

การพัฒนาชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม
DEVELOPMENT OF PUMP CONTROL ELECTRO-HYDRAULIC
EXPERIMENTAL SETUP



กัญจพร สีสา
ธนกร แต่งสวัสดิ์
ธนวัฒน์ ลือสั้น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม
DEVELOPMENT OF PUMP CONTROL ELECTRO-HYDRAULIC
EXPERIMENTAL SETUP



กัญจพร สีสา
ธนกร แต่งสวัสดิ์
ธนวัฒน์ ลือสั้น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PUMP CONTROL ELECTRO-HYDRAULIC
EXPERIMENTAL SETUP



Kanjaporn Seesa
Thanakorn Tangsawat
Thanawat Luelan

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION
ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2566

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง

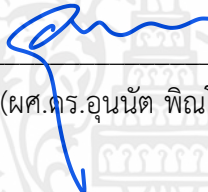
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม

DEVELOPMENT OF PUMP CONTROL ELECTRO-HYDRAULIC EXPERIMENTAL
SETUP

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกัญจพร สีสา รหัสประจำตัว 63010053
2. นายธนกร แต่งสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 63010390
3. นายธนวัฒน์ ลือลั่น รหัสประจำตัว 63010427



(ผศ.ดร.อนันต์ พิณโสภณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม
นางสาวกัญญาพร สีสา รหัสประจำตัว 63010053
นายธนกร แต่งสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 63010390
นายธนวัฒน์ ลือลั่น รหัสประจำตัว 63010427
ผศ.ดร.อนุรัตน์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกด้วยปั๊มไฮดรอลิกที่มีปริมาตรการจ่ายน้ำมันคงที่ที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขับปั๊มไฮดรอลิกผ่านชุดปรับความเร็วรอบแบบอินเวอร์เตอร์ ระบบประกอบไปด้วย 1.ชุดต้นกำลังที่สร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่ประกอบด้วยปั๊มไฮดรอลิกที่ขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ และวาล์วปลดความดัน 2.วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกพร้อมวาล์วกันกลับแบบมีสัญญาณไหล 3.กระบอกสูบก้านเดี่ยวแบบทำงานสองทิศทาง 4.อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ชาย-ขวาของก้านสูบ เพื่อใช้ในการคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ 5.อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน และสุดท้ายคอมพิวเตอร์ควบคุม ทดลองควบคุมการทำงานของระบบที่สร้างขึ้นด้วยการควบคุมแบบเวลาจริง การทดลองการควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ของก้านสูบเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วและระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ที่การควบคุมแบบเปิด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ผลการทดลองการติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงของ ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่การควบคุมแบบเปิดมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม ผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าระบบควบคุมอัตราการไหลของวาล์วเนื่องจากค่าโมเมนต์ความเฉื่อย ของมอเตอร์ไฟฟ้าและปั๊มไฮดรอลิก

คำหลัก: ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก

DEVELOPMENT OF PUMP CONTROL ELECTRO-HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP

Kanjaporn Seesa 63010053

Thanakorn Tangsawat 63010390

Thanawat Luelan 63010427

Asst.Prof.Dr.Unnat Pinsopon Advisor

Year 2566

ABSTRACT

This research proposes the control of the speed of an electro-hydraulic system that regulates the flow rate of hydraulic oil using a fixed displacement hydraulic pump controlled by an electric induction motor with variable speed through an inverter. The system consists of 1. A hydraulic power unit that generates the flow rate of hydraulic oil, comprising of a hydraulic pump driven by an electric induction motor capable of variable speed control through an inverter, and a pressure relief valve. 2. Control valves for controlling the direction of hydraulic oil flow, including check valves with signal amplifiers. 3. A bidirectional single-rod actuator. 4. Position sensing devices to measure the movement of the actuator for calculating the velocity of the actuator. 5. Pressure sensing devices. Lastly, a computer-based control system is used to experimentally control the system's operation in real-time. The experiments compare the control of actuator velocity between a valve-controlled flow rate system and a pump-controlled flow rate system presented in this research. The open-loop control system is tested to evaluate the performance of the system. The experimental results show that both open-loop and closed-loop control of the flow rate using the pump have better performance than the valve-controlled flow rate system in terms of frequency response due to lower moment of inertia of the electric motor and hydraulic pump.

Keywords: electrohydraulic system

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.อุนนต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้ปริญญาานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณรุ่นพี่ นายทศพล แจ่มน้อย และ นายวีระพงษ์ จันทร์บัว ที่ได้ริเริ่มทำชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงให้คำแนะนำในการสานต่อโครงการนี้

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางรางที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณเพื่อน ๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางรางที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบโอกาสและเอื้อเพื่อสถานที่ในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวกัญจพร สีสา
นายธนกร แต่งสวัสดิ์
นายธนวัฒน์ ลือถั่น

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	5
ABSTRACT	6
กิตติกรรมประกาศ	7
สารบัญ	8
สารบัญรูป	12
สารบัญรูป (ต่อ)	13
สารบัญรูป (ต่อ)	14
สารบัญรูป (ต่อ)	15
สารบัญรูป (ต่อ)	16
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ระบบอิเล็กทรอนิกส์	4
2.1.1 อุปกรณ์พื้นฐานของระบบอิเล็กทรอนิกส์	4
2.1.1.1 ชุดต้นกำลังของระบบไฮดรอลิก (Power Unit)	5
2.1.1.2 วาล์วควบคุม (Control Valve)	5
2.1.1.3 อุปกรณ์ทำงาน (Actuator)	5
2.2 วงจรของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Circuit)	6
2.2.1 วงจรควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control Circuit)	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วงจรควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control Circuit).....	6
2.3 การส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก.....	7
2.4 แรงและความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก.....	8
2.5 อัตราการไหลจากปั๊มไฮดรอลิก (Pump Flow Rate).....	9
2.6 สมการไหลผ่านออริฟิส (Orifice Flow Equation).....	10
2.7 วงจรออปแอมป์.....	10
2.8 ระบบดักข้อมูล (Data Acquisition).....	11
2.9 การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibrate).....	11
2.9.1. ไม่มีเซนเซอร์ที่สมบูรณ์แบบ.....	11
2.9.2. เซนเซอร์เป็นเพียงส่วนประกอบเดียวในระบบการวัด.....	12
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	20
3.1 อุปกรณ์ในชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก.....	21
3.1.1 อุปกรณ์ทำงานในชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก.....	21
3.1.1.1 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก (Power Unit).....	21
3.1.1.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor).....	22
3.1.1.1.2 ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump).....	22
3.1.1.1.3 วาล์วปลดความดัน (Pressure Relief Valve).....	22
3.1.1.1.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	23
3.1.1.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve).....	24
3.1.1.3 กระบอกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder).....	24
3.2 ระบบตรวจวัด (Measurement System).....	25
3.2.1. เซนเซอร์วัดแรง (Load cell).....	25
3.2.2. เซนเซอร์วัดตำแหน่ง (Position Sensor).....	25
3.2.3. เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor).....	25
3.2.4. เซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์ (Rotary encoder).....	26
3.2.5. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier).....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6. วงจรออปแอมป์ (Op-Amp Circuits).....	27
3.2.7. มิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Rate Meter).....	27
3.3 ระบบควบคุม (Control System)	28
3.3.1. คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Processing Computer).....	28
3.3.2. การ์ดติดต่อสื่อสาร (Data Acquisition Card)	28
3.3.3. หม้อแปลงไฟฟ้า (Power Supply).....	29
3.3.4. โปรแกรม LabVIEW.....	30
3.3.5. กล่องควบคุม	31
3.4 วิธีการทดลอง.....	36
3.4.1 ออกแบบกล่องควบคุม (Design control box).....	36
3.4.1.1. ช่อง Analog input (AI channel)	36
3.4.1.1.1. เซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ.....	36
3.4.1.1.2 เซนเซอร์วัดความดัน	39
3.4.1.2. ช่อง Analog Output (AO channel).....	41
3.4.1.2.1 Proportional Valve	41
3.4.1.2.2 Inverter	41
3.4.1.3. ช่อง Counter source (PFI channel)	42
3.4.1.3.1 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์ (Rotary encoder).....	42
3.4.2 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมป้อน (Open Loop Control system with pump)	43
3.4.3 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมวาล์ว (Open Loop Control system with proportional valve).....	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	49
4.1 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมแบบเปิด	49
4.1.1 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมป้อน	49
4.1.2 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมวาล์ว	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 เปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบระบบเปิด	70
5.2 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาการลู่เข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิง	70
5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก.....	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ที่ป้อนด้วยมือ	1
รูปที่ 1.2 แสดงระบบควบคุมชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ที่ป้อนด้วยมือ	2
รูปที่ 2.1 แสดงแบบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบควบคุมแบบเปิด	6
รูปที่ 2.2 แสดงแบบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบควบคุมแบบปิด	6
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก	7
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการทำงานของกระบอกสูบ	8
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier)	10
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเซนเซอร์กับตัวแปรที่วัดค่า	12
รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ [1]	13
รูปที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมการควบคุมแรงและความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ [2]	14
รูปที่ 2.9 แสดงไดอะแกรมการควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ [3]	14
รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมการควบคุมแรงของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ [4]	15
รูปที่ 2.11 แสดงความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขับปั๊มด้วยสัญญาณแบบขั้นบันได [5]	16
รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองความเร็วที่สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดระหว่างระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วและระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม [6]	16
รูปที่ 2.13 แสดงผลตอบสนองความเร็วที่ความถี่แบนวิทของตัวควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว [7]	17
รูปที่ 2.14 แสดงผลตอบสนองความเร็วที่ความถี่แบนวิทของตัวควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม [7]	17
รูปที่ 2.15 แสดงไดอะแกรมของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว [8]	18
รูปที่ 2.16 แสดงไดอะแกรมของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม [8]	19
รูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ที่ป้อนด้วยมือ	20
รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์	20
รูปที่ 3.3 แสดงชุดต้นกำลังไฮดรอลิก	21
รูปที่ 3.4 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าสลับ	22
รูปที่ 3.5 แสดงปั๊มไฮดรอลิก	22
รูปที่ 3.6 แสดงวาล์วปลดความดัน	23
รูปที่ 3.7 แสดงอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	23
รูปที่ 3.8 แสดงวาล์วควบคุมทิศทางและอัตราการไหลแบบสัดส่วน	24
รูปที่ 3.9 แสดงกระบอกสูบไฮดรอลิกแบบสองก้านสูบ ทำงานสองทิศทาง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.10 แสดงเซนเซอร์วัดแรง	25
รูปที่ 3.11 แสดงเซนเซอร์วัดตำแหน่ง	25
รูปที่ 3.12 แสดงเซนเซอร์วัดความดัน	26
รูปที่ 3.13 แสดงเซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์	26
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ ยี่ห้อ KYOWA รุ่น WGA-100B-10	27
รูปที่ 3.15 แสดง Op-Amp Circuits	27
รูปที่ 3.16 แสดงมิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Rate Meter)	28
รูปที่ 3.17 แสดงคอมพิวเตอร์ประมวลผล	28
รูปที่ 3.18 แสดง NI USB-6001	29
รูปที่ 3.19 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้า รุ่น LRS-100-24 และ RT-65B ตามลำดับ	30
รูปที่ 3.20 แสดง Front panel	30
รูปที่ 3.21 แสดง Block diagram	31
รูปที่ 3.22 แสดงแบบของกล่องควบคุม (Front view)	31
รูปที่ 3.23 แสดงแบบของกล่องควบคุม (Top view)	32
รูปที่ 3.24 แสดง Diagram การต่อสัญญาณเข้า-ออก NI USB 6001	33
รูปที่ 3.25 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ที่ระยะ 0 ถึง 100.02 เซนติเมตร	36
รูปที่ 3.26 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่ระยะ 0 ถึง 50 เซนติเมตร	37
รูปที่ 3.27 แสดงวงจร Op-Amp สำหรับเซนเซอร์วัดระยะ	37
รูปที่ 3.28 แสดง Calibration Chart ของวงจร Op-Amp สำหรับเซนเซอร์วัดระยะ	38
รูปที่ 3.29 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้ว	38
รูปที่ 3.30 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์เซนเซอร์วัดความดัน	39
รูปที่ 3.31 แสดงวงจร Op-Amp สำหรับเซนเซอร์วัดความดัน	40
รูปที่ 3.32 แสดง Calibration Chart ของวงจร Op-Amp สำหรับเซนเซอร์วัดความดัน	40
รูปที่ 3.33 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดความดันที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้ว	41
รูปที่ 3.34 แสดง Calibration Chart ของ Inverter	42
รูปที่ 3.35 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรในการหาปริมาตรานส์ฟอรัมของระบบควบคุมอัตราการไหล ด้วยปั๊ม	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ปั๊ม กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางขวาเทียบกับเวลา.....	44
รูปที่ 3.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ปั๊ม กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเทียบกับเวลา.....	44
รูปที่ 3.38 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรในการหาวาล์วทรานส์ฟอร์ม์ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว.....	46
รูปที่ 3.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่วาล์ว กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางขวาเทียบกับเวลา.....	47
รูปที่ 3.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่วาล์ว กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายกับเวลา.....	47
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมปั๊มกับอัตราการไหล.....	50
รูปที่ 4.2 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม.....	50
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz.....	51
รูปที่ 4.4 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz.....	51
รูปที่ 4.5 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ที่ได้จากการเฉลี่ย.....	52
รูปที่ 4.6 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม.....	53
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz.....	53
รูปที่ 4.8 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz.....	54
รูปที่ 4.9 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz.....	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.10 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงด้วยปั๊ม.....	55
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz	55
รูปที่ 4.12 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz.....	56
รูปที่ 4.13 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz.....	56
รูปที่ 4.14 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงด้วยปั๊ม.....	57
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz	58
รูปที่ 4.16 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz.....	58
รูปที่ 4.17 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz.....	59
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมวาล์วกับอัตราการใช้เพลิง.....	60
รูปที่ 4.19 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงด้วยวาล์ว.....	60
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz	61
รูปที่ 4.21 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz.....	61
รูปที่ 4.22 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้เพลิงด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.23 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์ว.....	63
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz	63
รูปที่ 4.25 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz	64
รูปที่ 4.26 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz	64
รูปที่ 4.27 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์ว.....	65
รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz	65
รูปที่ 4.29 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz.....	66
รูปที่ 4.30 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz	66
รูปที่ 4.31 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์ว.....	67
รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz	68
รูปที่ 4.33 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz.....	68
รูปที่ 4.34 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการใช้ด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) คือระบบส่งกำลังที่อาศัยของเหลวเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน จากนั้นเปลี่ยนพลังงานของของไหลให้เป็นพลังงานกล ระบบไฮดรอลิกถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบอุตสาหกรรม เช่น ระบบอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน มีความสามารถให้กำลังที่สูง มีการตอบสนองที่รวดเร็ว และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น แม่แรงไฮดรอลิก รถเครน เครื่องยก และเครื่องดึงขึ้นงาน เป็นต้น ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาระบบไฮดรอลิกให้ถูกควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก (Electro Hydraulic System) โดยมีการพัฒนาให้มีการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไฮดรอลิก การควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไฮดรอลิก และการควบคุมแรงของกระบอกสูบไฮดรอลิก เนื่องจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกมีความสามารถในการส่งถ่ายกำลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถควบคุมพลังงาน จึงมีการประยุกต์ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อดำเนินการศึกษา และต่อยอดชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ป้อน เนื่องจากชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ป้อนเป็นชุดทดลองเดิมที่มีอยู่และไม่ได้มีการใช้งานมานาน ทำให้อุปกรณ์และระบบควบคุมบางส่วนมีการชำรุดเสียหาย รวมถึงระบบการวางสายของอุปกรณ์เดิมมีความยุ่งเหยิงไม่เป็นระเบียบ ทำให้ยากต่อการใช้งาน



รูปที่ 1.1 แสดงชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ป้อนเดิมที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงระบบควบคุมชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วที่ป้อนเดิมที่มีอยู่

คณะผู้จัดทำปริญญาโทจึงได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วที่ป้อน โดยการออกแบบระบบการวางสายของอุปกรณ์ จัดทำกล่องควบคุม และระบบควบคุมใหม่ผ่านโปรแกรม LabVIEW ให้สามารถควบคุมการทำงานและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้ง่ายต่อการนำชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วที่ป้อนไปศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. พัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วที่ป้อนเดิม
2. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยโปรแกรม LabVIEW
3. ศึกษาและออกแบบวงจรไฟฟ้าของชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลและการควบคุมด้วยป้อน
4. เพื่อเปรียบเทียบการควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลและการควบคุมป้อน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. ได้กล่องควบคุมชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วที่ป้อน
2. สามารถใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมและแสดงผลการทำงานของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วที่ป้อนและวาล์วได้
3. โปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านค่าจากเซนเซอร์ทุกตัวและแสดงค่าได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม ประกอบไปด้วยวาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพพอนันต์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส สามารถปรับความถี่รอบการหมุนของมอเตอร์ได้ตามสัญญาณที่รับมาจาก Inverter และ ระบายกลับไฮดรอลิกชนิดทำงานสองทิศทางแบบสองก้านสูบ มีระยะเคลื่อนที่สูงสุดที่ 500 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 40 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มม. เป็นอุปกรณ์ทำงาน ซึ่งแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 แบบ คือ แบบ Open loop Control ควบคุมด้วยวาล์ว และแบบ Open loop Control ควบคุมด้วยปั๊ม

2. โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบระบบควบคุมและแสดงผลค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวข้องกับระบบไฮดรอลิก ระบบไฟฟ้ากำลังและเครื่องมือวัดต่าง ๆ
2. ศึกษาระบบควบคุมวงจรมอเตอร์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม และโปรแกรม LabVIEW
3. ออกแบบโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการควบคุมและแสดงผล
4. ออกแบบกล่องควบคุมของชุดทดลองระบบไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม
5. แก้ปัญหาและปรับปรุงชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม
6. รวบรวมและเก็บค่าข้อมูลจากการทดสอบ
7. สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินการ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาและปรับปรุงการทำงานของชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก
2. ได้กล่องควบคุมชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกควบคุมที่ปั๊ม
3. สามารถนำไปต่อยอดความรู้จากชุดทดลองไปสู่การใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) เป็นระบบที่ส่งกำลังโดยอาศัยของเหลวเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน จากนั้นเปลี่ยนพลังงานการไหลให้เป็นพลังงานกล ทำให้ได้กำลังที่สูงกว่าการส่งกำลังในรูปแบบอื่น ในการใช้งานต่าง ๆ โดยทั่วไปประกอบด้วยปั๊มไฮดรอลิก โหลดไฮดรอลิก และวาล์วควบคุม ระบบนี้สามารถใช้ในการใช้งานต่าง ๆ เช่น ทางด้านอุตสาหกรรมและระบบยานยนต์ ระบบไฮดรอลิกช่วยให้สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ และการส่งกำลังที่มีประสิทธิภาพทำให้เหมาะสำหรับงานหนัก สามารถควบคุมได้โดยใช้ตัวควบคุมที่ประมวลผลตัวแปรอินพุตและกำหนดสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ระบบอาจรวมถึงวาล์วระบายน้ำเพื่อควบคุมการไหลของของเหลวและความดันโดยรวมแล้วระบบไฮดรอลิกมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่ต้องการการส่งพลังงานที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ

ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก (Electro Hydraulic System) เป็นระบบไฮดรอลิกที่ควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกมีการพัฒนาและใช้งานทั้งการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไฮดรอลิก การควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไฮดรอลิก และการควบคุมแรงของกระบอกสูบไฮดรอลิก เนื่องจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกมีความสามารถในการส่งถ่ายกำลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถควบคุมพลังงาน จึงมีการประยุกต์ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เครื่องกด แม่แรงไฮดรอลิก รถเครน และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นต้น

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกของระบบไฮดรอลิกสามารถที่จะควบคุมอัตราการไหลได้โดยปั๊ม ควบคุมโดยวาล์วหรือควบคุมรวมกันทั้งคู่ สำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส่วนใหญ่จะใช้ปั๊มที่มีปริมาตรการจ่ายน้ำมันคงที่ (Fixed Displacement Pump) สำหรับการควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกจะใช้ปั๊มที่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาตรการจ่ายน้ำมันได้ (Variable Displacement Pump) ตามภาระโหลด

2.1.1 อุปกรณ์พื้นฐานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก

ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกเป็นระบบที่มีการส่งงานด้วยไฟฟ้า อุปกรณ์พื้นฐานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก ประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังสำหรับสร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก อุปกรณ์ควบคุมทิศทางและอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก และอุปกรณ์ทำงาน เป็นต้น โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์พื้นฐานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 ชุดต้นกำลังของระบบไฮดรอลิก (Power Unit)

ชุดต้นกำลังของระบบไฮดรอลิกทำหน้าที่สร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้

- **ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump)** ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานของไหล มีหน้าที่สร้างการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก แล้วจ่ายอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่ระบบ ปั๊มไฮดรอลิกจะเป็นปั๊มประเภทปริมาตรการจ่ายน้ำมันคงที่มีด้วยกันหลายชนิด เช่น ปั๊มแบบเฟือง ปั๊มแบบเวน และปั๊มแบบลูกสูบ เป็นต้น

- **วาล์วปลดความดัน (Pressure Relief Valve)** ทำหน้าที่ควบคุมความดันของระบบตามที่ได้กำหนด ซึ่งสามารถปรับความดันของระบบได้ตามสภาวะการทำงานจริง เมื่อระบบมีความดันเกินกว่าที่กำหนด วาล์วปลดความดันจะทำการเปิดให้น้ำมันไฮดรอลิกระบายกลับถังพัก เพื่อเป็นการรักษาความดันในระบบให้มีค่าคงที่ และเพื่อรักษาความปลอดภัยของอุปกรณ์

- **ชุดขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิก (Prime Mover)** ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิก เพื่อเปลี่ยนกำลังของของไหลให้เป็นกำลังทางกลในแนวหมุน และสร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก ชุดขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิกสามารถเป็นได้ทั้งมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์

2.1.1.2 วาล์วควบคุม (Control Valve)

วาล์วควบคุมเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมไฟฟ้าให้เป็นการทำงานของของไหลในระบบไฮดรอลิก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พรอพพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) และเซอร์โววาล์ว (Servo valve)

2.1.1.3 อุปกรณ์ทำงาน (Actuator)

อุปกรณ์ทำงานทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกให้เป็นพลังงานทางกลแบบเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่เชิงมุม โดยมีรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

- **กระบอกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder)** ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหล ให้เป็นพลังงานกลแบบเคลื่อนที่เชิงเส้น โดยทั่วไปกระบอกสูบไฮดรอลิกมีด้วยกัน 2 แบบ คือ กระบอกสูบแบบทำงานสองทิศทาง (Double Acting Cylinder) และกระบอกสูบแบบทำงานทิศทางเดียว (Single Acting Cylinder)

- **มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor)** มอเตอร์ไฮดรอลิกทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกให้เป็นพลังงานกลแบบเคลื่อนที่เชิงมุม ซึ่งมอเตอร์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของมอเตอร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบเฟือง (Gear Motor) มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบเวน (Vane Motor) และมอเตอร์ไฮดรอลิกแบบลูกสูบ (Piston Motor)

2.2 วงจรของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Circuit)

วงจรในระบบไฮดรอลิกที่ใช้ควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ วงจรควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control Circuit) และ วงจรควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control Circuit) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 วงจรควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control Circuit)

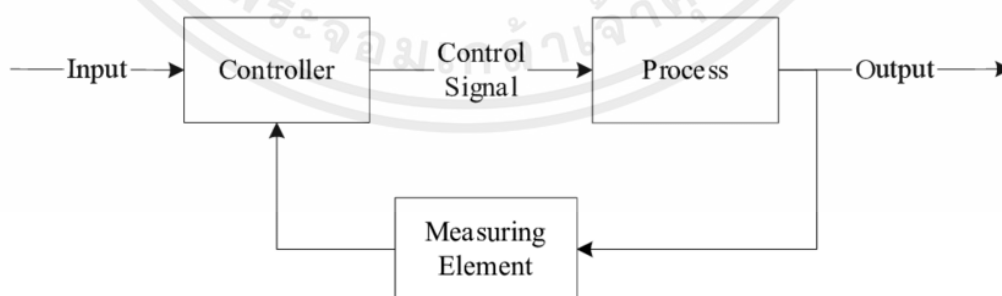
วงจรควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control Circuit) คือระบบที่มีการป้อนอินพุตซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ และได้สัญญาณออกหรือเอาต์พุต โดยไม่มีการป้อนสัญญาณกลับมาที่ระบบ ซึ่งวงจรควบคุมแบบเปิดเป็นวงจรที่มีการต่ออุปกรณ์ที่ง่าย ระบบไม่ค่อยมีความซับซ้อน และสามารถควบคุมระบบได้ง่าย จึงเป็นวงจรควบคุมที่นิยมใช้กันทั่วไป



รูปที่ 2.1 แสดงแบบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบควบคุมแบบเปิด

2.2.2 วงจรควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control Circuit)

ระบบควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control system) หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control systems) คือระบบที่มีการป้อนอินพุตซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ และมีเครื่องมือวัดนำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เป็นระบบการทำงานที่พยายามลดความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตและอินพุตอ้างอิง โดยความต่างต่างนี้ก็คือความผิดพลาดของระบบ (System error) ซึ่งจะถูส่งให้กับตัวควบคุมเพื่อให้ตัวควบคุมสั่งงานในการลดความผิดพลาดนี้ และนำเอาต์พุตไปที่ค่าที่ต้องการ

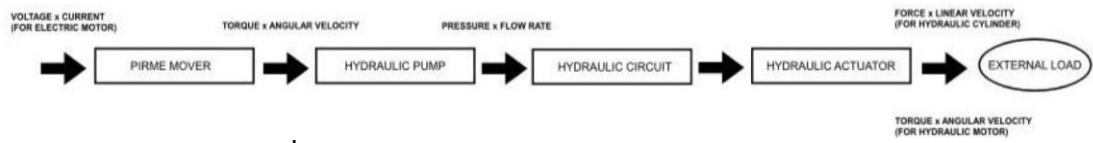


รูปที่ 2.2 แสดงแบบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบควบคุมแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกเป็นเพียงระบบส่งกำลัง จึงที่ต้องอาศัยต้นกำลังจากภายนอก ในที่นี้คือกำลังทางไฟฟ้า ในการเปลี่ยนเป็นกำลังทางกล โดยสามารถอธิบายการส่งกำลังผ่านระบบไฮดรอลิกได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ไฟฟ้า (prime mover) คำนวณได้ดังสมการ

$$\text{Power} = VI(\text{P.F.})$$

- เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)
 I คือ กระแสไฟฟ้า (Ampere)
 P.F. คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

PRIME MOVE ในระบบไฮดรอลิก คือมอเตอร์ไฟฟ้า ค่ากำลังงานคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = T\omega$$

- เมื่อ T คือ แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า (N-m)
 ω คือ ความเร็วเชิงมุม (Rad/s)

HYDRAULIC PUMP ค่ากำลังงานคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = PQ$$

- เมื่อ P คือ ความดัน (Pascal)
 Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

HYDRAULIC CIRCUIT เป็นส่วนที่ไม่มีกำลังงานให้กับระบบ แต่มีการเกิด Head loss ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Major loss : } H_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$\text{Minor loss : } H_{Lm} = K \frac{V^2}{2g}$$

- เมื่อ f คือ Friction factor
 L คือ ความยาวท่อ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)
 K คือ Loss coefficient
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

HYDRAULIC ACTUATOR ในระบบไฮดรอลิก คือ กระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งค่ากำลังงานคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = FV$$

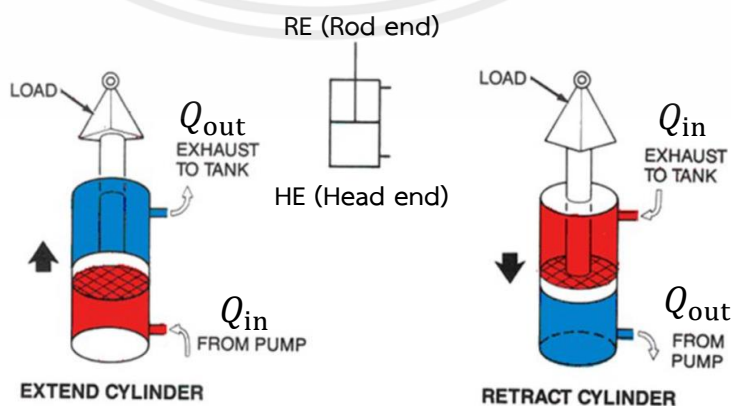
- เมื่อ F คือ แรง (N)
 V คือ ความเร็วของกระบอกสูบ (m/s)

พิจารณาที่ประสิทธิภาพรวมของระบบไฮดรอลิกสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}\eta_{\text{total}} &= \eta_{\text{PM}} \times \eta_{\text{P}} \times \eta_{\text{C}} \times \eta_{\text{A}} \\ &= \frac{T\omega}{VI} \times \frac{P_1Q}{T\omega} \times \frac{P_2Q}{P_1Q} \times \frac{FV}{P_2Q} \\ \eta_{\text{total}} &= \frac{FV}{VI}\end{aligned}$$

- เมื่อ η_{total} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบไฮดรอลิก
 η_{PM} คือ ประสิทธิภาพรวมของ PRIME MOVE
 η_{P} คือ ประสิทธิภาพรวมของ HYDRAULIC PUMP
 η_{C} คือ ประสิทธิภาพรวมของ HYDRAULIC CIRCUIT
 η_{A} คือ ประสิทธิภาพรวมของ HYDRAULIC ACTUATOR

2.4 แรงและความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการทำงานของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระบอกสูบขณะยืดออก

$$F_{\text{ext}} = P_{\text{HE}} \cdot A_{\text{HE}} - P_{\text{RE}} \cdot A_{\text{RE}}$$

ความเร็วกระบอกสูบขณะยืดออก

$$V_{\text{ext}} = \frac{Q_{\text{in}}}{A_{\text{HE}}}$$

แรงกระบอกสูบขณะหดกลับ

$$F_{\text{ret}} = P_{\text{RE}} \cdot A_{\text{RE}} - P_{\text{HE}} \cdot A_{\text{HE}}$$

ความเร็วกระบอกสูบขณะหดกลับ

$$V_{\text{ret}} = \frac{Q_{\text{in}}}{A_{\text{RE}}}$$

เมื่อ	F	คือ แรงของกระบอกสูบ (N)
	V	คือ ความเร็วของกระบอกสูบ (m/s)
	P	คือ ความดัน (Pa)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดภายในของกระบอกสูบ (m ³)
	HE	คือ Head end
	RE	คือ Rod end
	ext	คือ Extend
	ret	คือ Retract

2.5 อัตราการไหลจากปั๊มไฮดรอลิก (Pump Flow Rate)

อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่สร้างจากปั๊มไฮดรอลิกที่ถูกขับด้วยต้นกำลังที่เกิดจากการหมุน เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลออกจากปั๊มจะถูกพิจารณาที่สภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งสามารถแสดงโดยสมการ

$$Q_p = \omega_p N \eta_p$$

เมื่อ	Q_p	คือ อัตราการไหลที่สร้างจากปั๊มไฮดรอลิก (m ³ /s)
	ω_p	คือ ปริมาตรการจ่ายน้ำมันของปั๊มไฮดรอลิก (cc/rev)
	N	คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (rev/min)
	η_p	คือ ประสิทธิภาพของปั๊มไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สมการไหลผ่านออริฟิส (Orifice Flow Equation)

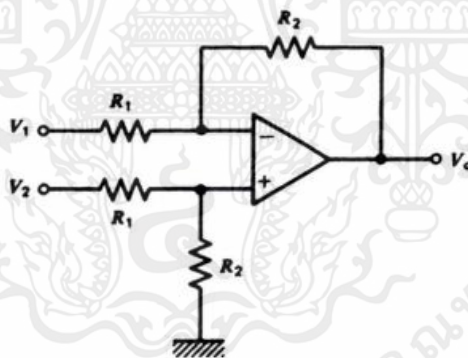
การไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลหรือวาล์วควบคุมทิศทาง และวาล์วควบคุมความดัน สามารถใช้สมการการไหลผ่านออริฟิส (Orifice) อธิบายการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกได้ สมการการไหลผ่านออริฟิสสามารถอธิบายดังสมการ

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}$$

- เมื่อ Q คือ อัตราการไหลที่ไหลผ่านออริฟิส (m^3/s)
 C_d คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายของออริฟิส
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของออริฟิส (m^2)
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
 ΔP คือ ความดันแตกต่างระหว่างทางเข้าและทางออก (N/m^2)

2.7 วงจรออปแอมป์

วงจรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier)



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier)

วงจรรอแอมป์ ชนิดขยายความแตกต่าง (Difference amplifier) ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการขยายสัญญาณความต่างสองสัญญาณ โดยสัญญาณที่ได้ออกมาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

2.8 ระบบดาต้าแอคควิสชัน (Data Acquisition)

เป็นการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยและทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิผลผ่านคอมพิวเตอร์โดยมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการวัดค่าสัญญาณต่างๆ เช่น ระยะเวลายืด แรง ความดัน และอัตราการไหล เป็นต้น จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณที่รับมาผ่านอุปกรณ์ตัวกลางที่สามารถแปลงชนิดข้อมูลเป็นรูปแบบของสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการจัดการข้อมูลด้วยระบบซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้ ซึ่งสามารถรับข้อมูลได้ตามเวลาจริงที่ทำการทดลอง ระบบดาต้าแอคควิสชัน แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- **เซนเซอร์ (sensors) หรือทรานสดิวเซอร์** เป็นการแปลงค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพที่วัดมาได้ เช่น แรง ความดัน และการเคลื่อนที่ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น โวลต์ หรือกระแส เพื่อให้สามารถส่งค่าสู่ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลได้

- **วงจรปรับสัญญาณ (signal conditioning)** ในการทำให้สัญญาณที่วัดมาจากทรานสดิวเซอร์มีคุณภาพมักจะต้องมีการใช้วงจรเพิ่มเติมที่จำเป็นในช่วงก่อนจะส่งค่าที่วัดได้จากทรานสดิวเซอร์สู่ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยทั่วไปวงจรนี้เปรียบเสมือนการปรับสภาพสัญญาณและรวมไปถึงการขยายสัญญาณ การลดทอนสัญญาณ และการกรองสัญญาณ แต่ละทรานสดิวเซอร์จะมีวงจรปรับสัญญาณที่แตกต่างกันออกไป

- **ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล** คือ การนำข้อมูลและทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในระดับที่โปรเซสเซอร์สามารถตีความได้ ยิ่งจำนวนบิตของอุปกรณ์มีค่ามากเท่าไรความละเอียดของข้อมูลก็จะมากขึ้นเท่านั้น ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลมักถูกใช้ในการนำข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์และควบคุมโดยใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้น

2.9 การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibrate)

การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibrate) คือกระบวนการในการตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มีความถูกต้องตามขอบข่ายความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และกำหนดไว้ เพื่อให้ได้มาตรฐานรวมถึงความแม่นยำในการอ่านค่าก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงควรสอบเทียบเซนเซอร์ในระบบที่จะใช้งานจริง ซึ่งสามารถจำแนกเงื่อนไขในการสอบเทียบออกเป็น 2 ข้อ ดังนี้

2.9.1. ไม่มีเซนเซอร์ที่สมบูรณ์แบบ

- การผลิตหมายความว่าแม้แต่เซนเซอร์สองตัวจากการผลิตของผู้ผลิตรายเดียวกันอาจแตกต่างกันเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวัดค่าที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากความร้อน, ความชื้น ฯลฯ ของในระหว่างการเก็บรักษา, การจัดส่ง หรือการประกอบ

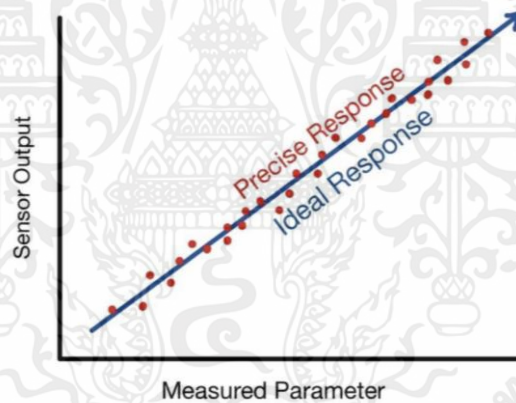
- เซนเซอร์บางอย่างเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น การตอบสนองจะเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป จึงจำเป็นต้องสอบเทียบเครื่องมือเป็นระยะ

2.9.2. เซนเซอร์เป็นเพียงส่วนประกอบเดียวในระบบการวัด

- เซนเซอร์อนาล็อก ADC เป็นส่วนหนึ่งของระบบการวัด และขึ้นอยู่กับความแปรปรวน เช่น การวัดอุณหภูมิขึ้นอยู่กับการไล่ระดับความร้อนระหว่างเซนเซอร์และจุดวัด

- เซนเซอร์วัดแสงและสีอาจได้รับผลกระทบจากการกระจายสเปกตรัมโดยรอบแสงการสะท้อนแบบสเปกตรัมและปรากฏการณ์ทางแสงอื่น ๆ

- เซนเซอร์เฉื่อยมักจะมีข้อผิดพลาด 'ออฟเซตศูนย์' และไวต่อการจัดตำแหน่งกับระบบที่กำลังวัด โดยวิธีการทดสอบการสอบเทียบมีวิธีที่แตกต่างกันไปหลายวิธี ซึ่งในการทดสอบจริงอาจจะมีค่าข้อมูลเข้าและออกที่คลาดเคลื่อน ผลการทดสอบการสอบเทียบจะเห็นได้จากรูปที่ 2.8



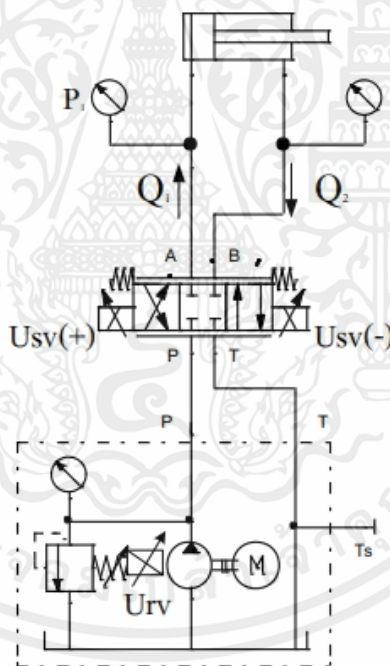
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเซนเซอร์กับตัวแปรที่วัดค่า

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าวิธีการสอบเทียบจะเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรหรือสิ่งที่กำลังสนใจ การอ่านค่าข้อมูลเข้าและออกหลาย ๆ ข้อมูลทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นเพื่อหาความสัมพันธ์หรือทำนายข้อมูลต่าง ๆ จำเป็นต้องหาสมการของการสอบเทียบโดยใช้สมการเส้นตรง (Linear Regression) ซึ่งจะถูกใช้ในการคำนวณค่าที่เป็นตัวเลข

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกมีการวิจัยและพัฒนาด้วยกันหลายลักษณะ เช่น ด้านอุปกรณ์ทำงาน ด้านการควบคุม และด้านการประหยัดพลังงานของระบบ เป็นต้น ซึ่งการพัฒนาหัวข้อที่กล่าวมาข้างต้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน มีรายงานวิจัยมากมายที่ทำการศึกษเกี่ยวกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก ตัวอย่างเช่น

Thaju และ Nasar [1] ศึกษาการควบคุมตำแหน่งของก้านสูบของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่มีค่าเกนคงที่ และตัวควบคุมแบบพีไอดีที่สามารถปรับค่าเกนได้ ทำการทดลองเปรียบเทียบผลตอบสนองของแต่ละการควบคุม รูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังที่สร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกแบบคงที่ วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก ระบายกลับทำงานแบบสองทิศทาง และอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของก้านสูบพร้อมคอมพิวเตอร์ควบคุม ผลการทดลองตัวควบคุมที่สามารถปรับค่าเกนได้มีผลตอบสนองเวลาคงตัว (Settling time) และเวลาขาขึ้น (Rise time) เร็วกว่าระบบที่ใช้ตัวควบคุมที่มีค่าเกนคงที่

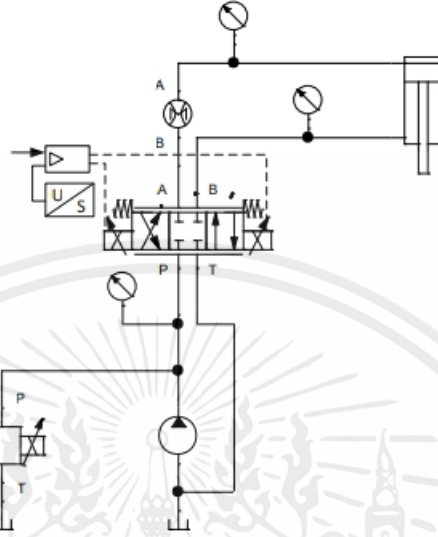


รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก [1]

Salloom และ Abdulqader [2] ศึกษาการควบคุมแรงและความเร็วของเครื่องอัด ที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบพรอพเพอร์ชันนัล และใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลกลับถึงร่วมด้วย ในการทดลองใช้วัสดุคือ copper alloy ที่มีความหนาแตกต่างกันเป็นชิ้นงานในการทดสอบการอัด ผลการทดลองตัวควบคุมสามารถควบคุมแรงและตำแหน่งของระบบตามความหนาของวัสดุทดลองได้ การทดลองนี้สามารถที่จะนำไป

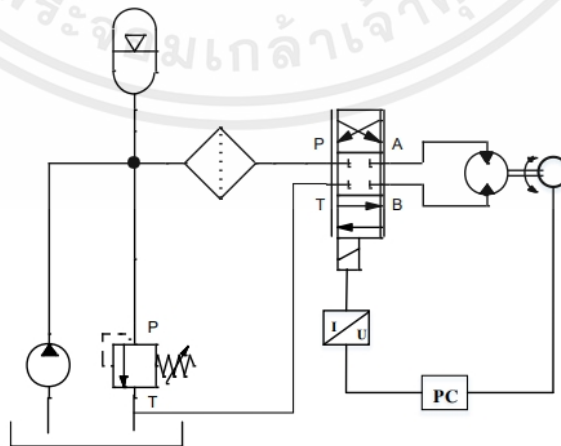
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างเครื่องจักรแบบอัตโนมัติได้ รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบที่ประกอบไปด้วยชุดต้นกำลังที่มีอัตราการไหลคงที่ วาล์วควบคุมความดันแบบพรอพเพอร์ชันนัล วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบพรอพเพอร์ชันนัล ระบายกสูบทำงานแบบสองทิศทาง และอุปกรณ์ตรวจวัดความดันและแรงของระบบเพื่อใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับ



รูปที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมการควบคุมแรงและความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ [2]

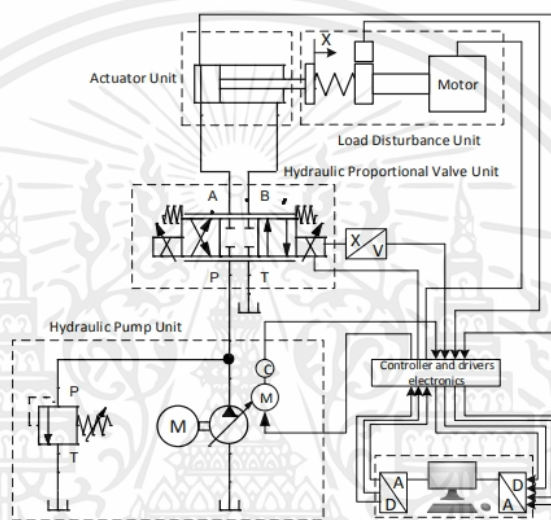
Jovanovic [3] ได้ศึกษาการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกสำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการพิจารณาอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกแบบไม่เชิงเส้น และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตัวควบคุมไม่เชิงเส้นแบบ feedback linearization และแบบ backstepping ถูกใช้ในการควบคุมระบบ รูปที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วยชุดต้นกำลังที่มีอัตราการไหลคงที่ ถึงสะสมความดันเพื่อชดเชยความดันในระบบ วาล์วควบคุมอัตราการไหล มอเตอร์ไฮดรอลิก และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิก ผลการจำลองการทำงานของระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ตัวควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมระบบไม่เชิงเส้นได้



รูปที่ 2.9 แสดงไดอะแกรมการควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ [3]

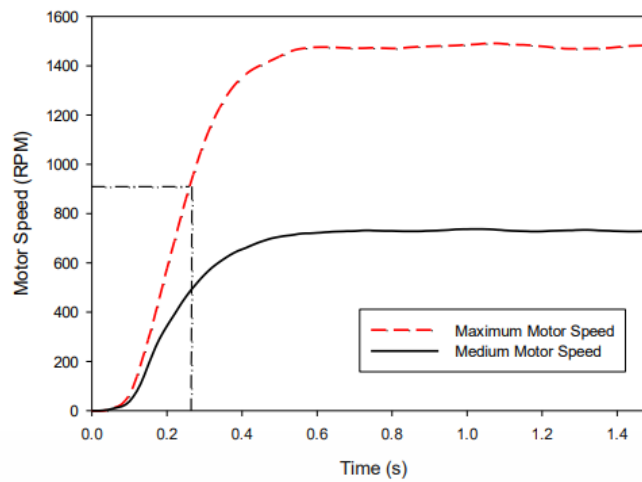
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abdelhameed และคณะ [4] ได้ศึกษาการควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกด้วยปั๊มแบบปรับปริมาตรการจ่ายน้ำมันได้ โดยใช้สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแผ่น Swash Plate ของปั๊ม ผลการทดสอบการทำงานของระบบสามารถควบคุมความเร็วของก้านสูบได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงต้านได้ รูปที่ 2.9 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบ ประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังที่สามารถปรับอัตราการไหลโดยปั๊มที่ควบคุมโดยใช้สเต็ปมอเตอร์ วาล์วควบคุมอัตราการไหล กระจบอกสูบทำงานแบบสองทิศทาง และอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ซึ่งชุดทดลองมีชุดสร้างโพลจำลองโดยใช้สปริงที่สามารถปรับด้วยสเต็ปมอเตอร์



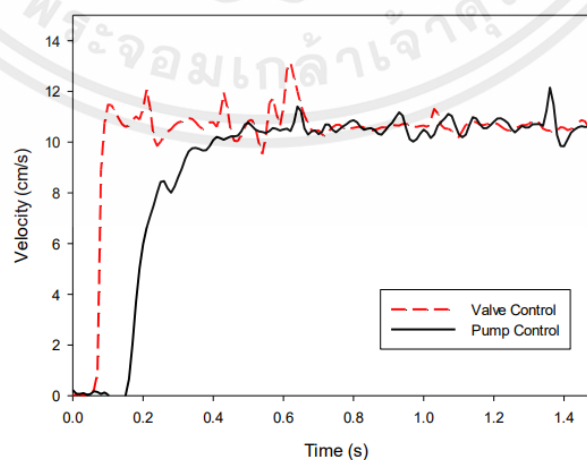
รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมการควบคุมแรงของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก [4]

ทศพล แจ่มน้อย [5] ได้ศึกษาผลการทดลองกับระบบจริง (Real Experiment Results) การทดสอบความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าและอัตราการไหลของปั๊ม เพื่อที่จะทราบผลตอบสนองของความเร็วของ มอเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นทำการวิเคราะห์หาช่วงเวลาขาขึ้น เวลาคงตัว และเวลาหน่วง เป็นต้น ในการทดลองอัตราการไหลที่ปั๊มจ่ายออกไปจะไหลกลับถึงโดยตรง สัญญาณควบคุมแบบขั้นบันได ส่งไปที่อินเวอร์เตอร์(Inverter) เพื่อขับมอเตอร์ไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าถูกคำนวณจากการหมุนของเพลลา สัญญาณที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0 voltage ถึง 8 voltage รูปที่ 2.11 แสดงความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่สัญญาณควบคุมแบบขั้นบันไดที่ 4 voltage และ 8 voltage ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมระดับปานกลางและระดับสูงสุดของระบบ ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ามี ค่าเวลาขาขึ้นประมาณ 0.3 second และเวลาหน่วงประมาณ 0.1 second ซึ่งผลการทดลองนี้จะนำไปหาสมการพลศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 แสดงความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขับปั๊ม ด้วยสัญญาณแบบขั้นบันได[5]

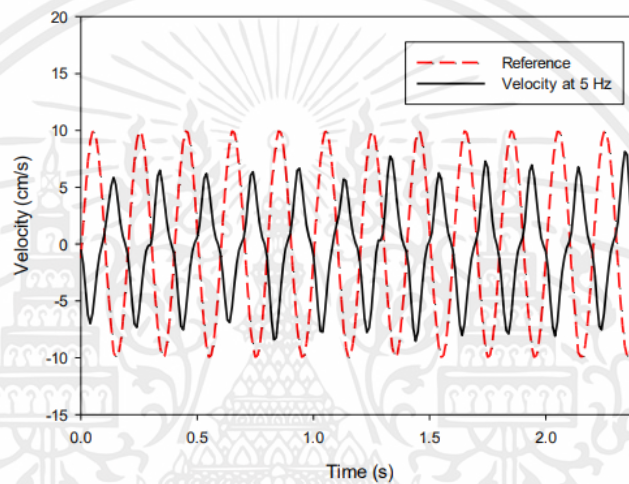
ทศพล แจ่มน้อย [6] ได้ศึกษาผลตอบสนองความเร็วของก้านสูบที่เกิดจากอัตราการไหลของปั๊ม ผ่านวาล์ว ควบคุมอัตราการไหลหรือวาล์วควบคุมทิศทางของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว และปั๊มที่สัญญาณควบคุมที่ระดับปานกลาง [4 voltage] ผลการ ทดลองค่าเวลาขาขึ้น (Rise Time) และเวลาคงตัว (Settling Time) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วเร็วกว่าระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม เหตุผลคือว่า อัตราการไหลของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับปั๊มที่ใช้ขับปั๊ม โมเมนต์ความเฉื่อยที่มากของมอเตอร์ไฟฟ้า และปั๊มไฮดรอลิกทำให้เกิดการไหลที่ช้าในช่วงผลตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) ขณะที่ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกสร้างจากปั๊มที่อัตราการไหลสูงสุดตลอดเวลาผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าเวลา หน่วงประมาณ 0.05 second เวลาขาขึ้นประมาณ 0.02 second และเวลาคงตัวประมาณ 0.05 second และผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มมีค่าเวลาหน่วงประมาณ 0.15 second เวลาขาขึ้นประมาณ 0.15 วินาที และเวลาคงตัวประมาณ 0.35 second



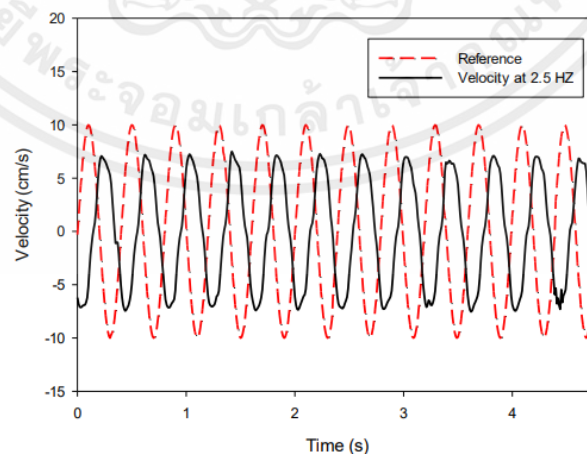
รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองความเร็วที่สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดระหว่างระบบ ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วและระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทศพล แจ่มน้อย [7] ได้ศึกษาผลตอบสนองเชิงเวลาในการติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิง แบบไซน์ที่ความถี่แบนวิทของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์วและปั๊ม วาล์วและปั๊มโมดูละชั้นถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมในการควบคุมแบบเปิด แอมพลิจูดของผลตอบสนองความเร็วในทุกกรณีลดลงจากความเร็วอ้างอิงที่ความถี่ของแบนวิทของระบบค่าแอมพลิจูดของผลตอบสนองความเร็วลดลงที่ความถี่แบนวิทหรือที่ตำแหน่ง -3 dB จากความเร็วอ้างอิง (10 cm/s) มีค่าแอมพลิจูดประมาณ 7 cm/s สำหรับระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์วมีค่าแอมพลิจูดของผลตอบสนองความเร็วอ้างอิงลดลงที่ความถี่ 5 HZ ขณะที่ระบบควบคุม อัตราการใช้วาล์วด้วยปั๊มแอมพลิจูดของผลตอบสนองความเร็วลดลงจากสัญญาณความเร็วอ้างอิงและไม่ สามารถติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงที่ความถี่ประมาณ 2.5 HZ

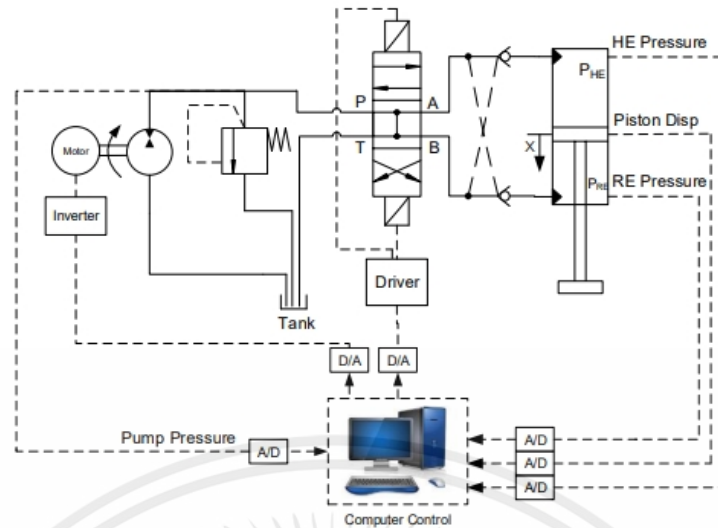


รูปที่ 2.13 แสดงผลตอบสนองความเร็วที่ความถี่แบนวิทของตัวควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุม อัตราการใช้วาล์ว [7]



รูปที่ 2.14 แสดงผลตอบสนองความเร็วที่ความถี่แบนวิทของตัวควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุม อัตราการใช้ปั๊ม [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงไดอะแกรมของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

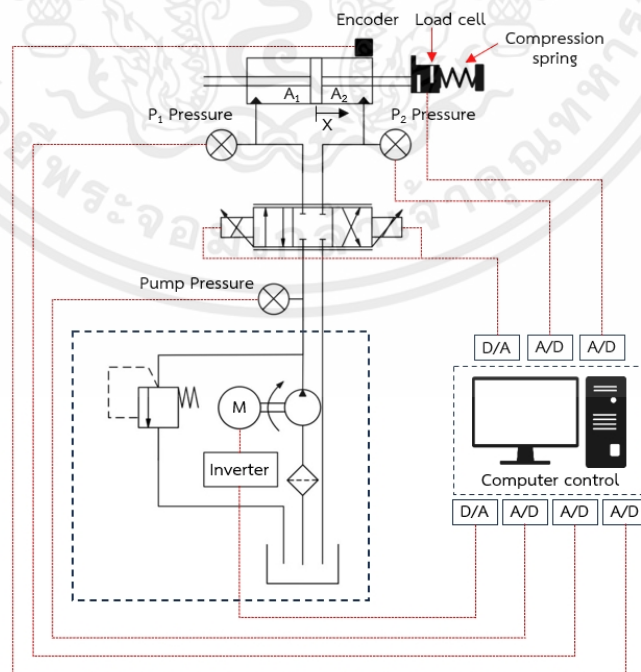
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม วัตถุประสงค์ วัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และวิธีการดำเนินงานในการศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมที่ปั๊ม

จากรูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมทิศทางและอัตราการไหลแบบสัดส่วน ประกอบด้วย ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก วาล์วควบคุมทิศทางและอัตราการไหลแบบสัดส่วน กระบอกสูบแบบสองก้านสูบทำงานสองทิศทาง อุปกรณ์วัดความดัน อุปกรณ์วัดตำแหน่ง



รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย ป้อนไฮดรอลิก ทำหน้าที่สร้างการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบสัดส่วนทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางและอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก ระบายออกสู่อุปกรณ์แบบสมมาตรทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทำงาน เช่น เซอร์วูดความดันทำหน้าที่วัดความดันที่ทางออกของปั๊มไฮดรอลิก และที่ทางเข้าของระบายออกสู่อุปกรณ์ทั้งสองด้านของ เซนเซอร์วัดตำแหน่งทำหน้าที่วัดตำแหน่งของลูกสูบไฮดรอลิก เช่น เซอร์วูดแรงทำหน้าที่วัดแรงกดที่ลูกสูบกระทำกับสปริง คอมพิวเตอร์ควบคุมทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์ จากนั้นทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้แล้วส่งสัญญาณควบคุมระบบออกไป

ชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จะแบ่งระบบออกเป็น 3 ส่วน คือ ระบบอุปกรณ์การทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบตรวจวัด และระบบควบคุม โดยระบบอุปกรณ์ทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วย ระบายออกสู่อุปกรณ์แบบสมมาตร วาล์วควบคุมทิศทาง การไหลของของไหลและอัตราการไหลแบบสัดส่วน ระบบตรวจวัดประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดความดัน เซนเซอร์วัดระยะทาง และในส่วนของระบบควบคุมประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์ประมวลผล การ์ดรับสัญญาณ และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุปกรณ์ในชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์

3.1.1 อุปกรณ์ทำงานในชุดทดลองระบบอิเล็กทรอนิกส์

3.1.1.1 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก (Power Unit)

ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ปั๊มไฮดรอลิก และวาล์วปลดความดัน ดังรูปที่ 3.3 แสดงชุดต้นกำลังไฮดรอลิกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 แสดงชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1.1. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ดังรูปที่ 3.4 ทำหน้าที่ขับปั๊มไฮดรอลิกจากการรับสัญญาณมาจาก Inverter เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล จากผู้ผลิต Mitsubishi รุ่น SF-JR ขนาด 380 V 1.5 HP มีความเร็วรอบสูงสุด 1450 RPM



รูปที่ 3.4 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าสลับ

3.1.1.1.2. ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump)

ปั๊มไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกให้มีอัตราการไหลคงที่ การศึกษาในครั้งนี้ใช้ปั๊มไฮดรอลิกแบบฟันเฟืองที่มีปริมาตรการจ่ายน้ำมันคงที่ จากผู้ผลิต Honor รุ่น 2GG1U11R ปริมาตรการจ่ายที่ 11 cc/revolution



รูปที่ 3.5 แสดงปั๊มไฮดรอลิก

3.1.1.1.3. วาล์วปลดความดัน (Pressure Relief Valve)

วาล์วปลดความดัน ดังรูปที่ 3.6 ทำหน้าที่ระบายน้ำมันไฮดรอลิกที่เกินจากความดันที่ได้ตั้งไว้ จากผู้ผลิต Kawasaki รุ่น RD6C-10-2/315 ย่านความดันทำงานสูงสุด 400 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงวาล์วปลดความดัน

3.1.1.1.4. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขับเคลื่อนไฮดรอลิกตามสัญญาณควบคุมที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ควบคุม สามารถรับสัญญาณควบคุมระหว่าง 0-10 V การปรับผลตอบสนองเชิงเวลาสามารถปรับเวลาเร่ง (ACC) และเวลาหน่วง (DCC) ผลตอบสนองความเร่งคือเวลาจากความถี่เริ่มต้น (0 Hz) จนถึงความถี่สูงสุด (60 Hz) และผลตอบสนองลดความเร่งคือเวลาจากความถี่สูงสุด (60 Hz) จนถึงเริ่มต้น (0 Hz) ดังรูปที่ 3.7 แสดงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ จากผู้ผลิต Toshiba รุ่น VF-S11-4055PL-WN (R5) ขนาด 5.5 KW



รูปที่ 3.7 แสดงอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2. วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve)

วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอชันนัล (Proportional Valve) ดังรูปที่ 3.8 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลและทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก งานวิจัยนี้ใช้วาล์วควบคุมการไหล จากผู้ผลิต Tokimec รุ่น COM-3-2C-30-AN-11 มีสัญญาณควบคุมระหว่าง ± 10 V อัตราการไหลสูงสุดที่ 30 L/min มีผลการตอบสนองเชิงเวลาที่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของการเปิดพื้นที่ช่องทางไหลน้ำมันไฮดรอลิกที่ 50 ms



รูปที่ 3.8 แสดงวาล์วควบคุมทิศทางการไหลและอัตราการไหลแบบสัดส่วน

3.1.1.3. กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder)

กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.9 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทำงานที่เปลี่ยนพลังงานของของไหลในที่นี้คือน้ำมันไฮดรอลิกให้เป็นพลังงานเชิงกลแบบเคลื่อนที่เชิงเส้น ในงานวิจัยนี้ใช้กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกแบบสองก้านสูบ ทำงานสองทิศทาง มีระยะการเคลื่อนที่สูงสุดที่ 500 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 40 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มม.



รูปที่ 3.9 แสดงกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกแบบสองก้านสูบ ทำงานสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบตรวจวัด (Measurement System)

3.2.1. เซนเซอร์วัดแรง (Load cell)

เซนเซอร์วัดแรง ดังรูปที่ 3.10 ทำหน้าที่วัดแรงที่ก้านสูบของกระบอกสูบไฮดรอลิกกระทำกับสปริง ติดตั้งระหว่างสปริงแบบกดกับก้านสูบไฮดรอลิก จากผู้ผลิต Zega รุ่น Keed 500 ที่สามารถแรงได้สูงสุด 500 kg



รูปที่ 3.10 แสดงเซนเซอร์วัดแรง

3.2.2. เซนเซอร์วัดตำแหน่ง (Position Sensor)

เซนเซอร์วัดตำแหน่ง ทำหน้าที่วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ เพื่อนำค่าระยะการเคลื่อนที่ไปคำนวณหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ งานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์วัดตำแหน่ง จากผู้ผลิต ENOSIS Draw wire encoder AH006825 ดังรูปที่ 3.11 มีระยะในการวัดสูงสุด 1000 mm เป็น Draw wire potentiometer 0-10 kOhm ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 12 VDC



รูปที่ 3.11 แสดงเซนเซอร์วัดตำแหน่ง

3.2.3. เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor)

เซนเซอร์วัดความดัน ดังรูปที่ 3.12 ทำหน้าที่วัดความดันของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ซึ่งจะทำให้การติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันจำนวน 3 ตัว ได้แก่ ปัมป์ไฮดรอลิก หัวลูกสูบ และก้านลูกสูบ จากผู้ผลิต WIKA รุ่น A-10 เป็นชนิด Piezo-Electric สามารถวัดความดันได้สูงสุด 400 bar และส่งสัญญาณออก 0-10 V ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 10-30 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงเซนเซอร์วัดความดัน

3.2.4. เซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์ (Rotary encoder)

เซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.13 ทำหน้าที่วัดความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์จากผู้ผลิต Servo ส่งสัญญาณดิจิทัล 1000 pulse/rev ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 12 VDC



รูปที่ 3.13 แสดงเซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์

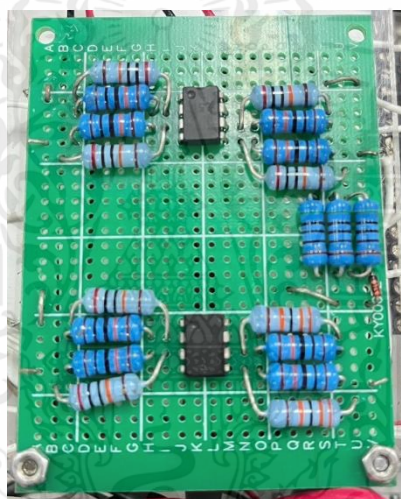
3.2.5. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier)

อุปกรณ์ขยายสัญญาณ ยี่ห้อ KYOWA รุ่น WGA-100B-10 ดังรูปที่ 3.14 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการมีอัตราการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอยู่ที่ ± 10 V กระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์วงจรไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จากเซนเซอร์วัดแรงให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ ยี่ห้อ KYOWA รุ่น WGA-100B-10

3.2.6. วงจรออปแอมป์ (Op-Amp Circuits)



รูปที่ 3.15 แสดง Op-Amp Circuits

3.2.7. มิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Rate Meter)

เซนเซอร์วัดอัตราการไหลใช้วัดอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลออกจากปั๊ม อัตราการไหลที่ไหลออกจากช่องน้ำมัน A และ B ของวาล์ว งานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์วัดอัตราการไหลชนิด Positive Displacement แบบเฟือง จากผู้ผลิต SIKA รุ่น VZ-0.2-AL-S สามารถวัดอัตราการไหลสูงสุด 16 L/min และสามารถทำงานได้ที่ความดันสูงสุดประมาณ 400 bar มีสัญญาณออกขนาด 0 ถึง 10 V ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 10-30 VDC ดังแสดงในรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงมิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Rate Meter)

3.3 ระบบควบคุม (Control System)

ระบบควบคุมทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบและรับสัญญาณจากอุปกรณ์ต่างๆมาประมวลผลโดยระบบควบคุมจะประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์ควบคุม การ์ดติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกและหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1. คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Processing Computer)

ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์จากนั้นจะทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่เขียนไว้และทำการส่งสัญญาณควบคุมระบบออกไป ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงคอมพิวเตอร์ประมวลผล

3.3.2. การ์ดติดต่อสื่อสาร (Data Acquisition Card)

การ์ดติดต่อสื่อสาร ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ กับคอมพิวเตอร์ควบคุมและทำการส่งสัญญาณควบคุมระบบออกไป ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เป็น NI USB-6001 ดังรูปที่ 3.18 โดย NI USB-6001 คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยพอร์ต USB ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอนาล็อกและจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ ได้

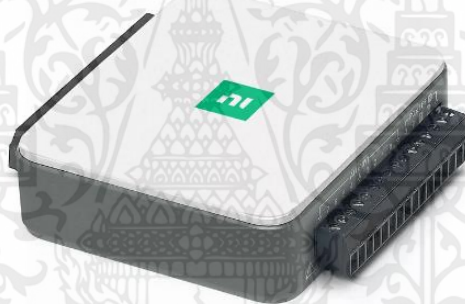
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ Ni USB-6001

- ความละเอียดอนาล็อกอินพุต ขนาด 14 bit
- อนาล็อกอินพุต 12 ช่อง
- อนาล็อกเอาต์พุต 2 ช่อง
- ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุต X ช่อง 13 Digital line
- Counter ขนาด 32 bit

พอร์ตแบบ USB รับส่งข้อมูลแบบ Full speed โครงสร้างองค์ประกอบฟังก์ชันการใช้งานของ Ni USB-6001 มีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

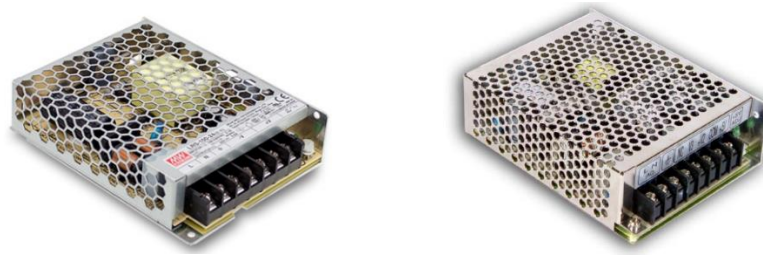
- แหล่งจ่ายไฟภายนอก +5 V
- USB ไมโครคอนโทรลเลอร์
- หน่วยรับและส่งออกข้อมูลอนาล็อก I/O (input/output)
- หน่วยส่งออกข้อมูลดิจิตอล



รูปที่ 3.18 แสดง Ni USB-6001

3.3.3. หม้อแปลงไฟฟ้า (Power Supply)

หม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 VAC เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและเป็นแหล่งจากไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด เช่น วาล์วควบคุมทิศทางและอัตราการไหลแบบสัดส่วน รวมถึงอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เป็นต้น งานวิจัยนี้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า จากผู้ผลิต Mean Well Enterprises CO.,LTH รุ่น LRS-100-24 ที่สามารถจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 VDC และ รุ่น RT-65B ที่สามารถจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 VDC และ 12 VDC ดังรูปที่ 3.19 ตามลำดับ

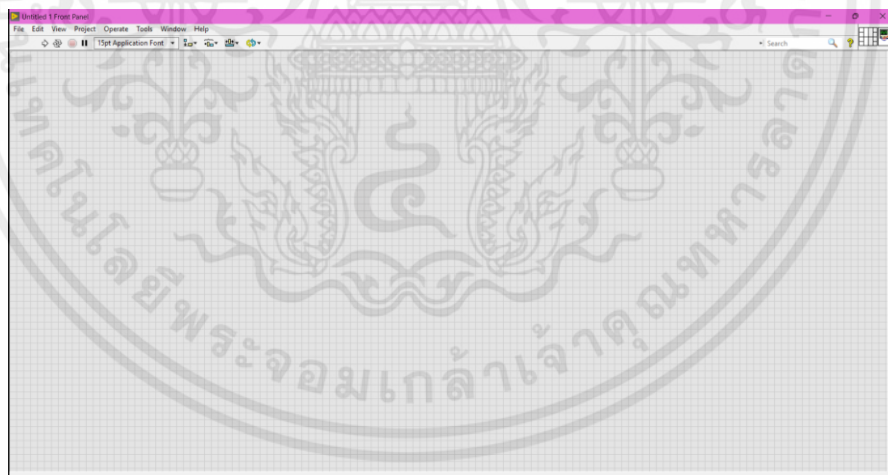


รูปที่ 3.19 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้า รุ่น LRS-100-24 และ RT-65B ตามลำดับ

3.3.4. โปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW คือ โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้เขียนโปรแกรมแบบกราฟฟิกหรือภาษารูปภาพ (Graphic language) ลักษณะการทำงานแบบ Data flow เป็นโปรแกรมที่ถูกนำมาใช้กับเครื่องมือวัดและการวัดในทางวิศวกรรมต่างๆ จุดประสงค์หลักของโปรแกรม LabVIEW คือ นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดต่างๆมาวิเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการเขียนโปรแกรม โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) หรือเครื่องมือวัดเสมือนจริง เพราะด้วยตัวโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถทำให้ผู้ใช้งานควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ได้ โดย Virtual Instrument หนึ่งแบบ จะประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

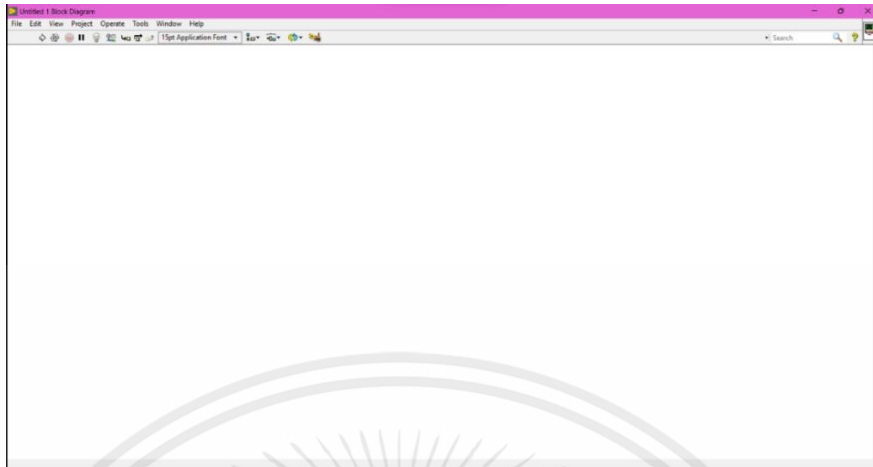
1. Front panel ใช้ในการควบคุมการทำงาน การป้อนค่าอินพุต และแสดงค่าเอาต์พุต ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดง Front panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Block diagram ใช้ในการกำหนดค่าตัวแปร ฟังก์ชัน และการควบคุมการทำงานต่างๆ ดังรูป
ที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดง Block diagram

3.3.5. กล่องควบคุม

กล่องควบคุม ในรูปที่ 3.22 และรูปที่ 3.23 คือ ภาพของกล่องที่ใช้ในการเปิด-ปิดไฟเลี้ยง รวมถึง การรับ-ส่งสัญญาณควบคุมผ่าน Ni USB-6001 ให้กับวาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอชันนัล อินเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ ของชุดทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดตำแหน่ง 1 ตัว เซนเซอร์วัดความดัน 3 ตัว และ Load cell 1 ตัว โดยภายในกล่องควบคุมจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และ Ni USB-6001 , power supply ขนาด 24 V และ 12 V



รูปที่ 3.22 แสดงแบบของกล่องควบคุม (Font view)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงแบบของกล่องควบคุม (Top view)

โดยบริเวณหน้ากล่องควบคุมจะประกอบไปด้วย

1. ขั้วเชื่อมต่อ (Deutsche Industries Normen) หรือ DIN 4 Pin สำหรับเสียบสายสัญญาณทั้ง Input และ Output ซึ่งประกอบไปด้วย

1.1 Analog input ประกอบไปด้วย

- Distance Sensor คือ ช่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่
- Load cell คือ ช่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดแรงของก้านสูบ
- Flow rate คือ ช่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำมันในกระบอกสูบ
- PP คือ ช่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันที่ปั๊ม
- P1 คือ ช่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ
- P2 คือ ช่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ

1.2 Analog Output ประกอบไปด้วย

- Valve คือ ช่องส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมการทำงานของ proportional valve
- Inverter คือ ช่องส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมการทำงานของ Inverter

1.3 Digital input ช่อง Counter source (PFI) ประกอบไปด้วย

- Encoder คือ ช่องรับสัญญาณจาก Rotary encoder สำหรับวัดรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า

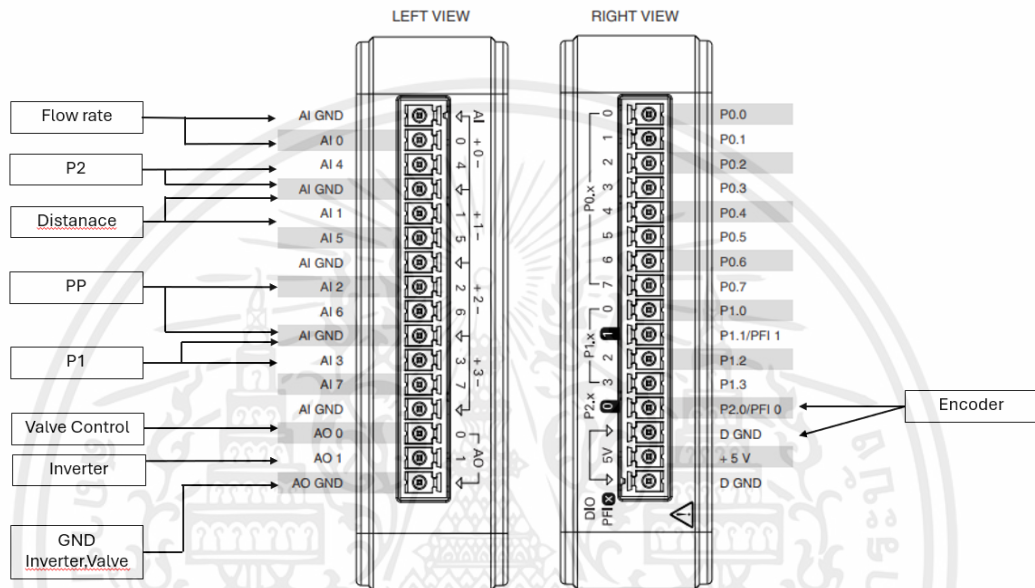
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไฟแสดงสถานะ (Light-Emitting Diode) ซึ่งประกอบไปด้วย

- LED 12 V คือ ไฟแสดงสถานะการทำงานของ Power supply 12 V
- LED 24 V คือ ไฟแสดงสถานะการทำงานของ Power supply 24 V

3. สวิตช์ เปิด-ปิด (Switch On-Off) คือ สวิตช์ควบคุมการจ่ายไฟ 220 V สำหรับเปิด-ปิดการทำงานของกล่องควบคุม

4. Data Out คือ ช่องเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ NI USB-6001



รูปที่ 3.24 แสดง Diagram การต่อสัญญาณเข้า-ออก NI USB 6001

จากรูปที่ 3.24 จะแสดงการรับข้อมูลเข้าอุปกรณ์ NI USB 6001 ซึ่งมีการแบ่งการต่อสัญญาณออกเป็น 2 ประเภท คือ สัญญาณ Analog และ สัญญาณ Digital มีการรับข้อมูลแบบ input และ output ซึ่งแบ่งได้ตามต่อไปนี้

- การส่งสัญญาณแบบ Analog Output ประกอบด้วย
 - Valve Control ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog output 0 (AO 0)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AO GND +0-)
 - Inverter ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog output 1 (AO 1)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AO GND +0-)
- การรับสัญญาณแบบ Analog Input ประกอบด้วย
 - Flow Rate ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog Input 0 (AI 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AI GND +0-)
- Distance Sensor ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog Input 1 (AI 1)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AI GND +0-)
- Pressure Pump ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog Input 2 (AI 2)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AI GND +2-)
- Pressure 1 ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog Input 3 (AI 3)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AI GND +2-)
- Pressure 2 ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้า Analog Input 4 (AI 4)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง AI GND (AI GND +0-)
- การรับสัญญาณแบบ Digital Input ประกอบด้วย
 - Encoder ประกอบด้วยสาย 2 สาย ประกอบด้วย
 - สายสีขาว (สายสัญญาณ +) ต่อเข้าช่อง Counter source (P2.0/ PFI 0)
 - สายสีดำ (สายสัญญาณ -) ต่อเข้าช่อง D GND

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ทั้งหมดมาจากคู่มือของบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์	คุณลักษณะ
Electrical Motor	Manufacturer: Mitsubishi: SF-JR 2HP 4P Power: 1.5 kW Maximum speed: 1450 rpm
Hydraulic Pump	Manufacturer: Honor 2GG1U11R Type: Gear pump Volumetric displacement: 11 cc/rev
Inverter	Manufacturer: Toshiba: VF-S11-4055PL-WN (R5) Power: 5.5 kW Speed control rang: 0-50 Hz
Proportional Valve	Manufacturer: Tokimec COM-3-2C-AN-11 Type: 4/3 open center Time response: 50 ms
Distance Sensor	Manufacturer: ENOSIS AH006825 Type: Draw wire encoder
Pressure Sensor	Manufacturer: Wika A-10 Type: Piezo-electric
Rotary encoder	Manufacturer: Servo Type: Rotary encoder 1000 Pulse/rev

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

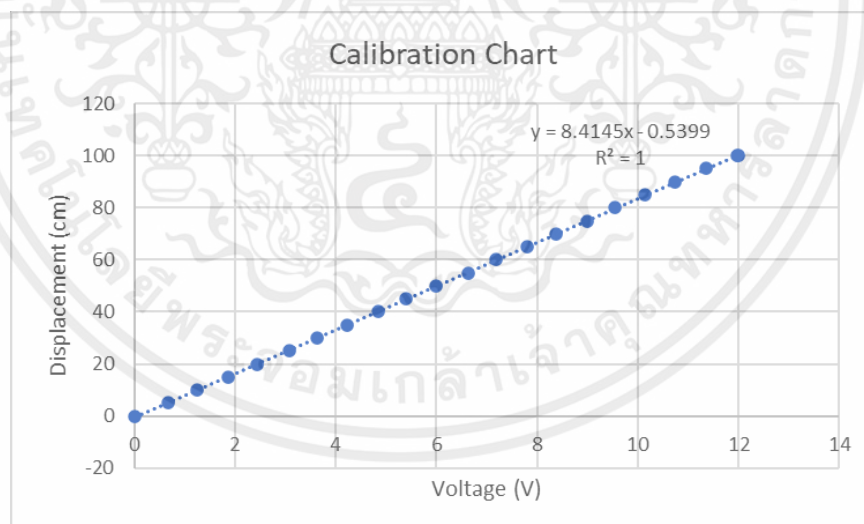
3.4.1 ออกแบบกล่องควบคุม (Design control box)

กล่องควบคุมนี้มีหน้าที่ใช้ในการเปิด-ปิดการทำงานของชุดทดลอง โดยการจ่ายไฟเลี้ยง รวมถึง การรับ - ส่งสัญญาณควบคุมผ่าน NI USB-6001 ให้กับวาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพอชันนัล 1 ตัว อินเวอร์เตอร์ 1 ตัว และอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ ของชุดทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดตำแหน่ง 1 ตัว เซนเซอร์วัดความดัน 3 ตัว เซนเซอร์วัดอัตราการไหล 1 ตัว เซนเซอร์วัดรอบการหมุนของมอเตอร์ 1 ตัว และ Load cell 1 ตัว โดยภายในกล่องควบคุมจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Operational amplifier) และ NI USB-6001 , power supply ขนาด 24 V, 12 V และ 5V สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในชุดทดลอง และจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Operational amplifier)

โดยสามารถจำแนกอุปกรณ์ตามสัญญาณการรับ-ส่งข้อมูลของ NI USB-6001 ได้ดังนี้

3.4.1.1. ช่อง Analog input (AI channel) เป็นช่องที่รับสัญญาณอนาล็อกจากอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งไปเก็บข้อมูลและแสดงผลยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย

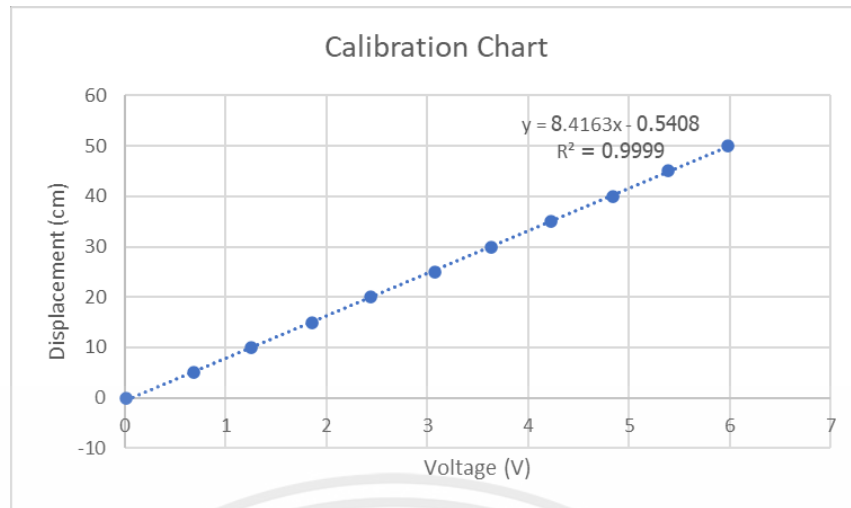
3.4.1.1.1. เซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ เป็นแบบ Draw wire potentiometer 0-10 kOhm ส่งสัญญาณอนาล็อก 0 ถึง 12 โวลต์ วัดระยะได้ตั้งแต่ 0 – 100.2 เซนติเมตร โดยสามารถสร้าง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะ ดังนี้



รูปที่ 3.25 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ที่ระยะ 0 ถึง 100.02 เซนติเมตร

เนื่องจากในงานวิจัยนี้กระบอกสูบมีระยะชักอยู่ที่ 50 เซนติเมตร เมื่อทำการวัดระยะของก้านสูบ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 – 50 เซนติเมตร เทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เซนเซอร์วัดระยะค่าอ่านได้ สามารถสร้าง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

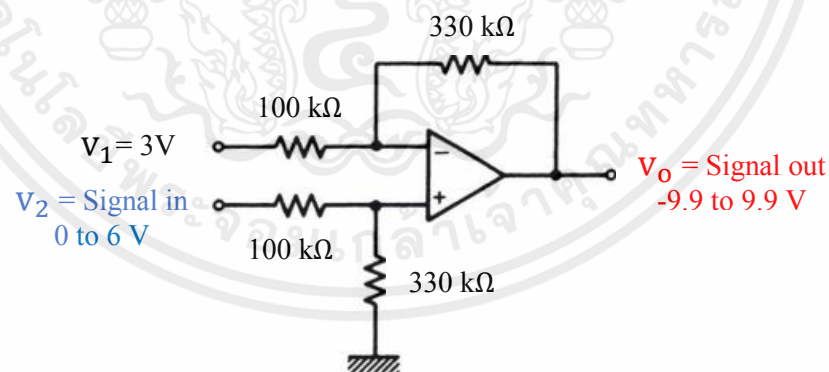


รูปที่ 3.26 แสดง Calibration Chart ของเซ็นเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ที่ระยะ 0 ถึง 50 เซนติเมตร

จากรูปที่ 3.26 ระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบมีค่าเป็นไปตามสมการ $y=8.4163x-0.5408$ เมื่อ x คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เซ็นเซอร์วัดระยะอ่านค่าได้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 6 โวลต์ และ y คือ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ทำการออกแบบวงจรออปแอมป์สำหรับขยายสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดระยะ ที่ 0 ถึง 6 V เป็น -9.9 ถึง 9.9 V เนื่องจาก DAQ USB device รับส่งสัญญาณที่ -10 ถึง 10 โวลต์ จึงได้มีการนำวงจร Op - amp มาใช้ในการขยายสัญญาณ เพื่อให้มีช่วงสัญญาณที่มากขึ้นและมีความละเอียดมากขึ้น โดยเลือกใช้ LM358N ซึ่งเป็น IC แบบ Dual Op-Amp

วงจร Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดระยะ



รูปที่ 3.27 แสดงวงจร Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดระยะ

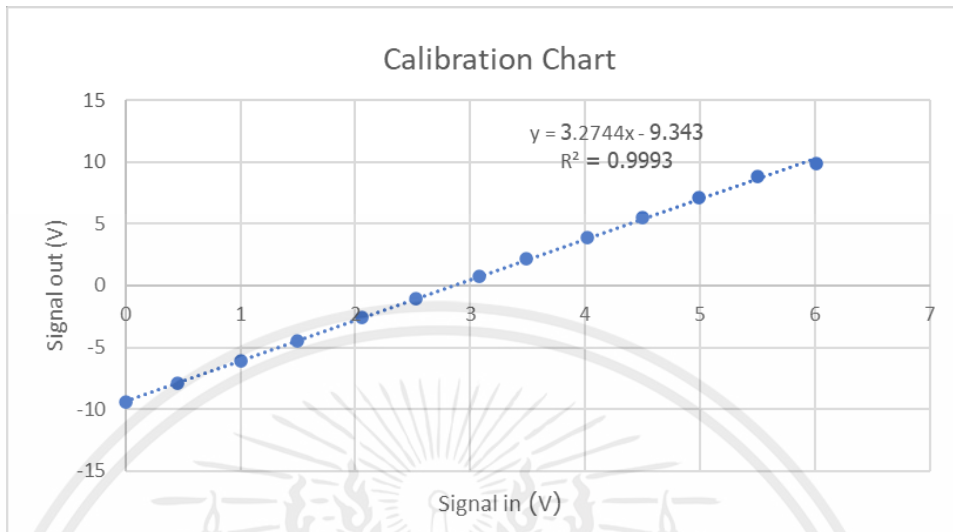
จากสมการ
$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

