การกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้

นายบัณฑิต เอื้ออาภรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-930-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015921
I17513212

DETERMINATION OF POWER SYSTEM RESERVES BASED ON RELIABILITY INDICES

Mr.Bundhit Eua-arporn

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

1989

ISBN 974-569-930-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้

โดย นาย บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.จรวย บุญยุบล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.จรวย บุญยุบล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... กรรมการ

(นาย กุมาชัค ใบแย้ม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ : การกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้ (DETERMINATION OF POWER SYSTEM RESERVES BASED ON RELIABILITY INDICES) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.จรวย บุญยุบล, 189 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงถึงวิธีการคำนวณหาขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองที่เหมาะสม เพื่อทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก่อน ด้วยวิธีการทางความน่าจะเป็น ซึ่งถูกใช้พิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของส่วนประกอบแต่ละส่วนในระบบ ทำให้สามารถคำนวณหาค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง และระบบทั้งหมดได้ โดยใช้รีเคอร์ซีฟเทคนิค และทฤษฎีลีเนียร์กราฟโฟลว์ ค่าชี้ความเชื่อถือที่คำนวณได้นี้จะใช้ในการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง ได้มีการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นบนไมโครคอมพิวเตอร์ และทำการแสดงโดยใช้ระบบทดสอบตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 2 ระบบ คือระบบขนาด 5 บัส 6 สายส่ง และ 14 บัส 20 สายส่ง ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและของทั้งระบบจะถูกคำนวณขึ้นซึ่งพบว่าค่าชี้ความเชื่อถือได้เหล่านี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ ทั้งโดยการเพิ่มกำลังผลิต และสายส่ง เมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของการคาดคะเนโหลดในอนาคต โดยใช้โค้งแจกแจงปกติ พบว่าค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง (LOLE) มีค่าสูงขึ้นตามจำนวนระดับของค่าความไม่แน่นอนที่เพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

BUNDHIT EUA-ARPORN : DETERMINATION OF POWER SYSTEM RESERVES BASED ON RELIABILITY INDICES. THESIS ADVISOR : PROF.CHARUAY BOONYUBOL, Ph.D. 189 PP.

This thesis presents a method for evaluating the optimal power reserve necessary for maintaining predetermined reliability of a power system. Probabilistic approach is used to determine the performance of main components of the power system and to evaluate reliability indices of generation system and also the entire system. The calculation is performed by using recursive techniques and linear graph flow theory. These indices are used to determine the optimal reserve of the power system.

A computer program is developed on a microcomputer to determine power reserves and is used to analyse two IEEE standard test systems, i.e. the 5-bus 6-line and the 14-bus 20-line systems. Load point indices and overall system indices are also calculated. It is found that these indices can be improved by expansion of generation and transmission systems. When an uncertainty of forecasted load is included by using normal distribution curve, it is found that the loss-of-load expectation (LOLE) index increases as the level of uncertainty is increased.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และ สนับสนุนอย่างดียิ่งจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญยุบล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆของการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และ คุณ กุมโชค ใบแย้ม หัวหน้ากองวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ รวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อน ๆทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้.

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และ ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

2. การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง 5

   2.1 แบบจำลองกำลังผลิตไฟฟ้า 6

      2.1.1 ความพร้อมมูล ความถี่เฉลี่ยและช่วงเวลาเฉลี่ย 6

      2.1.2 การสร้างแบบจำลองกำลังผลิตไฟฟ้า 8

   2.2 แบบจำลองโหลด 12

      2.2.1 การคาดคะเนโหลด 13

      2.2.2 ความไม่แน่นอนของการคาดคะเนโหลด 13

   2.3 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง 15

      2.3.1 LOLE 15

      2.3.2 EENS 16

3. การคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตและส่งกำลังไฟฟ้า 20

   3.1 จำนวนสถานะของระบบ 21

   3.2 ลีเนียร์กราฟโฟลว์ 22

   3.3 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบและโหลดบัส 27

4. การกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองและการขยายสายส่ง 35

   4.1 กฎเกณฑ์ที่มาจากการตัดสินใจ 35

   4.2 กฎเกณฑ์ที่มาจากความน่าจะเป็น 37

   4.3 โหลดโฟลว์กับการขยายสายส่งพลังงานไฟฟ้า 38

5. การวิเคราะห์กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้ 46
5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ 46
5.2 การสร้างและพัฒนาโปรแกรมการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้ 48
5.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ 53
6. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 97
เอกสารอ้างอิง 100
ภาคผนวก ก ตารางแบบจำลองการผลิต IEEE Reliability Test System 102
ภาคผนวก ข การคำนวณค่า LOLE ของ IEEE Reliability Test System 142
ภาคผนวก ค รายละเอียดผลการคำนวณของตัวอย่างการวิเคราะห์ 154
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการเปรียบเทียบการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองด้วยกฎเกณฑ์การตัดสินใจและกฎเกณฑ์ทางความน่าจะเป็น 181
ภาคผนวก จ การคำนวณค่า LOLE เมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของการคาดคะเนโหลดสูงสุด 185
ประวัติผู้เขียน 189

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	10
2.2	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 เมกกะวัตต์	11
2.3	ข้อมูลของพื้นที่ใต้เส้นโค้งแจกแจงปกติ เมื่อแบ่งออกเป็น 5, 7, 9 และ 11 ระดับ	14
2.4	ความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง	18
2.5	แสดงการคำนวณค่า LOLE ของระบบตัวอย่าง	19
2.6	แสดงการคำนวณค่า EENS ของระบบตัวอย่าง	20
3.1	แสดงระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบที่ใช้พิจารณา	22
3.2	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	31
3.3	ข้อมูลสายส่ง	32
3.4	ตารางความน่าจะเป็นของโหลดที่บัส 3 ซึ่งได้รับพลังงานไม่เพียงพอ	33
3.5	ตารางความถี่ของโหลดที่บัส 3 ซึ่งได้รับพลังงานไม่เพียงพอ	33
3.6	ตารางแสดงค่า ELC, EENS และ EDLC ที่บัส 3	34
3.7	ตารางแสดงค่าความเชื่อถือได้ของทั้งระบบ	34
5.1	แสดงโหลดสูงสุดประจำสัปดาห์เป็นค่าร้อยละของโหลดสูงสุดประจำปี	56
5.2	แสดงโหลดสูงสุดประจำวันเป็นค่าร้อยละของโหลดสูงสุดประจำสัปดาห์	57
5.3	ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
5.4	แบบจำลองกำลังการผลิตไฟฟ้า (0-1600 MW)	58
5.5	แบบจำลองกำลังการผลิตไฟฟ้า (1500-2150 MW)	59
5.6	แสดงค่าโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียโหลดในแต่ละสัปดาห์	60
5.7	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง	65
5.8	ข้อมูลสายส่งของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง	66
5.9	ข้อมูลบัสของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง	66
5.10	แสดงค่า LOLE ในปีที่ 1	67
5.11	แสดงค่า EENS ในปีที่ 1	67
5.12	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสของระบบผลิต และส่งกำลังไฟฟ้าในปีที่ 1	68

5.13	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบในปีที่ 1	68
5.14	สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรองในแต่ละปี	69
5.15	สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรองเมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 2 แตกต่างกัน	69
5.16	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสของระบบผลิต และส่งพลังงานไฟฟ้าในปีที่ 2	70
5.17	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบในปีที่ 2	70
5.18	กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านสายส่งในปีที่ 3	71
5.19	สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรองเมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 3 แตกต่างกัน	71
5.20	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า LOLE หลังจากเพิ่มกำลังผลิตสำรอง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 3 แตกต่างกัน	72
5.21	แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่า 20 MW	72
5.22	แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่าต่ำกว่า 20 MW	73
5.23	แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่า 35 MW	73
5.24	ค่า LOLE ในปีที่ 1 ของระบบ 5 บัสเมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ แตกต่างกัน	74
5.25	ค่า $LOLE_1/LOLE_0$ ในปีที่ 1 ของระบบ 5 บัส เมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ แตกต่างกัน	74
5.26	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง	81
5.27	ข้อมูลสายส่งของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง	82
5.28	ข้อมูลบัสของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง	83
5.29	แสดงค่า LOLE ของระบบ 14 บัส	84
5.30	แสดงค่า EENS ของระบบ 14 บัส	85
5.31	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสของระบบผลิต และส่งกำลังไฟฟ้า	86
5.32	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบ	86
5.33	กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านสายส่งของระบบ 14 บัส	87
5.34	แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่า 80 MW	88
5.35	แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่าต่ำกว่า 80 MW	89
5.36	ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัสหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายเลข 15	90

5.37 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายเลข 15 90

5.38 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัสหลังจากเพิ่มสายส่ง หมายเลข 21 91

5.39 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบหลังจากเพิ่มสายส่ง หมายเลข 21 91

5.40 สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรอง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดแตกต่างกัน 92

5.41 การเปลี่ยนแปลงค่า LOLE ของระบบ 14 บัส เมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ จำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ แตกต่างกัน 93

5.42 ค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 14 บัสเมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ แตกต่างกัน 93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงหลักการคำนวณความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง	5
2.2	แบบจำลองสำหรับใช้คำนวณความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง	6
2.3	สถานะการทำงานของอุปกรณ์ใด ๆ ในระบบ	7
2.4	ช่วงเวลาการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ใด ๆ ในระบบ	7
2.5	ก. แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 2 สถานะ	9
2.5	ข. แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 สถานะ	9
2.6	แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการคำนวณ	12
2.7	การประมาณค่าของเส้นแจกแจงปกติ โดยแบ่งเป็น 7 ระดับ	14
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและกำลังผลิตสำรอง	15
2.9	แสดงค่าพลังงานซึ่งไม่ได้รับการจ่าย เนื่องจากกำลังผลิตไฟฟ้าเกิดขัดข้อง	17
2.10	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงโหลดสูงสุดประจำวัน	17
2.11	ช่วงเวลาและพลังงานซึ่งไม่ได้รับการจ่าย เนื่องจากกำลังผลิตไฟฟ้าขัดข้อง	18
3.1	ก. ตัวอย่างระบบ 3 บัส	23
3.1	ข. กราฟระบบ 3 บัส	23
3.2	กราฟที่ถูกเขียนกำกับ	25
3.3	กราฟแสดงการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน	26
3.4	ก. กราฟซึ่งถูกเขียนกำกับ	27
3.4	ข. กราฟแสดงผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน	27
3.4	ค. กราฟซึ่งถูกเขียนกำกับ	27
3.4	ง. กราฟแสดงผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน	27
3.5	โฟล์วชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบและโหลดบัส	28
3.6	รูปแสดงระบบ 3 บัส	31
4.1	ก. วงจรสมบูรณ์ของสายส่งขนาดกลางแบบพายน์	38
4.1	ข. วงจรสมบูรณ์ของสายส่งขนาดกลางแบบที	38
4.2	วงจรสมมูลของหม้อแปลง	39

4.3	วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด	40
4.4	วงจรสมมูลของสายส่ง	44
5.1	โฟล์วชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณการผลิตไฟฟ้าสำรอง และสายส่งที่เพิ่มเข้าสู่ระบบ	52
5.2	ระบบทดสอบความเชื่อถือได้ ตามมาตรฐาน IEEE	55
5.3	ระบบทดสอบตามมาตรฐาน IEEE ขนาด 5 บัส 6 สายส่ง	61
5.4	กราฟแสดงค่า LOLE ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 2 แตกต่างกัน	75
5.5	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 5 ระดับ	76
5.6	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 7 ระดับ	76
5.7	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 9 ระดับ	77
5.8	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 11 ระดับ	77
5.9	ระบบทดสอบตามมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส 20 สายส่ง	78
5.10	กราฟแสดงค่า LOLE ของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดแตกต่างกัน	94
5.11	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 5 ระดับ	95
5.12	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 7 ระดับ	95
5.13	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 9 ระดับ	96
5.14	กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุดโดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 11 ระดับ	96