การวิเคราะห์ดัชนีความมั่นคงของบัสและดัชนีความมั่นคงของสายส่ง

นางสาวเกษศิรินทร์ เหล่าสะพาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF BUS SECURITY INDICES AND LINE SECURITY INDICES

MISS KEDSIRIN LAOSAPAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

490504

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ดัชนีความมั่นคงของบัสและดัชนีความมั่นคงของสายส่ง
โดย	นางสาวเกษศิรินทร์ เหล่าสะพาน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

เกษศิรินทร์ เหล่าสะพาน : การวิเคราะห์ดัชนีความมั่นคงของบัสและดัชนีความมั่นคงของสายส่ง
(ANALYSIS OF BUS SECURITY INDICES AND LINE SECURITY INDICES)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์, 89 หน้า.

การเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของแรงดันมากขึ้น การทำนายการพังทลายของแรงดันและความมั่นคงของแรงดันเป็นส่วนสำคัญในการประเมินความมั่นคงของระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงถึงการวิเคราะห์หาบัสที่อ่อนแอและสายส่งที่อ่อนแอในระบบ โดยใช้ดัชนีความมั่นคงของบัสและดัชนีความมั่นคงของสายส่งเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงความมั่นคงของแรงดันในระบบ การวิเคราะห์ดังกล่าวได้ทดสอบกับระบบ 9 บัส, IEEE 30 บัส, IEEE 57 บัส และระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส ที่สภาวะปกติ สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม และสภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2549

4670229621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: / LINE SECURITY INDEX/ BUS SECURITY INDEX / VOLTAGE SECURITY / VOLTAGE COLLAPSE / CONTINUATION POWER FLOW

KEDSIRIN LAOSAPAN : ANALYSIS OF BUS SECURITY INDICES AND LINE SECURITY INDICES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SOTDHIPONG PHICHAISAWAT , Ph.D. , 89 pp.

The increase of electricity demand makes a power system take more risk to collapse. The analysis of voltage collapse and security voltage is important to predict system security.

This thesis presents the analysis of bus security indices and line security indices to specific weak buses and weak lines that were guideline for improving security voltage in a power system. The research analyzes the 9 bus system, IEEE 30 bus system, IEEE 57 bus system and Central to Southern Thailand 28 bus system. The test systems are analyzed with a normal system, with series capacitors and with shunt capacitors.

Department Electrical Engineering Student's signature _____

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature _____

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่าง ดียิ่งจาก ผศ.ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบ ด้วย รศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อ.ดร.แนบบุญ หุนเจริญ และ อ.ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล ที่ได้เสียสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และสถาบันวิจัยพลังงานที่สนับสนุนทุนการศึกษา รวมทั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนทุกคน ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ 3

2. การพังทลายของแรงดันและการปรับปรุงความมั่นคงของแรงดัน 4

2.1 การพังทลายของแรงดัน 4

2.2 สาเหตุการเกิดการพังทลายของแรงดัน 4

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการพังทลายของแรงดัน 5

2.4 วิธีการปรับปรุงความมั่นคงของแรงดัน 6

2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 6

2.4.2 การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 8

3. การวิเคราะห์โหลดโฟลว์และการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบต่อเนื่อง 10

3.1 การวิเคราะห์โหลดโฟลว์ 10

3.1.1 การจำแนกประเภทของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง 10

3.1.2 สมการโหลดโฟลว์ 11

3.1.3 การวิเคราะห์โหลดโฟลว์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน 12

3.2 การวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบต่อเนื่อง 16

4. การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่งและดัชนีความมั่นคงของบัส 23

4.1 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่ง 23

4.1.1 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 1 24

บทที่ หน้า

4.1.2 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 2 25
4.2 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของบัส 26
4.2.1 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของบัสแบบที่ 1 26
5. ผลการทดสอบ 29
5.1 การทดสอบในระบบทดสอบ 9 บัส 30
5.1.1 ระบบทดสอบ 9 บัส สภาวะปกติ 31
5.1.2 ระบบทดสอบ 9 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 32
5.1.3 ระบบทดสอบ 9 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน 35
5.2 การทดสอบในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส 38
5.2.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส สภาวะปกติ 39
5.2.2 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 40
5.2.3 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน 43
5.3 การทดสอบในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส 46
5.3.1 ระบบทดสอบ IEEE 57 บัส สภาวะปกติ 47
5.3.2 ระบบทดสอบ IEEE 57 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 48
5.3.3 ระบบทดสอบ IEEE 57 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน 51
5.4 การทดสอบในระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส 54
5.4.1 ระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส สภาวะปกติ 55
5.4.2 ระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 56
5.4.3 ระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส สภาวะที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน 59
5.5 ผลวิเคราะห์การทดสอบ 62
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 64
6.1 สรุปผล 64
6.2 ข้อเสนอแนะ 65
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก 68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 89

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

5.1 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส กรณีโหลดฐาน 31

5.2 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 31

5.3 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 5-6 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 32

5.4 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 8-9 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 33

5.5 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 1-4 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 33

5.6 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 9 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 35

5.7 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 5 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 36

5.8 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 4 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 36

5.9 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีโหลดฐาน 39

5.10 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 39

5.11 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 28-27 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 40

5.12 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 6-10 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 41

5.13 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง 4-12 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 41

5.14 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 8 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 43

5.15 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 28 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 44

5.16 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 6 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 44

5.17 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส กรณีโหลดฐาน 47

ตาราง หน้า

5.18 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 47
5.19 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง 12-17 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 48
5.20 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง 1-16 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 49
5.21 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง 2-3 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 49
5.22 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส 31 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 51
5.23 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส 30 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 52
5.24 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส 33 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 52
5.25 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส กรณีโหลดฐาน 55
5.26 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 55
5.27 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง 6-10 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 56
5.28 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง 8-10 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 57
5.29 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง 8-9 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 57
5.30 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส 5 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 59
5.31 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส 6 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 60
5.32 ผลการคำนวณค่าดัชนีในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส 7 กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 60
ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 9 บัส 70
ก.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ 9 บัส 70

ตาราง

หน้า

ก.3 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 9 บัส 71
ก.4 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส 73
ก.5 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส 74
ก.6 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส 76
ก.7 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 57 บัส 78
ก.8 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 57 บัส 80
ก.9 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 57 บัส 81
ก.10 ชื่อบัสของระบบทดสอบ THAI 28 บัส 85
ก.11 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ THAI 28 บัส 86
ก.12 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ THAI 28 บัส 87
ก.13 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ THAI 28 บัส 88

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าสายส่ง 7

2.2 เฟสเซอร์ของสายส่งเมื่อมีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าสายส่ง 7

2.3 การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส 8

2.4 สามเหลี่ยมกำลังเมื่อมีการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานที่บัส 8

3.1 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน 15

3.2 แบบแผนของวิธีโหลดโฟลว์แบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำนายค่าและตัวปรับค่า 21

3.3 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์แบบต่อเนื่อง 22

4.1 สายส่งในระบบไฟฟ้ากำลัง 23

5.1 ระบบทดสอบ 9 บัส 30

5.2 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 34

5.3 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 34

5.4 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 37

5.5 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ 9 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 37

5.6 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส 38

5.7 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 42

5.8 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 42

5.9 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 45

5.10 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 45

5.11 ระบบทดสอบ IEEE 57 บัส 46

ภาพประกอบ หน้า

5.12 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 50
5.13 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 50
5.14 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 53
5.15 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ IEEE 57 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 53
5.16 ระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส 54
5.17 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 58
5.18 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบอนุกรม เข้าที่สายส่ง กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 58
5.19 ปริมาณโหลดจริงที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานเข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 61
5.20 ปริมาณโหลดรีแอกทีฟที่จ่ายได้เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ THAI 28 บัส เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน เข้าที่บัส กรณีโหลดที่จุดวิกฤต 61
ก.1 ระบบทดสอบ 9 บัส 69
ก.2 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส 72
ก.3 ระบบทดสอบ IEEE 57 บัส 77
ก.4 ระบบเชื่อมโยงภาคใต้กับภาคกลางของประเทศไทย 28 บัส 84