เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า

นายโยชัย ศศิวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-762-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19255202

STABILITY OF A COGENERATION SYSTEM AGAINST ISLANDING

Mr. Yochai Sasiwan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 1999
ISBN 974-333-762-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า
โดย	นายโยชัย ศศิวรรณ
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... กรรมการ

(อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โยชัย ศศิวรรณ : เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า
(STABILITY OF A COGENERATION SYSTEM AGAINST ISLANDING)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผ.ศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 148 หน้า. ISBN 974-333-762-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า โดยประยุกต์ใช้หลักการของรีเลย์ความถี่ ตรวจสอบการขาดจากกันของระบบทั้งสอง และตัดสายส่งเชื่อมต่อระบบทั้งสองให้เป็นอิสระจากกัน เป็นการปลดภาระทางไฟฟ้าส่วนเกินจากระบบไฟฟ้าออกไป ช่วยให้ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถทำงานต่อไปได้อย่างมีเสถียรภาพ การจำลองโดยคอมพิวเตอร์ได้รวมแบบจำลองระบบ 4 ส่วนเข้าด้วยกัน ได้แก่ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบจำลองระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม แบบจำลองระบบควบคุมความเร็ว และแบบจำลองภาระทางไฟฟ้า เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

ในการวิเคราะห์ได้มีการจำลองลักษณะเฉพาะของระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ และประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วมขึ้นมา ซึ่งมักจะพบได้บ่อยในทางอุตสาหกรรม และเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบสำหรับสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันออกไป

ผลจากการทดสอบนี้สามารถชี้ให้เห็นได้ว่า ลักษณะการทำงานในสภาวะต่างๆ ของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ขนานอยู่กับระบบไฟฟ้าจะมีผลอย่างมากต่อการรักษาเสถียรภาพในช่วงที่ระบบทั้งสองมีการแยกออกจากกัน นอกจากนั้นผลที่ได้จากการทดสอบนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผน และออกแบบวิธีการป้องกันสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วม ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	-

4170470021: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: STABILITY ANALYSIS / COGENERATION SYSTEM / ISLANDING

YOCHAI SASIWAN: STABILITY OF A COGENERATION SYSTEM AGAINST ISLANDING. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PRASIT PITTAYAPAT 148 pp.

ISBN 974-333-762-8

This thesis presents an algorithm for stability analysis of a cogeneration systems against islanding. The principle of frequency relay has been developed for checking the isolation and for tripping an inter-tie circuit breaker to release a section of utility's load from the independent islanded power. This protective scheme is used to maintain the stability of a cogeneration system. The developed computer software used for simulation purposes includes four main parts of the system models, i.e. generator, exciter, governor and load models. These parts will be used to analyze altogether for illustrating the exact system responses.

In the analysis, the steam-turbine cogeneration system and the combine-cycle cogeneration system, which are widely used in the industries, will be applied and tested by modeling their specific characteristics and by comparing the system responses between various operation conditions.

The obtained results indicate that operating conditions of the cogeneration system, which is connected to the utility network, have several impacts in remaining in a stable condition during islanding. In addition, they can lead to plan and to design for a reliable and effective protective scheme of the cogeneration system.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	-

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเป็นที่เรียบร้อย

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และ อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณ เพื่อนๆ และญาติพี่น้องทุกคน ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการศึกษา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จการศึกษาด้วยดี

โยชัย ศศิวรรณ

มีนาคม 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ฎ
สารบัญภาพ..... ฐ
บทที่
1. บทนำทั่วไป..... 1
2. ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System)..... 7
2.1 ลักษณะทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วม..... 7
2.2 การแบ่งประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วม..... 7
2.2.1 ประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยแบ่งตามลำดับการใช้พลังงาน (Sequence of Energy Use)..... 8
2.2.1.1 Topping Cycle Cogeneration..... 8
2.2.1.2 Bottoming Cycle Cogeneration..... 9
2.2.2 ประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยแบ่งตามชนิดตัวต้นกำลัง (Prime Mover)..... 10
2.2.2.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System)..... 10
2.2.2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine Cogeneration System)..... 12
2.2.2.3 ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System)..... 12
2.2.2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion (I.C) Engine Cogeneration System) 13
2.3 การเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า..... 13
2.3.1 การซิงโครไนซ์ (Synchronization)..... 16
2.3.2 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)..... 16

