

การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจายในระบบไฟฟ้ากำลัง 2 เขต
ด้วยการย้อนกลับสัญญาณออก

นาย สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-257-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014160

117420171

Decentralized Load-Frequency Control of 2-Area Power Systems
via Output Feedback

Mr. Suchin Arunsawatwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-569-257-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจายในระบบไฟฟ้ากำลัง 2 เขต

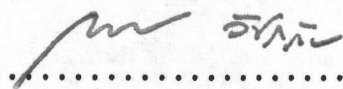
ด้วยการบ่อนกลับสัญญาณออก

โดย นาย สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์


ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

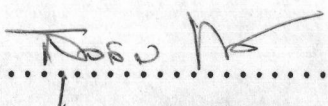
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัลย์ กลั่นความดี

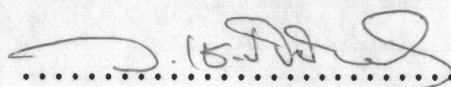
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

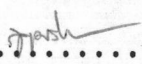

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญบุบ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัลย์ กลั่นความดี)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรากรณ์ เขาวีวิชิต)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

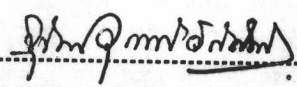
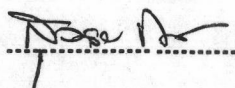


พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ลูชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ : การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจายในระบบไฟฟ้ากำลัง 2 เขตด้วยการป้อนกลับสัญญาณออก (DECENTRALIZED LOAD-FREQUENCY CONTROL OF 2-AREA POWER SYSTEMS VIA OUTPUT FEEDBACK) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุวลัย กลั่นความดี, 134 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมเชิงเส้นแบบกระจายสำหรับการควบคุมระบบขนาดใหญ่ที่มีระบบย่อยสองระบบเชื่อมโยงกันโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจ ระบบย่อยแต่ละระบบมีการวัด, ผู้ตัดสินใจ และดัชนีสมรรถนะที่ใช้ในการตัดสินใจ เป็นของตัวเอง เพื่อความเหมาะสมในการปฏิบัติจริงตัวควบคุมถูกจำกัดให้ใช้การป้อนกลับเฉพาะท้องถิ่น ปัญหาดังกล่าวสามารถพิจารณาเป็นทฤษฎีการเลี้ยงเชิงอนุพันธ์ที่มีโครงสร้างสารนิเทศแบบไม่ซ้ำซ้อน กลยุทธ์ของ Stackelberg ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบคงที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ออกแบบตัวควบคุม เงื่อนไขจำเป็นของคำตอบได้ถูกคิดขึ้นและนำเสนอพร้อมกับขั้นตอนวิธีที่ใช้คำนวณคำตอบเชิงตัวเลขของปัญหาดังกล่าว การประยุกต์แนวความคิดที่เสนอในการออกแบบระบบควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตได้ทำขึ้นเป็นกรณีศึกษาโดยการจำลองเชิงเลขผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ และแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการใช้ทฤษฎีดังกล่าวในการควบคุมระบบขนาดใหญ่ กล่าวคือ ตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยทฤษฎีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบให้ดีขึ้นกว่าตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน โดยที่โครงสร้างของตัวควบคุมดังกล่าว เรียบง่ายเหมาะสมในการปฏิบัติจริง ทั้งยังให้สมรรถนะของระบบโดยทั่วไปดีกว่าตัวควบคุมแบบกระจายที่ได้ทำการเปรียบเทียบด้วยกัน

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา ๒๕๓๐

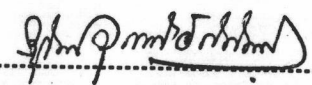
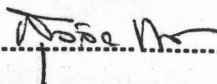
ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

SUCHIN ARUNSAWATWONG : DECENTRALIZED LOAD-FREQUENCY CONTROL OF
2-AREA POWER SYSTEMS VIA OUTPUT FEEDBACK : ASSOC. PROF. SUVALAI
GLANKWAMDEE, Ph.D. 134 PP.

In this thesis a sequential theoretic decision approach to decentralized control of an interconnection between two subsystems is investigated. Each subsystem associated with a decision maker and an individual performance index has its own measurements. For the sake of more realistic situation, each controller is constrained to employ only local output feedback. It can be considered as a differential game problem with non-nested information structure. Hence, Stackelberg strategies using constant output feedback for a linear system with quadratic performance indices are developed. The necessary conditions for the solution are analytically derived and the new computational algorithms are also given. To illustrate the feasibility of the application using the proposed concept, digital simulation studies on regulator design of 2-Area load-frequency control are performed in comparison with previously proposed schemes. The results have shown that the new decentralized control scheme, in addition to employing suitable controller structure for implementation, provides significant improvement in the system transients upon the conventional one.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย กลั่นความดี อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และช่วยเหลือด้านคำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการ
วิจัยด้วยดี รวมทั้งให้กำลังใจในการทำงานวิจัยแก่ผู้เขียนเป็นอย่างมาก ขอขอบพระคุณ
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร. จรวย บุญบุล รองศาสตราจารย์
สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เขาวีดิษฐ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ
รวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณโรภาส นานิตย์กุล ชิสเต็ม
โอเปอเรเตอร์ของศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำเรื่องโปรแกรมจน
งานวิจัยนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้
ท้ายนี้ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และ
ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญตาราง	ฅ
	สารบัญภาพ	ญ
	บทที่	
1	บทนำ	1
	กล่าวนำปัญหา	1
	จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์	3
	ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	4
	วิธีการดำเนินงาน	5
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	6
2	การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลด	7
	บทนำ	7
	LFC แบบรวมศูนย์	9
	LFC แบบกระจาย	13
	ข้อสรุปทั่วไป	16
3	การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบรวมศูนย์	25
	ข้อสรุปทั่วไปของทฤษฎีตัวคงค่าเชิงเส้นแบบเล็งเลิศ	25
	ตัวควบคุมแบบเล็งเลิศที่ใช้การบ่อนกลับสถานะ	25
	ตัวควบคุมแบบเล็งเลิศที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออก	26
	LFC แบบรวมศูนย์ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขต	29
	โมเดลของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตที่ใช้และ LFC แบบที่นิยมใช้กัน	29
	การควบคุมระบบ LFC ด้วยการบ่อนกลับสถานะแบบสัดส่วนอินทิกรัล	32
	การควบคุมระบบ LFC ด้วยการบ่อนกลับสัญญาณออกแบบสัดส่วนอินทิกรัล .	33
	สรุป	35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจาย	42
	บทนำ	42
	LFC แบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977)	43
	สรุป	47
5	การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบกระจายด้วยการบ่อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg	54
	ทฤษฎีการเสี่ยงเชิงอนุพันธ์	54
	กลยุทธ์ของ Nash	55
	กลยุทธ์ของ Stackelberg	55
	กลยุทธ์ของ Stackelberg ที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกแบบคงที่	56
	ขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบ	59
	การตัดสินใจระดับล่างของผู้ตาม	59
	การตัดสินใจระดับบนของผู้นำ	60
	การออกแบบตัวควบคุมแบบกระจายสำหรับระบบ LFC สองเขต	62
	สรุป	67
6	บทสรุปของวิทยานิพนธ์	83
	ขั้นตอนของงานวิจัยที่ได้ทำ	83
	เปรียบเทียบการใช้ตัวควบคุมแบบต่าง ๆ	84
	ข้อเสนอแนะ	86
	เอกสารอ้างอิง	93
	ภาคผนวก	99
	ภาคผนวก ก โหมดระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขต	100
	ภาคผนวก ข เอกลักษณ์สำคัญที่เกี่ยวกับผลบวกเฉียงของเมตริกซ์	105
	ภาคผนวก ค โปรแกรมที่นำใช้	106
	ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญญัตราสาร

ตาราง		หน้า
3.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของตัวควบคุมระหว่าง แบบที่นิยมใช้กัน, แบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะ และ แบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	41
4.1	แสดงค่าไอเกินของระบบ LFC ที่ใช้ตัวควบคุมระหว่างแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะ และ แบบกระจายที่คำนวณได้	51
4.2	แสดงค่าไอเกินที่เลือกใช้ในการคำนวณตัวควบคุมแบบกระจาย พร้อมทั้งค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้	52
4.3	แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของตัวควบคุมระหว่างแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก และ แบบกระจายที่คำนวณได้	53
5.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของตัวควบคุมที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg ระหว่างกรณีต่าง ๆ	82
6.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของตัวควบคุมระหว่างแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก และ แบบที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg	92
ก.1	อธิบายสัญลักษณ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในโมเดลของระบบ LFC	104

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแต่ละ เขต	17
2.2	ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสอง เขต	18
2.3	ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสามเขต	18
2.4	แผนภาพแสดงการทำงานของกัฟเวอร์เนอร์แบบ accelerotachometric	19
2.5	แผนภาพแสดงการทำงานของกัฟเวอร์เนอร์แบบ transient speed-droop	19
2.6	แผนภาพการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบที่นิยมใช้กัน	20
2.7	แผนภาพการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบสัดส่วนที่เสนอโดย Fosha et al. (1970)	20
2.8	แผนภาพการควบคุมระบบเชิงสวิตชิ่งโดยทฤษฎีบทการแยกคิด	21
2.9	แผนภาพการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดโดยการบ่อนกลับสถานะทั้งหมด	21
2.10	แผนภาพการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดโดยการบ่อนกลับสัญญาณออก	21
2.11	แผนภาพการควบคุมแบบกระจาย	22
2.12	แผนภาพการควบคุมแบบลำดับชั้น	22
2.13	แผนภาพระบบ LFC ที่เสนอโดย Venkateswarlu et al.(1977)	23
2.14	แผนภาพระบบ LFC ที่เสนอโดย Davison et al.(1978)	23
2.15	แผนภาพระบบ LFC ที่เสนอโดย Calovic et al.(1977)	24
3.1	ระบบไฟฟ้าสองเขตที่ใช้ศึกษานานาวิจัยของ Calovic (1971,1972,1973)	36
3.2	ผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน	36
3.3	ผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน	37
3.4	ผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน	37
3.5	ผลตอบชั่วครู่ของ w_1 และ w_2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน	38
3.6	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เลี้ยง เลิศที่ใช้การบ่อนกลับสถานะกับแบบเลี้ยง เลิศที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออก	38
3.7	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เลี้ยง เลิศที่ใช้การบ่อนกลับสถานะกับแบบเลี้ยง เลิศที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออก	39

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะกับแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	39
3.9	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะกับแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	40
3.10	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะกับแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	40
4.1	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	48
4.2	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	49
4.3	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	49
4.4	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	50
4.5	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก	50
5.1	โครงสร้างทั่วไปของ เกม เชิงอนุพันธ์	68
5.2	แผนภาพระบบเชิง เส้นที่ใช้การควบคุมแบบกระจายด้วยการป้อนกลับสัญญาณออก	68
5.3	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณี INSTKA1 และ INSTKA2	69
5.4	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณี INSTKA1 และ INSTKA2	69
5.5	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณี INSTKA1 และ INSTKA2	70
5.6	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณี INSTKA1 และ INSTKA2	70

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.7	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ w_2 ระหว่างกรณี INSTKA1 และ INSTKA2	71
5.8	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณี MSTKA1 และ MSTKA2	71
5.9	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณี MSTKA1 และ MSTKA2	72
5.10	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณี MSTKA1 และ MSTKA2	72
5.11	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ w_1 ระหว่างกรณี MSTKA1 และ MSTKA2	73
5.12	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ w_2 ระหว่างกรณี MSTKA1 และ MSTKA2	73
5.13	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของ STKLDA1 และ STKLDA2	74
5.14	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของ STKLDA1 และ STKLDA2	74
5.15	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของ STKLDA1 และ STKLDA2	75
5.16	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของ STKLDA1 และ STKLDA2	75
5.17	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของ STKLDA1 และ STKLDA2	76
5.18	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขตที่หนึ่ง เป็นผู้นำนเกมแบบ Stackelberg	76
5.19	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบซ้ำครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขตที่หนึ่ง เป็นผู้นำนเกมแบบ Stackelberg	77

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.20	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่หนึ่ง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	77
5.21	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ w_1 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่หนึ่ง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	78
5.22	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ w_2 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่หนึ่ง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	78
5.23	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่สอง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	79
5.24	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่สอง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	79
5.25	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่สอง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	80
5.26	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ w_1 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่สอง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	80
5.27	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ w_2 ระหว่างกรณีต่าง ๆ ที่มีเขต ที่สอง เป็นผู้นำในเกมแบบ Stackelberg	81
6.1	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับ สัญญาณออกแบบ Stackelberg	87
6.2	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับ สัญญาณออกแบบ Stackelberg	87
6.3	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับ สัญญาณออกแบบ Stackelberg	88
6.4	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนซ้ำครุ่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ	88

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
	เรียง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg	
6.5	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ เรียง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับ สัญญาณออกแบบ Stackelberg	89
6.6	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ กระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)	89
6.7	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ กระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)	90
6.8	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ กระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)	90
6.9	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ กระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)	91
6.10	แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบ กระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)	91
ก.1	โรงจักรพลังไอน้ำแบบ reheat	102
ก.2	โรงจักรพลังน้ำแบบเขื่อนกักเก็บน้ำ	102
ก.3	แสดงค่าของเมตริกซ์ต่าง ๆ ของโมเดลระบบ LFC	103