เรือไฟฟ้าและเครื่องให้อาหารปลาควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย

ELECTRIC BOAT AND FISH FEEDER MACHINE CONTROLLED BY WIRELESS REMOTE COTNROL

ก้องภพ วงษ์นอก

ปฏิภาณ แสงแดง

ศุภกร สุทธิสาคร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRIC BOAT AND FISH FEEDER MACHINE CONTROLLED BY WIRELESS REMOTE COTNROL

KONGPHOP WONGNOK
PATIPAN SANGDANG
SUPPAKORN SUTTISAKORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถามบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เรือไฟฟ้าและเครื่องให้อาหารปลาควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย ELECTRIC BOAT AND FISH FEEDER MACHINE CONTROLLED BY WIRELESS REMOTE COTNROL		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายก้องภพ	วงษ์นอก	รหัสนักศึกษา 63015013
	นายปฏิภาณ	แสงแดง	รหัสนักศึกษา 63015105
	นายศุภกร	สุทธิสาคร	รหัสนักศึกษา 63015175
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2564		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เรือไฟฟ้าและเครื่องให้อาหารปลาควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย
ELECTRIC BOAT AND FISH FEEDER MACHINE CONTROLLED BY WIRELESS REMOTE COTNROL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายก้องภพ วงษ์นอก รหัสนักศึกษา 63015013
นายปฏิภาณ แสงแดง รหัสนักศึกษา 63015105
นายศุภกร สุทธิสาคร รหัสนักศึกษา 63015175

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์

ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาเรือไฟฟ้าและเครื่องให้อาหารปลาควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาใช้การพายเรือด้วยแรงคนในการให้อาหารปลาซึ่งสิ้นเปลืองทั้งเวลาและแรงงานมนุษย์ ดังนั้นโครงงานนี้จึงออกแบบและสร้างเรือไฟฟ้าที่มีเครื่องให้อาหารปลาที่สามารถควบคุมจากระยะไกลแบบไร้สายเพื่อช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ตัวเรือทำจากสแตนเลสมีความแข็งแรงทนทาน สามารถโดยสารได้ 2 ที่นั่ง โดยมีแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว 12 V 7 Ah จำนวน 2 ก้อน เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานเพื่อจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 V โดยมอเตอร์จะทำการส่งกำลังผ่านการทดเฟืองเพื่อเพิ่มแรงบิดในการขับเคลื่อนให้สูงขึ้น โดยมีระบบช่วยในการขับขี่ด้วยจอยสติกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งเรือไฟฟ้าและเครื่องให้ อาหารปลาควบคุมระยะไกลแบบไร้สามารถบรรทุกได้สูงสุด 300 กิโลกรัม และทำความเร็วได้สูงสุด 8.2 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีระยะเวลาในการใช้งาน 2 ชั่วโมงต่อการชาร์จ 1 ครั้ง ในการทดสอบจากการให้อาหารปลาในสถานที่จริงสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	ELECTRIC BOAT AND FISH FEEDER MACHINE CONTROLLED BY WIRELESS REMOTE COTNROL		
Authors	Mr. KONGPHOP	WONGNOK	Student ID. 63015013
	Mr. PATIPAN	SANGDANG	Student ID. 63015105
	Mr. SUPPAKORN	SUTTISAKORN	Student ID. 63015175
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol Suesut		
Year	2021		

ABSTRACT

This thesis is to develop an electric boat and fish feeder using wireless remote control. Because nowadays, fish farmers use manual rowing to feed fish, which consumes both time and human labor. Therefore, this project designed and built an electric boat with a wireless remote control fish feeder to help solve the problem. The strong and durable boat is made of stainless steel, which can accommodate 2 passengers. Two sets of 12 V 7 Ah lead-acid batteries use as an energy storage to supply power to a 24 V DC brushed motor. The motor will transmit power through gears to increase torque. in driving higher, it has a joystick driving assistance system to increase safety in use. which electric boats and machines providing unmanned remote control fish food can carry a maximum load of 300 kg and a maximum speed of 8.2 km/h. It has a duration of use of 2 hours per 1 charge. The feeding test in real-world fish can be used very well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์.ดร. ทวีพล ซื่อสัตย์ ที่คอยสนับสนุนด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณ คุณเอนก สร้อยทรัยพ์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทดสอบเรือไฟฟ้าและเครื่องให้อาหารปลาควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย รวมไปถึงการให้คำแนะนำเรื่องการให้อาหารปลาแต่ละชนิดที่อยู่ภายในบ่อเลี้ยง ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า อันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่จะลืมไม่ได้ คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพอย่างยิ่งที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบรรดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีคุณค่าและมีประโยชน์ต่อผู้อื่น ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณแด่ผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่คอยสนับสนุน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....X

สารบัญรูปภาพ.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 DC มอเตอร์.....3

2.1.1 การทำงาขอองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....3

2.1.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....5

2.1.3 มอเตอร์ชนิดแปรงถ่าน.....7

2.1.4 มอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน.....8

2.1.5 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (PMSM).....9

2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....10

2.2.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter).....10

2.2.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter).....10

2.2.3 วิธีการเลือกอินเวอร์เตอร์ (Inverter).....11

2.2.4 ข้อดีของการใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์.....12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกล....12
2.3.1 ระบบส่งกำลังด้วยเฟือง....12
2.3.2 ระบบการส่งกำลังด้วยโซ่....17
2.3.2.1 ส่วนประกอบหลักของโซ่....17
2.3.3 ระบบการส่งกำลังด้วยสายพาน....18
2.3.3.1 ประเภทของสายพาน....19
2.4 มอเตอร์ไดรฟ์ (Motor Drive)....20
2.4.1 เหตุผลในการใช้มอเตอร์ไดรฟ์....20
2.4.2 การควบคุมการเร่งความเร็ว....21
2.4.3 ประหยัดพลังงานโดยใช้ตัวขับความเร็วที่ปรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ....21
2.4.4 ประเภทของไดรฟ์....22
2.4.5 ไดรฟ์เครื่องกล....22
2.4.6 ไดรฟ์ปรับความเร็วไฮดรอลิก Adjustable....23
2.4.7 ระบบส่งกำลังแบบแปรผันอย่างต่อเนื่อง (CVT)....23
2.4.8 ไดรฟ์ปรับความเร็วด้วยไฟฟ้า....23
2.4.9 ประเภทของการควบคุม....24
2.4.10 ประเภทของไดรฟ์....24
2.5 GPS Module....26
2.6 Receiver....27
2.7 วิทยุบังคับ (Remote Control/Transmitter)....27
2.8 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)....29
2.8.1 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์....29
2.8.2 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์....30
2.8.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์....32
2.8.4 โครงสร้างของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์....33
2.8.5 องค์ประกอบในการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 แบตเตอรี่.....35
2.9.1 แบตเตอรี่ทำงานอย่างไร.....38
2.9.2 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน.....39
2.10 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงEVO24V120 Brushed DC Motor Driver.....39
2.11 ทฤษฎีการคำนวณเลือกมอเตอร์.....40
2.11.1 สมการความเฉื่อยพื้นฐาน (J).....40
2.11.2 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยจากวัตถุเคลื่อนที่.....40
2.11.3 โมเมนต์การคำนวณความเฉื่อยสำหรับกระบอกสูบ.....41
2.11.4 โมเมนต์ความฉื่อยสำหรับกระบอกสูบ.....41
2.11.5 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยเยื้องศูนย์ของแกน.....41
2.11.6 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยโครงสร้างวัตถุแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....42
2.11.7 การคำนวณค่าโมเมนต์วัตถุคลื่อนที่เชิงเส้น.....42
2.11.8 หน่วยการวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อย.....42
2.11.8.1 การคำนวณ oz-in² ถึง oz-in-sec².....42
2.11.9 แรงบิด.....43
2.11.10 แรงบิดโหลด(*T*).....43
2.11.11 สมการแรงบิดโหลดจากการวัดจริง.....44
2.11.12 แรงกระทำ.....44
2.11.13 การคำนวณแรงกระทำแนวดิ่ง.....44
2.11.14 การคำนวณแรงกระทำแนวระนาบ.....44
2.11.15 การคำนวณแรงกระทำแนวเอียง.....45
2.11.16 การคำนวณแรงบิดโหลดในการขับบอลสกรู.....45
2.11.17 การคำนวณแรงบิดโหลดในการขับพูลเล่ย์.....45
2.11.18 การคำนวณแรงบิดโหลดในการขับสายพาน,แร็ก และ พีเนียน.....46
2.11.19 แรงบิดในการเร่ง.....46
2.11.20 การคำนวณแรงบิดในการเร่ง (*Ta*).....46
2.11.21 สูตรพื้นฐานสำหรับมอเตอร์ทั้งหมด.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11.22 การคำนวณหาแรงบิดในการเร่งของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ หรือ เซอร์โวมอเตอร์ บนพื้นฐานของความเร็วของการจ่ายพัลส์. 47

2.11.23 การคำนวณค่าแรงบิดที่ต้องการ (*TM*) 48

2.11.24 การคำนวณหาค่าแรงบิดโหลดที่มีประสิทธิภาพ (*Trms*) สำหรับเซอร์โวมอเตอร์และมอเตอร์ชนิดไร้แปรง BX ซีรี่ส์. 48

2.11.25 ความเร็ว 49

2.11.26 การคำนวณความเร็วมาตรฐาน 49

2.12 ทฤษฎีการคำนวณความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า 49

2.13 ลักษณะของท้องเรือ 51

2.14 ทฤษฎีการคำนวณหาความลึกของน้ำ 52

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 53

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ 53

3.1.1 เรือสแตนเลสขนาด 2 ที่นั่ง 53

3.1.2 ชุดหางเสือเรือ 54

3.1.3 ชุดตู้คอนโทรล 54

3.1.4 ชุดเมนไฟ 55

3.1.5 ชุดอุปกรณ์ให้อาหารปลา 55

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม 56

3.2.1 รีโมทคอนโทรล LFY SKY 2.4Ghz FS-i6X. 56

3.2.2 รีซีฟเวอร์ FS-IA6B 6 Channel 56

3.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ 35 Kg 57

3.2.4 Motor เกียร์ทด 250w 24v 57

3.3 การสร้างและออกแบบ 58

3.3.1 ออกแบบชุดเมนไฟ 58

3.3.2 ออกแบบแท่นวางServo Motor และชุดหมุนหางเสือ 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 ออกแบบชุดให้อาหารปลา....59
3.4 การออกแบบระบบกำลังในเรือไฟฟ้า....59
3.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน....61
3.5.1 ออกแบบโครงสร้างเรือโดยใช้โปรแกรม Sketch up Pro 2022. 61
3.5.2 ออกแบบระบบควบคุมเรือ....61
3.5.3 ติดตั้งหางเสือพร้อมกับสลิงที่เซอร์โวใช้ในการเลี้ยว....65
3.5.4 ติดตั้งกล่องคอนโทรลและชุดบอร์ด Pixhawk รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ....65
3.5.5 เชื่อมเสาเพื่อเป็นจุดยึด Servo และชุด Main Power....66
3.5.6 นำเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไปลงในบ่อที่มีการประมงน้ำจืด....66

บทที่ 4 ผลการทดลอง....67
4.1 ผลการทดลอง....67
4.1.1 ผลการทดลองวัดค่าความเร็ว....67
4.1.2 ผลการทดลองวัดค่ากระแส....68
4.1.3 ผลการทดลองวัดค่าพลังงานที่ใช้ไป....68
4.2 ผลการดำเนินงาน....69

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....72
5.1 สรุปผลการทดลอง....72
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหา....73
5.2.1 ปัญหาที่พบ....73
5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา....73
5.3 ข้อเสนอแนะ....73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม.....74

ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย.....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 การกำหนดสเปกของเรือไฟฟ้า....59
3.2 รายละเอียดอุปกรณ์ระบบควบคุมเรือ....62
3.3 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านบนในตารางที่1)....62
3.4 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านล่าง)....64
4.1 ทดลองวัดค่าความเร็ว....67
4.2 ทดลองวัดค่ากระแส....68
5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 Stator....3

2.2 โรเตอร์และขดลวดสนามแม่เหล็ก....4

2.3 โครงสร้างของมอเตอร์....4

2.4 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)....5

2.5 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)....5

2.6 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอทชันท์ (Short Shunt Compound Motor)....6

2.7 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลองชั้นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor)....6

2.8 มอเตอร์ชนิดมีแปลงถ่าน....7

2.9 มอเตอร์ชนิดไร้แปลงถ่าน....8

2.10 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (PMSM)....9

2.11 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)....10

2.12 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)....11

2.13 ระบบส่งกำลังด้วยฟันเฟือง....12

2.14 เฟืองตรง (Spur Gears)....13

2.15 เฟืองสะพาน (Rack Gears)....13

2.16 เฟืองวงแหวน (Internal Gears)....14

2.17 เฟืองเฉียง (Helical Gears)....14

2.18 เฟืองเฉียงก้างปลา (Herringbone Gears)....15

2.19 เฟืองดอกจอก (Bevel Gears)....15

2.20 เฟืองตัวหนอน (Worm Gears)....16

2.21 เฟืองเกลียวสกรู (Spiral Gears)....16

2.22 ระบบส่งกำลังด้วยโซ่....17

2.23 ส่วนประกอบหลักของโซ่....17

2.24 ระบบการส่งกำลังด้วยสายพาน....18

2.25 ชุดมอเตอร์ไดรฟ์ความถี่แปรผัน....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.26 การประหยัดพลังงานโดยใช้ตัวขับความเร็ว....22
2.27 VFD กราฟ....25
2.28 GPS Module M8N with 3 Axis Compass....26
2.29 บอร์ด Pixhawk 2.4.8....27
2.30 วิทยุบังคับ (Remote Control/Transmitter)....28
2.31 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)....29
2.32 นิยามตามคู่มืออ้างอิงเซอร์โวฉบับภาษาเยอรมัน....30
2.33 โครงสร้างของ AC servo Motor....31
2.34 แสดงวัสดุที่นำมาสร้างแม่เหล็กถาวร....32
2.35 โครงสร้างและการทำงานของ AC Servo Motor....32
2.36 โครงสร้างของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์....33
2.37 คอนโทรลเลอร์ (Controller)....34
2.38 เซอร์โวไดรฟ์เวอร์ (Servo Driver)....34
2.39 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)....35
2.40 แบตเตอรี่ (Battery)....36
2.41 การต่อแบบขนาน....37
2.42 การต่อแบบอนุกรม....37
2.43 การต่อแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน....38
2.44 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงEVO24V120 Brushed DC Motor Driver....39
2.45 เรือแบบท้องวี....51
2.46 เรือแบบท้องแบน....51
2.47 เรือแบบท้องสามลอน....52
3.1 เรือสแตนเลสขนาด 2 ที่นั่ง....53
3.2 ชุดหางเสือเรือ....54
3.3 ชุดตู้คอนโทรล....54
3.4 ชุดเมนไฟ....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.5 ชุดอุปกรณ์ให้อาหารปลา....55
3.6 รีโมทคอนโทรล LFY SKY 2.4Ghz FS-i6X....56
3.7 รีซีฟเวอร์ FS-IA6B 6 Channel....56
3.8 เซอร์โวมอเตอร์ 35 Kg....57
3.9 Motor เกียร์ทด 250w 24v....57
3.10 ออกแบบชุดเมนไฟ....58
3.11 ออกแบบแท่นวางServo Motorและชุดหมุนหางเสือ....58
3.12 ออกแบบชุดให้อาหารปลา....59
3.11 รูปทรงการออกแบบเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย....61
3.12 การออกแบบระบบควบคุมเรือ....61
3.13 Pixhawk connectors ตัวเชื่อมต่อสัญญาณ PWM ด้านบนและด้านล่าง....64
3.14 ติดตั้งมอเตอร์เข้ากับหางเสือเรือจากนั้นก็ยึดหางเสือเรือที่จุดกึ่งกลางท้ายเรือ....65
3.15 ชุดกล่องคอนโทรล....65
3.16 (ก) เชื่อมเสายึดจุดด Servo....66
(ข) ติดตั้งชุดกำลังลงไปในเสายึด....66
(ค) ติดตั้งชุด Servo พร้อมกับแกนในการหมุน....66
3.17 ทดลองนำเรือไปวิ่งในบ่อด้วยจอยสติกและ GPS....66
4.1 ทดลองเรือในขณะที่ไม่มีโหลด....70
4.2 ทดลองเรือในขณะที่มีโหลด 70 กิโลกรัม....70
4.3 ทดลองเรือในขณะที่มีโหลด 150 กิโลกรัม....71
4.4 ทดลองเรือในขณะที่มีโหลด 250 กิโลกรัม....72
ก.1 ชุด Main Power ของเรือ....75
ก.2 ชุดจอยสติกไร้สาย....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย คือ เรือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 100% ภาษาอังกฤษเรียกว่า Electric Vehicle หรือเรียกสั้นๆว่า EV เป็นยาพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์โดยใช้พลังงานไฟฟ้า ที่กักเก็บอยู่ภายในแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นๆและด้วยข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้แรงบิดได้ในทันทีและมีอัตราเร่งที่เรียบและรวดเร็วซึ่งมีความเหนือกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน รวมถึงการลดมลภาวะทางอากาศเนื่องจากไม่มีการเผาไหม้ของน้ำมันที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกเหนือจากการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้วยังมีข้อได้เปรียบกว่าเครื่องยันสันดาปภายในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายและการซ่อมบำรุง เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีราคาสูงและมีความไม่แน่นอนในเรื่องของราคาเนื่องจากมีปัจจัยที่หลากหลายต่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ในส่วนของการซ่อมบำรุงจะไม่เสียเวลาในการเปลี่ยนถ่ายนำมันเครื่อง จึงทำให้การดูและรักษาเป็นเรื่องที่เรียบง่าย และยังสามารถชาร์จแบตเตอรี่ภายในบ้านได้ ไม่ต้องเสียเวลาออกไปเติมน้ำมัน

โดยในปัจจุบันทั่วโลกเริ่มมีการพัฒนาด้านการควบคุมแบบไร้คนขับและควบคุมระยะไกลอย่างรวมถึงการหาพลังงานทดแทนเพื่อลดสภาวะโลกร้อนแพร่หลายมากขึ้นเอง ทางผู้พัฒนาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการควบคุมระยะไกลด้วยรีโมทคอนโทรลและการลดสภาวะโลกร้อน จึงได้ริเริ่มพัฒนาเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย เพื่อความสะดวกสบายและลดการเกิดอุบัติเหตุหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากตัวมนุษย์รวมถึงการลดภาวะโลกร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อพัฒนาและควบคุมเรือจากระยะไกลด้วยจอยสติกไร้สาย

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้าในรูปแบบเรือ เพื่อใช้ในการบรรทุกหรือใช้ในทางการเกษตรและการประมงน้ำจืด

1.2.3 เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งาน

1.2.4 เพื่อเป็นทางเลือกของเกษตรกร

1.2.5 เพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุจากการทำประมงน้ำจืด

1.2.6 เพื่อลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.3.1 สามารควบคุมเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สายจากบนบกได้

1.3.2 ตัวเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สายสามารถนำไปใช้ในทางการประมงน้ำจืด

1.3.3 สามารถลดน้ำหนักหรือเพิ่มพื้นที่ภายในเรือได้ตามสถานการณ์ของงาน

1.3.4 สามารถให้อาหารปลาตามจุดที่ต้องการ

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าและชุดคอนโทรล

1.4.2 ศึกษาหลักการทำงานของยานพาหนะไฟฟ้า

1.4.3 ออกแบบโครงสร้างของยานพาหนะไฟฟ้ารูปแบบเรือ

1.4.4 ออกแบบและคำนวณมอเตอร์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถทำกิจกรรมทางการประมงน้ำจืดได้หลากหลาย

1.5.2 สามารถนำไปใช้ประยุกต์กับระบบอัจฉริยะ

1.5.3 สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นเรือระบบ EV แบบสมบูรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 DC มอเตอร์

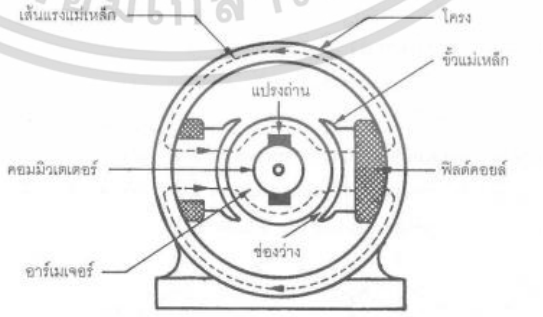
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านเข้าไปในขดลวดเพื่อทำให้เกิดการดูดและผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากขดลวดมอเตอร์จึงหมุนได้ โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแยกย่อยออกเป็น 3 ชนิด

- มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
- มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถความควบความเร็วได้ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เหมาะสำหรับการ ควบคุมความเร็ว ซึ่งมีความเที่ยงตรงและแม่นยำมาก ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็ว ต่ำสุดจนถึงความเร็วสูงสุดได้ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในระบบขับเคลื่อนในรถยนต์ไฟฟ้า โรงงานทอผ้า โรงงานปั่น เส้นใยสังเคราะห์ และอื่น ๆ อีกมากมาย

2.1.1 การทำงาขอองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลักออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่า Stator คือส่วนที่จะเป็นโครงสร้างหลักของมอเตอร์หรือเฟรมภายนอก ชุดนี้ประกอบด้วย ตัวโครงขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าขดลวดสนาม (Field Winding) มี 2 ชุด มีชุดขดลวดแบบอนุกรม ชุดขดลวดแบบขนาน ชุดแปรงถ่าน และ ลูกปืนที่ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้



https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.1 Stator

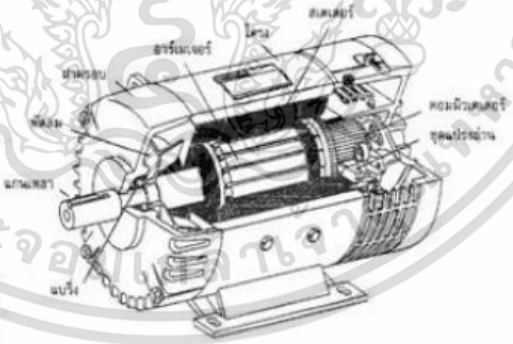
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบสำคัญอีกอย่างที่ติดตั้งอยู่ Stator คือ ขั้วแม่เหล็ก หรือ Pole ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยแกนของขั้วแม่เหล็กและขดลวดทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆกั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ที่ส่วนปลายขึ้นรูปให้มีความโค้งรับกับโรเตอร์ หรือ ขั้วแม่เหล็กเพื่อต้องการให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์แนบสนิทโดยเว้นช่องว่างเพียงเล็กน้อยเพื่อเมื่อโรเตอร์หมุนตัดกับขั้วแม่เหล็กจะส่งผลให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุด

https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.2 โรเตอร์และขดลวดสนามแม่เหล็ก

อีกส่วนเป็นขดลวดพันรอบแกนขั้วแม่เหล็ก เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นทั้งด้านบวกและด้านลบ ทำให้เกิดแรงเสริมและหักล้างกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดเกิดการหมุน



https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอเตอร์

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์กระแสส่วนหนึ่งจะผ่านแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น กระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้และตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะเสริมกันเมื่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทิศทางเดียวกัน และจะหักล้างกันเมื่ออยู่ในทิศทางตรงกันข้ามทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ซึ่งวางอยู่บนแกนเพลาเกิดการหมุนตัว ขณะที่อาร์มาเจอร์หมุนเรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งการหมุนที่เกิดจากอำนาจของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองทำปฏิกิริยาต่อกันและทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์หมุน ซึ่งเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming left hand rule)

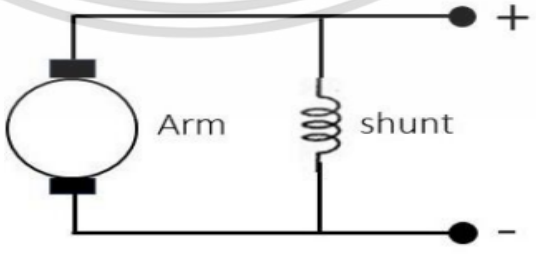
2.1.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor) คือมอเตอร์ที่ขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์มีคุณลักษณะเด่นคือให้แรงบิดสูง มอเตอร์ประเภทนี้เหมาะกับงานหนัก แต่อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้เมื่อไม่มีโหลดรอบจะสูงมาก ดังนั้นเวลาสตาร์ทมอเตอร์จึงจำเป็นต้องต่อโหลดไว้เสมอ

https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.4 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) คือมอเตอร์ที่ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อขนานกับขดลวดชุดอาเมเจอร์ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้มีคุณลักษณะเด่นที่ให้ความเร็วรอบคงที่มีแรงบิดตอนเริ่มหมุนต่ำ



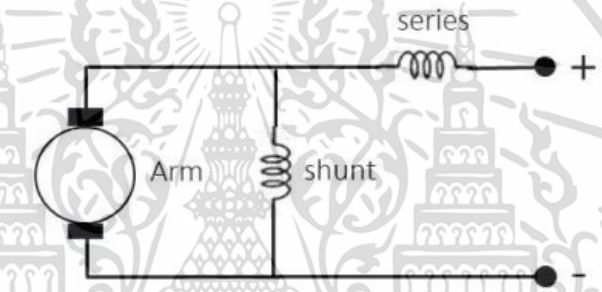
https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.5 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) เป็นมอเตอร์ที่ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็ก 2ชุด คือ ขดลวดขนานและขดลวดอนุกรม ซึ่งสนามแม่เหล็กจากขดลวดทั้ง 2 ชุดจะเสริมกันและเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่านขดลวดขนานก็จะลดลง แต่กระแสที่ไหลผ่านขดลวดอนุกรมจะเพิ่มขึ้นส่งผลให้สนามแม่เหล็กมีความเข้มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับขดลวดทั้ง 2 ขดลวดมีการชดเชยกันส่งผลให้สนามแม่เหล็กคงที่ โดยนำข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้า 2 แบบแรกมาผสมกันทำให้มีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High staring torque) แต่ให้ความเร็วรอบที่คงที่ ขณะยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบนี้ สามารถต่อขดลวดได้ 2 แบบ

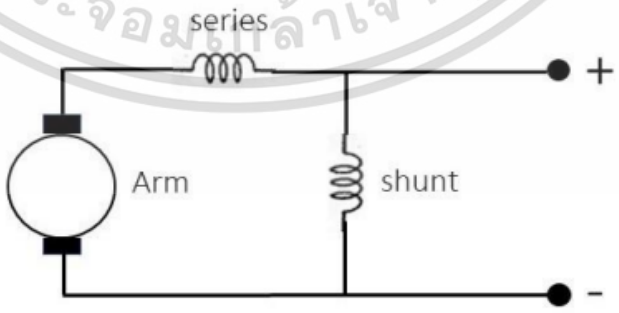
3.1 แบบที่ 1 ต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า “ชอทชันท์” (Short Shunt Compound Motor)



https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.6 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอทชันท์ (Short Shunt Compound Motor)

3.2 แบบที่ 2 ต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่า “ลองชั้นท์คอมปาวด์มอเตอร์” (Long shunt motor)



https://www.prd.go.th, [online]

รูปที่ 2.7 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลองชั้นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมแบบนี้ขณะที่ไม่มีโหลด กระแสที่ไหลในขดลวดอนุกรมจะมีจำนวนเล็กน้อย มอเตอร์จะหมุนโดยอาศัยเส้นแรงแม่เหล็กส่วนมากจากขดลวดขนานทำให้มีความเร็วรอบคงที่เช่นเดียวกับมอเตอร์แบบขนาน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมจะเหมาะสมกับงานที่ต้องการแรงบิดตอนเริ่มต้นจะสูง และมีความเร็วรอบคงที่ขณะไม่มีโหลด โดยจะนำไปใช้หมุนขับโหลดหนักและหลังจากนั้นมอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่

2.1.3 มอเตอร์ชนิดแปรงถ่าน

มอเตอร์ DC มีแปรงถ่าน (BDC) มีจุดกำเนิดจาก “แปรงถ่าน” ที่ใช้ในการสับเปลี่ยนทิศทางของมอเตอร์ DC มีแปรงถ่านมักถูกใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านและรถยนต์นอกจากนี้ยังมีการใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางด้วยเนื่องจากมีอัตราส่วนในการเปลี่ยนแรงบิดเป็นความเร็วที่มีแต่ในมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านเท่านั้น BDC ควบคุมได้ง่ายเนื่องจากแรงบิดและความเร็วจะเป็นไปตามแรงดันและกระแสที่ได้รับ

มอเตอร์ DC มีแปรงถ่านประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ สเตเตอร์ โรเตอร์ (หรืออาร์มาเจอร์) แปรงถ่าน และตัวสับเปลี่ยนทิศทาง โรเตอร์ หรืออาร์มาเจอร์เกิดจากการพันขดลวดหนึ่งชุดหรือมากกว่า ซึ่งจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเมื่อขดลวดเหล่านี้ได้รับพลังงาน ขั้วแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กจากโรเตอร์นี้จะดึงดูดขั้วตรงข้ามที่สร้างโดยสเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุน เมื่อโรเตอร์หมุน ขดลวดจะได้รับพลังงานเรื่อยๆ ตามลำดับที่ต่างกันเพื่อไม่ให้ขั้วสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดยโรเตอร์มากกว่าขั้วที่สร้างโดยสเตเตอร์ การสลับทิศทางของสนามแม่เหล็กของขดลวดโรเตอร์นี้เรียกว่า การสับเปลี่ยนทิศทาง ทิศทางการหมุน ไม่ว่าจะตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกาก็ตาม สามารถสลับได้อย่างง่ายดายโดยการสลับขั้ว

https://th.element14.com, [online]

รูปที่ 2.8 มอเตอร์ชนิดมีแปลงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 มอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่าน (BLDC) มีอีกชื่อหนึ่งว่ามอเตอร์เปลี่ยนทิศทางด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีแปรงถ่านที่โรเตอร์และสับเปลี่ยนทิศทางด้วยไฟฟ้าที่ตำแหน่งเฉพาะบนโรเตอร์ มอเตอร์ BLDC เป็นมอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรที่มีรูปคลื่น EMF เป็นเอกลักษณ์ จึงทำงานคล้ายกับมอเตอร์ DC มีแปรงถ่าน มอเตอร์ BLDC จะไม่ทำงานจากแหล่งจ่ายไฟ DC โดยตรง แต่หลักในการทำงานนั้นจะเหมือนมอเตอร์ DC

โครงสร้างของมอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่านมีโรเตอร์พร้อมแม่เหล็กถาวรและสเตเตอร์พันขดลวด มอเตอร์ BDLC จึงเป็นมอเตอร์ DC ที่กลับด้านในออกด้านนอก ไม่มีแปรงถ่านและตัวสับเปลี่ยนทิศทางและเชื่อมต่อขดลวดกับอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมนี้จะทดแทนฟังก์ชันของตัวสับเปลี่ยนทิศทางและให้พลังงานกับขดลวดที่เหมาะสม ขดลวดจะได้รับพลังงานในรูปแบบซึ่งหมุนรอบสเตเตอร์ ขดลวดสเตเตอร์ที่ได้รับพลังงานจะส่งไปยังแม่เหล็กของมอเตอร์และสลับเมื่อโรเตอร์มีแนวตรงกับสเตเตอร์ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูง ประสิทธิภาพสูง และมีกำลังต่อปริมาณสูง โดยทั่วไปแล้ว มอเตอร์ BLDC ถือเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่สามารถให้แรงบิดปริมาณมากในหลายช่วงกำลังได้

https://th.element14.com, [online]

รูปที่ 2.9 มอเตอร์ชนิดไร้แปลงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (PMSM)

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (PMSM) คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่กระตุ้นสนามไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวร และมีรูปคลื่น EMF แบบไซน์กลับด้าน PMSM คือลูกผสมระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ซึ่งคุณลักษณะที่เหมือนกับมอเตอร์ไร้แปรงถ่านแบบ DC คือ โรเตอร์แม่เหล็กถาวรและการพันขดลวดบนสเตเตอร์ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างของสเตเตอร์ที่มีการพันขดลวดเพื่อสร้างความหนาแน่นฟลักซ์แบบไซน์ในช่องว่างอากาศของเครื่องจักรนั้นคล้ายกับมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ ความหนาแน่นของพลังงานนั้นสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีอัตรากระแสเท่ากัน เนื่องจากไม่มีกำลังเฉพาะจากสเตเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก

แม่เหล็กถาวรทำให้ PMSM สามารถสร้างแรงบิดจากความเร็วเป็นศูนย์ได้ ซึ่งต้องการอินเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมแบบดิจิตอลสำหรับการทำงาน PMSM มักใช้ในตัวขับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง การควบคุมมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงนั้นจะสังเกตได้จากการหมุนที่นุ่มนวลในทุกช่วงความเร็วของมอเตอร์ การควบคุมแรงบิดเต็มที่จากความเร็วเป็นศูนย์ และมีอัตราเร่งและลดความเร่งได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้สามารถควบคุม PMSM ดังที่กล่าวมาได้ จึงต้องนำเทคนิคการควบคุมเวกเตอร์มาใช้ เทคนิคการควบคุมเวกเตอร์นั้นมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการควบคุมโดยกำหนดทิศทางสนามแม่เหล็ก (Field-Oriented Control - FOC) แนวคิดพื้นฐานของอัลกอริธึมควบคุมเวกเตอร์นั้นคือการสลายกระแสของสเตเตอร์ให้กลายเป็นส่วนสร้างสนามแม่เหล็กและส่วนสร้างแรงบิด ทั้งสองส่วนสามารถควบคุมแยกกันได้หลักจากถูกสลายแล้ว

https://th.element14.com, [online]

รูปที่ 2.10 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (PMSM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของ 3-Phase Squirrel-Cage Induction Motor โดยวิธีการปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับมอเตอร์ บางครั้งจะเรียกว่า “V/F Control” อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ยังมีชื่อเรียกอีกหลายอย่าง เช่น VSD: Variable Speed Drives, VVVF: Variable Voltage Variable Frequency, VC: Vector Control

2.2.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

https://www.electricityandindustry.com, [online]

รูปที่ 2.11 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น

โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นซายน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปซายน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ 3-Phase Induction Motor

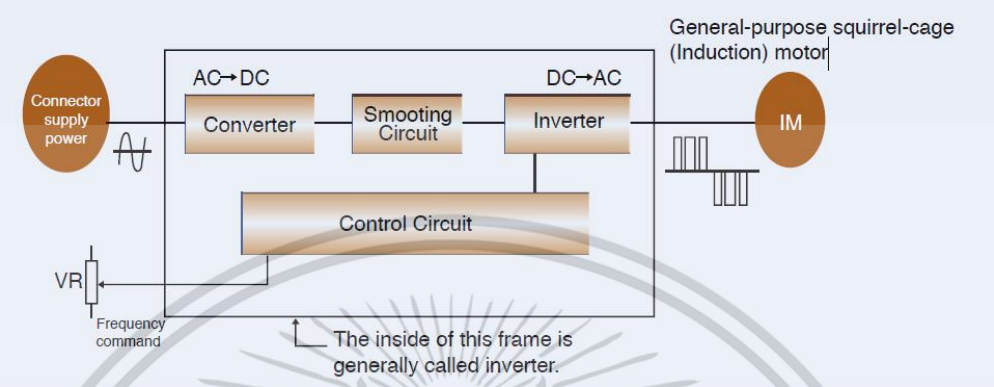
2.2.2 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

1. ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ AC Power Supply (50 Hz) ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC Voltage)

2. ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟกระแสสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดอินเวอร์เตอร์



https://www.electricityandindustry.com, [online]

รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.2.3 วิธีการเลือกอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

1. ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์: ถือเป็นรายละเอียดที่สำคัญมาก เราควรดูว่าอินเวอร์เตอร์ที่เราเลือกนั้นใช้กับระบบไฟฟ้าแบบใด แบบ 1 เฟส หรือแบบ 3 เฟส และมีช่วงแรงดันและกระแสในการใช้งานอยู่ที่เท่าไร

2. กำลังของมอเตอร์: ใช้กับกำลังมอเตอร์ขนาดเท่าไร

3. ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมอเตอร์: ความถี่ของมอเตอร์ที่สามารถใช้ได้

4. แรงบิด (Torque) ของโหลด: ควรพิจารณาจากการใช้งานว่าเราต้องการแรงบิดที่จะป้อนให้กับโหลดเท่าใด

5. สภาพแวดล้อมในการติดตั้ง: บริเวณที่ทำการติดตั้งนั้นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณเท่าไร มีความชื้นแค่ไหน และหากบริเวณที่เราติดตั้งนั้นต้องเผชิญกับฝุ่นและน้ำเราก็ควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่ได้รับมาตรฐานการป้องกันฝุ่นและน้ำ

6. ขนาด: ขนาดของอินเวอร์เตอร์เราควรพิจารณาจากพื้นที่ที่เราทำการติดตั้ง

7. Cooling Method: เวลาใช้งานตัวอินเวอร์เตอร์จะเกิดความร้อนขึ้น เพื่อไม่ให้อินเวอร์เตอร์ร้อนเกินไปในขณะใช้งานทางที่ดีเพื่อป้องกันความเสียหายควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีระบบการระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ข้อดีของการใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

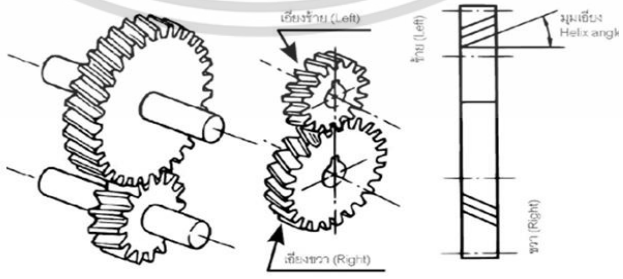
1. การสตาร์ทที่นุ่มนวล (Soft Start)
2. ไม่มีการกระชากของกระแส (Inrush Current)
3. สามารถปรับอัตราเร่งและอัตราหน่วงได (Adjust Acceleration & Deceleration Time)
4. สามารถควบคุมได้จากระยะไกล (Remote Control)
5. สามารถควบคุมการทำงานโดยต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์
6. มีระบบ Protection
7. ประหยัดพลังงาน (Energy Saving)
8. ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (Reduce Maintenance Cost)
9. ได้รับมาตรฐานสากล: CE, UL, cUL, TR-CU, KC

2.3 ระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกล

ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลที่ใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมีหลายอย่างแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละประเภทงานที่ทำซึ่งหลักการส่งกำลังของเครื่องจักรกล โดยระบบกำลังของเครื่องกลจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.3.1 ระบบส่งกำลังด้วยเฟือง

เฟือง (อังกฤษ: gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องกลที่มีรูปร่างเป็นจานแบนรูปวงกลม ตรงขอบมีลักษณะเป็นแฉก (เรียกว่าฟันเฟือง) ซึ่งสามารถนำไปประกบกับเฟืองอีกตัวหนึ่ง ทำให้เมื่อเฟืองตัวแรกหมุน เฟืองตัวที่สองจะหมุนในทิศทางตรงกันข้าม เกิดเป็นระบบส่งกำลังขึ้น โดยความเร็วรอบของเฟืองที่สองจะขึ้นกับอัตราส่วนจำนวนฟันเฟืองของตัวแรกเทียบกับตัวที่สอง ซึ่งอัตราส่วนนี้สามารถปรับให้เกิดเป็นความได้เปรียบเชิงกลได้ จึงถือเป็นเครื่องกลอย่างง่ายชนิดหนึ่ง



http://engineerknowledge.blogspot.com, [online]

รูปที่ 2.13 ระบบส่งกำลังด้วยฟันเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยคุณลักษณะนี้ เฟือง สามารถนำมาใช้ส่งผ่านแรงหมุน ปรับความเร็ว, แรงหมุน และทิศทางการหมุนในเครื่องจักรได้ โดยระบบเฟืองหรือระบบส่งกำลังนี้ มีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบสายพาน แต่จะดีกว่าตรงที่ระบบเฟืองจะไม่สูญเสียพลังงานไปกับการยืดหดและการลื่นไถลของสายพาน โดยระบบส่งกำลังด้วยเฟืองแบ่งได้ 8 ประเภท

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.14 เฟืองตรง (Spur Gears)

เฟืองตรง (Spur Gears) เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่าง ๆ เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุนและใช้ในการส่งกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง อัตราทด (Ratio) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component)

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.15 เฟืองสะพาน (Rack Gears)

เฟืองสะพาน (Rack Gears) หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เฟืองสะพาน(Rack) โดยมีลักษณะเป็นแท่งยาวตรง สามารถมุมกลับลำตัวได้ประมาณ 90 องศา และมีฟันเฟืองอยู่ด้านบนขบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.16 เฟืองวงแหวน (Internal Gears)

เฟืองวงแหวน (Internal Gears) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่ง มีรูปร่างลักษณะกลมเช่นเดียวกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านบนของวงกลม และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่มีขนาดเล็กกว่าขบอยู่ภายในเฟืองวงแหวน สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) โดยที่ถ้าหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมาก และถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย โดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.17 เฟืองเฉียง (Helical Gears)

