


การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียม



นาย พิพัฒน์ จิตรนำทรัพย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

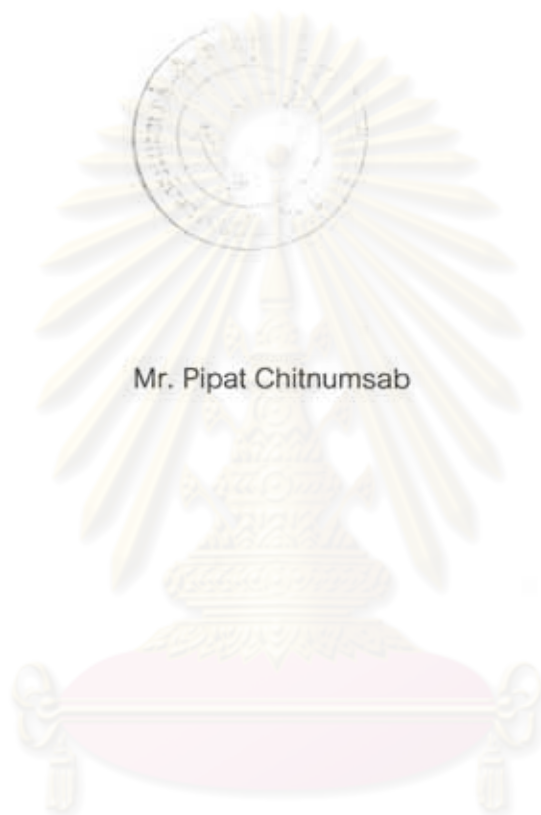
ISBN 974-17-1464-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

120698240

14 ก.ค. 2547

PARAMETER TUNING OF THE CONVENTIONAL POWER SYSTEM STABILIZER
BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK



Mr. Pipat Chitnumsab

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2002

ISBN 974-17-1464-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบ
ธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

โดย

นายพิพัฒน์ จิตรนำทรัพย์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

Alida

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ดร.ไพโรจน์ เสงี่ยมาน ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

ดร.ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์)

นายวุฒินันท์ สุรพลชัย กรรมการ
(นายวุฒินันท์ สุรพลชัย)

พิพัฒน์ จิตรนำทรัพย์: การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียม. (PARAMETER TUNING OF THE CONVENTIONAL POWER SYSTEM STABILIZER BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. ทรงศักดิ์ ชูชนพิพัฒน์ จำนวนหน้า 233 หน้า. ISBN 974-17-1464-5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับ การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียม โดยเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้คือเครือข่ายฟังก์ชันมูลฐานแนวล้อม ซึ่งเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟังก์ชันมูลฐานแนวล้อมภายในเครือข่ายประสาทเทียมคือ จุดศูนย์กลางและตัวประกอบการกระจาย ด้วยวิธีการกำลังสองน้อยสุดแบบตั้งฉากที่มีการปรับค่าได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธีการกำลังสองน้อยสุดแบบตั้งฉาก เพื่อให้เครือข่ายประสาทเทียมมีขนาดเล็กลงและมีความสามารถในการจำลองคุณลักษณะของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่สถานะการทำงานต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือเครือข่ายประสาทเทียมถูกนำใช้ชดเชยความผิดพลาดของแบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะการทำงานหรือเกิดเหตุการณ์จำลองต่างๆ อันทำให้ประสิทธิภาพของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวลดลง ขณะที่ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียมสามารถปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อทำให้สามารถหน่วงการแกว่งของระบบได้ดีกว่าในสถานะการทำงานหรือเหตุการณ์จำลองดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต..... *พิพัฒน์ จิตรนำทรัพย์*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *ทรงศักดิ์ ชูชนพิพัฒน์*.....

4270682821 :MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: POWER SYTEM STABILIZER / ARTIFICIAL NEURAL NETWORK / RADIAL
BASIS FUNCTION / PSS TUNING / ADAPTIVE ORTHOGONAL LEAST
SQUARE

PIPAT CHITNUMSAB : PARAMETER TUNING OF THE CONVENTIONAL
POWER SYSTEM STABILIZER BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK.

THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROF. SUKUMVIT PHOOMVUTHISARN,
Ph.D., THESIS COADVISOR : SONGSAK CHUSANAPIPUTT, Ph.D.,
233 pp. ISBN 974-17-1464-5.


This thesis presents on the parameter tuning of the Conventional Power System Stabilizer (CPSS) by Artificial Neural Network (ANN). The ANN in the thesis is Radial Basis Function Network (RBFN), whose parameters are chosen by Adaptive Orthogonal Least Squares (Adaptive OLS) method. The Adaptive OLS method is developed from the Orthogonal Least Squares (OLS) method to reduce the neural network size and to identify nonlinear relationship between the parameters for tuning CPSS and loading conditions of generator. The ANN is applied to compensate the error of linear model of power system where a fixed-parameter CPSS is analyzed. When the system condition is changed, this makes the fixed-parameter CPSS has less efficient than a varied-parameter CPSS by ANN.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Electrical Engineering

Field of study: Electrical Engineering

Academic year 2002

Student's signature 

Advisor's signature 

Co-advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยความช่วยเหลือสนับสนุนเป็นอย่างดีจากผู้ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ กองวางแผนระบบส่งไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาต่อ อีกทั้งสนับสนุนโปรแกรม PSS/E เพื่อใช้ในการงานศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษารองศาสตราจารย์ ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และอาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์ที่คอยให้คำแนะนำแนวทางการศึกษาแก่ผู้วิจัย และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างเต็มที่ ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยอาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ ประธานกรรมการ และคุณวุฒินันท์ สุพลชัย กรรมการที่ได้สละเวลาในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ดร.บุญเสริม แจ่มอรุณ ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง และทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียมเป็นอย่างดี ทำให้ผู้วิจัยมีความเข้าใจและพัฒนางานวิจัยนี้ได้จนสำเร็จ

นอกจากนั้น ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่แสดงความห่วงใย และให้กำลังใจเป็นประจำ ทำให้ผู้วิจัยมีความมานะพยายามในการศึกษาวิจัยจนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลที่คอยให้กำลังใจและเป็นคนสำคัญที่สุดในการผลักดันงานวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี แม้หลายครั้งผู้วิจัยเกิดความท้อแท้ ลังเลในการศึกษาวิจัยในบางช่วงเวลา ขอยกความดีที่ได้จากงานศึกษาวิจัยครั้งนี้ให้แก่ภรรยาในอนาคตคนนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
พิพัฒน์ จิตรนำทรัพย์
กันยายน 2545
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2 ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา.....	10
2.1 ที่มาของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา.....	10
2.2 ชนิดของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา.....	17
2.3 หลักเกณฑ์ในการศึกษาสมรรถนะของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง.....	20
3 เครื่องข่ายประสาทดัดเทียม.....	24
3.1 ที่มาของเครื่องข่ายประสาทดัดเทียม.....	24
3.2 แบบจำลองพื้นฐานและกฎการเรียนรู้ของเครื่องข่ายประสาทดัดเทียม.....	26
3.3 ชนิดของเครื่องข่ายประสาทดัดเทียม.....	35
3.4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องข่ายประสาทดัดเทียม.....	38
4 การประยุกต์เครื่องข่ายประสาทดัดเทียมแบบฟังก์ชันมูลฐานแนวลรีมี ในการปรับพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง.....	40
4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา.....	40
4.2 การเลือกพารามิเตอร์ภายในเครื่องข่ายฟังก์ชันมูลฐานแนวลรีมี.....	46
4.3 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา ด้วยเครื่องข่ายฟังก์ชันมูลฐานแนวลรีมี.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....	58
5.1 วิธีการทดสอบ.....	58
5.2 ผลการทดสอบ.....	61
5.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ.....	72
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	81
6.1 สรุปผล.....	81
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	233



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ณ

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงอัตราส่วนของเวลาที่ผลตอบขนาดต่างๆ ต่อเวลาที่ผลตอบมีขนาด ครั้งหนึ่งเพื่อใช้ในการหาอัตราภาระหน่วงและความถี่ธรรมชาติไร้การหน่วง.....	45
5.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการทดสอบ.....	59
5.2 ระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	61
ข.1 ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในเหตุการณ์จำลองทางพลวัต.....	89
ข.2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวกระตุ้นที่ใช้ในเหตุการณ์จำลองทางพลวัต.....	89
ค. ชุดข้อมูลการฝึกฝนเครือข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของ ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา.....	90
ง.1 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 1.....	112
ง.2 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 2.....	113
ง.3 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 3.....	114
ง.4 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 4.....	115
ง.5 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 5.....	116
ง.6 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 6.....	117
ง.7 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 7.....	118
ง.8 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 8.....	119
ง.9 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 9.....	120
ง.10 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 10.....	121
ง.11 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 11.....	122
ง.12 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 12.....	123
ง.13 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 13.....	124
ง.14 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 14.....	125
ง.15 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 15.....	126
ง.16 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 16.....	127
ง.17 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 17.....	128
ง.18 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 18.....	129
ง.19 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 19.....	130
ง.20 ตารางแสดงผลลัพธ์การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 20.....	131

สารบัญญภาพ

ญ

รูปที่		หน้า
1.1	ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าด้วย เครือข่ายประสาทยืดแบบฟังก์ชันมูลฐานแนวรัศมีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....	3
1.2	แนวคิดของการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทยืดเพื่อปรับ ค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา.....	4
1.3	ระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับบัสอนันต์.....	6
1.4	ระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักร.....	6
1.5	แบบจำลองตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่าย.....	7
1.6	แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง แบบปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทยืด.....	8
2.1	แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับ บัสอนันต์ผ่านทางอิมพีแดนซ์ภายนอกแบบไม่มีการควบคุม.....	13
2.2	กราฟแสดงค่าคงที่ K_1 - K_6 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลดต่างๆ.....	14
2.3	แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับ บัสอนันต์ผ่านทางอิมพีแดนซ์ภายนอกแบบมีการควบคุมทางด้านระบบการกระตุ้น.....	15
2.4	แบบจำลองตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบสัญญาณเข้าเดียว.....	17
2.5	แบบจำลองตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองสัญญาณเข้า.....	18
2.6	ตัวอย่างทางเดินรากของโหนดต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	21
2.7	แผนภาพโบเด่ระบบควบคุมการกระตุ้นที่มีและไม่มี ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง.....	22
3.1	แผนผังแสดงการทำงานของปมประสาทยืดทางชีวภาพแบบพื้นฐาน.....	24
3.2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปมประสาทยืดแบบ M-P.....	25
3.3	ตัวอย่างกราฟฟังก์ชันการรวมที่ใช้กันในเครือข่ายประสาทยืด.....	28
3.4	ชนิดพื้นฐานของการเชื่อมโยงของหน่วยจัดการในเครือข่ายประสาทยืดที่ใช้กัน.....	29
3.5	โครงสร้างศูนย์กลางหนึ่งกระจายไปโดยรวม หรือยับยั้งแบบข้าง.....	30
3.6	กฎการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทยืด.....	32
3.7	กฎการเรียนรู้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักโดยทั่วไป.....	33
3.8	แบบจำลองของปมประสาทยืด.....	35
3.9	แบบจำลองของหน่วยรับรู้หลายชั้นอย่างง่าย.....	36

สารบัญญภาพ (ต่อ)

๘

รูปที่	หน้า
3.10	เครื่องข่ายฟังก์ชันมูลฐานแนวรัศมี.....37
4.1	ฟังก์ชันการหน่วงอุดมคติ.....40
4.2	แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์แรงบิดหน่วง.....41
4.3	แผนภาพกรอบแสดงรายละเอียดการสร้างแรงบิดหน่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....41
4.4	แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์กำลังเร่งกับความเร็.....43
4.5	แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้ากับความเร็.....43
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ (4.2.5).....48
4.7	แผนผังแสดงขั้นตอนการใช้งานวิธีการกำลังสองน้อยสุดแบบตั้งจากอย่างง่าย.....51
4.8	ข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องข่ายฟังก์ชันมูลฐานแนวรัศมีที่ใช้ใน แบบจำลองของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง.....55
4.9	แบบจำลองของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ ด้วยเครื่องข่ายฟังก์ชันมูลฐานแนวรัศมีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....56
5.1	ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 1 เมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอรฺยูนิต.....62
5.2	ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 เมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอรฺยูนิต.....63
5.3	ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 1 เมื่อลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอรฺยูนิต.....64
5.4	ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 เมื่อลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอรฺยูนิต.....65
5.5	ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 สัมพันธ์กับ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 1 เมื่อเพิ่มโหลดที่บัล 5 ขนาด 10 เปอรฺเซ็นต์.....66
5.6	ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 เมื่อลดโหลดที่บัล 5 ขนาด 10 เปอรฺเซ็นต์.....67
5.7	ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 สัมพันธ์กับ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 1 เมื่อเพิ่มโหลดที่บัล 5 ขนาด 10 เปอรฺเซ็นต์.....68

สารบัญภาพ (ต่อ)

๗

รูปที่	หน้า	
5.8	ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เมื่อลดโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซนต์.....	69
5.9	ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพันธ์กับ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5.....	68
5.10	ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เมื่อเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5.....	69
ก	ไดอะแกรมแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของระบบเก๊าบัส.....	88
ง.1	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 1.....	112
ง.2	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 2.....	113
ง.3	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 3.....	114
ง.4	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 4.....	115
ง.5	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 5.....	116
ง.6	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 6.....	117
ง.7	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 7.....	118
ง.8	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 8.....	119
ง.9	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 9.....	120
ง.10	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 10.....	121
ง.11	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 11.....	122
ง.12	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 12.....	123
ง.13	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 13.....	124
ง.14	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 14.....	125
ง.15	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 15.....	126
ง.16	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 16.....	127
ง.17	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 17.....	128
ง.18	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 18.....	129
ง.19	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 19.....	130
ง.20	แผนภาพการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรกรณีที่ 20.....	131

