การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น

นาย รุ่งโรจน์ รุ่งเรือง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-742-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19263394 - 1 ต.ค. 2546

AN OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR TUNING POWER SYSTEM STABILIZER PARAMETERS BY LINEAR PROGRAMMING

Mr. Roongroj Roongruang

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 974-333-742-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น
โดย	นายรุ่งโรจน์ รุ่งเรือง
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ ชุษณพิพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ ชุษณพิพัฒน์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์)

รุ่งโรจน์ รุ่งเรือง : การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น (AN OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR TUNING POWER SYSTEM STABILIZER PARAMETERS BY LINEAR PROGRAMMING) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ทรงศักดิ์ ชุษณพิพัฒน์, 130 หน้า. ISBN 974-333-742-3

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้น ระบบไม่เชิงเส้นในช่วงเสถียรภาพของสัญญาณขนาดเล็กจะถูกประมาณให้มีลักษณะเชิงเส้นจากนั้นจึงพิจารณาเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับของระบบเชิงเส้นนี้ และใช้หลักการของความไวของค่าเจาะจงที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าเจาะจงของเมตริกซ์ของระบบให้มีการเปลี่ยนแปลงส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นมีค่าเป็นลบและลดฟังก์ชันเป้าหมายให้ต่ำที่สุด ส่วนเงื่อนไขบังคับกำหนดโดยค่าเจาะจงที่เหลือและลักษณะของการแกว่งของระบบ

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

4170482521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: POWER SYSTEM STABILIZER / EIGENVALUE SENSITIVITY / LINEAR PROGRAMMING / SMALL-SIGNAL STABILITY
ROONGROJ ROONGRUANG: AN OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR TUNING POWER SYSTEM STABILIZER PARAMETERS BY LINEAR PROGRAMMING. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. SUKUMVIT PHOOMVUTHISARN, Ph.D. THESIS COADVISOR: SONGSAK CHUSANAPIPUTT, Ph.D. 130 pp. ISBN 974-333-742-3

In this thesis, an optimization technique for tuning power system stabilizer parameters by linear programming is presented. A nonlinear system is linearized to a linear system in small signal stability. Asymptotical stability is considered in the linear system. Concept of the method is based on eigenvalue sensitivity, which can explain the variation of system matrix's eigenvalues. The minimization problem takes the variation of the real part of the dominant eigenvalue, which must be nagative and decreasing, as an objective function. The constraints are determined by another eigenvalues and swing mode of the system matrix.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ ชุษณพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ และ อาจารย์ ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ของ มูลนิธิดีสวัสดิ์มงคล และรองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา – มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

รุ่งโรจน์ รุ่งเรือง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ 2

1.2 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ 3

1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 4

2 หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ 5

2.1 พื้นฐานทางเสถียรภาพของระบบ 5

2.1.1 การประมาณระบบเป็นระบบเชิงเส้น 6

2.1.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ 8

2.2 ความไวของค่าเจาะจง 9

2.3 สมการสภาวะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อรวมผลของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11

3 การวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 14

3.1 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส 14

3.2 การแปลงแบบ dq0 18

3.3 การแสดงค่าในปริมาณต่อหน่วย 21

3.1.1 คิดค่าฐานทางด้านของสเตเตอร์ 21

3.1.2 คิดค่าฐานทางด้านของโรเตอร์ 22

3.1.3 สรุปสมการทางไฟฟ้าในปริมาณต่อหน่วย 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4 สมการการเคลื่อนที่	24
	3.5 แบบจำลองอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	26
	3.6 แบบจำลองคลาสสิคอล	29
	3.7 การพิจารณาเสถียรภาพในสภาวะสัญญาณขนาดเล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งต่อกับบัสอนันต์	32
	3.8 ตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	45
4	สมการความไวของค่าเจาะจงของวงจรกระตุ้น	46
	4.1 แบบจำลองอย่างง่ายของวงจรกระตุ้น	47
	4.2 แบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR	51
	4.3 แบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless	55
	4.4 แบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท General Electric NA143	59
5	การทำโปรแกรมเชิงเส้นปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ	63
	5.1 ฟังก์ชันเป้าหมาย	63
	5.2 ขั้นตอนในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในการติดตั้งตัวปรับเสถียรภาพ	64
	5.3 การกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย	68
	5.4 การกำหนดเงื่อนไขบังคับ	69
6	ตัวอย่างระบบทดสอบ	72
	6.1 ระบบทดสอบที่ 1	72
	6.2 ระบบทดสอบที่ 2	85
	6.3 ระบบทดสอบที่ 3	90
7	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	95
	7.1 บทสรุป	95
	7.2 ข้อเสนอแนะ	95
รายการอ้างอิง		97
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก.	101
	ภาคผนวก ข.	107
	ภาคผนวก ค.	111
ประวัติผู้วิจัย		118

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1.1ค่าเจาะจงและพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของระบบ
ในตัวอย่าง 5.1 เมื่อผ่านการทำโปรแกรมเชิงเส้น 68

6.1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบที่ 1 72

6.2 ข้อมูลของหม้อแปลงและสายส่งของระบบทดสอบที่ 1 73

6.3 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเชิงเส้นของระบบทดสอบที่ 1 73

6.4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพในกรณีใช้แบบจำลองของ
วงจรกระตุ้นอย่างง่ายของระบบทดสอบที่ 1 ก่อนและหลังการทำ
โปรแกรมเชิงเส้น 74

6.5 ค่าเจาะจงก่อนและหลังการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ
ในกรณีใช้แบบจำลองวงจรกระตุ้นอย่างง่ายของระบบทดสอบที่ 1 74

6.6 พารามิเตอร์ของวงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless ของ
ระบบทดสอบที่1 77

6.7 พารามิเตอร์ของวงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR ของ
ระบบทดสอบที่1 77

6.8 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท
Westinghouse Brushless ของระบบทดสอบที่ 1 77

6.9 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท
General Electric SCR ของระบบทดสอบที่ 1 78

6.10 ค่าเจาะจงก่อนและหลังการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ
ในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless ของระบบ
ทดสอบที่ 1 78

6.11 ค่าเจาะจงก่อนและหลังการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ
ในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR ของระบบ
ทดสอบที่ 1 78

6.12 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบที่ 2 85

6.13 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless ของ
ระบบทดสอบที่ 2 85

6.14 ข้อมูลของหม้อแปลงและสายส่งของระบบทดสอบที่ 2 85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.15 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเชิงเส้นของระบบทดสอบที่ 2 86

6.16 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของระบบทดสอบที่ 2 ก่อน และหลังการทำโปรแกรมเชิงเส้น 87

6.17 ค่าเจาะจงก่อนและหลังการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ ของระบบทดสอบที่ 2 87

6.18 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบที่ 3 90

6.19 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR ของ ระบบทดสอบที่ 3 90

6.20 ข้อมูลของหม้อแปลงและสายส่งของระบบทดสอบที่ 3 90

6.21 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเชิงเส้นของระบบทดสอบที่ 3 91

6.22 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของระบบทดสอบที่ 3 ก่อน และหลังการทำโปรแกรมเชิงเส้น 92

6.23 ค่าเจาะจงก่อนและหลังการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ ของระบบทดสอบที่ 3 92

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

3.1 ไดอาแกรมโครงสร้างของเครื่องจักรกลซิงโครนัส 14

3.2 วงจรโรเตอร์และสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 16

3.3 เฟสเซอร์ไดอาแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส 28

3.4 แบบจำลองชั่วครู่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30

3.5 เฟสเซอร์ไดอาแกรมของแบบจำลองชั่วครู่ในแกน R-I และในแกน d-q 31

3.6 แบบจำลองชั่วแวบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32

3.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อกับบัสอนันต์ 33

3.8 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อกับบัสอนันต์ 33

3.9 แบบจำลองคลาสสิคอลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อกับบัสอนันต์ 33

3.10 ลักษณะสมบัติของการอิ่มตัว 36

3.11 แผนภาพกรอบของตัวกระตุ้น 43

3.12 แผนภาพกรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 44

3.13 แผนภาพกรอบของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 45

4.1 แผนภาพกรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อติดตั้งตัวปรับเสถียรภาพ 46

4.2 แผนภาพกรอบของของวงจรกระตุ้นที่มีแบบจำลองอย่างง่าย 47

4.3 แผนภาพกรอบของวงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR 51

4.4 แผนภาพกรอบของวงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless 55

4.5 แผนภาพกรอบของวงจรกระตุ้นประเภท General Electric NA 143 59

5.1 ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ 66

5.2 การเปลี่ยนแปลงของ $\Delta\delta$ เมื่อเทียบกับเวลา 70

5.3 การเปลี่ยนแปลงของ $\Delta\omega$ เมื่อเทียบกับเวลา 71

6.1 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบทดสอบที่ 1 72

6.2 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการหน่วงและส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นในกรณีใช้แบบจำลองวงจรกระตุ้นอย่างง่ายของระบบทดสอบที่ 1 73

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\delta$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนในกรณีใช้แบบจำลองวงจรกระตุ้นอย่างง่ายของระบบทดสอบที่ 1 75

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\omega$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนในกรณีใช้แบบจำลองวงจรกระตุ้นอย่างง่ายของระบบทดสอบที่ 1 76

6.5 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการหน่วงและส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless ของระบบทดสอบที่ 1 79

6.6 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการหน่วงและส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR ของระบบทดสอบที่ 1 79

6.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\delta$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless ของระบบทดสอบที่ 1 81

6.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\omega$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless ของระบบทดสอบที่ 1 82

6.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\delta$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR ของระบบทดสอบที่ 1 83

6.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\omega$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนในกรณีใช้วงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR ของระบบทดสอบที่ 1 84

6.11 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบทดสอบที่ 2 85

6.12 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการหน่วงและส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นของระบบทดสอบที่ 2 86

6.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\delta$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนของระบบทดสอบที่ 2 88

6.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\omega$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนของระบบทดสอบที่ 2 89

6.15 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบทดสอบที่ 3 90

6.16 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการหน่วงและส่วนจริงของค่าเจาะจงที่เด่นของระบบทดสอบที่ 3 91

6.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\delta$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนของระบบทดสอบที่ 3 93

6.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\omega$ กับเวลาเมื่อเกิดการรบกวนของระบบทดสอบที่ 3 94