ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249416

การควบคุมดี-ซมบดสลอมแบบพลาซมุดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพพลังงานไฟฟ้า ในระบบจำหน่าย

นายสุภพิชญ์ มณีขม

จิพนธนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00254086

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249416

การควบคุมดี-สแตตคอมแบบหลายชุดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

นายศุภพิชญ์ มณีสม วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.อนวัช แสงสว่าง)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.สุเมธ เนติลัดดานนท์)

..... กรรมการ
(ดร.สมภพ ผลไม้)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมดี-สแตตคอมแบบหลายชุดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายศุภพิชญ์ มณีสม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุเมธ เนติลัดดานนท์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

249416

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าของดี-สแตตคอมหลายชุดทั้งแบบที่มีแหล่งจ่ายพลังงานและแบบที่ไม่มีแหล่งจ่ายพลังงาน โดยสามารถปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้ในกรณี ตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำ ฮาร์มอนิกส์ โหลดไม่สมดุล ด้วยตัวควบคุมกระแส ขณะเชื่อมต่อกับระบบกำลังไฟฟ้าหลักตัวควบคุมสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของโหลดได้ดี ในระหว่างที่ระบบไม่มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบกำลังไฟฟ้าหลักดี-สแตตคอมแบบชุดเดียวจะถูกใช้กับตัวควบคุมแรงดันเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด การควบคุมดี-สแตตคอมแบบหลายชุดในกรณีที่ระบบไมโครกริดตัวควบคุมแบบดรูปถูกนำมาใช้เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด ซึ่งผลการจำลองระบบผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC สามารถที่จะยืนยันถึงความสามารถของระบบที่ได้นำเสนอ

คำสำคัญ : คุณภาพกำลังไฟฟ้า / ดี-สแตตคอม / อินเวอร์เตอร์แบบที่เชื่อมต่อระบบกริด / การชดเชยกำลังไฟฟ้า / ระบบไมโครกริด

Thesis Title	Control of Multiple D-STATCOMs for Power Quality Improvement in Distribution system
Thesis Credits	12
Candidate	Mr.Supaphit Maneesom
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sumate Naetiladdanon
Program	Master of Engineering
Field of Study	Electrical Engineering
Department	Electrical Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

249416

This thesis presents a controller design of multiple D-STATCOMs for power quality improvement which is applied with and without an energy source. The concerned power quality problems being solved are low power factor load, harmonic load and unbalance load which can be integrated by using a current controller. During on grid connection, the active power and reactive power can be compensated by using the controller as well. On the other hand, during off grid connection, a single D-STATCOM is applied with a voltage controller to supply the load without interaction. In the case of multiple D-STATCOMs off grid connection, the droop controller is applied in order to share the power compensation. A computer simulation was carried out using PSCAD/EMTDC software. The results verify the capability of the presented system.

Keywords: Power Quality / D-STATCOM / Grid Connected Inverter/ Power Compensation/ Micro Grid

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มบุคคลต่างๆที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ เนติลัดดานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำและแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจและเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนวัช แสงสว่าง และดร.สมภพ ผลไม้ ที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำความรู้ทางดานวิชาการมาโดยตลอด รวมทั้งขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆน้องๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัย

ขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านวิชาการต่างๆทั้งในอดีตและปัจจุบัน รวมถึงขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาของผู้วิจัย คุณอำภรณ์และคุณศรียุดา อกนิษฐ์เสนีย์ ตลอดจนครอบครัวที่ได้ให้ความรัก ความห่วงใยและให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือและเป็นแรงบันดาลใจจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

กิตติกรรมประกาศ ง

สารบัญ จ

รายการตาราง ช

รายการรูปประกอบ ซ

รายการสัญลักษณ์ ฎ

บทที่

1. บทนำ **1**

1.1 ที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง 2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง **6**

2.1 บทนำ 6

2.2 ระบบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้า 5

2.3 ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า 7

2.4 การผลิตแบบกระจาย 12

2.5 ระบบไมโครกริด 15

2.6 ดี-สแตตคอม 19

2.7 โปรแกรม PSCAD/EMTDC 24

3. การออกแบบระบบควบคุม **27**

3.1 บทนำ 27

3.2 การออกแบบระบบควบคุมเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า 27

3.3 การออกแบบระบบควบคุมการผลิตแบบกระจาย 48

3.4 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับระบบไมโครกริด 51

4. การทดลองและผลการทดลอง **60**

4.1 บทนำ 60

4.2 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า 60

4.3 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้า 67

4.4 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าและแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าพร้อมกัน 68

4.5 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมสำหรับระบบไมโครกริด 71

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **77**

5.1 บทสรุป 77

5.2 ข้อเสนอแนะ 78

เอกสารอ้างอิง **79**

ภาคผนวก **83**

ก สมการแสดงความสัมพันธ์จากกรอบหยุดนิ่งสองเฟสไปยังกรอบหมุนดีคิว 84

ประวัติผู้วิจัย **87**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณลักษณะแต่ละประเภทของปัญหาทางด้านกำลังไฟฟ้า	11
2.2	การแลกเปลี่ยนกำลังกันระหว่างดี-สแตตคอมกับระบบไฟสลับที่เป็นฟังก์ชั่นของแรงดันขาออกของดี-สแตตคอมและแรงดันของระบบไฟสลับ	23
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ	60
4.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมหลายชุด	73

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ตัวอย่างไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทย	6
2.2	แอคทีฟฟิลเตอร์	8
2.3	ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อกับระบบกริด	13
2.4	โครงสร้างของระบบไมโครกริด	15
2.5	วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	18
2.6	การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายและเฟสเซอร์ไดอะแกรม	18
2.7	โครงสร้างของดี-สแตตคอม	20
2.8	วงจรสมมูลของดี-สแตตคอม	23
2.9	เวคเตอร์แสดงการทำงานของดี-สแตตคอมในโหมดต่างๆ	26
3.1	โครงสร้างของดี-สแตตคอม	27
3.2	ระบบควบคุมกระแสที่ใช้ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ	31
3.3	บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมกระแสเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ	32
3.4	ระบบควบคุมกระแสเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC	33
3.5	ระบบควบคุมสัญญาณสวิตช์ขับเกจด้วยวิธีการ PWM	33
3.6	การชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์ด้วยแอคทีฟฟิลเตอร์	34
3.7	การแยกส่วนผสมของกำลังไฟฟ้าด้วยตัวกรองความถี่สูง	35
3.8	บล็อกไดอะแกรมระบบกำลังและระบบควบคุมการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์	36
3.9	บล็อกไดอะแกรมแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสไปอยู่ในกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้า	37
3.10	บล็อกไดอะแกรมกำลังไฟฟ้าอ้างอิงฮาร์มอนิกส์ทั้งแอคทีฟและรีแอคทีฟที่ต้องการชดเชย	37
3.11	บล็อกไดอะแกรมกระแสฮาร์มอนิกส์อ้างอิงที่ชดเชยในระบบ	38
3.12	บล็อกไดอะแกรมควบคุมกระแสขาออกของแอคทีฟฟิลเตอร์	38
3.13	วงจรสมมูลการเกิดลำดับเฟสบวกลำดับเฟสลบในระบบกำลังไฟฟ้ารวมทั้งเฟสเซอร์ไดอะแกรม	41
3.14	บล็อกไดอะแกรมการแยกส่วนประกอบลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบในกรอบหยุดนิ่งแอลฟาเบต้า	42
3.15	บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมการชดเชยกระแสกรณีโหลดไม่สมดุล	44

3.16	บล๊อกไดอะแกรมลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบแรงดันไฟฟ้าของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก	45
3.17	บล๊อกไดอะแกรมลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบของกระแสไฟฟ้าที่ออกจากตัวชดเชย	45
3.18	บล๊อกไดอะแกรมการแยกลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบของกระแสไฟฟ้าระบบกริด	46
3.19	บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมกระแสที่ใช้ชดเชยทั้งกระแสลำดับเฟสบวกและกระแสลำดับเฟสลบ	47
3.20	บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมกระแสเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟ	48
3.21	บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมการผลิตแบบกระจาย	49
3.22	บล๊อกไดอะแกรมการคำนวณกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟ	49
3.23	บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสไฟฟ้าอ้างอิงที่ชดเชยกำลังไฟฟ้า	50
3.24	บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าในกรอบหมุนดีคิว	50
3.25	โครงสร้างของระบบไมโครกริด	51
3.26	วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	51
3.27	บล๊อกไดอะแกรมขนาดแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	52
3.28	บล๊อกไดอะแกรมตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกของดี-สแตตคอม	53
3.29	บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จุดโหลด	54
3.30	บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง	54
3.31	คุณลักษณะของความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบควบคุม Droop Control	55
3.32	ไดอะแกรมเส้นเดียวของการติดตั้งตัวดี-สแตตคอมหลายตัวชดเชยกำลังไฟฟ้า	56
3.33	บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่แบบ Droop Control	57
3.34	บล๊อกไดอะแกรมการออกแบบพิกัดกำลังที่ต้องการชดเชยตอนไมโครกริด	58
3.35	บล๊อกไดอะแกรมการหาขนาดแรงดันและความถี่อ้างอิงที่ต้องการสร้างสัญญาณไซน์ที่ใช้ควบคุมการทำงานดี-สแตตคอม	58
3.36	บล๊อกไดอะแกรมสร้างสัญญาณไซน์อ้างอิงเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของดี-สแตตคอม	59
4.1	โครงสร้างของดี-สแตตคอมเพื่อแก้ปัญหาตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำและชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์	61
4.2	การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่โหลดเพื่อปรับตัวประกอบกำลัง	62
4.3	เปรียบเทียบกระแสอ้างอิงที่ใช้ในการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์กับกระแสที่วัดได้จากขาออกของดี-สแตตคอม	63
4.4	แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ดีซีบัส	63
4.5	รูปคลื่นกระแสของระบบหลังจากมีการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์	64
4.6	โครงสร้างของดี-สแตตคอมเพื่อชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์	64

4.7	กระแสอ้างอิงลำดับเฟสบวกในแกนดีที่ใช้ในการชดเชย	65
4.8	กระแสอ้างอิงในกรอบหมุนดีคิวที่ใช้ชดเชยกระแสลำดับเฟสลบให้กับระบบ	65
4.9	กระแสของระบบเมื่อมีการชดเชยกระแสลำดับเฟสลบด้วยดี-สแตตคอม	66
4.10	โครงสร้างของดี-สแตตคอมเพื่อชดเชยกำลังแอคทีฟและกำลังรีแอคทีฟ	67
4.11	กำลังไฟฟ้าที่มีการชดเชยจากดี-สแตตคอมด้วยกำลังฟ้าแอคทีฟกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ	68
4.12	เปรียบเทียบกระแสอ้างอิงที่ใช้ในการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์กับ กระแสที่วัดได้จากขาออกของดี-สแตตคอม	69
4.13	กระแสของระบบเมื่อมีการชดเชยทั้งกระแสฮาร์มอนิกส์และกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ	69
4.14	กำลังไฟฟ้าที่มีการชดเชยจากดี-สแตตคอมด้วยกำลังฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ	70
4.15	ขนาดของดัชนีมอดูเลชั่น	71
4.16	ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม	72
4.17	ขนาดแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่จุดต่อร่วม	72
4.18	โครงสร้างที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมไมโครกริด	73
4.19	กำลังไฟฟ้าของดี-สแตตคอมที่ใช้ชดเชย	74
4.20	แสดงขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่โหลดจุดต่อร่วม	75
4.21	ขนาดแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและความถี่อ้างอิงของดี-สแตตคอมตัวที่หนึ่ง	75
4.22	ขนาดแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและความถี่อ้างอิงของดี-สแตตคอมตัวที่สอง	76
4.23	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่โหลด	76

รายการสัญลักษณ์

Vs	=	แรงดันไฟฟ้าของระบบกำลังไฟฟ้าหลัก
iC	=	กระแสที่ชดเชยด้วยดี-สแตตคอม
iL	=	กระแสของโหลด
is	=	แรงดันไฟฟ้าของระบบกำลังไฟฟ้าหลัก
Pc	=	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่ชดเชย
PCC	=	จุดต่อร่วม
$\overline{P}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแอคทีฟ
$\tilde{P}$	=	กำลังไฟฟ้าความถี่สูงแอคทีฟ
$\mathrm{Pr}ef$	=	กำลังไฟฟ้าอ้างอิงแอคทีฟ
Qc	=	กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ชดเชย
$\overline{Q}$	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรีแอคทีฟ
$\tilde{Q}$	=	กำลังไฟฟ้าความถี่สูงรีแอคทีฟ
$Q\mathrm{r}ef$	=	กำลังไฟฟ้าอ้างอิงรีแอคทีฟ
Vdc	=	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีซีบัส
Vi	=	แรงดันของดี-สแตตคอม