

บทสรุปของวิทยานิพนธ์

บทนี้เป็นการสรุปวิทยานิพนธ์ทั้งหมดที่ได้ทำมา โดยจะกล่าวถึง ขั้นตอนของงานวิจัย ผลของการใช้การควบคุมแบบต่าง ๆ และ เสนอแนะงานวิจัยที่น่าสนใจทำต่อไปในอนาคต

ขั้นตอนของงานวิจัยที่ได้ทำ

หลังจากได้กล่าวนำถึงปัญหา จุดประสงค์ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ที่ทำในบทที่ 1 แล้ว ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงข้อสรุปทั่วไปของปัญหา LFC หลังจากนั้นได้กล่าวถึงงานวิจัยของ LFC ที่ผ่านมามีทั้งแบบรวมศูนย์และแบบกระจายและได้พยายามชี้ให้เห็นว่าการควบคุมระบบ LFC ที่เหมาะสมในทางปฏิบัติจริงคือ การควบคุมแบบกระจายโดยเฉพาะที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก เฉพาะท้องถิ่น ต่อมาในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงทฤษฎีตัวควบคุมแบบ LQ และการนำทฤษฎีดังกล่าวมาใช้ปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ตามที่เสนอโดย Calovic (1972, 1973) และได้แสดงให้เห็นว่าทดแทนกันได้โดยผลตอบชั่วครู่ใกล้เคียงกันมาก แต่อย่างไรก็ตามตัวควบคุม LQ ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกสามารถลดข้อเสียของตัวควบคุมแบบเชิงเส้นที่ใช้การป้อนกลับสถานะ และสามารถใช้ตัวควบคุมแบบ LQ ที่เสนอสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้เฉพาะในทางทฤษฎีเท่านั้น ในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงการควบคุมระบบ LFC แบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977) และได้แสดงให้เห็นว่า การควบคุมแบบกระจายที่เสนอโดย Calovic สามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ที่มีสองเขตได้ โดยที่ตัวควบคุมมีโครงสร้างเรียบง่ายทำให้เป็นไปได้ที่จะนำมาใช้จริง แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายป้อนกลับของตัวควบคุมดังกล่าวสามารถหาได้ด้วยวิธีอื่น ๆ อีก และในบทที่ 5 ซึ่งเป็นหัวใจของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอทฤษฎีของการป้อนกลับสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg ที่ได้พัฒนาขึ้นและใช้ทฤษฎีดังกล่าวออกแบบตัวควบคุมแบบกระจายสำหรับระบบ LFC ที่มีสองเขต โดยตัวควบคุมจะใช้โครงสร้างสารนิเทศที่เหมือนกับที่เสนอโดย Calovic (1977) งานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ได้โดยตัวควบคุมมีโครงสร้างเรียบง่ายใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน ในตอนต่อไปจะเปรียบเทียบผลของการใช้การควบคุมแบบต่าง ๆ

เปรียบเทียบการใช้ตัวควบคุมแบบต่าง ๆ

การเปรียบเทียบที่ได้จากการใช้ตัวควบคุมแบบต่าง ๆ มีทั้งหมด 2 กรณีคือ

1) กรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg การเปรียบเทียบผลตอบชั่วคราวของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 ถึง 6.5 และผลของการคำนวณอัตราขยายของตัวควบคุมแสดงเปรียบเทียบกันในตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg สามารถให้สมรรถนะของระบบวงปิดที่ใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก จากตารางที่ 6.1 เห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบกระจายใช้จำนวนการป้อนกลับน้อยกว่าตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกทำให้ตัวควบคุมมีโครงสร้างเรียบง่าย ด้วยโครงสร้างของตัวควบคุมแบบกระจายดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงผลตอบชั่วคราวของระบบ LFC แบบที่นิยมใช้กันทำได้โดยการใช้กำลังขาออกของเทอร์โบในการป้อนกลับเพิ่มเติมจากการวัดที่มีอยู่เดิมในระบบ LFC แบบที่นิยมใช้กันซึ่งมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปทำให้เป็นจริง อัตราขยายป้อนกลับแบบสัดส่วนอินทิกรัลของตัวควบคุมสามารถคำนวณได้ทฤษฎีการตัดสินใจที่นำเสนอ ดังนั้นสรุปได้ว่าการใช้การควบคุมแบบกระจายที่เหมาะสมสามารถให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการควบคุมแบบเล็ง เลิศที่เป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์ แต่การควบคุมแบบกระจายจะมีข้อได้เปรียบเหนือการควบคุมแบบรวมศูนย์ในแง่ของการปฏิบัติจริง เมื่อโครงสร้างสารนิเทศแบบรวมศูนย์ไม่สามารถทำให้เป็นจริงในทางปฏิบัติดังเห็นได้จากกรณีศึกษาของ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตที่เชื่อมโยงกัน