เฟืองเฉียง (Helical Gears) เป็นเฟืองส่งกำลังที่มีฟันเฉียงทำมุมกับแกนหมุน คล้ายเฟืองฟันตรง แต่มีเสียงที่เกิดจากการทำงานเบากว่าเฟืองฟันตรง ลักษณะแนวของฟันเฟืองจะไม่ขนานกับเพลาโดยจะทำมุมเฉียงไปเป็นมุมที่ต้องการ โดยอาจจะเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวาขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.18 เฟืองเฉียงก้างปลา (Herringbone Gears)

เฟืองเฉียงก้างปลา (Herringbone Gears) เป็นเฟืองที่มีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรงแต่ฟันของเฟืองจะเอียงสลับกันเป็นฟันปลา ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถทำงานรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง ในขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะทำงานก็ยังคงน้อยเมื่อเทียบกับเฟืองตรง

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.19 เฟืองดอกจอก (Bevel Gears)

เฟืองดอกจอก (Bevel Gears) เป็นเฟืองที่มีการตัดฟันเฟือง ใช้สำหรับส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ตัดกัน มุมระหว่างเพลาทั้งสองเป็นมุมระหว่างเส้นศูนย์กลางร่วมที่ตัดกัน ของฟันเฟืองมุมระหว่างเพลาประมาณ 90องศา แต่ในหลาย ๆ การใช้งานของเฟืองชนิดนี้ อาจจะต้องการมุมระหว่างเพลาที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่ามุม 90องศา ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

รูปที่ 2.20 เฟืองตัวหนอน (Worm Gears)

เฟืองตัวหนอน (Worm Gears) เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) และเฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน แนวเพลาขับ (Worm Shaft) และเพลาตาม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการลื่นไถล (Sliding) ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองจะมากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง

https://torwitchukorn.com/th/articles/122179, [online]

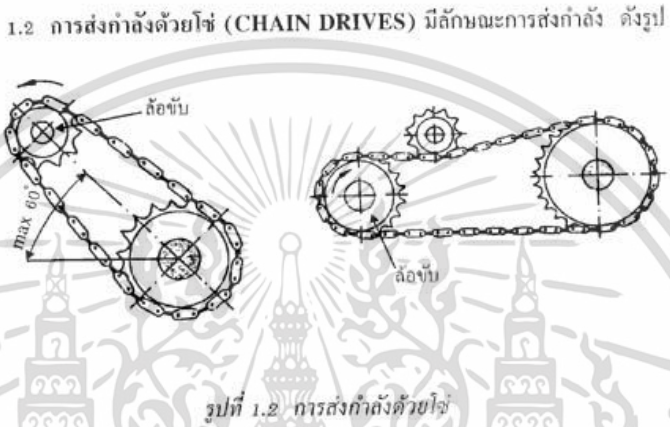
รูปที่ 2.21 เฟืองเกลียวสกรู (Spiral Gears)

เฟืองเกลียวสกรู (Spiral Gears) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา การใช้งานเฟืองชนิดนี้ส่วนมากจะใช้ในการเปลี่ยนทิศทางในการส่งกำลังของเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบการส่งกำลังด้วยโซ่

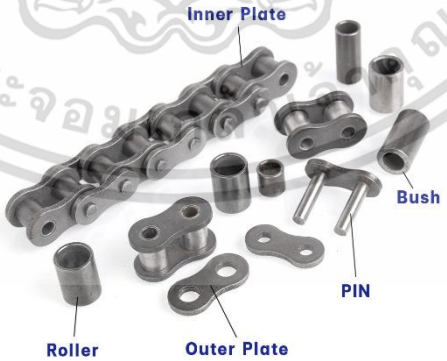
นิยมใช้กันมากในการออกแบบเครื่องจักร เช่น เครื่องจักรทางการเกษตร เครื่องทอผ้าเป็นต้น การส่งกำลังแบบโซ่นั้น มีวิธีการส่งกำลังที่คล้ายคลึงกับการส่งกำลังด้วยสายพาน โดยที่โซ่ (Chain) จะคล้องอยู่กับเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดตั้งอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดของการขับขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสองฝั่งขณะที่ใช้จะมีเสียงดัง



http://engineerknowledge.blogspot.com, [online]

รูปที่ 2.22 ระบบส่งกำลังด้วยโซ่

2.3.2.1 ส่วนประกอบหลักของโซ่



https://northpower.co.th, [online]

รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบหลักของโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แผ่นประกบด้านใน (Outer Plate) ทำหน้าที่รับแรงดึง (Tensile Strength) และรองรับแรงกระชากที่เกิดในขณะทำงาน

2. แผ่นประกบด้านนอก (Outer Plate) ทำหน้าที่รับแรงดึง (Tensile Strength) และรองรับแรงกระชากที่เกิดในขณะทำงาน นอกจากนั้นยังเป็นตัวเชื่อมระหว่างโซ่แต่ละข้อ

3. สลัก (Pin) ทำหน้าที่รับแรงเฉือน (Shearing strength) และแรงบิด (Bending strength) ที่ถูกถ่ายเทมาจากแผ่นประกบด้านในและด้านนอก อีกทั้งยังรองรับแรงร่วมกับบุช ขณะเคลื่อนที่อยู่บริเวณร่องของฟันเฟือง ดังนั้นสลักที่ใช้งานตรงจุดนี้ต้องมีความแข็งแรงสูงมากเพื่อให้สามารถรับแรงเฉือน, แรงบิด, แรงดึง และแรงกระชาก

4. โรลเลอร์ (Roller) เป็นส่วนที่รองรับแรงกดและแรงกระแทก เมื่อโซ่วิ่งเข้าไปในเฟืองโซ่

5. บุช (Bush) เป็นชิ้นส่วนที่รับแรงมาจากหลายๆ ชิ้นส่วนของโซ่

2.3.3 ระบบการส่งกำลังด้วยสายพาน

ระบบส่งกำลังด้วยสายพาน ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลัง (แรงหมุน) จากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ไปสู่เครื่องจักร สายพานที่ดีควรจะส่งกำลังจากมอเตอร์ไปสู่เครื่องจักรได้มากกว่า 95% ของกำลังมอเตอร์ ยกตัวอย่าง ระบบที่พบทั่วไป ประสิทธิภาพการส่งกำลังอยู่ที่ประมาณ 60-80% ซึ่งทำให้ Output ของเครื่องจักรไม่เต็มประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ทำได้

https://www.auto2drive.com, [online]

รูปที่ 2.24 ระบบการส่งกำลังด้วยสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 ประเภทของสายพาน

1. V-Belt หรือสายพานวี ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรกลตามโรงงานต่าง ๆ สามารถส่งกำลังได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี สานพานจะดึง มู่เลย์ตัวตามให้หมุนตามด้วยแรงเสียดทานระหว่างสายพานและมู่เลย์ เมื่อสายพานถูกตั้งให้ตึง (ในร่องของมู่เลย์) สามารถแบ่งได้อีก คือ สายพานวีปกติ สายพานร่องวีร่วม สายพานวีแหลม สายพานวีหน้ากว้าง สายพานวีหลายรูปพรรณ

2. Timing Belt หรือสายพานไทม์มิ่ง ตัวสายพานจะมีฟันเฟืองตลอดความยาวของสายพาน ฟันของสายพานทำด้วยยางเทียม เป็นสายพานที่มีแกนรับแรงด้วยลวดเหล็กกล้า หรือทำด้วยลวดไฟเบอร์ฝังอยู่ในยางเทียม มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลียมคางหมู ซึ่งจะหุ้มด้วยเส้นใยไนลอนเพื่อลดการสึกหรอ สายพานชนิดนี้สามารถงอตัวได้ดี ใช้กับมู่เลย์ล้อเล็ก ๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรได้ เนื่องจากร่องสายพานจะมีขนาดเดียวกับบนร่องมู่เลย์ ทำให้เกิดการขบกันเหมือนฟันเฟือง จึงไม่เกิดการลื่นไถลขณะส่งกำลัง สามารถใช้เป็นตัวส่งกำลังงานในเครื่องยนต์ โดยเป็นตัวขับเฟืองเพลาข้อเหวี่ยงและเพลาราวลิ้น และจะไม่เสียงดังขณะทำงาน

3. Flat Belts หรือสายพานแบน เป็นสายพานชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจากมู่เลย์ของเพลาขับไปยังมู่เลย์ของเพลาตาม มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทย่อย ๆ คือ

3.1 Light Drives – สายพานที่ใช้กับงานเบา

3.2 Medium Drives – สายพานที่ใช้กับงานหนักปานกลาง

3.3 Heavy Drives – สายพานที่ใช้กับงานหนัก

4. Round Belt หรือสายพานกลม สายพานประเภทนี้ทำจากพลาสติกโพลียูริเทน จะต้านทานจาระบี น้ำมันเบนซิน น้ำมัน และน้ำ สายพานกลมสามารถปรับตั้งทิศทางการหมุนได้หลายทิศทางตามความต้องการ มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม การส่งกำลังด้วยสายพานกลมจะให้ความยืดหยุ่นสูงมาก ขณะการทำงานของสายพานจะไม่เกิดเสียงดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 มอเตอร์ไดรฟ์ (Motor Drive)

มอเตอร์ไดรฟ์หรือเรียกอีกอย่างว่า ไดรฟ์ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของเครื่องจักร กระบวนการทางอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น สายการประกอบ ต้องทำงานด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน สำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ในกรณีที่เงื่อนไขของกระบวนการต้องการการปรับการไหลจากปั๊มหรือพัดลม การเปลี่ยนความเร็วของไดรฟ์อาจช่วยประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ สำหรับการควบคุมการไหลในกรณีที่สามารถเลือกความเร็วจากช่วงที่ตั้งไว้ล่วงหน้าได้หลายแบบ โดยปกติแล้ว ไดรฟ์จะเรียกว่าปรับความเร็วได้ ถ้าความเร็วการส่งออกสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยไม่ต้องทำตามขั้นตอนในช่วง ไดรฟ์มักจะเรียกว่าความเร็วตัวแปร

ไดรฟ์แบบปรับความเร็วได้และแบบปรับความเร็วได้อาจเป็นแบบกลไกล้วนๆ (เรียกว่าVariator) ระบบเครื่องกลไฟฟ้า ไฮดรอลิก หรืออิเล็กทรอนิกส์

https://hmong.in.th/wiki/Variable-speed_drive, [online]

รูปที่ 2.25 ชุดมอเตอร์ไดรฟ์ความถี่แปรผัน

2.4.1 เหตุผลในการใช้มอเตอร์ไดรฟ์

การควบคุมกระบวนการและการอนุรักษ์พลังงานเป็นเหตุผลหลักสองประการสำหรับการใช้ตัวขับความเร็วที่ปรับได้ ในอดีต ไดรฟ์ความเร็วแบบปรับได้ได้รับการพัฒนาเพื่อควบคุมกระบวนการ แต่การอนุรักษ์พลังงานได้กลายเป็นเป้าหมายที่สำคัญไม่แพ้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การควบคุมการเร่งความเร็ว

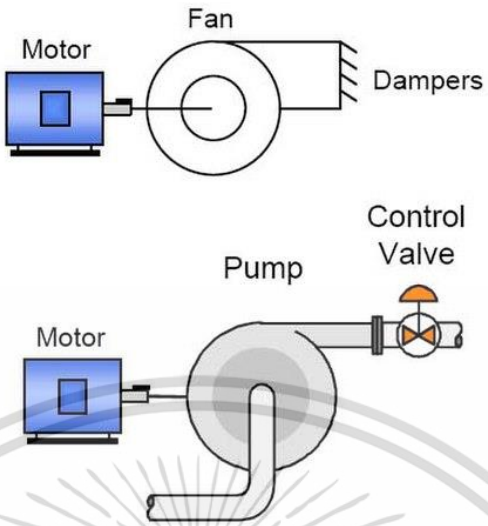
ไดรฟ์ความเร็วที่ปรับได้มักจะให้การทำงานที่ราบรื่นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโหมดการทำงานความเร็วคงที่แบบอื่น ตัวอย่างเช่น ในสถานีสูบน้ำเสีย น้ำเสียมักจะไหลผ่านท่อระบายน้ำภายใต้แรงโน้มถ่วงไปยังตำแหน่งบ่อน้ำเปียก จากนั้นจึงนำไปสูบสู่กระบวนการบำบัด เมื่อใช้ปั๊มความเร็วคงที่ ปั๊มจะถูกตั้งค่าให้เริ่มทำงานเมื่อระดับของเหลวในบ่อน้ำเปียกถึงจุดสูงและหยุดเมื่อระดับลดลงจนถึงจุดต่ำ การเปิดและปิดปั๊มส่งผลให้เกิดกระแสไฟกระชากสูงบ่อยครั้งเพื่อสตาร์ทมอเตอร์ซึ่งส่งผลให้เกิดความเครียดทางแม่เหล็กไฟฟ้าและความร้อนในมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า ปั๊มและท่อต้องรับความเค้นทางกลและไฮดรอลิก และกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ถูกบังคับให้รองรับกระแสน้ำเสียที่ไหลผ่านกระบวนการ เมื่อใช้ไดรฟ์ความเร็วที่ปรับได้ ปั๊มจะทำงานอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับบ่อน้ำเปียกเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับการไหลออกกับการไหลเข้าเฉลี่ยและช่วยให้กระบวนการดำเนินการราบรื่นขึ้นมาก

2.4.3ประหยัดพลังงานโดยใช้ตัวขับความเร็วที่ปรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พัดลมและปั๊มใช้พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้โดยมอเตอร์ไฟฟ้าอุตสาหกรรม ในกรณีที่พัดลมและปั๊มรองรับโหลดในกระบวนการที่แตกต่างกัน วิธีง่ายๆ ในการเปลี่ยนปริมาณของเหลวที่ส่งคือการใช้แดมเปอร์หรือวาล์วที่ทางออกของพัดลมหรือปั๊ม ซึ่งโดยการเพิ่มแรงดันตกคร่อม จะช่วยลดการไหลในกระบวนการ อย่างไรก็ตาม แรงดันตกเพิ่มเติมนี้แสดงถึงการสูญเสียพลังงาน บางครั้งการใส่อุปกรณ์บางอย่างที่นำพลังงานที่สูญเสียไปกลับคืนมาในอุปกรณ์บางอย่างก็มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ด้วยไดรฟ์แบบปรับความเร็วรอบบนปั๊มหรือพัดลม แหล่งจ่ายสามารถปรับให้ตรงกับความต้องการและไม่ทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มเติม

ตัวอย่างเช่น เมื่อพัดลมขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ความเร็วคงที่โดยตรง กระแสลมได้รับการออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการสูงสุดของระบบ และโดยปกติแล้วจะสูงกว่าที่ควรจะเป็น สามารถควบคุมการไหลของอากาศได้โดยใช้แดมเปอร์แต่จะมีประสิทธิภาพมากกว่าในการควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลมโดยตรง ตามกฎสัมพรรคภาพสำหรับ 50% ของกระแสลม มอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้จะใช้พลังงานประมาณ 20% ของกำลังไฟฟ้าเข้า (แอมป์) มอเตอร์ความเร็วคงที่ยังคงกินไฟประมาณ 85% ของกำลังไฟฟ้าเข้าที่ครึ่งหนึ่งของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



https://hmong.in.th/wiki/Variable-speed_drive, [online]

รูปที่ 2.26 การประหยัดพลังงานโดยใช้ตัวขับความเร็ว

2.4.5 ประเภทของไดรฟ์

ตัวขับเคลื่อนหลักบางตัว (เครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์ไอน้ำแบบลูกสูบหรือกังหัน กังหันน้ำ และอื่นๆ) มีช่วงของความเร็วในการทำงานซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง (โดยการปรับอัตราเชื้อเพลิงหรือวิธีการที่คล้ายกัน) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพอาจต่ำที่ช่วงความเร็วสุดขีด และอาจมีเหตุผลของระบบว่าทำไมความเร็วของตัวขับเคลื่อนหลักไม่สามารถรักษาไว้ที่ความเร็วต่ำมากหรือสูงมากได้ ก่อนการประดิษฐ์มอเตอร์ไฟฟ้า ตัวเปลี่ยนความเร็วทางกลถูกใช้เพื่อควบคุมพลังงานกลจากกังหันน้ำและเครื่องยนต์ไอน้ำ เมื่อมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า วิธีการควบคุมความเร็วก็พัฒนาขึ้นเกือบจะในทันที ทุกวันนี้ ไดรฟ์กล ไดรฟ์ไฮดรอลิก และไดรฟ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ แข่งขันกันในตลาดไดรฟ์อุตสาหกรรม

2.4.6 ไดรฟ์เครื่องกล

โดยไดรฟ์เชิงกลมีสองประเภท ได้แก่ ไดรฟ์พิทช์แบบปรับได้และไดรฟ์ฉุด เป็นต้น

1.ไดรฟ์พิทช์แบบปรับได้คือพูลเลย์และตัวขับสายพานซึ่งสามารถปรับเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของรอกหนึ่งหรือทั้งสองได้

2.ไดรฟ์ฉุดส่งกำลังผ่านลูกกลิ้งโลหะที่วิ่งกับลูกกลิ้งโลหะที่ผสมพันธุ์ อัตราส่วนความเร็วอินพุต/เอาต์พุตจะถูกปรับโดยการเลื่อนลูกกลิ้งเพื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นทางสัมผัส มีการใช้รูปทรงลูกกลิ้งและการออกแบบทางกลที่แตกต่างกันมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 ไดรฟ์ปรับความเร็วไฮดรอลิก adjustable

โดยไดรฟ์ไฮดรอลิกมีสามประเภท ได้แก่ ไดรฟ์ไฮโดรสแตติก ไดรฟ์ไฮโดรไดนามิก และไดรฟ์ไฮโดรหนืด

1.ไดรฟ์ hydrostaticประกอบด้วยปั๊มไฮโดรลิคและมอเตอร์ไฮดรอลิ ตั้งแต่การกระจัดบวกปั๊มและมอเตอร์มีการใช้การปฏิวัติของเครื่องสูบน้ำหรือมอเตอร์สอดคล้องกับปริมาณชุดของการไหลของของเหลวที่ถูกกำหนดโดยการกำจัดโดยไม่คำนึงถึงความเร็วหรือแรงบิด ความเร็วถูกควบคุมโดยการควบคุมการไหลของของไหลด้วยวาล์วหรือโดยการเปลี่ยนการกระจัดของปั๊มหรือมอเตอร์ มีการใช้รูปแบบการออกแบบที่หลากหลาย ตัวขับสวอชเพลทใช้ปั๊มลูกสูบแกนและ/หรือมอเตอร์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนมุมของสวอชเพลทเพื่อปรับการกระจัดและด้วยเหตุนี้จึงปรับความเร็ว

2.ไดรฟ์ไฮโดรไดนามิกหรือข้อต่อของไหลใช้น้ำมันเพื่อส่งแรงบิดระหว่างใบพัดบนเพลาอินพุตความเร็วคงที่และโรเตอร์บนเพลาเอาต์พุตความเร็วที่ปรับได้ ทอร์กคอนเวอร์เตอร์ในระบบเกียร์อัตโนมัติของรถยนต์เป็นแบบขับเคลื่อนอุทกพลศาสตร์

3.ไดรฟ์ไฮโดรหนืดประกอบด้วยดิสก์อย่างน้อยหนึ่งแผ่นที่เชื่อมต่อกับเพลาอินพุตที่กดกับดิสก์ที่คล้ายกันหรือดิสก์ที่เชื่อมต่อกับเพลาส่งออก แรงบิดถูกส่งจากเพลาอินพุตไปยังเพลาส่งออกผ่านฟิล์มน้ำมันระหว่างแผ่นดิสก์ แรงบิดที่ส่งผ่านจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่กระทำโดยกระบอกไฮดรอลิกที่กดแผ่นดิสก์เข้าด้วยกัน ผลกระทบนี้อาจจะนำมาใช้เป็นคลัทช์เช่นคลัทช์เฮเลชอว์หรือเป็นไดรฟ์ความเร็วตัวแปรเช่น Beier เกียร์ตัวแปรอัตราส่วน

2.4.8 ระบบส่งกำลังแบบแปรผันอย่างต่อเนื่อง (CVT)

ไดรฟ์ความเร็วที่ปรับได้ทางกลไกและไฮดรอลิกมักเรียกว่าการส่งสัญญาณหรือการส่งสัญญาณตัวแปรอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้ในยานพาหนะ อุปกรณ์การเกษตร และอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ

2.4.9 ไดรฟ์ปรับความเร็วด้วยไฟฟ้า

ไดรฟ์ความเร็วที่ปรับด้วยระบบไฟฟ้าสามารถใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงกระแสวนหรือกระแสสลับ ไดรฟ์กระแสตรงปรับความเร็วมอเตอร์โดยการเปลี่ยนสนามกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าของกระดอง Eddy ไดรฟ์ปัจจุบันใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าคลัตช์กระแสวนเพื่อควบคุมมอเตอร์ความเร็วคงที่ ไดรฟ์กระแสสลับทำงานโดยลดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ลงหรือเพิ่มความต้านทานการพัน ไดรฟ์กระแสสลับและกระแสวนโดยทั่วไปถือว่าเป็นกลไกขับเคลื่อนความเร็วที่ปรับไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.10 ประเภทของการควบคุม

การควบคุมอาจหมายถึงการปรับแบบแมนนวล - โดยใช้โพเทนชิออมิเตอร์หรืออุปกรณ์เอฟเฟกต์ฮอลล์เชิงเส้น(ซึ่งมีความทนทานต่อฝุ่นและไขมันมากกว่า) หรือสามารถควบคุมได้โดยอัตโนมัติ เช่น โดยใช้เครื่องตรวจจับแบบหมุน เช่น เครื่องเข้ารหัสออปติคัลโค้ดสีเทา

2.4.11 ประเภทของไดรฟ์

ไดรฟ์ไฟฟ้ามีสามประเภททั่วไป: ไดรฟ์มอเตอร์กระแสตรงไดรฟ์กระแสตรงและไดรฟ์มอเตอร์กระแสสลับ ประเภททั่วไปแต่ละประเภทเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็นรูปแบบต่างๆ เพิ่มเติมได้ ไดรฟ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปมีทั้งมอเตอร์ไฟฟ้าและชุดควบคุมความเร็วหรือระบบ คำว่าไดรฟ์มักใช้กับคอนโทรลเลอร์โดยไม่มีมอเตอร์ ในยุคแรก ๆ ของเทคโนโลยีการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ระบบควบคุมไฟฟ้าถูกนำมาใช้ ต่อมาตัวควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการออกแบบโดยใช้หลอดสุญญากาศประเภทต่างๆ เนื่องจากมีส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์แบบโซลิดสเตตที่เหมาะสม การออกแบบคอนโทรลเลอร์ใหม่จึงรวมเอาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ล่าสุดเข้าไว้ด้วยกัน

1.ไดรฟ์ DC คือระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันกระดองและแปรผกผันกับฟลักซ์ของมอเตอร์ (ซึ่งเป็นฟังก์ชันของกระแสสนาม) จึงสามารถใช้แรงดันกระดองหรือกระแสสนามเพื่อควบคุมความเร็วได้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายประเภทมีอธิบายไว้ในบทความเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า บทความเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ายังอธิบายการควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับมอเตอร์กระแสตรงประเภทต่างๆ

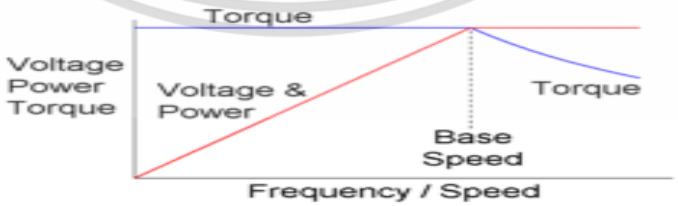
2.กระแสไหลวนไดรฟ์ (บางครั้งเรียกว่าไดรฟ์ Dynamitic หลังจากหนึ่งในที่สุดชื่อแบรนด์ร่วมกัน) ประกอบด้วยมอเตอร์ความเร็วคงที่ (โดยทั่วไปมอเตอร์เหนี่ยวนำ) และคลัทช์กระแสไหลวน คลัตช์ประกอบด้วยโรเตอร์ความเร็วคงที่และโรเตอร์ปรับความเร็วที่คั่นด้วยช่องว่างอากาศขนาดเล็ก กระแสตรงในขดลวดสนามสร้างสนามแม่เหล็กที่กำหนดแรงบิดที่ส่งจากโรเตอร์อินพุตไปยังโรเตอร์เอาท์พุท ตัวควบคุมให้การควบคุมความเร็วแบบวงปิดโดยกระแสคลัตช์ที่แตกต่างกัน อนุญาตให้คลัตช์ส่งแรงบิดมากพอที่จะทำงานที่ความเร็วที่ต้องการเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วการตอบกลับความเร็วจะมีให้ผ่านเครื่องวัดวามเร็ว AC แบบบูรณาการ ไดรฟ์กระแสวนเป็นระบบที่ควบคุมการลื่นซึ่งพลังงานการลื่นจำเป็นต้องกระจายไปเป็นความร้อน ไดรฟ์ดังกล่าวโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพน้อยกว่าไดรฟ์ที่ใช้การแปลง AC/DC-AC มอเตอร์พัฒนาแรงบิดที่ต้องการโดยโหลดและทำงานด้วยความเร็วเต็มที่ เพลาส่งออกส่งแรงบิดเดียวกันกับโหลด แต่หมุนด้วยความเร็วที่ช้าลง เนื่องจากกำลังเป็นสัดส่วนกับแรงบิดคูณด้วยความเร็ว กำลังไฟฟ้าเข้าจึงแปรผันตามความเร็วของมอเตอร์คูณแรงบิดขณะทำงาน ขณะที่กำลังส่งออกคือความเร็วเอาต์พุตคูณด้วยแรงบิดทำงาน ความแตกต่างระหว่างความเร็วของมอเตอร์และความเร็วใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งออกที่เรียกว่าความเร็วลื่น กำลังเป็นสัดส่วนกับความเร็วของสลิปคูณแรงบิดใช้งานจะกระจายไปตามความร้อนในคลัตช์ แม้ว่าระบบขับเคลื่อนความถี่แปรผันจะเหนือกว่าในการใช้งานความเร็วตัวแปรส่วนใหญ่ แต่คลัตช์กระแสวนยังคงถูกใช้เพื่อจับคู่มอเตอร์กับโหลดความเฉื่อยสูงที่หยุดและเริ่มบ่อยครั้ง เช่น เครื่องอัดปั๊ม สายพานลำเลียง เครื่องจักรติดตั้ง และเครื่องจักรขนาดใหญ่บางรุ่น ซึ่งช่วยให้สตาร์ทได้ทีละน้อย โดยมีการบำรุงรักษาน้อยกว่าคลัตช์แบบกลไกหรือระบบส่งกำลังแบบไฮดรอลิก

3.ไดรฟ์มอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์โรเตอร์แบบควบคุมการลื่น(WRIM)ควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนสลิปของมอเตอร์ผ่านวงแหวนสลิปของโรเตอร์ไม่ว่าจะด้วยการนำพลังงานสลิปกลับคืนสู่สเตเตอร์บัสหรือโดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวต้านทานภายนอกในวงจรโรเตอร์ นอกจากไดรฟ์กระแสตรงแล้ว ไดรฟ์ WRIM แบบอิงความต้านทานได้สูญเสียความนิยมไปเนื่องจากมีประสิทธิภาพน้อยกว่าไดรฟ์ WRIM ที่ใช้AC/DC-ACและใช้ในสถานการณ์พิเศษเท่านั้น

ระบบกู้คืนพลังงานสลิปจะส่งพลังงานกลับไปยังสเตเตอร์บัสของ WRIM โดยแปลงพลังงานสลิปและป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายสเตเตอร์ พลังงานที่กู้คืนดังกล่าวจะสูญเปล่าเป็นความร้อนในไดรฟ์ WRIM ที่มีความต้านทาน ไดรฟ์ความเร็วตัวแปรการกู้คืนพลังงานสลิปถูกนำมาใช้ในการใช้งานต่างๆ เช่น ปั๊มและพัดลมขนาดใหญ่ กังหันลม ระบบขับเคลื่อนบนเรือ ปั๊มไฮโดรปั๊ม/เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ และล้อตุนกำลังเก็บพลังงานยูทิลิตี้ ระบบนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ในช่วงแรกโดยใช้ส่วนประกอบทางไฟฟ้าสำหรับการแปลง AC/DC-AC (เช่น ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส มอเตอร์ DC และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ) เรียกว่าไดรฟ์ Kramerระบบที่ใหม่กว่าที่ใช้ไดรฟ์ความถี่แปรผัน (VFDs) จะเรียกว่า Kramer แบบคงที่ ไดรฟ์ โดยทั่วไปVFDในการกำหนดค่าพื้นฐานที่สุดจะควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือซิงโครนัสโดยการปรับความถี่ของพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์เมื่อเปลี่ยนความถี่VFDในแอปพลิเคชันแรงบิดผันแปรประสิทธิภาพต่ำมาตรฐานโดยใช้การควบคุมโวลต์ต่อเฮิรตซ์ (V/Hz) อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ของมอเตอร์ AC จะคงที่และสามารถเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าได้ระหว่างค่าต่ำสุดและความถี่การทำงานสูงสุดถึงความถี่ฐาน การทำงานของแรงดันไฟคงที่เหนือความถี่พื้นฐาน ดังนั้นด้วยอัตราส่วน V/Hz ที่ลดลง จึงมีแรงบิดที่ลดลงและความสามารถในการใช้พลังงานคงที่



https://hmong.in.th/wiki/Variable-speed_drive, [online]

รูปที่ 2.27 VFD กราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 GPS Module

GPS (Global Positioning System) หรือ ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก คือระบบที่ระบุตำแหน่งทุกแห่งบนโลก จากกลุ่มดาวเทียม 24 ดวง ที่โคจรอยู่รอบโลกในระดับความสูงที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวนของโลกและเป็นวิธีการที่สามารถให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้ชี้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง จากการนำมาใช้งานจริงจะให้ความถูกต้องสูง โดยที่ความคลาด เคลื่อนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบที่ต่ำกว่า 50 เมตร ซึ่งถ้าเป็นแบบวิธี อนุพันธ์ (Differential) จะให้ความถูกต้องถึงระดับเซนติเมตร และจากการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทำให้สามารถผลิตเครื่องรับ GPS ที่มีขนาดลดลง และมีราคาถูกลงกว่าเครื่องรับระบบ TRANSIT เดิมเป็นอันมาก

https://queenhobby.com, [online]

รูปที่ 2.28 GPS Module M8N with 3 Axis Compass

Haversine formula เป็นสมการที่ใช้ในการหาระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดบนพื้นผิวทรงกลมของโลก (คำนวณระยะห่างระหว่างโดรนและโน๊ตบุต) โดยใช้ละติจูด และลองจิจูดมาคำนวณหาระยะห่างสำหรับจุด 2 จุด ใดๆ บนโลก ดังสมการ (1)

$$d = 2r\sin^{-1}\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2-\varphi_1}{2}\right)+\cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\sin^2\left(\frac{\lambda_2-\lambda_1}{2}\right)}\right) \qquad (1)$$

โดยที่ d คือระยะทางระหว่างจุดสองจุด

r คือรัศมีของโลก มีค่าประมาณ 6378137.0 เมตร

φ_1 , φ_2 คือ ละติจูดของจุดที่1 และจุดที่ 2 ตามลำดับ

γ_1 , γ_2 คือ ลองจิจูดของจุดที่1 และจุดที่2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Receiver

เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ขาดไม่ได้ที่จะคอยทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่หรือคำสั่งจากวิทยุ อุปกรณ์ตัวนี้มีหน้าตาเป็นกล่องเล็กๆมี่ช่องสำหรับเสียบอุปกรณ์เซอร์โวและสปีดคอลโรทล อาจมีตั้งแต่ 2-6 ช่องสัญญาณและมีสายไฟเล็กๆยาวๆหรือเรียกว่าสายอากาศต่อออกมาจากอุปกรณ์ดังกล่าว สามารถรับคำสั่งจากเครื่องส่งวิทยุได้ไกล 300-1000 เมตร และในรีซีฟเวอร์หรือเครื่องรับนี้ก็ต้องการพลังงานหล่อเลี้ยงจากแบตเตอรี่เช่นกัน ซึ่งในเครื่องบินมอเตอร์ไฟฟ้า หลังงานจากแบตเตอรี่มักจ่ายผ่านสปีดคอนโทรลหรืออุปกรณ์ควบคุมความเร็วนั่นเอง รีซีฟเวอร์อาจมีลักษณะกล่องใหญ่หรือเล็กหรือจิ๋วเลยก็มี อยู่ที่ประเภทของการใช้งาน

https://th.aliexpress.com/item/33058886931.html, [online]

รูปที่ 2.29 บอร์ด Pixhawk 2.4.8

2.7 วิทยุบังคับ (Remote Control/Transmitter)

วิทยุเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเล่นเครื่องบินเล็กในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นวิทยุของรถกระป๋อง หรือวิทยุมาตรฐาน การควบคุมของวิทยุจะใช้ช่องสัญญาณความถี่เป็นตัวควบคุม วิทยุที่นิยมใช้กันในปัจจุบันก็จะมีความถี่ 35.xxx , 36.xxx , 40.xxx ,72.xxx ซึ่งจะมีแร่ความถี่ (Crystal) เป็นตัวควบคุมความถี่อีกที (ในที่นี้ผมยังจะไม่ขอกล่าวถึง) ซึ่งผมจะขอจำแนกออกเป็น 3 ชนิด คือ

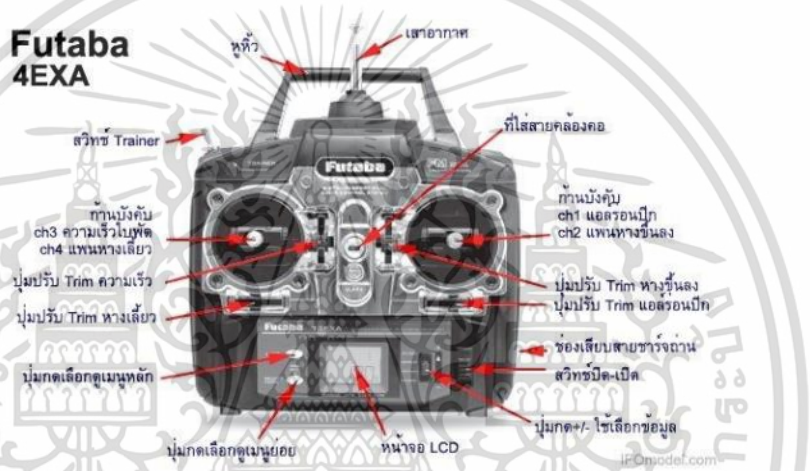
1. วิทยุ 2 ช่องสัญญาณ (2 CHANNEL) เช่น วิทยุของรถกระป๋อง วิทยุบังคับเรือ วิทยุบังคับเครื่องบินจีนบางประเภท เช่น Falcon, Firebird

2. วิทยุ 3 ช่องสัญญาณ (3 CHANNEL) เช่น วิทยุบังคับเครื่องบินยี่ห้อ Hitech สามารถใช้บังคับเครื่องบินไฟฟ้าประเภทที่ใช้ช่องความ ถี่เพียง 3 ช่อง

3. วิทยุ 4 – 6 ช่องสัญญาณ (4 – 6 CHANNEL) เช่นวิทยุบังคับเครื่องบินมาตรฐานทั่วไปยี่ห้อ Futaba JR Sanwa ใช้บังคับเครื่องบินไฟฟ้าได้แทบทุกชนิดซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวิทยุมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 3 – 4 ช่องสัญญาณ ขึ้นไป ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณก็ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญในการควบคุมการบินของเครื่องบินเล็กทั้งสิ้น ดังนี้ช่องสัญญาณที่ 1 มีหน้าที่ควบคุมปีกแก้เอียง (AILERON) ช่องสัญญาณที่ 2 มีหน้าที่ควบคุมการเดินเร่งเบามอเตอร์ (THROTTLE)ช่องสัญญาณที่ 3 มีหน้าที่ควบคุมแพนหางระดับ (ELEVATOR)ช่องสัญญาณที่ 4 มีหน้าที่ควบคุมแพนหางดิ่ง (RUDDER) ซึ่งในวิทยุบางยี่ห้อหรือบางครั้งคนละคลื่นความถี่ ช่องสัญญาณที่ใช้อาจสลับกัน เช่น ช่องสัญญาณที่ 1, 2 หรือ 3 อาจใช้ควบคุมการเร่งเดินเบาของมอเตอร์ไฟฟ้า และและในวิทยุบังคับก็จำเป็นต้องใช้พลังงานจากแบทเตอรี่ เพื่อสร้างคลื่นความถี่ส่งไปยังเครื่องรับ(รีซีฟเว่อร์)



http://kmlo.crma.ac.th, [online]

รูปที่ 2.30 วิทยุบังคับ (Remote Control/Transmitter)

สำหรับวิทยุบังคับ 4 ช่องสัญญาณตามภาพ ช่องขวามือ หากโยกสติ๊กไปทางขวา-ซ้าย จะบังคับปีกแก้เอียง (AILERON) แต่บางครั้งในเครื่องบินไฟฟ้าที่ไม่มีปีกแก้เอียง ก็จะเป็นช่องบังคับ แพนหางดิ่ง (RUDDER) เพื่อเลี้ยวซ้ายขวา เช่นกัน และหากโยกขึ้นลง จะบังคับแพนหางระดับ (ELEVATOR) เพื่อบังคับให้เครื่องบินเชิดหัวขึ้นหรือกดหัวลง ส่วนช่องด้านซ้าย หากโยกขึ้นลงจะบังคับเร่งเบามอเตอร์ หากโยกสติ๊กซ้ายขวาจะเป็นช่องบังคับ แพนหางดิ่ง (RUDDER) เพื่อเลี้ยวซ้ายขวา (หากเครื่องบินเล็กลำดังกล่าวมี ปีกแก้เอียง (AILERON)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน (State) ไม่ว่าจะเป็นระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed), ควบคุมแรงบิด (Torque), ควบคุมแรงตำแหน่ง (Position), ระยะทางในการเคลื่อนที่ (หมุน) (Position Control) ของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งมอเตอร์ทั่วไปไม่สามารถควบคุมในลักษณะงานเบื้องต้นได้ โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง

ขนาดของ Servo Motor จะมีหน่วยในการบอกขนาดเป็นวัตต์ (Watt) Servo Motor ของ Panasonic จะมีขนาดตั้งแต่ 50W-15kWทำให้ผู้ใช้งานมีความหลากหลายในการใช้งาน

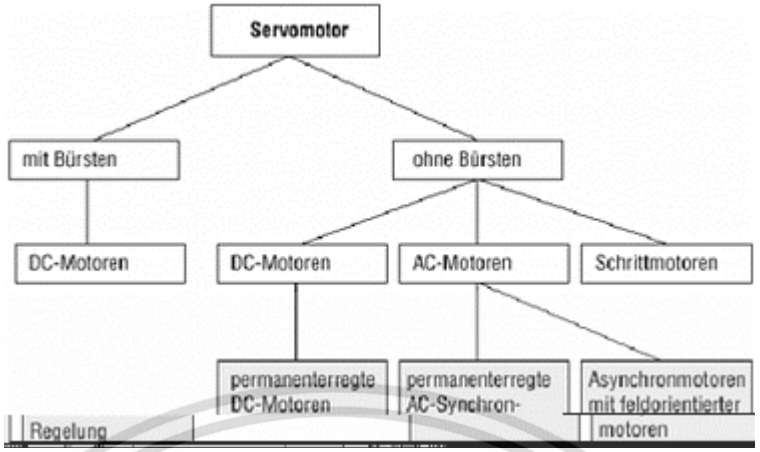
http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.31 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

2.8.1 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์

โดยทั่วจะมีทั้งดีซีและเอซีเซอร์โว ในเครื่องจักรรุ่นเก่าๆเราจะพบว่า DC Servo Motor มีการใช้เครื่องจักรกลอุตสาหกรรมมากกว่า AC Servo Motor เนื่องจากช่วงที่ผ่านมาการควบคุมกระแสกระแสสูงๆนั้นจะต้องใช้ SCRs แต่ปัจจุบันทรานซิสเตอร์ได้พัฒนาขีดความสามารถให้ตัดต่อกระแสสูงและใช้งานที่ความถี่ได้สูงๆขึ้น จึงทำให้ระบบควบคุมทางเอซีและระบบเซอร์โวได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น ซึ่งสามารถแยกประเภทของเซอร์โวได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.32 นิยามตามคู่มืออ้างอิงเซอร์โวฉบับภาษาเยอรมัน

1. เซอร์โวมอเตอร์ชนิดที่มีแปรงถ่าน คือ เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ที่สเตเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร ส่วนโรเตอร์ยังใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตอร์เรียงกระแสเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ เหมือนกับดีซีมอเตอร์ทั่วไป

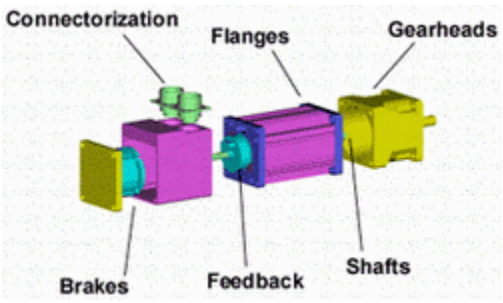
2. เซอร์โวมอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน คือ เซอร์โวมอเตอร์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยดีซีเซอร์โว (DC Brushless Servo โรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร) เอซีเซอร์โว (AC Servo) ซึ่งมีทั้งแบบซิงโครนัสเซอร์โว อะซิงโครนัสเซอร์โว (การนำอินดัคชั่นมอเตอร์มาใช้ทำเป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์) และ สเตปปิ้งเซอร์โวมอเตอร์

2.8.2 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของระบบควบคุมเซอร์โว ก็คือการใช้งานจะต้องเป็นแบบ Closed loop เท่านั้น การใช้งานระบบควบคุมเซอร์โวไม่สามารถเลือกควบคุมเป็นแบบ Open loop ได้เหมือนกันระบบขับเคลื่อนเอซี (AC Drives) การตอบสนองของระบบเซอร์โว เช่น อัตราเร่ง แรงบิด และตำแหน่งที่ควบคุมจะไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์หากไม่มีสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว

การควบคุมการทำงานในระบบนี้อุปกรณ์ป้อนกลับหรือเอ็นโค๊ดเตอร์ (Encoder) จะมีบทบาทความสำคัญอย่างยิ่งเสมือนกับเป็นของคู่กันชนิดที่เรียกว่าขาดซึ่งกันและกันไม่ได้ ในทางปฏิบัติจึงทำเซอร์โวมอเตอร์และเอ็นโค๊ดเตอร์ ถูกออกแบบและผลิตสร้างขึ้นมาคู่กันในลักษณะเป็นแพ็คเกจ (Package ซึ่งมี Encoder ติดอยู่ที่ส่วนท้ายของมอเตอร์ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.33 โครงสร้างของ AC servo Motor

Gearheads = เกียร์สำหรับลดความเร็วรอบเพื่อเพิ่มแรงบิด

Shafts = เพลาของมอเตอร์

Flanges = หน้าแปลนสำหรับติดตั้งมอเตอร์

Feedback = อุปกร์ป้อนกลับหรือ encoder

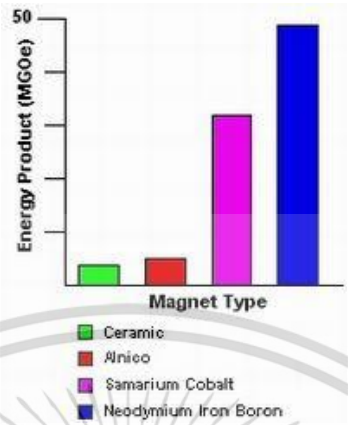
Connectorization = ขั้วต่อสายไฟเข้ามอเตอร์ และขั้วต่อสายสำหรับ Encoder

Brakes = ชุดเบรก

โครงสร้างของ AC servo Motor จะคล้ายกับมอเตอร์ 3 เฟสทั่ว ๆ ไป ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ สเตเตอร์และโรเตอร์ โดยสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด ขดลวดภายในจะต่อเป็นแบบสตาร์ (Star หรือ WYE) และมีสายต่อมาที่ขั้วต่อสายด้านนอก 3 เส้น (จุดนิวทรอลจะอยู่ด้านใน) ส่วนโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ไม่มีขดลวดพัน,ไม่มีคอมมิวเตเตอร์ และไม่มีแปรงถ่าน (Brushless) โครงสร้างที่ไม่มีขดลวดพันไม่และแปรงถ่าน จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้น ไม่มีการสูญเสียในขดลวดทองแดง ไม่ต้องบำรุงรักษาเนื่องจากแปรงถ่าน ไม่เกิดประกายไฟเนื่องจากการเรียงกระแสจากแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตอร์ไปยังขดลวดทองแดงที่พันอยู่ในตัวโรเตอร์

สำหรับวัสดุที่นำมาสร้างแม่เหล็กถาวรนี้จะแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับราคาและเทคโนโลยีของบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ซึ่งมีตั้งแต่ชนิดทีราคาถูกเช่น เซรามิก (เฟอไรต์) จนถึงการใช้วัสดุที่มีราคาแพงอย่างเช่น ซามาเรียม โคบอลต์ หรือ นีโอไดเมียม เป็นต้น (ปัจจุบันเอซีเซอร์โวมอเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุสารแม่เหล็กแบบ นีโอไดเมียม เนื่องจากมีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก และความเหมาะสมเรื่องราคาดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสารแม่เหล็กแบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

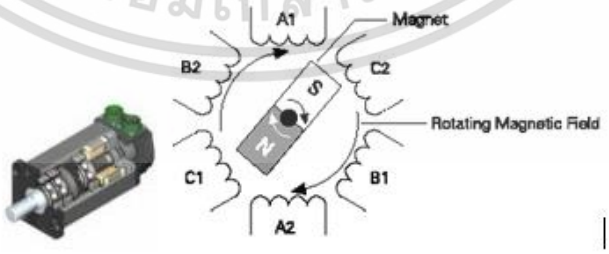


http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.34 แสดงวัสดุที่นำมาสร้างแม่เหล็กถาวร

2.8.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้จะคล้ายกับการทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์ 3 เฟส กล่าวคือเมื่อมีการควบคุมให้คอนโทรลเลอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่สเตเตอร์ แกนเหล็กของสเตเตอร์จะกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า และหมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แปรผันตามความถี่ ซึ่งเรียกว่าความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) หรือความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน และจะดูดให้โรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรหมุนเคลื่อนที่ตาม จากลักษณะโครงสร้างของโรเตอร์และหลักการทำงานที่เหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์ซึ่งเป็นมอเตอร์แบบเอซี แต่ไม่มีแปรงถ่าน (Brushless) ไม่มีซี่คอมมิวเตอรเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีชื่อเรียกขานแตกต่างกันออกไป



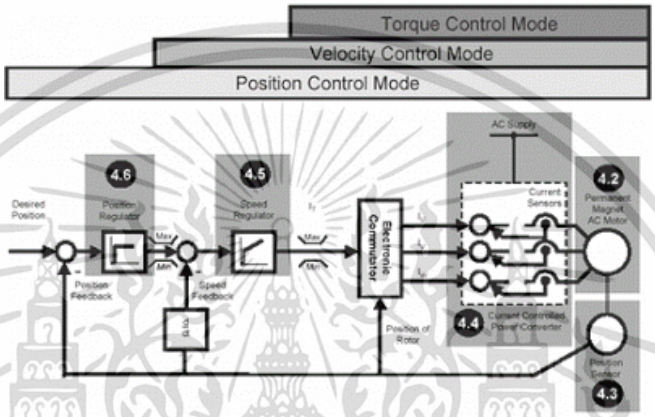
http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.35 โครงสร้างและการทำงานของ AC Servo Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 โครงสร้างของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ลักษณะของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด(Closed loop control) ซึ่งประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุมคือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง(Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง(Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุด โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญๆดังรูป



http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.36 โครงสร้างของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

1. เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) (ตำแหน่ง 4.2)

2. ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Drive,Servo Amplifier หรือบ้างก็เรียกว่า servo controller) (ตำแหน่ง 4.4, 4.5, 4.6)

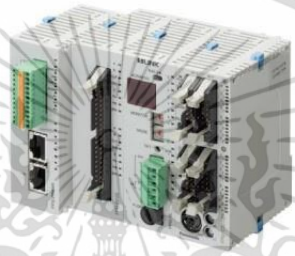
3. อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device เช่น Speed encoder และ Position Sensor) (ตำแหน่ง 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 องค์ประกอบในการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การทำงานเพียงตัว Servo Motor เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำงานได้ การที่จะให้ Servo Motor จะควบคุมลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนั้นต้องมีองค์ประกอบดังนี้

1.คอนโทรลเลอร์ (Controller) หลักการทำงานหลักๆ หน้าที่ของ Controller คือ มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานว่าต้องการให้ Servo Motor นั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไหร่และระยะทาง ใกล้หรือไกลแค่ไหน หน้าที่ตรงจุดนี้จะเป็น Controller จะเป็นตัวกำหนดให้กับตัว Servo Motor



http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.37 คอนโทรลเลอร์ (Controller)

2. เซอร์โวไดรฟ์เวอร์ (Servo Driver) หน้าที่ของ Servo Driver คือ จะรับสัญญาณมาจาก Controller และสั่งการให้กับตัว Servo Motor เคลื่อนที่ตามที่ Controller สั่งการมา แต่ทำไม Controller ไม่สั่งการควบคุมไปที่ Servo Motor โดยตรง เนื่องจาก Servo Driver จะเป็นตัวที่ปรับตั้งค่าของตัว Servo Motor ให้ทำงานตามรูปแบบของการควบคุมไม่ว่า จะเป็นการควบคุม ความเร็ว(Speed Control) , แรงบิด(Torque) และ ตำแหน่ง(Position Control) ตัว Servo Driver จะเป็น ตัวกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัว Servo Motor ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.38 เซอร์โวไดรฟ์เวอร์ (Servo Driver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) หน้าที่ของเซอร์โวมอเตอร์ คือ ขับเคลื่อนอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลหรือระบบของการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ ได้รับคำสั่งจากตัว Servo Driver พร้อมกับส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับตัว Servo Driver ว่าตอนนี้ Servo Motor เคลื่อนที่ด้วย ความเร็วเท่าไหร่และระยะทางในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไหร่แล้ว ด้วยสัญญาณของตัว Encoder ที่อยู่ภายในตัว Servo Motor ทำให้การเคลื่อนที่ของ Servo Motor นั้นมีความแม่นยำสูง

http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th, [online]

รูปที่ 2.39 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

ด้วยองค์ประกอบข้างต้นทั้งหมดทั้งมวลนั้น พอจะทำให้ผู้ที่จะใช้งานหรือผู้ที่กำลังศึกษาพอที่จะมองภาพของการ ทำงานของระบบ Servo Motor ว่าองค์ประกอบของระบบหรือการที่จะใช้งาน Servo Motor นั้นต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้างจึงจะใช้งาน Servo Motor ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2.9 แบตเตอรี่

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมี ให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลาย อิเล็กโตรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่า

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและ ปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดี เพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้, การบำรุงรักษา, การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ

แบตเตอรี่ที่เหมาะสำหรับใช้งานกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด คือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถ จ่ายพลังงานปริมาณมากหรือน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย เราจะสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย ซึ่งต่างจากแบตเตอรี่รถยนต์ที่ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงใน ช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20 - 30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้ ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบโซลาร์เซลล์ จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์ และเติมน้ำในเวลา ที่จำเป็นได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open cell หรือ Unsealed หรือ Flooded cell battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance free หรือ Sealed battery) ซึ่งทั้ง 2 ชนิดที่ว่ามานั้นหายากและราคาสูงมาก แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

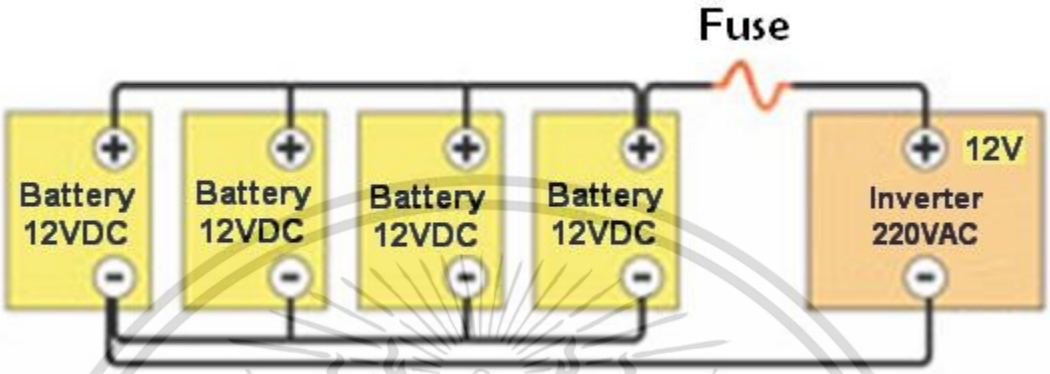
1. ชนิดแห้ง (Dry Cell) คือ พวกถ่านไฟฉาย
2. ชนิดน้ำ (Wet Cell) มี 2 ชนิด คือ
   2.1 แบตเตอรี่ด่าง เช่น แบตเตอรี่ในมือถือ, วิทยุสื่อสาร
   2.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด (Lead –Acid Battery) คือ แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป, Traction Battery ใช้ในรถยกไฟฟ้า เป็นต้น

https://www.leonics.co.th, [online]

รูปที่ 2.40 แบตเตอรี่ (Battery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

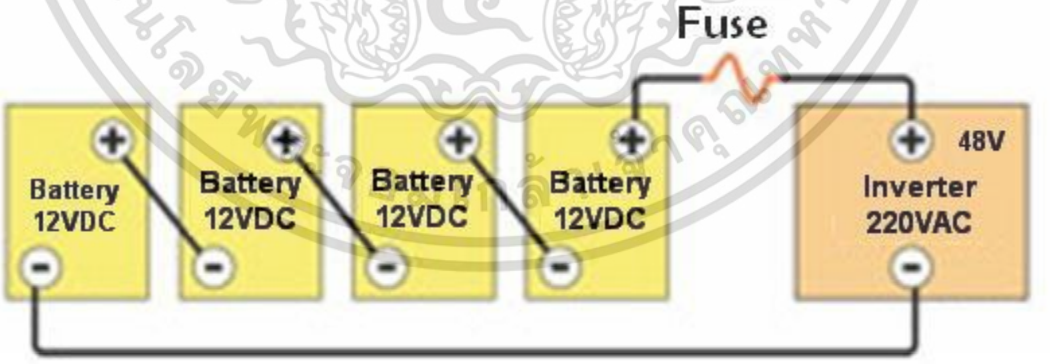
ถ้าต้องการกระแสให้สูงมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบขนานเพื่อให้ได้กระแสสูงขึ้นตามต้องการให้ใช้งานได้ยาวนานขึ้น



https://www.leonics.co.th, [online]

รูปที่ 2.41 การต่อแบบขนาน

ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ

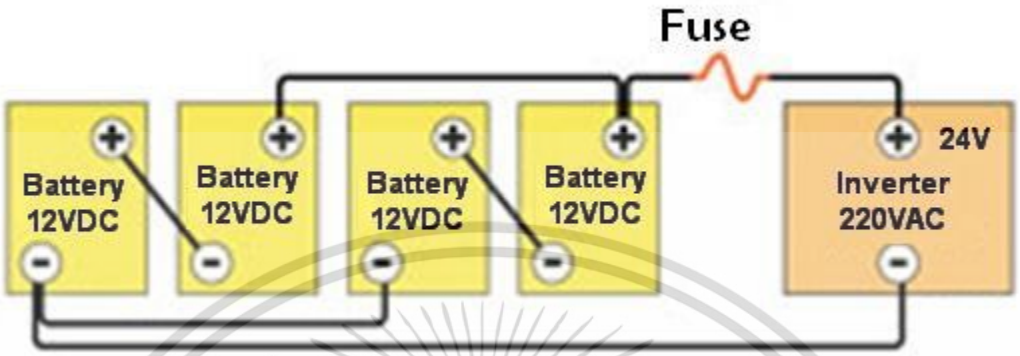


https://www.leonics.co.th, [online]

รูปที่ 2.42 การต่อแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการแรงดันและกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน



https://www.leonics.co.th, [online]

รูปที่ 2.43 การต่อแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน

2.9.1 แบตเตอรี่ทำงานอย่างไร

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประกอบด้วยเซลล์หรือหมู่ของเซลล์ต่อเข้าด้วยกัน ในหมู่ของเซลล์ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของแผ่นธาตุทั้งแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งแผ่นธาตุทั้งบวกและลบทำจากโลหะต่างชนิดกันกั้นด้วยฉนวน เรียกว่า “แผ่นกั้น” โดยนำมาจุ่มไว้ใน “ELECTROLYTE” หรือที่เรียกว่า “น้ำกรดผสม” (Sulfuric Acid) น้ำกรดผสมจะทำปฏิกิริยากับแผ่นธาตุในเชิงเคมี เพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และแต่ละเซลล์สามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ของแบตเตอรี่ส่วนมากจะถูกนำมาต่อเข้ากับ “แบบอนุกรม” (Series) ซึ่งจะเพิ่มโวลต์หรือแรงดันขึ้นเรื่อยๆ เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะต้องใช้จำนวนเซลล์ 6 เซลล์ มาต่อกัน แบบอนุกรม, แบตเตอรี่ 24 โวลต์ ใช้ 12 เซลล์ เป็นต้น

การเกิดพลังงานไฟฟ้า แผ่นธาตุสองชนิด “แผ่นบวก” คือ LEAD DIOXIDE และ “แผ่นลบ” คือ SPONGE LEAD ถูกนำมาจุ่มลงในกรดผสม “แรงดัน” (Volt) ก็จะเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อระบบแบตเตอรี่ครบวงจร กระแสก็จะไหลทันทีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ในกรณีนี้เรียกว่า “การคายประจุไฟ” (Discharge) ซึ่งตัวกรดในน้ำกรดผสมจะวิ่งเข้าทาปฏิกิริยาต่อแผ่นธาติทั้งทางบวกและลบโดยจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพของแผ่นธาตุทั้งสองชนิดให้กลายเป็นตะกั่วซัลเฟรต (Lead Sulfate) เมื่อแผ่นธาตุทั้งบวกและลบเปลี่ยนสภาพไปเป็นโลหะชนิดเดียวกัน คือ “ตะกั่วซัลเฟรต” แบตเตอรี่ก็จะไม่มีสภาพของความแตกต่างทางแรงดันกระแส ก็จะทำให้กระแสหยุดไหลหรือไฟหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ 12V x 100Ah หรือ 12V x 100A x 3600s จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือ แบตเตอรี่ จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่าย กระแส เท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึง อัตรา การจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ ในการจัดเก็บพลังงาน, อัตราการจ่ายประจุสูงสุด, อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน (อุณหภูมิที่ได้ผลดีที่สุดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ 77 F หรือประมาณ 60-80 F)

2.10 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง EVO24V120 Brushed DC Motor Driver

เป็นบอร์ดขับมอเตอร์กระแสตรงแบบชนิดแปรงถ่าน (brushed DC motor) แบบ H-bridge Driver โดยออกแบบให้มีความทนทานสูง สามารถต่อใช้งานง่ายรองรับการคำสั่งควบคุมได้หลายรูปแบบ เช่น การสั่งงานด้วยแรงดันแอนะล็อก การสั่งงานด้วยสัญญาณ PWM และการสั่งงานด้วยสัญญาณจาก R/C Receiver ซึ่งถูกพัฒนาให้ใช้สำหรับรถตัดหญ้าบังคับวิทยุ หรือโปรเจคที่ต้องการใช้งานหนักต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน ในการรับสัญญาณอินพุตเพื่อควบคุมได้ออกแบบระบบแยกสัญญาณด้วย Opto-Isolator เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นจากมอเตอร์และยังสามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าย้อนกลับไปยังอุปกรณ์ส่วนควบคุม อีกทั้งยังมีระบบป้องกันในการใช้งานอื่น ๆ เช่น ระบบป้องกันการต่อไฟเลี้ยงกลับขั้ว ระบบตัดการทำงานเมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจากการขับกระแสเกินพิกัดระบบแจ้งเตือนเมื่อระดับแบตเตอรี่ต่ำ เป็นต้น

http://www.smile-robotics.com, [online]

รูปที่ 2.44 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงEVO24V120 Brushed DC Motor Driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ทฤษฎีการคำนวณเลือกมอเตอร์

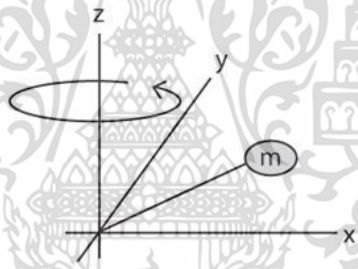
ทฤษฎีการคำนวณเลือกมอเตอร์มีสามปัจจัยในการคำนวณเมื่อเลือกขนาดมอเตอร์ คือ โมเมนต์ความเฉื่อยแรงบิดและความเร็ว

โมเมนต์ความเฉื่อย คือ การวัดความต้านทานของวัตถุต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการหมุนของวัตถุเมื่อวัตถุอยู่เฉยๆโดยไม่มีการเคลื่อนไหวโมเมนต์ความเฉื่อยคือ 0

เมื่อไรที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่นั่นหมายความว่าต้องการเปลี่ยนความเร็วของวัตถุจาก 0 เป็นค่าแห่งความเฉื่อย ซึ่งสมการในการคำนวณ มีอยู่ดังนี้

2.11.1 สมการความเฉื่อยพื้นฐาน (J)

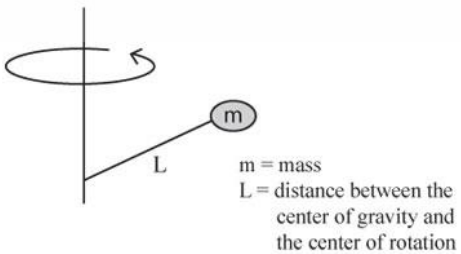
$$J = \iiint \rho(x, y, z)(x^2 + y^2)dxdydz$$



https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.2 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยจากวัตถุเคลื่อนที่

$$J = mL^2$$



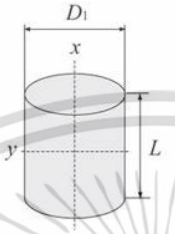
https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 โมเมนต์การคำนวณความเฉื่อยสำหรับกระบอกสูบ

$$Jx = \frac{1}{8} mD_1^2 = \frac{\pi}{32} \rho L D_1^4$$

$$Jy = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right)$$



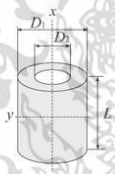
Jx : Inertia on x axis
Jy : Inertia on y axis
m : Mass
D_1 : Outer diameter
ρ : Density
L : Length

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.4 โมเมนต์ความฉื่อยสำหรับกระบอกสูบ

$$Jx = \frac{1}{8} m (D_1^2 + D_2^2) = \frac{\pi}{32} \rho L (D_1^4 - D_2^4)$$

$$Jy = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right)$$

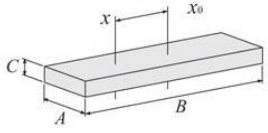


Jx : Inertia on x axis
Jy : Inertia on y axis
Jx_0: Inertia on x_0 axis
(passing through center of gravity)
m : Mass
D_1 : Outer diameter
D_2 : Inner diameter
ρ : Density
L : Length

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.5 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยเยื้องศูนย์ของแกน

$$Jx = Jx_0 + ml^2 = \frac{1}{12} m (A^2 + B^2 + 12l^2)$$



Jx : Inertia on x axis
Jy : Inertia on y axis
Jx_0: Inertia on x_0 axis
(passing through center of gravity)
m : Mass
D_1 : Outer diameter
D_2 : Inner diameter
ρ : Density
l : Distance between x and x_0 axes

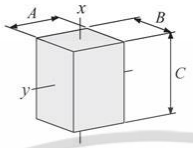
https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.6 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยโครงสร้างวัตถุแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$Jx = \frac{1}{12} m (A^2 + B^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (A^2 + B^2)$$

$$Jy = \frac{1}{12} m (B^2 + C^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (B^2 + C^2)$$



Jx : Inertia on x axis
Jy : Inertia on y axis
m : Mass
D_1 : Outer diameter
D_2 : Inner diameter
ρ : Density

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.7 การคำนวณค่าโมเมนต์วัตถุคลื่อนที่เชิงเส้น

$$J = m (\frac{A}{2\pi})^2$$

A : Unit of movement
m : Mass

2.11.8 หน่วยการวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

หน่วยการวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมี 2 ค่า **oz-in²** และ **oz-in-sec²** ก่อนหน้านี้จะเป็นค่าของแรงโน้มถ่วงแต่ ณ ปัจจุบันจะเป็นค่าของน้ำหนัก ในทางทฤษฎีความเฉื่อยเป็นองค์ประกอบของน้ำหนัก ไม่รวมถึงแรงโน้มถ่วง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราไม่สามารถวัดน้ำหนักบนโลกได้อย่างง่ายดาย โอเรียนทัล มอเตอร์ ใช้ค่าความเฉื่อยในหน่วย oz-in². จากนั้นเมื่อคำนวณค่าแรงบิดในการเร่งในการคำนวณแรงบิดจะหารความเฉื่อยทั้งหมดด้วยแรงโน้มถ่วง ซึ่งแรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ *386in/sec²* และมีค่าความเฉื่อยอื่นๆดังนี้

2.11.8.1 การคำนวณ oz-in² ถึง oz-in-sec²

$$\frac{\text{oz-in}^2}{386 \text{ in/sec}^2} = \text{oz-in-sec}^2$$

- **oz-in²** = ค่าความเฉื่อยจากฐานของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุ
- **oz-in-sec²** = ค่าความเฉื่อยจากฐานของมวลวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.9 แรงบิด

แรงบิดคือแรงที่จะหมุนวัตถุรอบแกน แรงบิดประกอบด้วยสององค์ประกอบ ส่วนแรกคือแรงบิดของการขับโหลด (คงที่) และอีกส่วนคือแรงบิดที่ใช้ในการเร่งความเร็ว

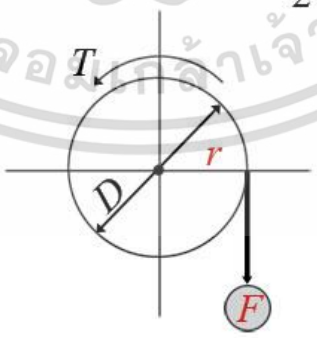
แรงบิดในการขับโหลดมักเกิดจากแรงเสียดทานและ / หรือแรงโน้มถ่วงและมักจะกระทำต่อมอเตอร์ โดยปกติส่วนประกอบนี้สามารถกำหนดได้โดยการคำนวณหรือโดยการใส่ประแจวัดค่าแรงบิดในระบบและอ่านค่าแรงบิด เมื่อไม่สามารถวัดได้เราจึงใช้สมการบางอย่างเพื่อคำนวณค่าโดยประมาณ

อย่างไรก็ตามแรงบิดที่ใช้ในการเร่งความเร็วจะพิจารณาเฉพาะกับมอเตอร์ เมื่อมีการเร่งหรือการชะลอเมื่อมอเตอร์ทำงานด้วยความเร็วคงที่ส่วนประกอบนี้จะหายไป การวัดการเร่งความเร็วเป็นเรื่องยากที่จะไม่พูดถึงความอันตราย หากคุณต้องการให้โหลดเร็วขึ้นภายใน 50 มิลลิวินาทีอาจเป็นไปได้ว่าประแจวัดแรงบิดจะหลุด ดังนั้นเราจึงใช้วิธีคำนวณจะเหมาะสมกว่า ส่วนประกอบนี้เป็นฟังก์ชันของความเฉื่อยของระบบและอัตราการเร่งความเร็ว ดังนั้นเมื่อเรากำหนดค่าเหล่านี้ได้แล้วเราจะหาค่าการเร่งแรงบิดได้

2.11.10 แรงบิดโหลด(*T*)

ดังที่เห็นในสมการแรงบิดนี้เป็นผลคูณของแรงและระยะห่างระหว่างแรงและศูนย์กลางของการหมุน ตัวอย่าง เช่น หากต้องการรับแรงที่กระทำกับปลายพูลเล่ย์ $T = F \times r$ ดังนั้นการคำนวณแรงบิดของโหลดจึงเป็นการกำหนดแรงในระบบและระยะทางระหว่างเพลามอเตอร์กับตำแหน่งที่มีแรงกระทำ เมื่อระบบกลไกมีความซับซ้อนเราจำเป็นต้องแปลง F และ r ให้พอดีกับระบบกลไก

$$T = F \times r = F \times \frac{D}{2}$$



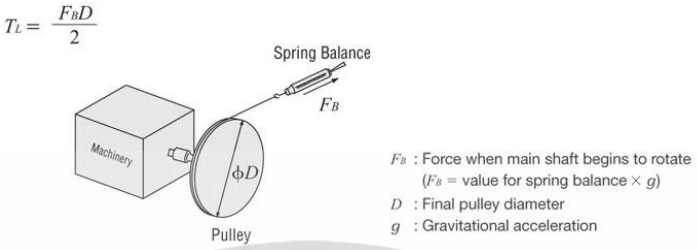
r = distance between the center of rotation
F = force point

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.11 สมการแรงบิดโหลดจากการวัดจริง

FB = แรงกระทำเมื่อเพลาหลักเริ่มหมุน



https://www.orientalmotor.co.th, [online]

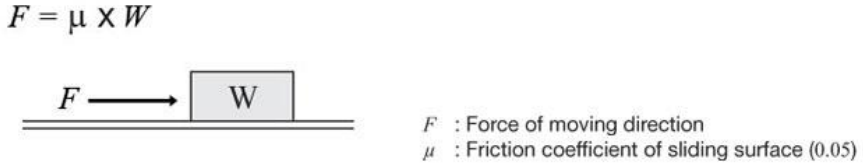
2.11.12 แรงกระทำ

แรงกระทำมีสามแบบ: แบบแนวดิ่ง, แนวระนาบ และ แนวเอียง ค่าแรงกระทำที่แตกต่างกันอาจขึ้นอยู่กับลักษณะการกระทำ

2.11.13 การคำนวณแรงกระทำแนวดิ่ง

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.14 การคำนวณแรงกระทำแนวระนาบ

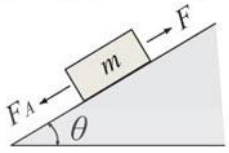


https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.15 การคำนวณแรงกระทำแนวเอียง

$$F = F_A + mg\,(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$$



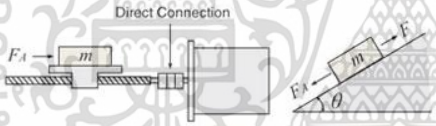
F : Force of moving direction
F_A : External force
m : Total mass of the table and load
g : Gravitational acceleration

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.16 การคำนวณแรงบิดโหลดในการขับบอลสกรู

$$T_L = \left(\frac{FP_B}{2\pi\eta} + \frac{\mu_0 F_0 P_B}{2\pi}\right) \times \frac{1}{i}$$

$$F = F_A + mg\,(\sin\theta + \mu\cos\theta)$$

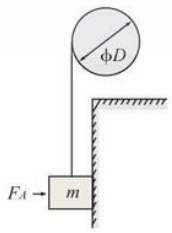


F : Force of moving direction
F_0 : Preload (≒ 1/3F)
μ_0 : Internal friction coefficient of preload nut (0.1~0.3)
η : Efficiency (0.85~0.95)
P_B : Ball screw lead
F_A : External force
m : Total mass of the table and load
μ : Friction coefficient of sliding surface (0.05)
θ : Tilt angle [deg]
g : Gravitational acceleration
i : Gear ratio (This is the gear ratio of the mechanism and not the gear ratio of the Oriental Motor's gearhead you are selecting.)

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.17 การคำนวณแรงบิดโหลดในการขับพูลเล่ย์

$$T_L = \frac{\mu F_A + mg}{2\pi} \times \frac{\pi D}{i} = \frac{(\mu F_A + mg)\,D}{2i}$$



F_A : External force
m : Total mass of the load
μ : Friction coefficient of sliding surface (0.05)
D : Final pulley diameter
g : Gravitational acceleration
i : Gear ratio (This is the gear ratio of the mechanism and not the gear ratio of the Oriental Motor's gearhead you are selecting.)

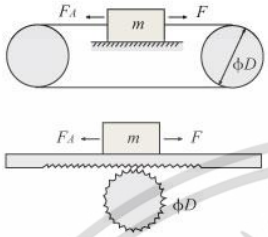
https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.18 การคำนวณแรงบิดโหลดในการขับสายพาน,แร็ก และ พีเนียน

$$T_L = \frac{F}{2\pi\eta} \times \frac{\pi D}{i} = \frac{FD}{2\eta i}$$

$$F = F_A + mg(\sin\theta + \mu\cos\theta)$$



F : Force of moving direction
μ_0 : Internal friction coefficient of preload nut (0.1~0.3)
η : Efficiency (0.85~0.95)
i : Gear ratio (This is the gear ratio of the mechanism and not the gear ratio of the Oriental Motor's gearhead you are selecting.)
P_B : Ball screw lead
F_A : External force
m : Total mass of the table and load
μ : Friction coefficient of sliding surface (0.05)
θ : Tilt angle [deg]
D : Final pulley diameter
g : Gravitational acceleration

https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.19 แรงบิดในการเร่ง

แรงบิดในการเร่งประกอบด้วยความเฉื่อยและอัตราการเร่งความเร็ว ถ้าหากรู้สองค่านี้เราจะคำนวณแรงบิดในการเร่งความเร็วได้

$$Ta = J \times A$$

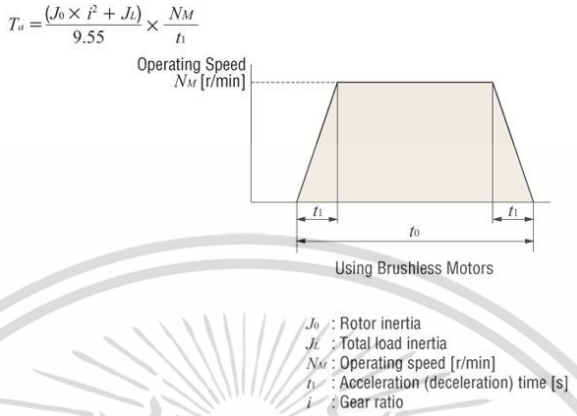
Ta : Acceleration Torque
J : Moment of Inertia
A : Acceleration Rate

2.11.20 การคำนวณแรงบิดในการเร่ง (*Ta*)

หากความเร็วรอบมอเตอร์แตกต่างกันเราควรตั้งค่าแรงบิดในการเร่งหรือการลดไว้เสมอ สูตรพื้นฐานนี้จะเหมือนกันสำหรับมอเตอร์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามให้ใช้สูตรด้านล่างนี้เพื่อคำนวณแรงบิดในการเร่งสำหรับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ หรือ เซอร์โวมอเตอร์ตามความเร็วของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

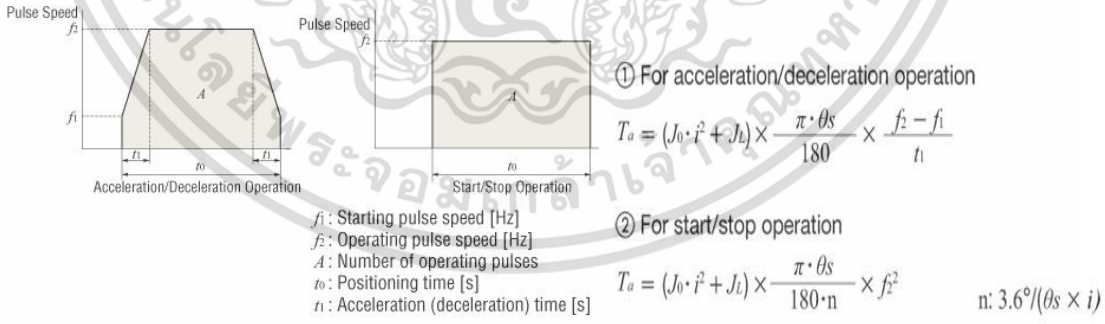
2.11.21 สูตรพื้นฐานสำหรับมอเตอร์ทั้งหมด



https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.11.22 การคำนวณหาแรงบิดในการเร่งของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ หรือ เซอร์โวมอเตอร์ บนพื้นฐานของความเร็วของการจ่ายพัลส์

ในการเคลื่อนที่พื้นฐานมีสองรูปแบบ แบบแรกคือมีการเร่ง/การหน่วง ซึ่งนิยมใช้กันมากที่สุด แต่ถ้าโหลดมีน้ำหนักเบาและเคลื่อนที่ช้า สามารถใช้แบบที่สองได้คือแบบ สตาร์ต/สต็อป



https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.23 การคำนวณค่าแรงบิดที่ต้องการ (*TM*)

แรงบิดที่ต้องการคำนวณโดยการคูณผลรวมของแรงบิดโหลดและแรงบิดเร่งความเร็วด้วยค่าเผื่อความปลอดภัย

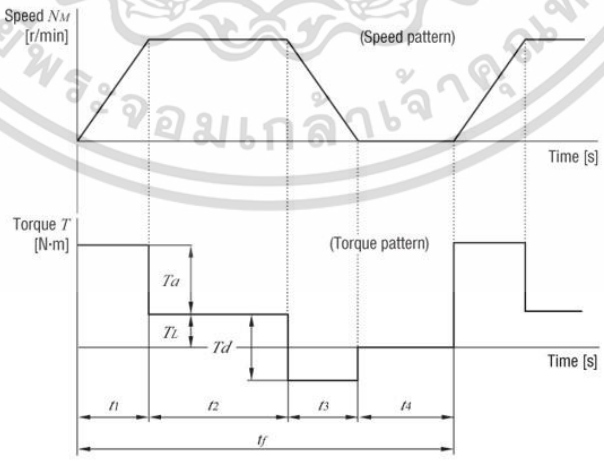
$$T_M = (T_L + T_a) \times S_f$$

T_M : Required torque
T_L : Load torque
T_a : Acceleration torque
S_f : Safety factor

2.11.24 การคำนวณหาค่าแรงบิดโหลดที่มีประสิทธิภาพ (*Trms*) สำหรับเซอร์โวมอเตอร์และมอเตอร์ชนิดไร้แปรง BX ซีรี่ส์

เมื่อแรงบิดที่ต้องการสำหรับมอเตอร์สามารถเปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป ให้ตรวจสอบว่าสามารถใช้มอเตอร์ได้หรือไม่โดยการคำนวณแรงบิดโหลดที่มีประสิทธิภาพ แรงบิดโหลดที่มีประสิทธิภาพมีความสำคัญอย่างยิ่งกับรูปแบบการทำงานเช่นการทำงานรอบเร็วที่มีการเร่ง / การลดความเร็วบ่อยครั้ง ควรคำนวณแรงบิดโหลดที่มีประสิทธิภาพเมื่อเลือกเซอร์โวมอเตอร์หรือมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน BX ซีรี่ส์

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{(T_a + T_L)^2 \cdot t_1 + T_L^2 \cdot t_2 + (T_d - T_L)^2 \cdot t_3}{t_f}}$$



https://www.orientalmotor.co.th, [online]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

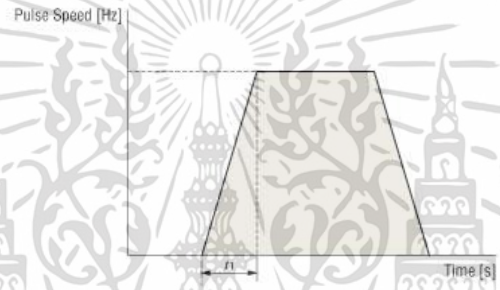
2.11.25 ความเร็ว

ความเร็วถูกกำหนดโดยการคำนวณระยะทางหารด้วยเวลา สำหรับสเต็ปปิ้งมอเตอร์หรือเซอร์โวมอเตอร์ต้องคำนึงถึงเวลาเร่งความเร็วด้วย

2.11.26 การคำนวณความเร็วมาตรฐาน

การคำนวณหาความเร็วพื้นฐาน คือ ความเร็ว =ระยะ /เวลา

การคำนวณหาความเร็วพื้นฐานสำหรับสเต็ปปิ้งมอเตอร์หรือเซอร์โวมอเตอร์ คือ ความเร็ว = ระยะ / (เวลา - เวลาในการเร่ง (*t1*)



https://www.orientalmotor.co.th, [online]

2.12 ทฤษฎีการคำนวณความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า

1) ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เช่น 1000 รอบ/นาที, 1500 รอบ/นาที, 3000 รอบ/นาที ที่ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz สามารถอธิบายง่ายได้ว่า เช่น ถ้าเราใช้ มอเตอร์ที่มีจำนวน Pole = 4 และจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 Hz มอเตอร์ตัวนี้ จะหมุนด้วยความเร็ว 1500 rpm หรือ 1500 รอบต่อนาที ทั้งนี้ จำนวนขั้ว (poles) ของมอเตอร์จะสามารถบอกความเร็วซิงโรนัสได้ เช่น

- มอเตอร์ชนิด 2 ขัว จะมีความเร็วซิงโครนัส = 3000 รอบ/นาที
- มอเตอร์ชนิด 4 ขัว จะมีความเร็วซิงโครนัส = 1500 รอบ/นาที
- มอเตอร์ชนิด 6 ขว จะมีความเร็วซิงโครนัส = 1000 รอบ/นาที

2) ความเร็วของโรเตอร์ หมายถึง ความเร็วของเพลา เช่น 930 รอบ/นาที, 1440 รอบ/นาที, 2870 รอบ/นาที ที่ความไฟฟ้าที่ 50 Hz. ซึ่งความเร็วของโรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ เนื่องจากตัวโรเตอร์หรือเพลานั้น เกิดการหมุนได้โดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วซิงโครนัสเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนจะไม่ตัดกับแท่งตัวนำในโรเตอร์ ทำให้ไม่มี แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นและจะไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นด้วย แต่ถ้าโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็ว ซิงโครนัส ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วโรเตอร์ เรียกว่า ความเร็วสลิป (Slip speed or slip in rpm) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ตามสมการ ความเร็วซิงโครนัส = 120 x ความถี่ไฟฟ้า ÷ จำนวนขั้วของมอเตอร์

ตัวอย่าง เช่น มอเตอร์ที่มี 4 ขั้ว จะมีความเร็วซิงโครนัส 1500 รอบ/นาที ซึ่งความเร็วของเพลาจะขึ้นอยู่ กับขนาดของมอเตอร์ ยิ่งมอเตอร์มีขนาดใหญ่จะมีความเร็วรอบที่สูงกว่ามอเตอร์ขนาดเล็ก หากสามารถวัดความเร็ว ของเพลาได้ 1440 รอบ/นาที ซึ่งจะมีความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วเพลาของมอเตอร์เท่า กับ 60 รอบ คิดเป็น 4% ของความร็วซิงโครนัส เราจะเรียกค่าความแตกต่างนี้ว่า ค่าสลิป (Slip) ค่าสลิปของมอเตอร์ ไฟฟ้าสามารถบ่งบอกถึงค่าประสิทธิภาพได้อย่างคร่าวๆ หากมอเตอร์มีค่า Slip ต่ำจะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่า มอเตอร์ที่มีค่า Slip สูง หรือจะกล่าวได้ว่า มอเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กเท่ากันเมื่อทำงานที่เต็มพิกัด มอเตอร์ตัวที่หมุนเร็ว กว่าจะมีค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้านั่น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ

1) จำนวนโพลของขดลวดที่ตัว Stator ของมอเตอร์ไฟฟ้า

2) ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวมอเตอร์ เราสามารถหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า ได้จากสูตรคำนวณด้านล่างนี้ Speed = 2 x net frequency x 60 ÷ number of poles ถึงแม้ว่าเราจะสามารถหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้จากการคำนวณ แต่ในความเป็นจริงแล้วสำหรับ Squirrel-cage, Slip-ring หรือ Induction motor นั้นไม่สามารถทำความเร็วได้เท่าความเร็วซิงโครนัสเลย ในสภาวะมอเตอร์ไม่มีโหลด ตัวแกนหมุนโรเตอร์นั้นสามารถหมุนได้ด้วยความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัสและความเร็วจะเริ่มลดลงเมื่อมีโหลดมากขึ้น ทำให้เกิดค่าสลิปหรือการลื่นไถล ซึ่งเป็นผลให้เมื่อคำนวณออกมาแล้วไม่ตรงกับความเร็วจริงของมอเตอร์ ดังนั้นในการใช้งานจริงเราต้องใช้ความเร็วรอบที่หักลบค่าความเร็วสลิปออกแล้ว มาคำนวณหาค่าความเร็วรอบจริงที่จะใช้ในการขับเคลื่อนโหลด สามารถหาค่าสลิปได้จากการคำนวณตามสูตรด้านล่างนี้

Slip (a normal value is between 1 and 3%) = Synchronous Speed – Asynchronous Speed (rated speed) ÷ Synchronous Speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ลักษณะของท้องเรือ

เรือแบบที่ใช้และเห็นกันอยู่ทั่วไปมีท้องเรืออยู่ 3 แบบ คือ

1.เรือท้องวี ท้องเรือแบบนี้จะวิ่งตัดแนวคลื่นได้ดี วิ่งได้เร็ว แต่ข้อเสียก็คือเรือจะโคลงเคลง จะโอนเอนเอียงไปเอียงมา เวลาจอดตกปลา ท้องเรือแบบนี้ส่วนใหญ่ จะเป็นพวกเรือ speed boat

https://www.thairescueboat.com, [online]

รูปที่ 2.45 เรือแบบท้องวี

2. เรือท้องแบน ข้อดีคือ เรือกินน้ำน้อย เข้าน้ำตื้นๆได้สบายๆ รับน้ำหนักบรรทุกได้มาก เวลาจอดตกปลาก็จะไม่ค่อยโคลงเคลง ข้อเสียคือทำความเร็วมากๆไม่ได้ เพราะท้องเรือที่มันแบนจะตบน้ำ (เวลาที่เรือขึ้นยอดคลื่นแล้วตกกระแทกลงมา ท้องเรือจะตบน้ำ ตามจังหวะการห่างของลูกคลื่น) และบังคับทิศทางลำบาก มีอาการดริพง่าย เหมาะกับสภาพคลื่นลมที่เรียบ

https://www.thairescueboat.com, [online]

รูปที่ 2.46 เรือแบบท้องแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เรือท้องสามลอน หรือที่มีอีกชื่อหนึ่งเรียกว่า ท้องเรือแบบปีกกา เรือแบบนี้ จะไม่ค่อยโคลง และทำความเร็วได้ระดับหนึ่ง แต่ไม่มากเท่ากับเรือท้องวี เรือที่เหมาะที่จะใช้สำหรับงานตกปลาในทะเล ส่วนใหญ่ ท้องเรือตรงบริเวณส่วนหัวเรือ จะเป็นท้องวี และไล่ระดับท้องวีให้ค่อยๆ แบนกว้างขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงท้ายเรือ ซึ่งเกือบจะเหมือนกับเรือท้องแบน ข้อดีคือ เรือจะทำความเร็วได้ดี บรรทุกได้มากพอสมควร เวลาจอดตกปลาเรือก็ไม่ค่อยโคลง หรือโคลงน้อยกว่า

http://siamfishing.com/board/view.php?tid=652856, [online]

รูปที่ 2.47 เรือแบบท้องสามลอน

2.14 ทฤษฎีการคำนวณหาความลึกของน้ำ

ความเร็วของเรือที่ทดลองอาจจะไม่ถูกต้องถ้าน้ำบริเวณที่ทำการทดลองตื้นเกินไป ความลึกที่น้อยที่สุดจะไม่มีผลกระทบต่อความเร็วนั้นขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของเรือและความเร็วที่ทดลองซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้ คือ

$$D = \frac{10\,HV}{L}$$

D คือ ความลึกต่ำสุดของน้ำ มีหน่วยเป็น ฟุต (ft)

H คือ การกินน้ำลึก (TRIAL DRAFT) ของเรือ มีหน่วยเป็น ฟุต (ft)

V คือ ความเร็วที่ทดลอง มีหน่วยเป็น นอต (knot)

L คือ ความยาวเรือที่ระดับน้ำ มีหน่วยเป็น ฟุต (ft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1 เรือสแตนเลสขนาด 2 ที่นั่ง

ใช้เป็นพาหนะในการขับเคลื่อนบนผิวน้ำรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 88 x 346 เซนติเมตร และมีความสูงเท่ากับ 26 เซนติเมตร ริ้อสร้างขึ้นจากแผ่นสแตนเลส และเหล็กฉาก ขนาด 1/2 นิ้วและภายในเรือจะมีเหล็กค้ำทางด้านท้ายเรือเพื่อที่จะทำเป็นจุดวางของตู้คอนโทรลและยึดจับทางด้านหางเสือ เรือ

รูปที่ 3.1 เรือสแตนเลสขนาด 2 ที่นั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ชุดหางเสือเรือ

เป็นชุดที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ ไปข้างหน้าบนผิวน้ำ โดยจะมีมอเตอร์ไฟฟ้า ส่งกำลัง ผ่านไปยังใบพัดเพื่อที่จะหมุนผลักดันน้ำให้เรือขับเคลื่อน ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ชุดหางเสือเรือ

3.1.3 ชุดตู้คอนโทรล

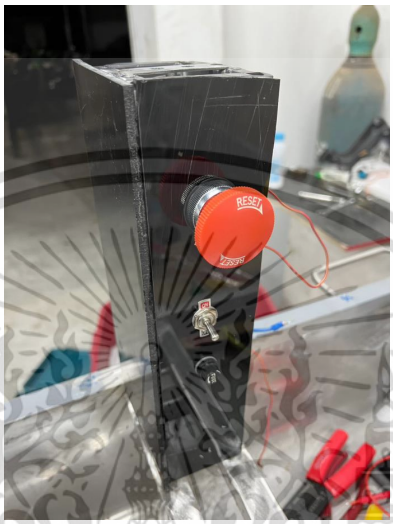
ใช้ในการ เก็บบอร์ด PIKHAWK รีซีฟเวอร์ และมอเตอร์ไดร์ฟ อุปกรณ์ภายในตู้ทั้งหมดนี้จะเป็นชุดที่ สั่งการมอเตอร์และเซอร์โว เพื่อที่จะบังคับเรือ ไปในทิศทางซ้ายขวา ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ชุดตู้คอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ชุดเมนไฟ

เป็นชุดที่ตัดต่อไฟภายในวงจรโดยไฟจะผ่านจากแบตเตอรี่เข้าสู่สวิตช์ต่างๆและมีฟิวส์เป็นตัวป้องกันกระแสเพื่อไม่ให้ลัดวงจรภายในตู้คอนโทรล ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดเมนไฟ

3.1.5 ชุดอุปกรณ์ให้อาหารปลา

เป็นอุปกรณ์ให้อาหารปลาโดยการฟีดออกจากทางด้านข้างเพื่อให้อาหารปลาโดยจะมีมอเตอร์และชุดเกลี่ยวในการฟีดอยู่ทางด้านใน

รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ให้อาหารปลารุ่นต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม

3.2.1 รีโมทคอนโทรล LFY SKY 2.4Ghz FS-i6X

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบังคับทิศทางในการบังคับเรือ ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.6 รีโมทคอนโทรล LFY SKY 2.4Ghz FS-i6X

3.2.2 รีซีฟเวอร์ FS-IA6B 6 Channel

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่จูนเนอร์หรือเป็นตัวรับสัญญาณจากภาครับวิทยุ ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.7 รีซีฟเวอร์ FS-IA6B 6 Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ 35 Kg.

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed) , ควบคุมแรงบิด (Torque) , ควบคุมแรงตำแหน่ง (Position) โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง) ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.8 เซอร์โวมอเตอร์ 35 Kg.

3.2.4 Motor เกียร์ทด 250w 24v.

มอเตอร์ที่ประกอบติดกับเกียร์ทด ทำให้ได้รอบการทำงานที่ต้องการโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ทดรอบภายนอกดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.9 Motor เกียร์ทด 250w 24v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างและออกแบบ

3.3.1 ออกแบบชุดเมนไฟ

ประกอบไปด้วยสวิตช์Emergency และสวิตช์ปิด-เปิดระบบ และฟิวส์ป้องกันกระแสเกินภายในระบบ

รูปที่ 3.10 ออกแบบชุดเมนไฟ

3.3.2 ออกแบบแท่นวางServo Motor และชุดหมุนหางเสือ

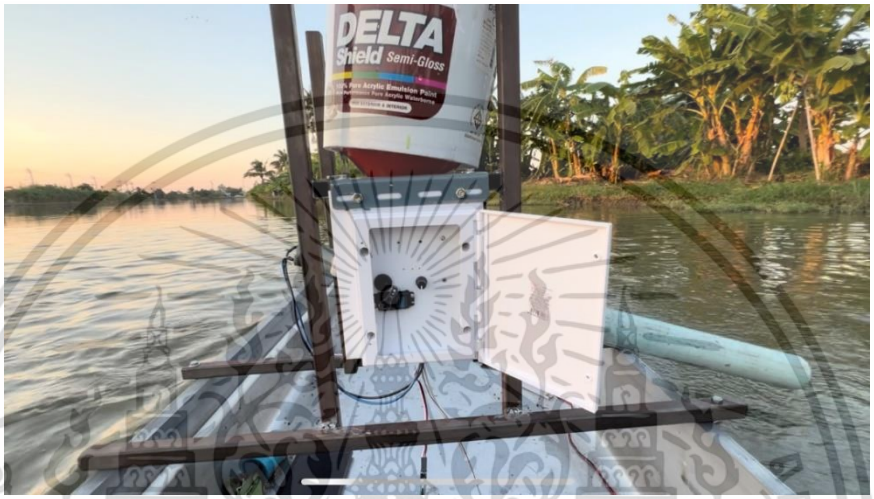
โดยทำการเชื่อมเหล็กเพื่อทำฐานวางเซอร์โว จากนั้นใช้สลิงร้อยผ่านแขนที่ใช้ดึงระหว่างชุดหางเสือและชุดเซอร์โว เพื่อเป็นการควบคุมทิศทางการเลี้ยว

รูปที่ 3.11 ออกแบบแท่นวางServo Motorและชุดหมุนหางเสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ออกแบบชุดให้อาหารปลา

โดยเริ่มจากการเชื่อมเหล็กเพื่อเป็นโครงในการวางอุปกรณ์และทำการนำถังสีเก่ามาตัดที่ก้นถังเพื่อใส่กรวยและนำท่อมาส่วมจากนั้นใส่มอเตอร์และเกลียวในการฟีดอาหารและมีการทำวงจรเพื่อควบคุมมอเตอร์และสวิตซ์เปิดเปิดได้จากรีโมทคอนโทรล



รูปที่ 3.12 ออกแบบชุดให้อาหารปลารุ่นต้นแบบ

3.4 การออกแบบระบบกำลังในเรือไฟฟ้า

โดยการออกแบบระบบกำลังไฟฟ้าภายในเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกมีทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดสเปกของเรือไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 การกำหนดสเปกของเรือไฟฟ้า

ชนิดของเรือ	เรือสแตนเลส 2ที่นั่ง
สถานที่ที่ใช้	พื้นที่บ่อน้ำเกษตรกรรม
ความเร็วสูงสุด	8.2km/h
พิกัดมอเตอร์	250w
แบตเตอรี่	24 V. 9Ah.
อัตราเร่ง	10 วินาที 0-8.2km/h
มวล+คน+อุปกรณ์เสริม	300kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหากำลังพิกัด (rated power)ของมอเตอร์ และการคำนวณทางไฟฟ้า

โดยทางเราได้รับมอเตอร์มาจากทางอาจารย์ตั้งแต่ต้นโดยมีกำลังอยู่ที่ 250 W และในส่วนถัดมาจะเป็นการหาแรงต้านอากาศ คือ แรงต้านอากาศที่พื้นที่ของตัวเรือ (Af,M2) ปะทะกับอากาศที่มีความหนาแน่น(**Ƥ**,air density,kg/m3) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอากาศ (Cd) เรือมีความเร็ว (V,m/s) แรงต้านอากาศ (Air dag force,FAD) จะมีสูตรดังนี้

$$FAD = (1/2)\ Ƥ CdAf\ v2$$

และในส่วนของการคำนวทางไฟฟ้านั้นจะมีวิธีการคำนวณด้วยสูตรดังนี้

การหากระแสมอเตอร์ DC $I = \frac{W}{(V \times eff)}$

แทนค่า $I = \frac{250}{(24 \times 0.85)} = 12.25A$

ขั้นตอนที่3 Define Driver DC/DC

เนื่องจากมอเตอร์มีขนาด250**W** แต่เนื่องจากค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์อยู่ที่ 85% จึงคำนวณออกมาได้ดังนี้

$$250(1-0.85)+250 = 287.5\ W$$

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงทำการเลือก Driver DC/DC ขนาด 500 W

ขั้นที่4 กำหนดสเป็กของแบตเตอรี่

ค่าประสิทธิภาพของ Driver DC/DC อยู่ที่ 0.98 จึงคำนวณออกมาได้ดังนี้

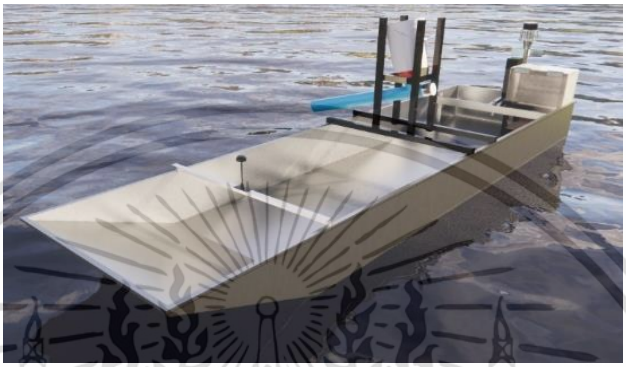
$$500(1-0.98)+500 = 510\ W$$

ดังนั้นค่าพลังงานที่ควรใช้ในการเลือกขนาดพลังงานในแบตเตอรี่ต้องมากกว่า 510 **W** จึงจะสามารถใช้งานได้ 1 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

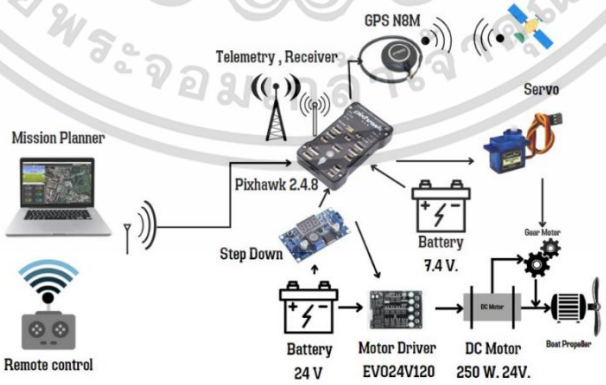
3.5.1 ออกแบบโครงสร้างเรือโดยใช้โปรแกรม Sketch up Pro 2022



รูปที่ 3.11 รูปทรงการออกแบบเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย

3.5.2 ออกแบบระบบควบคุมเรือ

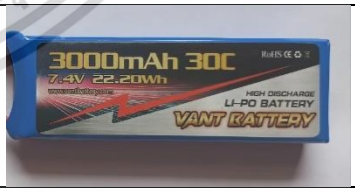
การออกแบบระบบควบคุมเรืออัตโนมัติ จะมีอุปกรณ์การออกแบบ ดังรูปที่ 3.12 แต่ละอุปกรณ์มีหน้าที่และการใช้งาน ดังในตารางที่ 3.2 และการต่อบอร์ด Pixhawk กับอุปกรณ์ใช้งาน ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.12 การออกแบบระบบควบคุมเรือ

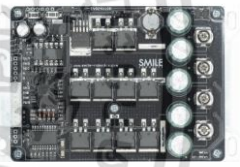
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดอุปกรณ์ระบบควบคุมเรือ

ลำดับที่	อุปกรณ์	หน้าที่และการใช้งาน	รูป
1	Pixhawk 2.4.8	บอร์ดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยรับข้อมูลการทำงานจากคอมพิวเตอร์และจีพีเอส	
2	Remote FS-I6X	สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายระหว่าง Remote FS-I6X กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
3	Telemetry Radio V3 100mW – 915MHz	สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
4	GPS N8M	ส่งข้อมูลสัญญาณให้บอร์ด Pixhawk 2.4.8	
5	Receiver FS-IA6B	ตัวรับส่งสัญญาณไร้สายระหว่าง Remote FS-I6X กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
6	LI-PO Battery 7.4V.	จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
7	แบตเตอรี่แห้ง 24V. 18A.	จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8 และจ่ายไฟให้กับ Motor Driver	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดอุปกรณ์ระบบควบคุมเรือ (ต่อ)

ลำดับที่	อุปกรณ์	หน้าที่และการใช้งาน	รูป
8	Step Down 3A	ปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 7 โวลต์ และจ่ายให้กับ Pixhawk 2.4.8 เพื่อทำการสั่งงานเซอร์โวให้ได้แรงดึงเยอะ	
9	Servo 8.4 V 35Kg	รับข้อมูลจากบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ไปสั่งการควบคุมการทำงานมอเตอร์เซอร์โว	
10	Motor 24V 250W	ขับเคลื่อนเรือ	
11	Motor Driver EV024V120 DC	รับข้อมูลจากบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ไปสั่งการควบคุมการทำงานมอเตอร์ DC	
12	คอมพิวเตอร์	รับส่งข้อมูลสัญญาณ	

ตารางที่ 3.3 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านบนในตารางที่1)

ลำดับที่	Pin	การใช้งานกับอุปกรณ์	คุณสมบัติ
1	2	Telemetry	รับส่งข้อมูลแบบ UART
2	6	Power module	แปลงไฟเลี้ยงเข้าบอร์ด
3	7	Switch	เปิด - ปิด การใช้มอเตอร์
4	8	Buzzer	ส่งเสียงเตือน
5	10	GPS	รับข้อมูลแบบ UART
6	12	Compass	รับข้อมูลแบบ UART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านล่าง)

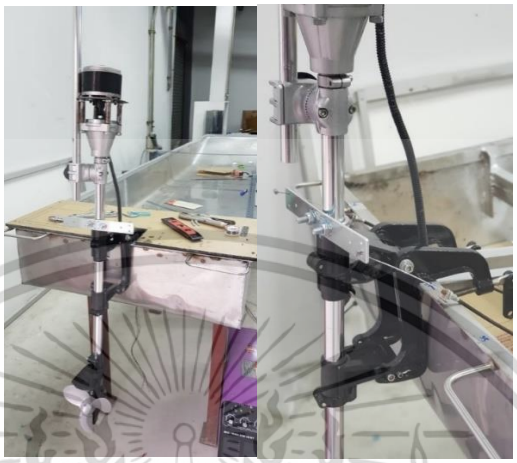
ลำดับที่	Pin (main output)	การใช้งานกับอุปกรณ์	คุณสมบัติ
1	RC	Receiver	รับส่งข้อมูลแบบ UART
2	1	Servo	สร้างสัญญาณ PWM
3	3	Motor	สร้างสัญญาณ PWM
4	5	Servo	สร้างสัญญาณ PWM
5	8	Step Down	ลดแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 3.13 Pixhawk connectors ตัวเชื่อมต่อสัญญาณ PWM ด้านบนและด้านล่าง

การสั่งการผ่าน บอร์ด Pixhawk 2.4.8 และการบังคับของเรือจาก Remote control บอร์ด Pixhawk 2.4.8 จะปล่อยคลื่นความถี่ของสัญญาณ Radio ที่ 2.4 GHz และ สัญญาณ 433 MHz – 915 MHz มาที่จากเสาปล่อยความถี่ของ Telemetry ที่ต่อกับบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ซึ่งที่เรือนั้นก็จะได้รับการติดตั้งตัวรับสัญญาณจาก Remote control หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Radio receiver ความถี่ 2.4 GHz. และตัวรับสัญญาณ Telemetry ที่คลื่นสัญญาณ 433 MHz. – 915 MHz. เช่นกัน และตัวบอร์ด Pixhawk 2.4.8 นี้เองจะมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Radio receiver (RC) , channel 1 , channel 2 , channel 3 และ channel 5

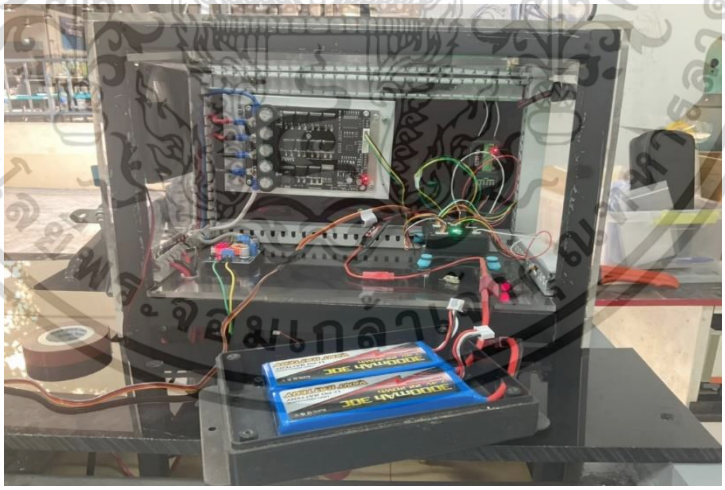
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ติดตั้งหางเสือพร้อมกับสลิงที่เซอร์โวใช้ในการเลี้ยว



รูปที่ 3.14 ติดตั้งมอเตอร์เข้ากับหางเสือเรือจากนั้นก็ยึดหางเสือเรือที่จุดกึ่งกลางท้ายเรือ

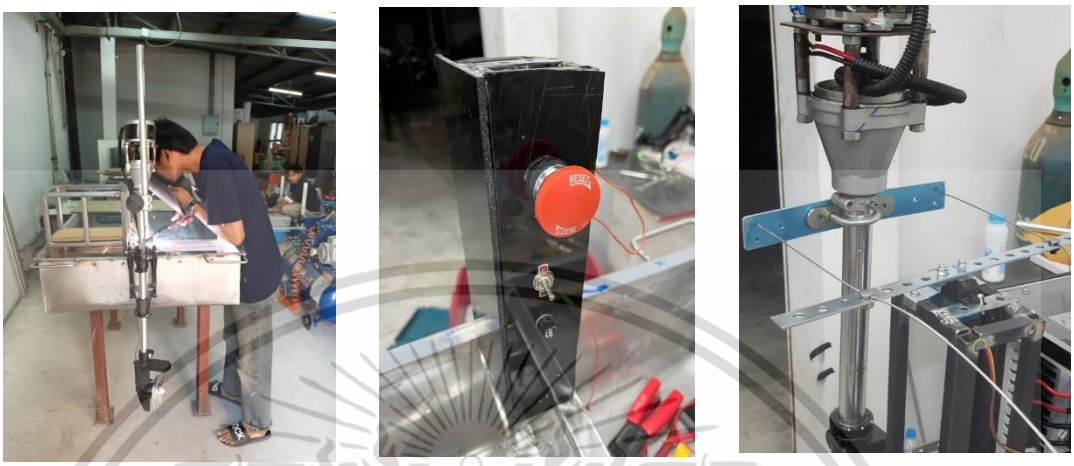
3.5.4 ติดตั้งกล่องคอนโทรลและชุดบอร์ด Pixhawk รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ



รูปที่ 3.15 ชุดกล่องคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 เชื่อมเสาเพื่อเป็นจุดยึด Servo และชุด Main Power



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.16 (ก) เชื่อมเสายึดจุดด Servo
(ข) ติดตั้งชุดกำลังลงไปในเสายึด
(ค) ติดตั้งชุด Servo พร้อมกับแกนในการหมุน

3.5.6 นำเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไปลงในบ่อที่มีการประมงน้ำจืด

รูปที่ 3.17 ทดลองนำเรือไปวิ่งในบ่อด้วยจอยสติกและ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

หลังจากศึกษาและเก็บข้อมูลในการวิ่งบนพื้นผิวน้ำของเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย จนนำมาสู่การทดลองวิ่งบนพื้นผิวน้ำเพื่อหาความเร็ว ค่ากระแส และพลังงานที่ใช้ไป โดยในการทดลองในครั้งนี้จะใช้ระยะทางที่เท่ากันทั้งหมดที่ 300 เมตร ซึ่งจะมีการบรรทุกน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 250 กิโลกรัม

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองวัดค่าความเร็ว

ตารางที่ 4.1 ทดลองวัดค่าความเร็ว

น้ำหนักโหลด (kg)	ทิศทาง	เวลา (นาที)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็ว (km/h)	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)
No load	ขาไป	2:41	2.07	7.45	8.20
	ขากลับ	2:44	2.49	8.96	
70 (1 คน)	ขาไป	3:13	1.59	5.72	5.75
	ขากลับ	3:09	1.61	5.79	
150 (2 คน)	ขาไป	3:19	1.56	5.61	5.54
	ขากลับ	3:28	1.52	5.47	
250 (3 คน)	ขาไป	3:44	1.45	5.22	4.66
	ขากลับ	4:36	1.14	4.10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลองวัดค่ากระแส

ตารางที่ 4.2 ทดลองวัดค่ากระแส

การวิ่งบนพื้นผิวน้ำ ระยะทาง 300 เมตร		
น้ำหนัก (kg)	กระแส (A)	ความเร็วเฉลี่ย (Km/hr)
70 (1 คน)	14.20	5.75
150 (2 คน)	15.17	5.54
250 (3 คน)	17.18	4.66

4.1.3 ผลการทดลองวัดค่าพลังงานที่ใช้ไป

พลังงานที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในความเร็วเฉลี่ย 5.79 km/hr น้ำหนักในการบรรทุก 70kg

สูตร V x Ah = Wh

24 V x 14.20 A = 340.80 Wh

พลังงานที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในความเร็วเฉลี่ย 5.54 km/hr น้ำหนักในการบรรทุก 150kg

สูตร V x Ah = Wh

24 V x 15.17 A = 364.08 Wh

พลังงานที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ในความเร็วเฉลี่ย 4.66 km/hr น้ำหนักในการบรรทุก 250kg

สูตร V x Ah = Wh

24 V x 17.18 A = 412.32 Wh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดำเนินงาน

จากผลการทดลองที่ได้มาจะเห็นได้ว่าใช้น้ำหนักของสมาชิกแทนน้ำหนักของโหลดที่จะบรรทุกใส่ โดยตั้งน้ำหนักที่ได้ไว้ตั้งแต่ 0 – 250 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่โหลดที่รับได้สูงสุดจะอยู่ที่ 300 กิโลกรัม โดยจะมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

การทดสอบครั้งที่ 1 จะใช้น้ำหนัก 0 กิโลกรัม โดยไม่มีสมาชิกขึ้นไปอยู่บนเรือทั้งรอบไปและกลับ โดยมีความเร็วอยู่ที่ 7.45 km/h ในรอบไป ในส่วนรอบกลับจะมีความเร็วอยู่ที่ 8.96 km/h และมีความเร็วของทั้งรอบไปและกลับเฉลี่ยที่ 8.2 km/h

การทดสอบครั้งที่ 2 จะใช้น้ำหนัก 70 กิโลกรัม โดยไม่มีสมาชิกขึ้นไปอยู่บนเรือทั้งรอบไปและกลับ โดยมีความเร็วอยู่ที่ 5.72 km/h ในรอบไป ในส่วนรอบกลับจะมีความเร็วอยู่ที่ 5.79 km/h และมีความเร็วของทั้งรอบไปและกลับเฉลี่ยที่ 5.75 km/h

การทดสอบครั้งที่ 3 จะใช้น้ำหนัก 150 กิโลกรัม โดยไม่มีสมาชิกขึ้นไปอยู่บนเรือทั้งรอบไปและกลับ โดยมีความเร็วอยู่ที่ 5.61 km/h ในรอบไป ในส่วนรอบกลับจะมีความเร็วอยู่ที่ 5.47 km/h และมีความเร็วของทั้งรอบไปและกลับเฉลี่ยที่ 5.54 km/h

การทดสอบครั้งที่ 4 จะใช้น้ำหนัก 250 กิโลกรัม โดยไม่มีสมาชิกขึ้นไปอยู่บนเรือทั้งรอบไปและกลับ โดยมีความเร็วอยู่ที่ 5.22 km/h ในรอบไป ในส่วนรอบกลับจะมีความเร็วอยู่ที่ 4.10 km/h และมีความเร็วของทั้งรอบไปและกลับเฉลี่ยที่ 4.66 km/h

โดยทุกการทดสอบก็เพื่อหาค่าหาความเร็วเฉลี่ย ค่ากระแสที่ได้ และพลังงานแบตเตอรี่ที่ใช้ไปกับมอเตอร์ตามลำดับของน้ำหนักของโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ทดลองเรือในขณะที่ไม่มีโหลด

รูปที่ 4.2 ทดลองเรือในขณะที่มีโหลด 70 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ทดลองเรือในขณะที่มีโหลด 150 กิโลกรัม

รูปที่ 4.4 ทดลองเรือในขณะที่มีโหลด 250 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินงานโครงการ เรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย ทางผู้จัดทำสามารถสรุปผลของการทดลองได้ดังนี้

ผลจากการศึกษาข้อมูล ค้นคว้าและการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราห์ข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สายจะมีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ 1.ลมที่พัด 2.น้ำหนักที่ทำการบรรทุก 3.ปลาภายในบ่อ

จากการทดสอบวิ่งบนน้ำและทำการวัดค่ากระแสจะพบว่า เมื่อวิ่งที่ความเร็วคงที่แต่บรรทุกน้ำหนักต่างกันกระแสจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จะทำการแสดงในตาราง 5.1 ซึ่งการทดลองพบว่าการวิ่งบนน้ำด้วยไม่มีโหลดจะกินกระแสน้อยมากที่สุด

ตาราง 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้

ค่าพลังงานที่ใช้ไป		
ความเร็วเฉลี่ย/น้ำหนัก	กระแส	ค่าพลังงานที่ได้
5.75 km/h น้ำหนักบรรทุก 70 kg	14.20 A	340.80 Wh
5.54 km/h น้ำหนักบรรทุก 150 kg	15.17 A	364.08 Wh
4.66 km/h น้ำหนักบรรทุก 250 kg	17.18 A	412.32 Wh

จากตารางที่ 5.1 ในแต่ละครั้งที่มีการเพิ่มน้ำหนักในการบรรทุกจะมีการดึงค่าพลังงานที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากความเร็วในการขับเคลื่อนมีความเร็วแตกต่างกันออกไป อย่างเช่น โหลด70KGและโหลด250KG โดยจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานนั้นจะเปลียนแปลงตามน้ำหนักและสภาพแวดล้อม ความเร็วในการขับเคลื่อนเมื่อมีน้ำหนักมากรวมถึงสภาพแวดล้อมรวมถึงการใช้ความเร็วสูงจะทำให้การดึงพลังงานออกจากแบตเตอร์รี่นั้นสูงจึงทำให้ระยะเวลาในการใช้งานเรือจะมีระยะเวลาสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหา

5.2.1 ปัญหาที่พบ

1.เนื่องจากปัญหาสถานการณ์โควิด-19ทำให้ไม่สามารถเข้าไปทำโครงการในสถาบันได้

2.เนื่องจากอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำโครงการนั้นอยู่ที่สถานบันการศึกษา ดังนั้นปัญหาที่เกิดคือ ขาดอุปกรณ์ที่จำเป็นเช่น เครื่องตัดเหล็ก เครื่องเชื่อม

3.เนื่องจากการทำโครงการนั้นได้ย้ายตำแหน่งของ GPS ไปไว้ทางหน้าเรือจึงทำให้การส่งสัญญาณไปทางชุดขับเคลื่อนที่ท้ายเรือมีการดีเลย์เล็กน้อย

4.ในขณะทำการทดลองการให้อาหารบอร์ดควบคุมเกิดอาการเสียหายเนื่องจากแรงดันเกินบอร์ดรองรับเพียง3-5Aแต่มอเตอร์ใช้ถึง15A

5.เรื่องวัสดุของตัวเรือเนื่องจากตอนต้นได้ใช้เรือยางและทำการเปลียนมาเป็นเรือสแตนเลสเนื่องจากเรือยางนั้นมีการต้านน้ำสูงและมีการรับน้ำหนักได้น้อย

5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1.เปลียนตัวเรือเป็นสแตนเลสทำให้เรือมีความต้านน้ำน้อยลงและรับน้ำหนักที่มากขึ้น

2.ทำการปรึกษาพี่ที่มีความชำนาญในการใช้บอร์ด Pixhawk เพื่อมาช่วยในการ Setting ระบบ

3.ทำการหาเครื่องมือมาทำจากบ้านเพื่อให้มีอุปกรณ์เพียงพอในการทำงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีโซล่าเซล์เพื่อทำการชาร์จไฟไปได้ด้วยในขณะที่ใช้เรือในที่กลางแจ้ง

2.เพิ่มขนาดมอเตอร์เพื่อให้สามารถใช้งานได้นานขึ้น

3.สามารถนำโครงการไปต่อยอดในการให้อาหารปลาที่มีอัตราการฟีดที่มากขึ้นโดยใช้ลมในการดันอาหารออกไปในระยะที่ไกลขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง – กรมประชาสัมพันธ์

[2] อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออะไร ? I Electricity & Industry (electricityandindustry.com)

[3] ระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกล - ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม

[4] ความรู้พื้นฐานงานชิ้นส่วนเครื่องกลว่าด้วยเรื่องเฟือง (Gear)

[5] โซ่ส่งกำลัง อุปกรณ์สำคัญในการออกแบบเครื่องจักร

[6] ระบบส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานกับการผลิต | Modern Manufacturing

[7] มอเตอร์ไดรฟ์ - วิกิภาษาไทย

[8] GPS คืออะไร และทำงานอย่างไร - GotoKnow

[9] เครื่องมือสื่อสารและอุปกรณ์ช่วยการเดินเรือ – MarinerThai.com

[10] สายไฟ คืออะไร วิธีเลือกสายไฟให้เหมาะสมกับประเภทของงาน – Phelps Dodge (pdcable.com)

[11] วิทยุบังคับ – โดรนและเครื่องบิน – Google Sites

[12] เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor): บทความความรู้ สอนไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (advance-electronic.com)

[13] แบตเตอรี่

[14] Smile Robotics EVO24V120 - Smile Robotics: Inspired by LnwShop.com (smile-robotics.com)

[15] การคำนวณเลือกมอเตอร์ (orientalmotor.co.th)

[16] ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า – INDUSTRYPRO

[17] ท้องเรือแบบไหนเหมาะกับน้ำทะเล และน้ำจืด | Taweewat.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย

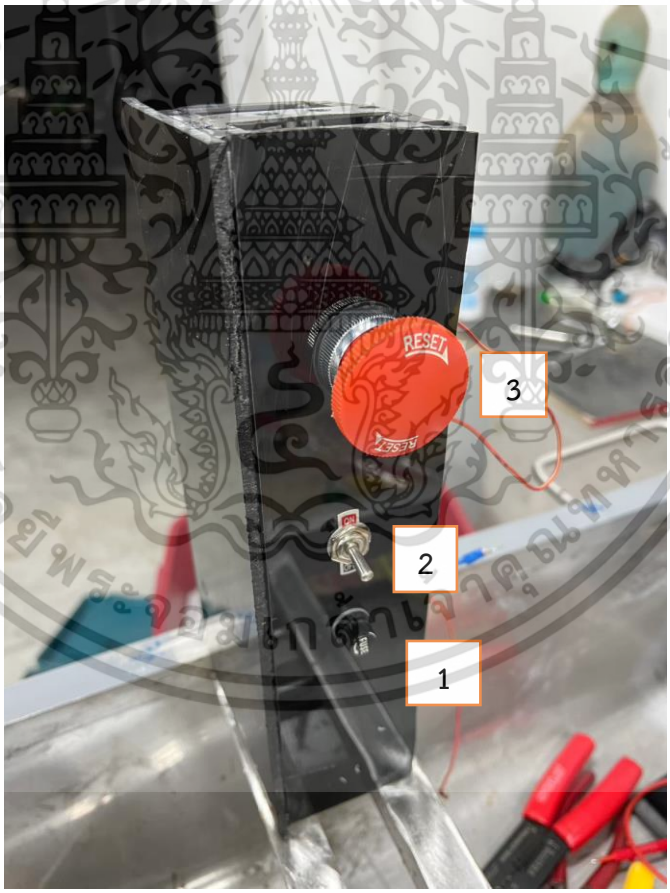
ก.1 อธิบายฟังชั่นของเรือ

ชุด Main Power

หมายเลขที่ 1 คือ ฟิวกันไฟเกิน 20A

หมายเลขที่ 2 คือ สวิตซ์เปิดปิดการใช้งาน

หมายเลขที่ 3 คือ สวิตซ์ฉุกเฉิน Emergency



ก.1 ชุด Main Power ของเรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดจอยสติกไร้สาย

หมายเลขที่ 4.คือ สวิตซ์ปิดเปิดรีโมท

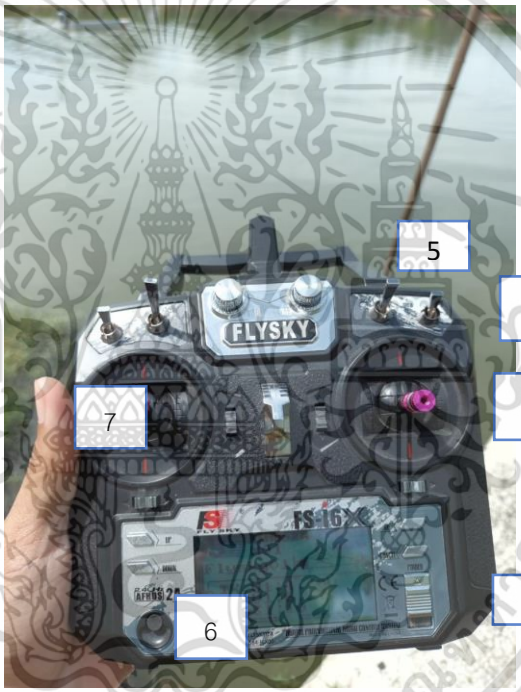
หมายเลขที่ 5.คือ เปิดปิดการใช้งานอัตโนมัติ

หมายเลขที่ 6.คือ จอแสดงผล

หมายเลขที่ 7.คือ ควบคุมความเร็ว

หมายเลขที่ 8.คือ ควบคุมการเลี้ยว

หมายเลขที่ 9.คือ สวิตซ์เปิดปิดที่ให้อาหารปลา



ก.2 ชุดจอยสติกไร้สาย

ก.2 ขั้นตอนการใช้งาน

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเปิดสวิตซ์หมายเลข 2 เพื่อทำการเปิดระบบไฟ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเปิดสวิตซ์หมายเลข 3 เพื่อปลดสวิตซ์ฉุกเฉิน

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเปิดสวิตซ์หมายเลข 4 เพื่อทำการเปิดรีโมทคอนโทรล

ขั้นตอนที่ 4 ทำการดันตันโยกหมายเลข 7 เพื่อเดินหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 การบำรุงรักษาหลังใช้งาน

1. ทำการปิดสวิตซ์ระบบไฟทุกครั้ง
2. ทำการถอดแหล่งจ่ายออกทุกครั้งหลังการใช้งาน
3. ทำการฉีดน้ำมันหล่อลื่นบริเวณเฟืองขับมอเตอร์
4. ทำความสะอาดตัวเรือหลังจากการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้