

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบไฮดรอลิก(Hydraulic System)	4
2.2 อุปกรณ์ป้อนกลับ(Feedback Device)	22
2.3 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(PID Controller)	23
2.4 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Fuzzy Controller)	35
2.5 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Hybrid Fuzzy PID controller)	42
2.6 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Fuzzy self-tuning PID controller)	45
2.7 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)	48
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	53
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	
3.1 ศึกษาข้อมูล	59
3.2 ออกแบบวงจรกำลัง (Power circuit) และจำลอง Mechanical model ของระบบ Servo-Hydraulic	60
3.3 ส่วนประกอบของโครงสร้าง	67
3.4 ต่อวงจรกำลังและทดลอง	70
3.5 เขียนโปรแกรมควบคุมและทดลอง	72
3.5.1 ควบคุมแบบพีไอดี	72
3.5.2 ควบคุมแบบฟัซซี	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.3 ควบคุมแบบไฮบริดพีซีพีไอดี	83
3.5.4 ควบคุมแบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี	86
3.5.5 ควบคุมแบบไฮบริดแบบพีซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี	92
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและทดลอง	
4.1 หน้าต่างของโปรแกรมควบคุมทั้ง 5 ระบบ	99
4.2 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี	100
4.3 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบพีซี	103
4.4 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบไฮบริดพีซีพีไอดี	106
4.5 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี	109
4.6 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบไฮบริดแบบพีซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี	111
4.7 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบ	114
บทที่ 5 สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลของโครงการ	117
5.2 ปัญหา	117
5.3 แนวทางแก้ปัญหา	118
5.4 ข้อเสนอแนะ	118
บรรณานุกรม	119
ภาคผนวก ก	120
กราฟผลการทดลอง	121
ภาคผนวก ข	126
การหาค่า T_r , T_d และ T_s ของกราฟผลการทดลอง	127
ประวัติผู้จัดทำ	132

สารบัญตาราง

	ตารางที่ หน้า
2-1 น้ำมันสำหรับระบบไฮดรอลิก	13
2-2 แสดงลักษณะทั่วไปของของไหลไฮดรอลิกไวไฟต่ำ (HF liquids) ซึ่งมีการอธิบายไว้ในมาตรฐาน VDMA 24317 และ 24320	13
2-3 ชนิดของกระบอกสูบทำงานสองทาง (Cylinder types)	17
2-4 ระบุการใช้งานของ 4/3 way Regulating Valve	21
2-5 ผลกระทบของค่าเกนในตัวควบคุมแบบPIDต่อการตอบสนองของระบบเมื่อเพิ่มค่าเกน	29
2-6 ค่าเกนตัวควบคุมโดยใช้วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ(Process reaction method)	30
2-7 เกณฑ์ของซีเกลอร์ – นิโคลส์ (The Ziegler – Nichols Rules)	31
2-8 แสดงตัวอย่างกฎการควบคุมในรูปแบบตาราง (Roland, 2001)	39
2-9 กฎของการอนุมานฟัซซี (Rules of the fuzzy inference)	44
2-10 กฎของการอนุมานฟัซซี (Rules of the fuzzy inference)	48
2-11 แสดงลักษณะของเส้น (wire) ข้อมูลแต่ละชนิดในแลปวิว	51
2-12 แสดงชนิดของตัวควบคุมและตัวแสดงผล	52
3-1 Fuzzy Rule base Fuzzy 2 input 3x3 membership	78
3-2 กฎฟัซซีของ K_p สำหรับระบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี	90
3-3 กฎฟัซซีของ K_i สำหรับระบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี	90
3-4 กฎฟัซซีของ K_d สำหรับระบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี	90
3-5 กฎฟัซซีของ K'_p สำหรับระบบไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี	95
3-6 กฎฟัซซีของ K'_i สำหรับระบบไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี	96
3-7 กฎฟัซซีของ K'_d สำหรับระบบไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี	96
3-8 แสดงระยะเวลาการทำงาน	98
4-1 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมพีไอดีจำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar	100
4-2 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมฟัซซีจำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar	103
4-3 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดฟัซซีพีไอดี เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch	106
4-4 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดฟัซซีพีไอดี จำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar, 50 Bar	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

