

การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง

นายสมพร สิริสำราญกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-075-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES
IN ELECTRICAL POWER GENERATION SYSTEMS

Mr.SOMPORN SIRISUMRANNUKUL

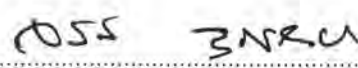
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996
ISBN 974-636-075-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง
โดย นาย สมพร สิริสำราญนุกุล
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

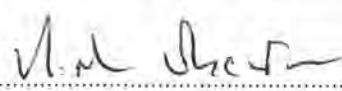
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญยกุล)


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


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... กรรมการ
(นาย พงษ์ชัย จงเลิศวิสกุล)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สมพร สิริสำราญนุกุล : การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง (EVALUATION OF RELIABILITY INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN ELECTRICAL POWER GENERATION SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 274 หน้า. ISBN 974-636-075-2

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้วิธี equivalent load และ equivalent capacity table

ค่าดัชนีความเชื่อถือได้สามารถคำนวณได้โดยนำแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้ามาร่วมพิจารณากับแบบจำลองของโหลด โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาเทคนิคการทำรวดค้อฟแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นการกำหนดค่ากำลังผลิตในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นช่วง ๆ ตามค่า MW increment ที่เลือก แบบจำลองที่นำเสนอทำให้สามารถคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในเวลาอันรวดเร็ว อีกทั้งยังรักษาความถูกต้องของดัชนีต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าได้ครบทุกประเภทซึ่งประกอบด้วยค่า loss of load probability (LOLP), frequency and duration (F&D) และ expected unserved energy (EUE) สำหรับแบบจำลองของโหลดที่ใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้นั้นเป็นแบบ cumulative state load model ซึ่งจะพิจารณารายละเอียดของโหลดเป็นแบบรายชั่วโมง

ในส่วนของการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้านั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีเช่นเดียวกับการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้เพียงแต่แบบจำลองของโหลดที่ใช้ในการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับนั้นจะเป็นแบบจำลองของโหลดแบบ individual state load model ซึ่งจะพิจารณารายละเอียดของโหลดเป็นแบบรายวัน โดยอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับจะใช้ในการประเมินค่ากำลังผลิตสำรองที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้า

ผู้เขียนได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้าโดยจะใช้ทดสอบกับระบบ 3 ระบบคือระบบ RBTS ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ระบบ IEEE-RTS ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดกลางและระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นอกจากจะสามารถคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้อย่างรวดเร็วแล้วผลของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงอีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา พลังงาน
ปีการศึกษา ๒๕๕๓

ลายมือชื่อนิติ สมพร สิริสำราญนุกุล
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [Signature]
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##C815687: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: RELIABILITY INDICES / INTERRUPTED ENERGY RATES /
GENERATION SYSTEMS

SOMPORN SIRISUMRANUKUL: EVALUATION OF RELIABILITY
INDICES AND INTERRUPTED ENERGY RATES IN ELECTRICAL POWER
GENERATION SYSTEMS. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. DR. BUNDHIT
EUA-ARPORN, Ph.D. 274 pp. ISBN 974-636-075-2

This thesis presents a method for evaluating reliability indices and the interrupted energy rates (IER) in generation systems using the equivalent load and equivalent capacity table method.

The reliability indices can be calculated by convolving a generation model with a load model. In this thesis, a round-off technique for a generating unit model is developed. With the proposed technique, a generating unit capacity will be modified into the chosen step size of a MW increment and all types of indices, i.e., loss of load probability (LOLP), frequency & duration (F&D) and expected unserved energy (EUE), can be calculated. In this case, the cumulative state load model derived from an hourly load curve is employed.

The interrupted energy rates can be calculated by using the same method as reliability calculation but the individual state load model derived from a daily load curve is used instead. Then the IER is used to evaluate the optimum reserve capacities in generation systems.

A computer program is developed for the calculation of reliability indices and interrupted energy rates, and tested on 3 systems, i.e., a small size RBTS system, a medium size IEEE-RTS system, a large size Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) system. With the proposed technique, the results demonstrate that reliability indices can be obtained with a shorter computation time than the conventional methods whereas the accuracy is still very satisfactory.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....พลังงาน

ปีการศึกษา.....๒๕๓๓

ลายมือชื่อนิสิต..... สัมพันธ์..... สิริสัมพันธ์ พจนาน

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... #7

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด และได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.จรรยา บุญยุบล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ และคุณพุดทิพย์ จงเลิศวิมลกุล ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนผู้ช่วยวิจัยของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สมพร สิริสำราญนุกุล

เมษายน 2540

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่	
1. บทนำทั่วไป.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความพอเพียงและความมั่นคง (Adequacy and security).....	2
1.3 ขอบเขตการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง (Functional zone).....	3
1.4 ลำดับชั้นของระบบไฟฟ้ากำลัง (Hierachical levels).....	4
1.5 การประเมินความเพียงพอของระบบผลิตไฟฟ้า.....	4
1.6 มูลค่าของความเชื่อถือได้(Reliability worth).....	6
1.7 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	7
1.8 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์.....	7
1.9 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	7
2. แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับความเชื่อถือได้.....	9
2.1 การกระจายของฟังก์ชันความเชื่อถือได้.....	9
2.2 ฟังก์ชันความเชื่อถือได้ (Reliability function).....	10
2.3 การเปลี่ยนแปลงสถานะ(Transition rate).....	13
3. แบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า.....	19
3.1 แนวคิดพื้นฐานทางด้านความถี่และช่วงเวลา.....	20
3.2 การสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า.....	23
3.2.1 การสร้างแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในส่วนของความน่าจะเป็น.....	23
3.2.2 การสร้างตารางการขาดกำลังผลิตโดยใช้วิธีความถี่และช่วงเวลา.....	27
3.2.2.1 รีเคอร์ซีฟอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณความถี่และช่วงเวลา.....	28

3.3	เทคนิคการร라운드ออฟ (Round-off) แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	36
3.3.1	วิธี Augmented capacity model.....	37
3.3.2	วิธี Efficient round-off model.....	38
3.3.3	การปรับเปลี่ยนแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความถี่และเวลา.....	39
4.	แบบจำลองของโหลด.....	44
4.1	ลักษณะโหลด.....	46
4.2	แบบจำลองของโหลด.....	46
4.3	แบบจำลองของโหลดแบบ Cumulative.....	47
4.3.1	ความน่าจะเป็นของโหลดแต่ละระดับ.....	47
4.3.2	การคำนวณความถี่ของโหลดแต่ละระดับ.....	48
4.3.2.1	ขั้นตอนการคำนวณความถี่ของโหลดแต่ละระดับ.....	50
4.4	การทำร라운드ออฟ (Round-off) แบบจำลองของโหลด.....	52
4.5	แบบจำลองโหลดแบบ Individual state load model.....	54
5.	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง.....	60
5.1	แนวคิดในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้.....	60
5.2	รายละเอียดในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีดั้งเดิม (Conventional method).....	62
5.3	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent load.....	68
5.3.1	สถานะที่เป็นตำแหน่งของดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบ.....	70
5.4	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยการทำร라운드ออฟ (Round-off) แบบจำลองโหลด.....	76
5.5	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีร라운드ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	77
5.5.1	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยการทำร라운드ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธี Augmented capacity model.....	78
5.5.2	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยการทำร라운드ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธี Efficient round-off model.....	78
5.6	การเพิ่มความเร็วในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent load.....	81
5.6.1	การตัดสถานะในตาราง Equivalent load ที่มีค่าความน่าจะเป็นสะสม และความถี่สะสมมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้.....	81
5.6.2	การตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลดในตาราง Equivalent load.....	83
5.7	การใช้วิธี Equivalent load คำนวณตารางการขาดกำลังผลิต.....	84

5.8	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	86
5.8.1	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table ร่วมกับแบบจำลองที่ทำราวต์ออฟ.....	92
5.9	การนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ(Deconvolution).....	94
5.10	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้แบบจำลองโหลด แบบ Individual state load model.....	105
6	การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับและค่ากำลังผลิตสำรองที่เหมาะสม ในระบบผลิตไฟฟ้า.....	116
6.1	บทนำ.....	116
6.2	มูลค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ.....	116
6.3	ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า.....	117
6.4	การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้า.....	122
6.4.1	แบบจำลองพื้นฐานที่ใช้ในการประเมินค่า IER โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หรือวิธีความถี่และช่วงเวลา.....	122
6.4.1.1	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generation model).....	122
6.4.1.2	แบบจำลองของโหลด (Load model).....	122
6.4.1.3	แบบจำลองความเสียหาย (Cost model).....	122
6.4.2	การคำนวณค่า IER.....	122
6.5	การประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้และค่ากำลังผลิตสำรองที่เหมาะสม ในระบบผลิตไฟฟ้า.....	124
7	ผลการทดสอบ.....	125
7.1	คำนำ.....	125
7.2	ผลการวิเคราะห์ระบบ RBTS (Roy Billinton Test System).....	125
7.2.1	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบ RBTS.....	125
7.2.2	การประเมินค่าความเชื่อถือได้และกำลังผลิตสำรองที่เหมาะสม ในระบบ RBTS.....	132
7.3	ผลการวิเคราะห์ระบบ IEEE-RTS.....	140
7.3.1	การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบ IEEE-RTS.....	140
7.3.1.1	ผลการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent load.....	151
7.3.1.2	ผลการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	160

7.3.2 ผลของการ Deconvolution ต่อดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบ IEEE-RTS.....	162
7.3.3 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับและค่ากำลังผลิตสำรอง ในระบบ IEEE-RTS.....	169
7.3.3.1 ผลการทดสอบความมั่นคงของค่า IER ในระบบ IEEE-RTS.....	172
7.4 ผลการวิเคราะห์ระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	180
7.4.1 ผลการทดสอบดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย.....	181
7.4.2 ผลการ Deconvolution เครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	185
7.4.3 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับและค่ากำลังผลิตสำรอง ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	185
7.4.3.1 ผลการทดสอบความมั่นคงของค่า IER ในระบบการไฟฟ้า ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	189
8 สรุปและเสนอแนะ.....	194
รายการอ้างอิง.....	196
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด.....	200
ก.1 ระบบ RBTS (Roy Billinton Test System).....	200
ก.1.1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	200
ก.1.2 ข้อมูลของโหลด.....	201
ก.2 ระบบ IEEE-RTS.....	202
ก.2.1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	202
ก.2.2 ข้อมูลของโหลด.....	205
ก.3 ระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	208
ก.3.1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	208
ก.3.2 ข้อมูลของโหลด.....	214
ข ผลการคำนวณของระบบที่ใช้ในการทดสอบ.....	227
ค โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	271
ประวัติผู้เขียน.....	274

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	25
3.2	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีสถานะ Derated states.....	27
3.3	การคำนวณค่าความน่าจะเป็นและอัตราการเปลี่ยนสถานะของแต่ละสถานะ เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 เข้าไปในระบบ.....	29
3.4	การคำนวณค่าความน่าจะเป็นและอัตราการเปลี่ยนสถานะของแต่ละสถานะ เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เข้าไปในระบบ.....	30
3.5	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง.....	31
3.6	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ในตัวอย่างที่ 3.1 เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 มีสถานะ Derated states.....	34
3.7	การคำนวณค่าต่างๆเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ที่มีสถานะ Derated states เข้าสู่ระบบ.....	34
3.8	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 มีสถานะ Derated states.....	36
3.9	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับหลังการราร์ดออฟแบบจำลอง โดยใช้วิธี Efficient round-off model ร่วมกับแบบจำลองแบบขนาน	43
4.1	แบบจำลองความน่าจะเป็นของโหลด.....	48
4.2	แบบจำลองความถี่ของโหลด.....	52
4.3	แบบจำลองของโหลดตามตัวอย่างที่ 4.3.....	54
4.4	การคำนวณค่าตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของโหลด แบบ Individual state load model.....	56
4.5	ข้อมูลของโหลดรายวัน.....	57
4.6	แบบจำลองของโหลดแบบ Individual state load model.....	58
4.7	ข้อมูลโหลดหลังจากการแบ่งกลุ่มของโหลดออกเป็นช่วงๆ.....	59
5.1	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	73
5.2	แบบจำลองโหลด.....	73

5.3 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1.....	73
5.4 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2.....	74
5.5 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3.....	75
5.6 ตาราง Equivalent load เมื่อพิจารณาสถานะที่เกิดการสูญเสียโหลด.....	75
5.7 แบบจำลองโหลดเมื่อทำการราร์ดออฟโดยใช้ค่า MW increment เท่ากับ 50 MW.....	76
5.8 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1.....	76
5.9 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2.....	77
5.10 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3.....	77
5.11 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	80
5.12 แบบจำลองที่ทำการราร์ดออฟเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3.....	80
5.13 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3.....	81
5.14 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	84
5.15 แบบจำลองของโหลด.....	84
5.16 ตารางการขาดกำลังผลิตเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 โดยใช้วิธี Equivalent load.....	84
5.17 ตารางการขาดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1.....	85
5.18 ตารางการขาดกำลังผลิตเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 โดยใช้วิธี Equivalent load.....	85
5.19 ตารางการขาดกำลังผลิตเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2.....	85
5.20 ตารางการขาดกำลังผลิตเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 โดยใช้วิธี Equivalent load.....	86
5.21 ตารางการขาดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1.....	91
5.22 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1.....	96
5.23 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2.....	96
5.24 ตาราง Equivalent load เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3.....	96
5.25 สถานะที่เกิดหลังจากการ Deconvolution.....	97
5.26 ความน่าจะเป็นหลังจากการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ออกจากระบบ.....	100
5.27 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3.....	100
5.28 ผลของการ Deconvolution เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ออกจากระบบ.....	102
5.29 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	106
5.30 ตาราง Margin array.....	107

5.31 ค่าความน่าจะเป็นและความถี่ที่สถานะ Margin ต่างๆ.....	109
5.32 ตาราง Margin เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 โดยใช้วิธี Equivalent load.....	113
5.33 ตาราง Margin เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 โดยใช้วิธี Equivalent load.....	114
5.34 ตาราง Margin เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 โดยใช้วิธี Equivalent load.....	115
6.1 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในผู้ใช้แต่ละประเภท.....	120
6.2 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภท (บาท/kW สูงสุด).....	120
6.3 ฟังก์ชันความเสียหายของโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า.....	121
7.1 ตาราง Equivalent load ในระบบ RBTS.....	128
7.2 พลังงานที่คาดว่าจะจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยลำดับการ เพิ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบที่ 1 จำนวนโดยใช้วิธี Equivalent load.....	129
7.3 พลังงานที่คาดว่าจะจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยลำดับการ เพิ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบที่ 2 จำนวนโดยใช้วิธี Equivalent load.....	130
7.4 พลังงานที่คาดว่าจะจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยลำดับการเพิ่ม ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบที่ 1 จำนวนโดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	131
7.5 พลังงานที่คาดว่าจะจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยลำดับการเพิ่ม ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบที่ 2 จำนวนโดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	131
7.6 เวลาที่ใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบ RBTS.....	132
7.7 แบบจำลองความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ RBTS (\$/kW)	133
7.8 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของระบบ RBTS.....	134
7.9 แบบจำลองความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ RBTS.....	134
7.10 แบบจำลองของโหลดแบบ Individual state load model ในระบบ RBTS.....	135
7.11 Margin table ของระบบ RBTS.....	136
7.12 ค่าใช้จ่ายในระบบ RBTS.....	138
7.13 ตาราง Equivalent load ของระบบ IEEE-RTS.....	145
7.14 ดัชนีความเชื่อถือได้และเวลาในการคำนวณโดยใช้วิธี Equivalent load ในระบบ IEEE-RTS.....	146
7.15 ดัชนีความเชื่อถือได้และเวลาในการคำนวณโดยใช้วิธี Equivalent capacity table ในระบบ IEEE-RTS.....	147
7.16 ค่าพลังงานที่คาดว่าจะจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง โดยใช้วิธี Equivalent load ในระบบ IEEE-RTS.....	148

7.17 ค่าพลังงานที่คาดว่าจะจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยใช้วิธี Equivalent capacity table ในระบบ IEEE-RTS	149
7.18 ผลของดัชนี LOLP และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของดัชนี LOLP โดยใช้การรวมตัวอย่างแบบจำลองแบบต่างๆโดยใช้วิธี Equivalent load.....	151
7.19 ผลของดัชนี Frequency และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของดัชนี Frequency โดยใช้การรวมตัวอย่างแบบจำลองแบบต่างๆโดยใช้วิธี Equivalent load.....	152
7.20 ผลของดัชนี Duration และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของดัชนี Duration โดยใช้การรวมตัวอย่างแบบจำลองแบบต่างๆโดยใช้วิธี Equivalent load.....	153
7.21 ผลของดัชนี EUE และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของดัชนี EUE โดยใช้การรวมตัวอย่างแบบจำลองแบบต่างๆโดยใช้วิธี Equivalent load.....	154
7.22 เวลาในการคำนวณ (วินาที) โดยใช้วิธี Equivalent load ในกรณีที่ไม่มีกร ตัดความน่าจะเป็นสะสมและความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8} และการตัดสถานะ ที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลดรวมกับการรวมตัวอย่างแบบจำลองแบบต่างๆ โดยใช้วิธี Equivalent load.....	155
7.23 เวลาในการคำนวณ (วินาที) ในกรณีที่ตัดความน่าจะเป็นสะสมและ ความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8} โดยใช้วิธี Equivalent load.....	156
7.24 เวลาในการคำนวณ (วินาที) ในกรณีที่มีการตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลด โดยใช้วิธี Equivalent load.....	157
7.25 เวลาในการคำนวณ (วินาที) ในกรณีที่มีการตัดความน่าจะเป็นสะสมและความถี่สะสม น้อยกว่า 10^{-8} และการตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลด โดยใช้วิธี Equivalent load.....	158
7.26 เวลาในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	160
7.27 เวลาในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table ในกรณีที่ตัดสถานะที่มีความน่าจะเป็นสะสมและความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8}	161
7.28 ดัชนีความเชื่อถือได้หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธี Equivalent load ในระบบ IEEE-RTS.....	163
7.29 ผลของการ Deconvolution ในระบบ IEEE-RTS โดยใช้วิธี Equivalent load.....	165
7.30 ผลของการ Deconvolution ในระบบ IEEE-RTS โดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	167
7.31 แบบจำลองความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟในระบบ IEEE-RTS (\$/kW).....	169

7.32 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของระบบ IEEE-RTS.....	170
7.33 แบบจำลองความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ IEEE-RTS.....	171
7.34 แบบจำลองของโหลดแบบ Individual state load model ในระบบ IEEE-RTS.....	172
7.35 ผลของค่า Exposure factor ต่อค่า IER.....	173
7.36 ผลของค่าโหลดสูงสุดต่อค่า IER.....	173
7.37 ผลของค่า MW increment ในแบบจำลองโหลดแบบ Individual state load model.....	174
7.38 ค่าใช้จ่ายในระบบ IEEE-RTS.....	176
7.39 ผลของค่า IER ต่อค่ากำลังผลิตสำรองในระบบ IEEE-RTS.....	179
7.40 ผลการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	182
7.41 ผลการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table และตัดความน่าจะเป็นสะสมและความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8}	183
7.42 แบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Baht/kWh).....	186
7.43 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย.....	187
7.44 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มอุตสาหกรรมเมื่อแบ่งตามรหัส TSIC.....	187
7.45 แบบจำลองความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย.....	187
7.46 แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการคำนวณ IER ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	188
7.47 ผลของค่า Exposure factor ต่อค่า IER.....	189
7.48 ผลของค่าโหลดสูงสุดต่อค่า IER.....	190
7.49 ผลของค่า MW increment ในแบบจำลองโหลดแบบ Individual state load model..	190
7.50 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ก่อนมีการวางแผนขยายกำลังผลิต.....	192
7.51 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หลังมีการวางแผนขยายกำลังผลิต.....	192
7.52 ผลของความไม่แน่นอนของค่า IER ต่อค่ากำลังผลิตสำรอง ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	193
7.53 ผลของความไม่แน่นอนของค่า IER ต่อค่ากำลังผลิตสำรอง ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเมื่อพิจารณา ผลของการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	193

ก.1	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ RBTS.....	200
ก.2	ลำดับการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบและค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในแต่ละเครื่องในระบบ RBTS.....	201
ก.3	ค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดก๊าซเทอร์ไบน์.....	201
ก.4	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ IEEE-RTS.....	202
ก.5	ลำดับการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบและค่าใช้จ่าย ในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	203
ก.6	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในระบบ IEEE-RTS.....	204
ก.7	เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุดในแต่ละสัปดาห์.....	205
ก.8	เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุดในแต่ละวันใน 1 สัปดาห์.....	206
ก.9	เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุดในแต่ละชั่วโมงใน 1 วัน.....	207
ก.10	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทต่างๆในระบบ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	208
ก.11	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	209
ก.12	ค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละประเภท ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	213
ก.13	แผนการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	214
ก.14	โหลดรายชั่วโมงในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ประจำปี 2538 (1 ตุลาคม 2537 (1994) ถึง 30 กันยายน 2538 (1995)).....	215
ข.1	ตารางการขาดกำลังผลิตในระบบ RBTS	227
ข.2	แบบจำลองโหลดในระบบ RBTS	229
ข.3	ตาราง Equivalent load ในระบบ RBTS.....	234
ข.4	Margin table ในระบบ RBTS.....	237
ข.5	ตารางการขาดกำลังผลิตในระบบ IEEE-RTS.....	240
ข.6	แบบจำลองโหลดในระบบ IEEE-RTS.....	244
ข.7	ตาราง Equivalent load ในระบบ IEEE-RTS.....	249
ข.8	Margin table ในระบบ IEEE-RTS.....	255
ข.9	ดัชนีความเชื่อถือได้หลังจากการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบที่ละเครื่อง ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	261
ข.10	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้หลังจาก Deconvolution เครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	266

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้า.....	2
1.2 สาขาที่แบ่งย่อยของการศึกษาความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้า.....	2
1.3 แสดงขอบเขตการทำงานพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	3
1.4 ลำดับชั้นการทำงานในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	4
1.5 แบบจำลองของลำดับชั้นการทำงานที่ 1.....	5
1.6 แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้า.....	6
2.1 รูปกราฟฟังก์ชันความหนาแน่น $Q(t)$ ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะเสียในช่วงเวลา t และความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานได้หลังจากช่วงเวลา t	10
2.2 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ.....	12
2.3 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ที่สามารถซ่อมได้.....	13
2.4 ความน่าจะเป็นของอุปกรณ์ที่จะเสียหลังจากช่วงเวลา T ใดๆ.....	14
3.1 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า.....	19
3.2 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเมื่อประมาณช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย.....	20
3.3 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 MW เมื่อมีสถานะ Derated state.....	32
3.4 อิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้อง.....	37
3.5 อิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้.....	37
3.6 อิมพัลส์แสดงแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการราวด์ออฟแบบจำลองวิธี Augmented capacity model.....	38
3.7 อิมพัลส์แสดงแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการราวด์ออฟแบบจำลองวิธี Efficient round-off Model.....	39
3.8 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	40
3.9 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังการทำราวด์ออฟโดยมีสถานะแบบขนาน (State in paralell).....	40
3.10 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 7 MW.....	41

3.11 การปรับเปลี่ยนแบบจำลองแบบขนานโดยใช้วิธี Efficient round-off model.....	42
4.1 แสดงรูปของโหลดรายชั่วโมงใน 1 สัปดาห์.....	44
4.2 เส้นโค้งช่วงเวลาโหลด (Load duration curve).....	45
4.3 เส้นโค้งช่วงเวลาโหลดที่ถูกอินเวอร์ท.....	45
4.4 โหลดรายชั่วโมง.....	47
4.5 แบบจำลองของโหลดแบบ Cumulative state load model.....	49
4.6 แบบจำลองของโหลดแบบ Cumulative state load model เมื่อพิจารณาโหลดเป็นแบบรายชั่วโมง.....	49
4.7 กราฟแสดงความถี่เมื่อพิจารณาโหลดเป็นแบบ Cumulative state load model.....	50
4.8 โพลีชาร์ตแสดงขั้นตอนการคำนวณความถี่ของโหลดแบบ Cumulative state load model.....	51
4.9 การกระจายอิมพัลส์ความน่าจะเป็นของโหลด.....	53
4.10 โหลดรายชั่วโมงเมื่อทำการราร์ดออฟแบบจำลองของโหลดในรูปที่ 4.4.....	53
4.11 แบบจำลองของโหลดรายวัน.....	54
4.12 แบบจำลองโหลดแบบ Individual state load model.....	55
4.13 ไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงของโหลดสำหรับแบบจำลองโหลด แบบ Individual state load model.....	55
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและค่ากำลังผลิตและค่ากำลังผลิตสำรอง.....	60
5.2 พลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องมาจากค่ากำลังผลิตไม่เพียงพอ.....	61
5.3 State space diagram สำหรับการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มี N สถานะเข้าไปในระบบ...	70
5.4 หลักการโดยรวมในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent load.....	71
5.5 โพลีชาร์ตแสดงการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent load.....	72
5.6 โพลีชาร์ตแสดงการตัดสถานะที่มีความน่าจะเป็นสะสมและความถี่สะสม น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้.....	82
5.7 โพลีชาร์ตแสดงการตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลด.....	83
5.8 โพลีชาร์ตแสดงการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้วิธี Equivalent capacity table....	90
5.9 โพลีชาร์ตแสดงการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยใช้ วิธี Equivalent capacity table ร่วมกับแบบจำลองที่ทำราร์ดออฟ.....	93
5.10 รูปกราฟโหลด.....	95
5.11 โพลีชาร์ตแสดงการ Deconvolution เครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ.....	104

5.12 โพล์ชาร์ตแสดงการคำนวณตาราง Margin โดยใช้วิธี Equivalent load ร่วมกับแบบจำลองของโหลดแบบ Individual state load model.....	112
6.1 การประเมินมูลค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ.....	117
6.2 แบบจำลองความเสียหายแบบมูลค่าความเสียหายต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	118
6.3 แบบจำลองความเสียหายแบบมูลค่าความเสียหายต่อพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย.....	119
6.4 ฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า.....	121
7.1 กราฟความน่าจะเป็นสะสมของตารางการขาดกำลังผลิตในระบบ RBTS.....	126
7.2 กราฟความถี่สะสมของตารางการขาดกำลังผลิตในระบบ RBTS.....	126
7.3 กราฟความน่าจะเป็นสะสมของโหลดในระบบ RBTS	127
7.4 กราฟความถี่สะสมของโหลดในระบบ RBTS.....	127
7.5 แบบจำลองความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ RBTS.....	133
7.6 กราฟแบบจำลองความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ RBTS.....	135
7.7 ค่าใช้จ่ายในระบบ RBTS.....	139
7.8 กราฟความน่าจะเป็นสะสมในตารางการขาดกำลังผลิตโดยใช้การราวด์ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธี Augmented capacity model ที่ค่า MW increment 5,10 และ 20 MW.....	140
7.9 กราฟความถี่สะสมในตารางการขาดกำลังผลิตโดยใช้การราวด์ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธี Augmented capacity model ที่ค่า MW increment 5,10 และ 20 MW.....	141
7.10 กราฟความน่าจะเป็นสะสมในตารางการขาดกำลังผลิตโดยใช้การราวด์ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธี Efficient round-off model ที่ค่า MW increment 5,10 และ 20 MW.....	141
7.11 กราฟความถี่สะสมในตารางการขาดกำลังผลิตโดยใช้การราวด์ออฟ แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธี Efficient round-off model ที่ค่า MW increment 5,10 และ 20 MW.....	142
7.12 กราฟความน่าจะเป็นสะสมของโหลดในระบบ IEEE-RTS.....	143
7.13 กราฟความถี่สะสมของโหลดในระบบ IEEE-RTS.....	143
7.14 กราฟความน่าจะเป็นสะสมของโหลดในระบบ IEEE-RTS ที่ค่า MW increment ต่างๆ..	144
7.15 กราฟความถี่สะสมของโหลดในระบบ IEEE-RTS ที่ค่า MW increment ต่างๆ.....	144
7.16 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของดัชนี LOLP โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองวิธีต่างๆ..	151

7.17 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของดัชนี Frequency โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลอง วิธีต่างๆ.....	153
7.18 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของดัชนี Duration โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลอง วิธีต่างๆ.....	154
7.19 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของดัชนี EUE โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองวิธีต่างๆ.....	155
7.20 กราฟแสดงเวลาในการคำนวณเวลาในกรณีที่ไม่มีการตัดความน่าจะเป็นสะสม และความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8} และการตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลด โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองแบบต่างๆ.....	156
7.21 กราฟแสดงเวลาในการคำนวณในกรณีที่ตัดความน่าจะเป็นสะสมและ ความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8} โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองแบบต่างๆ.....	157
7.22 กราฟแสดงเวลาในการคำนวณในกรณีที่มีการตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลด โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองแบบต่างๆ.....	158
7.23 กราฟแสดงเวลาในการคำนวณเวลาในกรณีที่มีการตัดความน่าจะเป็นสะสม และความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8} และการตัดสถานะที่ไม่ได้เกิดการสูญเสียโหลด โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองแบบต่างๆ.....	159
7.24 กราฟแสดงเวลาในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้วิธี Equivalent capacity table.....	161
7.25 กราฟแสดงเวลาในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้วิธี Equivalent capacity table และตัดสถานะที่มีความน่าจะเป็นสะสม และความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8}	162
7.26 แบบจำลองความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ IEEE-RTS.....	170
7.27 กราฟแบบจำลองความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ IEEE-RTS.....	171
7.28 ผลของค่า Exposure factor ต่อค่า IER.....	173
7.29 ผลของค่าโหลดสูงสุดต่อค่า IER.....	174
7.30 ผลของค่า MW increment ในแบบจำลองโหลดต่อค่า IER.....	174
7.31 ค่าใช้จ่ายในระบบ IEEE-RTS.....	178
7.32 ผลของค่า IER ต่อค่ากำลังผลิตสำรองในระบบ IEEE-RTS.....	179
7.33 ความน่าจะเป็นสะสมของโหลดในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	180
7.34 ความถี่สะสมของโหลดในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	181
7.35 ค่าความคลาดเคลื่อนของดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้วิธี Equivalent capacity table ร่วมกับวิธี Efficient round-off model.....	182

7.36 ค่าความคลาดเคลื่อนของดัชนีความเชื่อถือได้	
โดยวิธี Equivalent capacity table ร่วมกับ Efficient round-off model	
และมีการตัดความน่าจะเป็นสะสมและความถี่สะสมน้อยกว่า 10^{-8}	183
7.37 เวลาในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	184
7.38 แบบจำลองความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	
แห่งประเทศไทย.....	188
7.39 ผลของค่า Exposure factor ต่อค่า IER.....	189
7.40 ผลของโหลดสูงสุดในระบบต่อค่า IER.....	190
7.41 ผลของค่า MW increment ในแบบจำลองโหลดต่อค่า IER.....	191