การป้องกันระบบส่งกำลังไฟฟ้า

นายอัศวิน นันทชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542
ISBN 974-333-747-4
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19263272

ELECTRIC POWER TRANSMISSION SYSTEM PROTECTION

Mr.Atsawin Nunthachai

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 974-333-747-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การป้องกันระบบส่งกำลังไฟฟ้า
โดย	นายอัศวิน นันทชัย
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย)

..... กรรมการ
(นายวิชิต เตชะวัฒนานันท์)

อัศวิน นันทชัย : การป้องกันระบบส่งกำลังไฟฟ้า (ELECTRIC POWER TRANSMISSION SYSTEM PROTECTION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 120 หน้า. ISBN 974-333-747-4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาถึงผลกระทบจากการทำงานของรีเลย์วัดระยะทาง ในการวิเคราะห์ใช้วิธีของออยเลอร์ที่มีการปรับค่าความชันในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ใช้แบบจำลองของโหลดเป็นแอดมิตแตนซ์ลงดินคงที่ ใช้สมการแสดงระบบส่งในการศึกษาระบบส่ง และแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้แบบจำลองคลาสสิก ผลจากการวิเคราะห์แสดงถึงผลตอบสนองของความเร็วและมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องตลอดช่วงเวลาชั่วครู่สำหรับระบบส่งผลที่ได้แสดง คือศักย์ไฟฟ้าในบัสแต่ละบัส การไหลของกำลังไฟฟ้าจริง การไหลของกำลังไฟฟ้าเสมือนในสายส่งแต่ละสาย อิมพีแดนซ์ปรากฏที่วัดจากรีเลย์วัดระยะทาง ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้วิเคราะห์เสถียรภาพของระบบโดยมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของระดับการส่งผ่านของกำลังไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เงื่อนไขในการรีโคลส และค่าที่วัดได้จากรีเลย์วัดระยะทางตลอดช่วงเวลาชั่วครู่ วิธีการนี้ได้นำไปพัฒนาเพื่อทดสอบกับระบบจริงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ผลการทดสอบได้แสดงถึงขีดจำกัดของระดับการส่งผ่านของกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบหลักกับระบบทางภาคใต้ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4170643221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: SYSTEM PROTECTION / DISTANCE RELAY / TRANSIENTS STABILITY / CONTINGENCY ANALYSIS
ATSAWIN NUNTHACHAI : ELECTRIC POWER TRANSMISSION SYSTEM PROTECTION.
THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PRASIT PITTAYAPAT. 120 pp.
ISBN 974-333-747-4

This thesis describes transient stability analysis of an electric power system taking into account operational effect of a distance relay. The analysis uses the Modified Euler Method for solving differential equations, constant admittance to ground for load model, network performance equation for network studies, and classical model for a generator. The results from this analysis reveal the responses of speed and rotor angle of each machine during transient condition. For the transmission network, the results comprise voltage at every bus, active power flow, reactive power flow in every transmission line, apparent per unit impedance measured by a distance relay. Consequently, system stability will be analyzed emphasizing effects of power transfer, circuit breaker speed, reclosing condition and measured value of distance relay during transient periods. The developed method has been tested with an actual system of the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). The obtained results show that there is a power transfer limit between the central and southern areas of the EGAT system.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (อาจารย์ที่ปรึกษา) รศ. ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) อ.ไชยะ แช่มช้อย (กรรมการ) และคุณวิชิต เตชะวัฒนานันท์ (กรรมการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย) ที่ได้ให้ความรู้และแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนในเรื่องทุนการศึกษาระหว่างที่ผู้วิจัยศึกษาที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 1

1.2 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 1

1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ 2

1.5 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ 2

2. การวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติ 4

2.1 ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัส 5

2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 7

2.3 สรุป 8

3. รีเลย์และการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า 10

3.1 สถานีไฟฟ้าแรงสูง 10

3.2 เขตป้องกันของบัส 11

3.3 เขตป้องกันของหม้อแปลง 12

3.4 การป้องกันสายส่ง 13

3.5 การปรับตั้งค่าของรีเลย์วัดระยะทาง 13

3.6 สรุป 15

4. การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า 16

4.1 บทนำ 16

4.2 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 17

4.3 สมการสวิง 18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.4 อุปกรณ์ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	19
	4.5 แบบจำลองของโหลดและสมการที่ใช้แสดงระบบส่ง	19
	4.6 วิธีของออยเลอร์ที่มีการปรับค่าความชัน	22
	4.7 ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพ	27
5.	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบส่ง	44
	5.1 บทนำ	44
	5.2 ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัส	44
	5.3 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง	47
	5.4 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทาง	52
6.	การทดสอบเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า	54
	6.1 บทนำ	54
	6.2 ข้อมูลของระบบและผลการทดสอบ.....	55
7.	ระบบกำลังไฟฟ้าทางภาคใต้ของประเทศไทย	73
	7.1 บทนำ	73
	7.2 สภาพการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติ	73
	7.3 การทดสอบความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลัก	74
	7.4 การทดสอบกรณีกำลังผลิตทางภาคใต้จ่ายกำลังสูงสุด	74
	7.5 การทดสอบกรณีระบบทางภาคใต้รับกำลังผลิตจากระบบหลัก 418 MW	85
	7.6 การทดสอบกรณีระบบทางภาคใต้รับกำลังผลิตจากระบบหลัก 462 MW	94
	7.7 การทดสอบกรณีระบบทางภาคใต้รับกำลังผลิตจากระบบหลัก 528 MW	104
	7.8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	114
	7.9 สรุปผลการทดสอบ	117
8.	บทสรุป	118
รายการอ้างอิง		119
ประวัติผู้วิจัย		120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง	5
2.2	ข้อมูลของแต่ละบัส	5
2.3	แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ของระบบกำลังไฟฟ้า	6
2.4	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัส	7
2.5	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง	8
4.1	ข้อมูลของสายส่ง	27
4.2	ข้อมูลของบัส	27
4.3	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	27
4.4	แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์	28
4.5	ข้อมูลของสายส่งที่ใช้ในการคำนวณ	31
4.6	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัสขณะเกิดฟอลต์	32
4.7	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัสที่เวลา 0.02 วินาที	39
6.1	ข้อมูลของสายส่ง	55
6.2	ข้อมูลของบัส	56
6.3	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	56
6.4	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัส	56
6.5	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง	57
6.6	กำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่าง Area	57
7.1	กำลังผลิตทางภาคใต้กรณีกำลังผลิต 100 %	74
7.2	กำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายระหว่าง Area	76
7.3	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละ Area	77
7.4	กำลังผลิตทางภาคใต้กรณีรับกำลังผลิตจากระบบหลัก 418 .98 MW	85
7.5	กำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายระหว่าง Area	86
7.6	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละ Area	86
7.7	กำลังผลิตทางภาคใต้กรณีรับกำลังผลิตจากระบบหลัก 462.19 MW	94
7.8	กำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายระหว่าง Area	95
7.9	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละ Area	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
7.10	กำลังผลิตทางภาคใต้กรณีรับกำลังผลิตจากระบบหลัก 528 MW....	104
7.11	กำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายระหว่าง Area	105
7.12	ศักดาไฟฟ้าในแต่ละ Area.....	105

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 9 บัส..... 4
3.1 การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าแรงสูง..... 10
3.2 รีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันบัสของสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่ 4 11
3.3 เขตป้องกันบัสของสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่ 4..... 12
3.4 เขตป้องกันหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่ 6 12
3.5 เขตป้องกันสายส่ง 6-4 13
3.6 ค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์วัดระยะทางของสายส่ง 6-4 วัดได้ แสดงบน R-X diagram ... 14
4.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 17
4.2 แบบจำลองของโหลด..... 18
4.3 แบบจำลองของระบบส่ง..... 20
4.4 ผังการทำงานของวิธี Modified Euler Method..... 26
4.5 สภาพของระบบสภาวะปกติ..... 28
4.6 มุมของโรเตอร์กรณีฟอลต์เคลียร์ที่ 0.1 วินาที..... 40
4.7 ผลต่างของมุมโรเตอร์กรณีฟอลต์เคลียร์ที่ 0.1 วินาที 41
4.8 มุมของโรเตอร์กรณีฟอลต์เคลียร์ที่ 0.2 วินาที 41
4.9 ผลต่างของมุมโรเตอร์กรณีฟอลต์เคลียร์ที่ 0.2 วินาที 42
4.10 ความเร็วของโรเตอร์กรณีฟอลต์เคลียร์ที่ 0.10 วินาที 42
4.11 ความเร็วของโรเตอร์กรณีฟอลต์เคลียร์ที่ 0.20 วินาที 43
5.1 ระบบ 5 บัสในสภาวะปกติ..... 44
5.2 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 45
5.3 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 2 45
5.4 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 46
5.5 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 4 46
5.6 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 47
5.7 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 1-2 48
5.8 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 1-3..... 48
5.9 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 2-3..... 49
5.10 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 2-4..... 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.11 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 2-5 50
5.12 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 4-5 50
5.13 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 3-4 51
5.14 กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และบัส 2 51
5.15 กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 52
5.16 ผลการทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 1 ของสายส่ง 1-2 53
5.17 ผลการทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 2 ของสายส่ง 2-1 53
6.1 ระบบที่ใช้ทดสอบ 54
6.2 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 และ 2 58
6.3 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 และ 4 58
6.4 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 และ 6 59
6.5 มุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 59
6.6 ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60
6.7 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 60
6.8 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางของสายส่ง 1-3 61
6.9 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางของสายส่ง 3-1 62
6.10 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 และ 2 63
6.11 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 และ 4 63
6.12 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 และ 6 64
6.13 มุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 64
6.14 ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 65
6.15 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 65
6.16 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง 66
6.17 รีเลย์วัดระยะทางสายส่ง 1-3 ที่เวลา 20 ไซเคิล 67
6.18 รีเลย์วัดระยะทางสายส่ง 1-3 ที่เวลา 45 ไซเคิล 67
6.19 รีเลย์วัดระยะทางสายส่ง 3-1 ที่เวลา 20 ,45 ,50 ไซเคิล 68
6.20 โหลด Area 3 ที่ 205 MW Line 1-3 Trip 69
6.21 โหลด Area 3 ที่ 205 MW Line 1-2 Trip 69

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.22 โหลด Area 3 ที่ 170 MW Line 1-3 ทริฟ..... 70
6.23 โหลด Area 3 ที่ 180 MW Line 1-3 ทริฟ..... 70
6.24 โหลด Area 3 ที่ 190 MW Line 1-3 ทริฟ..... 71
6.25 โหลด Area 3 ที่ 200 MW Line 1-3 ทริฟ..... 71
6.26 ที่โหลด 205 MW เคลียร์ฟอลต์ที่ 0.08 วินาที 72
7.1 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ศึกษา..... 75
7.2 สภาพระบบที่ระดับ 42.3 MW Transfer (จากภาคใต้ไประบบหลัก)..... 78
7.3 มุมของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 79
7.4 ความถี่ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 79
7.5 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 , 2 และ 7 80
7.6 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 32 , 35 และ 38 80
7.7 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 , 6 และ 39 81
7.8 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 4 , 44 และ 48 81
7.9 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 53 , 55 และ 57 82
7.10 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 , 64 และ 67 82
7.11 กำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งผ่านสายส่งหลักระหว่าง Area 1 กับ Area 2..... 83
7.12 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ส่งผ่านสายส่งหลักระหว่าง Area 1 กับ Area 2..... 83
7.13 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 7 สายส่ง 7-39 วงจร 2 84
7.14 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 39 สายส่ง 7-39 วงจร 2 84
7.15 สภาพระบบที่ระดับ 418 MW Transfer (จากระบบหลักไปภาคใต้)..... 87
7.16 มุมของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 88
7.17 ความถี่ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 88
7.18 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 , 2 และ 7 89
7.19 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 32 , 35 และ 38 89
7.20 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 , 6 และ 39 90
7.21 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 4 , 44 และ 48 90
7.22 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 53 , 55 และ 57 91

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.23 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 , 64 และ 67 91
7.24 กำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งจ่ายระหว่าง Area 1 และ 2 92
7.25 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ส่งจ่ายระหว่าง Area 1 และ 2 92
7.26 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 7 สายส่ง 7-39 วงจร 2 93
7.27 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 39 สายส่ง 7-39 วงจร 2 93
7.28 สภาพระบบที่ระดับ 462 MW Transfer (จากระบบหลักไปภาคใต้) 96
7.29 มุมของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 97
7.30 ความถี่ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 97
7.31 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 , 2 และ 7 98
7.32 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 32 , 35 และ 38 98
7.33 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 , 6 และ 39 99
7.34 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 4 , 44 และ 48 99
7.35 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 53 , 55 และ 57 100
7.36 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 , 64 และ 67 100
7.37 กำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งผ่านสายส่งหลักระหว่าง Area 1 กับ Area 2 101
7.38 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ส่งผ่านสายส่งหลักระหว่าง Area 1 กับ Area 2 101
7.39 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 7 สายส่ง 7-39 วงจร 2 102
7.40 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 39 สายส่ง 7-39 วงจร 2 ที่ไซเคิลต่าง ๆ..... 102
7.41 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 39 สายส่ง 7-39 วงจร 2 ที่ไซเคิลต่าง ๆ..... 103
7.42 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 32 สายส่ง 32-35 วงจร 2 103
7.43 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 35 สายส่ง 32-35 วงจร 2 103
7.44 สภาพระบบที่ระดับ 528 MW Transfer (จากระบบหลักไปภาคใต้) 106
7.45 มุมของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 107
7.46 ความถี่ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 107
7.47 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 1 , 2 และ 7 108
7.48 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 32 , 35 และ 38 108
7.49 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 3 , 6 และ 39 109

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.50 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 4 , 44 และ 48 109
7.51 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 53 , 55 และ 57 110
7.52 ศักดาไฟฟ้าที่บัส 5 , 64 และ 67 110
7.53 กำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งผ่าน Tie-Lineระหว่าง Area 1 กับ Area 2 111
7.54 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ส่งผ่าน Tie-Lineระหว่าง Area 1 กับ Area 2 111
7.55 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 7 สายส่ง 7-39 วงจร 2 112
7.56 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 39 สายส่ง 7-39 วงจร 2 ที่ไซเคิลต่าง ๆ..... 112
7.57 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 32 สายส่ง 32-35 วงจร 2 113
7.58 การทำงานของรีเลย์วัดระยะทางที่บัส 35 สายส่ง 32-35 วงจร 2 113