	ตารางที่ หน้า
4-5 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซีจำกัดความดันที่ 10, 30 และ 50 Bar	109
4-6 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดแบบพีซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซีจำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar	111
4-7 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดแบบพีซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซีเมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch	112
4-8 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมทั้ง 5 ระบบ จำกัดความดันลมที่ 10 บาร์	116
4-9 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมทั้ง 5 ระบบ จำกัดความดันลมที่ 50 บาร์	116
5-1 ข้อแตกต่างความสามารถของระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบ	117

สารบัญภาพ

	ภาพที่ หน้า
2-1 เครื่องกลึง (Lathe)	5
2-2 เครื่องกดอัด (Press with elevated reservoir)	5
2-3 ไฮดรอลิกแบบเคลื่อนที่ (Mobile hydraulics)	6
2-4 Hydro – Mechaincs	7
2-5 ความดันทาง Hydrostatic (Hydrostatic pressure)	8
2-6 พื้นที่รับแรงของวัตถุมวลเดียวกัน	9
2-7 การส่งถ่ายความดัน (Pressure transfer)	10
2-8 การส่งถ่ายความดันโดยกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง (Pressure transfer by double – acting cylinder)	11
2-9 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก (Hydraulic power unit)	14
2-10 กระบอกลูกสูบทำงานทางเดียว (Single acting cylinder)	15
2-11 โครงสร้างกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง (Double acting cylinder)	15
2-12 กระบอกลูกสูบทำงานสองทาง (Double acting cylinder)	16
2-13 การต่อใช้งานกระบอกลูกสูบทำงานสองทาง	16
2-14 โครงสร้างของ 4/3-way Regulating Valve	18
2-15 สัญลักษณ์ของ 4/3-way Regulating Valve	18
2-16 4/3-way Regulating Valve	19
2-17 โครงสร้างมอเตอร์เชิงเส้น (Linear motor)	19
2-18 ควบคุมลูกสูบ/สัญญาณลักษณะเฉพาะ	20
2-19 ความดัน/ สัญญาณลักษณะเฉพาะ	21
2-20 กราฟแสดงอัตราไหล/สัญญาณลักษณะเฉพาะ	21
2-21 เซนเซอร์วัดตำแหน่ง (Linear potentiometer Sensor)	22
2-22 ตัวควบคุมแบบ Discrete- Output Controller	23
2-23 ตัวควบคุมแบบ Analog-Output Controller (PID Group)	23
2-24 แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ	25
2-25 บล็อกไดอะแกรม ระบบควบคุมแบบสัดส่วน	26
2-26 บล็อกไดอะแกรม ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

	ภาพที่ หน้า
2-27 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบอนุพันธ์	27
2-28 แสดงผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบต่างๆ	28
2-29 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบ Close-loop P Control	28
2-30 เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ	29
2-31 แสดงการลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่	31
2-32 Block diagram ระบบควบคุมแบบOpen-loop Control	31
2-33 การเลือกชนิดของตัวควบคุมด้วยวิธีของ CHR	32
2-34 การคำนวณหาค่าGainตัวควบคุมด้วยวิธีของ CHR	33
2-35 ตัวอย่างระบบควบคุมพีไอดี ด้วย Chien-Hrones-Reswick(CHR) มีแต่ค่าGain	33
2-36 ตัวอย่างระบบควบคุมพีไอดี ด้วย (CHR) มีค่า K_p , K_i , K_d ที่ค่า Overshoot 20%	34
2-37 ตัวอย่างระบบควบคุมพีไอดี ด้วย (CHR) มีค่า K_p , K_i , K_d ที่ค่าOvershootน้อย	34
2-38 เปรียบเทียบผลตอบสนองของตัวควบคุม PID ที่ได้ในแต่ละแบบ	35
2-39 ฟัชซีเซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก	36
2-40 ระบบควบคุมแบบฟัชซีลอจิก (Roland, 2001)	37
2-41 ตัวอย่างฟัชซีเซตของอินพุตและกระบวนการฟัชซีฟิเคชัน (Roland, 2001)	38
2-42 ตัวอย่างฟัชซีเซตของสัญญาณควบคุม (Roland, 2001)	38
2-43 วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด ของ Mamdani(Max – Min)	41
2-44 แสดงบล็อกการทำงานของระบบควบคุมแบบไฮบริด	42
2-45 โครงสร้างระบบควบคุม ฟัชซี พีไอดี	42
2-46 แสดงกฎฟัชซีของสมาชิก e และ Δe	43
2-47 แสดงสมาชิกของตัวแปร u	43
2-48 กราฟพื้นผิวการควบคุมของระบบควบคุม ไฮบริดฟัชซีพีไอดี	43
2-49 โครงสร้างการปรับพีไอดีด้วยฟัชซี	45
2-50 โครงสร้างบล็อกของการอนุมานฟัชซี	46
2-51 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership functions) ของ $e(t)$	47
2-52 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership functions) ของ $de(t)$	47
2-53 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership functions) ของ K'_p , K'_i และ K'_d	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	ภาพที่ หน้า
2-54 การประมวลผลแบบ Dataflow ในแลปวิว	48
2-55 สัญลักษณ์ของโปรแกรมแลปวิว	49
2-56 เกี่ยวกับเวอร์ชันแลปวิวและตัวเสริมพีไอดี	49
2-57 หน้าต่างใช้งานในโปรแกรมแลปวิว	50
2-58 แสดงการใช้งาน Formula Node ในแลปวิว	50
2-59 หลักการทำงานของแลปวิว	51
3-1 วงจรกำลังที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก	60
3-2 วงจรกำลังที่ใช้ในระบบ The Adaptive Position Control of an Electro Hydraulic Servo Cylinder	61
3-3 การใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน ในโปรแกรมแลปวิว	61
3-4 Source code simulation ระบบควบคุมแบบพีไอดี	62
3-5 หน้าจอระบบควบคุมแบบพีไอดี แสดงกราฟการตอบสนองของระบบ	62
3-6 Source code simulation ระบบควบคุมแบบพีซี	63
3-7 หน้าจอระบบควบคุมแบบพีซี แสดงกราฟการตอบสนองของระบบ	63
3-8 Source code simulation ระบบควบคุมแบบไฮบริดพีซีพีไอดี	64
3-9 หน้าจอระบบควบคุมแบบ ไฮบริดพีซีพีไอดีแสดงกราฟการตอบสนองของระบบ	64
3-10 Source code simulation ระบบควบคุมแบบ พีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี	65
3-11 หน้าจอระบบควบคุมแบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซีแสดงกราฟการตอบสนอง	65
3-12 Source code simulation ระบบควบคุมไฮบริดแบบพีซีและพีไอดีที่ ปรับค่าด้วยพีซี	66
3-13 หน้าจอระบบควบคุมแบบ ไฮบริดแบบพีซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี แสดงกราฟการตอบสนองของระบบ	66
3-14 กระบอกสูบทำงานสองทาง(Double acting cylinder)	67
3-15 Linear Potentiometer sensor	67
3-16 เซอร์โววาล์วแบบ 4/3(4/3 Servo valve)	67
3-17 Filter	68
3-18 Hydraulic Power Unit	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

	ภาพที่ หน้า
3-19 NI PCI 6221	68
3-20 NI CB-68LP Academic Starter Kit	69
3-21 Amplifier for potentiometer sensor	69
3-22 Power Supply $\pm 24V$	69
3-23 ทดลองต่อระบบควบคุม Hydraulic	70
3-24 Linear Potentiometer Sensor เคลื่อนที่ออกสุดวัดแรงดันได้ 174.5 mV	70
3-25 Linear Potentiometer Sensor เคลื่อนที่เข้าสุดวัดแรงดันได้ 10.22 V	71
3-26 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับโปรแกรม Labview	71
3-27 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี	72
3-28 โพล์ชาร์ต ของระบบควบคุมแบบพีไอดี	73
3-29 โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีไอดี	74
3-30 หน้าจอระบบควบคุมแบบพีไอดี	74
3-31 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบฟัซซี	75
3-32 โพล์ชาร์ต ของระบบควบคุมแบบฟัซซี	76
3-33 ตัวอย่าง Step Response	77
3-34 ขั้นตอนการเข้าไปใช้ Fuzzy System Designer	78
3-35 Input variable membership functions ของ ค่าError ,delta Error และ Output variable membership functions ของ Output	79
3-36 Input variable membership functions ของ Error	80
3-37 Input variable membership functions ของ Delta Error	80
3-38 Output variable membership functions ของ Output	80
3-39 การตั้งค่ากฎของฟัซซีในโปรแกรมแลปวิว 2010	81
3-40 เอาต์พุตทดสอบระบบฟัซซี	81
3-41 โปรแกรมฟัซซี	82
3-42 หน้าจอควบคุมและแสดงผล ฟัซซี	82
3-43 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบไฮบริดฟัซซีพีไอดี	83
3-44 โพล์ชาร์ต ของระบบควบคุมแบบไฮบริดฟัซซีพีไอดี	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

	ภาพที่ หน้า
3-45 โปรแกรมควบคุมแบบไฮบริดฟuzzyฟuzzy	85
3-46 หน้าจอควบคุมและแสดงผลไฮบริดฟuzzyฟuzzy	85
3-47 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	86
3-48 โฟลว์ชาร์ต ของระบบควบคุมแบบฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	87
3-49 Input variable membership function ของ e and de	88
3-50 Output variable membership function ของ K'_p	89
3-51 Output variable membership function ของ K'_i	89
3-52 Output variable membership function ของ K'_d	89
3-53 โปรแกรมควบคุมแบบฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	91
3-54 หน้าจอควบคุมและแสดงผลฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	91
3-55 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ ไฮบริดแบบฟuzzyและฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	92
3-56 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมแบบ ไฮบริดแบบฟuzzyและฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	93
3-57 Input variable membership function ของ e and de	94
3-58 Output variable membership function ของ K'_p	94
3-59 Output variable membership function ของ K'_i	94
3-60 Output variable membership function ของ K'_d	95
3-61 โปรแกรมของระบบควบคุมแบบ ไฮบริดแบบฟuzzyและฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	97
4-1 หน้าต่างของโปรแกรมควบคุมทั้ง 5 ระบบ	99
4-2 การควบคุมแบบฟuzzyที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก	101
4-3 การควบคุมแบบฟuzzy ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก	101
4-4 การควบคุมแบบฟuzzyที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก	102
4-5 เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบฟuzzyเมื่อเปลี่ยนความดัน 10 bar, 30 bar และ 50 bar	102
4-6 การควบคุมแบบฟuzzy ที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก	103
4-7 การควบคุมแบบฟuzzy ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก	104

สารบัญภาพ (ต่อ)

	ภาพที่ หน้า
4-8 การควบคุมแบบฟuzzy ที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะ กระบอกสูบเลื่อนออก	104
4-9 เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบ ฟuzzy เมื่อเปลี่ยนความดัน 10 bar ,30 bar และ 50 bar	105
4-10 การควบคุมแบบฟuzzy ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบ เลื่อนออก	105
4-11 การควบคุมแบบฟuzzy ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบ เลื่อนออก	106
4-12 กระบอกสูบเคลื่อนออกที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 150 mm สำหรับระบบ ไฮบริดฟuzzyฟuzzy	107
4-13 กระบอกสูบเคลื่อนออกที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 150 mm สำหรับระบบ ไฮบริดฟuzzyฟuzzy	108
4-14 กระบอกสูบเคลื่อนออกที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 150 mm สำหรับระบบ ไฮบริดฟuzzyฟuzzy	108
4-15 เปรียบเทียบระบบควบคุมไฮบริดฟuzzyฟuzzy ที่ความดัน 50 bar เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch	109
4-16 ระบบควบคุมฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy ที่ความดัน10 bar ระยะ 150 mm	110
4-17 ระบบควบคุมฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy ที่ความดัน50 bar ระยะ 150 mm	110
4-18 เปรียบเทียบระบบควบคุมฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy ที่ความดัน 10 Bar ,30Bar และ50 Bar	111
4-19 ไฮบริดแบบฟuzzyและฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzyที่ Error Switch -0.5 ถึง 0.5 ระยะ150 mm ความดัน30 bar	112
4-20 ช่วงการทำงานของระบบ ไฮบริดแบบฟuzzyและฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy	113
4-21 เปรียบเทียบระบบควบคุม ไฮบริดแบบฟuzzyและฟuzzyที่ปรับค่าด้วยฟuzzy ที่ความดัน 10 Bar ,30Bar และ 50 Bar	113

สารบัญภาพ (ต่อ)

	ภาพที่
	หน้า
4-22 เปรียบเทียบระบบควบคุม ไฮบริดแบบฟิชชีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟิชชี ที่ความดัน 50 bar เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch	114
4-23 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบที่ความดัน 10 bar ระยะทาง 100 mm	114
4-24 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบที่ความดัน 30 bar ระยะทาง 100 mm	115
4-25 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบที่ความดัน 30 bar ระยะทาง 100 mm	115