

การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี

นายธนัชชัย กุลวรรณิชพงษ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-270-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 1927564X

OPTIMAL OPERATION OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS USING FUZZY DECISIONS



Mr. Thanatchai Kulworawanichpong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
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 1999

ISBN 974-333-270-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การตัดสับใจแบบฟิวส์
โดย นายธเนศชัย กุลสุวรรณิชพงษ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

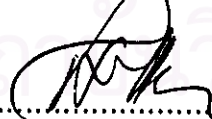
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

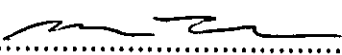

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ไชยะ แซ่มช้อย)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพฑูย์ ไชยนิล)

ณัฏชัย กุลสุวรรณิชพงษ์ : การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี
(OPTIMAL OPERATION OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS USING FUZZY DECISIONS)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 156 หน้า. ISBN 974-333-270-7

ออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมและดำเนินงานระบบไฟฟ้ากำลัง การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาออปติไมเซชันที่เหมาะสมทำให้การแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ในส่วนแรกของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งได้ทดสอบกับระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง และระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ส่วนที่สองได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาออปติไมเซชันที่มีการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่งฟังก์ชันมาใช้แก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ที่มีการพิจารณาด้านทุนการผลิตโดยรวมของระบบ ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และความมั่นคงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในส่วนนี้ได้ทดสอบกับระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง นอกจากนี้ได้ทดสอบผลกระทบจากการรบกวนระบบอันเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าและการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางด้วย ส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์แสดงถึงการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี ซึ่งอาศัยระบบฟัซซีในการประมาณจุดค่าตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยความรู้หรือประสบการณ์ที่มีอยู่ด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้สามารถจ่ายโหลดได้ด้วยต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำและใช้เวลาในการคำนวณรวดเร็ว ทั้งนี้จะอาศัยวิธีการดังกล่าวในสองส่วนข้างต้นเพื่อใช้สร้างฐานข้อมูลเชิงตัวเลข วิธีการดังกล่าวจะนำไปทดสอบกับระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง จากนั้นจึงเปรียบเทียบผลที่ได้กับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์โดยตรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*ณัฏชัย กุลสุวรรณิชพงษ์*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*บัณฑิต เอื้ออาภรณ์*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

#4170331421 : MAJOR POWER SYSTEM

KEYWORD : OPTIMAL POWER FLOW/ECONOMIC LOAD DISPATCH/FUZZY RULE-BASED SYSTEM/EVOLUTION STRATEGIES/ENVIRONMENTAL IMPACTS/TRANSMISSION SECURITY

THANATCHAI KULWORAWANICHPONG: OPTIMAL OPERATION OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS USING FUZZY DECISIONS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. BUNDHIT EUA-ARPORN 156 pp. ISBN 974-333-270-7

Optimal power flow is one of the main functions of power system operation and control. Optimization techniques have been developed to effectively solve optimal power flow problems. The first part of this thesis presents study results, comparing two solving algorithms of an optimal power flow problem, i.e., mathematical analysis and evolutionary computations. The developed algorithms were tested on 6-bus, 7-lines and 9-bus, 11-lines test systems. The second part presents a multi-objective optimization method used in solving an optimal power flow, which takes into account total production cost, environmental impacts, and transmission security as its objective function. In this part, the developed method is tested on a 10-bus, 11-lines test system. In addition, the impacts of disturbances such as uncertainty of load forecast and power exchange through the wheeled power were also analyzed. The last section of this thesis presents a method in selecting an optimum operating point of electrical power systems using fuzzy decisions. With the proposed method, the system sufficiently supplies the demand with low total production cost, and the results can be obtained within a short computation time. The developed methods were used to develop a numerical database obtained from off-line optimal power flow. The proposed method was tested with a 6-bus, 11-lines test system, from which a satisfactory result was compares against the ones obtained from conventional economic load dispatch and optimal power flow.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิตด.....*อหิษ*.....*กมลวรรณ*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Dr. B. A. P.*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.บัณชิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำชี้แนะและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในงานวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้าย แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และรองศาสตราจารย์ไพบุลย์ ไชยนิล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และเนื่องมาจากทุนการวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์(UDC)มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้รับการจัดสรรจากทบวงมหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ธนัดชัย กุลสุวรรณิชพงษ์

มกราคม 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ค
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
2 การแก้ปัญหาออปติไมเซชัน.....	6
2.1 การแก้ปัญหาออปติไมเซชันด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์.....	6
2.2 การแก้ปัญหาออปติไมเซชันด้วยวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ.....	15
2.3 สรุป.....	20
3 ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์.....	21
3.1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน.....	22
3.2 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด.....	23
3.3 การแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์.....	26
3.4 การคำนวณ Bus incremental cost และอัตราค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม ในการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง.....	31
3.5 การแก้ปัญหาออปติไมเซชัน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน.....	34
3.6 การแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หลายฟังก์ชัน.....	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3.7	สรุป.....	41
4	ตรวจแบบฟัซซี่และระบบฟัซซี่.....	42
4.1	ทฤษฎีเซตแบบฟัซซี่.....	43
4.2	ตรวจศาสตร์ฟัซซี่.....	45
4.3	Fuzzy rule-based systems (FRBS)	48
4.4	การจำลองผลระบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ FRBS.....	60
4.5	การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่.....	64
4.6	สรุป.....	65
5	ผลการทดสอบ.....	66
5.1	การเปรียบเทียบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์กับวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ.....	67
5.2	การแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน.....	92
5.3	การขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง.....	102
5.4	การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่.....	116
6	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	128
6.1	สรุป.....	128
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	130
	รายการอ้างอิง.....	131
	ภาคผนวก.....	135
	ภาคผนวก ก ระบบทดสอบ.....	136
	ภาคผนวก ข ผลการทำยูนิคคอมมิตเมนต์ของระบบทดสอบ.....	143
	ภาคผนวก ค ฐานข้อมูลเชิงตัวเลขของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	146

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

ภาคผนวก ง	ตัวอย่าง FRBS ของระบบทดสอบ 6 บั๊ต 11 สายส่ง ที่สร้างขึ้นจากฐานข้อมูลเชิงตัวเลข.....	150
ประวัติผู้เขียน.....	156



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 การคำนวณการทางตรงศาสตราจารย์.....	46
4.2 การคำนวณการทางตรงศาสตราจารย์.....	46
5.1 ฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงและขีดจำกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	68
5.2 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโดยใช้ SQP.....	69
5.3 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโดยใช้กลยุทธ์ วิวัฒนาการ.....	70
5.4 ฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงและขีดจำกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	71
5.5 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสอง โดยใช้ SQP.....	71
5.6 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสอง ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	72
5.7 ฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	73
5.8 ขีดจำกัดของกำลังผลิตและกำลังรีแอกทีฟของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	73
5.9 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้ SQP.....	74
5.10 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื่อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นใช้กลยุทธ์ วิวัฒนาการ.....	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

5.11 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและค่าเทปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	76
5.12 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับอสมการโดยใช้ SQP	77
5.13 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับอสมการ โดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	78
5.14 เปรียบเทียบผลการทดสอบของระบบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	79
5.15 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง.....	81
5.16 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโดยใช้ SQP.....	82
5.17 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	83
5.18 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและขีดจำกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง.....	83
5.19 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสองโดยใช้ SQP.....	84
5.20 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาลอดติ้มักเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสองโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	85
5.21 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง.....	86
5.22 ขีดจำกัดของกำลังผลิตและกำลังรีแอกทีฟของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง...	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

5.23	ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้ SQP.....	87
5.24	ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้ กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	88
5.25	ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและค่าเทีปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	89
5.26	ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับอสมการโดยใช้ SQP	90
5.27	ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับอสมการโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	91
5.28	เปรียบเทียบผลการทดสอบของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง.....	92
5.29	ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันทาง เศรษฐศาสตร์เพียงอย่างเดียว.....	95
5.30	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	95
5.31	ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซเพียงอย่างเดียว.....	96
5.32	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	96
5.33	ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มิกเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลังเพียงอย่างเดียว.....	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

5.34	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	97
5.35	ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสามฟังก์ชันพร้อมกัน.....	98
5.36	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	98
5.37	ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน.....	99
5.38	ผลกระทบต่อค่า $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อน ของการพยากรณ์โหลดในกรณี 5.2.1	99
5.39	ผลกระทบต่อค่า $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อน ของการพยากรณ์โหลดในกรณี 5.2.2	100
5.40	ผลกระทบต่อค่า $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อน ของการพยากรณ์โหลดในกรณี 5.2.3	100
5.41	ผลกระทบต่อค่า $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อน ของการพยากรณ์โหลดในกรณี 5.2.4	101
5.42	ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึง ถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดลอมและความมั่นคงที่ระดับโหลด เท่ากับ 160 MW.....	102
5.43	ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบ ทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดลอมและความ มั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW.....	103
5.44	ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึง ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดลอมและความมั่นคงที่ระดับโหลด เท่ากับ 160 MW.....	103
5.45	ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบ ทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดลอมและความ มั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW.....	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

5.46	ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	104
5.47	ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	105
5.48	ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	105
5.49	ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	106
5.50	ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	106
5.51	ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	107
5.52	ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	107
5.53	ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	108
5.54	ผลทดสอบการจ่ายโหลดอย่างประหัดของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

5.55	ผลทดสอบการทำออปติ้มกเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	118
5.56	ผลทดสอบการอนุมานผลตอบโดยใช้ FRBS ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง (แบบจำลองโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง).....	119
5.57	ผลทดสอบการอนุมานผลตอบโดยใช้ FRBS ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง (แบบจำลองชนิดแยกส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง).....	120
5.58	ผลการเปรียบเทียบการทำงานที่เหมาะสมโดยใช้การจ่ายโหลดอย่าง การทำออปติ้มกเพาเวอร์โฟลว์ และการใช้ FRBS เมื่อพิจารณาเป็น ช่วงเวลา 1 ชั่วโมง.....	121
5.59	ผลการเปรียบเทียบการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมโดยใช้การจ่ายโหลด อย่างประหยัด การทำออปติ้มกเพาเวอร์โฟลว์ และการใช้ FRBS เมื่อ พิจารณารวม 24 ชั่วโมง (1วัน).....	122
5.60	ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการแก้ปัญหาการ จ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	123
5.61	ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการแก้ปัญหา ออปติ้มกเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	124
5.62	ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการประยุกต์ใช้ FRBS (แบบจำลองโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง) ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	125
5.63	ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการประยุกต์ใช้ FRBS (แบบจำลองชนิดแยกส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง) ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	126
6.1	สรุปผลการเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาการทำงานที่เหมาะสมของ ระบบไฟฟ้ากำลัง.....	128
ก.1	ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	136
ก.2	ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	136
ก.3	ข้อมูลหม้อแปลงของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

ก.4	ข้อมูลบัตของระบบทดสอบ 9 บัต 11 สายส่ง.....	137
ก.5	ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 9 บัต 11 สายส่ง.....	138
ก.6	ข้อมูลมือเปลงของระบบทดสอบ 9 บัต 11 สายส่ง.....	138
ก.7	ข้อมูลบัตของระบบทดสอบ 10 บัต 11 สายส่ง.....	139
ก.8	ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 10 บัต 11 สายส่ง.....	140
ก.9	ข้อมูลฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของระบบทดสอบ 10 บัต 11 สายส่ง.....	140
ก.10	ข้อมูลฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซ SO ₂ ของระบบทดสอบ 10 บัต 11 สายส่ง.....	141
ก.11	ข้อมูลบัตของระบบทดสอบ 6 บัต 11 สายส่ง.....	141
ก.12	ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 6 บัต 11 สายส่ง.....	142
ก.13	ข้อมูลฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของระบบทดสอบ 6 บัต 11 สายส่ง.....	142
ข.1	ข้อมูลโหลดของระบบทดสอบในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง.....	143
ข.2	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง.....	144
ข.3	ข้อมูลความสามารถในการจ่ายโหลดของระบบทดสอบ.....	144
ข.4	ผลการทำญนิตคอมมิตเมนต์ของระบบทดสอบ 6 บัต 11 สายส่ง โดยใช้ Priority list.....	145
ค.1	ผลทดสอบการจำลองโหลดต่อผลการทำญนิตคอมมิตเมนต์สถานะที่ 1.....	146
ค.2	ผลทดสอบการจำลองโหลดต่อผลการทำญนิตคอมมิตเมนต์สถานะที่ 2.....	147
ค.3	ผลทดสอบการจำลองโหลดต่อผลการทำญนิตคอมมิตเมนต์สถานะที่ 3.....	148
ง.1	FRBS จากฐานข้อมูลเชิงตัวเลขของการทำญนิตคอมมิตเมนต์สถานะที่ 1.....	150
ง.2	ค่าของฟังก์ชันสมาชิกจากตารางที่ ง.1.....	151
ง.3	FRBS จากฐานข้อมูลเชิงตัวเลขของการทำญนิตคอมมิตเมนต์สถานะที่ 2.....	152
ง.4	ค่าของฟังก์ชันสมาชิกจากตารางที่ ง.3.....	153
ง.5	FRBS จากฐานข้อมูลเชิงตัวเลขของการทำญนิตคอมมิตเมนต์สถานะที่ 3.....	154
ง.2	ค่าของฟังก์ชันสมาชิกจากตารางที่ ง.5.....	155

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	แผนภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน.....	22
3.2	แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังกรณีไม่พิจารณาการสูญเสียของระบบ.....	23
3.3	แบบจำลองการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง.....	33
3.4	Pareto optimal solutions.....	35
3.5	แผนผังการทำนของกลยุทธ์วิวัฒนาการ.....	40
4.1	ตัวอย่างของฟังก์ชันสมาชิก.....	43
4.2	การดำเนินการของฟuzzyเซต.....	45
4.3	การถ่ายโอนค่าตัวแปรทางด้านเข้า ไปสู่ตัวแปรทางด้านออก.....	46
4.4	ระบบตัวอย่าง.....	48
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางด้านเข้ากับตัวแปรทางด้านออก.....	50
4.6	Fuzzy partions ของตัวแปร x.....	54
4.7	แผนภาพการทำงานของระบบฟuzzy.....	56
4.8	Fuzzy partions ของตัวแปร y.....	57
4.9	ตัวแปรทางด้านออกเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต NB.....	57
4.10	ตัวแปรทางด้านออกเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต NS หรือ Z หรือ PS.....	58
4.11	ตัวแปรทางด้านออกเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต PB.....	59
4.12	Multi-input-multi-output fuzzy system.....	61
4.13	Multi-input-single-output fuzzy system.....	62
5.1	ระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง.....	67
5.2	ระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง.....	80
5.3	ระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง.....	93
5.4	ผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าโดยไม่คำนึง ถึงผลกระทบทางด้านตั้งแวลด้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลด เท่ากับ 160 MW.....	108
5.5	ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้าน ตั้งแวลด้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW.....	109

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่

5.6	ผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	109
5.7	ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	110
5.8	ผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	110
5.9	ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	111
5.10	ผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW.....	111
5.11	ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW.....	112
5.12	ผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	112
5.13	ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW.....	113
5.14	ผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	113
5.15	ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW.....	114
5.16	ระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง.....	115