การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าโดยการใช้วิธีจำลองเหตุการณ์

นาย โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-130-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T 171 18909

ELECTRICAL POWER STATION RELIABILITY EVALUATION USING SIMULATION METHOD

Mr SOTDHIPONG PHICHAISAWAT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-635-130-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าโดยการใช้วิธีจำลองเหตุการณ์
โดย	นาย โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณบดีคณะแพทยศาสตร์

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย)

..... กรรมการ

(นาย วุฒิชัย พึงประเสริฐ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์ : การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าโดยการใช้วิธีจำลองเหตุการณ์ (ELECTRICAL POWER STATION RELIABILITY EVALUATION USING SIMULATION METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 94 หน้า. ISBN 974-635-130-3

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าที่มีการจัดเรียงบัสชนิดต่าง ๆ โดยการใช้วิธีจำลองเหตุการณ์ พร้อมทั้งศึกษาความไวในการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการล้มเหลว

ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ซึ่งวัดอยู่ในรูปของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ เช่น ค่าความไม่พร้อมมูล อัตราการล้มเหลว ระยะเวลาการซ่อมแซม และอื่น ๆ อีกทั้งสามารถแสดงให้เห็นผลของการสวิตชิง หรือการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างดี จากผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกสถานีไฟฟ้าที่ทำการศึกษาตามระดับความเชื่อถือได้ของออกเป็น 3 กลุ่มเรียงลำดับจากกลุ่มที่มีความเชื่อถือได้น้อยไปมากจะได้ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ระบบ Single bus และระบบ Single sectionalized bus กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ระบบ Main & transfer bus และระบบ Ring bus กลุ่มที่ 3 ได้แก่ ระบบ Double bus - double breaker และระบบ Breaker & a half ทั้งนี้ผลจากการศึกษาสามารถสะท้อนให้เห็นผลจากการสวิตชิงของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่มีต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ได้เป็นอย่างดี

การวิเคราะห์หาจุดอ่อนในสถานีไฟฟ้าชนิดต่าง ๆพบว่าอุปกรณ์ชนิดที่มีอยู่ในสถานีไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก นั้นจะมีผลต่อความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ส่วนการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่ได้รับการป้องกันอย่างดีจากอุปกรณ์ป้องกันนั้นจะมีผลกระทบต่อระบบความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

สาขาวิชา ระบบพลังงาน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา ๒๕๓๙ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C815695 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD : ELECTRICAL POWER STATION/RELIABILITY/SIMULATION
SOTDHIPONG PHICHAISAWAT : ELECTRICAL POWER STATION RELIABILITY EVALUATION USING SIMULATION METHOD.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF.DR.BUNDHIT EUA-ARPORN,Ph.D.
94 pp. ISBN 974-635-130-3

This thesis emphasizes on the reliability evaluation of electrical power stations with various configurations by using a simulation method. In addition, the sensitivity of failure indices are also included in the study.

The reliability of each electrical power station is presented in various form of indices, e.g. unavailability index, failure rate and repair time, etc. The study results also show the effects of switching or interrupting of the protective devices. From the analysis, we can classify the electrical power station to three groups according to the reliability indices ranging from the lowest to the highest reliability, i.e. 1) single bus and single sectionalized bus, 2) main & transfer bus and ring bus, and 3) double bus - double breaker and breaker & a half. The results also show that the switching action has impacts on the reliability of electrical power stations.

It is found from the analysis that the components, which have higher number in the station, normally has higher impact to the station reliability compared the others which have less number. For the components which are well protected from the protective devices normally have the reliability effects less than the others having poorer protection.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต โสตธิพงศ์ ฟิชัยรัตน์

สาขาวิชา ระบบพลังงาน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา พ.ศ. 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ไชยะ แซ่มช้อย และคุณวุฒิชัย พึงประเสริฐ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนการศึกษาในโครงการศิษย์ก้นกุฏิ และทุนการศึกษาของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบของพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

ธันวาคม 2539

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1. บทนำทั่วไป..... 1

1.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับความเชื่อถือได้..... 1

1.2 ความสำคัญของความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า..... 3

1.3 การประเมินความเชื่อถือได้..... 4

1.4 วัตถุประสงค์..... 5

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน..... 6

1.6 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์..... 6

1.7 ประโยชน์ที่ว่าจะได้จากการทำวิทยานิพนธ์..... 6

1.8 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 7

2. แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆในสถานีไฟฟ้า..... 8

2.1 หน้าที่ของสถานีไฟฟ้า..... 8

2.2 การจัดเรียงอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า..... 9

2.3 อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า..... 10

2.4 การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์..... 12

2.5 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์..... 16

3. การประเมินความเชื่อถือได้..... 19

3.1 วิธีการวิเคราะห์ (Analytical method)..... 19

3.1.1 วิธีลดทอนเครือข่าย (Network reduction method)..... 19

3.1.2 วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional probability method)..... 21

3.1.3 วิธีมินิมัลคัตเซต (Minimal cut set method)..... 22

3.1.4 วิธีวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว (Fault tree analysis method)..... 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.2 วิธีจำลองเหตุการณ์ (Simulation method)..... 26
3.2.1 Direct Monte Carlo Simulation..... 28
3.2.2 Restriced-Sampling Monte Carlo Simulation 30
4. การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าโดยวิธีจำลองเหตุการณ์..... 32
4.1 ภาวะการทำงานและการล้มเหลวของอุปกรณ์..... 32
4.2 ขั้นตอนการคำนวณ..... 33
4.2.1 การป้อนข้อมูลเข้าและจัดเก็บข้อมูลทางโครงสร้างโดยใช้หลักการของผู้สืบทอด..... 33
4.2.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการล้มเหลวของอุปกรณ์..... 40
4.2.3 การตรวจสอบผลการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่มีต่อระบบ..... 42
4.2.4 การบันทึกการล้มเหลวของระบบ..... 44
4.2.5 การคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ..... 44
4.2.6 การตรวจสอบการลู่เข้า..... 46
4.2.7 การคำนวณค่าดัชนีอื่น ๆที่เกี่ยวข้อง..... 47
5. ตัวอย่าง ผลการคำนวณ และการวิเคราะห์..... 48
5.1 ตัวอย่างระบบการจัดเรียงบัสในสถานีไฟฟ้าและข้อมูลทางสถิติของอุปกรณ์..... 48
5.2 ผลการจำลองเหตุการณ์..... 10
5.3 การศึกษาความไว (Sensitivity study)..... 70
5.4 ข้อเสนอแนะ..... 80
6. สรุปและเสนอแนะ..... 85
รายการอ้างอิง..... 87
ภาคผนวก
ก. คำจำกัดความ..... 90
ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 92
ประวัติผู้เขียน..... 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3.1 แสดงตัวอย่างการจำลองเหตุการณ์โดยที่ x และ y หมายถึงการล้มเหลว..... 29

3.2 ตัวอย่างการจำลองเหตุการณ์ตามวิธี Dagger Sampling Monte Carlo..... 31

5.1 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์..... 48

5.2 แสดงค่าดัชนีต่าง ๆโดยอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์เป็นไปตามที่กำหนด..... 64

5.3 สรุปอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการล้มเหลวของอุปกรณ์..... 79

5.4 แสดงลำดับผลกระทบจากอุปกรณ์ต่าง ๆที่มีต่อระบบการจัดเรียงบัสชนิดต่าง ๆ..... 80

5.5 แสดงมูลค่าความเสียหายประจำปีของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีแบบจำลองความเสียหายตามสมการที่ 5.1..... 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้..... 3

2.1 ตัวอย่างการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า

ก) แผนภาพเส้นเดี่ยวแสดงโครงสร้างของสถานีไฟฟ้า..... 9

ข) การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า..... 9

2.2 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา..... 12

2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (t) และฟังก์ชันการกระจายสะสม (F(t))..... 13

2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ f(t)..... 14

2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราอันตรายของอุปกรณ์ที่ซ่อมไม่ได้..... 15

2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราอันตรายของอุปกรณ์ที่ซ่อมได้... 15

2.7 อัตราอันตรายที่ใช้ฟังก์ชัน Weibull ที่มี β ต่าง ๆกัน..... 16

2.8 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์..... 17

2.9 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์..... 17

3.1 ระบบอนุกรมและขนาน

ก) ระบบอนุกรม..... 20

ข) ระบบขนาน..... 20

3.2 ตัวอย่างการยุบส่วนของระบบที่ต่อแบบขนานและอนุกรม..... 20

3.3 ระบบซับซ้อน..... 21

3.4 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน..... 22

3.5 มินิมัลคัตเซตของระบบในรูปที่ 3.3..... 22

3.6 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณค่า *U*..... 24

3.7 ระบบตัวอย่าง..... 24

3.8 แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลวของระบบ..... 25

3.9 แผนภูมิแท่งแสดงการกระจายของตัวเลขสุ่ม..... 27

3.10 การสร้างตัวอย่าง N ตัวอย่างสำหรับอุปกรณ์ตัวที่ 1..... 29

4.1 แผนผังแสดงการประเมินความเชื่อถือได้โดยวิธีจำลองเหตุการณ์..... 34

4.2 แผนผังแสดงการป้อนโครงสร้างของระบบโดยอาศัยหลักการของผู้สืบทอด..... 35

4.3 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีดั้งเดิม..... 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.4 เส้นประแสดงการหาเส้นทางแบบสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน..... 37
4.5 เส้นประแสดงการหาเส้นทางโดยมีเส้นหนาแสดงการกระโดดกลับไปที่จุดแยกที่จำไว้..... 37
4.6 แผนผังแสดงการหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด..... 38
4.7 ระบบการจัดเรียงบัสแบบ Single sectionalized bus..... 39
4.8 ระบบตัวอย่างที่สนใจจุดโหลดที่ออกจากบัส H..... 40
4.9 แผนผังแสดงการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและสุ่มหาการล้มเหลวของอุปกรณ์... 41
4.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการตรวจสอบผลการล้มเหลวของอุปกรณ์ต่อระบบ..... 43
4.11 ระบบตัวอย่าง..... 44
4.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ..... 45
5.1 ระบบการจัดเรียงบัสชนิดต่าง ๆ
ก) Single bus..... 49
ข) Single sectionalized bus..... 49
ค) Main & transfer bus..... 49
ง) Ring bus..... 49
จ) Double bus - double breaker..... 49
ฉ) Breaker & a half..... 49
5.2 การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single bus
ก) กราฟแสดงผลค่าความไม่พร้อมมูลจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single bus..... 51
ข) กราฟแสดงผลค่าอัตราการล้มเหลวจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single bus..... 51
ค) กราฟแสดงผลระยะเวลาการซ่อมแซมจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single bus..... 52
ง) สรุปรวมค่าดัชนีต่าง ๆจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single bus..... 52
5.3 การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single sectionalized bus
ก) กราฟแสดงผลค่าความไม่พร้อมมูลจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single sectionalized bus..... 53
ข) กราฟแสดงผลค่าอัตราการล้มเหลวจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single sectionalized bus..... 53
ค) กราฟแสดงผลระยะเวลาการซ่อมแซมจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single sectionalized bus..... 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ง) สรุปรวมค่าดัชนีต่าง ๆจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Single sectionalized bus..... 54

5.4 การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Main & transfer bus

ก) กราฟแสดงผลค่าความไม่พร้อมมูลจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Main & transfer bus..... 55

ข) กราฟแสดงผลค่าอัตราการล้มเหลวจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Main & transfer bus..... 55

ค) กราฟแสดงผลระยะเวลาการซ่อมแซมจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Main & transfer bus bus..... 56

ง) สรุปรวมค่าดัชนีต่าง ๆจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Main & transfer bus..... 56

5.5 การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Ring bus

ก) กราฟแสดงผลค่าความไม่พร้อมมูลจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Ring bus..... 57

ข) กราฟแสดงผลค่าอัตราการล้มเหลวจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Ring bus..... 57

ค) กราฟแสดงผลระยะเวลาการซ่อมแซมจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Ring bus..... 58

ง) สรุปรวมค่าดัชนีต่าง ๆจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Ring bus..... 58

5.6 การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Double bus - double breaker

ก) กราฟแสดงผลค่าความไม่พร้อมมูลจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Double bus - double breaker..... 59

ข) กราฟแสดงผลค่าอัตราการล้มเหลวจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Double bus - double breaker..... 59

ค) กราฟแสดงผลระยะเวลาการซ่อมแซมจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Double bus - double breaker..... 60

ง) สรุปรวมค่าดัชนีต่าง ๆจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Double bus - double breaker..... 60

5.7 การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Breaker & a half

ก) กราฟแสดงผลค่าความไม่พร้อมมูลจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Breaker & a half..... 61

ข) กราฟแสดงผลค่าอัตราการล้มเหลวจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Breaker & a half..... 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ค) กราฟแสดงผลระยะเวลาการซ่อมแซมจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Breaker & a half..... 62
ง) สรุปรวมค่าดัชนีต่าง ๆจากการจำลองเหตุการณ์ของระบบ Breaker & a half..... 62
5.8 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความไม่พร้อมมูลของระบบต่าง ๆ..... 65
5.9 แผนภูมิแท่งแสดงอัตราการล้มเหลวของระบบต่าง ๆ..... 66
5.10 แผนภูมิแท่งแสดงระยะเวลาการล้มเหลวเฉลี่ยของระบบต่าง ๆ..... 67
5.11 วัฏจักรในการทำงานของระบบต่าง ๆ..... 68
5.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราอัตราการล้มเหลวของเซอร์กิตเบรคเกอร์..... 71
5.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราอัตราการล้มเหลวของหม้อแปลง..... 73
5.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราอัตราการล้มเหลวของบัสบาร์..... 74
5.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการสวิตชิงของเซอร์กิตเบรคเกอร์..... 76
5.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการล้มเหลวของเซอร์กิตเบรคเกอร์..... 77
5.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการล้มเหลวของหม้อแปลง..... 78
5.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่พร้อมมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการล้มเหลวของบัสบาร์..... 79
5.19 แบบจำลองมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า..... 80
5.20 แสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าผ่าน Tie breaker..... 83
5.21 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์ E..... 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University