

โดรนปฏิบัติการใต้น้ำอัตโนมัติ
AUTONOMOUS UNDERWATER DRONE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2563

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

AUTONOMOUS UNDERWATER DRONE



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปีการศึกษา 2536

โดรนปฏิบัติการใต้น้ำอัตโนมัติ
AUTONOMOUS UNDERWATER DRONE



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สังวาล บกสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2563
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โดรนปฏิบัติการใต้น้ำอัตโนมัติ

AUTONOMOUS UNDERWATER DRONE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวฉันทน์ชนก ครชวาง

2. นางสาวบุษราคัม คิตทำ



Dr. L. L. L.

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวาล บกสุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โครงปฏิบัติการได้นำอัตโนมัติ

นางสาวฉันทชนก ครชวาง

นางสาวบุษราคัม คิตทำ

ผศ.ดร.สังวาล บกสุวรรณ

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้เสนอการพัฒนาโครงปฏิบัติการได้นำอัตโนมัติหรือหุ่นยนต์ซึ่งอาศัยหลักการของโครง โดยจะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ และทดสอบระบบการเคลื่อนที่ที่มีความเสถียร เนื่องจากได้มองเห็นว่าหุ่นยนต์ในการปฏิบัติการได้นำยังมีความขาดแคลนเป็นอย่างมาก วิทยาลัยฉบับนี้จึงได้เสนอ การออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ เมื่อได้หุ่นยนต์ต้นแบบตามที่ต้องการแล้ว จะทำการออกแบบการทดสอบการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เพื่อที่จะทำการหาค่ามุมมองมาใช้ในการออกแบบระบบ การควบคุม จากนั้นจะทำการออกแบบระบบการควบคุมของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบ ให้มีความเสถียรในการเคลื่อนที่ หลักจากที่ทำการออกแบบทุกอย่างเสร็จสิ้น จะนำระบบการควบคุมมอเตอร์ที่ได้ พัฒนาแล้ว มาใช้กับตัวหุ่นยนต์ต้นแบบ หลังจากนั้นจะพัฒนาตัวหุ่นยนต์ให้มีโครงสร้างที่เอื้ออำนวยต่อการ เคลื่อนที่ และพัฒนาตัวระบบควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม เพื่อที่จะนำตัวโครงปฏิบัติการได้นำอัตโนมัติ ไปประยุกต์ใช้กับระบบปฏิบัติการได้นำ อย่างเช่น การเชื่อมต่อได้นำ การสำรวจได้นำ

คำสำคัญ : MATLAB , หุ่นยนต์ต้นแบบ , โครงปฏิบัติการได้นำ , การเชื่อมต่อได้นำ , การสำรวจได้นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

UNDERWATER DRONE

Miss Thanchanok Khonkhwang

Miss Bussarakham Khittham

Asst.Prof.Dr.Sungwan Bokuwan

ABSTRACT

The objective of this research was to develop the under water drone that focused on design the prototype robot and tested the moving system to be stable. As it might be seen in the present the robot in underwater operations are still very insufficient. This research presented the prototype robot design in order to analyze movement characteristics. When the prototype robot is going as planned then design one dimension thruster control for estimate the angle of the degree used in the design of the control system. And design motor control system used by MATLAB program for stabilizing the robot to be stable underwater. Adopt a develop motor control system use with the prototype robot that has been designed. After that, the robot body will be developed to have a structure that will facilitate movement. And develop the control system to be more efficient than previously. The results of this research to bring the underwater drone is applied to the underwater operation system to illustrate underwater welding and underwater exploration.

Key words : MATLAB , Prototype Robot , Underwater Drone , Underwater Welding , Underwater Exploration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวาล บกสุวรรณ ที่ได้ให้โอกาสในการทำโครงการมาศึกษาเรียนรู้ในส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ อีกทั้งยังให้ความรู้คำแนะนำ รวมไปถึงคอยดูแล เป็นที่ปรึกษา และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อปรับปรุงแก้ไขโครงการมาตลอดช่วงเวลาในการทำ โครงการ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ที่มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดระยะเวลาทำโครงการ ทำให้ได้ความรู้ และเทคนิคที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการเสมอมา

การศึกษาครั้งนี้ปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และความดีอันเกิดจากการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่ บิดา มารดา อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน คณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีเยี่ยมจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา จึงขอขอบพระคุณทุกท่าน และหากผิดพลาดประการใดขอ อภัยไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 Control System	4
2.1.1 นิยามคำศัพท์พื้นฐานของระบบควบคุม.....	4
2.1.2 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.3 ประเภทของระบบควบคุม.....	6
2.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุม	6
2.1.5 ผลตอบสนองเชิงเวลา	9
2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)	15
2.2 แรงลยตัวและหลักการของอาร์คิมิดีส.....	22
2.3 การเคลื่อนที่แบบหมุน.....	24
2.4 หลักการหาระบบของการควบคุมมอเตอร์ทิศทางเดียวทั้งระบบ	Error! Bookmark not defined.25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	29
3.1 วางแผนดำเนินการ.....	29
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	30
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	31
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	31
3.4.1 หาข้อมูลของมอเตอร์และไดร์ฟมอเตอร์เพื่อที่จะนำมาใช้ในสร้างตัวโรนได้นี้	32
3.4.2 ศึกษาการออกแบบโครงสร้างของตัวโรนได้นี้	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.4 ออกแบบตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อที่จะทำการเก็บข้อมูล.....	34
3.4.5 นำ Gear Ratio มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อให้ความละเอียดยิ่งขึ้น	36
3.4.6 ติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเพื่อทำการทดสอบ Open Loop - Test และ Close Loop – Test.....	37
3.4.7 เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	42
4.1 การสร้างโครงต้นแบบ.....	42
4.2 ผลการทดสอบแบบ Open-loop Test.....	43
4.3 ผลการทดสอบแบบ Close-loop Test.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข.....	46
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานองค์ประกอบของระบบควบคุม.....	5
2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด	6
2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด.....	6
2.4 ลักษณะสัญญาณอินพุตแบบหนึ่งหน่วย	11
2.5 ลักษณะสัญญาณอินพุตแบบลาด (Ramp Function).....	12
2.6 ลักษณะสัญญาณอินพุตแบบพาราโบลา (Parabolic Function).....	13
2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่งที่มีการป้อนกลับ	13
2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง.....	13
2.9 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง.....	14
2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบพีไอดีแบบวงปิด.....	16
2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบพีแบบวงปิด.....	17
2.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบไอแบบวงปิด.....	17
2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและค่าคลาดเคลื่อนของระบบควบคุมไคคอนโทรล	18
2.14 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบดีคอนโทรล.....	18
2.15 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีและไอ	19
2.16 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีและไอแบบอนุกรม	19
2.17 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีและไอแบบขนาน.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2.18 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดีคอนโทรล..... 20
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล.....	21
2.20 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีไอดีแบบขนาน.....	21
2.21 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดีคอนโทรล.....	22
2.22 แสดงแรงที่กระทำต่อก้อนวัตถุที่จมในของเหลว.....	23
2.23 แสดงแรงในการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	24
2.24 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทิศทางเดียว.....	Error! Bookmark not defined.25
2.25 แสดงไดอะแกรมของมอเตอร์.....	26
3.1 แสดงตัวอย่างของมอเตอร์ และไดร์ฟมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย.....	32
3.2 แสดงรูปร่างของโรตอร์ได้นำในการออกแบบครั้ง 1.....	32
3.3 แสดงรูปร่างของโรตอร์ได้นำในการออกแบบครั้ง 2.....	33
3.4 แสดงรูปร่างของโรตอร์ได้นำในการออกแบบครั้ง 3.....	33
3.5 รูปภาพตัวอย่าง encoder ที่นำมาใช้.....	34
3.6 โครงสร้างหรือฐานที่ใช้วางชิ้นส่วนต่างๆ ในการทำ One Dimension Thruster.....	34
3.7 รูป 3 way pipe เพื่อช่วยเชื่อมเฟลา และpropellerเข้าด้วยกัน.....	35
3.8 แสดง One Dimension Thruster.....	35
3.9 แสดง One Dimension Thruster.....	35
3.10 แสดงอัตราทดระหว่างมอเตอร์ และencoder.....	36
3.11 รูปเกียร์ที่ได้ออกแบบไว้เพื่อมาช่วยเพิ่มความละเอียด.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 รูปภาพจำลองการออกแบบโดรน	42
4.2 แสดงกราฟการป้อน PWM ที่ 20	43
4.3 แสดงผลลัพธ์ค่า zta ที่ได้มาจากการป้อน PWM ที่ 20	43
4.4 แสดงกราฟ Bode เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราขยาย	44
4.5 แสดงกราฟ Bode เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราขยาย	44
4.6 แสดงค่า PWM ที่ป้อนเข้าไปในระบบเพื่อให้ได้มุมมองอยู่ที่ 30	45
4.7 แสดงค่า Output หรือ มุมองศาในการเคลื่อนที่	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 วางแผนดำเนินการวิจัย	28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของโครงการ วิธีการดำเนินการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท

กิจกรรมการปฏิบัติการใต้ทะเลของไทย เช่นการสำรวจทรัพยากร การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม การศึกษาชีวิตสัตว์ทะเล รวมถึงการเชื่อมต่อใต้น้ำเพื่อทำการส่งน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ ส่วนใหญ่ยังคงอาศัยเจ้าหน้าที่ นักประดาน้ำหรือผู้เชี่ยวชาญในการดำน้ำเป็นหลัก ยังขาดเทคโนโลยีที่จะมาช่วยเหลือการปฏิบัติการใต้น้ำเหล่านี้ ซึ่งการใช้เจ้าหน้าที่นั้นมีข้อจำกัดหลายอย่าง ทั้งสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ ซึ่งการใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจะเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกและป็นสิ่งจำเป็นในอนาคต ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศได้พัฒนาเทคโนโลยีใต้ทะเลออกมาอย่างต่อเนื่อง อย่างเช่น เริ่มมีการใช้โดรนใต้น้ำในการท่องเที่ยว โดยจะให้คนดำน้ำลงไปดูปะการัง แต่เราใช้โดรนใต้น้ำดำน้ำลงไปแล้วฉายภาพขึ้นมาแบบวีอาร์ให้เสมือนเราได้ลงไปดำน้ำจริง และมีการใช้โดรนใต้น้ำกับการสำรวจใต้ท้องทะเลเพื่อจะทำอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นติดตั้งแท่นส่งน้ำมัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้สำรวจบริเวณที่เกิดน้ำมันรั่วได้อีกด้วย เนื่องจากปัญหาที่กล่าวมาเราพบว่าอีกปัญหาหนึ่งที่เราจะต้องมีการพัฒนาคือประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของโดรนใต้น้ำ เมื่อมีสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม หรือเรียกได้ว่าเป็นกระแสน้ำที่ทำให้ตัวโดรนใต้น้ำ มีการเคลื่อนที่ที่ไม่เสถียร จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จึงได้มองเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาโดรนใต้น้ำเพื่อที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคต และมาแก้ไขปัญหาการขาดแคลนเทคโนโลยีในด้านนี้ ในวิทยานิพนธ์นี้จะเน้นไปที่การพัฒนาความมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของโดรนใต้น้ำ เราจึงทำการแก้ไขโดยการออกแบบรูปร่างของโดรนใต้น้ำให้มีความสมมาตร และเอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่ให้ได้มากที่สุด และยังทำการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ให้มีการเคลื่อนที่ที่เสถียรและมีประสิทธิภาพ แม้จะมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบควบคุมใบพัดโดรนให้เคลื่อนที่อย่างเสถียรใต้น้ำ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาโดรนใต้น้ำจำลองทิศทางเดียว
- 1.2.3 เพื่อออกแบบโดรนใต้น้ำชนิด 2 ทิศทางอิสระ (2 dof)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวของโดรน ซึ่งเก็บตัวอย่างข้อมูลจำนวน 2000 ชุด
- 1.3.2 ออกแบบรูปร่างโดรนต้นแบบเพื่อนำไปทดสอบการใช้งานของมอเตอร์เท่านั้น

1.4 วิธีการดำเนินการ

- 1.4.1 หลักการการเคลื่อนที่ของโดรนใต้น้ำ และศึกษาการออกแบบโครงสร้างของตัวโดรนใต้น้ำ
- 1.4.2 ออกแบบโดรนทิศทางเดียว
- 1.4.3 ทดสอบโดรนทิศทางเดียว เพื่อศึกษาสมรรถนะ
- 1.4.4 ออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับโดรนทิศทางเดียว
- 1.4.5 ออกแบบโดรน 2 ทิศทาง ทดลองระบบและศึกษาสมรรถนะ
- 1.4.6 เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์
- 1.4.7 สรุปผลการศึกษาและพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบโทรนทิศทางเดียว

1.5.2 ได้องค์ความรู้ในการออกแบบโทรน 2 ทิศทางอิสระ

1.5.3 ได้องค์ความรู้ในการสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับโทรนใต้น้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Control System

ทฤษฎีพื้นฐานระบบควบคุม (Control System) มีความจำเป็นและสำคัญสำหรับโครงการนี้ เนื่องจากช่วยในการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ ดังนั้นการศึกษาด้านระบบควบคุมจึงควรทำความเข้าใจคุณลักษณะโครงสร้างการทำงานในรูปแบบของระบบ (System) ซึ่งจะทำให้เราสามารถเข้าใจกระบวนการการทำงานของระบบนั้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ได้

2.1.1 นิยามคำศัพท์พื้นฐานของระบบควบคุม

ระบบควบคุม (Control System) หมายถึง การควบคุมระบบหรือสิ่งที่คุณต้องการ ควบคุมให้ได้ค่าผลลัพธ์ในรูปแบบของเอาต์พุตที่ต้องการซึ่งทำได้โดยการป้อนค่าอินพุตให้กับระบบโดยนิยามศัพท์พื้นฐานของวิชาระบบควบคุมมีดังนี้

1. อินพุต (Input) หมายถึง สัญญาณเข้าที่ต้องการป้อนให้กับระบบรับรู้ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบของสัญญาณทางไฟฟ้า
2. ระบบ (System) หมายถึง สิ่งที่ต้องการหรือระบบที่ต้องการควบคุม ซึ่งจะประกอบด้วยชุดควบคุมกระบวนการ (Process) ซึ่งอาจเป็นเครื่องมืออุปกรณ์หรือเครื่องจักร
3. ระบบควบคุมวงเปิด (Open-Loop Control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต มาบ่งบอกถึงลักษณะการควบคุม
4. ระบบควบคุมวงปิด (Closed-Loop Control) หรือระบบป้อนกลับ (Feedback Control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ใช้สัญญาณจากเอาต์พุตมาบ่งบอกหรือคำนวณค่าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุม
5. เอาต์พุต (Output) หมายถึง ผลของการท างานของระบบที่ผ่านการควบคุมซึ่งจะแสดงในรูปแบบ ผลตอบสนองทางกล (Mechanical Response) และผลตอบสนองทางไฟฟ้า (Electrical Response)

6. ดิสทอร์เบอแลนซ์ (Disturbance) หมายถึง สิ่งรบกวนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลลัพธ์ทางเอาต์พุต

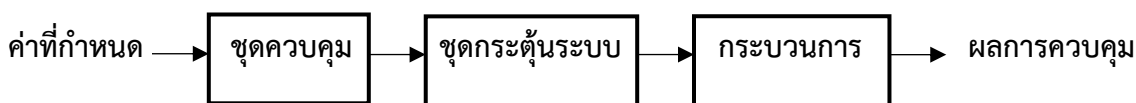
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของระบบเปลี่ยนไปซึ่งอาจอยู่ในรูปของสัญญาณรบกวน (Noise Signal) ที่ปนมากับอินพุตระบบ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.1.2 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม

ในการพิจารณางานที่ต้องการประยุกต์ใช้การควบคุม สามารถเขียนองค์ประกอบในรูปแบบ ของระบบ ดังนั้นพื้นฐานของระบบควบคุมจะมีองค์ประกอบดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานขององค์ประกอบของระบบควบคุม

1. กำหนดเป้าหมายของการควบคุม (Set Point) คือการกำหนดค่าเป้าหมายหรือค่าอ้างอิง (Reference Input) ของการควบคุมงานที่ต้องการ เช่น การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ ให้อยู่ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การควบคุมความเร็วของมอเตอร์สายพานลำเลียงที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีซึ่ง สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณเข้า (Input) ให้กับระบบ

2. ชุดควบคุม (Controller) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและประมวลผลระบบซึ่ง จะ ประกอบด้วยชุดฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์และชุดซอฟต์แวร์ประกอบด้วย โปรแกรมคำสั่งเพื่อ ควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีเป้าหมายให้เกิดการตอบสนองค่าเอาต์พุตที่ต้องการซึ่งมีทั้งระบบควบคุมที่เป็น อนาล็อกและระบบควบคุมดิจิทัล

3. ชุดกระตุ้นระบบ (Actuator) คือส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้อยู่ในรูปของ สัญญาณที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมไปเป็นพลังงานต่างๆ ที่ระบบ ต้องการเช่นเครื่องทำความร้อน (Heating System) โดยทำการเปลี่ยนสัญญาณควบคุม ทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงาน ความร้อน การปรับความเร็วรอบของระบบสายพานลำเลียง (Conveyor System)

4. กระบวนการ (Process) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ดำเนินการ (Operation) เมื่อได้รับสัญญาณจาก ชุดกระตุ้นเช่น ตัวทำความร้อน (Heater) มอเตอร์ (Motor) เป็นต้น

5. ผลการควบคุมระบบ (Output System) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผลของการควบคุมระบบซึ่ง อาจแสดงในรูปแบบผลตอบสนองของระบบ ทำให้ทราบค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าความคาดเคลื่อนของ ระบบ (Error) เพื่อใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.1.3 ประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

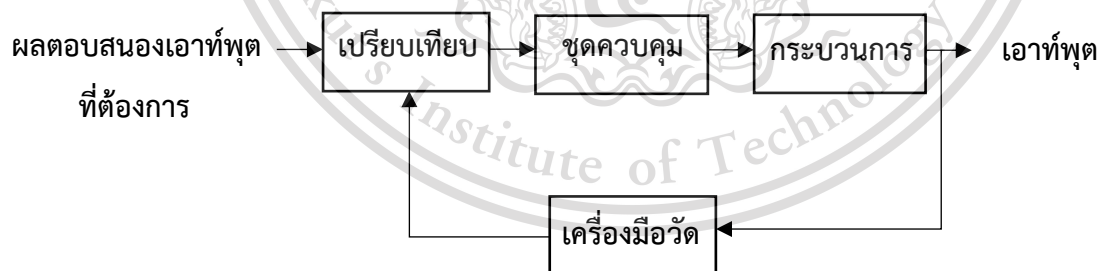
- 1.ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)
- 2.ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

1. ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) คือระบบที่มีการป้อนอินพุตซึ่ง อาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ (System) และได้สัญญาณออกหรือเอาต์พุต โดยไม่มีการนำสัญญาณป้อนกลับมาที่ระบบซึ่งสามารถแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด

2. ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System) คือระบบที่มีการป้อนอินพุต ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ (System) และมีอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement) นำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการซึ่งสามารถแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด

2.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุม

ในการศึกษาพฤติกรรมทางพลวัตของระบบทางกายภาพ สามารถอธิบายได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ หรือในรูปแบบของชุดสมการ ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบซึ่งมีความสำคัญมากในการ

วิเคราะห์ระบบควบคุม ทั้งระบบที่เป็นเชิงเส้น และระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยแบบจำลองสามารถสร้างจาก ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

คุณลักษณะทางกายภาพของระบบนั้นๆ จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจและสามารถออกแบบระบบพลศาสตร์ที่เหมาะสมได้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยทั่วไประบบควบคุมประกอบด้วย ระบบเชิงเส้น ระบบไม่เชิงเส้น ระบบต่อเนื่องทางเวลา และระบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา ในที่นี้ขอกล่าวถึงระบบเชิงเส้นต่อเนื่องทางเวลาซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายได้ด้วย สมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการ สเตต หรือฟังก์ชันถ่ายโอน

1. สมการสเตต

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบโดยใช้ตัวแปรสเตต ทำให้สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบ เพราะทุกโหมด (Mode) ของระบบถูกรวมเข้าในสมการสเตต โดยสมการสเตตประกอบด้วยจำนวนตัวแปรที่น้อยที่สุดของตัวแปร $x(t)$ ที่เวลาเริ่มต้น t_0 ซึ่งสามารถอธิบาย พฤติกรรมของระบบที่เวลา $t \geq t_0$ กำหนดให้สัญญาณเข้า $u(t)$ ที่เวลา $t \geq t_0$ จำนวนตัวแปรและการเลือกตัวแปรขึ้นกับระดับของรายละเอียดที่ต้องการของแบบจำลองที่เลือกอธิบายระบบ แบบจำลองของระบบอันดับ n มีตัวแปรสเตต n ตัวที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง n สมการ สามารถเขียนสมการสเตต ได้ดังสมการที่ 2.1

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t) \quad (2.1)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$$

⋮

$$\dot{x}_n = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$$

สัญญาณออกสามารถเขียนในรูปแบบของสมการพีชคณิต สำหรับระบบที่มีตัวแปรสัญญาณออก p ตัว สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 2.2

$$y_1 = g_1(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t) \quad (2.2)$$

$$y_2 = g_2(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$$

⋮

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$y_p = g_p(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$$

การเลือกตัวแปรสแตตของระบบใด ๆ เลือกได้มากกว่าหนึ่งชุด โดยทั่วไปมักจะเลือกตัวแปรสแตตที่เกี่ยวข้องกับพลังงานที่สะสมไว้ในส่วนประกอบของระบบในเวลาข้างหน้า เนื่องจากพลังงานที่สะสมไว้จะมีผลตอบสนองของระบบในเวลาข้างหน้าในบางระบบจำนวนตัวแปรสแตตต่างกับจำนวนส่วนประกอบที่สะสมพลังงานไว้ เนื่องจากการต่อส่วนประกอบในระบบทำให้เกิดตัวแปรเกิน ตัวแปรสแตตต้องเป็นตัวแปรอิสระ นั่นคือไม่สามารถที่จะเขียนตัวแปรสแตตตัวใดในรูปของผลบวกเชิงเส้น ของตัวแปรสแตตที่เหลือ

$$k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_j x_j + \dots + k_n x_n = 0 \quad (2.3)$$

สำหรับระบบเชิงเส้น สมการที่ 2.1 และ 2.2 เขียนเป็นสมการเวกเตอร์ เมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (2.4)$$

$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t)$$

โดยที่ $x(t)$ คือ เวกเตอร์มิติ n ที่มี $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ เป็นส่วนประกอบแสดงสแตตของระบบ $u(t)$ คือเวกเตอร์มิติ m แสดงถึงสัญญาณเข้าของระบบ $y(t)$ เป็นเวกเตอร์มิติ p แสดงถึง สัญญาณออกของระบบ $A(t), B(t), C(t)$ และ $D(t)$ เป็นเมทริกซ์มิติ $n \times n, n \times m, n \times p$ และ $p \times m$ ตามลำดับ

2. ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอนใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของระบบ สมการเชิงเส้นที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา เมื่อพิจารณาสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบไม่แปรเปลี่ยนตาม เวลาจะแสดงดังสมการ (2-5)

$$\begin{aligned} a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} y + a_n y \\ = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} x + b_m x \dots (n \geq m) \end{aligned} \quad (2.5)$$

กำหนดให้ y เป็นเอาต์พุตของระบบและ x เป็นอินพุตของระบบ ทรานเฟอร์ฟังก์ชันระบบสามารถทำได้โดยการแปลงลาปลาซ สมการทั้ง 2 ข้าง ภายใต้งื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์

$$= L[a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} y + a_n y] \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\begin{aligned} Y(s)[a_0s^{(n)} + a_1s^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}s + a_n] \\ = X(s)[b_0s^{(m)} + b_1s^{(m-1)} + \dots + b_{m-1}s + b_m] \end{aligned}$$

หาความสัมพันธ์ของอสมการเอาต์พุตกับสมการอินพุต

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{[b_0s^{(m)} + b_1s^{(m-1)} + \dots + b_{m-1}s + b_m]}{[a_0s^{(n)} + a_1s^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}s + a_n]} \quad (2.7)$$

2.1 วิธีการหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เขียนสมการเชิงอนุพันธ์แทนอุปกรณ์ในระบบ
2. แปลงลาปลาซสมการเชิงอนุพันธ์ภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์
3. คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างสมการทางเอาต์พุตที่ลาปลาซแล้วกับ

สมการทางอินพุตที่ลาปลาซรูปแบบทั่ว ๆ ไปของทรานเฟอร์ฟังก์ชันเขียนได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (2.8)$$

2.2 การเขียนแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้า

อุปกรณ์พื้นฐานในระบบหรือวงจรไฟฟ้าประกอบด้วย แหล่งจ่าย (Source) กระแส (Current Source) แหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source) อุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญได้แก่ตัวต้านทาน (Resister) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductor) นอกจากนั้นยังรวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น อุปกรณ์ขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์ (Transistors) ออปแอมป์ (Opamp) เมื่อต้องการทราบพฤติกรรมของระบบนั้น จึงทำการป้อนสัญญาณเข้า(Input) ให้กับระบบ จากนั้นทำการวัดหรือวิเคราะห์ผลของสัญญาณออก (Output) ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของอุปกรณ์เหล่านั้น สำหรับวงจรไฟฟ้ามีอุปกรณ์พื้นฐาน 3 ชนิด

2.1.5 ผลตอบสนองเชิงเวลา

จะกล่าวถึงหลักการและวิธีการการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงเวลา (Time Domain Response Analysis) อันได้แก่ การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response Analysis) และการ วิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงสถิต หรือสภาวะคงที่ (Steady State Response) ซึ่งจะทำให้มีความเข้าใจพื้นฐานของการวิเคราะห์ระบบผลตอบสนองเชิงเวลา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response Analysis)

ในการออกแบบระบบควบคุมต่างๆ สิ่งที่สำคัญคือการตรวจสอบผลตอบสนอง (Response) ของระบบต่อสัญญาณป้อนเข้าเพื่อทดสอบคุณสมบัติของระบบและผลตอบสนอง ทำได้โดยป้อนสัญญาณที่มีรูปร่างแน่นอนเพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับระบบแล้วจึงพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลา (Time Domain) เพื่อหาผลตอบสนองของระบบ (Transient Response) ความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงที่ (Steady State Error) และเสถียรภาพของระบบ (Stability) การศึกษาถึงผลตอบสนอง (Response) ของระบบควบคุมนิยมใช้สัญญาณแบบหนึ่งหน่วย (Step Function) แบบพัลส์ (Pulse Function) แบบลาด (Ramp Function) และแบบซายน์ (Sinusoidal Function)

เมื่อกำหนดให้ $y(t)$ เป็นผลตอบสนองทางเวลาของระบบ สามารถเขียนสมการระบบได้ ดังนี้

$$y(t) = y_t(t) + y_{ss}(t) \quad (2.9)$$

โดยที่ $y_t(t)$ คือ ผลตอบสนองชั่วขณะ $y_{ss}(t)$ คือ ผลตอบสนองสภาวะคงที่ การวิเคราะห์ผลตอบสนองสภาวะชั่วขณะจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อค่าเวลาเข้าสู่ค่าอนันต์ ($t \rightarrow \infty$) ดังสมการ

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_t(t) = 0 \quad (2.10)$$

ดังนั้นในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมนั้นสิ่งที่สำคัญคือจะต้องเข้าใจเกี่ยวกับสมการของสัญญาณต่างๆ กับระบบ สำหรับการวิเคราะห์ในโดเมนเวลาในรูปแบบของเวลา เพื่อจะได้ทำการแปลงลาปลาซสมการฟังก์ชันเหล่านั้น

สัญญาณป้อนสำหรับทดสอบผลตอบสนองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ดังนี้

1. สัญญาณป้อนหรืออินพุตแบบหนึ่งหน่วย(Step Function) แสดงได้ด้วยสมการ คณิตศาสตร์

$$x(t) = A \quad \text{เมื่อ } t > 0$$

$$= A \quad \text{เมื่อ } t < 0$$

กำหนดให้ A เป็นค่าคงที่ (Constant)

- เมื่อทำการแปลงให้อยู่ในรูปสมการลาปลาซจะได้

$$X(s) = \frac{A}{s} \quad (2.11)$$

โดยสัญญาณอินพุตแบบหนึ่งหน่วยมีลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะสัญญาณอินพุตแบบหนึ่งหน่วย

2. สัญญาณป้อนหรืออินพุตแบบลาด (Ramp Function) แสดงด้วยสมการคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$x(t) = A \quad \text{เมื่อ } t > 0$$

$$= A \quad \text{เมื่อ } t < 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กำหนดให้ A เป็นค่าคงที่ (Constant)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

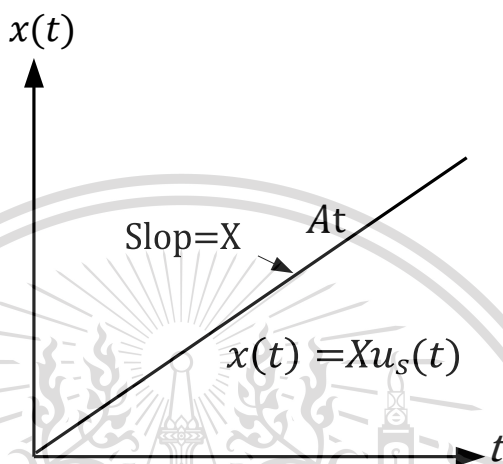
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

- เมื่อทำการแปลงให้อยู่ในรูปสมการลาปลาซจะได้

$$X(s) = \frac{A}{s^2} \quad (2.12)$$

โดยสัญญาณอินพุตแบบลาดมีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะสัญญาณอินพุตแบบลาด (Ramp Function)

3. สัญญาณป้อนหรืออินพุตแบบพาราโบลา (Parabolic Function) แสดงได้ด้วยสมการ

คณิตศาสตร์ดังนี้

$$x(t) = A$$

เมื่อ $t > 0$

$$= A$$

เมื่อ $t < 0$

กำหนดให้ A เป็นค่าคงที่ (Constant)

- เมื่อทำการแปลงให้อยู่ในรูปสมการลาปลาซจะได้

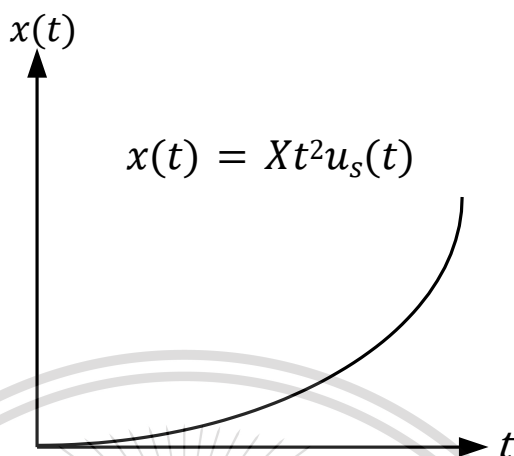
$$X(s) = \frac{A}{s^3} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

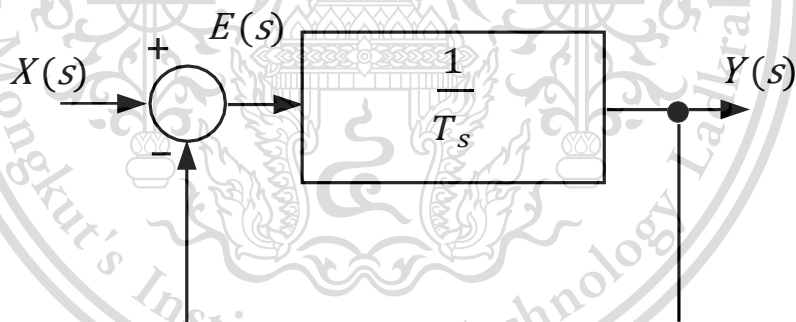
โดยสัญญาณอินพุตแบบลาดมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



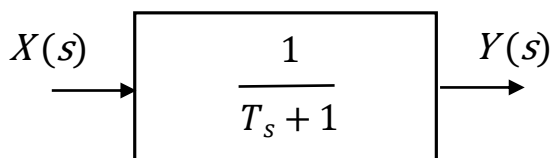
รูปที่ 2.6 ลักษณะสัญญาณอินพุตแบบพาราโบลา (Parabolic Function)

รูปแบบของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง (First Order System)

จากพื้นฐานของบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่งดังแสดงในภาพที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่งที่มีการป้อนกลับ



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่สนใจในวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของระบบได้ดังนี้

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{Ts + 1} \quad (2.14)$$

สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบ ทำได้โดยการป้อนสัญญาณต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นให้กับระบบโดยกำหนดให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) เป็นศูนย์

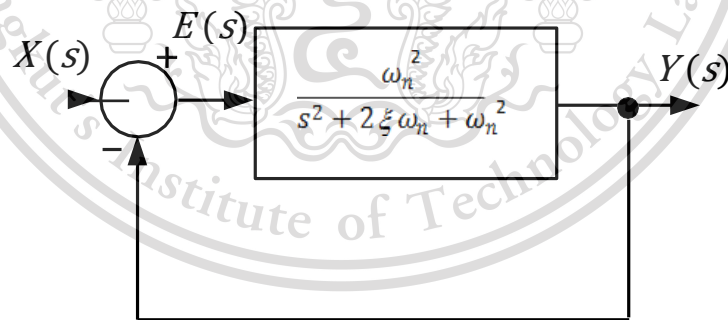
รูปแบบของระบบควบคุมอันดับสอง (Second Order System)

ระบบควบคุมอันดับสองคือ ระบบที่มีค่าตัวแปรต่างๆ อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์กำลังสองโดยมีรูปแบบสมการฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.15)$$

เมื่อ ω_n คือ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งธรรมชาติ (Underdamped Natural Frequency)

ξ คือ อัตราการหน่วงของระบบ (Damping Ratio)



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง

ฟังก์ชันถ่ายโอนของรูป คือ

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\xi\omega_n)} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อสมการคุณลักษณะของลูปิด คือ

$$\Delta(s) = s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (2.17)$$

การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบอันดับสอง จะพิจารณาในเทอมของตัวแปรสองตัวคือ ω_n และ ξ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณีคือ

1. กรณี Undamped ($\xi = 0$)

กรณีนี้รากของสมการคุณลักษณะหรือ Pole ของลูปิดจะอยู่บนแกนจินตภาพ (Imaginary) ในระนาบ s ซึ่งเอาที่พุดของระบบจะเกิดการแกว่ง (Oscillate) อย่างต่อเนื่อง

2. กรณี Under Damped ($0 < \xi < 1$)

กรณีนี้รากของสมการคุณลักษณะจะเป็นปริมาณเชิงซ้อน (Complex Conjugate) และอยู่ทางครึ่งซ้ายในระนาบ s และระบบจะเป็นแบบ Under Damped ซึ่งผลตอบสนองชั่วคราวของระบบเกิดการแกว่งภายใต้การหน่วง

3. กรณี Critical Damped ($\xi = 1$)

กรณีนี้รากของสมการคุณลักษณะจะมีค่าเท่ากันและอยู่บนแกน Real ทางครึ่งซ้าย ของระนาบ s ซึ่งผลตอบสนองต่อเวลาของระบบจะเหมือนหรือคล้ายกับผลตอบสนองของระบบ อันดับหนึ่งและไม่มีการแกว่ง

4. กรณี Over Damped ($\xi > 1$)

กรณีนี้รากของสมการคุณลักษณะจะมีค่าไม่เท่ากันแต่จะบนแกน Real ทางครึ่งซ้าย ในระนาบ s ทั้งหมด และผลตอบสนองต่อเวลาของระบบจะเหมือนหรือคล้ายกับผลตอบสนองของ ระบบอันดับหนึ่ง และไม่เกิดการแกว่ง

2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)

เนื่องการควบคุมแบบเปิดปิด (ON-OFF Control) นั้นจะไม่สามารถทำให้ค่าของ กระบวนการ (Process Variable) มีค่าคงที่เท่ากับค่าที่เราต้องการ (Set point) ได้เนื่องจากเอาต์พุตของตัวควบคุม จะทำงาน เปิดปิดอยู่ตลอดเวลาทำให้ค่าของกระบวนการแกว่งขึ้นลงไปมาตลอดเวลา ซึ่งการแกว่งขึ้นลงไปมาของ

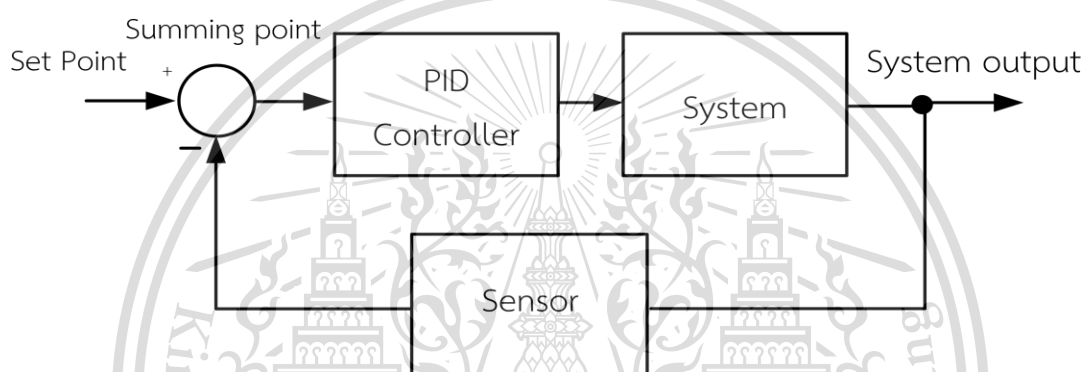
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กระบวนการแบบนี้เรียกว่าออสซิลเลชัน (Oscillation) ถ้าต้องการควบคุม ให้กระบวนการหยุดนิ่งอยู่ที่ค่าที่ต้องการ ดังนั้นการควบคุมนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมนั้นคือการ ควบคุมแบบพีไอดี

การควบคุมแบบพีไอดีเป็นการควบคุมแบบรวมกัน โดยอาศัยสัดส่วน (Proportional) ปริพันธ์ (Integral) และอนุพันธ์ (Derivative) เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมระบบเพื่อทำให้การตอบสนอง ของระบบมีเสถียรภาพ ที่ดีขึ้นในการควบคุมแบบพีไอดีจะเป็นมีรูปแบบการควบคุมแบบวงปิด (Close loop) ประกอบด้วย จุดรวม สัญญาณ (Summing Point) ตัวควบคุม (Controller), ระบบที่ต้องการ ควบคุม (System) และสัญญาณ บ้อนกลับ (Feedback Signal)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบพีไอดีแบบวงปิด

1. การควบคุมแบบพีคอนโทรลเลอร์ (P Controller)

เป็นการควบคุมโดยกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุม หรือเป็นการกำหนดสัดส่วน เอาต์พุตต่ออินพุต การควบคุมแบบพีจะควบคุมเฉพาะค่า สัดส่วนอัตราขยาย (Proportional Gain) เพียงอย่างเดียวในกรณีที่ค่าอัตราขยายมาก จะทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงได้เร็ว ส่งผลให้ผลตอบสนอง เกิดการแกว่ง ขณะเดียวกันเมื่อค่าอัตราขยายมีค่าน้อยจะทำให้ระบบเกิดสภาวะ Offset โดยสมการค่าสัดส่วนของระบบพีคอนโทรลเลอร์หาได้จากสมการ 2.18

$$\Delta output \propto \Delta input$$

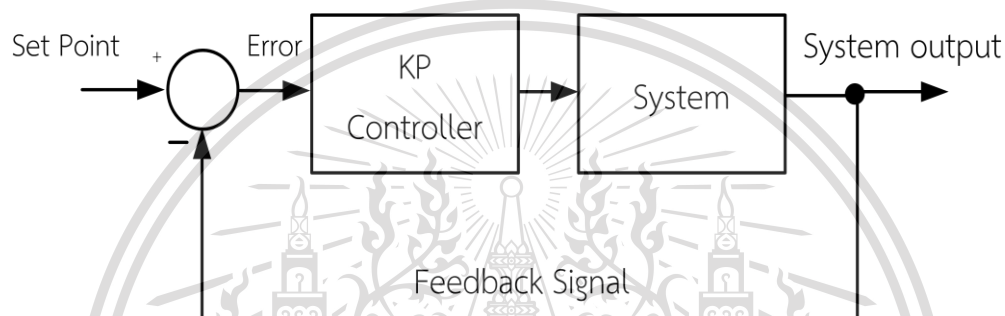
$$K = \frac{\Delta output}{\Delta input} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และใช้อย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

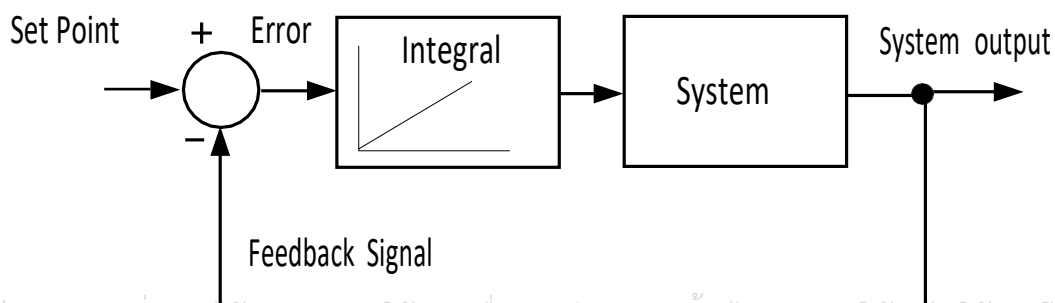
เมื่อ K_p คือค่าคงที่ เรียกว่าอัตราขยาย Proportional Gain ซึ่งบางครั้งเรียกว่าเป็น อัตราขยายของตัวควบคุม ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงค่าอินพุตที่ป้อนเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เอาต์พุตแปรผันตาม โดยอินพุตคือค่ากระบวนการ (Process Variable) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set Point) จะได้เป็นค่าคลาดเคลื่อน (Error) ซึ่งจะนำเข้าไปเป็นค่าอินพุตในการคำนวณแบบสัดส่วน (Proportional) ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด (Error) และเอาต์พุต (Output) บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของระบบควบคุมพีแบบ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบพีแบบวงปิด

2. การควบคุมแบบไอ (Integral)

การควบคุมแบบไอหรืออาจเรียกว่าการควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral) ใช้หลักการการทำงานคือทำให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ ถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็น 0 การทำงานแบบ Integral ก็จะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุต เพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจนกว่าอินพุตจะมีค่าเป็น 0 การทำงานแบบ Integral จึงจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตอีก และ เอาต์พุตจะหยุดอยู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.12



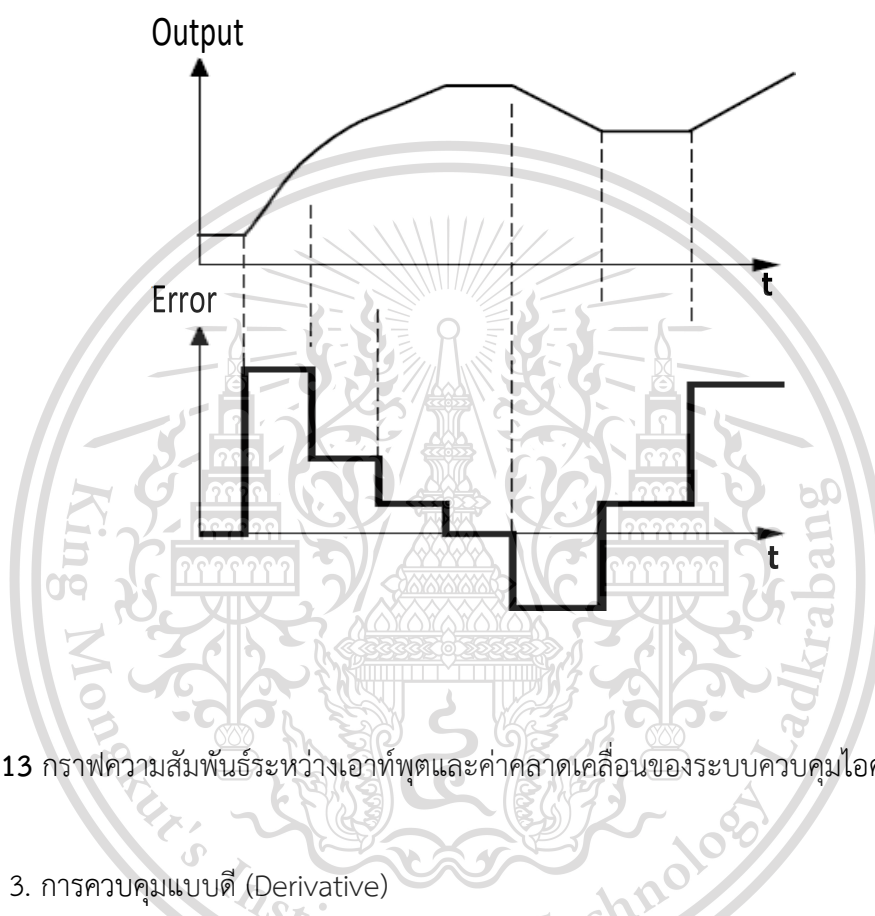
รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบไอแบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

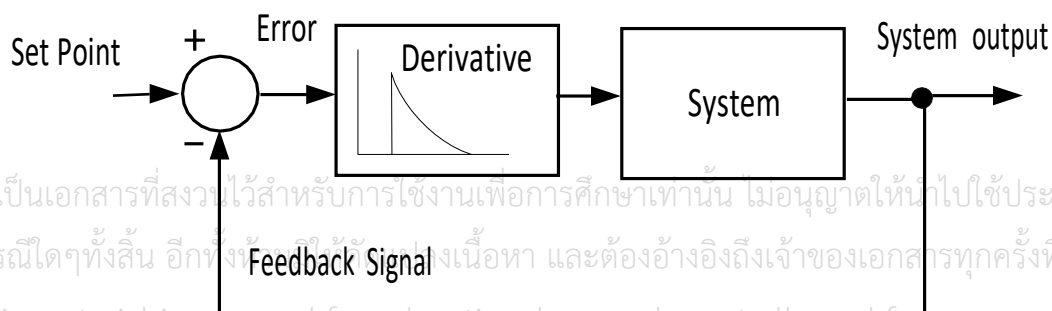
จากรูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ของบล็อกไดอะแกรมจะเป็นสัญญาณที่มีความลาดชัน คือ สัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมแบบ Integral จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเป้าหมาย (Set Point) เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดเอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลงทันที แต่เอาต์พุตจะค่อยๆเปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นการควบคุมแบบไอจะให้ผลตอบสนองการควบคุมได้ดีกว่าการควบคุมแบบพี



รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและค่าคลาดเคลื่อนของระบบควบคุมไอคอนโทรล

3. การควบคุมแบบดี (Derivative)

การควบคุมแบบดี (Derivative) เป็นการควบคุมแบบอนุพันธ์สัญญาณอินพุต เมื่อสัญญาณผ่านการอนุพันธ์แล้ว จะทำให้สัญญาณมีค่าสูงสุดแล้วค่อยๆลดลงจนมีค่าถึงเป้าหมาย (Set Point) ที่กำหนดไว้ ระบบมีการตอบสนองต่ออินพุตรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถใช้แบบเดี่ยวไม่ได้ต้องใช้ร่วมแบบพีดีหรือพีไอดี ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบดี จะแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบดีคอนโทรล

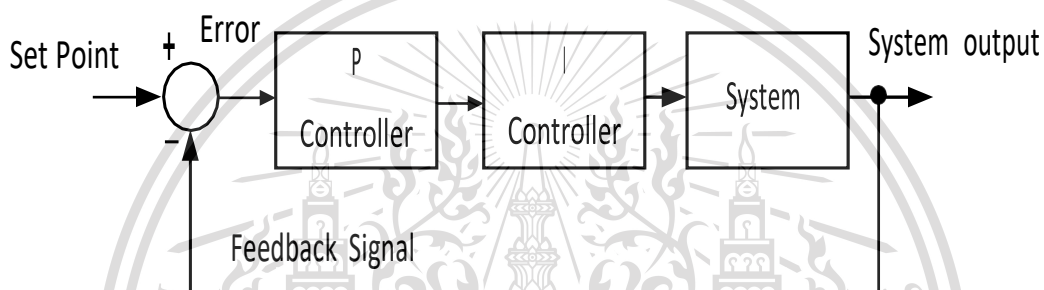
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

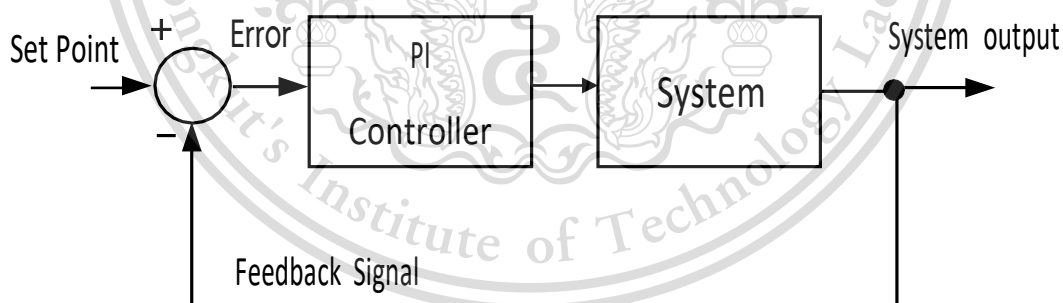
Forbidden to modify the content and cite the document when use.

4. การควบคุมแบบพีไอ (Proportion Plus Integral)

การควบคุมแบบพีไอ (Proportional Plus Integral) คือการนำเอาวิธีควบคุมแบบพีและไอ มาประกอบรวมกันโดยมีเป้าหมายคือเพิ่มความสามารถของการควบคุมให้มีเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบพีไอ แสดงดังในรูปที่ 2.15 ในส่วนของการควบคุมแบบพีไอสามารถต่อบล็อกไดอะแกรมได้ 2 แบบ คือ การต่ออนุกรม (Serial Connection) คือผลที่ได้จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมพีและไอ คู่กันรูปแบบการต่อแสดงดังรูปที่ 2.16 ส่วนการต่อแบบ ขนาน (Parallel Connection) ผลที่ได้จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมมาบวกกันดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีและไอ

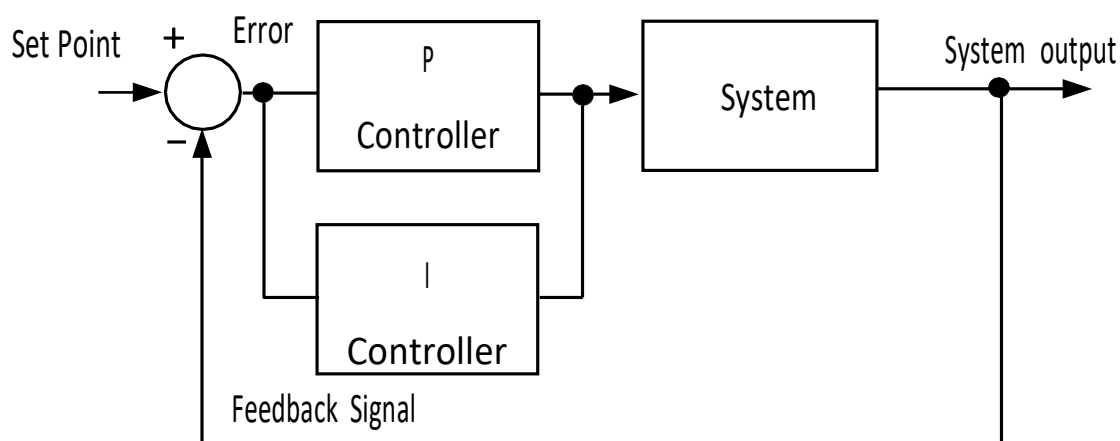


รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีและไอแบบอนุกรม

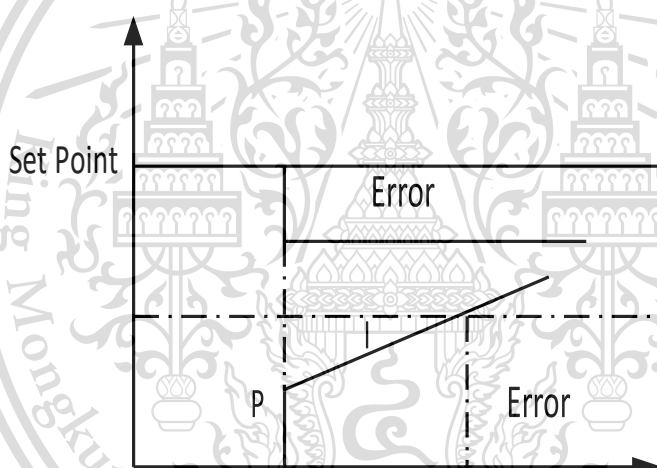
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีและไอแบบขนาน



รูปที่ 2.18 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอคอนโทรล

จากรูปที่ 2.18 แสดงกราฟสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเริ่มต้นเป็นเส้นตรงซึ่งจะเป็นผลของการควบคุมแบบพี และในกราฟส่วนที่ลาดชันจะเป็นผลของการควบคุมแบบไอซึ่งการควบคุมแบบพีไอทำให้การควบคุม เข้าสู่ Set Point ได้รวดเร็ว นั่นคือผลของการปรับค่าพีและไอ โดยการปรับค่าพีช่วยแก้ไขปัญหาค่าชดเชย (Offset) และการปรับค่าไอจะช่วยลดการแกว่งของระบบ (Oscillation)

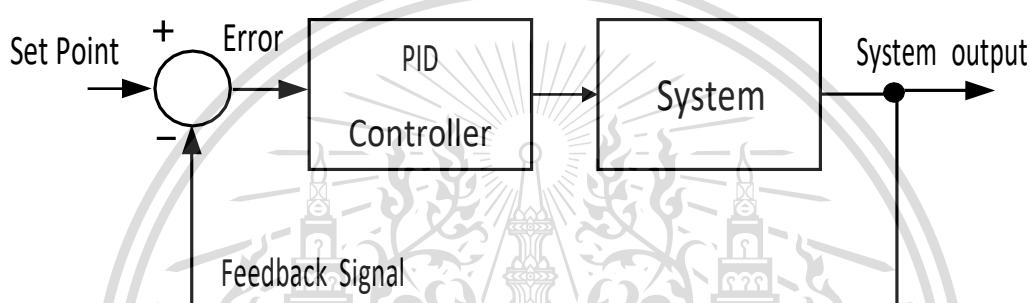
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

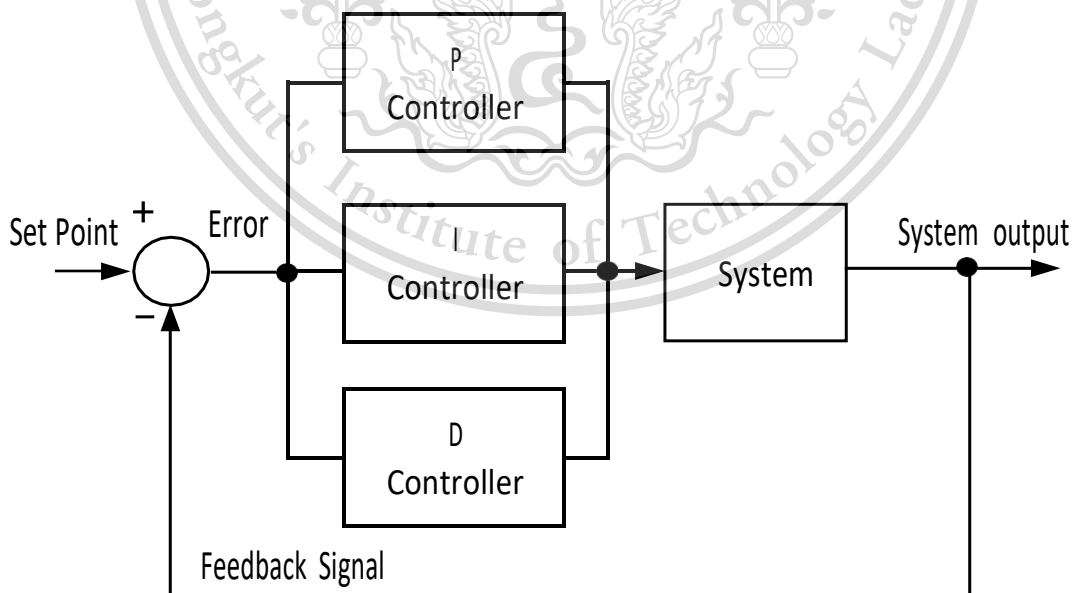
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Plus Integral Plus Derivative)

การควบคุมแบบพีไอดีคือการนำเอาหลักการการควบคุมแบบ Proportional, Integral และ Derivative รวมกัน การควบคุมแบบพีไอดีนี้จะทำงานรองรับการตอบสนองแบบทันทีทันใดได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการควบคุมแบบพีไอหรือพีดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมาย หรือ ระบบที่ถูกควบคุมมีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมแบบพีไอดีจะช่วยในการควบคุมเข้าสู่เป้าหมายได้รวดเร็ว ซึ่งจะลดการเกิดการ Offset และการแกว่งของระบบได้ โดยบล็อกไดอะแกรม ของระบบควบคุมแบบพีไอดี แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล

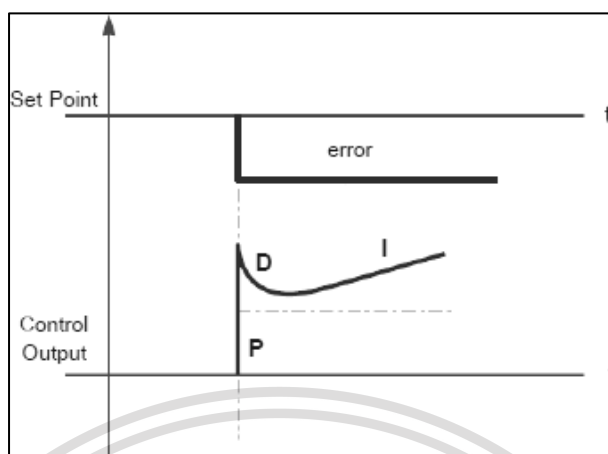


รูปที่ 2.20 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีไอดีแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.21 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดีคอนโทรล

จากรูปที่ 2.21 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีการควบคุมแบบนี้เหมาะกับการควบคุมที่ค่าเป้าหมาย (Set Point) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หรือใช้กับระบบ (System) ที่มีการตอบสนองช้า อีกทั้งสามารถใช้การควบคุมแบบพีไอดีแก้ปัญหาในกรณีที่ระบบที่ควบคุมได้รับสัญญาณรบกวน (Disturbance) จากสัญญาณภายนอก ส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับข้อเสียของระบบนี้คือถ้ากำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้การตอบสนองในการทำงานของตัวควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุตช้าลง

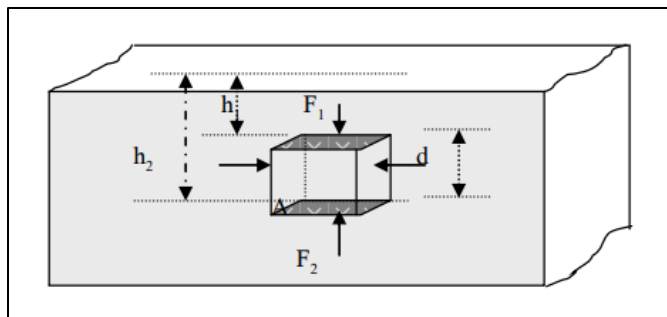
2.2 แรงลอยตัวและหลักการของอาร์คิมิดีส

อาร์คิมิดีสนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสพบว่าเมื่อก้อนวัตถุจมลงในของเหลวน้ำหนักของวัตถุ ก้อนนั้นจะมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักขณะที่อยู่ในอากาศ โดยน้ำหนักวัตถุที่หายไปจะมีค่าเท่ากับน้ำหนัก ของของเหลวที่ถูกวัตถุก้อนนั้นแทนที่ นั่นหมายความว่าขณะวัตถุจมอยู่ในของเหลวจะมีแรงกระทำต่อก้อนวัตถุในทิศตรงข้ามกับน้ำหนัก ซึ่งเรียกแรงนี้ว่าแรงลอยตัว (buoyant force ; F_b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.22 แสดงแรงที่กระทำต่อก้อนวัตถุที่จมในของเหลว

จากรูปที่ 2.22 ขณะที่ก้อนวัตถุจมอยู่ในของเหลวจะมีแรงดันจากของเหลวกระทำต่อวัตถุทุกทิศทาง สำหรับแรงที่กระทำด้านข้างก้อนวัตถุในแนวระดับจะหักล้างกันหมดไป แต่แรงที่กดลงด้านบนของ ก้อนวัตถุ (F_1) กับแรงที่ดันอยู่ข้างล่างก้อนวัตถุ (F_2) มีขนาดไม่เท่ากัน โดยแรงขนาดของ F_2 มากกว่าแรง F_1 ดังนั้น

$$F_b = F_2 - F_1$$

เมื่อแรงดันคือผลคูณของความดันกับพื้นที่ที่ถูกกระทำ หรือ $F = P \cdot A$ ดังนั้นจะได้

$$F_b = P_2 A - P_1 A$$

$$F_b = \rho_L g h_2 A - \rho_L g h_1 A$$

$$F_b = \rho_L g A (h_2 - h_1)$$

เนื่องจาก $h_2 - h_1$ คือความสูงของก้อนวัตถุ d ดังนั้น $A(h_2 - h_1)$ ก็คือปริมาตรของก้อนวัตถุที่จมลงในของเหลว (V_s)

จะได้แรงลอยตัว

$$F_b = \rho_L V_s g \quad (2.19)$$

และเนื่องจากมวล $m = \rho V$ ดังนั้น $\rho_L V_s$ ก็คือมวลของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับก้อนวัตถุ ส่วนที่จมลงในของเหลว (m_L)

หรือแรงลอยตัว

$$F_b = m_L g \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.3 การเคลื่อนที่แบบหมุน

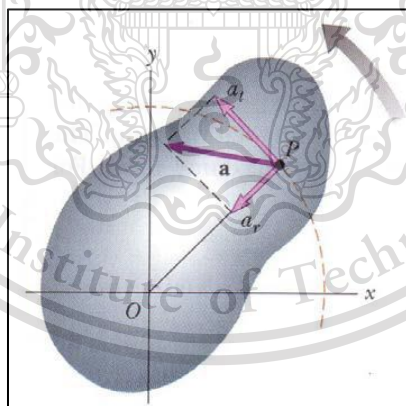
เมื่อออกแรงกระทำกับวัตถุโดยไม่ผ่านศูนย์กลางมวล จะพบว่า วัตถุมีการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเกิดขึ้น เช่น การเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอล การเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิ่ง การหมุนพัดลม ซึ่งวัตถุอาจจะหมุนอยู่กับที่หรือหมุนไปด้วยและเปลี่ยนตำแหน่งไปด้วย ซึ่งเรียกว่า “การเคลื่อนที่แบบหมุน”

การหมุนเกิดจากการที่เราออกแรงกระทำกับวัตถุ โดยแรงลัพธ์ไม่ผ่านศูนย์กลางมวล จะทำให้เกิดปริมาณที่ได้จากการหมุนเรียกว่า โมเมนต์ของแรงทอร์ก (torque) เมื่อวัตถุหมุนจะมีความเร็วรอบจุดหมุน เรียกว่า “ความเร็วเชิงมุม”

เมื่อออกแรงกระทำกับวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งเรียกว่า วัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) เพื่อให้เกิดการหมุนโดยออกแรงในตำแหน่งที่ห่างจากจุดหมุนไม่เท่ากัน จะพบว่าวัตถุมีการต้านการหมุนไม่เท่ากัน เรียกปริมาณต้านการหมุนนี้ว่า “โมเมนต์ความเฉื่อย”

โมเมนต์ความเฉื่อย และ กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

พิจารณามวล m ของวัตถุ ณ จุด P ซึ่งอยู่ห่างจากจุดหมุนเป็นระยะ R ถูกแรงภายนอก F มากระทำ และถูกแรงภายในกระทำเช่นเดียวกัน ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันสำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุนนั้น อาจกล่าวได้ว่า วัตถุเมื่อโดนแรงกระทำจะเคลื่อนที่ที่หมุนรอบจุดกำเนิด (O) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเชิงเส้น a



รูปที่ 2.23 แสดงแรงในการเคลื่อนที่แบบหมุน

$$\tau = \bar{R} \times \bar{F}$$

จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของมวล m ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งในการเคลื่อนที่เชิง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เส้นและเชิงมุม คือ $a = \alpha R$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

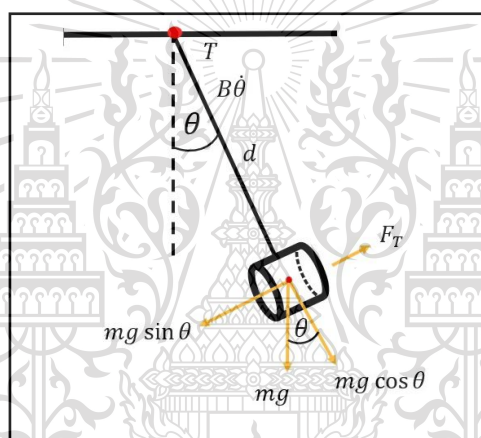
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\tau = RF = R(maR)$$

$$\tau = (mR^2)\alpha$$

ค่าความเร่งเชิงมุม α เป็นค่าเดียวกันทั่วทั้งแผ่น ดังนั้น ค่าทอร์ก จึงเป็นทอร์กลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ ซึ่งอาจมาจากแรงเดียวกระทำที่จุดใดจุดหนึ่งของวัตถุ ซึ่งการยึดกันภายในของของแข็งจะกระจายผลกระทำไปทั่วทั้งแผ่น

2.4 หลักการหาระบบของการควบคุมมอเตอร์ทิศทางเดียวทั้งระบบ



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทิศทางเดียว

จากรูปไดอะแกรมที่แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทิศทางเดียวนั้นทำให้สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของทั้งระบบได้ ดังนี้

จากสมการการเคลื่อนที่ของนิวตัน

$$\text{จะได้ } \sum F = ma$$

เมื่อได้สมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์ระบบการเคลื่อนที่ต่อ และพบว่า การเคลื่อนที่ของมอเตอร์นั้นเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน ทำให้แปลงสมการจากเชิงเส้นเป็นแบบหมุนได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ จะได้อีก $\sum T = ja$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

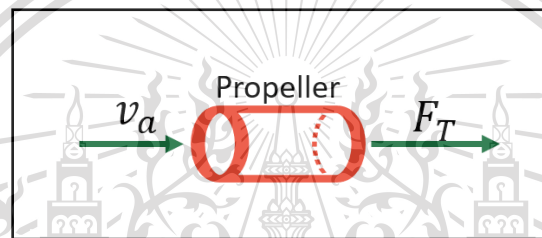
$$\text{ซึ่ง } j = md^2$$

จากนั้นเราจะสามารถวิเคราะห์ Mathematical Model ได้ดังนี้

$$\sum T = j\alpha$$

$$T - B\dot{\theta} - mg \sin \theta - T_d = j \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

จากการวิเคราะห์ไดอะแกรมของการเคลื่อนที่ที่เราจะได้ Mathematical Model เป็นดังสมการข้างต้น แต่สมการที่ได้นั้นยังถือว่าใช้ไม่ได้เพราะเป็นสมการแบบ Nonlinear equation



รูปที่ 2.25 แสดงไดอะแกรมของมอเตอร์

ต่อมาจะทำการ Mathematical Model เฉพาะตัวมอเตอร์ ซึ่งจากไดอะแกรมจะวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$F_T = K_T \cdot v_a$$

$$T = F_T \cdot d$$

$$T = d \cdot K_T \cdot v_a$$

เป็นสมการ Output ของตัวมอเตอร์ คือแรงที่ตัวมอเตอร์ใช้พลังไดรอนได้นำให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลัง และเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง อีกทั้งยังมีสมการแรงบิดที่จะนำมาประกอบการวิเคราะห์ โดย K_T คือระบบของมอเตอร์ หรือเป็น Motor dynamic เพื่อทำให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้นจึงประมาณการเคลื่อนที่ด้วยระบบอันดับ 1 หรือ First Order

$$\tau \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) = K_T \cdot v(t)$$

และได้ใช้วิธีการคำนวณค่า K_T และ τ จากการทดลอง โดยจะแสดงค่าผลการทดลองในบทถัดไป ทำให้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + mg \cdot d \cdot \theta = d \cdot K_T \cdot v_a$$

โดยสมการที่ได้มานั้นเป็นสมการที่เป็น Linear equation ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ ทำให้เราหา Transfer function ได้ดังนี้

$$\frac{\theta}{v_a} = \frac{d \cdot K_T}{JS^2 + BS + mgd}$$

2.5 ตัวอย่างโดรนใต้น้ำในต่างประเทศ

จากการศึกษาข้อมูลวิจัยเกี่ยวกับโดรนใต้น้ำยังมีค่อนข้างจำกัด และมีการศึกษาข้อมูลดังกล่าวค่อนข้างน้อยเนื่องจากยังคงเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ต้องการค้นคว้า พัฒนาต่อยอด ข้อมูลวิจัยที่ค้นพบว่า ในต่างประเทศมีการวิจัยพัฒนาคุณสมบัติของโดรนใต้น้ำให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เช่น การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในตัวโดรนใต้น้ำให้มีกล้องแบบพาโนรามาที่หมุนได้ 360 องศา และยังมีการพัฒนาให้มีรูปร่างเป็นปลาโดยมีกล้องหมุนได้ 360 องศาเป็นตาของโดรน การพัฒนาแก้ไขปัญหาโดรนใต้น้ำโดยมีการใช้ระบบหาวัตถุใต้น้ำด้วยคลื่นเสียงร่วมกับภาพเสมือนหรือภาพของวัตถุไปสะท้อนหักเหที่กระจกหรือเลนส์ แล้วแสงที่สะท้อนหรือหักเหนี้เสมือนไปทำให้เกิดภาพซึ่งใช้ฉากรับไม่ได้ แต่เรามองเห็นได้ การวิเคราะห์รูปแบบของรถสะเทินน้ำสะเทินบกระยะไกล (Remotely Amphibian Vehicle; RAV) ในการเป็นส่วนหนึ่งของโดรนใต้น้ำชื่อ “doomsday drone” ซึ่งนำมาใช้ในการปฏิบัติหน้าที่ของทางกองทัพโดยจัดว่าเป็นโดรนนิวเคลียร์ใต้น้ำซึ่งมีอันตราย

ปัจจุบันโดรนใต้น้ำในต่างประเทศที่นำมาใช้จริง และเป็นที่นิยม ประกอบด้วย ชนิด

1. PowerRay มาพร้อมกับกล้อง 4K ที่มีความสามารถเชื่อมต่อ WiFi หรือ Bluetooth เข้ากับอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS หรือ Android ได้ สามารถถ่ายวิดีโอและส่งภาพจากใต้น้ำแบบเรียลไทม์ ทำให้มองเห็นทัศนียภาพใต้น้ำได้โดยไม่ต้องดำน้ำลงไปดูด้วยตนเอง
2. Trident เป็นโดรนใต้น้ำรุ่นใหม่เคลื่อนที่เองได้ ใบพัดทำหน้าที่เหมือนหางเสือเรือ มีไฟสำหรับถ่ายภาพและวิดีโอ
3. iBubble เป็นโดรนบันทึกภาพใต้น้ำเคลื่อนที่ติดตามผู้ใช้แบบอัตโนมัติ เป็นมิตรต่อสัตว์น้ำ
4. Biki เป็นโดรนใต้น้ำรูปปลาแบบไร้สายที่ออกแบบตามหลักชีวจักรกล

ในอนาคตคาดว่า จะมีการผลิตและพัฒนาโดรนใต้น้ำในประเทศไทยที่มีประสิทธิภาพโดยมีความสามารถและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูช่างานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ความทันสมัยไม่น้อยกว่าโดรนใต้น้ำรุ่นอื่นๆในต่างประเทศ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ออกแบบ การสร้างแบบจำลองและควบคุม ยานใต้น้ำขับเคลื่อนโดยอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยของ Louis Andrew Gonzalez ซึ่งเขาได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบ การสร้างแบบจำลองและระบบควบคุมของโดรนใต้น้ำ โดยเราได้ศึกษาถึงหลักการในการออกแบบและสร้างโดรนใต้น้ำ และการออกแบบระบบควบคุม ซึ่งเขาจะใช้การออกแบบและพัฒนาโดรนใต้น้ำประกอบกับการใช้ระบบเครื่องกลและไฟฟ้า ตลอดจนการรวมระบบย่อยเข้าด้วยกัน การพัฒนาตัวระบบเหล่านี้จะทำให้มีโดรนใต้น้ำแบบเปิดเฟรมมีความเร็วต่ำ มีความสมมาตรสูง มีลักษณะเป็นโมดูล และมีเสถียรภาพสูง จากนั้นก็ได้สร้างแบบจำลองของโดรนใต้น้ำซึ่งเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองไดนามิกของโดรนใต้น้ำและการระบุพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามมา การระบุระบบของพารามิเตอร์ของโดรนใต้น้ำประกอบด้วยการใช้เซ็นเซอร์แบบออนบอร์ดเพื่อทำการทดลองแบบคงที่และแบบไดนามิกการประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุดเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลการทดลองที่ได้รับ สำหรับระบบควบคุมของโดรนใต้น้ำ ได้ใช้ระบบควบคุมแบบ PID ตามการควบคุมแรงบิดที่คำนวณได้มาใช้ ตัวควบคุมถูกนำไปใช้กับไดนามิกของรถและจำลองโดยใช้พารามิเตอร์ที่พบในกระบวนการระบุของระบบ ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมตัวนี้สามารถนำไปใช้กับโดรนใต้น้ำได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน โดยเริ่มจากเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงาน แผนการทำงาน และขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างละเอียด

3.1 วางแผนดำเนินการ

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

หัวข้อ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. หาข้อมูลของมอเตอร์และไดร์ฟมอเตอร์ เพื่อที่จะนำมาใช้ในสร้างตัวโรตอร์ได้นำ								
2. ศึกษาการออกแบบโครงสร้างของตัวโรตอร์ได้นำ และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำโรตอร์ได้นำ								
3. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ encoder เพื่อที่จะนำมาใช้ในการอ่านค่ามุมองศา								
4. ออกแบบตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อที่จะทำการเก็บข้อมูล								
5. นำ Gear Ratio มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อให้ความละเอียดยิ่งขึ้น								
6. ติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเพื่อทำการทดสอบ Open Loop-Test และ Close Loop-Test								
7. เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์								
8. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง								
9. นำข้อมูลมาจัดทำรูปเล่ม								

เอกสารนี้เป็นข้อมูลมาจัดทำรูปเล่มสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่มีการแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเอกสารไปใช้

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

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

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ตารางที่ 3.2 แสดงรายชื่ออุปกรณ์และหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

NO.	ชื่ออุปกรณ์	หน้าที่
1	Underwater Thruster Motor Propeller (Voltage 12-24V, Current 20A, Power 30-200W, Motor 1000KV)	หมุนผลักให้อากาศเคลื่อนที่ ทำให้เกิดแรงดึงของโรตอร์ ให้อากาศพุ่งไปข้างหน้าด้วยความเร็วตามการหมุนของใบพัด
2	Encoder OMRON E6B2-CWZ6C (Resolution 500P/R, Voltage 5-24VDC)	วัดค่ามุม และเก็บข้อมูลเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์
3	Hardware in the loop (HIL)	เป็นบอร์ดที่ใช้รับส่งสัญญาณ input และ output จากโปรแกรม matlab และรับค่าที่ได้จากการทดลอง
4	Board Drive	อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดในการทำงานมอเตอร์ หรือการควบคุมการสตาร์ทของมอเตอร์
5	Tank	ถังน้ำที่ใช้ทดสอบการเคลื่อนที่ของมอเตอร์
6	Computer	เขียนโปรแกรม Solidworks เพื่อออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ และเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินวิจัย

3.3.1 MATLAB Program ทำหน้าที่ เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบควบคุม Motor

3.3.2 Solidworks Program ทำหน้าที่ ออกแบบโครงสร้างตัวโรทรนใต้น้ำ

3.4 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

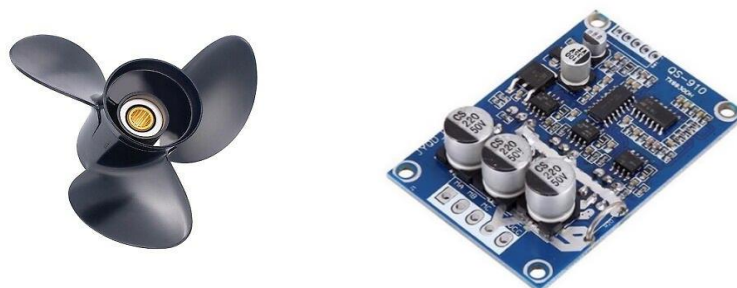
1. หาข้อมูลของมอเตอร์และไดร์ฟมอเตอร์เพื่อที่จะนำมาใช้ในสร้างตัวโรทรนใต้น้ำ
2. ศึกษาการออกแบบโครงสร้างของตัวโรทรนใต้น้ำ
3. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ encoder เพื่อที่จะนำมาใช้ในการอ่านค่ามุมองศา
4. ออกแบบตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อที่จะทำการเก็บข้อมูล
5. นำ Gear Ratio มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อให้ความละเอียดยิ่งขึ้น
6. ติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเพื่อทำการทดสอบ Open Loop-Test และ Close Loop-Test
7. เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์
8. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง
9. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.4.1 หาข้อมูลของมอเตอร์และไดร์ฟมอเตอร์เพื่อที่จะนำมาใช้ในสร้างตัวโดรนใต้น้ำ



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของมอเตอร์ และไดร์ฟมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย

3.3.1.1 จากการศึกษาคุณสมบัติของ Underwater Thruster Motor Propeller พบว่า corrosion resistant Voltage 12-24V, Rated Current 20A, Rated Power 30-200W, Rated Motor 100 KV, Wire length 250mm, Diameter 74mm, Total length 75mm, Propeller diameter 60mm, Motor 304 Stainless steel bearing+Aluminum alloy, หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

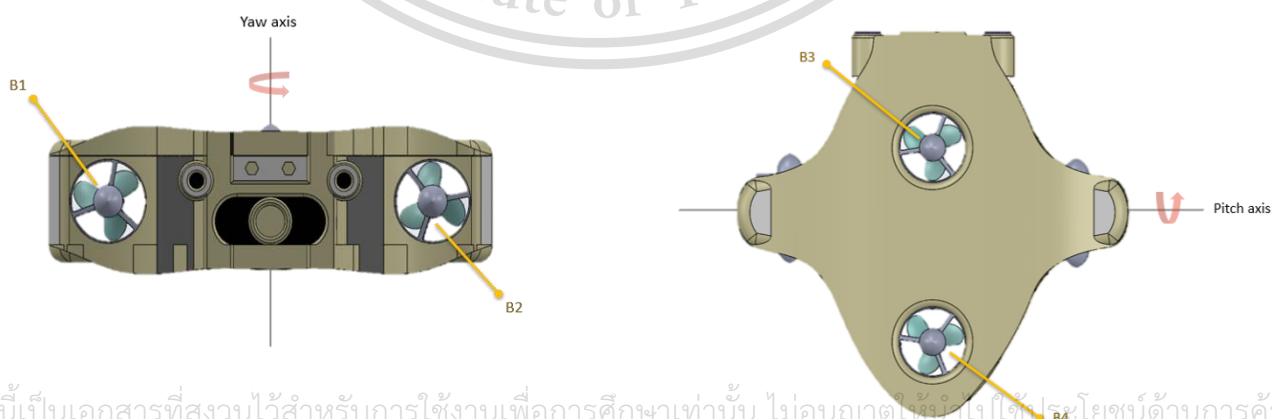
3.3.1.2 จากการศึกษาคุณสมบัติของ Board Drive รุ่น Meihe Dc Brushless พบว่า Voltage range 12-36V, Peak Current 20A, Drive Power $\leq 500W$, Size 63× 43×17

3.4.2 ศึกษาการออกแบบโครงสร้างของตัวโดรนใต้น้ำ

จากการศึกษาการออกแบบโครงสร้างของโดรนใต้น้ำมาแล้วนั้น ได้ออกแบบทั้งหมด 3 แบบ ดังต่อไปนี้

3.4.2.1 การออกแบบในครั้งแรก ออกแบบเพื่อใช้ทดลองมอเตอร์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้

จริง



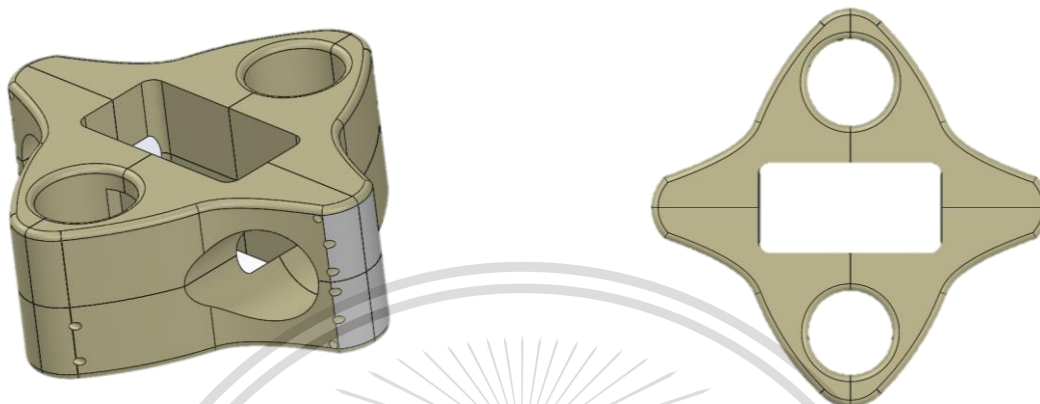
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงรูปร่างของโดรนใต้น้ำในการออกแบบครั้งแรก 1

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

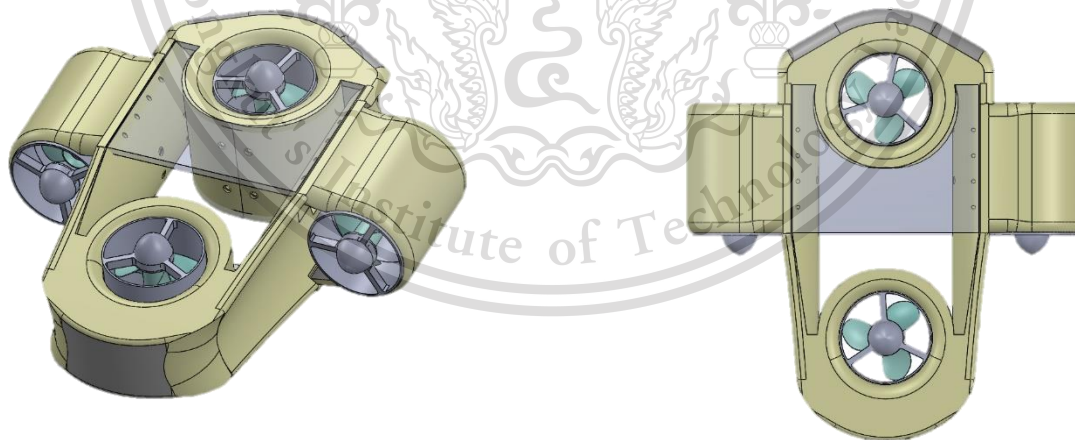
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.2.2 ในการออกแบบครั้งที่ 2 ได้ปรับเปลี่ยนรูปร่างของตัวโดรนใต้น้ำให้มีความบางและเบา มากขึ้น เพื่อที่จะลดแรงต้านน้ำและเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.3 แสดงรูปร่างของโดรนใต้น้ำในการออกแบบครั้งที่ 2

3.4.2.3 ในการออกแบบครั้งที่ 3 ได้มีการออกแบบให้รูปร่างมีประสิทธิภาพลดแรงต้านมากขึ้น โดยได้ทำการแยกชิ้นส่วนของโดรนใต้น้ำ และมีการออกแบบให้ตัวโดรนมีน้ำหนักเบาขึ้นโดยทำให้รูปร่างมีความ โปร่งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างของโดรนใต้น้ำในการออกแบบครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.4.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ encoder เพื่อที่จะนำมาใช้ในการอ่านค่ามุมองศา



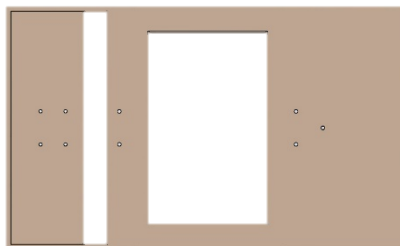
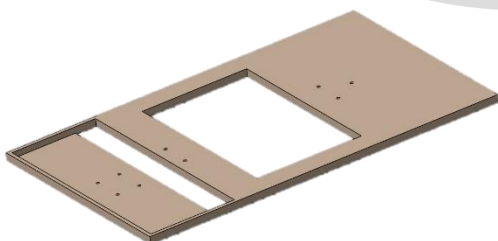
รูปที่ 3.5 รูปภาพตัวอย่าง encoder ที่นำมาใช้

Encoder เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเข้าถึงรหัสจากระยะทางจากการหมุนรอบตัวเองและแปลงเป็นรหัสในรูปของสัญญาณไฟฟ้าหลังจากนั้นจะนำรหัสนั้นมาแปลงกลับเพื่อหาค่าต่างๆ เช่น ระยะทางการหมุน, องศาการเคลื่อนที่, ความเร็วรอบ ได้ตามต้องการ โดยในที่นี้จะนำ encoder มาเพื่อเก็บค่าข้อมูลของมุมในการเคลื่อนที่ และนำข้อมูลที่เก็บได้ส่งไปเก็บที่ Hardware in the loop (HIL) อีกที

จากการศึกษาคุณสมบัติ Encoder OMRON E6B2-CWZ6C พบว่า Resolution 500P/R, Output Phase A,B และ Z , Power supply voltage 5-24 VDC, Diameter 40mm

3.4.4 ออกแบบตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อที่จะทำการเก็บข้อมูล

หลังจากได้ออกแบบโครงสร้างโดรนได้น้ำในขั้นตอนก่อนหน้าเสร็จแล้ว ต่อมาคือ การออกแบบ [One Dimension Thruster](#) เพื่อที่จะนำปทดลองหาค่ามุม โดยหลักการออกแบบขั้นตอนแรกจะใช้เพลลา และเบริงเข้ามาช่วยทำให้ Propeller สามารถหมุนได้ และใช้โปรแกรม Solidworks เข้ามาช่วยในการออกแบบโครงสร้างในการวางชิ้นส่วนต่างๆ พร้อมนำส่วนที่ออกแบบเสร็จไปขึ้นรูป โดยการปรี้น 3D printer



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.6 โครงสร้างหรือฐานที่ใช้วางชิ้นส่วนต่างๆ ในการทำ One Dimension Thruster

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

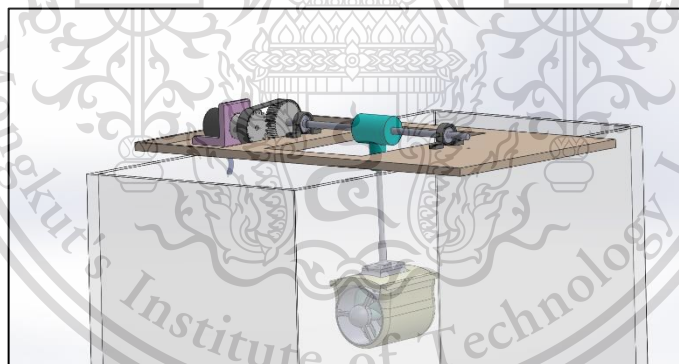
รูปที่ 3.6 จะแสดงโครงสร้างหรือฐานที่ใช้วางชิ้นส่วนต่างๆ ในการทำ One Dimension Thruster จากรูปภาพจะสังเกตเห็นรูเจาะ ซึ่งจะทำให้ใส่สกรูเพื่อที่จะยึด encoder, gear และ เฟลา พร้อมทั้งออกแบบ 3 way pipe เพื่อช่วยเชื่อมเฟลา และpropellerเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูป 3 way pipe เพื่อช่วยเชื่อมเฟลา และpropellerเข้าด้วยกัน

หลังจากที่เราออกแบบทุกอย่างเสร็จสิ้น ก็นำทุกชิ้นส่วนมาประกอบรวมกันจะได้ดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9

ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only. It is not permitted to be used for commercial purposes.

รูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9 แสดง One Dimension Thruster
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.5 นำ Gear Ratio มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อให้มีความละเอียดยิ่งขึ้น

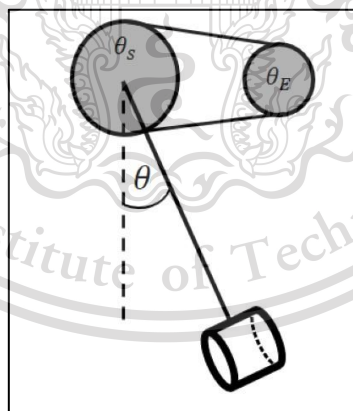
เนื่องจากในเวลาทดลอง จะต้องต่อเพลเข้ากับ encoder โดยตรง ซึ่งการทำเช่นนั้นจะส่งผลต่อเก็บค่ามุม ทำให้ค่ามุมที่ได้มาเป็นค่าที่ไม่ละเอียดพอ ดังนั้นจึงนำอัตราทดเข้ามาช่วยในการเพิ่มความละเอียดในการเก็บค่ามุมมากขึ้น ตามสูตรที่ 3.1

$$\frac{\theta_s}{\theta_E} = \frac{2}{5} \quad (3.1)$$

$$\theta_E = \frac{360}{1000} \cdot N_E \quad (3.2)$$

$$\theta_s = \frac{2}{5} \cdot \frac{360}{1000} \cdot N_E \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.1) จะใช้หลักการคิดอัตราส่วนตัวตาม ต่อตัวขับ ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมอเตอร์(ตัวขับ) เคลื่อนที่เป็นมุม θ_s จะทำให้ encoder(ตัวตาม) อ่านค่ามุมเป็น θ_E โดยจะมีอัตราส่วนของมอเตอร์ ต่อencoder อยู่ที่ 2:5 ทำให้การอ่านค่ามุมมีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งเพื่อความเข้าใจง่ายขึ้นจะแสดงมุมการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 3.10 ดังนี้



รูปที่ 3.10 แสดงอัตราทดระหว่างมอเตอร์ และencoder

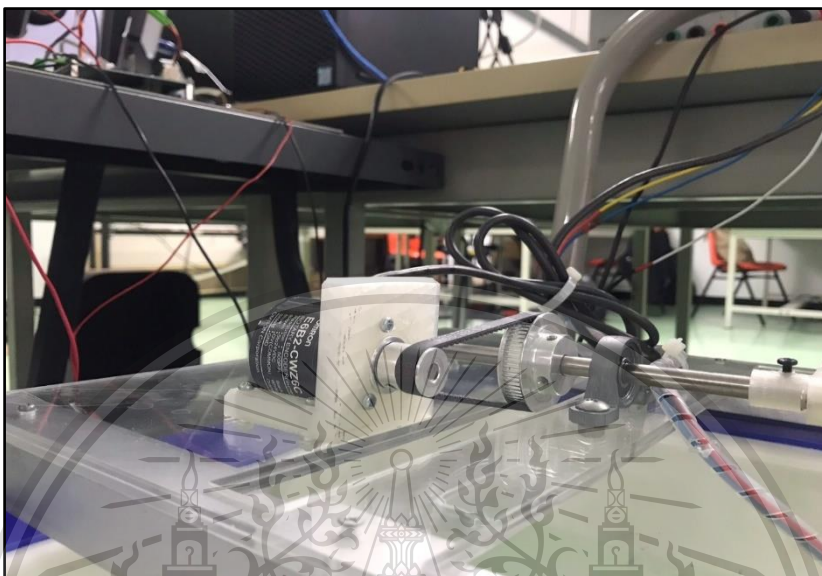
จากสมการที่ (3.2) จะอธิบายได้ว่า โดยปกติแล้ว encoder ที่นำมาใช้นั้นมีจำนวนเพลต่อรอบอยู่ที่ 500 P/R เนื่องจากต้องการความละเอียดมากขึ้น จึงได้เพิ่มจำนวนเพลต่อรอบเป็น 1000P/R ดังนั้นในขณะที่

encoder เคลื่อนที่ไป 360 องศาจะหมุนได้ 1000 รอบ ดังนั้นเราจะหามุม θ_E ได้จากจำนวนที่ encoder เคลื่อนที่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หมุนจริงๆ คุณกับอัตราส่วน 360 ต่อ 1000 ดังนั้นจากสมการที่ (3.3) คือ นำสมการที่ (3.2) ไปแทนใส่สมการที่ (3.1) และจะสามารถหาค่ามุม θ_s ได้ รูปที่ 3.11 คือ รูปเกียร์ที่ได้ออกแบบไว้เพื่อมาช่วยเพิ่มความละเอียด



รูปที่ 3.11 รูปเกียร์ที่ได้ออกแบบไว้เพื่อมาช่วยเพิ่มความละเอียด

3.4.6 ติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเพื่อทำการทดสอบ Open Loop - Test และ Close Loop - Test

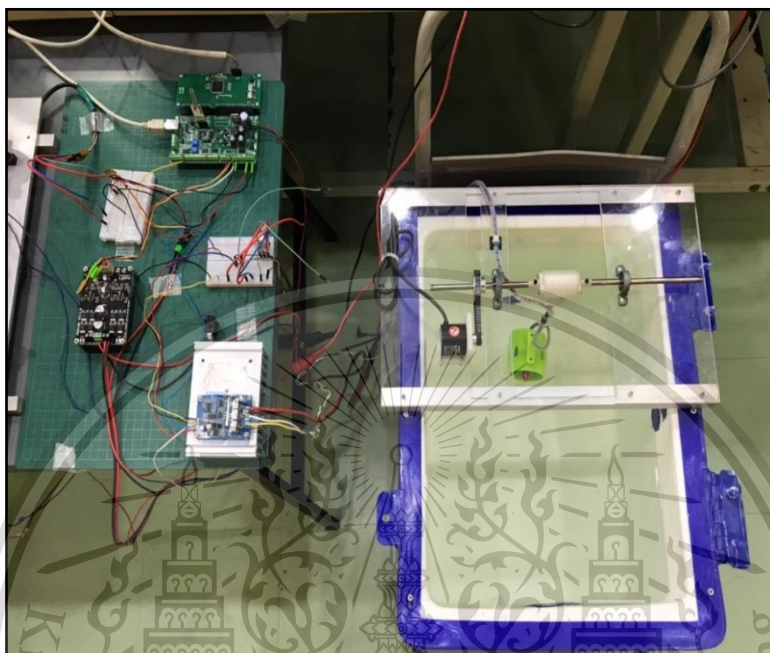
ในขั้นตอนนี้จะนำอุปกรณ์ใช้ในการทดลองที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วมาติดตั้งเพื่อที่จะทำการทดสอบ Open Loop - Test และ Close Loop - Test โดยการติดตั้งนั้น จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน โดยจะเริ่มจากนำแผ่นฐานที่เป็นวัสดุอะคริลิกมายึดกับโครงเหล็กอะลูมิเนียม เพื่อที่จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับฐานรวมอุปกรณ์ เมื่อทำการยึดโครงฐานอุปกรณ์ทดลองแล้วจะทำการเชื่อมฐานของ Encoder เข้ากับแผ่นฐานอุปกรณ์ และนำ Encoder มาใส่กับตัวฐาน จากนั้นยึดตัว Bearing เข้ากับฐานไว้ในตำแหน่งที่ทำการออกแบบซึ่งในการออกแบบนั้นเราจะใส่ Bearing อยู่ 2 จุด หลังจากนั้นนำ 3 way pipe มายึดกับเพลาล้วนแล้วนำเพลาล้วน Bore ของ Bearing และที่เพลาล้วนหนึ่งเราจะทำการติดตั้งระบบ Gear Ratio ที่เราได้ทำการออกแบบจากหัวข้อ 3.4.5 มาใช้ จากนั้นที่อีกด้านของ 3 way pipe เราก็นำ Propeller ที่เราจะทำการทดสอบประสิทธิภาพมาต่อเข้า เพื่อดูลักษณะการเคลื่อนที่และเพื่อวัดมุมองศาการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ และเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้วเราจะทำการต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด Hardware in the Loop หรือ (HIL) เพื่อที่จะทำการอ่านค่าเก็บข้อมูลและส่งค่ามุมองศาของมอเตอร์ไปที่โปรแกรม MATLAB โดยที่ตัวมอเตอร์นั้นจะมี Board Drive ของมอเตอร์ก็จะเชื่อมกับบอร์ด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

HIL เช่นกันแต่จะไม่ได้ทำการเก็บค่าข้อมูลหรือวัดมุมมองศาในส่วนของ Board Drive จะรับค่า input ที่เป็นแรงดันมาจากบอร์ด HIL เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เหล่านี้แล้ว มอเตอร์จะพร้อมทำการทดสอบประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.12 รูปการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเพื่อทำการทดสอบ

3.4.7 เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์

ในขั้นตอนนี้เราจะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมมอเตอร์ให้มีความเสถียรในการเคลื่อนที่แม้ว่าจะมีสิ่งรบกวนภายนอกนั้นเราต้องเขียนโปรแกรมในการรับค่าข้อมูลก่อน เนื่องจากค่าที่ส่งข้อมูลมาจาก Encoder เป็นค่า Pulse ต้องเขียนโปรแกรมแปลงค่าเพื่อบอกค่าเป็นองศาที่มอเตอร์เคลื่อนที่ เมื่อทำการเขียนโปรแกรมแปลงค่า Pulse เป็นมุมมองศาแล้ว เราก็จะเปิดการใช้มอเตอร์และเก็บค่าข้อมูลที่ได้นั้นเป็นค่า Pulse width modulation หรือ PWM และค่ามุมมองศาที่มอเตอร์เคลื่อนที่ได้ ต่อมานำค่าที่ได้มาเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบควบคุม ซึ่งเราจะแบ่งการเขียนโปรแกรมระบบควบคุมมอเตอร์ออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

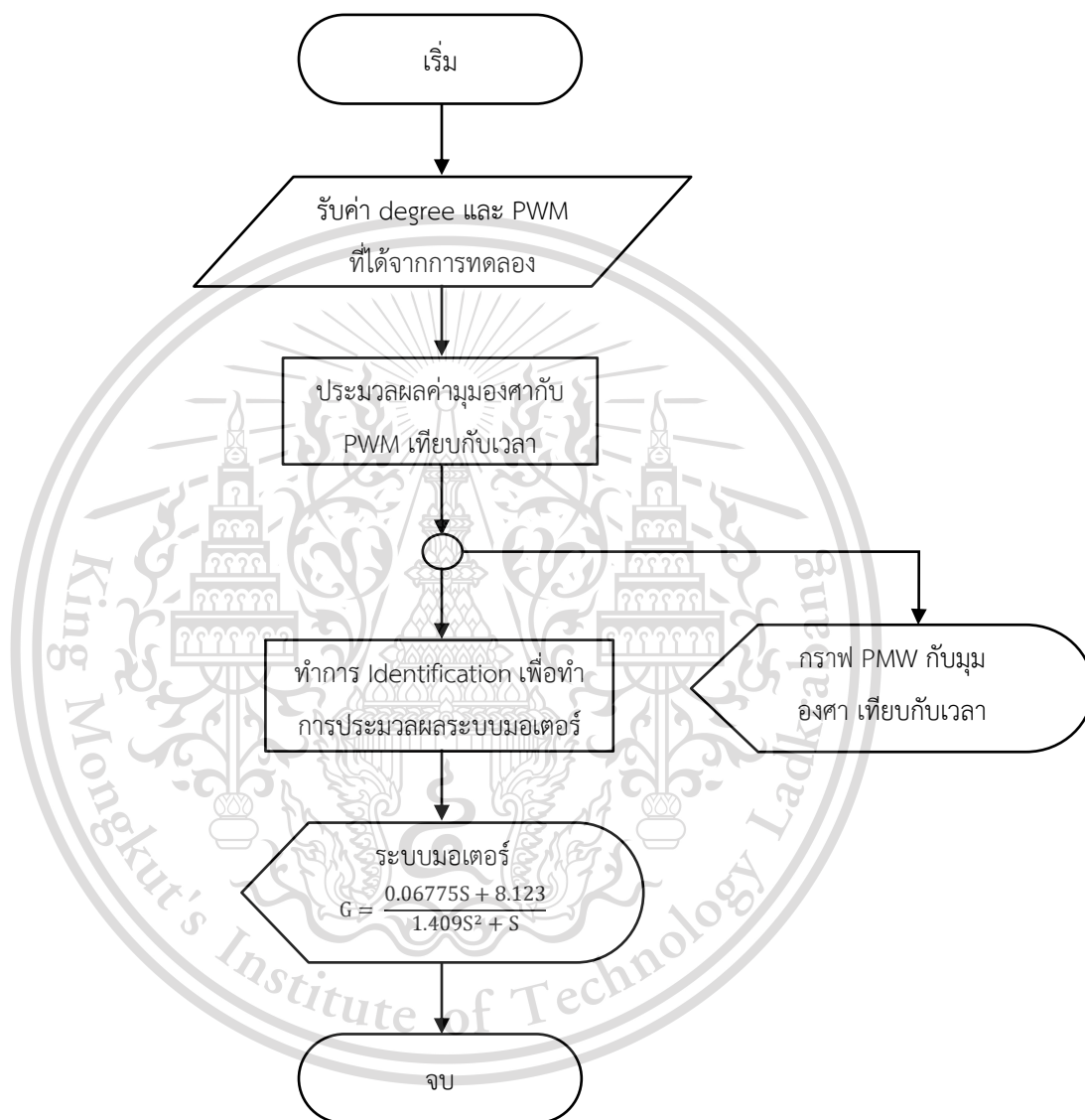
1. การออกแบบระบบควบคุมแบบ Open Loop – Test
2. การออกแบบระบบควบคุมแบบ Close Loop – Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โดยแบบแรกจะเป็นการเขียนโปรแกรมระบบควบคุมมอเตอร์แบบ Open Loop - Test เพื่อสังเกตการตอบสนองของมอเตอร์ว่ามีลักษณะแบบใด และทำการวิเคราะห์หา Mathematical Model ของมอเตอร์ โดยเราแสดงการทำงานของโปรแกรม MATLAB เป็นแผนผังงาน ดังนี้

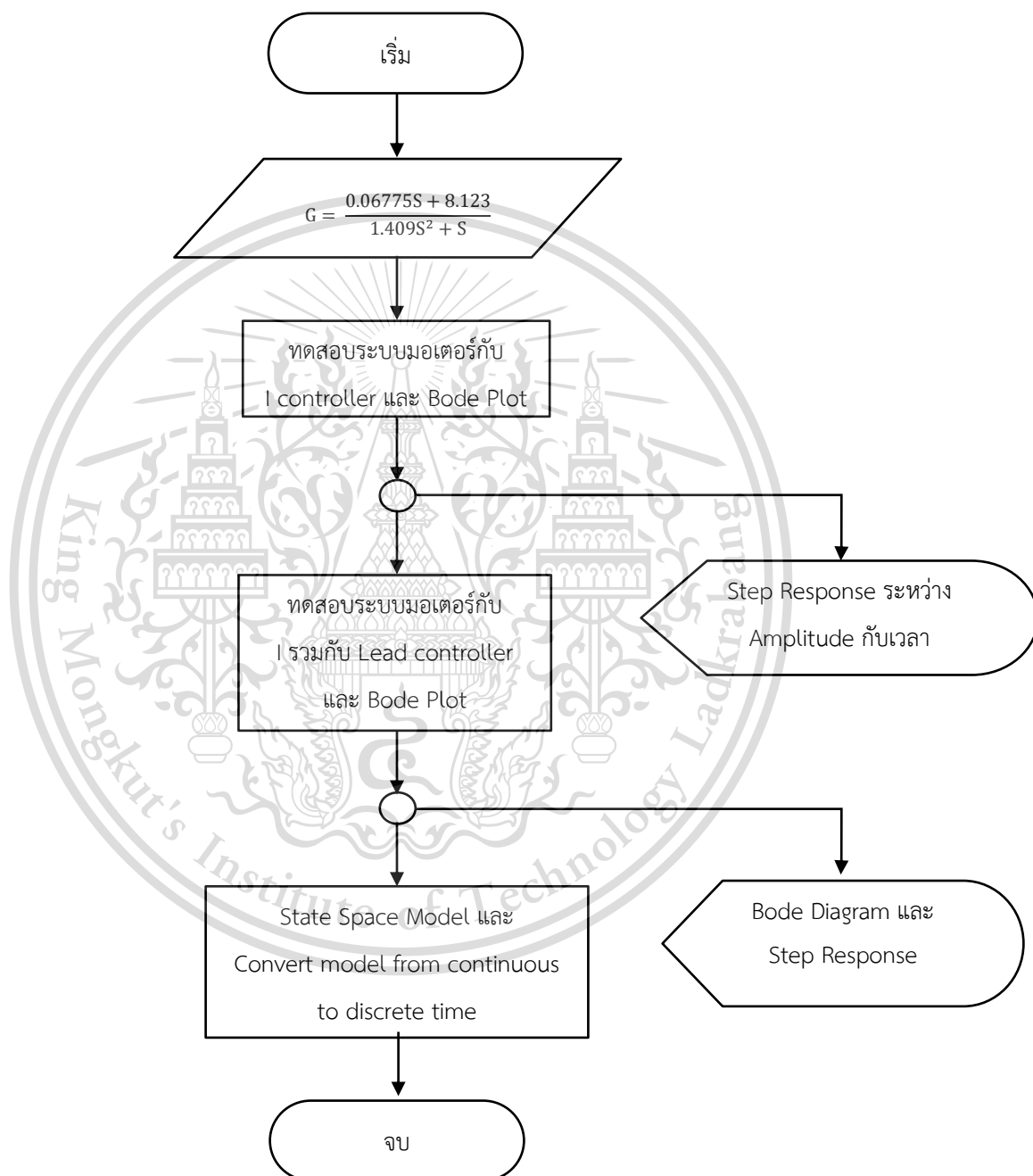


ซึ่งจากแผนผังงานนี้จะทำให้เราทราบค่า Mathematical Model และลักษณะการทำงานหรือการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ในขณะที่เรายังไม่ได้ทำการควบคุม โดยค่าแสดงผลในส่วนของการ Open Loop - test เราจะแสดงในบทที่ 4 แสดงผลการทดลอง เมื่อทำการออกแบบระบบควบคุมแบบ Open Loop - Test แล้วต่อมา จะทำการออกแบบระบบควบคุมแบบ Close Loop - Test โดยในขั้นตอนนี้จะแตกต่างจากการออกแบบ Open Loop - Test ในส่วนของการออกแบบระบบควบคุมขึ้นมา โดยในการควบคุมจะใส่ระบบ I Controller และไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Lead Controller ซึ่งในการเลือกระบบ Controller เหล่านี้ เกิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองในส่วน
ของ Open Loop – Test เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วก็ทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมา โดยเราแสดงการทำงานของ
โปรแกรม MATLAB เป็นแผนผังงาน ดังนี้



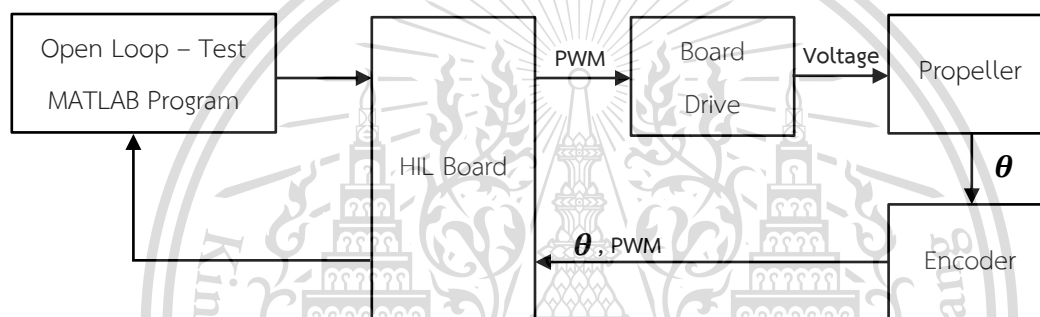
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

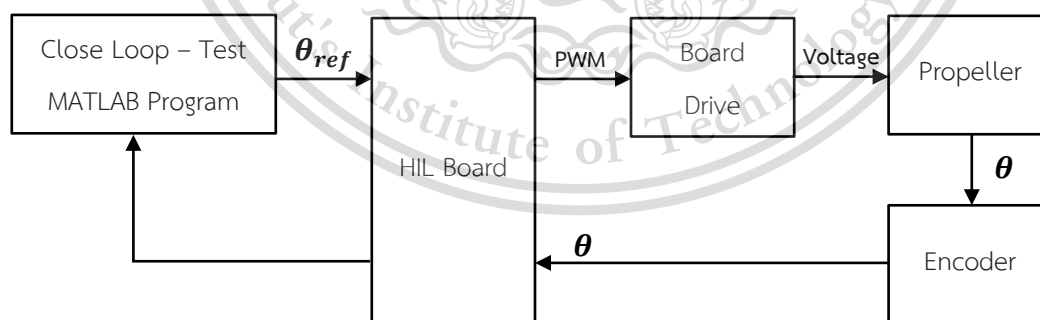
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งการแสดงผลนี้จะทำให้สามารถรู้ได้ว่าระบบ Controller นั้นสามารถควบคุมมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการดูกราฟ Step Response ที่แสดงจากการเขียนโปรแกรม MATLAB โดยจะมี Step response ที่ดีได้นั้นจะต้องวิเคราะห์ Bode Diagram จากค่า Phase margin ที่แสดงผลค่าในโปรแกรม MATLAB ต้องปรับค่าให้มีความเหมาะสม ดังนั้นเราจึงใช้ระบบ Controller ที่เป็นระบบ I ร่วมกับ Lead Controller ในการควบคุมมอเตอร์

ในการทดลองระบบการออกแบบระบบควบคุมแบบ Open Loop – Test และการออกแบบระบบควบคุมแบบ Close Loop – Test จะมีไดอะแกรมการทำงาน ดังนี้



แผนผังไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุมแบบ Open Loop – Test



แผนผังไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุมแบบ Close Loop – Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

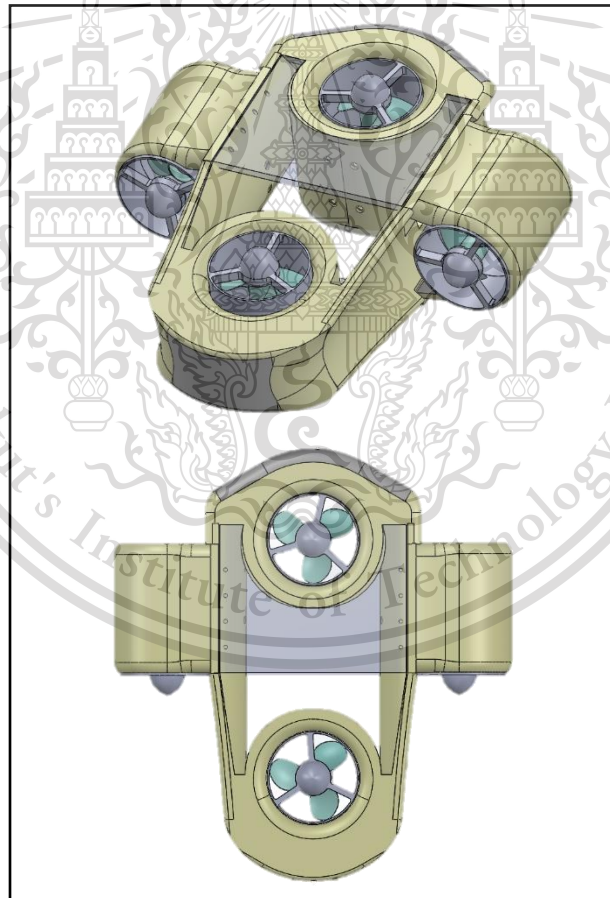
บทที่ 4

ผลการทดลอง

เมื่อออกแบบโดรนต้นแบบ จะทำการทดสอบมอเตอร์แบบ Open-loop Test เพื่อเก็บผลการทดลองไป ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์และทำการทดสอบแบบ Close-loop Test ต่อ

4.1 การสร้างโดรนต้นแบบ

โดยการสร้างโดรนต้นแบบนั้น จะอาศัยการออกแบบจากแรงลอยตัวและการเคลื่อนที่ได้ดีในใต้น้ำ ในการสร้างโดรนต้นแบบจะอาศัยการออกแบบโดยใช้ Solidworks Program ในการออกแบบ และใช้เส้น Filament ที่ปรี้นจากเครื่อง 3D Printer เป็นโปรไฟล์โครงสร้างภายนอก และนำส่วนที่ปรี้นมาประกอบเป็นชิ้นงาน ซึ่งรูปภาพที่ 4.1 เป็นรูปภาพจำลองการออกแบบโดรน



รูปที่ 4.1 เป็นรูปภาพจำลองการออกแบบโดรน

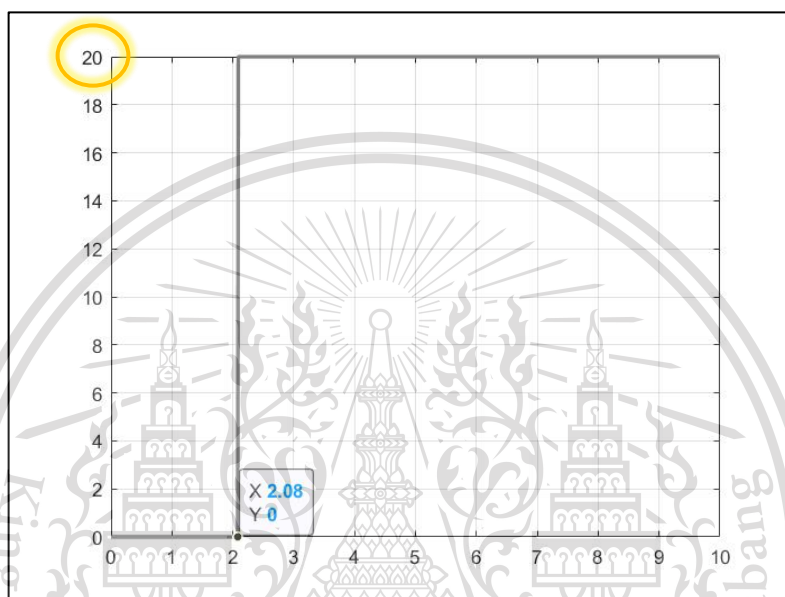
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

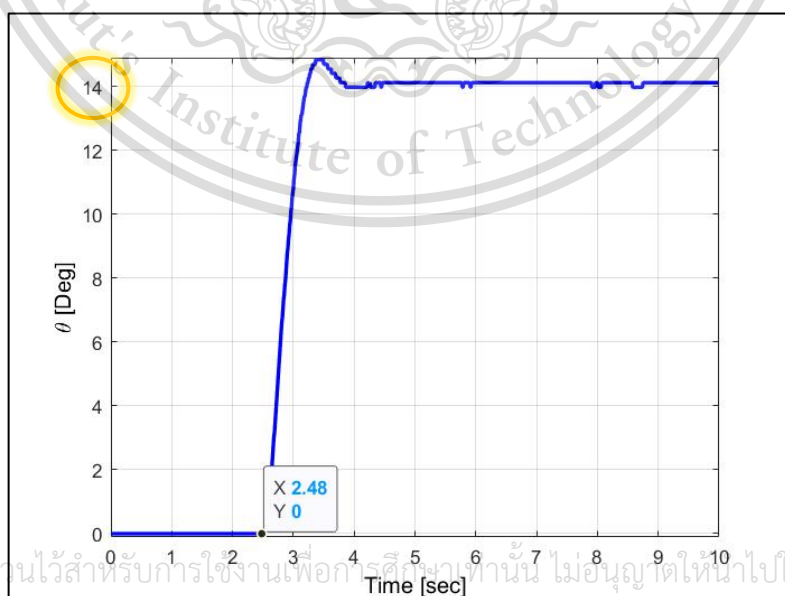
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ผลการทดสอบแบบ Open loop - Test

ในการทดสอบแบบ Open loop - Test ได้กำหนดค่า PWM ที่ป้อนเข้าไปในระบบไว้ที่ 20 ดังรูปที่ 4.2 ทำให้ได้ผลลัพธ์มุมมองการเคลื่อนที่ ของ Propeller เคลื่อนที่ไปเป็นขนาดมุม 14 องศา ตามรูปแสดงมุม zeta รูปที่ 4.3 และเวลาที่มอเตอร์เริ่มหมุนอยู่ที่ 2.48 วินาที



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟการป้อน PWM ที่ 20



รูปที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์ค่า zeta ที่ได้มาจากการป้อน PWM ที่ 20

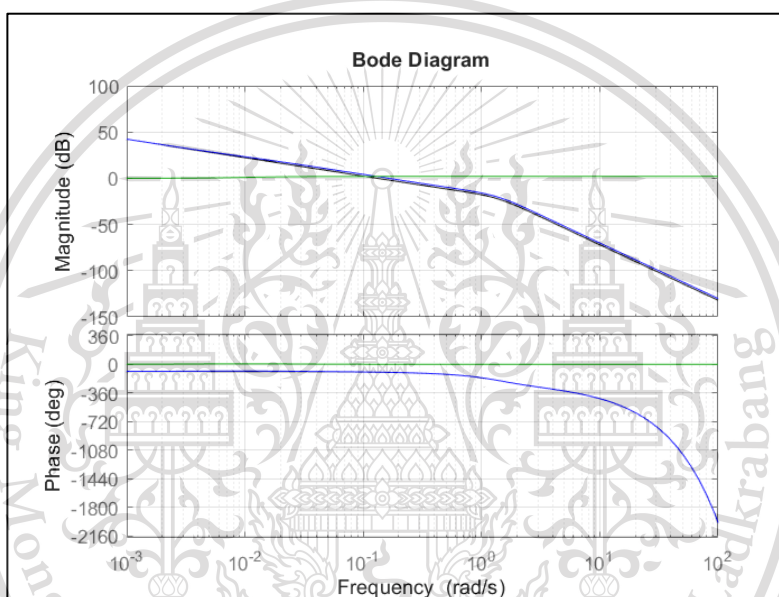
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

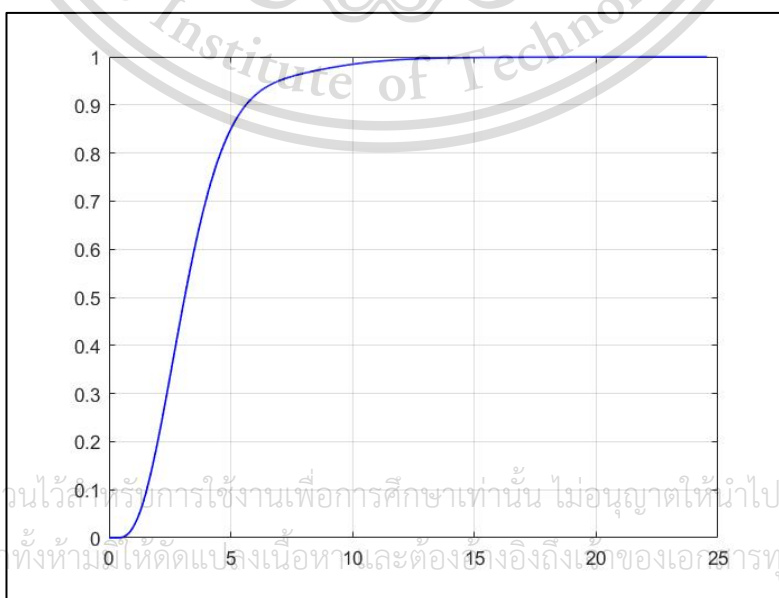
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 ผลการทดสอบแบบ Close loop - Test

จากการทดสอบแบบ Open loop - Test และได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจาก encoder และนำข้อมูลที่ได้ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ ซึ่งได้ออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ ระบบควบคุมแบบ I Controller ร่วมกับ Lead Controller โดยได้ออกแบบผลตอบสนองโดยการปรับอัตราขยาย ตามและ รูปที่ 4.5 และ ต้องการให้ Output หรือ มอเตอร์เคลื่อนที่เป็นมุม 30 องศา ซึ่ง input และ output ที่ได้แสดงตามรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟ Bode เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราขยาย

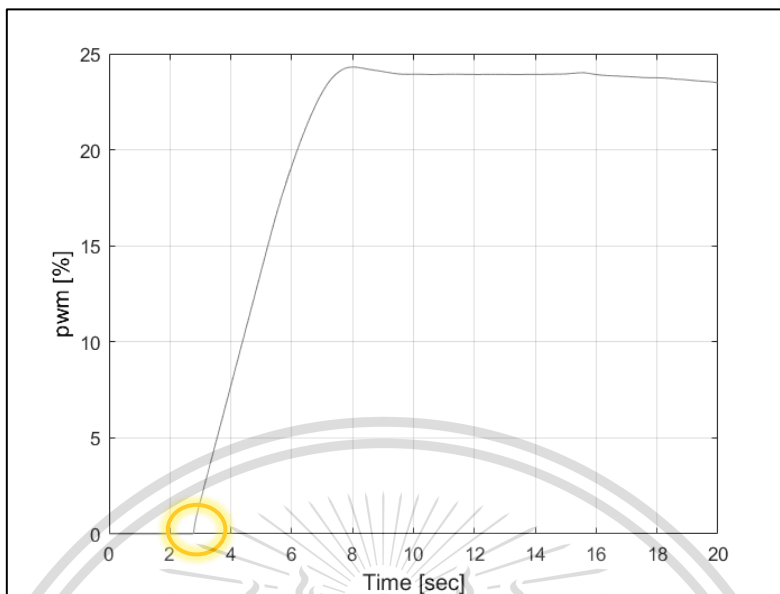


รูปที่ 4.5 แสดงกราฟ Bode เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราขยาย

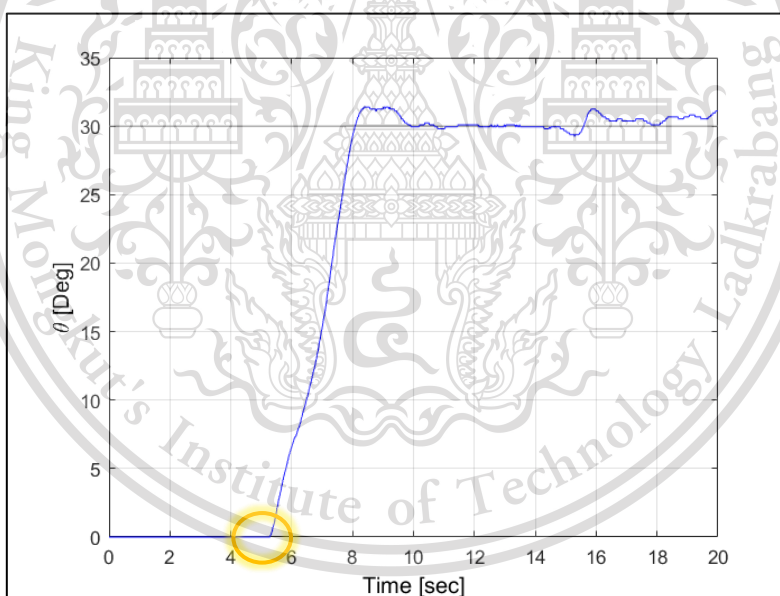
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง 20 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.6 แสดงค่า PWM ที่ป้อนเข้าไปในระบบเพื่อให้ได้มุมมองอยู่ที่ 30



รูปที่ 4.7 แสดงค่า Output หรือ มุมองศาในการเคลื่อนที่

จากการทดสอบแบบ Close loop - Test จะเห็นได้ว่าการดีเลย์ขึ้นในระบบ เนื่องจาก Input ที่ป้อนเข้าไป มอเตอร์จะเริ่มหมุนวินาทีที่ 2.77 second แต่ Output ที่ได้ออกมา มอเตอร์จะเริ่มหมุนวินาทีที่ 5.33

ทำให้เกิดการดีเลย์ไป 2.56 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการสร้างโรตารูปแบบการได้น้ำ ซึ่งมุ่งเน้นพัฒนาไปที่การออกแบบตัวโรตารูปแบบได้น้ำและการควบคุมระบบของมอเตอร์ให้มีความเสถียร และสามารถเคลื่อนที่ไปสถานที่ที่ต้องการได้ พบว่าในขั้นตอนการออกแบบระบบการทดลองระบบควบคุมของมอเตอร์นั้น สามารถควบคุมมุมมองการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ได้ โดยเลือกใช้ระบบควบคุมที่เป็น I Controller ร่วมกับ Lead Controller แม้ขณะที่มอเตอร์ทำงานนั้นจะมีสิ่งรบกวนภายนอก เช่น คลื่นน้ำ มอเตอร์ก็จะควบคุมตัวมอเตอร์ให้กลับมาที่มุมมองที่เรากำหนดได้ และในขั้นตอนการออกแบบนั้นเราได้ทำการปรับขนาดของตัวชิ้นงานในรุ่นแรกสำเร็จและเป็นขนาดจริง ซึ่งสร้างให้มีความสมมาตรทางรูปร่าง และทำให้ตัวโรตารูปแบบได้น้ำมีความโปร่งและมีน้ำหนักเบา เพื่อที่จะทำการนำมาทดสอบกับมอเตอร์ที่ทำการควบคุมระบบเรียบร้อยแล้ว

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่พบ

1. ในการออกแบบชิ้นงานปัญหาที่พบเห็นว่ามีรูปร่างที่ไม่ดีมากพอ และในการปรับชิ้นงานออกมานั้นใช้ระยะเวลาที่นาน
2. ปัญหาของการทำการควบคุมระบบของมอเตอร์นั้น ในขั้นตอนการทำการทดลองพบว่ามอเตอร์มี red zone เกิดขึ้นคือ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เกิด delay ขึ้น มอเตอร์ไม่ทำงานทันทีขณะจ่ายแรงดันไฟฟ้า
3. เนื่องจากมีปัญหาทางด้านโรคระบาด COVID-19 ทำให้การดำเนินงานเกิดความล่าช้าและล่าช้าจึงทำให้การทดลองในการพัฒนาโรตารูปแบบได้น้ำบางส่วนถูกตัดออกไป

5.2.2 แนวทางแก้ไข

1. ทำการออกแบบตัวโรตารูปแบบได้น้ำรุ่นที่ 2 ที่มีขนาดและรูปร่างที่สมมาตรมากกว่ารุ่นแรก ลดแรงต้านน้ำได้ดีกว่า มีขนาดเบากว่า เพื่อที่จะอำนวยความสะดวกต่อการเคลื่อนที่ เนื่องจากครั้งก่อนพบว่าการปรับชิ้นงานมีเวลานาน เราจึงทำการออกแบบให้ตัวโรตารูปแบบได้น้ำมีหลายชิ้นงานแล้วนำมาประกอบกันเพื่อลดระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน
2. แก้ไขปัญหา red zone ของมอเตอร์ โดยการลองทำการทดสอบมอเตอร์ตัวใหม่ เพื่อนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารเปรียบเทียบผลการทดลองว่า red zone นี้เกิดจากที่ตัวมอเตอร์เองหรือว่าเกิดปัญหาจากที่อื่น การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3. เนื่องจากติดสถานการณ์ของโรคระบาดเราจึงทำการพัฒนาแบบในรูปแบบที่ 3 ให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากเข้าไปทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการไม่ได้ จึงทำวิจัยแบบ Work from home และพัฒนาในส่วนที่ทำการพัฒนาได้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา

เนื่องจากการทำวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการพัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์และการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งโครงข่ายได้นำมีหลายส่วนให้พัฒนา เช่นระบบเว็บเซอร์ต่างๆ ซึ่งถ้านำผลการทดลองโครงข่ายได้นำไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโครงข่ายได้นำต่อก็จะทำให้โครงข่ายได้นำมีการใช้งานได้จริงในรูปแบบเต็มรูปแบบ และเกิดประโยชน์มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง

[1] “Control System” (Online). Available:

http://www.intech.crru.ac.th/research_ind/doc/52_dissemin_ตำรา%20ผศ%20วิภพ.pdf

[2] “แรงลอยตัวและหลักของอาร์คิมิดีส” (Online). Available:

http://elearning.psu.ac.th/courses/6/บทที่%206_4.pdf

[3] “การเคลื่อนที่แบบหมุน” (Online). Available:

<https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7300-2017-06-14-15-05-53>

[4] “การคิดอัตราทดเฟือง” (Online). Available:

http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_11072610102229.pdf

[5] “What is Hardware in The Loop” (Online). Available:

<https://www.ni.com/en-th/innovations/white-papers/17/what-is-hardware-in-the-loop.html>

[6] “Encoder” (Online). Available:

<http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=262>

[7] “Motor Drive” (Online). Available:

<http://gamerbloggerport.blogspot.com/2017/09/l298n-motor-drive.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

**DESIGN, MODELLING AND CONTROL
OF AN
AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE**

Louis Andrew Gonzalez

Bachelor of Engineering Honours Thesis 2004

Mobile Robotics Laboratory,
Centre for Intelligent Information Processing Systems,
School of Electrical, Electronic and Computer Engineering,
The University of Western Australia.



Supervisor

Associate Professor Thomas Bräunl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Abstract

Autonomous underwater vehicles are currently being utilised for scientific, commercial and military underwater applications. These vehicles require autonomous guidance and control systems in order to perform underwater tasks. Modelling, system identification and control of these vehicles are still major active areas of research and development.

This thesis is concerned with the design and development of an AUV specifically intended for entry into international underwater vehicle competitions. The thesis consists of two phases; the first involves the design and construction of the vehicle while the second phase is concerned with the modelling and system identification of the vehicle, as well as the simulation of a control system.

The design and development of the vehicle consisted of implementing a mechanical and electrical system, as well as the integration of subsystems. The development of these systems has resulted in a low-speed, bottom-heavy, open-frame underwater vehicle named the *Mako* that exhibits high symmetry, modularity and stability.

The modelling of the *Mako* was then performed which involved the application of the dynamic model of an underwater vehicle and the consequent identification of the relevant parameters. The system identification of the vehicle parameters consisted of using onboard sensors to perform static and dynamic experiments. Least squares estimation was used to estimate the parameters from the experimental data obtained.

For the control system of the *Mako*, a PID tracking controller based on computed torque control was adopted. The controller was applied to the vehicle's dynamics and simulated using the parameters found in the system identification process. The results of the simulations demonstrate that this type of controller could indeed be successfully implemented on the vehicle.

The undertakings in this thesis have resulted in a functioning autonomous underwater vehicle that has undergone modelling, system identification and preliminary control analysis. The groundwork has indeed been laid for the *Mako's* entry into future underwater competitions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Ocean Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/oceaneng

Innovative design of an underwater cleaning robot with a two arm manipulator for hull cleaning^{*}

Saber Hachicha^{a,*}, Chiheb Zaoui^a, Habib Dallagi^a, Samir Nejim^a, Aref Maalej^b

^aAutomatic Control & Marine Robotics, Naval Academy, Tunisia

^bLaboratory of Electromechanical Systems of the University of Sfax, Engineering School of Sfax (ENSS), Tunisia

ARTICLE INFO

Keywords:
Remotely operated vehicle
Manipulator arms
Dynamics
Robot
Simulation modeling

ABSTRACT

The fouling is a major problem that occurs to the ship's hull. This phenomenon causes severe economic and ecological consequences of shipping activities. Therefore, several robotic solutions were developed to mitigate fouling problem and to robotize hull-cleaning process. However, the existing solutions are either slow remotely operated vehicles or fast - but non-transportable - clearing station equipped with manipulator's arms.

In this paper, we aim to combine the transportability of the remotely operated vehicle solution and the cleaning efficiency offered by the use of arms manipulators. Hence, we present an innovative design of an underwater ship hull-cleaning robot called ARMROV by attaching two-manipulator arms to a remotely operated vehicle. However, in this new design, the robot central part is subject to dynamic stability issues during the cleaning operation that are caused by coupling forces between arms and the central part. In order to evaluate perturbations on the center part of the ARMROV, the kinematic and the dynamic model of the manipulator's arms were developed performed using Khalil-Kleinfinger and Newton-Euler methods respectively. The dynamic stability during the hull cleaning operation was studied and checked using dynamic equivalence approach. Simulations results proved the efficiency of the stability approach and the feasibility of the proposed solution. In conclusion, the suggested design represents a promising viable and efficient solution for hull underwater cleaning.

1. Introduction

Fouling is the fixing and development of unwanted material on artificial surfaces immersed in seawater. The fouling materials can be either living substances, such as aquatic organisms, algae, and animals, which are commonly referred to as biofouling, or non-living substances, which are either organic or inorganic. This process is causing many problems for human activities related to the marine environment, both economically and ecologically (Schultz et al., 2011).

This problem has severe economic effects on ships activities. Indeed, the increase of biofouling thickness makes the surface rough and harsh, and thus amplifies friction forces during the ship's movement in the water. Besides, biofouling represents an overload that results in an increase in fuel consumption. Furthermore, this phenomenon leads to the acceleration of metallic corrosion and the reduction of the time interval between consecutive dry-docking operations. Thus the ship experiences long periods of unavailability, in addition to extra expenses generated by additional dry-docking operations of the vessels (Bohlander and Zou-lind, 2009).

The main process of fighting hull fouling consists of regular cleaning of submerged surfaces in a dry dock in addition to the application of a toxic paint known as antifouling. However, this solution remains insufficient since a one-centimeter thick layer of fouling can cover a hull in just a month (Narasimhan et al., 2015). Hence, the research is oriented towards the regular underwater cleaning of the hull without the need for dry-docking. Initially, the underwater cleaning operation is performed manually. However, given its difficulty, this operation became, more and more, automated and robotized. Several research studies and applications were developed in this framework.

In 2009, a European-funded research project directed by Newcastle University (United Kingdom) developed a robot called HISMAR. European researchers and engineers have worked on an automated robotic cleaning system that removes marine growth from the ship's hull. This robot possesses 3 degrees of freedom (DOF) which allows the sweeping of the surface of the ship's hull that would be cleaned. The HISMAR robot uses one of the following cleaning techniques: brushing

^{*} This work was supported by the Tunisian Ministry of Higher Education and Scientific Research.

^{*} Corresponding author.

E-mail address: saber.hachicha@enit.tn (S. Hachicha).

<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.03.044>

Received 8 April 2018; Received in revised form 18 January 2019; Accepted 29 March 2019

Available online 18 April 2019

0029-8018/ © 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Chapter 5

The SIMC Method for Smooth PID Controller Tuning

Sigurd Skogestad and Chriss Grimholt

5.1 Introduction

Although the proportional-integral-derivative (PID) controller has only three parameters, it is not easy, without a systematic procedure, to find good values (settings) for them. In fact, a visit to a process plant will usually show that a large number of the PID controllers are poorly tuned. The tuning rules presented in this chapter have developed mainly as a result of teaching this material, where there are several objectives:

1. The tuning rules should be well motivated, and preferably model-based and analytically derived.
2. They should be simple and easy to memorize.
3. They should work well on a wide range of processes.

In this paper the simple two-step SIMC procedure [11] that satisfies these objectives is summarized:

- Step 1. Obtain a first- or second-order plus delay model.
 Step 2. Derive model-based controller settings. PI-settings result if we start from a first-order model, whereas PID-settings result from a second-order model.

The SIMC method is based on classical ideas presented earlier by Ziegler and Nichols [17], the IMC-PID-tuning paper by Rivera et al. [8], and the closely related direct synthesis tuning rules in the book by Smith and Corripio [13]. The Ziegler-Nichols settings result in a very good disturbance response for integrating processes but are otherwise known to result in rather aggressive settings [2, 15] and also to give poor performance for processes with a dominant delay. On the other hand, the analytically derived IMC-settings of Rivera et al. [8] are known to result in poor

S. Skogestad (✉) · C. Grimholt
 Department of Chemical Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway
 e-mail: skoge@ntnu.no

R. Vilanova, A. Visioli (eds.), *PID Control in the Third Millennium*,
 Advances in Industrial Control,
 DOI 10.1007/978-1-4471-2425-2_5, © Springer-Verlag London Limited 2012

147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

zta = VarName1;
u = VarName2;

Ts = 0.01;
t = Ts*[0:length(zta)-1];

ref = 30*ones(length(zta),1);
%%
linecolor = 'b';

```

```

figure(1)
plot(t,ref,'color',[0,0,0] + 0.5,'LineWidth',0.5);grid on
hold on;
plot(t,zta,'b');
xlabel('Time [sec]','FontSize',12,'Color','k');
ylabel('\theta [Deg]','FontSize',12,'Color','k');

```

```

figure(2)
plot(t,u,'color',[0,0,0] + 0.5,'LineWidth',0.5);grid on

xlabel('Time [sec]','FontSize',12,'Color','k');
ylabel('pwm [%]','FontSize',12,'Color','k');
% title('i_ref Vs i_{hat}')

```

```

Ts = 0.001;
z = [ ];

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

% เลือกมา 200 ตัวจาก 2480 ตัว , เลข1 คือมี 1 column

zta = (2/5)*(360/1000)*p;

% encoderหมุน360องศาหรือ1รอบจะได้500รอบแต่ในที่นี้ความละเอียดการอ่านจะได้1000รอบ

% 2/5 คือ gear ratio zta จะได้มุมเป็น degree

t = Ts*[0:length(p)-1];

% t = n*Ts เราต้องเปลี่ยนแกนpมาเป็นแกนt

% โดยนำn=[0:length(p)-1]หรือ(v0ector1หน่วย)มา*กับ Ts

pwm = pwm(1:215,1);

data1 = iddata(zta,pwm,Ts,'InputName','pwm','OutputName',{'zta'});

systemIdentification

plot(data1)

figure(1)

plot(t,Z)

figure(2)

plot(t,pwm(1:200,1))

systemIdentification

%Integral plus delay

Kp = 8.1225;

Tp1 = 1.4089;

Tz = 0.0083408;

G = Kp*tf([Tz 1],[Tp1 1 0]);

%% Parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
Tw = 0.72007;
Zeta = 0.62133;
Td = 0.3;
```

```
G_v2zta = tf(Kp,[Tw^2 2*Zeta*Tw 1]);
G_v2zta.OutputDelay = Td;
```

```
%%
```

```
K1 = 0.2*tf(1,[1 0]);
```

```
L1 = K1*G_v2zta;
```

```
bode(L1);grid on
```

```
DM_TS = diskmargin(G_v2zta,K1)
```

```
T1 = L1/(1 + L1);
```

```
step(T1,40);grid on
```

```
%%
```

```
% % rlocus(L1)
```

```
% % bode(L1);grid on
```

```
% % Lead control
```

```
Wc_lead = 0.009;
```

```
tao_lead = 1/Wc_lead;
```

```
alpha_lead = 0.8
```

```
K_lead = tf([tao_lead 1],[alpha_lead*tao_lead 1]);
```

```
L_lead = K_lead*K1*G_v2zta;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
T_lead = minreal( L_lead/(1 + L_lead) );
figure(1);
step(T_lead,'b');grid on
```

```
figure(2);
bode(L1,'k',L_lead,'b',K_lead,'g');grid on
```

```
DM_TS = diskmargin(G_v2zta,K_lead*K1)
% %%
% Wc_lag =10;
% tao_lag = 1/Wc_lag;
% alpha_lag = 10^(-1.78/20);
% K_lag = tf([alpha_lag*tao_lag 1],[tao_lag 1]);
%
% L_lag_lead = K_lag*K_lead*K1*G_v2zta;
%
% T = minreal( L_lag_lead/(1 + L_lag_lead) );
% figure(1);
% step(T,'b');grid on
%
% figure(2);
% bode(L1,'k',L_lead,'b',L_lag_lead,'b--',K_lead,'g',K_lag,'g--');grid on
%
%
%
K = K_lead*K1;
% DM_K = diskmargin(G_v2zta,K)
% %%
K_i = ss(K);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
Kd_i = c2d(K_i,Ts,'tustin');
```

```
Ad_i = round(Kd_i.A,8);
```

```
Bd_i = round(Kd_i.B,8);
```

```
Cd_i = round(Kd_i.C,8);
```

```
Dd_i = round(Kd_i.D,8);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ประวัติผู้เขียน



นางสาวธัญชนก ครขวาง เกิดวันที่ 18 เมษายน 2541
 ที่อยู่ 21 หมู่ 2 ต.โพนแพง อ.รัตนวาปี จ.หนองคาย 43120
 โทรศัพท์ : (+66)91 791 4999
 E-mail : Thanchanok.Khonkhwang@gmail.com
 การศึกษา :
 2560 – 2563 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2557 – 2560 โรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัย เลข



นางสาวบุษราคัม คัดทำ เกิดวันที่ 29 มกราคม 2542
 ที่อยู่ 113 หมู่ 9 ต.โคกภู อ.ภูพาน จ.สกลนคร 47180
 โทรศัพท์ : (+66)95 398 0557
 E-mail : Bussarakham.kt@gmail.com
 การศึกษา :
 2560 – 2563 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2557 – 2560 โรงเรียนอัสสัมชัญวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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