

สารบัญภาพ

ภาพที่	2-
2-1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	15
2-2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	ฟังก์ชัน
2-3 วงจร H-Bridge	ความ
2-4 สัญญาณ Pulse Width Modulation : PWM	เป็น
2-5 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบสัดส่วน	สมา
2-6 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบอนุพันธ์	ชิก
2-7 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบปริพันธ์	ของ
2-8 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ	ค่า
2-9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน	อัตรา
2-10 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัชซี	การ
2-11 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 3	ผิดพลาด
2-12 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 5	แบบ
2-13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 7	5
2-14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าอัตราการผิดพลาดแบบ 3	สมา
	ชิก

ค่าอัตราการผิดพลาดแบบ 7 สมาชิก	9
2-17 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบ 3 สมาชิก	11
2-18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบ 5 สมาชิก	12
2-19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบ 7 สมาชิก	13
2-20 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซีลอจิก	14
2-21 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	14
2-22 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	15
2-23 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	15
2-24 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	15
2-25 วิธีการอินเฟอร์เรนซ์แบบ Mamdani(Max-Min)	16
2-26 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	17
2-27 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	18
	19
	หน้า 19
	4 20
	4 20
	5 21
	6 21
	7
	8

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	2-
2-28 เทคนิคการเปลี่ยนฟิชชีเอาต์พุตให้เป็นเอาต์พุตแบบ ดั้งเดิม	44
2-29 บล็อกไดอะแกรม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ระบบแพนดูลัมผกผัน	รูปแ บบ มาตร
2-30 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	ฐาน ของ
2-31 แรงที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์หมุน	สมา
2-32 Free Body Diagram ของแรงที่เกิดขึ้นที่มู่เล่	ชิก
2-33 ระบบแพนดูลัมผกผัน	ใน
2-34 Free Body Diagram ของระบบแพนดูลัมผกผัน	ฟิชชี ลอจิก
2-35 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นรอบจุด CG ของแท่งแพนดูลัม	กใน
2-36 โปรแกรมแลบวิว	โปรแ
2-37 หน้าต่างใช้งานในโปรแกรมแลบวิว	กรม แลบ
2-38 เครื่องมือใช้ใน Front Panel และ Block Diagram	วิว
2-39 ลักษณะการทำงานแบบ Dataflow ของโปรแกรม แลบวิว	2-
2-40 การประมวลผลของพีไอดีกำหนดจุดและหน่วยเวลา ในแลบวิว	45 สัญ ญาณ
2-41 ฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบวิว	ดิจิทัล อล 2 ชนิด
2-42 ตัวอย่างฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบวิว	2-
2-43 โครงสร้างภายในของฟิชชีลอจิกในโปรแกรมแลบ วิว	46

สัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 ชนิด	36
2-47 การ์ดDAQ รุ่น PCI 6221	37
2-48 ขาของการ์ดDAQ รุ่น PCI 6221	37
2-49 เ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่าด้านซ้ายแบบหมุน	38
ด้านขวาแบบเคลื่อนที่เชิงเส้น	38
2-50 เ็นโค้ดเดอร์แบบสมบูรณ์แบบเลื่อนแนวตรงขนาด	39
4 บิต	41
3-1 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน	41
3-2 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)	43
3-3 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)	43
3-4 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)	45
3-5 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)	46
หน้า	49
	22
	22 50
	23
	25 51
	26
	28 52
	28
	30 53
	33สารบัญ
	34 ญ
	35

ภาพ (ต่อ)	3-
ภาพที่	22
3-6 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)	แท่ง
3-7 โครงสร้างของโตะที่ทำการออกแบบ	แผน
3-8 ติดตั้งLinear guideเข้ากับโตะ	ดูลัม
3-9 ติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์และสายพาน	3-
3-10 ติดตั้งมอเตอร์และแท่งแผนดูลัม	23
3-11 ติดตั้งตู้คอนโทรลและปุ่มฉุกเฉิน	Sim
3-12 ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆตามที่ได้ออกแบบไว้	ulati
3-13 วงจรควบคุมของระบบแผนดูลัมผกผัน	on
3-14 ทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ Open Loop	แบบ
3-15 ค่า Set Point และ ค่า Feedback ที่ได้จากการ ทดลองควบคุมความเร็วรอบ	จำลอง
ของมอเตอร์ Open Loop	ทาง
3-16 ค่า Feedback ที่ได้เป็นความเร็วพล็อตเทียบกับ เวลาในโปรแกรม MATLAB	คณิต
3-17 ป้อนรูปแบบสมการที่ทำการ Fit Curve	ศาสตร์
3-18 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี Curve Fitting	ตร์
3-19 กราฟที่ได้จากวิธี Curve Fitting Tool	ของ
3-20 Simulation ในโปรแกรม Simulink MATLAB	ระบบ
3-21 Simulation แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ มอเตอร์แบบ Close Loop	แผน
	ดูลัม
	ผกผัน
	น
	แบบ
	Clos
	e
	Loop

3-24	บล็อก Simulate Signal ในโปรแกรมแลบVIEW	63
3-25	กำหนดค่าในบล็อก Simulate Signal	64
3-26	ตัว Numeric Controls ในโปรแกรมแลบVIEW	65
3-27	ต่อตัว Numeric Controls เข้ากับ บล็อก Simulate Signal	65
3-28	เลือกตัว DAQ Assistant ในโปรแกรมแลบVIEW	66
3-29	กำหนดค่า Out Put ในตัว DAQ Assistant	67
3-30	ภาพสัญญาณ PWM จากโปรแกรมแลบVIEW	
3-31	พล็อตชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ	69
พีไอดี		69

หน้า

	70
	70
	71
54	71
57	72
57	73
58	74
59	74
60	สรุป
60	ญ
60	ภาพ
61	(ต่อ)
62	
	ภาพ
	ที่
62	

3-32 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ พีไอดี(ต่อ)	3- 45
3-33 Install PID and Fuzzy Logic Toolkit	กราฟ
3-34 ฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบVIEW	ฟ การ
3-35 บล็อกไดอะแกรมควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วย พีไอดี	ตอบ สนอ
3-36 ตำแหน่งเริ่มต้นของแท่งแพนดูลัมจุดสมดุลล่างที่มุม 0 องศา	งของ ระบบ
3-37 ทิศทางการแกว่งของแท่งแพนดูลัมจากจุดสมดุลล่าง ที่มุม 0 องศา ไปยังจุดสมดุล บนที่มุม 180 องศา หรือ -180 องศา	สมการ ร กำลัง สอง
3-38 ตำแหน่ง Set Point Cart ในแกน X เท่ากับ 5 เซนติเมตร เมื่อแท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกา	3- 46
3-39 ตำแหน่ง Set Point Cart ในแกน X เท่ากับ -5 เซนติเมตร เมื่อแท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกา	การ กำหนด ค่า า
3-40 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ ฟัซซีลอจิก	ผลิตพ ลาด
3-41 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ ฟัซซีลอจิก(ต่อ)	ใน Fuzz
3-42 ฟังก์ชันฟัซซีลอจิกและการต่อใช้งานในโปรแกรม แลบVIEW	y- Set-
3-43 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน ด้วยฟัซซีลอจิก	Edit
3-44 Fuzzy Logic Controller Design	or แบบ

5 สมาชิก	
3-47 การกำหนดค่าอัตราความผิดพลาด ใน Fuzzy-Set-Editor	79
3-48 การกำหนดค่าเอาต์พุตใน Fuzzy-Set-Editor	
3-49 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดีร่วมกับฟัซซี่ลอจิก	79
3-50 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน	80
3-51 แสดงการควบคุมและการรับค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์	81
3-52 การควบคุมตำแหน่งในการแกว่งแท่งแพนดูลัม	
3-53 แสดงการประมวลผลของระบบควบคุม	82
3-54 ตัวแสดงผลและการส่งสัญญาณออกไปควบคุมระบบ	82
3-55 ส่วนของการบันทึกผลเก็บไว้ในไฟล์ Microsoft Excel	84
	84
หน้า	85
75	86
76	
76	86
77	
78	87
79	

89

90

90

91

91

91

ฟิชชี

ลอจิก

ก

แบบ

5

สารบัญภาพ (ต่อ)

สมา

ชิก

ใน

ภาพที่

การ

4-1 ผลการ Simulation แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ควบคุม

Open Loop

คุม

แบ่ง

4-2 ผลการ Simulation แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แผน

ดูล้ม

Close Loop

4-

4-3 ผลการ Simulation แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ
ระบบแผนดูล้มผกผัน

8

กราฟ

Close Loop

ฟที่

ได้

4-4 ผลตอบสนองการควบคุมแบ่งแผนดูล้มด้วยพีไอดี

จาก

4-5 ผลตอบสนองการควบคุมแบ่งแผนดูล้มด้วยฟิชชี

แลบ

ลอจิกแบบ 3 สมาชิก

วิว

โดย

4-6 ผลตอบสนองการควบคุมแบ่งแผนดูล้มด้วยฟิชชี

การ

ลอจิกแบบ 5 สมาชิก

ปรับ

4-7 กราฟค่าความผิดพลาดของตัวควบคุมแบบพีไอดี ฟิชชี
ลอจิกแบบ 3 สมาชิกและ

ค่า

ระยะ

ที่ 0

– 5 โดยใช้พีไอดี

4-9 กราฟที่ได้จากการปรับค่าระยะที่ 0 – (-5) โดยใช้
พีไอดี

4-10 กราฟที่ได้จากการปรับค่าระยะที่ 5 กับ (-5) โดยใช้
พีไอดี

หน้า

4-11 กราฟผลตอบสนองการแกว่งของแท่งแพนดูลัม โดยใช้พีไอดี 93

4-12 กราฟผลตอบสนองการรักษาสมดุลของแท่งแพน
ดูลัม โดยใช้พีไอดี 94

4-13 กราฟผลตอบสนองการรักษาสมดุลของแท่งแพน
ดูลัม เมื่อเข้าสู่ Set Point ที่ 180 องศา โดยใช้ พีไอดี 94

4-14 กราฟผลตอบสนองการรักษาสมดุลของแท่งแพน
ดูลัม โดยใช้ ฟัชชีลอจิก 96
แบบ 3 สมาชิก 97

4-15 กราฟผลตอบสนองการรักษาสมดุลของแท่งแพน
ดูลัม เมื่อเข้าสู่ Set Point 100
180 องศา โดยใช้ ฟัชชีลอจิกแบบ 3 สมาชิก 101

4-16 กราฟผลตอบสนองการรักษาสมดุลของแท่งแพน
ดูลัม โดยใช้ ฟัชชีลอจิก 103
แบบ 5 สมาชิก 104

4-17 กราฟผลตอบสนองการรักษาสมดุลของแท่งแพน
ดูลัม เมื่อเข้าสู่ Set Point 105
180 โดยใช้ ฟัชชีลอจิกแบบ 5 สมาชิก 106

	108 ก-5 แนว คิด 109ใน การ เขียน 110โปรแ กรม 111ควบ คุม ระบบ แพน ดูลัม ผกผัน
ภาพที่	
4-18 การเปรียบเทียบผลตอบแทนของการรักษาสมดุลของ แท่งแพนดูลัม เมื่อเข้าสู่	น (ต่อ)
Set Point 180องศา โดยใช้พีไอดี ฟิชชีแบบ 3 สมาชิก และฟิชชีลอจิก	ข-1 หน้า ต่าง โปรแ กรม การ ควบ คุม ระบบ แพน ดูลัม ผกผัน
แบบ 5 สมาชิก	
4-19 รบกวนระบบควบคุมด้วย พีไอดี	
4-20 รบกวนระบบ ควบคุมด้วยฟิชชีลอจิกแบบ 3 สมาชิก	
4-21 รบกวนระบบ ควบคุมด้วยฟิชชีลอจิกแบบ 5 สมาชิก	
ก-1 แนวคิดในการสร้างชุดควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน	
ก-2 แนวคิดในการสร้างชุดควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน (ต่อ)	
ก-3 แนวคิดในการสร้างชุดควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน (ต่อ)	
ก-4 แนวคิดในการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบแพนดูลัม ผกผัน	น

ข-2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดี	112
ข-3 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยฟuzzyลอจิก	113
ข-4 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดีร่วมกับฟuzzyลอจิก	113
ค-1 หาจุด CG ของแท่งแพนดูลัมในโปรแกรม Solid Work	114
ค-2 ชั่งน้ำหนักของตัวรถ (Cart)	127
ค-3 ชั่งน้ำหนักตัวเอ็นโค้ดเดอร์	128
ค-4 ชั่งน้ำหนักลูกตุ้ม	129
ค-5 ชั่งน้ำหนักแท่งแพนดูลัม	130
ค-6 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่	131
ง-1 แบบชุดควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน	135
หน้า	136

137

138

141

141

142

142

143

143

147