

การควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกโดยการควบคุมอัตราการไหลของปั๊ม

VELOCITY CONTROL OF HYDRAULIC CYLINDER BY THE CONTROL
OF PUMP FLOW



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงปีการศึกษา 2557 อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VELOCITY CONTROL OF HYDRAULIC CYLINDER BY THE CONTROL
OF PUMP FLOW



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEER IN MECHANICAL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **FACULTY OF ENGINEERING** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **KING MONGKUL'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ที่มีการนำไปใช้

2014

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

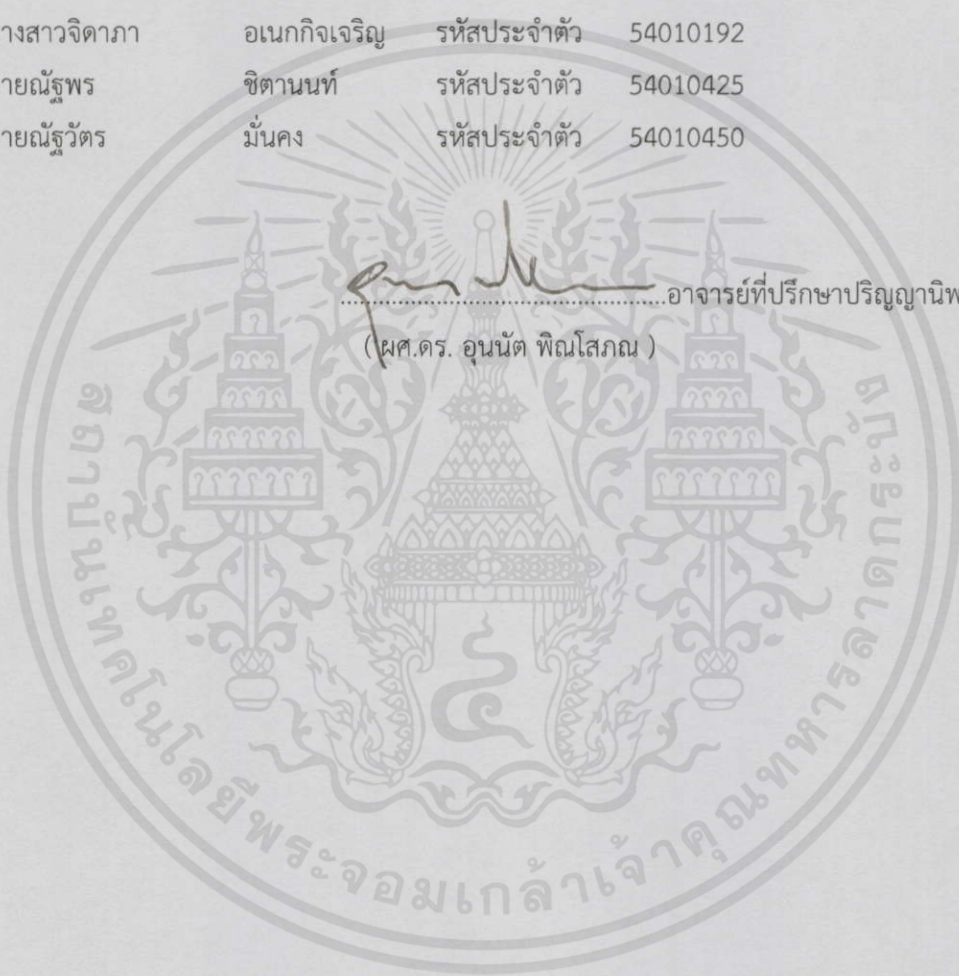
เรื่อง การควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกโดยการควบคุมอัตราการไหลของปั๊ม

VELOCITY CONTROL OF HYDRAULIC CYLINDER BY THE CONTROL OF PUMP FLOW

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวจิตาภา | อเนกกิจเจริญ | รหัสประจำตัว | 54010192 |
| 2. นายณัฐพร | ชิตานนท์ | รหัสประจำตัว | 54010425 |
| 3. นายณัฐวัตร | มันคง | รหัสประจำตัว | 54010450 |


.....อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์
(ผศ.ดร. อนันต์ พิณโสภณ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกโดยการควบคุมอัตราการไหลของปั๊ม

นางสาวจิตาภา อเนกกิจเจริญ 54010192

นายณัฐพร ชิตานนท์ 54010425

นายณัฐวัตร มั่นคง 54010450

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุนนต์ พิณโสภณ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาและสร้างระบบควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกด้วยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก อินเวอร์เตอร์ถูกใช้เพื่อควบคุมความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้ปั๊มสร้างอัตราการไหลของน้ำมันให้สอดคล้องกับความเร็วของกระบอกสูบที่ต้องการโดยใช้วิธีควบคุม 3 วิธี คือ การควบคุมระบบเปิด การควบคุมระบบปิด และการควบคุมระบบปิดแบบ feedforward ผลของการควบคุมความเร็วของกระบอกสูบด้วยการควบคุมปั๊มได้ถูกเปรียบเทียบกับความเร็วของกระบอกสูบด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล ผลคือ ระบบเปิดควบคุมความเร็วแบบควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 1.75 cm/s มีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 350 W ระบบปิดควบคุมความเร็วด้วยปั๊มมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 2.19 cm/s อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 60 W ระบบปิดควบคุมความเร็วแบบควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 1.58 cm/s อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 390 W ระบบปิดแบบควบคุมความเร็วด้วยปั๊มมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 2.11 cm/s อัตราการใช้พลังงานเท่ากับ 35 W การควบคุมความเร็วด้วยระบบปิดแบบfeedforwardด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 1.47 cm/s มีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 410 W การควบคุมความเร็วด้วยระบบปิดแบบfeedforwardด้วยปั๊ม มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 2.02 cm/s อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 55 W จากการทดลองผลสรุปคือ การควบคุมความเร็วด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีการตอบสนองเร็วและแม่นยำกว่าการควบคุมความเร็วด้วยปั๊ม แต่การควบคุมความเร็วด้วยปั๊มมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าการควบคุมความเร็วด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VELOCITY CONTROL OF HYDRAULIC CYLINDER BY THE CONTROL OF PUMP FLOW

Ms.CHIDAPHA	ANEKKITCHAROEN	54010192
Mr.NATTHAPORN	CHITANONT	54010425
Mr.NATTAWAT	MANKONG	54010450

Advisor	Asst.Prof.Dr.Unnat	Pinsopon
---------	--------------------	----------

Abstract

The velocity control system of hydraulic cylinder by controlling hydraulic oil flow rate was studied and built in this project study. Inverter variable speed drive was used to control the electrical motor speed such that hydraulic pump could deliver the flow rate according to the desired cylinder velocity. The performance of the proposed hydraulic pump flow control system would be then compared with the conventional hydraulic proportional valve control system. The power consumption and RMS velocity tracking error of the open loop valve control and pump flow control systems were obtained experimentally to be 350W with 1.75 cm/s RMS error and 60 W with 2.19 cm/s RMS error, respectively. The power consumption and RMS velocity tracking error of the PI closed loop valve control and PI closed loop pump flow control systems were obtained experimentally to be 390 W with 1.58 cm/s RMS error and 35 W with 2.11 cm/s RMS error, respectively. The power consumption and RMS velocity tracking error of the PI plus feedforward closed loop valve control and the PI plus feedforward closed pump flow control systems were obtained experimentally to be 410 W with 1.47 cm/s RMS error and 55W with 2.02 cm/s RMS error, respectively. Experimental results indicated that tracking performances of the valve control system were better than those of the pump control system in all cases. On the other hand, the power consumptions of the pump control system were always superior to those of the valve control system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เนื่องมาจากคำแนะนำ ความเอาใจใส่ คำปรึกษา และความรู้ที่ได้รับเสมอมาจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผศ.ดร.อนุนต์ พิณโสภณ จนทำให้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาที่อาจารย์มีต่อศิษย์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงในความเมตตาที่อาจารย์มอบให้ อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการในการสอบปริญญาานิพนธ์นี้ ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนวทางในการปรับปรุงให้ปริญญาานิพนธ์นี้มีประโยชน์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ในหลักการการเขียนปริญญาานิพนธ์ให้กับคณะผู้จัดทำ พร้อมกับให้กำลังใจ ให้แรงผลักดันในการทำปริญญาานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณที่ศพล แจ่มน้อย ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และคำแนะนำอย่างใกล้ชิด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องอุปกรณ์หรือการทดลอง หรือแม้กระทั่งการเขียนรายงานความก้าวหน้า พร้อมทั้งช่วยดูแล ตรวจสอบข้อผิดพลาดให้กับคณะผู้จัดทำอยู่ไม่เคยขาด

และสุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เป็นอย่างสูง ที่คอยดูแล เอาใจใส่ ให้กำลังใจ ให้แรงผลักดันในยามที่ท้อแท้ พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษามาตลอดจนกระทั่งจบการศึกษาในระดับปริญญาตรีนี้

คณะผู้จัดทำขอระลึกถึงพระคุณของท่านทั้งหลายไว้เสมอ คุณค่าและประโยชน์ที่ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้พึงมี คณะผู้จัดทำขอขอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

นางสาวจิตาภา อเนกกิจเจริญ

นายณัฐพร ชิตานนท์

นายณัฐวัตร มั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
สารบัญกราฟ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	1
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นและหน้าที่ของอุปกรณ์ไฮดรอลิก	3
2.2 การส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก	4
2.3 ทฤษฎีระบบควบคุม	6
2.3.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop control system)	6
2.3.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close loop control system)	6
2.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตร	6
2.5 ทฤษฎี Low pass RC filter	7
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	9
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	9
3.2 วิธีการทดลอง	17
3.2.1 การควบคุมแบบระบบเปิด (Open loop control system)	17
3.2.2 การควบคุมแบบระบบปิด (Close loop control system)	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	24
4.1 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมความเร็วของวงจรไฮดรอลิกชนิดการควบคุมแบบเปิด	24

5.5 วิจัยรณัผลการทดลอง	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงวิธีการดำเนินงาน	2
4.1 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวและปริมาณการใช้พลังงานของการทดลองทั้งหมด	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฮดรอลิก	3
2.2 รูปการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก	4
2.3 รูปแบบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop control system)	6
2.4 รูปแบบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบควบคุมแบบปิด (Close loop control system)	6
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (Volume) และอัตราการไหล (Flow)	7
2.6 วงจร Low pass RC filter	7
3.1 ชุดต้นกำลังของระบบไฮดรอลิก	9
3.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหล ชนิด Proportional valve	10
3.3 วาล์วทิศทาง (Directional valve)	10
3.4 กระบอกสูบไฮดรอลิกชนิดทำงาน 2 ทิศทาง (Double Acting Cylinder)	11
3.5 เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor)	11
3.6 เซ็นเซอร์วัดระยะทาง ชนิด Potentiometer	12
3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ (Power Supply)	12
3.8 แผงรับ - ส่งสัญญาณ (DAQ Card)	13
3.9 คอมพิวเตอร์ (Computer)	13
3.10 เครื่องวัดอัตราการไหลพลังงาน (Digital Power Meter)	14
3.11 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	14
3.12 ตัวกรองสัญญาณ (RC Filter)	15
3.13 มอเตอร์ไดรฟ์ (Motor drive)	17
3.14 วงจรไฮดรอลิกแบบเปิดของการทดลองด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	18
3.15 Block diagram ของระบบควบคุมแบบเปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล	18
3.16 วงจรไฮดรอลิกแบบเปิดของการทดลองด้วยปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ	19
3.17 Block diagram ของระบบควบคุมแบบเปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลของระบบ	20
3.18 วงจรไฮดรอลิกแบบระบบปิดทดลองแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล	21
3.19 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยวิธีควบคุมแบบ PI	21
เอกสารนี้ 3.20 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ โดยวิธีควบคุมแบบ PI และ Feedforward ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ	22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 วงจรไฮดรอลิกแบบปิดของการทดลองด้วยปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ	22
3.22 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยวิธีควบคุมแบบ PI	23
3.23 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยวิธีควบคุมแบบ PI และ Feedforward	23
1.ก แสดง Block diagram ของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	38
2.ก แสดง Block diagram ของระบบเปิดควบคุมด้วยปั๊ม	39
3.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	40
4.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊ม	41
5.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ PI Controller ร่วมกับ Feedforward	42
6.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊มโดยใช้ PI Controller ร่วมกับ Feedforward	43
7.ก แสดง Front Panel ของระบบควบคุมแบบเปิด	44
8.ก แสดง Front Panel ของระบบควบคุมแบบปิด	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
3.1 สัญญาณรบกวนจากอินเวอร์เตอร์ที่มีผลต่อเซ็นเซอร์วัดระยะทาง	15
3.2 สัญญาณรบกวนจากอินเวอร์เตอร์ที่เกิดขึ้นขณะก่อนและหลังเข้า Low pass filter	16
3.3 แสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกก่อนและหลังผ่าน Butterworth filter	16
3.4 Valve transform	19
3.5 Pump transform	20
4.1 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบเปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล	24
4.2 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบเปิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ	25
4.3 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI	25
4.4 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward	26
4.5 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI	26
4.6 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward	27
4.7 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลและ ระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล	28
4.8 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบเปิด ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	28
4.9 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบเปิด ควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม	29
4.10 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI และ ระบบปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI	29
4.11 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิด ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	30
4.12 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิด ควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม	30
4.13 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward และ ระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ปั๊มงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม 4.13 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล
โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward และ ระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล

โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward	31
4.14 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิดควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลใช้งานร่วมกับ Feedforward	31
4.15 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิดควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม ใช้งานร่วมกับ Feedforward	32
4.16 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward ในรูปแบบฟังก์ชันขั้นบันได	33
4.17 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward ในรูปแบบฟังก์ชันขั้นบันได	33
1.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	46
2.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบเปิดควบคุมโดยใช้ปั๊ม	46
3.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	47
4.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมโดยใช้ปั๊ม	47
5.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้ PI Controller ร่วมกับ Feedforward	47
6.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊ม โดยใช้ PI Controller ร่วมกับ Feedforward	48
7.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	48
8.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบเปิดควบคุมด้วยปั๊ม	48
9.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล	49
10.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊ม	49
11.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward	49
12.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊ม โดยใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปใช้ต่อจากเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ระบบไฮดรอลิกถือได้ว่าเป็นสิ่งที่ขับเคลื่อนอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน เนื่องจากความสามารถในการควบคุมและส่งกำลังของระบบ ด้วยข้อดีของระบบไฮดรอลิกที่มีหลายประการ เช่น ควบคุมได้ง่าย, มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักสูง, ระบบไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการใช้งาน, การทำงานของระบบราบรื่น เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังทางกลหรือระบบไฟฟ้า ระบบไฮดรอลิกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายประเภท เช่น ระบบบังคับลิ้นชักของรถยนต์ รถตักดิน การอัดขึ้นรูปชิ้นงาน อุตสาหกรรมอาหาร งานด้านการเดินเรือทะเล งานสำรวจ, ขุด, เจาะแหล่งแร่ เป็นต้น เพราะฉะนั้นระบบไฮดรอลิกต้องทำงานตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างทันถ่วงที ดังนั้นการควบคุมความเร็วให้ได้ตามความต้องการจึงมีความสำคัญอย่างมาก

โดยทั่วไปชุดส่งกำลัง (Power unit) ในระบบไฮดรอลิก มอเตอร์ไฟฟ้าจะทำงานด้วยความเร็วรอบสูงสุดและอาศัยวาล์วควบคุมทิศทางและอัตราการไหล (Proportional Valve) เพื่อควบคุมการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เมื่ออัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกมากกว่าที่ต้องการในการขับอุปกรณ์ให้ทำงานตามความเร็วที่ต้องการ จะถูกปล่อยกลับถึงน้ำมันไฮดรอลิกโดยผ่านวาล์วควบคุมความดันของระบบ (Pressure relief Valve) ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อสร้างชุดทดลองการควบคุมความเร็ว
2. เพื่อเปรียบเทียบการควบคุมระบบไฮดรอลิกด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับการควบคุมด้วยปั๊ม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาการทำงานของระบบไฮดรอลิก
2. สามารถต่อยอดความรู้จากชุดทดลองไปสู่การใช้งานจริงได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ควบคุมความเร็วของกระบอกสูบทำงานแบบ 2 ทิศทาง ที่มีระยะชัก 250 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มิลลิเมตร ให้ความเร็วเป็นไปตามฟังก์ชันขั้นบันได (Step function) ที่ความเร็ว 3 cm/s และฟังก์ชันไซน์ (Sine function) ที่มีขนาด

แอมพลิจูด 5 cm/s และ ความถี่ 0.25 Hz โดยใช้การควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำมันไฮดรอลิก ซึ่งจะแบ่งการควบคุมออกเป็น 6 แบบ และเก็บค่าพลังงานของระบบทั้งหมด

- แบบ Open loop ควบคุมด้วยวาล์ว
- แบบ Close loop (ใช้ PI controller) ควบคุมด้วยวาล์ว
- แบบ Close loop (ใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward) ควบคุมด้วยวาล์ว
- แบบ Open loop ควบคุมด้วยปั้ม
- แบบ Close loop (ใช้ PI controller) ควบคุมด้วยปั้ม
- แบบ Close loop (ใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward) ควบคุมด้วยปั้ม

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิก, ระบบไฟฟ้ากำลังและเครื่องมือวัดต่างๆ
 2. ออกแบบชุดทดลองและจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็น
 3. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบควบคุมวงจรไฮดรอลิกและโปรแกรม LabVIEW
 4. เขียนโปรแกรม LabVIEW และทำการทดลอง
 5. รวบรวมข้อมูลจากการทดลองและนำเสนอในรูปแบบกราฟ
 6. จัดทำรูปเล่มรายงาน
- ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังตารางที่ 1.1

No.	List	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
1	ศึกษาระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น										
2	ศึกษาระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์										
3	ออกแบบชุดทดลอง										
4	จัดหาชุดทดลอง										
5	ศึกษาโปรแกรมLabview										
6	เขียนโปรแกรมควบคุมระบบไฮดรอลิก										
7	ทดลองการควบคุมความเร็วของระบบอกสูบ										
8	สรุปผลการทดลอง										
9	จัดทำรูปเล่มรายงาน										

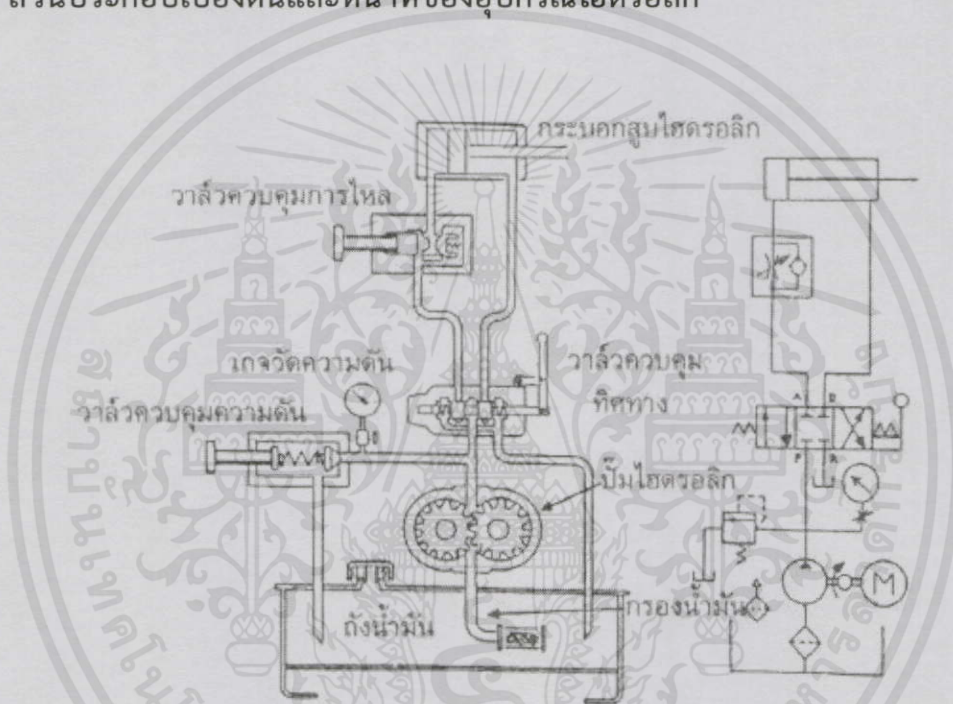
ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกมีทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการควบคุมหลายประการ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาและนำไปใช้ในการออกแบบชุดการทดลองให้เหมาะสม พร้อมทั้งสามารถนำความรู้มาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองได้อีกด้วย

2.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นและหน้าที่ของอุปกรณ์ไฮดรอลิก



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฮดรอลิก [5]

รูปที่ 2.1 แสดงถึงอุปกรณ์ต่างๆสามารถอธิบายส่วนประกอบเบื้องต้นของระบบไฮดรอลิกมีดังนี้

1. ถังน้ำมันไฮดรอลิก (Tank) ทำหน้าที่เก็บน้ำมันไฮดรอลิกและเป็นที่พักให้อากาศออกจากน้ำมันไฮดรอลิก

2. ปั๊มไฮดรอลิก (Pump) เป็นอุปกรณ์ขับน้ำมันเข้าสู่ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า

3. มอเตอร์ (Motor) เป็นต้นกำลังที่ใช้ขับปั๊มไฮดรอลิก

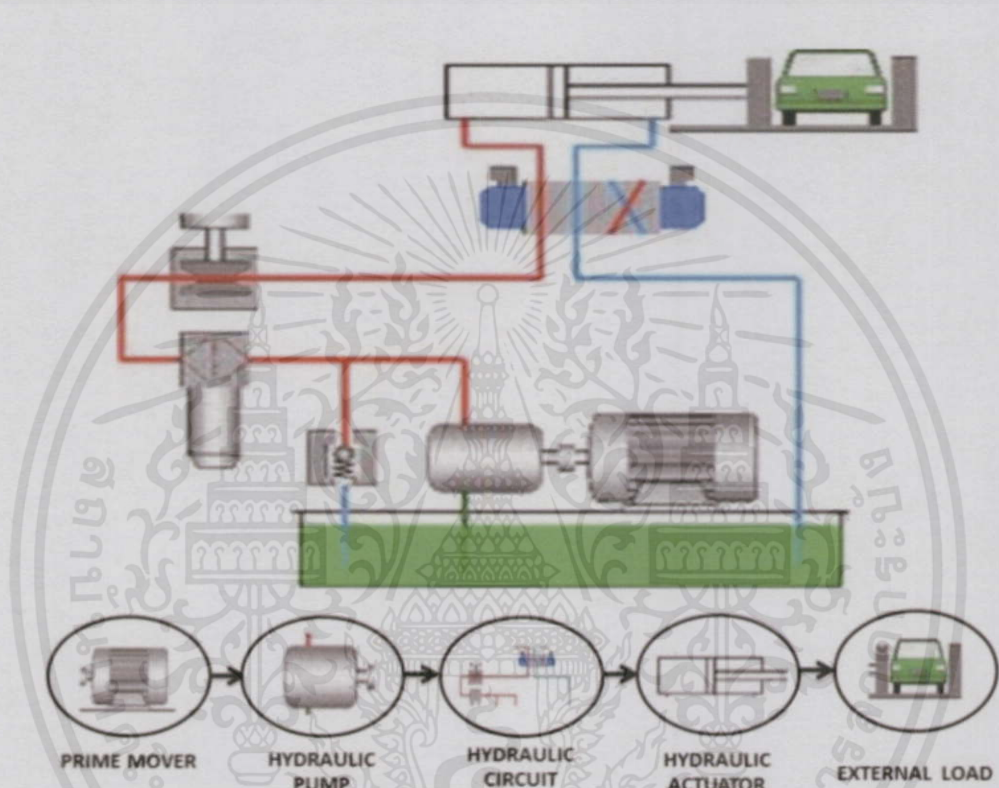
4. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) กำหนดทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก

5. วาล์วควบคุมความดัน (Pressure relief valve) ทำหน้าที่รักษาความดันของระบบไม่ให้เกินค่าที่กำหนด

6. วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) ทำหน้าที่ลด - เพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก

7. อุปกรณ์การทำงาน (Actuator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกลโดยใช้กระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก

2.2 การส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.2 รูปการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก [6]

จากรูปที่ 2.2 เห็นได้ว่าระบบไฮดรอลิกไม่ใช่ระบบต้นกำลังแต่เป็นระบบส่งกำลังจึงต้องมีอุปกรณ์ต้นกำลังจากภายนอก ในที่นี้คือ กำลังไฟฟ้า จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นกำลังกล โดยอธิบายการส่งถ่ายกำลังงานได้ตามสมการที่ (2.1) - (2.6)

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor) คำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = VI(P.F.) \quad (2.1)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

I คือ กระแสไฟฟ้า (Ampere)

P.F. คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัปโหลด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIME MOVER ในระบบไฮดรอลิกนี้ คือ Electric motor ค่ากำลังงาน คำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = T\omega \quad (2.2)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า (N-m)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (Rad/s)

HYDRAULIC PUMP ค่ากำลังงานคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = PQ \quad (2.3)$$

เมื่อ P คือ ความดัน (Pascal)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

HYDRAULIC CIRCUIT เป็นส่วนที่ไม่มีกำลังงานให้กับระบบแต่เกิด Head loss ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{Major loss: } H_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.4)$$

$$\text{Minor loss: } H_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.5)$$

โดย f คือ Friction factor

L คือ Length of pipe (m)

D คือ Pipe internal dimension (m)

V คือ Average fluid velocity (m/s)

K คือ Loss coefficient

HYDRAULIC ACTUATOR ในระบบไฮดรอลิกนี้ คือ กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกซึ่งค่ากำลังงานคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Power} = FV \quad (2.6)$$

เมื่อ F คือ แรง (N)

V คือ ความเร็วของกระบอกลูกสูบ (m/s)

พิจารณาที่ประสิทธิภาพรวมของระบบไฮดรอลิกสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้อง

$$\eta_{\text{total}} = \frac{\eta_{\text{PM}} \times \eta_{\text{P}} \times \eta_{\text{C}} \times \eta_{\text{A}}}{\frac{T\omega}{FV} \times \frac{P_1Q}{T\omega} \times \frac{P_2Q}{P_1Q} \times \frac{FV}{P_2Q}} \quad (2.7)$$

เมื่อ	η_{total}	คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบไฮดรอลิก
	η_{PM}	คือ ประสิทธิภาพของ PRIME MOVER
	η_P	คือ ประสิทธิภาพของ HYDRAULIC PUMP
	η_C	คือ ประสิทธิภาพของ HYDRAULIC CIRCUIT
	η_A	คือ ประสิทธิภาพของ ACTUATOR

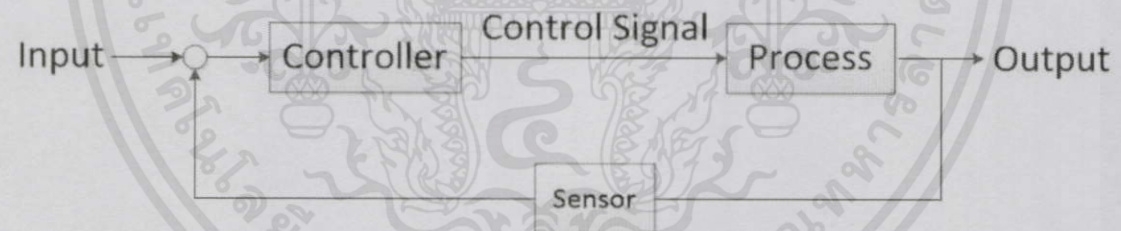
2.3 ทฤษฎีระบบควบคุม

ระบบการควบคุม คือ รูปแบบของระบบใดๆ ที่มีการจัดองค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบ เพื่อให้มีผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ

2.3.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop control system)



2.3.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close loop control system)



เป็นระบบที่นำสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่ต้องการ (Set point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

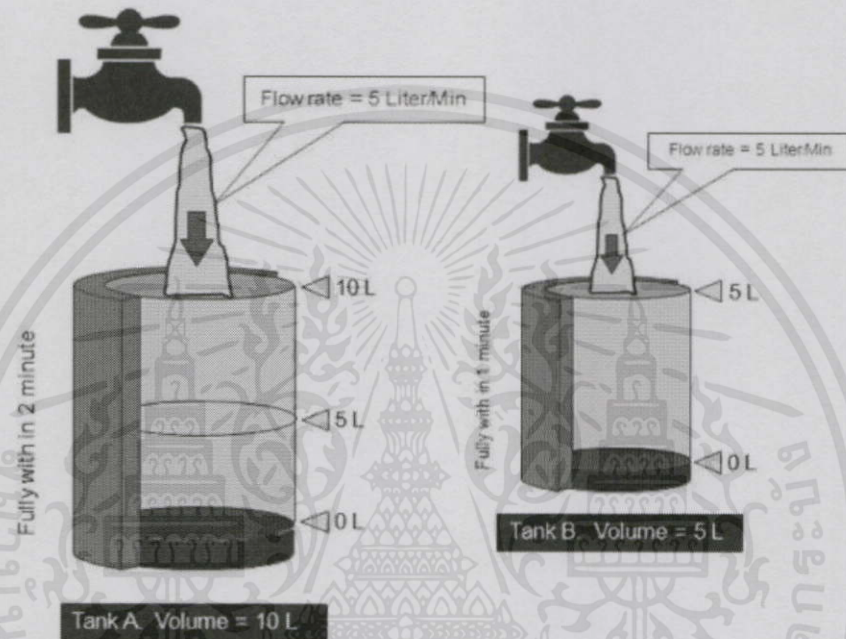
2.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกให้โดยศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาธุรกิจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
คือ อัตราการเคลื่อนที่ของของไหลโดยวัดเป็นปริมาตรเทียบกับเวลา เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่เข้า

และออกของกระบอกไฮดรอลิก พบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity) กับอัตราการไหล (Flow rate) ดังนี้

$$Q = AV \quad (2.8)$$

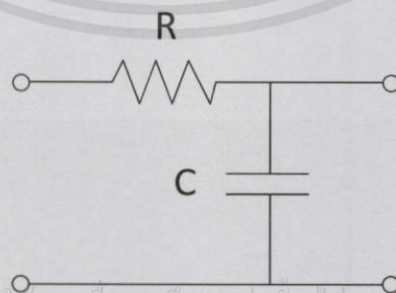
โดยที่ Q คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/s)
 A คือ พื้นที่ของลูกสูบ (m^2)
 V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (m/s)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (Volume) และอัตราการไหล (Flow rate) [7]

2.5 ทฤษฎี Low pass RC filter

วงจร Low pass RC filter ทำหน้าที่กั้นสัญญาณความถี่สูงและอนุญาตให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านได้ โดยวงจรมีลักษณะ แสดงดังรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 วงจร Low-pass RC filter

ความถี่วิกฤติ (Critical frequency: f_c) สามารถแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์กับตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุได้ ตามสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.9)$$

วิธีการออกแบบ Low pass RC filter

การออกแบบตัวกรองสัญญาณจำเป็นต้องมีความเหมาะสมกับความถี่วิกฤติที่กำหนด โดยอาศัยความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.9 แต่เนื่องจากมีตัวแปรไม่ทราบค่าสองตัว (R และ C) และมีเพียงสมการเดียว ดังนั้นจึงมักกำหนดค่าของตัวแปรไม่ทราบค่ามาหนึ่งชนิด ซึ่งมักจะเป็นค่าของตัวเก็บประจุ (C) จากนั้นสามารถหาค่าของตัวต้านทาน (R) ตามสมการที่ 2.9 โดยมีแนวปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกตัวเก็บประจุขนาด 0.1 0.22 และ 0.47 μF
2. คำนวณหาค่าของตัวต้านทาน หากค่าที่ได้ต่ำกว่า 1 k Ω หรือ มากกว่า 1 M Ω ให้เลือกค่าของตัวเก็บประจุใหม่เพื่อให้ ค่าของตัวต้านทานอยู่ในช่วง 1 k Ω ถึง 1 M Ω
3. ถ้าการออกแบบตัวต้านทานสามารถยืดหยุ่นได้ ให้เลือกใช้ตัวต้านทานขนาดมาตรฐานในการคำนวณ
4. ในการออกแบบต้องพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยมากตัวเก็บประจุค่าความคลาดเคลื่อนจะอยู่ที่ $\pm 20\%$
5. หากต้องการค่าที่แม่นยำ เรามักจะกำหนดค่าของตัวเก็บประจุ จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่าความต้านทาน และเลือกใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับอุปกรณ์และวิธีการทำการทดลองควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกทั้งในแบบระบบเปิดและปิด รวมทั้งการทำงานของระบบปิดที่ทำงานร่วมกับ feedforward นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อระบบอีกด้วย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

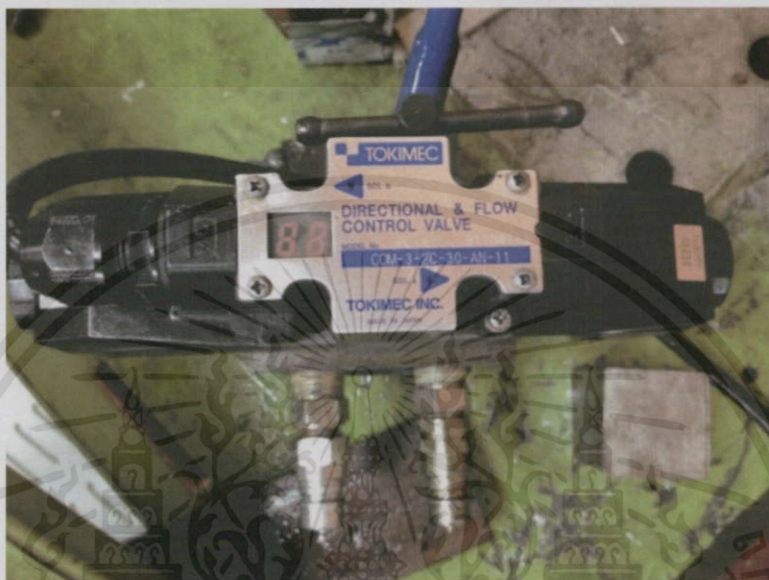
1. ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก (Power Unit) ประกอบด้วย 1) มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 380 V ผลิตโดย MITSUBISHI Type SF-JR มีกำลังขนาด 2 HP ความเร็วรอบสูงสุด 1430 รอบ/นาที ค่า Power factor = 0.82 2) เกียร์ปั๊ม ผลิตโดยบริษัท HONOR รุ่น 2GG1U11R มีความจุ 11 cc/rev ให้อัตราการไหลสูงสุด 16 ลิตร/นาที ที่ 1430 รอบ/นาที ความดันสูงสุด 300 บาร์



รูปที่ 3.1 ชุดต้นกำลังของระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) ยี่ห้อ TOKIMEC Model. COM-3-2C-30-AN-11 อัตราการไหลสูงสุด 30 ลิตร/นาที ความดันจำกัดที่พอร์ต P, A และ B เท่ากับ 245 บาร์ และที่พอร์ต T เท่ากับ 137 บาร์ ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางและอัตราการไหล โดยอัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนตรงกับพื้นที่หน้าตัดของช่องวาล์ว ซึ่งแปรผันตามสัญญาณคำสั่งในช่วง ± 10 VDC



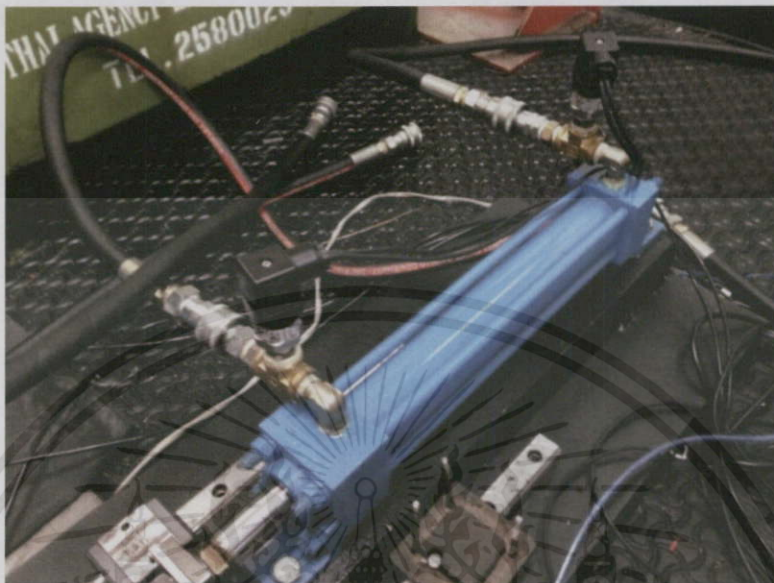
รูปที่ 3.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหล ชนิด Proportional valve

3. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional valve) ยี่ห้อ Vickers Model. DG4V-3S-0C-M-U-H5-60 อัตราการไหล 20 ลิตร/นาที ความดันจำกัดที่พอร์ต P, A และ B เท่ากับ 350 บาร์ และที่พอร์ต T เท่ากับ 100 บาร์ ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของน้ำมันโดยการเปิดปิดช่องวาล์ว และรับสัญญาณคำสั่งจากมอเตอร์ไดรฟ์ ด้วยแรงดันไฟฟ้า 24 VDC



รูปที่ 3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional valve)

4. กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกชนิดทำงาน 2 ทิศทาง (Double Acting Cylinder) ระยะชัก 250 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกชนิดทำงาน 2 ทิศทาง (Double Acting Cylinder)

5. เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor) ยี่ห้อ Wika Model. DIN 175301-803 A ติดตั้งเพื่อวัดความดัน ณ ตำแหน่งปั๊ม, ด้าน Head end และ Rod end ของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก ช่วงความดันใช้งาน 0-600 บาร์ ส่งสัญญาณเข้า DAQ ในช่วง DC 0-10V .



รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor)

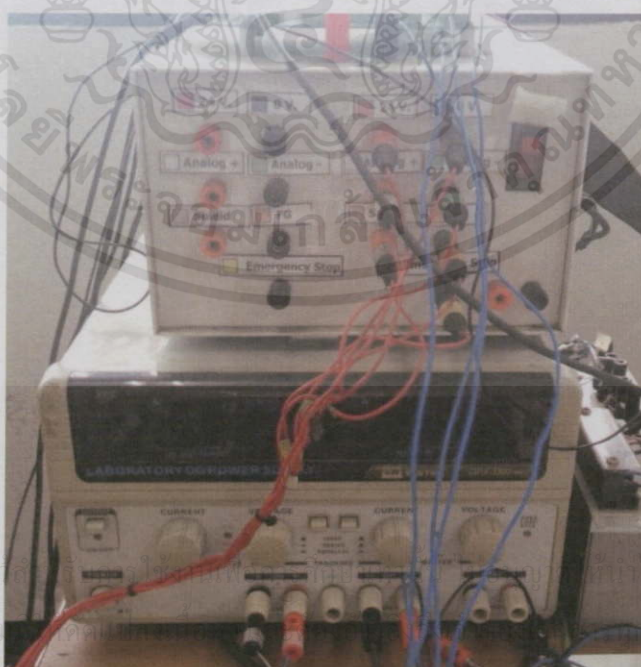
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลอกเลียนแบบหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เซ็นเซอร์วัดระยะทาง (Displacement sensor) ชนิด Potentiometer ผลิตโดย Penny+Giles รุ่น DLS-750-P60-CR-P มีค่าความต้านทาน 1 k Ω ส่งสัญญาณ DC ขาออกในช่วง 0-10V มีระยะวัดสูงสุดที่ 750 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์วัดระยะทาง ชนิด Potentiometer

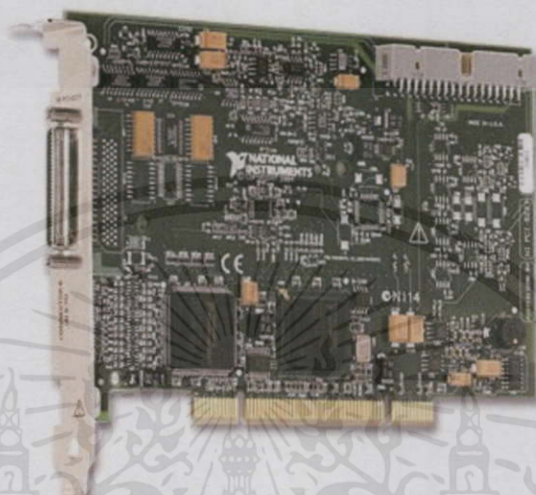
7. แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ (Power supply) เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับ เซ็นเซอร์และวาล์ว



รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ (Power supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปใช้ในการค้าหรือบริการใดๆทั้งปวง
ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Data Acquisition Card ผลิตโดย National Instrument Model. PCI-6221 รับส่งสัญญาณแบบอนาล็อกที่ 16 บิต ในช่วง DC $\pm 10V$ และสัญญาณแบบดิจิทัลทำงานที่ 32 บิต สำหรับต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการสั่งงานอินเวอร์เตอร์, วาล์ว และรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความดันและระยะทาง



รูปที่ 3.8 แผงรับ-ส่งสัญญาณ (DAQ Card)

9. คอมพิวเตอร์ (Computer) เป็นศูนย์กลางของการทำงาน ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์ภายในระบบและรับข้อมูลที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาประมวลผลและปรับค่าที่เกิดขึ้นให้เข้าสู่ค่าอ้างอิง



รูปที่ 3.9 คอมพิวเตอร์ (Computer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Power Meter) ยี่ห้อ KYORITSU รุ่น KEW 6305 สามารถวัด ความต่างศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ความถี่และกำลังไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยนี้จะนำมาใช้วัดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Power Meter)

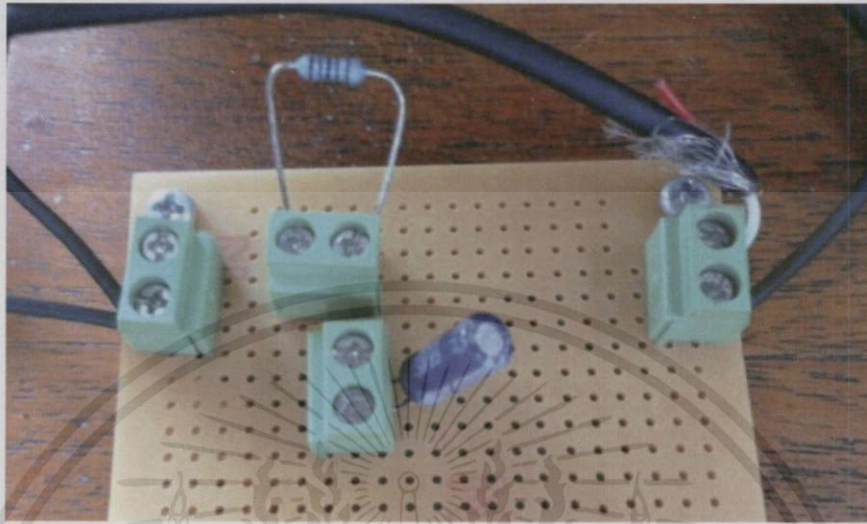
11. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ยี่ห้อ TOSHIBA Model. VF-S11-4055PL-WN(R5) ชนิด 3 เฟส, 5.5 กิโลวัตต์, ความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้า 380/500 โวลต์, ความต่างศักย์ไฟฟ้าออก 380/500 โวลต์, ความถี่เข้า 50/60 เฮิรต์, ความถี่ออก 0.5/500 เฮิรต์ ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยการปรับความถี่



รูปที่ 3.11 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

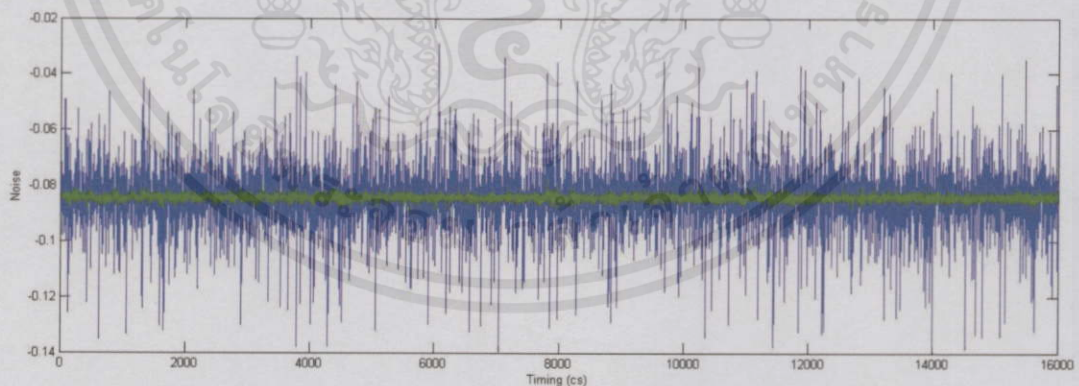
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษามาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ตัวกรองสัญญาณแบบอนาล็อกประกอบด้วยตัวต้านทานขนาด $1.6 \text{ k}\Omega$ และตัวเก็บประจุ $0.47 \text{ }\mu\text{F}$



รูปที่ 3.12 ตัวกรองสัญญาณ (RC Filter)

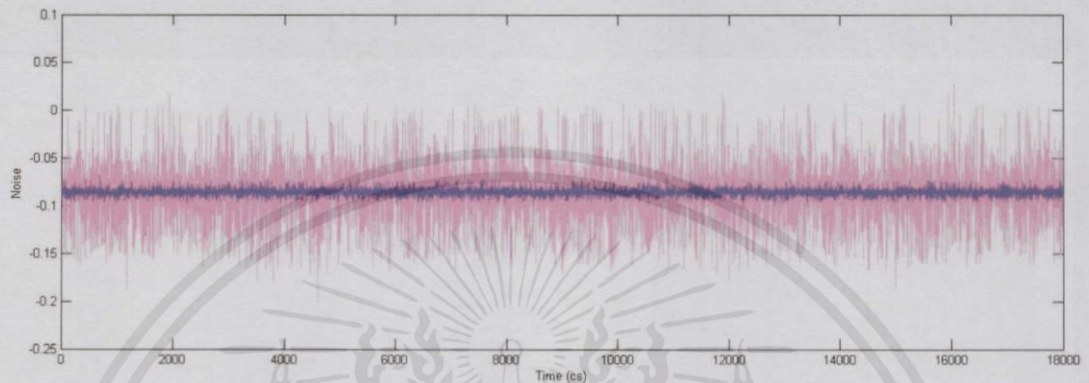
สาเหตุที่ต้องติดตั้งตัวกรองสัญญาณก่อนเข้า DAQ Card เป็นเพราะมีสัญญาณรบกวนจากอินเวอร์เตอร์ แสดงดังกราฟที่ 3.1 ซึ่งวัดสัญญาณที่เซ็นเซอร์วัดระยะทาง โดยขณะใช้งานอินเวอร์เตอร์ มีสัญญาณดั่งเส้นสีน้ำเงิน และขณะไม่ได้ใช้งานอินเวอร์เตอร์ มีสัญญาณดั่งเส้นสีสีเขียว



กราฟที่ 3.1 สัญญาณรบกวนจากอินเวอร์เตอร์ที่มีผลต่อเซ็นเซอร์วัดระยะทาง

เห็นได้ว่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ให้กับระบบจะมีสัญญาณรบกวนพอสมควร ดังนั้นจึงต้องติดตั้งตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ หรือที่เรียกว่า Low pass filter เป็นตัวกรองสัญญาณประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และกำหนดให้ $f_c = 200$ เฮิร์ต เนื่องจากความถี่คัทออฟต้องมีค่าน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของระบบ เพื่อลดการสูญเสียสัญญาณภายหลังการแปลง

สัญญาณเป็นแบบดิจิตอล จากการคำนวณได้ขนาดตัวต้านทานเท่ากับ 1.6 k Ω กับ ตัวเก็บประจุเท่ากับ 0.47 μF หลังจากนั้นได้ทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ได้ดังรูปที่ 3.14 โดยเส้นสีชมพู คือ สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดระยะทางก่อนเข้า Low pass filter และ เส้นสีเขียว คือ สัญญาณที่เกิดขึ้นหลังจากผ่าน Low pass filter

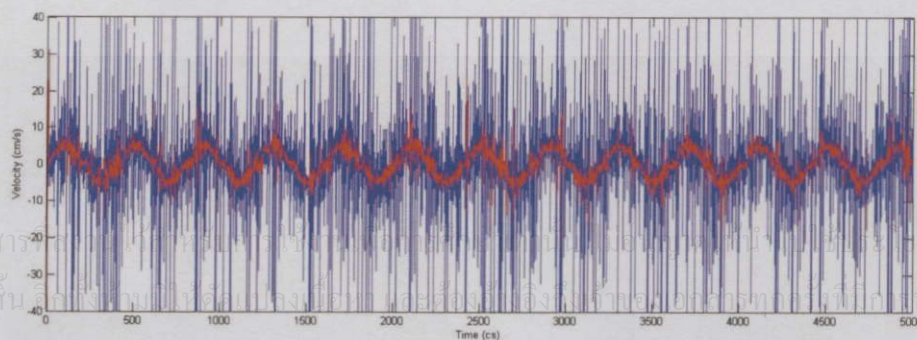


กราฟที่ 3.2 สัญญาณรบกวนจากอินเวอร์เตอร์ที่เกิดขึ้นขณะก่อนและหลังผ่าน Low pass filter

จากกราฟที่ 3.2 แสดงว่าการติดตั้ง Low pass filter สามารถลดสัญญาณรบกวนของอินเวอร์เตอร์ที่มีต่อระบบได้

13. ตัวกรองสัญญาณแบบดิจิตอล ชนิด Butterworth

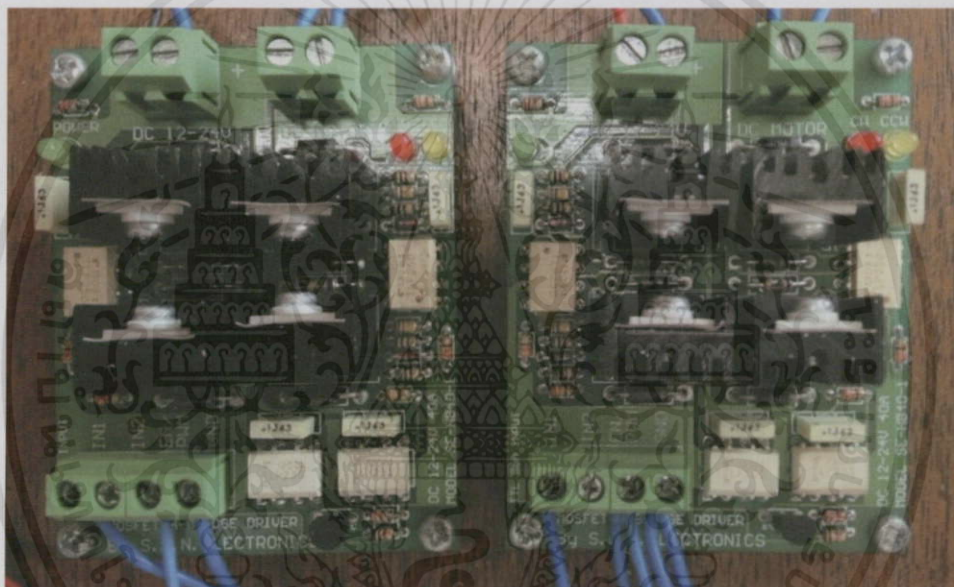
กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกที่ความเร็ว 5 cm/s, Frequency 0.25 Hz เป็นสัญญาณแบบดิจิตอล ที่ได้รับการนำค่าระยะทางจากเซ็นเซอร์วัดระยะทางมาคำนวณ พบว่ามีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมระบบ จึงแก้ไขโดยติดตั้งตัวกรองสัญญาณแบบดิจิตอล ชนิด Butterworth ซึ่งเป็นฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW โดยเลือก filter ประเภท Low pass ที่ 2nd order และตั้งค่าความถี่คัทออฟที่ 10 Hz และสัญญาณความเร็วที่ได้ก่อนและหลังผ่าน Butterworth filter แสดงดังกราฟที่ 3.3



กราฟที่ 3.3 แสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกก่อนและหลังผ่าน Butterworth filter

จากกราฟที่ 3.3 เส้นสัญญาณสีน้ำเงินแสดงถึงสัญญาณก่อนผ่าน Butterworth filter และเส้นสีแดงแสดงสัญญาณภายหลังผ่าน Butterworth filter โดยตัวกรองสัญญาณสามารถลดสัญญาณรบกวนที่มีต่อระบบได้

14. มอเตอร์ไดร์ฟ (Motor drive/Directional valve drive) รุ่น SE-HB40-1 ไฟใช้งาน 12-24 VDC สาเหตุที่ต้องต่อมอเตอร์ไดร์ฟ เพราะ Digital output port ของ DAQ ไม่เพียงพอ และเนื่องจากวาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) รับสัญญาณไฟฟ้า 24 Volt เพื่อเปิด-ปิด Port A และ B ดังนั้นจึงใช้งานมอเตอร์ไดร์ฟเป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วควบคุมทิศทางในแต่ละ Port



รูปที่ 3.13 มอเตอร์ไดร์ฟ (Motor drive)

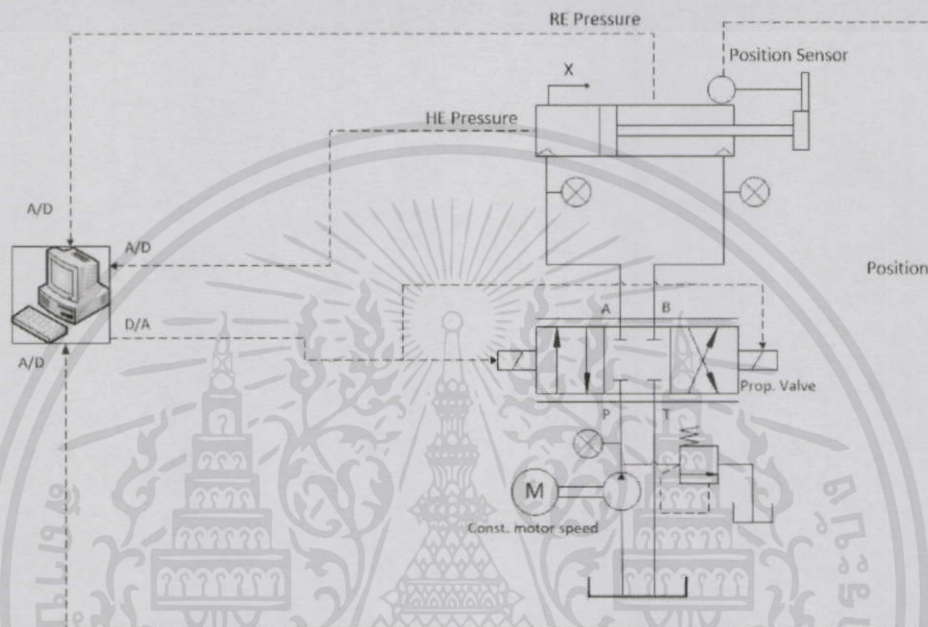
3.2 วิธีการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (2.3) เมื่อความดันคงที่พบว่า กำลังแปรผันตรงกับอัตราการไหล ดังนั้นการปรับอัตราการไหลที่ปั๊มไฮดรอลิกให้เหมาะสมกับความเร็ว จึงมีผลต่อกำลังที่สูญเสียที่ผ่านทาง Pressure relief valve จึงทดลองโดยการนำชุดทดลองวงจรไฮดรอลิกชนิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมาศึกษา เพื่อเปรียบเทียบกับวงจรไฮดรอลิกชนิดควบคุมอัตราการไหลของปั๊ม และทั้งสองกรณีข้างต้นได้ทดลองทั้งในแบบระบบเปิดและระบบปิด

3.2.1 การควบคุมแบบระบบเปิด (Open loop control system)

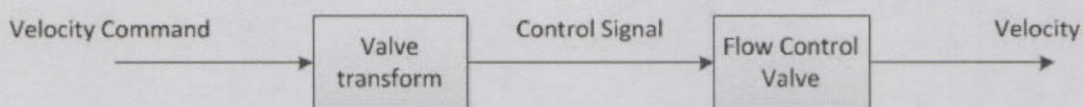
3.2.1.1 ทดลองแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลของระบบ (Open loop control system with proportional valve)

วงจรไฮดรอลิกดังรูปที่ 3.14 มอเตอร์ผลิตกำลังด้วยความเร็วรอบคงที่ กำลังของกระบอกสูบถูกควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยปรับค่าของอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับความเร็วที่ต้องการ กำลังส่วนที่เหลือจะเสียไปกับการส่งน้ำมันกลับสู่ถัง ซึ่งคอมพิวเตอรืทำหน้าที่เพียงรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดระยะทางแล้วแสดงผลออกมาทางคอมพิวเตอรืเท่านั้น ไม่ได้นำผลรับที่ได้มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ



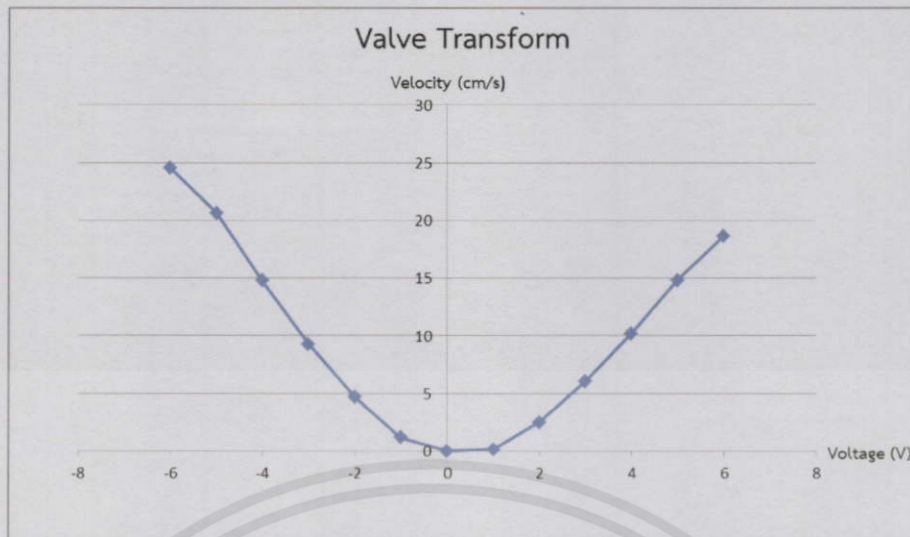
รูปที่ 3.14 วงจรไฮดรอลิกแบบเปิดของการทดลองด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล

รูปที่ 3.15 แสดง Block diagram ของการควบคุมระบบเปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยภายหลังจากการป้อนค่าความเร็วที่ต้องการแล้ว Valve transform ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมของระบบนี้ จะแปลงค่าความเร็วดังกล่าวเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดย Valve transform ในงานวิจัยนี้หาได้จากการทดลองจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ -6 V ถึง 6 V พร้อมทั้งวัดความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกด้วย Potentiometer ซึ่งจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของวาล์วควบคุมอัตราการไหลและความเร็วของก้านกระบอกสูบแสดงดังกราฟที่ 3.4



รูปที่ 3.15 Block diagram ของระบบควบคุมแบบเปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล

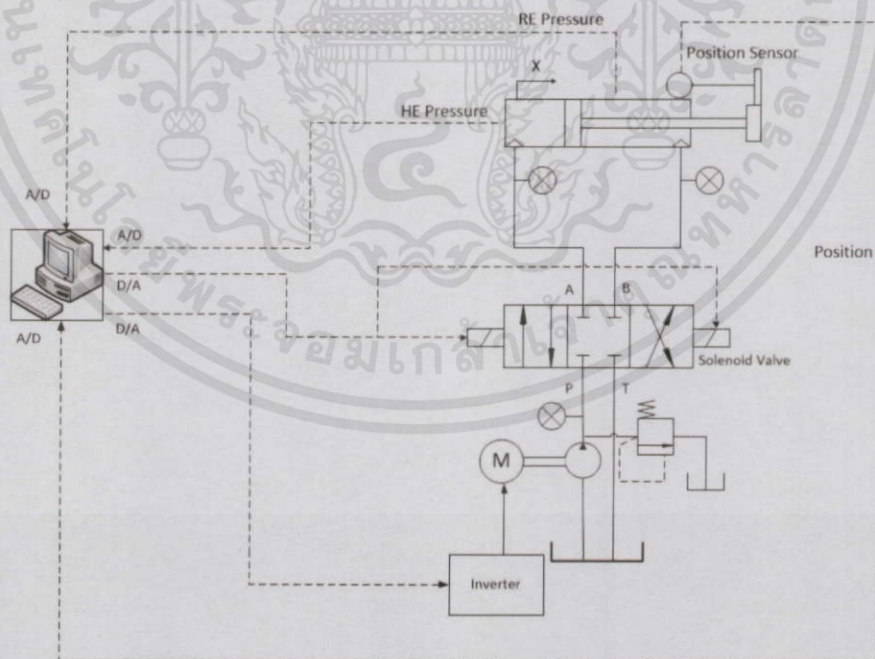
เอกสารนี้เป็นเอกสารทศงาน วิศวกรรมบริการ ใช้งานเพื่อการศึกษายาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 3.4 Valve transform

3.2.1.2 ทดลองแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล (Open loop control system with pump)

วงจรไฮดรอลิกดังรูปที่ 3.16 อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของระบบ ด้วยการปรับรอบการทำงานของมอเตอร์ เป็นผลให้กำลังของปั๊มเหมาะสมกับความเร็วของกระบอกสูบ โดยวาล์วมีหน้าที่เพียงกำหนดทิศทางการไหล



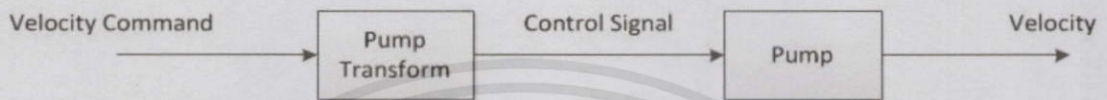
รูปที่ 3.16 วงจรไฮดรอลิกแบบเปิดของการทดลองด้วยปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

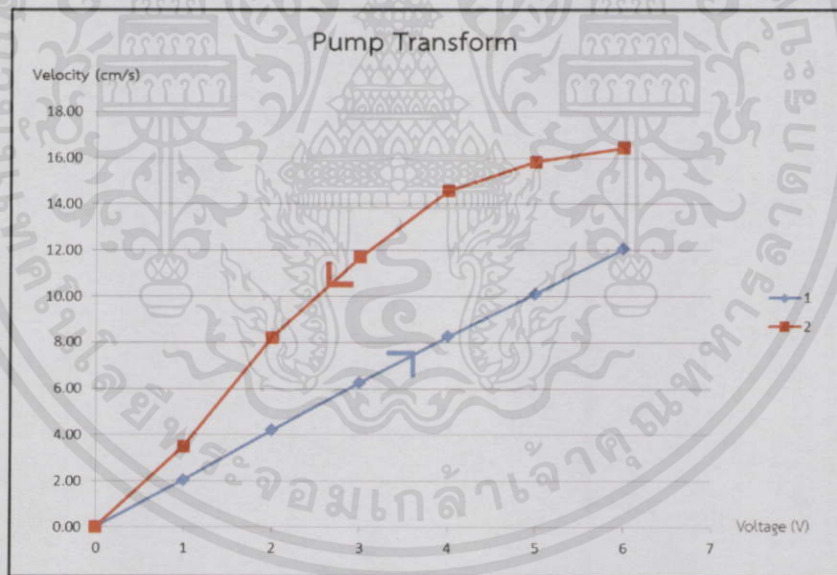
ในรูปที่ 3.17 แสดง Block diagram ของการควบคุมระบบเปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ ทำการควบคุมโดยอาศัย Pump transform โดยภายหลังจากการป้อนค่า

ความเร็วที่ต้องการแล้ว Pump transform ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมของระบบนี้ จะแปลงค่าความเร็วดังกล่าวเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ซึ่งควบคุมความถี่ของมอเตอร์ โดย Pump transform ในงานวิจัยนี้หาได้จากการทดลองจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 6V แก่อินเวอร์เตอร์ พร้อมทั้งวัดความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกด้วย Potentiometer ซึ่งจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์และความเร็วของก้านกระบอกสูบแสดงดังกราฟที่ 3.5



รูปที่ 3.17 Block diagram ของระบบควบคุมแบบเปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลของระบบ

โดยการควบคุมการเคลื่อนที่ของก้านสูบจากตำแหน่ง Head end ไปยังตำแหน่ง Rod end (พิจารณาเส้นกราฟหมายเลข 1) และการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง Rod end ไปยังตำแหน่ง Head end (พิจารณาเส้นกราฟหมายเลข 2)



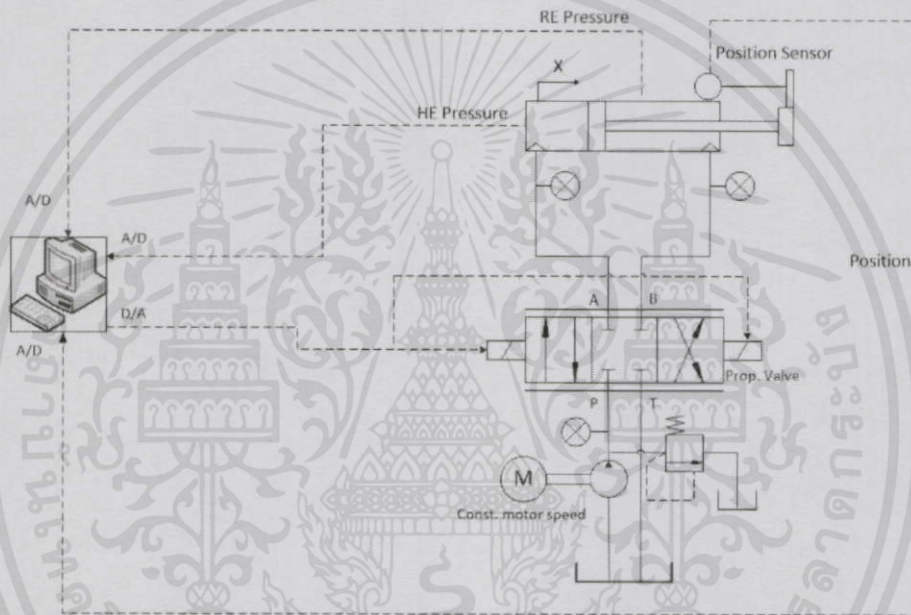
กราฟที่ 3.5 Pump transform

จาก Pump transform ที่ได้จากการทดลอง พบว่ากราฟหมายเลข 2 ซึ่งเป็นความเร็วขากลับของกระบอกสูบ (Retraction stroke) มีความไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากการเกิด Hysteresis ในระบบ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเสียดทานภายใน อาทิ แรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไฮดรอลิก แรงเสียดทานบริเวณข้อต่อเพลลา (Coupling) และแรงเสียดทานจากอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก เป็นผลให้เกิด slip ในมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่มอเตอร์ไฟฟ้าไม่สามารถทำความเร็วรอบได้ตามที่ต้องการ อันเป็นผลมาจากภาระที่เพิ่มสูงขึ้น

3.2.2 การควบคุมแบบระบบปิด (Close loop control system)

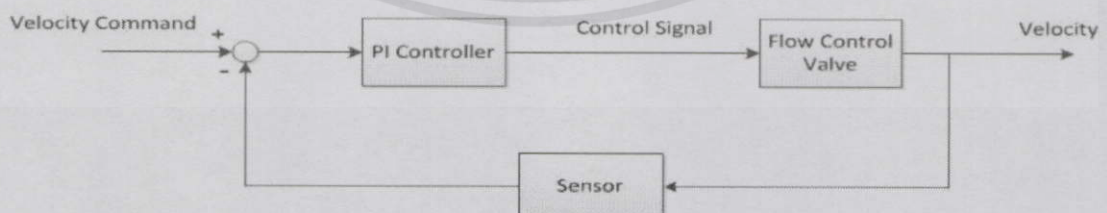
3.2.2.1 ทดลองแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลของระบบ (Close loop control with proportional valve)

วงจรไฮดรอลิกดังรูปที่ 3.18 กำลังของกระบอกสูบถูกควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยปรับค่าของอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับความเร็วที่ต้องการ ซึ่งเป็นคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ที่ผ่านการควบคุมของค่า K_p , K_i , K_d และกำลังส่วนที่เกินจากความต้องการจะเสียไปกับการส่งน้ำมันไฮดรอลิกกลับสู่ถัง



รูปที่ 3.18 วงจรไฮดรอลิกแบบระบบปิดทดลองแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล

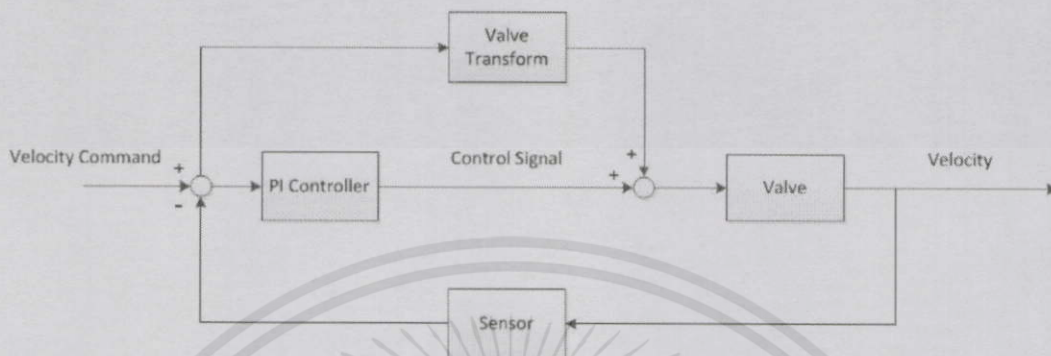
รูปที่ 3.19 แสดง Block diagram ของระบบปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI



รูปที่ 3.19 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 โดยวิธีควบคุมแบบ PI
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

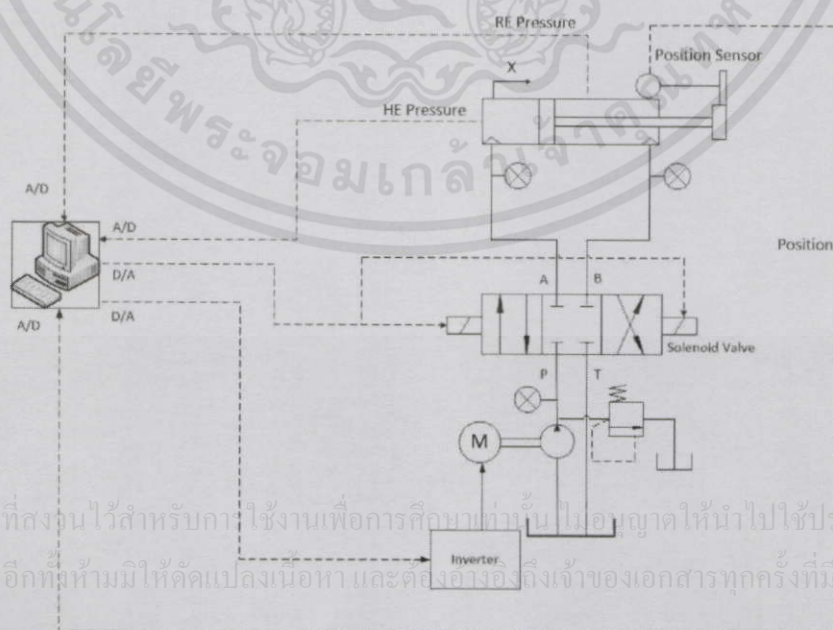
รูปที่ 3.20 แสดง Block diagram ของระบบปิดแบบใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI และ Feedforward จาก Valve transform เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ



รูปที่ 3.20 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI และ Feedforward

3.2.2.2 ทดลองแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ (Close loop control with pump)

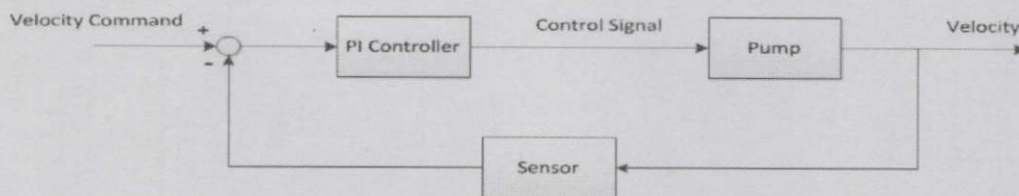
วงจรไฮดรอลิกดังรูปที่ 3.21 อินเวอร์เตอร์ได้รับคำสั่งที่เป็นค่าความต่างศักย์มาจากคอมพิวเตอร์ซึ่งได้ผ่านการควบคุมด้วยค่า K_p, K_i, K_d แล้วจึงทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของระบบด้วยการปรับรอบการทำงานของมอเตอร์ เป็นผลให้กำลังของปั๊มเหมาะสมกับความเร็วของกระบอกสูบ โดยวาล์วมีหน้าที่เพียงกำหนดทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเท่านั้น



รูปที่ 3.21 วงจรไฮดรอลิกแบบปิดของการทดลองด้วยปั๊มควบคุมอัตราการไหลในระบบ

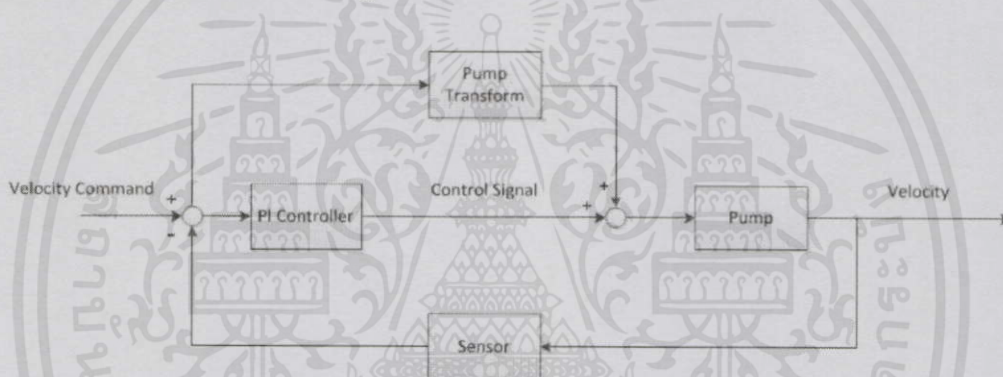
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 แสดง Block diagram ของระบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI



รูปที่ 3.22 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI

รูปที่ 3.23 แสดง Block diagram ของระบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI และ Feedforward จาก Pump transform เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากความไม่เป็นเชิงเส้นของการควบคุมด้วยปั๊ม



รูปที่ 3.23 Block diagram ของระบบควบคุมแบบปิดแบบใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วิธีควบคุมแบบ PI และ Feedforward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

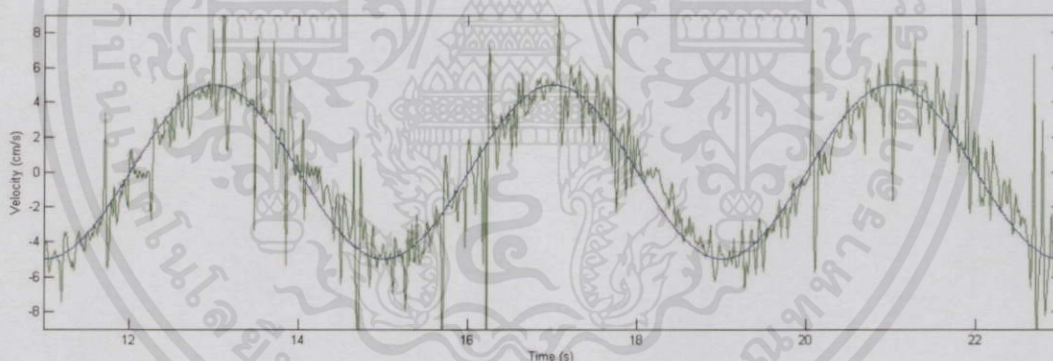
บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองควบคุมความเร็วของวงจรถอดรูปในการทดลองนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ การควบคุมแบบระบบเปิดและระบบปิด โดยเปรียบเทียบผลของความเร็วจากการควบคุมกับความเร็วอ้างอิง พร้อมทั้งแสดงค่าความแตกต่างของผลการทดลองในรูปแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว และมีผลของอัตราการใช้พลังงานของแต่ละระบบเปรียบเทียบกับกันเพื่อให้เกิดความชัดเจนในการสรุปผล

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการควบคุมความเร็วกับเวลาของวงจรถอดรูปชนิดการควบคุมแบบเปิด

4.1.1 ผลการควบคุมความเร็วของระบบเปิดชนิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล

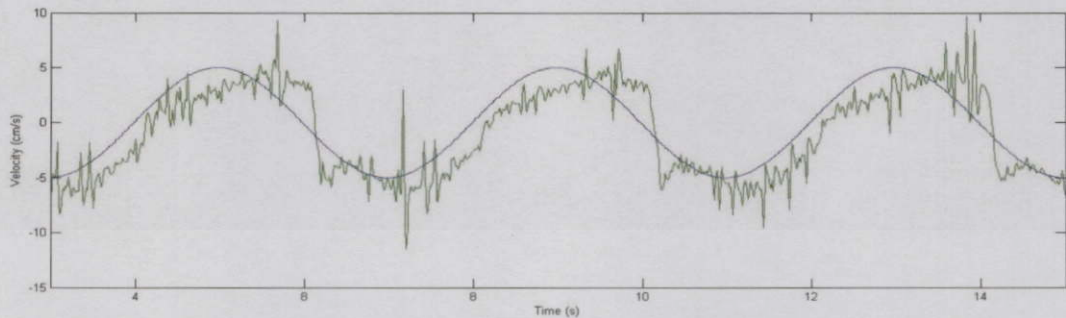


กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบเปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล

ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทดลองควบคุมอัตราการไหลที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว (RMS error) เท่ากับ 1.75 cm/s เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการควบคุมความเร็วของระบบเปิดใช้ป้อนควบคุมอัตราการไหลในระบบ



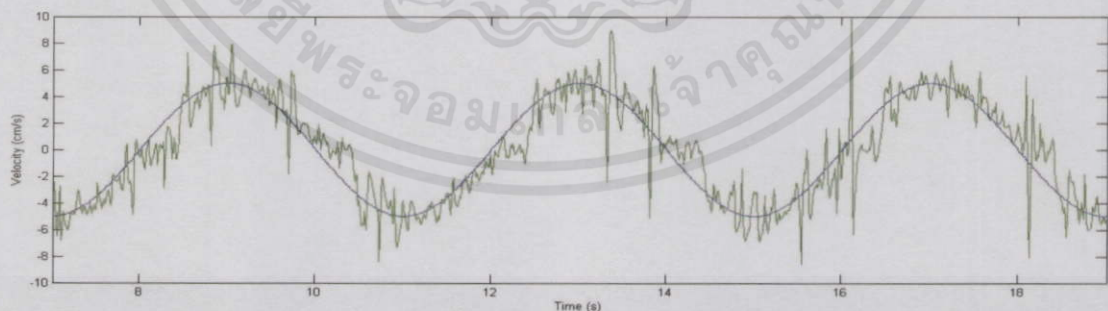
กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบเปิดใช้ป้อนควบคุมอัตราการไหลในระบบ

ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทดลองควบคุมอัตราการไหลที่ป้อนมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว (RMS error) เท่ากับ 2.19 cm/s เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง

สังเกตว่ากราฟความเร็วจริงนั้นตามความเร็วอ้างอิงอยู่ เนื่องจากการตอบสนองของอินเวอร์เตอร์ต่อสัญญาณควบคุมนั้นช้า และ pump transform ที่ใช้อ้างอิงนั้น เกิด hysteresis

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการควบคุมความเร็วกับเวลาของวงจรไฮดรอลิกชนิดการควบคุมแบบปิด

4.2.1 ผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุมแบบ PI

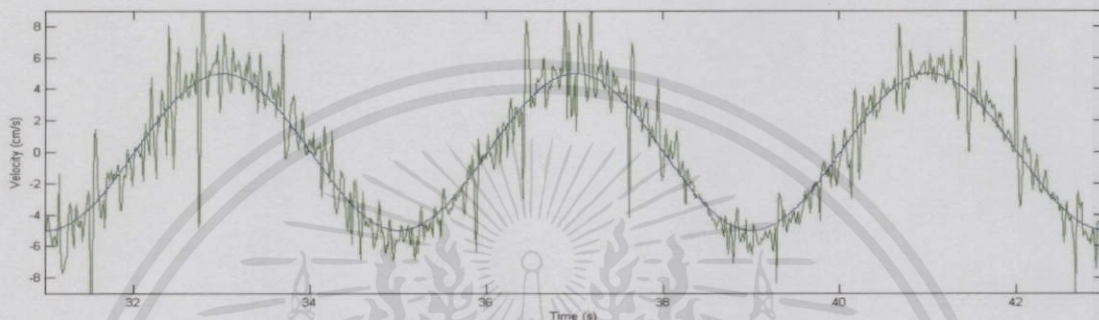


กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุม PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทดลองควบคุมอัตราการใช้วาล์วควบคุมอัตราการใช้มีค่า PI ดังนี้ $K_p = 0.15$, $K_i = 3$ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัว (RMS error) เท่ากับ 1.58 cm/s เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง

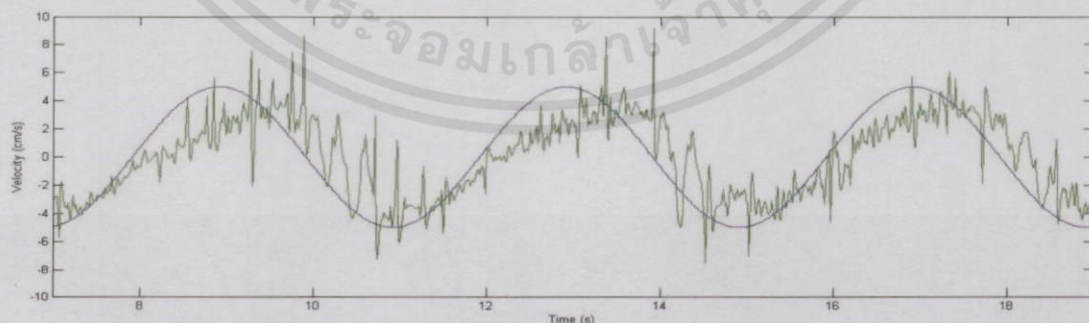
4.2.2 ผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการใช้ โดยตัวควบคุมแบบ PI ทำงานร่วมกับ Feedforward



กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการใช้ โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward

ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทดลองควบคุมอัตราการใช้วาล์วควบคุมอัตราการใช้มีค่า PI ดังนี้ $K_p = 0.05$, $K_i = 0.5$ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัว (RMS error) เท่ากับ 1.47 cm/s เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง

4.2.3 ผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการใช้ โดยตัวควบคุมแบบ PI

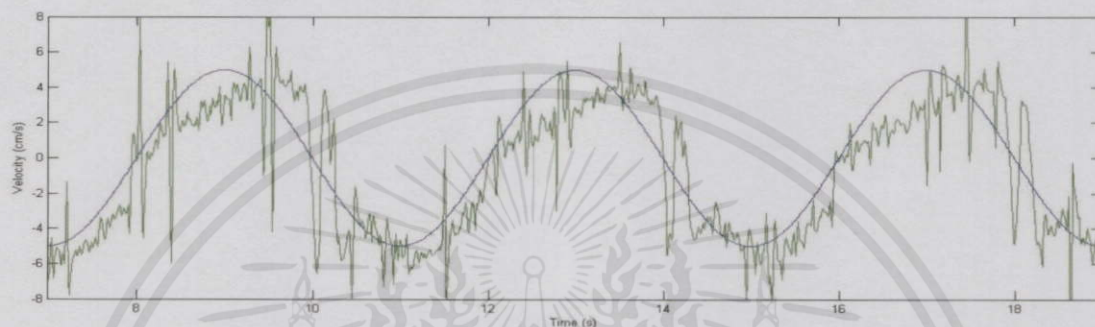


กราฟที่ 4.5 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการใช้ โดยตัวควบคุม PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทดลองควบคุมอัตราการไหลที่ป้อนมีค่า PI ดังนี้ $K_p = 0.4$, $K_i = 0.6$ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัว (RMS error) เท่ากับ 2.11 cm/s เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง

4.2.4 ผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ป้อนควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุมแบบ PI ทำงานร่วมกับ Feedforward



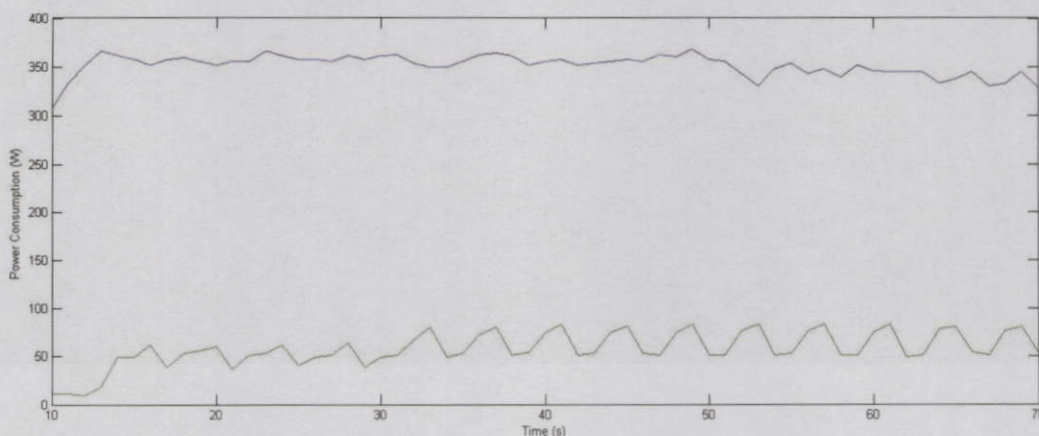
กราฟที่ 4.6 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ป้อนควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward

ผลของความเร็วที่เกิดขึ้นจากการทดลองควบคุมอัตราการไหลที่ป้อนมีค่า PI ดังนี้ $K_p = 0.2$, $K_i = 0.0025$ และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัว (RMS error) เท่ากับ 2.02 cm/s เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลใช้พลังงานกับเวลา

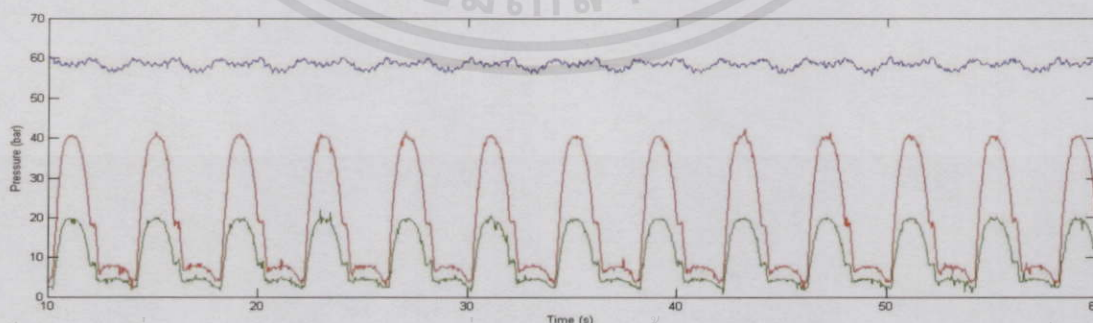
4.3.1 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล และ ระบบเปิดที่ใช้ป้อนควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.7 กราฟแสดงการใช้พลังงานของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล และ ระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล

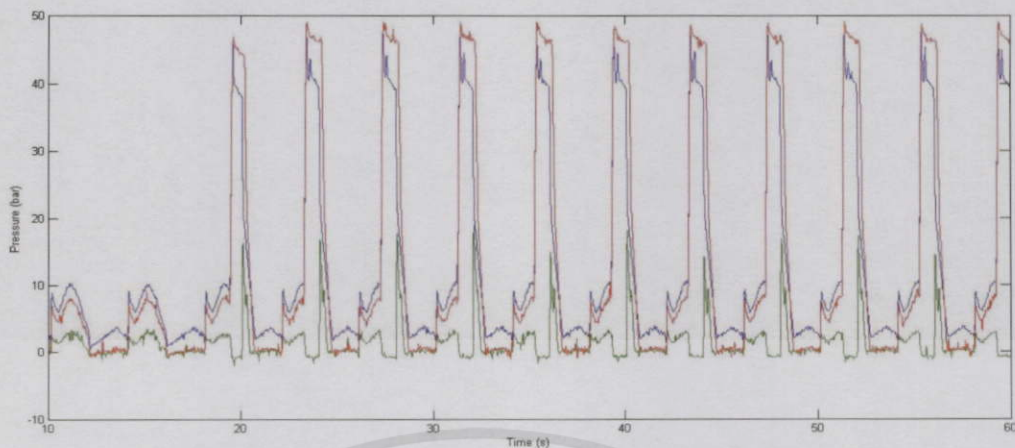
จากกราฟที่ 4.7 เห็นได้ว่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้กับระบบควบคุมแบบเปิดชนิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีค่าประมาณ 350 W (เส้นสีน้ำเงิน) และ พลังงานเฉลี่ยที่ใช้กับระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล มีค่าประมาณ 60 W (เส้นสีเขียว) เห็นได้ว่า การควบคุมความเร็วด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าการใช้ปั๊ม นั้นเป็นเพราะการใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลนั้น ความดันปั๊มมีค่าสูงตลอด มีอัตราการไหลสูงสุด เมื่อคำนวณกำลังตามสมการ(2.3) ทำให้ใช้กำลังไฟฟ้ามาก ในการควบคุมความเร็วไหลโดยใช้ปั๊ม มอเตอร์จะใช้กำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความเร็วของกระบอกสูบตามต้องการ และเมื่อสังเกตกราฟที่ 4.7 อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ปั๊ม ในช่วงประมาณ 35 s – 70 s นั้นมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากกระบอกสูบอยู่ในตำแหน่งสุทธระยะชัก ทำให้มีน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลเข้ามาทางด้าน Rod end มากเกินกว่าปริมาตรในฝั่ง Rod end รับผิดชอบ ทำให้ความดันที่ pump เพิ่มขึ้น มอเตอร์มีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน และเมื่อวาล์วควบคุมทิศทางเปลี่ยนทิศทางไหลของน้ำมัน ความดันด้าน Rod end ก็จะลดน้อยลง ซึ่งแสดงให้เห็นดังกราฟที่ 4.8 – 4.9 ดังนี้



กราฟที่ 4.8 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบเปิด

ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษานานับ ไม่นับเวลาให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัดแปลงแก้ไขโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.9 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบเปิดควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม

โดย เส้นสีน้ำเงินแสดงความดันที่ Relief valve, เส้นสีแดงแสดงความดันที่ Head end และเส้นสีเขียว แสดงความดันที่ Rod end

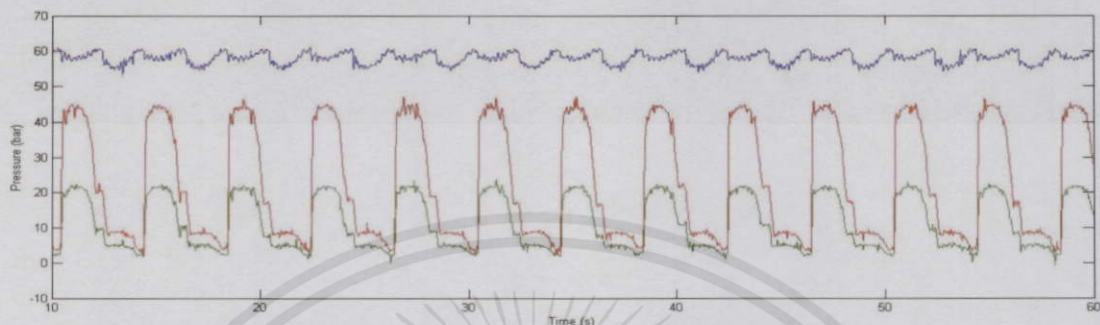
4.3.2 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล และ ระบบปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล



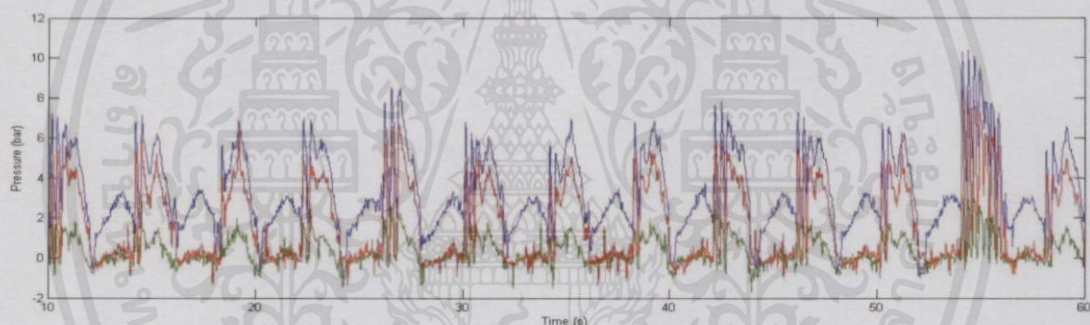
กราฟที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI กับ ระบบปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI

จากกราฟที่ 4.10 เห็นได้ว่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้กับระบบควบคุมแบบปิดชนิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีค่าประมาณ 390 W (เส้นสีน้ำเงิน) และ พลังงานเฉลี่ยที่ใช้กับระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล มีค่าประมาณ 35 W (เส้นสีเขียว) เห็นผลเดียวกับการทดลองแบบระบบเปิด

ในการทดลองระบบปิดโดยการควบคุมแบบ PI นั้น ไม่มีการอันของน้ำมันทางฝั่งของ Rod end เนื่องจากไม่มีการใช้ pump transform ในการควบคุม ทำให้ผลของ hysteresis จาก pump transform นั้นไม่เกิดขึ้น แสดงความดันในกราฟที่ 4.11-4.12



กราฟที่ 4.11 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิด ควบคุมความเร็วด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล

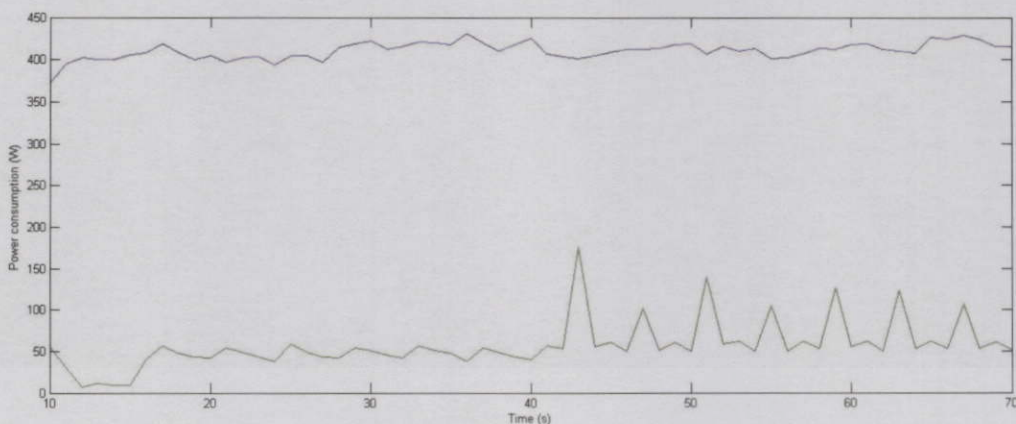


กราฟที่ 4.12 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิด ควบคุมความเร็วโดยใช้ปั๊ม

โดย เส้นสีน้ำเงินแสดงความดันที่ Relief valve, เส้นสีแดงแสดงความดันที่ Head end และ เส้นสีเขียว แสดงความดันที่ Rod end

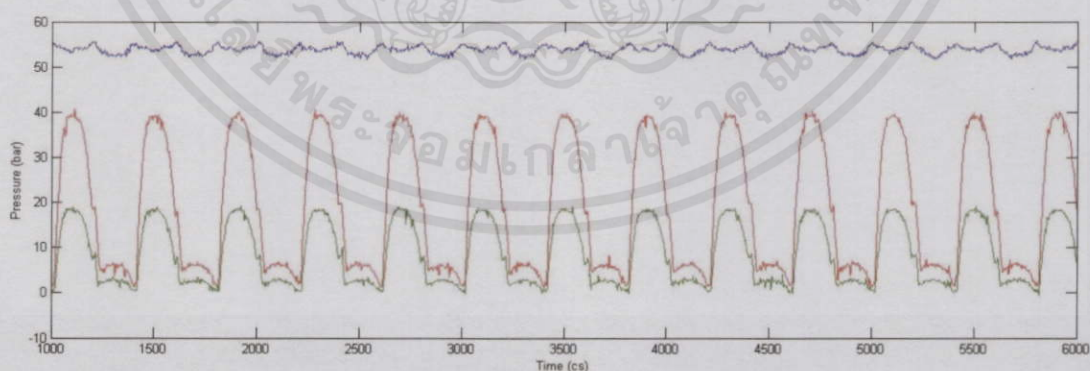
4.3.3 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุมแบบ PI ทำงานร่วมกับ Feedforward และ ระบบปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุมแบบ PI ทำงานร่วมกับ Feedforward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward กับ ระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward

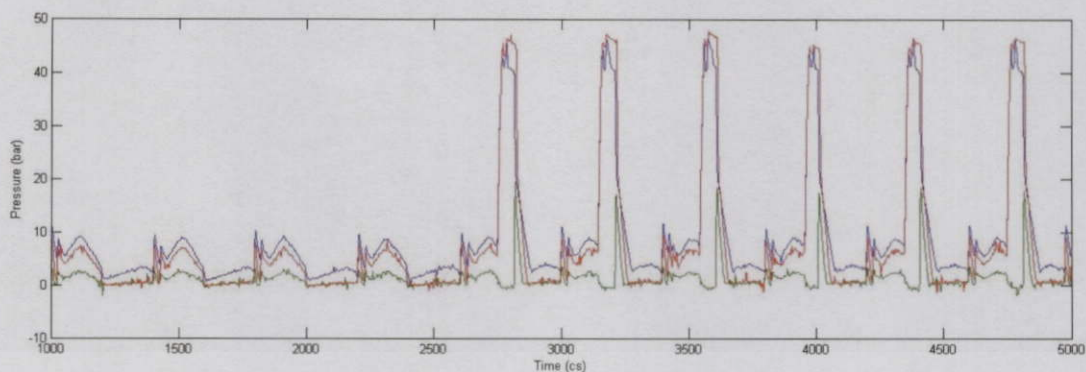
จากกราฟที่ 4.13 เห็นได้ว่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้กับระบบควบคุมแบบปิดร่วมกับ feedforward ชนิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีค่าประมาณ 410 W (เส้นสีน้ำเงิน) และ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้กับระบบเปิดที่ใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล มีค่าประมาณ 55 W (เส้นสีเขียว) เห็นได้ว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าการใช้ปั๊ม เหตุผลเดียวกับการควบคุมแบบระบบเปิดและระบบปิดโดยการควบคุมแบบ PI นอกจากนี้เมื่อสังเกตกราฟที่ 4.13 อัตราการใช้พลังงานของการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ปั๊ม ในช่วงประมาณ 40 s – 70 s นั้นมีค่าสูงขึ้น เหตุผลเดียวกับการควบคุมแบบเปิด เพราะ มีการใช้ pump transform เป็นตัวอ้างอิงในการควบคุม แสดงความดันให้เห็นดังกราฟที่ 4.14 – 4.15 ดังนี้



กราฟที่ 4.14 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิด

ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลใช้งานร่วมกับ Feedforward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.15 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ Relief valve, Head end และ Rod end ของระบบปิด ควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊ม ใช้งานร่วมกับ Feedforward

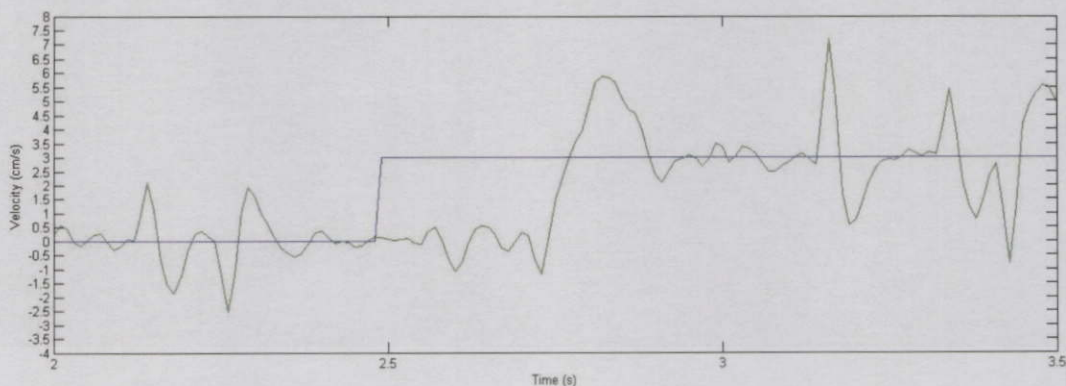
โดย เส้นสีน้ำเงินแสดงความดันที่ Relief valve, เส้นสีแดงแสดงความดันที่ Head end และ เส้นสีเขียว แสดงความดันที่ Rod end

การทดลอง	ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัว	ปริมาณการใช้พลังงาน (W)
4.1.1 ระบบเปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล	1.75	350
4.1.2 ระบบเปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล	2.19	60
4.2.1 ระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุม PI	1.58	390
4.2.2 ระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward	1.47	410
4.2.3 ระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI	2.11	35
4.2.4 ระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward	2.02	55

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวและ ปริมาณการใช้พลังงานของการทดลองทั้งหมด

เพื่อพิสูจน์ว่าการควบคุมระบบด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลหรือการควบคุมโดยใช้ปั๊มมีการตอบสนองอย่างทันถ่วงทีที่ดีกว่า จึงได้ทำการทดลองใช้ ฟังก์ชันขั้นบันได ที่ความเร็วอ้างอิงเท่ากับ 3 cm/s มาเป็นเกณฑ์พิจารณา โดยได้ทำการทดลองที่ระบบที่มีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน น้อยที่สุดนั่นคือ พิจารณาที่ระบบปิดควบคุม โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward ทั้งในกรณีของ วาล์วควบคุมอัตราการไหลและการควบคุมด้วยปั๊ม ซึ่งได้กราฟผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.16 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward ในรูปแบบฟังก์ชันขั้นบันได

จากกราฟที่ 4.16 พบว่า เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ความเร็วอ้างอิง จนกระทั่งมีความเร็วเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วอ้างอิง (Rise time) อยู่ที่ประมาณ 0.43 s (2.48 s - 2.91 s)



กราฟที่ 4.17 กราฟแสดงผลการควบคุมความเร็วของระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward ในรูปแบบฟังก์ชันขั้นบันได

จากกราฟที่ 4.17 พบว่า เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ความเร็วอ้างอิง จนกระทั่งมีความเร็วเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วอ้างอิง (Rise time) อยู่ที่ประมาณ 0.78 s (1.87 s - 2.65 s)

จากกราฟที่ 4.16 – 4.17 เห็นได้ว่า การควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล มีเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ความเร็วอ้างอิงที่น้อยกว่าการควบคุมอัตราการไหลโดยปั๊มเนื่องจากการตอบสนองต่อการควบคุมของวาล์วควบคุมอัตราการไหลนั้นเร็วกว่าการควบคุมความเร็วด้วยปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อนำผลทั้งหมดมาเปรียบเทียบ โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. เปรียบเทียบผลของการควบคุมระบบเปิด
2. เปรียบเทียบผลของการควบคุมระบบเปิดกับระบบปิด
3. เปรียบเทียบผลของการควบคุมระบบปิดกับระบบปิดที่ใช้งานร่วมกับ Feedforward
4. เปรียบเทียบผลของระยะเวลาการลู่เข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 เปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบระบบเปิด

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกรณี ระบบเปิดแบบ 4.1.1 ควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลและแบบ 4.1.2 ควบคุมโดยใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล จะเห็นว่า การใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวที่น้อยกว่าหมายความว่า การใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลมีความแม่นยำมากกว่า แต่พิจารณาการใช้พลังงานจะเห็นว่า การควบคุมโดยปั๊มควบคุมอัตราการไหล ประหยัดพลังงานมากกว่า เพราะการควบคุมโดยปั๊มควบคุมอัตราการไหล จะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ ทำให้อัตราการใช้พลังงานลดน้อยลง จากเดิมเป็นการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ทำงานเต็มโหลดตลอดเวลาและไปทำการปรับที่วาล์วแทนซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์

5.2 เปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบระบบเปิดกับระบบปิด

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบในกรณี 4.1.1 ระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล กับ 4.2.1 ระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุม PI และ 4.1.2 ระบบเปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล กับ 4.2.3 ระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI จะเห็นว่า การใช้งานระบบปิดในการควบคุมจะมีความแม่นยำมากกว่าระบบเปิด เพราะการทำงานของระบบปิดมีการปรับค่าของผลต่างระหว่างค่าความเร็วอ้างอิงกับค่าความเร็วที่เกิดขึ้นจริง โดยการใช้ค่า PI ในการควบคุมเพื่อให้ผลต่างมีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 เปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบระบบปิดกับระบบเปิด ที่ใช้งานร่วมกับ Feed forward

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบผลของกรณี 4.2.1 ระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุม PI กับ 4.2.2 ระบบปิดควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward และ 4.2.3 ระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI กับ 4.2.4 ระบบปิดชนิดใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหล โดยตัวควบคุม PI ร่วมกับ Feedforward พบว่า การใช้ Feedforward ทำให้ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น เพราะ การควบคุมความเร็วจะอ้างอิงจาก Valve transform หรือ Pump transform และมีตัวควบคุม PI มาควบคุมผลต่างของความเร็วจริงและความเร็วอ้างอิง ทำให้ความแม่นยำในการควบคุมความเร็วแม่นยำตรงมากขึ้น

5.4 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาการลู่เข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิง

จากกราฟที่ 4.10 และ 4.11 เห็นได้ว่า ระยะเวลาที่ความเร็วจริงลู่จนเข้าสู่ 90 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วยังอิงของการควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีระยะเวลาน้อยกว่าการควบคุมที่ปั๊ม เพราะ การควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีความเร็วในการตอบสนองต่อการควบคุมเร็วกว่าการควบคุมด้วยปั๊ม

จากการสรุปผลการทดลองทั้งหมดข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบกันในด้านการใช้พลังงาน เห็นได้ว่าการใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลนั้น มีการอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่า แต่พิจารณาในด้าน การตอบสนองต่อความการควบคุมได้อย่างรวดเร็ว การใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลกับระบบควบคุมสามารถทำหน้าที่ได้เหมาะสมมากกว่าการใช้ปั๊มควบคุมระบบ และเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแต่ละระบบการทำงาน พบว่า การใช้ระบบปิดควบคุมด้วย PI ร่วมกับ Feedforward ให้ความแม่นยำมากที่สุด ต่อมาคือแบบระบบเปิด และแม่นยำน้อยที่สุด คือ การใช้ระบบเปิด

5.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. เนื่องจากกระบอกสูบไม่ต้องรับภาระ การปรับ Pressure relief valve ให้ความดันต่ำลง จะช่วยลดพลังงานลงได้
2. จากการทำ Pump transforms พบว่าการทำงานของอินเวอร์เตอร์เป็นแบบ Non linear การใช้ PI controller ในการควบคุมนั้น ไม่เหมาะสมเนื่องจาก PI controller เหมาะสมกับระบบที่เป็น linear อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. (2550). “การออกแบบแอฟพลิเคชันในระบบกราฟฟิกด้วย LabVIEW”, ISBN: 978-974-212-595-0, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [2] Anthony Esposito. (1997). “Fluid Power with Applications”, 4th edition, ISBN: 0-13-399890-8, New Jersey: Pearson Prentice-Hall.
- [3] Katsuhiko Ogata. (2004). “System Dynamic”, 4th edition, New Jersey: Pearson Prentice-Hall.
- [4] Karl J. Astrom, Tore Hagglund. (1995). “PID Controllers”, 2nd edition, ISBN: 1-55617-516-7, Lund: Lund Institute of Technology.
- [5] เดชฤทธิ์ มณีธรรม, พรพจน์ แพศรี. (2552), “คัมภีร์ระบบไฮดรอลิก (HYDRAULIC SYSTEM)”. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม, URL: <http://engineerknowledge.blogspot.com/2010/09/hydraulic.html>
- [7] แรงดัน ความเร็วและอัตราการไหลกับอุปกรณ์ที่ใช้ของไหลเป็นสารทำงาน, URL: <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=16174§ion=9>
- [8] David Dowsett, Patrick A Kenny, R Eugene Johnston. (2006). “The Physics of Diagnostic Imaging”, 2nd Edition, ISBN: 978-1-444113396, Florida: Taylor & Francis Group.

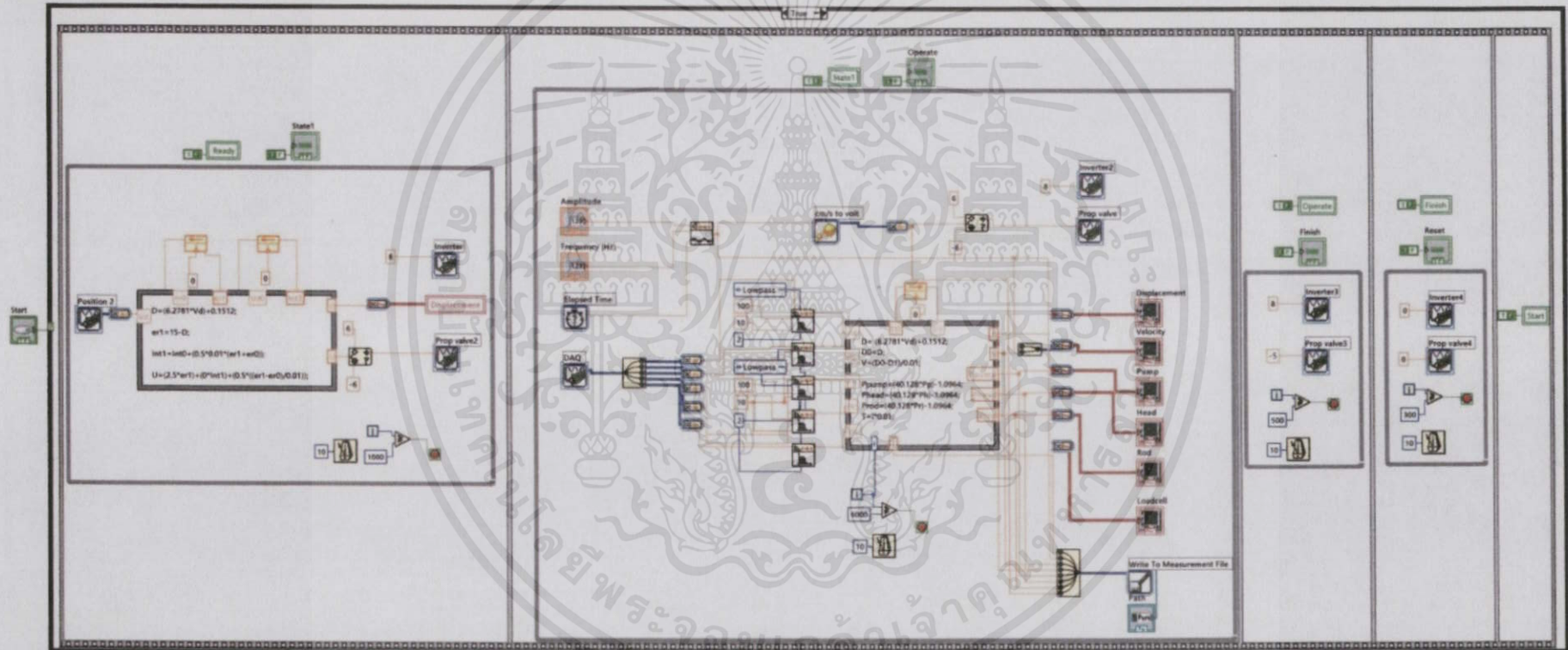
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



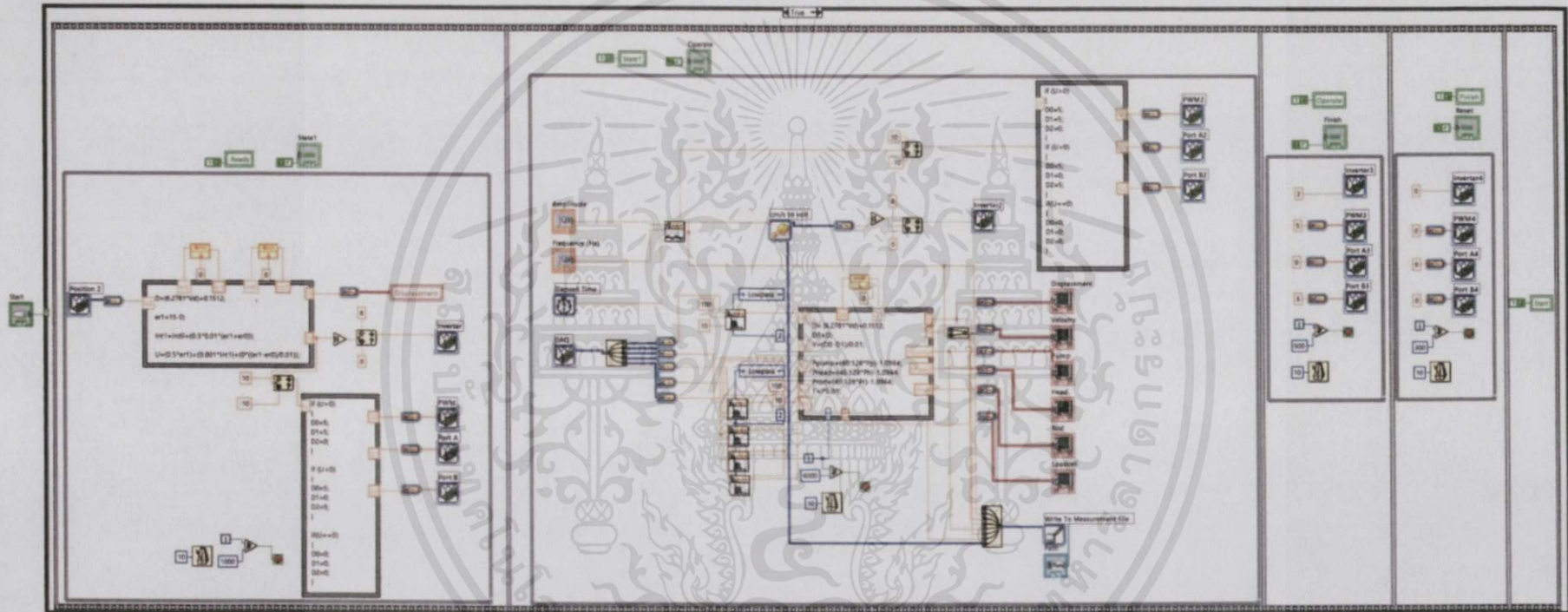
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

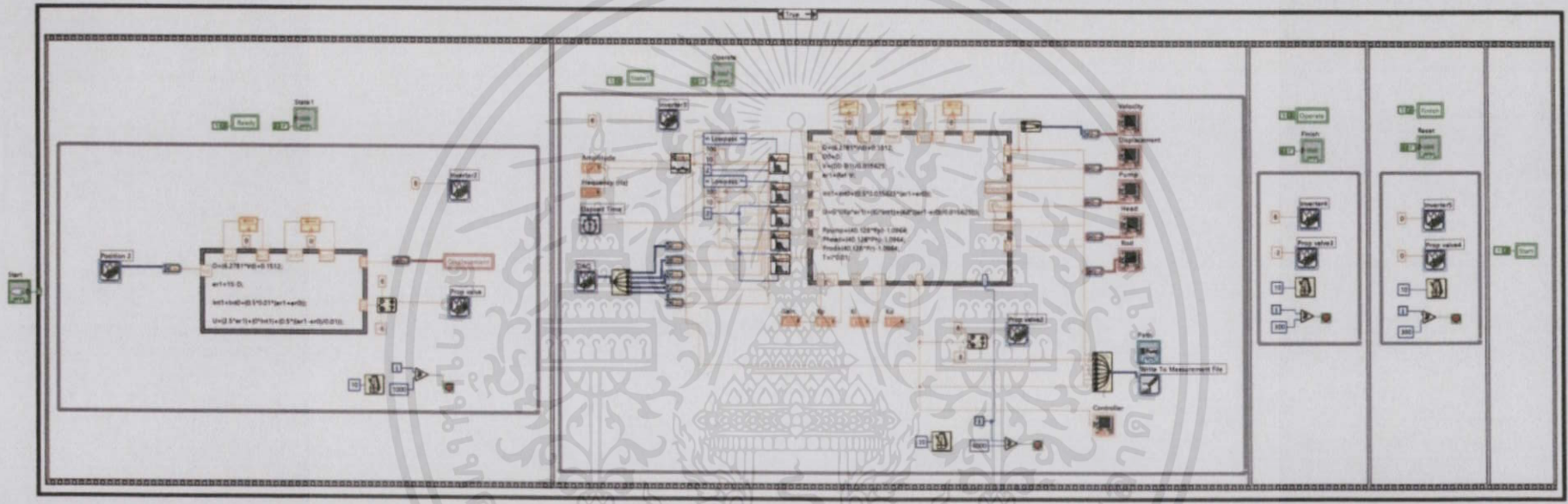
รูปที่ 1.ก แสดง Block diagram ของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล



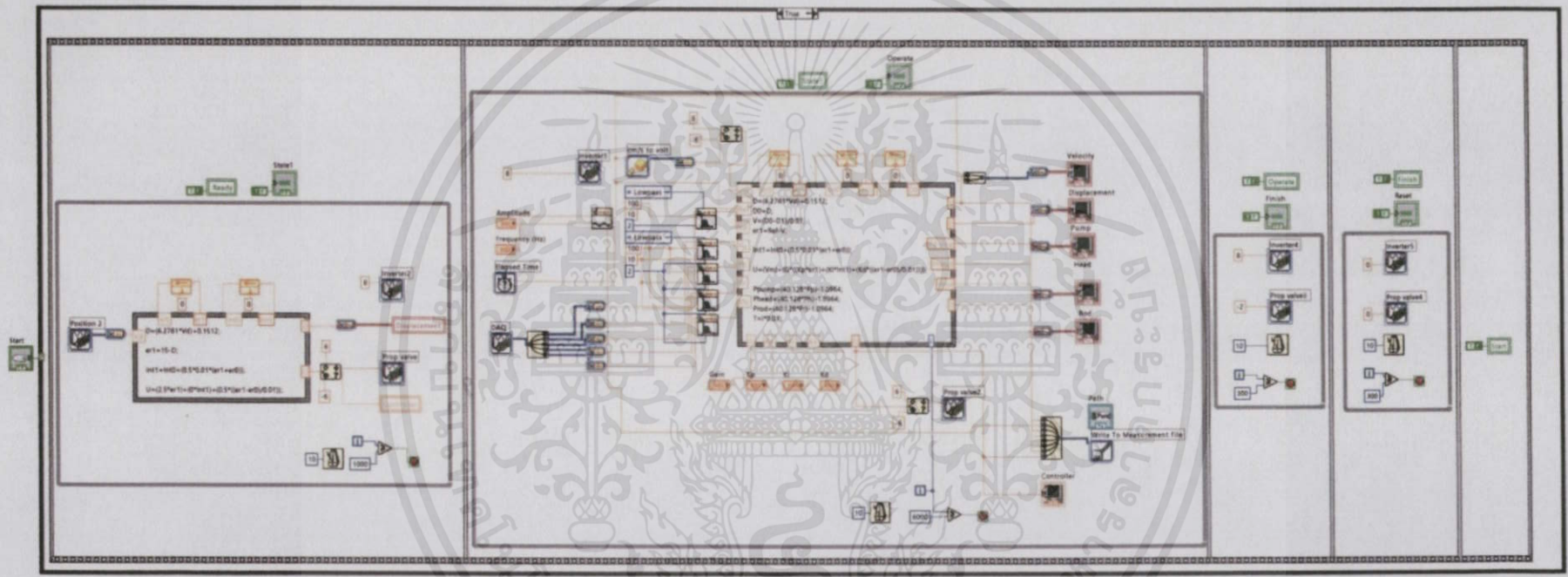
รูปที่ 2.ก แสดง Block diagram ของระบบเปิดควบคุมด้วยป้อน



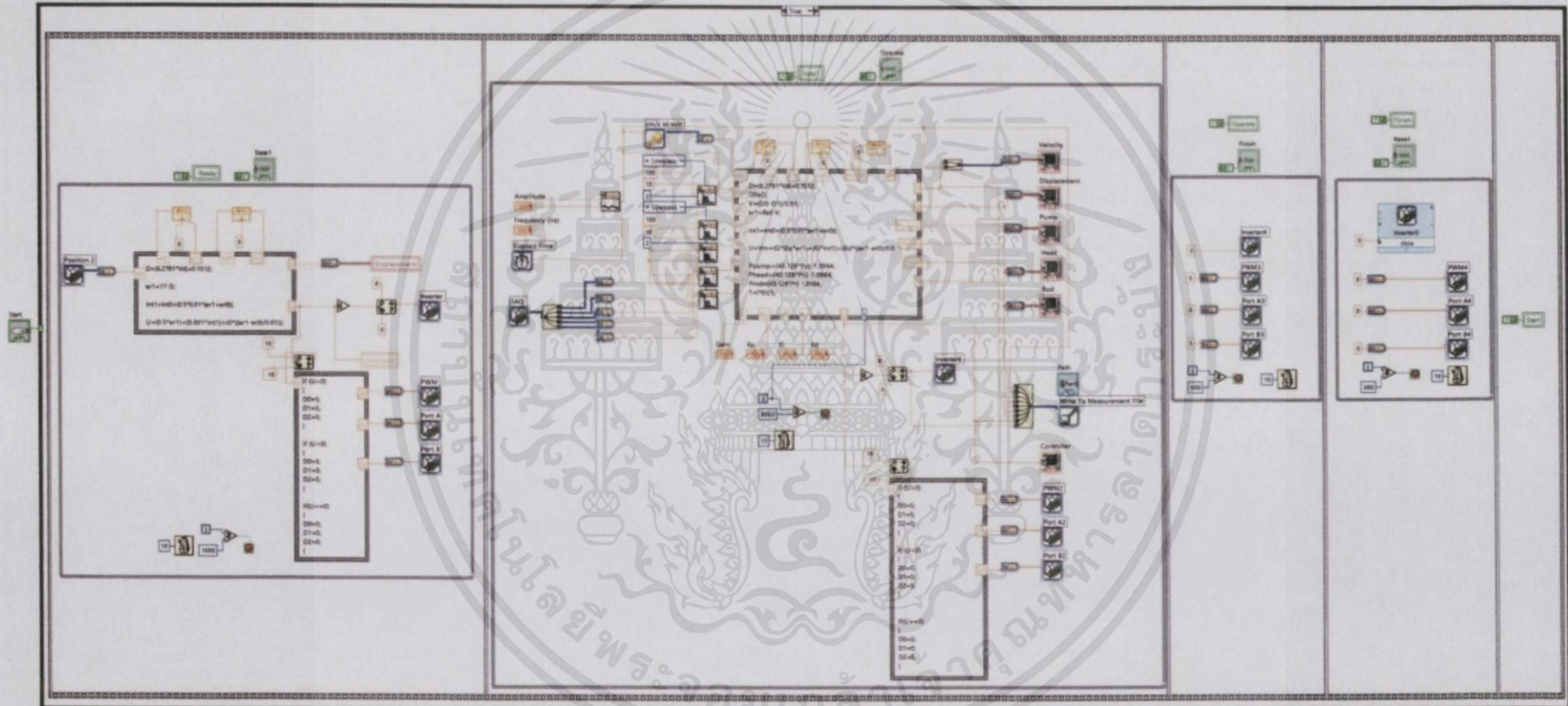
รูปที่ 3.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล



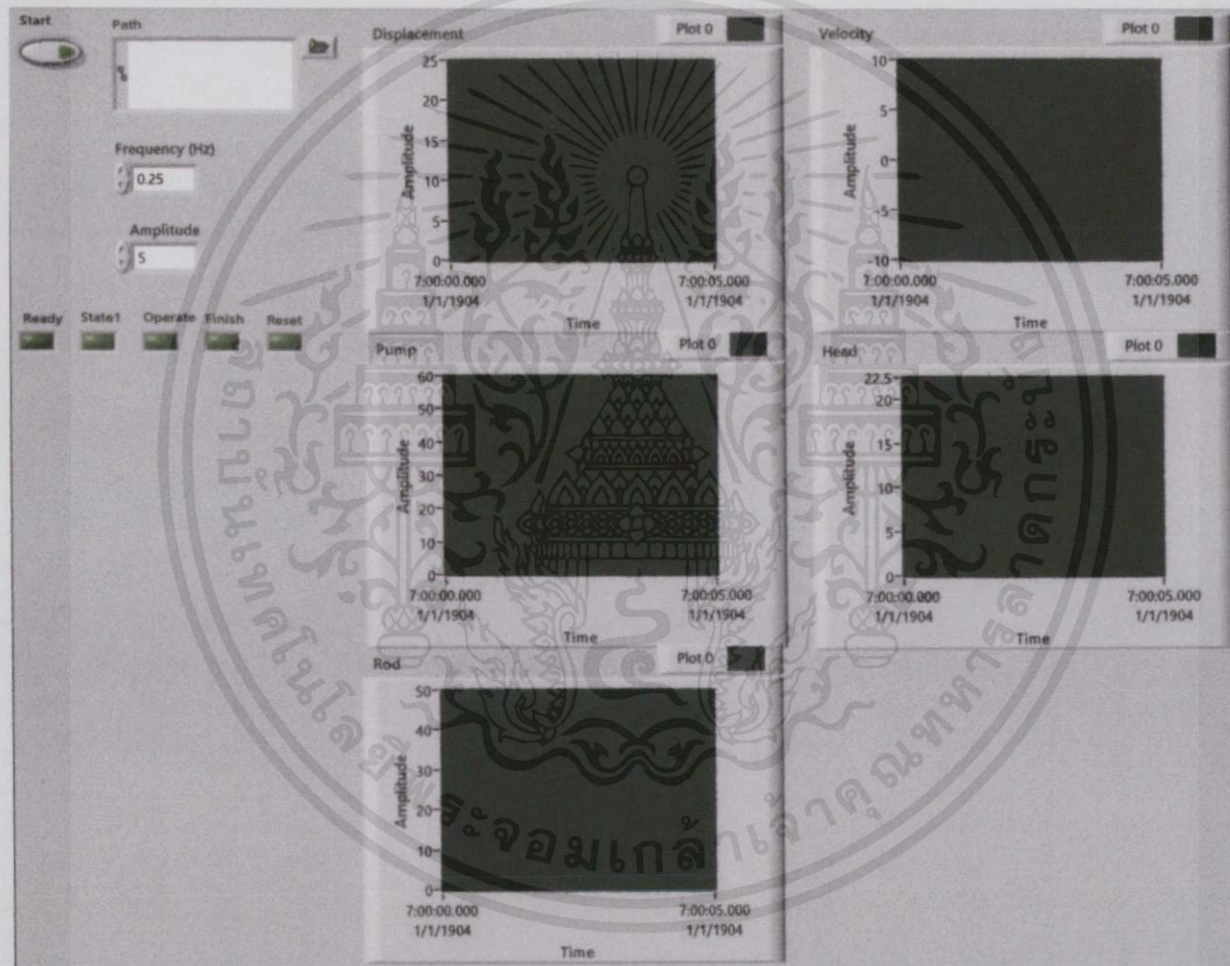
รูปที่ 5.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward



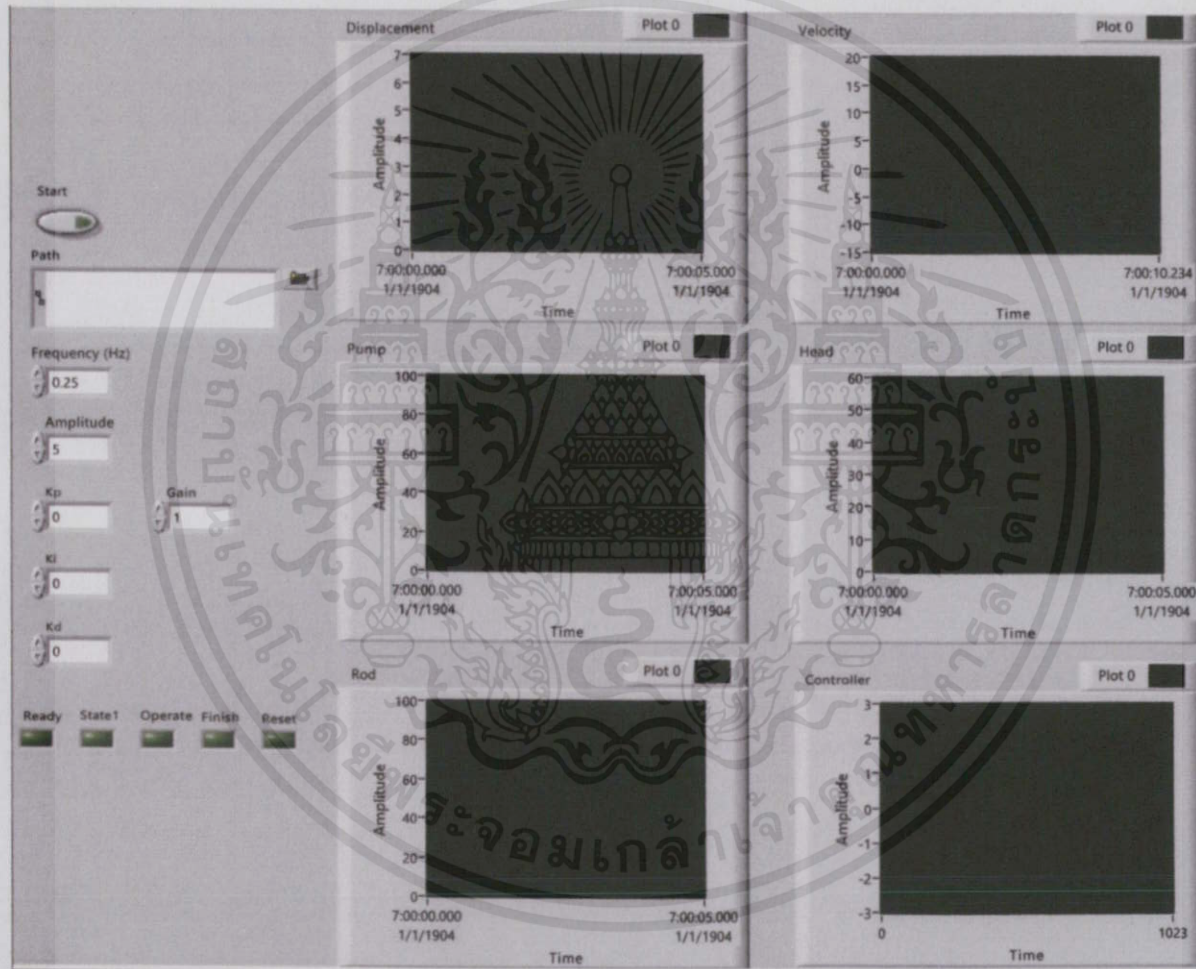
รูปที่ 6.ก แสดง Block diagram ของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊ม โดยใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward



รูปที่ 7.ก แสดง Front panel ของระบบการควบคุมแบบเปิด



รูปที่ 8.ก แสดง Front panel ของระบบการควบคุมแบบปิด

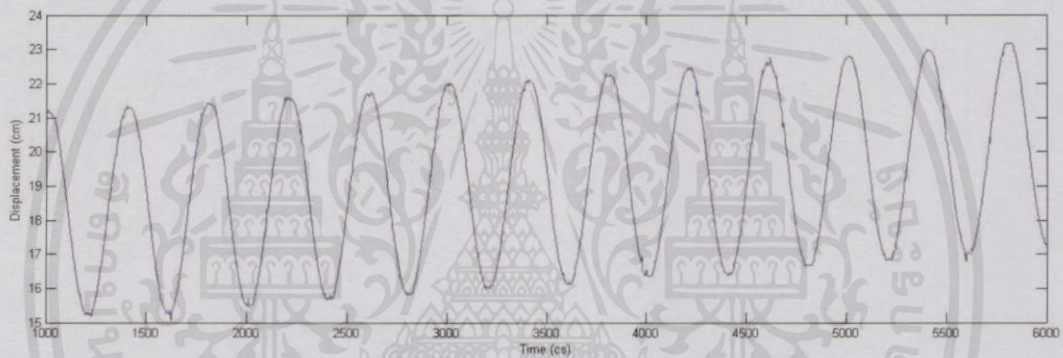


ภาคผนวก ข.

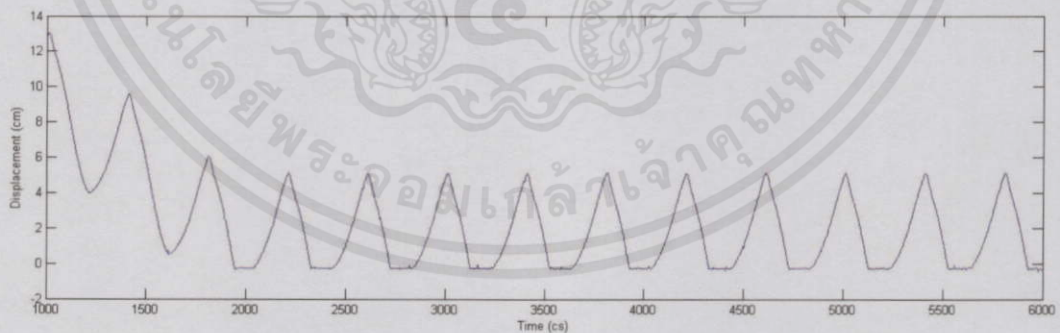
แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ประกอบไปด้วยระยะชักของกระบอกสูบ (Displacement), ค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ (Controller signal), ความดันที่ Relief valve, Head end และ Rod end ซึ่งแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์คู่กับเวลา (Time) ในหน่วย cs ($\times 10^{-2}$ s)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักของกระบอกสูบในหน่วย cm กับเวลา

กราฟที่ 1.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล

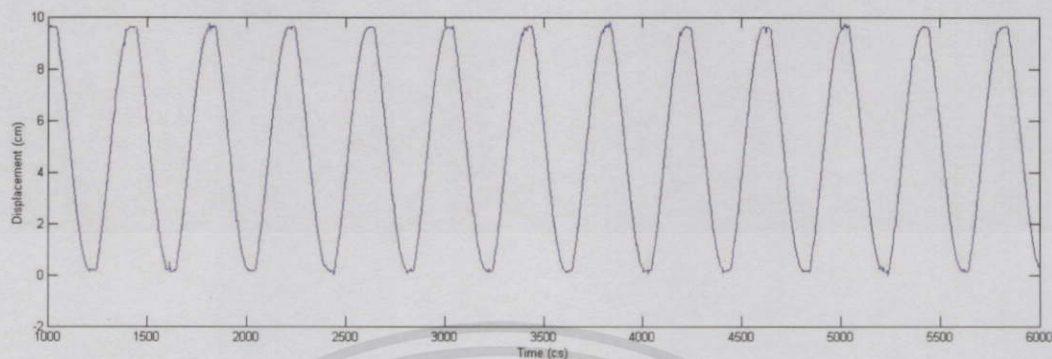


กราฟที่ 2.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบเปิดควบคุมโดยใช้ปั๊ม

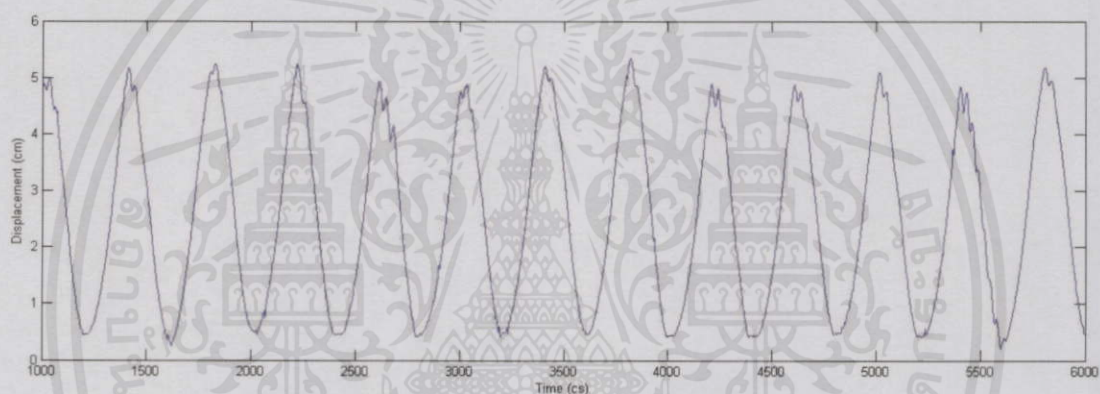


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 3.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล



กราฟที่ 4.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมโดยใช้ปั๊ม

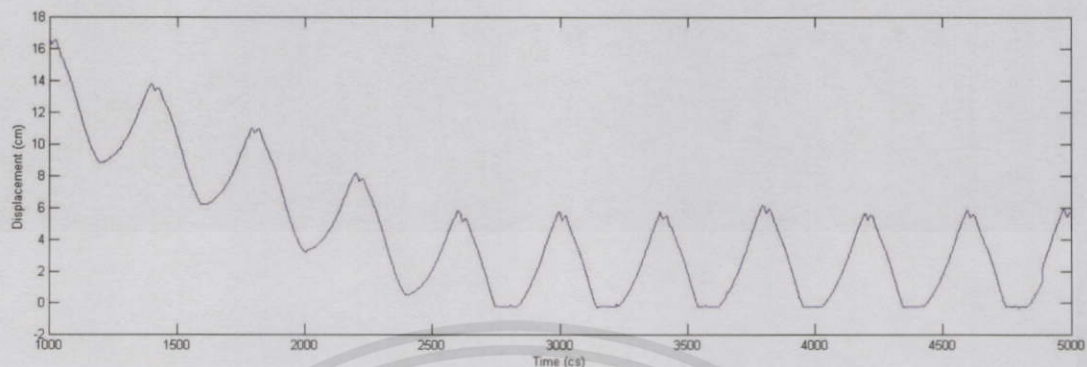


กราฟที่ 5.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้ PI Controller ร่วมกับ Feedforward



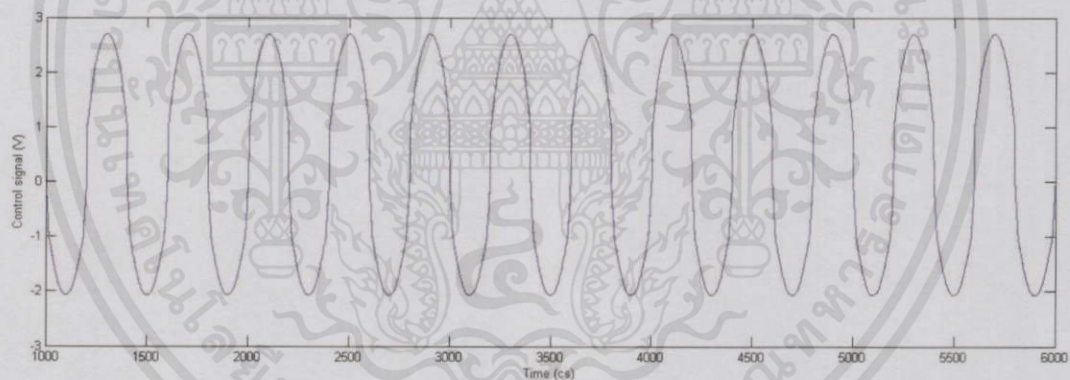
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 6.ข แสดงความสัมพันธ์ระยะชักของกระบอกลูกสูบกับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยปั๊ม โดยใช้ PI Controller ร่วมกับ Feedforward

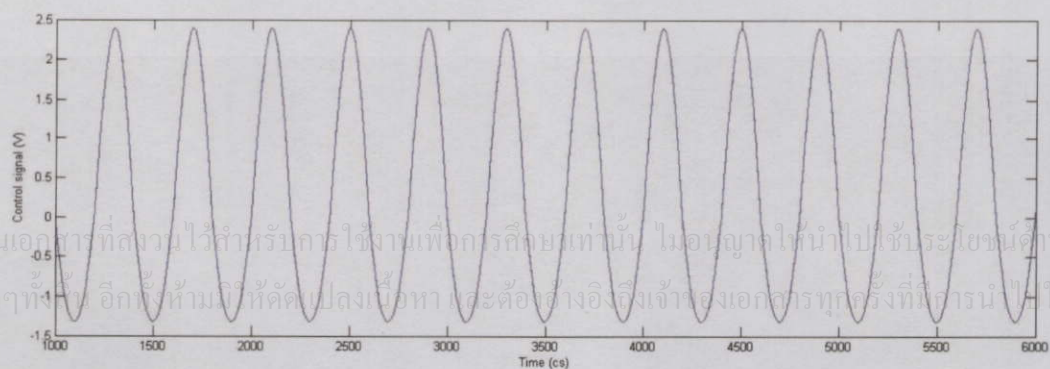


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์
ในหน่วย volt กับเวลา

กราฟที่ 7.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบเปิดควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล

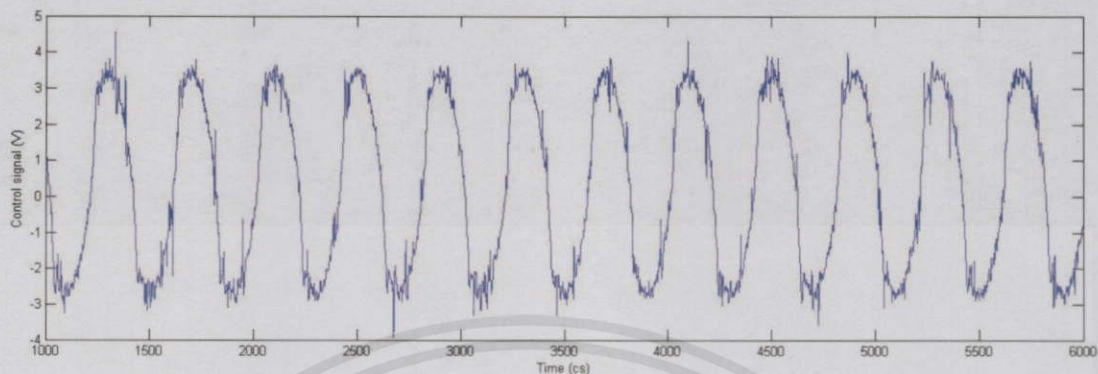


กราฟที่ 8.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบเปิดควบคุมด้วยปั๊ม

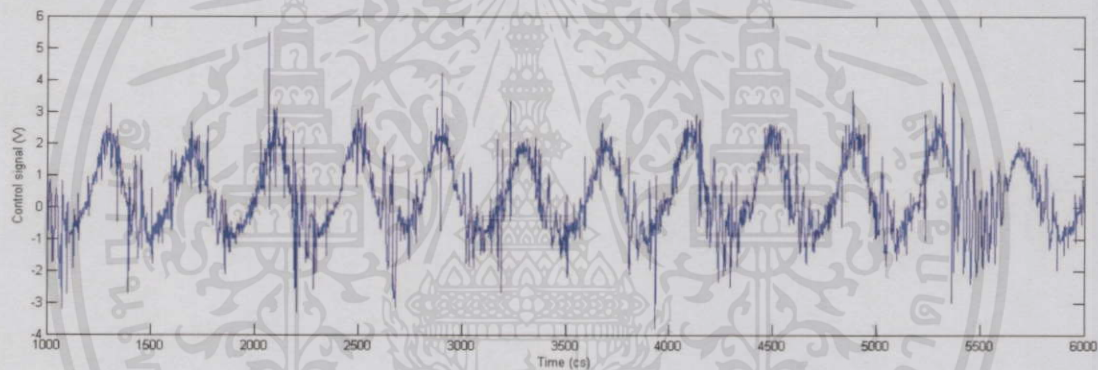


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

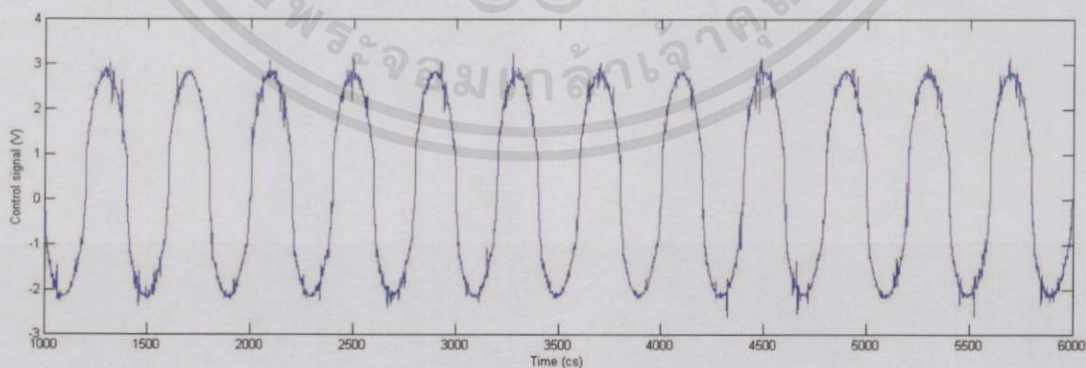
กราฟที่ 9.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิด ควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล



กราฟที่ 10.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิด ควบคุมด้วยปั๊ม

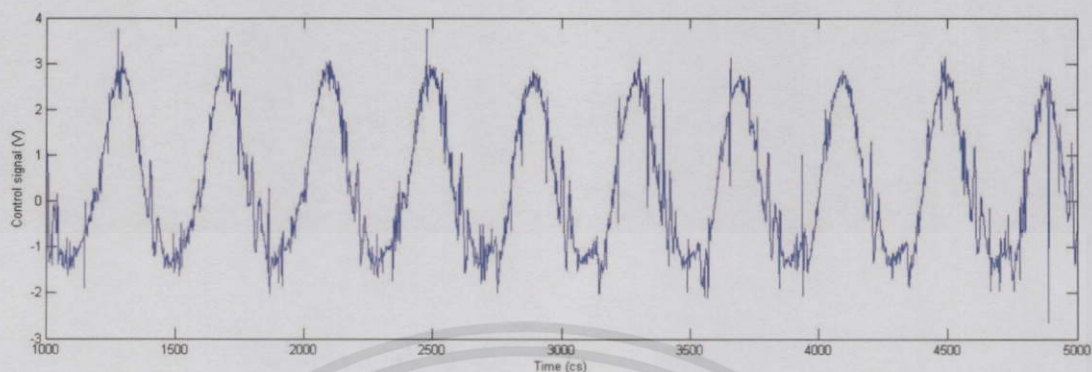


กราฟที่ 11.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิด ควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 12.ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการควบคุมที่ส่งจากคอมพิวเตอร์กับเวลาของระบบปิดควบคุมด้วยป้อน โดยใช้ PI controller ร่วมกับ Feedforward



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้