

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 สมมติฐานการวิจัย.....	5
1.6 จุดเด่นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 การจัดรูปเล่มรายงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....	6
2 ปรัชญารวบรวมและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 บทนำ.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพและการสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	24
2.7 สรุป.....	28
3 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	29
3.1 บทนำ.....	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	29
3.3	ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	30
3.3.1	ทฤษฎีการแปลงดีคิว.....	30
3.3.2	ทฤษฎีของวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป.....	34
3.4	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในกรณีที่ไม่มีการควบคุม.....	35
3.4.1	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	35
3.4.2	การคำนวณมุมการเลื่อนเฟสระหว่างบัสแหล่งจ่ายและ บัสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	54
3.4.3	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	56
3.5	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในกรณีที่มีการควบคุม.....	59
3.5.1	การออกแบบตัวควบคุมโหมดการเลื่อนของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	59
3.5.2	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	61
3.5.3	การทำให้เป็นเชิงเส้นและการคำนวณค่าในสภาวะคงตัว.....	63
3.5.4	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	66
3.6	สรุป.....	68
4	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	69
4.1	บทนำ.....	69
4.2	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	69
4.2.1	การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง.....	69
4.2.2	การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	72
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของ ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	74
4.3.1	การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	74
4.3.2	การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำ ของวงจรกรอง.....	76
4.4	สรุป.....	78
5	การสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	79
5.1	บทนำ.....	79
5.2	การสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาด้วยตัวควบคุมโหมดการเลื่อน ที่มีการดัดแปลงร่วมกับตัวชดเชยลูปป้อนไปหน้า.....	79
5.2.1	ทฤษฎีพื้นฐานของตัวชดเชยลูปป้อนไปหน้า.....	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้า ที่พิจารณาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพ.....	82
5.2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพและการยืนยันผลการสร้างเสถียรภาพ ที่จุดการขาดเสถียรภาพ.....	90
5.2.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพและการยืนยันผลการสร้างเสถียรภาพ ที่จุดการขาดเสถียรภาพจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้า.....	94
5.3 สรุป.....	97
6 การสร้างชุดทดสอบสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณา.....	98
6.1 บทนำ.....	98
6.2 การสร้างชุดทดสอบ.....	98
6.2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์.....	99
6.2.2 วงจรกรอง.....	100
6.2.3 วงจรแปลงผกผันแบบบัสที่มีการควบคุมด้วย ตัวควบคุมโหมดการเลื่อน.....	101
6.3 ผลการทดสอบระบบควบคุมของชุดทดสอบ.....	108
6.4 สรุป.....	109
7 ผลการทดสอบเสถียรภาพของชุดทดสอบ.....	110
7.1 บทนำ.....	110
7.2 ผลการทดสอบการขาดเสถียรภาพ.....	110
7.3 ผลการทดสอบการสร้างเสถียรภาพ.....	111
7.3.1 ผลการทดสอบการสร้างเสถียรภาพที่จุดการขาดเสถียรภาพ.....	112
7.3.2 ผลการทดสอบการสร้างเสถียรภาพที่จุดการขาดเสถียรภาพ จนถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่พิกัด.....	113
7.4 สรุป.....	114
8 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	115
8.1 สรุป.....	115
8.2 สรุปจุดเด่นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....	118
8.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	118
รายการอ้างอิง.....	121
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่าง การศึกษา.....	134

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข.	โปรแกรมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการคำนวณมุม การเลื่อนเฟสระหว่างบัสแหล่งจ่ายและบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	165
ภาคผนวก ค.	ชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังร่วมกับ SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB.....	168
ภาคผนวก ง.	โปรแกรมสำหรับการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูป.....	170
ภาคผนวก จ.	โปรแกรมสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาด้วยตัวควบคุม โหมดการเลื่อนที่มีการดัดแปลงร่วมกับตัวชดเชยลูปป้อนไปหน้าใน บอร์ด DSP รุ่น TMS320F335.....	173
ประวัติผู้เขียน.....		179

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....9
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบ.....14
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....17
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ การสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....22
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพและ การสร้างเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....25
3.1	พารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในรูปที่ 3.1.....57
3.2	พารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในรูปที่ 3.2.....66

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผนภาพตัวควบคุมของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....12
2.2	คุณลักษณะสมบัติแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว.....16
2.3	แผนภาพการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง.....20
2.4	แผนภาพการบรรเทาการขาดเสถียรภาพและการสร้างเสถียรภาพ.....28
3.1	ระบบไฟฟ้าที่พิจารณาสำหรับงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....30
3.2	แผนภาพเวกเตอร์การแปลงของคลาร์ก.....31
3.3	แผนภาพเวกเตอร์การแปลงแกน $\alpha\beta 0$ เป็นแกน dq32
3.4	แผนภาพเวกเตอร์การแปลงของปาร์ค.....33
3.5	วงจรสมมูลของสายส่งกำลังไฟฟ้า.....36
3.6	วงจรสมมูลของตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำของสายส่งกำลังไฟฟ้า ที่อยู่บนแกนหมุน dq38
3.7	วงจรสมมูลของสายส่งกำลังไฟฟ้า.....39
3.8	วงจรสมมูลดีคิวของตัวเก็บประจุของสายส่งกำลังไฟฟ้า.....40
3.9	วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์ที่พิจารณาผลกระทบจากมุมเหลื่อม.....41
3.10	สัญญาณการสวิตช์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์.....41
3.11	วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์บนแกนหมุนดีคิว.....42
3.12	วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาบนแกนดีคิว.....44
3.13	วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาบนแกนดีคิว.....45
3.14	สัญญาณการสวิตช์ของวงจรแปลงผันแบบบัก.....45
3.15	วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาสำหรับการหาแบบจำลอง.....47
3.16	สายส่งกำลังไฟฟ้าหนึ่งเฟสของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....54
3.17	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อ d มีค่าเท่ากับ 40%.....58
3.18	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อ d มีค่าเท่ากับ 60%.....58
3.19	วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาที่มีการควบคุมบนแกนดีคิว ในกรณีที่มีการควบคุม.....62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในกรณีที่มีตัวควบคุม.....	67
4.1 ค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	70
4.2 ตำแหน่งของค่าเจาะจงของระบบ.....	71
4.3 ค่าเจาะจงเด่นของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	72
4.4 ผลการจำลองสถานการณ์การขาดเสถียรภาพด้วยคอมพิวเตอร์.....	73
4.5 ผลการจำลองสถานการณ์การขาดเสถียรภาพด้วยฮาร์ดแวร์ในรูป.....	73
4.6 เส้นอเสถียรภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	74
4.7 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	75
4.8 การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	75
4.9 เส้นอเสถียรภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	76
4.10 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	77
4.11 การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	77
5.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวชดเชยลูปป้อนไปหน้า.....	80
5.2 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพ.....	81
5.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวชดเชยลูปป้อนไปหน้าที่ใช้ตัวกรองความถี่แถบผ่าน.....	81
5.4 วงจรสมมูลอย่างง่ายบนแกนหมุนดีคิวของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพ.....	82
5.5 ผลตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อ K_f เท่ากับศูนย์.....	89
5.6 ผลตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อ K_f เท่ากับ 0.8.....	90
5.7 ค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพที่จุดการขาดเสถียรภาพ.....	91
5.8 ตำแหน่งของค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพที่จุดการขาดเสถียรภาพ.....	91
5.9 เส้นทางเดินของค่าเจาะจงเด่นที่จุดการขาดเสถียรภาพเมื่อ K_f มีการเปลี่ยนแปลง.....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อมีการสร้างเสถียรภาพ ที่จุดการขาดเสถียรภาพ.....	93
5.11 การจำลองสถานการณ์บนฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพ ที่จุดการขาดเสถียรภาพ.....	94
5.12 เส้นทางเดินของค่าเจาะจงเด่นที่จุดกำลังไฟฟ้าค่าพิกัดเมื่อ K_f มีการเปลี่ยนแปลง.....	95
5.13 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อมีการสร้างเสถียรภาพตั้งแต่ จุดการขาดเสถียรภาพจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้า.....	96
5.14 ผลการจำลองสถานการณ์บนฮาร์ดแวร์ในรูป เมื่อมีการสร้างเสถียรภาพตั้งแต่ จุดการขาดเสถียรภาพจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้า.....	96
6.1 ภาพรวมของชุดทดสอบของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา.....	98
6.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์.....	99
6.3 การติดตั้งแผ่นระบายความร้อนสำหรับวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์.....	100
6.4 วงจรกรอง.....	100
6.5 ตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง.....	101
6.6 ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง.....	101
6.7 ชุดทดสอบของวงจรแปลงผันแบบบักที่มีการควบคุมด้วยตัวควบคุมโหมดการเลื่อน.....	102
6.8 อุปกรณ์สวิตช์.....	103
6.9 อุปกรณ์ไดโอด.....	103
6.10 ตัวเหนี่ยวนำของวงจรแปลงผันแบบบัก.....	104
6.11 ตัวเก็บประจุของวงจรแปลงผันแบบบัก.....	105
6.12 โหลดตัวต้านทานของวงจรแปลงผันแบบบัก.....	105
6.13 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า.....	106
6.14 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้า.....	106
6.15 วงจรขับเคลื่อน.....	107
6.16 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า.....	107
6.17 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ DSP รุ่น eZdsp TM F28335.....	108
6.18 ผลการทดสอบระบบควบคุมของชุดทดสอบ.....	109
7.1 การทดสอบการขาดเสถียรภาพจากชุดทดสอบ.....	111
7.2 การทดสอบการสร้างเสถียรภาพที่จุดการขาดเสถียรภาพจากชุดทดสอบ.....	112

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.3	การทดสอบการสร้างเสถียรภาพที่จุดการขาดเสถียรภาพจนถึง ค่ากำลังไฟฟ้าที่พิกัดจากชุดทดสอบ.....
	114