2) กรณีของตัวควบคุมแบบกระจายที่เสนอโดย Calovic (1977) กับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก (เฉพาะ INSTKA1) การเปรียบเทียบผลตอบชั่วคราวของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 6.6 ถึง 6.10 ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าการคำนวณหาอัตราขยายป้อนกลับของตัวควบคุมด้วยการป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg จะให้สมรรถนะของระบบวงปิดที่ดีกว่าการคำนวณที่เสนอใน Calovic (1977) ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าหลักการของ Calovic (1977) เสนอนั้นเป็นการทำให้ نرمน้อยที่สุด โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ปริภูมิโอเก็นของระบบควบคุมแบบกระจายใกล้เคียงกับปริภูมิโอเก็นของระบบควบคุมแบบเล็ง เลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะทั้งหมด แต่การที่มีปริภูมิโอเก็นใกล้เคียงหรือเหมือนกับกรณีของการควบคุมแบบเล็ง เลิศไม่ได้รับประกันว่า จะมีผลตอบที่เหมือนกับกรณีของการควบคุมแบบเล็ง เลิศ เนื่องจากการที่ระบบวงปิดมีโพล (pole) ที่เหมือนกัน แต่ไม่จำเป็นต้องมีซีโร (zero) ที่เหมือน

กัน อาจกล่าวได้ว่าหลักการใน Calovic (1977) เป็นเทคนิคการออกแบบระบบควบคุมโดย
ใช้หลักการของทฤษฎีควบคุมแบบมีผลลัพธ์กับทฤษฎีตัวคงค่าแบบ LQ ส่วนหลักการที่นำเสนอ
ใช้หลักการของทฤษฎีตัวคงค่าแบบ LQ ซึ่งดัชนีสมรรถนะที่ใช้ตัดสินใจจะ เกี่ยวข้องกับการเบี่ยงเบน
ของผลตอบชั่วครู่ของระบบโดยตรง ส่วนการตัดสินใจเพื่อเลือกค่าอัตราขยายที่เหมาะสมของตัว
ควบคุมได้สร้างให้เป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีหลายเกณฑ์ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีการเสี่ยงเชิงอนุพันธ์มา
อธิบายถึงความเหมาะสมในเชิงกลยุทธ์ในการเล่น เกม แต่เนื่องจากการคำนวณดังกล่าวเป็น
การออปติไมซ์ที่มีสองขั้นตอน ดังนั้นการคำนวณคำตอบโดยทฤษฎีที่เสนอจึงใช้เวลามากกว่าการ
คำนวณใน Calovic (1977) จากการทำกรณีศึกษาดังกล่าวเห็นได้ว่าการใช้วิธีของ Calovic
(1977) เป็นการลองถูกลองผิดเนื่องจากคำตอบในการทำให้แอร์มน้อยที่สุด ไม่ได้รับประกันว่า
ระบบวงปิดที่ได้จะมีเสถียรภาพแบบแอสซิมโทติก ถึงแม้การคำนวณแต่ละครั้งจะใช้เวลาน้อยกว่า
มากเพราะคำตอบของการทำให้แอร์มน้อยที่สุดหาได้อยู่ในของรูปแบบปิด (closed form) แต่
จะต้องทำการลองหลายครั้ง เพื่อหาชุดของตัวถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ระบบวงปิดมีเสถียร
ภาพและได้ผลตอบที่เหมาะสม ผิดกับวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะรับประกันคำตอบที่ได้ว่า
มีเสถียรภาพเสมอ ดังนั้นถ้ามองในแง่ของผู้ออกแบบที่มีคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ การ
ออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ทฤษฎีที่นำเสนอจะ เสียเวลาของผู้ออกแบบน้อยกว่า และการคำนวณส่วน
ใหญ่ให้เป็นหน้าที่ของคอมพิวเตอร์

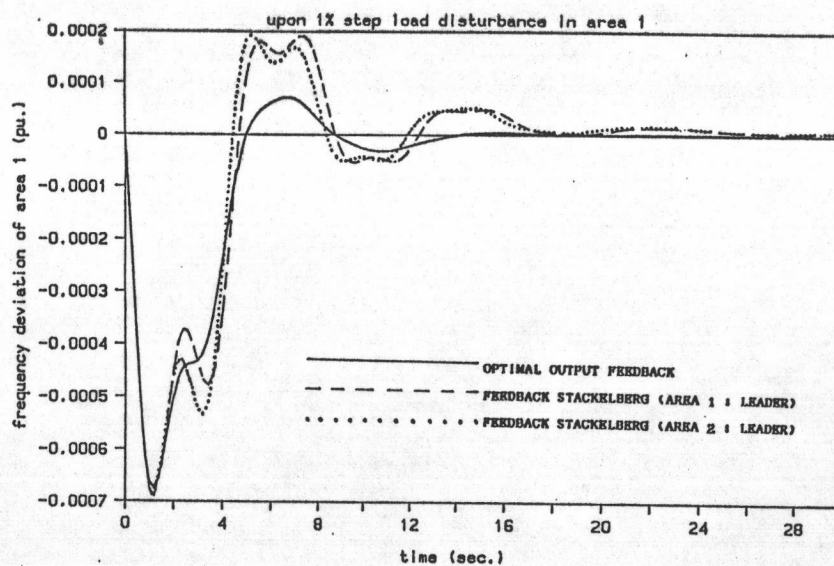
จากกรณีศึกษาที่ได้ทำมาทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงให้เห็นว่า ทฤษฎีการตัดสินใจ
ที่นำเสนอสามารถใช้ควบคุมระบบขนาดใหญได้ อัตราขยายป้อนกลับของตัวควบคุมแบบกระจาย
คำนวณได้จากทฤษฎีดังกล่าว เมื่อใช้ทฤษฎีดังกล่าวในการออกแบบระบบ LFC ของระบบไฟฟ้า
กำลังสอง เขตที่เชื่อมโยงกัน สมรรถนะของระบบที่ได้ใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้ตัวควบคุมแบบ
เล็ง เลิศ และเมื่อรวมผลดังกล่าวกับจุดเด่นของโครงสร้างสารสนเทศของตัวควบคุมที่เสนอโดย
Calovic (1977) ทำให้การนำทฤษฎีดังกล่าวไปใช้จริงในปัญหา LFC มีความเป็นไปได้มาก
ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถสรุปได้ว่า สำหรับกรณีของระบบไฟฟ้ากำลังควราใช้การควบคุมแบบกระจาย
และการใช้การควบคุมแบบกระจายที่เหมาะสมสามารถให้สมรรถนะของระบบได้ใกล้เคียงกับการ
ควบคุมแบบเล็ง เลิศซึ่งเป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์ แต่การควบคุมแบบกระจายสามารถทำให้
เป็นจริงได้ง่ายกว่ามาก

ข้อเสนอแนะ

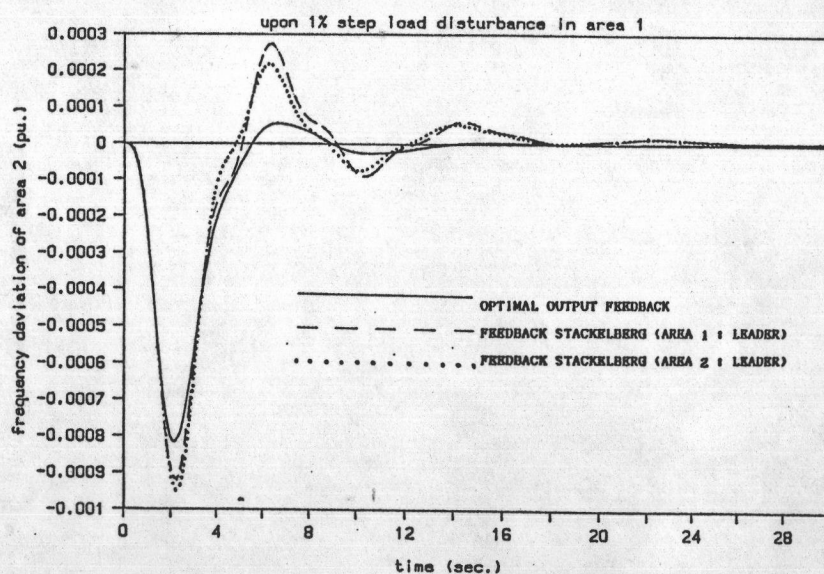
หลังจากที่ได้ทำงานวิจัยชิ้นนี้ที่นำเสนอทฤษฎีการป้องกันสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg ที่ได้คิดขึ้นและประยุกต์ทฤษฎีดังกล่าวในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตที่เชื่อมโยงกัน งานวิจัยขั้นต่อไปที่จะเสนอแนะในที่นี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) ด้านระบบไฟฟ้ากำลัง ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลในแง่อื่น ๆ ของการใช้การป้องกันสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg ในการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ศึกษากรณีที่อัตราส่วนของขนาด (size ratio) ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลเกิดขึ้นกับผลตอบของระบบ และเกิดขึ้นกับอัตราขยายของตัวควบคุมที่จุดสมดุลของคำตอบแบบ Stackelberg อย่างไรบ้าง ศึกษากรณีที่ค่าไบแอสแพกเตอร์เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อสมรรถนะของระบบที่จุดสมดุลของคำตอบแบบ Stackelberg หรือไม่ หรือศึกษากรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของการเชื่อมต่อระหว่างระบบย่อยในรูปแบบต่าง ๆ กันว่าจะมีผลอย่างไรต่อระบบที่ใช้การป้องกันสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg บ้าง

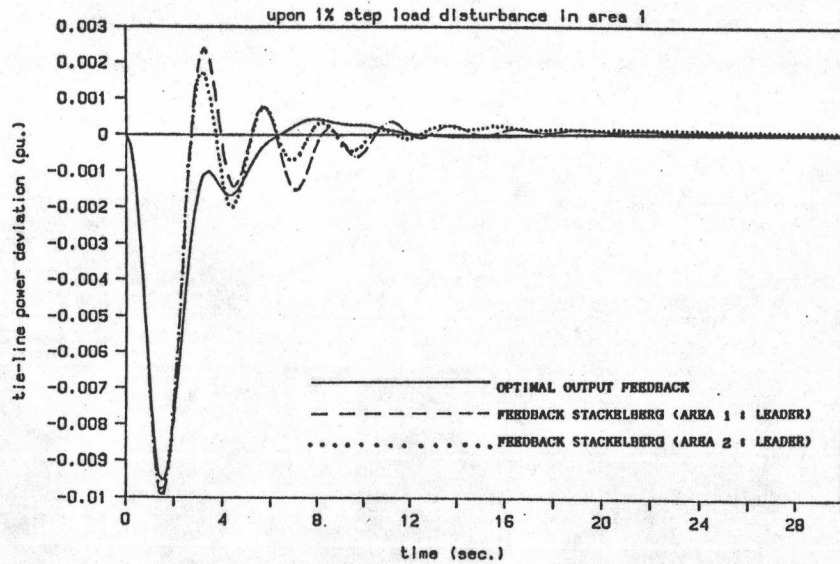
2) ด้านทฤษฎีระบบควบคุม จากที่ผ่านมาเห็นได้ว่าทฤษฎีที่เสนอจะจำกัดแค่กรณีที่มีผู้ตัดสินใจ 2 คนเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยที่น่าสนใจในด้านนี้คือ ศึกษาการป้องกันสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg ในกรณีที่มีผู้เล่นมากกว่า 2 คน โดยที่มีผู้เล่นคนหนึ่งใช้กลยุทธ์แบบ Stackelberg ทำการตัดสินใจในระดับบน ส่วนผู้เล่นที่เหลือทำการตัดสินใจในระดับล่าง โดยใช้กลยุทธ์แบบ Nash โครงสร้างของเกมจะเป็นลักษณะเดียวกับที่ศึกษามาแล้วใน Glinkwamdee (1978, 1980) และ Cruz (1978) ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมแบบลำดับชั้น ในงานวิจัยนี้เห็นได้ว่าผู้เล่นแต่ละคนสังเกตเห็น (observe) โมเดลระบบเหมือนกัน การคำนวณในการตัดสินใจจึงมีมาก ดังนั้นงานวิจัยของปัญหาที่มีผู้ตัดสินใจหลายคน และแต่ละคนสังเกตเห็นโมเดลของระบบที่ไม่เหมือนกัน (multimodel solutions in multiple decisionmaker problems) ซึ่งได้ศึกษามาแล้วใน Saksena et al. (1983) จึงเป็นอีกแง่มุมหนึ่งที่น่าสนใจ โดยคาดหวังว่าวิธีดังกล่าวสามารถลดการคำนวณในกรณีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลงได้



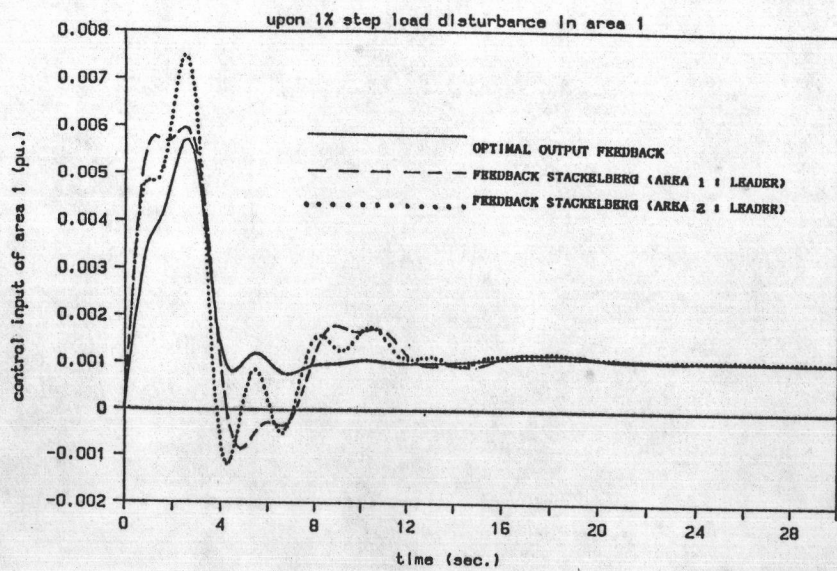
รูปที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg



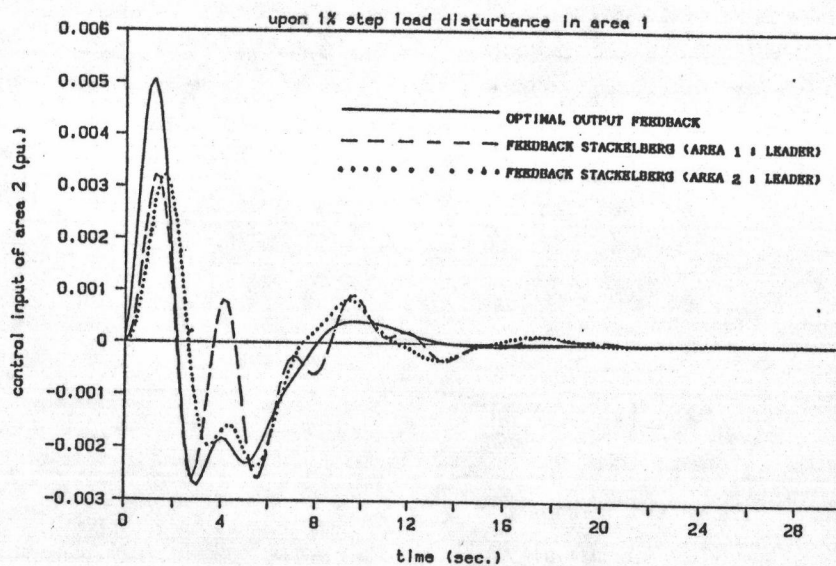
รูปที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg



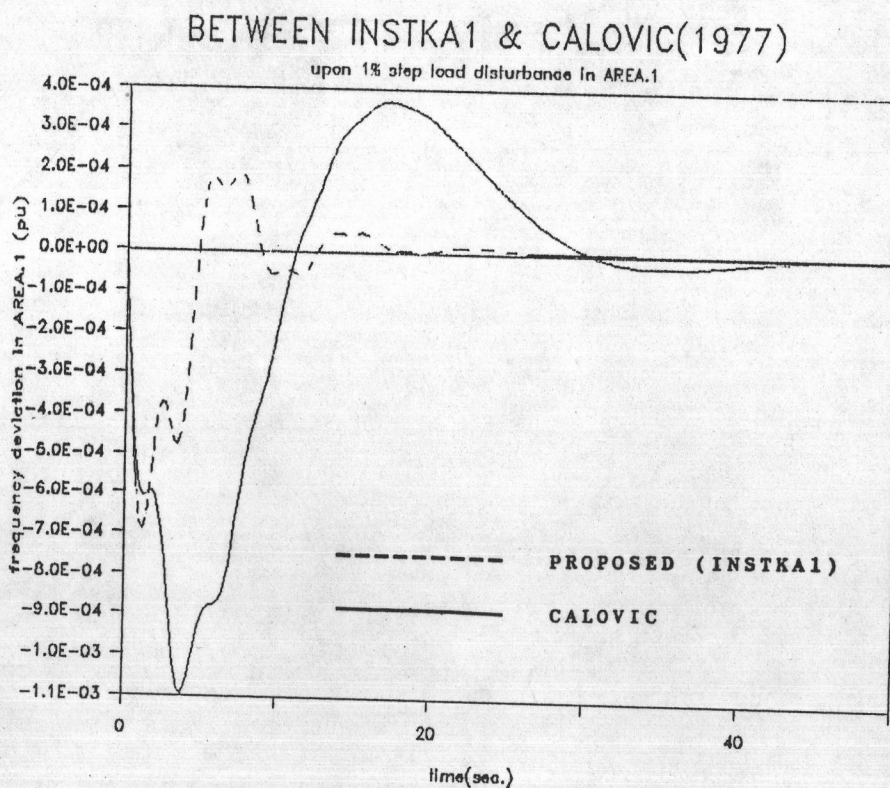
รูปที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg



รูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็ง เลิศ ที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การบ่อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg

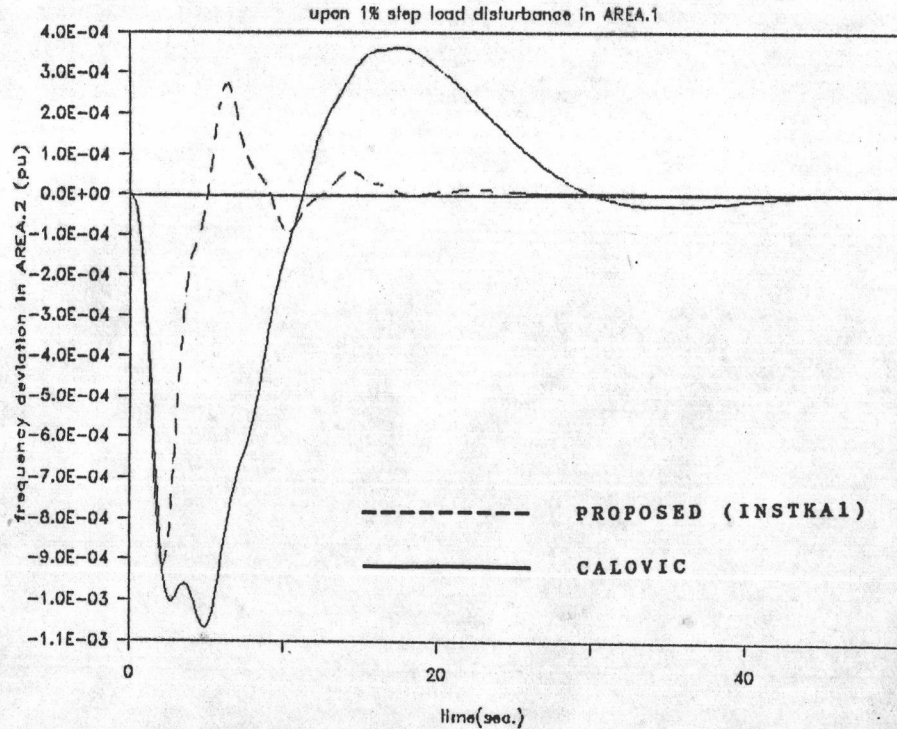


รูปที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบเล็งเลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกกับตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg



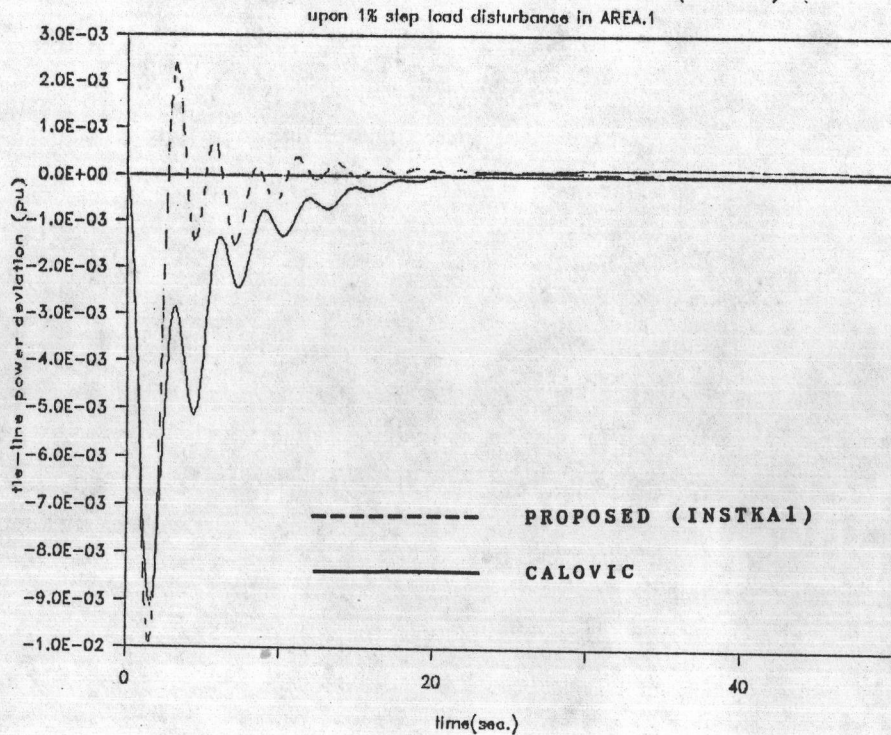
รูปที่ 6.6 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)

BETWEEN INSTKA1 & CALOVIC(1977)



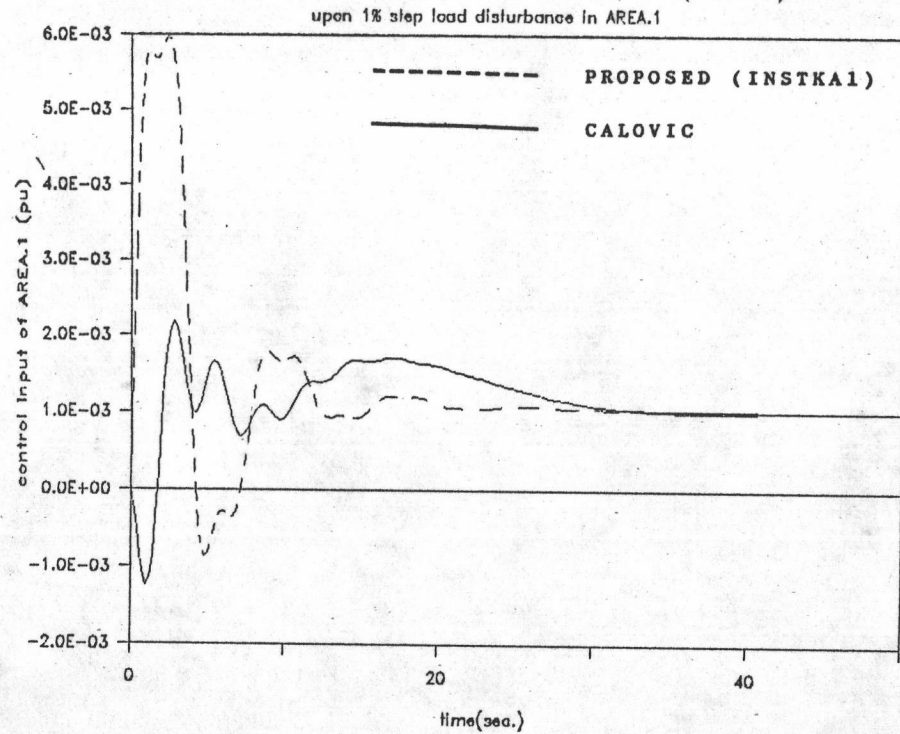
รูปที่ 6.7 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ Δf_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)

BETWEEN INSTKA1 & CALOVIC(1977)



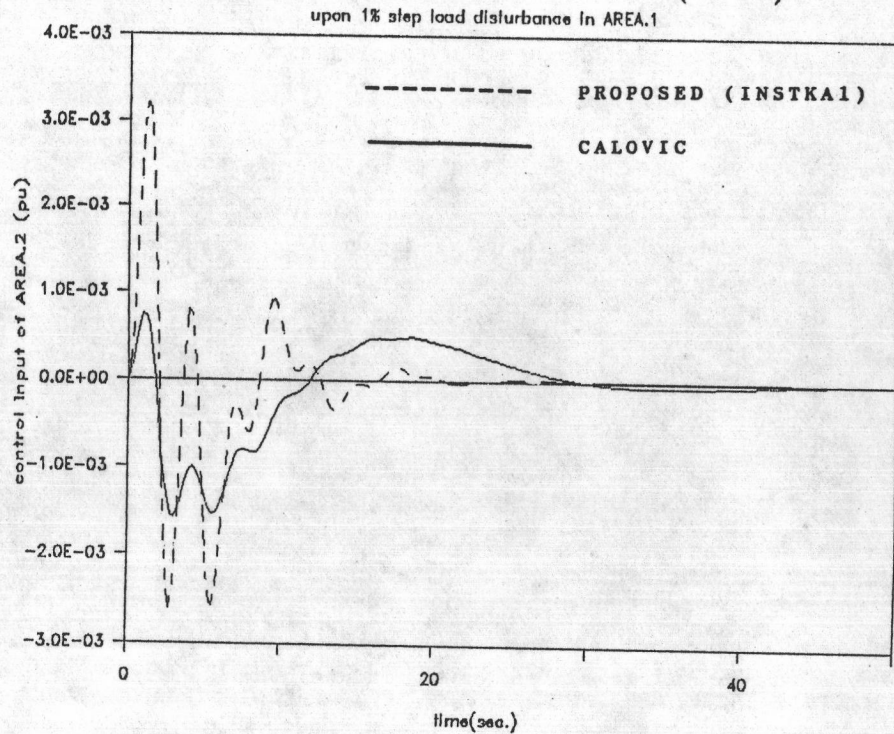
รูปที่ 6.8 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ ΔP_{12} ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)

BETWEEN INSTKA1 & CALOVIC(1977)



รูปที่ 6.9 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_1 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)

BETWEEN INSTKA1 & CALOVIC(1977)



รูปที่ 6.10 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบชั่วครู่ของ w_2 ระหว่างกรณีของตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg กับที่เสนอโดย Calovic (1977)

CASES		FEEDBACK GAINS										\hat{j}^1	\hat{j}^2	total \hat{j} = $\hat{j}^1 + \hat{j}^2$		
		$\Delta P_{T,1}$	$\Delta P_{T,2}$	$\Delta P_{H,1}$	$\Delta P_{H,2}$	Δf_1	Δf_2	ΔP_{I2}	v_1	v_2						
AREA 1 is the leader	w ₁	1.0774		0.2629		6.1711		-0.1509	0.5219							
	w ₂	1.5064		0.3114		7.9674		0.3189	0.7835			574.68	599.45	1,174.13		
AREA 2 is the leader	w ₁	1.3823		0.3236		5.6971		-0.2634	0.6397							
	w ₂	1.1390		0.2605		8.2756		0.1602	0.6136			615.21	529.60	1144.81		
OPTIMAL CENTRALIZED	w ₁	0.3616	-0.0331	0.3567	0.0105	3.5987	3.2176	-0.1767	0.2478	-0.0229						
	w ₂	-0.0232	0.5746	0.0076	0.3905	3.0711	5.5773	0.1985	-0.0088	0.3472						

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบของตัวควบคุมระหว่างแบบแรงเสียดทานที่น้อยกว่า
กับสัญญาณออก และ แบบที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบ Stackelberg