สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
รายงานผลงานที่มีผู้ทำมาแล้ว	5
บทนำวิทยานิพนธ์	6
ทฤษฎีและความเข้าใจพื้นฐาน	12
การระบุเอกลักษณ์ของระบบ	38
อุปกรณ์และวิธีการ	74
อุปกรณ์	74
วิธีการ	79
สถานที่ทำการวิจัย	109
ระยะเวลาทำการวิจัย	109
ผลและการวิจารณ์	110
สรุป	135
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	137
ภาคผนวก	139
ภาคผนวก ก	140
ภาคผนวก ข	147
ภาคผนวก ค	153
ภาคผนวก ง	165
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	185

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่า $A(q)$ ที่ไม่เป็น 0 ที่จะทำให้เกิด Maximum length PRBS ที่ค่า n ต่างๆกัน	44
2	แสดงความถูกต้อง (แสดงเป็น %) เมื่อกำหนดให้ Order $n_k = 1$ และเลือกใช้ n_a และ n_b ของ ARX Model ค่าต่างๆกัน	117
3	แสดงความถูกต้อง (แสดงเป็น %) เมื่อกำหนดให้ Order n_a, n_b และ n_k เท่ากับ 1 และเลือกใช้ Order n_c ของ ARMAX Model ค่าต่างๆกัน	121
4	แสดงความถูกต้อง (แสดงเป็น %) เมื่อกำหนดให้ Order n_c และ n_k เท่ากับ 1 และเลือกใช้ Order n_a และ n_b ของ ARMAX Model ค่าต่างๆกัน	121
5	แสดงความถูกต้อง (แสดงเป็น %) เมื่อกำหนดให้ Order $n_k = 1$ และเลือกใช้ Order n_f ของ OE Model ค่าต่างๆกัน	125
6	แสดงความถูกต้อง (แสดงเป็น %) เมื่อเลือกใช้ Order n_k ค่าต่างๆกัน	126
7	แสดงค่าความถูกต้อง (แสดงเป็น %) ของแต่ละ Model Structure	128
8	แสดงค่าความถูกต้อง (แสดงเป็น %) ของแต่ละ Model Structure เมื่อใช้ Validation Data และชุดข้อมูลอีก 2 ชุดเพิ่มเติมในการเปรียบเทียบ	134
9	แสดงลำดับความถูกต้องของแต่ละ Model Structure เมื่อใช้ Validation Data และชุดข้อมูลอีก 2 ชุดเพิ่มเติมในการเปรียบเทียบ	134

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงแผนภาพลำดับขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ของระบบ	3
2	Permanent Magnet DC Servo Motor ผลิตโดยบริษัท GLENTEK	10
3	เครื่องจักร CNC ผลิตโดยบริษัท JACK MILL	10
4	แขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโดยบริษัท KUKA	11
5	แสดงวงจรสมมูลของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
6	แสดง Block Diagram ของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
7	รูปสมมูลภาระโหลดทางกลที่ต่อเชื่อมกับมอเตอร์	15
8	Block Diagram แสดงรายละเอียดของ $G(s)$	17
9	แสดง Block Diagram ของระบบ	17
10	แสดง Pole ของระบบกำลังหนึ่ง	21
11	แสดงผลตอบสนองของระบบกำลังหนึ่ง	21
12	แสดงผลตอบสนองของระบบกำลังสองที่ตำแหน่งของ Pole มีค่าต่างๆ	24
13	แสดงผลตอบสนองของระบบกำลังสองที่ค่า ζ ต่างๆกัน	26
14	แสดงผลตอบสนองของระบบกำลังสองแบบ Underdamped	27
15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลากับ ζ	27
16	Block Diagram แสดงระบบทั่วไป	29
17	Block Diagram แสดงระบบแบบมีสัญญาณรบกวนเข้ามารบกวน	30
18	Block Diagram แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณรบกวน	30
19	Block Diagram แสดงความสัมพันธ์ของระบบ LTI	32
20	แผนภาพ Block Diagram ของระบบ LTI ตามสมการ (68)	37
21	Diagram ของระบบปิด (Closed-Loop System)	38
22	แสดงค่าของ PRBS	45
23	สัญญาณ PRBS $M = 127$	47
24	โดเมนความถี่ของภาพที่ 22 หาจากการใช้ฟังค์ชั่น FFT	47
25	แสดงแผนผังที่สมมูลกับสมการ (80) โดยที่ $n = 8$	48
26	แสดงการต่อเชื่อมสัญญาณต่างในโปรแกรม MATLAB Simulink	49
27	สัญญาณ PRBS ที่สร้างโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ในภาพที่ 25	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	โครงสร้างของ ARX Model	57
