเมฆ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

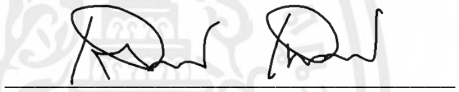
เรื่อง โอเวอร์บอร์ด

Hoverboard

ผู้จัดทำ

นายณัฐิวุฒิ	ชะนำพร	รหัสประจำตัว 63010347
นางสาวธนาภา	ควรมิตร	รหัสประจำตัว 63010440
นายธัชภูมิ	ภูเมฆ	รหัสประจำตัว 63010452

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	โฮเวอร์บอร์ด		
นักศึกษา	นายณัฐิวุฒิ	ชะนำพร	รหัสประจำตัว 63010347
	นางสาวธนาภา	ควรมิตร	รหัสประจำตัว 63010440
	นายธัชภูมิ	ภูเมฆ	รหัสประจำตัว 63010452
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล		

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการทำงานของโฮเวอร์บอร์ด อุปกรณ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโฮเวอร์บอร์ด โดยมี Force Sensor เป็นตัวรับแรงกด เมื่อมีแรงกดถึงค่าที่กำหนดโฮเวอร์บอร์ดจึงจะเริ่มทำงาน แต่เมื่อค่าไม่ถึงที่กำหนดไว้โฮเวอร์บอร์ดจะไม่มีการทำงาน เพื่อให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมี Gyroscope ตรวจสอบเมื่อมีการเอนไปข้างหน้าหรือข้างหลังตามองศาที่ได้กำหนดไว้ โดยได้ถูกตั้งค่าเพื่อเพิ่มหรือลดความเร็วของโฮเวอร์บอร์ด โดยมีการวิเคราะห์และทดสอบโฮเวอร์บอร์ดในเรื่องของการทำงานของโฮเวอร์บอร์ดและมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Hoverboard	
Student	Mr. Natthiwut Chanamporn	Student ID 63010347
	Ms. Thanapha Kuanmit	Student ID 63010440
	Mr. Tachabhum Phumek	Student ID 63010452
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2023	
Project Advisor	Assoc. Prof. Toempong Phetchakul, D.Eng	

ABSTRACT

This project aims to study the working principle, equipment and theory related to Hoverboards with the force sensor is a pressure sensor. When the set value is reached, the Hoverboards will start working. When the set value is not reached, the Hoverboards will not work, For safe use. Use a gyroscope to check if it's leaning forward or backward according to the specified angle, and it will increase or decrease speed as programmed. And the functions of the Hoverboards and the motor are analyzed and tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานเรื่องโฮเวอร์บอร์ดในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงงานนี้ และอำนวยอุปกรณ์และสถานที่ในการทำโครงงาน ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ คอยให้ความช่วยเหลือให้คณะผู้จัดทำได้ทำโครงงานสำเร็จไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านในภายภาคหน้าไม่มากก็น้อย และถ้าหากมีการผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายณัฐิวุฒิ ชะนำพร

นางสาวธนาภา ควรมิตร

นายธัชภูมิ ภูเมฆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ **หน้า**

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการจัดทำ 1

1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงงาน 1

1.4 ระยะเวลาในการทำโครงงาน 2

บทที่ 2 4

2.1 โฮเวอร์บอร์ด (Hoverboard) 4

2.2 NodeMCU ESP32 5

2.3 NodeMCU ESP8266 6

2.4 Force Sensor 8

2.5 Gyroscope 9

2.6 Battery 10

2.7 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ (Charger) 10

2.8 BLDC Motor (Brushless Direct Current Motor) 11

2.9 BLDC Controller 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 LED Strip Light 16
บทที่ 3 18
3.1 หลักการออกแบบ 18
3.2 การออกแบบโครงสร้างของโฮเวอร์บอร์ด 18
3.3 การออกแบบ Schematic และ ลาย PCB Main Board 26
3.4 หลักการทำงาน 28
บทที่ 4 29
4.1 วิธีการทดสอบ 29
4.2 ผลการทดลอง 29
บทที่ 5 31
5.1 สรุปผลการทดลอง 31
5.2 ข้อเสนอแนะ 31
เอกสารอ้างอิง 33
ภาคผนวก 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ระยะเวลาในการทำโครงงาน (เทอม 1) 2
1.2 ระยะเวลาในการทำโครงงาน (เทอม 2) 3
4.1 ตารางผลการทดสอบการทำงานอุปกรณ์โฮเวอร์เบอร์ด 29
4.2 ตารางผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วของมอเตอร์ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 Hoverboard one wheel 5

2.2 บอร์ด ESP32-DevKitC 5

2.3 Force Sensor RPS40ST 8

2.4 Gyroscope 9

2.5 Brushed Motor 12

2.6 Brushless DC motor - Outer rotor type 13

2.7 Brushless DC motor - Inner rotor type 14

2.8 การควบคุมความเร็วของ BLDC 14

2.9 การคอนโทรลของ BLDC โดยใช้เซนเซอร์ที่เรียกว่า Hall Effect IC 15

2.10 BLDC controller 15

2.11 LED Strip Light 17

3.1 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด 19

3.2 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Right Arm (1) 19

3.3 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Right Arm (2) 20

3.4 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Right Arm (3) 20

3.5 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด –Left Arm (1) 21

3.6 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด –Left Arm (2) 22

3.7 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด –Left Arm (3) 22

3.8 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (1) 23

3.9 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (2) 24

3.10 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (3) 24

3.11 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (4) 25

3.12 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Steel Plate (1) 25

3.13 Schematic ของ Mian board 26

3.14 ลาย PCB ของ Mian board 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 Flow chart การทำงานของโฮเวอร์บอร์ด 28
5.1 Hoverboard 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันมียานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางมากหลายรูปแบบ หนึ่งในคือสกูตเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นยานพาหนะที่คล่องตัว ใช้งานง่าย และยังประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่าจักรยานยนต์ และยังใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน โดยค่าใช้จ่ายการการชาร์จไฟฟ้านั้นถูกกว่าราคาน้ำมัน อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษทางอากาศอีกด้วย แต่เนื่องด้วยสกูตเตอร์ไฟฟ้านั้น หากขับบนพื้นผิวที่มีลูกระนาดจะทำให้ตัวท้องสกูตเตอร์ติดลูกระนาด และไม่เหมาะกับพื้นดิน จากปัญหานี้ทางคณะผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นการขับเคลื่อนในอีกรูปแบบนึงคือ One wheel hoverboard ซึ่งเป็นยานพาหนะที่มีลักษณะคล้ายสกู๊ตเตอร์ แต่มีล้อเดียวอยู่ตรงกลาง ทำให้ผู้ขับขี่ต้องทรงสมดุลและควบคุมด้วยการเอียงตัวมากขึ้นหรือน้อยลงเพื่อทำการเคลื่อนที่และหมุนเวียนได้ ประเภทนี้ของยานพาหนะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยมในกลุ่มผู้ที่ต้องการการเดินทางที่สะดวกสบายและเร็วขึ้นในเขตเมืองหรือสภาพแวดล้อมที่เป็นเส้นทางส่วนบุคคล นอกจากนี้ยังเหมาะกับผู้ที่ชื่นชอบการผจญภัยและการท้าทายในการควบคุมยานพาหนะด้วยการเอียงตัวในการเดินทางด้วย One wheel hoverboard

1.2 วัตถุประสงค์ของการจัดทำ

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของ Hoverboard

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้งาน DC Motor และ Battery

1.2.3 เพื่อศึกษาการทำงานและการเชื่อมแบบไร้สาย

1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงงาน

1.3.1 Hoverboard ที่จัดทำสามารถทำงานได้

1.3.2 Controller ที่จัดทำสามารถสั่งการ Hoverboard ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระยะเวลาในการทำโครงงาน

ตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม 2566 ถึงวันที่ 10 มีนาคม 2567

รายละเอียด	กรกฎาคม 2566				สิงหาคม 2566			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
1. เลือกหัวข้อโปรเจค			← →					
2. แจ้งหัวข้อและคุยรายละเอียด				← →				
3. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ Hoverboard					←	→		
รายละเอียด	กันยายน 2566				ตุลาคม 2566			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
3. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ Hoverboard	←				→			
4.ทดสอบอุปกรณ์					←	→		
5.ทดลองและแก้ไขชิ้นงาน					←	→		
6.จัดทำรูปเล่มรายงาน	←					→		

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำโครงงาน (เทอม 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด	ธันวาคม 2566				มกราคม 2567			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
- ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการทำนาพิกามาเป็นส่วนเสริม	←	—	—	—	—	—	—	→
- ทดสอบอุปกรณ์			←	—	→			
- ทดลองและแก้ไขชิ้นงาน					←	—	—	→
รายละเอียด	กุมภาพันธ์ 2567				มีนาคม 2567			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
- ทดลองและแก้ไขชิ้นงาน	←	—	—	—	→			
- จัดทำรูปเล่มรายงาน	←	—	—	—	→			

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาในการทำโครงงาน (เทอม 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 โฮเวอร์บอร์ด (Hoverboard)

โฮเวอร์บอร์ด คืออุปกรณ์ขนาดเล็ก ไปจนถึงขนาดกลาง ที่มาพร้อมความสามารถ ในการบรรทุกคน และเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกลๆ ได้ประมาณหนึ่ง

โดยคำนิยามของโฮเวอร์บอร์ดนั้น ค่อนข้างคลุมเครือ ไม่ชัดเจน เพราะถ้าหากยึดตามต้นกำเนิดจริงๆ แล้ว โฮเวอร์บอร์ดคือ คำที่ใช้เรียกยานพาหนะที่สามารถลอยได้ แต่ในปัจจุบันโฮเวอร์บอร์ดนั้นถูกเรียกรวมๆ กับบอร์ดที่ต้องอาศัยล้อในการวิ่งไปบนพื้น โดยในปัจจุบัน โฮเวอร์บอร์ด ได้ถูกผลิตขึ้นมาแบบที่มีล้อ หรือเรียกอีกชื่อได้ว่า สกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า

Hoverboard ทำงานโดยใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์และระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่และความสมดุลของเครื่อง. การทำงานของ hoverboard มีขั้นตอนดังนี้:

1. Gyroscope Sensors: Hoverboard มักมี Gyroscope Sensors ที่ติดอยู่ในภายใน สามารถตรวจจับการเคลื่อนที่และการเลี้ยวของล้อล้อคู่ในเวลาเรียลไทม์ ตรวจจับการเอนตัวและความเคลื่อนที่ของผู้ขับเคลื่อน
2. ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control System): ข้อมูลจากเซนเซอร์ถูกส่งไปยังระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของ hoverboard ที่ประมวลผลข้อมูลเหล่านี้ และควบคุมการหมุนของล้อเพื่อควบคุมทิศทางและความเร็ว
3. แบตเตอรี่ (Battery): Hoverboard ใช้แบตเตอรี่ในการจ่ายพลังงานให้กับระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และมอเตอร์ของล้อ แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานในระยะเวลาและแรงดันที่เหมาะสมเพื่อให้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่อง
4. มอเตอร์ (Motors): ควบคุมทิศทางและความเร็วของล้อ ช่วยให้ hoverboard เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือข้างหลังตามความต้องการของผู้ขับเคลื่อน
5. Algorithm: ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ใน hoverboard ใช้อัลกอริทึมเพื่อคำนวณและปรับความสมดุลของเครื่อง ควบคุมล้อในเวลาเรียลไทม์ และป้องกันการล้มหรือขาดสมดุล
6. การควบคุมของผู้ขับเคลื่อน: ผู้ขับเคลื่อน hoverboard ควบคุมทิศทางและความเร็วของเครื่องโดยการเอนตัวหน้าหรือหลังและโฮเวอร์บอร์ดจะตอบสนองตามความเอนตัวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว hoverboard ทำงานอย่างมีระบบ ทำให้ผู้ขับเคลื่อนสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือข้างหลัง โดยการเอนตัว ทิศทางและความเร็วของเครื่อง การใช้ระบบเซ็นเซอร์และระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ทำให้ hoverboard สามารถควบคุมความสมดุลของตัวเครื่องเองได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

รูปที่ 2.1 Hoverboard one wheel

ที่มา: https://onewheel.com/products/onewheel-gt

2.2 NodeMCU ESP32

รูปที่ 2.2 บอร์ด ESP32-DevKitC

ที่มา: https://www.artronshop.co.th/article/52/esp32-เบื้องต้น-บทที่-2-บอร์ดพัฒนา-esp32

ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดกะทัดรัดที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งาน Internet of Things (IoT) ประกอบด้วยโปรเซสเซอร์ dual-core, Wi-Fi, Bluetooth, และหน่วยความจำออนบอร์ด ทำให้มีความสามารถหลากหลายสำหรับการใช้งาน IoT ต่างๆ เช่น การควบคุมอุปกรณ์อัจฉริยะ เซ็นเซอร์ IoT อุปกรณ์สวมใส่ และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ ESP32

- โปรเซสเซอร์ dual-core ความเร็วสูง 240 MHz
- Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4 GHz
- Bluetooth 4.2
- หน่วยความจำออนบอร์ด 4 MB Flash และ 512 KB RAM
- รองรับการทำงานในโหมด Low Power
- รองรับการพัฒนาด้วย Arduino, MicroPython, และภาษา C/C++

การใช้งาน ESP32

ESP32 สามารถใช้สำหรับการใช้งาน IoT ต่างๆ เช่น

- การควบคุมอุปกรณ์อัจฉริยะ เช่น หลอดไฟอัจฉริยะ เซ็นเซอร์อัจฉริยะ ประตูอัจฉริยะ ฯลฯ
- เซ็นเซอร์ IoT เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์ความชื้น เซ็นเซอร์แสง เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ฯลฯ
- อุปกรณ์สวมใส่ เช่น สมาร์ทวอทช์ สมาร์ทแบนด์ ฯลฯ
- อุปกรณ์อื่นๆ เช่น อุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ฯลฯ

ข้อดีของ ESP32

ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพสูง มีคุณสมบัติที่หลากหลายสำหรับการใช้งาน IoT ต่างๆ ที่สำคัญคือราคาไม่แพง จึงทำให้เป็นที่นิยมสำหรับนักพัฒนา IoT

ข้อเสียของ ESP32

ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dual-core ดังนั้นจึงมีการใช้พลังงานมากกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ single-core อย่างไรก็ตาม ESP32 รองรับการทำงานในโหมด Low Power ซึ่งสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้

2.3 NodeMCU ESP8266

ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทรงพลังและราคาไม่แพง ซึ่งมาพร้อมกับชิป Wi-Fi ในตัว ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้โดยตรง บอร์ดนี้ได้รับความนิยมอย่างมากจากนักประดิษฐ์และนักพัฒนาเนื่องจากสามารถใช้สร้างอุปกรณ์อัจฉริยะและเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเด่นของ ESP8266

- ชิป Wi-Fi ในตัว
- ทำงานด้วยพลังงานต่ำ
- ราคาถูก
- รองรับโปรโตคอล TCP/IP
- รองรับภาษาโปรแกรมมากมาย เช่น C/C++, Arduino, Python

การใช้งาน ESP8266

- ESP8266 สามารถใช้งานเพื่อสร้างอุปกรณ์อัจฉริยะได้หลากหลาย เช่น
- อุปกรณ์ควบคุมบ้านอัจฉริยะ
- อุปกรณ์ IoT
- อุปกรณ์เซ็นเซอร์
- อุปกรณ์ต่อพ่วงสำหรับสมาร์ทโฟน

การเริ่มต้นใช้งาน ESP8266

การเริ่มต้นใช้งาน ESP8266 นั้นค่อนข้างง่าย สามารถทำได้ดังนี้

- ติดตั้งบอร์ด ESP8266 เข้ากับบอร์ด Arduino หรือบอร์ดอื่นๆ
- ดาวน์โหลดและติดตั้งซอฟต์แวร์ Arduino IDE
- เขียนโค้ดเพื่อควบคุมบอร์ด ESP8266
- อัพโหลดโค้ดไปยังบอร์ด ESP8266

ตัวอย่างการใช้งาน ESP8266

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการใช้งาน ESP8266 เพื่อสร้างอุปกรณ์อัจฉริยะ

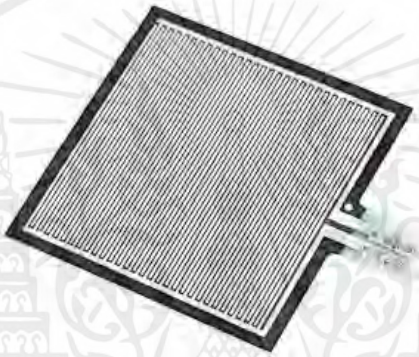
- อุปกรณ์ควบคุมไฟอัจฉริยะ: สามารถใช้ ESP8266 เพื่อควบคุมไฟในบ้านหรืออาคารได้ เพียงเขียนโค้ดเพื่อสั่งให้ไฟเปิดหรือปิด
- อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิอัจฉริยะ: สามารถใช้ ESP8266 เพื่อวัดอุณหภูมิและส่งข้อมูลไปยังอินเทอร์เน็ตได้ ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแจ้งเตือนหรือติดตามสภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดประตูอัจฉริยะ: สามารถใช้ ESP8266 เพื่อควบคุมการเปิดปิดประตูบ้านหรืออาคารได้ เพียงเขียนโค้ดเพื่อสั่งให้ประตูเปิดหรือปิด

ESP8266 เป็นบอร์ด Wi-Fi ราคาถูกและมีประสิทธิภาพที่เหมาะสำหรับนักประดิษฐ์และนักพัฒนาที่ต้องการสร้างอุปกรณ์อัจฉริยะและเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

2.4 Force Sensor



รูปที่ 2.3 Force Sensor RPS40ST

ที่มา: https://www.amazon.com/Tosuny-RP-S40-ST-Sensitive-Intelligent-Pressure-Sensitive/dp/B07WGYY4VV

Force Sensor โดยหลักการการทำงานทั่วไปของเซนเซอร์จับแรงคือเมื่อมีแรงมากระทำต่อ FSR จะเปลี่ยนแรงที่กระทำออกมาเป็นค่าโดยหลักการทำงานของตัวต้านทานแบบตรวจจับแรงจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ 'Contact Resistance' ตัวต้านทานแบบตรวจจับแรงประกอบด้วยฟิล์มโพลีเมอร์ที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนความต้านทานในลักษณะที่คาดเดาได้เมื่อมีแรงกระทำบนพื้นผิวฟิล์มนี้ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่นำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้าจัดเรียงในเมทริกซ์ เมื่อใช้แรงกระทำกับพื้นผิวของฟิล์มอนุภาคขนาดเล็กจะสัมผัสกับอิเล็กโทรดของเซ็นเซอร์ทำให้ความต้านทานของฟิล์มเปลี่ยนไป จำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับค่าความต้านทานจะให้การวัดปริมาณของแรงที่กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Gyroscope

รูปที่ 2.4 Gyroscope

ที่มา: https://th.fmuser.net/content/?20896.html

อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัดหรือตรวจจับความเคลื่อนไหวหรือการหมุนของวัตถุโดยใช้หลักการของโมเมนตัม (momentum) หรือ conservation of angular momentum นั่นคือวัตถุที่หมุนจะมีความเสถียรในแนวที่มันกำลังหมุนและจะต้านการเปลี่ยนแปลงความเคลื่อนไหวหรือทิศทางของการหมุนนั้น ๆ หลักการทำงานของ Gyroscope สามารถอธิบายได้ดังนี้:

1. หากวัตถุหมุนเร็วในทิศทางใดบางทิศ มันจะมีมาโนเมตรการหมุนในทิศเดียวกันและมีขนาดคงที่ (โดยตามหลักการบำรุงมาโนเมตร.

2. เมื่อมีความเคลื่อนไหวหรือแรงที่พยายามเปลี่ยนทิศทางหรือความเร็วของการหมุนของ Gyroscope มาโนเมตรการหมุนนี้จะต้านการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ และปรากฏเป็นความเสถียรที่ยากจะเปลี่ยนแปลง

3. ด้วยความเสถียรนี้ Gyroscope สามารถใช้เพื่อวัดการเคลื่อนไหวหรือการหมุนในแนวตั้งหรือแนวนอน โดยมันสามารถเป็นประโยชน์ในหลายแอพพลิเคชัน เช่น การทำงานเบื้องต้นในการควบคุมทิศทาง การบินและรถยนต์ที่มีระบบนำทางเพราะ Gyroscope สามารถสร้างความเสถียรในการหมุนและต้านการเปลี่ยนแปลงทิศทางหรือความเร็วในการหมุนได้ ดังนั้น เจ้ามือจะสามารถใช้ Gyroscope เพื่อควบคุมและนำทางรถยนต์หรือยานพาหนะให้เที่ยงตรงและประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ Gyroscope ยังมีการใช้ในหลายแอพพลิเคชันเฉพาะทางเรื่องเทคนิคและอุตสาหกรรมที่ต้องการความเสถียรและความแม่นยำในการวัดหรือควบคุมการหมุนและการเคลื่อนไหว อย่างเช่น การผลิตเครื่องบินและยานอวกาศ การสร้างโรงงานและเครื่องจักร และการทำงานในสายอาชีพที่เกี่ยวข้องกับนวัตกรรมและการออกแบบโดยทั้งหลักการของมาโนเมตรและการพัฒนาเครื่องมือ Gyroscope ได้เป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมและนำทางในหลายแวดวงของเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมต่าง ๆ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้งานในสถานการณ์ที่ต้องการความเสถียรและความแม่นยำในการวัดและควบคุมการเคลื่อนไหวหรือการหมุนของวัตถุ

2.6 Battery

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโตรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง

แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้, การบำรุงรักษา, การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ จากมุมมองของผู้ใช้แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ และ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ (ใช้แล้วทิ้ง) ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายทั้งสองชนิด

1. แบตเตอรี่ใช้แล้วทิ้ง เรียกอีกอย่างว่า เซลล์ปฐมภูมิ ใช้ได้ครั้งเดียว เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมดไฟฟ้าก็จะหมดจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้ไฟน้อยหรือในที่ที่ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ
2. แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือ เซลล์ทุติยภูมิ สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้หลังจากไฟหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้ โดยการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้อัดไฟนี้เรียกว่า ชาร์เจอร์ หรือ รีชาร์เจอร์

2.7 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ (Charger)

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการใส่พลังงานลงในเซลล์สำรอง หรือแบตเตอรี่แบบชาร์จซ้ำได้ โดยบังคับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโปรโตคอลการชาร์จ (แรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเป็นเวลานานเท่าไหร่ และสิ่งที่ต้องทำเมื่อชาร์จเสร็จแล้ว) ขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของแบตเตอรี่ที่ชาร์จ แบตเตอรี่บางประเภทมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนทานต่อการชาร์จไฟมากเกินไป เช่นการชาร์จต่อหลังจากที่ชาร์จแบตเตอรี่เต็มแล้ว และสามารถชาร์จใหม่ได้โดยการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงไฟคงที่ หรือแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของแบตเตอรี่

โดยเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ในการทำโปรเจคครั้งนี้คือ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่อัตโนมัติ (Trickle charger) โดยทั่วไปเครื่องชาร์จแบตเตอรี่อัติโนมัติจะเป็นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่กระแสต่ำ (โดยปกติอยู่ระหว่าง 5–1,500 mA) โดยทั่วไปเครื่องชาร์จแบตเตอรี่อัติโนมัติจะใช้เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ความจุขนาดเล็ก (2–30 Ah) เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ประเภทนี้ยังใช้เพื่อรักษาแบตเตอรี่ที่มีความจุมากขึ้น (> 30 Ah) ซึ่งมักพบในรถยนต์เรือ RV และยานพาหนะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ในงานขนาดใหญ่ กระแสของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่เพียงพอที่จะให้การบำรุงรักษาหรือกระแสไฟทริกเกิลเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วทริกเกิลเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการชาร์จของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่อัตโนมัติ สามารถเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ได้เรื่อยๆ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่บางรุ่นที่สามารถเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ได้โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสียหายเรียกอีกอย่างว่าเครื่องชาร์จอัจฉริยะ หรือเครื่องชาร์จอัจฉริยะ แบตเตอรี่บางประเภทไม่เหมาะสำหรับการชาร์จแบบทริกเกิล ยกตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ Li-ion ส่วนใหญ่ไม่สามารถชาร์จแบบทริกเกิลได้อย่างปลอดภัย และความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจเพียงพอที่จะทำให้เกิดไฟไหม้หรือแม้กระทั่งการระเบิด

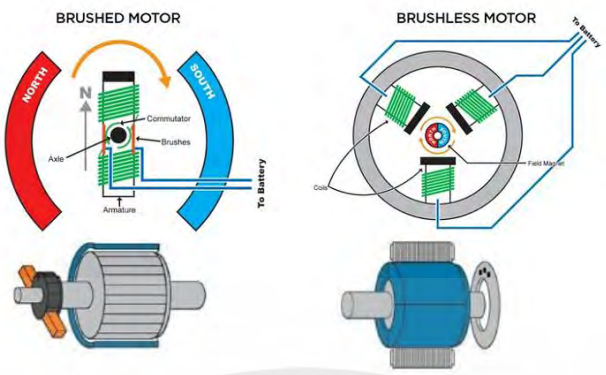
2.8 BLDC Motor (Brushless Direct Current Motor)

Brushless DC motor หรือเรียกอีกอย่างว่า BLDC หรือ BL โดยทั่วไปแล้วจะมีชื่ออื่นๆอีกเช่น electronically commutated motor, ECM หรือ EC motor หรือ มอเตอร์กระแสตรงแบบซิงโครนัส (Synchronous DC motor) BLDC เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยตัวตามคุมอิเล็กทรอนิกส์ หรือ electronic controller ทำหน้าที่สวิตชิ่ง หรือควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าดีซีให้กับขดลวดสเตเตอร์ที่ท่าหน้าที่เป็นชุดสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งคล้ายกันกับการทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์แบบใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet synchronous motor,PMSM)

มอเตอร์ชนิดนี้มีหลักการทำงานเหมือนกับดีซีมอเตอร์ที่ใช้แปรงถ่าน แต่จะแตกต่างกันเพียงแค่วิธีการลำเลียงกระแสเข้าไปยังขดลวด ซึ่งในส่วนของดีซีมอเตอร์แบบเดิมนั้นจะใช้แปรงถ่านในการลำเลียงกระแสเข้าไปที่คู่ของขดลวดอยู่บนโรเตอร์เพื่อทำให้เป็นแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นก็ทำให้เกิดการดูดและผลักกันกับขั้วแม่เหล็กอยู่ที่สเตเตอร์และทำให้เกิดการหมุนเคลื่อนที่

แต่ BLDC จะใช้อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลเข้ามาแทนที่แปรงถ่าน เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดสเตเตอร์ เพื่อควบคุมทอร์ค ทิศทางการหมุน รวมถึงการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 Brushed Motor

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

ประเภทของ Brushless DC motor

โดยลักษณะของโครงสร้างแล้วโรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะทำจากแม่เหล็กถาวรและจะหมุนเคลื่อนที่หรือวิ่งตามสนามแม่เหล็กที่เกิดจากฟิลด์หรือขดลวดสเตเตอร์หลังจากได้รับการจ่าย กระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวด ซึ่งลักษณะของโรเตอร์โดยทั่วไปก็จะมี 2 รูปแบบดังนี้

1. ชนิดที่โรเตอร์หรือส่วนที่หมุนเคลื่อนที่อยู่ด้านนอก หรือ โรเตอร์อยู่ด้านนอกของขดลวดสเตเตอร์ Outer rotor type (the rotor is outside the stator)

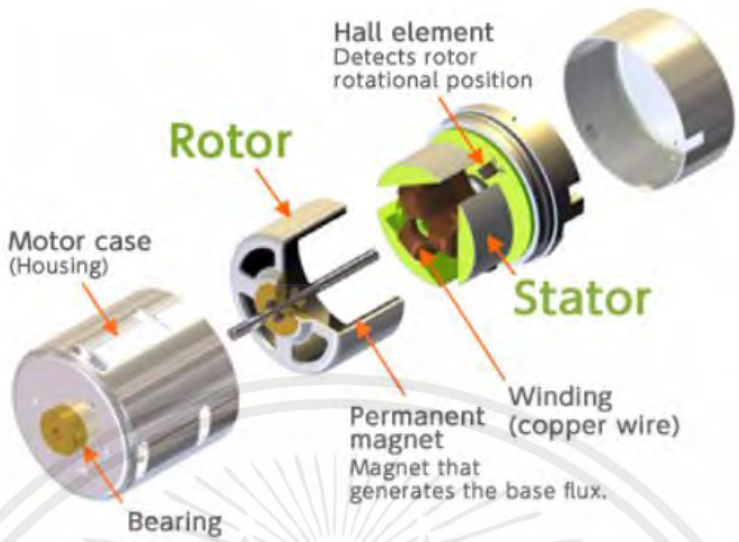
- ข้อดี (Advantages)

  - ง่ายต่อการรับแรงบิดหรือทอร์คขนาด ใหญ่ หรือรับทอร์คได้มากกว่า (Easy to obtain large torque.)
  - ความเร็วคงที่ช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสปีด (Speed is stable during constant rotation.)

- ข้อเสีย (Disadvantages)

  - โรเตอร์มีขนาดใหญ่ การออกตัวหรือการเคลื่อนที่ช้า (The rotor is large (the motion is slow))
  - โรเตอร์อยู่ด้านนอกมีความต้องการเรื่อง มาตรการด้านความปลอดภัย เหมาะสม (The outside rotor requires appropriate safety measures.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



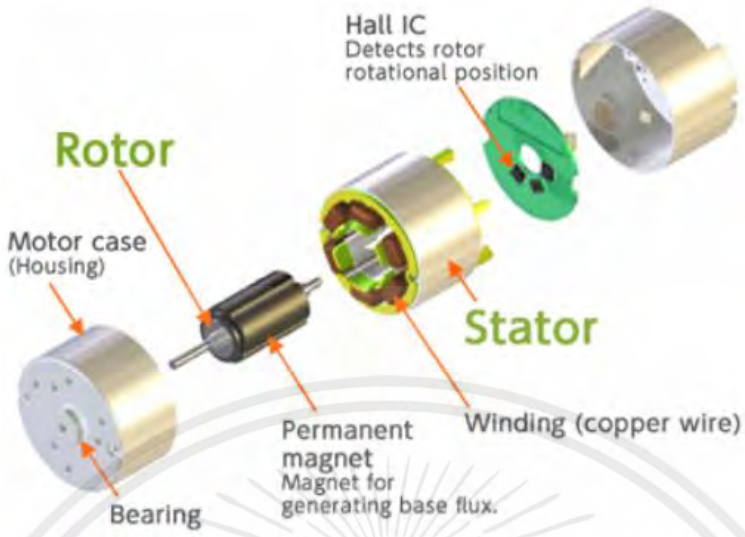
รูปที่ 2.6 Brushless DC motor - Outer rotor type

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

2. ชนิดที่โรเตอร์หรือส่วนที่หมุนเคลื่อนที่อยู่ ด้านใน หรือ โรเตอร์อยู่ด้านในของสเตเตอร์ Inner rotor type (the rotor is inside the stator)

- ข้อดี (Advantages)
  - โรเตอร์มีขนาดเล็กและสามารถตอบ สนองได้อย่างรวดเร็ว (The rotor is small -) and can respond quickly.)
  - คอยล์อยู่ด้านนอกและระดับการกระจาย ความร้อนสูง หรือระบายความร้อนได้ดีกว่า (The coil is located on the outside and the level of heat dissipation is high.)
- ข้อเสีย (Disadvantages)
  - การทำให้เกิดทอร์คหรือแรงบิดสูงๆ ทำได้ยาก (Difficult to obtain large torque.)
  - แม่เหล็กสามารถเสียหายได้ด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Magnets can be damaged by centrifugal force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

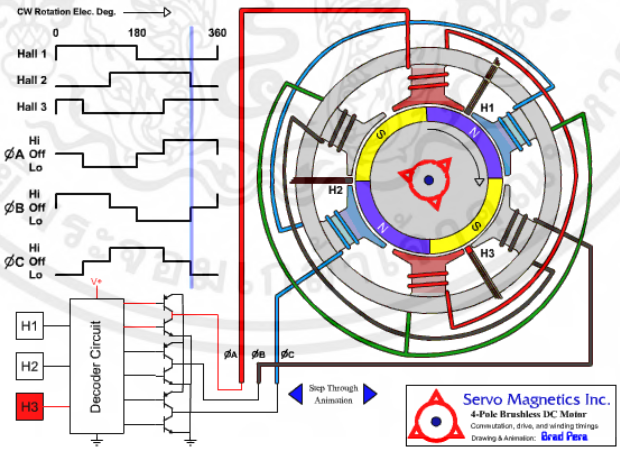


รูปที่ 2.7 Brushless DC motor - Inner rotor type

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

การควบคุมความเร็วของ BLDC

การควบคุมความเร็ว BLDC ก็อาศัยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการสวิตชิ่งที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ ถ้ามีการสวิตชิ่งกระแสไฟฟ้าด้วยความถี่สูง ขั้วแม่เหล็กหรือสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ก็จะหมุนเร็วขึ้นตามความถี่สวิตชิ่ง จากนั้นก็จะดูดหรือดึงขั้วแม่เหล็กที่อยู่ที่โรเตอร์ให้หมุนเคลื่อนที่ ตามดังรูป

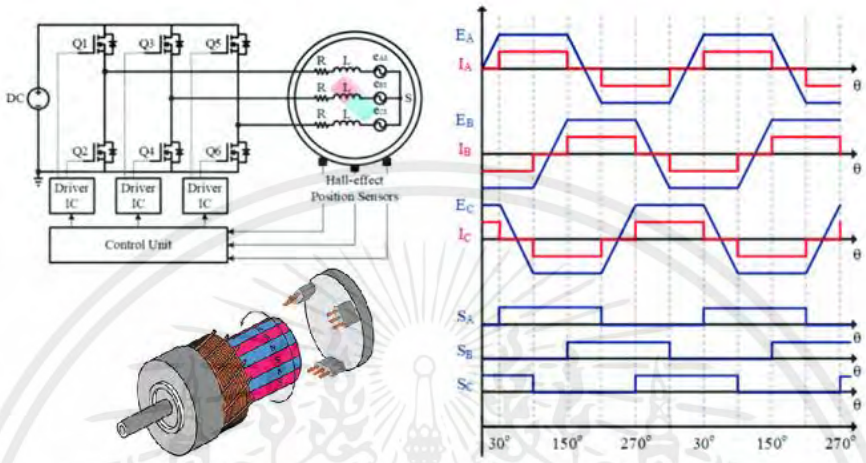


รูปที่ 2.8 การควบคุมความเร็วของ BLDC

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

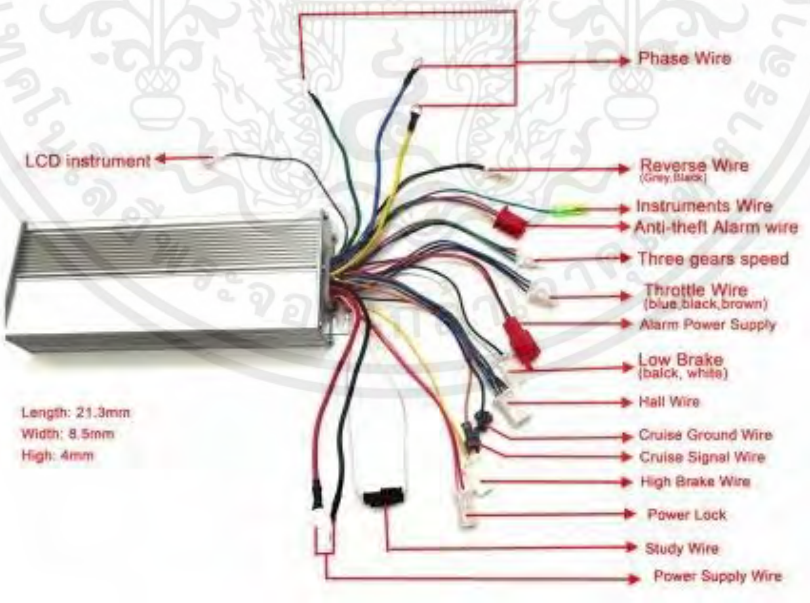
การควบคุมหรือการคอนโทรลของ BLDC โดยทั่วไปจะเป็นการทำงานแบบลูปปิด หรือ Closed Loop Control โดยจะอาศัยเซนเซอร์ที่เรียกว่า Hall Effect IC เป็นอุปกรณ์ป้อนกลับเพื่อให้คอนโทรลเลอร์ทราบตำแหน่งของโรเตอร์เพื่อทำการจ่ายกระแสเข้าขดลวดให้สัมพันธ์กับตำแหน่งองโรเตอร์



รูปที่ 2.9 การคอนโทรลของ BLDC โดยใช้เซนเซอร์ที่เรียกว่า Hall Effect IC

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

2.9 BLDC Controller



รูปที่ 2.10 BLDC controller

ที่มา: https://robotools.in/shop/ebike-parts/ebike-motors-and-controllers/brushless-controller-for-1000w-48v-bldc-motor/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์หรือระบบควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์ BLDC สำหรับการทำงานที่ต้องการความแม่นยำและความเร็วสูง BLDC controller จะช่วยให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างเป็นประสิทธิภาพและตรงตามความต้องการ

BLDC Controller ทำหน้าที่หลายอย่าง ขั้นแรกจะแปลงแรงดันไฟฟ้า DC จากแหล่งจ่ายไฟเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสที่ใช้ในการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดสเตเตอร์ จากนั้น Controller จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าACเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุนที่ทำปฏิกิริยากับแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงบิดและการเคลื่อนที่แบบหมุน

ขั้นที่ 2 Controller จะตรวจสอบตำแหน่งของโรเตอร์เพื่อตรวจสอบว่าเมื่อใดที่จะใช้เซ็นเซอร์หรือไม่ใช้เซ็นเซอร์ เมื่อใช้เซ็นเซอร์ Controller จะควบคุมเซ็นเซอร์ Hall Effect หรืออุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งอื่นๆ เพื่อกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์ ในกรณีที่ไม่ใช้เซ็นเซอร์จะใช้อัลกอริธึมทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณตำแหน่งโรเตอร์ตามแรงดันไฟฟ้า back-EMF ที่สร้างโดยมอเตอร์

ขั้นที่ 3 Controller จะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสเตเตอร์แต่ละตัวเพื่อให้แน่ใจว่ามอเตอร์ทำงานภายในข้อกำหนดที่กำหนดไว้และใช้การปรับความกว้างพัลส์ (PWM) เพื่อควบคุมรอบการทำงานของแรงดันไฟฟ้า AC ที่ใช้กับขดลวดสเตเตอร์เพื่อป้องกันความร้อนสูงเกินไปและความเสียหาย

สุดท้าย Controller ยังสามารถให้สัญญาณตอบกลับไปยังหน่วยควบคุมระบบ เช่น ความเร็วมอเตอร์และอุณหภูมิ เพื่อตรวจสอบและควบคุม

2.10 LED Strip Light

LED strip light คือ ไฟเส้น LED มีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายริบบิ้น ประกอบด้วยหลอด LED ขนาดเล็กเรียงต่อกันเป็นแถว สามารถดัดโค้งได้อย่างอิสระตามองศาโค้งของแต่ละรุ่น ติดตั้งได้ง่ายแม้ในพื้นที่แคบ ดัดโค้งปรับให้เข้ากับโครงสร้างพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งได้ง่าย ให้แสงสว่างที่ต่อเนื่องไม่เกิดเงา

LED strip light แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ

- ไฟเส้น LED แบบมีสีเดียว จะให้แสงสว่างออกมาเป็นสีเดียว เช่น สีขาว สีแดง สีฟ้า เป็นต้น
- ไฟเส้น LED แบบเปลี่ยนสีได้ จะให้แสงสว่างออกมาเป็นสีต่าง ๆ ได้ตามต้องการ โดยใช้รีโมทคอนโทรลหรือแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED strip light นิยมนำมาใช้ตกแต่งภายในและภายนอกอาคาร เช่น ตกแต่งบ้าน ร้านค้า ร้านอาหาร โรงแรม ห้างสรรพสินค้า สถานที่จัดงาน เป็นต้น สามารถใช้ได้ทั้งงานตกแต่งทั่วไปและงานตกแต่งเฉพาะจุด เช่น ตกแต่งฝ้าเพดาน ตกแต่งเฟอร์นิเจอร์ ตกแต่งใต้เตียง ตกแต่งตู้เสื้อผ้า เป็นต้น

ข้อดีของ LED strip light

- ประหยัดพลังงาน
- อายุการใช้งานยาวนาน
- ทนทานต่อสภาพอากาศ
- ติดตั้งง่าย
- ปรับเปลี่ยนได้หลากหลายรูปแบบ

ข้อเสียของ LED strip light

- ราคาค่อนข้างสูง
- ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟแยกต่างหาก

รูปที่ 2.11 LED Strip Light

ที่มา: http://www.iteezone.com/article/17/อยากซื้อไฟเส้น-แต่ไม่รู้เลือกยังไง-ต้องใช้อะไรบ้าง-อ่านทางนี้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการทำงานและการออกแบบ

3.1 หลักการออกแบบ

3.1.1 โฮเวอร์บอร์ดสามารถรองรับน้ำหนักของผู้ใช้ได้มากกว่า 100 กิโลกรัม

3.1.2 โฮเวอร์บอร์ดสามารถปรับความเร็วได้ 2 ระดับ

3.1.3 โฮเวอร์บอร์ดสามารถสั่งการเปิด/ปิดเครื่อง และปรับระดับเกียร์ได้ด้วยรีโมต

3.1.4 โฮเวอร์บอร์ดสามารถเพิ่ม/ลดความเร็วได้ด้วยการเอนตัวไปข้างหน้าหรือข้างหลัง

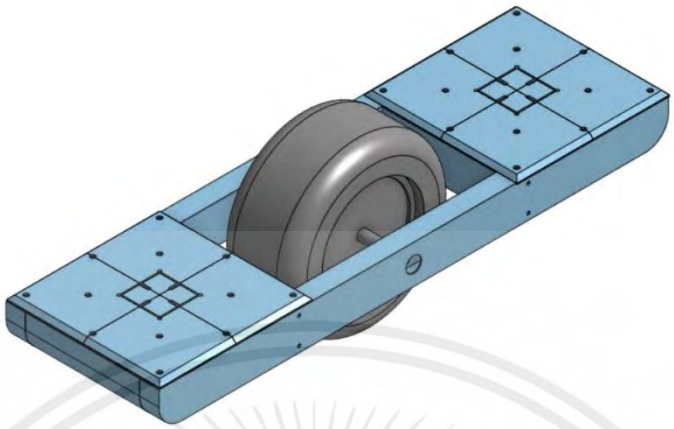
3.2 การออกแบบโครงสร้างของโฮเวอร์บอร์ด

จากที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1 หลักการการออกแบบ โดยหลักการออกแบบคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลักในหัวข้อ 3.1.1 ต้องการออกแบบให้โฮเวอร์บอร์ดสามารถรองรับน้ำหนักได้มากกว่า 100 กิโลกรัม ทำให้จะต้องเลือกใช้วัสดุที่แข็งแรงและเหมาะสำหรับงาน โดยวัสดุที่ใช้นั้นก็คือ “เหล็กกล่อง” ในการทำ Right Arm และ Left Arm เป็นส่วนรับน้ำหนักหลักของโฮเวอร์บอร์ด โดยเลือกใช้ที่ความกว้าง 3.8 เซนติเมตร สูง 75 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร และหนา 1.6 มิลลิเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการรับน้ำหนักประมาณ 100 - 120 กิโลกรัม

ในการยึดชิ้นงานเข้าด้วยกันจะใช้ Socket Bolt ขนาด M6 ในการยึดชิ้นงานเข้าด้วยกัน โดยจะใช้แหวนรองน็อตตัวเมีย และน็อตตัวเมียกันคลายในการยึดชิ้นงานเข้าด้วยกัน ทำให้แม้ว่าจะมีการสั่นสะเทือนก็จะไม่ทำให้น็อตคลาย ต่อมาในส่วนกล่องที่อยู่ตรงกลางที่ทำหน้าที่ยึดชิ้นงานและเป็นส่วนที่ใช้สำหรับใส่อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Main Board ที่สร้างขึ้นใช้สำหรับวาง Electronic components ต่างๆ และเป็นที่สำหรับใส่ Battery ของตัวโฮเวอร์บอร์ดโดยกล่องข้างหน้าจะใส่ Main Board และกล่องหลังจะใส่ Battery

ส่วนสุดท้ายคือส่วนของแผ่นเหล็กโดยจะทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักของผู้ใช้โดยจะเป็นส่วนที่อยู่บนกล่องจะมี 3D print มาปิดบนผิวเพื่อความสวยงาม

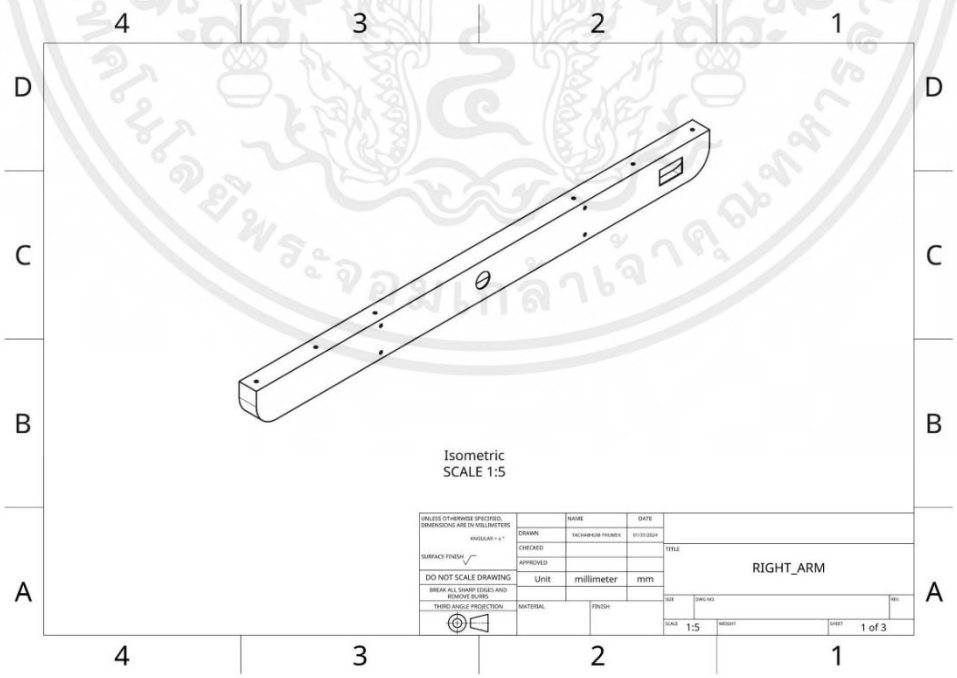
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด

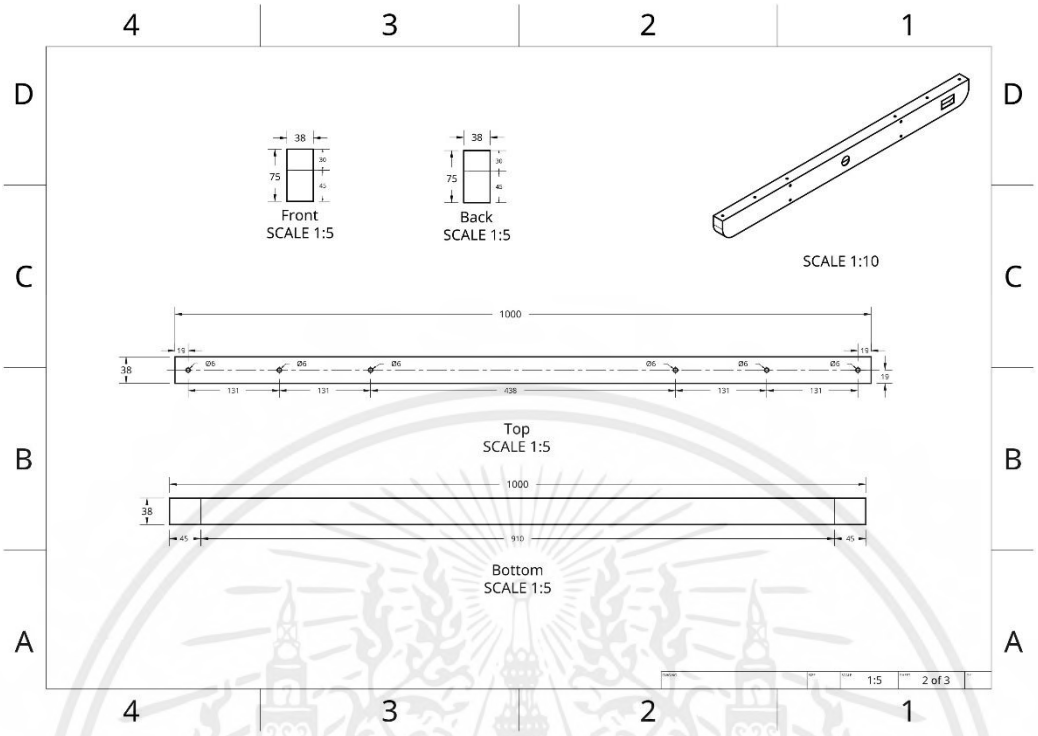
3.2.1 Right Arm

ส่วนนี้จะเป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนัก โดยภายในจะเป็นช่องให้สายไฟที่ต่อจาก Battery โดยจะต่อเข้ากล่องและสาย power จากกล่องก็จะอยู่ใน Right arm นี้ โดยจะมีช่องสำหรับสวิตปิดเปิดอยู่ทางท้ายของตัวโครงสร้าง และรูที่อยู่ตรงกลางของชิ้นงานคือช่องสำหรับ service ของล้อมอเตอร์ และใช้น็อต Socket bolt ในการเชื่อมเข้าไปจะทำให้โครงสร้างทั้งหมดเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นชิ้นงานชิ้นเดียวได้

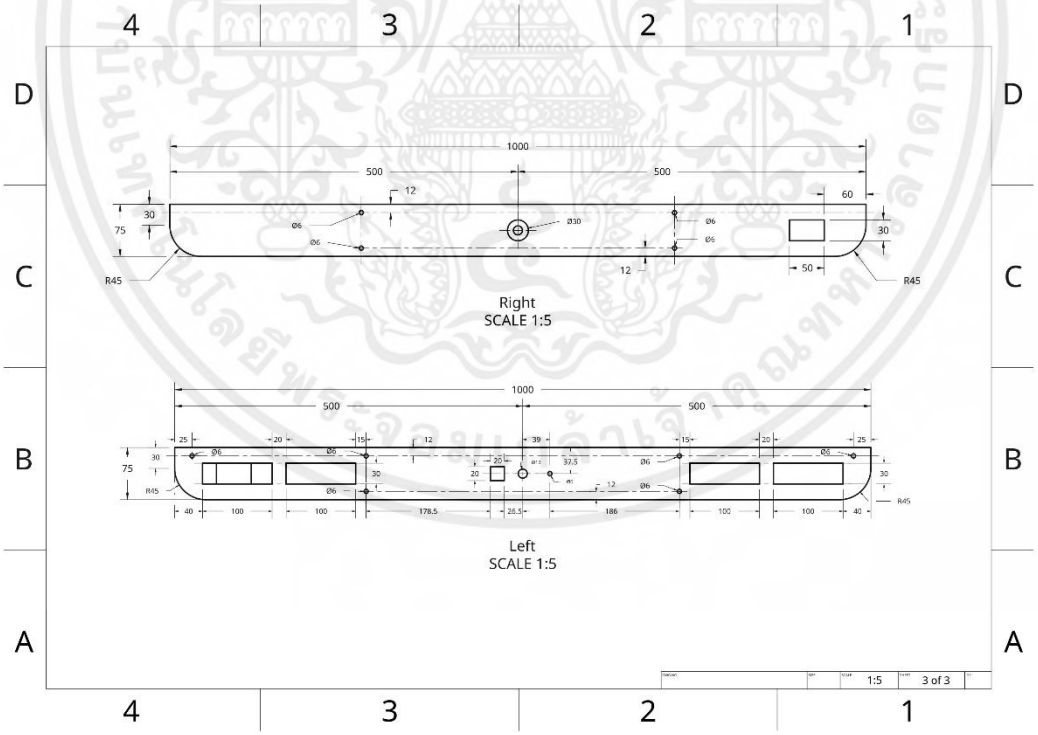


รูปที่ 3.2 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Right Arm (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Right Arm (2)

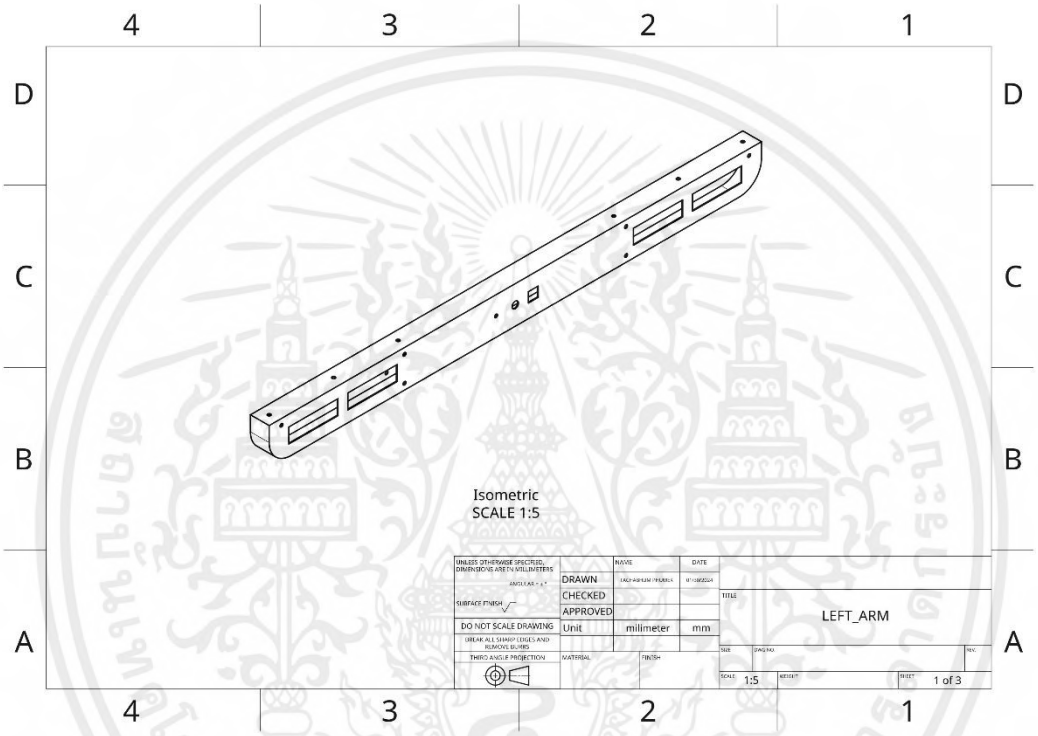


รูปที่ 3.4 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Right Arm (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

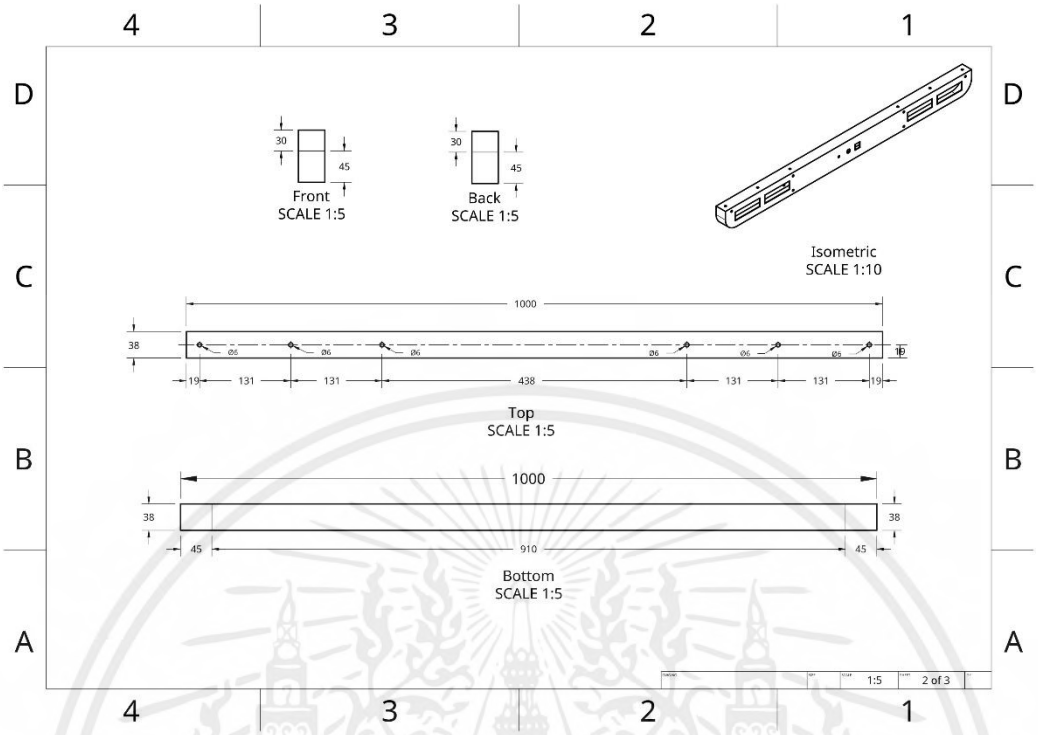
3.2.2 Left Arm

ส่วนนี้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก โดยภายในจะเป็นช่องให้สาย signal จาก main board สู่ component อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น force sensor, strip light LED ทั้ง 4 เส้น โดยจะง่ายต่อการ service เวลาที่ต้องการแก้ไขสายสัญญาณต่างๆในตัว Hoverboard และรูที่อยู่ตรงกลางของชิ้นงานคือช่องสำหรับ service สำหรับตัวล้อ และใช้น็อต Socket bolt ในการเชื่อมโครงสร้างทั้งหมดเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นชิ้นงานชิ้นเดียวได้

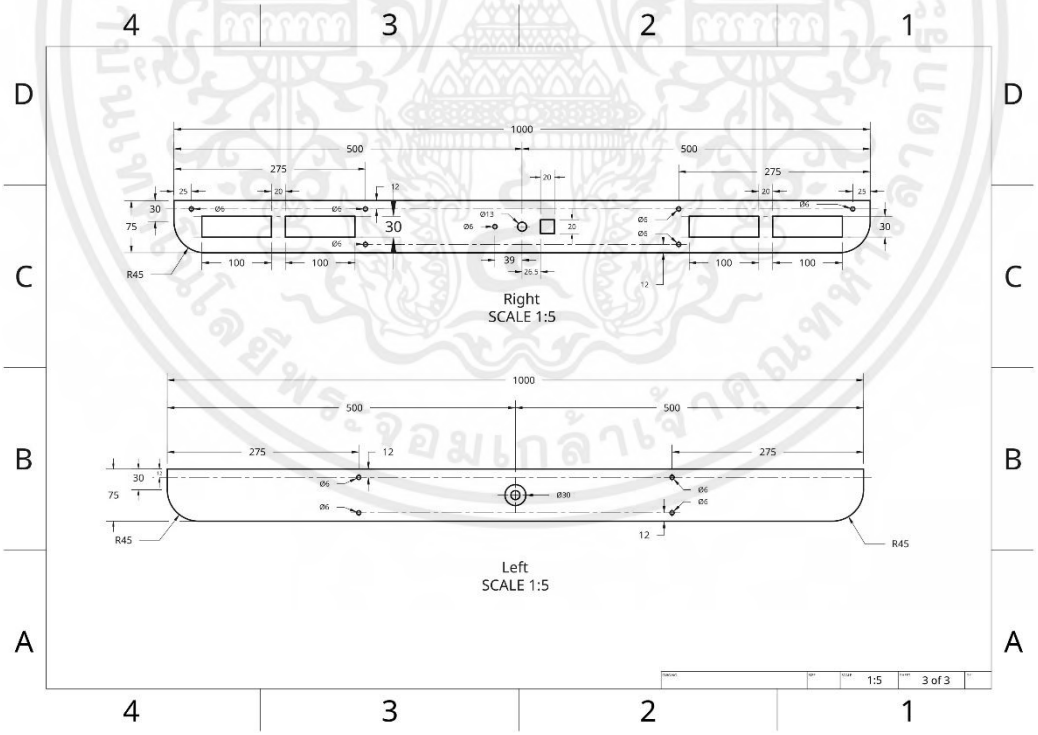


รูปที่ 3.5 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด –Left Arm (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด –Left Arm (2)

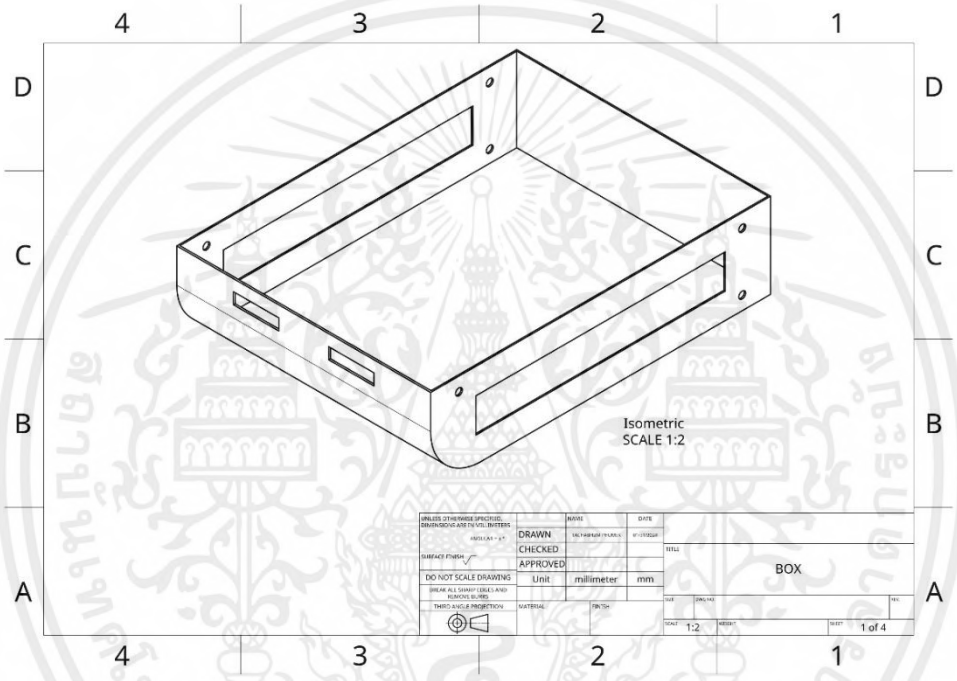


รูปที่ 3.7 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด –Left Arm (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

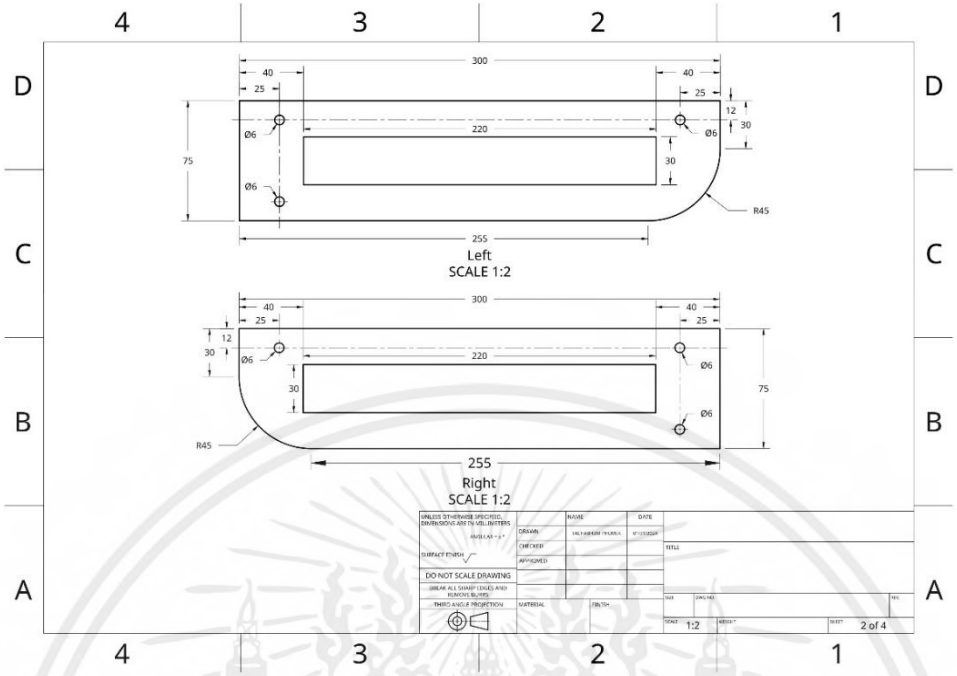
3.2.3 Box

จากรูปที่ 3.1 ชิ้นส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้เก็บอุปกรณ์ต่างๆ เช่น Mainboard, BLDC Controller และ Battery โดยนอกจากจะทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ภายในแล้วยังทำหน้าที่ในการเป็นตัวเชื่อมชิ้นงานทุกชิ้นต่อเข้าด้วยกัน โดย Box จะเชื่อมต่อกับ Right arm และ Left arm โดยใช้ Socket bolt M6 ในการขันเข้าด้วยกันทำให้ชิ้นงานเชื่อมต่อกับและใช้ แหวนรอง น็อตตัวเมีย และน็อตตัวเมียแบบกันคลายในการเชื่อมทั้งหมด ทำให้เมื่อเกิดการสั้นสะเทือนขณะใช้งานน็อตก็จะไม่คลายตัวระหว่างการใช้งาน

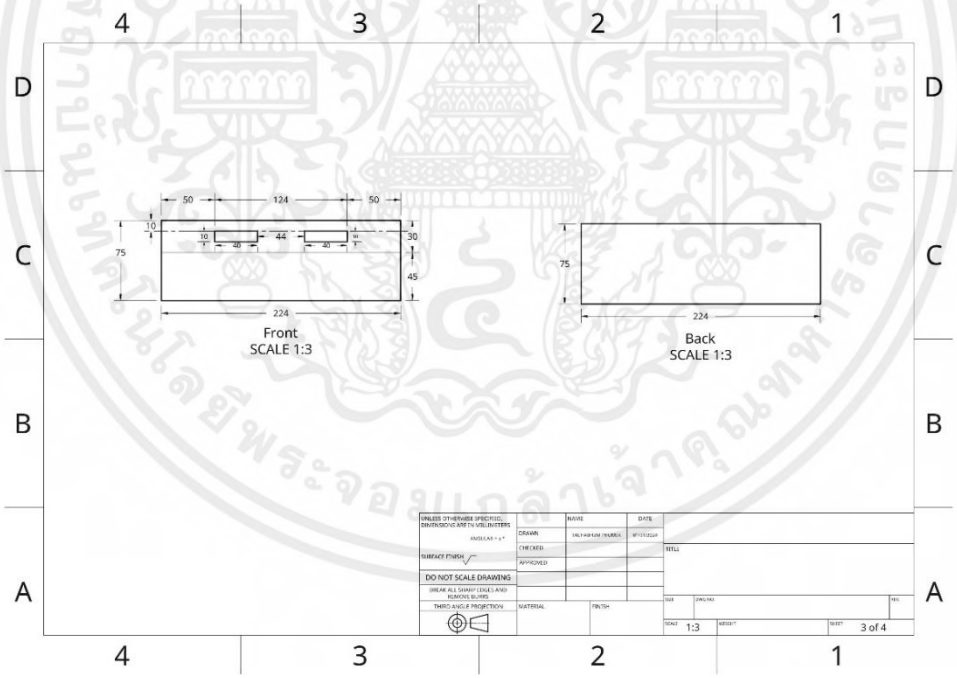


รูปที่ 3.8 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

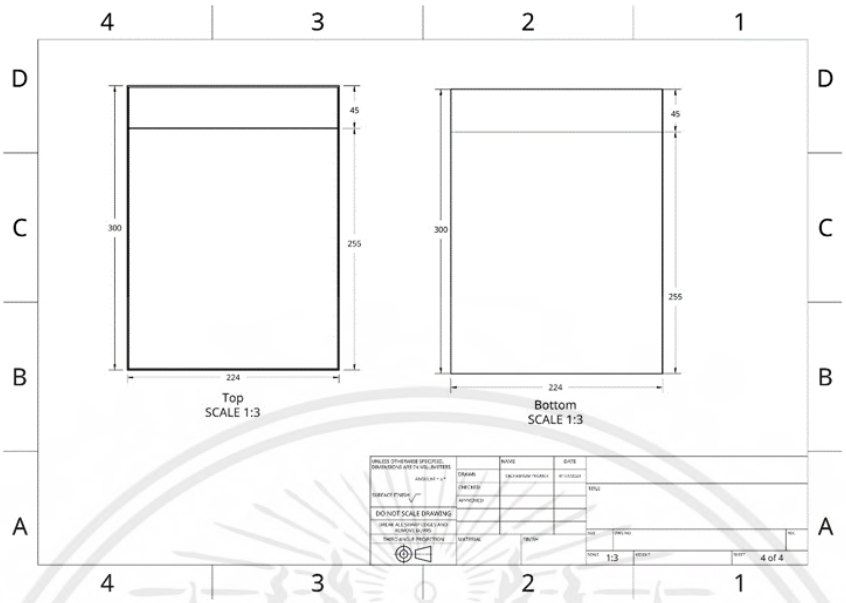


รูปที่ 3.9 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (2)



รูปที่ 3.10 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (3)

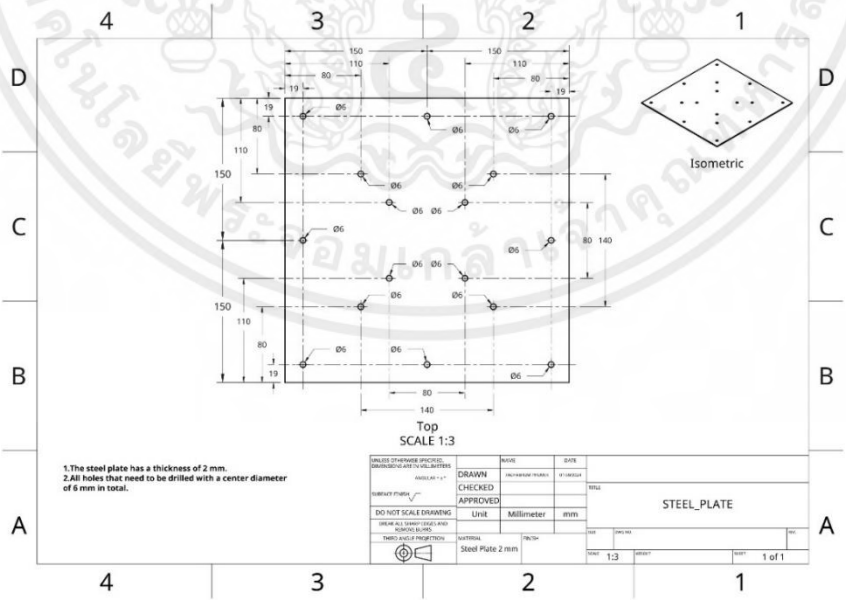
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Box (4)

3.2.4 Steel Plate

เป็นส่วนที่อยู่บน Right arm, Left arm, Box ทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักของผู้ใช้ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อ component ภายใน box โดยจะมี 3D print ใช้สำหรับปิดผิวด้านบนอีกชั้นเพื่อความสวยงาม และทำการยึดทั้งหมดด้วย Socket bolt M6 เข้าด้วยกันเพื่อความแข็งแรงจะใช้ แหวนรอง น็อตตัวเมีย และน็อตตัวเมียแบบกันคลายในการขันเข้าให้ชิ้นงานทั้งหมดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.12 แผนภาพโครงสร้างโฮเวอร์บอร์ด – Steel Plate (1)

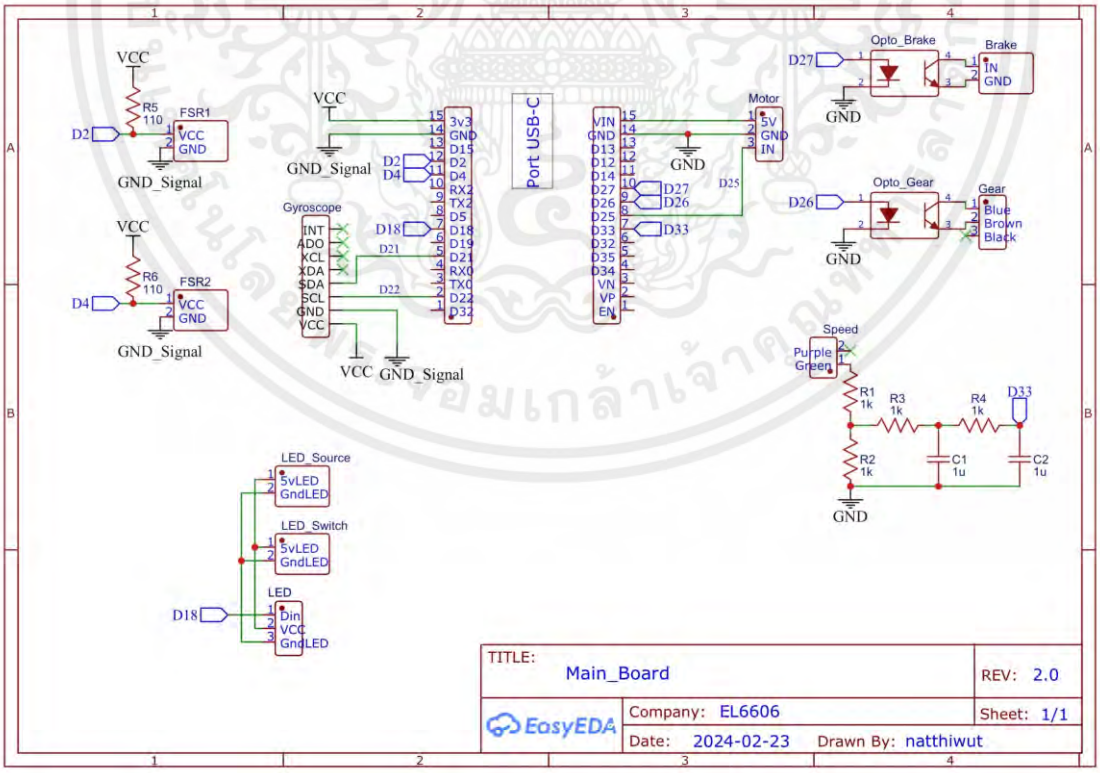
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบ Schematic และ ลาย PCB Main Board

เริ่มจากการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องใช้ทั้งหมด จากนั้นกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้งานขอแต่ละอุปกรณ์ และทำการออกแบบ schematic โดยเลือกอุปกรณ์ให้ตรงตามอุปกรณ์ที่ใช้งาน

หลักการออกแบบ Schematic ที่สำคัญ

1. ความถูกต้อง: สัญลักษณ์และการเชื่อมต่อทั้งหมดใน Schematic circuit จะต้องถูกต้อง ตรงตามข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์
2. ความชัดเจน: แผนผังควรมีการจัดวางองค์ประกอบอย่างเป็นระเบียบ อ่านง่าย เข้าใจง่าย
3. ความครบถ้วน: แผนผังควรมีข้อมูลครบถ้วน
   - ชื่อของอุปกรณ์
   - ค่าของอุปกรณ์
   - ขั้วต่อ
4. ความเรียบง่าย: หลีกเลี่ยงการใช้เส้นสายที่ยุ่งเหยิง ซับซ้อน
5. การอัปเดต: ออกแบบ Schematic circuit ให้สามารถอัปเดตได้ง่าย

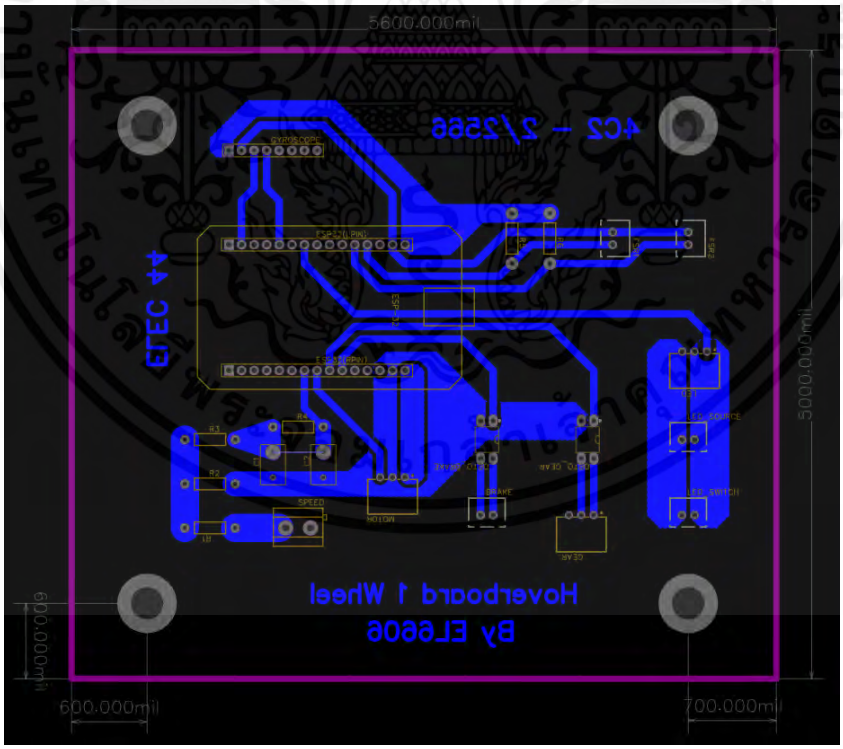


รูปที่ 3.13 Schematic ของ Mian board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาการออกแบบ PCB นี้ ออกแบบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพและความสะดวกในการใช้งาน โดยมีกหลักการดังนี้

1. ขนาด : กำหนดขนาดของ PCB ให้เหมาะสมพอที่จะใส่ลงใน Hoverboard ไม่ใหญ่หรือเล็กจนเกินไป
2. layer : พยายามออกแบบให้ได้อยู่ในเลเยอร์เดียว เพื่อให้ง่ายต่อการกัดปริ้นและบัดกรี
3. ระยะห่าง : กำหนดระยะห่างระหว่างเส้นทองแดงเพื่อให้กัดปริ้นได้ง่ายและไม่ทำให้เกิดการลัดวงจร รวมไปถึงการจัดวางอุปกรณ์ไม่ให้ชิดจนยากต่อการบัดกรี
4. การไหลของกระแส : ออกแบบความหนาของเส้นทองแดงโดยคำนึงถึงการไหลของกระแส
5. การลดสัญญาณรบกวน : จัดวางอุปกรณ์และเดินลายทองแดงในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อลดสัญญาณรบกวน
6. การจัดการความร้อน : ออกแบบ PCB ให้กระจายความร้อนได้ดี รวมไปถึงการจัดวางตัวต้านทางและ sensor
7. การเข้าถึงอุปกรณ์ : วางตำแหน่งอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานและตรวจสอบได้ง่าย

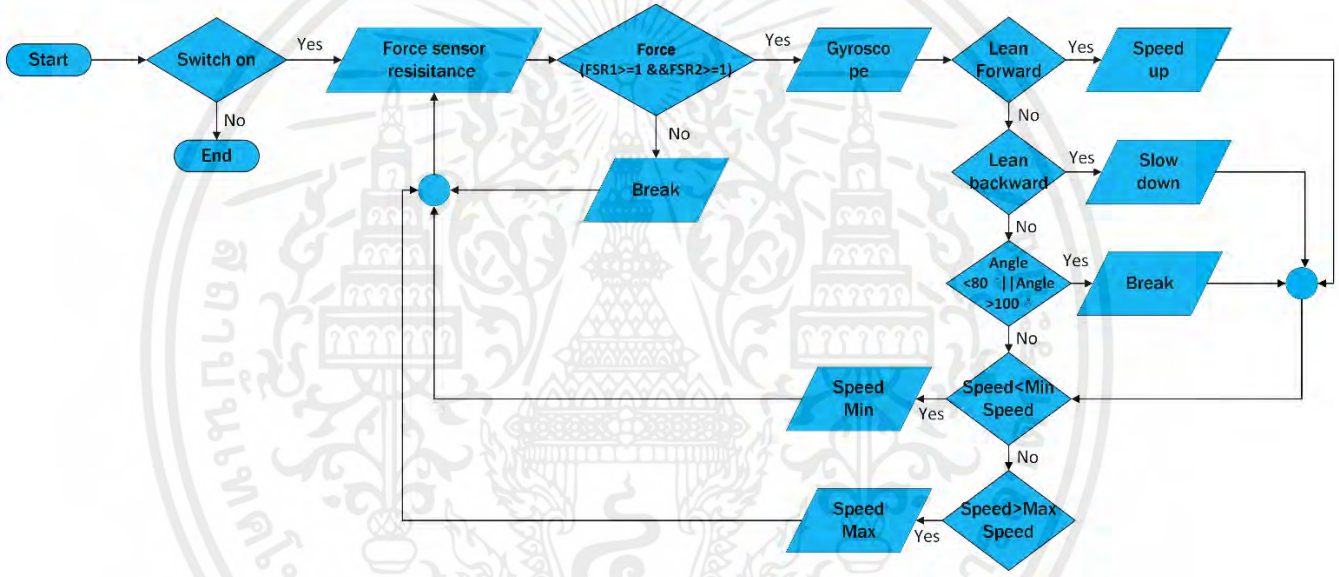


รูปที่ 3.14 ลาย PCB ของ Mian board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการทำงาน

เมื่อมีการสั่งการจากรีโมตควบคุมการทำงานให้เปิดการทำงานของโฮเวอร์บอร์ด มอเตอร์ของโฮเวอร์บอร์ดจะยังไม่ทำงาน จะมีทำงานก็ต่อเมื่อมีการขึ้นไปเหยียบบนโฮเวอร์บอร์ด โดยมี Force Sensor เป็นตัวรับแรงกดเพื่อเช็คว่ามีผู้ใช้ยืนบนบอร์ดหรือไม่ เมื่อมีการสัมผัสถึงค่าที่กำหนดโฮเวอร์บอร์ดจึงจะเริ่มทำงาน แต่เมื่อค่าไม่ถึงที่กำหนดไว้โฮเวอร์บอร์ดจะไม่มีการทำงาน และเมื่อยืนบนโฮเวอร์บอร์ดแล้วมีการเอนไปข้างหน้าจะทำการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ และเมื่อเอนไปข้างหลังจะทำการลดความเร็วลง แต่เมื่อมีการเอนไปข้างหลังอย่างกระทันหันจะทำการเบรคฉุกเฉินทันที โดยการทำงานในส่วนนี้จะมาจาก Gyroscope เมื่อเอนไปข้างหน้าหรือข้างหลังตามองศาที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 3.13 Flow chart การทำงานของโฮเวอร์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดสอบ

ทดสอบการทำงานของโฮเวอร์บอร์ดโดยการนำโค้ดที่เขียนใน Arduino IDE มาทดสอบกับโมดูลที่ได้ทำการประกอบขึ้นมา โดยทดสอบตามตารางที่ได้กำหนดไว้ และทดสอบความเร็วกับแรงดันไฟฟ้าของ Hoverboard โดยวัดที่ Measurement Line

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดสอบการทำงานอุปกรณ์โฮเวอร์เบอร์ด

ทดสอบโดยเริ่มต้นจากการที่ต้องมีแรงกดบน Force Sensor ทั้ง 2 ตัวเพื่อให้โฮเวอร์บอร์ดเปิดการทำงาน แต่ถ้า Force Sensor ไม่มีแรงกดหรือมีแรงกดบน Force Sensor เพียงแค่ตัวเดียว โอเวอร์บอร์ดจะไม่มีการทำงาน เมื่อโฮเวอร์บอร์ดมีแรงกดบน Force Sensor ทั้ง 2 ตัวเพื่อเปิดการททำงาน การเอนตัวไปข้างให้เป็นการเพิ่มความเร็ว และการเอนไปข้างหลังเป็นการลดความเร็ว และถ้าเอนข้างหลังจนสุดจะเป็นการหยุด

Force Sensor Resistor (1)	Force Sensor Resistor (2)	Gyroscope	Result
On	On	Lean Forward	Speed Up
On	On	Lean Backward	Slow Down
On	Off	Lean Forward	Deactivate
On	Off	Lean Backward	Deactivate
Off	On	Lean Forward	Deactivate
Off	On	Lean Backward	Deactivate
Off	Off	Lean Forward	Deactivate
Off	Off	Lean Backward	Deactivate

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดสอบการทำงานอุปกรณ์โฮเวอร์เบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วของมอเตอร์

จากการทดลองดังตารางที่ 4.2.2 เราจะได้ข้อมูลที่วัดเทียบจากสาย Measure line โดยเป็นการวัดเทียบสัญญาณจาก BLDC โดยตรง โดยเป็นการวัด Voltage ที่ตกคร่อมที่มอเตอร์ เนื่องจากการทดลองเป็นการเทสโดยไม่มีโหลด โดยเก็บผลความเร็วที่มอเตอร์ทำได้โดยเป็นการวัดจากการหน้าปัดที่ต่อเข้าตัว Measure line ของกล่อง BLDC Controller โดยเป็นการเทสที่เกียร์ 1 ซึ่งสามารถทำความเร็วได้มากสุดที่ 40 km/h

ความเร็ว (km/hr)	แรงดันไฟฟ้าตอนที่ไม่มีโหลด(V)
5	3.7
10	6.9
15	8.9
20	10.9
25	13.29
30	16.0
35	19.1
40	20.6

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของ One wheel hoverboard โดยประกอบไปด้วยการทดสอบการทำงานของกล่อง Control ว่าสามารถขับ BLDC Motor ขนาด 800 W ได้หรือไม่โดยทดสอบฟังชันพื้นฐานเช่นการเพิ่มความเร็วการเปลี่ยนเกียร์และการเบรก และในต่อมาเป็นการทดสอบในการนำ Module ที่ใช้ Arduino nano ในการสร้างขึ้นโดยต่อ FSR และ Gyroscope เพิ่มเข้าไปโดย FSR ทำหน้าที่เป็นตัวเช็คความปลอดภัยของผู้ใช้และใช้ Gyroscope เป็นตัวเร่งความเร็วและลดความเร็ว โดยหลังจากทดสอบกล่อง Control สามารถทำงานได้ปกติ สามารถใช้ Function ที่เทสได้ทั้งหมด และ Board สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการทั้งหมด

