สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายอักษรย่อ	(14)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
รายงานผลงานที่มีผู้ทำมาแล้ว	3
Fuzzy Inference System	4
โครงสร้างของ Fuzzy Inference System	5
ประเภทของ Fuzzy Inference System	5
Regression and Optimization	10
Least-Square Estimator	10
Derivative-Based Optimization	14
Adaptive Neural Network	17
โครงสร้างของ Adaptive Neural Network	17
Adaptive Neural Network Learning Algorithm	21
Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System	30
โครงสร้างของ ANFIS	31
ANFIS Learning Algorithm	34
ระบบแขนหุ่นยนต์	35
โครงสร้างของระบบแขนหุ่นยนต์	35
สมการการเคลื่อนที่ของระบบแขนหุ่นยนต์	35
Feedback Linearization for Closed-Loop Control	37
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
กระบวนการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS	42
การออกแบบการทดลอง	43
ชุดของตัวเลือกของ ANFIS แบบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์	48
กระบวนการคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS จากตัวเลือกแบบต่าง ๆ	48
กระบวนการเรียนรู้สำหรับแบบจำลอง ANFIS	49
กระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS	49
สถานที่ทำการวิจัย	50
ระยะเวลาทำการวิจัย	50
ผลและการวิจารณ์	51
การทดลองกระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์	51
การทดลองกระบวนการเรียนรู้สำหรับการหาแบบจำลอง ANFIS	60
การทดลองการตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	76
การทดลองการตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิด	90
สรุป	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าพารามิเตอร์ของระบบแขนหุ่นยนต์	44
2	แบบจำลอง ANFIS ที่ใช้เป็นตัวเลือกแบบต่าง ๆ สำหรับการทดลอง Open-Loop System Identification	60
3	ผลการทดลองในส่วนกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANFIS สำหรับการทำ Open-Loop System Identification	61
4	แบบจำลอง ANFIS ที่ใช้เป็นตัวเลือกแบบต่าง ๆ สำหรับการทดลอง Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	66
5	ผลการทดลองในส่วนกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANFIS สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	66
6	แบบจำลอง ANFIS ที่ใช้เป็นตัวเลือกแบบต่าง ๆ สำหรับการทดลอง Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	71
7	ผลการทดลองในส่วนกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANFIS สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	71
8	ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Open-Loop System Identification ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	77
9	ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	80
10	ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	85
11	ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และกำหนดสัญญาณอินพุตอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 84	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และกำหนดสัญญาณอินพุตอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 89	95
13	ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PD และกำหนดสัญญาณอินพุตอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 94	99
14	ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PD และกำหนดสัญญาณอินพุตอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 99	102

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของ Fuzzy Inference System	5
2	โครงสร้างของ Mamdani Fuzzy Inference System (max-min composition)	6
3	โครงสร้างของ Mamdani Fuzzy Inference System (max-produce composition)	7
4	โครงสร้างของ Sugeno Fuzzy Inference System (weight average)	9
5	โครงสร้างของ Sugeno Fuzzy Inference System (weight sum)	9
6	โครงสร้างของTsugamoto Fuzzy Inference System	10
7	โครงสร้าง Feedforward Adaptive Neural Network	18
8	โครงสร้าง Recurrent Adaptive Neural Network	18
9	โครงสร้างภายในนิวรอนที่ประกอบด้วยอินพุต n ตัว	19
10	โครงสร้างระบบ Adaptive Neural Network ที่มี 1 เลเยอร์ s นิวรอน	20
11	โครงสร้างระบบ Adaptive Neural Network R อินพุต $s^1 - s^2$ นิวรอน	21
12	โครงสร้าง Sugeno Fuzzy Inference System สำหรับ ANFIS	31
13	โครงสร้าง Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System	32
14	โครงสร้างของระบบแขนหุ่นยนต์	35
15	แผนภาพแสดง Brunovsky Canonical Linear System (BCLS)	39
16	แผนภาพการควบคุมระบบแขนหุ่นยนต์แบบ Feedback Linearization	41
17	แผนภาพแสดงกระบวนการหาแบบจำลองของระบบโดยใช้ ANFIS	43
18	โครงสร้างแขนหุ่นยนต์	43
19	แสดงกระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับ Open-Loop System Identification	45
20	โปรแกรม Simulink สำหรับใช้เก็บข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำ Open-Loop System Identification	45
21	แสดงกระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับ Closed-Loop System Identification	46
22	โปรแกรม Simulink สำหรับใช้เก็บข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำ Closed-Loop System Identification โดยใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	โปรแกรม Simulink สำหรับใช้เก็บข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำ Closed-Loop System Identification โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PD	47
24	แสดงแบบจำลอง ANFIS ที่มีอินพุตเป็นตัวแปรแบบต่าง ๆ	48
25	กระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS โดยใช้ระบบควบคุมแบบวงเปิด	49
26	กระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS โดยใช้ระบบควบคุมแบบวงปิด	50
27	การสร้างสัญญาณ PRBS โดยใช้โปรแกรม Simulink ของ Matlab	51
28	สัญญาณ PRBS ที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุตให้กับระบบแขนหุ่นยนต์	52
29	การเก็บข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรม Simulink ของMatlab สำหรับการทำ Open-Loop System Identification	52
30	สัญญาณเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ในส่วนตำแหน่งการเคลื่อนที่ สำหรับการทำ Open-Loop System Identification	53
31	สัญญาณเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ในส่วนความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ สำหรับการทำ Open-Loop System Identification	53
32	การเก็บข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรม Simulink ของMatlab สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	54
33	สัญญาณอินพุตอ้างอิงของระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	55
34	สัญญาณอินพุตที่ถูกป้อนให้กับระบบแขนหุ่นยนต์ สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	55
35	สัญญาณเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ในส่วนตำแหน่งการเคลื่อนที่ สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	56
36	สัญญาณเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ในส่วนความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	การเก็บข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรม Simulink ของMatlab สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	57
38	สัญญาณอินพุตอ้างอิงของระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	58
39	สัญญาณอินพุตที่ถูกป้อนให้กับระบบแขนหุ่นยนต์ สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	58
40	สัญญาณเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ในส่วนตำแหน่งการเคลื่อนที่ สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	59
41	สัญญาณเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ในส่วนความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ สำหรับการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD	59
42	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID1	62
43	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID2	62
44	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID3	63
45	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID4	63
46	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID5	64
47	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID6	64
48	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง openSID7	65
49	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID1	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID2	67
51	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID3	68
52	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID4	68
53	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID5	69
54	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID6	69
55	ผลการเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID7	70
56	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID1_Exp2	72
57	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID2_Exp2	72
58	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID3_Exp2	73
59	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID4_Exp2	73
60	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID5_Exp2	74
61	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID6_Exp2	74
62	ผลการเปรียบเทียบเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง closedSID7_Exp2	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
63	การตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	76
64	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	77
65	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	78
66	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	78
67	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID6 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	79
68	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID7 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	79
69	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID1 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	81
70	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	81
71	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
72	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	82
73	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	83
74	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	83
75	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	84
76	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID1_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	86
77	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID2_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	86
78	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID3_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	87
79	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID4_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	87
80	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
81	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID6_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	88
82	ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID7_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด	89
83	การตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิด	90
84	สัญญาณอินพุตอ้างอิงของระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ในการทดลองหัวข้อที่ 4.1.1	91
85	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง openSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 84	92
86	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 84	93
87	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 84	93
88	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 84	94
89	สัญญาณอินพุตอ้างอิง ($\theta_1 = pi/2, \theta_2 = 0, \theta_3 = 0, \theta_4 = 0$)	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
90	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง openSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 89	96
91	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 89	96
92	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 89	97
93	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม feedback linearization และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 89	97
94	สัญญาณอินพุตอ้างอิงของระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ในการทดลองหัวข้อที่ 4.2.1	98
95	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง openSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 94	99
96	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 94	100
97	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 94	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
98	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 94	101
99	สัญญาณอินพุตอ้างอิง ($\theta_1 = {pi}/{2}, \theta_2 = 0, \theta_3 = 0, \theta_4 = 0$)	101
100	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง openSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 99	103
101	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 99	103
102	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 99	104
103	ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และของแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม PD และกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณดังภาพที่ 99	104