29	โครงสร้างของ ARMAX Model	59
30	แสดงการสมมติสัญญาณ $w(t)$ เพิ่มเติมจากภาพที่ 19	60
31	โครงสร้างของ Output Error (OE) Model	61
32	คอมพิวเตอร์และโปรแกรม MATLAB 7.0.4.365 (R14) Service Pack 2	74
33	DC Servo Motor ต่อเชื่อมกับ Tacho-Generator ในชุดทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่	75
34	บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์อเนกประสงค์พร้อมชุดดาวน์โหลดโปรแกรม	75
35	บอร์ด Driver ผลิตโดยบริษัท Inex	76
36	การ์ดสำหรับแปลงข้อมูลจาก Analog เป็น Digital และอุปกรณ์เพิ่มเติม	77
37	Power supply ที่ใช้ในการทดลอง	78
38	Oscilloscope	78
39	แสดงแผนภาพลำดับขั้นตอนการทดลอง	79
40	Block Diagram แสดงการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล	80
41	Block Diagram แสดงการทดลองเพื่อประมวลผลข้อมูล	80
42	แบบวงจรของการทดองหาค่าความถี่ตอบสนองของมอเตอร์โดยการใช้สัญญาณอินพุตเป็น Step	81
43	กราฟ Step Response (Sampling Rate 1 KHz)	83
44	แสดงผลการกรองโดยใช้ Moving Average และ Median Filter ขนาด Window = 10	85
45	แสดงสัญญาณอินพุตเป็น Step ขนาด 18V และผลตอบสนองของระบบจาก Oscilloscope	86
46	แสดง Bode Diagram ของ $G(s)$	88
47	แสดงการ Sampling สัญญาณจาก Analog เป็น Digital	89
48	แบบวงจรของการทดลองระบุเอกลักษณ์ของระบบโดยใช้สัญญาณอินพุตเป็น PRBS	91
49	แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลอง	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	แสดงข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าสัญญาณ PRBS ที่สร้างจากไมโครคอนโทรเลอร์ โดยใช้โปรแกรม Syn_Muti_V_Edit.m (Sampling Rate 1 KHz)	93
51	แสดงสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของ Driver ที่ช่องสัญญาณ 1 และ 2 ตามลำดับ	96
52	แสดงหน้าต่างของ ident	98
53	แสดงหน้าต่าง Import Data หลังจากกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว	99
54	แสดงหน้าต่างหลังจากนำข้อมูลในส่วน Data Views เข้ามาในส่วน Working Data แล้วทำการเลือก Time plot แล้ว	100
55	แสดงสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของระบบที่เก็บได้จากการทดลอง	101
56	แสดงสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของระบบช่วงเวลา 0 ถึง 10 วินาที	102
57	แสดงหน้าต่างของ Select Range ขณะกำหนดช่วงของข้อมูลที่เราจะนำมาใช้ Estimate	103
58	แสดงหน้าต่างของ Select Range ขณะกำหนดช่วงของข้อมูลที่เราจะนำมาใช้ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	104
59	แสดงหน้าต่างเตรียมพร้อมข้อมูลสำหรับการระบุเอกลักษณ์	104
60	แสดงการ Plot กราฟเฉพาะชุดข้อมูลชื่อ Motordata30v	105
61	แสดงชุดข้อมูลชื่อ Testdata_sig4_sampling30ms.mat มี Sampling Interval เท่ากับ 30 ms	108
62	แสดงชุดข้อมูลชื่อ Testdata_sig5_sampling30ms.mat มี Sampling Interval เท่ากับ 30 ms	108
63	แสดงแผนภาพลำดับขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์	110
64	แสดงหน้าต่าง Correlation Model	112
65	แสดงการเลือก Transient resp ที่หน้าต่าง ident	112
66	แสดง Step Response ที่ได้จากการทำ Correlation Analysis กับชุดข้อมูลชื่อ Motordata30e	113
67	แสดง Impulse Response ที่ได้จากการทำ Correlation Analysis กับชุดข้อมูลชื่อ Motordata30e	113

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
68	แสดงหน้าต่าง Parametric Models หลังจากกำหนดค่าสำหรับการ Estimate ARX Model เรียบร้อยแล้ว	115
69	แสดงหน้าต่าง ident หลังการเลือก Model output เพื่อตรวจสอบ arx111	116
70	แสดงการเปรียบเทียบค่าสัญญาณเอาท์พุตในชุดข้อมูลชื่อ Motordata30v กับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก Model arx111 ในช่วงเวลา 2 วินาที	116
71	แสดงหน้าต่าง Parametric Models หลังจากกำหนดค่าสำหรับการ Estimate ARMAX Model เรียร้อยแล้ว	119
72	แสดงหน้าต่าง ident หลังการเลือก Model output เพื่อตรวจสอบ amx1111	120
73	แสดงการเปรียบเทียบค่าสัญญาณเอาท์พุตในชุดข้อมูลชื่อ Motordata30v กับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก Model amx1111 ในช่วงเวลา 2 วินาที	120
74	แสดงหน้าต่าง Parametric Models หลังจากกำหนดค่าสำหรับการ Estimate ARMAX Model เรียบร้อยแล้ว	123
75	แสดงหน้าต่าง ident หลังการเลือก Model output เพื่อตรวจสอบ oe111	124
76	แสดงการเปรียบเทียบค่าสัญญาณเอาท์พุตในชุดข้อมูลชื่อ Motordata30v กับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก Model oe111 ในช่วงเวลา 2 วินาที	124
77	แสดงค่า Step Response ของ Model arx111, Model amx1111 และ Model oe111	126
78	แสดงหน้าต่าง ident หลังการเลือก Model resides	129
79	แสดงการเปรียบเทียบค่า Residual ระหว่าง Model arx111, Model amx1111 และ Model oe111 โดยใช้ชุดข้อมูล Motordata30v เป็น Validation Data ภาพบนแสดงค่า $\hat{R}_{\varepsilon}^{N}(\tau)$ ภาพล่างแสดงค่า $\hat{R}_{\varepsilon u}^{N}(\tau)$	130
80	แสดงการเปรียบเทียบค่าสัญญาณเอาท์พุตในชุดข้อมูลชื่อ Testdata_sig4_sampling30ms กับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก Model Structure ทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลา 2 วินาที	133
81	แสดงการเปรียบเทียบค่าสัญญาณเอาท์พุตในชุดข้อมูลชื่อ Testdata_sig5_sampling30ms กับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก Model Structure ทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลา 2 วินาที	133

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	แสดงระบบ G	144
ก2	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากสมการพาราโบลา	146
ข1	แสดงค่าของตัวแปร prbs, prbsEx_2 และ prbsEx_10 จำนวน 50 ข้อมูลแรก	152
ข2	แสดงโดเมนความถี่ของตัวแปร prbs, prbsEx_2 และ prbsEx_10	152
ค1	บอร์ดสำหรับต่อเชื่อม AT89S52 เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ เอนกประสงค์ (บอร์ดข้างบน) และบอร์ดสำหรับโปรแกรม (บอร์ดข้างล่าง)	154
ค2	หน้าต่างโปรแกรมดาวน์โหลด Atmel Microcontroller ISP Software เวอร์ชั่น 1.0	155
ค3	บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์เอนกประสงค์	156
ค4	แบบไฟวงจรของบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์เอนกประสงค์	157
ค5	หน้าต่างโปรแกรม Editor Keil	158
ค6	Timing Diagram แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ไมโครคอนโทรเลอร์ สร้างโดยใช้โปรแกรม Gen_PRBSn8.c กับสัญญาณหลังจากผ่าน บอร์ด Driver	160
ง1	แสดงภาพคอมพิวเตอร์ที่มีช่องเสียบการ์ดชนิด PCI	166
ง2	แสดงภาพการ์ด PCI-9112 และคู่มือการใช้งาน	166
ง3	แสดงสายสัญญาณและเทอร์มินอล	167
ง4	แสดงตำแหน่ง Jumper JP5 อยู่ในฝั่งของ DIFF	169
ง5	แสดงผังการต่อเทอร์มินอลกับการ์ด PCI-9112 โดยใช้สายสัญญาณ DB-37	172
ง6	แสดงหน้าที่ของ PIN เมื่อปรับเป็นการอ่านแบบ Differrential Analog Input	172
ง7	แสดงการต่อสัญญาณ Differencetial Voltage แบบ Floating Source	173