

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย.....	3
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น	4
1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 การจัดรูปเล่มรายงาน.....	5
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรรอกกำลังแอฟทีฟแบบขนาน.....	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกสำหรับวงจรรอกกำลัง แอกทีฟแบบขนาน	9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยสำหรับวงจรรอกกำลัง แอกทีฟ	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงสำหรับวงจรรอกกำลัง แอกทีฟ	15
2.6 สรุป	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังขณะหนึ่ง	19
3.1 บทนำ.....	19
3.2 การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังขณะหนึ่ง	19
3.3 การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูป.....	22
3.4 ผลการจำลองสถานการณ์การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ.....	24
3.5 สรุป	29
4 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับวงจรรอกกำลังแอกทีฟ.....	30
4.1 บทนำ.....	30
4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ.....	30
4.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการควบคุมกระแสชดเชย บนแกนดีคิว.....	37
4.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการควบคุม แรงดันบัสไฟตรงบนแกนดีคิว.....	40
4.3 การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ	41
4.4 การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชย	44
4.5 การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง.....	48
4.6 การออกแบบสัญญาณการสวิตช์ด้วยเทคนิคพีดีบีเบิลยูเอ็มสำหรับ วงจรรอกกำลังแอกทีฟ	52
4.7 การจำลองสถานการณ์และผลการทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิก	53
4.8 สรุป	59
5 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับวงจรรอกกำลังแอกทีฟด้วย ตัวควบคุมโหมตการเลื่อน	61
5.1 บทนำ.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2	การออกแบบตัวควบคุมโหมดการเลื่อนด้วยวิธีการสุมค่าพารามิเตอร์ 61
5.2.1	การตรวจสอบเสถียรภาพของระบบด้วยฟังก์ชันเลียปูนอฟ 61
5.2.2	การจำลองสถานการณ์ของตัวควบคุมโหมดการเลื่อนที่ออกแบบด้วย วิธีการสุมค่าพารามิเตอร์..... 69
5.3	การออกแบบตัวควบคุมโหมดการเลื่อนด้วยวิธีตาบู่เชิงปรับตัว..... 82
5.3.1	ขั้นตอนการค้นหาด้วยวิธีตาบู่เชิงปรับตัว..... 82
5.3.2	การค้นหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 85
5.3.3	การทดสอบพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 86
5.4	การจำลองสถานการณ์และอภิปรายผล 88
5.4.1	การจำลองสถานการณ์ของตัวควบคุมโหมดการเลื่อนที่ออกแบบด้วย วิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 88
5.4.2	การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ 89
5.5	ผลการทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยตัวควบคุมโหมดการเลื่อน กรณีโหลดมีการเปลี่ยนแปลง..... 93
5.6	สรุป 97
6	การออกแบบตัวควบคุมโหมดการเลื่อนเชิงปรับตัวสำหรับวงจรรอกกำลังแอกทีฟ..... 98
6.1	บทนำ..... 98
6.2	ฟิชชีลอจิก..... 98
6.2.1	การทำฟิชชี..... 99
6.2.2	กฎของฟิชชี 101
6.2.3	การอนุมานฟิชชี 101
6.2.4	การทำดีฟิชชี 104
6.3	การออกแบบตัวควบคุมโหมดการเลื่อนเชิงปรับตัวสำหรับวงจรรอกกำลัง แอกทีฟแบบขนาน 105

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3.1 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกอินพุต	108
6.3.2 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต	108
6.4 ผลการทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ ด้วยตัวควบคุมโหมดการเลื่อนเชิงปรับตัว	110
6.5 สรุป	119
7 สรุปและข้อเสนอแนะ	120
7.1 สรุป	120
7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนางานวิจัยในอนาคต	122
รายการอ้างอิง	123
ภาคผนวก ก.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	131

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน..... 6
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 9
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมกระแสชดเชยสำหรับวงจรรองกำลังแอกทีฟ..... 11
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงสำหรับวงจรรองกำลังแอกทีฟ 16
3.1	สมรรถนะการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ..... 29
4.1	ผลการจำลองสถานการณ์ก่อนการฉีดกระแสชดเชยและภายหลังการฉีดกระแสชดเชย... 54
5.1	ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของตัวควบคุม SMC จากการออกแบบ ค่าพารามิเตอร์..... 72
5.2	ผลการทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้น..... 86
5.3	ผลการทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้าง 86
5.4	ผลการทดสอบค่ารัศมีเริ่มต้น 86
5.5	ผลการทดสอบค่าปรับลดรัศมี..... 87
5.6	ผลการกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวควบคุม SMC ที่ได้จากการค้นหาแบบ ATS..... 89
5.7	ตารางการเปรียบเทียบค่า $\%THD_i$ ของการออกแบบค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 วิธี..... 89
5.8	การเปรียบเทียบสมรรถนะการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกด้วยตัวควบคุม SMC ในกรณี โหลดที่พิจารณาและโหลดมีการเปลี่ยนแปลง..... 96
6.1	ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา 102
6.2	ผลการทดสอบการปรับค่า $g_{(abc)}$ 111
6.3	การเปรียบเทียบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกระหว่างตัวควบคุม SMC และตัวควบคุม Adaptive SMC ในกรณีที่มีการเพิ่มโหลด 113
6.4	สมรรถนะการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกของตัวควบคุม Adaptive SMC ในกรณีที่มี มีการปรับลดโหลด..... 119

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	องค์ประกอบการทำงานจัดฮาร์มอนิกในระบบด้วยวงจรรองกำลังแอกทีฟ..... 3
3.1	โครงสร้างการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ..... 20
3.2(ก)	สัญญาณกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและสัญญาณกำลังไฟฟ้าแอกทีฟกระแสสลับ 21
3.2(ข)	สเปกตรัมของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟก่อนการตรวจจับ 22
3.2(ค)	สเปกตรัมของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟหลังการตรวจจับ..... 22
3.3	โปรแกรม MATLAB/Simulink และบอร์ด DSP รุ่น TMS320F28335 ที่เชื่อมต่อบอร์ด docking station 23
3.4	การเชื่อมต่อบอร์ด DSP กับคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB JTAG emulator..... 23
3.5	บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อโปรแกรม MATLAB/Simulink กับบอร์ด DSP..... 24
3.6	ระบบสำหรับการทดสอบสมรรถนะการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ..... 25
3.7	ผลการจำลองสถานการณ์การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ ที่เฟส a 27
3.8	สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าเฟส a 27
3.9(ก)	สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายเฟส a ก่อนการฉีดกระแสชดเชย 28
3.9(ข)	สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ไฟฟ้าแหล่งจ่ายเฟส a ภายหลังการฉีดกระแสชดเชย 28
4.1	โครงสร้างวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่เป็นอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน 31
4.2	แผนภาพเฟสเซอร์ของระบบที่พิจารณา 37
4.3	ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ..... 42
4.4	ผลรวมกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย..... 43
4.5	แผนภาพบล็อกไดอะแกรมสำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชย..... 47
4.6	แผนภาพบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันบัสไฟตรง..... 51
4.7	ระบบการสร้างสัญญาณพัลส์ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8	การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ 56
4.9	ผลการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าสามเฟส 57
4.10	กราฟกระแสชดเชยบนแกนดี..... 58
4.11	กราฟกระแสชดเชยบนแกนคว..... 58
4.12	กราฟการควบคุมแรงดันบัสไฟตรง..... 58
4.13	สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกก่อนการฉีดกระแสชดเชย 59
4.14	สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกหลังการฉีดกระแสชดเชย 59
5.1	บล็อกไดอะแกรมของสมการเวกเตอร์ควบคุมพื้นผิวการเลื่อน..... 62
5.2(ก)	บล็อกไดอะแกรมของสมการสัญญาณควบคุมสมมูลของระบบบนแกนดี 64
5.2(ข)	บล็อกไดอะแกรมของสมการสัญญาณควบคุมสมมูลของระบบบนแกนคว..... 65
5.3	การสร้างสัญญาณพัลส์สำหรับตัวควบคุม SMC ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม..... 69
5.4	การกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวควบคุม SMC สำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟ 72
5.5	การกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวควบคุมโหมดการเลื่อน กรณีที่ 1..... 73
5.6	สัญญาณกระแสชดเชยบนแกนดีคว และแรงดันบัสไฟตรง กรณีที่ 1 74
5.7	การกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวควบคุมโหมดการเลื่อน กรณีที่ 2..... 75
5.8	สเปกตรัมของกระแสที่โหลด และกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชย กรณีที่ 2..... 76
5.9	สัญญาณกระแสชดเชยบนแกนดีคว และแรงดันบัสไฟตรง กรณีที่ 2 77
5.10	การกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวควบคุมโหมดการเลื่อน กรณีที่ 3..... 78
5.11	สเปกตรัมของกระแสโหลด และกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชย กรณีที่ 3 79
5.12	สัญญาณกระแสชดเชยบนแกนดีคว และแรงดันบัสไฟตรง กรณีที่ 3 80
5.13	แนวคิดพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบู่..... 81
5.14	การกำหนดจำนวนคำตอบเริ่มต้น..... 82
5.15	การกำหนดรัศมีเริ่มต้นและจำนวนคำตอบรอบข้าง 82
5.16	การค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว 83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.17	แผนภาพไดอะแกรมการออกแบบตัวควบคุม SMC ด้วยการค้นหาแบบ ATS..... 86
5.18	การลู่เข้าของค่า δ สำหรับการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของ SMC ด้วยการค้นหาแบบ ATS..... 87
5.19	ผลการกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของ SMC ที่ได้จากการค้นหาแบบ ATS 89
5.20	สเปกตรัมของกระแสก่อน และหลังการชดเชย กรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ SMC จากการค้นหาด้วยวิธี ATS..... 90
5.21	สัญญาณกระแสชดเชย และแรงดันบัสไฟตรง กรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ SMC จากการค้นหาด้วยวิธี ATS..... 91
5.22	ผลการกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวควบคุมโหมดการเลื่อนกรณีโพลดมีการเปลี่ยนแปลง..... 93
5.23	สัญญาณกระแสที่โพลด กระแสชดเชย และกระแสที่แหล่งจ่าย..... 94
5.24	สัญญาณกระแสชดเชยบนแกนดีคิว และแรงดันบัสไฟตรง 95
6.1	ค่าความเป็นสมาชิก 98
6.2	เซตชัดเจน 98
6.3	ฟังก์ชันสมาชิกรูปทรงสามเหลี่ยม..... 99
6.4	ระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยฟuzzyลอจิก 100
6.5	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต..... 101
6.6	ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต $g_{(abc)}$ 103
6.7	การอนุมานฟuzzyด้วยวิธี Takagi – Sugeno 104
6.8	การรวมกฎด้วยการอนุมานด้วยวิธี Takagi – Sugeno 104
6.9	ผลเฉลยการทำดีฟuzzyด้วยวิธี WA..... 105
6.10	โครงสร้างการวิเคราะห์ระบบ..... 107
6.11	ระบบควบคุมโหมดการเลื่อนเชิงปรับตัวสำหรับวงจรรองกำลังแยกที่ฟแบบขนาน 108
6.12	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต..... 109

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.13	แอมพลิจูดสัญญาณ v_{dl}^* ที่ความถี่มูลฐาน กรณีคุณค่า g_a ที่ค่าต่าง ๆ..... 110
6.14	ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต 110
6.15	สัญญาณกระแสที่โหลด กระแสชดเชย และกระแสที่แหล่งจ่าย..... 113
6.16	สัญญาณกระแสชดเชยบนแกนตีคว และแรงดันบัลไฟตรง 114
6.17	เอาต์พุตฟิซซีลอจิก 114
6.18	สัญญาณกระแสชดเชยเฟส a 115
6.19	การเปรียบเทียบรูปสัญญาณแรงดันที่จุด PCC กับกระแสที่แหล่งจ่ายของเฟส a กรณีทีโหลดมีการเปลี่ยนแปลง..... 115
6.20	สัญญาณกระแสที่โหลด กระแสชดเชย และกระแสที่แหล่งจ่าย..... 116
6.21	สัญญาณกระแสชดเชยบนแกนตีคว และแรงดันบัลไฟตรง 117