

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์	5
2 ปรัชญาการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ ที่มีอัตราขยายแรงดันสูง	7
2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียง ต่อกันหลายชั้น	14
2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่มีความคงทนต่อความ ผิดเพี้ยน	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	สรุป.....	29
3	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	30
3.1	บทนำ.....	30
3.2	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	30
3.3	อัตราขยายแรงดันและอัตราขยายกระแสของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า แบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	37
3.3.1	อัตราขยายแรงดันของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียง ต่อกันสามชั้น	39
3.3.2	อัตราขยายกระแสของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียง ต่อกันสามชั้น	41
3.4	การออกแบบค่าพารามิเตอร์ภายในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียง ต่อกันสามชั้น.....	43
3.4.1	การออกแบบค่าพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำ.....	43
3.4.2	การออกแบบค่าพารามิเตอร์ตัวเก็บประจุ.....	45
3.5	ผลการจำลองสถานการณ์.....	47
3.6	สรุป.....	49
4	การควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	51
4.1	บทนำ.....	51
4.2	การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ เรียงต่อกันสามชั้น	51
4.2.1	ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function).....	55
4.2.2	ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable).....	57
4.2.3	กฎของฟัซซี (Fuzzy Rule)	58
4.2.4	การอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference).....	60
4.2.5	กระบวนการควบคุม (Control Process)	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	การจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกัน สามขั้นโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น	69
4.4	การออกแบบการควบคุมพีไอสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเรียงต่อกัน สามขั้น	74
4.4.1	การออกแบบลู่วควบคุมแรงดัน (PI Voltage Loop).....	75
4.4.2	การออกแบบลู่วควบคุมกระแส (PI Current Loop).....	77
4.4.3	เทคนิคการถ่วงน้ำหนักกระแส (Current Weighting Technique)	80
4.4.4	การจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวควบคุมฟัซซีที่ พัฒนาขึ้น และตัวควบคุมพีไอร่วมกับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักกระแส	84
4.5	สรุป	89
5	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นที่มีความคงทนต่อ ความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร	91
5.1	บทนำ	91
5.2	การศึกษาพฤติกรรมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น ...	91
5.2.1	การจำลองสถานการณ์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ เรียงต่อกันสามขั้นในสภาวะปกติ.....	92
5.2.2	การจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ เรียงต่อกันสามขั้นเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร	101
5.3	วิธีการตรวจจับและระบุตำแหน่งความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร ที่พัฒนาขึ้น	108
5.3.1	การตรวจจับความผิดพลาดที่ S_1	109
5.3.2	การตรวจจับความผิดพลาดที่ S_2	115
5.3.3	การตรวจจับความผิดพลาดที่ S_3	122
5.4	การจำลองสถานการณ์	135

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.1	การตรวจจับความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรในสภาวะการทำงานปกติ	136
5.4.2	การจำลองสถานการณ์การตรวจจับความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงานของวงจร	141
5.4.3	การจำลองสถานการณ์การทำงานของวงจรภายใต้สภาวะความคงทนต่อความผิดปกติ	148
5.5	สรุป	156
6	การสร้างชุดทดสอบ	158
6.1	บทนำ	158
6.2	โครงสร้างของชุดทดสอบ	158
6.3	แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	158
6.4	แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	160
6.5	วงจรตรวจจับสัญญาณ	165
6.5.1	วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	165
6.5.2	วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน	168
6.5.3	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	171
6.6	วงจรขยายแรงดันแบบแยกโดดสัญญาณ	173
6.7	การควบคุมแรงดันเอาต์พุต และการตรวจจับความผิดปกติ	174
6.8	จำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นแบบฮาร์ดแวร์ในรูป	177
6.8.1	การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นโดยใช้ตัวควบคุมฟัชซีที่พัฒนาขึ้น	177
6.8.2	การจำลองสถานการณ์การตรวจจับ และการระบุตำแหน่งความผิดปกติของวงจรแบบฮาร์ดแวร์ในรูป	182
6.9	สรุป	186

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7 ผลการทดสอบ	187
7.1 บทนำ	187
7.2 ผลการทดสอบชุดทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกัน สามขั้นโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่พัฒนาขึ้น	187
7.2.1 กรณีมีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง	188
7.2.2 กรณีมีการปรับเปลี่ยนแรงดันอินพุต	190
7.2.3 กรณีมีการปรับเปลี่ยนโหลดตัวต้านทาน	193
7.3 ผลการทดสอบวงจรที่มีความคงทนต่อความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร	196
7.3.1 กรณีเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_1	196
7.3.2 กรณีเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_2	201
7.3.3 กรณีเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_3	206
7.4 สรุป	209
8 สรุป และข้อเสนอแนะ	211
8.1 สรุป	211
8.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนางานวิจัยในอนาคต	214
รายการอ้างอิง	215
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ DSP รุ่น eZdsp TM F28335	221
ภาคผนวก ข. โปรแกรมภาษาซีสำหรับควบคุมการทำงานชุดทดสอบ	225
ภาคผนวก ค. การจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ เรียงต่อกันสามขั้นแบบฮาร์ดแวร์ในรูปที่มีตัวควบคุม และการตรวจ จับความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร	235
ภาคผนวก ง. การเปรียบเทียบผลจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบ บูสต์เรียงต่อกันสามขั้นเมื่อกระบวนการควบคุมฟัซซี่มีการเปลี่ยนแปลง	265

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	280
ประวัติผู้เขียน.....	316

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์มีอัตราขยายแรงดันสูง..... 9
2.2	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกัน หลายชั้น 14
2.3	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่มีความคงทนต่อความผิดพลาด และการตรวจจับความผิดพลาด.....24
3.1	โหมดการทำงานของแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น31
3.2	พารามิเตอร์ตัวแปรสวิตช์ในฟังก์ชันการสวิตช์ของแรงดันตกคร่อมสวิตช์ กระแสที่ไหลผ่านไดโอด35
3.3	ค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ.....46
3.4	ค่าพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า แบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น47
4.1	ตัวแปรภาษาของตัวควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ เรียงต่อกันสามชั้น.....58
4.2	หน่วยความจำฟัซซีสัมพันธ์ของตัวควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า แบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่พัฒนาขึ้น59
4.3	ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น68
4.4	ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์80
4.5	ค่าพารามิเตอร์สำหรับออกแบบตัวควบคุมพีไอร่วมกับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักกระแส.....81
4.6	ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอร่วมกับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักกระแส.....82
5.1	ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจจับความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร 108
5.2	หน่วยความจำฟัซซีสัมพันธ์ของการตรวจจับความผิดพลาดของสวิตช์ตัวที่ 1 113
5.3	หน่วยความจำฟัซซีสัมพันธ์ของการตรวจจับความผิดพลาดของสวิตช์ตัวที่ 2 119
5.4	หน่วยความจำฟัซซีสัมพันธ์ของการตรวจจับความผิดพลาดของสวิตช์ตัวที่ 3 128
5.5	ค่าพารามิเตอร์ของการตรวจจับความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่พัฒนาขึ้น 135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.6	ผลการตรวจจับความผิดพร่องภายใต้การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงาน 148
6.1	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับสร้างชุดทดสอบ 164
6.2	ผลการทดสอบเปรียบเทียบการวัดตัวตรวจจับสัญญาณกระแส 166
6.3	ผลการทดสอบเปรียบเทียบการวัดตัวตรวจจับสัญญาณแรงดัน 169
6.4	ผลการทดสอบเปรียบเทียบบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ 172
ง.1	การเปรียบเทียบผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการลดจำนวนกฎของฟิชชี 268
ง.2	ผลตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขอบเขตสมาชิกฟังก์ชันเซต Z ของ $\Delta V/V_{ref}$ 276

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	โครงสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่มีความคงทนต่อความ ผิดพร่อง โดยอาศัยการควบคุมพีซี.....	3
2.1	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสองชั้น	11
2.2	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์อินเทอร์ลีฟสองเฟส.....	11
2.3	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบทบระดับแรงดันกำลังสอง.....	12
2.4	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบหลายระดับที่มีแหล่งจ่ายเดียว	12
2.5	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบหลายระดับที่มีหลายแหล่งจ่าย	13
2.6	โครงสร้างตัวควบคุมโหมดการเลื่อน	18
2.7	โครงสร้างตัวควบคุมรวมศูนย์แบบโครงข่ายปรับตัวได้	18
2.8	โครงสร้างตัวควบคุมพีโอร่วมกับเทคนิคการถ่วงน้ำหนัก	19
2.9	โครงสร้างตัวควบคุมแบบคงทน.....	20
2.10	โครงสร้างตัวควบคุมพีซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสองชั้น	20
2.11	โครงสร้างตัวควบคุมพีซีสำหรับวงจรทบระดับแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันสูง	21
3.1	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	31
3.2	โหมดการทำงานที่ 1 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	32
3.3	โหมดการทำงานที่ 2 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	32
3.4	โหมดการทำงานที่ 3 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	32
3.5	โหมดการทำงานที่ 4 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	33
3.6	โหมดการทำงานที่ 5 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	33
3.7	โหมดการทำงานที่ 6 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	33
3.8	โหมดการทำงานที่ 7 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	33
3.9	โหมดการทำงานที่ 8 ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	34
3.10	ตัวแปรสวิตช์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 สัญญาณฟังก์ชันการสวิตช์	34
3.12 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ดั้งเดิมขณะที่ในช่วงที่สวิตช์นำกระแส.....	38
3.13 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ดั้งเดิมขณะที่ในช่วงที่สวิตช์หยุดนำกระแส	38
3.14 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในสภาวะอยู่ตัว.....	39
3.15 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในสภาวะอยู่ตัว.....	41
3.16 กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในสภาวะอยู่ตัวของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ดั้งเดิม.....	44
3.17 ผลจากการจำลองสถานการณ์ของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสาม	48
3.18 ผลจากการจำลองสถานการณ์ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสาม	49
4.1 โครงสร้างการควบคุมฟuzzyที่พัฒนาขึ้นสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น.....	52
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการสวิตช์ และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1.....	53
4.3 กระบวนการสร้างสัญญาณการสวิตช์ (PWM generation).....	55
4.4 ฟังก์ชันสมาชิกนอร์มัลไลซ์ของความผิดพลาดของแรงดัน ($\Delta V/V_{ref}$).....	56
4.5 ฟังก์ชันสมาชิกนอร์มัลไลซ์ของความชันกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1 (m_{iL1}/m_{ref}).....	56
4.6 ความสัมพันธ์ของ i_{L1} ณ เวลาใด ๆ และฟังก์ชันสมาชิก m_{iL1}/m_{ref}	56
4.7 ฟังก์ชันสมาชิกของการเปลี่ยนแปลงของค่าวัฏจักรหน้าที่สวิตช์ (ΔD).....	57
4.8 โครงสร้างของการควบคุมแบบฟuzzy	60
4.9 โครงสร้างการควบคุมฟuzzyสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น ..	62
4.10 กระบวนการฟuzzyของ i_{L1} ณ เวลาใด ๆ กรณีที่ค่า $\Delta V/V_{ref} \in N$	63
4.11 ฟังก์ชันสมาชิก $\Delta V/V_{ref}$, m_{iL1}/m_{ref} และ ΔD ในกรณี $\Delta V/V_{ref} \in N$	64
4.12 กระบวนการฟuzzyของ i_{L1} ณ เวลาใด ๆ กรณีที่ค่า $\Delta V/V_{ref} \in Z$	65
4.13 ฟังก์ชันสมาชิก $\Delta V/V_{ref}$, m_{iL1}/m_{ref} และ ΔD ในกรณี $\Delta V/V_{ref} \in Z$	66
4.14 กระบวนการฟuzzyของ i_{L1} ณ เวลาใด ๆ กรณีที่ค่า $\Delta V/V_{ref} \in P$	67
4.15 ฟังก์ชันสมาชิก $\Delta V/V_{ref}$, m_{iL1}/m_{ref} และ ΔD ในกรณี $\Delta V/V_{ref} \in P$	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจร กรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต.....	70
4.17 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจร กรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง.....	72
4.18 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจร กรณีเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน.....	73
4.19 โครงสร้างการควบคุมพีไอควบคุมพีโอร่วมกับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักกระแสของวงจร แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	74
4.20 การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุสำหรับลูปควบคุมแรงดัน	75
4.21 แผนภาพการควบคุมพีโอลูปควบคุมแรงดัน.....	76
4.22 การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุสำหรับลูปควบคุมกระแส	78
4.23 แผนภาพลูปควบคุมกระแสของการควบคุมพีโอ	79
4.24 แผนภาพเทคนิคการถ่วงน้ำหนักกระแสของตัวควบคุมพีโอ	81
4.25 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุภายใต้การควบคุมพีโอ	83
4.26 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำภายใต้การควบคุมพีโอ.....	83
4.27 ผลการจำลอง V_{C1} , V_{C2} , V_{C3} เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต...	85
4.28 ผลการจำลอง i_{L1} , i_{L2} , i_{L3} เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต.....	85
4.29 ผลการจำลองแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ กรณีเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต	86
4.30 ผลการจำลอง V_{C1} , V_{C2} , V_{C3} เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกรณีเปลี่ยนแปลง โหลดตัวต้านทาน	88
4.31 ผลการจำลอง i_{L1} , i_{L2} , i_{L3} เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน.....	88
5.1 โครงสร้างการควบคุมฟuzzyที่พัฒนาขึ้นสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ เรียงต่อกันสามชั้น.....	92
5.2 ผลการจำลองพฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต 20V เป็น 15V94
5.4	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต 15V เป็น 25V95
5.5	ผลการจำลองพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง96
5.6	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง 400V เป็น 300V ..97
5.7	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง 300V เป็น 500V ..98
5.8	พฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน.....99
5.9	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน 1600Ω เป็น 2400Ω100
5.10	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานวงจรกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน 2400Ω เป็น 1200Ω.....101
5.11	พฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_1102
5.12	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_1103
5.13	พฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_2104
5.14	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_2105
5.15	พฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_3106
5.16	ภาพขยายพฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_3107
5.17	โครงสร้างการควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับการตรวจจับความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร109
5.18	แผนภาพวิธีการตรวจจับความผิดพลาดที่ S_1110
5.19	โครงสร้างของการตรวจจับความผิดพลาดที่ S_1111
5.20	วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นเมื่อเกิดความผิดพลาดที่ S_1111
5.21	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต m_{IL1}/m_{FS1}112
5.22	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต i_{L1}/i_{FS1}112
5.23	ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตค่าสัญญาณความผิดพลาดที่สวิตช์ตัวที่ 1 (FD_1).....112
5.24	แผนภาพวิธีการตรวจจับความผิดพลาดที่ S_2116

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.25 โครงสร้างของการตรวจจับความผิดพร่องที่ S_2	117
5.26 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต ΔD_{dif}	118
5.27 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต m_{FIL1}/m_{FS2}	118
5.28 ฟังก์ชันสมาชิกการเปลี่ยนแปลงการตรวจจับความผิดพร่องที่ S_2 (ΔFD_2)	118
5.29 แผนภาพวิธีการตรวจจับความผิดพร่องที่ S_3	122
5.30 วงจรสมมูลเมื่อเกิดความผิดพร่องที่ S_3	123
5.31 ผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพร่องที่ S_3 และวงจร RC	124
5.32 ภาพขยายผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการทำงานของวงจรกรณีเกิดความผิดพร่องที่ S_3 และวงจร RC	124
5.33 โครงสร้างของการตรวจจับความผิดพร่องที่ S_3	125
5.34 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต $v'_{C3}/V'_{C3,ref}$	127
5.35 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต $v''_{C3}/V''_{C3,ref}$	127
5.36 ฟังก์ชันสมาชิกการเปลี่ยนแปลงการตรวจจับความผิดพร่องที่ S_3 (ΔFD_3)	127
5.37 การจำลองสถานการณ์หาค่า FLD_2 และ FLD_3 กรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต	132
5.38 การจำลองสถานการณ์หาค่า FLD_2 และ FLD_3 กรณีเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง.....	133
5.39 การจำลองสถานการณ์หาค่า FLD_2 และ FLD_3 กรณีเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน	134
5.40 โครงสร้างการควบคุมฟัซซีและการตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจร ที่พัฒนาขึ้น.....	136
5.41 การจำลองสถานการณ์การตรวจจับความผิดพร่องแบบเปิดที่ S_1	138
5.42 การจำลองสถานการณ์การตรวจจับความผิดพร่องแบบเปิดที่ S_2	139
5.43 การจำลองสถานการณ์การตรวจจับความผิดพร่องแบบเปิดที่ S_3	140
5.44 ผลการตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การเพิ่มขึ้นของแรงดันอินพุต..	143
5.45 ผลการตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การลดลงของแรงดันอินพุต	144
5.46 ผลการตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การลดลงของแรงดันอ้างอิง	145

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.47 ผลการตรวจจับความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การเพิ่มขึ้นของ โหลดตัวต้านทาน	146
5.48 ผลการตรวจจับความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การลดลงของ โหลดตัวต้านทาน	147
5.49 โครงสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่มีความคงทน ต่อความผิดพลาด.....	149
5.50 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่มีคงทนต่อความผิดพลาดที่ S_1	150
5.51 ผลการจำลองกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_1 ในสภาวะคงทนต่อความผิดพลาด	151
5.52 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่มีคงทนต่อความผิดพลาดที่ S_2	152
5.53 ผลการจำลองกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_2 ในสภาวะคงทนต่อความผิดพลาด	153
5.54 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่มีคงทนต่อความผิดพลาดที่ S_3	154
5.55 ผลการจำลองกรณีเกิดความผิดพลาดที่ S_3 ในสภาวะคงทนต่อความผิดพลาด	155
6.1 โครงสร้างชุดทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	159
6.2 ชุดทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น	159
6.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	160
6.4 หม้อแปลงปรับแรงดันหนึ่งเฟส.....	160
6.5 มอดูลวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส GBPC35	161
6.6 ตัวเก็บประจุกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	161
6.7 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นที่มีความคงทนต่อความผิดพลาด ..	162
6.8 มอสเฟตกำลัง IXFK80N60P3	162
6.9 ตัวเหนี่ยวนำทั้งสามตัวสำหรับชุดทดสอบ	163
6.10 ตัวเก็บประจุสำหรับชุดทดสอบ	163
6.11 ไดโอดกำลังสำหรับชุดทดสอบ.....	164
6.12 โหลดตัวต้านทานสำหรับชุดทดสอบ	164
6.13 วงจรตัวตรวจจับสัญญาณกระแส.....	165

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.14	วงจรไฟฟ้าสำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส 166
6.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตของตัวตรวจจับกระแส 167
6.16	วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน 168
6.17	วงจรไฟฟ้าสำหรับหาความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสัญญาณแรงดัน 169
6.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตของตัวตรวจจับ สัญญาณแรงดัน 170
6.19	วงจรสำหรับการเปรียบเทียบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 171
6.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ และสัญญาณดิจิตอล 173
6.21	ไอซีออปโตเบอร์ PC923L 173
6.22	วงจรขยายแรงดันแบบแยกโหนดสัญญาณ 174
6.23	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ DSP รุ่น eZdsp TM F28335 174
6.24	ไดอะแกรมการควบคุมแรงดันเอาต์พุตและการตรวจจับความผิดพลาด 176
6.25	แผนภาพการเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรม MATLAB SIMULINK และบอร์ด DSP 177
6.26	โครงสร้างฮาร์ดแวร์ในรูปของวงจรภายใต้ตัวควบคุมพีซีซีทีพัฒนาขึ้น 178
6.27	ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต 179
6.28	ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง 180
6.29	ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน 181
6.30	การตรวจจับ และการระบุตำแหน่งความผิดพลาดของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า แบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นแบบฮาร์ดแวร์ในรูป 182
6.31	การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปของการตรวจจับความผิดพลาด แบบเปิดที่ S_1 183
6.32	การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปของการตรวจจับความผิดพลาด แบบเปิดที่ S_2 184
6.33	การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปของการตรวจจับความผิดพลาด แบบเปิดที่ S_3 185

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.1	ชุดทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง..... 188
7.2	ผลการทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง 189
7.3	ผลการจำลองสถานการณ์วงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง 190
7.4	ชุดทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต..... 191
7.5	ผลการทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต..... 191
7.6	ผลการจำลองสถานการณ์วงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต 192
7.7	ชุดทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน..... 193
7.8	ผลการทดสอบวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน 194
7.9	ผลการจำลองสถานการณ์วงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดตัวต้านทาน 195
7.10	ชุดทดสอบวงจรที่มีความคงทนต่อความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจร..... 196
7.11	ชุดทดสอบวงจรเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_1 197
7.12	ผลการทดสอบวงจรเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_1 198
7.13	ค่าแรงดันเอาต์พุต กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่หนึ่ง และสัญญาณการสวิตช์ เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_1 199
7.14	สัญญาณการสวิตช์ และสัญญาณการตรวจจับความผิดพลาด เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_1 200
7.15	ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_1 ภายใต้สภาวะคงทนต่อความผิดพลาด..... 201
7.16	ชุดทดสอบวงจรเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_2 202
7.17	ผลการทดสอบวงจรเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_2 203
7.18	ค่าแรงดันเอาต์พุต กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่หนึ่ง และสัญญาณการสวิตช์ เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_2 204
7.19	สัญญาณการสวิตช์ และสัญญาณการตรวจจับความผิดพลาด เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_2 204

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.20	ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_2 ภายใต้สภาวะคงทนต่อความผิดปกติ.....205
7.21	ชุดทดสอบวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_3206
7.22	ผลการทดสอบวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_3206
7.23	ค่าแรงดันเอาต์พุต กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่หนึ่ง และสัญญาณการสวิตช์ เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_3207
7.24	สัญญาณการสวิตช์ และสัญญาณการตรวจจับความผิดปกติ เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_3208
7.25	ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสวิตช์เปิดวงจรที่ S_3209
ก.1	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ DSP รุ่น eZdsp TM F28335222
ค.1	แผนการเชื่อมโยงโปรแกรม SIMULINK กับบอร์ด DSP รุ่น eZdsp TM F28335236
ค.2	ไอคอนซอฟต์แวร์โปรแกรมสำหรับการแบบฮาร์ดแวร์ในรูป237
ค.3	การเชื่อมโยงซอฟต์แวร์ MATLAB กับบอร์ด eZdsp TM F28335237
ค.4	หน้าต่างโปรแกรม F28335 eZdsp CCStudio v3.3238
ค.5	การกำหนดค่าบล็อก RTDX Write.....239
ค.6	การกำหนดค่าบล็อก RTDX Read239
ค.7	โครงสร้างการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูป241
ค.8	แผนภาพระบบ RTDX การรับส่งข้อมูลกับโปรแกรม SIMULINK242
ค.9	หน้าต่างโปรแกรม F28335 eZdsp CCStudio v3.3243
ค.10	การเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ระหว่างโปรแกรมกับบอร์ด eZdsp TM F28335243
ค.11	แผนภาพของตัวควบคุม และการตรวจจับความผิดปกติโดยอาศัย กระบวนการทางฟิสิกส์ในการเขียนโค้ดโปรแกรมภาษาซี.....244
ง.1	สมาชิกฟังก์ชันเดิม ก.) $\Delta V_O/V_{ref}$ ข.) m_{iL1}/m_{ref} และ ค.) ΔD267
ง.2	สมาชิกฟังก์ชันใหม่ ก.) $\Delta V_O/V_{ref}$ ข.) m_{iL1}/m_{ref} และ ค.) ΔD267

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.3	ผลการจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นใน สภาวะการทำงานปกติ.....269
ง.4	สมาชิกฟังก์ชันเดิม ก.) $\Delta V_O/V_{ref}$ ข.) m_{iL1}/m_{ref} และ ค.) ΔD270
ง.5	สมาชิกฟังก์ชันใหม่ ก.) $\Delta V_O/V_{ref}$ ข.) m_{iL1}/m_{ref} และ ค.) ΔD270
ง.6	ผลการจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นเมื่อมี การเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิง (V_{ref}).....272
ง.7	ขอบเขตสมาชิกฟังก์ชันเซต Z ของ $\Delta V/V_{ref}$ เป็น [-5, 5]273
ง.8	ขอบเขตสมาชิกฟังก์ชันเซต Z ของ $\Delta V/V_{ref}$ เป็น [-10, 10]273
ง.9	ขอบเขตสมาชิกฟังก์ชันเซต Z ของ $\Delta V/V_{ref}$ เป็น [-20, 20]274
ง.10	การจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้นภายใต้การ ควบคุมฟัซซีที่มีการเปลี่ยนแปลงขอบเขตสมาชิกฟังก์ชันเซต Z ของ $\Delta V/V_{ref}$275
ง.11	สมาชิกฟังก์ชันเดิม ก.) ΔD_{dif} ข.) m_{FIL1}/m_{FS2} และ ค.) ΔFD_2277
ง.12	สมาชิกฟังก์ชันใหม่ ก.) ΔD_{dif} ข.) m_{FIL1}/m_{FS2} และ ค.) ΔFD_2277
ง.6	ผลการจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามชั้น เมื่อเกิดความผิดปกติที่สวิตช์ตัวที่ 2.....278