จะได้ว่า
$$V_o = \frac{330}{100} (v_2 - 3) ; R_1=100 \text{ k}\Omega \text{ และ } R_2=330 \text{ k}\Omega$$

$$V_o = 3.3(v_2 - 3) ; v_2 \text{ มีค่าตั้งแต่ } 0 \text{ ถึง } 6 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

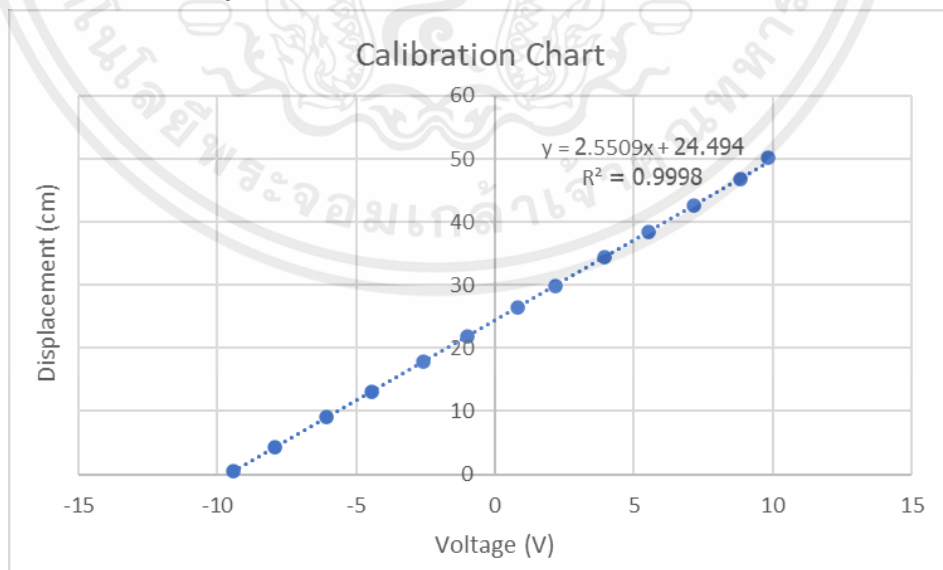
ซึ่งเป็นวงจรมีความแตกต่าง 3.3 เท่า คือ จาก 0 ถึง 6 โวลต์ เป็น -9.9 ถึง 9.9 โวลต์ และเมื่อทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.27 แล้วปรับค่า Signal in (V) จาก 0 ถึง 6 โวลต์ เทียบกับ Signal out (V) สามารถสร้าง Calibration Chart ของวงจร Op-Amp สำหรับเซนเซอร์วัดระยะได้ ดังนี้



รูปที่ 3.28 แสดง Calibration Chart ของวงจร Op-Amp สำหรับเซนเซอร์วัดระยะ

จะเห็นได้ว่า Signal out (V) ของเซนเซอร์วัดระยะ มีค่าเป็นไปตามสมการ $y=3.2744x-9.343$ เมื่อ x คือ Signal in (V) หรือแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์วัดระยะที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 6 โวลต์ และ y คือ Signal out (V) หรือแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว มีค่าตั้งแต่ -9.9 ถึง 9.9 โวลต์ ดังรูปที่ 3.28

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.26 และ 3.28 สามารถสร้าง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้วได้ ดังนี้

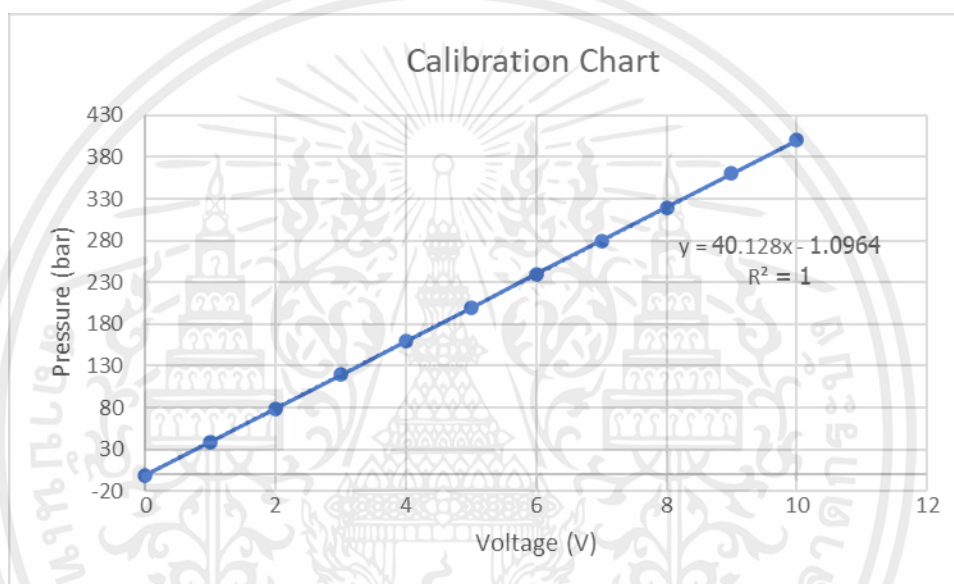


รูปที่ 3.29 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสร้างสมการระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ (cm) เทียบกับแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้วได้เป็น $y=2.5509x+24.494$ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร เมื่อ x คือแรงดันไฟฟ้าที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้ว มีค่าอยู่ระหว่าง -9.9 ถึง 9.9 โวลต์ และ y คือ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.29

3.4.1.1.2 เซนเซอร์วัดความดัน ส่งสัญญาณอนาล็อก 0 ถึง 10 โวลต์ สามารถวัดความดันได้สูงสุด 400 bar ทำการวัดความดันที่ค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 - 400 bar เทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เซนเซอร์วัดความดันค่าอ่านได้ สามารถสร้าง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดความดันได้ ดังนี้

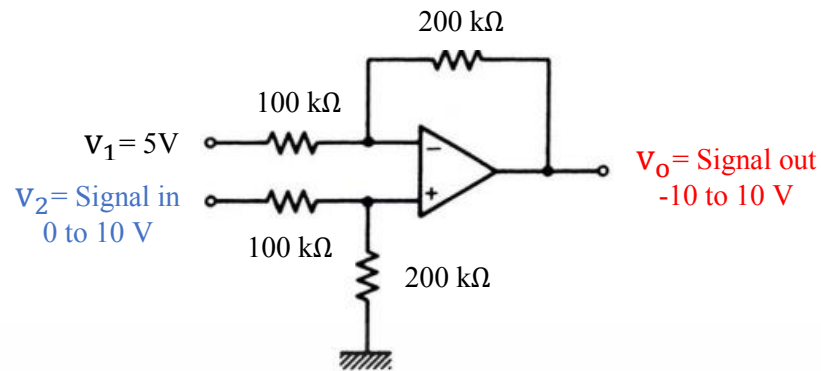


รูปที่ 3.30 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์เซนเซอร์วัดความดัน

จากรูปที่ 3.30 ความดันที่เซนเซอร์อ่านค่าได้มีค่าเป็นไปตามสมการ $y=40.128x-1.0964$ เมื่อ x คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เซนเซอร์วัดความดันอ่านค่าได้ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ และ y คือ ความดัน มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 400 bar (วิระพงษ์ จันทร์บัว, 2565)

ทำการออกแบบวงจรออปแอมป์สำหรับขยายสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดัน ที่ 0 ถึง 10 โวลต์ เป็น -10 ถึง 10 โวลต์ เนื่องจาก DAQ USB device รับส่งสัญญาณที่ -10 ถึง 10 โวลต์ จึงได้มีการนำวงจร Op - amp มาใช้ในการขยายสัญญาณ เพื่อให้มีช่วงสัญญาณที่มากขึ้นและมีความละเอียดมากขึ้น โดยเลือกใช้ LM358N ซึ่งเป็น IC แบบ Dual Op-Amp

วงจร Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดความดัน



รูปที่ 3.31 แสดงวงจร Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดความดัน

จากสมการ

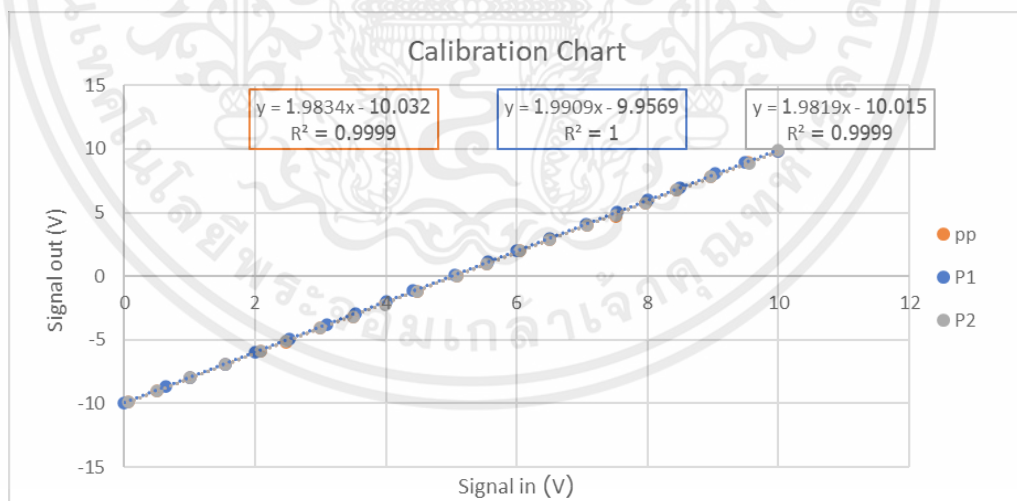
$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

จะได้ว่า

$$v_o = \frac{200}{100} (v_2 - 5) ; R_1 = 100 \text{ k}\Omega \text{ และ } R_2 = 200 \text{ k}\Omega$$

$$v_o = 2(v_2 - 5) ; v_2 \text{ มีค่าตั้งแต่ } 0 \text{ ถึง } 10 \text{ โวลต์}$$

ซึ่งเป็นการขยายความแตกต่าง 2 เท่า คือ จาก 0 ถึง 10 โวลต์ เป็น -10 ถึง 10 โวลต์ และเมื่อทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.31 แล้วปรับค่า Signal in (V) จาก 0 ถึง 10 โวลต์ เทียบกับ Signal out (V) สามารถสร้าง Calibration Chart ของวงจร Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดความดันได้ ดังนี้

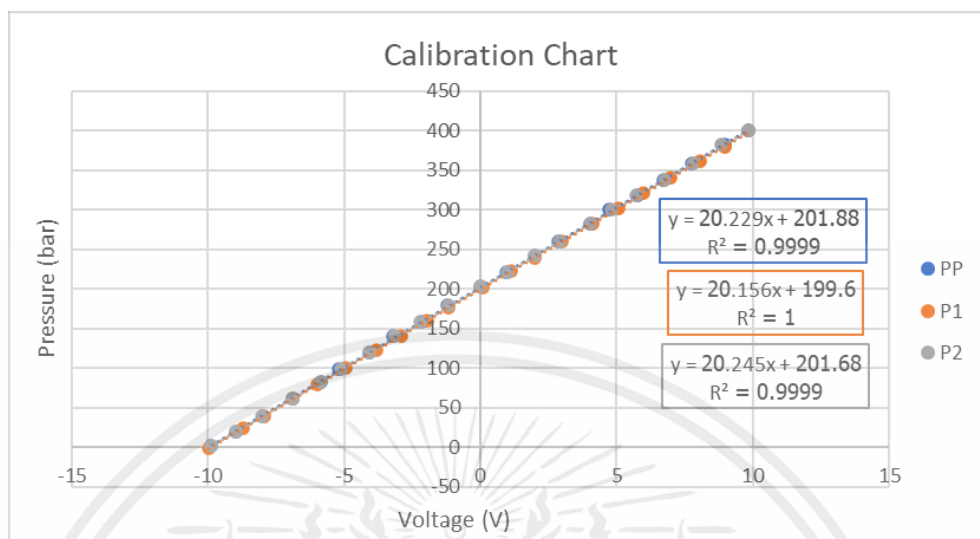


รูปที่ 3.32 แสดง Calibration Chart ของวงจร Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดความดัน

จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จาก Op-Amp สำหรับเซ็นเซอร์วัดความดันแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ไม่เท่ากันนั้นเป็นผลมาจากค่าความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานที่ต่อในวงจร Op-Amp แต่ละตัว ดังรูปที่ 3.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.30 และ 3.32 สามารถสร้าง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดความดันที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้วได้ ดังนี้



รูปที่ 3.33 แสดง Calibration Chart ของเซนเซอร์วัดความดันที่ผ่าน Op-Amp ขยายสัญญาณแล้ว

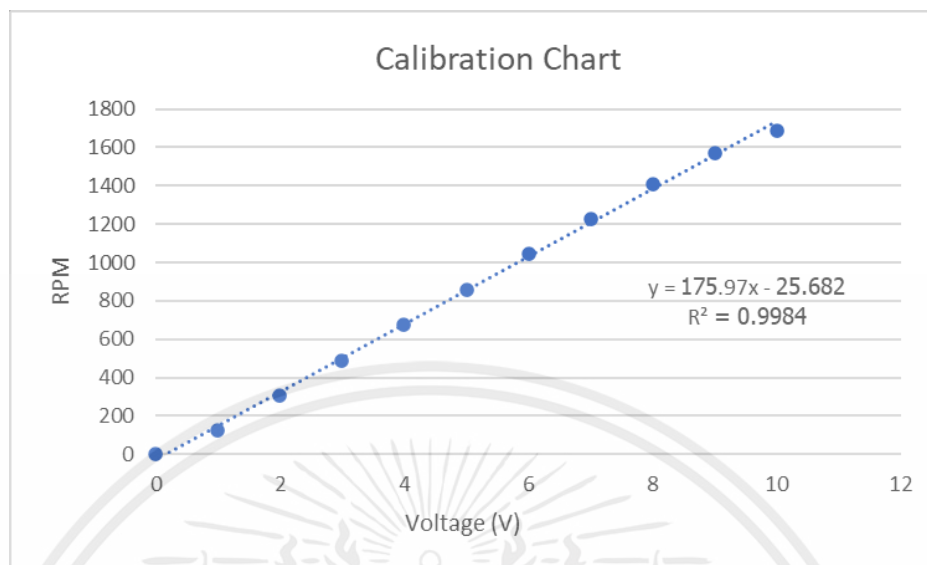
สามารถสร้างสมการความดัน (bar) เทียบกับแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้วได้ เป็น Pressure at Pump (PP) คือ $y_{PP} = 20.229x + 201.88$ เมื่อ x คือแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว มีค่าอยู่ระหว่าง -10 ถึง 10 โวลต์ และ y_{PP} คือความดันที่ปั๊ม มีหน่วยเป็น bar สมการของ Pressure at Position 1 (P1) คือ $y_{P1} = 20.156x + 199.60$ เมื่อ x คือแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว มีค่าอยู่ระหว่าง -10 ถึง 10 โวลต์ และ y_{P1} คือความดันที่ปลายกระบอกลูกสูบด้านซ้าย มีหน่วยเป็น bar และสมการของ Pressure at Position 2 (P2) คือ $y_{P2} = 20.245x + 201.68$ มีหน่วยเป็น bar เมื่อ x คือแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว มีค่าอยู่ระหว่าง -10 ถึง 10 โวลต์ และ y_{P2} คือความดันที่ปลายกระบอกลูกสูบด้านขวา มีหน่วยเป็น bar ดังรูปที่ 3.33

3.4.1.2. ช่อง Analog Output (AO channel) เป็นช่องส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ โดยจะแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก และส่งไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

3.4.1.2.1 Proportional Valve โดยจะมีสัญญาณควบคุมอยู่ที่ -10 ถึง 10 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้านี้บวก + ควบคุมการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก จาก Port P ไป A ทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา และ แรงดันไฟฟ้านี้ลบ - ควบคุมการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก จาก Port P ไป B ทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้าย

3.4.1.2.2 Inverter จะมีสัญญาณควบคุมอยู่ที่ 0 ถึง 10 โวลต์ ซึ่งมีหน้าที่ในการปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังมอเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ควบคุมตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ เทียบกับ ความเร็วรอบที่

เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าค่าอ่านได้ สามารถสร้าง Calibration Chart ของ Inverter ได้ ดังนี้



รูปที่ 3.34 แสดง Calibration Chart ของ Inverter

จากรูปที่ 3.34 ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเป็นไปตามสมการ $y=175.97x-25.682$ เมื่อ x คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ควบคุม ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ และ y คือ ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าต่อนาที

3.4.1.3. ช่อง Counter source (PFI channel) เป็นช่องที่รับสัญญาณดิจิทัลจากอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการนับ pulse จากนั้นเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลไปแสดงผลยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย

3.4.1.3.1 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์ (Rotary encoder) ส่งสัญญาณดิจิทัล 1000 pulse/rev โดยทำการต่อเข้าช่อง PFI ของ NI USB-6001 เพื่อใช้ในการนับ pulse ของ Rotary encoder จากนั้นนำมาคำนวณให้เป็นความเร็วรอบการหมุนต่อนาที (RPM) ผ่านโปรแกรม LabVIEW

ด้วยสมการ

$$\text{RPM} = \frac{N}{1000 \cdot t} * 60$$

เมื่อ N คือ จำนวน pulse

t คือ ในการประมวลผลของโปรแกรม LabVIEW (s)

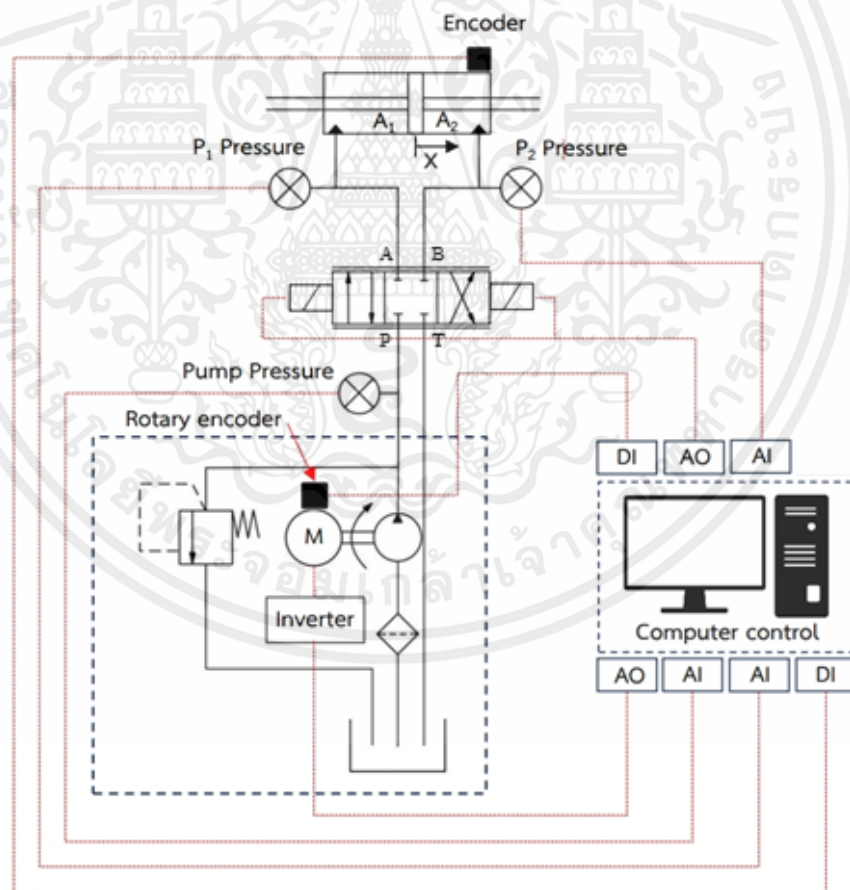
ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้การควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control) สามารถใช้ได้ทั้งการควบคุมแบบเปิดด้วยการควบคุมปั๊ม โดยใช้ Pump Transform และ การควบคุมแบบเปิดด้วยการควบคุมวาล์วโดยใช้ Valve Transform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยระบบควบคุมปั๊ม (Open Loop Control system with pump)

การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยระบบควบคุมปั๊ม อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของระบบด้วยการปรับรอบการทำงานของมอเตอร์โดยอาศัย Pump Transform เป็นผลให้กำลังของปั๊มเหมาะสมกับความเร็วของกระบอกสูบ โดยวาล์วมีหน้าที่กำหนดทิศทางการไหล

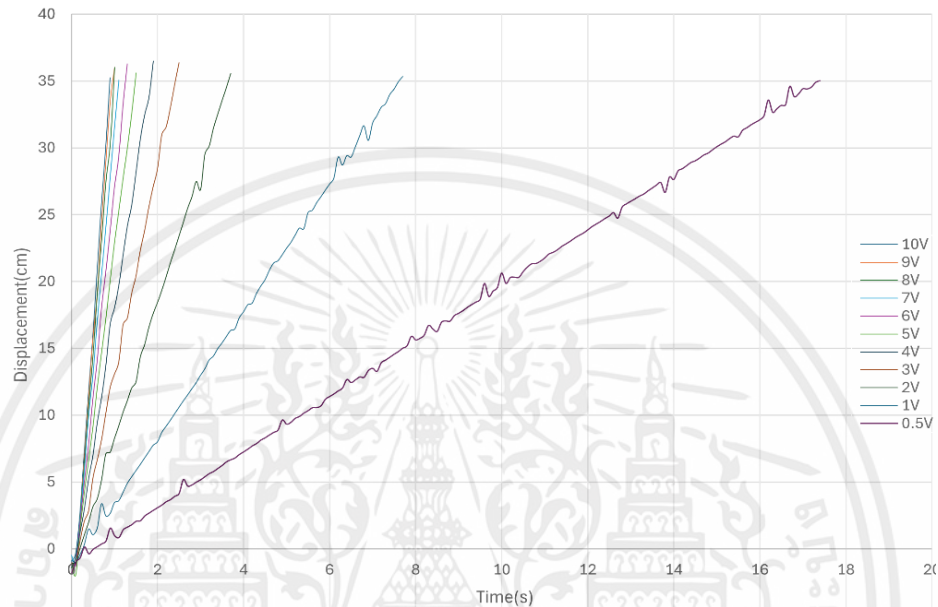
ปั๊มทรานส์ฟอร์ม (Pump Transform) คือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่เคลื่อนที่ซ้ายและขวา โดยเริ่มจากความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ได้ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ โดยสัญญาณควบคุมจะถูกส่งไปที่อินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขับปั๊มไฮดรอลิก รูปที่ 3.35 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรในการหาปั๊มทรานส์ฟอร์มของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม



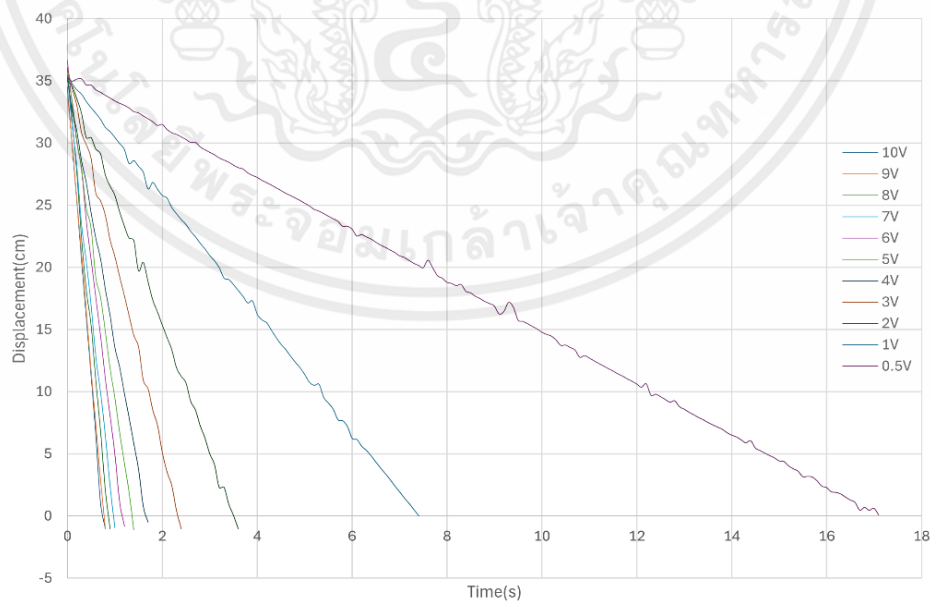
รูปที่ 3.35 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรในการหาปั๊มทรานส์ฟอร์มของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการทดลองนี้สัญญาณควบคุมที่ 0 ถึง 10 V แล้วทำการบันทึกค่าระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ได้เทียบกับเวลาที่ก้านสูบใช้ในการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 3.36 แสดงการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ขณะเคลื่อนที่ไปทางขวา จากตำแหน่งที่ 1 ไปยัง ตำแหน่งที่ 2 เป็นระยะ 35 cm และรูปที่ 3.37 แสดงการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ขณะเคลื่อนที่ไปทางซ้าย จากตำแหน่งที่ 2 ไปยัง ตำแหน่งที่ 1 เป็นระยะ 35 cm เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ป้อน กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางขวาเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ป้อน กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.37 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า กับความเร็วการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่เคลื่อนที่ไปทางขวาและซ้าย จากความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ควบคุมควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ได้ ดังตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ที่สัญญาณควบคุมตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 10 โวลต์

ตารางที่ 3.2 แสดงความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม

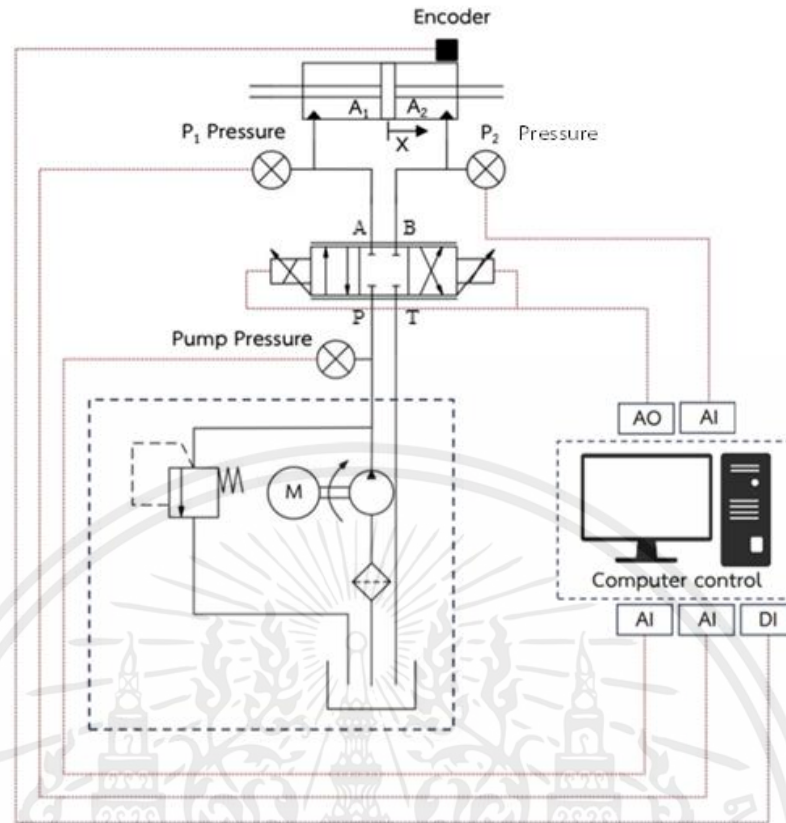
แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)	Port P-A	Port P-B
	ความเร็ว (cm/s)	ความเร็ว (cm/s)
0	0	0
1	2.0771	2.0717
2	4.7518	4.749
3	10.056	10.052
4	15.488	15.119
5	20.547	20.204
6	25.769	25.055
7	30.269	29.731
8	34.666	33.774
9	39.019	38.232
10	41.999	40.272

3.4.3 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มด้วยระบบควบคุมวาล์ว (Open Loop Control system with proportional valve)

การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์ฟอร์มด้วยระบบควบคุมวาล์ว มอเตอร์ผลิตกำลังด้วยความเร็วรอบการหมุนคงที่ การเคลื่อนที่ของกระบอกสูบจะถูกควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยปรับค่าของอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับความเร็วที่ต้องการ โดยอาศัยโดยอาศัย Valve Transform ในการควบคุมอัตราการไหล และทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก

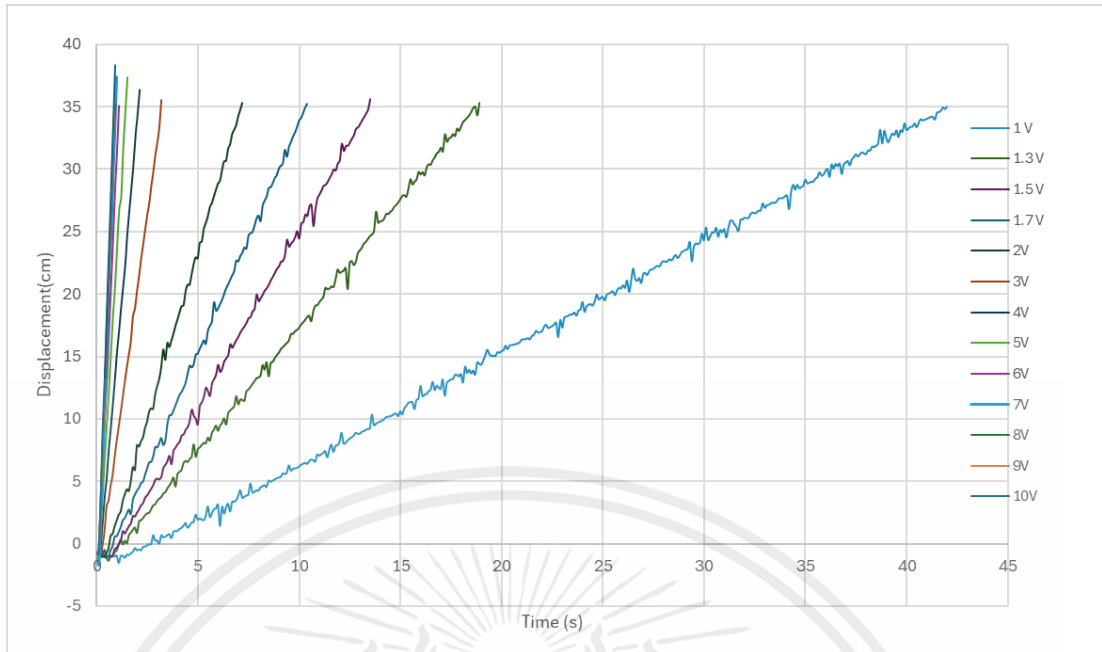
วาล์วทรานส์ฟอร์ม (Valve Transform) คือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมวาล์วกับความเร็วก้านสูบที่เคลื่อนที่ซ้าย - ขวา โดยเริ่มจากหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ควบคุมวาล์วกับระยะทางที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ได้ที่สภาวะคงตัว (Steady State) จากนั้นนำระยะทางที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ได้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมวาล์วกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบในแต่ละด้านของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

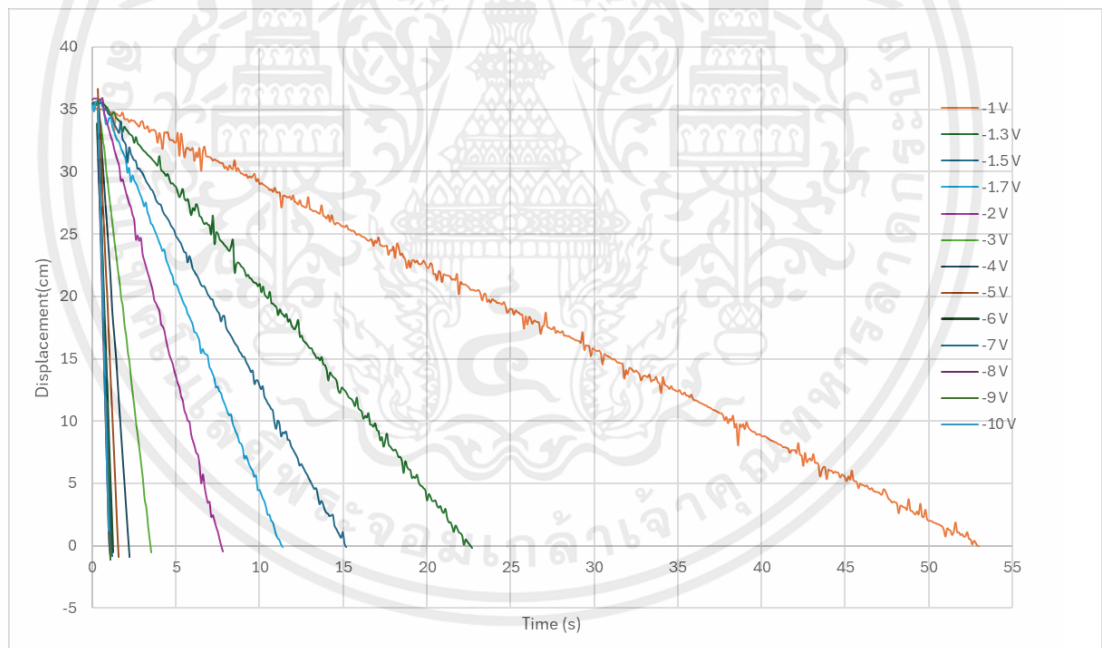


รูปที่ 3.38 แสดงไดอะแกรมการต่อวงจรในการหาวัลวทรานส์ฟอร์ม
ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว

โดยการทดลองนี้จะให้สัญญาณควบคุมวาล์วตั้งแต่ -10 ถึง 10 V แล้วทำการบันทึกค่าระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ได้เทียบกับเวลาที่ก้านสูบใช้ในการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 3.39 แสดงการเคลื่อนที่ของก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา จากตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 2 เป็นระยะ 35 cm และรูปที่ 3.40 แสดงการเคลื่อนที่ของก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้าย จากตำแหน่งที่ 2 ถึง ตำแหน่งที่ 1 เป็นระยะ 35 cm เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่วาล์ว กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางขวาเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่วาล์ว กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้ายกับเวลา

จากรูปที่ 3.39 และรูปที่ 3.40 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า กับความเร็วการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่เคลื่อนที่ไปทางขวาและซ้าย จากความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมที่ควบคุมควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า กับระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ได้ ดังตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากับความเร็วใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของก้านสูบ โดยแสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านบวกที่จ่ายให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลจาก 0 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านลบที่จ่ายให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลจาก 0 โวลต์ ถึง -10 โวลต์ เหมือนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านบวก

ตารางที่ 3.3 แสดงความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)	Port P-A	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)	Port P-B
	ความเร็ว (cm/s)		ความเร็ว (cm/s)
0	0	0	0
1	0.8924	-1	0.6706
1.3	1.9967	-1.3	1.6172
1.5	2.8074	-1.5	2.425
1.7	3.6508	-1.7	3.2669
2	5.3125	-2	4.9204
3	11.776	-3	11.039
4	18.774	-4	19.265
5	26.979	-5	27.693
6	34.73	-6	35.534
7	41.23	-7	40.186
8	43.352	-8	42.517
9	44.968	-9	43.332
10	46.305	-10	45.531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือการควบคุมแบบระบบเปิดด้วยการควบคุมปั๊ม และการควบคุมแบบระบบเปิดด้วยการควบคุมวาล์ว โดยเปรียบเทียบผลของความเร็วจากการควบคุมกับความเร็วอ้างอิง พร้อมทั้งแสดงค่าความต่างของผลการทดลองในรูปแบบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองที่สภาวะคงตัว

4.1 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมแบบเปิด

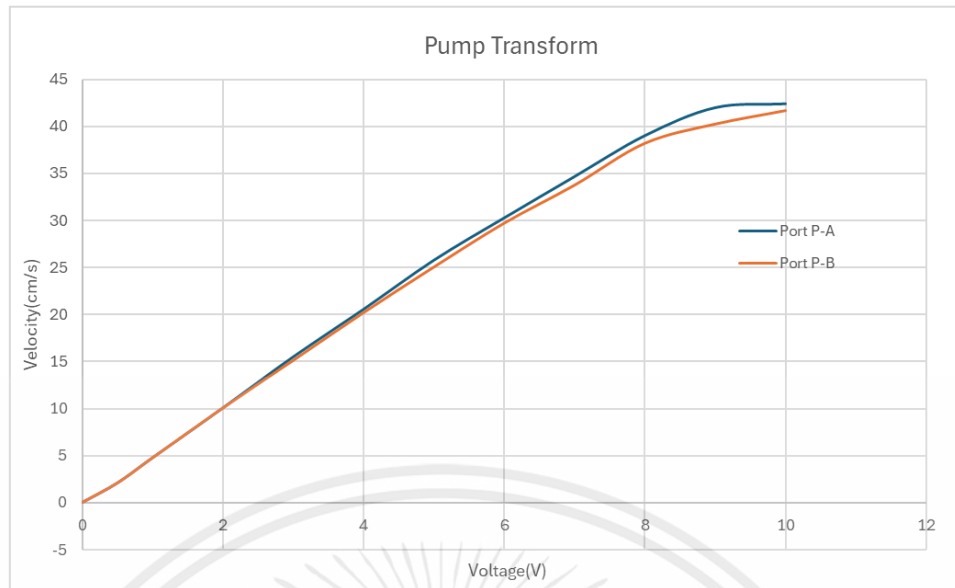
สำหรับการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบของระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองในครั้งนี้ ได้กำหนดการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบอ้างอิงแบบไซน์ที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 Hz ตามลำดับ ตั้งวาล์วปลดความดันไว้ที่ 50 bar ทั้งระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มและระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว สำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 ถึง 1450 RPM ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ปั๊มไฮดรอลิกมีค่าคงที่ประมาณ 1450 RPM

4.1.1 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมปั๊ม

การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมปั๊มอาศัย Pump Transform ในการปรับรอบการทำงานของมอเตอร์

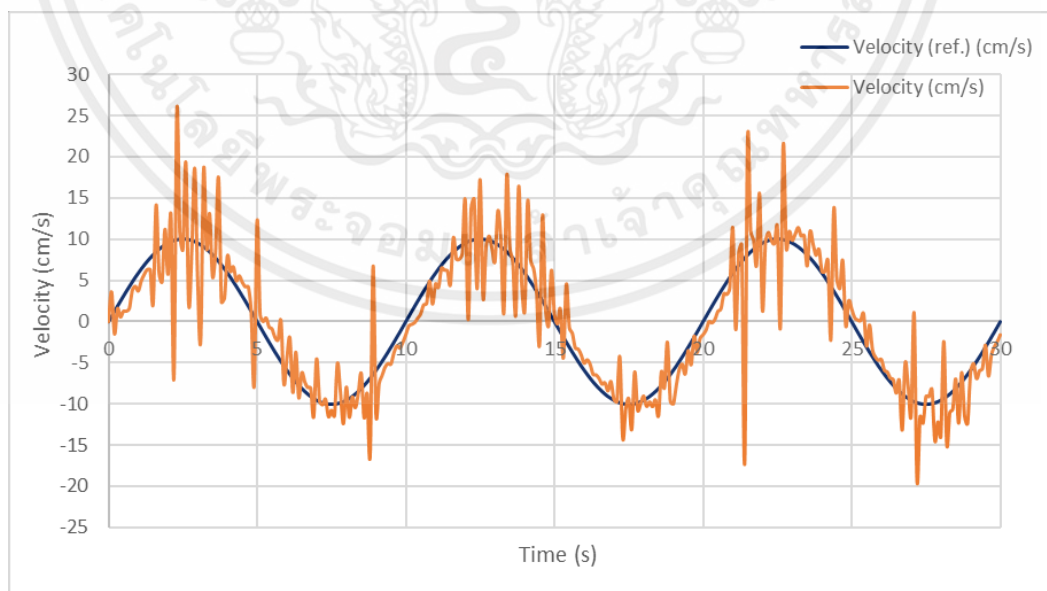
จากตารางที่ 3.2 แสดงความเร็วขณะก้านสูบเคลื่อนที่ช้าๆ - ขวาในแต่ละด้านของวาล์วควบคุมทิศทางเทียบกับสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่สัญญาณควบคุมตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ สามารถสร้างกราฟปั๊มทรานส์ฟอร์มได้

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟปั๊มทรานส์ฟอร์มระหว่างสัญญาณควบคุมกับความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม ความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบสองด้านของกระบอกสูบมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นไฮดรอลิกชนิดสองกระบอกสูบ ทำให้พื้นที่หน้าตัดของสองด้านมีขนาดเท่ากัน



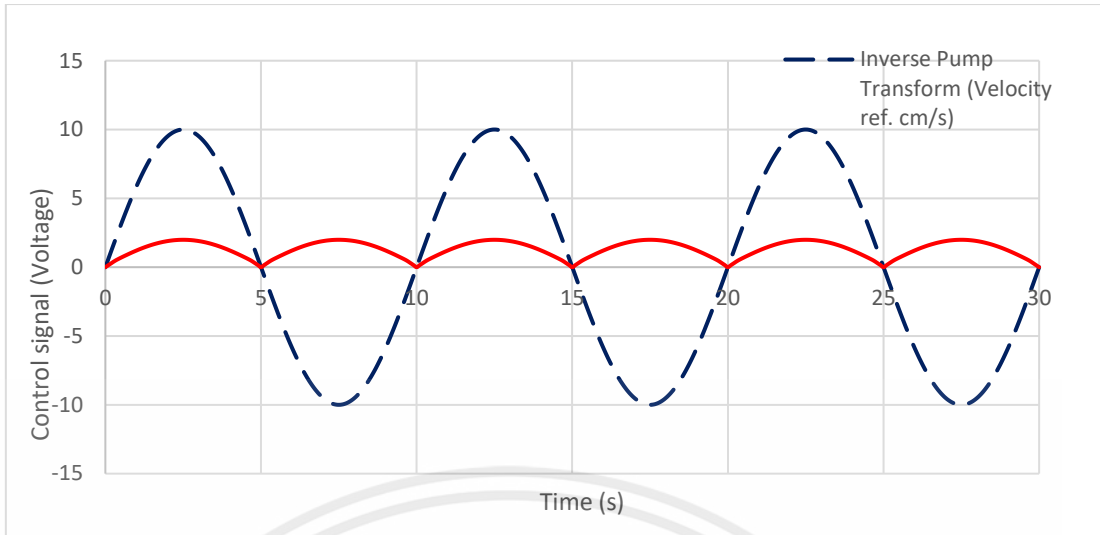
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมปั๊มกับอัตราการไหล

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงผลตอบสนองเชิงความเร็วและสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 0.1 Hz โดย Pump Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 1.85 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง 0 voltage ถึง 2 voltage



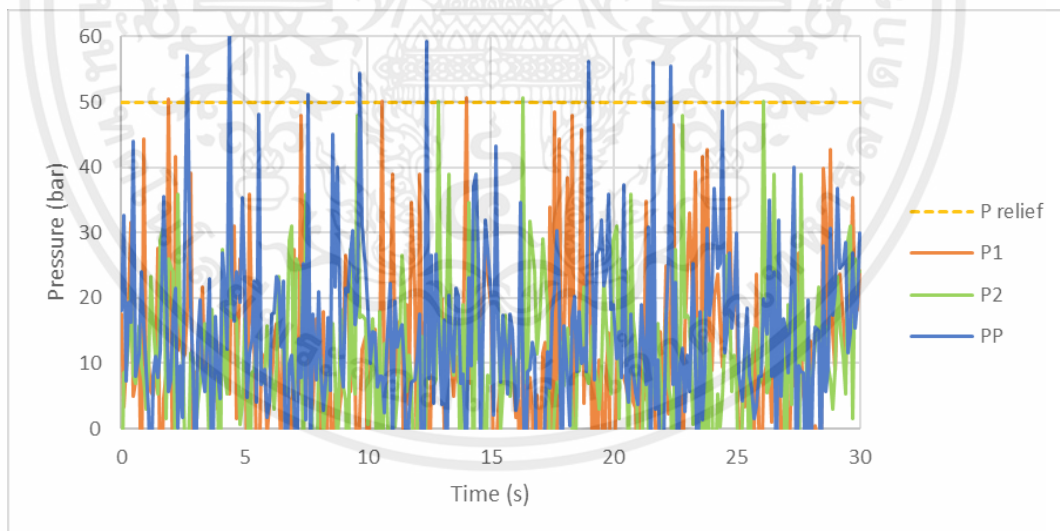
รูปที่ 4.2 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



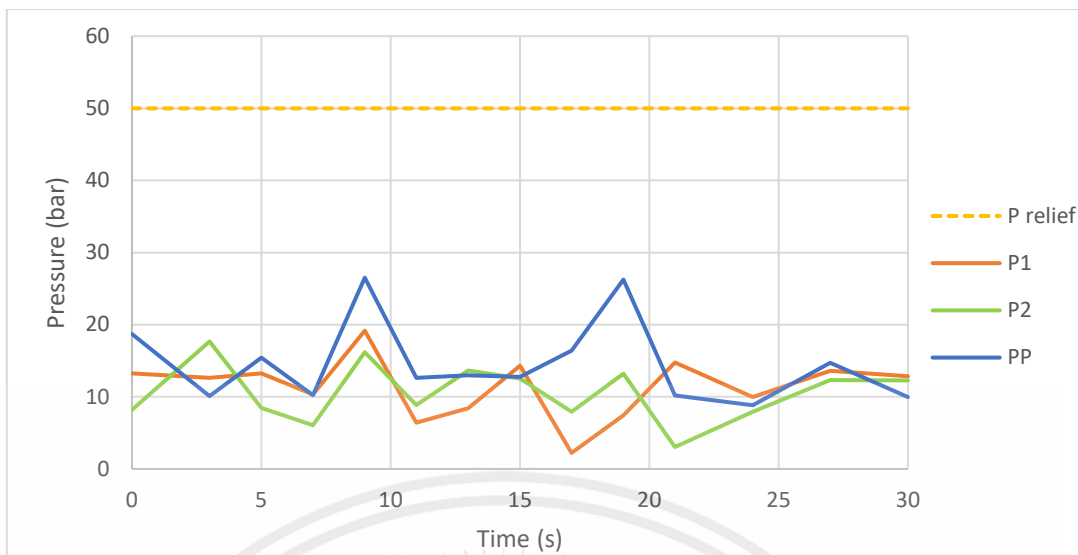
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz

รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz



รูปที่ 4.4 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz

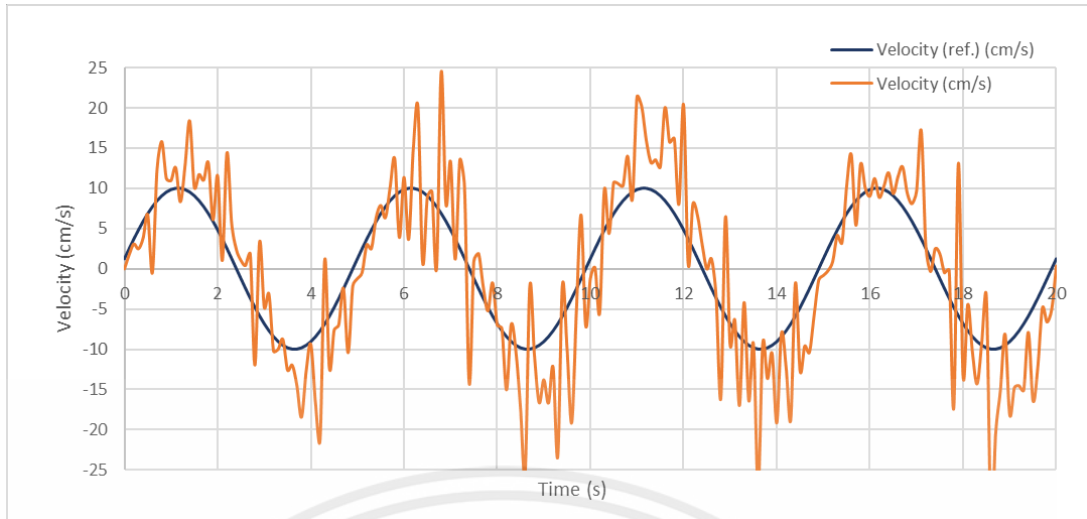
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



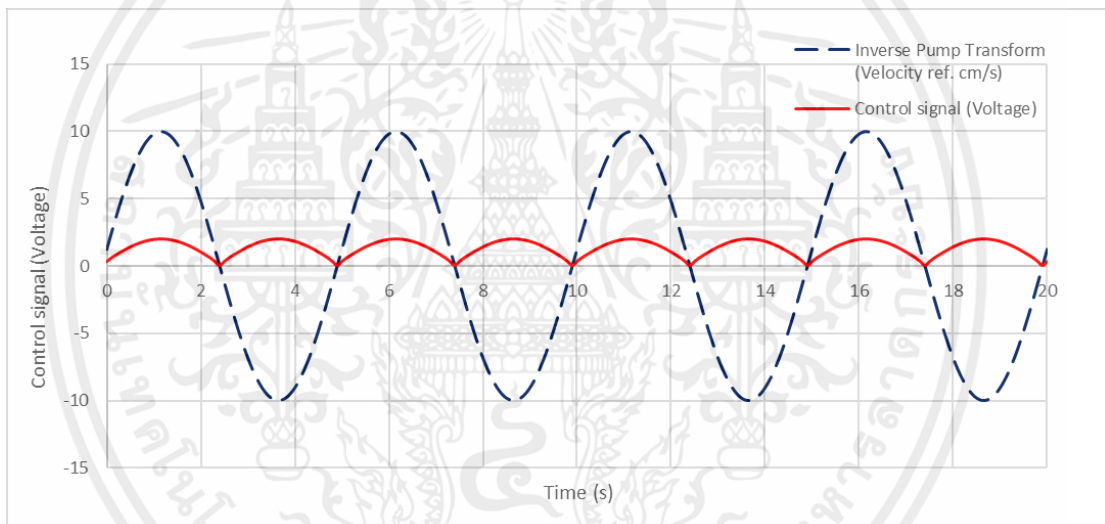
รูปที่ 4.5 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ที่ได้จากการเฉลี่ย

ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ความดันปั๊มมีค่าต่ำกว่าความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar เนื่องจากปั๊มไฮดรอลิกไม่ต้องสร้างอัตราการไหลสูงสุดตลอดเวลา และอัตราการไหลทั้งหมดสามารถไหลผ่านวาล์วควบคุมได้ทั้งหมด ความดันที่ปั๊มตลอดการทำงานจึงมีค่าไม่เกินความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5

รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลตอบสนองเชิงความเร็วและสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ ความถี่ 0.2 Hz โดย Pump Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 2.93 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง 0 voltage ถึง 2 voltage

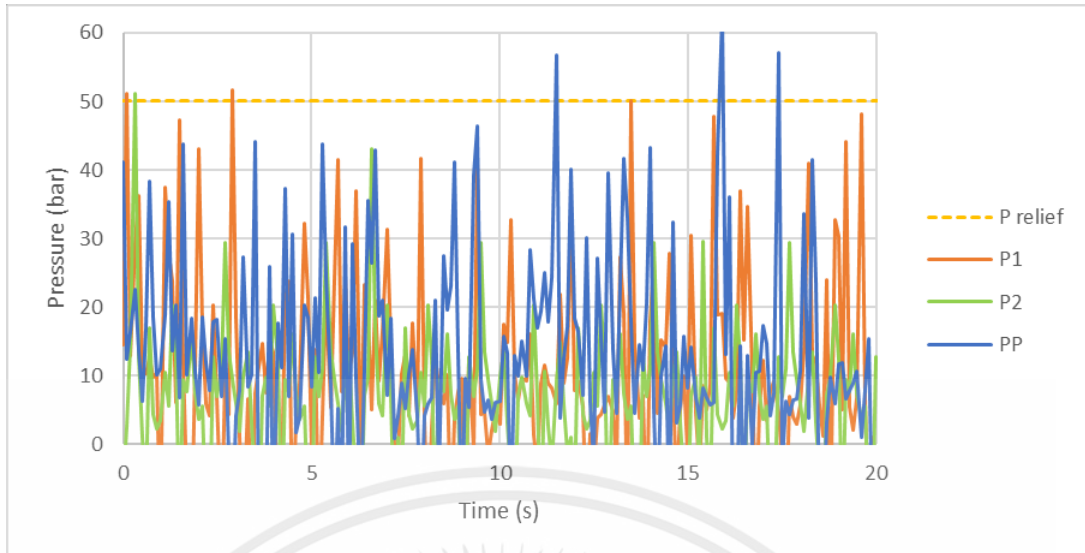


รูปที่ 4.6 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยปั๊ม

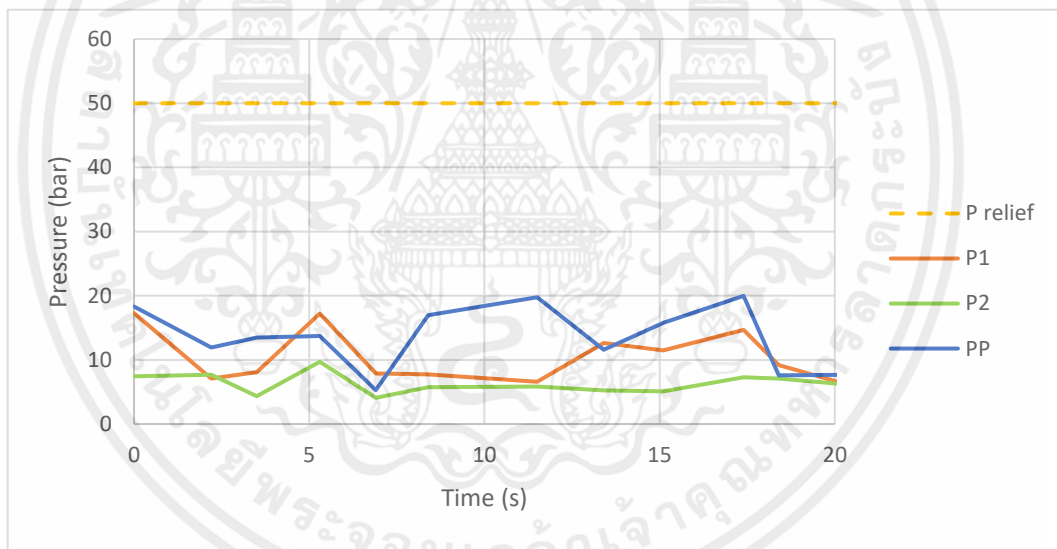


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz

รูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz



รูปที่ 4.8 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz

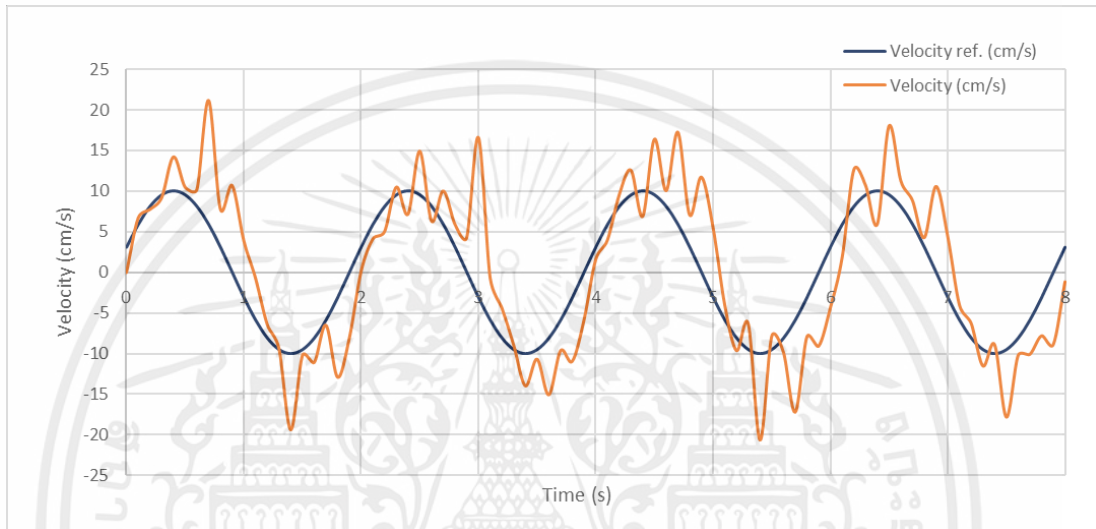


รูปที่ 4.9 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz

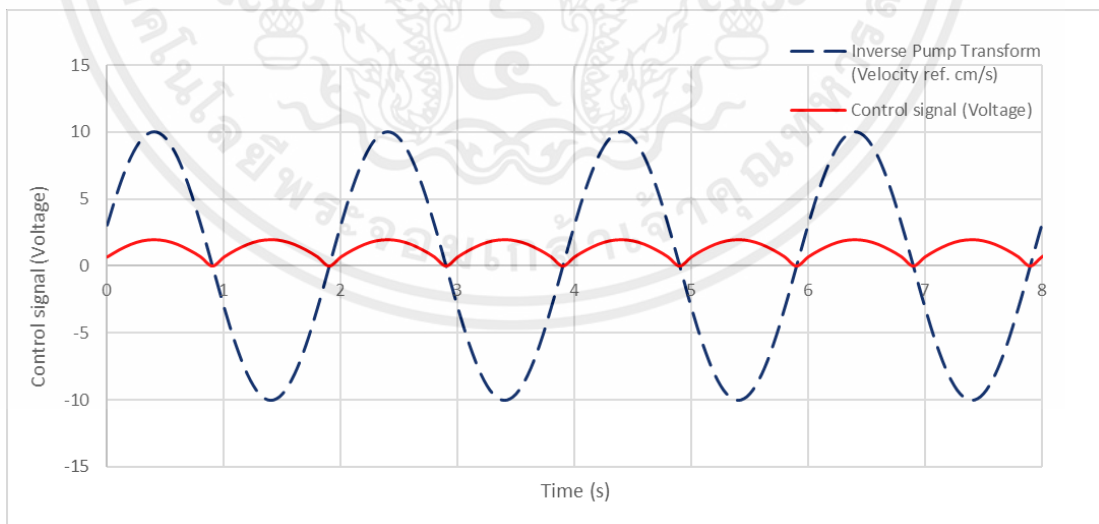
ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz ความดันปั๊มมีค่าต่ำกว่าความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar เนื่องจากปั๊มไฮดรอลิกไม่ต้องสร้างอัตราการไหลสูงสุดตลอดเวลา และอัตราการไหลทั้งหมดสามารถไหลผ่านวาล์วควบคุมได้ทั้งหมด ความดันที่ปั๊มตลอดการทำงานจึงมีค่าไม่เกินความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar ดังรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลตอบสนองเชิงความเร็วและสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 0.5 Hz โดย Pump Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุม ผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 3.12 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง 0 voltage ถึง 2 voltage



