

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

นาย อภิศิริ สุขแสน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0674-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# EXPERT SYSTEM FOR DISTRIBUTION SYSTEM RESTORATION

Mr. Apisiri Sooksaen

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

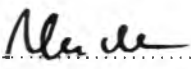
Academic Year 2001

ISBN 974-03-0674-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า
โดย	นายอภิศิริ สุขแสน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

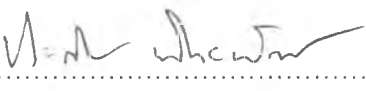
---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

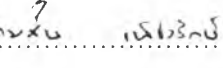
  
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปิญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ไชยะ แซ่ม้อย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรัักษ์)

อภิสิทธิ์ สุขสมาน : ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (EXPERT SYSTEM FOR DISTRIBUTION SYSTEM RESTORATION) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 98 หน้า. ISBN 974-03-0674-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งได้แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนทฤษฎี และส่วนโปรแกรม โดยในส่วนทฤษฎีนั้นได้ทำการศึกษาวิธีการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดความผิดปกติอย่างละเอียด รวมถึงวิธีการคำนวณหาแรงดันตก ณ จุดต่างๆของสายป้อน สำหรับในส่วนของโปรแกรมได้พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติการควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแก้ไขสถานการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบ รวมถึงสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อีกด้วย

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า “Expert System for Distribution System Restoration” ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา Delphi เวอร์ชัน 5 โดยสามารถแบ่งการทำงานออกได้เป็น 3 ส่วนหลักคือ

1. ส่วนที่ใช้สร้างไดอะแกรมเส้นเคเบิลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า : มีการกำหนดอุปกรณ์ให้เลือกใช้ได้อย่างเพียงพอ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆรวมถึงโหนดของสายป้อนเพื่อใช้ในการวินิจฉัยหาวิธีการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติต่อไป
2. ส่วนที่ใช้คำนวณแรงดันตก : ส่วนนี้เป็นเครื่องมือในการพิจารณาว่าวิธีการกู้ระบบจำหน่ายที่เลือกใช้ทำให้แรงดันตก ณ ปลายสายป้อนมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่
3. ส่วนที่ใช้ในการวินิจฉัยหาวิธีการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า : ส่วนนี้จะทำการคิดหาวิธีต่างๆในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า แล้วนำไปตรวจสอบกับส่วนคำนวณแรงดันตก เพื่อเสนอวิธีการกู้โหนดที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

โปรแกรมทั้ง 3 ส่วนนี้ จะทำงานสอดคล้องกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยผู้ใช้สามารถบันทึกและเรียกเพิ่มข้อมูลของวงจรเพื่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
ปีการศึกษา.....๒๕๔๔.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

427 06462 21 :MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : RESTORATION/ EXPERT SYSTEM/ DISTRIBUTION SYSTEM/ RADIAL

APISIRI SOOKSAEN : EXPERT SYSTEM FOR DISTRIBUTION SYSTEM

RESTORATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PRASIT PITTAYAPAT, CO-

ADVISOR : ASSO. PROF. DR. BUNDHIT EUA-ARPORN, 98 PP. ISBN 974-03-0674-8

This thesis describes the design of an expert system for distribution system restoration, which is divided into 2 parts: theoretical study and software development. In the theoretical study, the method of de-energized zone restoration and voltage drop calculation were thoroughly discussed. For software development, the expert system was built to help the operators control and fix the problem from fault occurred to the system, also maintenance plan of distribution system can be conducted.

The “Expert System for Distribution System Restoration” was developed by Delphi version 5 and divided into 3 parts:

1. Single-line diagram editor for distribution system: There are many devices which can be used to create the circuit efficiently. The users can define devices’ parameters and load of each branch of the feeder to be used in inference engine when fault is applied.
2. Voltage drop calculation: This is the tool used for considering the result of inference engine if voltage drop at the end of the feeder exceeds the setting value.
3. Inference engine: This part is used to find all the possible ways that can restore the system and check those ways with voltage drop calculation part in order to get the best result under specified conditions.

All parts of this program work together in order to get the best result of restoration and the users can record, retrieve and edit files at any time.

Department.....	Electrical Engineering.....	Student’s signature.....	<i>Apisiri Sooksaen</i>
Field of Study .....	Electrical Engineering.....	Advisor’s signature.....	<i>Prasit Pittayapat</i>
Academic year.....	2001.....	Co-advisor’s signature.....	<i>B. Eua-arporn</i>

## กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ต้องขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์ และ อาจารย์ ไชยะ แหม่มซ้อย ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และน้องๆ ที่ให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงทุกๆคนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

อภิศิริ สุขแสน

กรกฎาคม 2544

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
สภาพปัญหาและวิธีการแก้ปัญหา.....	3
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	4
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ.....	4
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	6
ประโยชน์ที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	7
2. ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	8
สายป้อนหลักแบบเรเดียล.....	11
3. การคำนวณแรงดันตก.....	18
ตัวอย่างที่ 1.....	25
ตัวอย่างที่ 2.....	28
ตัวอย่างที่ 3.....	31
4. การใช้คอมพิวเตอร์ออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	39
โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	39
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	42
5. ระบบวินิจฉัย.....	46
Circuit Design.....	47
กรณีความผิดปกติบนสายป้อน.....	52
กรณีความผิดปกติบน Switch.....	53
วิธี Single-Grouping.....	57
วิธี Multi-Grouping.....	60
6. การทำงานของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	66

## สารบัญ (ต่อ)

ส่วนออกแบบและแก้ไขวงจรระบบจำหน่าย.....	66
ส่วนวินิจฉัยหาวิธีการกู้ระบบจำหน่าย.....	75
7. ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	78
ความผิดพลาดที่ Line17.....	80
ความผิดพลาดที่ Line5.....	81
ความผิดพลาดที่ Con1.....	83
ความผิดพลาดที่ Line2.....	87
8. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก	
ก. คำอธิบายการใช้งาน Load Profile Editor.....	96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 แสดงหน้าที่และข้อมูลที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์ต่างๆ.....	47
5.2 แสดงการเปรียบเทียบวิธี Multi-Grouping ที่เลือกเปิดวงจร Switch ต่างกัน.....	61
7.1 แสดงระดับแรงดันของสายป้อนต่างๆ.....	79
7.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายป้อนกึ่งต่างๆ.....	79
7.3 แสดงค่าแรงดันตกสูงสุด จากการเลือกปิดวงจร Tie-Switch ทั้ง 2 แบบ.....	83
7.4 แสดงค่าแรงดันตกสูงสุด จากการเลือกปิดวงจร Tie-Switch ทั้ง 3 แบบ.....	87
7.5 วิธี Open Sw3.....	88
7.6 วิธี Open Sw4.....	88

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงการต่อเชื่อมสายป้อน 2 สายด้วย Tie-Switch.....	2
2.1 แสดง Single-Line Diagram ของ Primary Distribution Feeder.....	9
2.2 แสดง Radial-Type Primary Feeder.....	11
2.3 แสดงการต่อเชื่อม Tie-Switch ในวงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	12
2.4 แสดง Radial-Type Primary Feeder ที่มี Express Feeder และ Backfeed.....	13
2.5 แสดง Radial-Type Primary Feeder ที่มีการแยกเฟสจ่ายโหลด.....	14
2.6 แสดง Loop-Type Primary Feeder.....	15
2.7 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่แบบ Primary Network.....	16
3.1 แสดงโหลดของสายป้อนหลักที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ.....	18
3.2 แสดงวงจรสมมูลของสายป้อนหลักที่โหลดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ.....	19
3.3 แสดงตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและสวิตช์ต่อเชื่อมระหว่างสายป้อน.....	22
3.4 แสดงวงจรสมมูลของกิ่ง (Branch) เพื่อคำนวณหาแรงดันตก.....	23
3.5 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตก.....	25
3.6 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตกเมื่อมีกิ่งแยก.....	28
3.7 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตกเมื่อมีกิ่งแยกและไม่ทราบ $I_{zone}$ .....	31
3.8 แสดงวงจรสมมูล 1 เฟส ที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตก.....	32
4.1 แสดงโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	40
4.2 แสดงวิธีการทำ Single-Grouping เพื่อทำการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	43
4.3 แสดงวิธีการทำ Multi-Grouping เพื่อทำการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	44
4.4 แสดงวิธีการทำ Load Shedding เพื่อทำการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	44
5.1 แสดง Flow Chart ในการทำงานของระบบวินิฉัย.....	46
5.2 แสดง Database ของอุปกรณ์ต่างๆ.....	48
5.3 แสดงวงจร 3 สายป้อนที่มีสวิตช์เชื่อมต่อระหว่างวงจร.....	49
5.4 แสดง Flow Chart ของการรวมกลุ่มอุปกรณ์ของแต่ละสายป้อน.....	51
5.5 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนสายป้อน.....	52
5.6 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนสายป้อนใกล้จุดที่มีทางแยก.....	52
5.7 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนสายป้อนใกล้จุดที่มีทางแยกของวงจรที่ซับซ้อนขึ้น.....	53
5.8 แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนสวิตช์.....	53

## สารบัญภาพ (ต่อ)

5.9 แสดงความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนสวิตช์ในวงจรที่ซับซ้อนขึ้น.....	54
5.10 แสดงความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนสวิตช์ใกล้ Circuit Breaker ต้นทาง.....	54
5.11 แสดงความผิดปกติที่เกิดขึ้นบน Circuit Breaker ต้นทาง.....	54
5.12 แสดงการรวมกลุ่มอุปกรณ์ทั้ง 2 ด้านของความผิดปกติ.....	55
5.13 แสดงการรวมกลุ่มอุปกรณ์ทั้ง 3 ด้านของความผิดปกติ.....	56
5.14 แสดงความผิดปกติที่เกิดขึ้นบน L5.....	58
5.15 แสดงความผิดปกติที่เกิดขึ้นบน L2.....	59
5.16 แสดงวงจรที่ต้องทำ Multi-Grouping เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นบน L2.....	60
5.17 แสดงวงจรที่ต้องทำ Load Shedding เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นบน L2.....	64
5.18 แสดง Diagram การทำงานของระบบวินิจัย.....	65
6.1 แสดงภาพหน้าจอส่วนออกแบบและแก้ไขวงจรระบบจำหน่าย (Circuit Editor).....	66
6.2 แสดงภาพหน้าจอหลังจากวางอุปกรณ์ต่างๆ.....	67
6.3 แสดงภาพหน้าจอหลังจากลากสายป้อนเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ.....	68
6.4 แสดงหน้าจอ Tie-Switch Properties.....	68
6.5 แสดงหน้าจอ Switch Properties.....	69
6.6 แสดงหน้าจอ Feeder Properties.....	69
6.7 แสดงหน้าจอ Connector Properties.....	70
6.8 แสดงหน้าจอ End Properties.....	71
6.9 แสดงหน้าจอ Line Properties.....	71
6.10 แสดงหน้าจอ Data Base Editor.....	73
6.11 แสดงหน้าจอ Load Profile.....	74
6.12 แสดงหน้าจอ Time Setting.....	74
6.13 แสดงหน้าจอของส่วนวินิจัยหาวิธีการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Restoration).....	75
7.1 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ Radial ที่ใช้เป็นตัวอย่าง.....	78
7.2 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ Line17.....	80
7.3 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ Line5.....	81
7.4 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำ Load Shedding Line8.....	82
7.5 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ Con1... ..	83
7.6 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังจากปิดวงจร Tie3.....	84

## สารบัญภาพ (ต่อ)

7.7 แสดงการกึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังจากเปิดวงจร Sw4.....	85
7.8 แสดงการกึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังจากลดค่า Max. Voltage Drop เป็น 1.2 %.....	86
7.9 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อทำ Load Shedding Line8.....	86
7.10 แสดงการกึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำการเปิดวงจร Sw4.....	88
7.11 แสดงการกึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำการเปิดวงจร Sw3 และ Sw4.....	89
7.12 แสดงการกึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำการ Shed Line 8 ออกจากระบบ.....	90
ก.1 แสดงหน้าจอวาดกราฟของ Load Profile.....	96
ก.2 แสดงกราฟของ Load Profile.....	97