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.3 การป้องกันความไม่สมดุลของระบบ (System Imbalance Protection). 16
2.3.4 การป้องกันความผิดพร่องลงดิน (Ground-Fault Protection)..... 17
2.3.5 การป้องกันแรงดันเกิน/ตก และการป้องกันความถี่
(Over/Under Voltage and Frequency Protection)..... 17
2.3.6 รีเลย์ป้องกันกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ (Reverse Power Relays)..... 17
2.3.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อและค่าใช้จ่าย
(Interconnection Equipment and Cost)..... 17
2.4 การแยกระบบผลิตพลังงานร่วมออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding)..... 18
3. ผลกระทบของความถี่ผิดปกติต่อระบบไฟฟ้า และการป้องกัน..... 21
3.1 การทำงานในสภาวะความถี่ผิดปกติ..... 21
3.2 ผลของความถี่ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 22
3.2.1 ผลของความถี่เกิน (Overfrequency Effects)..... 22
3.2.2 ผลของความถี่ตก (Underfrequency Effects)..... 22
3.3 ผลของความถี่ต่อกังหัน (Turbine)..... 23
3.3.1 ผลของความถี่เกิน (Overfrequency Effects)..... 27
3.3.2 ผลของความถี่ตก (Underfrequency Effects)..... 27
3.4 การป้องกันความถี่ผิดปกติ (Off Normal Frequency Protection)..... 28
4. แบบจำลองระบบไฟฟ้า..... 34
4.1 แบบจำลองเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Machine Model)..... 34
4.1.1 แบบจำลองอย่างง่าย (Classical Model)..... 35
4.1.2 แบบจำลองที่คิดผลของขั้วยื่นเด่น และการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
(Saliency and Changes in field flux linkages)..... 36
4.2 แบบจำลองระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Model)..... 39
4.3 แบบจำลองระบบควบคุมความเร็ว (Governor Model)..... 44
4.4 แบบจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Model)..... 48
4.5 แบบจำลองระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System Model)..... 49

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5.1 แบบจำลองระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System Model)..... 49
4.5.2 แบบจำลองระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System Model)..... 50
5. หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า..... 53
5.1 สมการการแกว่ง (Swing Equation)..... 54
5.2 สมการระบบไฟฟ้า (Power System Equation)..... 55
5.2.1 การแสดงภาระทางไฟฟ้าในการคำนวณ (Presentation of Load)..... 56
5.2.2 สมการแสดงพฤติกรรมของวงจรเครือข่าย (Network Performance Equation)..... 57
5.3 วิธีการหาผลเฉลย (Solution Techniques)..... 58
5.3.1 การคำนวณเบื้องต้น (Preliminary Calculations)..... 58
5.3.2 การหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ (Differential Equation Calculations)..... 61
5.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า..... 64
6. การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding Program Design)..... 71
6.1 เงื่อนไขและขอบเขตของการวิเคราะห์..... 71
6.2 หลักการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์..... 74
6.3 ระบบศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding Case Study)..... 77
6.3.1 ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)..... 80
6.3.2 ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 83
7. การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า..... 87

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

7.1 การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ
(Steam Turbine Cogeneration System)..... 87
7.2 การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม
(Combine Cycle Cogeneration System)..... 108
7.3 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม..... 129
8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 131
รายการอ้างอิง..... 135
ภาคผนวก
ก. ข้อมูลระบบทดสอบเดิม..... 138
ข. ข้อมูลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 140
ประวัติผู้เขียน..... 148

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ข้อกำหนดของอุปกรณ์ป้องกันที่ต้องมีสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ขนาดตั้งแต่ 200 kW ถึง 80 MW ตาม IEEE..... 15
6.1 ข้อมูลบัส (Bus Data) ของระบบศึกษา..... 78
6.2 ข้อมูลสายส่ง (Line Data) ของระบบศึกษา..... 79
6.3 ข้อมูลบัส (Bus Data) เพิ่มเติมของระบบศึกษาประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)..... 81
6.4 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Solution) ในระบบศึกษาประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)..... 81
6.5 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data) ของระบบศึกษาประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)..... 82
6.6 ข้อมูลระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data) ของระบบศึกษาประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)..... 82
6.7 ข้อมูลระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data) ของระบบศึกษาประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)..... 82
6.8 ข้อมูลบัส (Bus Data) เพิ่มเติมของระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Steam Turbine)..... 84
6.9 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Solution) ในระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 84
6.10 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data) ของระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 85
6.11 ข้อมูลระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data) ของระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 85
6.12 ข้อมูลระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data) ของระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 85
6.13 ข้อมูลแบบจำลองภาระทางไฟฟ้าของแต่ละบัส (Load Model Parameter)..... 86
7.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ..... 129

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

7.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม..... 130
ก.1 ข้อมูลกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 138
ก.2 ข้อมูลกำลังของภาระทางไฟฟ้า..... 139
ก.3 ข้อมูลสายส่งและหม้อแปลง..... 139
ข.1 ความหมายค่าในตารางข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 142
ข.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกังหันไอน้ำ (Typical Data for Fossil Steam (F) Units)..... 143
ข.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกังหันเชื้อเพลิงเผาไหม้ (Typical Data for Combustion Turbine (CT) Units)..... 147

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 ลักษณะการเกิดระบบไฟฟ้าอิสระ..... 2

2.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle ที่ใช้กังหันก๊าซ..... 8

2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Bottoming Cycle ที่ใช้กังหันไอน้ำ..... 10

2.3 ไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Back-Pressure Turbine และ Extraction-Condensing Turbine..... 11

2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 12

2.5 ลักษณะการแยกระบบออกเป็นอิสระ (Islanding)..... 19

3.1 ไดอะแกรมแคมพ์เบลล์ (Campbell Diagram) สำหรับใบจักรของกังหัน (Turbine Blade)..... 24

3.2 กราฟองค์ประกอบการขยายสำหรับแรงในการสั่นของใบจักร (Blade Oscillation)..... 25

3.3 กราฟขนาดความเค้นต่อความถี่ และความทนทาน..... 25

3.4 อายุการใช้งานที่ความถี่ผิดปกติของกังหัน (Turbine off frequency lifetime)..... 26

3.5 การตอบสนองของความถี่ของระบบไฟฟ้าเมื่อมีการแยกออกเป็นระบบอิสระ (Islanding)..... 28

3.6 การเปรียบเทียบผลตอบสนองของความถี่ต่อการตัดภาระบางส่วนออก (Load Shedding) ในแต่ละแบบ..... 30

3.7 การเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบที่มีการตัดภาระบางส่วน (Load Shedding) และกราฟอายุการใช้งานของกังหัน (Turbine Lifetime)..... 32

4.1 แบบจำลองอย่างง่ายของเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัส..... 35

4.2 แบบจำลองเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัสสำหรับการคิด Eq..... 37

4.3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมสำหรับการพิจารณาองค์ประกอบในแกนตั้งฉากของแรงดันหลังค่าทรานเซียนต์รีแอคแตนซ์..... 38

4.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมการกระตุ้นสนามแบบต่อเนื่อง (Continuously Acting Exciter Control System)..... 40

4.5 กราฟแบบจำลองการอิ่มตัวของระบบกระตุ้นสนาม (Exciter Saturation Curve)..... 42

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

4.6 ระบบควบคุมความเร็ว (Speed Governor System)..... 44
4.7 คุณสมบัติในสภาวะคงตัวของระบบควบคุมความเร็ว..... 45
4.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็ว (Speed Governor Model)..... 46
4.9 แบบจำลองระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ
(Steam Turbine Cogeneration System Model)..... 49
4.10 แบบจำลองระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังงานความร้อนร่วม
(Combine Cycle Cogeneration System Model)..... 51
5.1 แผนผังการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า..... 65
6.1 แผนผัง (Flowchart) หลักการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์..... 75
6.2 ระบบศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า
(Islanding Case Study)..... 78
6.3 สภาวะเริ่มต้นของระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ
(Steam Turbine)..... 80
6.4 สภาวะเริ่มต้นของระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบ
พลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)..... 83
7.1 ระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ
(Steam Turbine Cogeneration System) ที่ใช้กำหนดกรณีทดสอบ..... 88
7.2 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-1 และ 1-2..... 89
7.3 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-3..... 91
7.4 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-4..... 91
7.5 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-5..... 92
7.6 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-1-1 เกิดความผิดพร่องแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น..... 93
7.7 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-1-2 เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน..... 94
7.8 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-1-3 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 95
7.9 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-2-1 เกิดความผิดพร่องแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น..... 96
7.10 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-2-2 เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน..... 98
7.11 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-2-3 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 100

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

7.12 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-3 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 102
7.13 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-4 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 104
7.14 ผลตอบสนองกรณีที่ 1-5 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 106
7.15 ระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System) ที่ใช้กำหนดกรณีทดสอบ..... 108
7.16 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-1 และ 2-2..... 110
7.17 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-3..... 111
7.18 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-4..... 112
7.19 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-5..... 113
7.20 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-1-1 เกิดความผิดพร่องแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น..... 114
7.21 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-1-2 เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน..... 115
7.22 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-1-3 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 116
7.23 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-2-1 เกิดความผิดพร่องแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น..... 117
7.24 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-2-2 เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน..... 119
7.25 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-2-3 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 121
7.26 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-3 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 123
7.27 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-4 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 125
7.28 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-5 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน..... 127
ก.1 ระบบทดสอบขนาด 11 บัส..... 138

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย