

การศึกษาการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ

Study of DC Motor Speed Control Based on PI Controller

นายชนะชัย

คณะวาปี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2562

การศึกษาการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ

Study of DC Motor Speed Control Based on PI Controller

นายชนะชัย ณะฉะวาปี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

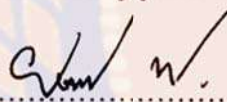
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2562

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



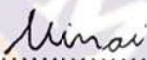
(ผศ.ดร.ยงยุทธ นารายณ์)

ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



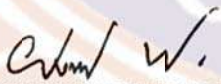
(ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์)

กรรมการ



(ดร.วินัย ศีลารวม)

กรรมการ



(ผศ.ดร.ยงยุทธ นารายณ์)



(ผศ.สรารัฐ วรรณันต์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อโครงการ	การศึกษาการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ		
หน่วยกิต	3 หน่วยกิต		
จัดทำโดย	นายชนะชัย	คณะวาปี	5504200017
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ขงยุทธ	นารายณ์	
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์		
พุทธศักราช	2561		

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษาควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ โดยทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอบนพื้นฐานการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการพุ่งเกินในระบบควบคุมวงรอบปิดที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่ออินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย ตัวควบคุมพีไอ วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกฟลักซ์ 1.1 kW, 220 V, 6.5 A, 3,000 rpm ตัววัดความเร็วรอบโดยใช้แสง วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน และวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล จากการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ และการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวิเคราะห์ระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และทำการทดสอบระบบที่นำเสนอ พบว่ากรณีที่ปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไ้น้อยมาก ผลตอบสนองจะไม่เกิดการพุ่งเกินแต่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว ส่วนกรณีปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอที่มีค่ามาก ๆ ผลตอบสนองจะเกิดการออสซิลเลต ซึ่งเมื่อเพิ่มตัวควบคุมพีไอเข้าไปในระบบจะทำให้มีเสถียรภาพที่ดีได้ผลใกล้เคียงกับค่าคาดการณ์ไว้

คำสำคัญ: มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง / ตัวควบคุมพีไอ / การควบคุมความเร็วรอบ

Project Title	Study of DC Motor Speed Control Based on PI Controller
Credit	3 Units
By	Mr. Chanashai Chanawapi 5504200017
Advisor	Asst. Prof. Dr. Yongyuth Naras
Degree	Bachelor of Engineering
Major	Electrical Engineering
Faculty of	Engineering
Year	2018

Abstract

This project presents of the study of DC motor speed control based on PI controller using minimum overshoot PI controller design. The designed method was based on adjusting the PI controller parameters to avoid an overshoot in the closed-loop system step response for controlling DC motors. The proposed system was composed of a series PI controller, AC to DC converter, a DC motor rated at 1.1 kW, 220 V, 6.5 A, 3000 rpm, optical tachometer, frequency to voltage converter (F/V) and analog to digital converter (A/D). a computer program was simulated for the designed parameters of PI controller and calculated all parameters of motor from a mathematic model. The experimental results were found that when the gain of the PI controller was decreased. It created a steady state error of the system. As the proportional gain factor K increases, the steady state error of the system decreases, but leads to overshooting and oscillation of the system response. Integral control eliminates the steady state error to agree with the predicted value.

Keywords : DC motor / PI Controller / Speed Control

Approved by


กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ แม้จะมีปัญหามากมายหลาย ๆ ด้านก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คุณสมบัติของมอเตอร์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แต่ปัญหาต่าง ๆ ก็สามารถบรรลุผลไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องจากผู้จัดทำได้รับได้รับการแนะนำ และอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.ขงยุทธ นารายณ์ และ ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ รวมทั้งคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความสะดวกในการทำงาน พร้อมทั้งให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดีซึ่งมีผลทำให้วิทยานิพนธ์นี้ จัดทำขึ้นเป็นไปอย่างมีลำดับขั้นตอนตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ตั้งไว้ทุกประการ ดังนั้นผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณบุคคลที่ได้กล่าวมาข้างต้น และบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวนามที่ให้การอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามต้องการ

นายชนะชัย คณะวาปี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	Error! Bookmark not defined.
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	ก
1.1 ที่มาของโครงการ	Error! Bookmark not defined.
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	Error! Bookmark not defined.
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	Error! Bookmark not defined.
2.1 ระบบควบคุม	Error! Bookmark not defined.
2.2 การหาผลตอบแทนของระบบ	Error! Bookmark not defined.
2.3 คุณสมบัติของตัวควบคุม	Error! Bookmark not defined.
2.4 การออกแบบตัวควบคุม	Error! Bookmark not defined.
2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น	Error! Bookmark not defined.
2.6 พารามิเตอร์ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น	Error! Bookmark not defined.
2.7 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น	Error! Bookmark not defined.
2.8 การวิเคราะห์ระบบมอเตอร์ไฟตรง	Error! Bookmark not defined.
2.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์	Error! Bookmark not defined.
2.10 การทดสอบระบบควบคุมจากผลตอบแทนของระบบ	Error! Bookmark not defined.
2.11 ระบบควบคุมแบบ Feed Forward	Error! Bookmark not defined.
2.12 SCR	Error! Bookmark not defined.
2.13 คุณลักษณะของ SCR และ การใช้งาน	Error! Bookmark not defined.

2.14 วัดความเร็วรอบมอเตอร์	Error! Bookmark not defined.
บทที่ 3 โครงงานที่นำเสนอ	Error! Bookmark not defined.
3.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของโครงงานที่นำเสนอ	Error! Bookmark not defined.
สารบัญ(ต่อ)	
3.2 ตัวควบคุม PI	Error! Bookmark not defined.
3.3 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์	Error! Bookmark not defined.
3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	Error! Bookmark not defined.
3.5 การออกแบบโครงสร้างของมอเตอร์โดยใช้วิธีการ Simulink	Error! Bookmark not defined.
3.6 วงจรแปลงความถี่	Error! Bookmark not defined.
บทที่ 4 การทดลองและผล	Error! Bookmark not defined.
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	Error! Bookmark not defined.
4.2 การทดสอบ	Error! Bookmark not defined.
4.3 ผลการทดสอบ	Error! Bookmark not defined.
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	Error! Bookmark not defined.
5.1 สรุปผลของโครงงาน	Error! Bookmark not defined.
5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงงาน	Error! Bookmark not defined.
5.3 วิธีแก้ไขและข้อเสนอแนะ	Error! Bookmark not defined.
บรรณานุกรม	Error! Bookmark not defined.
ประวัติผู้เขียน	๗

สารบัญรูป

รูปที่

รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.2 การต่อระบบควบคุมป้อนกลับเมื่อ $H(s) = 1$	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.3 ผลตอบสนองของระบบแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของตัวควบคุมแบบสัดส่วน	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.6 วงจรตัวควบคุมแบบสัดส่วน	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.7 วงจรตัวควบคุมแบบไอ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของตัวควบคุมแบบไอ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.9 ภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.10 วงจรแบบอนุพันธ์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.11 ก. ภาพบล็อกของแบบสัดส่วนร่วมกันแบบไอ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.12 วงจรแบบสัดส่วนร่วมกันแบบไอ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.13 ภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบอนุพันธ์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.14 วงจรแบบสัดส่วนร่วมกันแบบอนุพันธ์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมแบบสัดส่วนร่วมกับบูรณาการและอนุพันธ์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.16 วงจรตัวควบคุม พีไอดี (PID-Controller)	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบลูปิด (Transfer Function of PID)	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.18 ก. ผลการตอบสนองของแพลนจากการป้อนอินพุต ยูนิต สเต็ป	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.19 ก. กฎการปรับของ ซิงเกิล-นิโคล พื้นฐานบน Step Response ของ Plant (อันดับหนึ่ง)	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.21 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.22 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น	Error! Bookmark not defined.

รูปที่ 2.23 วงจรของมอเตอร์ไฟตรง (DC Motor Circuit)	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมของระบบมอเตอร์ไฟตรง	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.25 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.26 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นกับวงจร Chopper และวงจร PID (โดยค่า K คือค่าอัตราขยายวิกฤต)	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.27 ระบบงาน (Plant) ในโปรแกรม Simulink	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.28 รูปแบบการควบคุมแบบ Feed Forward	Error! Bookmark not defined.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 2.29 แบบจำลองสำหรับหาผลตอบสนองในระบบควบคุมแบบ Feed Forward	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.30 โครงสร้าง สัญลักษณ์และวงจรสมมูลย์ของ SCR	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.31 วงจรการทดสอบคุณลักษณะและกราฟคุณลักษณะของ SCR	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.32 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นใช้ SCR และรูปคลื่นอินพุตเอาต์พุตที่มุมจูดชนวน	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.33 วงจรเรียงกระแสแบบเต็ม คลื่นของ SCR ที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.34 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.35 วงจรเรียงกระแสเต็ม คลื่นแบบบริดจ์ใช้ SCR	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.36 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.37 TACHOMETER.	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 2.38 มาตรวัดรอบ (TACHO METER) RPM	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.1 โครงงานที่นำเสนอ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.2 ตัวควบคุมพีไอที่ใช้	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.3 วงจรตัวควบคุมแบบ P	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.4 ตัวควบคุมแบบ PI	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.5 วงจร AC/DC Rectifier แบบเฟสเดียวรูปคลื่น	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.6 ของวงจร ZOH	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.7 วงจรทดสอบความต้านทานอาร์ เมเจอร์	Error! Bookmark not defined.

รูปที่ 3.8 วงจรทดสอบหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.9 วงจรทดสอบหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของมอเตอร์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.10 Wave from Diagram ของการทดสอบแบบรันคาน์	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 3.11 การสร้างแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรม Simulink (P Control)	Error!
Bookmark not defined.	
รูปที่ 3.12 การสร้างแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรม Simulink (PI Control)	Error!
Bookmark not defined.	
รูปที่ 3.13 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.2 เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.3 ตัวควบคุมพีไอ	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.4 มอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.5 Electric Generator	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.6 สโคป	Error! Bookmark not defined.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4.7 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมการจำลองระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยพีไอ	Error! Bookmark not defined.
defined.	
รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมลูปเปิด	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.9 บล็อกไดอะแกรมกรณีฟีดแบ็กเดียว	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมกรณีฟีดแบ็กสอง	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมกรณีฟีดแบ็ก	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมของลูปปิด	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.13 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบตัวควบคุมพี	Error! Bookmark not defined.
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบตัวควบคุมพีไอ	Error! Bookmark not defined.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของระบบควบคุม	Error! Bookmark not defined.
ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์จากเอกสารข้อมูล	Error! Bookmark not defined.
ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์ ที่ใช้เทียบเคียง	Error! Bookmark not defined.
ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย	Error! Bookmark not defined.
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของบล็อกต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์ สามารถหาได้จากไลบรารี ซึ่งมีดังนี้	Error!
Bookmark not defined.	
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแบบรูปเปิด	Error! Bookmark not defined.
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบตัวควบคุมแบบพี	Error! Bookmark not defined.
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบตัวควบคุมแบบพีไอ	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ ระบบควบคุมแบบเปิด และระบบควบคุมแบบปิด โดยที่ระบบควบคุมแบบเปิดนั้น เอาต์พุตที่ได้จะไม่สามารถควบคุมได้ ส่วนระบบควบคุมแบบปิดนั้นเอาต์พุตที่ได้จะป้อนกลับมายังอินพุตหรือสัญญาณกระตุ้นเพื่อควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และให้ค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยที่สุดเท่าที่เป็นได้ ในการออกแบบระบบนั้น เริ่มด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จากนั้นออกแบบระบบโดยแบบจำลอง และนำไปทดสอบจริง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถควบคุมความเร็วได้ง่าย [1] ในตัวควบคุมที่นิยมใช้กันมากคือตัวควบคุมแบบสัดส่วน – ปริพันธ์ (Proportional – Integral ; PI) [2] ซึ่งถือว่าเป็นตัวควบคุมที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสม การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องเข้าใจให้ถ่องแท้

โครงการนี้จึงได้นำเสนอระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ โดยการวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบ แล้วใช้การจำลองแบบโดยโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์และนำไปทดสอบจริงโดยทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองการทำงานของระบบทั้งหมด

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมทั้งหมด
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบสนองของตัวควบคุมพีไอและผลตอบสนองของระบบ

1.2 ขอบเขตความสามารถของโครงการ

- 1.3.1 ใช้ตัวควบคุมพีไอที่เป็นระบบอนาล็อกต่อแบบผสมประกอบด้วย ออปแอมป์ ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ
- 1.3.2 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก พิกัด 1.1 kW, 3,000 rpm และแทกโคเจนเนอเรเตอร์ พิกัด 0.75 kW, 2,850 rpm

1.3.3 ใช้ตัววัดความเร็วรอบโดยใช้แสง วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ และวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน

1.3.4 โปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์จำลองการควบคุมแบบเปิดและระบบควบคุมแบบปิด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.4.1 เกิดความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ระบบควบคุม

1.4.2 สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบควบคุม

1.4.3 นำข้อดีของตัวควบคุมมาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์และระบบอื่นได้





บทที่ 2

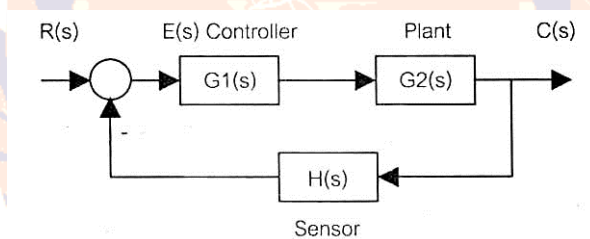
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ระบบควบคุม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น คุณสมบัติของ SCR และ การใช้งาน และการวัดความเร็วรอบมอเตอร์ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System) โดยทั่วไปจะมีการต่อระบบควบคุมดังแสดงตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. ชุดควบคุม (Controller) ใช้ $G_1(s)$ แทนสมการของระบบ
2. ระบบงาน (Plant) ใช้ $G_2(s)$ แทนสมการของระบบ
3. ชุดตรวจจับ (Sensor) ใช้ $H(s)$ แทนสมการของระบบ



รูปที่ 0.1 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

จากรูปที่ 2.1 เป็นการต่อระบบโดยนำชุดควบคุมมาต่อแบบอนุกรมกับระบบงาน โดยมีสัญญาณ $R(s)$ เป็นอินพุตของระบบ และมีสัญญาณ $C(s)$ เป็นเอาต์พุตของระบบ สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมเพื่อส่งสัญญาณไปทำการควบคุมระบบงาน และชุดตรวจจับจะรับสัญญาณเอาต์พุตจากระบบงานมาทำการปรับอัตราขยายเพื่อนำไปหักล้างกับสัญญาณอินพุต สำหรับควบคุมให้ระบบงานมีการทำงานได้อย่างต่อเนื่องและคงที่ต่อไป

การวิเคราะห์สมการเพื่อหาฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function) ระหว่างเอาต์พุตและอินพุตของระบบ สามารถหาได้ ดังนี้

จากบล็อกไดอะแกรม เมื่อนำบล็อก $G_1(s)$ มาต่ออนุกรมกับบล็อก $G_2(s)$ จะเป็นการนำค่าอัตราขยายของทั้งสองบล็อกคูณกัน เขียนสมการ ได้เป็น

$$G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s)$$

เมื่อนำสัญญาณเอาต์พุต $C(s)$ เทากับอัตราขยายของระบบ คูณด้วยอินพุต ดังนั้นจะได้

เมื่อ
จะได้

$$C(s) = G(s) \cdot E(s)$$

$$E(s) = R(s) - H(s) \cdot C(s)$$

$$C(s) = G(s) \cdot [R(s) - H(s) \cdot C(s)]$$

$$C(s) = G(s) \cdot R(s) - G(s) \cdot H(s) \cdot C(s)$$

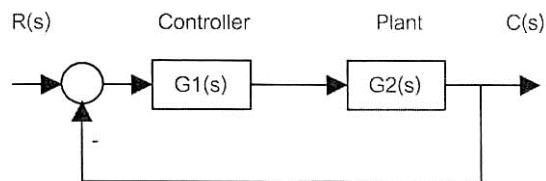
$$C(s) + G(s) \cdot H(s) \cdot C(s) = G(s) \cdot R(s)$$

$$C(s) [1 + G(s) \cdot H(s)] = G(s) \cdot R(s)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{[1 + G(s) \cdot H(s)]} \quad (2.1)$$

สมการที่ (2.1) เรียกว่า สมการฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function) ของระบบ ซึ่งเป็นการส่งผ่านสัญญาณจากอินพุตของระบบไปสู่เอาต์พุตของระบบ เมื่อทำการกำหนดให้ชุดตรวจจับ $H(s)$ มีค่าอัตราขยายเป็น 1 (Unity Feedback) จากผังไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 สามารถเขียนใหม่ ได้ดังรูปที่ 2.2 และสามารถเขียนสมการฟังก์ชันโอนย้ายได้ใหม่ ดังสมการที่ (2.2)

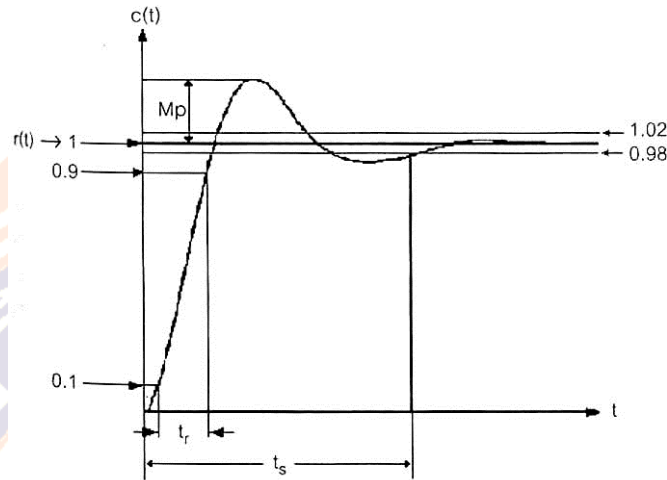
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{G_1(s) \cdot G_2(s)}{[1 + G_1(s) \cdot G_2(s)]} \quad (2.2)$$



รูปที่ 0.2 การต่อระบบควบคุมป้อนกลับเมื่อ $H(s) = 1$

2.2 การหาผลตอบสนองของระบบ

ในระบบควบคุมทั่วไป สามารถหาผลตอบสนองของระบบได้โดยป้อนสัญญาณอินพุต $r(t)$ ที่เป็นสัญญาณแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (Unit Step Function) และพิจารณาผลของสัญญาณเอาต์พุต $c(t)$ ที่ได้ ซึ่งลักษณะทั่วไปของผลตอบสนองของระบบ (Unit Step Response) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 0.3 ผลตอบสนองของระบบแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

การพิจารณาถึงคุณสมบัติของผลตอบสนอง สามารถพิจารณาได้จากช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งค่าของช่วงเวลาต่าง ๆ ที่นิยมนำไปออกแบบหรือนำไปพิจารณาถึงคุณภาพของระบบ มีดังนี้

1. Rise Time (t_r) คือ ช่วงเวลาที่ระบบทำงานในช่วงเริ่มต้น โดยคิดที่ช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ถึง 90 % (0.1 – 0.9 V) ถ้า Rise Time มีค่าน้อยจะแสดงว่าระบบทำงานได้เร็วในช่วงแรก

2. Setting Time (t_s) คือ ช่วงเวลาก่อนที่สัญญาณจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ปกติจะวัดจากระดับ $\pm 2\%$ ถึง $\pm 5\%$ ของค่า Steady State จากรูปที่ 2.3 เมื่อค่า Steady State มีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุตคือ 1 ดังนั้นเมื่อทำการวัดที่ระดับ $\pm 2\%$ จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตอยู่ที่ระดับ 0.98 – 1.02 V ถ้าค่า Setting Time มีค่าน้อย แสดงว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะทำงานคงที่เร็วขึ้น

3. Steady State Error (e_{ss}) เป็นค่าความผิดพลาดจากผลต่างระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุต ซึ่งสามารถคำนวณได้โดย

$$e_{ss} = r(t) - c(t) \quad (2.3)$$

เมื่อ $r(t)$ คือ แรงดันอินพุต
 $c(t)$ คือ แรงดันเอาต์พุต

4. Maximum Overshoot (Mp) เป็นค่าของผลตอบสนองที่แกว่งขึ้นสูงกว่าระดับอินพุตในช่วงเริ่มทำงาน ถ้าค่า Mp มีค่ามาก จะทำให้ระบบทำงานแกว่งหรือกระเพื่อม และจะส่งผลให้ช่วงเวลา Setting Time นานขึ้น แต่ค่า Mp ที่มีค่ามาก ก็จะส่งผลดี คือ จะทำให้ระดับของ Steady State Error ลดลงได้

2.3 คุณสมบัติของตัวควบคุม

ระบบควบคุมโดยทั่วไป สามารถแบ่งคุณสมบัติของระบบได้เป็น 4 แบบ สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

1. ระบบควบคุมแบบ P (P Controller) จะมีคุณสมบัติลดค่า Rise Time (t_r) ทำให้ระบบทำงานเร็วขึ้น ในช่วงแรกเพิ่ม Over Shoot (Mp) ทำให้ระบบแกว่งในช่วงเริ่มต้น แต่ส่งผลให้ค่า Steady State Error ลดลง

2. ระบบควบคุมแบบ PD (PD Controller) จะมีคุณสมบัติลด Over Shoot (Mp) ทำให้ระบบมีการแกว่งน้อยลงในช่วงเริ่มต้นลด Setting Time (t_s) ทำให้ระบบทำงานถึงจุดคงที่ (Steady State) เร็วขึ้น

3. ระบบควบคุมแบบ PI (PI Controller) จะมีคุณสมบัติลดค่า Rise Time (t_r) ทำให้ระบบทำงานเร็วขึ้นในช่วงแรกกำจัดค่า Steady State Error (e_{ss}) เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตเทียบเท่ากับค่าอินพุต

4. ระบบควบคุมแบบ PID (PID Controller) เป็นการนำคุณสมบัติของระบบควบคุมทั้ง 3 แบบ คือ P, PD และ PI มารวมกัน โดยสามารถกำหนดค่าอัตราขยายทั้ง 3 แบบ คือ P, I และ D ได้อย่างอิสระ ทำให้สามารถออกแบบระบบควบคุมให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ โดยทำการปรับค่าอัตราขยายทั้ง 3 แบบ และนำมาพิจารณาผลตอบสนองที่ได้ เมื่อปรับค่าอัตราขยายจนได้ผลตอบสนองตามต้องการแล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปติดตั้งหรือออกแบบเป็นวงจรให้งานต่อไป

ตารางที่ 0.1 คุณสมบัติของระบบควบคุม

ระบบควบคุม	Rise Time (t_r)	Maximum Overshoot (Mp)	Setting Time (t_s)	Steady State Error (e_{ss})
แบบ P	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงน้อย	ลด
แบบ I	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	กำจัด
แบบ D	เปลี่ยนแปลงน้อย	ลด	ลด	เปลี่ยนแปลงน้อย

เขียนฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function: $T(s)$) ของระบบควบคุมแบบ PID ได้ดังนี้

$$T(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \quad (2.4)$$

เมื่อ	K_p	ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P
	K_I	ค่าคงที่ทางเวลาในการอินทิเกรตสัญญาณของตัวควบคุมแบบ I
	K_D	ค่าคงที่ทางเวลาในการดิฟเฟอเรนเชียล สัญญาณของตัวควบคุมแบบ D

2.4 การออกแบบตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นตัวควบคุมอัตโนมัติที่มีหน้าที่นำสัญญาณจากทางออก(Output) ของระบบมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณทางเข้า(Input) ของระบบ ผลของการเปรียบเทียบที่ได้จะมีค่าเบี่ยงเบนหรือค่าผิดพลาด (Error) หลังจากนั้นตัวควบคุมอัตโนมัติก็จะนำเอาสัญญาณผิดพลาดนี้ไปสร้างสัญญาณใหม่ที่เหมาะสมเพื่อควบคุมระบบให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการนั้น ย่อมหมายถึงค่าผิดพลาดของสัญญาณได้ลดลงจนเป็นศูนย์หรือน้อยที่สุดแล้วนั่นเอง ซึ่งสามารถแบ่งตัวควบคุมอัตโนมัติได้ตามชนิดของสัญญาณดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P-Controller)
2. ตัวควบคุมแบบบูรณาการ (I- Controller)
3. ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (D - Controller)
4. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกันแบบบูรณาการ (PI-Controller)
5. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกันแบบอนุพันธ์ (PD-Controller)
6. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกันแบบบูรณาการอนุพันธ์ (PID-Controller)

2.4.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P-Controller)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P-Controller) นี้เป็นตัวควบคุมที่ไม่มีการหน่วงระหว่างสัญญาณทางเข้า กับสัญญาณทางออก แต่สัญญาณทางออกจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณทางเข้า อัตราขยายเป็นพารามิเตอร์ที่ทำให้ขนาดของสัญญาณทางเข้าและสัญญาณทางออกเกิดความแตกต่างกันสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$v_{out}(t) = K_p v_{in}(t) \quad (2.5)$$

เมื่อ

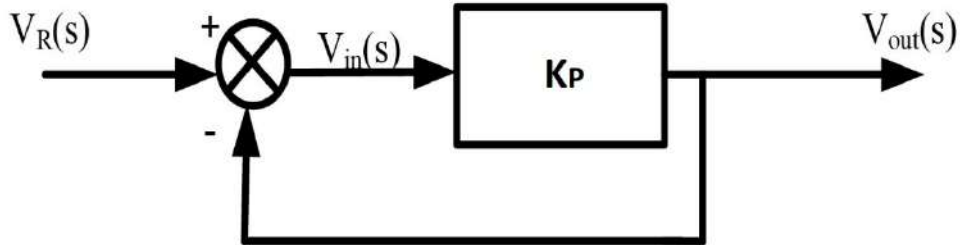
$v_{out}(t)$ คือสัญญาณทางออกของตัวควบคุม

$v_{in}(t)$ คือสัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้นหรือสัญญาณทางเข้า

K_p คือความไวของสัดส่วนหรืออัตราการขยาย

เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ได้

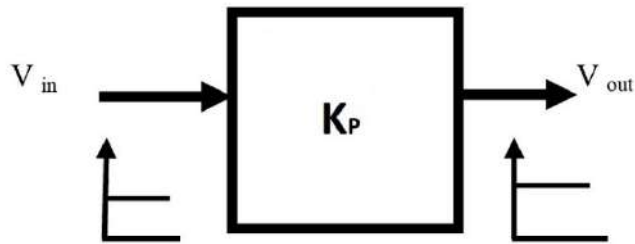
$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = K_P \quad (2.6)$$



รูปที่ 0.4 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

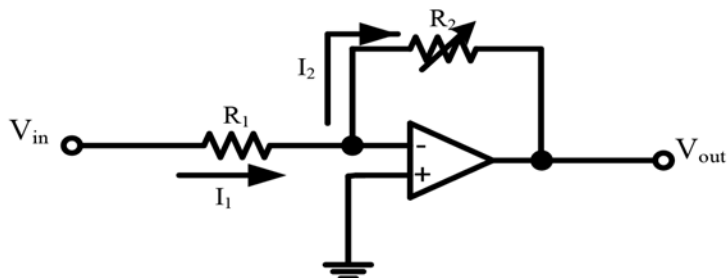
เมื่อ $V_R(s)$ เป็นสัญญาณอ้างอิง

หรือเขียนแสดงในภาพของผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได (Step Response)



รูปที่ 0.5 ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

สร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบสัดส่วนดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 0.6 วงจรตัวควบคุมแบบสัดส่วน

จากภาพสามารถปรับ K_p ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนได้โดยการปรับที่ตัวต้านทาน R_1 และหรือ R_2 ก็ได้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนนี้ ได้สัญญาณทางออกเป็นสัดส่วนกับสัญญาณทางเข้า และตอบสนองได้เร็ว นั่นคือไม่มีการหน่วงเวลานั่นเอง

2.4.2 ตัวควบคุมแบบไอ (I- Controller)

ตัวควบคุมแบบบูรณาการ เป็นตัวควบคุมที่ให้สัญญาณทางออกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณผิดพลาด หรือสัญญาณทางเข้าซึ่งสัญญาณทางออกที่ออกจากตัวควบคุมก็คือพื้นที่ของสัญญาณผิดพลาดหรือสัญญาณทางเข้านั่นเอง เขียนสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{out}(t) &= K_I \int v_{in}(t) dt \\ v_{out}(t) &= \frac{1}{T_I} \int v_{in}(t) dt \end{aligned} \quad (2.7)$$

เมื่อ K_I และ T_I เป็นอัตราขยาย และค่าคงตัวทางเวลาของการควบคุมแบบไอตามลำดับ จากสมการ (2.7) เขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้

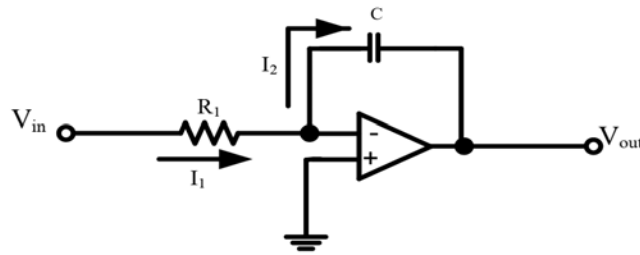
$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{K_I}{s} = \frac{1}{T_I s} \quad (2.8)$$

วงจรที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบไอ แสดงดังรูปที่ 2.7 ประกอบด้วยออปแอมป์ ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ได้ความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตดังสมการที่ (2.9)

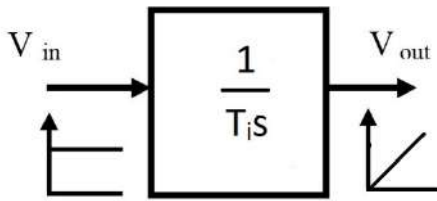
$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{R_1 C s} \quad (2.9)$$

เมื่อ $T_I = R_1 C$

เขียนแทนด้วยบล็อกและตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 0.7 วงจรตัวควบคุมแบบโอ



รูปที่ 0.8 ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของตัวควบคุมแบบโอ

การควบคุมแบบโอนี้ จะทำให้ระบบมีความแม่นยำซึ่งก็หมายถึงสัญญาณทางออกที่ออกจากตัวควบคุม จะติดตามสัญญาณทางเข้าได้ตลอดเวลา

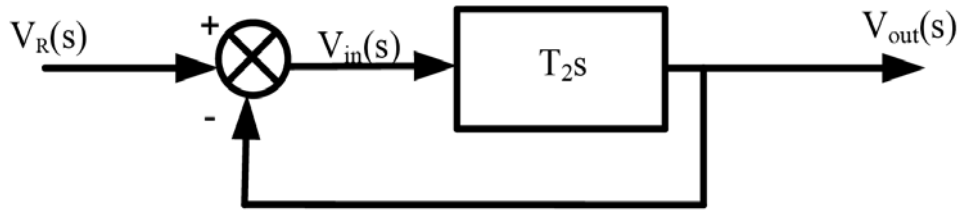
2.4.3 การกระทำแบบดี (D - Action)

การกระทำแบบดีจะเป็นตัวควบคุมที่ให้สัญญาณทางออกเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

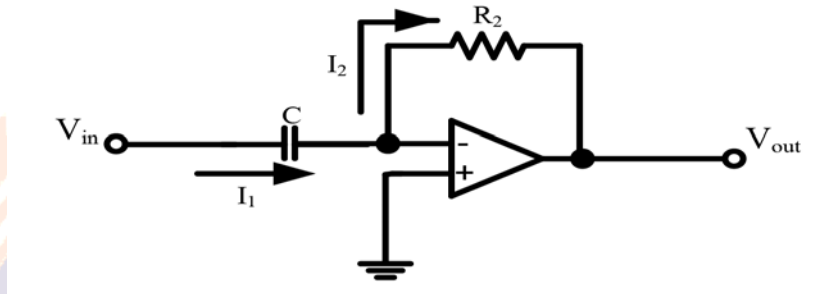
$$V_{out}(t) = T_2 \frac{d}{dt} V_{in}(t) \quad (2.10)$$

เมื่อ T_2 คือ Derivative time จากสมการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้

$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = T_2 s \quad (2.11)$$



รูปที่ 0.9 ภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์



รูปที่ 0.10 วงจรแบบอนุพันธ์

2.4.4 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกันแบบไอ (PI-Controller)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการนี้เป็นการนำเอาคุณสมบัติของตัวควบคุมทั้งสองมารวมกัน ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมชนิดนี้คือ

$$V_{out}(t) = G_p \cdot (V_{in}(t) + \frac{1}{T_i} \int V_{in} dt)$$

แปลงลาปลาซ

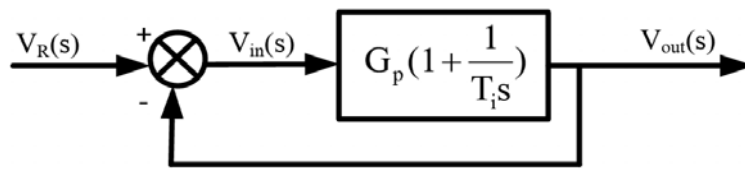
$$V_{out}(s) = G_p \cdot (V_{in}(s) + \frac{1}{T_i s} V_{in}(s))$$

$$= G_p \cdot (1 + \frac{1}{T_i G_p}) V_{in}(s)$$

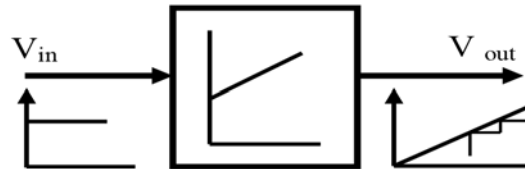
$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = G_p (1 + \frac{1}{T_i s}) \quad (2.12)$$

เมื่อให้ $T_i = T_i G_p$

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอน จะพบว่าค่าของ G_p และ T_i สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ หน่วยการปรับค่า T_i จะมีผลต่อตัวควบคุมแบบไอแต่ถ้าปรับความไวของสัดส่วน G_p จะมีผลทั้งหมด สามารถนำฟังก์ชันถ่ายโอนตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบบูรณาการแสดงดังรูปที่ 2.11 และวงจรแสดงดังรูปที่ 2.12



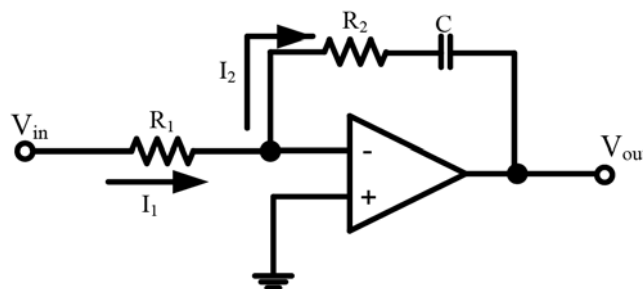
(ก)



(ข)

รูปที่ 0.11 ก. ภาพบล็อกของแบบสัดส่วนร่วมกันแบบไอ

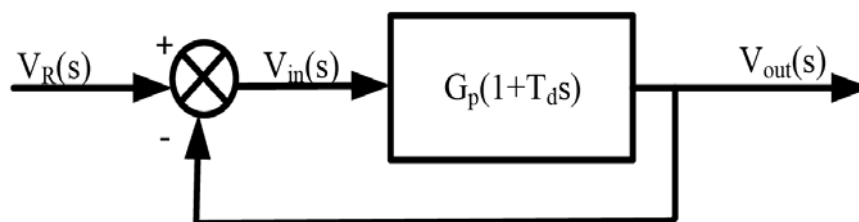
ข. ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกันแบบไอ



รูปที่ 0.12 วงจรแบบสัดส่วนร่วมกันแบบไอ

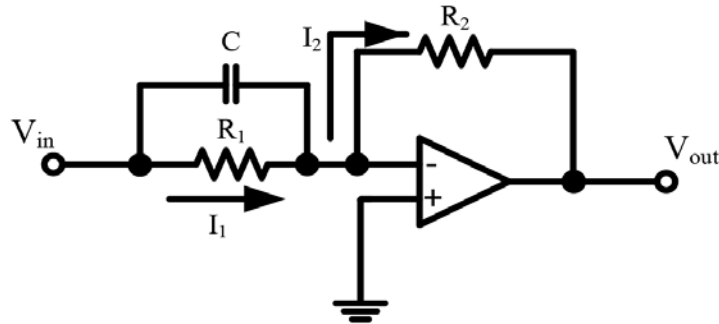
2.4.5 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกันแบบอนุพันธ์ (PD-Controller)

ตัวควบคุมแบบนี้เป็นการนำเอาคุณสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วนกับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ มารวมกันดังนั้นสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมชนิดนี้คือ



รูปที่ 0.13 ภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบอนุพันธ์

ในการควบคุมแบบนี้บางครั้งเรียกว่า Proportional Rate Controller เมื่อพิจารณารูปที่ 2.13 สามารถสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาทำหน้าที่ได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 0.14 วงจรแบบสัดส่วนรวมกันแบบอนุพันธ์

2.4.6 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนรวมกันแบบบูรณาการและอนุพันธ์ (PID-Controller)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนรวมกันแบบบูรณาการและอนุพันธ์นี้เป็นการรวมเอาคุณสมบัติของตัวควบคุมทั้งสามแบบมารวมกันดังนั้นสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมชนิดนี้ก็คือ

$$V_{out}(t) = G_p \cdot V_{in}(t) + \frac{1}{T_i} \int V_{in}(t) dt + T_d \frac{d}{dt} V_{in}(t) \quad (2.13)$$

เปลี่ยนเป็นสมการ Laplace's Transforms ได้ดังนี้

$$V_{out}(s) = G_p V_{in}(s) + \frac{1}{T_i(s)} V_{in}(s) + T_d s V_{in}(s) \quad (2.14)$$

$$V_{out}(s) = G_p V_{in}(s) \left(1 + \frac{1}{T_i s G_p} + \frac{T_d s}{G_p} \right)$$

$$\text{เมื่อให้ } T_d = \frac{T_i}{G_p}$$

เขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้

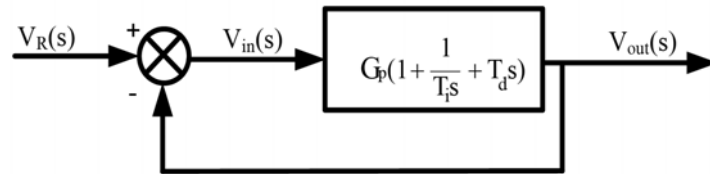
$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} \quad (2.15)$$

$$= G_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.16)$$

เมื่อ G_p = Proportional Gain

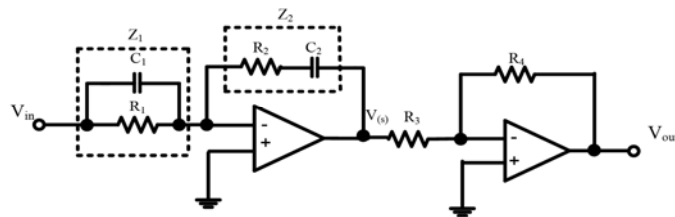
T_i = Integral Time

T_d = Derivative Time



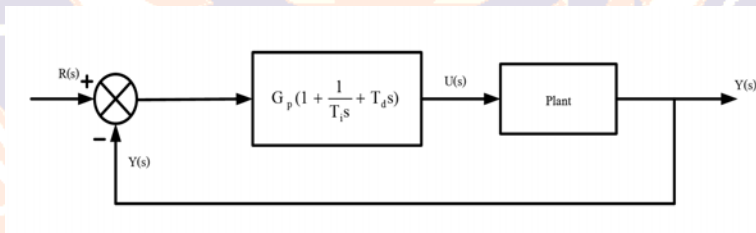
รูปที่ 0.15 บล็อกไดอะแกรมแบบสัดส่วนร่วมกับบูรณาการและอนุพันธ์

เมื่อพิจารณาจากภาพ สามารถสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาทำหน้าที่ได้ดังนี้



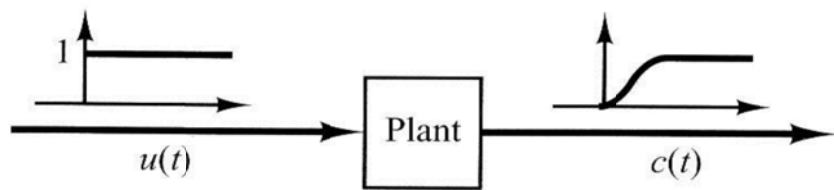
รูปที่ 0.16 วงจรตัวควบคุม พีไอดี (PID-Controller)

2.4.7 การออกแบบค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม PID โดยใน Ziegler – Nichols Tuning Rule

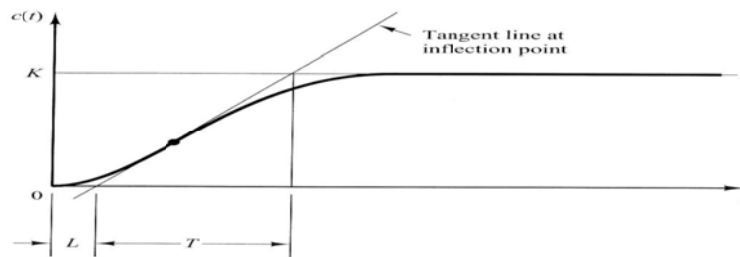


รูปที่ 0.17 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบลูปปิด (Transfer Function of PID)

จากรูปที่ 2.17 เป็นการแสดงลูปปิดของระบบ (Plant) ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID เพื่อจะนำไปหาค่า T และ L



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 0.18 ก.ผลการตอบสนองของแพลนจากการป้อนอินพุต ยูนิต สเต็ป

ข.กราฟการตอบสนองรูปเอส.และช่วงเวลาค่า T และ L

จากรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นการหาค่า T และ L จากการตอบสนอง Open loop ของระบบ และนำค่า T และ L ไปหาค่า K_p , T_i , T_d

Ziegler–Nichols Tuning Rule Based on Step Response of Plant (First Method)

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

(ก)

Type of Controller	K_p	K_i	K_d
P	$0.50K_{cr}$	-	-
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1.2K_{cr}}{P_{cr}}$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$\frac{2K_{cr}}{P_{cr}}$	$\frac{K_{cr}P_{cr}}{8}$

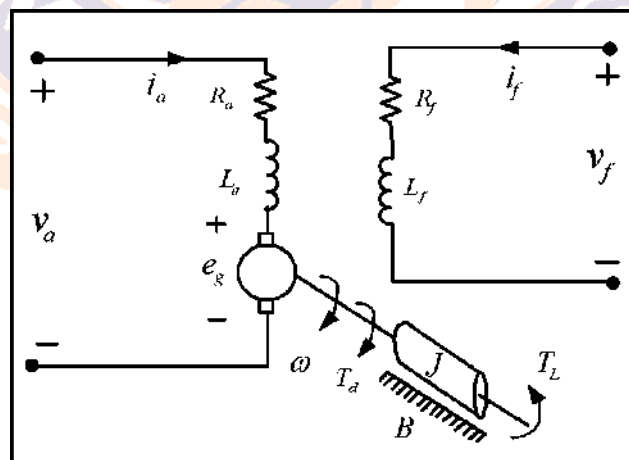
(๗)

รูปที่ 0.19 ก. กฎการปรับของ ซิงเกิล-นิโคล พื้นฐานบน Step Response ของ Plant (อันดับหนึ่ง)

ข. แสดงการหาค่า K_p , K_i , K_d จากวิธี ซิงเกิล-นิโคล แบบที่ 2

2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น สามารถหาได้จากสมการพื้นฐานของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น (Chapman, 1999) โดยจะ พิจารณาจากวงจรสมมูลของมอเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรอาร์เมเจอร์ (armature circuit) และ วงจรสนาม (field circuit) ที่แยกอิสระจากกันดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 0.20 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.20 อธิบายความหมายของพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ในวงจรสมมูลได้ดังนี้

V_a คือ แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ ทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ (V)

V_f คือ แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ทางด้านวงจรสนาม (V)

i_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (A)

i_f คือ กระแสสนาม (A)

L_a คือ ความเหนี่ยวนำทางด้านอาร์เมเจอร์ (H)

L_f คือ ความเหนี่ยวนำทางด้านสนาม (H)

R_a คือ ความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Ω)

R_f คือ ความต้านทานสนาม (Ω)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ ($kg \cdot m^2$)

B คือ ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด ($N \cdot m \cdot s / rad$)

e_g คือ แรงดันย้อนกลับ (V)

T_l คือ แรงบิดของโหลด ($N \cdot m$)

T_d คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น ($N \cdot m$)

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ในรูปที่ 2.20 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ได้ดังสมการที่ (2.17)

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_g \quad (2.17)$$

พิจารณากรณีกระแสสนามมีค่าคงที่ และเมื่อ $e_g = k_e \omega$ ดังนั้น สมการของแรงดันทางด้าน วงจรอาร์เมเจอร์ จะได้ดังสมการที่ (2.18) เมื่อ k_e คือ ค่าคงที่ของแรงดันย้อนกลับ และเมื่อพิจารณาสมการการหมุนของมอเตอร์ จะได้ ดังสมการที่ (2.19)

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + k_e \omega \quad (2.18)$$

$$T_d = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_l \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.19) เมื่อกระแสสนามมีค่าคงที่ ดังนั้น เมื่อแทนค่า ในสมการที่ (2.19) จะได้ดังสมการที่ (2.20) ดังนี้

$$k_t i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (2.20)$$

เมื่อ k_t คือค่าคงที่ของแรงบิดและโดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดให้ $k^e = k_t = k(N \cdot m / A)$

จากสมการที่ (2.17) และ (2.18) เมื่อจัดรูปสมการใหม่และเขียนให้อยู่ในรูปของสมการสถานะ (state equation) จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_a}{L_a} & \frac{-k}{L_a} \\ \frac{k}{J} & \frac{-B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ T_L \end{bmatrix}$$

2.6 พารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

การคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบค่าพารามิเตอร์ ของมอเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าว และเนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตให้ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์มาแค่บางค่าเท่านั้นด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาค่าพารามิเตอร์ ตามแนวทางดังต่อไปนี้

การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทางดังนี้

แนวทางที่ 1 การหาค่าพารามิเตอร์ จากเอกสารข้อมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น ที่ใช้ในการวิจัยมีลักษณะตามรูปที่ 2.21 ซึ่งทางผู้ผลิตจะมีเอกสารข้อมูลของมอเตอร์ แนบมาด้วย แสดงได้ตามตารางที่ 2.2



รูปที่ 0.21 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 0.2 ค่าพารามิเตอร์จากเอกสารข้อมูล

พารามิเตอร์	ขนาด	หน่วย
พิกัดความเร็ว	3000	rpm
แรงดันอาร์เมเจอร์ (v_a)	220	V
กระแสอาร์เมเจอร์ (i_a)	6.5	A

แนวทางที่ 2 การหาค่าพารามิเตอร์จากการวัดค่า

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเอกสารข้อมูลไม่เพียงพอจึงต้องหาค่าพารามิเตอร์จากการวัดค่าและหาค่าเฉลี่ย โดยใช้อุปกรณ์ทางการวัดคือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และ RLC มิเตอร์ซึ่งได้ทำการวัดจากมอเตอร์ในรูปที่ 2.21 และทำการวัดค่าจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

แนวทางที่ 3 การหาค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณ

การหาค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณจะใช้วิธีการเทียบเคียงทั้งนี้ เนื่องจากพารามิเตอร์บางตัวมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณ ยกตัวอย่างเช่น การหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J) จำเป็นต้องทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ และน้ำหนักของโรเตอร์ ในการคำนวณซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถถอดตัวโรเตอร์ออกมาวัด และชั่งน้ำหนักได้เนื่องจากไม่มีความชำนาญในการประกอบตัวมอเตอร์ ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ เกิดความเสียหายได้ เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าว จึงได้ใช้การคำนวณโดยการเทียบเคียงกับมอเตอร์อีกฟักหนึ่ง ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดเดียวกัน และมีลักษณะการใช้งานเหมือนกัน แต่มี

พิกัดมากกว่าใช้เป็นตัวแทนเทียบเคียง(Kuhn, Komperda and Leuschke, 2010) ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ ตามตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 0.3 พารามิเตอร์ ที่ใช้เทียบเคียง

พารามิเตอร์	หน่วย
แรงดันอาร์เมเจอร์ (v_a)	V
แรงดันสนาม (v_f)	V
ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ (R_a)	Ω
ค่าความต้านทานของวงจรสนาม (R_f)	Ω
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ (L_a)	mH
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรสนาม (L_f)	H
ค่าคงที่ของมอเตอร์ (k)	$N \cdot n / A$
ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B)	$N \cdot m \cdot s / rad$
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J)	$kg \cdot m^2$

การคำนวณค่าพารามิเตอร์โดยการเทียบเคียง จะคำนวณเทียบเคียงจากค่าพิกัด กำลังงานของมอเตอร์ทั้งสองซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการหาด้วยวิธีนี้ คือ ค่าคงที่ของมอเตอร์ (k) ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B) และค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J) สามารถแสดงการคำนวณค่า พารามิเตอร์ได้ดังนี้

เมื่อ k_u เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

k_c เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ ที่ใช้เทียบเคียง

P_u เป็นพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

P_c เป็นพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง

B_u ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืดที่ใช้ในงานวิจัย

B_c เป็นค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืดที่ใช้เทียบเคียง

J_u เป็นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

J_c เป็นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง

การคำนวณค่าคงที่ของมอเตอร์

การคำนวณค่า k สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.21)

$$k_u = \frac{P_u}{P_c} \times k_c \quad (2.21)$$

การคำนวณหาค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B)

การคำนวณหาค่า B สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.22)

$$B_u = \frac{P_u}{P_c} \times B_c \quad (2.22)$$

การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J)

การคำนวณหาค่า J สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.23)

$$J_u = \frac{P_u}{P_c} \times J_c \quad (2.23)$$

จากการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยทั้งการหาค่าจากเอกสารข้อมูล การวัดค่า และการคำนวณเทียบเคียงสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 0.4 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์	ขนาด	หน่วย
พิกัดความเร็ว	3000	rpm
แรงดันอาร์เมเจอร์ (V_a)	220	V
กระแสอาร์เมเจอร์ (i_a)	6.5	A
ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ (R_a)	3.10	Ω
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ (L_a)	7.897×10^{-4}	mH

2.7 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

การออกแบบตัวควบคุมฟีดแบ็ค จำเป็นต้องทราบบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่พิจารณา เพื่อนำไปสู่การหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งการหาบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง (Rashid, 2004) จะพิจารณาจากสมการทางไฟฟ้าและสมการทางกลของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงจากสมการที่ (2.18) และ (2.20) โดยทำการแปลงสมการที่ (2.18) และ (2.20) ให้อยู่ในรูป

โดเมนเอสโดยใช้การแปลงลาปลาซ พร้อมทั้งพิจารณาค่าเริ่มต้นต่าง ๆ เป็นศูนย์แสดงได้ตามสมการที่ (2.24) และ (2.25) ดังนี้

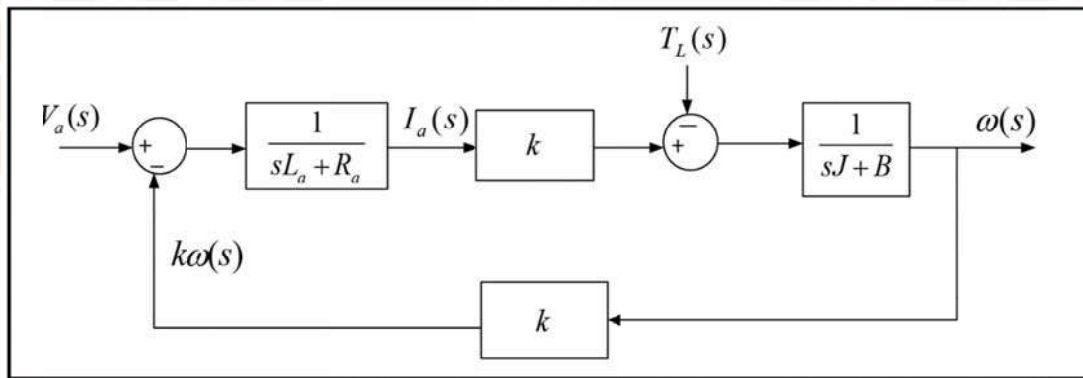
$$v_a(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + k\omega(s) \quad (2.24)$$

$$kI_a(s) = sJ\omega(s) + B\omega(s) + T_L(s) \quad (2.25)$$

จากสมการที่ (2.24) และ (2.25) เมื่อนามาสจัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปสมการของกระแสอาร์เมเจอร์ และความเร็วเชิงมุมจะได้ดังสมการที่ (2.26) ดังนี้

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - k\omega(s)}{sL_a + R_a} \quad (2.26)$$

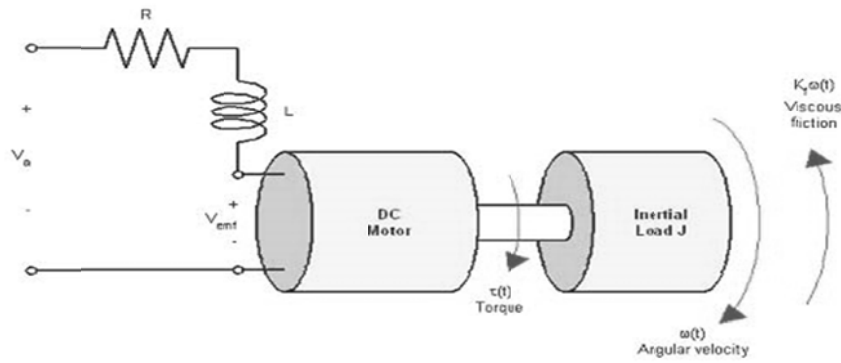
จากความสัมพันธ์ของสมการทางไฟฟ้าในสมการที่ (2.26) สามารถนามาสจัดรูปแบบความสัมพันธ์ของแรงดันอาร์เมเจอร์และความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ตามแผนภาพบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 0.22 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

2.8 การวิเคราะห์ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าตรง

มอเตอร์ไฟฟ้าตรง (DC Motor) สามารถเขียนเป็นวงจรที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างทั้งทางด้านไฟฟ้าและทางกล ดังรูปที่ 2.23 โดยสามารถแยกโครงสร้างได้ตามสัญลักษณ์ ดังนี้



รูปที่ 0.23 วงจรของมอเตอร์ไฟตรง (DC Motor Circuit)

สมการทางไฟฟ้า (Electric Equation)

$$V_a = Ri + L \frac{di}{dt} + V_{emf} \quad (2.27)$$

สมการทางเครื่องจักรกล (Machine Equation)

$$V_{emf} = K_b \omega \quad (2.28)$$

$$T = K_m i \quad (2.29)$$

สมการทางกล (Mechanical Equation)

$$T = T_d + J \frac{d\omega}{dt} + K_f \omega \quad (2.30)$$

เมื่อ	V_a	= armature voltage
	R	= winding resistance
	L	= winding inductance
	T	= Induced Torque
	T_d	= Load Torque
	i	= armature current
	J	= Moment of Inertia
	K_b	= Back emf constant
	K_m	= Torque constant
	K_f	= mechanical damper
	V_{emf}	= emf voltage

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (2.27) ถึง (2.30) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

จาก (2.27) $V_a(s) - V_{emf}(s) = (Ls + R)I(s)$

จะได้ $I(s) = \frac{V_a(s) - V_{emf}(s)}{(Ls + R)}$ (2.31)

จาก (2.29) $T(s) = K_m \times I(s)$ (2.32)

แทน (2.31) ใน (2.32) จะได้

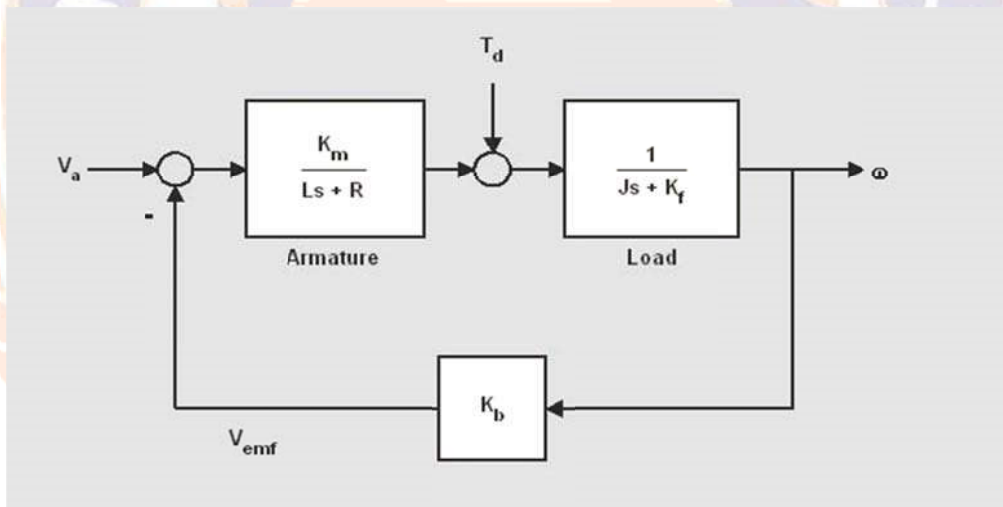
$T(s) = K_m \times \frac{V_a(s) - V_{emf}(s)}{(Ls + R)}$ (2.33)

จาก (2.30) $T(s) = T_d(s) + (Js + K_f)\omega(s)$

จะได้ $\omega(s) = \frac{T(s) - T_d(s)}{(Js + K_f)}$ (2.34)

จาก (2.28) $V_{emf}(s) = K_b \times \omega(s)$ (2.35)

สามารถแทนระบบในรูปของฟังก์ชันโอนย้าย ได้ดังรูปที่ 2.24



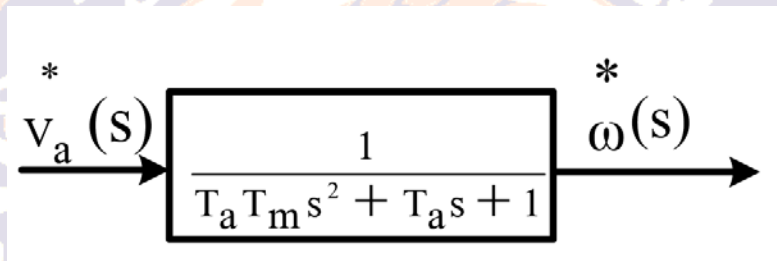
รูปที่ 0.24 ไคอะแกรมของระบบมอเตอร์ไฟฟ้าตรง

2.8.1 สมการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด

$$T(s) = \frac{1}{(T_a s + 1)(T_m s)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{(T_a s + 1)(T_m s)}}$$

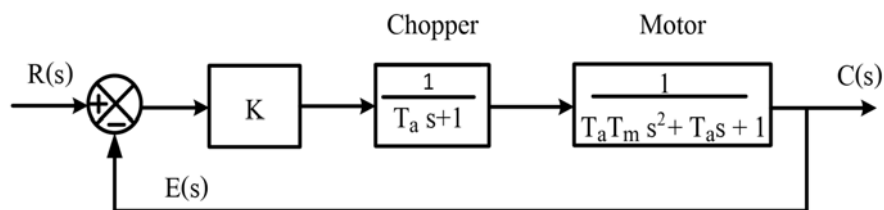
$$T(s) = \frac{1}{T_a T_m s^2 + T_a s + 1}$$

จากสมการ (2.34) บล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิดได้ดังภาพที่ 2.8



รูปที่ 0.25 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด

นำบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิดรวมกับบล็อกวงจร Chopper กับค่าอัตราขยาย จากตัวควบคุม PID ในที่นี้ กำหนดเป็นค่า K ดังภาพที่ 2.9



รูปที่ 0.26 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นกับวงจร Chopper และวงจร PID (โดยค่า K คือค่าอัตราขยายวิกฤต)

2.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ระบบโดยโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์สามารถสรุปวิธีการเขียนใช้งาน ได้ดังนี้

1. เปิดโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์และเข้าโปรแกรมโดยกดปุ่ม Simulink (ปุ่มด้านซ้ายของเครื่องหมาย ? หรือเลือกจากเมนู) จะแสดงหน้าต่าง Simulink Library Browser ให้บนจอ
2. เปิดไฟล์เพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ โดย File / New เลือก Model จะแสดงหน้าต่างสำหรับเขียนโมเดลมาให้ และให้ทำการเลื่อนหน้าต่างไปทางขวาอยู่คู่กับหน้าต่างของ Simulink Library Browser เพื่อความสะดวกในการวาดรูป
3. ทำการวาดผังไออะแกรมที่ต้องการ โดยเลือก Block จาก Library ต่าง ๆ เมื่อพบแล้วให้กดเมาส์ที่รูปแล้วลากมายังหน้าต่างที่จะทำการวาด หลังจากนั้นให้ทำการลากเส้นเชื่อมต่อระบบให้ครบ
4. ให้กำหนดชื่อบล็อกตามรูป และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทุกบล็อก โดยดับเบิลคลิกที่บล็อก และกำหนดค่าให้ตรงตามที่ต้องการ
5. คูณผลลัพธ์เอาต์พุตได้ โดยสั่งที่เมนู Simulation / Start แล้วทำการดับเบิลคลิกที่บล็อกเอาต์พุตคือ Scope หลังจากนั้นให้กดปุ่ม Auto scale หรือปุ่มรูปกล้องส่องทางไกล เพื่อปรับภาพให้เหมาะสม และสามารถทำการปรับค่าสเกลในแนวนอน เพื่อดูรูปสัญญาณให้ชัดเจนยิ่งขึ้นได้ โดยกดที่ปุ่ม Parameters และให้กำหนดค่าช่วงเวลาของแกนในแนวนอน (Time range) ตามต้องการ

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของบล็อกต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์ สามารถหาได้จากไลบรารี ซึ่งมีดังนี้

Block Diagram	Library
Constant	Sources
Sum	Math
PID	Simulink Extras / Additional Linear
Transfer Function	Continuous
Scope	Sinks

หมายเหตุ

1. บล็อก Sum สามารถเลือก / เพิ่ม เครื่องหมาย + - ได้โดยดับเบิลคลิกที่รูปบล็อก และเปลี่ยนเครื่องหมายโดยใส่ที่ช่อง List of signs
2. การหมุนรูป ทำได้โดยกดปุ่ม Ctrl + R

2.10 การทดสอบระบบควบคุมจากผลตอบสนองของระบบ

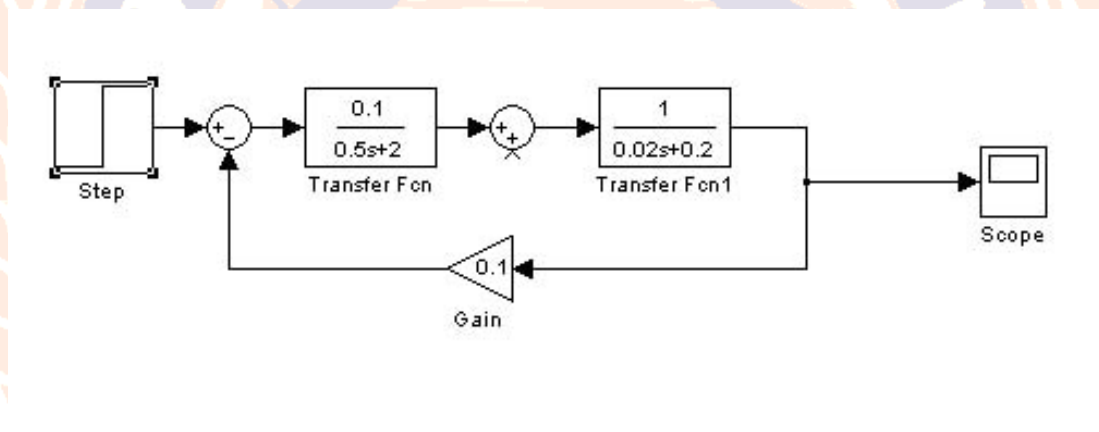
2.10.1 ฟังก์ชันโอนย้ายของระบบงาน (Plant)

กำหนดให้ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$$R = X.X \Omega \quad L = X.XH \quad K_m = K_b = X \quad K_f = X.X N.m.s$$

$$J = X.XX kg.m^2/s^2$$

สามารถเขียนไดอะแกรมฟังก์ชันโอนย้ายของระบบงานในโปรแกรม Simulink ได้ดังรูปที่ 2.25

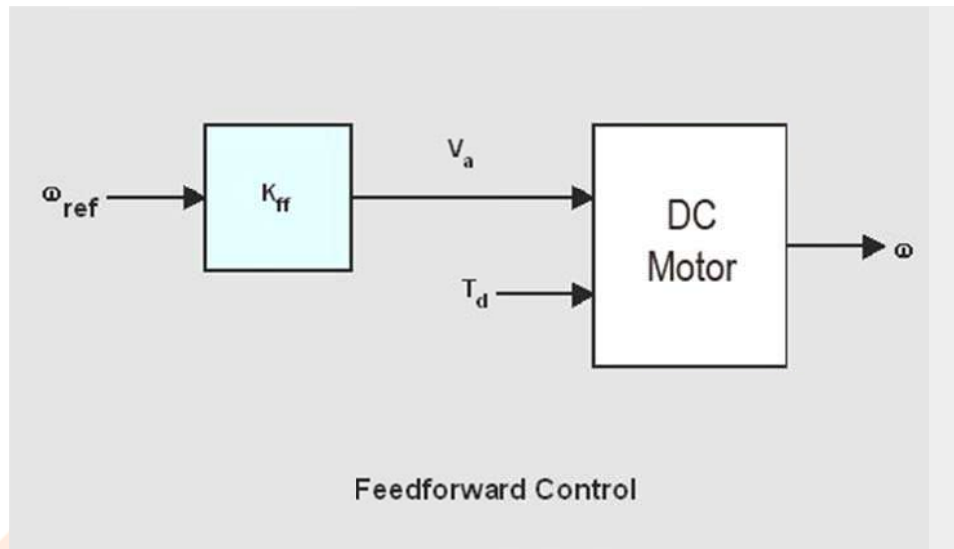


รูปที่ 2.27 ระบบงาน (Plant) ในโปรแกรม Simulink

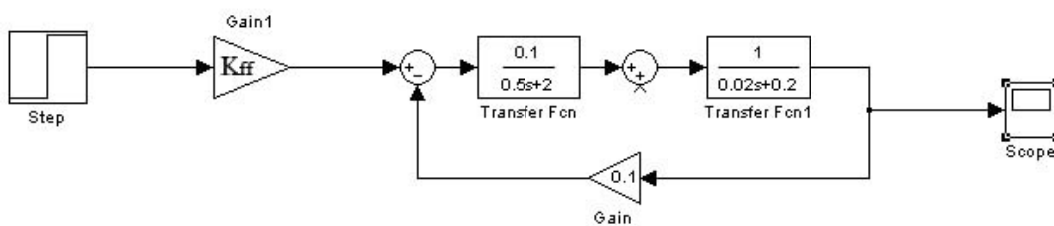
ทำการจำลองแบบระบบ แล้วบันทึกข้อมูลผลตอบสนองของระบบที่ได้ (ภาวะที่ยังไม่มีระบบควบคุม)

2.11 ระบบควบคุมแบบ Feed Forward

เป็นการควบคุมระบบ โดยไม่มีการป้อนค่าเอาต์พุตย้อนกลับเข้ามา มีลักษณะการควบคุมดังรูปที่ 2.26



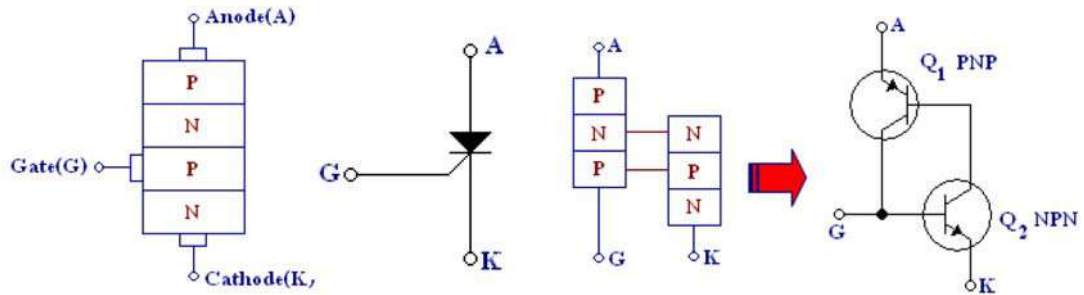
รูปที่ 2.28 รูปแบบการควบคุมแบบ Feed Forward



รูปที่ 2.29 แบบจำลองสำหรับหาผลตอบสนองในระบบควบคุมแบบ Feed Forward

2.12 SCR

SCR มีขาสำหรับต่อใช้งาน 3 ขา ประกอบด้วย แอโนด (Anode , A) แคโทด (Cathode , K) และเกต (Gate , G) มันจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้เพียงทิศทางเดียวเหมือนไดโอด จะแตกต่างก็ตรงที่มันสามารถควบคุมให้นำกระแสหรือไม่นำกระแสได้โดยทำการควบคุมมุมในการทริก(Trigger) ที่ขาเกต ส่วนกระแสหลักที่ใช้ในการขับโหลด คือ กระแสแอโนด (I_A) ที่ไหลจากขาแอโนดไปยังแคโทด

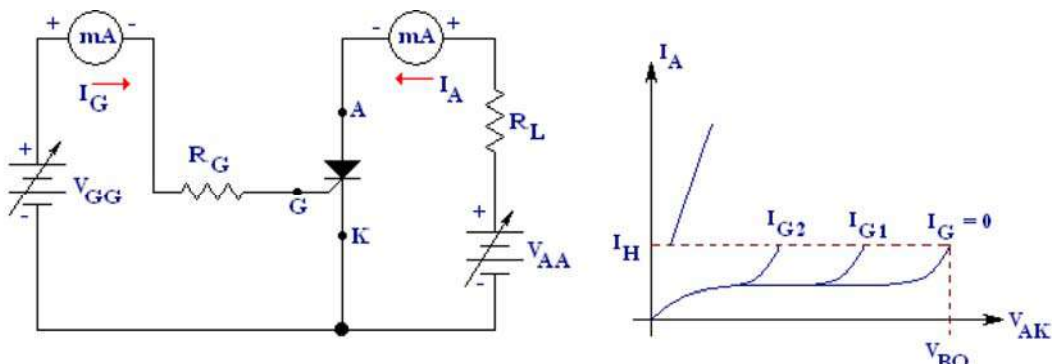


ก) โครงสร้าง ข) สัญลักษณ์ ค) วงจรสมมูล

รูปที่ 2.30 โครงสร้าง สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ SCR

โครงสร้างของ SCR ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ PNP 4 ชั้นประกบกัน ตามรูปที่ 2.28 ก) สาร P ที่อยู่ริมสุดจะต่อขาแอโนด (A) ออกมาใช้งาน ส่วนขา N ด้านริมสุดฝั่งตรงข้ามจะต่อเป็นขาแคโทด (K) ออกมาใช้งาน ในส่วนตอนกลางซึ่งเป็นรอยต่อ PN จะต่อขาเกต (G) ที่สาร P ออกมาใช้สำหรับควบคุมการไหลของกระแส I_A เมื่อพิจารณาสัญลักษณ์ในรูปที่ 2.28 ข) จะเห็นว่าสัญลักษณ์เหมือนไดโอดเพียง แต่เพิ่ม ขาเกตขึ้นมาอีกหนึ่งขา ดังนั้นมันจึงเป็นอุปกรณ์ที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้เพียงทิศทางเดียวเหมือนไดโอด จะแตกต่างตรงที่สามารถควบคุมปริมาณของแรงดันและกระแสที่จะให้ผ่านไปยังโหลดได้ ในส่วนของวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.28 ค) จะมีลักษณะคล้ายการนำทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN มาต่อร่วมกันซึ่งมันเป็นเพียงลักษณะทางโครงสร้างทั่วไปแต่ในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถนำทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อ ให้ทำหน้าที่เป็น SCR ได้เนื่องจาก SCR จะใช้กับงานที่ต้องการกระแสและแรงดันสูงมาก แต่สำหรับทรานซิสเตอร์แล้วส่วนที่เป็นขาเบสจะทนกระแสได้น้อยมาก จึงไม่อาจนำทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อใช้งานแทน SCR ได้

2.13 คุณสมบัติของ SCR และ การใช้งาน



(ก) วงจรทดสอบคุณลักษณะของ SCR

(ข) กราฟคุณลักษณะของ SCR

รูปที่ 2.31 วงจรการทดสอบคุณลักษณะและกราฟคุณลักษณะของ SCR

พิจารณาการหาคุณลักษณะของ SCR จากรูปที่ 2.29 ก) โดยการทดสอบกับแหล่งจ่ายไฟตรง สมมติว่า ในขณะเริ่มต้นให้ $V_{GG} = 0$ V จากนั้น ทำการปรับเพิ่ม V_{AA} ขึ้นไปเรื่อย ๆ (ขณะนี้เรียกว่าไม่มีการทริกที่เกต $I_g = 0$) เมื่อปรับเพิ่ม V_{AA} ไปจนถึงค่า V_{BO} (Break over voltage) SCR จะนำกระแสได้และมีกระแส I_A ไหลผ่านโหลด R_L แต่วิธีการนี้ จะไม่นิยมใช้เพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อโหลดและ SCR เนื่องจาก V_{BO} อาจมีค่าสูงเกินกว่าที่โหลดจะรับได้และ SCR จะเกิดความเครียดจากแรงดันที่มีค่าสูงเกินไป จนอาจเสียหายได้เช่นกัน

วิธีการที่จะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อโหลดและ SCR ก็คือการป้อนกระแสทริกที่เกต (I_g) โดยสมมติว่า โหลดต้องการแรงดันค่าหนึ่ง เราก็ปรับ V_{AA} ให้ใกล้เคียงกับแรงดันที่โหลดต้องการ จากนั้น ทำการปรับค่า V_{GG} ให้ได้กระแส I_g ค่าหนึ่ง สมมติว่า ขณะนี้คือ I_{G1} (พิจารณารูปกราฟ 2.25 ข) SCR จะนำกระแสโดยมีแรงดันตกคร่อมที่ขา A_K ไม่ถึงช่วง V_{BO} และถ้าเพิ่ม I_g ให้มากขึ้นสมมติเป็น I_{G2} แรงดันที่ตกคร่อมขา A_K ในช่วงการนำกระแสก็จะยิ่งน้อยลง ดังนั้น แรงดันส่วนใหญ่จึงไปตกคร่อมโหลด R_L แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขาเกตจะต้องได้รับไฟบวกในการทริกเท่านั้น จึงจะสามารถนำกระแสได้ เนื่องจากขาเกตกับแคโอดเป็นรอยต่อ PN เหมือนรอยต่อของไดโอดต้องได้รับไบแอสตรง SCR จึงจะนำกระแสได้โดยปกติทั่วไปในวงจรไฟตรงเมื่อ SCR นำกระแสค่าแรงดัน V_{AK} จะน้อยมากใกล้ศูนย์ ดังนั้นค่ากระแส I_A ขณะ SCR นำกระแสอาจหาได้จาก

$$I_A = \frac{V_{AA}}{R_L} \quad (2.36)$$

เมื่อ SCR นำกระแสในวงจรไฟตรงแล้วแม้ว่าจะตัดแหล่งจ่ายไฟ V_{GG} ออกไป SCR ก็ยังคงนำกระแสได้อยู่ต่อไปเพราะรอยต่อ PN ที่ขา G_K ลดค่าความต้านทานลงมาภายหลังได้รับการ ทริกที่ขา G

แรงดันตกคร่อมรอยต่อ PN ที่ขา G_K จึงใกล้เคียงกับแรงดันที่ A เทียบกับ K จึงมีค่าประมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิดกระแส I_A ไหลอย่างต่อเนื่องเพราะฉะนั้น โหลด R_L จึงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

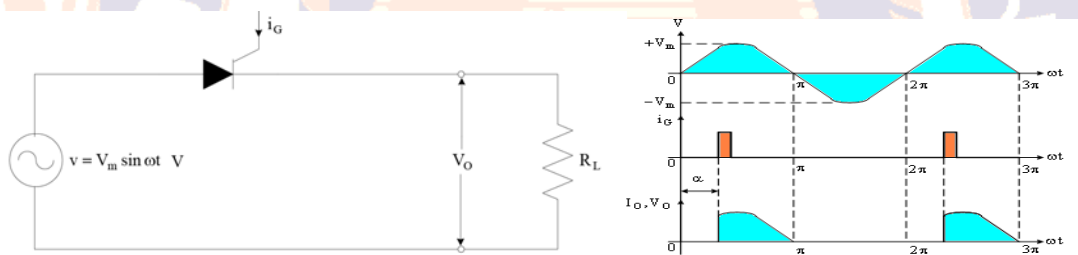
พิจารณาต่อไปถ้า I_A มีค่าลดลงจะด้วยเหตุผลใดก็ตาม SCR จะยังคงนำกระแสได้ราบไคที่ค่ากระแส I_A ไม่ต่ำกว่ากระแสยึด (Holding current, I_H) แต่ถ้าเมื่อใด I_A ต่ำกว่า I_H SCR จะหยุดนำกระแสทันทีถ้าจะให้ให้นำกระแสใหม่จะต้องทำการทริกที่ขาเกตอีกครั้งมันจึงจะนำกระแสได้โดยมีข้อแม้ว่า I_A ต้องไม่น้อยกว่า I_H

อย่างไรก็ตามการจะให้ SCR นำกระแสได้อย่างปลอดภัย จะต้องยึด หลักดังนี้

1. ไบแอสขั้วบวกที่แอโนดเทียบกับแคโทด
2. ไบแอสไฟบวกที่ขั้วเกตเทียบกับแคโทด (เรียกว่าทริกเกอร์ที่เกต)
3. ถ้าต้องการให้ SCR หยุดนำกระแสต้องลดค่า I_A ให้ต่ำกว่า I_H หรือตัดวงจรโหลดของกระแส I_A

จากคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ SCR ในเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าสามารถนำ SCR มาใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าแรงดันไฟตรงที่โหลดได้ซึ่งก็สามารถจัดวงจรได้ทั้งแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่นเช่นเดียวกันกับการใช้ไดโอด

2.13.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นใช้ SCR

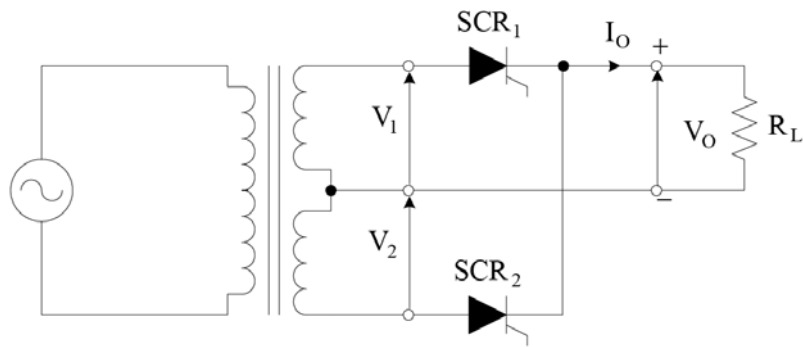


ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นใช้ SCR ข) รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันด้านอินพุตและเอาต์พุต
รูปที่ 2.32 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นใช้ SCR และรูปคลื่นอินพุตเอาต์พุตที่มุมจุดชนวน

พิจารณารูปที่ 2.30 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่ใช้ SCR โดยมีมุมจุดชนวนที่ขาเกต (ทริกเกอร์) อยู่ที่มุม α เมื่อ SCR นำกระแสจะเห็นได้ว่ากระแสโหลดและแรงดันที่โหลด (I_o และ V_o) จะเริ่มที่มุม α ไปจนถึง π ตามลักษณะของรูปคลื่นไปสลับด้านบวก แต่เมื่อไฟสลับไปอยู่ที่ช่วงสัญญาณด้านลบ SCR จะไม่ยอมให้ I_o และ V_o ผ่านไปยังโหลด R_L ได้จนกว่าจะมีสัญญาณด้านบวกรอบใหม่เข้ามาและเมื่อถึงช่วงมุมจุดชนวนเกตที่มุม α SCR จึงจะยอมให้ I_o และ V_o ผ่านไปยังโหลด R_L ได้

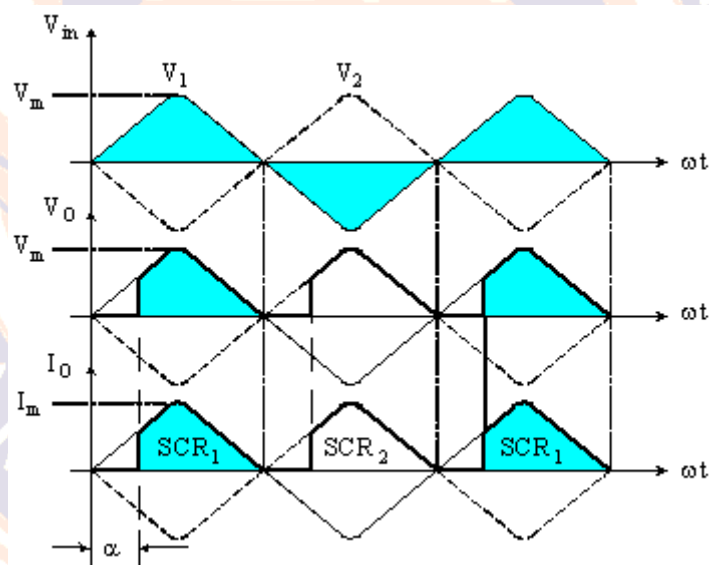
การใช้งาน SCR ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะพิจารณาเป็น 2 แบบ คือในกรณีของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้ห้ามหื้อแปลงมีแท็ปกลางและกรณีของวงจรบริดจ์

2.13.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง



รูปที่ 2.33 วงจรเรียงกระแสแบบเต็ม คลื่นของ SCR ที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

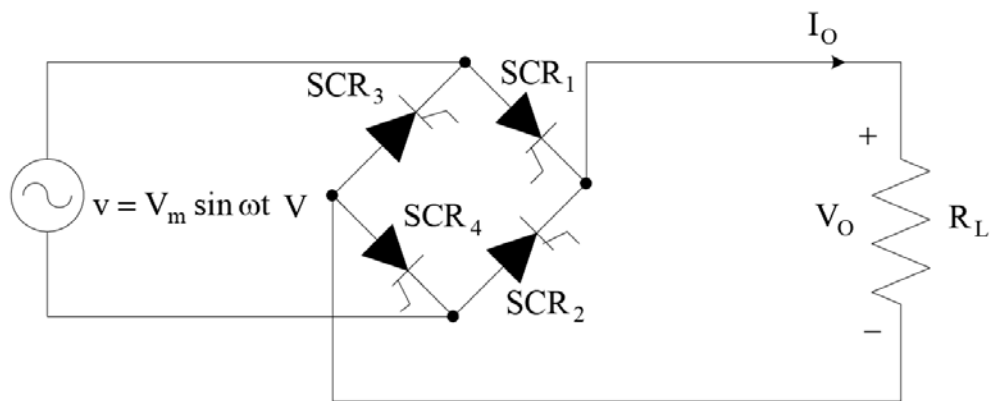
พิจารณาวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลางดังรูปที่ 2.31 จะมีลักษณะเหมือนกันกับการทำงานจะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดเพียงแต่กรณีนี้ สามารถควบคุมปริมาณกระแสและแรงดันที่เอาต์พุตได้ ดังนั้นในการคำนวณหากระแสและแรงดันที่เอาต์พุตจึงคำนวณและสามารถพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณรูปที่ 2.32 ได้ดังนี้



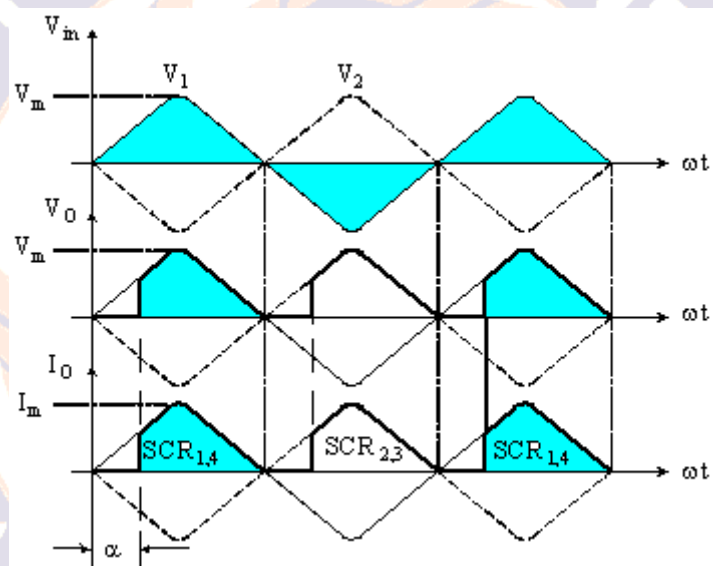
รูปที่ 2.34 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

เมื่อพิจารณาวงจรรูปที่ 2.31 และรูปคลื่นสัญญาณรูปที่ 2.32 การควบคุมมุมการนำกระแสของ SCR สามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0° ถึง 180° นั่นคือสามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมที่โหลด R_L ได้โดยเมื่อพิจารณารูปคลื่นสัญญาณจากรูปที่ 2.32 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลด R_L จะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมในการทริก หรือ $\alpha = 0^\circ$ และแรงดันตกคร่อมโหลดจะเป็นศูนย์เมื่อมุมในการทริก หรือ $\alpha = 180^\circ$

2.13.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น แบบบริดจ์



รูปที่ 2.35 วงจรเรียงกระแสเต็ม คลื่นแบบบริดจ์ใช้ SCR



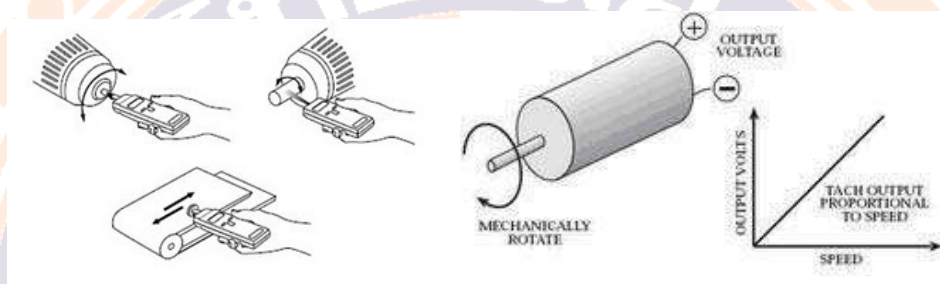
รูปที่ 2.36 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

เมื่อพิจารณาวงจรรูปที่ 15.9 และรูปคลื่นสัญญาณรูปที่ 2.34 การควบคุมมุมการนำกระแสของ SCR ยังคงสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0° ถึง 180° นั่นคือ สามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมที่ โหลด R_L ได้แต่จะมี SCR ทำหน้าที่ในการเรียงกระแสรูปคลื่นสัญญาณครึ่งไซเคิลละ 2 ตัวและเมื่อพิจารณา รูปคลื่นสัญญาณจากรูปที่ 2.34 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลด R_L จะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมในการทริกหรือ $\alpha=180^\circ$ เช่นเดียวกันกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลางอีกทั้งค่าของ แรงดันตกคร่อมโหลดจะเป็นศูนย์เมื่อตำแหน่งของมุมในการทริก หรือ $\alpha=180^\circ$

2.14 วัดความเร็วรอบมอเตอร์

การวัดระยะการหมุน

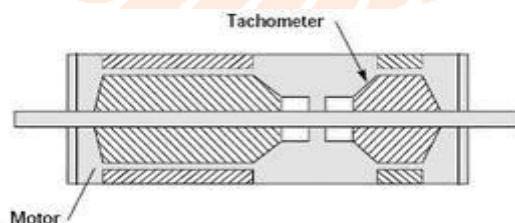
มาตรอัตรารอบ (tachometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการหมุนของเพลาล้อ หรือ โรเตอร์ ในมอเตอร์ หรือเครื่องจักรต่าง ๆ โดยปกติแล้วจะแสดงผลอยู่ในรูปของจำนวนรอบต่อนาที (rpm) มาตรอัตรารอบมีหลายแบบขึ้นกับหลักการทำงาน ตัวอย่างเช่น อาศัยหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่ความต่างศักย์ที่ส่งออกมาแปรผันตรงกับความเร็วเชิงมุมที่วัด หรือ อาศัยหลักการตรวจนับสัญญาณพัลส์ที่มีการส่งออกมาเมื่อมีการหมุนครบรอบในช่วงเวลาหนึ่ง หรือ อาศัยหลักการสะท้อนของแสง มาตรอัตรารอบมีทั้งแบบสัมผัสและไม่สัมผัส รูปที่ 2.35 แสดงตัวอย่างการใช้งานมาตรอัตรารอบในลักษณะต่าง ๆ



รูปที่ 2.37 TACHOMETER.

Tachometer สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ป้อนกลับได้ โดยส่วนมากจะใช้ป้อนกลับอัตราเร็วของมอเตอร์ การทำงานใช้หลักการง่ายคือนำดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรต่อเข้ากับแกนของมอเตอร์ที่ต้องการควบคุม นั่นคือหากมอเตอร์ที่เราต้องการควบคุมเกิดหมุน ดีซีมอเตอร์ก็ให้ค่าความต่างศักย์ออกมา เราสามารถนำค่า ความต่างศักย์นี้ไปใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับให้กับระบบควบคุมได้

ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาดเล็กนิยมนำมาใช้เป็นตัวป้อนกลับอัตราเร็วของระบบเซอร์โว โดยจะต้อง มีการชดเชยความคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิรวมทั้งใช้ silver เป็นคอมมิวเตเตอร์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือเมื่อ ใช้งานที่อัตราเร็วต่ำ ๆ หรือกระแสต่ำ ๆ ดังนั้นระบบเซอร์โวจึงนิยมติด Tachometer (Small permanent magnet DC motor) เข้ากับระบบเลย ดังรูป



รูปที่ 2.38 มาตรวัดรอบ (TACHO METER) RPM

สำหรับมาตรวัดรอบ ก็เหมือนกับมาตรวัดความร้อน คือรถยนต์ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้งมาให้จากโรงงานอยู่แล้ว แต่สาเหตุที่มีบางคนต้องไปติดเพิ่มอาจจะมาจากเหตุผลต่างกันไป บางคนอาจคิดว่าเป็นอุปกรณ์ตกแต่งสร้างความสวยงาม หรือความเท่ แต่กับบางคนอาจจะเป็นสิ่งจำเป็นจริง ๆ อย่างรถยนต์ที่ผ่านการโมดิฟายเปลี่ยนไปใช้แคมๆ องศาสูงมาก ๆ จนทำให้สามารถเร่งรอบได้มากกว่าเดิม ซึ่งวัดรอบที่มีติดมากับรถ ไม่สามารถแสดงข้อมูล ได้เพียงพอ จึงต้องหาอันใหม่มาติดเข้าไป หรือในรถยนต์ที่ทำขึ้นมาสำหรับการแข่งขัน ควอเตอร์ไมล์ซึ่งจังหวะการเปลี่ยนเกียร์ ถือเป็นสิ่งที่ต้องการให้ความสำคัญมาก การตัดสินใจแพ้ชนะอยู่ที่เวลาเพียงเสี้ยววินาที ดังนั้นมาตรวัดรอบที่มาพร้อมไฟเตือน จึงกลายเป็น อุปกรณ์ช่วยได้อย่างหนึ่ง อย่างไรก็ตามการแพ้ชนะไม่ได้เพียงอุปกรณ์ที่ว่าเท่านั้น จังหวะ ฝีมือ สมาธิ ในการเปลี่ยนเกียร์ของผู้ขับขี่เป็นสิ่งที่สำคัญกว่า

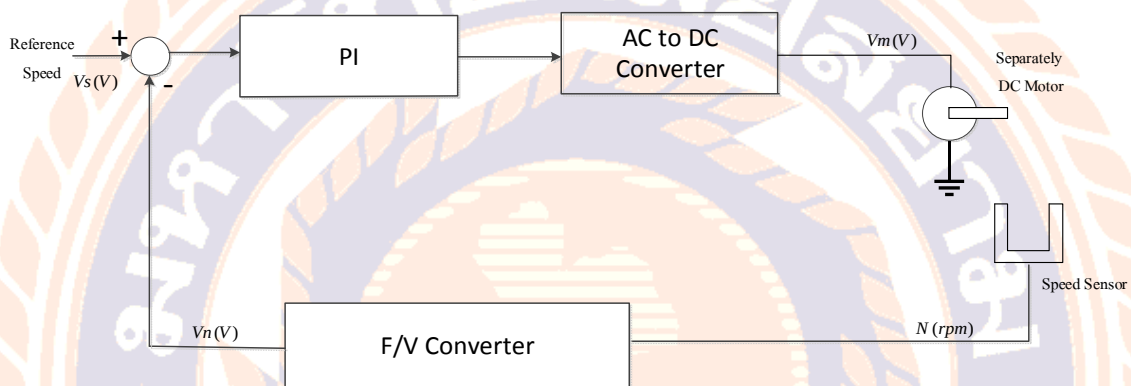


บทที่ 3

โครงการที่นำเสนอ

โครงการนี้นำเสนอ การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการที่นำเสนอ

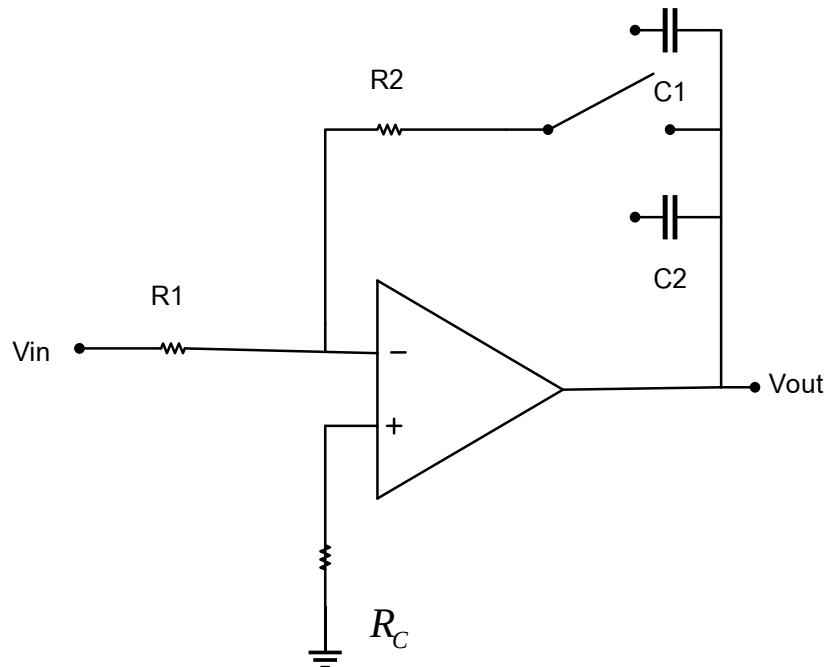


รูปที่ 0.1 โครงการที่นำเสนอ

จากบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ประกอบด้วย ตัวควบคุมพีไอที่ต่อแบบอนุกรม วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC to DC Converter) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก แทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยอัตราคงที่ (หน่วยเป็น V/rpm) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ตั้งไว้ ในการทำโครงการนี้ได้ทำการจำลองการทำงานของตัวควบคุมพีไอ และระบบควบคุม ด้วยโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวควบคุมและระบบที่เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นได้ แล้วทำการทดสอบระบบจริง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

3.2 ตัวควบคุม PI

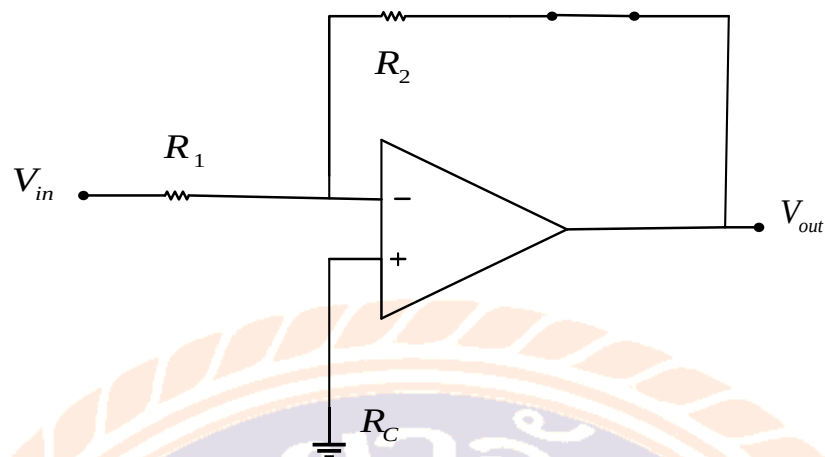
ในโครงงานนี้เลือกใช้ตัวควบคุม PI แบบอนุกรมโดยสามารถเลือกค่าตัวเก็บประจุได้ 2 ค่า วงจรแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 0.2 ตัวควบคุมพีไอที่ใช้

3.2.1 กรณีตัวควบคุมแบบ P อย่างเดียว

วงจรตัวควบคุมแบบ P แสดงดังรูปที่ 3.3 ประกอบด้วย ออปแอมป์ และ ตัวต้านทาน 2 ตัว เป็นวงจรแบบขยายสัญญาณกลับเฟส



รูปที่ 0.3 วงจรตัวควบคุมแบบ P

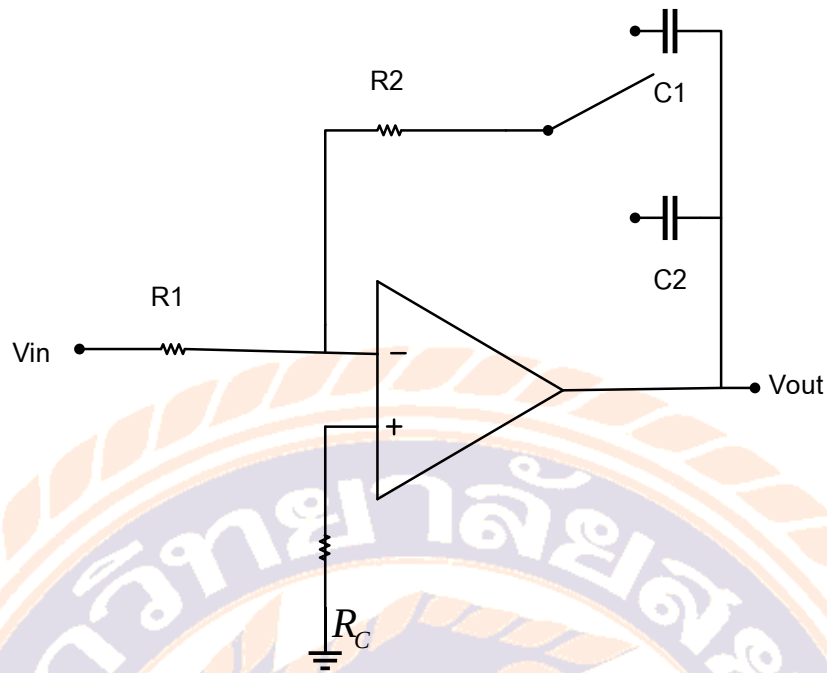
หาฟังก์ชันการถ่ายโอนได้เป็นดังสมการที่ (3.1)

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3.1)$$

เมื่ออัตราการขยายของตัวควบคุมมีค่าเป็น $K_p = \frac{R_2}{R_1}$ ส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของสัญญาณที่เอาต์พุต

3.2.2 กรณีตัวควบคุมแบบ PI

วงจรตัวควบคุมแบบ PI แสดงดังรูปที่ 3.4 เป็นตัวควบคุมแบบอนุกรม ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ 2 ลักษณะที่ขึ้นอยู่กับการเลือกค่าตัวเก็บประจุ C1 และ C2



รูปที่ 0.4 ตัวควบคุมแบบ PI

กำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ ทำการวิเคราะห์ห้วงจรในรูปที่ 3.4 เป็นดังนี้

เมื่อ

$$Z_f = R_2 + ZC$$

$$= R_2 + \frac{1}{sC} = \frac{R_2Cs + 1}{sC}$$

$$\begin{aligned} \frac{V_{out}}{V_{in}} &= -\frac{Z_f}{R_1} \\ &= -\left[\frac{R_2Cs + 1}{sC} \right] \frac{1}{R_1} \\ &= \left[\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_1Cs} \right] \end{aligned}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \left[1 + \frac{1}{R_2Cs} \right] \quad (3.2)$$

เมื่อ

$$K_p = \frac{R_2}{R_1}, \quad T_i = R_2C \text{ จะสังเกตได้ว่าในสมการที่ (3.2) ค่าอัตราขยายของ } K_p \text{ มีผลต่อ}$$

ค่าคงตัวทางเวลาของตัวควบคุมแบบ I

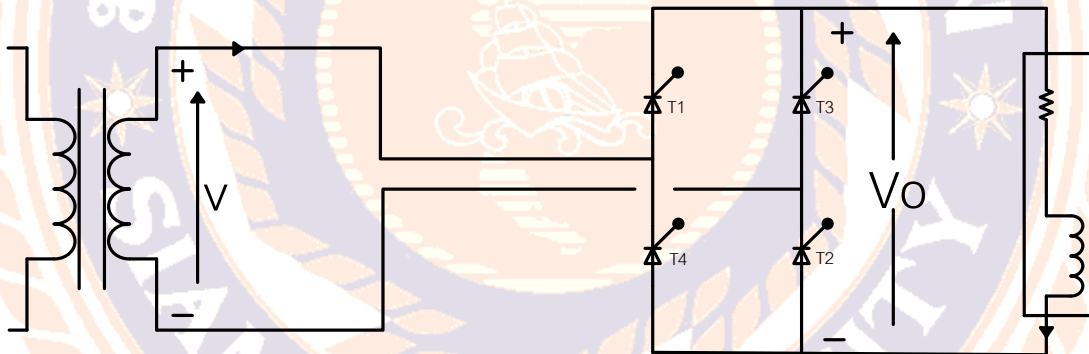
3.3 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

วงจร AC/DC rectifier ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบ Single- phase half-wave controlled rectifier หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วงจร Zero Order Hold :ZOH อุปกรณ์ที่ใช้คือ Thyristor (Silicon controlled rectifiers :SCR) จำนวน 4 ตัว ต่อแบบบริดจ์ และต่อร่วมกับโหลด ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีมุมเป็น α แสดงดังรูปที่ 3.5

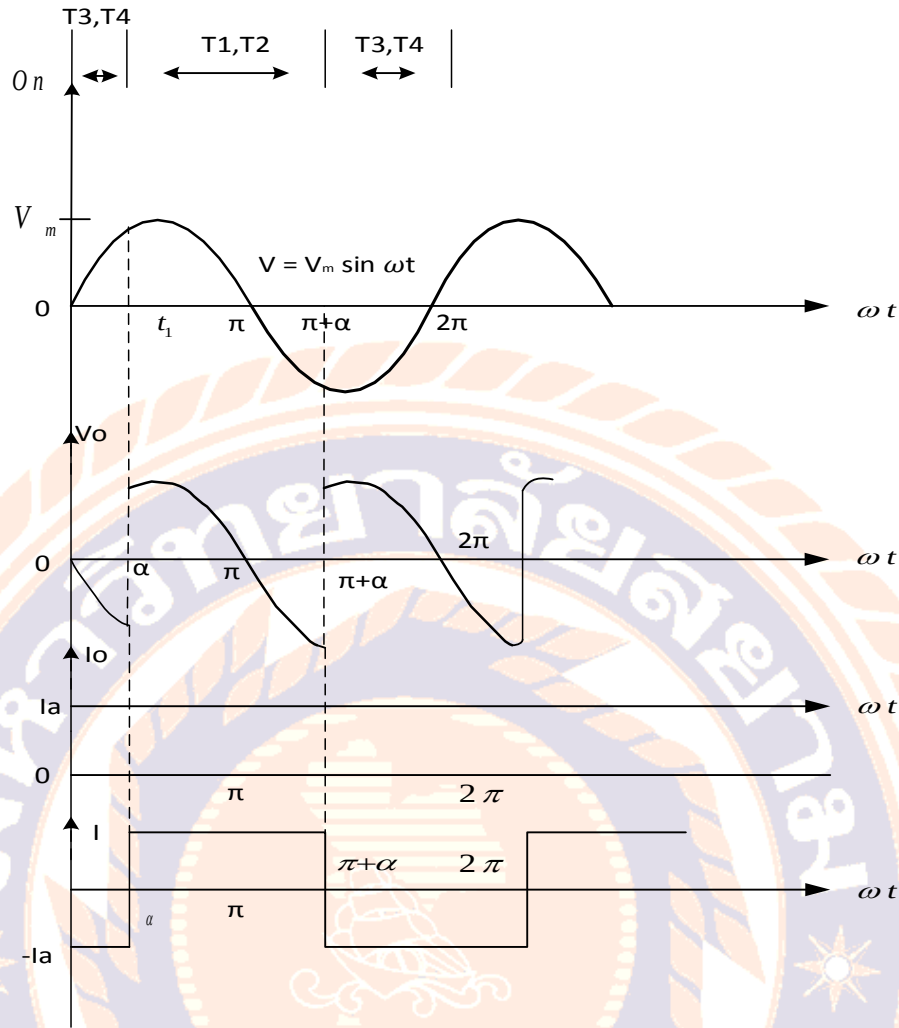
กรณีโหลดของ Rectifier เป็นวงจร L-R ที่มีค่าคงตัวเวลา $T = \frac{L}{R}$ ถ้ากระแสเอาต์พุตต่อเนื่อง แล้วค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุต DC เป็น

$$V_d = V_{d-\max} \cos \alpha \quad (3.3)$$

เมื่อ α มุมทริกของสัญญาณพัลส์
 V_d แรงดันเฉลี่ยของเอาต์พุต DC
 $V_{d-\max}$ แรงดันเฉลี่ยที่เอาต์พุต DC มีค่าสูงสุดเป็น $\alpha = 0$



รูปที่ 0.5 วงจร AC/DC Rectifier แบบเฟสเดียว



รูปที่ 0.6 รูปคลื่นของวงจร ZOH

จากรูปที่ 3.5 ได้กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสอินพุตและเอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 3.6 สมมติว่า ความถี่ของสัญญาณอินพุตของ Rectifier มีค่าเป็น $f = 50\text{Hz}$ ($T = \frac{1}{f} = 20\text{ ms}$) แล้ววงจรนี้จะทำงานครึ่งคลื่น นั่นคือ มุมหนึ่ยวนำที่ 180° (หรือ πrad) ในช่วงเวลา 10 ms กระแสจะทำงาน ON และกระแสจะหยุดทำงาน OFF ครึ่งคลื่น แรงดันเอาต์พุตจะไม่ถูกควบคุมในครึ่งคลื่น เมื่อมีการจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าไปในวงจร ดังนั้นอุปกรณ์โหนดจะรักษาแรงดันเอาต์พุตใน 1 คาบเวลาของ $\frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$ เมื่อมี f เป็น 2 เท่าของความถี่อินพุตนั้นเอง ดังนั้นอัตราการขยายของฟังก์ชันถ่ายโอนในช่วงที่ลุ่มสัญญาณ $\frac{T}{2} = 10\text{ ms}$ ในระบบหนึ่งหน่วยมีค่าเป็น

$$G(t) = \frac{V_o}{V_{in}} \Big|_{\text{per-unit}} = 1$$

วงจร AC/DC Rectifier ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นอุปกรณ์หนึ่งทำหน้าที่หน่วงเวลาในโดเมน s ซึ่งเวลาการหน่วงนั้นเป็นช่วงเวลาในการสุ่ม T มีค่าเป็น σ ความถี่ของแหล่งจ่ายมีค่าเป็น $f = 50 \text{ Hz}$ และการหน่วงเวลา $T = \sigma = 20 \text{ ms}$ ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนในระบบ per-unit เป็น

$$G(s) = e^{-Ts} = e^{-\sigma s} \quad (3.4)$$

เมื่อ

T = ช่วงเวลาการสุ่ม (Sampling interval)

σ = ระยะเวลาในการเปลี่ยน (Commutation Period)

ในการควบคุมกระแสหรือควบคุมความเร็ว (Current & speed Control System) มีผลตอบสนองเป็น 0.1-1 s จะพิจารณาว่าการสุ่มสัญญาณ 20 ms มีค่าน้อยมากๆ นั่นคือ $Ts = \sigma s \rightarrow 0$ สมการ (3.4) เขียนใหม่ได้เป็น

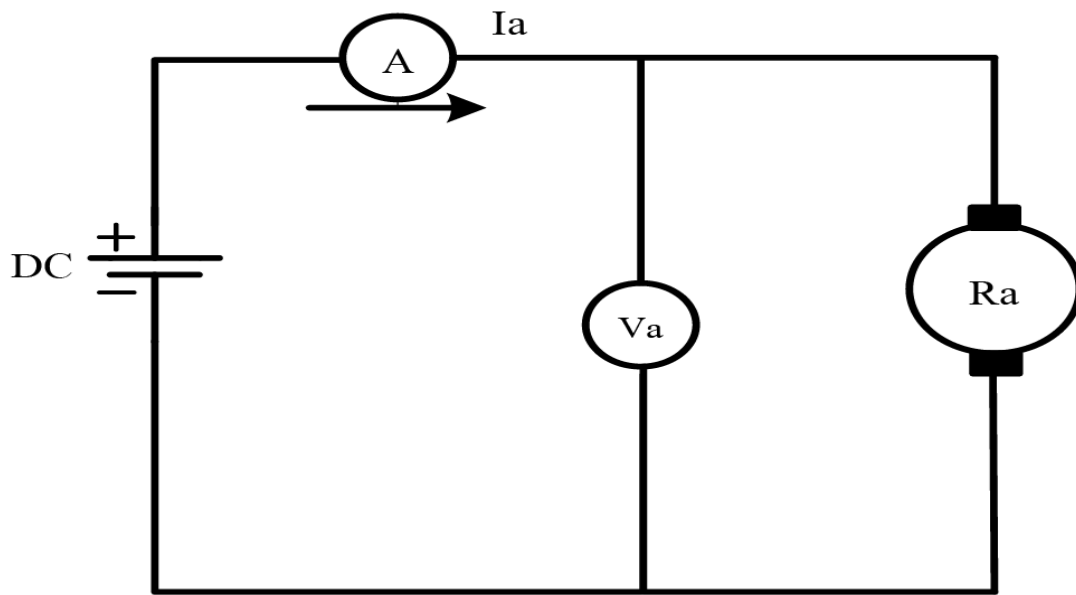
$$G(s) = e^{-\sigma s} = 1 - \sigma s = \frac{1}{1 + \sigma s} = 1 \quad (3.5)$$

จากสมการที่ (3.5) แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในโครงงานนี้มีค่าหนึ่ง

3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยตัวควบคุม PI จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ก่อน เพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากการทดสอบไปออกแบบเป็นระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์

3.4.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (R_a)



รูปที่ 0.7 วงจรทดสอบความต้านทานอาร์เมเจอร์

ขนาดพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

พิกัดแรงดัน	220	V_{DC}
พิกัดกระแส	6.5	A
พิกัดกำลังงาน	1,100	W
ความเร็วรอบสูงสุด	3,000	rpm

จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้กับวงจรได้เท่ากับขนาดกระแสพิกัดในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่ง วัดกระแสและแรงดัน

แรงดันที่วัดได้	20.25	V
กระแสที่วัดได้	6.52	A

ทำการคำนวณหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์จากสูตร

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} \quad (3.6)$$

โดยที่

R_a = ความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Ω)

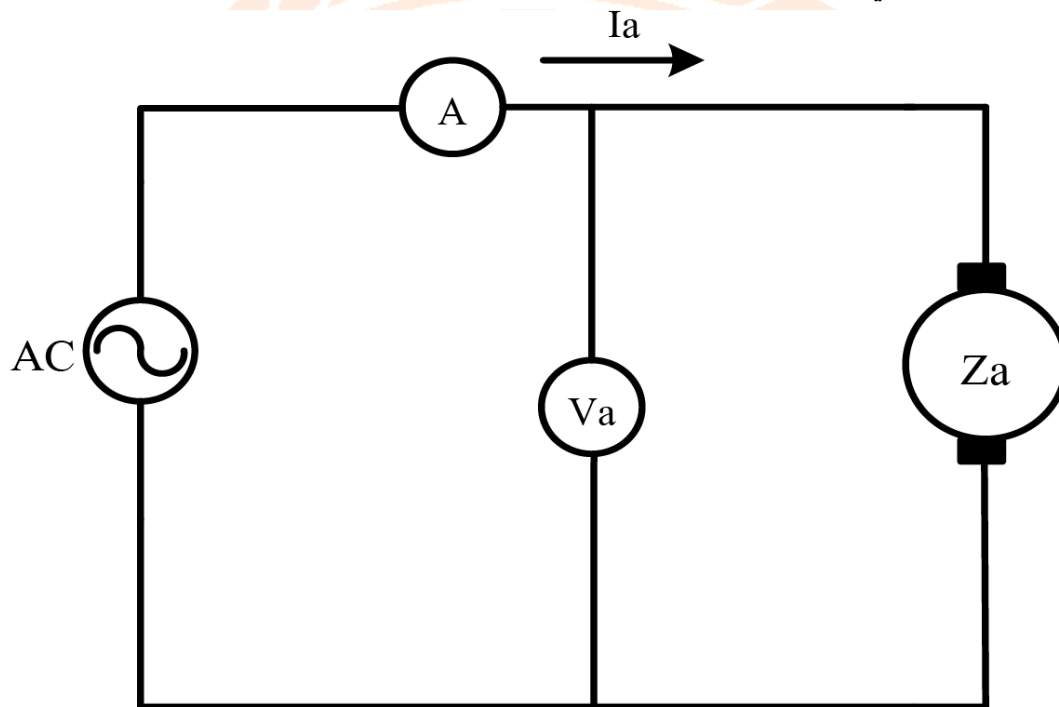
V_a = ค่าแรงดันอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (V)

I_a = ค่ากระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า (A)

จะได้

$$R_a = \frac{20.25}{6.52} = 3.10 \, \Omega$$

3.4.2 การทดสอบเพื่อหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์ต่อวงจรการทดสอบ (L_a)



รูปที่ 0.8 วงจรทดสอบหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์

ขนาดพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

พิกัดแรงดัน	220	V_{DC}
พิกัดกระแส	6.5	A
พิกัดกำลังงาน	1,100	W
ความเร็วรอบสูงสุด	3,000	rpm

จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (AC) ให้กับวงจรได้เท่ากับขนาดกระแสพิกัดในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่ง วัดกระแสและแรงดัน

แรงดันที่วัดได้

93

V

กระแสที่วัดได้

6.5

A

คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์จากสูตร

$$Z_a = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \quad (3.7)$$

โดยที่

Z_a = ค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Ω)

จะได้ว่า

$$Z_a = \frac{93}{6.5} = 14.31 \Omega$$

คำนวณหาค่ารีแอคแตนซ์ของมอเตอร์จากสูตร

$$X_L = \sqrt{Z_a^2 - R_a^2} \quad (3.8)$$

โดยที่

X_L = ค่ารีแอคแตนซ์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Ω)

จะได้ว่า

$$X_L = \sqrt{(14.31)^2 - (3.1)^2} = 13.97 \Omega$$

คำนวณหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์จากสูตร

$$L_a = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (3.9)$$

โดยที่

L_a = ค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์ (H)

f = ค่าความถี่ = 50 Hz

จะได้ว่า

$$L_a = \frac{13.97}{2\pi(50)} = 44.47 \text{ mH}$$

การคำนวณหาค่าคงที่ของเวลาของวงจรอาร์เมเจอร์จากสูตร

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} \quad (3.10)$$

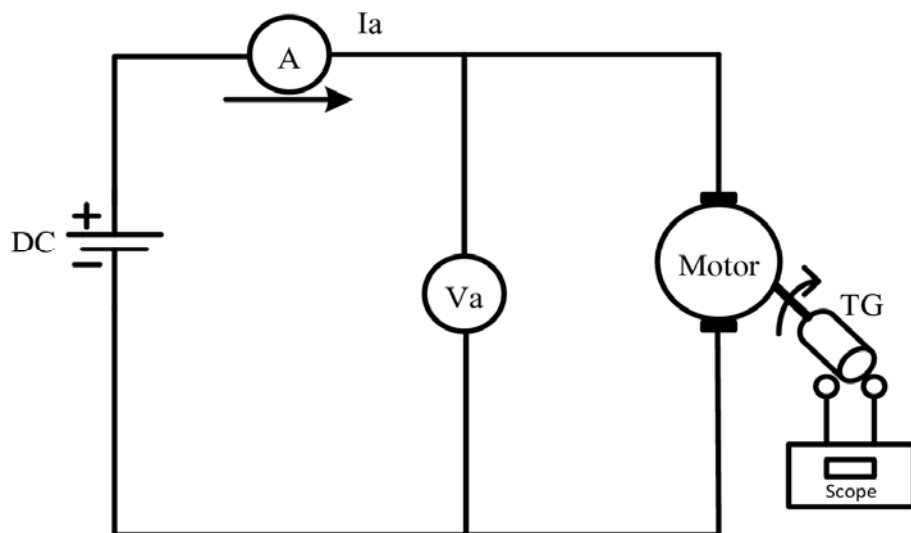
โดยที่

T_a = ค่าคงที่ของเวลาสำหรับวงจรอาร์เมเจอร์ (s)

จะได้ว่า

$$T_a = \frac{44.47 \text{ mH}}{3.1 \Omega} = 14.34 \text{ ms}$$

3.4.3 การหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของการเคลื่อนของมอเตอร์ แบบ Rundown-Test



รูปที่ 0.9 วงจรทดสอบหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของมอเตอร์

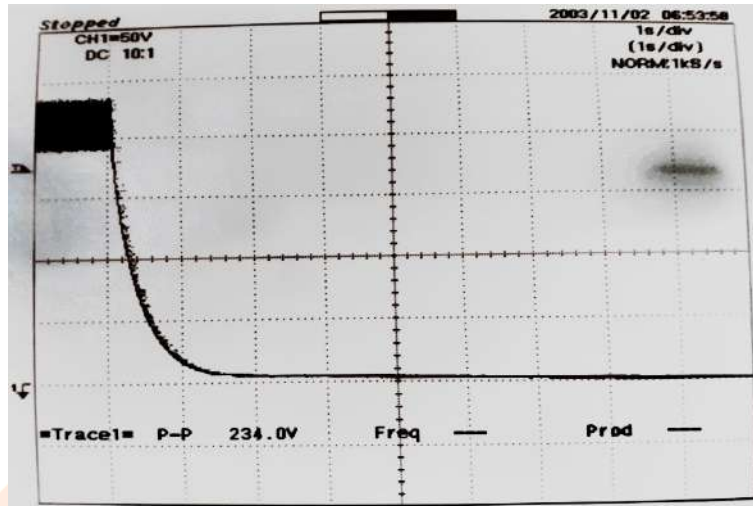
จ่ายแรงดันไฟฟ้า 200 v ให้กับวงจรวัดค่าต่าง ๆ ของวงจร

แรงดันที่วัดได้คือ 200 V

กระแสที่วัดได้คือ 1.2 A

ความเร็วรอบที่วัดได้คือ 3,000 rpm

หยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทันทีบันทึกผลของแรงดันเอาต์พุตซึ่งมีลักษณะของ Wave from Diagram ดังรูปที่ 3.10



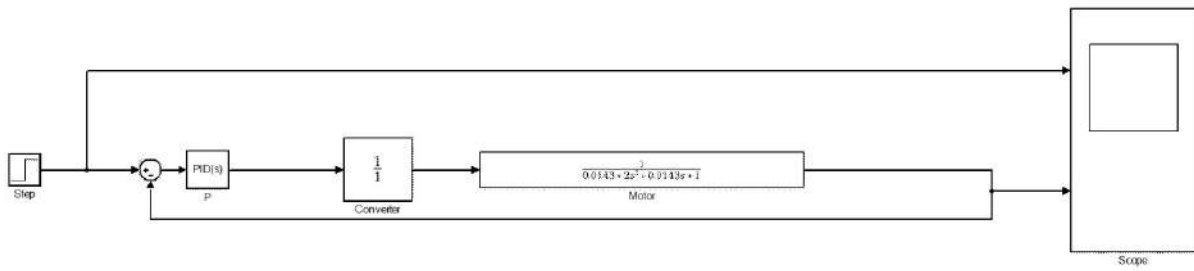
รูปที่ 0.10 รูปคลื่นของเอาต์พุตที่ทดสอบแบบรันดาวน์

จากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นำมาคำนวณหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของมอเตอร์ โดยที่สัญญาณ 1 ช่อง มีค่าเท่ากับ 1.0 s จะได้ T_m มีค่าเท่ากับ 2 ช่อง $\times$ 1.0 s = 2 s

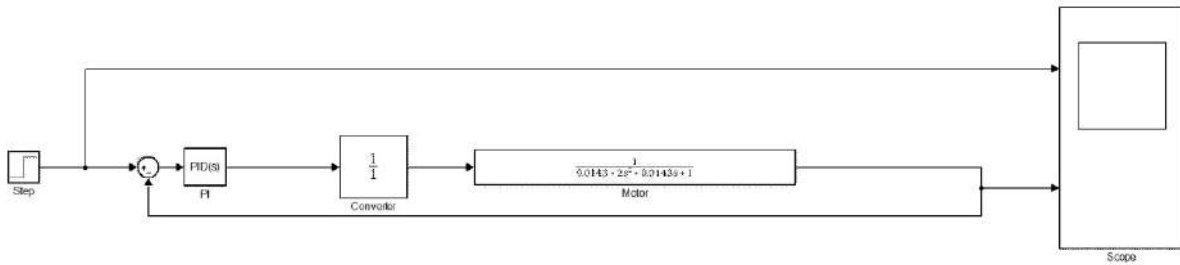
3.5 การออกแบบโครงสร้างของมอเตอร์โดยใช้วิธีการ Simulink

การออกแบบโครงสร้างของมอเตอร์โดยใช้วิธี Simulink จากระบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) สร้างระบบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยการนำมาจำลองลงในระบบ Simulink ได้ดังต่อไปนี้

- พิมพ์คำว่า Simulink ลงบนคำสั่งของหน้าต่างคำสั่ง
- จะปรากฏหน้าต่าง Library Simulink ที่ประกอบด้วย Back diagram ต่าง ๆ ขึ้นมา
- เลือกเมนู File>New>Model บนหน้าต่าง Library Simulink
- จะปรากฏหน้าต่างการทำงานของ Simulink ที่มีชื่อ Default ว่า United
- แล้วทำการเลือก Block ที่ต้องการใช้งาน โดยการดับเบิลคลิกที่ Block diagram ของหมวดหมู่ที่ต้องการเลือก
- จะปรากฏหน้าต่างแสดง Block ต่าง ๆ ของหมวดหมู่ที่เลือกไว้
- ในการวิเคราะห์แบบจำลองของการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมด้วยพีและพีไอ ประกอบด้วย Block การทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ โดยบล็อกในส่วนของมอเตอร์นั้นจะเลือกค่าพารามิเตอร์ตามที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.4 และฟังก์ชันถ่ายโอนตามสมการในรูปที่ 2.25



รูปที่ 0.11 การสร้างแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรม Simulink (P Control)

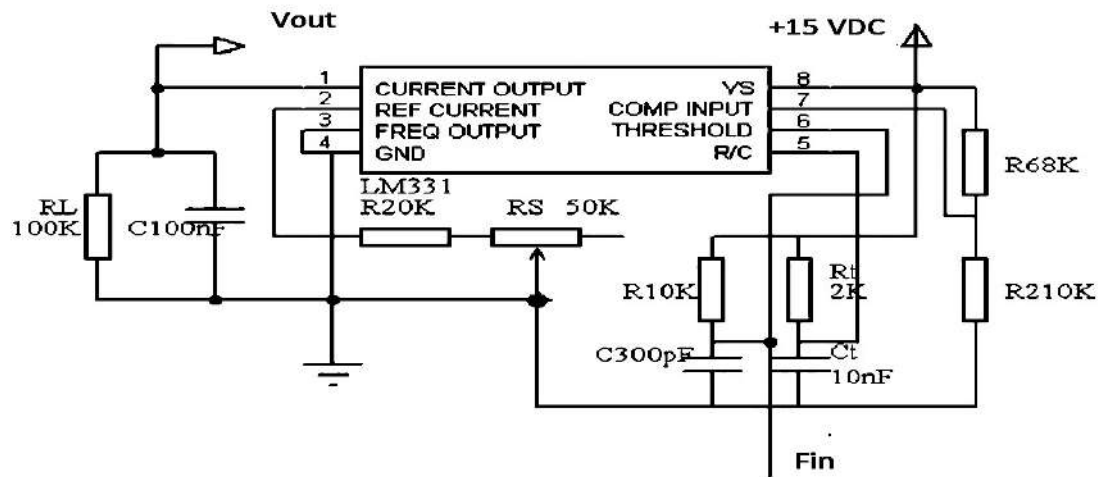


รูปที่ 0.12 การสร้างแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรม Simulink (PI Control)

3.6 วงจรแปลงความถี่

ในโครงงานนี้จะใช้วงจร F / V (Frequency to Voltage Converter) ไอซีเบอร์ LM331 เป็นตัวแปลงสัญญาณความถี่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0-5 โวลต์เพื่อป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับระบบ และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งข้อมูลป้อนกลับเข้าไปยังระบบเพื่อทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับ ค่าสัญญาณที่ควบคุม (Set Point) โดยสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 และทำการประมวลผลวนลูอย่างต่อเนื่องจนกว่าค่าที่ควบคุม (Set Point, SV) จะเท่ากับค่าที่วัดได้ (Process Value, PV) สมการความสัมพันธ์ของความถี่อินพุตและแรงดันเอาต์พุตแสดงดังสมการที่ (3.11)

$$V_{out} = F_{in} \times 2.09 \times \frac{R_L}{R_s} \times (R_i \times C_i) \quad (3.11)$$



รูปที่ 0.13 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน



บทที่ 4

การทดลองและผล

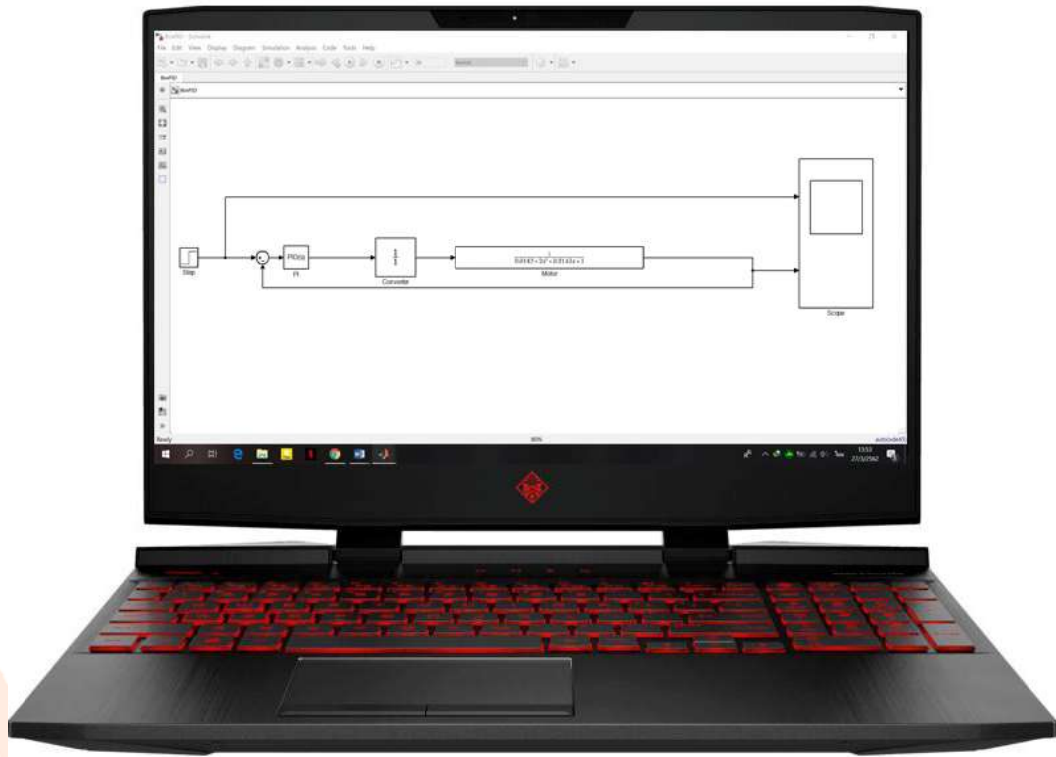
ในการศึกษาการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ ได้ทำการจำลองแบบการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และทำการทดลองเพื่อดูผลการทำงานที่ได้เปรียบเทียบกับกัน จากบล็อกไดอะแกรมของโครงการที่นำเสนอโดยในลำดับแรกได้ทำการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบทางเบบด้านคณิตศาสตร์เบื้องต้นก่อน เพื่อจะได้มั่นใจในทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องว่ามีความถูกต้องหรือไม่อย่างไร หลังจากนั้นจะทำการทดลองจริงเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

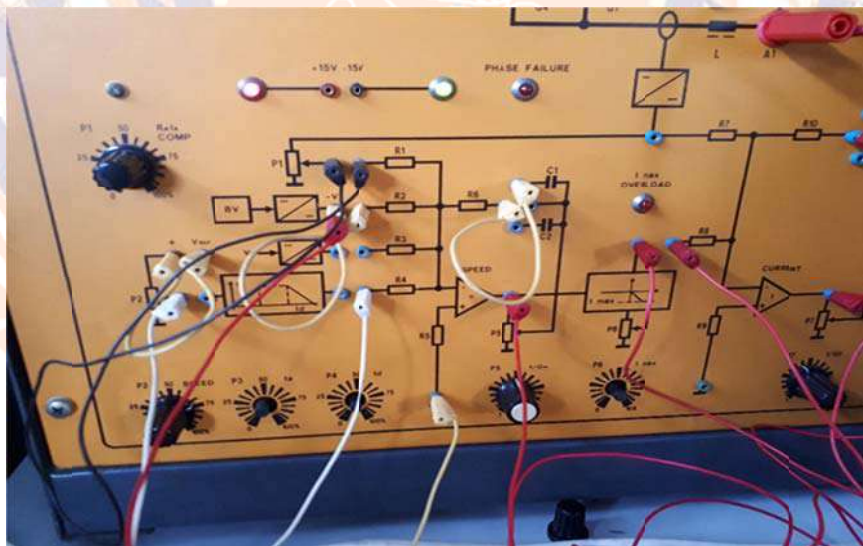
อุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกพิกัดแรงดัน 1.1 kW 3,000 rpm แทคโคเจนมิเตอร์ พิกัดแรงดัน 0.75 kW 2,850 rpm ตัวควบคุมพีไอแบบอนุกรม วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล สโคป ดิจิตอลมิเตอร์ และเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.1-4.6



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก



รูปที่ 4.3 ตัวควบคุมไฟ



รูปที่ 4.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น



รูปที่ 4.5 Electric Generator



รูปที่ 4.4 สโคป

4.2 การทดสอบ

4.2.1 ขั้นตอนการทดลองระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

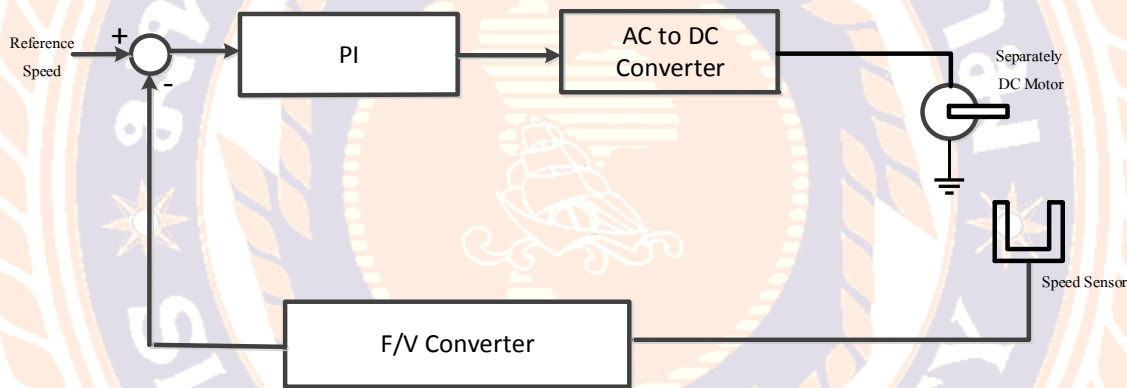
การวิเคราะห์ระบบโดยโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปวิธีการเขียนใช้งาน ได้ดังนี้

1. เปิดโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ และเข้าโปรแกรมโดยกดปุ่ม Simulink (ปุ่มด้านซ้ายของเครื่องหมาย ? หรือเลือกจากเมนู) จะแสดงหน้าต่าง Simulink Library Browser ให้บนจอ
2. เปิดไฟล์เพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ โดย File / New เลือก Model จะแสดงหน้าต่างสำหรับเขียนโมเดลมาให้ และให้ทำการเลื่อนหน้าต่างไปทางขวาอยู่คู่กับหน้าต่างของ Simulink Library Browser เพื่อความสะดวกในการวาดรูป
3. ทำการวาดผังไดอะแกรมที่ต้องการ โดยเลือก Block จาก Library ต่าง ๆ เมื่อพบแล้วให้กดเมาส์ที่รูปแล้วลากมายังหน้าต่างที่จะทำการวาด หลังจากนั้นให้ทำการลากเส้นเชื่อมต่อระบบให้ครบ
4. ให้กำหนดชื่อบล็อกตามรูป และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทุกบล็อก โดยดับเบิลคลิกที่บล็อก และกำหนดค่าให้ตรงตามที่ต้องการ

5. คู่มือผลลัพธ์เอาต์พุตได้ โดยสั่งที่เมนู Simulation / Start แล้วทำการดับเบิลคลิกที่บล็อกเอาต์พุต คือ Scope หลังจากนั้นให้กดปุ่ม Autoscale หรือปุ่มรูปกล้องส่องทางไกล เพื่อปรับภาพให้เหมาะสม และสามารถทำการปรับค่าสเกลในแนวนอน เพื่อดูรูปสัญญาณให้ชัดเจนยิ่งขึ้นได้ โดยกดที่ปุ่ม Parameters และให้กำหนดค่าช่วงเวลาของแกนในแนวนอน (Time range) ตามต้องการ

หมายเหตุ

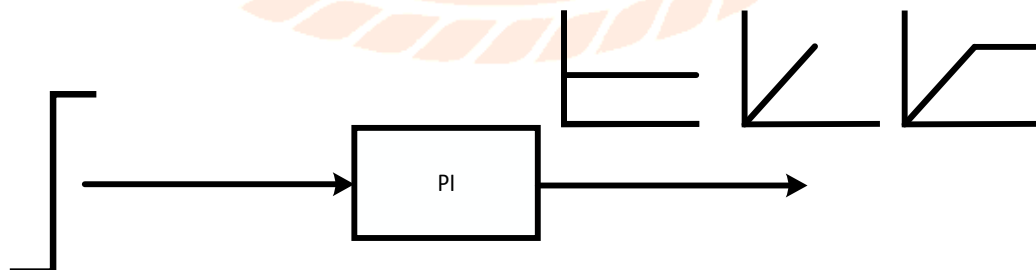
1. บล็อก Sum สามารถเลือก / เพิ่ม เครื่องหมาย + - ได้โดยดับเบิลคลิกที่รูปบล็อก และเปลี่ยนเครื่องหมายโดยได้ที่ช่อง List of signs
2. การหมุนรูป ทำได้โดยกดปุ่ม Ctrl + R



รูปที่ 4.5 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมการจำลองระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยพีไอ

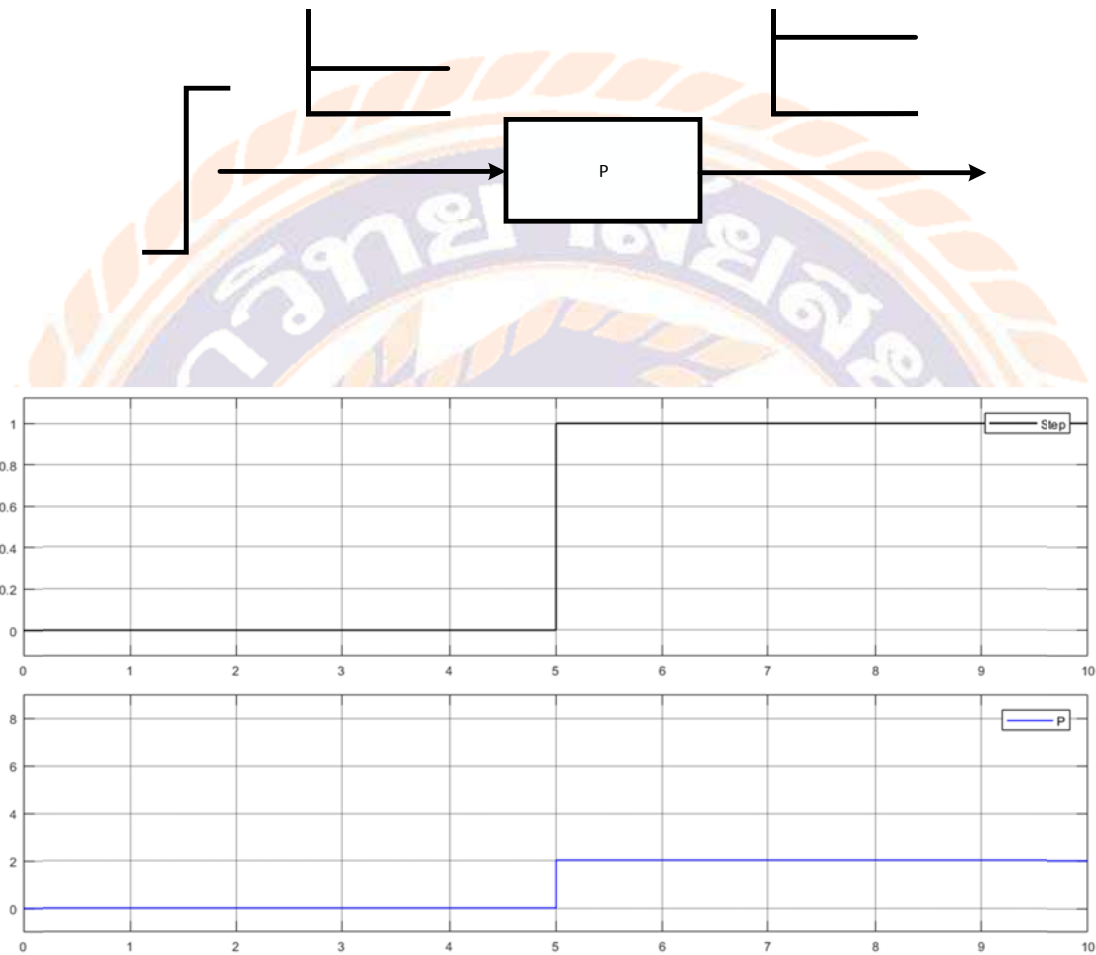
จากรูปที่ 4.7 ซึ่งจะจำลองได้ 2 กรณีดังนี้

4.2.2 ลูปเปิด



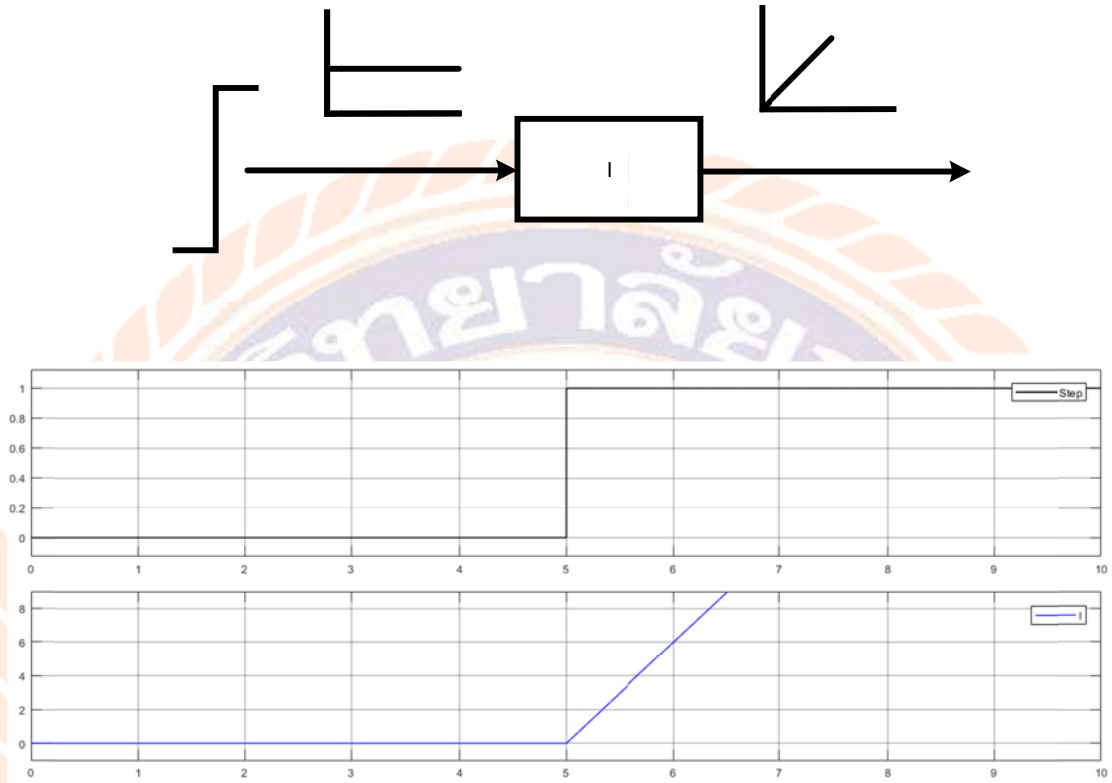
รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรมลูปเปิด

กรณีที่ 1 เมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยให้กับตัวควบคุมแบบพี เมื่อกำหนดให้อัตราการขยาย $K_p=2$ ได้เอาต์พุตเป็นดังรูปที่ 4.9



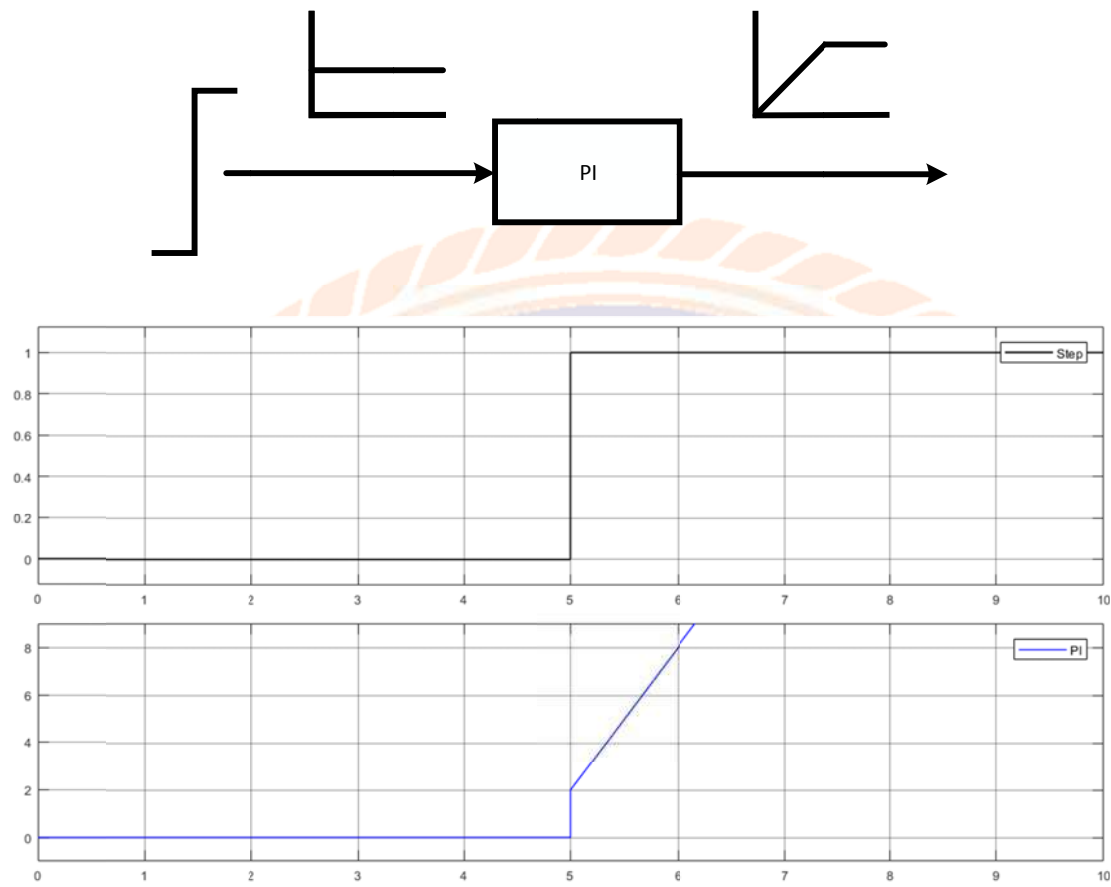
รูปที่ 4.7 รูปคลื่นของอินพุตและเอาต์พุตกรณีตัวควบคุมพีอย่างเดียว

กรณีที่ 2 เมื่อป้อนอินพุตฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยให้กับตัวควบคุมไอล่างเดียวได้ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตเป็นดังรูปที่ 4.10 เมื่อกำหนดให้ $K_i=6$



รูปที่ 4.8 รูปคลื่นของอินพุตและเอาต์พุตกรณีตัวควบคุมไอล่างเดียว

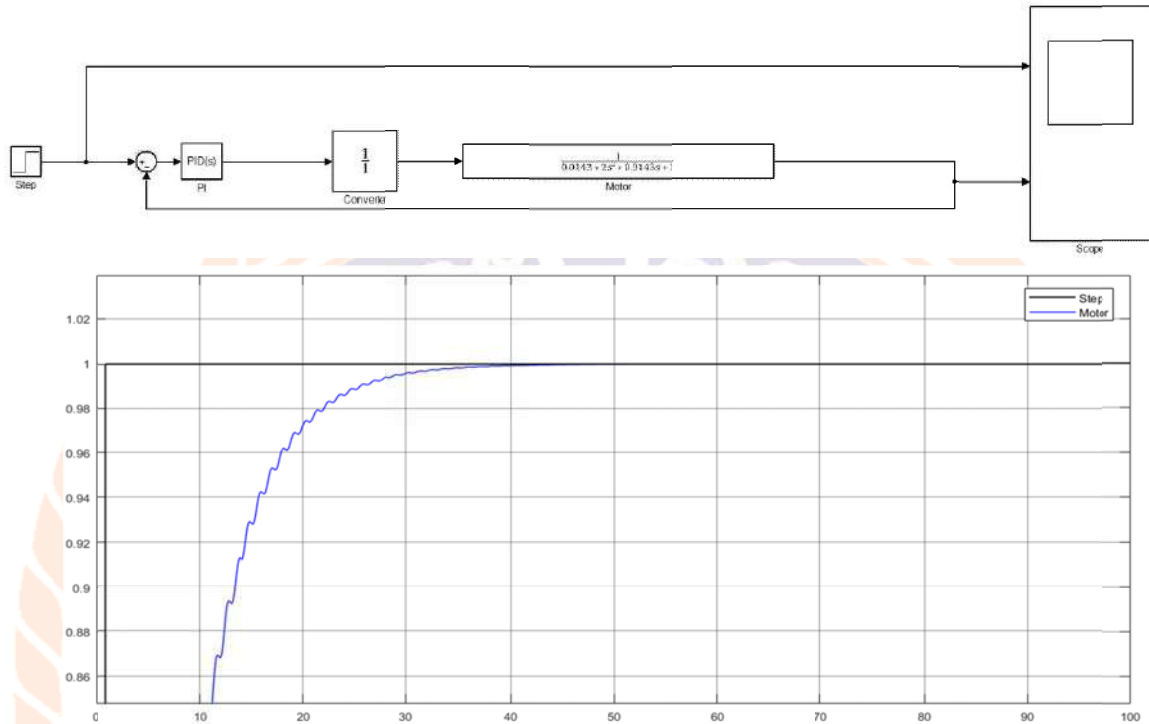
กรณีที่ 3 เมื่อป้อนอินพุตฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยให้กับตัวควบคุมพีไอได้ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตเป็นดังรูปที่ 4.11 เมื่อกำหนดให้ $K_p=2$ และ $K_i=6$



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นของอินพุตและเอาต์พุตกรณีตัวควบคุมไอพี

4.2.3 รูปปิด

ระบบควบคุมแบบปิด กำหนดให้อินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย ผ่านตัวควบคุมพีไอ วงจร เอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ และมอเตอร์ โดยนำเอาต์พุตของมอเตอร์ที่เป็นความเร็วรอบป้อนกลับมายังอินพุต เมื่อกำหนดให้ $K_p = 9.99 \times 10^{-5}$ และ $K_i = 1869$ และค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 รูปคลื่นของอินพุตและเอาต์พุตกรณีตัวควบคุมพีไอในรูปปิด

4.3 ผลการทดสอบ

4.3.1 การทดสอบระบบ

จากรูปที่ 3.1 และรูปที่ 4.1 ทำการทดสอบระบบในกรณีไม่มีตัวควบคุมและมีตัวควบคุมในระบบ หาความสัมพันธ์ของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบกรณีไม่มีตัวควบคุม

Vs (V)	1.38	1.55	1.73	1.96	2.14	2.32
Vm (V)	20	30	44	62	74	86
N (rpm)	200	400	600	800	1000	1200
Vn (V)	-0.82	-1.34	-1.9	-2.65	-3.18	-3.78

Vs (V)	2.51	2.69	2.92	3.11	3.35	
Vm (V)	100	114	126	140	155	
N (rpm)	1400	1600	1800	2000	2200	
Vn (V)	-4.35	-4.9	-5.54	-6.06	-6.67	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบระบบโดยใช้ตัวควบคุมพี

Vs (V)	1.62	2.38	3	3.7	4.45	5
Vm (V)	17	30	45	58	73	85
N (rpm)	200	400	600	800	1000	1200
Vn (V)	-0.7	-1.4	-1.94	-2.5	-3.1	-3.73

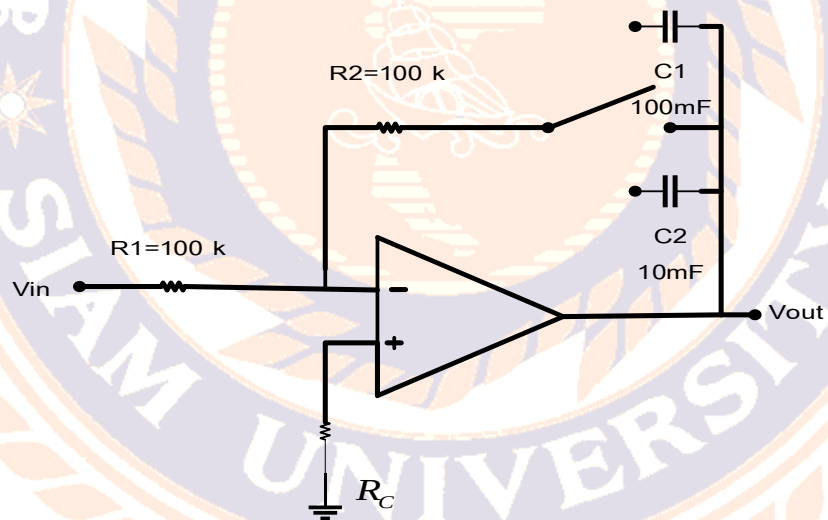
Vs (V)	5.8	6.45	7.2	7.74		
Vm (V)	100	113	12	138		
N (rpm)	1400	1600	1800	2000		
Vn (V)	-4.33	-4.9	-5.51	-6.06		

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบระบบโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

Vs (V)	0.69	1.34	1.95	2.54	3.16	3.72
Vm (V)	15	31	45	59	73	86
N (rpm)	200	400	600	800	1000	1200
Vn (V)	-0.69	-1.35	-1.96	-2.56	-3.18	-3.74

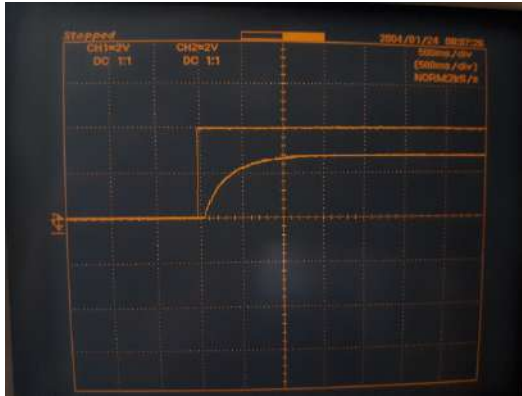
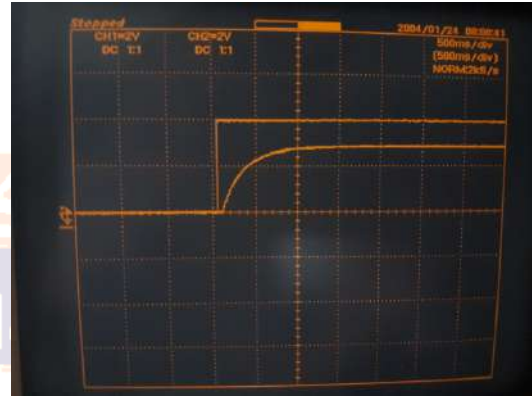
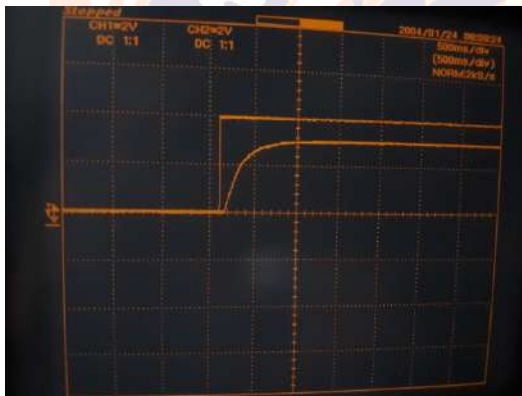
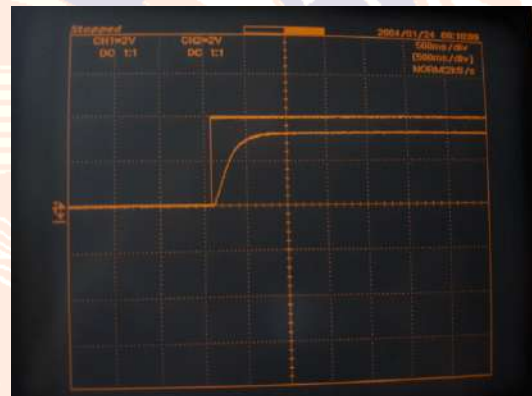
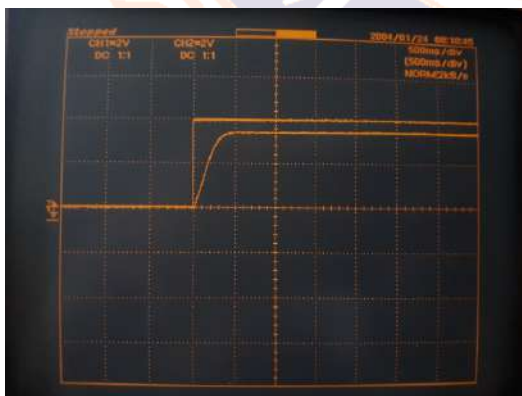
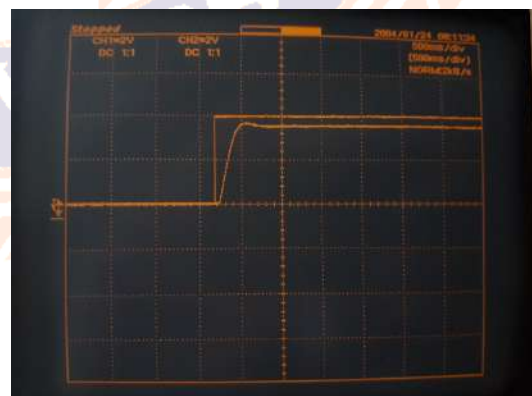
Vs (V)	4.31	4.88	5.45	6.02	6.61	
Vm (V)	100	114	125	140	155	
N (rpm)	1400	1600	1800	2000	2200	
Vn (V)	-4.35	-4.92	-5.5	-6.06	-6.68	

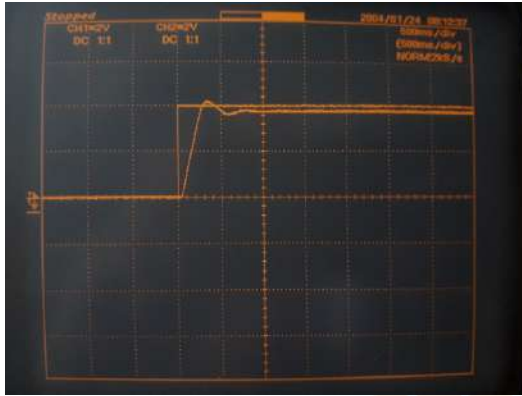
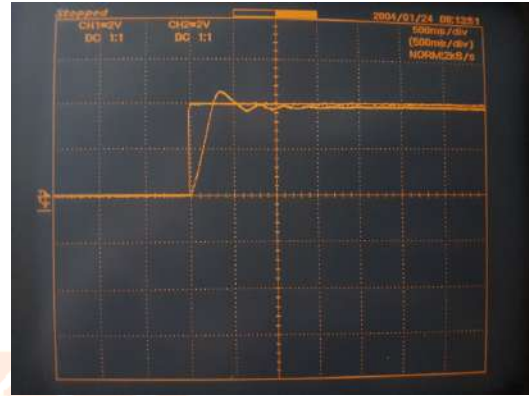
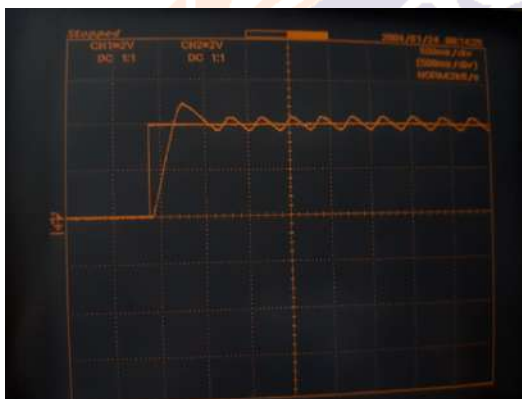
โดยที่วงจรตัวควบคุมพีไอที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 วงจรตัวควบคุมพีไอที่ใช้ในการทดลอง

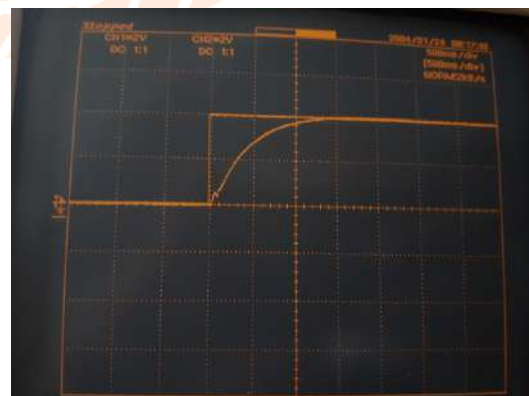
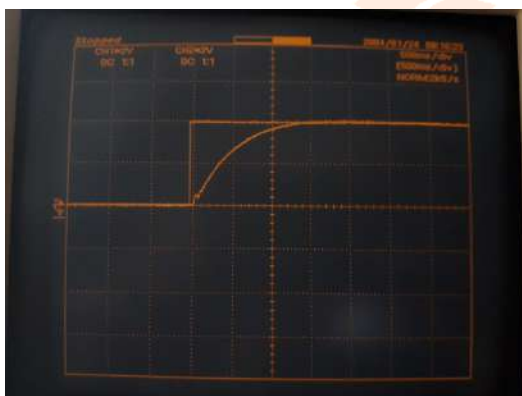
ได้ทำการทดสอบระบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดให้กับระบบ โดยปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพือย่างเดียวกันที่มีค่าต่าง ๆ กัน ได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุต แสดงในรูปที่ 4.14

 $K_p=1$  $K_p=1.1$  $K_p=1.25$  $K_p=1.4$  $K_p=1.7$  $K_p=2$

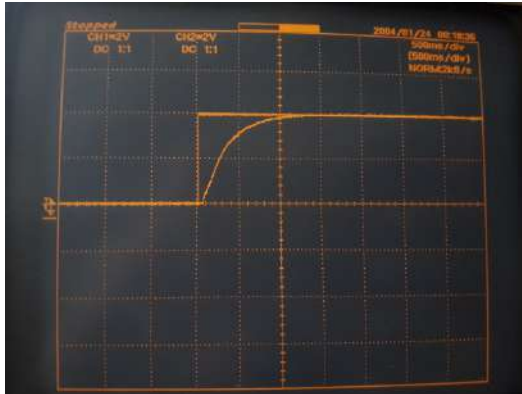

 $K_p=2.5$

 $K_p=3$

 $K_p=3.5$

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของระบบที่ค่าอัตราขยายค่าต่าง ๆ กัน

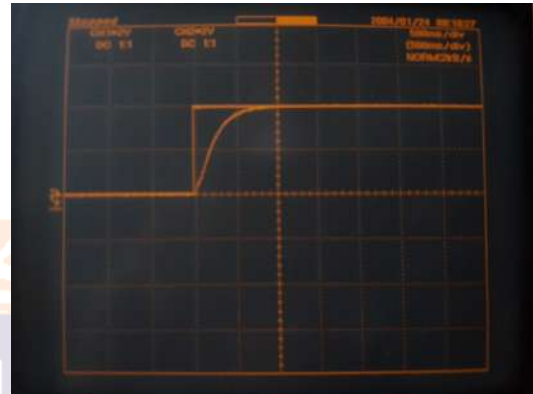
ทำการทดสอบระบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดให้กับระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ โดยปรับค่าอัตราขยาย K_p ที่มีค่าต่าง ๆ กันตามรูปที่แสดงไว้ ได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุต แสดงในรูปที่ 4.15 โดยกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุ $C_2 = 10 \text{ mF}$



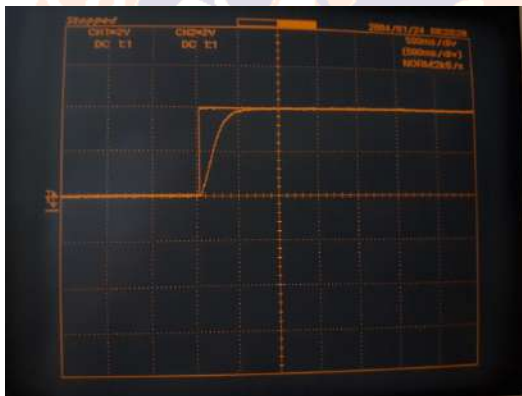
$$K_i=1$$



$$K_i=1.1$$



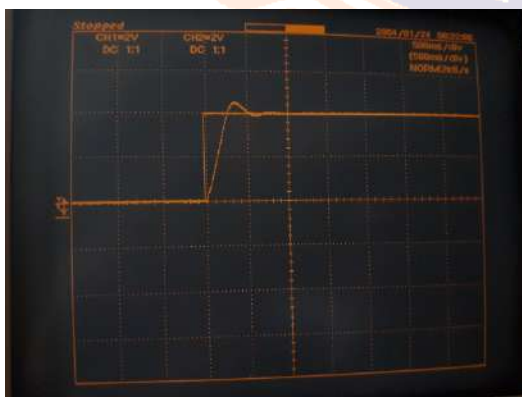
$$K_i=1.25$$



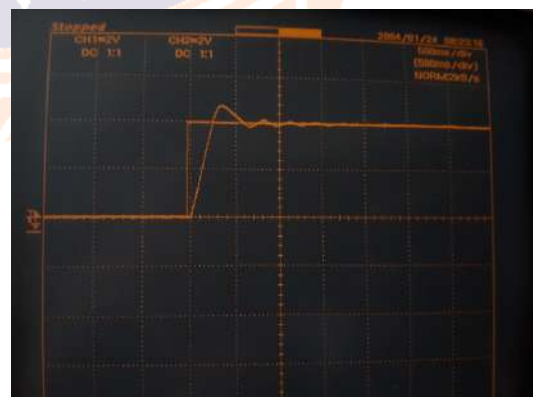
$$K_i=1.4$$



$$K_i=1.7$$

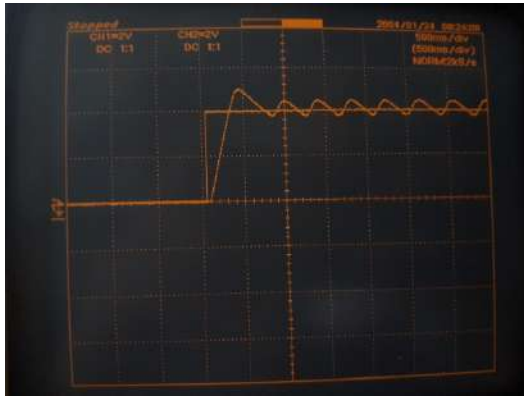


$$K_i=2$$



$$K_i=2.5$$

$$K_i=3$$



$K_f=3.5$

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของระบบปรับค่า K_f ต่าง ๆ กัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลของโครงการ

- 5.1.1 ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อจำลองแบบการทำงานของระบบควบคุม
- 5.1.2 กรณี P น้อยมากจะไม่ Overshoots แต่ก็จะไม่เข้า Setpoint
- 5.1.3 กรณี P มากขึ้นมามาก จะเกิดการ Overshoots และก็จะเข้า Setpoint
- 5.1.4 กรณี P มาก ๆ จะเกิดการ ออกซิเลต และจะไม่เข้า Setpoint
- 5.1.5 แก้ไขโดยการเพิ่มตัวควบคุม I เข้าไป
- 5.1.6 ผลการทดสอบได้ผลใกล้เคียงกับที่คาดการณ์ไว้

5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงการ

- 5.2.1 อุปกรณ์มีความทนทานต่อแรงดันที่จำกัด ดังนั้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่เกินอาจทำให้อุปกรณ์เหล่านี้เสียหาย ซึ่งไม่สามารถที่จะรู้ได้และอาจทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เสียหายตามไปด้วย ดังนั้นจึงเสียเวลาในการตรวจเช็ควงจร
- 5.2.2 ขาดความเข้าใจระบบโดยรวม จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

5.3 วิธีแก้ไขและข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 การเลือกอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในส่วนผลการทดลอง ดังนั้นควรที่จะศึกษาและทำการบันทึกค่าของอุปกรณ์ที่มีผลถูกต้องตรงตามทฤษฎี เพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการทดลอง
- 5.3.2 ศึกษาระบบให้เข้าใจก่อนลงปฏิบัติงานจริง

บรรณานุกรม

นางสาวสุนิศา สอนเมือง. (2553). การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีเอแบบเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีพีชคณิต.

(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

จิรายุทธ แก้วอาสา. (ธันวาคม 2549). ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดบน

จอกอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 49(4) 26-28

สืบค้นจาก <http://bmesensor.blogspot.com/p/blog-page.html>

สืบค้นจาก <http://pubhtml5.com/ugnh/kfdx/basic>

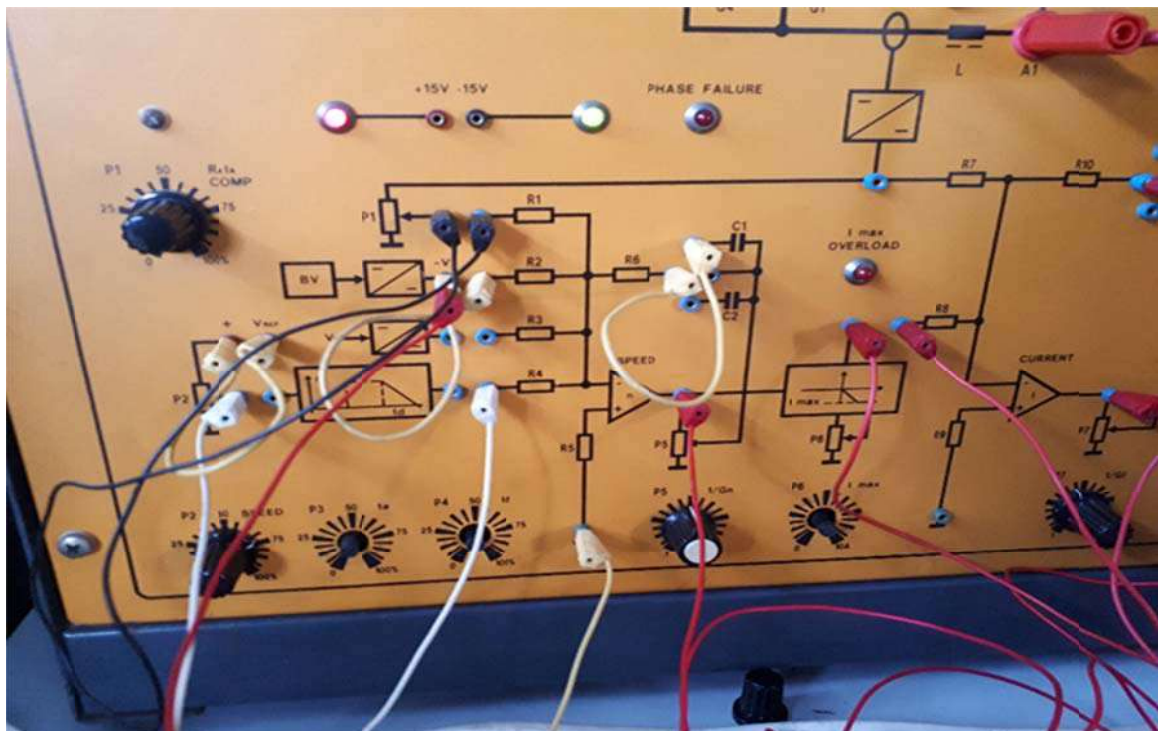




ภาคผนวก



อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



ตัวควบคุมฟีด



มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น



Electric Generator

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ นายชนะชัย คະณะวาปี

วันเดือนปีเกิด 13 กันยายน 2536

โทร. 0652354561

วุฒิการศึกษา

2552-2555: ปวช. สาขาไฟฟ้ากำลัง เทคโนโลยีหมู่บ้านครู

2555-2562: ปริญญาตรี กำลังศึกษา วศ.บ.วิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิต (ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยสยาม

ตำแหน่ง นักศึกษา

ทุนการศึกษา กองทุนเงินกู้ยืมเพื่อการศึกษาที่ผูกกับรายได้ในอนาคต (กรอ.)

ผลงานทางวิชาการ

ชนะชัย คະณะวาปี. (เมษายน 2562). การศึกษาการควบคุม

ความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