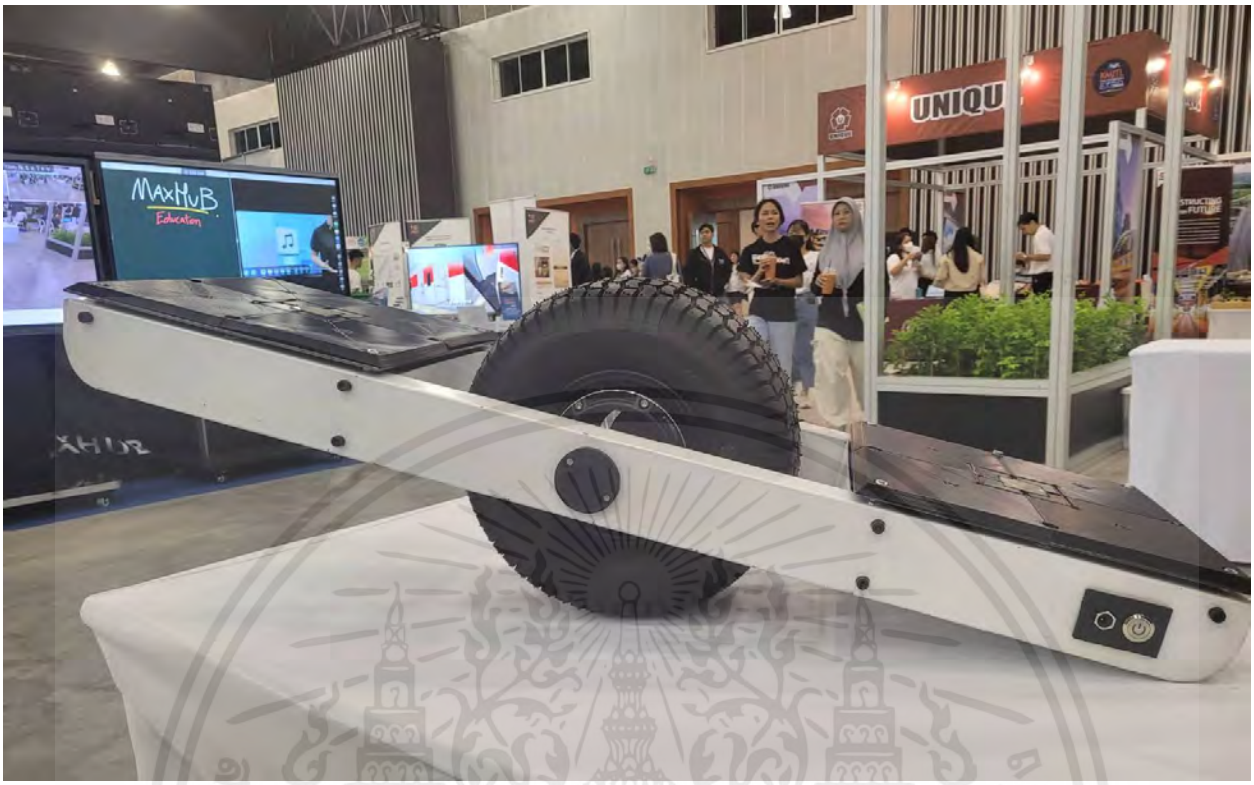
และเก็บผลการทดลองการทำงานของ Hoverboard เมื่อไม่มีโหลด (ไม่มีผู้ใช้งาน) จะพบว่ายิ่งเพิ่มความเร็ว แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟที่มอเตอร์ดึงไปใช้จะเพิ่มสูงขึ้นตามด้วยเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากแบตเตอร์รี่มีแรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างมาก ต้องมีความระมัดระวังในการทดสอบอุปกรณ์ และเนื่องด้วยระยะเวลาที่น้อยลงจากที่คาดการณ์ไว้ ทำให้อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้งานร่วมกับ Hoverboard ที่มีการเพิ่มขึ้นมานอกเหนือจาก Hoverboard นั้นเสร็จไม่สมบูรณ์ และการเก็บผลการทดลองใช้งาน Hoverboard นั้นไม่สมบูรณ์เนื่องจากผู้จัดทำไม่มีเวลามากพอในการฝึกซ้อมใช้งาน ทำให้ไม่สามารถเก็บผลการทดลองขณะที่มีการใช้งานได้ แต่ Hoverboard เสร็จสิ้นตามแผนที่ตั้งไว้ แม้อุปกรณ์ที่ใช้นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งอุปกรณ์และการทำงาน

ในโปรเจคชิ้นงานนี้มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์และโมดูลหลายชิ้น ทำให้ต้องมีการศึกษาข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์และไลบรารีแต่ละชิ้น และเนื่องจากงบประมาณที่มีอย่างจำกัด ในตอนแรกในส่วนของตัว Hoverboard ตัวกล่องที่เป็นตัวใส่เมนบอร์ดและ Battery นั้นมีการออกแบบให้เป็น 3D Print เพื่อลดน้ำหนักของตัว Hoverboard ให้น้อยลง แต่การที่จะปริ้นชิ้นงาน 3D ที่มีขนาดใหญ่ (30x30x7.5 cm) มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากทำให้ต้องมีการ Rewrite แบบใหม่ทั้งหมดเนื่องจากต้องปรับให้สามารถทำเป็นงานเหล็กได้ ผลที่ได้คือตัว Hoverboard มีความแข็งแรงมาก แต่ก็แลกมากับการที่น้ำหนักของ Hoverboard ที่มากขึ้นมากกว่าแบบแรกทำให้การพกพาได้ค่อนข้างยาก ปัญหาต่อมาคือการที่ชิ้นงานที่สั่งทำที่ได้มามีหลายๆจุดที่ต้องแก้ไขและเก็บงานเพื่อทำให้ได้ชิ้นงานตาม Drawing ที่ออกแบบไว้ ทำให้เสียเวลาไปกับการจัดการชิ้นงานมากเกินกว่าที่ตั้งใจไว้ และอุปรณ์ที่ใช้นั้นก็จัดซื้อตามงบ ทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย และเกิดความคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 Hoverboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] leonics.co.th Battery, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php

[2] th.jf-parede.pt Force Sensor, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://th.jf-parede.pt/what-is-force-sensor

[3] th.fmuser.net Gyroscope, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://th.fmuser.net/content/?20896.html

[4] toolmartonline.com เครื่องชาร์จแบตเตอรี่, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://toolmartonline.com/powertools/เครื่องชาร์จแบตเตอรี่-มีกี่ประเภท-และการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ/

[5] taradfilter.com เครื่องชาร์จอัตโนมัติ, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://www.taradfilter.com/trickle-charger-101/

[6] artronshop.co.th NodeMCU ESP32, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://www.artronshop.co.th/article/52/esp32-เบื้องต้น-บทที่-2-บอร์ดพัฒนา-esp32

[7] artronshop.co.th NodeMCU ESP8266, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://www.artronshop.co.th/article/11/esp8266-ตอนที่-1-รู้จักกับ-esp-และรุ่นที่นิยมใช้งาน

[8] hmong.in.th RF module, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก https://hmong.in.th/wiki/RF_transceiver

[9] 9engineer.com BLDC Motor, สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2566,

จาก http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] ligman.com LED strip light, สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2566,

จาก https://www.ligman.com/th/what-is-led-strip

[11] psptech.co.th. ตัวต้านทาน, สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2566,

จาก http://www.psptech.co.th/ตัวต้านทานresistorคืออะไร-14842.page

[12] futurekit.com Arduino NANO, สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2566,

จาก https://www.futurekit.com/th/content/10848/ทำความรู้จักกับบอร์ด-nano

[13] raisegeniusschool.com Hoverboard, สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2566,

จาก https://www.raisegeniusschool.com/เทคโนโลยีที่ทำให้คุณลอ/

[14] kemsys.medium.com BLDC Controller, สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2566,

จาก https://kemsys.medium.com/bldc-motor-controller-69189b0c0105

[15] fahchy.com LCD, สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2567,

จาก https://www.fahchy.com/content/11696/หน้าจอแบบ-lcd-และ-led-แตกต่างกันอย่างไร-

[16] praphas.com Basic ESP32, สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2567,

จาก https://www.praphas.com/forum/index.php?board=30.0

[17] dronebotworkshop.com Using GC9A01 Round LCD Modules, สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2567,

จาก https://dronebotworkshop.com/gc9a01/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <FastLED.h>

#include <MPU6050.h>

MPU6050 mpu;

// ตัวแปร pin

#define FSR1_PIN    2

#define FSR2_PIN    4

#define LED_PIN     18

#define MOTOR_PIN   25

#define GEAR_PIN    26

#define BRAKE_PIN   27

#define SPEED_PIN   33

// LED

#define LED_COUNT 32

CRGB leds[LED_COUNT];

int current_led = 0;

int direction = 1;

int current_phase = 0;

// ตัวแปรค่าต่างๆ

float y;

int y_angle, speed, accel, force, brake;

int minSpeed, maxSpeed;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int FSR1, FSR2;

int mapFSR1, mapFSR2;

int gear, dial;

void setup() {

  // เริ่ม serial

  Serial.begin(115200);

  // เริ่มต้นการเชื่อมต่อกับโมดูล MPU6050

  mpu.initialize();

  // Setting_PIN

  pinMode(FSR1_PIN  , INPUT);    //FSR1

  pinMode(FSR2_PIN  , INPUT);    //FSR2

  pinMode(LED_PIN   , OUTPUT);    //LED

  pinMode(MOTOR_PIN , OUTPUT);    //Motor

  pinMode(GEAR_PIN  , OUTPUT);    //Gear

  pinMode(BRAKE_PIN , OUTPUT);    //Brake

  pinMode(SPEED_PIN , INPUT);    //Speed

  y_angle = 90;   // แกน Y

  speed = 0;       // ความเร็วเริ่มต้น

  accel = 1;       // อัตราเร่งต่อองศา

  force = 1;       // ค่าของ FSR ทีทำให้วงจรทำงาน

  minSpeed = 0;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  maxSpeed = 255;  //255
  gear = 1;
  //LED
  FastLED.addLeds<WS2812B, LED_PIN, GRB>(leds, LED_COUNT);
  // ตั้งค่าสีเริ่มต้น
  for (int i = 0; i < LED_COUNT; i++) {
    leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
  }
}
int forceSen() {
  // อ่าน FSR
  FSR1 = 1023-analogRead(FSR1_PIN);
  FSR2 = 1023-analogRead(FSR2_PIN);
  // map ค่า
  mapFSR1 = map(FSR1,0,1023,0,5);
  mapFSR2 = map(FSR2,0,1023,0,5);
  return mapFSR1, mapFSR2;
}
int gyroSen() {
  // อ่านค่าองศาแกน y
  y = mpu.getAccelerationY();
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  // map ค่า
  y_angle = map(y,-16800,16800,0,180);
  return y_angle;
}
void rainbow_wave_effect(CRGB leds[], int led_count, int &current_phase) {
  // เพิ่มค่า current_phase
  current_phase++;
  // คำนวณค่าสีสำหรับแต่ละ LED
  for (int i = 0; i < led_count; i++) {
    float hue = (float)current_phase / (float)led_count + (float)i / (float)led_count;
    leds[i] = CHSV(hue, 255, 255);
  }
  FastLED.show();
}
void gearSw() {
  switch (gear) {
    case 1:
      // opto on
      digitalWrite(GEAR_PIN, HIGH);
      break;
    case 2:
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      // opto off
      digitalWrite(GEAR_PIN, LOW);
      break;
  }
}
int speedDial() {
  dial = analogRead(SPEED_PIN);
  return dial;
}
void printValue() {
  // แสดงค่าต่างๆ
  Serial.print("FSR_1: ");
  Serial.println(mapFSR1);
  Serial.print("FSR_2: ");
  Serial.println(mapFSR2);
  Serial.print("y: ");
  Serial.println(y_angle);
  Serial.print("speed: ");
  Serial.println(speed);
  Serial.print("Gear: ");
  Serial.println(gear);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Serial.print("Brake: ");
  Serial.println(brake);
  Serial.print("Speed Dial: ");
  Serial.println(dial);
  Serial.print("SW: ");
  Serial.println(swState);
  Serial.println("----------");
  // หน่วงเวลา
  delay(200);
}
void loop() {
  rainbow_wave_effect(leds, LED_COUNT, current_phase);
  forceSen();
  gyroSen();
  gearSw();
  speedDial();
  printValue();
  if (mapFSR1 >= force && mapFSR2 >= force){   // ตรวจ FSR
    // ตรวจสอบเงื่อนไข
   if (y_angle < 89 && y_angle >= 80) {
     digitalWrite(BRAKE_PIN, LOW);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    // เพิ่มค่า speed
    speed += (90 - y_angle) * 1;
  } else if (y_angle > 91 && y_angle <= 100) {
    digitalWrite(BRAKE_PIN, LOW);
    // ลดค่า speed
    speed -= (y_angle - 90) * 1;
  } else if (y_angle < 80 || y_angle > 100) {
    // ส่งคำสั่ง Brake
    speed = 0;
    digitalWrite(BRAKE_PIN, HIGH);
  }
  // ตรวจสอบและจำกัดค่า speed
  if (speed < minSpeed) {
    speed = minSpeed;
  } else if (speed > maxSpeed) {
    speed = maxSpeed;
  }
}
else{
  // ส่งคำสั่ง Brake
  speed = 0;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(BRAKE_PIN, HIGH);
  }
  // ส่ง Output
  analogWrite(MOTOR_PIN, speed);
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้