248934

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

248934

SUT7-711-53-12-06

รายงานการวิจัย

การควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม

(The Control of Compensating Currents for Active Power Filters using PWM Techniques)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

b0025378

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
SUT7-7
248934

รายงานการวิจัย

การควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม

(The Control of Compensating Currents for Active Power Filters using PWM Techniques)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กองพล อารีรักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2555

บทคัดย่อ

248934

งานวิจัยนี้นำเสนอการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุล การตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับใช้งานร่วมกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟใช้วิธีดีคิวเอฟ (DQF) ที่ได้รับการเปรียบเทียบสมรรถนะการตรวจจับกับวิธีกรอบอ้างอิงซิงโครนัส (SRF) ตัวควบคุมการฉีดกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟใช้ตัวควบคุมพีไอ ที่ทำงานร่วมกับเทคนิคการสวิตช์แบบพีดับเบิลยูเอ็มในการควบคุมการทำงานของไอจีบีที การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ที่เรียกว่า วิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว (ATS) ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ผลการกำจัดฮาร์มอนิกสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้มากที่สุด โดยดัชนีชี้วัดจะดูที่ค่า %THD ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักจะต้องมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า ปริมาณฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักภายหลังการชดเชยมีค่าลดลง และมีค่า %THD อยู่ในกรอบมาตรฐาน IEEE std. 519-1992 นอกจากนี้การควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟใช้ตัวควบคุมแบบพีไอที่ใช้งานร่วมกับการตรวจจับฮาร์มอนิกวิธีดีคิวเอฟ

Abstract

248934

The research presents the harmonic elimination using active power filter (APF) for balanced three-phase power systems. In this research, the DQF method is used for harmonic detection. The DQF method is compared the detection performance with the synchronous reference frame (SRF) method. The PI controller is used to control the compensating currents and the PWM technique is applied to generate the switching signals for IGBTs of active power filter. The research also presents the PI controller design using artificial intelligent techniques called adaptive tabu search (ATS). The aim of the PI controller design is the minimum %THD of source currents after compensation. The simulation results show that harmonic quantity of the source currents are reduced after compensation. Moreover, the %THD of these currents follows the IEEE std. 519-1992. In addition, the PI controller is used for the dc bus voltage control of active power filter cooperated with DQF harmonic detection method.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง การควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทั้งนี้ต้องขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณนายพลสิทธิ์ ศานติประพันธ์ ที่เป็นผู้ช่วยวิจัย และดำเนินการสร้างโปรแกรมสำหรับการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ด้วยความทุ่มเท และการเอาใจใส่อย่างยิ่ง

กองพล อารีรักษ์

กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

Abstract ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์ 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 บทนำ 5

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 5

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับใช้งานร่วมกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟ 7

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการฉีดกระแสชดเชยสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 9

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงสำหรับใช้งานร่วมกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 12

2.6 สรุป 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 การตรวจจับฮาร์มอนิกบนแกนดีคิวสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 15

3.1 บทนำ 15

3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณทางไฟฟ้าบนแกนดีคิว 15

3.3 การจำลองสถานการณ์สำหรับการทดสอบสมรรถนะการตรวจจับฮาร์มอนิก 19

3.4 การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีกรอบอ้างอิงซิงโครนัส 22

3.5 การปรับปรุงสมรรถนะของการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีกรอบอ้างอิงซิงโครนัส 23

3.6 การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีดีคิวเอฟ 30

3.7 การปรับปรุงสมรรถนะของการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีดีคิวเอฟ 34

3.8 สรุป 39

4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 40

4.1 บทนำ 40

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบบนแกนสามเฟส 40

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบบนแกนดีคิว 44

4.4 การตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง 50

4.5 สรุป 56

5 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 57

5.1 บทนำ 57

5.2 การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 57

5.3 การออกแบบโครงสร้างและตัวควบคุมสำหรับการควบคุมกระแสชดเชยบนแกนดีคิว 62

5.4 การควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม 66

5.5 การควบคุมแรงดันบัสไฟตรงสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 68

5.6 ผลการจำลองสถานการณ์และการอภิปรายผล 72

5.7 สรุป 79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6 การปรับปรุงสมรรถนะตัวควบคุมพีไอโดยใช้วิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว 80
6.1 บทนำ 80
6.2 ทบทวนการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว 80
6.3 การกำหนดขอบเขตการค้นหาของวิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว 83
6.4 การค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ 84
6.4.1 การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว 84
6.4.2 การทดสอบพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัวและผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ 89
6.5 การค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ 95
6.5.1 การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว 96
6.5.2 การทดสอบพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัวและผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ 97
6.6 ผลการจำลองสถานการณ์และการอภิปรายผล 103
6.7 สรุป 109
7 สรุปและข้อเสนอแนะ 110
7.1 สรุป 110
7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนางานวิจัยในอนาคต 112

รายการอ้างอิง 113
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่และผลงานการจดลิขสิทธิ์ 118
ประวัติผู้เขียน 120

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับใช้งานร่วมกับ วงจรกรองกำลังแอกทีฟ 7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการฉีดกระแสชดเชยสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟ 9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงสำหรับใช้งานร่วมกับ วงจรกรองกำลังแอกทีฟ 12
3.1 การแปลงกระแสไฟฟ้าบนแกนสามเฟส กรณีไม่พิจารณาปริมาณฮาร์มอนิก 17
3.2 การแปลงกระแสไฟฟ้าบนแกนสามเฟส กรณีพิจารณาปริมาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และอันดับที่ 7 17
3.3 ปริมาณฮาร์มอนิกที่ปรากฏบนแกนดีคิว 18
3.4 รูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน และโครงสร้างของวงจรกรองผ่านสูง 24
3.5 รูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน และโครงสร้างของวงจรกรองผ่านต่ำ 25
3.6 ค่า %THD ของกระแสไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักกรณีตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี SRF 29
3.7 ผลการทดสอบสมรรถนะการชดเชยค่าตัวประกอบกำลังด้วยวิธี SRF 29
3.8 ค่า %THD ของกระแสไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักกรณีตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF 33
3.9 ผลการทดสอบสมรรถนะการชดเชยค่าตัวประกอบกำลังด้วยวิธี DQF 34
3.10 ค่า %THD ของกระแสไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักกรณีมีการปรับปรุงการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF 38
3.11 ผลการทดสอบสมรรถนะการชดเชยค่าตัวประกอบกำลังด้วยวิธี DQF 38
4.1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองสถานการณ์ 54
5.1 ขนาดกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบที่พิจารณา 58
5.2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิก 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.3 ผลการจำลองสถานการณ์ก่อนการชดเชยและหลังการชดเชย 77
6.1 ผลการเปรียบเทียบระบบบน m – file กับ simulink กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 89
6.2 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้น กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 89
6.3 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้าง กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 91
6.4 ผลการทดสอบค่ารัศมีเริ่มต้น กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 92
6.5 ผลการทดสอบค่าปรับลดรัศมี กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 93
6.6 ผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 95
6.7 ผลการเปรียบเทียบระบบบน m – file กับ simulink กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 97
6.8 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้น กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 98
6.9 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้าง กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 99
6.10 ผลการทดสอบค่ารัศมีเริ่มต้น กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 100
6.11 ผลการทดสอบค่าปรับลดรัศมี กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 101
6.12 ผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 103
6.13 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการฉีดกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน ของตัวควบคุมแบบพีไอ 105

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 องค์ประกอบการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 2
2.1 ภาพรวมปริทัศน์วรรณกรรม 14
3.1 แผนภาพการแปลงแกนของปาร์ค 16
3.2 ระบบสำหรับการทดสอบสมรรถนะการตรวจจับฮาร์มอนิก 20
3.3 แผนภาพบล็อกการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี SRF 22
3.4 โครงสร้างการใช้งานวงจรกรองผ่านสูงและวงจรกรองผ่านต่ำ 14
3.5 ผลการทดสอบสมรรถนะการแยกปริมาณฮาร์มอนิกที่ใช้วงจรกรองผ่านสูง 26
3.6 ผลการทดสอบสมรรถนะการแยกปริมาณฮาร์มอนิกที่ใช้วงจรกรองผ่านต่ำ 26
3.7 ผลการจำลองสถานการณ์ของเฟส u กรณีใช้วงจรกรองผ่านสูงแยกปริมาณฮาร์มอนิก (f_c = 4 Hz) 27
3.8 ผลการจำลองสถานการณ์ของเฟส u กรณีใช้วงจรกรองผ่านต่ำแยกปริมาณฮาร์มอนิก (f_c = 45 Hz) 28
3.9 แผนภาพบล็อกการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF 30
3.10 แผนภาพคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ และคำนวณกระแสที่ความถี่มูลฐานบนแกนดีคิว....32
3.11 ผลการจำลองสถานการณ์ของเฟส u กรณีตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF 33
3.12 แผนภาพบล็อกการปรับปรุงการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF 34
3.13 สเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ บนแกนดีคิวก่อนการชดเชย 35
3.14 สเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ บนแกนดีคิวภายหลังการชดเชย.....36
3.15 ผลการจำลองสถานการณ์ของเฟส u กรณีปรับปรุงการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF 37
4.1 โครงสร้างวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่เป็นอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน.....40
4.2 แผนภาพเฟสเซอร์ของระบบที่พิจารณา 46
4.3 ระบบที่พิจารณาบนโปรแกรม Simulink ร่วมกับโปรแกรม MATLAB ผ่านชุดบล็อก SimPowerSystems 52
4.4 โครงสร้างภายในบล็อก 6 pulses 52
4.5 ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบค่า i_{cd} 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบค่า i_{cq} 55
4.7 ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบค่า V_{dc} 55
5.1 ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง 59
5.2 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟโดยใช้วิธี ATS 60
5.3 การลู่เข้าของค่า %THD 60
5.4 ผลรวมกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ 61
5.5 แผนภาพไดอะแกรมสำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชย 65
5.6 โครงสร้างการควบคุมกระแสชดเชยบนแกนดีคิวด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม 67
5.7 ลักษณะการควบคุมการสวิตช์ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม 68
5.8 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ 70
5.9 แผนภาพการคำนวณการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี DQF ที่มีการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน 72
5.10 การกำจัดฮาร์ทมอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเมื่อมีการควบคุมแรงดันบัสไฟตรง 74
5.11 ผลการจำลองสถานการณ์ค่าแรงดันบัสไฟตรง 75
5.12 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีเฟส u 76
5.13 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีเฟส v 76
5.14 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีเฟส w 77
5.15 สเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ก่อนมีการฉีดกระแสชดเชยกรณีเฟส u 78
5.16 สเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ หลังมีการฉีดกระแสชดเชยกรณีเฟส u 78
6.1 แนวคิดพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบู 80
6.2 การกำหนดจำนวนคำตอบเริ่มต้น จำนวนคำตอบรอบข้าง และค่ารัศมีเริ่มต้น 81
6.3 การค้นหาแบบตาบูชนิดปรับตัวได้ 82
6.4 แผนภาพไดอะแกรมการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอด้วยวิธี ATS 84
6.5 เปรียบเทียบค่ากระแสชดเชยบน m - file เทียบกับ simulink 88
6.6 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสชดเชยบน m - file เทียบกับ simulink 88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.7 การลู่เข้าของค่า W กรณีค้นหาแบบ 2 พารามิเตอร์ 94
6.8 แผนภาพไดอะแกรมการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอด้วยวิธี ATS แบบ 4 พารามิเตอร์ 96
6.9 การลู่เข้าของค่า W กรณีค้นหาแบบ 4 พารามิเตอร์ 102
6.10 ระบบสำหรับการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมแบบพีไอ 104
6.11 ผลการจำลองสถานการณ์ทั้งระบบบนแกนสามเฟส 106
6.12 ผลการจำลองสถานการณ์ทั้งระบบบนแกนดีคิว 107
6.13 เปรียบเทียบผลการติดตามกระแสชดเชย 108