การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

นาย วรพงษ์ ดีอารมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539
ISBN 974-635-984-3
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17259484

EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS

Mr Worapong Deearom

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 974-635-984-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
โดย	นายวรพงษ์ ดีอารมย์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)

..... กรรมการ
(นายนำชัย หล่อวัฒนตระกูล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรพงษ์ ดีอารมย์ : การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 131 หน้า. ISBN 974-635-984-3

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยคำนึงถึงสถิติและลักษณะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการมินิมัลคัตเซตและเทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ ทำให้สามารถคำนวณค่าดัชนีได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความไวของอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับและดัชนีความเชื่อถือได้ที่มีต่ออัตราการล้มเหลวและระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับของอุปกรณ์

ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งวัดอยู่ในรูปของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ เช่น ค่าดัชนี SAIFI, SAIDI, CAIDI และอื่นๆ อีกทั้งสามารถประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นๆได้ จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ไม่ทำให้ค่าดัชนี CAIDI และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเปลี่ยนแปลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่เกิดการขัดข้องของอุปกรณ์จะส่งผลต่อค่าดัชนี CAIDI และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ความเชื่อถือได้ของระบบขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้และลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

วิธีการดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ผ่านการทดสอบกับระบบ RBTS ที่ทดสอบการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้และโปรแกรมดังกล่าวยังใช้ประกอบการศึกษาดัชนีความ เชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับภายในนิคมอุตสาหกรรมตัวอย่างของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)อีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต วรพงษ์ ดีอารมย์

สาขาวิชา พลังงาน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C815940 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: RELIABILITY INDICES/INTERRUPTED ENERGY RATES / DISTRIBUTION SYSTEM
WORAPONG DEEAROM : EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS.
THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D.
131 pp. ISBN 974-635-984-3

This thesis emphasizes on an evaluation of reliability indices and interrupted energy rates (IER) in distribution systems taking into account statistical operating performance of all equipments. The matrix relationship and minimum cut set techniques are used in the calculation. Then the sensitivity analysis of failure rate and outage time having impacts on reliability indices and IER are calculated.

The reliability of distribution system is presented in various form of indices, e.g. SAIFI, SAIDI, CAIDI, etc. From the analysis, CAIDI and interrupted energy rate are independent from failure rate of equipment but depending on outage time of equipment. The results also illustrate that the reliability of distribution system depends on equipment and configuration of the distribution system.

A computer program using the proposed method has been developed and tested with the RBTS system. The program has also been used in the study of reliability indices and IER of distribution system in industrial estates of the Provincial Electricity Authority (PEA).

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต วรพงษ์ ดีอารมย์

สาขาวิชา พลังงาน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย และคุณนำชัย หล่อวัฒนตระกูล ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเนื่องจากข้อมูลและทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณมารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

วรพงษ์ ดีอารมย์

เมษายน 2540

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูปภาพ..... ฒ

บทที่

1. บทนำทั่วไป..... 1
    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
    1.2 วัตถุประสงค์..... 5
    1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 5
    1.4 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์..... 6
    1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6
    1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 6
2. แบบจำลองอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 8
    2.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 8
        2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล..... 9
        2.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน..... 9
        2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห..... 10
    2.2 อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 11
    2.3 สภาวะการทำงานและการล้มเหลวของอุปกรณ์..... 13
    2.4 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์..... 14
3.การประเมินค่าดัชนีสากลความมั่นคงของระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 17
    3.1 คำจำกัดความ..... 17
    3.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ. จุดโหลด..... 18
    3.3 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า..... 20
    3.4 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า..... 24
    3.5 ผลกระทบต่อค่าดัชนีเมื่อเพิ่มระบบป้องกันในระบบจำหน่าย..... 27
    3.6 ผลของระบบที่มีสวิทช์ตัดตอน..... 29
    3.7 ผลของการถ่ายโอนโหลดแบบไม่จำกัด..... 31
4. เทคนิคการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง..... 34

4.1 วิธีการวิเคราะห์ 34
4.1.1 วิธีการลดทอนเครือข่าย 34
4.1.2 วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข 36
4.1.3 วิธีมินิมัลคัตเซต 37
4.1.4 วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว 39
4.2 วิธีการหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้า 41
4.2.1 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีย้อนกลับไปมา 41
4.2.2 การตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม 42
4.2.3 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม 42
4.2.4 เทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ 44
4.2.4.1 วิธีคูณเมตริกซ์ 44
4.2.4.2 วิธีการเคลื่อนย้ายโนด 45
5. การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 48
5.1 ฟังก์ชั่นความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า 48
5.2 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 52
5.2.1 วิธีระบุเหตุขัดข้อง 52
5.2.2 วิธีดัชนีพื้นฐาน 53
5.2.3 วิธีดัชนีระบบ 54
6.ตัวอย่าง ผลการคำนวณและการวิเคราะห์ 55
6.1 ระบบทดสอบ RBTS 55
6.1.1 ข้อมูลทางสถิติของอุปกรณ์และข้อมูลของผู้ใช้ไฟ 55
6.1.2 ผลการทดสอบ 59
6.2 ศึกษาการใช้และการจัดเรียงอุปกรณ์ในระบบ RBTS บัส 2 62
6.3 การเปรียบเทียบการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ 74
6.5 การศึกษาความไว 77
6.6 ตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในนิคมอุตสาหกรรม 83
6.6.1 นิคมอุตสาหกรรมโรจนะ 84
6.6.2 นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน 85
7.สรุปและข้อเสนอแนะ 87
รายการอ้างอิง 89
ภาคผนวก
ก. เทคนิคพื้นฐานในการคำนวณความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 92
ก.1 วิธีการประมาณ 92

ก.2 สภาวะที่ระบบเกิดการขัดข้อง..... 95
ข. แผนผังแสดงการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 97
ค. คู่มือการใช้โปรแกรม Distribution Reliability1..... 107
ง. ข้อมูลนิคมอุตสาหกรรม..... 121
ประวัติผู้เขียน

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ในระบบตัวอย่าง..... 19
3.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ. จุดโหลดของระบบตัวอย่างในรูปที่ 3.1..... 20
3.3 แสดงจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและโหลดเฉลี่ยที่แต่ละจุดโหลดของรูปที่ 3.1..... 23
3.4 แสดงพารามิเตอร์พื้นฐานของอุปกรณ์ในระบบเรเดียลรูปที่ 3.2..... 25
3.5 แสดงจำนวนผู้ใช้ไฟและโหลดเฉลี่ยที่ต่อกับระบบในรูปที่ 3.2..... 25
3.6 แสดงดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ณ. จุดโหลด A B C และ D..... 26
3.7 แสดงดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ณ. จุดโหลด A B C และ D เมื่อเพิ่มอุปกรณ์ป้องกัน..... 28
3.8 แสดงดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ณ. จุดโหลด A B C และ Dเมื่อเพิ่มดิสคอนเนคติ้งสวิทช์..... 30
3.9 แสดงดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ณ. จุดโหลด A B C และ Dเมื่อมีการถ่ายโอนโหลดแบบไม่จำกัด..... 32
3.10 เปรียบเทียบดัชนีอ้างอิงผู้ใช้ไฟกรณีต่าง ๆจากตารางที่ 3.6 ถึง 3.9..... 33
5.1 แสดงตัวอย่างสัดส่วนผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท..... 51
5.2 แสดงฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท(บาท/kWเฉลี่ย)..... 51
5.3 แสดงฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวม(บาท/kWhเฉลี่ย)..... 51
6.1 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์..... 55
6.2 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท (บาท/kWเฉลี่ย)..... 56
6.3 ประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟแต่ละจุดโหลด..... 58
6.4 ข้อมูลความยาวฟีดเดอร์ของระบบทดสอบ..... 59
6.5 ผลการคำนวนระบบทดสอบบัส 2..... 60
6.6 ผลการคำนวณระบบทดสอบบัส 4..... 61
6.7 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟ..... 62
6.8 กรณีการใช้และจัดเรียงอุปกรณ์ในระบบทดสอบ..... 63
6.9 ผลการคำนวณของกรณีที่ 1 (มีสวิทช์ตัดตอน ฟิวส์ การถ่ายโอนโหลดแบบไม่จำกัดและการใช้วิธีเปลี่ยนหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 64
6.10 ผลการคำนวณของกรณีที่ 2 (มีสวิทช์ตัดตอน ฟิวส์ การถ่ายโอนโหลดแบบไม่จำกัดและการใช้วิธีซ่อมหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 65
6.11 ผลการคำนวณของกรณีที่ 3 (มีสวิทช์ตัดตอน ฟิวส์ ไม่มีการถ่ายโอนโหลด

แบบไม่จำกัดและการใช้วิธีซ่อมหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 66
6.12 ผลการคำนวณของกรณีที่ 4 (ไม่มีสวิทช์ตัดตอน มีฟิวส์ ไม่มีการถ่ายโอนโหลด
แบบไม่จำกัดและการใช้วิธีซ่อมหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 67
6.13 ผลการคำนวณของกรณีที่ 5 (มีสวิทช์ตัดตอน ไม่มีฟิวส์ ไม่มีการถ่ายโอนโหลด
แบบไม่จำกัดและการใช้วิธีซ่อมหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 68
6.14 ผลการคำนวณของกรณีที่ 6 (ไม่มีสวิทช์ตัดตอน ไม่มีฟิวส์ ไม่มีการถ่ายโอนโหลด
แบบไม่จำกัดและการใช้วิธีซ่อมหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 69
6.15 แสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟรวมทุกกรณี..... 70
6.16 ผลการคำนวณของกรณีที่ 4 เมื่อใช้สายเคเบิล(มีสวิทช์ตัดตอน ฟิวส์
การถ่ายโอนโหลดแบบไม่จำกัดและการใช้วิธีเปลี่ยนหม้อแปลงเมื่อเกิดขัดข้อง)..... 73
6.17 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟเมื่อใช้สายไฟฟ้าต่างชนิดกัน..... 74
6.18 แสดงการเปรียบเทียบการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับวิธีต่าง ๆ..... 75
6.19 แสดงมูลค่าความเสียหายและพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายของบัส 2..... 76
6.20 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท(บาท/kWhเฉลี่ย)..... 76
6.21 แสดงผลการศึกษาความไวของอัตราการล้มเหลวที่มีต่อดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟ
และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ..... 78
6.22 แสดงผลการศึกษาความไวของระยะเวลาที่เกิดการขัดข้องเฉลี่ยที่มีต่อ
ดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟและอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ..... 80
6.23 ผลการคำนวณนิคมอุตสาหกรรมโรจนะ..... 84
6.24 ผลการคำนวณนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน..... 85
ก.1 ข้อมูลอัตราการล้มเหลวและระยะเวลาการเกิดขัดข้องเฉลี่ยของอุปกรณ์..... 96
ก.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบตัวอย่าง..... 96
ค.1 เมนูการใช้งานของโปรแกรม Distribution Reliability1..... 116

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่

1.1 การแบ่งระดับชั้น..... 2
1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า..... 3
2.1 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล..... 9
2.2 ระบบจำหน่ายแบบวงแหวน..... 10
2.3 ระบบจำหน่ายแบบร่างแห..... 11
2.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์..... 14
2.5 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์..... 15
2.6 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแบบแอคทีฟ..... 16
3.1 ตัวอย่างของระบบที่มีสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลและมีจุดโหลด 3 จุด..... 19
3.2 ตัวอย่างระบบเรเดียล..... 24
3.3 ตัวอย่างระบบเรเดียลเมื่อเพิ่มฟิวส์ในสายย่อย..... 27
3.4 ตัวอย่างระบบเรเดียลเมื่อเพิ่มดิสคอนเนคติ้งในสายเมนฟีดเดอร์..... 29
3.5 ตัวอย่างระบบเรเดียลเมื่อมีการถ่ายโอนโหลดระหว่างฟีดเดอร์..... 31
4.1 ระบบอนุกรมและขนาน
ก) ระบบอนุกรม..... 35
ข) ระบบขนาน..... 35
4.2 ตัวอย่างการยุบส่วนของระบบที่ต่อแบบขนานและอนุกรม..... 36
4.3 ระบบที่ซับซ้อน..... 36
4.4 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน..... 37
4.5 มินิมัลคัตเซตของระบบในรูปที่ 4.3..... 38
4.6 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณค่า U..... 40
4.7 ระบบตัวอย่าง..... 40
4.8 แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลวของระบบ..... 40
4.9 เส้นประแสดงการตรวจสอบเส้นทางในวิธีย้อนกลับไปมา..... 42
4.10 เส้นประแสดงการหาเส้นทางสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน..... 43
4.11 เส้นประแสดงการหาเส้นทางโดยมีเส้นหนาแสดงการกระโดดกลับไปยังจุดที่จำไว้..... 43
4.12 ระบบตัวอย่างที่ซับซ้อน..... 44
5.1 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท(บาท/kWเฉลี่ย)..... 49
5.2 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท(บาท/kWhเฉลี่ย)..... 50
5.3 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวม(บาท/kWเฉลี่ย)..... 52

6.1 ระบบทดสอบ บัส 2..... 56
6.2 ระบบทดสอบ บัส 4..... 57
6.3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 70
6.4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIDI ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 70
6.5 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี CAIDI ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 71
6.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี ASAI ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 71
6.7 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี ASUI ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 71
6.8 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี ENS ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 72
6.9 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี AENS ของระบบกรณีต่าง ๆ..... 72
6.10 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบวิธีต่าง ๆ..... 75
6.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนี SAIFI เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการล้มเหลว.... 78
6.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนี SAIDI เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการล้มเหลว.... 79
6.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนี CAIDI เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการล้มเหลว... 79
6.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
อัตราการล้มเหลว..... 80
6.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนี SAIFI เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลา
ที่เกิดการขัดข้อง..... 81
6.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนี SAIDI เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลา
ที่เกิดการขัดข้อง..... 81
6.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนี CAIDI เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลา
ที่เกิดการขัดข้อง..... 82
6.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
ระยะเวลาที่เกิดการขัดข้อง..... 82
6.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนีอ้างอิงผู้ใช้ไฟของนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการล้มเหลว..... 86
ก.1 แสดงลักษณะอุปกรณ์ 2 ตัวต่อแบบอนุกรม..... 92
ก.2 แสดงระบบขนานที่มีอุปกรณ์ 2 ตัวต่ออยู่..... 94
ก.3 ระบบตัวอย่าง..... 96
ข.1 แผนผังแสดงการคำนวณของโปรแกรม..... 97
ข.2 แผนผังแสดงการหาเส้นทางโดยวิธีเคลื่อนย้ายโนด..... 98
ข.3 แผนผังแสดงการคำนวณดัชนีพื้นฐาน..... 99
ข.4 แผนผังแสดงการหาการล้มเหลวแบบพาสสีฟลำดับที่ 1..... 100
ข.5 แผนผังแสดงการหาการล้มเหลวแบบพาสสีฟลำดับที่ 2..... 101

ข.6 แผนผังแสดงการหาการล้มเหลวแบบแอคทีฟ..... 102
ข.7 แผนผังแสดงการคำนวณดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า..... 103
ข.8 แผนผังแสดงการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับโดยวิธีระบุเหตุขัดข้อง..... 104
ข.9 แผนผังแสดงการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับโดยวิธีดัชนีพื้นฐาน..... 105
ข.10 แผนผังแสดงการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับโดยวิธีดัชนีระบบ..... 106
ค.1 โปรแกรม Distribution Reliability1..... 107
ค.2 เมนูการป้อนค่าอุปกรณ์และจุดโหลด..... 108
ค.3 ฟอร์มรับข้อมูลของสายไฟแบบเปลือย..... 109
ค.4 ฟอร์มรับข้อมูลจุดโหลด..... 109
ค.5 เมนูการเปิด บันทึกและพิมพ์แบบจำลองความเสียหาย..... 110
ค.6 ฟอร์มรับข้อมูลแบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟประเภทต่าง ๆ..... 110
ค.7 เมนูสำหรับตั้งค่าอุปกรณ์..... 111
ค.8 ฟอร์มสำหรับตั้งค่าจำนวนอุปกรณ์..... 111
ค.9 ฟอร์มบันทึกข้อมูล..... 112
ค.10 ฟอร์มเปิดข้อมูล..... 112
ค.11 เมนูเริ่มการคำนวณ..... 113
ค.12 ฟอร์มแสดงค่าดัชนีพื้นฐาน..... 113
ค.13 ฟอร์มแสดงพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายและมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟ..... 114
ค.14 ฟอร์มแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ..... 114
ค.15 เมนูพิมพ์ข้อมูลและผลการคำนวณ..... 115
ค.16 เมนูคัดลอก วางและลบข้อมูล..... 115
ค.17 ฟอร์มเครื่องคิดเลข..... 115
ค.18 ระบบทดสอบการใช้โปรแกรม..... 117
ค.19 การป้อนข้อมูลสายไฟแบบเปลือย..... 117
ค.20 การป้อนข้อมูลเซอร์กิตเบรคเกอร์..... 118
ค.21 การป้อนข้อมูลสวิตช์ตัดตอน..... 118
ค.22 การป้อนข้อมูลฟิวส์..... 119
ค.23 การป้อนข้อมูลจุดโหลด..... 119
ค.24 ผลการคำนวณ..... 120
ง.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าสถานีจ่ายไฟนิคมอุตสาหกรรมโรจนะ..... 129
ง.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าสถานีจ่ายไฟนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน..... 130