

การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่คำนึงถึง  
แรงดันตกและการทำงานของระบบป้องกัน

นาย พงศกร ยุทธโกวิท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2540  
ISBN 974-638-565-8  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS WITH  
CONSIDERATIONS OF VOLTAGE SAGS AND PROTECTION SYSTEM OPERATION

Mr. Pongsakorn Yuthagovit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-565-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่คำนึงถึง  
แรงดันตกและการทำงานของระบบป้องกัน  
โดย                              นาย พงศกร ยูทธโกวิท  
ภาควิชา                        วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

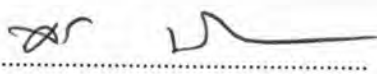
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัณน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

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

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)

  
..... กรรมการ  
(นาย สิริ ตันทวัฒน์)

พงศกร ยุทธโกวิท : การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่คำนึงถึงแรงดันตกและการทำ  
งานของระบบป้องกัน (RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS  
WITH CONSIDERATIONS OF VOLTAGE SAGS AND PROTECTION SYSTEM OPERATION)  
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 127 หน้า. ISBN 974-638-565-8.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาและวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยคำนึงถึง  
แรงดันตกและการทำงานของระบบป้องกันด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล วิธีการที่นำเสนอจะทำการ  
พิจารณาถึงเหตุการณ์ที่เกิดลัดวงจรในระบบซึ่งก่อให้เกิดการทำงานของระบบป้องกันเพื่อเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่เกิดลัด  
วงจรออกจากระบบ เหตุการณ์ที่ได้จากการจำลองเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์การเกิดข้อขัดข้องที่จุดโหลดโดยการ  
คำนวณแรงดันที่จุดโหลดเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการเกิดข้อขัดข้อง ทั้งนี้วิธีการที่นำเสนอได้นำไปใช้ทดสอบกับ  
ระบบทดสอบ RBTS บัส 2 และ ระบบทดสอบ 7 บัส

ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งวัดอยู่ในรูปของค่าดัชนีความเชื่อถือ  
ได้ เช่น ค่าดัชนี  $\lambda$ , U, SAIFI, SAIDI และอื่นๆ จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลง ขนาดของแรงดัน  
ตกสูงสุดที่จุดโหลดยอมรับได้ ระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกสูงสุดที่จุดโหลดยอมรับได้ และการทำงานของระบบป้องกัน ที่  
ส่งผลต่อค่าดัชนี  $\lambda$  และ SAIFI ค่าดัชนีและผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ สามารถนำไปใช้ในการ  
ประกอบการตัดสินใจในงานด้านการออกแบบของระบบไฟฟ้า รวมทั้งใช้ในการสร้างข้อกำหนดต่างๆสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า  
เพื่อให้เกิดการประสานงานอย่างเหมาะสมระหว่างระบบป้องกันของผู้ใช้ไฟฟ้ากับระบบป้องกันของผู้จำหน่ายไฟฟ้า

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา ..... 2540

ลายมือชื่อนิติต ..... พงศกร ยุทธโกวิท  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... บัณฑิต เอื้ออาภรณ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 3971092021 ; MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD:

ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM / RELIABILITY ANALYSIS / MONTE CARLO SIMULATION / VOLTAGE SAG

PONGSAKORN YUTHAGOVIT : RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS WITH CONSIDERATIONS OF VOLTAGE SAGS AND PROTECTION SYSTEM OPERATION.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DR. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 127 pp. ISBN 974-638-565-8.

This thesis emphasizes on a reliability analysis of electrical distribution systems with considerations of voltage sags and protection system operation. The reliability indices were calculated using a monte carlo simulation method. This method considers short circuit events which result in an operation of protection devices to remove the failure component. Consequently, for each particular event, the interruption at each load point is decided based on the obtained voltages which are compared to the set up interruption criteria. The proposed method has been tested with the RBTS bus2 and a 7-bus test systems.

Several reliability indices ,e.g.  $\lambda$ , U, SAIFI, SAIDI, etc. , are obtained from the calculation. From the analysis,  $\lambda$  and SAIFI values depend on maximum permissible sag magnitude at load point , maximum permissible sag duration at load point and protection system operation. With the proposed method, the obtained indices and results could be used to support the utility planning and may be applied to make recommendation for particular customers for a proper coordination between their and utility's protection systems.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *W. Yuthagovit* ยุธโกวิท.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *B. Eua-ayorn*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ต้องขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์(ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) อาจารย์ ไชยะ แซ่ม้าชัย และ คุณศิริ ดัฒนวัฒน์ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่ง เนื่องจากทุนการศึกษาในระดับปริญญาโทบัณฑิตทั้งหมดนี้ ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วยที่ได้เล็งเห็นความสำคัญต่อการศึกษาในระดับสูงของนิสิต ซึ่งจะเป็นการวางรากฐานที่สำคัญอันจะนำไปสู่การพัฒนาประเทศไทยอย่างแท้จริง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา และทุกๆ คนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

พงศกร ยุทธโกวิท

เมษายน 2541

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ค

### บทที่

1. บทนำทั่วไป.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	4
1.4 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	5
2. แบบจำลองอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	7
2.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	8
2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล.....	8
2.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน.....	9
2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห.....	10
2.2 อุปกรณ์หลักในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	11
2.3 สภาพะการทำงานและการล้มเหลว.....	13
2.4 การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์.....	14
2.5 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์.....	18
2.6 เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้อง.....	20
3. วิธีการประเมินความเชื่อถือได้.....	23
3.1 วิธีการวิเคราะห์.....	23
3.1.1 วิธีลดทอนเครือข่าย.....	23
3.1.2 วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข.....	25

3.1.3	วิธีมินิมัลต์คัตเซต.....	26
3.1.4	วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงความล้มเหลว.....	28
3.2	วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล.....	30
3.2.1	การสุ่มตัวเลข.....	31
3.2.2	การเปลี่ยนค่าตัวเลขที่สุ่มมา.....	32
3.2.3	กระบวนการในการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล.....	35
3.2.4	จำนวนรอบของการจำลองเหตุการณ์.....	37
4.	การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล.....	39
4.1	คำจำกัดความ.....	39
4.2	ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดไหลด.....	40
4.3	ดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า.....	42
4.4	การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล.....	44
4.4.1	แนวการวิเคราะห์.....	44
4.4.2	การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลที่เกิดขึ้นในระบบและการจัดลำดับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปพิจารณา...	48
4.4.3	วิธีการคำนวณแรงดันที่จุดไหลด.....	50
4.4.3.1	กระบวนการในการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์.....	50
4.4.3.1.1	การเพิ่ม branch.....	52
4.4.3.1.2	การเพิ่ม link.....	54
4.4.3.1.3	การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนออกจากระบบ.....	56
4.4.3.2	หลักการในการคำนวณแรงดันโดยใช้สมการเคอร์ซอฟ.....	57
4.4.4	อุปกรณ์แบบเฟ้นสุ่ม.....	58
4.4.5	เหตุการณ์ระหว่างการเกิดการลัดวงจร.....	58
4.4.6	การทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์และระบบป้องกัน.....	60
5.	การทดสอบ การคำนวณและการวิเคราะห์.....	61
5.1	ระบบทดสอบ.....	61
5.1.1	ระบบทดสอบ 7 บัส.....	61
5.1.2	ระบบทดสอบ RBTS BUS 2 .....	63



5.2	ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus2.....	65
5.3	ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2ต่อระดับแรงดันตก.....	68
5.3.1	ผลการทดสอบในกรณีที่ 1.....	68
5.3.1.1	วิเคราะห์ผลที่ได้จากกรณีที่1.....	75
5.3.2	ผลการทดสอบในกรณีที่ 2.....	76
5.3.2.1	วิเคราะห์ผลที่ได้จากกรณีที่ 2.....	83
5.4	ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระยะเวลาในการเกิดแรงดันตก...	84
5.4.1	ผลการทดสอบในกรณีที่ 3.....	85
5.4.1.1	วิเคราะห์ผลการทดสอบในกรณีที่ 3 .....	92
5.4.2	ผลการทดสอบในกรณีที่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาด ของฟิวส์.....	93
5.4.2.1	วิเคราะห์ผลการทดสอบในกรณีที่ 4 ซึ่งรวมผลการ ทำงานผิดพลาดของฟิวส์.....	102
5.5	ผลการทดสอบกับระบบที่เป็นเครือข่าย.....	103
5.5.1	ผลการทดสอบในหัวข้อ 5.5 กรณีที่ 1.....	103
5.5.1.1	วิเคราะห์ผลการทดสอบหัวข้อ 5.5 กรณีที่ 1.....	106
5.5.2	ผลการทดสอบในหัวข้อ 5.5 กรณีที่ 2.....	108
5.5.2.1	วิเคราะห์ผลการทดสอบหัวข้อ 5.5 กรณีที่ 2.....	112
6.	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	114
	รายการอ้างอิง.....	116
	ภาคผนวก	
	ก. แผนผังแสดงการคำนวณหาบัสโวลต์แอมป์และ การคำนวณแรงดัน.....	119
	ข. เทคนิคพื้นฐานในการคำนวณความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	123
	ประวัติผู้เขียน.....	127

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ในระบบตัวอย่าง.....	40
4.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดของระบบตัวอย่างในรูปที่ 4.1 .....	41
5.1 แสดงค่าข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบทดสอบ 7 บัส.....	61
5.2 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทดสอบในรูปที่ 5.2 .....	64
5.3 ประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบบัส2	64
5.4 ข้อมูลความยาวฟีดเคอร์ของระบบทดสอบบัส2.....	65
5.5 ผลการคำนวณ โดยวิธีการวิเคราะห์.....	66
5.6 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์ที่พัฒนาขึ้น.....	67
5.7 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า.....	68
5.8 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 1 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.4 p.u. ....	69
5.9 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 1 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. ....	70
5.10 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 1 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.6 p.u. ....	71
5.11 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 1 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. ....	72
5.12 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI ของกรณีทดสอบที่ 1ซึ่งจุดโหลดสามารถทนต่อ แรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆ.....	73
5.13 เปรี่เซนต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณี พื้นฐานกับ กรณีที่ทนต่อระดับของแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่าง ๆ ของกรณีทดสอบที่ 1.....	73
5.14 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 2 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.4 p.u. ....	77
5.15 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 2 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. ....	78

5.16 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 2 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.6 p.u. ....	79
5.17 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 2 โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. ....	80
5.18 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI ของกรณีทดสอบที่ 2 ซึ่งจุดโหลดสามารถทนต่อ แรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆ.....	81
5.19 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าใน กรณีพื้นฐานกับกรณีที่ทนต่อระดับของแรงดันตกสูงสุดได้ในระดับต่างๆ ของกรณีทดสอบที่ 2 .....	81
5.20 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 3 โดยทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.3 วินาที.....	86
5.21 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 3 โดยทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.35 วินาที.....	87
5.22 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 3 โดยทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.4 วินาที.....	88
5.23 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 3 โดยทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.45 วินาที.....	89
5.24 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI โดยที่จุดโหลดทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ ระดับ 0.6 p.u. ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการทดสอบในกรณีที่ 3.....	90
5.25 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟใน กรณีพื้นฐาน กับ กรณีที่ทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในระยะเวลา ที่ทนได้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการทดสอบในกรณีที่ 3.....	90
5.26 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาดของฟิวส์ โดยทนต่อแรงดันตก สูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.7วินาที ซึ่งเป็นกรณีพื้นฐาน.....	94

5.27 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีี่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาดของฟิวส์ โดยทนต่อแรงดันตก สูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.3 วินาที.....	95
5.28 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีี่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาดของฟิวส์ โดยทนต่อแรงดันตก สูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.35 วินาที.....	96
5.29 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีี่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาดของฟิวส์ โดยทนต่อแรงดันตก สูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.4 วินาที.....	97
5.30 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีี่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาดของฟิวส์ โดยทนต่อแรงดันตก สูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.45 วินาที.....	98
5.31 ผลการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง ผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีี่ 4 ซึ่งรวมผลการทำงานผิดพลาดของฟิวส์ โดยทนต่อแรงดันตก สูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 0.5 วินาที.....	99
5.32 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI โดยที่จุดโหลดทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการทดสอบในกรณีี่ 4.....	100
5.33 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟใน กรณีี่พื้นฐาน กับ กรณีี่ที่ทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับ 0.6 p.u. ในระยะเวลา ที่ทนได้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการทดสอบในกรณีี่ 4 .....	100
5.34 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีี่ 1 โดยไม่คิดผลจาก stuck breaker.....	104
5.35 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีี่ 1 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 0.4 วินาที.....	104
5.36 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีี่ 1 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 0.7 วินาที.....	104
5.37 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีี่ 1 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 0.9 วินาที.....	105
5.38 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีี่ 1 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 1.2 วินาที.....	105

5.39 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีที่ 2 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 0.4 วินาที.....	111
5.40 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีที่ 2 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 0.7 วินาที.....	111
5.41 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีที่ 2 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 0.9 วินาที.....	111
5.42 ผลการทดสอบระบบ 7 บัส กรณีที่ 2 โดยสามารถทนรับแรงดันตกได้ในช่วงเวลา 1.2 วินาที.....	111

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
1.1 ประเภทของความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	2
1.2 การแบ่งลำดับความเชื่อถือได้.....	2
2.1 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล.....	8
2.2 ระบบจำหน่ายแบบวงแหวน.....	9
2.3 ระบบจำหน่ายแบบร่างแห.....	10
2.4 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา.....	14
2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(t) และฟังก์ชันการกระจายสะสม(F(t)).....	15
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราอันตรายของอุปกรณ์ที่ซ่อมไม่ได้.....	17
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราอันตรายของอุปกรณ์ที่ซ่อมได้.....	17
2.8 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์.....	18
2.9 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์.....	19
2.10 เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้อง (Interruption criterion) .....	21
2.11 แสดงรูปภาพแรงดันตกสูงสุดที่อนุญาตให้เกิดขึ้น โดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้อง ที่สามารถทนต่อแรงดันตกได้ที่ระดับ 50 % ในช่วงเวลา 1 วินาที และที่ระดับ 90 % ในช่วงเวลา 2 วินาที.....	22
3.1 ระบบอนุกรมและขนาน.....	24
3.2 ตัวอย่างการยุบส่วนของระบบที่ต่อเนื่องแบบขนานและอนุกรม.....	25
3.3 ระบบซับซ้อน.....	25
3.4 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน.....	26
3.5 มินิมัลต์เซตของระบบในรูปที่ 3.3 .....	27
3.6 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณค่า U.....	28
3.7 ระบบตัวอย่าง.....	29
3.8 แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลวของระบบ.....	29
3.9 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล.....	33
3.10 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มีการกระจายแบบไวบูลล์(Weibull).....	34



3.12 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มี การกระจายแบบปกติ.....	35
3.13 แสดงลำดับการทำงานของระบบที่มีอุปกรณ์แบบซอมแซมได้ 2 ตัว.....	36
4.1 ตัวอย่างของระบบที่มีสายส่งไฟฟ้าเป็นแบบเรเดียลและมีจุดโหลด 3 จุด.....	40
4.2 โครงสร้างโดยรวมของวิธีการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ที่นำมาใช้.....	44
4.3 แผนผังแสดงวิธีการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติคาร์โล.....	46
4.4 แสดงลักษณะของระบบก่อนที่จะมีการเพิ่มขึ้นส่วน.....	51
4.5 (ก) แสดงการเพิ่ม branch เข้าสู่ระบบ.....	51
4.5 (ข) แสดงการเพิ่ม link เข้าสู่ระบบ.....	51
4.6 แสดงการเปลี่ยนจากแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดันเป็นแหล่งจ่ายกระแส.....	57
4.7 แสดงถึงลำดับขั้นตอนของเหตุการณ์เนื่องจากการเกิดลัดวงจรที่ส่วนต่างๆในระบบ..	59
4.8 แสดงแบบจำลองระบบไฟฟ้าก่อน ระหว่าง และหลัง การเกิดลัดวงจร.....	59
4.9 แสดงการวางตำแหน่งของเบรกเกอร์ในระบบตัวอย่าง.....	60
5.1 แสดงระบบทดสอบ 7 บัสที่จ่ายไฟฟ้าให้กับโรงงาน 4 แห่ง.....	62
5.2 ระบบทดสอบ RBTS BUS2.....	63
5.3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 1 ในกรณีต่างๆ.....	74
5.4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI <sub>p</sub> ของกรณีทดสอบที่ 1 ในกรณีต่างๆ.....	74
5.5 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 1 ในกรณีต่างๆ โดย ค่าตัวเลขที่แสดงเป็นค่า SAIFI เนื่องจากผลของแรงดันตกในกรณีต่างๆ.....	75
5.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIDI ของกรณีทดสอบที่ 1 ในกรณีต่างๆ.....	75
5.7 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 2 ในกรณีต่างๆ.....	81
5.8 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI <sub>p</sub> ของกรณีทดสอบที่ 2 ในกรณีต่างๆ.....	82
5.9 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 2 ในกรณีต่างๆ โดยค่าตัวเลขที่แสดงเป็นค่า SAIFI เนื่องจากผลของแรงดันตกในกรณีต่างๆ.....	82
5.10 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี CAIFI เนื่องจากแรงดันตกของกรณีทดสอบที่ 2 ในกรณีต่างๆ.....	82
5.11 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIDI ของกรณีทดสอบที่ 2 ในกรณีต่างๆ.....	83
5.12 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของระบบเรเดียล.....	84
5.13 แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 3 ในกรณีต่างๆ.....	90

5.14	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 3 ในกรณีต่างๆ.....	91
5.15	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 3 ในกรณีต่างๆ โดยค่าตัวเลขที่แสดงเป็น ค่า SAIFI เนื่องจากผลของแรงดันตกในกรณีต่างๆ.....	91
5.16	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIDI ของกรณีทดสอบที่ 3 ในกรณีต่างๆ.....	91
5.17	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 4 ในกรณีต่างๆ.....	100
5.18	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 4 ในกรณีต่างๆ.....	101
5.19	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIFI ของกรณีทดสอบที่ 4 ในกรณีต่างๆ โดยค่าตัวเลขที่แสดงเป็น ค่า SAIFI เนื่องจากผลของแรงดันตกในกรณีต่างๆ.....	101
5.20	แผนภูมิแท่งแสดงค่าดัชนี SAIDI ของกรณีทดสอบที่ 4 ในกรณีต่างๆ.....	101
5.21	เปรียบเทียบจำนวนครั้งในการเกิดไฟดับที่ plant A จากการทดสอบใน หัวข้อ 5.4 กรณีที่ 1.....	105
5.22	เปรียบเทียบจำนวนครั้งในการเกิดไฟดับที่ plant B จากการทดสอบใน หัวข้อ 5.4 กรณีที่ 1.....	106
5.23	เปรียบเทียบจำนวนครั้งในการเกิดไฟดับที่ plant D จากการทดสอบใน หัวข้อ 5.4 กรณีที่ 1.....	106
5.24	ผลการทดสอบในกรณีที่ทนรับแรงดันตกได้นาน 0.4 วินาที เมื่อพิจารณาในแง่อายุ การใช้งานของเบรกเกอร์ก่อนที่จะเกิด Stuck Breaker.....	109
5.25	ผลการทดสอบในกรณีที่ทนรับแรงดันตกได้นาน 0.7 วินาที เมื่อพิจารณาในแง่อายุ การใช้งานของเบรกเกอร์ก่อนที่จะเกิด Stuck Breaker.....	109
5.26	ผลการทดสอบในกรณีที่ทนรับแรงดันตกได้นาน 0.9 วินาที เมื่อพิจารณาในแง่อายุ การใช้งานของเบรกเกอร์ก่อนที่จะเกิด Stuck Breaker.....	110
5.27	ผลการทดสอบในกรณีที่ทนรับแรงดันตกได้นาน 1.2 วินาที เมื่อพิจารณาในแง่อายุ การใช้งานของเบรกเกอร์ก่อนที่จะเกิด Stuck Breaker.....	110
ก.1	แผนผังแสดงวิธีการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์.....	120
ก.2	แผนผังแสดงวิธีการเปลี่ยนแปลงบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์.....	121
ก.3	แผนผังแสดงวิธีการคำนวณค่าแรงดันที่จุดโหลดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Zbus.....	122
ข.1	แสดงลักษณะอุปกรณ์ 2 ตัวต่อแบบอนุกรม.....	123
ข.2	แสดงระบบขนานที่มีอุปกรณ์ 2 ตัวต่ออยู่.....	124