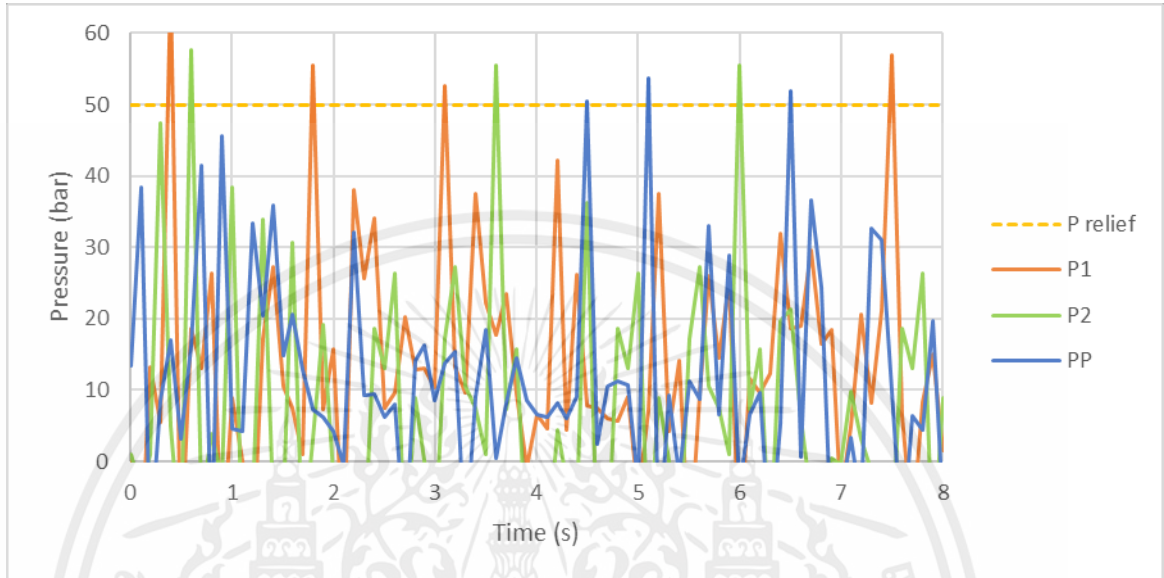
รูปที่ 4.10 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยปั๊ม



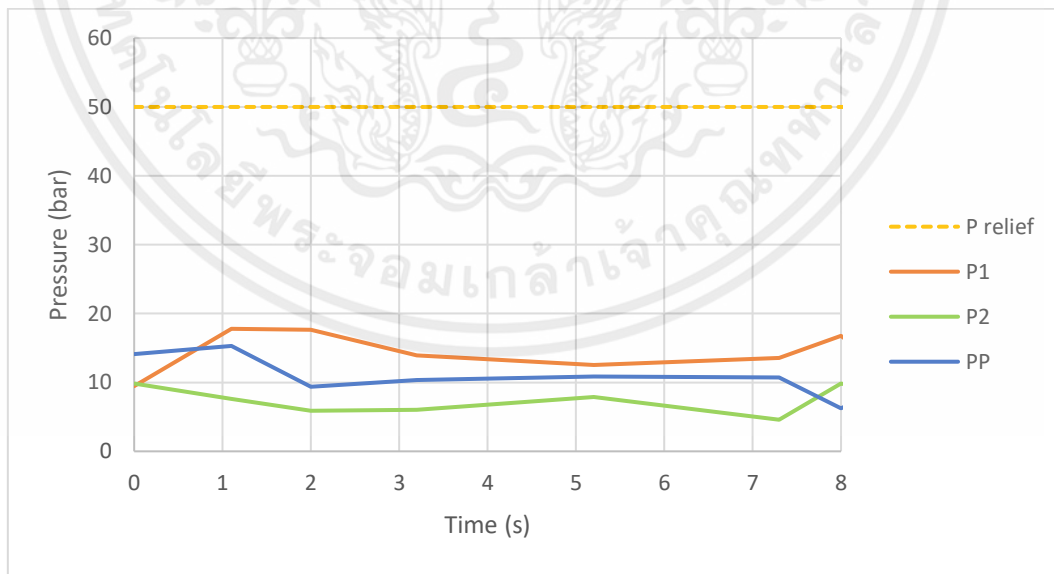
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz



รูปที่ 4.12 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz

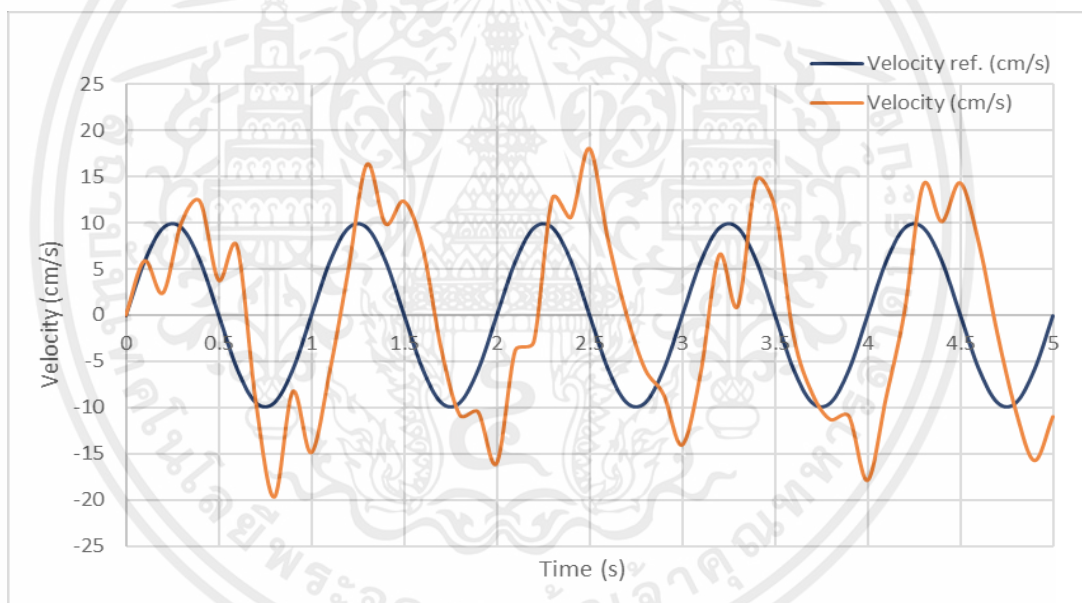


รูปที่ 4.13 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz

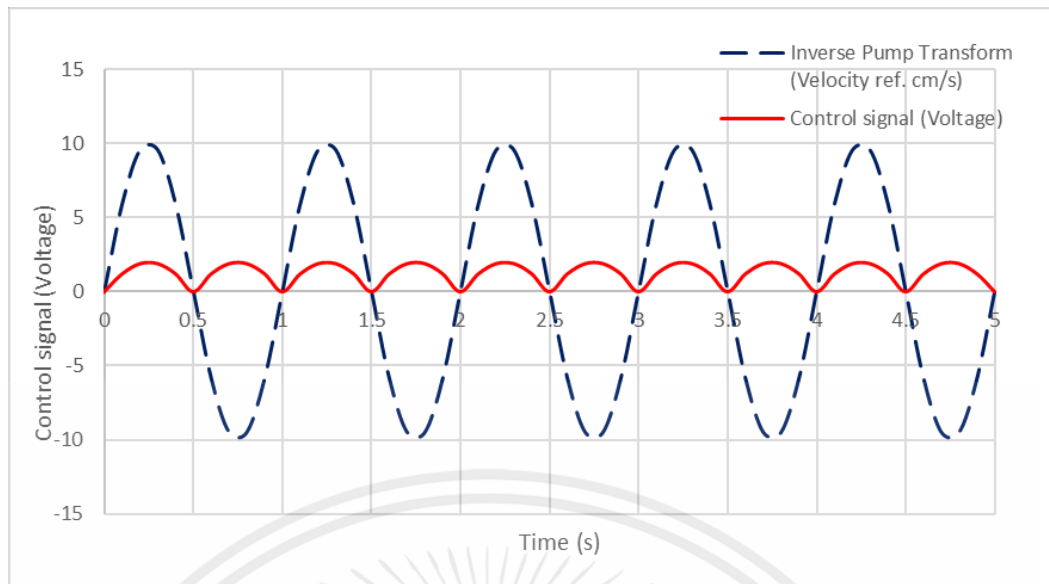
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz ความดันปั๊มมีค่าต่ำกว่าความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar เนื่องจากปั๊มไฮดรอลิกไม่ต้องสร้างอัตราการไหลสูงสุดตลอดเวลา และอัตราการไหลทั้งหมดสามารถไหลผ่านวาล์วควบคุมได้ทั้งหมด ความดันที่ปั๊มตลอดการทำงานจึงมีค่าไม่เกินความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar ดังรูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13

รูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงผลตอบสนองเชิงความเร็วและสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีไหลของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 1.0 Hz โดย Pump Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 3.36 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีไหลสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง 0 voltage ถึง 2 voltage

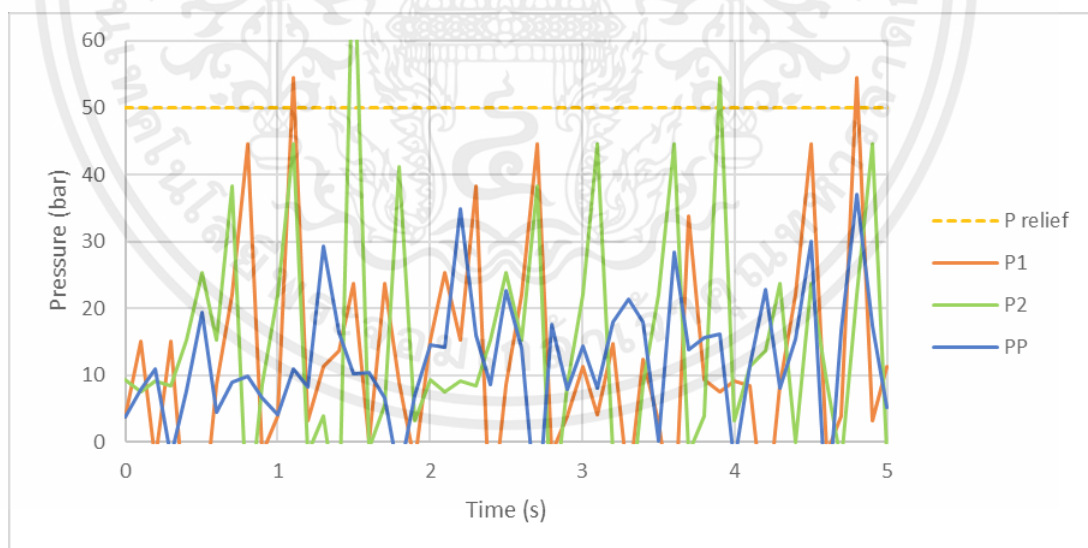


รูปที่ 4.14 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม



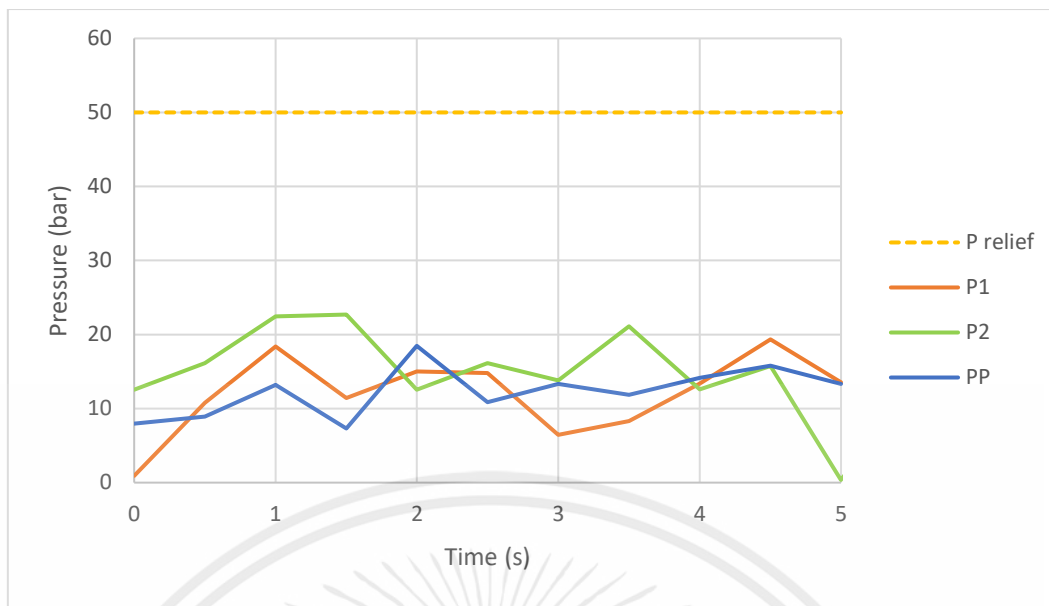
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz

รูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz



รูปที่ 4.16 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz

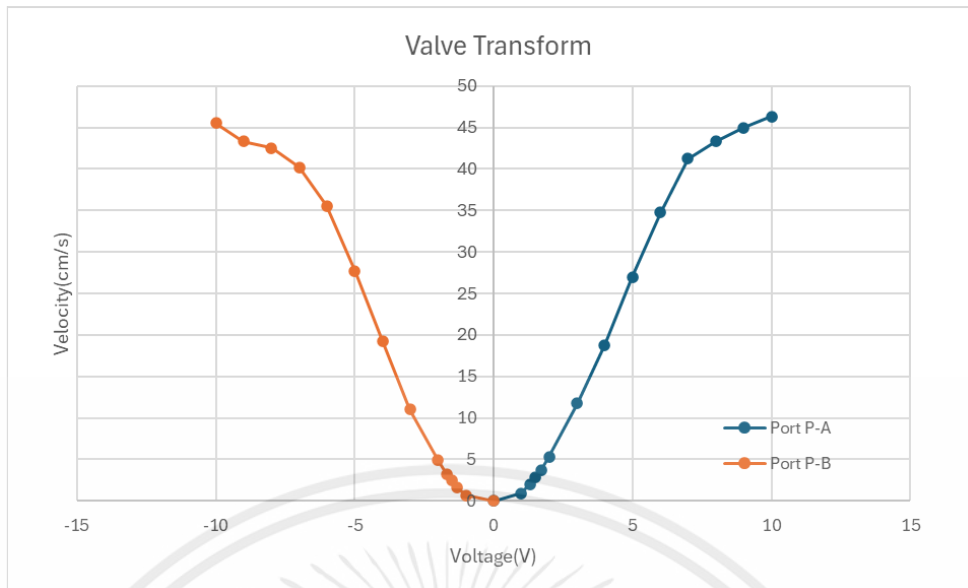
ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz ความดันปั๊มมีค่าต่ำกว่าความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar เนื่องจากปั๊มไฮดรอลิกไม่ต้องสร้างอัตราการไหลสูงสุดตลอดเวลา และอัตราการไหลทั้งหมดสามารถไหลผ่านวาล์วควบคุมได้ทั้งหมด ความดันที่ปั๊มตลอดการทำงานจึงมีค่าไม่เกินความดันของวาล์วปลดความดันที่ 50 bar ดังรูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17

4.1.2 การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมวาล์ว

การควบคุมความเร็วของระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการควบคุมปั๊มอาศัยโดยอาศัย Valve Transform ในการควบคุมอัตราการไหล และทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก

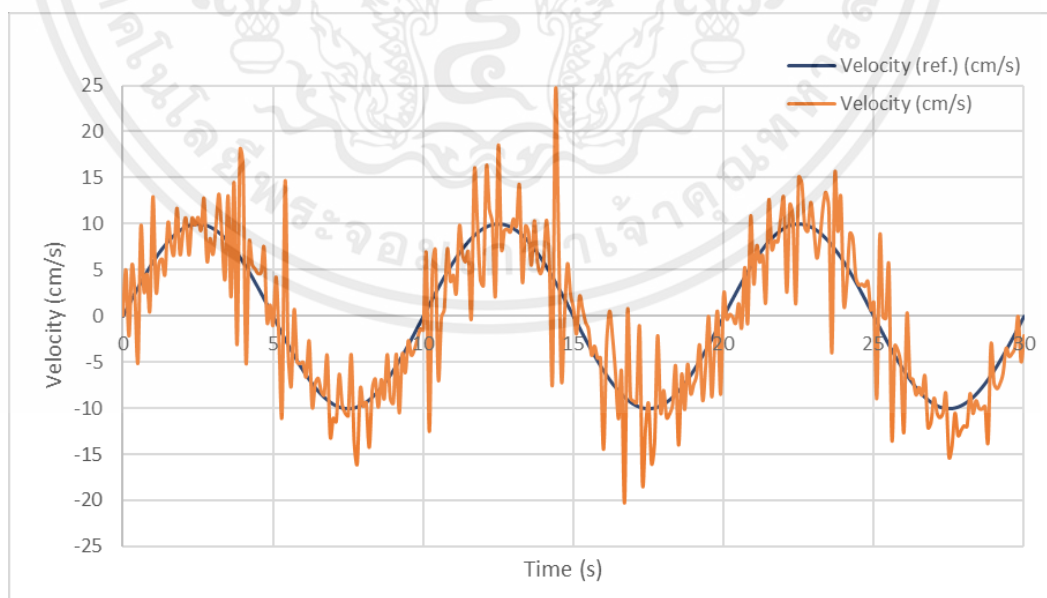
จากตารางที่ 3.3 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ขา-ซ้ายของก้านสูบของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว โดยแสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านบวกที่จ่ายให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลจาก 0 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านลบที่จ่ายให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลจาก 0 โวลต์ ถึง -10 โวลต์ เหมือนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านบวก สามารถสร้างกราฟวาล์วทรานส์ฟอร์มได้

รูปที่ 4.18 แสดงกราฟวาล์วทรานส์ฟอร์มระหว่างสัญญาณควบคุมวาล์วกับความเร็วในการเคลื่อนที่เข้า - ออกของก้านสูบของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว ความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบสองด้านของกระบอกสูบมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นไฮดรอลิกชนิดสองกระบอกสูบ ทำให้พื้นที่หน้าตัดของสองด้านมีขนาดเท่ากัน



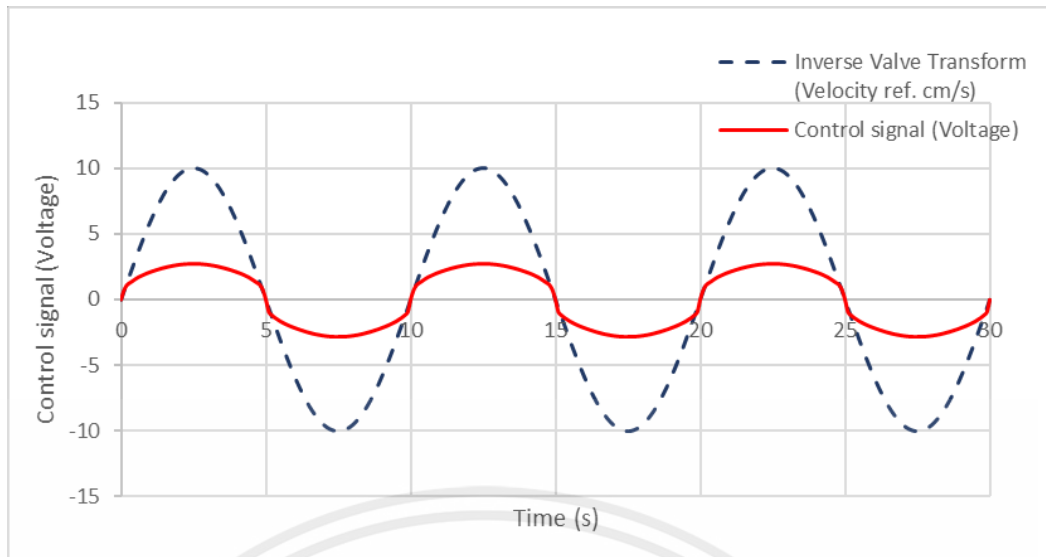
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมวาล์วกับอัตราการไหล

รูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงผลตอบสนองการติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลด สำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว Valve Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 0.1 Hz ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 1.79 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง -3 voltage ถึง 3 voltage



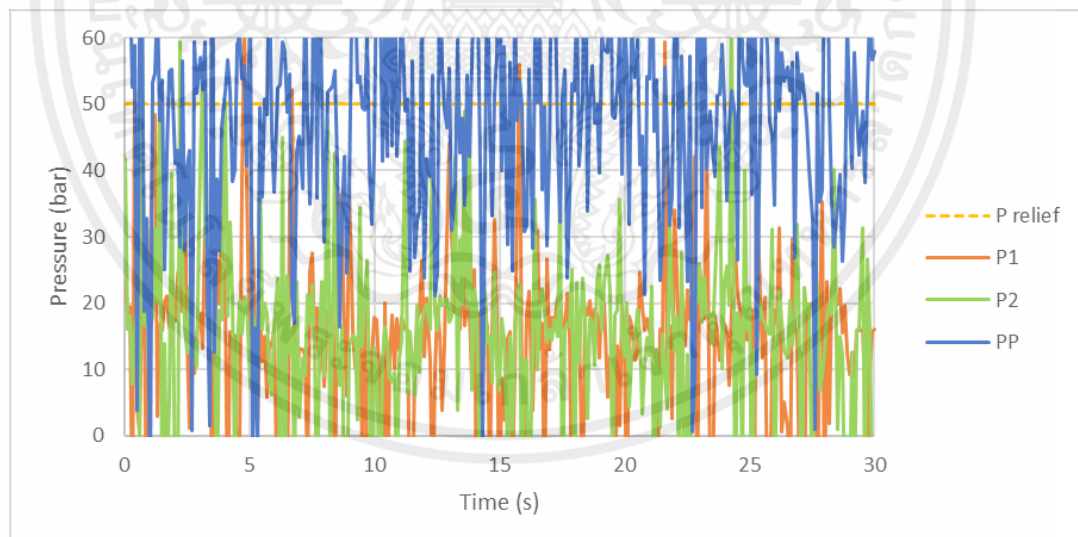
รูปที่ 4.19 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

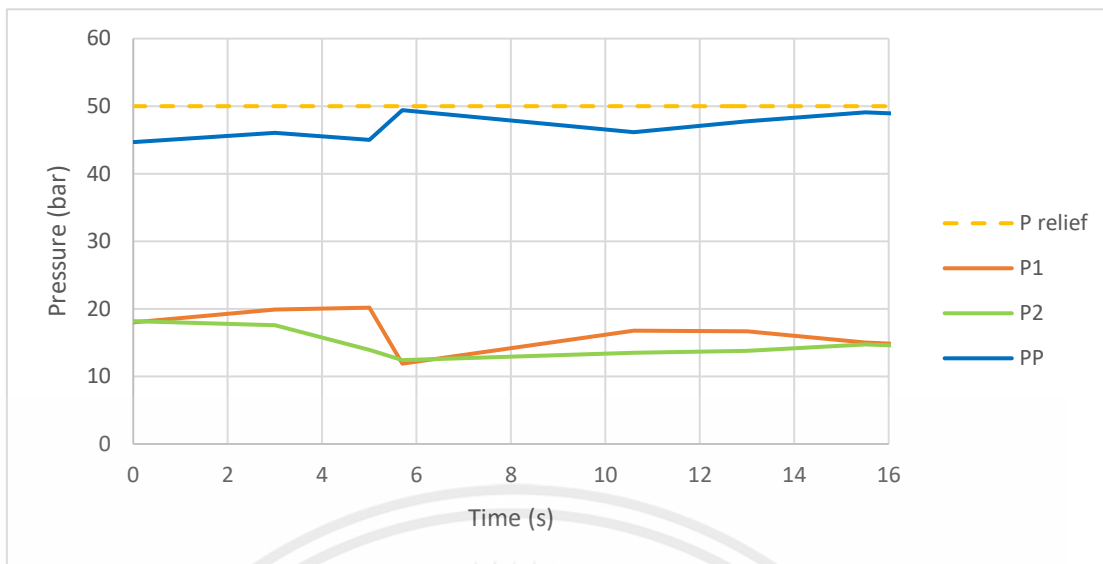


รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz

รูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz



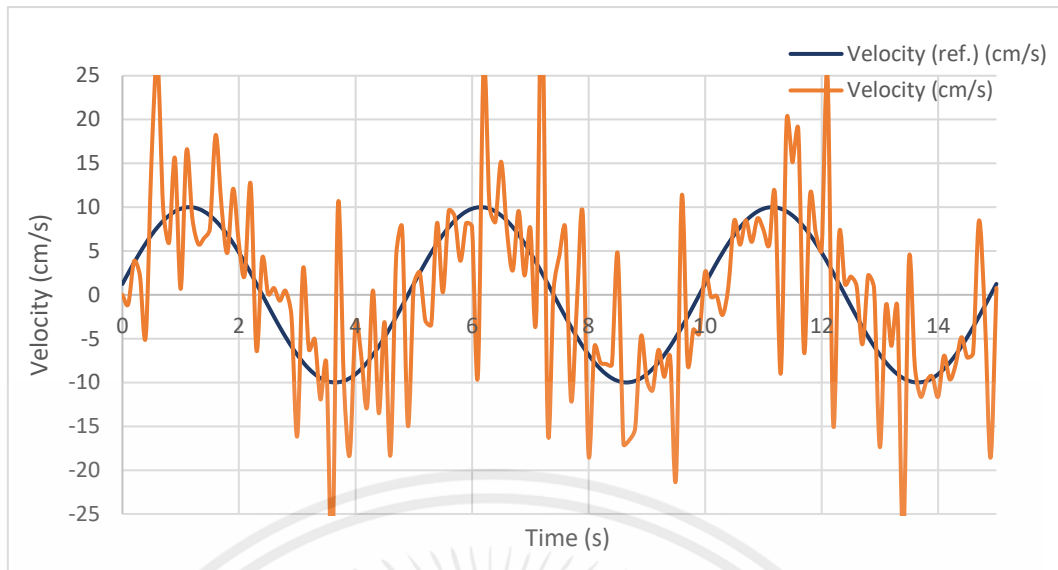
รูปที่ 4.21 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz



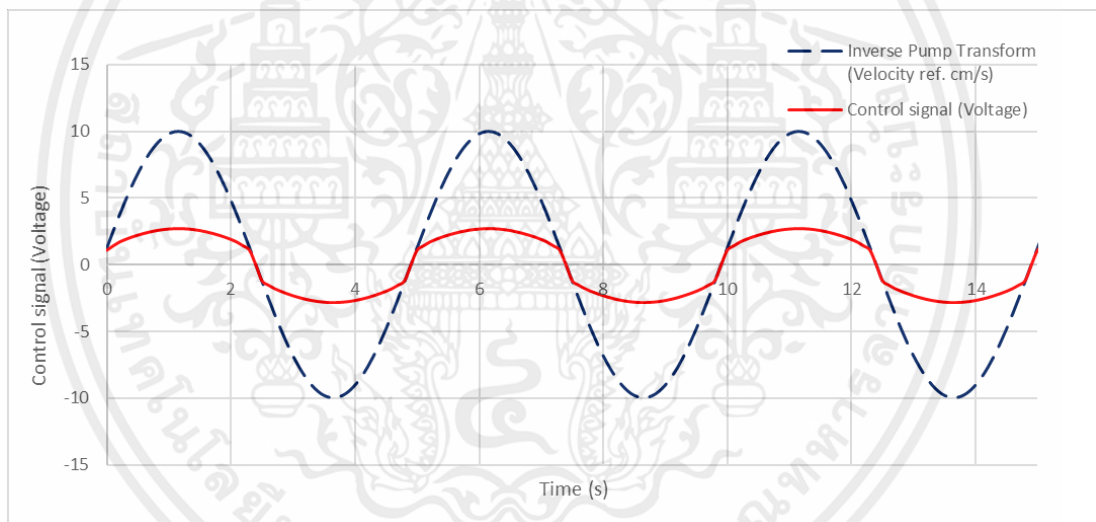
รูปที่ 4.22 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz

ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.1 Hz ความดันปั๊มค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดันเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับปั๊มต้องหมุนที่ความเร็วรอบสูงสุดตลอดเวลาการทำงาน ซึ่งอัตราการไหลทั้งหมดไม่ได้ไหลผ่านวาล์วควบคุมทั้งหมด ส่วนหนึ่งของน้ำมันมีการไหลกลับถึง เป็นเหตุให้ความดันของปั๊มมีค่าคงที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดัน ดังรูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22

รูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงผลตอบสนองการติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลด สำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว Valve Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 0.2 Hz ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 3.04 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง -3 voltage ถึง 3 voltage

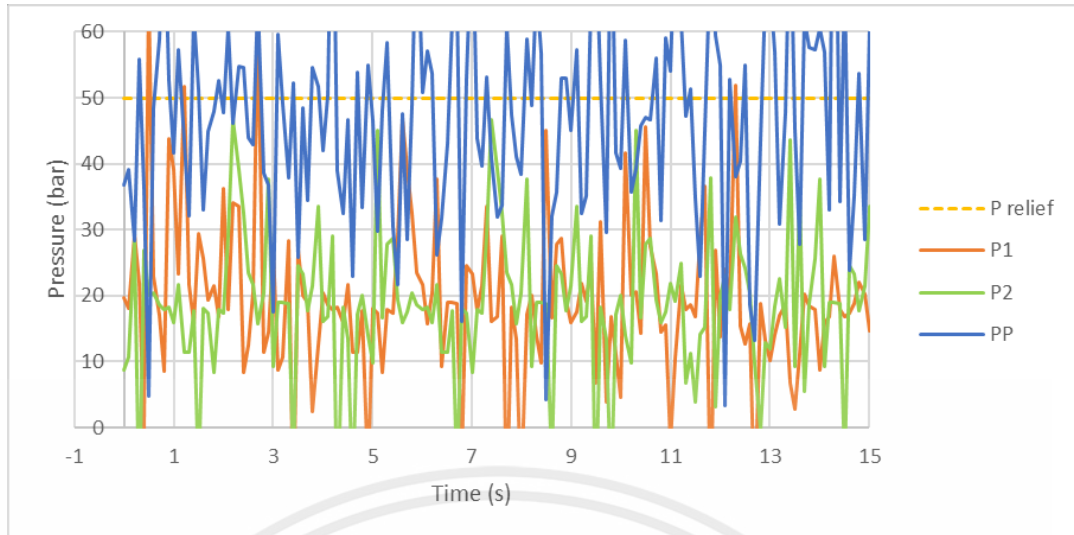


รูปที่ 4.23 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว

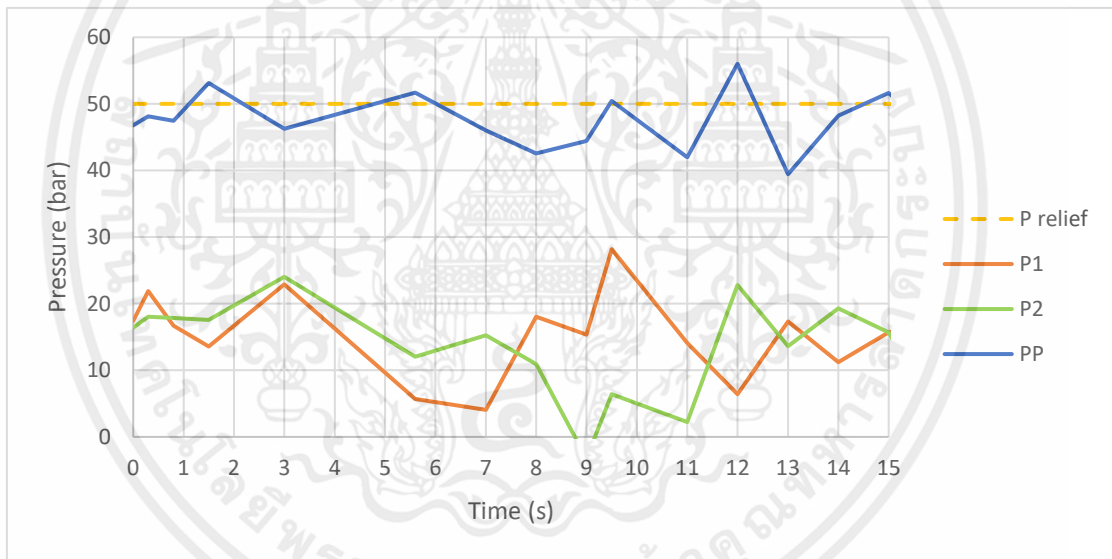


รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz

รูปที่ 4.25 และ รูปที่ 4.26 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz



รูปที่ 4.25 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz

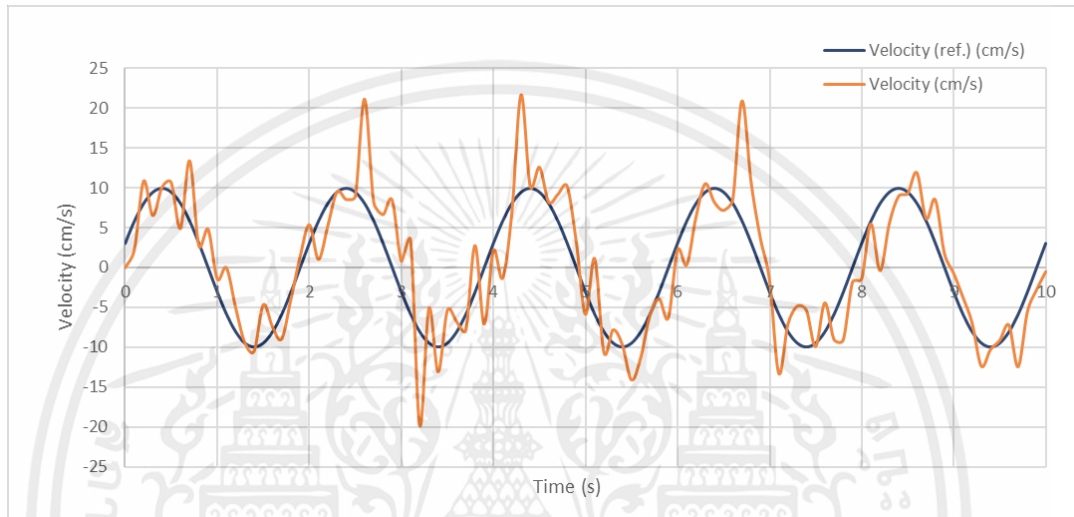


รูปที่ 4.26 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz

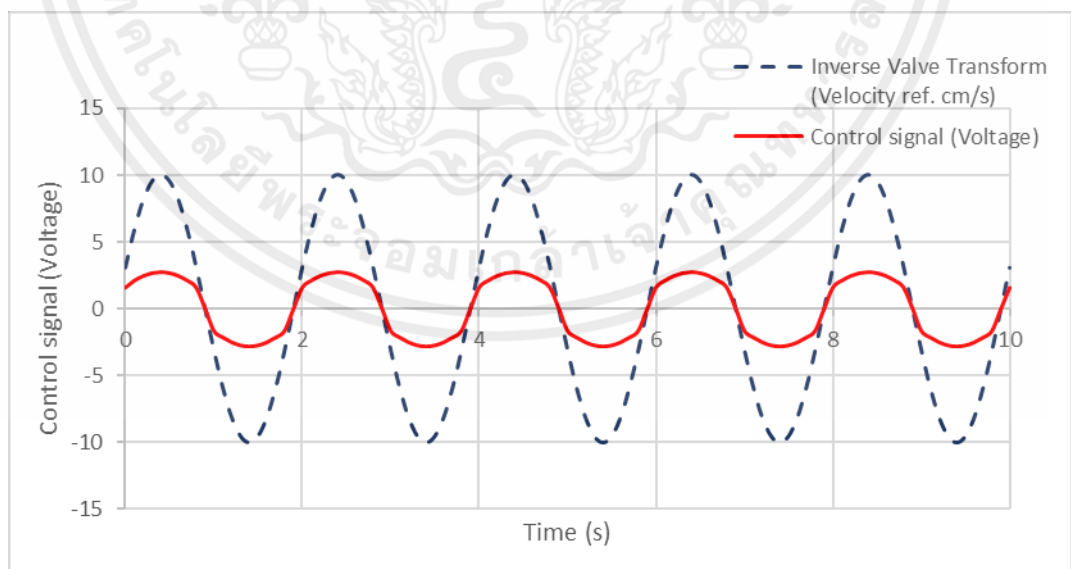
ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.2 Hz ความดันปั๊มค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดันเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับปั๊มต้องหมุนที่ความเร็วรอบสูงสุดตลอดเวลาการทำงาน ซึ่งอัตราการไหลทั้งหมดไม่ได้ไหลผ่านวาล์วควบคุมทั้งหมด ส่วนหนึ่งของน้ำมันมีการไหลกลับถึง เป็นเหตุให้ความดันของปั๊มมีค่าคงที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดัน ดังรูปที่ 4.25 และ รูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงผลตอบสนองการติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลด สำหรับระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์ว Valve Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 0.5 Hz ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์วมีค่าประมาณ 1.57 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง -3 voltage ถึง 3 voltage



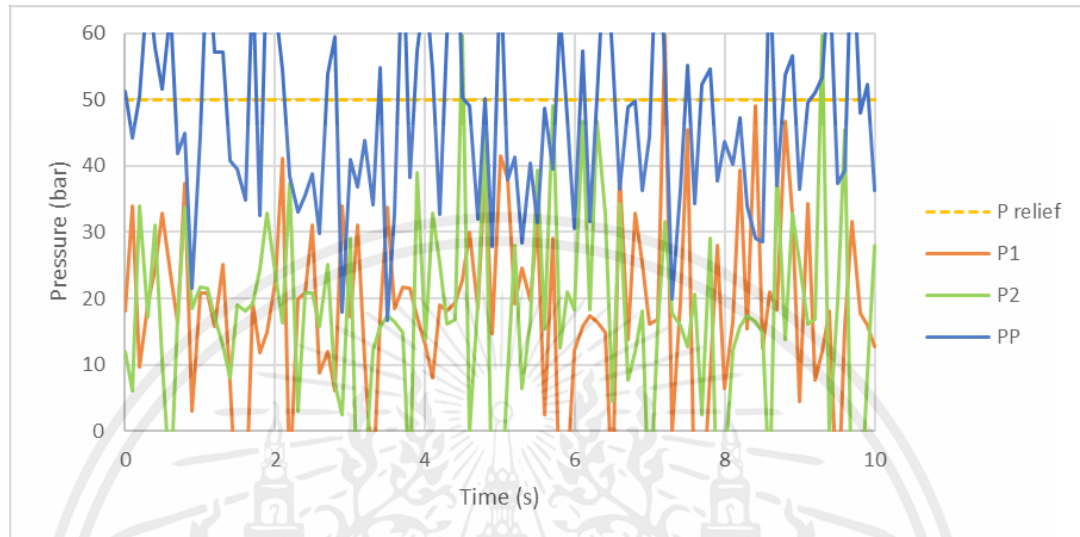
รูปที่ 4.27 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์ว



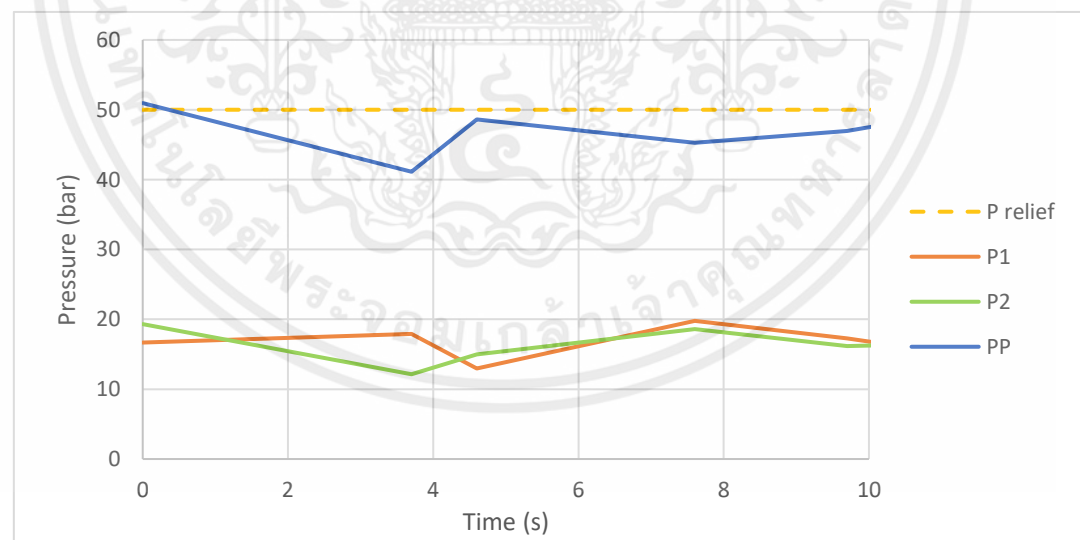
รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการใช้วาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30 แสดงความดันและความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz



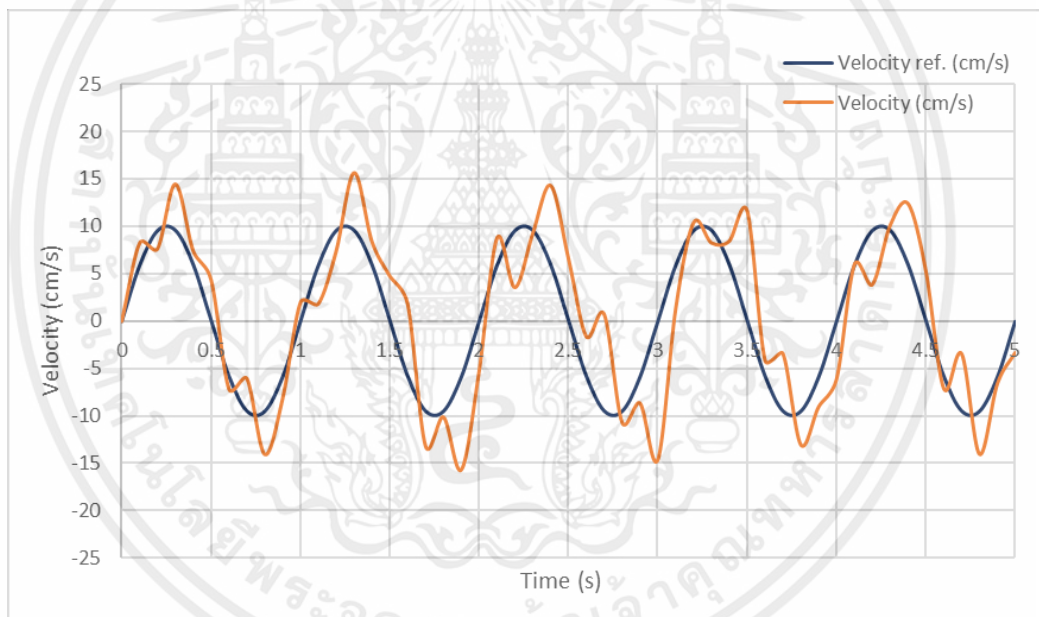
รูปที่ 4.29 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz



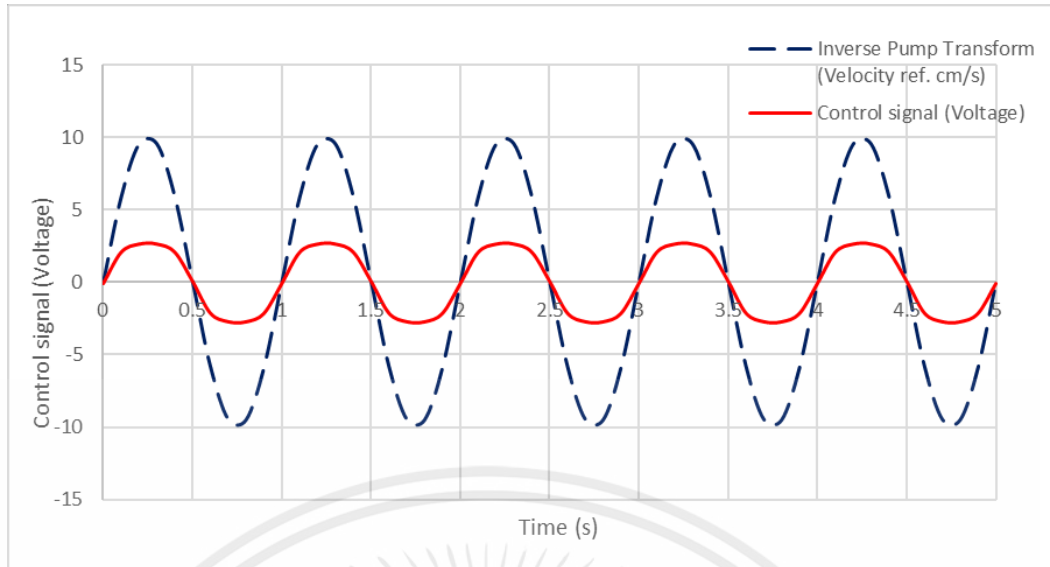
รูปที่ 4.30 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz

ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 0.5 Hz ความดันปั๊มค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดัน เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับปั๊มต้องหมุนที่ความเร็วรอบสูงสุดตลอดเวลาการทำงาน ซึ่งอัตราการไหลทั้งหมดไม่ได้ไหลผ่านวาล์วควบคุมทั้งหมด ส่วนหนึ่งของน้ำมันมีการไหลกลับถัง เป็นเหตุให้ความดันของปั๊มมีค่าคงที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดัน ดังรูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30

รูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงผลตอบสนองการติดตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลด สำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว Valve Transform ถูกใช้เป็นสัญญาณควบคุมผลตอบสนองของระบบตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงที่มีแอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ที่ความถี่ 1.0 Hz ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ของความเร็วของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีค่าประมาณ 1.74 cm/s สำหรับสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดกรณีไม่มีโหลดสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วมีลักษณะแบบคลื่นขึ้น-ลงสม่ำเสมอตามสัญญาณความเร็วอ้างอิงมีค่าอยู่ระหว่าง -3 voltage ถึง 3 voltage

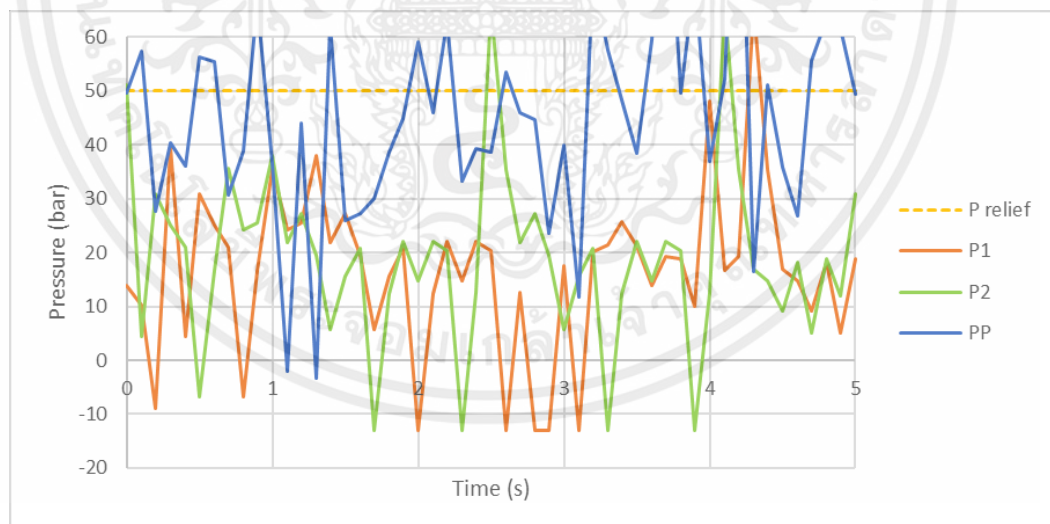


รูปที่ 4.31 แสดงความเร็วของก้านกระบอกสูบ กับความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว



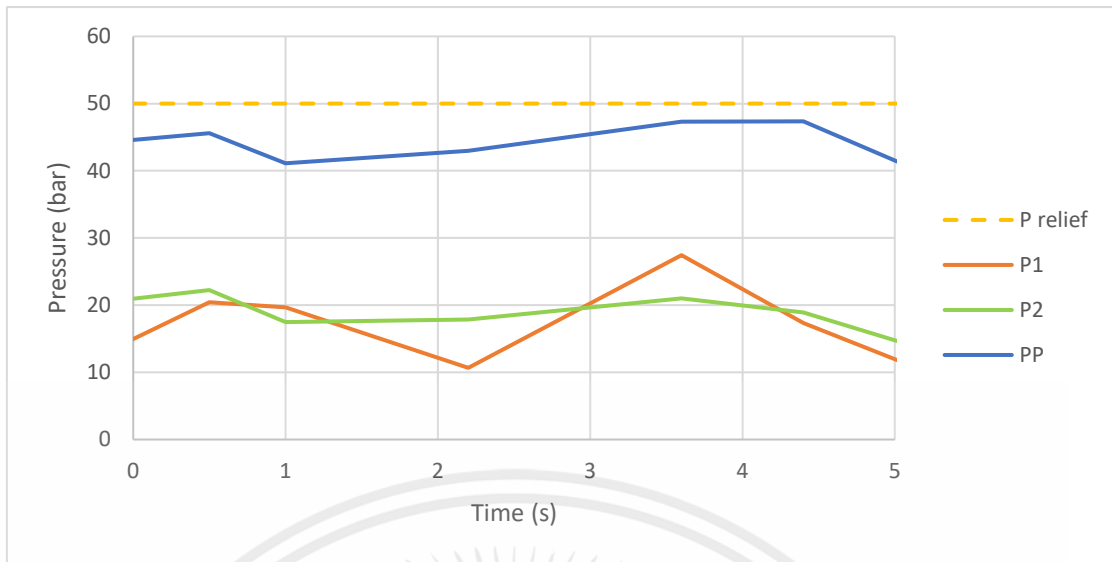
รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz

รูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34 แสดงความดันและความดันได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของการควบคุมแบบเปิดของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz



รูปที่ 4.33 แสดงความดันที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดงความดันที่ได้จากการเฉลี่ยที่ปั๊ม (PP) ที่ปลายด้านซ้ายของกระบอกสูบ (P1) และที่ปลายด้านขวาของกระบอกสูบ (P2) ของระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz

ระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วที่สัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบไซน์ที่แอมพลิจูดขนาด 10 cm/s ความถี่ 1.0 Hz ความดันปั๊มค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดันเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับปั๊มต้องหมุนที่ความเร็วรอบสูงสุดตลอดเวลาการทำงาน ซึ่งอัตราการไหลทั้งหมดไม่ได้ไหลผ่านวาล์วควบคุมทั้งหมด ส่วนหนึ่งของน้ำมันมีการไหลกลับถึง เป็นเหตุให้ความดันของปั๊มมีค่าคงที่ประมาณ 50 bar ที่ความดันของวาล์วปลดความดัน ดังรูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิกที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม ซึ่งอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่สร้างจากปั๊มควบคุมโดย ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์โดยระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มที่ทำการศึกษาในครั้งนี้จะประยุกต์ใช้ในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก จากการทดลองควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกผ่านการควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลและการใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล เมื่อนำผลทั้งหมดมาเปรียบเทียบโดยการแบ่งออกเป็น 2 การเปรียบเทียบ ดังนี้

1. เปรียบเทียบผลการควบคุมระบบเปิดโดยการควบคุมวาล์วและควบคุมปั๊ม
 2. เปรียบเทียบผลของระยะเวลาการลู่เข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิง
- ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 เปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบระบบเปิด

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกรณี ระบบเปิดแบบควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล กับ ควบคุมด้วยปั๊มควบคุมอัตราการไหล จะเห็นว่า การใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวมีค่าน้อยกว่าการควบคุมด้วยปั๊มทุกกรณีจากการทดลองในแต่ละช่วงความถี่ที่ 0.1 , 0.2 , 0.5 , 1 Hz ตามลำดับ หมายความว่า การใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลมีความแม่นยำมากกว่า

5.2 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาการลู่เข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิง

จากการทดลอง เห็นได้ว่า ระยะเวลาที่ความเร็วจริงลู่เข้าสู่ความเร็วอ้างอิงของการควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีระยะเวลานี้น้อยกว่าการควบคุมที่ปั๊ม เพราะการควบคุมอัตราการไหลมีความเร็วในการตอบสนองต่อการควบคุมเร็วกว่าการควบคุมด้วยปั๊ม

จากการสรุปการทดลองทั้งหมดข้างต้น สามารถพิจารณาในด้านการตอบสนองต่อการควบคุมระบบได้ โดยจะเห็นได้ว่าการใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลกับระบบควบคุมสามารถทำหน้าที่ได้เหมาะสมมากกว่าการใช้ปั๊มควบคุมระบบ และเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแต่ละระบบการทำงาน พบว่า การใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ปั๊มควบคุม เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่สร้างมาจากปั๊มไฮดรอลิกสำหรับระบบควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม มีผลมาจากผลตอบสนองความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

5.3 วิจัยผลการศึกษา

ควรติดตั้งอุปกรณ์กรองสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณการรับค่ามาจากเซนเซอร์แต่ละชนิดมีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาไว้ท้ายบทความ โดยการอ้างอิงในบทความให้อ้างอิงโดยอาศัยตัวเลขในวงเล็บเหลี่ยม เช่น [1], [1,2] หรือ [1-3] เป็นต้น สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins for adsorption chillers, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29(11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.
- [2] จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สนวนมาลี (2519). ความสามารถในการเงินของเทศบาล กรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, 16, เมษายน 2519, หน้า 231 – 254.

2. บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

- [1] Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power Generation Systems, paper presented in *the Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2001*, Chiang Mai, Thailand.
- [2] มารุต บุรพา, ณิชูณี วรยศ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย*, มหาวิทยาลัยรัตนนคร จังหวัดพิษณุโลก

3. รายงาน

- [1] Division of Technical Services and Planning, Chiang Mai City Municipality (2003). *Annual Report 2003*.
- [2] จุฬารัตน์ โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ตันธวัชนิษฐ์ และ ปณิตดา เพ็ชรสิงห์ (2529). *รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง*, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 54 – 57.

4. หนังสือ

- [1] Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). *Principles of Solar Engineering*, 2nd edition, ISBN: 1-56032-714-6, Taylor & Francis, Philadelphia.
- [3] วิบูล วิราณวัต และ กนกนารถ ชูปัญญา (2525). *เคมีคลินิก*, กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เว็บไซต์

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2004). *Statistic Data*, URL: <http://www.dede.go.th>, access on 24/04/2010.
- [2] Spath, P.L. and Mann, M.K. (2002). *Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System*, NREL/TP-570-27715, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, URL: <http://www.doe.gov>, access on 24/04/2010.
- [3] บริษัท ไอทีวี จำกัด (มหาชน) (2542). *เรื่องราวของไอทีวี*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.itv.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 24/04/2553.



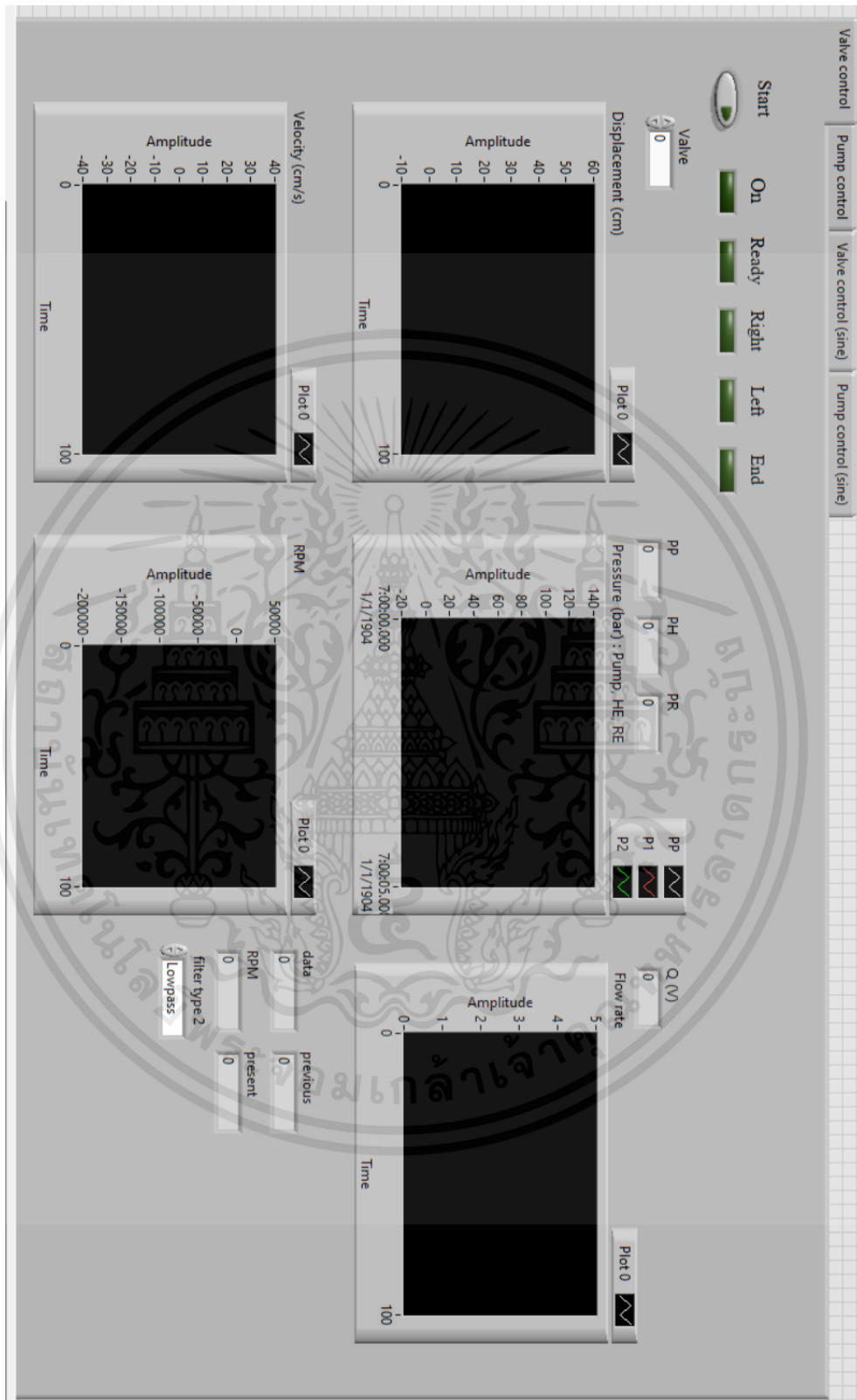
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

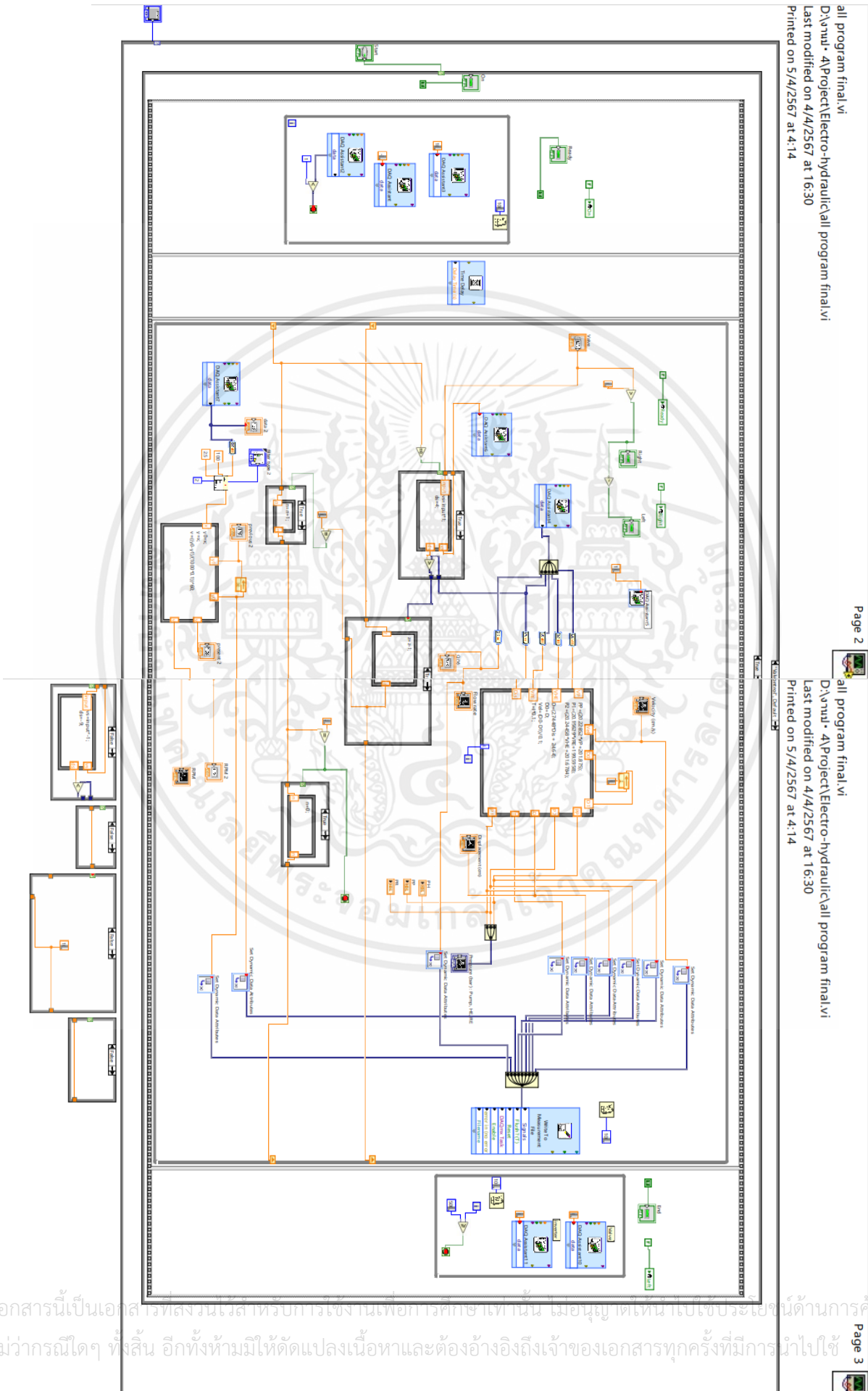
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แสดง Front panel ของ Open Loop Control system with valve



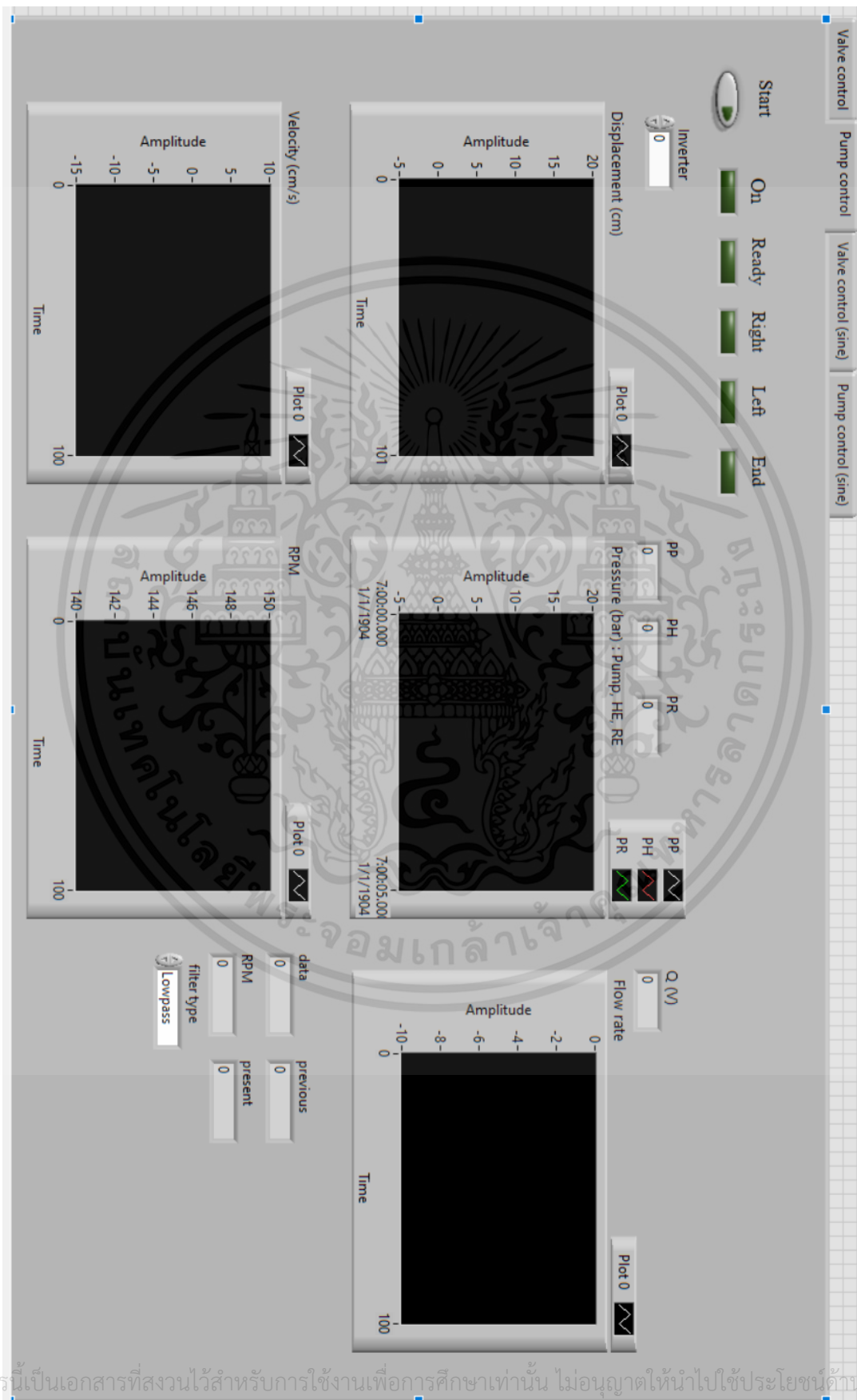
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 แสดง Block diagram ของ Open Loop Control system with valve



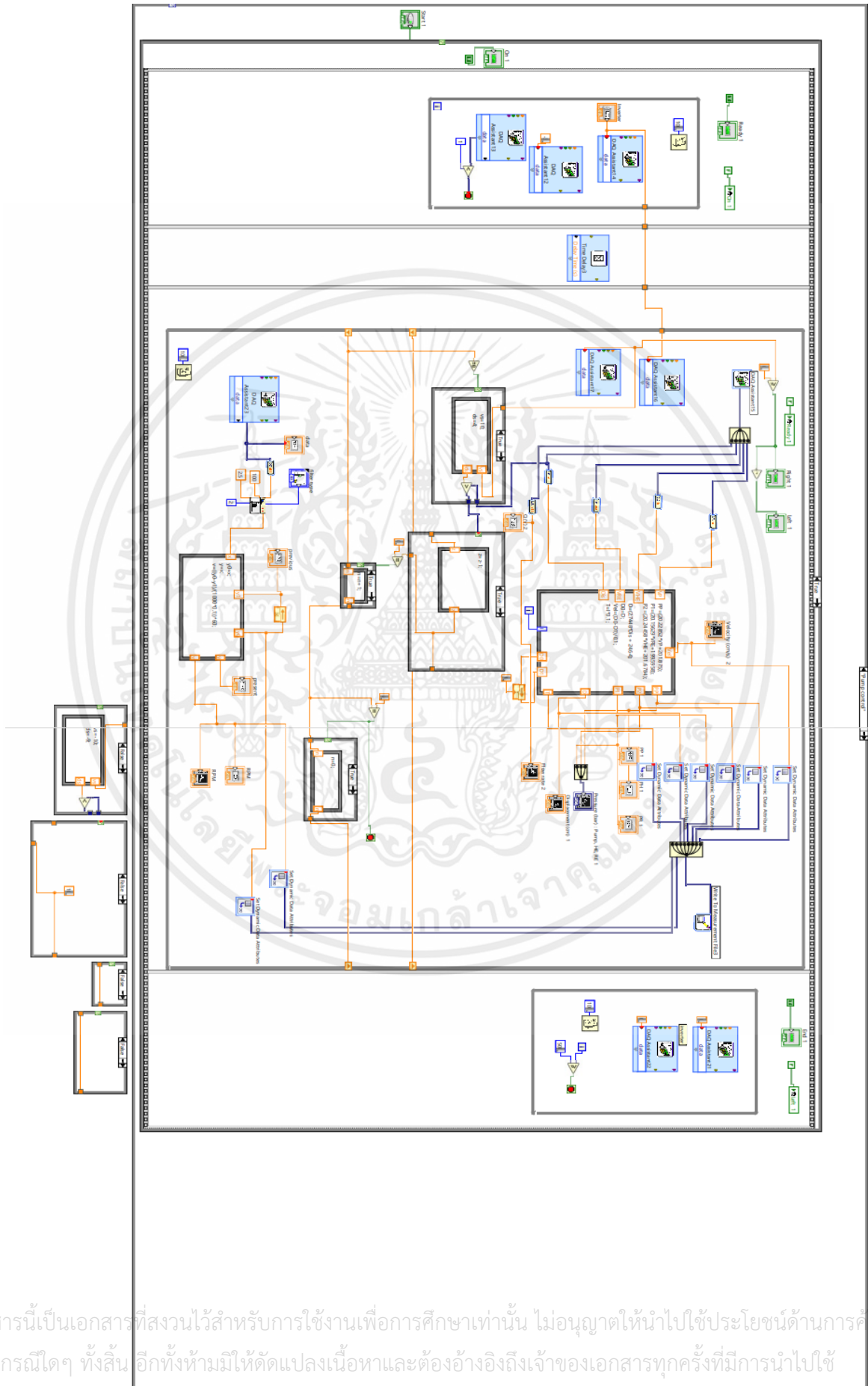
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แสดง Front panel ของ Open Loop Control system with pump



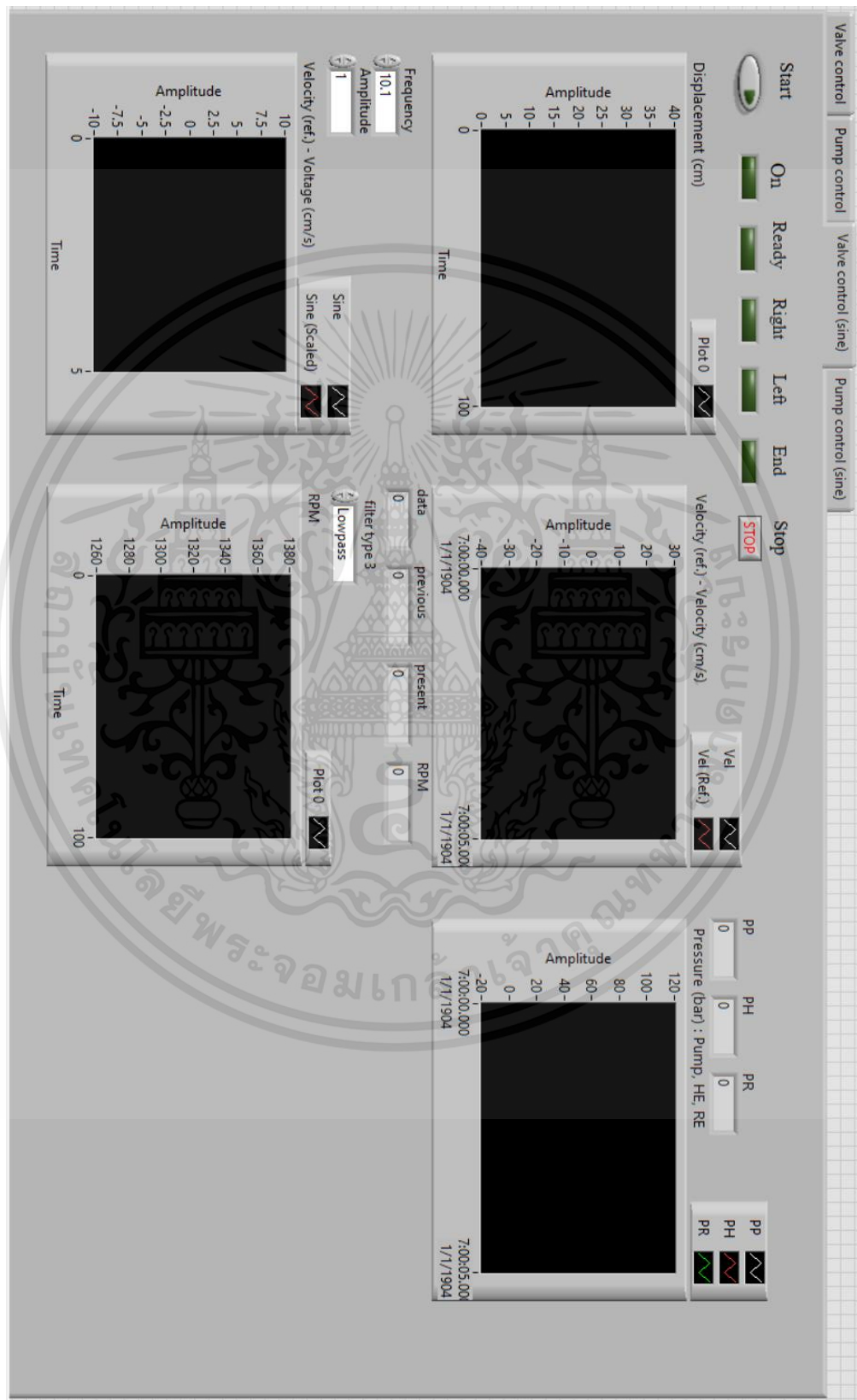
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 แสดง Block diagram ของ Open Loop Control system with pump



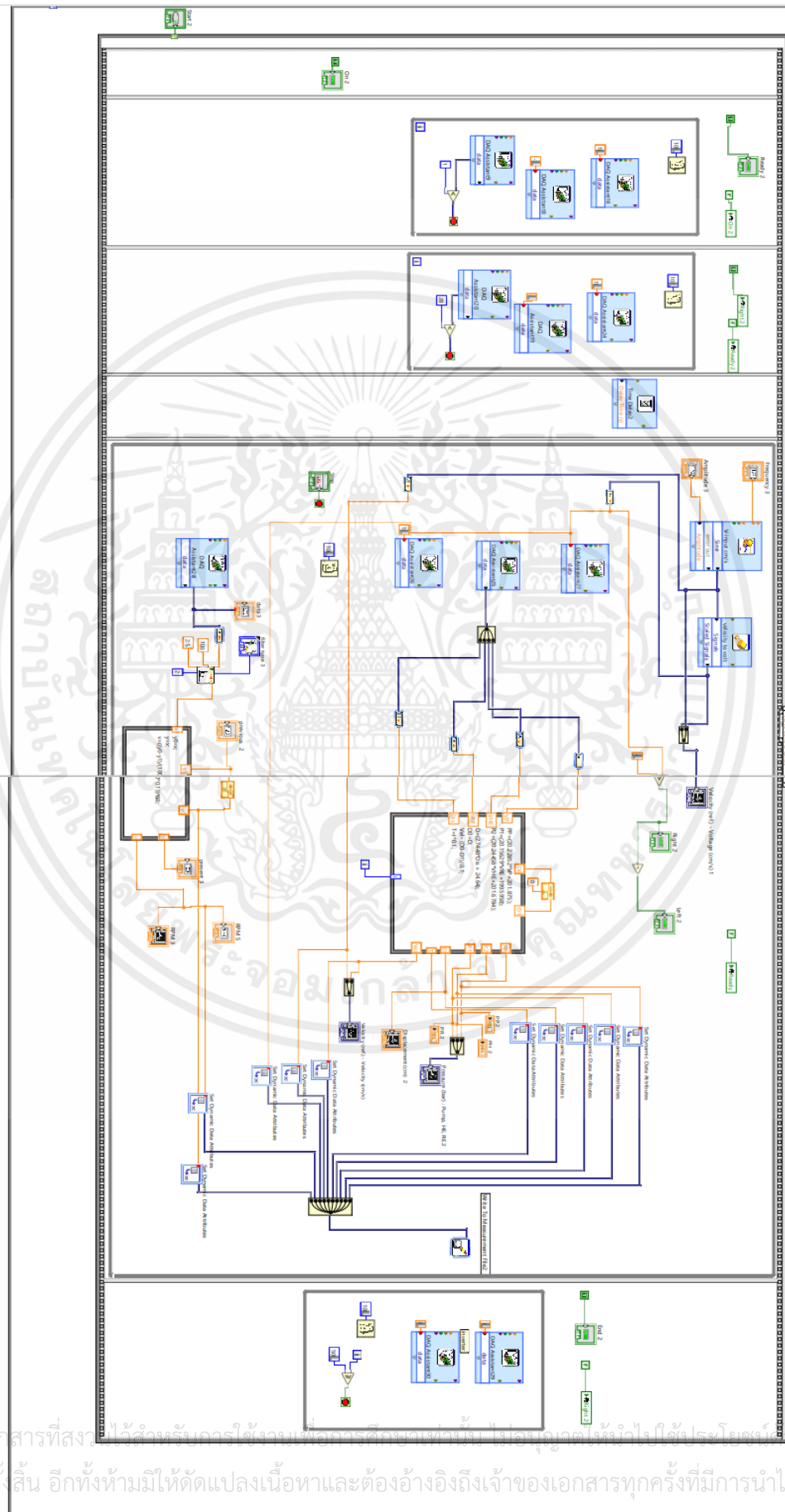
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 แสดง Front panel ของ Open Loop Control system with valve กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบอ้างอิงแบบไซน์



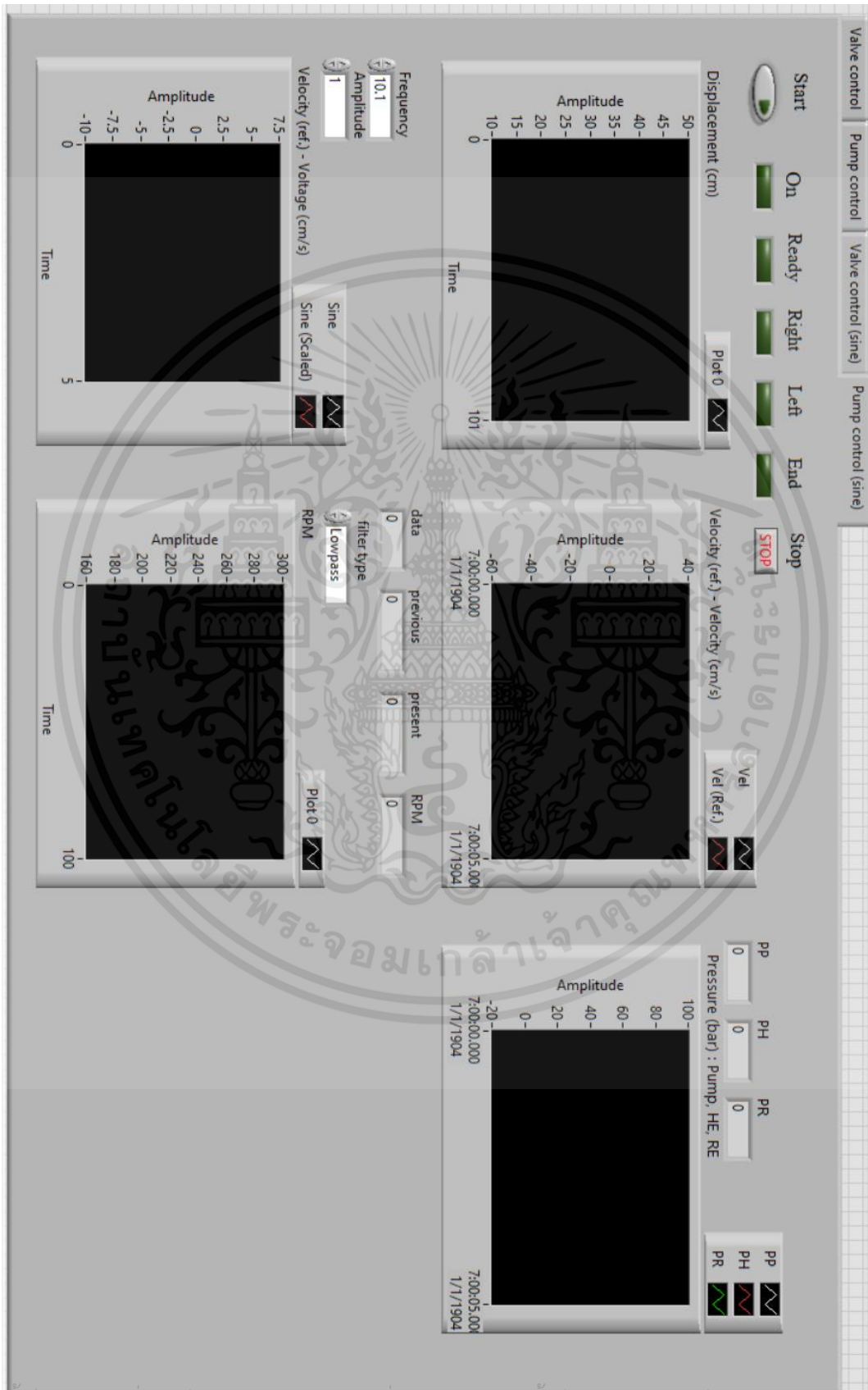
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 แสดง Block diagram ของ Open Loop Control system with valve กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบอ้างอิงแบบไซน์



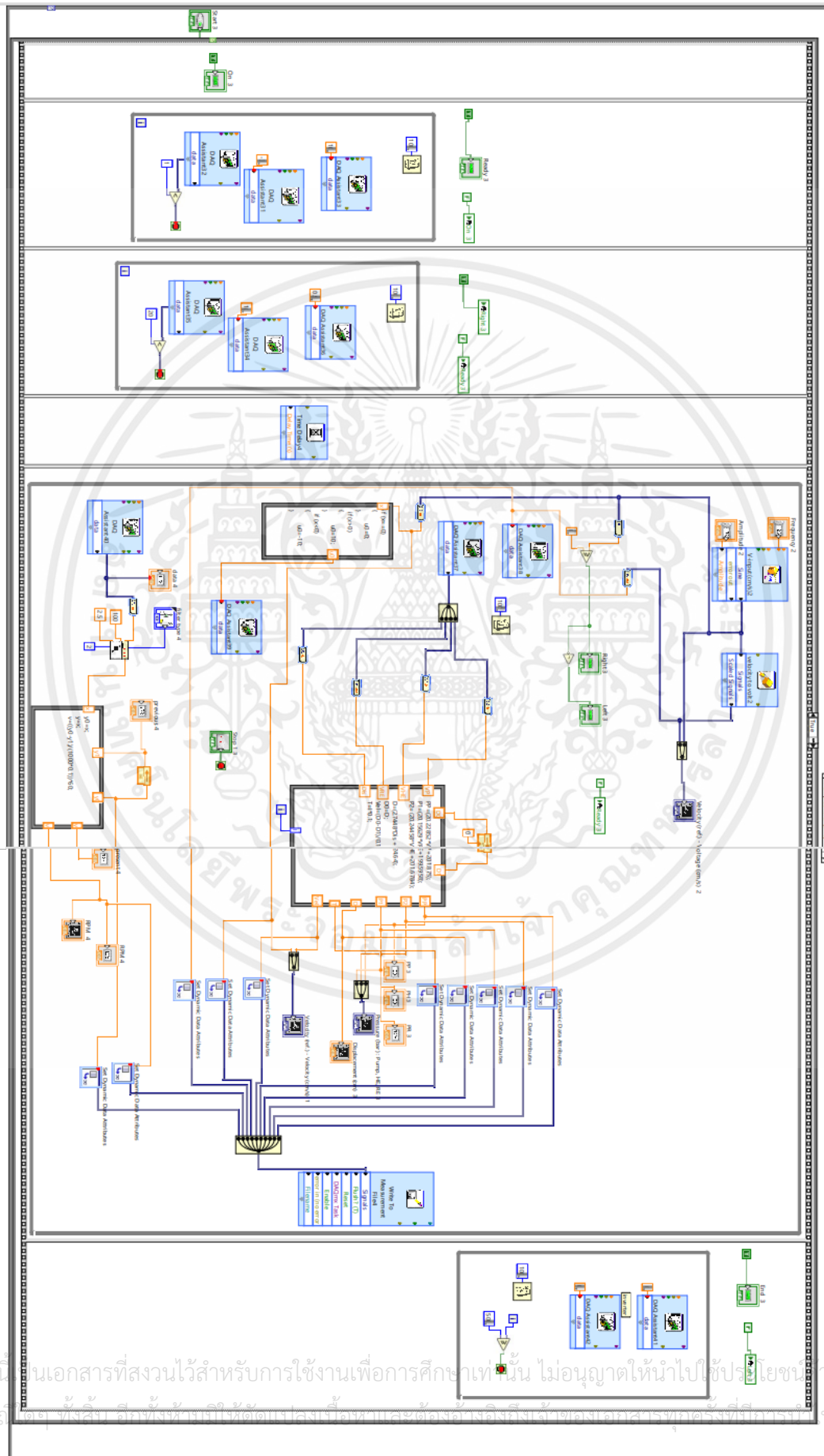
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะตัวเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 แสดง Front panel ของ Open Loop Control system with pump กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบอ้างอิงแบบไซน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 แสดง Block diagram ของ Open Loop Control system with pump กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบอ้างอิงแบบไซน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่าการดัดแปลง หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต