

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของชุดทดสอบไฮดรอลิก

COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP



โดย

นาย โชติ

งามพิงพิศ

นาย รัชพล

จารุเวชยาศรม

นาย สีนวัฒน์

สิกขมาน

ร.พ.

๕๘๖/ก

๑๗๕๐

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 81769

วัน,เดือน,ปี..... ค.ศ. ๒๕๕๑

b. 11๙ 3๙๒๖4

i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของชุดทดสอบไฮดรอลิก
COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP

โดย

นาย โชติ งามพึงพิศ 47010194
นาย รัชพล จารุเวชยาศรม 47010621
นาย สีนวัฒน์ ลิกขมาน 47010637

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมคอมพิวเตอร์ของชุดทดสอบไฮดรอลิก

COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP

ผู้จัดทำ

1. นาย โชติ งามพิงพิศ รหัสประจำตัว 47010194
2. นาย รัชพล จารุเวชยาศรม รหัสประจำตัว 47010621
3. นาย สีนวัฒน์ สิกขมาน รหัสประจำตัว 47010637



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของชุดทดสอบไฮดรอลิก

นาย โชติ งามพิงพิศ 47010194

นาย รัชพล จารุเวชชาศรม 47010621

นาย ลินวัฒน์ สิกขมาน 47010637

ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอการจำลองระบบไฮดรอลิกในคอมพิวเตอร์กับชุดการทดลองจริง โดยทำการศึกษาจากชุดทดลองไฮดรอลิก จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าแปรต่างๆเช่น ความดัน ความเร็วและระยะทาง โดยมีการควบคุมสัญญาณด้วย PID Controller การตั้งการควบคุมผ่านโปรแกรมภาษาซี จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆกับระบบในอุดมคติในคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Matlab ซึ่งใช้เงื่อนไขเดียวกันกับชุดทดลองจริง เปรียบเทียบค่าที่ได้จากกราฟทั้งจากคอมพิวเตอร์และชุดทดลองจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP

Mr. Chot Ngampungpis 47010194

Mr. Ratchaphon Jaruedyasom 47010621

Mr. Leenawat Sikkamann 47010637

Dr. Unnat Pinsopon Adviser

Abstract

This project presents the study of electro-hydraulic control system. The study was carried out through the hydraulic experimental setup and the experimental results are compared with the theoretical. The control scheme used in the control system is the PID controller. The control programs were coded in C Language. The Matlab program was used to compare the outcomes against the ideal results from the computerized system given equivalent conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสอันดีที่ทำให้ นักศึกษาได้นำความรู้ในภาคทฤษฎีมาปฏิบัติการ เป็นการเพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ให้แก่นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. อุนนัต พิณโสภณ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่ง ได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่มาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอรำลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของระบบไฮดรอลิก

2.1 ระบบไฮดรอลิก	2
2.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิก	2
2.3 ข้อดีของระบบไฮดรอลิก	3
2.4 น้ำมันไฮดรอลิก	4
2.5 ปัมป์ไฮดรอลิก	4
2.6 ระบายออกสู่อากาศ	4
2.7 Proportional Valve	5
2.7.1 วาล์วควบคุมทิศทางแบบพรอพอร์ชันนัล	5
2.8 การขยายสัญญาณ	6
2.9 การควบคุมเชิงสัดส่วน (PID Control)	6
2.9.1 การควบคุมแบบ Proportional	6
2.9.2 การควบคุมแบบ Integral	8
2.9.3 การควบคุมแบบ Derivative	9
2.9.4 การควบคุมเชิงสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล	9
2.9.5 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลและอนุพันธ์	9
2.10 การเลือกและการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุม	10

บทที่ 3 อุปกรณ์และระบบควบคุมชุดทดลองไฮดรอลิก

3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก	11
3.2 การทำงานของชุดไฮดรอลิก	12
3.3 Block Diagram การทำการของระบบไฮดรอลิก	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การจำลองของระบบไฮดรอลิก	13
3.3.1 สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ลง	13
3.3.2 สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ขึ้น	14
3.5 อุปกรณ์ในการควบคุมชุดทดลองไฮดรอลิก	15
3.5.1 กระบอกสูบ	15
3.5.2 แอมพลิไฟเออร์	15
3.5.3 Proportional Valve	16
3.5.4 โรตารี เอ็น โคคเตอร์	17
3.5.5 การ์ดนับรอบ	17
3.5.6 คอมพิวเตอร์	18
3.5.7 Data Acquisition	19
3.5.8 Pressure Gauge	19
บทที่ 4 ขั้นตอนการและผลการทดลอง	
4.1 ขั้นตอนการทำงานของชุดทดลอง	21
4.2 การทดลอง	21
4.2.1 การหา Modulation Curve	21
4.2.2 การหาพื้นที่หน้าตัดควาล์ว	24
4.3 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆระหว่างการจำลองและการทดลองจริง	27
4.3.1 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆแบบ Open Loop	27
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆแบบ Close Loop	29
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	36
1. การใช้ Amplifier ของ Bosch รุ่น WV45-RGC2	36
1.1 วิธีการใช้งาน Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากภายนอก	37
1.2 วิธีการใช้งาน Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากการสั่งการ	37
แบบ Manual (ปรับด้วยมือ)	
2. การใช้กล่องเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้า	38
2.1 การใช้งานเพื่อเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (4-20 mA) ที่ออกจาก	40
Pressure gauge เป็นความต่างศักย์ที่ 0-10 V	
2.2 การใช้งานเพื่อเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ 0-10 V	41

เป็นความต่างศักย์ที่ -10 V ถึง 10 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดง โครงสร้างของ Proportional Valve	5
รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของ Proportional Directional Control valves	5
รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม	7
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต(Error)และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control	7
รูปที่ 2.5 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกันระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)	8
รูปที่ 3.1 แสดงระบบชุดทดสอบไฮดรอลิก	11
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก	12
รูปที่ 3.3 แสดง Block Diagram แสดงการทำงานของวงจร Close Loop	12
รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram แสดงการทำงานของวงจร Open Loop	13
รูปที่ 3.5 แสดงชุดการทดลอง	15
รูปที่ 3.6 แอมพลิไฟเออร์	16
รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณจาก 0-10V เป็น -10-(+10)	16
รูปที่ 3.8 พรอพอร์ชันนัลวาล์วที่ใช้ในการทดลอง	16
รูปที่ 3.9 เอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ในโครงการซึ่งได้ทำการติดตั้งนั้นมีความละเอียด 1000 พัลส์ต่อรอบเป็นของ Omron รุ่น E6C2-CWZ3E	17
รูปที่ 3.10 การ์ดนับรอบที่ใช้ในโครงการ	18
รูปที่ 3.11 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ	18
รูปที่ 3.12 Data Acquisition Card	19
รูปที่ 3.13 Pressure Gauge	20
รูปที่ 3.14 วงจรอปแอมป์แปลงกระแสไฟฟ้า (4-20 mA) เป็นความต่างศักย์ (0-10V)	20
รูปที่ 3.13.5 อุปกรณ์แปลงกระแสให้เป็นความต่างศักย์	20
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ	21
รูปที่ 4.2 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ 1 volt	22
รูปที่ 4.3 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ 7.5 volt	22
รูปที่ 4.4 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ -1 volt	23
รูปที่ 4.5 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ -7.5 volt	23
รูปที่ 4.6 Modulation Curve	24
รูปที่ 4.7 Area Curve	25
รูปที่ 4.8 วงจร Low pass filter	25
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณก่อนกรองและหลังกรอง	26
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย	27
สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ 6 volt	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ 9 volt	27
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ -6 volt	28
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ -9 volt	28
รูปที่ 4.14 กราฟการทดลองแบบ Open Loop แบบ Sine Wave โดยไม่มี Controller ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100\sin(\pi t/3)$	29
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $40\sin(\pi t/3)$	29
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $75\sin(\pi t/3)$	30
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วย สมการคณิตศาสตร์สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100\sin(\pi t/3)$	30
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $40\sin(\pi t/0.75)$ ค่า $K_p=0, K_i=12$	31
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $75\sin(\pi t/0.75)$ ค่า $K_p=0, K_i=12$	31
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100\sin(\pi t/0.75)$ ค่า $K_p=0, K_i=12$	32
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อวินาทีที่ 84-96 ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100\sin(\pi t/3)$ ภาคผนวก	32
รูปที่ 1 แสดงลักษณะของ Amplifier ของ BOSCH รุ่น WV45-RGC2	36
รูปที่ 2 แสดงการต่อ Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากภายนอก	37
รูปที่ 3 แสดงการต่อ Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากการสั่งการแบบ Manual ที่ 0-10 V	38
รูปที่ 4 แสดงการต่อ Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากการสั่งการแบบ Manual ที่ -10-0 V	38
รูปที่ 5 แสดงลักษณะของกล่องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าด้าน Input	39
รูปที่ 6 แสดงลักษณะของกล่องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าด้าน Output	39
รูปที่ 7 แสดงการต่อ pressure gauge เข้าทางด้าน Input ที่ pressure gauge จะได้สัญญาณไฟฟ้า เป็น โวลต์ออกมาที่ด้าน Output ของ pressure gauge 0-10 V เพื่อนำไปใช้งาน	40
รูปที่ 8 แสดงการใช้งานของกล่องเพื่อเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ 0-10 V เป็น -10 V ถึง 10 V	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ

ในปัจจุบันมีการใช้งานระบบไฮดรอลิกอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม มีการใช้งานทั้งในอุตสาหกรรมหนักและอุตสาหกรรมเบาทั่วไป และส่วนใหญ่ถูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ดังนั้นเครื่องจักรไฮดรอลิกจึงมีความสำคัญในการทำงานและน่าสนใจอย่างมากในระบบควบคุม ในโรงงานนี้จึงได้ทำการศึกษารวบรวมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ของระบบไฮดรอลิก โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็ว ความดัน แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีเพื่อค่าที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุดในการควบคุม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการทดลอง วิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบผลที่ได้จากวงจรไฮดรอลิกพื้นฐานและผลจากการจำลองในคอมพิวเตอร์รวมถึงการศึกษารวบรวมการทำงานของระบบไฮดรอลิก

1.2.2 ชุดการทดลองนี้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน ในวิชา Fluid Power Control และ Automatic Control เพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจทฤษฎีพื้นฐานได้อย่างครบถ้วน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สร้างชุดทดลองไฮดรอลิกแบบพื้นฐานแบบหนึ่งกระบอกสูบและภาวะไหลคดงที่

1.3.2 เปรียบเทียบค่าความเร็วและค่าความดันเมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าค่าๆหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากชุดการทดลองจริงกับการจำลองในคอมพิวเตอร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาการทำงานและออกแบบชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก

1.4.2 ศึกษารายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 สร้างชุดทดลองของระบบไฮดรอลิกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.4.4 จำลองระบบเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆตามทฤษฎี

1.4.5 ทดลองการทำงานของชุดทดลองและเปรียบเทียบการทำงานระหว่างชุดทดลองและทฤษฎี

1.4.6 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้รับความรู้เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิก การควบคุมอัตโนมัติและในด้านต่างๆที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ได้นำความรู้ที่เรียนมาประยุกต์ใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของระบบไฮดรอลิก

2.1 ระบบไฮดรอลิก

คำว่า hydraulic มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ hydro หมายถึงน้ำ และ aulis ซึ่งหมายถึงท่อ (pipe) เดิมคำว่า hydraulic จึงหมายถึงเฉพาะการไหลของน้ำในท่อเท่านั้น แต่ปัจจุบันคำนี้หมายถึงการไหลของของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบ เพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายเทกำลังงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลเป็นกำลังงานกล คือทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกและมอเตอร์ไฮดรอลิกทำงาน ตัวอย่างงาน เช่น ระบบเบรกในรถยนต์ แม่แรงไฮดรอลิก เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เครื่อง กว้าน รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

1. **อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก** ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับปั้มน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งจ่ายให้แก่ระบบไฮดรอลิก ประกอบด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า
2. **อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิก** ทำหน้าที่เป็นที่พักของน้ำมัน ขจัดสิ่งสกปรกขจัดฟองอากาศ และระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิก ประกอบด้วยถังพักน้ำมันไฮดรอลิก ใต้กรองน้ำมันไฮดรอลิก และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆที่ใช้กับถังพักน้ำมัน
3. **อุปกรณ์สร้างการไหล** ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหล ประกอบด้วยปั้มไฮดรอลิก ชนิดต่างๆ
4. **อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน** หมายถึง วาล์วควบคุมชนิดต่างๆ ในระบบไฮดรอลิก เช่น วาล์วควบคุมทิศทาง การไหล ใช้ควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ของก้านสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไหล ใช้จำกัดปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่สูบเพื่อควบคุมความเร็วของก้านสูบ วาล์วควบคุมความดัน ใช้ควบคุมความดันระบบ
5. **อุปกรณ์การทำงาน** ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังกล เช่น กระบอกสูบไฮดรอลิก หรือ มอเตอร์ไฮดรอลิก
6. **อุปกรณ์ในระบบท่อทาง** ทำหน้าที่เป็นท่อทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ประกอบด้วย แบบ (pipe), ซ็อก (bending), ท่อ (tube), สายน้ำมันไฮดรอลิก (hoses), และข้อต่อชนิดต่างๆ (fittings)

2.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิก

1. **ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม** ในงานอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบไฮดรอลิกไปใช้ในเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องฉีดอลูมิเนียม แท่นอัดขึ้นงาน เครื่องป้อนและเครื่องตัดขึ้นงาน เครื่องประกอบขึ้นรูปขึ้นงาน เครื่องจักรขนาดใหญ่ เครื่องกลึงและเจียรระโน
2. **ระบบไฮดรอลิกในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า** ในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมเหล็กกล้าส่วนใหญ่ จะต้องมีการใช้งานอุปกรณ์ไฮดรอลิกตัวอย่าง เช่น ใช้กับแท่นเลื่อย แขนโยน ฐานป้อนและส่ง เครื่องปรับขนาด ลูกกลิ้ง อุปกรณ์แยกและส่ง อุปกรณ์ควบคุมท่อหล่อเย็น เป็นต้น
3. **ระบบไฮดรอลิกในงานวิศวกรรมโยธา** ตัวอย่างงานที่ใช้ในระบบนี้ เช่น ระบบปิดเปิดประตูกันน้ำ เขื่อนกันน้ำ การควบคุมการปิดเปิดช่องทางเดินเรือ การควบคุมปิดเปิดสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบไฮดรอลิกในยานยนต์อุตสาหกรรม ตัวอย่างของการใช้ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในยานยนต์อุตสาหกรรม เช่น รถแทรกเตอร์ รถแทรคเตอร์ ปั่นจั่น รถยก รถขุด เครน รถกวาด รถตัด เครื่องจักรกลการเกษตร รถกระเช้า รถขนย้ายวัสดุ และเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ
5. ระบบไฮดรอลิกในเรือเดินทะเล เช่น ระบบนำร่องอัตโนมัติ ระบบหางเสือเรือทั้งแบบธรรมดาและแบบอัตโนมัติ การควบคุมการปล่อยอวน การควบคุมระบบระบายน้ำใต้ท้องเรือ เป็นต้น
6. ระบบไฮดรอลิกในงานเฉพาะอย่าง งานที่นำเอาระบบไฮดรอลิกมาใช้ นั่นคือ ตัวอย่างเช่น กล้องเทเลสโคป ระบบสื่อสารทางอากาศ ทุ่นเก็บข้อมูลด้านสมุทรศาสตร์ และอุทุนิยมศาสตร์ในทะเล เครื่องขุดเจาะน้ำมันในทะเล เครื่องเจาะสำรวจแหล่งแร่ เครื่องมือสำรวจชั้นดิน

2.3 ข้อดีของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกมีข้อได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. ง่ายต่อการควบคุม โดยปกติแล้วการส่งกำลังโดยกลไกจะมีความยุ่งยากเกี่ยวกับโครงสร้างที่จะควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานทั้งแบบหมุนและแนวเส้นตรงแต่ระบบไฮดรอลิกทำงานได้ง่ายและดีทั้งในแนวตรงและในแนวหมุนเพียงแต่ใช้กำลังงานจากของไหลไปเปลี่ยนแปลงเป็นกำลังกลเพื่อทำงานที่ต้องการแรงผลักดันหรือแรงบิดมากๆ ได้
2. การปรับเปลี่ยนความเร็วของลูกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกกระทำได้ง่าย สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ทุกระดับโดยปรับที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์นั้นควรทำงานที่ความเร็วคงที่มากกว่า
3. แรงคงที่ ระบบไฮดรอลิกที่จะให้แรงคงที่ได้โดยที่ไม่จำกัดความเร็ว
4. ตั้งขนาดของแรงที่ต้องการใช้งานได้ เพราะปริมาณน้ำมันที่ความดันส่วนเกินไหลออกไปทางวาล์วจำกัดความดันหมด
5. การทำงานกลับทิศไปมาได้ กระบอกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกสามารถทำงานกลับทิศได้ โดยไม่ต้องรอให้หยุด โดยอาศัยวาล์วทิศทางการไหลส่วนปัญหาการโอเวอร์โหลดขณะทำงานกลับทิศจะไม่มีเช่นกับสูบเลื่อนออกสุกระยะชักแล้ว แต่ปั๊มยังคงส่งอัตราการไหลไปในระบบความดันที่เกิดขึ้นแต่จะถูกจำกัดโดยวาล์วปลดความดัน
6. ควบคุมการทำงานได้เที่ยงตรง แม่นยำและถูกต้อง เพราะมีวาล์วที่ใช้ควบคุมทั้งความเร็วและความดัน
7. กะทัดรัด กินเนื้อที่ในการติดตั้งและมีน้ำหนักน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดกำลังเดียวกัน เช่น ปั๊มหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 9 แรงม้า จะมีน้ำหนักเพียง 5 กิโลกรัมเท่านั้น ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า จะมีน้ำหนักที่มากกว่าหลายสิบกิโลกรัม และในบริเวณที่ไม่เหมาะสมก็สามารถที่จะติดตั้งได้เพียงแต่มีที่ว่างให้ท่อเท่านั้น
8. สามารถหยุดชะงัก เนื่องจากการรั่วโอเวอร์โหลดนานๆได้ เมื่อโหลดลดลงก็ทำงานต่อไปได้ทันที ไม่มีปัญหาจากการพิวส์ขาดเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อรั่วโอเวอร์โหลดนานๆ ระบบก็ยังคงทำงานต่อไปได้เพียงแต่ความดันน้ำมันส่วนเกินจะไหลออกทางวาล์วจำกัดความดัน
9. ปลอดภัย ระบบไฮดรอลิกจะมีความปลอดภัยสูง แม้ว่าจะรั่วโหลดนานๆ ไม่มีปัญหาไฟฟ้าลัดวงจรเหมือนระบบไฟฟ้า จึงทำให้เป็นที่สนใจและนำไปใช้ในโรงงานได้ดีกว่าระบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 น้ำมันไฮดรอลิก

น้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงาน เป็นตัวหล่อลื่น และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์ต่างๆ น้ำมันไฮดรอลิกทำหน้าที่เป็น seal ด้วย เพื่อให้มีการรั่วซึมเกิดขึ้นน้อยที่สุดภายในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ การไหลเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกขณะทำงานจะช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานในระบบ ถ้าเลือกใช้ น้ำมันชนิดประเภท ไม่เหมาะสมกับเครื่องจักร ที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ เครื่องจักรก็อาจทำงาน ไม่เต็มประสิทธิภาพหรืออาจจะขัดข้องไปทั้งระบบเนื่องจากเครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ระบบไฮดรอลิกมีลักษณะของการใช้แรงไม่เท่ากันและระยะเบียดของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆภายใต้เครื่องจักรไม่เท่ากันรวมทั้งอุณหภูมิในการทำงานของเครื่องจักรแต่ละชนิด

ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกแต่ละชนิดต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานตามที่บริษัท ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าเราจะเลือกใช้ชนิดของน้ำมันไฮดรอลิกได้อย่างถูกต้องแล้วก็ตาม ในขณะที่ใช้งานก็ยังต้องบำรุงดูแลรักษาน้ำมันไฮดรอลิกให้อยู่ในสภาพดี คือ สะอาด มีอุณหภูมิพอเหมาะและเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงอายุการใช้งานรวมทั้งควรตรวจสอบให้น้ำมันไฮดรอลิก อยู่ในระดับพอเพียงสำหรับการใช้งานในระบบ

2.5 บีบไฮดรอลิก (Hydraulic)

บีบไฮดรอลิกทำหน้าที่เป็นตัวแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลภายใต้ความดัน กล่าวคือ เมื่อป้อนกำลังกลไปที่เพลาขับ (rotating shaft) ของบีบให้ทำงาน บีบก็จะเปลี่ยนพลังงานกลนั้นให้เป็นพลังงานจลน์ในของเหลว น้ำมันไฮดรอลิกก็จะถูกดูดออกจากถังพักแล้วส่งออกไปตามท่อทางในระบบ การไหลของน้ำมันจะต้องมีพลังงานศักย์มากเพียงพอที่จะผ่านแรงต้านทานของระบบ แรงต้านทานการไหลของระบบนี้เองที่ทำให้เกิดความดันในระบบไฮดรอลิกขึ้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้งาน ณ จุดต่างๆของระบบในโรงงานอุตสาหกรรมกำลังงานกลที่ใช้ขั้วบีบส่วนมากได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ถ้าไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรมหรือในที่ที่มีกระแสไฟฟ้าก็จะใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับ โดยการแบ่งประเภทของบีบเราพิจารณาจากลักษณะ โครงสร้าง และหลักการขึ้นพื้นฐานในการทำงานซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- บีบประเภทดูดเหวี่ยง (Non-position displacement pump) คือ บีบโดยอาศัยแรงเหวี่ยงของใบพัดแรงดันที่เกิดขึ้นภายในตัวบีบขึ้นอยู่กับความเร็วของบีบ

- บีบประเภทดูดอัด (Position displacement pump) เป็นบีบที่มีหลักการทำงานในแบบที่เรียกว่า ไฮดรอสแตติก (hydrostatic) ได้แก่ บีบแบบฟันเฟือง แบบสกรู แบบเวน บีบแบบดูด-อัด นี้โครงสร้างภายในที่ทำงานมีการ seal แบบกลไก ซึ่งเป็นชนิดโลหะสัมผัสซึ่งกันและกัน กันไม่ให้ท่อทางเข้าและทางออกต่อกันซึ่งช่วยลดปริมาณการรั่วซึมภายใต้ดีจึงเหมาะสำหรับใช้ในความดันสูงๆ แม้ว่าอัตราความดันภายในระบบไฮดรอลิกจะขึ้นหรือลง ก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานในทุกๆระยะชักหรือทุกรอบของการหมุนของบีบ

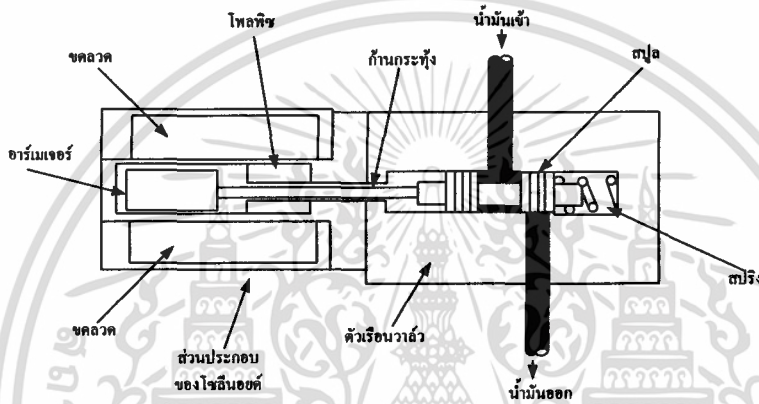
2.6 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder)

กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกมีหน้าที่รับน้ำมันไฮดรอลิกที่มาจากบีบและวาล์วควบคุมต่างๆเพื่อเปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานกล โดยการเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เมื่อน้ำมันป้อนเข้าสู่กระบอกลูกสูบทำให้เกิดแรงดันขึ้น โดยอัตราการไหลของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของลูกสูบ กำลังกล (แรงม้า) ที่เกิดขึ้นที่กระบอกลูกสูบโดยทั่วไปมีลักษณะคือ แบบทำงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองทาง (double acting cylinder) และแบบทำงานทางเดียว (simple acting cylinder) โดยกระบอกสูบแบบมาตรฐานส่วนใหญ่เป็นแบบทำงานได้สองทาง แล้วตัวกระบอกทำจากเหล็กชุบโครเมียม

2.7 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)

พรอพอร์ชันนัลวาล์ว เป็นวาล์วที่มีคุณสมบัติที่อยู่ระหว่างชนิดธรรมดา กับเซอร์โววาล์ว พรอพอร์ชันนัลวาล์วจะถูกออกแบบให้ทำงานได้ง่ายและซ่อมบำรุงได้ง่ายด้วย แต่อย่างไรก็ตาม วาล์วนี้ก็ไม่ใช่โซลินอยด์ที่ทำงานเป็นแบบปิด – เปิดเหมือนกับโซลินอยด์วาล์วต่างๆ ไปแต่เป็นวาล์วที่สามารถให้สปีดเคลื่อนที่ได้หลายๆ ตำแหน่ง โดยการปรับกระแสไฟฟ้าแต่เนื่องจากเป็นวาล์วที่มีโครงสร้างค่อนข้างจะซับซ้อนจึงต้องใช้น้ำมันไฮดรอลิกที่มีความสะอาดพอสมควร

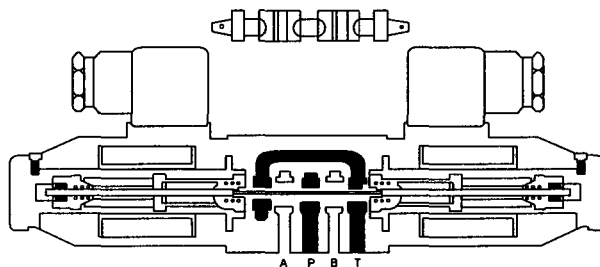


รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ Proportional Valve

วาล์วในระบบไฮดรอลิกนั้นมีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกันคือ วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมอัตราการไหล (ความเร็ว) และวาล์วควบคุมความดัน (แรง) พรอพอร์ชันนัลวาล์วก็สามารถแบ่งประเภทออกได้ในลักษณะทำนองเดียวกันแต่ในโครงงานนี้จะใช้แบบวาล์วควบคุมทิศทาง

2.7.1 วาล์วควบคุมทิศทางแบบพรอพอร์ชันนัล (Proportional Directional Control Valves)

วาล์วควบคุมทิศทางแบบนี้สามารถควบคุมจำนวนของน้ำมันที่ไหลเข้ากระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกได้จากสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าโซลินอยด์ แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ แบบทำงานโดยตรง ไม่มีสัญญาณย้อนกลับ แบบทำงาน โดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับ และแบบทำงาน โดยอ้อม



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ Proportional Directional Control valves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกชนิดของวาล์วควบคุมทิศทางไปใช้งาน

1. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำโดยตรง ไม่มีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งทำงานที่เที่ยงตรง ไม่มากนัก
2. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำโดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งงานที่ต้องการความเที่ยงตรงมากขึ้นกว่าแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ
3. วาล์วควบคุมทิศทางแบบไหลลดมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการทำงานที่เที่ยงตรงและมีอัตราการไหลของน้ำมันมากกว่าแบบกระทำโดยตรง

2.8 การขยายสัญญาณ (Amplifier Devices)

1. อิเล็กทรอนิกส์ ออป-แอมป์ (Electronics OP-AMPS)

อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก (Electro hydraulic) เช่น พรอพอร์ชันนัล เซอร์โวปั๊ม วาล์วควบคุมความดันการไหลและวงจรควบคุมความเร็ว มีความต้องการสัญญาณไฟฟ้าที่จะต้องสูงเพียงพอสำหรับควบคุมหรือกำหนดตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอ

ตัวอย่างอินพุต จากแหล่งต่างๆ ที่ใช้สำหรับควบคุมพรอพอร์ชันนัลวาล์วเช่น

1. โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)
2. เซ็นเซอร์จับอุณหภูมิ (Temperature Sensor)
3. เครื่องแปลงความดัน (Pressure transducer)
4. แทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator)
5. อุปกรณ์ควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor Controller Device)

แต่อุปกรณ์เหล่านี้จะให้สัญญาณอินพุตค่า คังนั้นจึงต้องเพิ่มสัญญาณ โดยผ่านเข้าไปยังแอมพลิไฟเออร์ซึ่งทำให้โวลต์และกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก่อนที่จะไปขับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

2. แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier)

แอมพลิไฟเออร์คือวงจรหนึ่งที่ใช้สำหรับเพิ่มระดับสัญญาณของอิเล็กทรอนิกส์ แอมพลิไฟเออร์ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณ ขั้ว collector จะต่ออยู่กับขั้วบวก ส่วนขั้ว emitter จะต่ออยู่กับขั้วลบ สำหรับขั้ว base จะต่อสัญญาณไฟเข้าที่โวลต์มีค่าสูงกว่า emitter โดยให้ base ทำหน้าที่ควบคุม การทำงานของแอมพลิไฟเออร์นั้น จะให้สัญญาณที่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับ base control

2.9 การควบคุมเชิงสัดส่วนอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative Control)

2.9.1 การควบคุมแบบ Proportional (P Control)

การควบคุมแบบ Proportional นั้น เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือค่าเอาต์พุตที่ได้มาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุตที่รับมาจากกระบวนการ หมายถึง ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตามตามความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

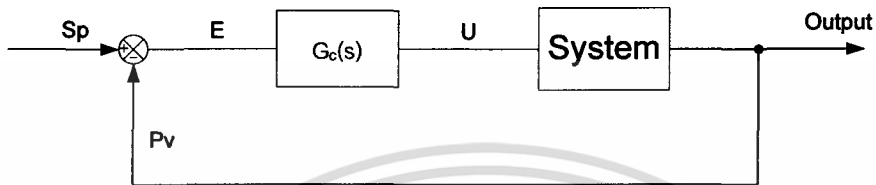
$$\text{Output} \propto \text{input} \quad (2.3)$$

โดย U คือ Output ที่ออกจากตัวควบคุม
 E คือ Input ที่ออกจากตัวควบคุม

$$\text{จะได้} \quad U \propto E \quad (2.4)$$

โดย K_p คือ ค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยาย (Proportional Gain)

$$U = K_p E \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม

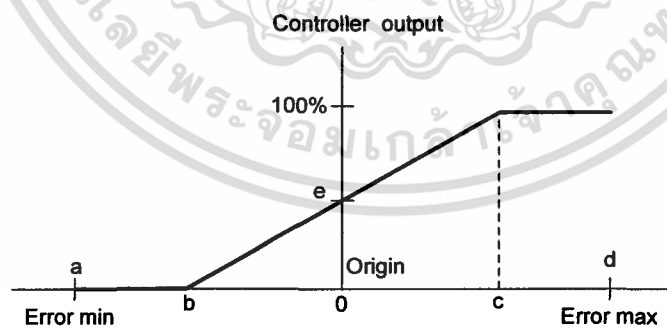
จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.3 จะได้ว่า

$$G_c = U/E \quad (2.6)$$

$$G_c = K_p \quad (2.7)$$

โดยในที่นี้ อินพุตที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่าเอาต์พุตที่ส่งออกไปนั้น จะเป็นสัญญาณไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.4 โดยแกนนอนเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ส่วนแกนตั้งคือคำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม จะพบว่าเมื่อค่า Error (แกนนอน) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม (แกนตั้ง) ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าแม้มีค่า Error เป็นศูนย์ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมกลับไม่เป็นศูนย์ด้วย เนื่องจากโดยปกติตัวควบคุมจะต้องส่งเอาต์พุตออกมาสั่งการทิ้งไว้ค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต(Error)และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ

P-Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การควบคุมแบบ Integral (I Control)

หลักการการทำงานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ ถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปฏิยานุพันธ์ของอินพุตตามสมการ

$$U(t) \propto \int_0^t e(t) dt \quad (2.8)$$

$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.9)$$

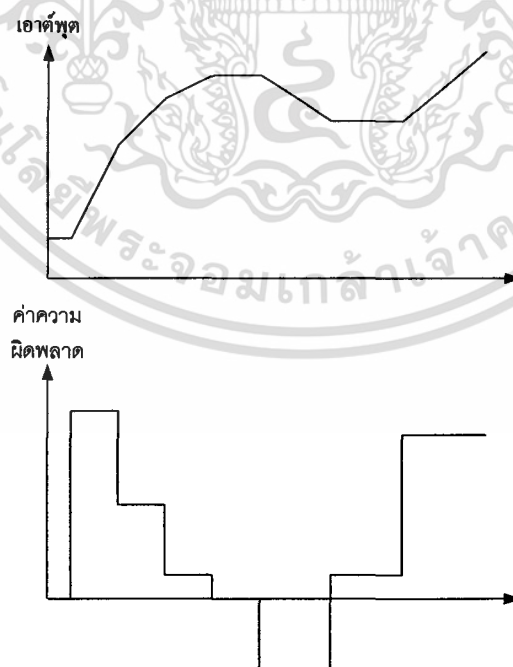
ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (2.10)$$

$$G_c(s) = \frac{K_I}{s} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.11 ในตัวควบคุมแบบ I-Control นั้น Gain ของตัวควบคุมจะเท่ากับ $\frac{K_I}{s}$ โดยที่ K_I เป็น

ค่าคงที่ ตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากกระบวนการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้ช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกจากกระบวนการมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด เมื่อดูจากรูปที่ 2.5 แสดงการตอบสนองของระบบจะเห็นว่าถ้าค่า Error ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ค่าเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามไปด้วยแต่โดยทั่วไปเราจะไม่ใช่ใช้วิธีควบคุมแบบ I-Control เพียงอย่างเดียวเนื่องจากระบบจะใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) จึงต้องใช้วิธี P-control เข้ามาร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบทำงานเร็วขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 การควบคุมแบบ Derivative (D Control)

การควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.12)$$

เมื่อ $U_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

$\frac{de(t)}{dt}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t

การควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้ ส่วนมากแล้วใช้ร่วมกับตัวควบคุมตัวอื่นเช่น ใช้ร่วมกับการควบคุมเชิงสัดส่วน ซึ่งจะเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์ หรือ พีดี (PD-Control) ถ้าตัวควบคุมเชิงสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัลจะเรียกว่า ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอินทิกรัล หรือพีไอ (PI-Control) และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบอินทิกรัลเราจะเรียกตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Control)

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่ควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

2.9.4 การควบคุมเชิงสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (Proportional plus Integral control)

การควบคุมแบบนี้อาจเรียกสั้นๆว่า การควบคุมแบบ PI ก็ได้ ดังที่เราทราบในข้างต้นแล้วว่าการควบคุมเชิงสัดส่วนนั้นอาจจะให้การตอบสนองที่รวดเร็วได้ก็จริง แต่ไม่ว่าเวลาจะผ่านไปนานใดก็ตามก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ (steady state error) หากระบบถูกรบกวนจากภายนอกหรือมีการเปลี่ยนแปลงโหลดซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้อาจจะแก้ได้ ถ้าหากใช้การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล สมการของการควบคุมแบบนี้ก็คือการรวมเอาสมการควบคุมเชิงสัดส่วนกับการควบคุมแบบอินทิกรัลเข้าด้วยกันนั่นเอง

2.9.5 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative (PID))

PID-Control คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ P-Control I-Control และ D-Control ดังนั้นสมการของ $U_{PID}(t)$ สามารถหาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_{PID}(t) = K_P e + K_I \int_0^t e dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.13)$$

เมื่อ $U_{PID}(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PID

การควบคุมแบบพีไอดี สามารถแก้ข้อเสียของ Proportional Control และ ลด Overshoot ที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลชันเนื่องจาก Integral Control และจะให้ผลตอบสนองได้รวดเร็ว ตามคุณสมบัติของ Derivative Control

2.10 การเลือกและการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุม (Selecting and Tuning Controller)

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและปรับแต่งตัวแปรของอุปกรณ์ควบคุมมีอยู่หลายวิธี โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและออกแบบ ซึ่งแน่นอนว่าการใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกและการตัดสินใจที่แตกต่างกันย่อมทำให้ระบบควบคุมได้ผลของการควบคุมที่แตกต่างกันออกไป การเลือกอุปกรณ์ควบคุมเพื่อลดความยุ่งยากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และเหมาะสมกับการออกแบบระบบควบคุม สามารถทำได้โดยพิจารณาการตอบสนองของกระบวนการจากผลการควบคุมแบบ P, PI และ PID ดังนี้

การควบคุมแบบ Proportional

1. ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อตัวแปรเร็วขึ้น
2. ทำให้ระบบควบคุมมีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นเสมอภายหลังการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายการควบคุมหรือภาระการควบคุม

การควบคุมแบบ Integral

1. ทำให้ระบบควบคุมไม่มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมแต่มีค่าการตอบสนองสูงสุดเกิดขึ้นทำให้ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมของกระบวนการในช่วงแรกมากกว่ากระบวนการเดิม
2. ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อตัวแปรเข้าภายนอกช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิมและผลการตอบสนองจะมีการแกว่ง
3. การปรับค่า K_p เพิ่มขึ้นในการควบคุมแบบ I จะทำให้กระบวนการตอบสนองเร็วขึ้นแต่มีการแกว่งเพิ่มขึ้นทำให้เสถียรภาพระบบรวมลดลง

การควบคุมแบบ Derivative

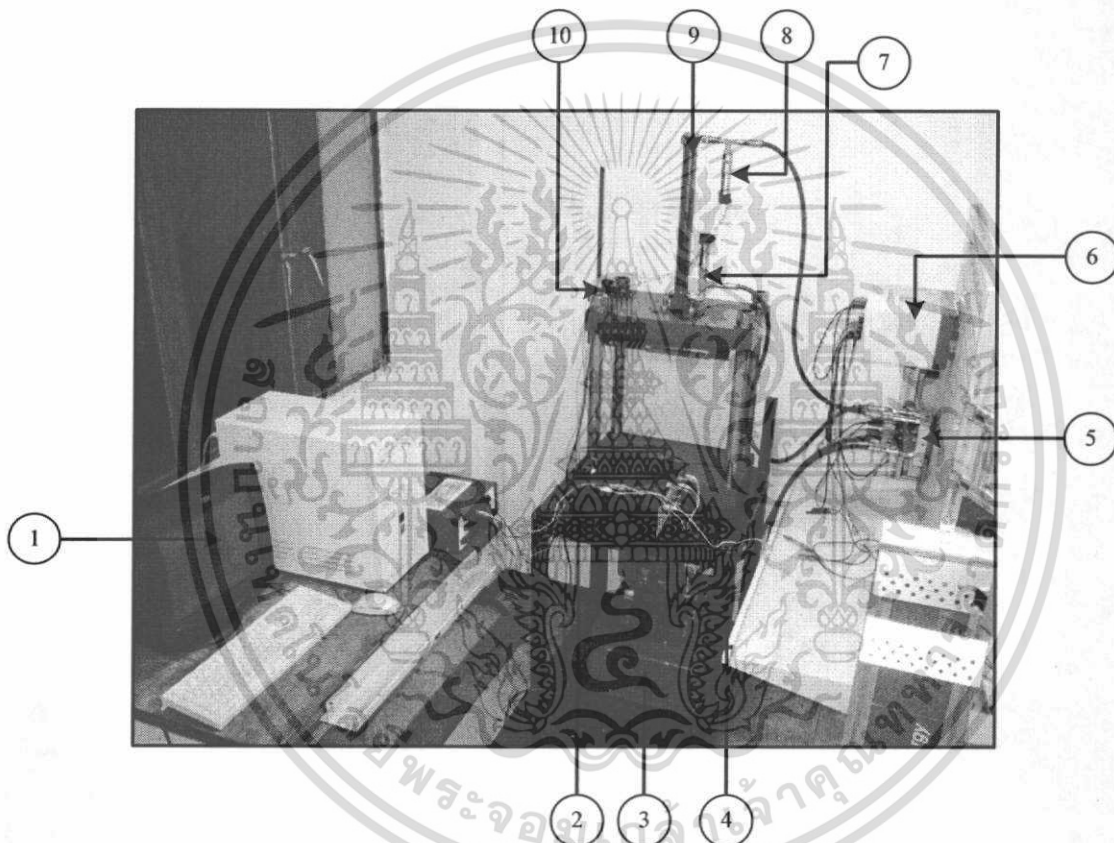
1. การควบคุมแบบนี้จะส่งสัญญาณควบคุมเพื่อไปปรับสภาพกระบวนการก่อนความคลาดเคลื่อนจริงจะเกิดขึ้นกับกระบวนการทำให้การควบคุมมีผลดีกว่าการควบคุมแบบอื่น
2. การควบคุมแบบนี้จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการให้ดีขึ้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และระบบควบคุมชุดทดลองไฮดรอลิก

3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก

โครงการนี้ได้จัดทำชุดทดลองแบบ 1 กระบอกสูบ โดยเงื่อนไข ภาระโหลดคงที่ โดยใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น พรอพอร์ชันนัล วาล์ว, แอมพลิไฟเออร์, ปัมป์, Pressure Gauge ฯลฯ และจับความเร็วด้วย เอนโค้ดเดอร์ จากนั้นส่งค่ากลับมาประมวลผลโดยผ่านการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



รูปที่ 3.1 แสดงระบบชุดทดสอบไฮดรอลิก

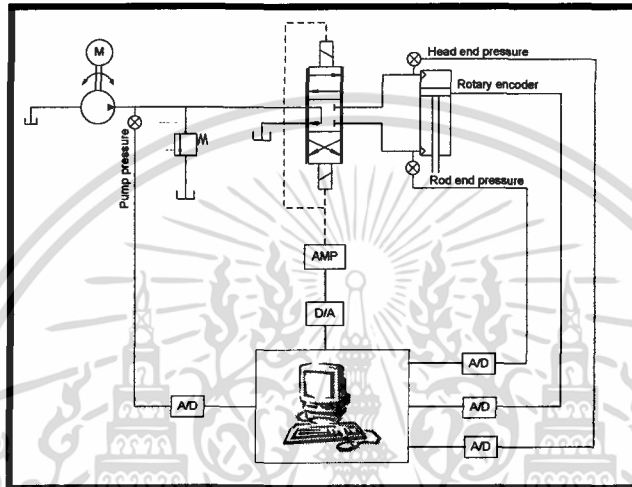
จากรูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของชุดทดสอบไฮดรอลิกมีดังนี้

หมายเลข 1) คอมพิวเตอร์	หมายเลข 2) ก่อ่งวงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้า
หมายเลข 3) ปัมป์ไฮดรอลิก	หมายเลข 4) เกจวัดความดันจากปัมป์
หมายเลข 5) พรอพอร์ชันนัลวาล์ว	หมายเลข 6) แอมพลิไฟเออร์
หมายเลข 7) เกจวัดความดันที่กระบอกสูบ	หมายเลข 8) เกจวัดความดันที่กระบอกสูบ
หมายเลข 9) กระบอกสูบไฮดรอลิก	หมายเลข 10) โรตารีเอนโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

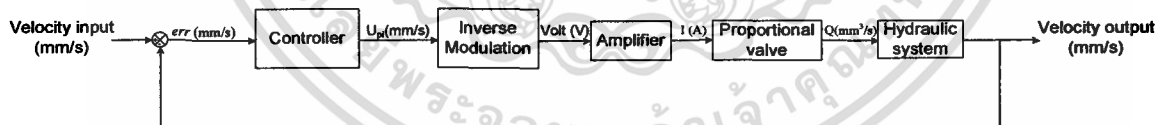
3.2 การทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก

การควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control) ของกระบอกสูบไฮดรอลิกนั้น สิ่งที่ต้องป้อนเข้าไปในระบบคือสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อที่นำค่าความเร็วและความดันที่ได้ออกมาไปคำนวณหาความผิดพลาดทางตำแหน่ง ความเร็วและความดัน ความเร็วของกระบอกสูบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเข้ากระบอกสูบ มีพรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำมันซึ่งอัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เราป้อนให้กับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก

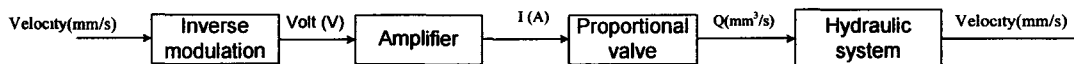
3.3 Block Diagram การทำงานของระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 3.3 Block Diagram แสดงการทำงานของวงจร Close Loop

จาก Block Diagram ข้างต้นสัญญาณอินพุตที่เข้านั้นจะสั่งเป็นความเร็วจากนั้นคำสั่งจะผ่านตัว Controller จากนั้นจะผ่านไปยัง Inverse modulation เพื่อแปลงสัญญาณความเร็วให้กลายเป็น Volt (โดยปกติการแปลงค่าจะแปลงจาก Volt เป็นความเร็วนั้นจะแปลงจากกราฟ modulation แต่คำสั่งที่เข้ามาเป็นความเร็วคั้งนั้นเราจึงต้องเปลี่ยนความเร็วให้เป็น Volt โดยการแปลงค่ากลับหรือ Inverse modulation) จากนั้นคำสั่งจากถูกส่งไปที่ Amplifier และไปเรื่อยๆตามรูปจนผ่านชุดทดลองออกมาจะได้ค่าสัญญาณความเร็วของมาอีกครั้งและจะถูกส่งค่ากลับมาเพื่อหาค่าความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Block Diagram แสดงการทำงานของวงจร Open Loop

การควบคุมแบบ Open Loop นั้นจะ ไม่มีการส่งค่ากลับมา ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ จะมีลักษณะคล้ายกับ Close Loop เพียงแต่ไม่มีตัว Controller เท่านั้นเอง โดยสัญญาณเข้าและออกยังคงเป็นสัญญาณความเร็วเหมือนกัน

3.4 การจำลองของระบบไฮดรอลิก

การออกแบบระบบไฮดรอลิกเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบไฮดรอลิก จะศึกษาโดยการสร้างชุดการทดลอง ในชุดการทดลองนี้จะมีวงจรไฮดรอลิกซึ่งประกอบไปด้วย กระจบอสูบ ปัมไฮดรอลิก วาล์วควบคุมทิศทาง ซึ่งเป็นดังรูปที่ 3.2 สำหรับการทดลองนี้เราจำเป็นที่จะทราบสมการคณิตศาสตร์ของระบบไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับ การทดลองจริงว่ามีผลใกล้เคียงกันกับสมการคณิตศาสตร์หรือไม่

โดยสมการคณิตศาสตร์ของระบบไฮดรอลิกดังรูปที่ 3.2 แบ่งกรณีการเคลื่อนที่เป็น 2 แบบคือ เมื่อกระจบอสูบเคลื่อนที่ขึ้นและเมื่อกระจบอสูบเคลื่อนที่ลง สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระจบอสูบเคลื่อนที่ สมการต่างๆจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- สมการการไหลเมื่อของไหลไหลผ่าน Orifice

เนื่องจากการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดควาล์วซึ่งในโครงการนี้สมมุติให้มีลักษณะคล้ายกับการไหลผ่าน Orifice โดยอัตราการไหลของน้ำมันขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์และ Volume Displacement

- สมการการเคลื่อนที่ของนิวตัน

สมการการเคลื่อนที่นี้เป็นความสัมพันธ์แทนการเคลื่อนที่ของกระจบอสูบเนื่องจากมวลและแรงที่กระทำที่กระจบอสูบ โดยในกรณีของโครงการนี้จะไม่คิดแรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทานเนื่องจากเป็นระบบอย่างง่าย

- สมการ Bulk Modulus

เป็นสมการเนื่องมาจากความดันในระบบที่เปลี่ยนไปซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในระบบ หรือ Bulk Modulus นั่นเอง โดยในที่นี้กำหนดค่า Bulk Modulus (β) = $1333650 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^2$

3.4.1 สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระจบอสูบเคลื่อนที่ลง

- สมการการไหลเมื่อของไหลไหลผ่าน orifice

สมการการไหลผ่านออริฟิซจะ ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันผ่านพื้นที่หน้าตัดของสปูลวาล์วและความแตกต่างของความดัน ซึ่งมีสมการดังนี้

$$Q_p = V_D * \omega \quad (3.1)$$

$$Q_{pc} = C_d * \sqrt{\frac{2}{\rho}} * A_{pc} \sqrt{X_3 - X_4} \quad (3.2)$$

$$Q_{ct} = C_d * \sqrt{\frac{2}{\rho}} * A_{ct} \sqrt{X_5 - P_t} \quad (3.3)$$

-สมการการเคลื่อนที่ของนิวตัน

สมการการเคลื่อนที่ที่จะใช้แทนพฤติกรรมเคลื่อนที่ของกระจบอสูบซึ่งในที่นี้จะไม่คิดแรงเนื่องจากความเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของกระจบอสูบ ซึ่งมีสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{X}_1 = X_2 \quad (3.4)$$

$$\dot{X}_2 = \frac{1}{M} * [-X_4 * H_{area} + X_5 * R_{area} - F_{ext}] \quad (3.5)$$

-สมการ Bulk modulus

สมการ Bulk modulus จะแสดงพฤติกรรมของการอัดตัวของน้ำมันภายในระบบไฮดรอลิก ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\dot{X}_3 = \frac{\beta}{V_{hose}} * [Q_p - Q_{pc}] \quad (3.6)$$

$$\dot{X}_4 = \frac{\beta}{X_1 * H_{area}} * [Q_{pc} + X_2 * H_{area}] \quad (3.7)$$

$$\dot{X}_5 = \frac{\beta}{(l_{stroke} - X_1) * R_{area}} * [-Q_{ct} - X_2 * R_{area}] \quad (3.8)$$

3.4.2 สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระบอบลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น

- สมการการไหลเมื่อของไหลไหลผ่าน orifice

$$Q_p = V_D * \omega \quad (3.9)$$

$$Q_{pc} = C_d * \sqrt{\frac{2}{\rho}} * A_{pc} \sqrt{X_3 - X_5} \quad (3.10)$$

$$Q_{ct} = C_d * \sqrt{\frac{2}{\rho}} * A_{ct} \sqrt{X_4 - P_t} \quad (3.11)$$

-สมการการเคลื่อนที่ของ Newton

$$\dot{X}_1 = X_2 \quad (3.12)$$

$$\dot{X}_2 = \frac{1}{M} * [-X_4 * H_{area} + X_5 * R_{area} - F_{ext}] \quad (3.13)$$

- สมการ Bulk modulus

$$\dot{X}_3 = \frac{\beta}{V_{hose}} * [Q_p - Q_{pc}] \quad (3.14)$$

$$\dot{X}_4 = \frac{\beta}{X_1 * H_{area}} * [-Q_{ct} + X_2 * H_{area}] \quad (3.15)$$

$$\dot{X}_5 = \frac{\beta}{(l_{stroke} - X_1) * R_{area}} * [Q_{pc} - X_2 * R_{area}] \quad (3.16)$$

โดย

A_{pt}	- พื้นที่หน้าตัดของ spool จาก pump ไป tank
A_{pc}	- พื้นที่หน้าตัดของ spool จาก pump ไป cylinder
A_{ct}	- พื้นที่หน้าตัดของ spool จาก cylinder ไป tank
Q_p	- อัตราการไหลของน้ำมันที่เกิดจาก pump
Q_{pc}	- อัตราการไหลของน้ำมันจาก pump ไปยัง cylinder
Q_{ct}	- อัตราการไหลของน้ำมันจาก cylinder ไปยัง tank
M	- มวลของลูกสูบ
H_{area}	- พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ
R_{area}	- พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบทางด้านกันสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

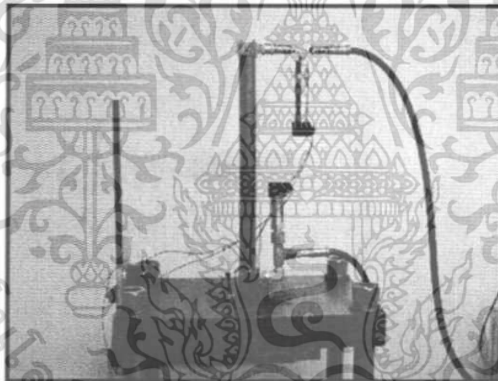
l_{stroke}	- ระยะที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ได้มากที่สุด
V_{hose}	- ปริมาตรของท่อไฮดรอลิกจาก pump ไปยัง tank
V_D	- ปริมาตรของน้ำมันขณะที่ปั๊มหมุน 1 รอบ
ω	- รอบการหมุนของปั๊ม
$X_1 = x$	- ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่
$X_2 = x^*$	- ความเร็วของลูกสูบ
X_3	- ความดันที่เกิดจากปั๊ม
X_4	- ความดันที่ลูกสูบทางด้านหัวกระบอกสูบ
X_5	- ความดันที่ลูกสูบทางด้านท้ายกระบอกสูบ

3.5 อุปกรณ์ในการควบคุมชุดทดสอบไฮดรอลิก

ระบบในการควบคุมชุดทดสอบไฮดรอลิก ประกอบด้วยองค์ประกอบรายละเอียด ดังนี้

3.5.1 กระบอกสูบไฮดรอลิก

กระบอกสูบที่ใช้เป็นแบบทำงาน 2 ทาง มีความยาวสโตรค 390 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ 22 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 18 มิลลิเมตร การติดตั้งกระบอกสูบเข้ากับชุดการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 3.3

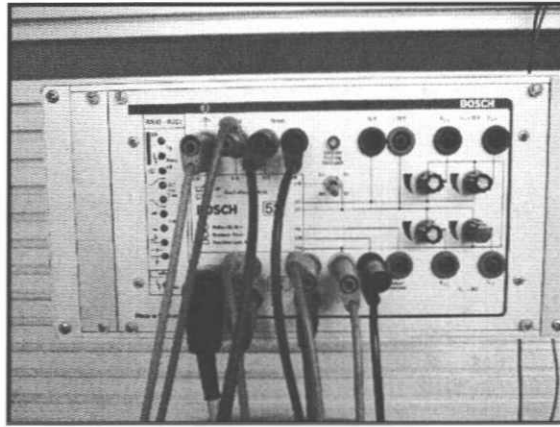


รูปที่ 3.5 แสดงชุดการทดลอง

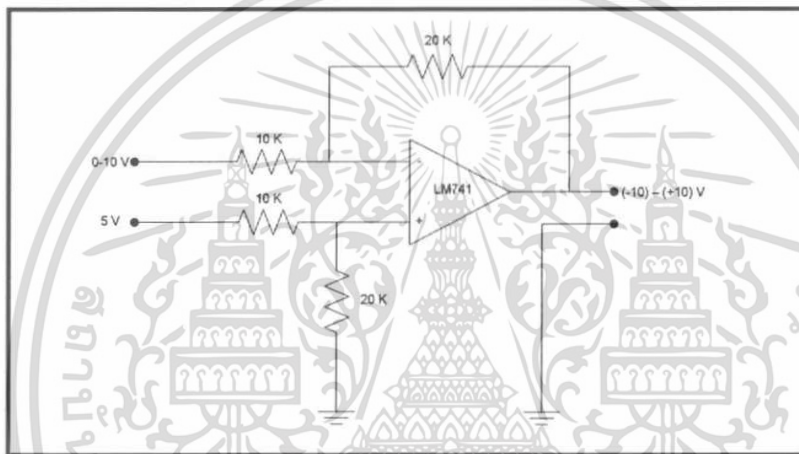
3.5.2 แอมพลิไฟเออร์

เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์มีสัญญาณไฟฟ้ามีแรงดันต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีแอมพลิไฟเออร์เป็นตัวเพิ่มระดับ Amplitude ของสัญญาณแต่คำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์จะออกมาเป็น 0-10 โวลต์ แต่สัญญาณไฟฟ้าที่ต้องเข้าวาล์วจะต้องเป็น (-10) – 10 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงจาก 0-10 โวลต์ เป็น (-10) – 10 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



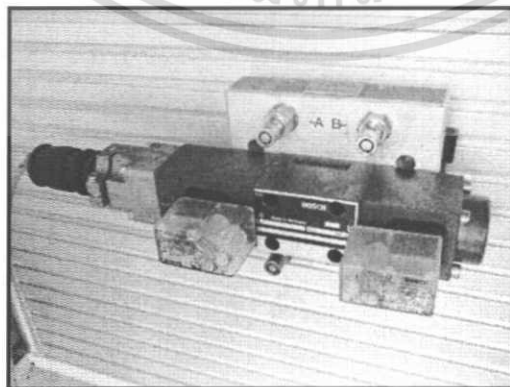
รูปที่ 3.6 แอมพลิฟิเออร์



รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณจาก 0-10V เป็น -10-(+10)

3.5.3 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Value)

พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Value) ที่ใช้เป็นวาล์วแบบควบคุมทิศทางที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกได้ พรอพอร์ชันนัลวาล์ว ที่ใช้รับกระแสได้สูงสุด 2.7 แอมแปร์



รูปที่ 3.8 พรอพอร์ชันนัลวาล์วที่ใช้ในการทดลอง

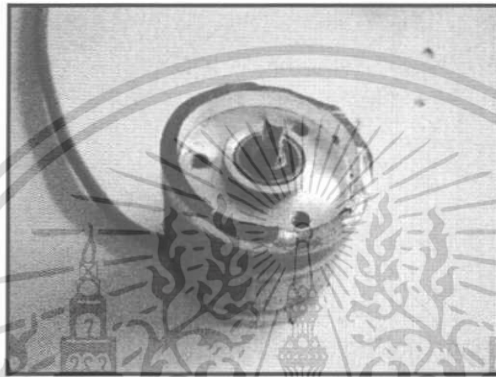
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 โรตารี อินคริเมนทัล เอนโค้ดเดอร์ (Rotary Incremental Encoder)

Rotary Incremental Encoder มีหน้าที่วัดตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปตามสมการการเคลื่อนที่ของชุดไฮดรอลิก เป็นตัวแปลงการเคลื่อนที่ของกระบอสูบมาเข้ารหัส (Encoder) เป็นสัญญาณดิจิทัล ให้การนับรอบและคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลต่อไป สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์จะมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเพลลาของเอนโค้ดเดอร์หรือเป็นสัดส่วนกับคาบเวลาดังสมการ

$$\text{ความถี่}(f) = \text{จำนวนพัลส์ (รอบ)} / \text{เวลา (วินาที)}$$

หรือ $\text{ความถี่}(f) = 1/T$; เมื่อ T เป็นคาบเวลา (วินาที)



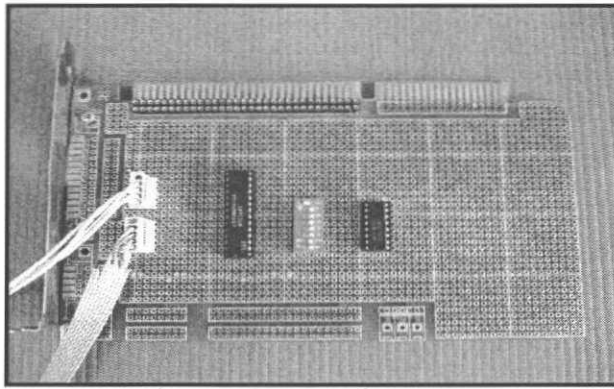
รูปที่ 3.9 เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้ในโรงงานซึ่งได้ทำการติดตั้งนั้นมีความละเอียด 1000 พัลส์ต่อรอบเป็นของ Omron รุ่น E6C2-CWZ3E

Encoder มีความสามารถในการรับค่าเท่ากับ 1000 Pulse/รอบ แต่การวัดมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็น 4 เท่าของ Encoder ดังนั้น Encoder หมุน 1 รอบจะเท่ากับ 4000 Pulse

3.5.5 การ์ดนับรอบ (Counter Card)

การ์ดนับรอบเป็นการ์ดเชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างเอนโค้ดเดอร์กับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต ISA ทำหน้าที่นับจำนวนพัลส์ (Pulse) โรตารีอินคริเมนทัลเอนโค้ดเดอร์ (Rotary Incremental Encoder) แล้วให้คอมพิวเตอร์คำนวณพัลส์เป็นความเร็วเชิงมุมและความเร็วจริงของกระบอสูบ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่ต้องการพิจารณา แล้วนำค่าผลต่างของความเร็วนั้นไปเข้าสู่กระบวนการควบคุม เพื่อให้กระบอสูบมีความเร็วใกล้เคียงหรือเท่ากับความเร็วที่ต้องการควบคุม

การ์ดนับรอบที่สร้างขึ้นในโรงงานนี้ ประกอบด้วย LS7266R ซึ่งเป็นไอซี (IC) สำเร็จรูปที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion) ตำแหน่ง (Position) ทิศทาง (Direction) ความเร็ว (Speed) ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยมี 74HC138 และ DIP Switch เป็นตัวดีโคดและกำหนดแอดแตรส (Address Decoding) การ์ดนับรอบตัวนี้สามารถใช้กับ Encoder จำนวนสองตัวมีความละเอียดในการนับรอบถึง 24 bit ส่วนตัวโปรแกรมทางบริษัทของผู้ผลิตได้แนบมาให้พร้อมกับอุปกรณ์



รูปที่ 3.10 การ์ดนับรอบที่ใช้ในโรงงาน

การกำหนดแอดเดรสให้กับการ์ดนับรอบ

เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จักการ์ดนับรอบและให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ต้องมีการกำหนดตำแหน่งพอร์ต (Port Address) ของการ์ดนับรอบและต้องไม่ซ้ำกับตำแหน่งพอร์ต (Port Address) ของอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ของคอมพิวเตอร์ ในการเลือกตำแหน่งแอดเดรสทำได้โดยสวิตช์ที่อยู่บนตำแหน่ง on ของแถวใดแถวหนึ่งในที่นั้นเราเลือกแถวที่ 8 ซึ่งมีค่าตำแหน่งเป็น 2 EO (HEX Value)

การทำงานของการ์ดนับรอบ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. โหมคการทำงานในสถานะเริ่มต้น เป็นการเช็คสถานะให้พร้อมที่จะทำงานและ Reset ค่า Error ที่เกิดขึ้น
2. โหมคการทำงานในการส่งผ่านข้อมูลเพื่อให้วงจรภายในนับจำนวนสัญญาณ
3. ขั้นตอนการอ่านข้อมูลที่ี้จากการนับ

การ์ดนับรอบตัวนี้สามารถนับได้ถึง 24 bit หรือนับจำนวนได้ตั้งแต่ 0 ถึง $2^{24}-1 = 16777215$ ซึ่งเราต้องเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของการ์ดและเพื่อเชื่อมต่อให้ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมดูได้จากภาคผนวก

3.5.6. คอมพิวเตอร์ (Computer)

คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการควบคุมและประมวลผล ทำหน้าที่ส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมไปสั่งงานให้พรอเซอร์ชันนัลแล้วทำงานและรับค่าจากชุดทดลองกลับมา ทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้ออกกับค่าที่ต้องการแล้วนำค่าต่างนั้นไปผ่านกระบวนการให้มีค่า Error น้อยลงจนเป็นศูนย์

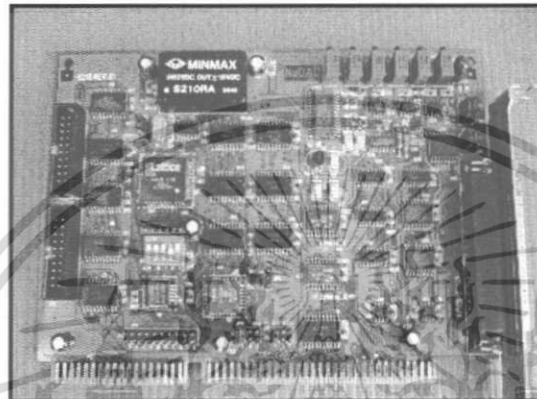


รูปที่ 3.11 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 Data Acquisition Card

Data Acquisition Card เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่ทั้งแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital) และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog) ในตัวเดียวกัน เมื่ออุปกรณ์ภายนอกที่เป็นสัญญาณอนาลอก (Analog) จำเป็นต้องทำงานประมวลผลในคอมพิวเตอร์อุปกรณ์นั้นจำเป็นต้องต่อเข้ากับการ์ดนี้เพื่อแปลงสัญญาณเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ Data Acquisition Card ติดตั้งร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสล็อตของ ISA นอกจากนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ A/D , D/A แล้วยังทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุท เอาท์พุท (Input Output Port)อีกด้วย การ์ดที่ใช้คือ NuDAQACL-8216



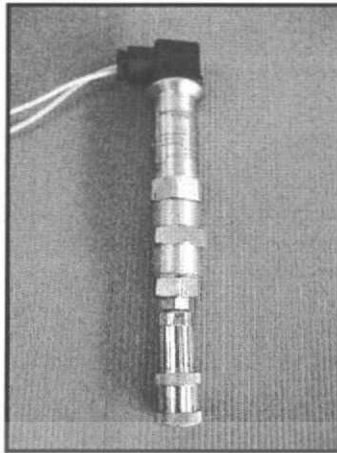
รูปที่ 3.12 Data Acquisition Card

3.5.8 Pressure Gauge

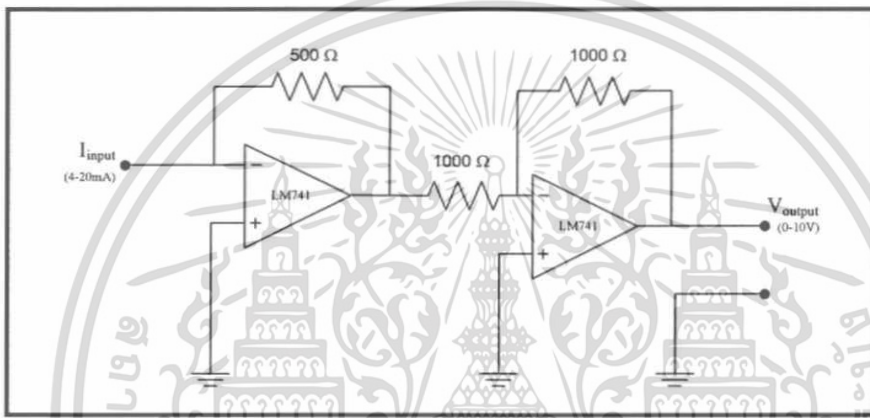
Pressure Gauge เป็นอุปกรณ์ในการวัดความดันจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ในโครงงานนี้จะใช้ Pressure Gauge ทั้งหมด 3 ตัว โดยคิดที่ขาออกของ Pump เพื่อวัดแรงดันที่ออกจาก Pump ส่วนอีก 2 ที่เหลือติดที่ทางเข้าและทางออกของกระบอกสูบ เพื่อวัดความดันในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่

Pressure Gauge ที่ใช้ในโครงงานคือ BOURDON HAENNI รุ่น E913 โดยรับค่าความดัน 0 - 400 Bar สัญญาณขาออก (Output) เท่ากับ 4 - 20 mA และ Supply Voltage เท่ากับ 11 - 40 Vdc แต่เนื่องจากสัญญาณที่เข้าคอมพิวเตอร์นั้นเป็นความต่างศักย์ (Volts) ฉะนั้นจึงมีวงจรแปลงค่ากระแสให้เป็นความต่างศักย์ ซึ่งวงจรที่ใช้เป็นวงจรออปแอม ซึ่งจะแปลง 4 - 20 mA ให้เป็น 0-10 V

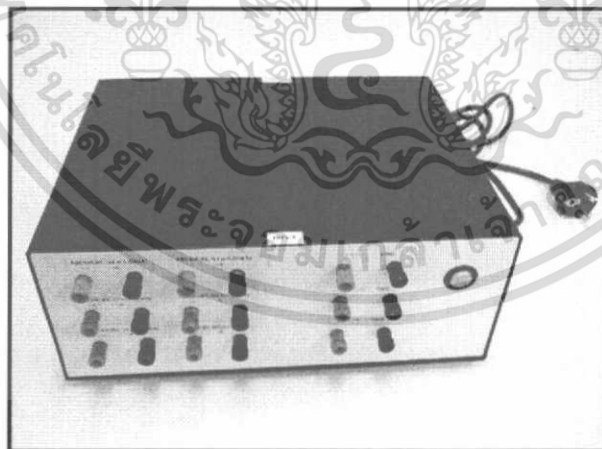
วงจรที่ใช้นั้นเป็นวงจรออปแอมป์ 2 วงจร ใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 จำนวน 2 ตัว ค่าความต้านทาน 500 โอห์ม 1 ตัวและ 1000 โอห์ม 2 ตัว ดังรูปที่ 3.12 โดยอินพุทจาก pressure gauge และเอาต์พุทจะออกมาและเข้าไปที่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.13 Pressure Gauge



รูปที่ 3.14 วงจรออปแอมป์แปลงกระแสไฟฟ้า (4-20 mA) เป็นความต่างศักย์ (0-10V)



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์แปลงกระแสให้เป็นความต่างศักย์

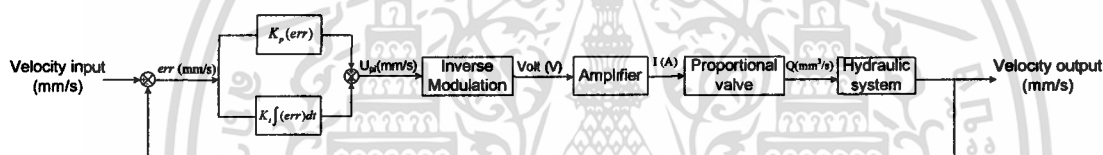
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทำงานของชุดทดลอง

การควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบนั้นเป็นการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว โดยการสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการสั่งงานเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในขั้นตอนแรกนั้น เราจะทำการป้อนความเร็วที่ต้องการ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังแอมพลิไฟเออร์ เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปที่วาล์วเพื่อทำให้กระบอกลูกสูบเคลื่อนที่ เมื่อกระบอกลูกสูบเคลื่อนที่ เอนโค้ดเดอร์ที่ติดอยู่ที่ปลายจะหมุนแล้วส่งค่าเป็นพัลส์เข้าคอมพิวเตอร์ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะประมวลผลเป็นความเร็วของกระบอกลูกสูบและนำไปหาค่าความผิดพลาด โดยเทียบกับความเร็วที่ป้อนเข้าไปแล้วนำสัญญาณผิดพลาดไปปรับปรุงการทำงานของระบบ โดยผ่านการควบคุมแบบ PI Control ซึ่งค่าผ่านการควบคุมแบบ PI Control จะมีหน่วยเป็นความเร็ว (mm/s) ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยการผ่านไปที่ Inverse modulation (อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3) จึงจะได้สัญญาณทางไฟฟ้าออกมาเพื่อจะได้นำไปสั่งวาล์วในรอบการทำงานต่อไป

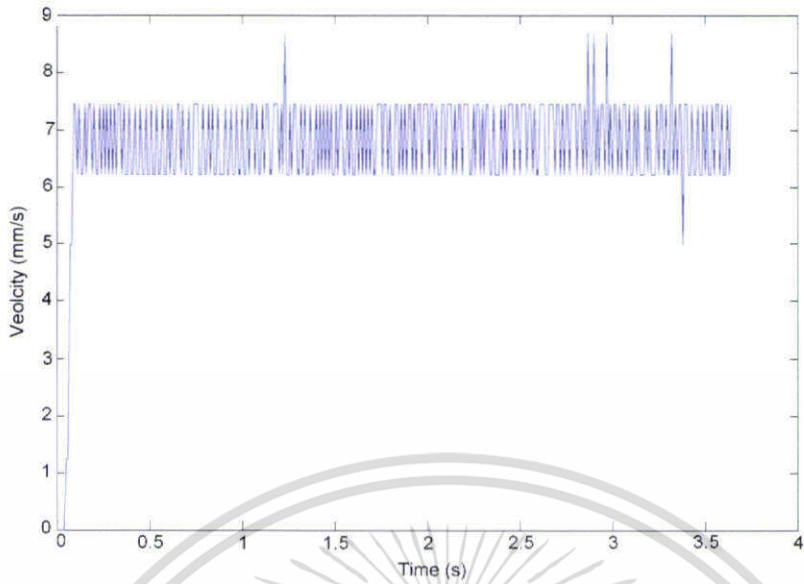


รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

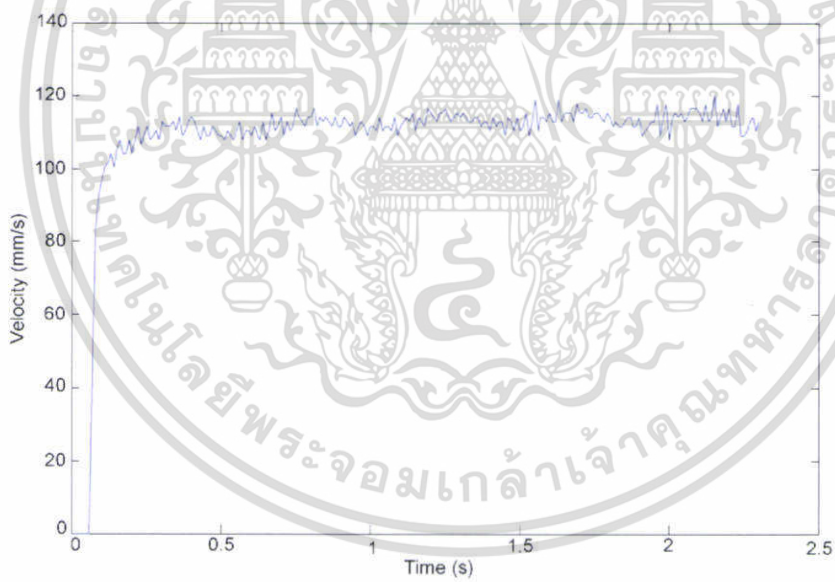
4.2 การทดลอง

4.2.1 การหา Modulation Curve

Modulation Curve นั้นเป็นกราฟระหว่าง ความเร็ว (Velocity) กับ แรงดันไฟฟ้า (Volt) ชั้นแรกในการหาความเร็วจะป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไป จากนั้นเมื่อกระบอกลูกสูบเคลื่อนที่ เพียงตรงจะไปจับเอนโค้ดเดอร์ เอนโค้ดเดอร์จะส่งสัญญาณกลับไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล หลังจากนั้น โปรแกรมจะแสดงค่าความเร็วที่เวลาต่างๆ จากนั้นนำค่าความเร็วที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ฉะนั้นความเร็วใน Modulation Curve จะเป็นความเร็วเฉลี่ยซึ่งความเร็วเฉลี่ยกับเวลาจะออกมาในรูปของกราฟดังนี้

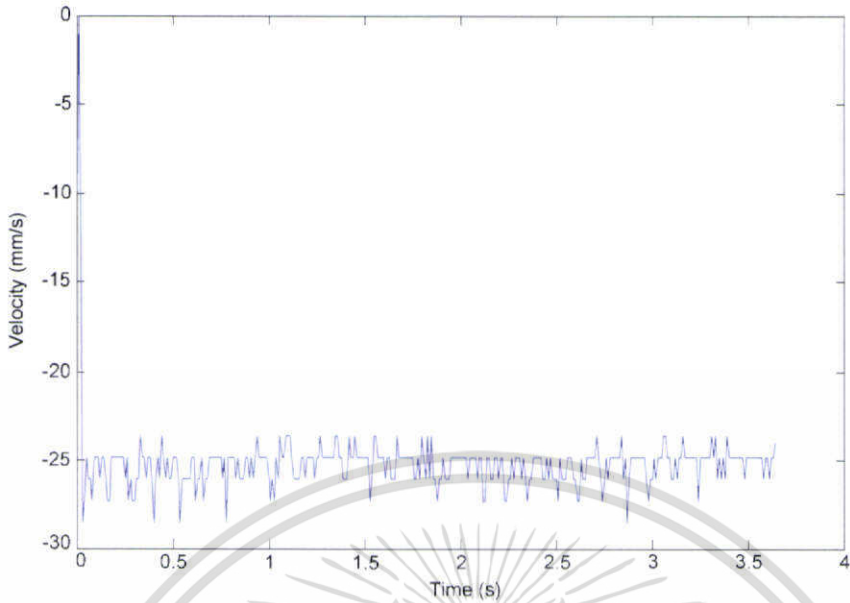


รูปที่ 4.2 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ 1 volt



รูปที่ 4.3 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ 7.5 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

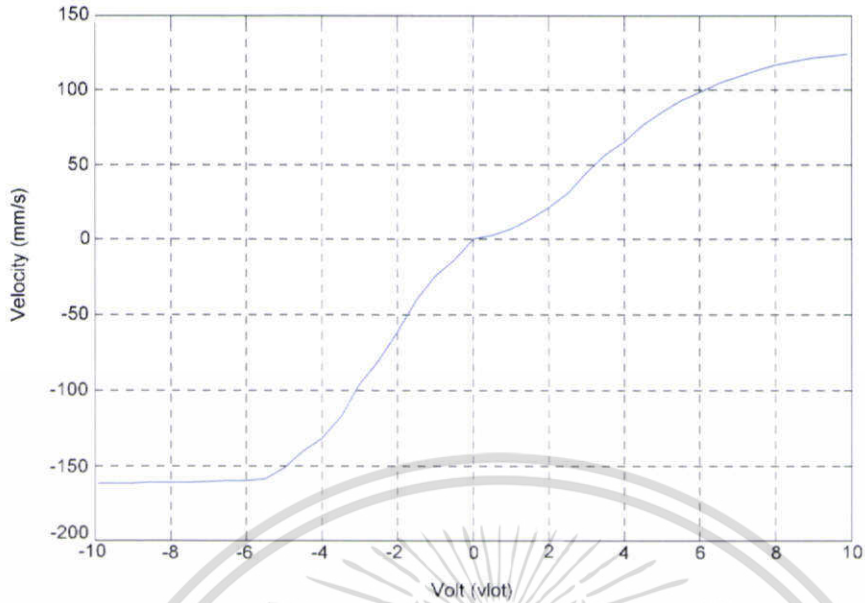


รูปที่ 4.4 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ -1 volt



รูปที่ 4.5 ความเร็วของกระบอกสูบเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ -7.5 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 Modulation Curve

4.2.2 การหาพื้นที่หน้าตัด Valve

ในการ Simulation ระบบในคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการนำค่าตัวแปรต่าง ๆ มาหาค่าในสภาวะอุดมคติในเงื่อนไขเดียวกันกับชุดทดลองจริง แต่สิ่งหนึ่งที่มีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์คือ ใช้จากการทดลองคือ พื้นที่หน้าตัดวาล์ว ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องหาพื้นที่หน้าตัดวาล์ว ในการ Simulation ขั้นตอนการหาพื้นที่ดังนี้

1. ทำการหาค่าความดันจาก Pressure Gauge ที่ 3 จุดคือ ที่ด้าน Head, ด้าน Rod และทางที่น้ำมันวิ่งออกจาก Pump
2. หาอัตราการไหลที่จุดต่างๆ จากความสัมพันธ์

$$Q = VA$$

โดย Q = อัตราการไหล

V = ความเร็วเฉลี่ยจาก Modulation Curve

A = พื้นที่ด้าน Head หรือพื้นที่ด้าน Rod แล้วแต่กรณี

3. หาค่าพื้นที่หน้าตัด Valve จาก ความสัมพันธ์ของของไหลเมื่อไหลผ่านออร์ฟิซซึ่งเป็นไปตามสมการความสัมพันธ์นี้

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

โดย $C_d = 0.62$

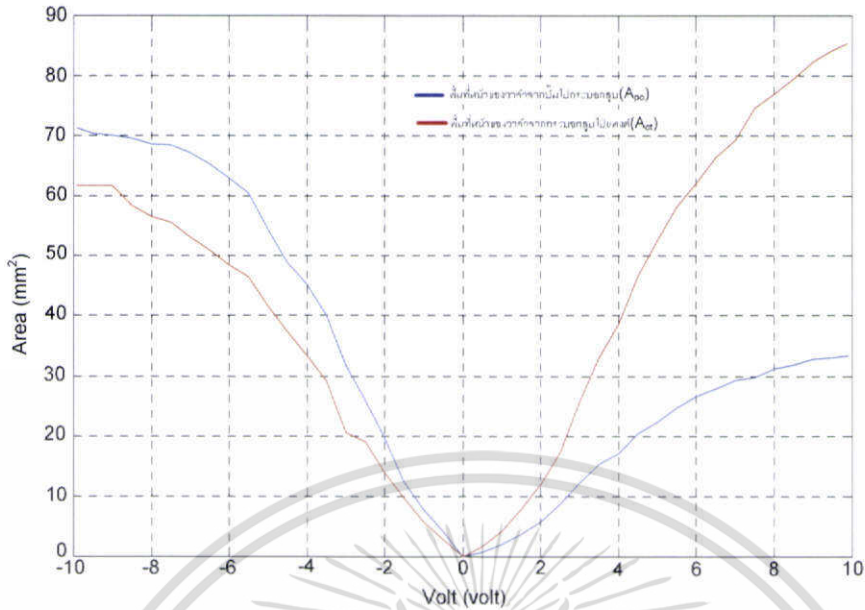
ρ = ความหนาแน่นของน้ำมันไฮดรอลิก ($871 \times 10^{-9} \text{ kg/mm}^3$)

Δp = ความดันตกคร่อม

A = พื้นที่หน้าตัดวาล์ว

4. เมื่อแทนค่าความสัมพันธ์นั้นจะได้ค่าพื้นที่หน้าตัด Valve ออกมาตามแต่ละค่าแรงดันไฟฟ้า

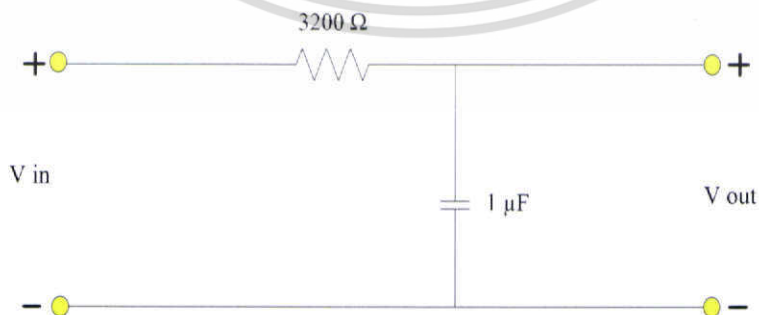
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 Area Curve

เส้นกราฟสีแดงหมายถึงพื้นที่การเปิดของวาล์วในจังหวะที่น้ำมันจากปั๊มวิ่งไปที่กระบอกสูบและเส้นกราฟสีน้ำเงินหมายถึงพื้นที่การเปิดของวาล์วในจังหวะที่น้ำมันจากลูกสูบวิ่งไปที่แท่งกัก จากกราฟแสดงว่าในช่วงจังหวะลูกสูบวิ่ง (สัญญาณไฟฟ้าเป็นลบ) พื้นที่ที่เปิดเมื่อน้ำมันจากปั๊มไปที่กระบอกสูบลูกสูบมากกว่าพื้นที่ที่น้ำมันวิ่งจากกระบอกสูบไปที่แท่งกักแต่จะกลับกันในกรณีที่ลูกสูบวิ่งขึ้น (สัญญาณไฟฟ้าเป็นบวก) ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะส่งผลต่อตัวแปรอื่นๆตามมา หลังจากได้ค่าพื้นที่หน้าตัดวาล์วแล้วจะทำการทดลอง

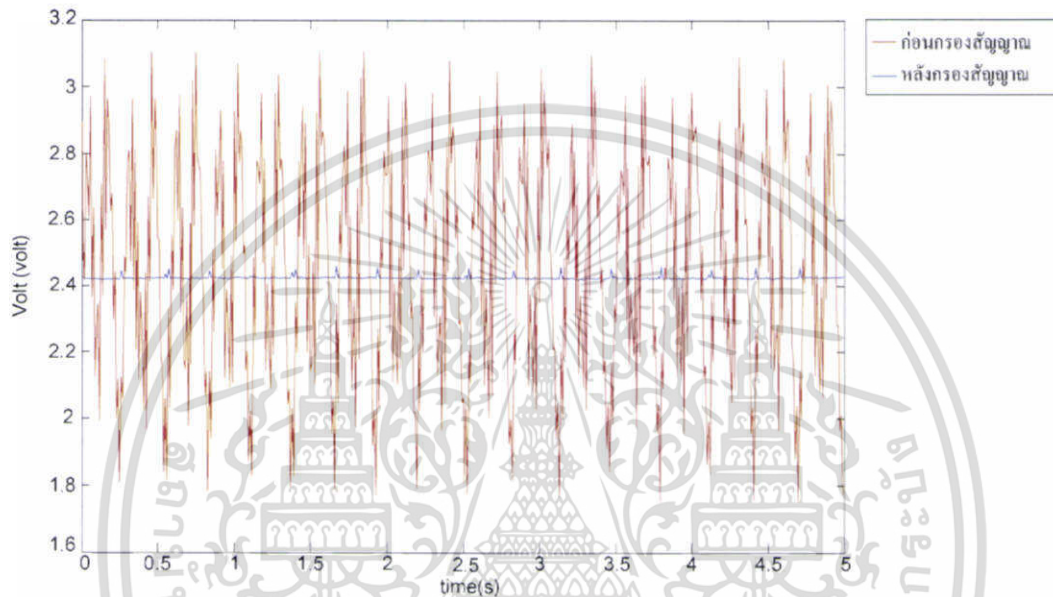
ตามที่กล่าวไว้ในตอนต้น โครงการนี้จะทำการทดลองจากชุดการทดลองจริงและการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ได้มา แต่ในความเป็นจริงไม่ว่าจะเป็นการทดลองจริงหรือการจำลองจากคอมพิวเตอร์ ระบบมักจะค่อนข้างไม่เสถียรเนื่องจากปัจจัยรบกวนต่างๆ ดังนั้นโครงการนี้จะใช้ PI Control ในการควบคุมให้ระบบเกิดความเสถียรมากขึ้น ซึ่งได้อธิบาย PI Control ไว้ในบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.9 แล้ว จากการทดลองการปรับค่า K_p และ K_i เราจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ ค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 7$ โดยค่า Gain เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ทั้งในการทดลองจากชุดทดลองจริงและการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.8 วงจร Low pass filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Low pass filter ที่ใช้นั้นจะนำไปกรองสัญญาณของความถี่ เนื่องจากสัญญาณรบกวนมักจะมากับสัญญาณจากแรงดัน เมื่อคอมพิวเตอร์ค่าเข้ามาจะทำให้สัญญาณที่แสดงออกมาไม่แน่นอนหรือหาช่วงคงที่ได้ยาก จากโครงการนี้ใช้ความถี่ Sampling Time = 100 Hertz ดังนั้น ความถี่ในการกรองจะเท่ากับ 50 Hertz จากรูปด้านล่างเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ยังไม่ได้กรอง เส้นสีแดงเป็นเส้นกราฟที่ยังไม่ผ่านการกรองและสีน้ำเงินเป็นเส้นกราฟที่ผ่านการกรองแล้ว โดยทฤษฎีที่ใช้ในการกรองสัญญาณคือ ทฤษฎี Anti-Aliasing คือค่าความถี่ที่ใช้ในการกรองนั้นต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่ของ Sampling Time



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณก่อนกรองและหลังกรอง

เมื่อได้ระบบควบคุมที่แน่นอนแล้ว โครงการนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบคือ Open Loop และ Close Loop การทดลองแบบ Open Loop นั้นจะเป็นการป้อนสัญญาณไฟฟ้าและสังเกตค่าตัวแปรต่างๆ โดยไม่มีการส่งค่าใดกลับมา จากนั้นทำการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไปเรื่อยๆ ส่วน Close-Loop จะทำการป้อนค่าความเร็ว จากนั้นสังเกตตัวแปรต่างๆว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร จากนั้นจะมีการส่งค่าความเร็วกลับมาเพื่อแก้ไข โดยค่าความเร็วที่ส่งมีความสัมพันธ์

$$V = V_{\max} \sin(\omega t)$$

โดยค่าที่ส่งกลับมานั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าไปในขั้นตอนแรกเพื่อหาค่าผิดพลาดของระบบ จากนั้นจะทำการเปลี่ยนความเร็ว (V) และเปลี่ยนความถี่เชิงมุม (ω) แล้วสังเกตตัวแปรต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป

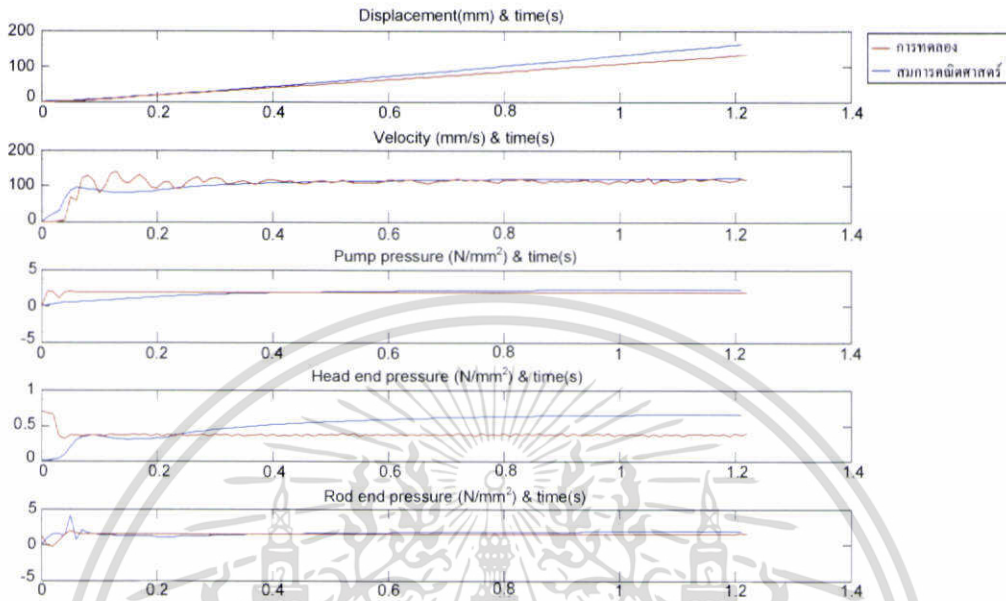
ในการทดลองในชุดทดลองและการจำลองในคอมพิวเตอร์นั้น จะทำการทดลองแบบ Open Loop และ Close Loop ทั้ง 2 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

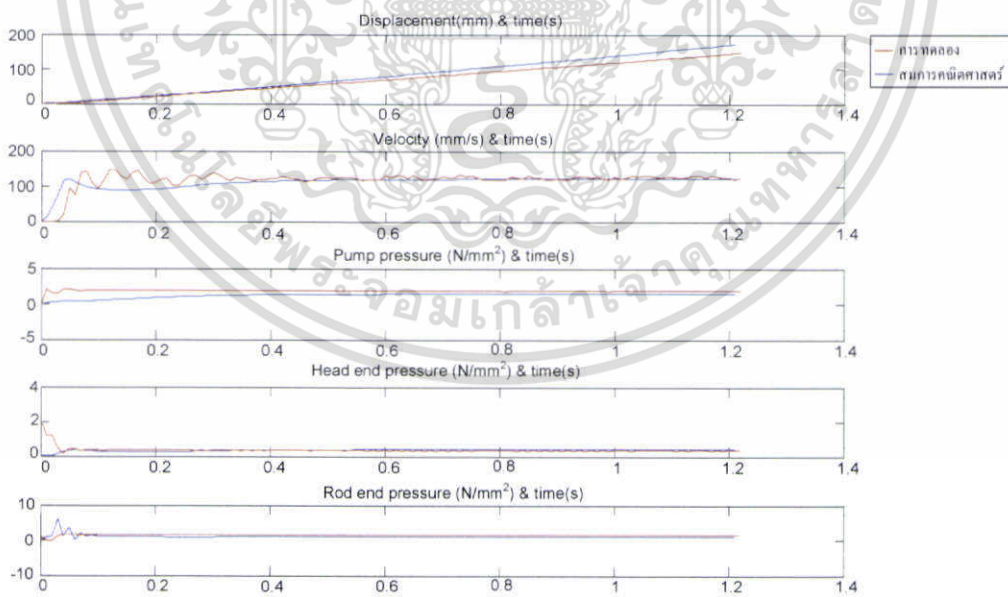
4.3 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆระหว่างการจำลองและการทดลองจริง

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆระหว่างการจำลองและการทดลองจริงแบบ Open Loop

(สีแดงคือเส้นกราฟที่มาจากผลการทดลองจากชุดทดลองจริง, สีน้ำเงินคือเส้นกราฟที่มาจากผลการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์)

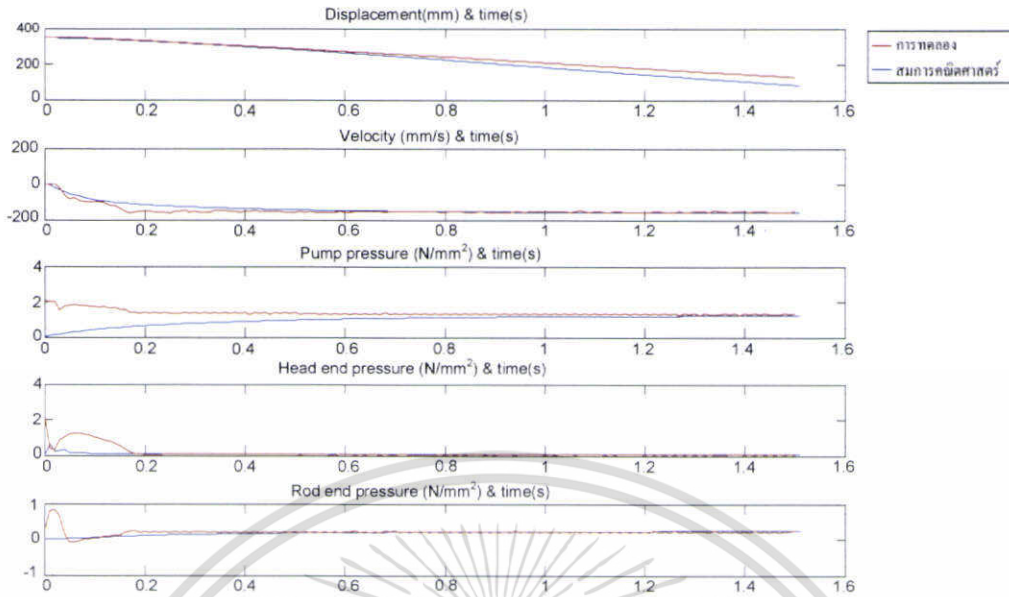


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ 6 volt

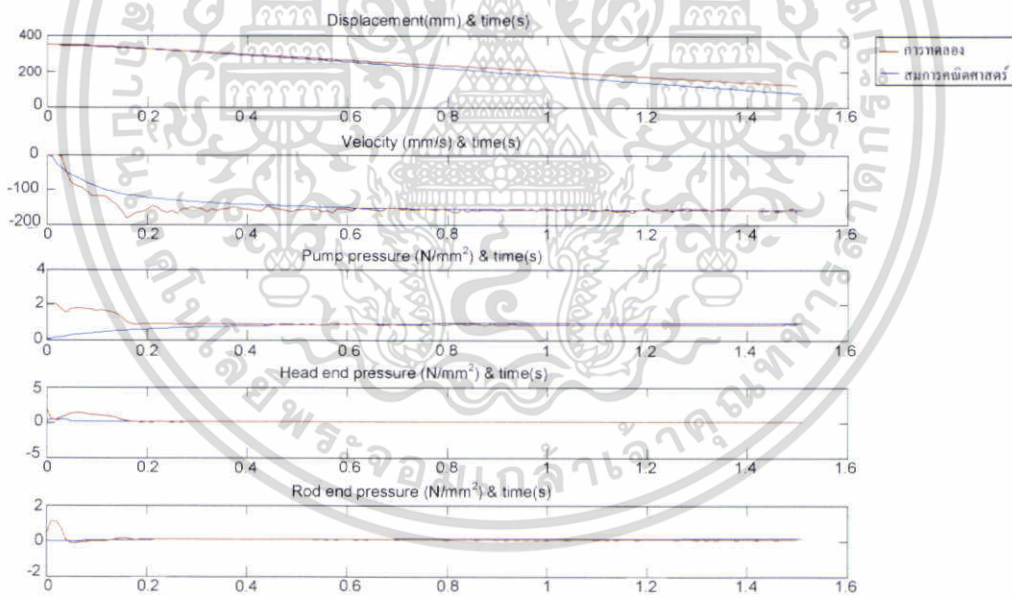


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ 9 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



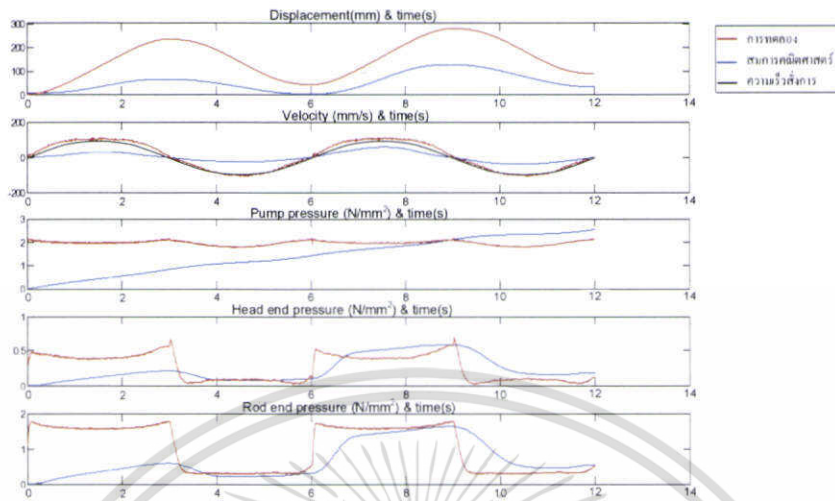
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์
สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ -6 volt



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์
สำหรับการทดลองแบบ open loop ที่ -9 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการทดลอง Close Loop นั้นได้ทำการทดลองป้อนค่าสัญญาณก่อนที่จะมีการควบคุมด้วยตัว Controller เพื่อดูว่าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด โดยเป็นการสั่งแบบ Open Loop ก่อน

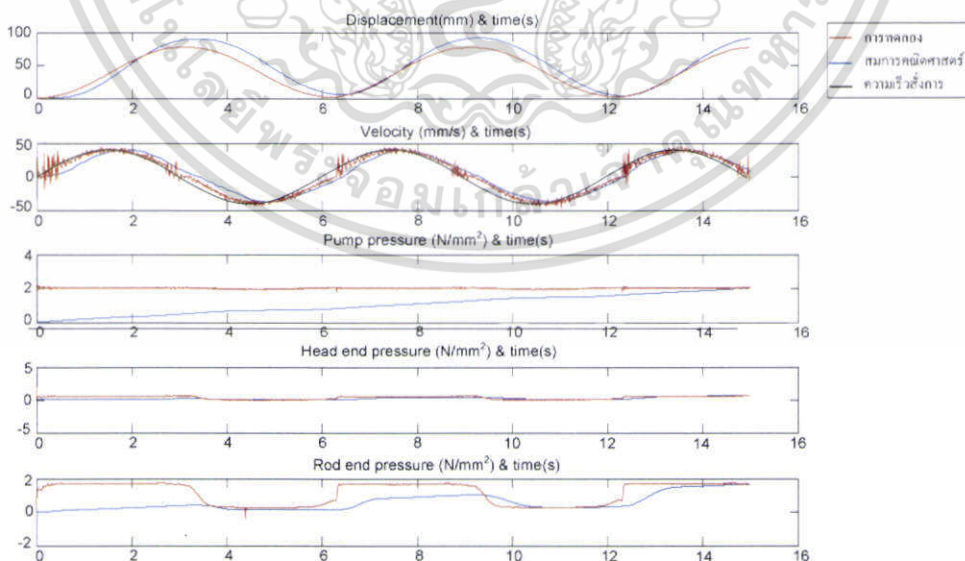


รูปที่ 4.14 กราฟการทดลองแบบ Open Loop แบบ Sine Wave โดยไม่มี Controller ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100\sin(\pi t / 3)$

ผลที่ได้จะมีความผิดพลาดค่อนข้างมากเนื่องจากค่าความผิดพลาด (Error) ที่เกิดขึ้นไม่ได้ถูกกำจัดออกไปโดยที่ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดมาจากความเสียดทานหรือความดันตกคร่อม ดังนั้นจึงได้ทำการใส่ตัว Controller เข้าไปเพื่อเป็นตัวกำจัดค่าความผิดพลาดในการทดลองแบบ Close Loop ดังรูปในหัวข้อต่อไป

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆระหว่างการจำลองและการทดลองจริงแบบ Close Loop

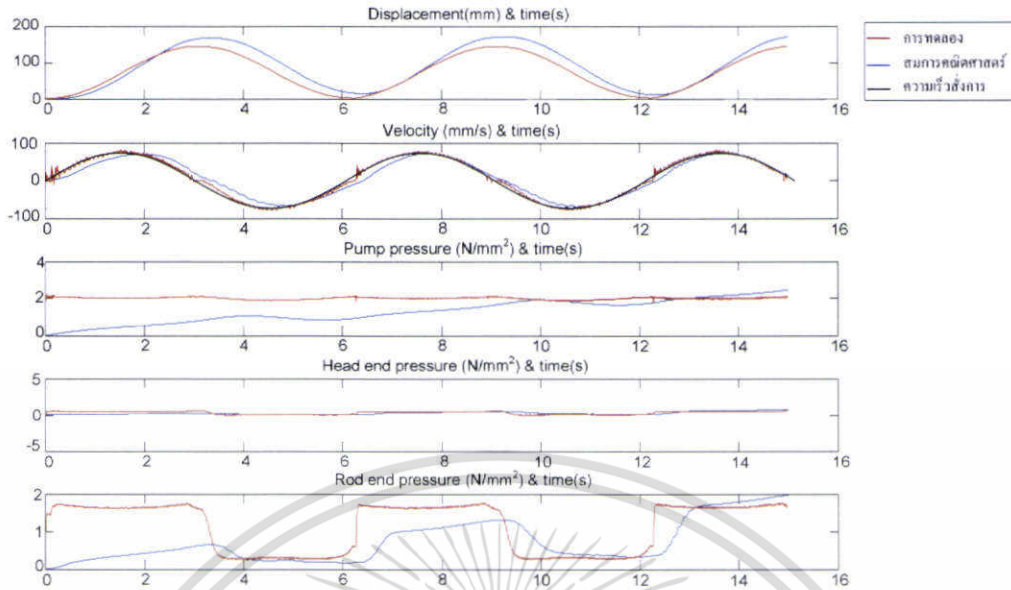
โดยใช้ค่า $K_v=7$ และ $K_p=0.5$ ที่ความถี่เชิงมุมเท่ากับ $\pi/3$ (สีแดงคือเส้นกราฟที่มาจากผลการทดลองจากชุดทดลองจริง, สีน้ำเงินคือเส้นกราฟที่มาจากผลการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์)



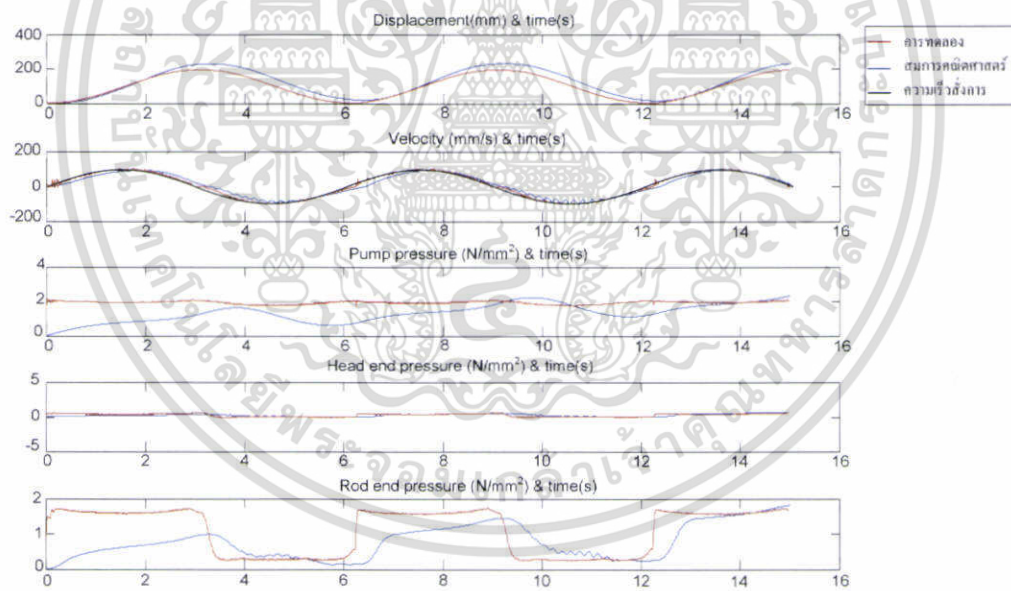
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์

สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $40\sin(\pi t / 3)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



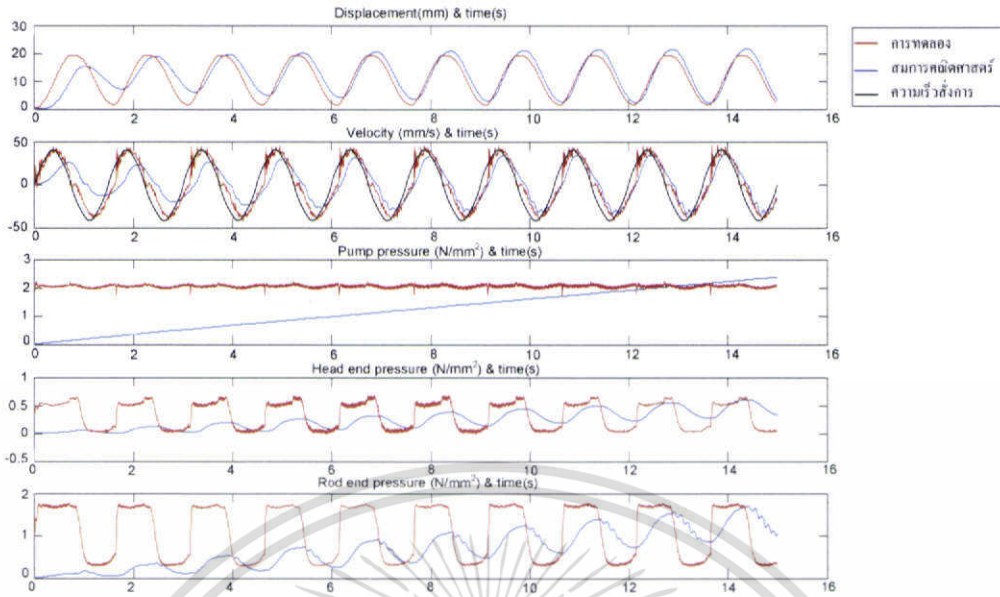
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์
สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $75\sin(\pi t/3)$



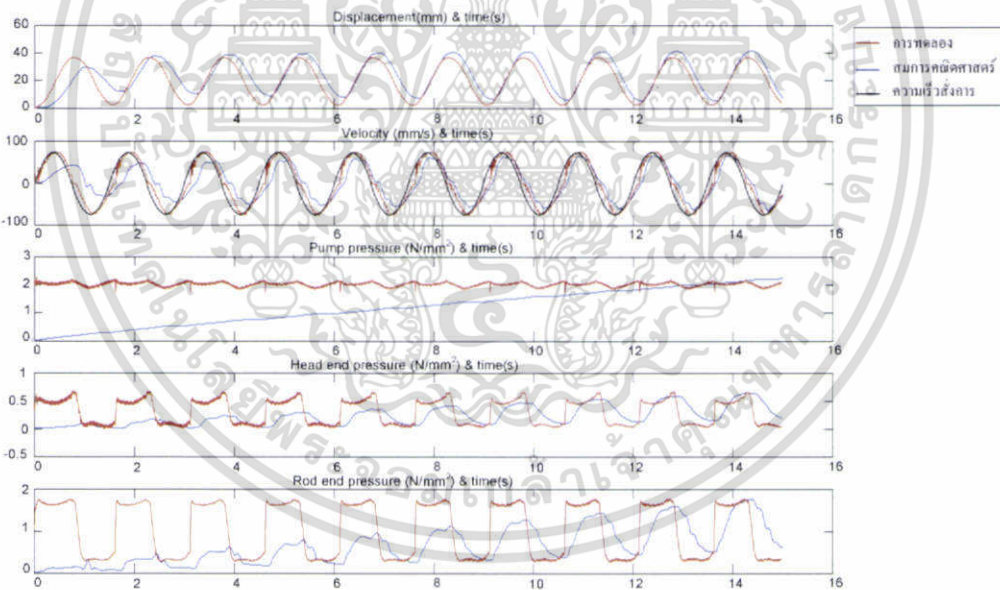
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์
สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100\sin(\pi t/3)$

จากนั้นทำการเปลี่ยนความถี่เชิงมุม (ω) แต่เมื่อเราเปลี่ยนค่าความถี่เชิงมุมแล้วจำเป็นต้องเปลี่ยนค่า Gain ของระบบด้วย โดย ω ที่ทำการทดลองเปลี่ยนจะมีค่าเท่ากับ $\pi/0.75$ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

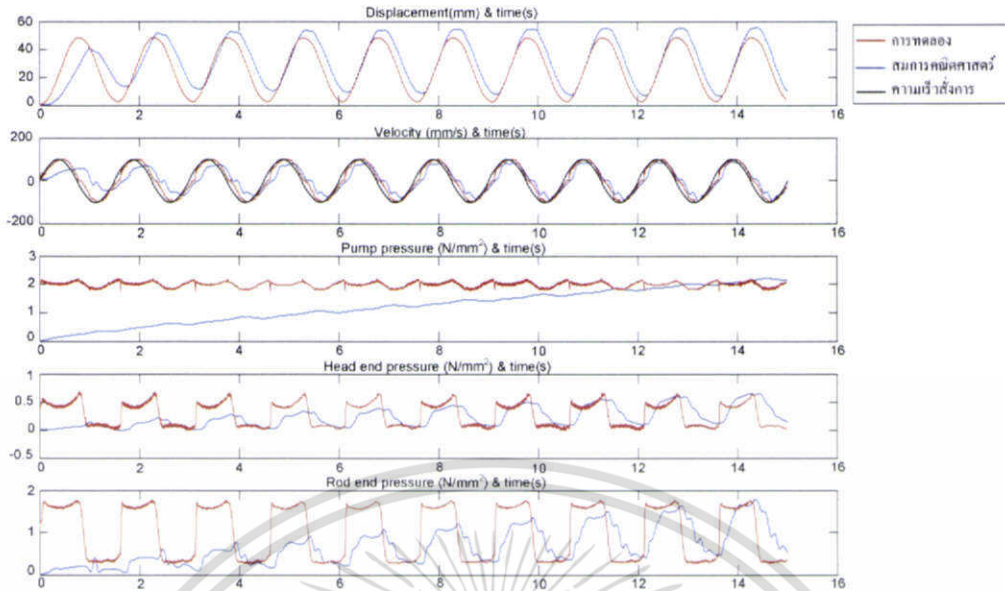


รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $40\sin(\pi t/0.75)$ ค่า $K_p=0, K_i=12$



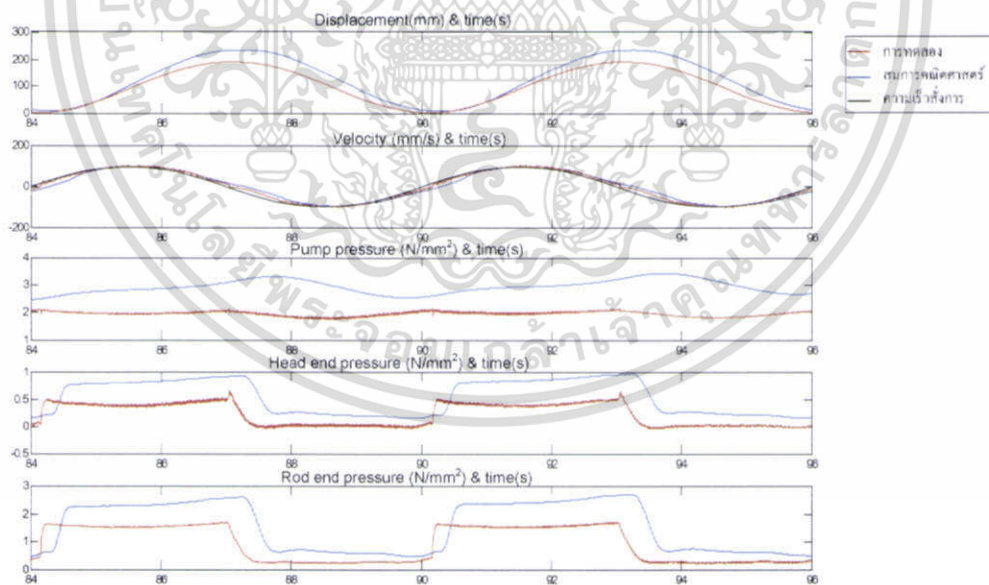
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $75\sin(\pi t/0.75)$ ค่า $K_p=0, K_i=12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการทดลองกับการจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์
สำหรับการทดลองแบบ Close loop ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100 \sin(\pi t / 0.75)$ ค่า $K_p=0, K_i=12$

จากกราฟแบบ Close Loop ในความเร็วต่างๆ และความถี่ต่างๆ แล้ว จากนั้นทำการทดลองเพิ่มระยะเวลา
ดูผลการทดลองสุดท้ายเพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงว่าเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใดเมื่อทิ้งระยะเวลาให้มากขึ้น



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อวินาทีที่ 84-96 ด้วยความเร็วสั่งการเท่ากับ $100 \sin(\pi t / 3)$

เมื่อทิ้งระยะเวลาไว้มากขึ้น สังเกตว่าผลจากการทดลองและจากการจำลองจากคอมพิวเตอร์มีความ
ใกล้เคียงกันมากขึ้น เนื่องจากระบบมีความเสถียรมากขึ้นและเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองแบบ Open Loop

จากรูปที่ 4.10, 4.11 เป็นรูปในจังหวะที่วิ่งขึ้น ดังนั้นสัญญาณที่ป้อนเข้าจึงเป็นสัญญาณไฟบวก โดยในที่นี้แสดงตัวอย่าง 2 สัญญาณคือ 6 และ 9 Volts จากกราฟทั้ง 2 รูปมีลักษณะใกล้เคียงกัน จากระยะทางที่ลูกสูบวิ่งได้นั้น ลูกสูบจะวิ่งได้ระยะทางมากขึ้นเนื่องจากการตั้งค่าให้ระยะต่ำที่สุดเป็นระยะศูนย์ ดังนั้นเมื่อลูกสูบวิ่งขึ้นระยะทางจึงเพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วและความดันนั้นมิลักษณะที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันระหว่างการทดลองและการจำลอง แต่จะเกิดการกระเพื่อมในช่วงแรกเนื่องจากผลของไดนามิกที่เกิดขึ้นในระบบ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้นจนถึงในช่วงสถานะคงที่ (Steady State) เส้นกราฟจะค่อยๆ คงที่และใกล้เคียงกันมากขึ้นและจะเป็นเช่นนี้เช่นเดียวกันในการสั่งงานให้ลูกสูบวิ่งลง คือสัญญาณไฟเป็นลบ รูปที่ 4.12, 4.13 แต่ในขณะที่ลูกสูบวิ่งลงนั้นอาจจะมีผลจาก Overrunning Load เป็นผลเนื่องจากในช่วงปลายมีน้ำหนักจากเพื่องตรงที่ติดอยู่ประมาณ 3 กิโลกรัมรวมถึงน้ำหนักของลูกสูบด้วยแต่ในที่นี้ถือว่าไม่มีโหลดเนื่องจากการติดตั้งเบื้องต้นของชุดทดลองจึงถือว่าค่าเริ่มต้นที่ 3 กิโลกรัมเป็นศูนย์ ส่วนความดันที่ป้อนค่อนข้างคงที่ รวมถึงความดันค้ำบนของกระบอกลูกสูบ (Head) และด้านล่างของกระบอกลูกสูบ (Rod) ก็ค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกัน

การทดลองแบบ Close Loop

การทดลอง Close Loop เราจำเป็นต้องมีการใช้ PID Controller ซึ่งเราจากการทดลองสุ่มค่า Gain ของระบบ เราจะได้ค่าที่เหมาะสมในการควบคุม Close Loop คือ $K_p = 0.5$ และ $K_i = 7$ เส้นสีแดงคือ เส้นกราฟจากการทดลองจริง ส่วนเส้นสีน้ำเงินมาจากการจำลอง ในการทดลองนั้นเราจะทำการให้ค่าความถี่เชิงมุม ω คงที่ในครั้งแรก โดยคงที่ไว้ที่ $\pi/3$ และทำการเปลี่ยนความเร็วสูงสุด (Amplitude) จากนั้นเปลี่ยนค่าความถี่เชิงมุม ω เป็นอีกค่าหนึ่งซึ่งในโครงการนี้ให้เท่ากับ $\pi/0.75$ และทดลองที่ความถี่นี้โดยเปลี่ยนเฉพาะความเร็วสูงสุด (Amplitude) แต่ในการเปลี่ยนความถี่เชิงมุม ω นั้น ค่า Gain ของระบบก็เปลี่ยนไปด้วย โดย $K_p = 0$ และ $K_i = 12$

การทดลองสั่งการในขั้นตอนแรกมีการสั่งการที่ความเร็ว 3 ค่าคือที่ $40\sin(\pi t/3)$, $75\sin(\pi t/3)$ และ $100\sin(\pi t/3)$ โดยกราฟทั้ง 3 รูปเป็นการเปลี่ยนความเร็วสูงสุด (Amplitude) โดยรูปที่ 4.14, 4.15, 4.16 สังเกตได้ว่าที่ความเร็วน้อยกราฟความเร็วจะค่อนข้างสั่นเนื่องจากปัจจัยหลายด้านเช่น พื้นที่ของวาล์วอาจจะเปิดไม่เพียงพอหรืออาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของ Encoder แต่เมื่อเปิดพื้นที่มากขึ้นก็มีแนวโน้มเป็นไปตามการทดลอง ส่วนในอีกความเร็วเชิงมุมหนึ่งก็มีลักษณะคล้ายคลึงกับความเร็วเชิงมุมเดิม ซึ่งความผิดพลาดที่ปรากฏในช่วงแรกๆของกราฟนั้นเกิดจากผลของไดนามิก โดยความเร็วเชิงมุมที่มีค่า $\pi/0.75$ จะแสดงในกราฟที่ 4.17, 4.18, 4.19

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองของ Open Loop ลักษณะกราฟความเร็วของการจำลองในคอมพิวเตอร์และการทดลอง จากชุดทดลองมีแนวโน้มในทางเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดควาล์วที่ทำการทดลองหามีค่าใกล้เคียงกับ ขนาดจริงของชุดทดลอง ส่วนกราฟความดันจะเกิดความผิดพลาดเนื่องจากในระบบจริงมีปัจจัยต่างๆที่รบกวน เช่น ความหนืดของน้ำมัน แรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้โครงการนี้มีได้ ทำการคิดลงไปในการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์

ผลการทดลองของ Close Loop ระยะทางมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันแต่ความเร็วและความดันนั้น ก่อนข้างคลาดเคลื่อนมากในช่วงแรกซึ่งผลมาจากไดนามิกที่เกิดขึ้นแต่เมื่อเวลานานขึ้นจนถึงช่วงคงที่ (Steady State) เส้นกราฟจะใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาค่าตัวแปรต่างๆเช่น C_d , ρ , β (Bulk Modulus) ที่แน่นอนเพื่อจะได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด
2. การคิดในสถานะที่มีเงื่อนไขมากขึ้น อาทิเช่น การเพิ่มแรงเสียดทานเข้าไปในการ Simulate ระบบ และการเพิ่มโหลดเข้าไปในการทดลองเพื่อจะให้เห็นความแตกต่างที่มากขึ้น

บรรณานุกรม

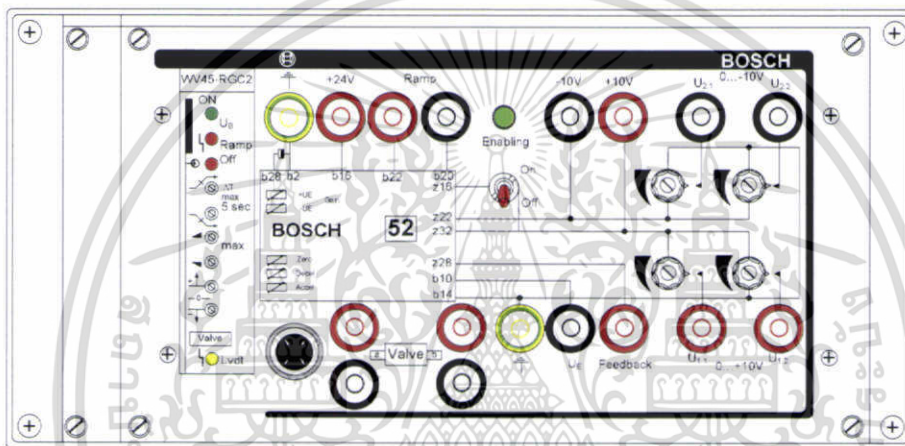
- [1] **Pinsopon U.:** Velocity control of open center hydraulic system using neural network algorithm. The 13th National Mechanical Engineering Conference, 1999.
- [2] **Cobo M., Ingram R., Cetinkunt S.:** Model, identification, and real time control of bucket hydraulic system for a wheel type loader earth moving equipment. Mechatronic, 1998.
- [3] **Tahmeen M., Yamada H., Kato H., Maehata K., Muto T.:** A study on simulation of hydraulic construction machine. SICE Annual Conference, 2003.
- [4] **James A. Sullivan.:** Fluid Power Theory and Application, 1989 (Prentice-Hall, Inc).
- [5] **Russell W. Henke, P.E.:** Fluid Power System & Circuits, 1986 (Hydraulic & Pneumatics Magazine).
- [6] **E. Anthony.:** Fluid Mechanics with Applications, 1988 (Prentice Hall, Inc).
- [7] **Cetinkunt S.:** Mechatronic, 2005 (John Wiley & Sons, Inc.)
- [8] **วิฑูรย์ วิชาณา, อธิพิณ วัฒนากร, เอกลักษณ์ พรหมเผือก :** การควบคุมคอมพิวเตอร์ของแขนกลไฮดรอลิก (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2547)

ภาคผนวก

1. การใช้ Electric Amplifier ของ BOSCH รุ่น WV45-RGC2

Amplifier เครื่องนี้จะรับสัญญาณเป็น Input เป็น โวลต์ (Volt) จากนั้นจะทำการขยายสัญญาณแล้วนำสัญญาณไปสั่งการ Proportional Direction Control valve สำหรับสัญญาณ Input ที่ Amplifier เครื่องนี้รับคือ -10 V ถึง +10 V ซึ่งสามารถให้สัญญาณ Input ได้ 2 แบบ คือ

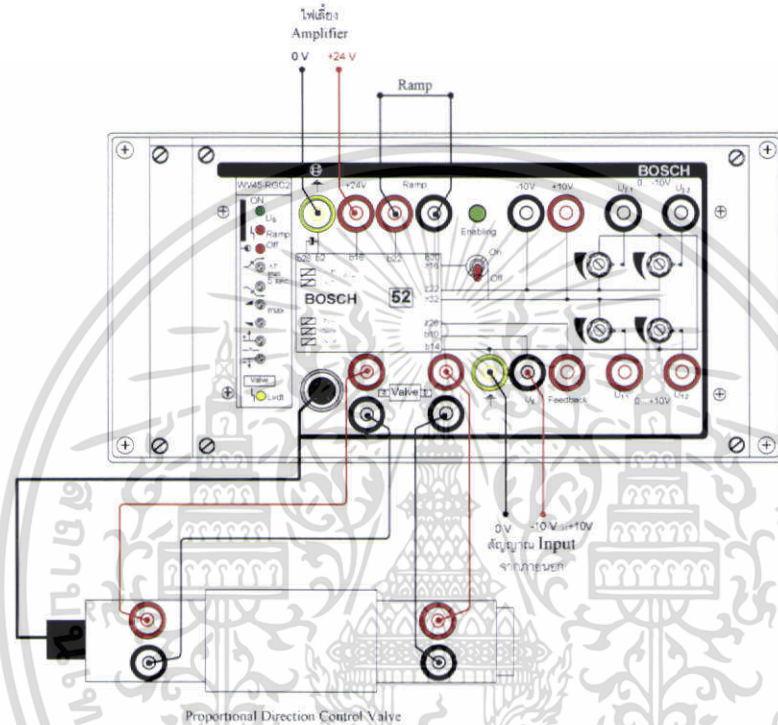
- 1.รับสัญญาณ Input จากภายนอก
- 2.รับสัญญาณ Input จากการสั่งการแบบ Manual (ปรับด้วยมือ)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของ Amplifier ของ BOSCH รุ่น WV45-RGC2

1.1 วิธีการใช้งาน Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากภายนอก

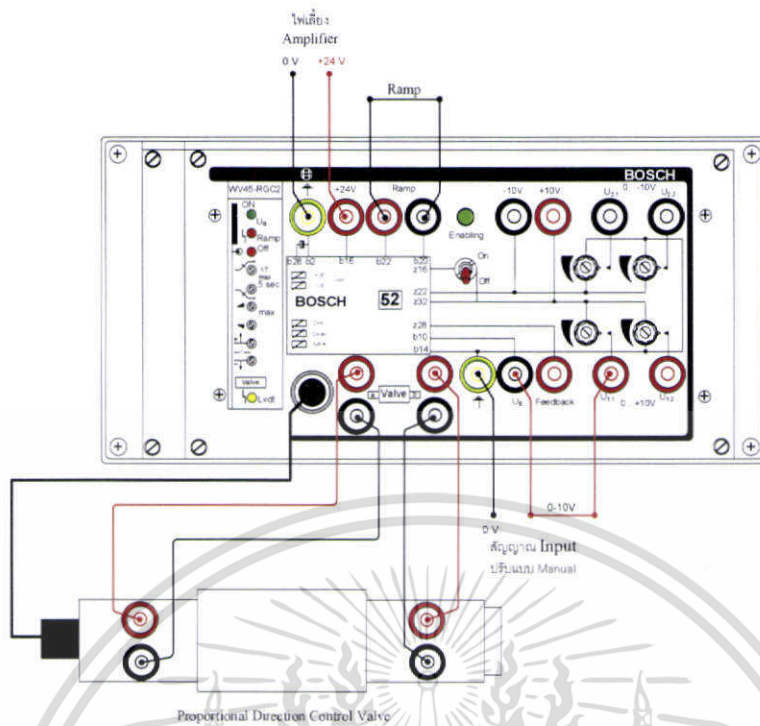
การต่อสายแบบนี้เราสามารถ Input สัญญาณไฟจากแหล่งจ่ายภายนอกได้เช่น คอมพิวเตอร์, Power Supply เป็นต้น ซึ่งวิธีการต่อสามารถทำตามดังรูปที่ 2 โดย Amplifier จะต้องมีไฟเลี้ยง 24 V จากนั้นเมื่อต่อตามรูปที่ 2 ครบแล้วเราจะต้องทำการดันสวิทช์สีแดงที่อยู่บน Amplifier ให้อยู่ในตำแหน่ง on ซึ่งจะมีไฟสีเขียวปรากฏขึ้นที่ Enabling ทันทีที่อยู่บนตำแหน่ง on ซึ่งเราสามารถใช้งาน Amplifier ได้แล้วเมื่อมีไฟปรากฏ



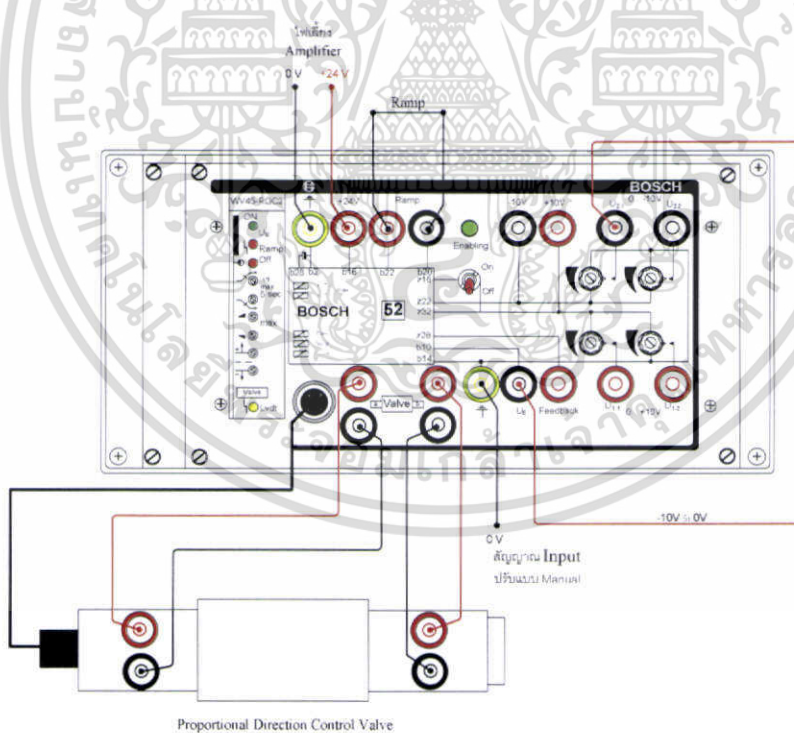
รูปที่ 2 แสดงการต่อ Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากภายนอก

1.2 วิธีการใช้งาน Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากการสั่งการแบบ Manual (ปรับด้วยมือ)

การต่อสายแบบนี้จะต้องมีไฟเลี้ยงเช่นเดียวกัน ลักษณะการต่อก็เป็นลักษณะคล้ายกับหัวข้อที่แล้ว โดยการต่อเราสามารถให้ไฟที่ 0-10 V หรือ -10-0 V ซึ่งลักษณะการต่อสำหรับ 0-10 V แสดงดังรูปที่ 3 และการต่อสำหรับ -10-0 V แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งเมื่อต่อครบก็ต้องทำการเปิดสวิทช์ไปที่ on บน Amplifier ซึ่งวิธีนี้จะทำการต่อได้



รูปที่ 3 แสดงการต่อ Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากการสั่งการแบบ Manual ที่ 0-10 V



รูปที่ 4 แสดงการต่อ Amplifier เมื่อรับสัญญาณ Input จากการสั่งการแบบ Manual ที่ -10-0 V

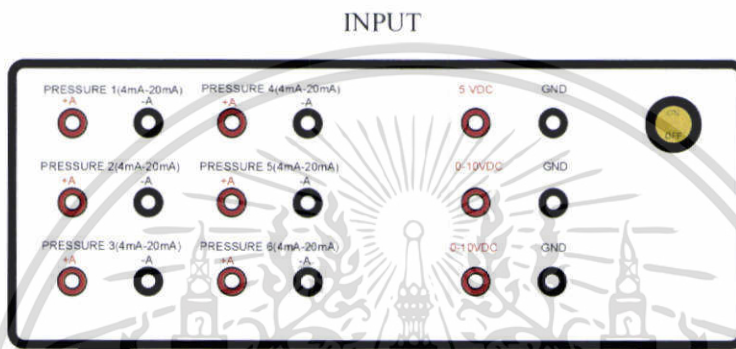
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้กล่องเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้า

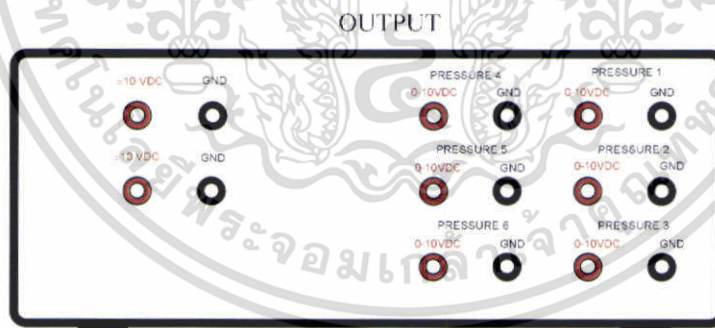
กล่องนี้สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อนำสัญญาณนั้นมาใช้ประโยชน์ ซึ่งกล่องนี้ประกอบด้วย 2 วงจร คือ

- วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าที่ 4 mA-20 mA เป็นความต่างศักย์ที่ 0-10 V เราใช้วงจรนี้สำหรับการเปลี่ยนสัญญาณของ Pressure gauge ซึ่งสามารถต่อได้ทั้งหมด 6 ตัว

- วงจรแปลงความต่างศักย์ที่ 0-10 V เป็นความต่างศักย์ที่ -10 V ถึง 10 V เราใช้วงจรนี้เพื่อส่งสัญญาณไฟ -10 V ถึง 10 V ให้กับ Amplifier โดยสัญญาณที่ออกมาจาก DAQ card จะมีความความต่างศักย์ 0-10 V เราต้องทำการเปลี่ยนเป็น -10 V ถึง 10 V เพื่อนำไปใช้งาน



รูปที่ 5 แสดงลักษณะของกล่องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าด้าน Input

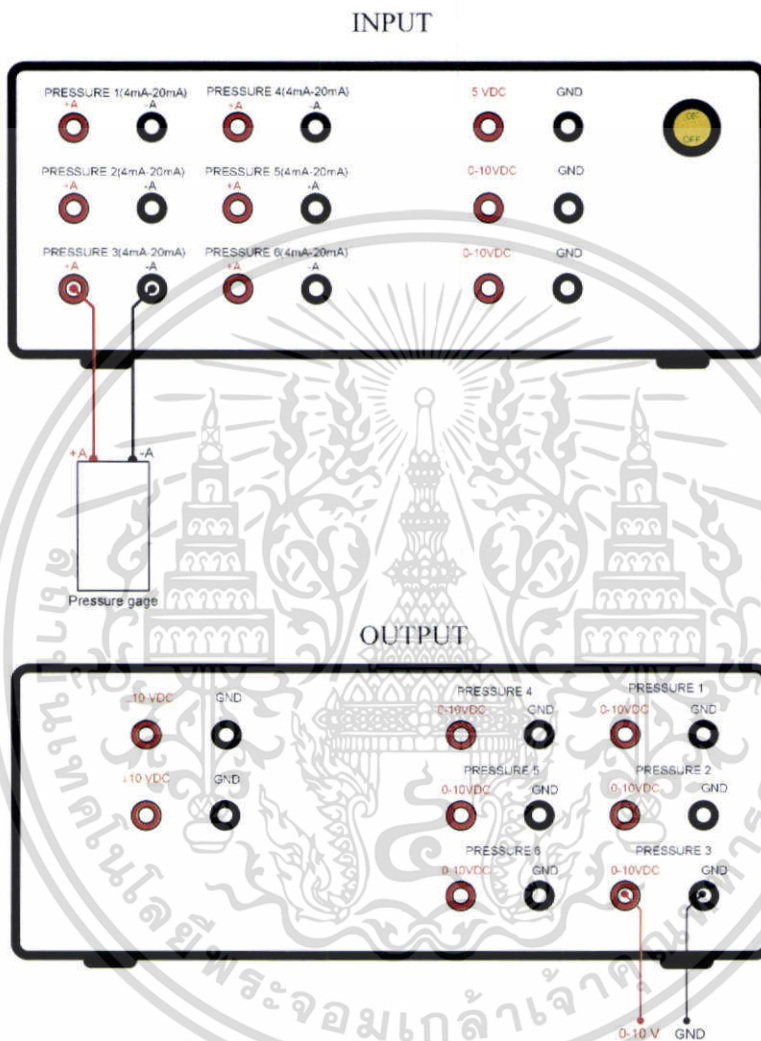


รูปที่ 6 แสดงลักษณะของกล่องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าด้าน Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การใช้งานเพื่อเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (4-20 mA) ที่ออกจาก Pressure gauge เป็นความต่างศักย์ที่ 0-10 V

ทำการต่อสายไฟที่ขั้วของ Pressure gauge โดยเราใช้เพียง 2 ขั้วเท่านั้น นั่นก็คือ ขั้ว +A และ -A โดยนำขั้วทั้งสองต่อเข้าทางด้าน Input ของกล่อง ที่ขั้ว +A และ -A ซึ่งเราสามารถต่อ pressure gauge ได้ถึง 6 ตัวพร้อมกัน ลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 7

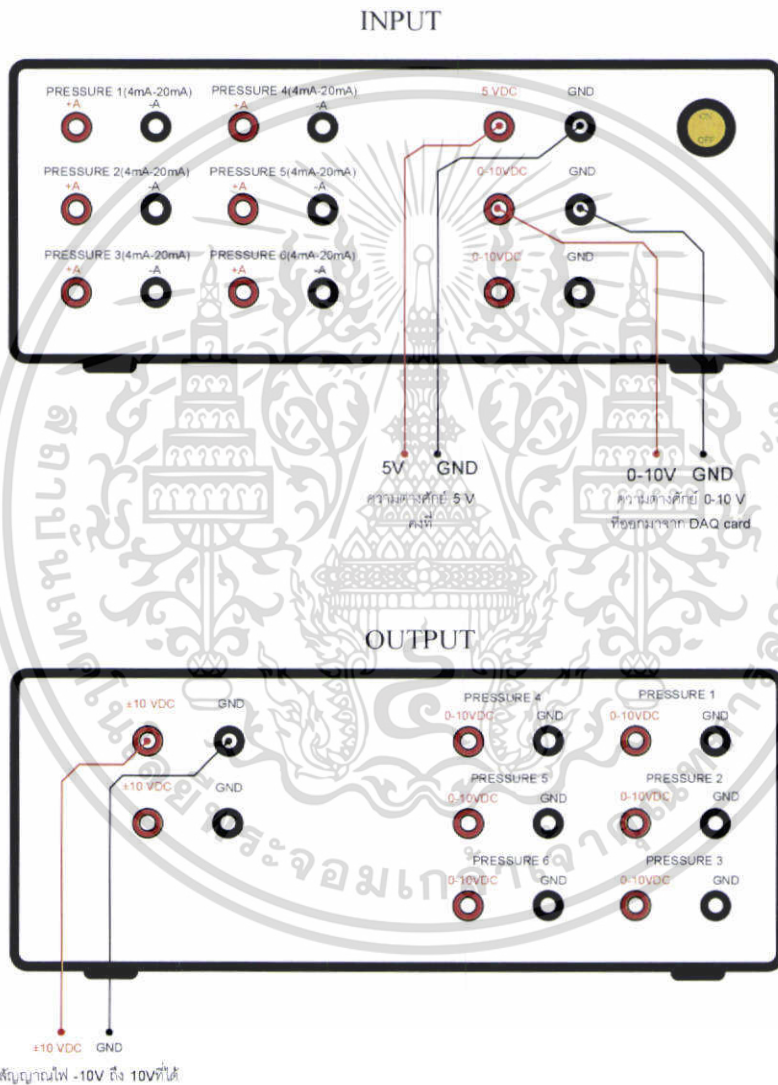


รูปที่ 7 แสดงการต่อ pressure gauge เข้าทางด้าน Input ที่ pressure gauge จะได้สัญญาณไฟฟ้าเป็นโวลต์ออกมาที่ด้าน Output ของ pressure gauge 0-10 V เพื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การใช้งานเพื่อเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ 0-10 V เป็นความต่างศักย์ที่ -10 V ถึง 10 V

การต่อเพื่อเปลี่ยนความต่างศักย์นี้ เราจะต้องใช้ความต่างศักย์ 5 V คงที่ ที่ด้าน Input ของกล่องดังรูปที่ 7 จากนั้นทำการต่อความต่างศักย์ที่ออกมาจาก DAQ card ซึ่งมีความต่างศักย์ 0-10 V ทางด้าน Input เช่นกัน และเราจะได้ ความต่างศักย์ที่ทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแล้วทางด้าน Output ซึ่งมีความต่างศักย์ -10 V ถึง 10 V เพื่อส่งต่อไปยัง Amplifier ต่อไป ดังรูปที่ 7 สำหรับกล่องนี้มีวงจรแปลงความต่าง 2 วงจร เพื่อประโยชน์ต่อการใช้งานในอนาคตต่อไป



รูปที่ 8 แสดงการใช้งานของกล่องเพื่อเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ 0-10 V เป็น -10 V ถึง 10 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NG 6

Wegeventile

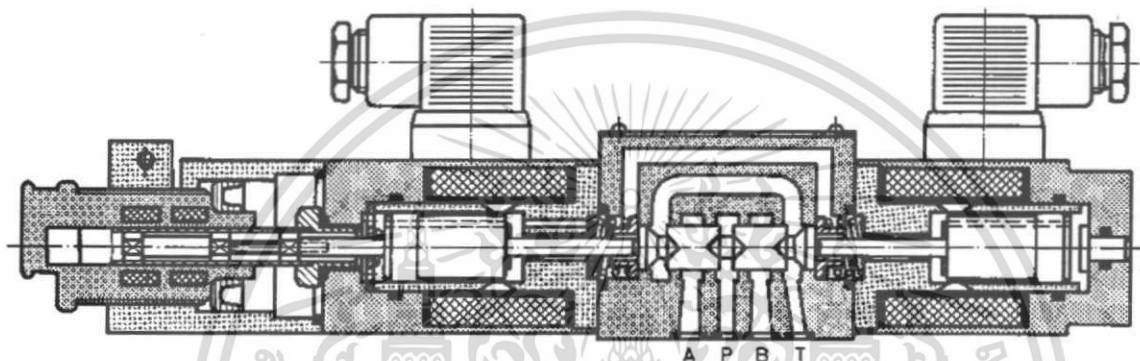
Directional control valves

Distributeurs

③



Funktion
Function
Fonction



mit Lageregelung

with position control

avec régulation de position



Sinnbild Symbol Symbole		Δp [bar]	$Q_{nom.}$ [l/min] Q_A Q_B	$p_{max.}$ [bar]		[kg]	③
 01		5	8 8	P, A, B: 315 T: 250	 2-K 3-K	2,8	0 811 404 101
			16 16				0 811 404 100
			28 28				0 811 404 119
 01 + L		5	5,8 5,8	P, A, B: 315 T: 250	 2-K 3-K	2,8	0 811 404 126
			14 14				0 811 404 120
			28 28				0 811 404 121
(4 x)							2 910 151 166
 7 TE			WV 45 - RGC2		 2-K 3-K		0 811 405 119
			WV 45 - RGC4				0 811 405 137
	Seite Page 266						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Characteristics**General**

Construction	Spool type valve
Actuation	Proportional solenoid with position control
Connection type	Subplate, mounting hole configuration NG 6 (ISO 4401)
Mounting position	optional
Ambient temperature range	-20 ... +50 °C

Hydraulic

Pressure medium	Hydraulic oil as per DIN 51 524 ... 535, other fluids after prior consultation				
Viscosity, recommended	20 ... 100 mm ² /s				
	max. permitted 10 ... 800 mm ² /s				
Pressure medium temperature	-20 ... +80 °C				
Filtration	Permissible contamination class of pressure medium as per NAS 1638			Achieved using filter	
	8			β _x = 75	
	9			X = 10	
	10			20	
In line with operational reliability and service life	10			25	
Flow direction	cf. symbol				
Nominal flow (at Δp = 5 bar) *	5,8	8	14	16	28 l/min (per channel)
Leakage/Metering edge (Δp = 100 bar)	 A → T = 80 cm ³ /min B → T = 80 cm ³ /min				
Leakage drain (Δp = 5 bar)	 A → T = 0.8 ... 1.6 l/min B → T = 0.8 ... 1.6 l/min				
Max. working pressure	Ports P, A, B: 315 bar				
	Port T: 250 bar				

Electrical

Cyclic duration factor	100%
Degree of protection	IP 65 as per DIN 40 050 and IEC 14 434/5
Solenoid connector	Connector DIN 43 650/ISO 4400
Position transducer connector	Special connector
Solenoid current	max. 2.7 A
Coil resistance R ₂₀	3 Ω
Max. power consumption at 100% load and operational temperature	40 VA max

Static/Dynamic

Hysteresis	0.3%
Range of inversion	0.2%
Manufacturing tolerance	5%
Response time 100% signal change	30 ms
	10% signal change

All characteristic values in connection with proportional amplifier: WV 45 - RGC 2

*** Nominal flow**

This is always based on a pressure differential of Δp = 5 bar at the throttle point.

Where other pressure differentials are involved, flow is calculated according to the following formula:

$$Q_x = Q_{nom.} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_x}{5}}$$

However, the **operating limits** must be borne in mind here.

When the operating limits are exceeded, the ensuing flow forces lead to uncontrollable spool movements.

To achieve effective limitation of Δp, use is made of **pressure compensators**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kennlinien

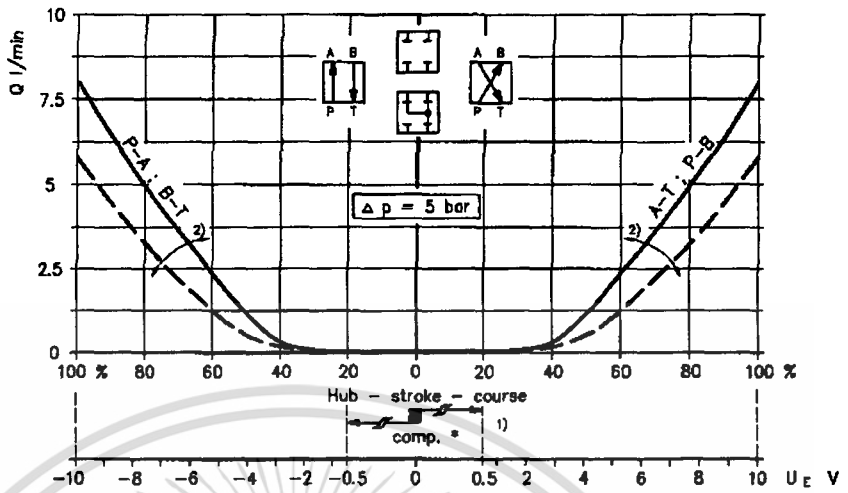
Performance curves

Courbes caractéristiques

$v = 35 \text{ mm}^2/\text{s}$

$Q_{nom.} = 5,8/8 \text{ l/min}$

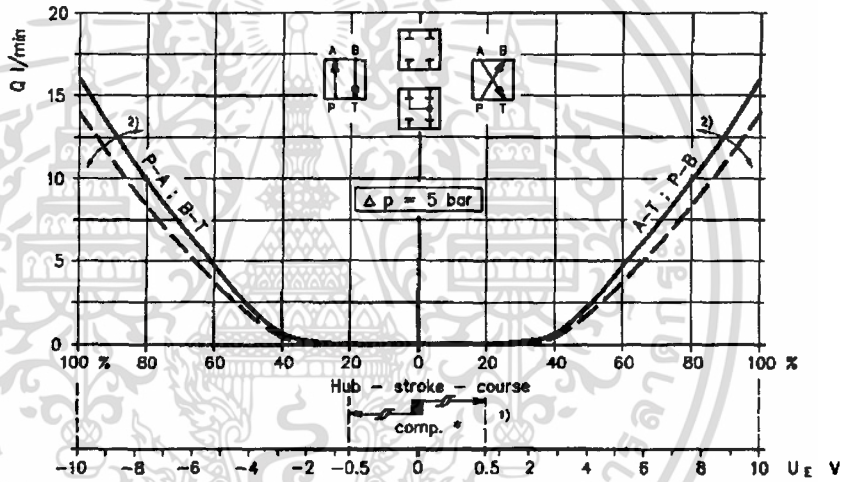
Symb. 01 und/and/et 01 + L



— $Q_N = 8 \text{ l/min}$
 - - - $Q_N = 5,8 \text{ l/min}$

$Q_{nom.} = 14/16 \text{ l/min}$

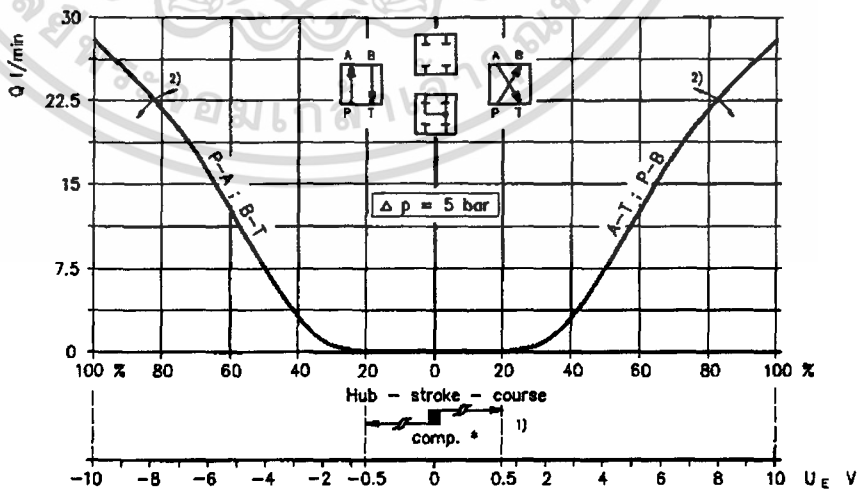
Symb. 01 und/and/et 01 + L



— $Q_N = 16 \text{ l/min}$
 - - - $Q_N = 14 \text{ l/min}$

$Q_{nom.} = 28 \text{ l/min}$

Symb. 01 und/and/et 01 + L



Ventilverstärker

1) Nullpunkt-Justierung → ±0,5 V

2) Empfindlichkeits-Justierung

Valve amplifier

1) Zero adjustment → ±0.5 V

2) Gain adjustment

Amplificateur de valve

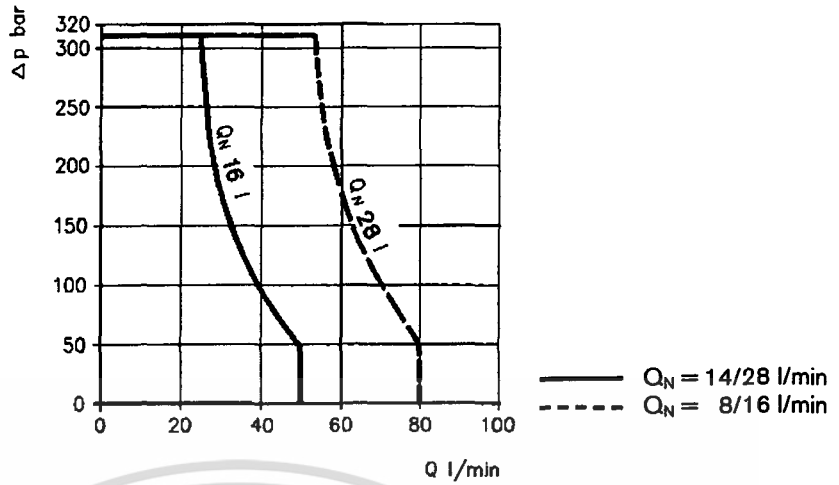
1) Tarage du zéro → ±0,5 V

2) Tarage du gain

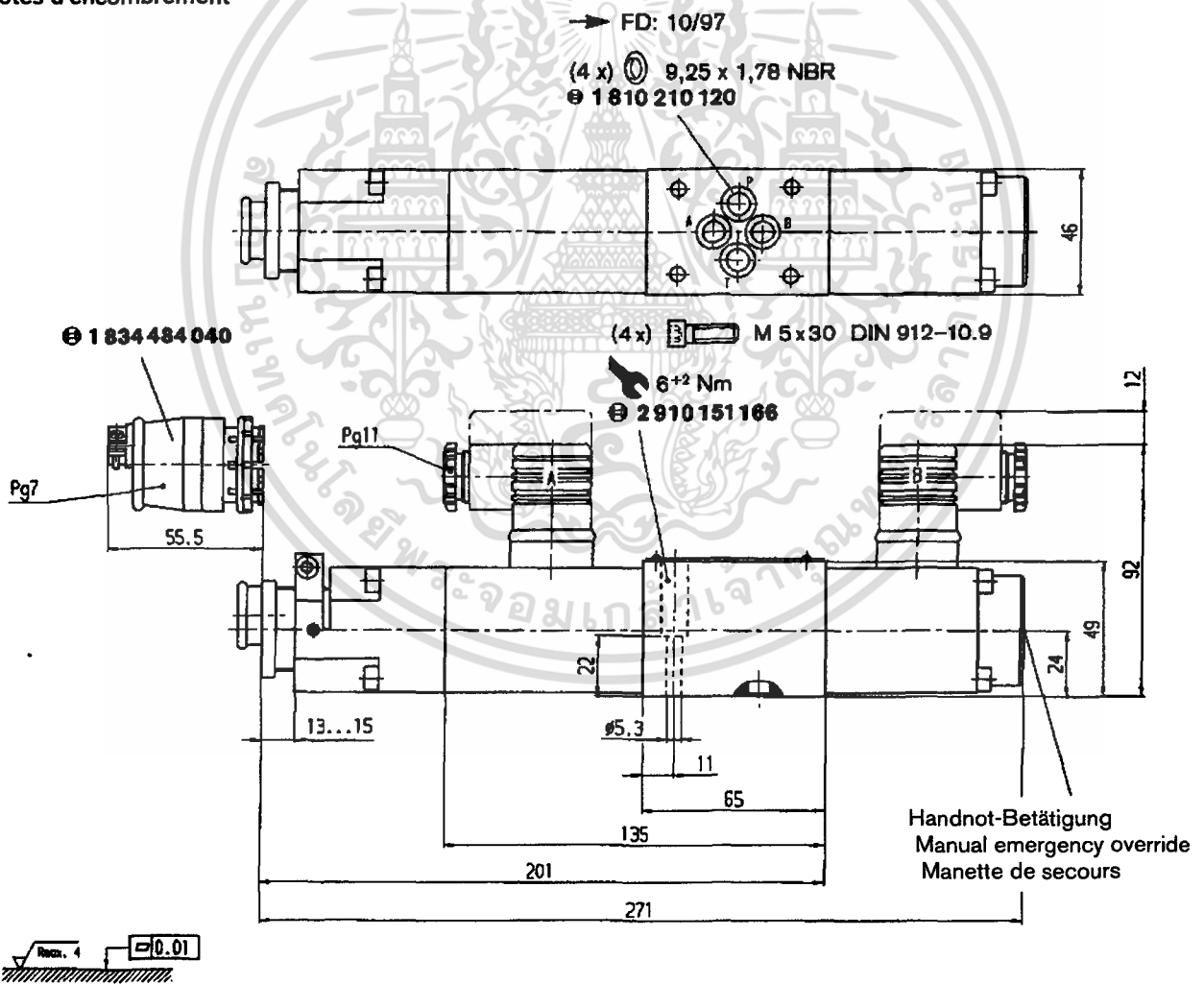
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นคู่มือที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Einsatzgrenzen
Operating limits
Limites d'utilisation



Abmessungen
Dimensions
Cotes d'encombrement



Abmessungen des Anschlusslochbildes NG 6 ISO 4401 siehe Seite 212

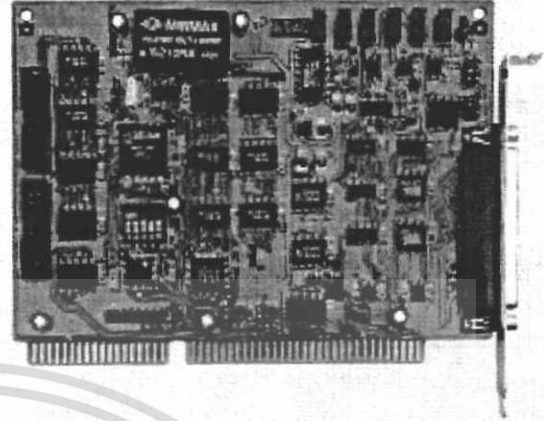
Dimensions of mounting hole configuration NG 6 ISO 4401 see page 212

Cotes du plan de pose NG 6 ISO 4401 voir page 212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- 16-bit high resolution
- 8 differential or 16 single-ended analog inputs
- Programmable gains of 1,2,4,8
- Up to 100 KHz sample rate through DMA operation
- Two channel 12-bit analog output
- 16 TTL compatible digital inputs and outputs
- A/D trigger modes: software, timer pacer, external trigger
- Internal programmable timer pacer on-board
- Rugged DB-37 connector



Specifications

Analog Input (A/D)

- Converter: AD7805 or equivalent
- Resolution: 16-bit
- Number of channels: 16 single-ended or 8 differential
- Input range: (programmable)
Bipolar: $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2.5V$, $\pm 1.25V$
- Conversion time: 8 μ sec
- AD Data throughput:
 - 100 K Hz max. for one channel
- Over-voltage protection: Continuous $\pm 35V$ maximum
- System accuracy: 0.003% of FSR ± 1 LSB
- Input impedance: >10 M Ω
- Common mode rejection: 80 dB (Gain = 1, differential input)
- Coding: sign + magnitude (binary)
- Trigger mode: Software, Pacer and External trigger
- Data transfer: Polling, Interrupt, and DMA

Analog Output (D/A)

- Converter: DAC7541 or equivalent, monolithic multiplying
- Resolution: 12-bit
- Number of channels: 2 double-buffered analog outputs
- Analog output range: (unipolar)
 - Internal reference: 0-5V or 0-10V
 - External reference: +10V max
- Setting time: 30 μ sec

- Linearity: $\pm 1/2$ bits LSB
- Output drive capability: $\pm 5mA$ max.

Digital Input & Output (DIO)

- Number of channels: 16 DI channels and 16 DO channels
- I/O characteristics: TTL compatible

Programmable Counter

- Device: 82C54
- A/D pacer: 32-bit timer (two 16-bit counters cascaded together) with a 2 MHz time base
- Counter: One 16-bit counter with a 2 MHz time base

General Specifications

- Interrupt IRQ: 3,5,6,7,9,10,11,12,15
- DMA channel: CH1 and CH3
- Connector: DB-37 female connector
- Operating temperature: 0° ~ 55°C
- Storage temperature: -20° ~ 80°C
- Humidity: 5-95%, non-condensing
- Power requirement:
 - +5V @ 420 mA typical
 - +12V @ 240 mA typical
- Dimension: 163 mm x 123 mm

Termination Boards

- ACLD-8125
- ACLD-9137
- ACLD-9182A
- ACLD-9188
- DIN-20P
- ACLD-9138
- DIN-37D
- ACLD-9185
- ACLD-9178

Ordering Information

ACL-8216

16 bit High Resolution Multi-function DAS Card

Pin Assignments for the DB-37 Connector

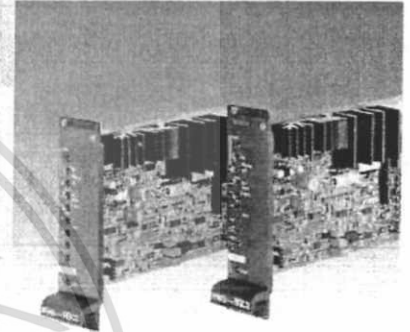
AI0(H0) (1)	○	(20) AI8(L0)
AI1(H1) (2)	○	(21) AI9(L1)
AI2(H2) (3)	○	(22) AI10(L2)
AI3(H3) (4)	○	(23) AI11(L3)
AI4(H4) (5)	○	(24) AI12(L4)
AI5(H5) (6)	○	(25) AI13(L5)
AI6(H6) (7)	○	(26) AI14(L6)
AI7(H7) (8)	○	(27) AI15(L7)
A.GND (9)	○	(28) A.GND
A.GND (10)	○	(29) A.GND
V.ref (11)	○	(30) DA1
ExtRef1 (12)	○	(31) ExtRef2
+12V out (13)	○	(32) DA2
A.GND (14)	○	(33) GATE0
D.GND (15)	○	(34) GATE
COUT0 (16)	○	(35) N/C
ExtTrg (17)	○	(36) N/C
N/C (18)	○	(37) ExtCLK
+5V out (19)	○	

Electric amplifiers

RA 30048/11.02

1/6

Model VT-VRPA2



Series 1X

Table of contents

Contents
Features
Ordering data
Preferred types
Front panel
Block diagram
Technical data
Additional information
Device dimensions

Features

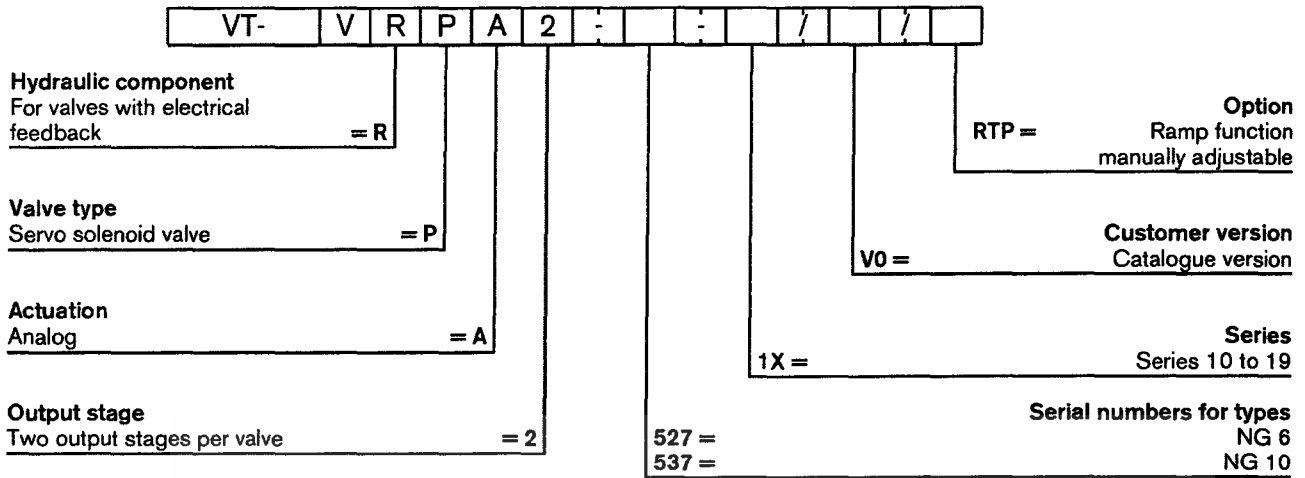
Page	
1	- Suitable for actuating directly operated servo solenoid valves (type 4WRP, series 1X)
2	- Analog amplifiers in Eurocard format for installation in 19" rack
2	- Ramp generator can be deactivated
2	- Deadband compensation
3	- Output stage with closed-loop control
4	- Enabling input
5	- Inputs and outputs (partially) short-circuit-proof
6	- External ramp deactivation
	- Adjustment possibilities
	• Valve zero
	• Sensitivity
	• Ramp times
	- Open-circuit detection for feedback signal cable
	- Closed-loop position control with PID action

Testing and service equipment

- Test box type VT-PE-TB1, see RE 30 063
- Test adapter type VT-PA-3, see RE 30 070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

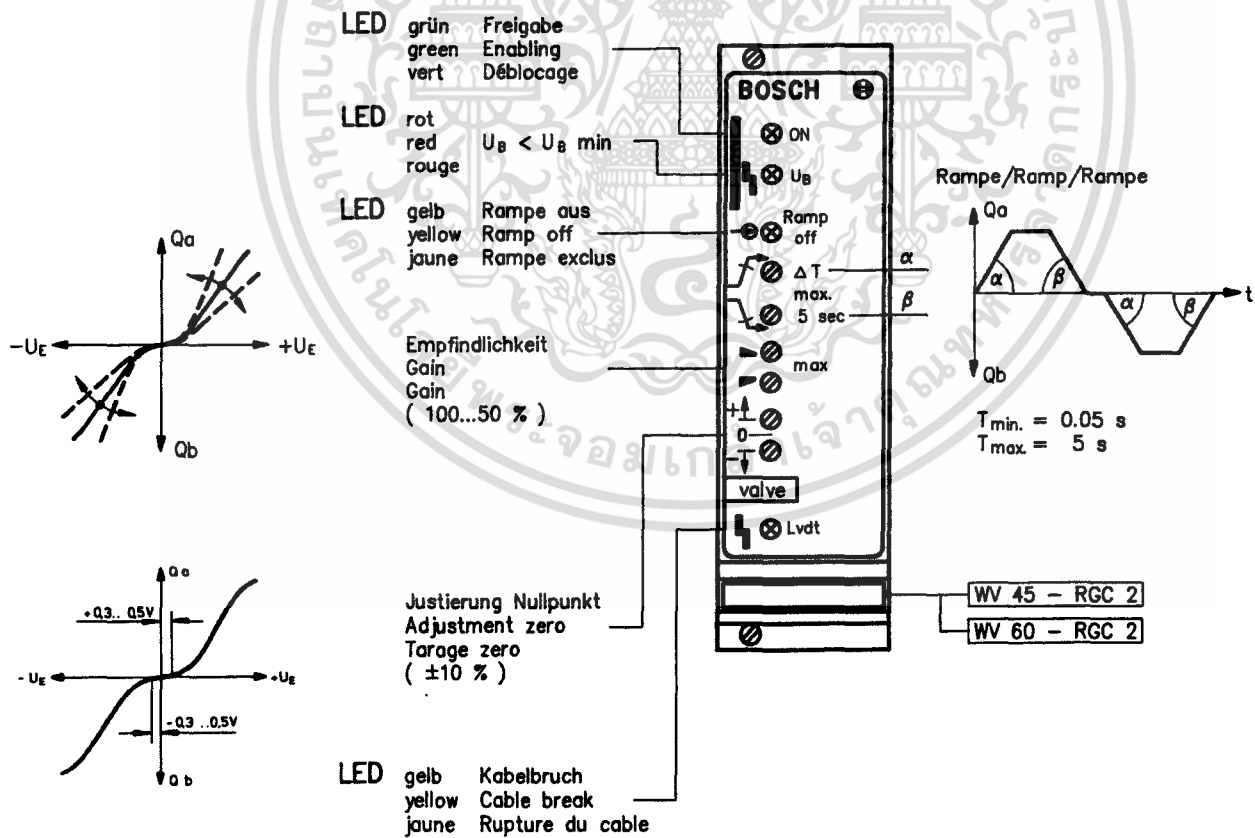
Ordering data and scope of delivery



Standard types

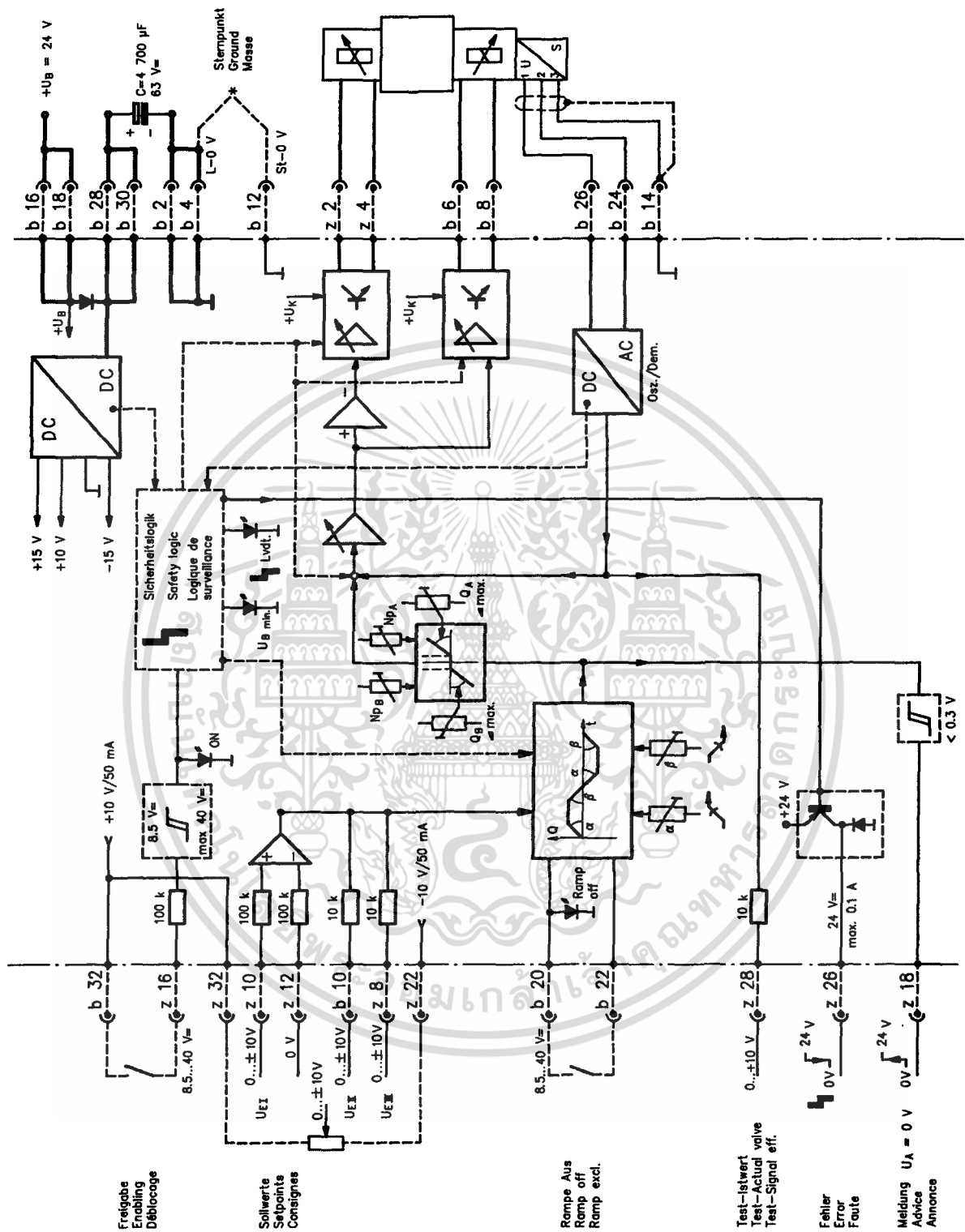
Material no.	Type VT-VRPA2	For valve types
0 811 405 119	VT-VRPA2-527-10/V0/RTP	4WRP 6 ...1X
0 811 405 120	VT-VRPA2-537-10/V0/RTP	4WRP 10 ...1X

Front panel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block diagram with terminal assignment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical data (For device applications beyond the stated values, please consult us!)

P.C.B. format	100 x 160 x approx. 35 mm (3.94 x 6.30 x approx. 1.38 in) (W x L x H) Europe format with front panel (7 modular spacings)	
Plug connector	DIN 41 612 – F 32	
Ambient temperature	0 °C (32°F)...+70 °C (158°F), storage temp. min. -20 °C (-4°F); max. +70 °C (158°F)	
Weight <i>m</i>	0.25 kg (0.55 lbs)	
Power supply U_B to b 16/b 18 and b 2/b 4	24 V DC nominal, Battery voltage 21...40 V, Rectified AC voltage $U_{eff} = 21...28$ V (single-phase, full-wave rectification)	
Smoothing capacitor, separately to b 28/b 30 – b 2/b 4	4,700 µF/63 V DC, only required if U_B ripple >10 %	
Valve solenoid A/VA max.	2.7/25 (NG 6)	3.7/50 (NG 10)
Current rating	1.5 A	2.5 A
	The current rating can rise at min. U_B and long cable length to control solenoid	
Power consumption (typical)	35 W	60 W
Input signal (setpoint)	0 ... ±10 V supply from b 10, z 8, z 10, z 12, z 14/b 14 cumulative ($R = 10$ kΩ)	
Signal source	Potentiometer 1 kΩ, +10 V supply from b 32 (50 mA), -10 V from z 22 (50 mA) or external signal source	
Actual-value feedback	Oscil. b 26	Meas. tap z 28*
0 811 405 119	10.2 V _{eff} / 7.8 kHz	0 ... ±10 V DC
0 811 405 120	10.2 V _{eff} / 7.8 kHz	0 ... ±10 V DC
Output stage enable	To z 16, $U = 8.5 ... 40$ V, $R = 100$ kΩ, LED (green) on front panel lights up	
Ramp OFF	To b 20, $U = 8.5 ... 40$ V	
Solenoid output	Output stage to solenoid Signal to position sensor Potentiometer power supply	
Length of amplifier to valve cables	Solenoid cable: up to 20 m (65 ft) 1.5 mm ² (6.95 SUS) 20 to 50 m (65 to 164 ft) 2.5 mm ² (11.59 SUS) Position transducer: max. 50 m (164 ft) at 100 pF/m Supply and capacitor 1.5 mm ² (6.95 SUS)	
Special features	Open-circuit protection for feedback signal cable Closed-loop position control with PID action Clacked output stage Rapid energizing and de-energizing for fast response times Ramps with quadrant recognition Deadband compensation in valve centre position Ramps can be deactivated	
Adjustment via trimming potentiometer	1. Zero N_{PA} and N_{PB} 2. Sensitivity Q_A and Q_B 3. Ramps for acceleration and deceleration $t = 0.05 ... 5$ s	
LED displays	Green: Enable ON Red: $U_B < U_{Bmin}$ (approx. 21 V) Yellow: Ramp OFF Yellow: Feedback signal open circuit	
Fault signal	z 22: Open collector output to + U_K max. 100 mA; no fault: + U_K	
- Feedback signal open circuit		
- U_B too low		
- ±15 V stabilization		

Note

Connect power zero b 2 and control zero b 12 separately to central ground (neutral point).

* Values for potentiometer in end position (cw) and for "zero potentiometer" in centre position.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Additional information

Information for using ramps

Ramp ON if b 20 is open.

Ramp OFF if b 20 is linked to b 22 or $U = 8.5 \dots 40 \text{ V}$ at b 20.

Ramp OFF, Enable OFF or Open circuit interrupts a ramp in

progress. There is an abrupt transition to the final signal value.

Quadrant recognition A

Travel through the centre position leaves the direction of motion of the valve spool unchanged but not that of the cylinder. In order to ensure that the acceleration

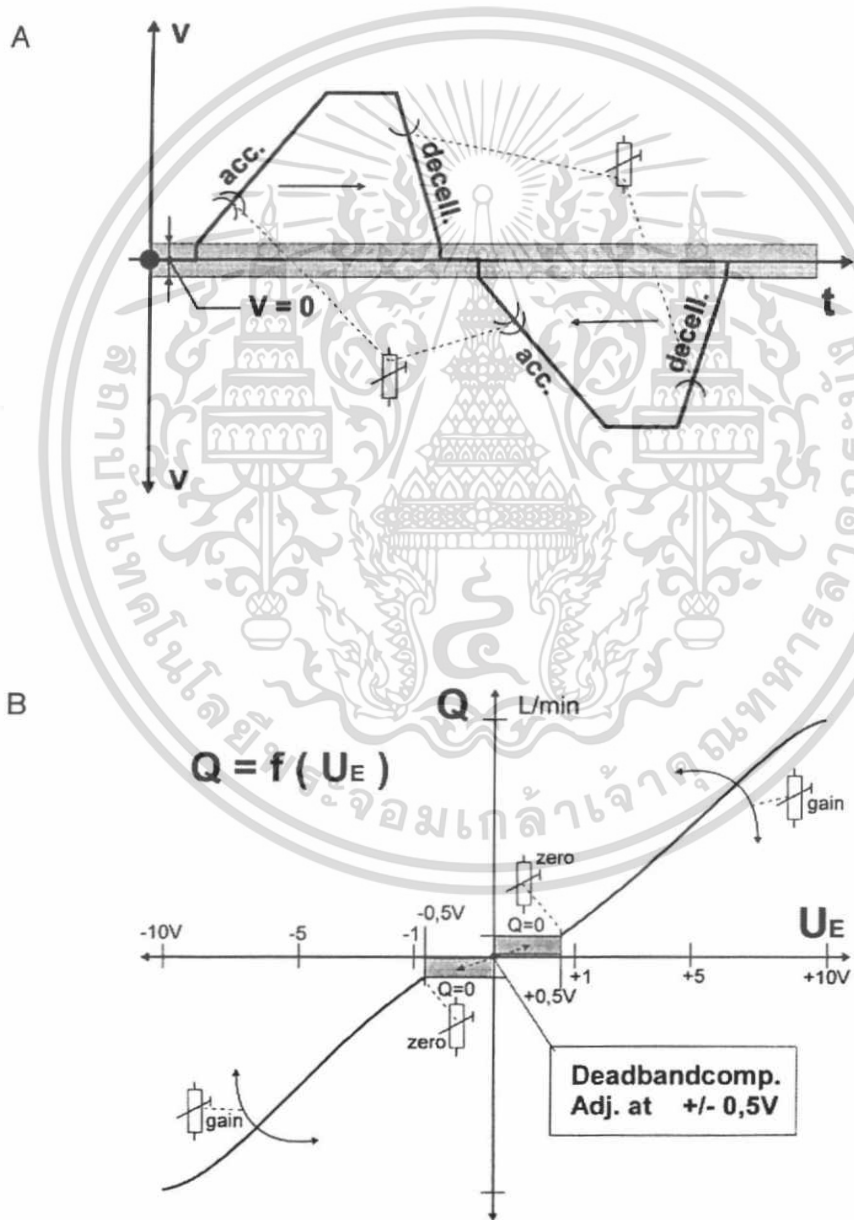
values for both directions of motion remain the same when the valve crosses from one quadrant to another, the ramp is switched over by the process of quadrant recognition.

Deadband compensation in valve centre position B

The positive overlap of $\pm 20 \%$ of the spool stroke is by-passed by means of an electronic compensation circuit in the $\pm 15 \%$ range of the spool stroke.

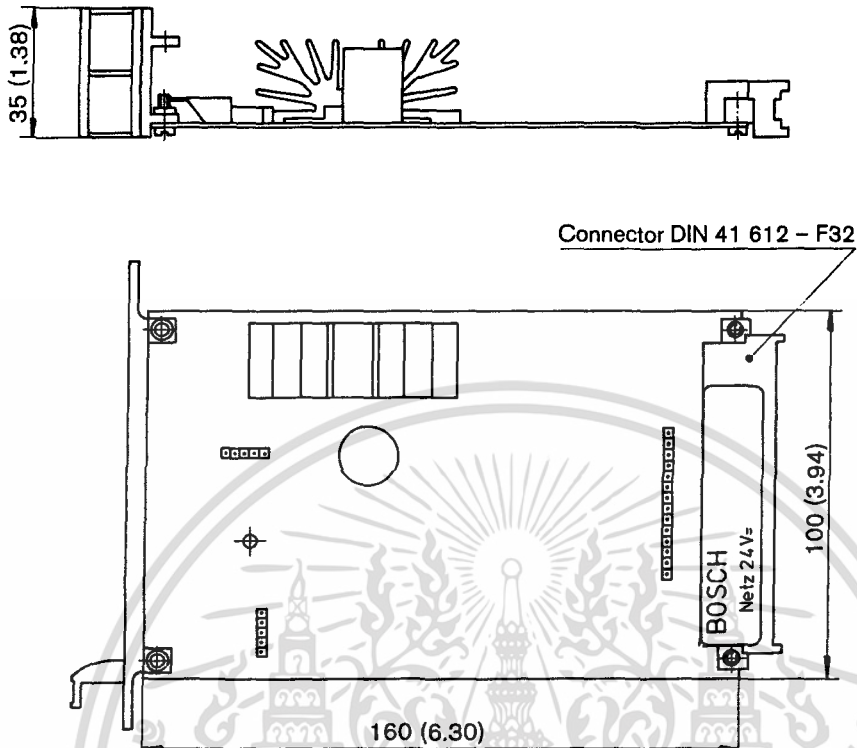
Zero compensation

A low setpoint ($U_E = 0.3 \dots 0.5 \text{ V}$) must be entered for zero compensation, in order to ensure exit from the deadband.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Device dimensions – in mm (inches)



Bosch Rexroth Corp.
 Industrial Hydraulics
 2315 City Line Road
 Bethlehem, PA 18017-2131
 USA
 Telephone (610) 684-8300
 Facsimile (610) 694-8467
 www.boschrexroth-us.com

© 2004 Bosch Rexroth Corporation

All rights reserved. Neither this document nor any part of it may be reproduced, duplicated, circulated or disseminated, whether by copy, electronic format or any other means, without the prior consent and authorization of Bosch Rexroth Corporation.

The data and illustrations in this brochure/data sheet are intended only to describe or depict the products. No representation or warranty, either express or implied, relating to merchantability or fitness for intended use, is given or intended by virtue of the information contained in this brochure/data sheet. The information contained in this brochure/data sheet in no way relieves the user of its obligation to insure the proper use of the products for a specific use or application. All products contained in this brochure/data sheet are subject to normal wear and tear from usage.

Subject to change.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E910 Pressure Transmitter

Measurement of vacuum, absolute or gauge pressure

TRANSBAR® ceramic technology

Zero adjustment as standard ($\pm 10\%$ of range)

Welded construction – reinforced product

Modularity of electrical and hydraulic connections

Conforms to European EMC Directive, CE marked

Highly resistant to severe process conditions
($\geq 10^7$ pressure cycles)

Many approval (Bureau Veritas Marine, LLOYD's Register...)

All stainless steel transmitter



E910 with IP68 option

Stainless steel transmitters intended for extremely diverse industrial applications: control of fluid flow, incorporation into equipment, continuous monitoring of fluid pressure, etc.

Based on TRANSBAR® ceramic technology, these transmitters are compatible with the majority of process fluids.

Technical data (20°C)

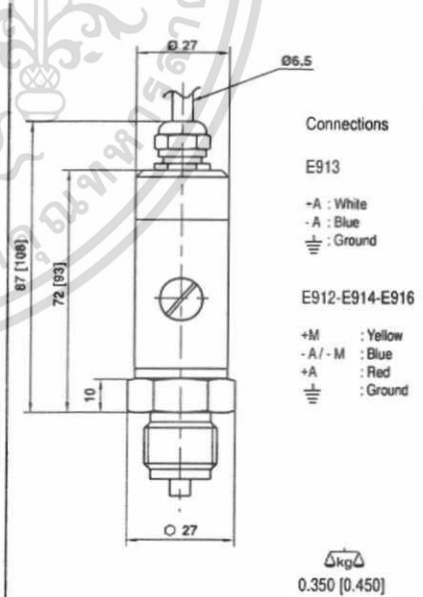
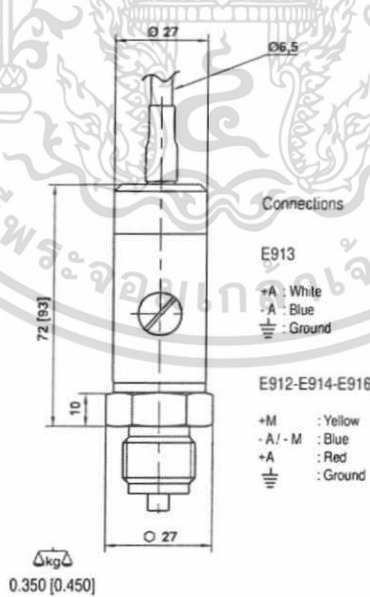
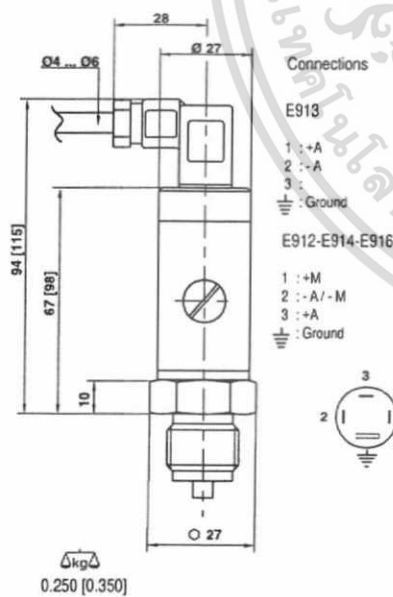
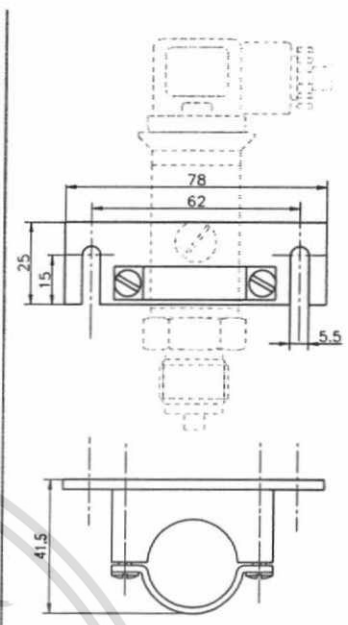
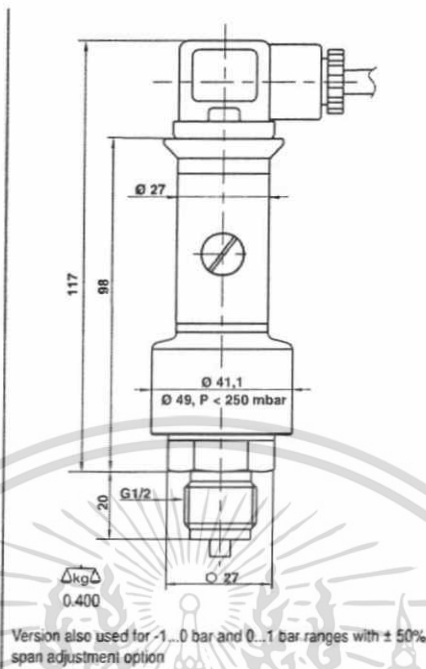
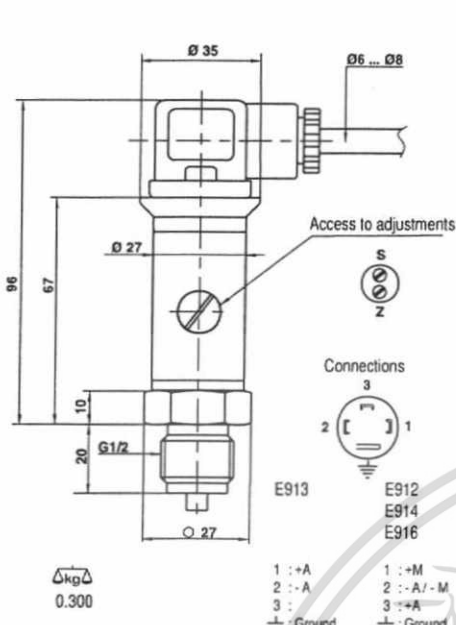
Measurement range	From 0...25 mbar to 0...600 bar Compound, gauge or absolute pressure	Operating temperature	Ambient (Ta) -25...+85°C Option Low T [*] : -40...+85°C. High T [*] : -25...+100°C
Output signal	E912 : 0...10 Vdc. (except -1...0 bar where -1 = 20 mA, 0 = 4 mA) E914 : 1...5 Vdc. E913 : 4...20 mA E916 : 0...20 mA	Fluid	-25...+100°C (Ta \leq 50°C)
Supply voltage	E912 : 14...40 Vdc E913-E914 : 11...40 Vdc E916 : 8...40 Vdc	Storage temperature	-40...+85°C
Option	High voltage up to 48 Vdc Low voltage: 8...32 Vdc (E913, E914)	Compensated temperature range (zero and sensitivity)	-10...+55°C. Option : -10...+70°C
Insulation	> 100 M Ω at 250 Vdc. Option: 500 Vdc.	Zero thermal drift	$\pm 0.025\%$ F.S./°C max. (except P \leq 1 bar: $\pm 0.06\%$ F.S./°C) Option: $\pm 0.015\%$ F.S./°C max. (except P \leq 1 bar: $\pm 0.025\%$ F.S./°C)
Maximum input current	E912-E914 : 6 mA E916 : < 25 mA	Span thermal drift	Typically : $\pm 0.01\%$ / °C / Max.: $\pm 0.015\%$ / °C
Load impedance (+M / -M)	E912 : ≥ 2.5 k Ω E913 : $R_{L1} \leq (U_{supply} - 11) / 0.02$ E913 : $R_{L2} \leq (U_{supply} - 8) / 0.02$ (low voltage option) E916 : $R_{L1} \leq (U_{supply} - 6) / 0.02$	Wetted parts	Ceramic + stainless steel 1.4404 (316L) + NBR seal (standard) for ranges \geq 250 mbar and Viton® for ranges < 250 mbar
CE Conformity	EMC Directive 89/336 CE with screened cable, screen connected at both ends PED pressure Directive 97/23/CE.	Standard connections	Electrical : DIN 43650 connector Pressure : G1/2 Many options available
Global error (linearity, hysteresis and repeatability) by reference to BFSL	Typically: $\pm 0.2\%$ of F.S. / Max.: $\pm 0.3\%$ of F.S. For P \leq 60 mbar and P = 600 bar: Typically: $\pm 0.6\%$ of F.S. / Max.: $\pm 1\%$ of F.S.	Protection rating (EN 60529)	Standard : IP65 (DIN connector) Option : IP67 or IP68 (depending on connection)
		Typical response time	≤ 3 ms
		Vibration resistance (IEC 68-2-6)	1.5 mm (10-55 Hz), 20 g (55 Hz to 2 kHz)
		Shock resistance (IEC 68-2-32)	25 falls from 1 m on concrete ground

**BOURDON
HAENNI**

made to measure

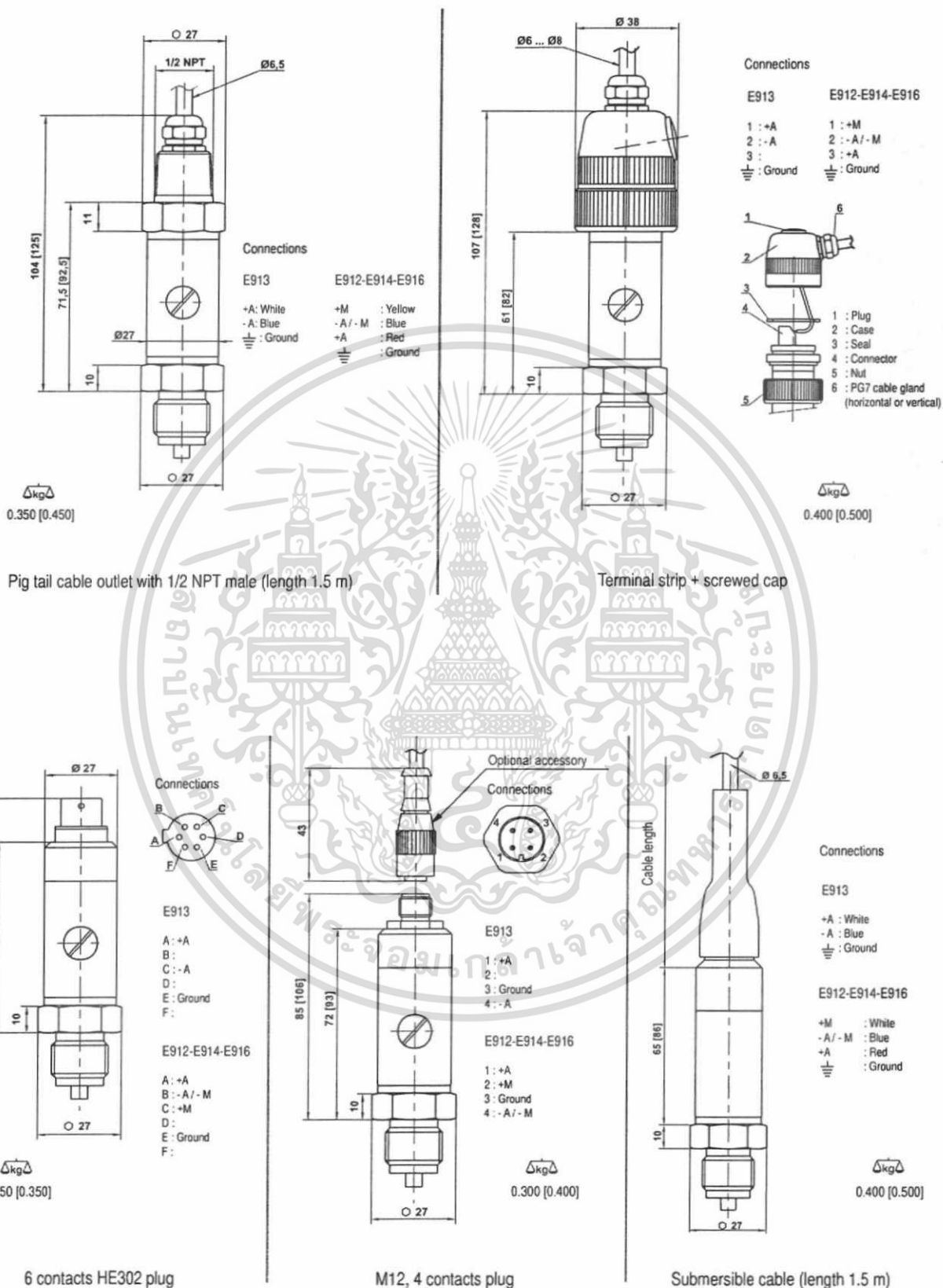
Dimensional Drawings (mm) - Mounting Details

[xx] : dimensions and weight for "P < 1 bar" versions.



Dimensional Drawings (mm) - Mounting Details

[xx] : dimensions and weight for "P < 1 bar" versions.



CE
 Ces transmetteurs ont été développés, fabriqués et contrôlés en accord avec la directive 89/332/CEE et les normes EN50081 et 50082 relatives à la compatibilité électromagnétique ainsi qu'à la directive 97/23/CEE des équipements sous pression selon l'article 3.3 pour les pressions de service PS ≤ 200 bar fluides groupe 1A2 et catégorie 1 pour PS > 200 fluides groupe 1A2.

MARQUAGE
 Les informations suivantes figurent sur le transmetteur:
 Logo Bourdon Haenni
 Le type du transmetteur
 L'échelle de mesure : PS
 Le signal de sortie
 Le raccordement électrique
 La date code de traçabilité et l'année
 La nature du joint si différent du standard NBR
 Le logo CE
 Sur certains modèles l'indication OK pour utilisation sur oxygène selon ISO2503 EM max.320 B
 Sur certains modèles un N° d'identification, et/ou l'IV de PV
 Pour les appareils de catégorie 1 selon la Directive 97/23/CEE
 Le logo de T° admissible.

MONTAGE
 1- La pression et la nature du fluide à mesurer doivent être compatibles avec le transmetteur (risque de destruction et d'explosion). Le fluide doit être compatible avec l'inox 1.4404 (AISI 316L), le céramique AL2O3 et la nature du joint pour les modèles EX31. Le fluide doit être compatible avec les composants du séparateur et du liquide de remplissage pour les modèles EX20-EX30-EX97.
 2- Il est formellement interdit d'installer un transmetteur avec un fluide pur lequel il n'est pas conçu.
 La température de service possible du transmetteur doit être comprise entre -25 et 85°C (-13 et 185°F) dans les modèles à séparateur la température du processus ne doit pas générer au niveau du transmetteur une température supérieure à sa valeur nominale admissible. Pour d'autres valeurs consulter Bourdon Haenni.
 Certains fluides requièrent l'utilisation de transmetteur à Sécurité Intrinsèque. Avant toute mise en service il est indispensable de s'assurer que le fluide à mesurer par le transmetteur n'agit pas à la mise en œuvre de matériel prévu pour atmosphères explosibles. Il est formellement interdit de monter un transmetteur qui ne serait pas de Sécurité Intrinsèque sur ces fluides.

3- Le fluide ne doit pas geler dans le transmetteur. Il ne faut rien introduire de rigide dans l'orifice de prise de pression (risque de destruction de la membrane). Les opérations de montage-démontage doivent se faire hors tension et à pression nulle. Attention, le compresseur d'un liquide lors du montage peut entraîner une explosion.

4- Le montage doit être effectué conformément aux règles de l'art en usage.
 Laisser vieillir les dérivages et montages.
 La position de montage n'influe pas sur la mesure, il est cependant recommandé de protéger le transmetteur de toutes influences d'environnements sévères (polluants, coup de bélier, vibrations, choc, source de chaleur, champ électrique et magnétique, de la boue, de l'humidité et des interférences).
 Transmetteur à raccordement process fluide ou liquide EX31 : L'installation doit s'assurer de l'étanchéité du raccordement. La surface d'étanchéité doit être propre et un joint approprié doit être utilisé (fig. 2). Le serrage au couple (50 Nm max.) doit se faire à l'aide d'un outil de 27mm (1 1/8") sur l'hexagone (G1/2" NPT). Réduire ce couple pour les flanges de dimensions inférieures.
 Transmetteur avec séparateur EX20-EX30-EX97 : L'installation doit s'assurer de l'étanchéité des raccordements en utilisant des moyens de fixation et des joints appropriés et compatibles avec le fluide mesuré. Ne pas modifier ou réviser ni déconnecter la liaison séparateur-transmetteur. Ne pas déconnecter les deux parties d'un séparateur à flasques boulonnés. Ne pas utiliser le transmetteur comme moyen de serrage.

RACCORDÉMENT ÉLECTRIQUE
 Respecter le branchement des conducteurs ou câble selon la figure 1 ainsi que les valeurs de tension et de puissance de charge voir figure 4.
 Lors de la mise en place du câble il faut respecter les points suivants :
 - utiliser un câble blindé et mixer le blindage aux 2 extrémités à la masse (terre) (fig. 4)
 - pour le connecteur DIN43650 (fig. 5), le diamètre du câble doit être de 8 à 10mm (0.24 à 0.32) et la section des fils < 1.5mm² (AWG 16). Le joint (1) doit être joint. La vis (8) et l'écrou (7) doivent être bien serrés (fig. 5).
 - former une boucle de Ø10 cm (4") pour éviter le rattachement vers le transmetteur (fig. 3).
 - ne pas exposer le transmetteur à l'humidité sans son connecteur.
 - l'extrémité du câble assure la respiration du transmetteur (mise à la pression atmosphérique pour les transmetteurs de pression relative P < 25 bar). Elle doit être protégée de l'humidité.
 La tension d'alimentation doit être conforme aux valeurs portées sur l'équipement. Les entrées / sorties sont isolées électriquement de la masse métallique, la tension entre masse et fil doit être inférieure à 75Vdc (50Vac).

DÉMONTAGE ET MAINTENANCE
 Ces opérations doivent être effectuées par un personnel qualifié.
 Avant tout démontage s'assurer que le transmetteur n'est pas alimenté électriquement, que le circuit hydraulique n'est plus sous pression et que la température ambiante permet un démontage sans brûlures. Protéger l'embout de pression contre les chocs et ceci plus particulièrement pour les modèles à membrane.
 Dans le cas d'une ré-calibration ou contrôle, il est indispensable de vérifier si l'équipement a une utilisation sur circuit d'origine. Dans ce cas, ces opérations doivent être effectuées par un personnel prévenu, qualifié et disposant de moyens techniques appropriés.
 Ne pas remonter le transmetteur sur des fluides de nature différente (risque de réaction chimique voire d'explosion).
 Remontage/Réassembler les mêmes règles que celles préconisées lors du montage initial.
 Utiliser un joint neuf (fig. 2).

MISE EN SERVICE ET PROCÉDURE DE CALIBRATION
 Tous les réglages ont été effectués en usine, toutefois il est possible d'ajuster le zéro de ±10% de l'EM (gain en option pour les modèles 4/20 mA) Voir figure 1.
 Cette opération ne doit pas être faite si le transmetteur est soumis à des températures extrêmes, ceci pour éviter des brûlures.
 -déresser la vis d'accès -à pression nulle régler le potentiomètre de zéro Z à pression nominale régler le potentiomètre de sensibilité S (option ±10% ou ±15% de l'EM).

CE
 These transmitters have been developed, manufactured and checked in accordance with the directive 89/332/CEE, Standards EN50081 and 50082 relating to electromagnetic compatibility and in accordance with the directive 97/23/CEE for pressurized equipment according to article 3.3 for service pressures PS ≤ 200 bar fluids group 1A2 and category 1 for PS > 200 fluids group 1A2.

MARQUING
 The following information will appear on the transmitter:
 The Bourdon Haenni logo.
 The transmitter type.
 The range of PS measurement.
 The output signal.
 The electrical connection.
 The date, traceability code and year.
 The kind of gasket if different from the NBR standard.
 The CE logo.
 On some models, the indication OK for use on oxygen according to ISO2503 EM max.320 B.
 On some models, an identification number and/or a PV number.
 For equipment of category 1, according to Directive 97/23/CEE.
 The permissible temperature range.

MOUNTING
 1- The pressure and characteristics of the fluid to be measured must be compatible with the transmitter (to eliminate all risk of damage or explosion). The fluid must be compatible with 1.4404 stainless steel (AISI 316L), AL2O3 ceramic material and the type of gasket for EX31 models.
 The fluid must be compatible with the components of the separator and the filling fluid for EX20-EX30-EX97 models.
 2- The use of a transmitter with a fluid which it has not been designed is strictly prohibited.
 The operating temperature must be between -25° and 85°C (-13° and 185°F) in the case of separator models, the temperature of the process must not give rise to a temperature in the transmitter higher than the allowed maximum. For other values, see Bourdon Haenni.
 With certain fluids it is necessary to use an Intrinsically Safe transmitter. Before putting any equipment into service, it is essential to make sure that the fluid to be measured by the transmitter does not require the use of equipment designed for explosive atmospheres. The use of anything other than an Intrinsically Safe transmitter for these fluids is strictly prohibited.

3- The fluid must not freeze inside the transmitter. Nothing rigid must be allowed to enter the pressure port opening as it may destroy the diaphragm. The mounting/dismounting operations must be carried out with the power switched off and at zero pressure. Note, when the liquid is compressed during mounting, it may result in overpressure.

4- Mounting must be carried out in compliance with current regulations.
 Leave all labels and markings visible.
 The mounting position does not affect the measurement, it is nevertheless recommended to place the transmitter away from all severe environmental conditions (pollutants, hammer-blow or pipe vibrations, salt sources of heat, electrical and magnetic fields, lightning, humidity and atmospheric influences).
 The EX31 required process connection (separator):
 The operator must ensure that the operation is correct. The sealing surface must be clean and an appropriate gasket used (figure 2). Use a 27 size (1 1/8") wrench to fit the hexagon (G1/2" NPT) to tighten to the appropriate torque (50 Nm maximum). Reduce this torque for smaller brackets.
 EX20, EX30, EX97 transmitters with separator:
 The operator must ensure the connections are correct, by using the correct thread separator or gaskets and are compatible with the fluid measured.
 Do not modify, interfere with, or separate, the link between the transmitter and the separator.
 Do not separate the two parts of a separator with bolted flanges.
 Do not use the transmitter as a means to achieve the connection.

ELECTRICAL CONNECTION
 Connect the leaded and cables as shown in figure 1 and comply with the voltage and power ratings. See figure 4.
 When installing the cable, check that the following are completed with:
 - use a shielded cable and connect both ends of the shielding to ground (figure 4)
 - for the DIN43650 connector (figure 5) the diameter of the cable must be 8 to 10 mm (0.24 to 0.32) and the cross-section of the wires < 1.5mm² (AWG 16). The gasket (1) must be in position. The screw (8) and nut (7) must be properly tightened (figure 5).
 - form a loop Ø10 cm (4") to prevent the cable from touching the transmitter (figure 3).
 - do not expose the transmitter to dampness without its connector fixed.
 - the end of the cable ensures the transmitter to breathe (opening to atmospheric pressure at a relative pressure P < 25 bar). It must be protected from dampness.
 The power supply voltage must be between 11 and 40Vdc (14V minimum in the 9719V version, 6V minimum optional). The inputs/outputs are electrically isolated from the mechanical ground and the voltage between the ground and wire must be less than 75Vdc (50Vac).

DISASSEMBLY AND MAINTENANCE
 A qualified technician must perform the following procedure:
 Before dismantling anything, make sure that the transmitter is switched off, the hydraulic circuit is no longer under pressure, and the ambient temperature allows you to dismantle the equipment without getting burnt.
 Protect the top of the pressure port against damage, especially when a diaphragm is fitted.
 When the equipment is being re-calibrated or checked, it is essential to ascertain whether it is to be used on an oxygen circuit. If so, a qualified technician who has been authorised must perform these procedures, and is provided with the appropriate equipment.
 Do not reassemble the transmitter using different fluids (risk of chemical reaction and even explosion).
 Reassembly: Observe the same regulations as those laid down for the initial assembly. Use a new gasket (see figure 2).

COMMISSIONING AND CALIBRATION
 All the settings are made in the factory, but the zero can be adjusted (10%), (upon approval for models 4/20 mA). See figure 1.
 To avoid getting burnt, do not perform this operation if the transmitter is subjected to extreme temperatures.
 - unscrew the access screw. At zero pressure, set the zero potentiometer to "Z".
 - at nominal pressure, adjust the sensitivity potentiometer "S" (option: ±10% or ±15% of FS).

NOTICE D'INSTRUCTIONS / OPERATING INSTRUCTIONS

TRANSMETTEUR E9xx (E91x, E92x, E93x, E97x)

Fig. 1

Standard E900
DIN 43650

Standard E500
DIN 43650

MICRO DIN 43650C
8mm [32"]

EXX3
 1 : +A
 2 : -A
 3 : Masse / Ground

EXX2-EXX4-EXX6
 1 : +M
 2 : -A / -M
 3 : +A
 4 : Masse / Ground

Dimensions: mm [inches]

Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 5

Connecteur/ Connector DIN 43650
 1- joint / gasket
 2- Porte contacts / contact support
 3- Vis de serrage du fil / tightening screw
 4- Boîtier / case
 5- Presse-câble / cable gland
 6- Rondelle / washer
 7- Ecrou / nut
 8- Vis de fixation / fastener screw

EXX3
 +A: Blanc / White
 -A: Bleu / Blue
 Masse / Ground

EXX2-EXX4-EXX6
 +M : Jaune / Yellow
 -A / -M : Bleu / Blue
 +A : Rouge / Red
 Masse / Ground

*version IP68, +M : Blanc/White

EXX3 4-20mA

EXX2 0-10V / EXX4 1-5V / EXX6 0-20mA

Zone d'utilisation
 Operating area

0-10 Volt: R_c ≥ 2500 Ω 14 ≤ U ≤ 40Vdc
 1-5 Volt: R_c ≥ 1000 Ω 11 ≤ U ≤ 40Vdc
 0-20 mA: R_c ≤ U_c / 0.2 8 ≤ U ≤ 40Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การควบคุมคอมพิวเตอร์ของชุดทดสอบไฮดรอลิก¹

โชติ งามพิงพิศ², รัชพล จารุเวชยาธรรม², สีนวัณณ์ สิทธิขมาน², อุณหต พิณโสภณ³

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนองการจำลองระบบไฮดรอลิกในคอมพิวเตอร์กับชุดการทดลองจริง โดยทำการศึกษาจากชุดทดลองไฮดรอลิก จากนั้นทำ การวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆเช่น ความดัน ความเร็วและระยะทาง โดยมีการควบคุมสัญญาณด้วย PID Controller การสั่งการควบคุมผ่านโปรแกรมภาษาซี จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆกับระบบในอุดมคติในคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Matlab โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับชุดทดลองจริง เปรียบเทียบค่าที่ ได้จากกราฟทั้งจากคอมพิวเตอร์และชุดทดลองจริง

Abstract

This project presents the study of electro-hydraulic control system. The study was carried out through the hydraulic experimental setup and the experimental results are compared with the theoretical. The control scheme used in the control system is the PID controller. The control programs were coded in C Language. The Matlab program was used to compare the outcomes against the ideal results from the computerized system given equivalent conditions.

© 2007 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All right reserved

Keyword: hydraulics system,

บทนำ

ปัจจุบันนี้เครื่องจักรกลที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก มีการใช้งานมากมายและหลากหลายรูปแบบมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแขนกลต่างๆถูก นำไปใช้ในสายการผลิตมากมาย เช่น การประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ การประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือการขนย้ายสิ่งของขนาดใหญ่ใน ซึ่งอุตสาหกรรม ต้องการความเที่ยงตรงสูง จึงต้องมีการควบคุมป้อนกลับ โดยสามารถควบคุมแรง ตำแหน่ง และความเร็วได้ อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้คือ พรอพอร์ชันนัลวาล์ว หรือเซอร์โววาล์ว ชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวาล์ว ชุดควบคุมแบบ PID และเซนเซอร์แบบต่างๆ โดยบทความนี้เป็นการ นำเสนอการสร้างระบบจำลองเพื่อสามารถวิเคราะห์การทำงานของระบบไฮดรอลิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การจำลองระบบนั้นทำได้โดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของระบบ การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นการ วิเคราะห์ระบบในสถานะและรูปแบบต่างๆ เช่น ในตำแหน่งลูกสูบชักขึ้นสุดหรือลงสุด นำสมการที่ได้สร้างโปรแกรมการควบคุมระบบ โดยสามารถใส่ สัญญาณไฟฟ้าเข้าไปในโปรแกรมเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงได้ และสามารถตรวจสอบว่ากระบอกสูบทำงานได้ตรงตามทฤษฎีหรือไม่ อีกทั้งสามารถทำนายผล ล่วงหน้าได้ว่าถ้าระบบจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรในระบบซึ่งเป็นผลดีในการจำกัดขีดความสามารถของระบบไฮดรอลิก ที่ออกแบบได้

¹ชื่ออังกฤษ "COMPUTER CONTROL OF HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP "

² นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล.ห้อง 4G รหัส 47010194, 47010621, 47010637 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. โทร. 0 2326 4197 e-mail kpunnat@kmitl.ac.th

สัญลักษณ์

A_{pt}	พื้นที่หน้าตัดของ Spool จาก Pump ไป Tank	A_{pc}	พื้นที่หน้าตัดของ Spool จาก Pump ไป Cylinder
A_{ct}	พื้นที่หน้าตัดของ Spool จาก Cylinder ไป Tank	Q_p	อัตราการไหลของน้ำมันที่เกิดจาก Pump
Q_{pc}	อัตราการไหลของน้ำมันจาก Pump ไปยัง Cylinder	Q_{ct}	อัตราการไหลของน้ำมันจาก Cylinder ไปยัง Tank
M	มวลของลูกสูบ	H_{area}	พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ
l_{stroke}	ระยะที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ได้มากที่สุด	V_{hose}	ปริมาตรของท่อไฮดรอลิกจาก Pump ไปยัง Tank
V_D	ปริมาตรของน้ำมันขณะที่ปั๊มหมุน 1 รอบ	ω	รอบการหมุนของปั๊ม
$X_1 = x$	ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่	$X_2 = \dot{x}$	ความเร็วของลูกสูบ
X_3	ความดันที่เกิดจากปั๊ม	X_4	ความดันที่ลูกสูบทางด้านหัวกระบอกสูบ
X_5	ความดันที่ลูกสูบทางด้านท้ายกระบอกสูบ	β	Bulk Modulus
R_{area}	พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบทางด้านท้ายกระบอกสูบ		

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการทดลอง วิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบผลที่ได้จากวงจรไฮดรอลิกพื้นฐานและผลจากการจำลองในคอมพิวเตอร์ รวมถึงการศึกษาการควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิก

2.2 ชุดการทดลองนี้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา Fluid Power และ Automatic Control เพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจทฤษฎีพื้นฐานได้อย่างครบถ้วน

3. ขอบเขตของการศึกษา

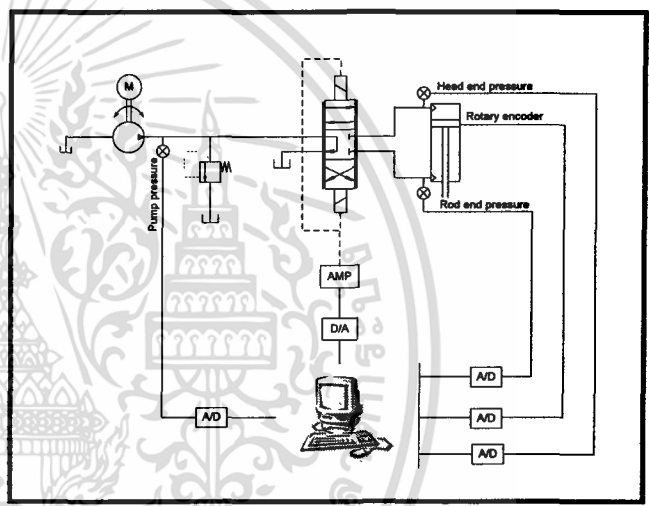
โครงการนี้เป็นการจำลองการทำงานของแขนกลในวงจรไฮดรอลิก โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแขนกลและชุดของแขนกลที่ใช้ในการศึกษา โดยในภาคเรียนนี้จะมีขอบเขตการทำงานในส่วนของการจำลองระบบไฮดรอลิกในคอมพิวเตอร์ รวมถึงการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆแต่ละส่วน ดังนี้

- 3.1 สร้างชุดทดลองไฮดรอลิกแบบพื้นฐานแบบหนึ่งกระบอกสูบและภาวะไหลคงที่
- 3.2 เปรียบเทียบค่าความเร็วและค่าความดันเมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าค่าๆหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากชุดการทดลองจริงกับการจำลองในคอมพิวเตอร์

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจำลองของระบบไฮดรอลิก

การออกแบบระบบไฮดรอลิกจะศึกษาโดยการสร้างชุดทดลองไฮดรอลิก โดยชุดไฮดรอลิกที่สร้างเป็นการจำลองการทำงานของกระบอกสูบทั่วไปแบบอย่างง่ายคือ เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การทำงานของระบบนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 1

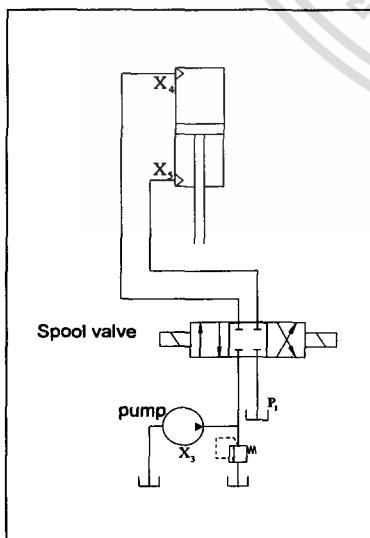


รูปที่ 1 วงจรไฮดรอลิกที่ใช้ในการควบคุมกระบอกสูบ

วงจรตามรูปที่ 1 นั้นเป็นวงจรไฮดรอลิกอย่างง่ายที่ใช้ในการศึกษาสำหรับโครงการนี้ ขั้นตอนแรกในการสั่งงานจะเริ่มจากการส่งสัญญาณไฟฟ้าออกจากคอมพิวเตอร์ สัญญาณจะถูกแปลงจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกโดย Data Acquisition Card เมื่อสัญญาณออกจาก Data Acquisition Card จะเข้าสู่แอมพลิไฟเออร์เพื่อขยายสัญญาณและแปลงสัญญาณจาก 0-10 V ให้กลายเป็น (-10) - 10 V โดยวาล์วที่ใช้ในโครงการนี้เป็น พรอพอร์ชันนัลวาล์ว ซึ่งมีการสั่งงานด้วยไฟฟ้า เมื่อวาล์วมีการเคลื่อนที่ น้ำมันจะไหลเข้ากระบอกสูบและทำให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ เฟืองตรงที่ติดตรงปลายก้านสูบจะไปขับ Encoder โดย Encoder นั้นเป็น Sensor ที่เป็นตัวแปลรหัสจากการวิ่งขึ้นและลงของกระบอกสูบโดยมีเฟืองตรงติดที่ปลายก้านสูบเป็นตัวขับ Rotary Encoder หมุนและเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้ในการวัดตำแหน่งของชุดทดลองจำนวนพัลส์ที่ใช้คือ 1000 พัลส์ต่อรอบแต่สามารถถูกขยายเป็น 4000 พัลส์ต่อรอบ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโรตารี เอ็นโค้ดเดอร์ ทำหน้าที่นับจำนวนพัลส์แล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณ ตำแหน่ง, ความเร็วเชิงมุมและความเร็วจริงจากชุดทดลอง จากนั้นการ์ด นับรอบจึงทำการส่งค่าไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไปเพื่อนำไปประมวลผล ส่วนในด้านของความดันนั้น Pressure Gauge จะเป็นตัวส่งค่าความดัน กลับมายังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลเช่นเดียวกัน ซึ่งสัญญาณทั้ง ความดันและความเร็วก่อนเข้าคอมพิวเตอร์จะต้องผ่าน Data Acquisition Card อีกครั้งเพื่อแปลงสัญญาณกลับจากอนาลอกเป็น ดิจิตอล ซึ่ง Pressure Gauge เป็นอุปกรณ์วัดแรงดัน ในโครงงานนี้เรา ทำการติดตั้ง Pressure Gauge ไว้ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ในตำแหน่ง ทางออกจากปั๊ม ด้านบนและด้านล่างของกระบอกสูบ แรงดันที่ได้จาก ชุดทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าแรงดันในคอมพิวเตอร์แต่ใน เงื่อนไขเดียวกัน

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในระบบไฮดรอลิกและง่ายต่อการ การศึกษาพฤติกรรมของระบบไฮดรอลิกจะทำการศึกษาระบบไฮดรอลิก ที่มี 1DOF โดยการควบคุมการไหลและทิศทางโดยใช้ Electrohydraulic Valve ซึ่งจะศึกษาโดยการจำลองพฤติกรรมของ ระบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองพฤติกรรม โดยวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ในการศึกษานั้นมีลักษณะดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย Pump, Relief Valve, Electrohydraulic Valve แบบ Close Center และ กระบอกสูบไฮดรอลิก ในการศึกษาการจำลองพฤติกรรมของระบบนั้น จะศึกษาได้จาก สมการคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของ ระบบไฮดรอลิกที่มี 1 DOF ซึ่งสามารถหาได้จาก สมการการไหลเมื่อ ของไหลไหลผ่าน Orifice, สมการการเคลื่อนที่ของ Newton, สมการ Bulk Modulus โดยสมการของระบบจะมี 2 แบบคือ จังหวะที่กระบอก สูบยืด (Extension) และจังหวะที่กระบอกสูบหด (Retraction)



รูปที่ 2 วงจรไฮดรอลิกสำหรับ 1DOF Hydraulic Actuator

สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ สมการต่างๆจะ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

● สมการการไหลเมื่อของไหลไหลผ่าน Orifice

เนื่องจากการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดวาล์วซึ่งในโครงงานนี้สมมุติ ให้มีลักษณะคล้ายกับการไหลผ่าน Orifice โดยอัตราการไหลของปั๊มนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์และ Volume Displacement

● สมการการเคลื่อนที่ของนิวตัน

สมการการเคลื่อนที่นี้เป็นความสัมพันธ์แทนการเคลื่อนที่ของ กระบอกสูบเนื่องจากมวลและแรงที่กระทำที่กระบอกสูบ โดยในกรณี ของโครงงานนี้จะไม่คิดแรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทานเนื่องจากเป็น ระบบอย่างง่าย

● สมการ Bulk Modulus

เป็นสมการเนื่องมาจากความดันในระบบที่เปลี่ยนไปซึ่งเป็นผลมา จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในระบบ หรือ Bulk Modulus นั้นเอง

สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ลง

สมการการไหลเมื่อของไหลไหลผ่าน Orifice

$$Q_p = V_D * \omega \tag{1}$$

$$Q_{pc} = C_d * \sqrt{2/\rho} * A_{pc} \sqrt{X_3 - X_4} \tag{2}$$

$$Q_{cl} = C_d * \sqrt{2/\rho} * A_{cl} \sqrt{X_5 - P_1} \tag{3}$$

สมการการเคลื่อนที่ของ Newton

$$\dot{X}_1 = X_2 \tag{4}$$

$$\dot{X}_2 = \frac{1}{M} * [-X_4 * H_{area} + X_5 * R_{area} - F_{ext}] \tag{5}$$

สมการ Bulk modulus

$$\dot{X}_3 = \frac{\beta}{V_{hose}} * [Q_p - Q_{pc}] \tag{6}$$

$$\dot{X}_4 = \frac{\beta}{X_1 * H_{area}} * [Q_{pc} + X_2 * H_{area}] \tag{7}$$

$$\dot{X}_5 = \frac{\beta}{(I_{stroke} - X_1) * R_{area}} * [-Q_{cl} - X_2 * R_{area}] \tag{8}$$

สมการคณิตศาสตร์เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ขึ้น

สมการการไหลเมื่อของไหลไหลผ่าน Orifice

$$Q_p = V_D * \omega \tag{9}$$

$$Q_{pc} = C_d * \sqrt{2/\rho} * A_{pc} \sqrt{X_3 - X_5} \tag{10}$$

$$Q_{cl} = C_d * \sqrt{2/\rho} * A_{cl} \sqrt{X_4 - P_1} \tag{11}$$

สมการการเคลื่อนที่ของ Newton

$$\dot{X}_1 = X_2 \tag{12}$$

$$\dot{X}_2 = \frac{1}{M} * [-X_4 * H_{area} + X_5 * R_{area} - F_{ext}] \tag{13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Bulk Modulus

$$\dot{X}_3 = \frac{\beta}{V_{hose}} * [Q_p - Q_{pc}] \tag{14}$$

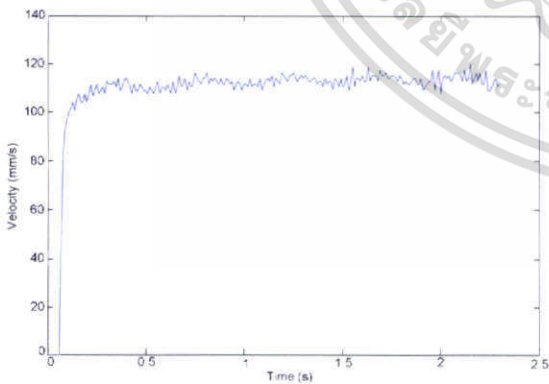
$$\dot{X}_4 = \frac{\beta}{X_1 * H_{arca}} * [-Q_{ct} + X_2 * H_{arca}] \tag{15}$$

$$\dot{X}_5 = \frac{\beta}{(l_{stroke} - X_1) * R_{arca}} * [Q_{pc} - X_2 * R_{arca}] \tag{16}$$

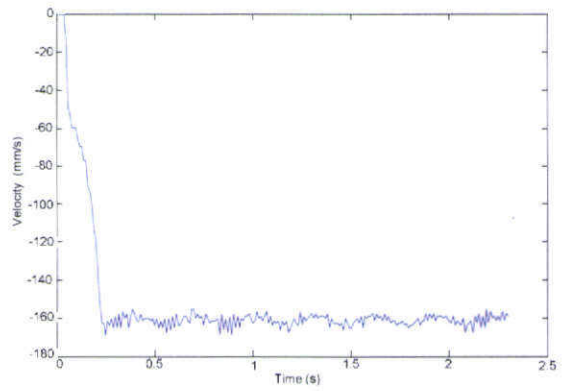
5. ผลการทดลองและการจำลองระบบ

การควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบนั้นเป็นการควบคุมตำแหน่งในแนวตั้งและความเร็ว โดยการสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการสั่งงานเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในขั้นตอนแรกนั้น เราจะทำการป้อนสัญญาณทางไฟฟ้า สัญญาณจะถูกส่งไปที่วาล์วเพื่อทำให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ เอ็นโค้ดเดอร์จะหมุนเพื่อส่งผ่านเข้ามาทางกอร์ดนับรอบและจะประมวลผลแปลงค่าพัลส์เป็นค่าความเร็วของกระบอกสูบและนำไปหาค่าความผิดพลาด โดยเทียบกับสัญญาณที่ป้อนเข้าไปแล้วนำสัญญาณผิดพลาดไปปรับปรุงการทำงานของวาล์วของกระบอกสูบในการทำงานรอบต่อไปเพื่อความแม่นยำของตำแหน่งและความเร็ว การเคลื่อนที่ของกระบอกสูบนั้นมีการควบคุมการทำงานผ่านคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรมภาษาซีเป็นโปรแกรมในการประมวลผล รับค่า ส่งค่าผ่านการ์ด หาค่าความผิดพลาดของระบบ พร้อมทั้งรับค่าความผิดพลาดให้มีค่าน้อยที่สุดและแสดงผลของการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของกราฟ

จากการทดลองหาความเร็วจะทำการป้อนสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่จะส่งค่าความเร็วมา ณ เวลาต่าง จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วที่ได้ จะได้กราฟแสดงความเร็วที่เวลาต่างๆที่ค่าสัญญาณทางไฟฟ้าค่าๆหนึ่ง

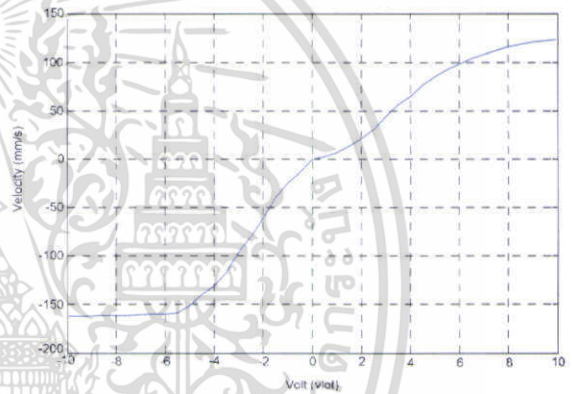


รูปที่ 3 ความเร็วที่ 7.5 Volt



รูปที่ 4 ความเร็วที่ -7.5 Volt

เมื่อได้กราฟความเร็วที่เวลาต่างๆ ที่ค่าสัญญาณต่างๆแล้ว ทำการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วเพื่อนำไป plot กราฟ Modulation Curve จากการทำค่าเฉลี่ยที่ความเร็วต่างๆนั้นจะได้กราฟ Modulation Curve ดังรูปที่ 5

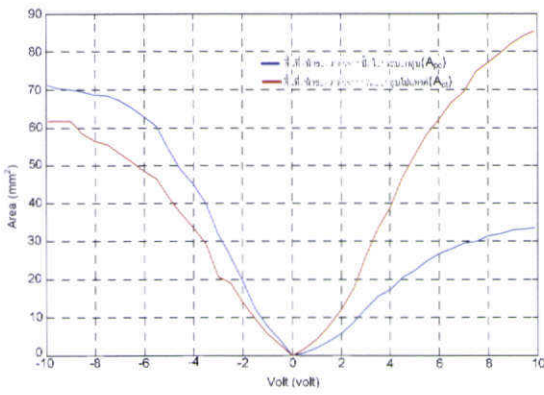


รูปที่ 5 Modulation Curve

ส่วนในการจำลองในคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆในสภาวะอุดมคติแต่การจำลองในคอมพิวเตอร์นั้นวาล์วที่ใช้จำเป็นต้องหาพื้นที่หน้าตัด

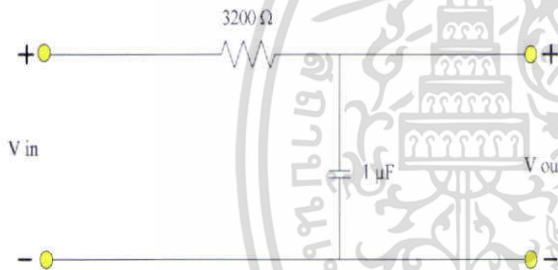
ฉะนั้นเราจึงต้องหาพื้นที่หน้าตัดวาล์วก่อน ทำการหาค่าความดันที่ 3 จุดคือ ที่ด้าน Head, ด้าน Rod และที่ทางออกของ Pump จากนั้นความเร็วจาก Modulation Curve นำพื้นที่ด้าน Head หรือด้าน Rod มาคูณกับค่าความเร็วก็ได้ค่าอัตราการไหลออกมา นำความดันในแต่ละจุดและอัตราการไหลแทนลงในสมการ Orifice จะได้พื้นที่ของหน้าตัดวาล์วออก

พื้นที่หน้าตัดวาล์วที่ออกมา นั้นมาหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปดังรูป



รูปที่ 6 พื้นที่หน้าตัดของวาล์ว

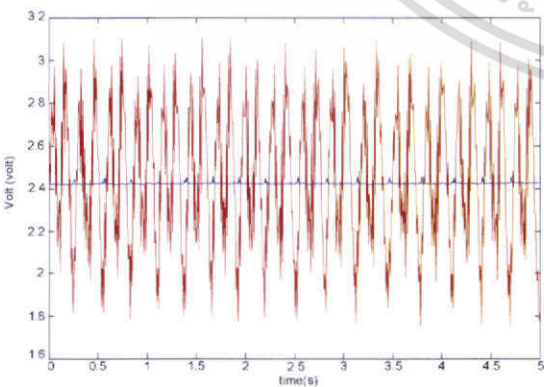
หลังจากได้พื้นที่หน้าตัดวาล์วมาแล้ว เราจะทำการทดลองหาค่าและทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆในการจำลองและจากชุดทดลอง การทดลองนั้นแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ Open Loop และ Close Loop แต่ในการหาค่าความดันนั้นเนื่องจากตัวแปรปรกผันต่างๆทำให้สัญญาณจาก Pressure Gauge ค่อนข้างสั่นมาก โคจรงานนี้จึงทำการใช้วงจร Low Pass Filter เป็นตัวกรองสัญญาณ โดยกรองสัญญาณที่ 50 Hertz



รูปที่ 7 วงจร Low Pass Filter

วงจร Low Pass Filter ที่ใช้นั้น ใช้ค่าความต้านทาน 3200

โอห์ม และค่าตัวเก็บประจุ 1 μF



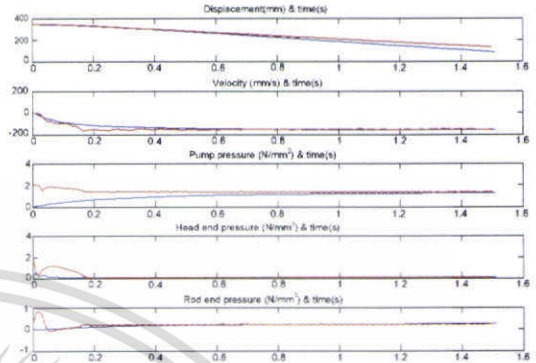
รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณก่อนกรองและหลังกรอง

เส้นสีแดงเป็นเส้นกราฟที่ยังไม่ผ่านการกรองและสีน้ำเงินเป็นเส้นกราฟที่ผ่านการกรองแล้ว

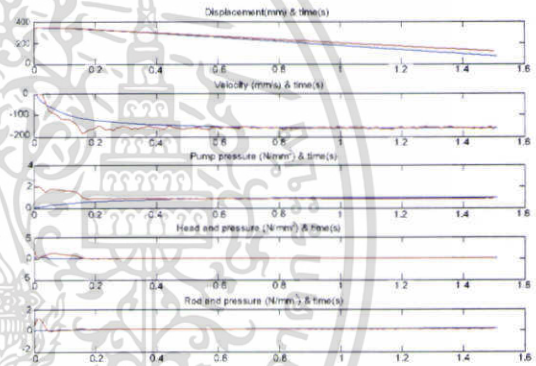
การใช้ Low Pass Filter เป็นไปตามทฤษฎี Anti-Aliasing คือค่าความถี่ที่ใช้ในการกรองนั้นต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่ของ Sampling Time

จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์และจากชุดทดลองจริงผลการเปรียบเทียบ Open Loop จะได้ผลการทดลองดังกราฟ

จังหวะลูกสูบวิ่งออก (กำหนดตำแหน่งต่ำสุดคือตำแหน่งศูนย์)



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ -6 Volt



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ -9 Volt

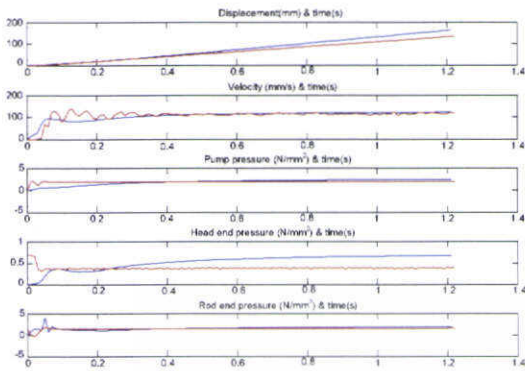
จากกราฟทั้ง 2 รูปเป็นจังหวะที่ลูกสูบวิ่งลง ดังนั้นสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนจึงเป็นลบ กราฟบนสุดเป็น ระยะทางกับเวลา และเป็นความเร็ว ความดันที่ปั๊ม ด้านบนของกระบอกสูบ (Head) และด้านล่างของกระบอกสูบ (Rod) ตามลำดับ เส้นสีแดงเป็นเส้นกราฟจากชุดทดลองจริงและสีน้ำเงินเป็นเส้นกราฟจากการจำลองในคอมพิวเตอร์ แนวโน้มจากชุดทดลองจริงมีความคล้ายคลึงกับการจำลองจากคอมพิวเตอร์ กราฟที่ 9 และ 10 ระยะทางจะวิ่งจากระยะชักคือประมาณ 350 mm เมื่อเวลาผ่านไปกระบอกสูบจะค่อยๆวิ่งลงจนถึงศูนย์ ความเร็ววิ่งเร็วในช่วงแรกเนื่องจากในช่วงปลายมีน้ำหนักจากเฟืองตรงที่ติดอยู่ประมาณ 3 กิโลกรัมรวมถึงน้ำหนักของลูกสูบด้วยแต่ในที่นี้ถือว่าไม่มีโหลดเนื่องจากการติดตั้งเบื้องต้นของชุดทดลองจึงถือว่าค่าเริ่มต้นที่ 3 กิโลกรัมเป็นศูนย์ แต่เนื่องจากโหลดในช่วงนี้จึงเกิด

Overrunning Load เกิดขึ้นคือช่วงแรกจะวิ่งเร็วและจะเริ่มช้าลงในช่วงหลัง ส่วนความดันที่ปั๊มค่อนข้างคงที่ รวมถึงความดันด้านบนของ

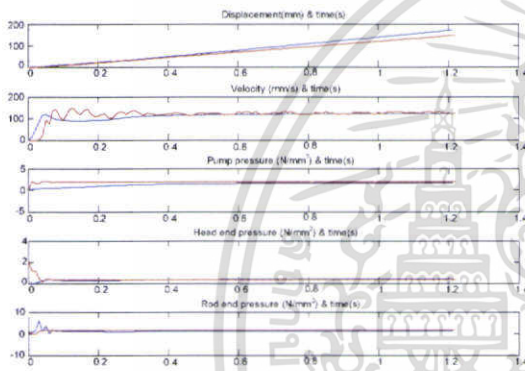
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกลูกสูบ (Head) และด้านล่างของกระบอกลูกสูบ (Rod) ก็ค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกัน

ส่วนในจังหวะลูกสูบวิ่งขึ้นจะป้อนสัญญาณไฟฟ้าเป็นบวก ลักษณะกราฟจะเป็นดังรูป



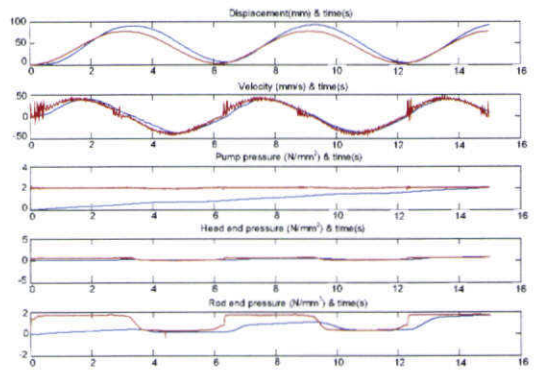
รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ 6 Volt



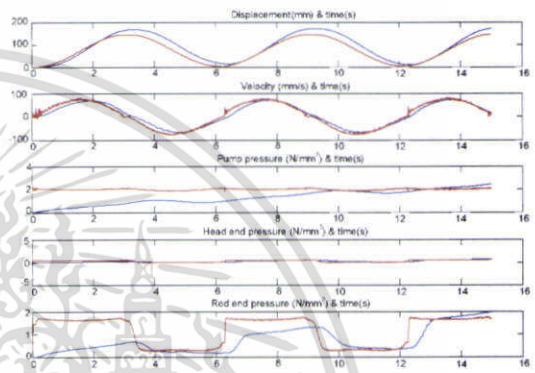
รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ 9 Volt

จากรูปในกรณีสัญญาณไฟฟ้าเป็นบวก ระยะเวลาจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากกำหนดระยะต่ำสุดเป็นศูนย์ ความเร็วจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและคงที่ในเวลาต่อมา ส่วนความดันทั้ง 3 มีแนวโน้มคงที่ตลอดจะมีเพียงในช่วงแรกเท่านั้นที่ค่อนข้างไม่คงที่ เนื่องจากปัจจัยภายนอกเช่น Load ของเฟืองตรงหรือการกระชากของสัญญาณไฟฟ้า

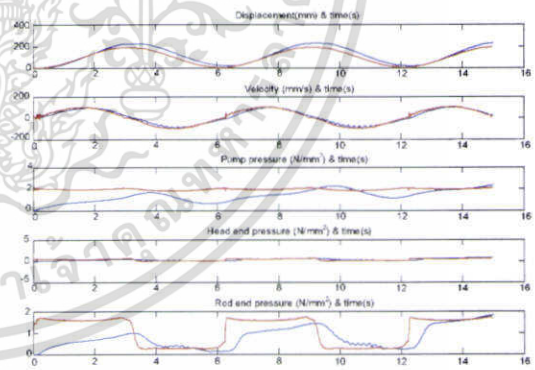
ส่วนในการทดลอง Close Loop เราจำเป็นต้องมีการใช้ PID Controller ซึ่งเราจากการทดลองสุ่มค่า Gain ของระบบ เราจะได้ค่าที่เหมาะสมในการควบคุม Close Loop คือ $K_p = 1$ และ $K_i = 7$ เส้นสีแดงคือ เส้นกราฟจากการทดลองจริงส่วนเส้นสีน้ำเงินมาจากการจำลอง การทดลองสั่งการมีการสั่งการที่ความเร็ว 3 ค่า คือที่ $40\sin(\pi/3)$, $75\sin(\pi/3)$ และ $100\sin(\pi/3)$ โดยกราฟทั้ง 3 รูปเป็นการเปลี่ยนความเร็วสูงสุด (Amplitude)



รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ความเร็ว $40\sin(\pi/3)$ สำหรับ Close Loop Control



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ความเร็ว $75\sin(\pi/3)$ สำหรับ Close Loop Control



รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองที่ความเร็ว $100\sin(\pi/3)$ สำหรับ Close Loop Control

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองของ Open Loop ลักษณะกราฟความเร็วของการจำลองในคอมพิวเตอร์และการทดลองจากชุดทดลองมีแนวโน้มที่ไปในทางเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดวาล์วที่ทำการทดลองที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ส่วนถ้าหากความดันจะเกิดความผิดพลาดอยู่เนื่องจากในระบบจริงมีปัจจัยต่างๆที่รบกวนเช่น ความหนืดของน้ำมัน

แรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้โครงการนี้
มิได้ทำการคิดลงไปใน การจองระบบในคอมพิวเตอร์

ผลการทดลองของ Close Loop ความเร็วและระยะทาง
ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองจริง ส่วนความดันนั้นผลจากปัจจัย
ต่างๆที่รบกวนดังที่กล่าวมามวมถึงการปรับค่า Gain ของระบบ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Pinsopon U.: Velocity control of open center hydraulic system using neural network algorithm.The 13th National Mechanical Engineering Conference,1999.

[2] Cobo M.,Ingram R.,Cetinkunt S.: Model,identification,and real time control of bucket hydraulic system for a wheel type loader earth moving equipment.Mechatronic,1998.

[3] Tahmeen M.,Yamada H.,Kato H.,Maehata K.,Muto T.: A study on simulation of hydraulic construction machine.SICE Annual Conference,2003.

[4] James A. Sullivan.:Fluid Power Theory and Application,1989(Prentice-Hall,Inc).

[5] Russell W. Henke,P.E.: Fluid Power System&Circuits,1986 (Hydraulic&Pneumatics Magazine).

[6] E. Anthony.: Fluid Mechanics with Applications,1988 (Prentice Hall, Inc).

[7] Centinkunt S.: Mechatronic,2005(John Wiley & Sons,Inc.)

[8] วิฑูรย์ วิชันนา ,อิทธิพล วัฒนาร, เอกฉัตรณ์ พรหมเผือก : การ

ควบคุมคอมพิวเตอร์ของแขนกลไฮดรอลิก (สถาบันเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,กรุงเทพ,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้