สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

สารบัญตาราง ซ

สารบัญภาพ ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 แนวทางการวิจัย 3

1.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 8

1.5 ขอบเขตของการศึกษา 8

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา เชิงทฤษฎี และ/หรือเชิงประยุกต์ 9

บทที่ 2 ทฤษฎีการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

2.1 บทนำ 10

2.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรฯ 10

2.3 การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 12

2.4 การควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ 16

2.5 สรุป 20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ถูกเชื่อมต่อกริด

3.1 บทนำ 21

3.2 คอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบสองระดับในลักษณะหันหลังชนกัน 21

3.3 การควบคุมทางด้านกริดระบบโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ 22

3.4 สรุป 24

บทที่ 4 การออกแบบเครื่องต้นแบบ แบบจำลองการทำงาน และผลการทดสอบ

4.1 บทนำ 25

4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็กและตัวขับต้นกำลัง 25

4.3 บอร์ดอินเตอร์เฟส อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดันและกระแส 26

4.4 บอร์ดตัวประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิตอล dSPACE เบอร์ DS1103 32

4.5 แบบจำลองการทำงาน 33

4.6 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ 44

4.7 สรุป 55

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 56

5.2 ข้อเสนอแนะ 57

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 61

ภาคผนวก ข 63

ประวัติผู้เขียน 89

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะและค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็ก 26

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะและค่าพารามิเตอร์ของตัวขับต้นกำลังที่นำมาทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ 26

ตารางที่ 4.3 ค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรสำหรับเครื่องต้นแบบในการทดสอบจริง 33

ตารางที่ 4.4 ค่าองค์ประกอบกระแสสเตเตอร์ในแกน q สำหรับเครื่องต้นแบบในการทดสอบจริง 44

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพรวมของระบบ จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน 47

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพรวมของระบบ จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบ 54

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบอาศัยการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทางด้านกริดระบบโดยอิสระ 2

ภาพที่ 1.2 โครงสร้างทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเทคนิคการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4

ภาพที่ 1.3 โครงสร้างทางด้านกริดระบบ และเทคนิคการควบคุมทางด้านกริดระบบ 4

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็กแบบฝังแม่เหล็กถาวรบริเวณผิวของตัวโรเตอร์ 11

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็กแบบฝังแม่เหล็กถาวรบริเวณร่องสล๊อตของตัวโรเตอร์ 11

ภาพที่ 2.3 เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรบนแกนอ้างอิงหมุนสองเฟส 12

ภาพที่ 2.4 วงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรบนแกนอ้างอิงหมุนสองเฟส (dq) 13

ภาพที่ 2.5 เวกเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 16

ภาพที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 16

ภาพที่ 2.7 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรใน เงื่อนไขการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ 18

ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมวงจรสมมูลอย่างง่ายของคอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบสองระดับในลักษณะหันหลังชนกัน 21

ภาพที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ 22

ภาพที่ 3.3 เฟสเซอร์แรงดันและกระแสของระบบควบคุมแรงดันแบบเวกเตอร์ 23

ภาพที่ 4.1 ระบบขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่ใช้ในงานวิจัย 25

ภาพที่ 4.2 วงจรอินเตอร์เฟสที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น 27

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.3 ไดอะแกรมวงจรอินเตอร์เฟสส่วนที่ 1 27
ภาพที่ 4.4 ไดอะแกรมวงจรอินเตอร์เฟสส่วนที่ 2 28
ภาพที่ 4.5 ไดอะแกรมวงจรอินเตอร์เฟสส่วนที่ 3 29
ภาพที่ 4.6 วงจรขับนำสวิตซ์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น 30
ภาพที่ 4.7 ไดอะแกรมวงจรขับนำสวิตซ์ 30
ภาพที่ 4.8 ไดอะแกรมวงจรเซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน 31
ภาพที่ 4.9 ไดอะแกรมวงจรเซนเซอร์ตรวจวัดกระแส 31
ภาพที่ 4.10 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของตัวประมวลผลสัญญาณดิติตอล dSPACE 1103 32
ภาพที่ 4.11 โมเดลแบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ 34
ภาพที่ 4.12 แบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink 35
ภาพที่ 4.13 ผลการจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวต้านทาน จากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วพิกัด (Ramp staring -up with stand alone resistive load condition) 36
ภาพที่ 4.14 ผลการจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดกระตุ้นด้วยแม่เหล็กเชื่อมโหลดตัวต้านทาน ในสภาวะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (Step transient with stand-alone resistive load) 37
ภาพที่ 4.15 กราฟลักษณะเฉพาะของเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน 38
ภาพที่ 4.16 โมเดลการจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ 39
ภาพที่ 4.17 แบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink 40
ภาพที่ 4.18 ผลการจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบในสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ (Ramp transient with grid-connected condition) 41
ภาพที่ 4.19 ภาพขยายผลการจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ในวินาทีที่ 0.4 ถึง 0.45 42

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.20 ภาพขยายผลการจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ในวินาทีที่ 0.75 ถึง 0.85 43
ภาพที่ 4.21 แผนภาพระบบสำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯเชื่อมโหลดตัวต้านทาน 45
ภาพที่ 4.22 เครื่องต้นแบบการทดลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน 46
ภาพที่ 4.23 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวต้านทาน จากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วพิกัด 48
ภาพที่ 4.24 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวต้านทาน ในสภาวะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด 49
ภาพที่ 4.25 แผนภาพระบบที่ใช้สำหรับทดสอบเครื่องต้นแบบการควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ 50
ภาพที่ 4.26 เครื่องต้นแบบการทดลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ 51
ภาพที่ 4.27 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริด 53
ภาพที่ 4.28 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริด 54

ภาพที่ ก.1 ตัวต้านทานสามเฟสขนาด 5 กิโลวัตต์ 60
ภาพที่ ก.2 เบรกเกอร์สามเฟส สำหรับโหลดตัวต้านทาน และกริดไฟฟ้า 60
ภาพที่ ก.3 หม้อแปลงแยกขดสามเฟส ¼ 61
ภาพที่ ก.4 ตัวเหนี่ยวนำสามเฟส 61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved