การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

นายวิโรจน์ บัวคลี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-077-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17339467

EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN BULK POWER SYSTEMS

Mr. Wirote Buaklee

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-636-077-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

โดย นายวิโรจน์ บัวคลี่

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญยุบล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

.... กรรมการ

(นาย กุมโชค ใบแย้ม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วิโรจน์ บัวคลี่ : การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN BULK POWER SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : ผ.ศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ , 162 หน้า. ISBN 974-636-077-9

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วยวิธีระบุเหตุขัดข้องที่พิจารณาคัดเลือกและตรวจสอบเฉพาะเหตุขัดข้องที่ทำให้ระบบเกิดปัญหาเท่านั้นเพื่อนำไปทดสอบโดยการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิลต่อไป ในการคำนวณจะพิจารณาการขัดข้องของอุปกรณ์เป็นแบบอิสระ และแบบที่มีสาเหตุร่วมกัน

ในกรณีที่ระบบเกิดปัญหาจะใช้วิธีการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และการตัดโหลด เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาก่อน โดยในขั้นตอนของการตัดโหลดจะแบ่งโหลดออกเป็น 3 ประเภทตามระดับความสำคัญ ซึ่งได้แก่ โหลดที่สามารถตัดได้ โหลดหลัก และโหลดวิกฤติ เมื่อต้องการตัดโหลด โหลดที่สามารถตัดได้จะถูกตัดออกก่อน ตามด้วย โหลดหลัก และโหลดวิกฤติ หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลด และของทั้งระบบ รวมทั้งอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับต่อไป

สำหรับขั้นตอนการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (IER) จะใช้วิธีการประมาณโดยคำนวณจากค่าดัชนีความเชื่อถือได้เฉลี่ยร่วมกับแบบจำลองมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้แทนการคำนวณโดยตรงซึ่งจะคำนวณจากสถานะการเกิดเหตุขัดข้องเพื่อเป็นการลดเวลาและหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ขณะทำการคำนวณให้น้อยลง

ในการศึกษาการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่นี้ ผู้เขียนทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 32 บิต โดยใช้ภาษาบอร์แลนด์ซีพลัสพลัส เวอร์ชั่น 3.1 และได้ทำการทดสอบกับระบบทดสอบมาตรฐาน RBTS ขนาด 6 บัส และระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS ขนาด 24 บัส ผลการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยวิธีการทั่วไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	**ลายมือชื่อนิสิต** ....
สาขาวิชา ระบบพลังงาน	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** ....
ปีการศึกษา 2539	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C815924 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: RELIABILITY INDICES / BULK POWER SYSTEM / INTERRUPTED ENERGY RATE / CUSTOMER DAMAGE FUNCTION

WIROTE BUAKLEE : EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN BULK POWER SYSTEMS. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 162 pp. ISBN 974-636-077-9

This thesis describes a method of evaluating reliability indices and Interrupted Energy Rates(IER) for bulk power systems by contingency enumeration approach with a selection and consideration of the contingency resulting in system problems prior to the test by fast decoupled load flow. Both independent outage and common cause outage are considered in the assessment.

In case of system problems occuring, e.g. line overload, insufficient of generation etc., they can be alleviated by generation rescheduling and load shedding algorithm. In the load shedding algorithm, the customer load will be classified into three categories, i.e. interruptible load, firm load and critical load. If a remedial action, e.g. load shedding, is necessary the interruptible load will be curtailed first, followed by the curtailment of firm load and critical load respectively. Then, both load point and overall system reliability indices and Interrupted Energy Rates are calculated.

In the IER computation, an approximate method together with customer damage functions will be employed in stead of a direct method in order to reduce the computer memory and computation time.

For this research, a computer program is developed on the 32-bit microcomputer using Borland C++ language version 3.1 to analyze two standard test systems, i.e. the RBTS 6-bus system and the IEEE-RTS 24-bus system. Results of the study demonstrate that the proposed method is more effective than the conventional method, e.g. contingency enumeration approach without consideration prior to load flow calculation, in evaluation of reliability indices and Interrupted Energy Rates in bulk power systems.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา ระบบพลังงาน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอดรวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย นอกจากนั้นต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญยุบล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ และคุณกุมโชค ใบแย้ม ผู้อำนวยการฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่ง เนื่องจากทุนการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตทั้งหมดนี้ ได้รับการสนับสนุนจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้ด้วยที่ได้เล็งเห็นความสำคัญต่อการศึกษาระดับสูงซึ่งจะเป็นการวางรากฐานที่สำคัญอันจะนำไปสู่การพัฒนาองค์กรต่อไป

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อนทุก ๆ คนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิโรจน์ บัวคลี่

เมษายน 2540

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย...... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...... จ
กิตติกรรมประกาศ...... ฉ
สารบัญตาราง...... ซ
สารบัญภาพ...... ฐ
บทที่
1. บทนำ...... 1
2. การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการความน่าจะเป็น...... 6
2.1 ความจำเป็นของการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง...... 6
2.2 ความหมายของความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง...... 7
2.3 การจัดแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้...... 8
2.4 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง...... 11
2.5 ประเภทของการขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบตั้งแต่สองอุปกรณ์ขึ้นไป...... 13
2.6 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ...... 18
2.7 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้า...... 24
2.8 การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีความน่าจะเป็น
แบบมีเงื่อนไข...... 25
2.9 วิธีการที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่
โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น...... 28
3. การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่...... 30
3.1 แบบจำลองของอุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้...... 30
3.2 การคำนวณค่าความเชื่อถือได้โดยวิธีระบุเหตุขัดข้องแบบวิธีการทั่วไป...... 31
3.3 การเลือกเหตุขัดข้อง...... 33
3.4 เทคนิคการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ในระบบไฟฟ้ากำลัง...... 35
3.5 การทดสอบเหตุขัดข้อง...... 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การตรวจสอบเหตุขัดข้อง.. 43

3.7 วิธีการแก้ไขปัญหาสายส่งมีโหลดเกิน.. 46

3.8 วิธีการตัดโหลด.. 50

3.7 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่................ 52

4. การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่.................... 61

4.1 แนวคิดในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ.. 61

4.2 แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ.............................. 63

4.3 วิธีการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ.. 65

4.4 การใช้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเพื่อการวางแผน...................................... 71

5. การวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ
ในระบบไฟฟ้ากำลัง.. 73

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์... 74

5.2 โครงสร้างและขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม.. 77

5.3 การวิเคราะห์ระบบทดสอบ RBTS ขนาด 6 บัส... 78

5.4 การวิเคราะห์ระบบทดสอบ IEEE-RTS ขนาด 24 บัส................................... 104

6. สรุปและข้อเสนอแนะ... 121

รายการอ้างอิง.. 124

ภาคผนวก

ก. คู่มือการใช้งานโปรแกรม BULKREL.. 127

ข. การจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และการตัดโหลดโดยอาศัยเทคนิคของการ
วิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิล... 145

ค. การปรับเมตริกซ์ผกผันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสมาชิกหนึ่งตัวในเมตริกซ์
ที่กำหนดให้.. 156

ประวัติผู้เขียน.. 162

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าดัชนีประจำปีของจุดโหลด (Annualized load point indices)........................ 56

3.2 ค่าดัชนีประจำปีของระบบ (Annualized system indices)............................. 57

5.1 ข้อมูลบัสของระบบ RBTS.. 78

5.2 ข้อมูลสายส่งของระบบ RBTS.. 80

5.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RBTS.. 81

5.4 ข้อมูลสัดส่วนความสำคัญในการใช้ไฟฟ้าที่แต่ละบัสในระบบ RBTS................... 81

5.5 ข้อมูลการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันของระบบ RBTS...................................... 81

5.6 ข้อมูลสัดส่วนความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ที่แต่ละบัสในระบบ RBTS.............. 82

5.7 ข้อมูลแบบจำลองมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (บาท/kW เฉลี่ย)................. 82

5.8 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบ RBTS
โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามวิธีที่ได้เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้......................... 84

5.9 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบ RBTS
โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นตามวิธีการที่เสนอไว้ใน เอกสารอ้างอิง [2]...................... 85

5.10 การเปรียบเทียบค่าดัชนีต่างๆ และค่า IER ของบัสที่มีโหลดต่ออยู่
และของทั้งระบบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการทั่วไป....................................... 86

5.11 การเปรียบเทียบจำนวนสถานะของเหตุขัดข้องและเวลาที่ใช้ในการ
คำนวณของระบบ RBTS ระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการทั่วไป............................ 87

5.12 ข้อมูลสัดส่วนความสำคัญในการใช้ไฟฟ้าที่แต่ละบัสโดยกำหนดให้โหลด
ที่สามารถตัดได้มีค่าเท่ากับ 20 % ของค่าโหลดสูงสุดที่บัสนั้น ๆ.......................... 83

5.13 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและระบบจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.............. 89

5.14 ข้อมูลสัดส่วนความสำคัญในการใช้ไฟฟ้าที่แต่ละบัสโดยกำหนดให้โหลด
ที่สามารถตัดได้ที่บัส 3 เป็นศูนย์ส่วนที่บัสอื่นมีค่าเท่ากับ 20 % ของค่าโหลด
สูงสุดที่บัสนั้น ๆ.. 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.15 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสำคัญของการใช้ไฟฟ้า.. 91

5.16 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของบัสและระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส.. 93

5.17 มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับกรณีที่มีการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ.. 95

5.18 มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับกรณีที่มีการเพิ่มสายส่งไฟฟ้าเข้าไประหว่างบัสต่าง ๆ.. 97

5.19 การเปรียบเทียบค่า EENS ระหว่างกรณีปกติกับกรณีที่มีการเพิ่มสายส่งเข้าไประหว่างบัส 1 และบัส 2.. ..98

5.20 มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับกรณีที่มีการเพิ่มขนาดสายส่งเข้าไปในระบบ.. 99

5.21 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับโดยใช้วิธีการประมาณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.. 102

5.22 การเปรียบเทียบอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้จากวิธีการประมาณกับวิธีโดยตรง.. 103

5.23 ข้อมูลบัสของระบบ IEEE-RTS.. 104

5.24 ข้อมูลสายส่งและหม้อแปลงของระบบ IEEE-RTS.. 106

5.25 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ IEEE-RTS.. 108

5.26 ข้อมูลการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันของระบบ IEEE-RTS.. 108

5.27 ข้อมูลสัดส่วนความสำคัญในการใช้ไฟฟ้าที่แต่ละบัสในระบบ IEEE-RTS............. 109

5.28 ข้อมูลสัดส่วนความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ที่แต่ละบัสในระบบ IEEE-RTS......... 109

5.29 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบ IEEE-RTS โดยใช้วิธีการทั่วไป.. 111

5.30 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบ IEEE-RTS โดยใช้วิธีที่นำเสนอ.. 113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.31 การเปรียบเทียบจำนวนสถานะของเหตุขัดข้องและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระบบ IEEE-RTS ระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการทั่วไป...................... 118

5.32 แสดงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับโดยใช้วิธีการคำนวณโดยตรงของระบบ IEEE-RTS... 119

5.33 แสดงการเปรียบเทียบอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีตรง กับวิธีการประมาณ.. 120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ประเภทของความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง.. 7

2.2 การจัดแบ่งระบบไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับชั้น (Three Hierarchical Level)............... 10

2.3 การจัดแบ่งประเภทข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้.............. 11

2.4 แบบจำลองสถานะ (State space diagram).. 13

2.5 แบบจำลองการเกิดข้อขัดข้องแบบอิสระของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์................. 14

2.6 แบบจำลองของการเกิดข้อขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันสำหรับสายส่ง 2 สายส่ง ที่อยู่ในแนวสายส่ง (Right of Way) เดียวกัน หรืออยู่บนเสาส่งเดียวกัน.................. 16

2.7 แบบจำลองของการเกิดข้อขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันเมื่อ μ_{12}=0.......................... 17

2.8 แบบจำลองซึ่งรวมทั้งการเกิดข้อขัดข้องแบบอิสระ การเกิดข้อขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันและการเกิดข้อขัดข้องที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของสถานีไฟฟ้า.. 18

2.9 สถานะการทำงานปกติของอุปกรณ์.. 19

2.10 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์เมื่อประมาณช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย.. 19

2.11 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้า... 25

3.1 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยใช้วิธีระบุเหตุขัดข้องแบบวิธีการทั่วไป..................................... 32

3.2 ขั้นตอนหลักของการคำนวณความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. 45

3.3 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าระดับเดียว (Single-step load model)... 53

3.4 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าหลายระดับ (Multi-step load model).. 54

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า....................... 61

4.2 แบบจำลองมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ... 65

5.1 ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม... 79

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.2	โครงสร้างของระบบทดสอบ RBTS ขนาด 6 บัส	80
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าโหลดกับการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของบัสและระบบ	93
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับกับค่าการเพิ่มขึ้นของโหลดสูงสุดกรณีที่มีการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบ	96
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับกับค่าการเพิ่มขึ้นของโหลดสูงสุดกรณีที่มีการเพิ่มสายส่งเข้าไปในระบบ	100
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับกับค่าการเพิ่มขึ้นของโหลดสูงสุดกรณีที่มีการเพิ่มขนาดสายส่งและจำนวนสายส่งเข้าไปในระบบ	101
5.7	โครงสร้างของระบบ IEEE-RTS ขนาด 24 บัส	105
5.8	เปรียบเทียบค่าดัชนีความน่าจะเป็นของการล้มเหลวระหว่างวิธีการทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ	115
5.9	เปรียบเทียบค่าดัชนีความถี่ของการล้มเหลวระหว่างวิธีการทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ	115
5.10	เปรียบเทียบค่าดัชนีโหลดที่คาดว่าจะถูกตัดระหว่างวิธีการทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ	116
5.11	เปรียบเทียบค่าดัชนีพลังงานที่คาดว่าจะไม่สามารถจ่ายให้โหลดได้ระหว่างวิธีการทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ	116
5.12	เปรียบเทียบอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของบัสระหว่างวิธีการทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ	117
5.13	เปรียบเทียบค่าดัชนีของระบบระหว่างวิธีการทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ	117
ก.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการกำหนดให้อุปกรณ์เกิดขัดข้อง	129
ก.2	แผนผังแสดงขั้นตอนการตรวจสอบเหตุขัดข้อง	130
ก.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบเหตุขัดข้อง	131
ก.4	แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โหลดโฟลว์โดยวิธีฟาสดีคัปเปิล	132
ก.5	แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ ดี.ซี	133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่ และการตัดโหลด.................... 134

ก.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการตัดโหลดกรณีกำลังผลิตมีไม่เพียงพอกับ
ความต้องการโหลด... 136

ก.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการตัดโหลดกรณีเกิดเหตุขัดข้องในสายส่งไฟฟ้า
และจัดสรรกำลังการผลิตและโหลดใหม่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้..................... 137

ก.9 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม BULKREL.............................. 138

ก.10 แสดงเมนูของโปรแกรม BULKREL... 140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย