

การคำนวณความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพร้อมมูล โดยการใช้ระบบอนุमानนิวโรฟิชซีแบบปรับตัวได้



นายสถาพร ลิ้มปี่พิมพ์าณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY CALCULATION USING AN ADAPTIVE NEURO-FUZZY  
INFERENCE SYSTEM

Mr.Sataporn Limpatthamapanee

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

**490733**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การคำนวณความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพร้อมมูล โดยการใช้ระบบ  
อนุমানนิวโรฟัซซี่แบบปรับตัวได้

โดย

นายสถาพร ลิ้มปัทมปาณี

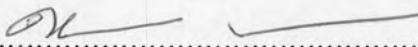
สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษา

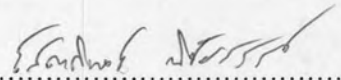
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์

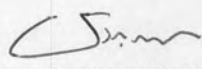
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

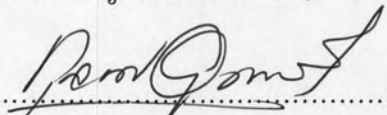
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)

สถาพร ลิ้มปีทมปาณี : การคำนวณความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพร้อมมูลโดยใช้ระบบอนุมาน  
 นิเวโรฟฟิซซีแบบปรับตัวได้. (AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY CALCULATION USING AN  
 ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์ 154  
 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอรูปแบบขาเข้าของระบบอนุมานนิเวโรฟฟิซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS)  
 เพื่อการคำนวณความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพร้อมมูล (ATC) โดยการพิจารณาถึงอิทธิพลของสภาวะ  
 โหลด และอิทธิพลของอุปกรณ์ FACTS ที่มีต่อค่า ATC หลังจากนั้นจึงกำหนดดัชนีที่เหมาะสมเป็นขาเข้า  
 ของ ANFIS รูปแบบขาเข้าที่นำเสนอจะนำไปทดสอบกับระบบทดสอบ 30 บัส และระบบไฟฟ้ากำลังของ  
 ประเทศไทย โดยข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลตรวจสอบจะถูกสร้างด้วยวิธีการคำนวณ ATC แบบดั้งเดิม  
 จากนั้นจึงฝึกสอน ANFIS แล้วตรวจสอบด้วยข้อมูลตรวจสอบ ทดสอบเช่นเดียวกันกับรูปแบบขาเข้าที่เคยมี  
 การนำเสนอมาก่อนหน้านี้ เปรียบเทียบค่า ANFIS ที่ได้จากการกำหนดรูปแบบขาเข้าทั้ง 2 รูปแบบ

ผลการทดสอบพบว่า การกำหนดขาเข้าตามรูปแบบที่นำเสนอสามารถทำให้ ANFIS แยกแยะสภาวะ  
 ของระบบและส่งค่า ATC ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ นอกจากนี้รูปแบบขาเข้าของ  
 ANFIS ที่นำเสนอจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของ ATC ขาออกน้อยกว่า ANFIS ที่ใช้รูปแบบขาเข้าที่เคยมี  
 การนำเสนอก่อนหน้านี้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
 ปีการศึกษา 2549

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

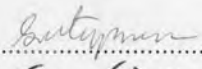
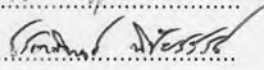
# # 4870499921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY / ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM / REPEATED POWER FLOW / FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEM

SATAPORN LIMPATTHAMAPANEE : AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY CALCULATION USING AN ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SOTDHIPONG PHICHASAWAT,PH.D., 154 pp.

This thesis proposes an input format of an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for available transfer capability (ATC) calculation by considering the effect of load condition and the effect of FACTS devices which influence to ATC. After that the suitable indices are specified as inputs of ANFIS. The proposed input format is tested with the 30 bus test system and the Thailand power system. The training data and the checking data are created by using a conventional ATC calculation method. After that ANFIS is trained by training data then checked with checking data. The same test is done by using an input format which has been proposed before. The thesis compares the ATC results from the both input formats.

It is found from the test results that the proposed input format can make ANFIS separate the power system conditions and send ATC which is similar to the checking ATC. Moreover, the proposed ANFIS input format also produces an ATC output error less than the ANFIS input format which has been proposed before.

Department	Electrical Engineering	Student's signature..... 
Field of study	Electrical Engineering	Advisor's signature..... 
Academic year	2006	Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสทธิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำต่าง ๆ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการนำเสนอหัวข้อวิจัยในครั้งนี้ และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล และ อาจารย์ ดร.กฤษศ อุดมวงศ์เสรี ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำเพิ่มเติมจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชา และ ผู้อำนวยการเขื่อนศรีนครินทร์ ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาบุคลากรในองค์กร ได้อนุญาตให้ผู้วิจัยลาศึกษาต่อโดยได้รับทุนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ขอขอบคุณพี่สมภพ อัยภูมมงคล ที่ให้คำแนะนำด้านเทคนิคจากประสบการณ์ในการทำงาน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างมาก ตลอดจนขอบคุณรุ่นพี่และรุ่นน้องในห้องปฏิบัติการทุกคนที่ทำให้กำลังใจและให้คำปรึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิบูลย์ และ คุณแม่สมคิด ลิมปีปัทมปาณี ที่อบรมเลี้ยงดู และปลูกฝังให้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการศึกษาตลอดมา จนสำเร็จการศึกษาและมีหน้าที่การงานจนถึงทุกวันนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	3
2. หลักการพื้นฐานของ ATC.....	5
2.1 นิยามของ ATC.....	5
2.2 การคำนวณค่า ATC.....	6
2.2.1 การคำนวณ TTC ควบคู่กับ TRM.....	6
2.2.2 การคำนวณ CBM.....	9
2.3 การคำนวณ ATC โดยคิดผลของอุปกรณ์ FACTS.....	9
2.3.1 การคำนวณ TTC โดยคิดผลของ SVC.....	10
2.3.2 การคำนวณ TTC โดยคิดผลของ TCSC.....	11
2.4 สรุป.....	12
3. หลักการพื้นฐานของฟัซซี.....	13
3.1 ฟัซซีเซต.....	13
3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและพารามิเตอร์.....	15
3.2.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม (Triangular MF).....	15
3.2.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal MF).....	15
3.2.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน (Gaussian MF).....	16
3.2.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆัง (Generalized bell MF).....	17

บทที่	หน้า
3.3 ตัวแปรภาษา.....	18
3.4 กฎของฟัซซี (fuzzy rule).....	18
3.5 ระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System,FIS).....	19
3.5.1 ระบบอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani.....	20
3.5.2 ระบบอนุมานฟัซซีแบบ Sugeno.....	22
3.6 สรุป.....	24
4. ระบบอนุมานนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้.....	25
4.1 โครงข่ายปรับตัวได้ (adaptive networks).....	25
4.2 โครงสร้างของ ANFIS.....	26
4.3 การฝึกสอน ANFIS.....	31
4.3.1 การหาคอนซีแควนซ์พารามิเตอร์.....	31
4.3.2 การหาพรีมิสพารามิเตอร์.....	33
4.3.2.1 อนุพันธ์ลำดับ (ordered derivative).....	33
4.3.2.2 Backpropagation.....	34
4.3.2.3 การคำนวณพรีมิสพารามิเตอร์.....	36
4.3.3 การฝึกสอนแบบไฮบริด (hybrid training).....	37
4.4 สรุป.....	38
5. การคำนวณ ATC ด้วย ANFIS.....	39
5.1 แนวคิดพื้นฐานในการคำนวณ ATC ด้วย ANFIS.....	39
5.2 การกำหนดเส้นทางอ้อมและบัสข้างเคียง.....	40
5.3 การกำหนดค่าเข้าของ ANFIS ในการคำนวณ ATC.....	41
5.4 ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ANFIS ในการคำนวณ ATC.....	43
5.5 การสร้างข้อมูลฝึกสอน.....	43
5.6 สรุป.....	44
6. การนำเสนอค่าเข้าของ ANFIS ในการคำนวณ ATC.....	45
6.1 สมมุติฐาน.....	45
6.2 ผลของการกำหนดค่าเข้าจำนวนมาก.....	46
6.2.1 จำนวนพรีมิสพารามิเตอร์.....	46
6.2.2 จำนวนกฎ.....	46



บทที่	หน้า
6.2.3 จำนวนคอนซีแวนท์พารามิเตอร์.....	47
6.3 ผลของการลดจำนวนตัวแปร.....	48
6.4 แนวคิดในการกำหนดค่าเข้าให้ ANFIS ในการคำนวณ ATC.....	51
6.4.1 ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัส.....	52
6.4.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัส.....	53
6.4.3 ค่าความสูญเสียในระบบ.....	53
6.5 วิธีการกำหนดค่าเข้าของ ANFIS ที่นำเสนอเพื่อใช้คำนวณค่า ATC.....	54
6.6 การกำหนดค่าเข้าในกรณีที่มีผลของอุปกรณ์ FACTS.....	55
6.6.1 กรณีติดตั้ง SVC.....	55
6.6.2 กรณีติดตั้ง TCSC.....	56
6.7 สรุป.....	56
7. การทดสอบคำนวณ ATC ด้วย ANFIS.....	57
7.1 การทดสอบรูปแบบขาเข้าของ ANFIS ที่แตกต่างกัน.....	57
7.1.1 รูปแบบขาเข้าในการทดสอบ.....	58
7.1.2 ระบบที่ใช้ทดสอบและการสร้างข้อมูลตัวอย่าง.....	59
7.1.3 การสร้าง ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบ.....	65
7.1.4 การตรวจสอบค่า ATC ขาออกจาก ANFIS.....	66
7.1.5 ผลการทดสอบ.....	69
7.1.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	73
7.1.7 สรุปผลการทดสอบ.....	73
7.2 การทดสอบรูปแบบขาเข้าของ ANFIS ในกรณีที่มี TCSC อยู่ในระบบ.....	73
7.2.1 รูปแบบขาเข้าในการทดสอบ.....	74
7.2.2 ระบบที่ใช้ทดสอบและการสร้างข้อมูลตัวอย่าง.....	75
7.2.3 การสร้าง ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบ.....	78
7.2.4 การตรวจสอบค่า ATC ขาออกจาก ANFIS.....	79
7.2.5 ผลการทดสอบ.....	79
7.2.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	84
7.2.7 สรุปผลการทดสอบ.....	84
7.3 การทดสอบชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แตกต่างกันในการคำนวณ ATC.....	85

บทที่	หน้า
7.3.1	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้ในการทดสอบ..... 85
7.3.2	ระบบที่ใช้ทดสอบและการสร้างข้อมูลตัวอย่าง..... 85
7.3.3	การสร้าง ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบ..... 85
7.3.4	การตรวจสอบค่า ATC ขาออกจาก ANFIS..... 86
7.3.5	ผลการทดสอบ..... 87
7.3.6	วิเคราะห์ผลการทดสอบ..... 91
7.3.7	สรุปผลการทดสอบ..... 91
7.4	การทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย..... 91
7.4.1	รูปแบบขาเข้าที่ใช้ในการทดสอบ..... 92
7.4.2	ระบบที่ใช้ทดสอบและการสร้างข้อมูลตัวอย่าง..... 92
7.4.3	การสร้าง ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบ..... 95
7.4.4	การตรวจสอบค่า ATC ขาออกจาก ANFIS..... 96
7.4.5	ผลการทดสอบ..... 96
7.4.6	วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....101
7.4.7	สรุปผลการทดสอบ.....101
7.5	สรุป.....102
8.	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....103
8.1	ข้อสรุป.....103
8.1.1	หลักการ.....103
8.1.2	สิ่งที่นำเสนอ.....103
8.1.3	การทดสอบ.....104
8.1.4	อุปสรรค.....104
8.2	ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป.....105
รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก.....	109
ภาคผนวก ก.....	110
ภาคผนวก ข.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	154

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 จำนวนพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่าง ๆ.....	46
6.2 เปรียบเทียบจำนวนพารามิเตอร์ของระบบที่มีจำนวนขาเข้าแตกต่างกัน.....	48
6.3 ชุดขาเข้าขาออกตัวอย่างที่ใช้ฝึกสอน ANFIS ตัวอย่างที่ 6.2.....	50
7.1 ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบหัวข้อที่ 7.1.....	66
7.2 ค่า RMSE จากการฝึกสอนแต่ละรอบในการทดสอบหัวข้อที่ 7.1.....	66
7.3 ผลการทดสอบหัวข้อที่ 7.1.....	72
7.4 ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบการกำหนดขาเข้าของ ANFIS ในกรณีที่มี TCSC อยู่ในระบบ	78
7.5 ค่า RMSE จากการฝึกสอนแต่ละรอบในการทดสอบหัวข้อที่ 7.2 .....	79
7.6 ผลการทดสอบหัวข้อที่ 7.2.....	83
7.7 ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบผลของชนิดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกต่อการคำนวณ ATC..	86
7.8 ค่า RMSE จากการฝึกสอนแต่ละรอบในการทดสอบหัวข้อที่ 7.3.....	86
7.9 ผลการทดสอบหัวข้อที่ 7.3.....	90
7.10 ANFIS ที่ใช้ในการทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย.....	95
7.11 ค่า RMSE จากการฝึกสอนแต่ละรอบเพื่อคำนวณค่า ATC จากบัส RB3 ไปยังบัส HY2.....	95
7.12 ค่า RMSE จากการฝึกสอนแต่ละรอบเพื่อคำนวณค่า ATC จากบัส MM3 ไปยังบัส KK1 .....	95
7.13 ผลการทดสอบคำนวณค่า ATC ด้วย ANFIS กับระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย..	100
ก.1 ข้อมูลโหลด 6 กรณีที่ใช้สร้างข้อมูลตัวอย่าง.....	110
ก.2 ข้อมูลกำลังการผลิต 6 กรณีที่ใช้สร้างข้อมูลตัวอย่าง.....	111
ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า.....	112
ก.4 ข้อมูลขาเข้าและขาออกที่ใช้ตรวจสอบในการทดสอบหัวข้อ 7.1.....	113
ก.5 ข้อมูลขาเข้าและขาออกที่ใช้ตรวจสอบในการทดสอบหัวข้อที่ 7.2.....	117
ข.1 ข้อมูลโหลดในสถานะความต้องการไฟฟ้าสูงสุด.....	126
ข.2 ข้อมูลโหลดในสถานะความต้องการไฟฟ้าต่ำสุด.....	138
ข.3 ข้อมูลกำลังการผลิตในสถานะความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	149
ข.4 ข้อมูลกำลังการผลิตในสถานะความต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำสุด.....	151

## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	แบบจำลองสภาวะอยู่ตัวของ SVC..... 10
2.2	แบบจำลองสภาวะอยู่ตัวของ TCSC..... 11
3.1	เซตแบบดั้งเดิม (ซ้าย) และฟัซซีเซต (ขวา)..... 14
3.2	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปต่าง ๆ
	ก.) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม..... 16
	ข.) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู..... 16
	ค.) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน..... 16
	ง.) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆัง..... 16
3.3	ผลการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆัง
	ก.) การเปลี่ยนพารามิเตอร์ $a$ ..... 17
	ข.) การเปลี่ยนพารามิเตอร์ $b$ ..... 17
	ค.) การเปลี่ยนพารามิเตอร์ $c$ ..... 17
	ง.) การเปลี่ยนพารามิเตอร์ $a$ และ $b$ ..... 17
3.4	ตัวแปรภาษา (อายุ) และค่าภาษา (หนุ่มสาว,วัยกลางคน,แก่)..... 18
3.5	แผนภาพแสดงโครงสร้างของระบบอนุมานแบบฟัซซี..... 20
3.6	ระบบอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani..... 21
3.7	ระบบอนุมานฟัซซีแบบ Sugeno..... 23
4.1	ตัวอย่างของ โครงข่ายปรับตัวได้..... 26
4.2	ระบบอนุมานฟัซซีแบบ Sugeno ที่มีจำนวนกฎ 4 กฎ..... 27
4.3	ระบบอนุมานนิเวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS)..... 27
4.4	ฟัซซีเซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม..... 28
5.1	ระบบ 3 บัต์..... 40
5.2	รูปแบบขาเข้า ANFIS ในการคำนวณ ATC ที่นำเสนอโดย Khairuddin et al. .... 42
5.3	รูปแบบขาเข้า ANFIS ในการคำนวณ ATC ที่นำเสนอโดย Vinod Kumar et al..... 43
6.1	ANFIS ในตัวอย่างที่ 6.2..... 49
6.2	ฟัซซีเซตของ $x$ หลังจากผ่านการฝึกสอน..... 50
6.3	ผลการคำนวณค่า $y$ ของ ANFIS เปรียบเทียบกับค่า $y$ ของข้อมูลตัวอย่าง..... 51
6.4	ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า $y$ ของ ANFIS กับค่า $y$ ของข้อมูลตัวอย่าง..... 51

รูปที่	หน้า
6.5	รูปแบบขาเข้าของ ANFIS ที่นำเสนอ เพื่อใช้คำนวณค่า ATC..... 55
6.6	รูปแบบขาเข้าของ ANFIS ที่นำเสนอ เพื่อใช้คำนวณค่า ATC โดยรวมผลของ TCSC..... 56
7.1	ขาเข้าของ ANFIS รูปแบบที่ 1 สำหรับหัวข้อ 7.1..... 58
7.2	ขาเข้าของ ANFIS รูปแบบที่ 2 สำหรับหัวข้อ 7.1..... 58
7.3	ขาเข้าของ ANFIS รูปแบบที่ 3 สำหรับหัวข้อ 7.1..... 59
7.4	ขาเข้าของ ANFIS รูปแบบที่ 4 สำหรับหัวข้อ 7.1..... 59
7.5	ระบบทดสอบ 30 บัส..... 60
7.6	ขั้นตอนในการคำนวณ ATC..... 61
7.7	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 1 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.1 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 69
7.8	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 2 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.1 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 70
7.9	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 3 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.1 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 71
7.10	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 4 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.1 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 72
7.11	รูปแบบที่ 1 ของ ANFIS ที่ทดสอบในหัวข้อที่ 7.2..... 74
7.12	รูปแบบที่ 2 ของ ANFIS ที่ทดสอบในหัวข้อที่ 7.2..... 74
7.13	รูปแบบที่ 3 ของ ANFIS ที่ทดสอบในหัวข้อที่ 7.2..... 75
7.14	รูปแบบที่ 4 ของ ANFIS ที่ทดสอบในหัวข้อที่ 7.2..... 75
7.15	ขั้นตอนในการคำนวณค่า ATC ในกรณีที่มี TCSC ติดตั้งในระบบ..... 77
7.16	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 1 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.2 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 80
7.17	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 2 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.2 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 81
7.18	ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 3 ของการทดสอบในหัวข้อที่ 7.2 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ..... 82

รูปที่	หน้า
7.19 ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ขาเข้ารูปแบบที่ 4 เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	83
7.20 ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขาเข้ารูปสามเหลี่ยม เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	87
7.21 ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขาเข้ารูปสี่เหลี่ยมคางหมู เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	88
7.22 ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขาเข้ารูปประฆัง เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	89
7.23 ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขาเข้าแบบเกาส์เซียน เทียบกับค่า ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	90
7.24 ขาเข้ารูปแบบเก่า.....	92
7.25 รูปแบบขาเข้าที่นำเสนอ.....	92
7.26 ขั้นตอนในการคำนวณค่า ATC ด้วยวิธี RPF ทวนคู่กับวิธี bisection.....	93
7.27 ค่า ATC ระหว่างบัส RB3 ไปยัง HY2 ซึ่งได้จาก ANFIS ที่ใช้รูปแบบขาเข้าแบบเก่าเทียบกับ ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	97
7.28 ค่า ATC ระหว่างบัส RB3 ไปยัง HY2 ซึ่งได้จาก ANFIS ที่ใช้รูปแบบขาเข้าที่นำเสนอเทียบกับ ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	98
7.29 ค่า ATC ระหว่างบัส MM3 ไปยัง KK1 ซึ่งได้จาก ANFIS ที่ใช้รูปแบบขาเข้าแบบเก่าเทียบกับ ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	99
7.30 ค่า ATC ระหว่างบัส MM3 ไปยัง KK1 ซึ่งได้จาก ANFIS ที่ใช้รูปแบบขาเข้าที่นำเสนอเทียบกับ ATC ในข้อมูลตรวจสอบ.....	100