

การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ทฤษฎีฟัซซี

Power System Controlled by Fuzzy Theory



โดย

นาย ธงชัย วีระธนากร

นาย ปิติพัฒน์ สันติวุฒิมณี

นาย พงศ์พัฒน์ รักเดช

นาย สรรพัชฌ์ ภาชีผล

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033333

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โครงตาข่ายนิรพล

ผู้จัดทำ

1. นายธงชัย ธีระธนากร 33100131
2. นายปิติพัฒน์ สันติวุฒิมณี 33100221
3. นายพงศ์พัฒน์ รักเดช 33100229
4. นายสรรพัชญ ภาชีผล 33100405

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. มณฑล สีสัจจินดาไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ทฤษฎีฟuzzy

ปิติพัฒน์ สันติวุฒิเมธี

ธงชัย ธีระธนากร

พงศ์พัฒน์ รักเดช

สรวิชัย ภาษีผล

ผศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ ได้แสดงถึงการควบคุมสถานะเสถียรของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (GOV) อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (AVR) และตัวควบคุมเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (PSS) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบใช้ควบคุมความถี่ให้คงที่โดยการปรับวาล์วที่เป็นอินพุทของใบพัด อุปกรณ์ควบคุมแรงดันใช้ควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สนามแม่เหล็กกระตุ้นตัวควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นตัวควบคุมที่มีการคำนวณบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทฤษฎีฟuzzy ที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังนี้ จะนำมาใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุม โดยแบ่งการควบคุมออกเป็น 3 แบบคือ แบบ P-type, W-type และทั้งสองแบบรวมกัน ทั้ง 3 แบบ ให้ผลตอบสนองทางไดนามิกส์ที่แตกต่างกันและสามารถควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

The paper presents power system stabilizing control by using GOV, AVR, and PSS. Adjusting value which is turbine's input, GOV is controlled for constant frequency. Adjusting DC generator at excited field winding, AVR is controlled for constant voltage. PSS is analysed on computer. Fuzzy theory is used to control the system. To determine the suitable parameters for the system, the control action is divided into three types: P-type, W-type and proposed combination type. These three types provide different dynamic responses and can control power system stability effectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
2 ตัวเสถียรภาพของเครื่องจักรในระบบไฟฟ้ากำลัง	2
2.1 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	2
2.1.1 เครื่องควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	3
2.1.2 ชนิดของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน	6
2.2 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ	6
2.2.1 หลักการทำงานทั่วไปของอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว	7
2.2.2 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว	8
2.2.3 กลไกควบคุมความเร็วรอบ	10
2.3 การควบคุมเสถียรภาพโดยกฎพื้นฐาน	10
2.4 ตัวเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง	13
3 Phase Shifter	14
4 ทฤษฎีฟuzzy	30
4.1 ทฤษฎีฟuzzy เซตและฟuzzy ลอจิก	30
4.1.1 ฟuzzy และศัพท์เฉพาะ	30
4.1.2 ตัวอย่างปฏิบัติการของเซต	31
4.1.3 ตัวแปร linguistic และ ฟuzzy เซต	32
4.1.4 ฟuzzy ลอจิกและการให้เหตุผล	34
4.1.5 กลุ่มของฟังก์ชัน Fuzzy implication function	35
4.2 การประยุกต์ใช้ Fuzzy expert rules ใน Hardware	37
5 ขั้นตอนและผลการวิเคราะห์	47
6 สรุปผลและข้อแนะนำ	64
ภาคผนวก 1	65
ภาคผนวก 2	68
กิตติกรรมประกาศ	108
บรรณานุกรม	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	2
2-2	แบบจำลองของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน	4
2-3	บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน	5
2-4	ผลของการควบคุมขดลวดกระตุ้น	5
2-5	แสดงทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ	8
2-6	บล็อกไดอะแกรมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โบ	8
2-7	ระบบที่ศึกษา	11
2-8	ซีกในระนาบของมุมจุดกำเนิดคือจุดสมดุล	11
2-9	GAIN FACTOR $G(K)$ กับ DISTANCE $D(K)$	12
2-10	บล็อกไดอะแกรมของ PSS	13
3-1	AC AREA (i)	15
3-2	TWO-AREA INTEGRATED SYSTEM	16
3-3a	CONTROLLER STRUCTURE	19
3-3b	INTEGRATED AC SYSTEM WITH COORDINATED CONTROL	20
3-4a,b		21
3-5a,b		22
3-6a,b		24
3-7a,b		25
3-8a,b,c,d		26
3-9a,b,c,d		27
3-10a,b,c		28
4-1	แผนภาพแสดงฟิซซีเซต	34
4-2	บล็อกไดอะแกรมของระบบฟิซซี	37
4-3	กราฟความเป็นสมาชิก	38
4-4	ขั้นตอนการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง	45
5-1	แสดงค่าคงที่ของระบบที่ใช้ทำการทดลอง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
5-2	ระบบที่ไม่มีการควบคุมถูกรบกวนอย่างมากจากการลัดวงจร	49
5-3	ระบบที่ไม่มีการควบคุมถูกรบกวนน้อยจากการใช้กำลังไฟเกิน	50
5-4	ระบบที่มีการควบคุมจากตัว PSS ด้วยวิธีการของ PHASE PLANE ร่วมกับ FUZZY THEORY หลังเกิดการรบกวนอย่างมาก	51
5-5	ระบบที่มีการควบคุมจากตัว PSS ด้วยวิธีการของ PHASE PLANE ร่วมกับ FUZZY THEORY หลังเกิดการรบกวนน้อย	52
5-6	ขั้นตอนการทำงานของตัว PSS ด้วยวิธีการของ PHASE PLANE ร่วมกับ FUZZY THEORY	53
5-7	ระบบที่เพิ่มการควบคุมความถี่ด้วยวิธีการของ PHASE PLANE ร่วมกับ FUZZY THEORY หลังเกิดการรบกวนอย่างมาก	54
5-8	ระบบที่เพิ่มการควบคุมความถี่ด้วยวิธีการของ PHASE PLANE ร่วมกับ FUZZY THEORY หลังเกิดการรบกวนน้อย	55
5-9	ขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมความถี่และกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการของ PHASE PLANE ร่วมกับ FUZZY THEORY	56
5-10	ระบบถูกรบกวนอย่างมากที่มีการใช้มุม PHASE SHIFTER 15 องศา	58
5-11	ระบบถูกรบกวนอย่างมากที่มีการใช้มุม PHASE SHIFTER 25 องศา	59
5-12	ระบบถูกรบกวนอย่างมากที่มีการใช้มุม PHASE SHIFTER 35 องศา	60
5-13	ระบบถูกรบกวนน้อยที่มีการใช้มุม PHASE SHIFTER 15 องศา	61
5-14	ระบบถูกรบกวนน้อยที่มีการใช้มุม PHASE SHIFTER 25 องศา	62
5-15	ระบบถูกรบกวนน้อยที่มีการใช้มุม PHASE SHIFTER 35 องศา	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	PHASE SHIFTER CONTROLLER DESIGN	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีขนาดที่เพิ่มขึ้น มีการซับซ้อน มากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมเสถียรภาพที่มีประสิทธิภาพสูง ก่อนหน้านี้ระบบ เสถียรภาพกำลังถูกสร้างกับวงจรแอนนาลอก เช่น การชดเชยแบบมูมนำ และ การ รีเซต ตัวกรองสัญญาณ (filter) ฯลฯ แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบควบคุม แบบดิจิทัลขึ้นมาใช้ปรับปรุงพัฒนาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การควบคุมต่างๆ จะทำในคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะกำเนิดสัญญาณเสถียรภาพที่น่าพึงพอใจ แล้วไปพัฒนาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งหมด เพื่อที่จะสาธิต ประสิทธิภาพของเสถียรภาพในระบบ เราจะจำลองระบบโดยใช้เครื่องกำเนิด ไฟฟ้า 1 ตัว ต่อกับ บัสอนันต์ (One - machine Infinite bus system) พร้อมด้วยอุปกรณ์ phase shifter ระบบที่ศึกษานี้ จะถูกนำมาจำลองเป็นสมการ ทางคณิตศาสตร์ลงบนคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาในการใช้งานจริงจะใช้ฟังก์ชันของ A/D และ D/A มาเพื่อเปลี่ยนปริมาณทางแอนนาลอก ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ ปริมาณ ทางแอนนาลอกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และ แรงดันที่เทอร์มินอล จะ ถูกนำมาเป็นอินพุตในการสร้างสัญญาณควบคุมเสถียรภาพ

ในปริญญานีพนธ์ฉบับนี้ จะกล่าวถึง การนำเอาทฤษฎีพีชชีมาประยุกต์ ใช้กับ phase plane technique เพื่อควบคุมให้ระบบมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น โดย การตรวจสอบพฤติกรรมทางไดนามิกส์เมื่อระบบถูกรบกวน (Disturbance) ที่ระดับต่างๆ กัน เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องสามารถทำงานได้อย่างเป็น ปกติในกรณีที่ภาระของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นระยะๆ จากความรู้ที่ว่าทรง นิดหน่วง (Damping torque) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะได้รับผลกระทบจาก ปัจจัยหลายอย่างเช่น ภาระของเครื่องจักร ค่าคงที่สำหรับการกระตุ้น (Exciter Constant) ตัวปรับเสถียรภาพของระบบ (Power System Stabilizer , PSS) เป็นต้น เพราะฉะนั้น สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เราจะนำไป ใช้ในการประเมินเสถียรภาพของระบบในสภาวะคงที่ที่จะต้องประกอบด้วยพารา มิเตอร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

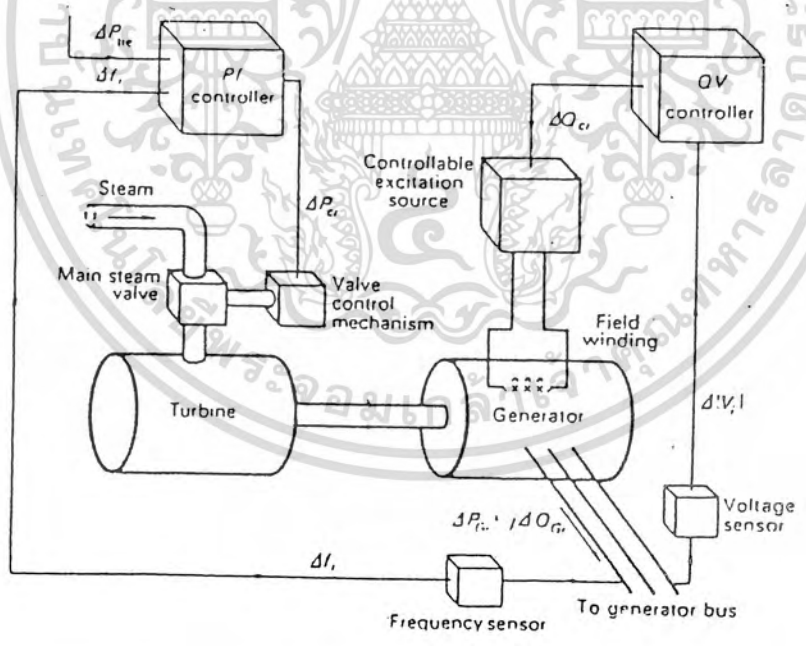
บทที่ 2

ตัวเสถียรภาพของเครื่องจักรในระบบไฟฟ้ากำลัง

(Stabilizer for Machine in Power Systems)

2.1 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator)

ในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator) ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีมุมของภาระสูง ๆ (Load Angle) และในสภาวะทรานเซียนต์ (Transient Condition) ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับขดลวดกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2-1 การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator)

การควบคุม (Regulation) เป็นการควบคุมแรงดันที่จ่ายออกให้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เทอร์มินอล เช่น ในประเทศอังกฤษกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เทอร์มินอลได้ $\pm 5\%$ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจะขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการ การเปลี่ยนแปลงของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในค่าที่เป็นส่วนประกอบการเลื่อนในเครื่องขยาย และแรงดันที่จ่ายให้ในค่าที่ไม่เป็นเชิงเส้นในส่วนประกอบ เช่น ตัวขยายทางแม่เหล็ก หรือ เซอร์โว ซึ่งค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงไปนี้จะสามารถกำจัดได้ด้วยการออกแบบที่ดีและการเลือกส่วนประกอบอย่างระมัดระวัง การเปลี่ยนแปลงในการทำงานนี้จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสถานะของภาระ ซึ่งต้องการแรงดันที่ขดลวดกระตุ้นที่มีค่าแตกต่างกันออกไป

ในเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าพื้นฐานจะมีการทำงานโดยใช้การเปรียบเทียบแรงดันที่มีการปรับเป็นกระแสตรงแล้ว (Rectifier) จากแรงดันที่เทอร์มินอลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า V_t กับแรงดันอ้างอิง V_r ค่าความผิดพลาดจะถูกขยาย โดยเครื่องขยายและป้อนเข้าสู่ขดลวดกระตุ้น เครื่องขยายอาจจะประกอบด้วย เครื่องขยายแม่เหล็ก หรือ เครื่องขยายไทรริสเตอร์หรือตัวกระตุ้นกระแสตรงที่ป้อนเข้าสู่กระแสตรงหลัก (D.C. pilot excitor feeding into a main D.C.) หรือตัวกระตุ้นกระแสสลับกับเครื่องปรับ (A.C. excitor with rectifier) ซึ่งจะมีสมการการกระตุ้นในสถานะคงที่ดังต่อไปนี้

$$V_f = \mu (V_r - V_t) \quad (2.1)$$

เมื่อ V_f เป็นแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดกระตุ้นที่โรเตอร์ และเป็นตัวขยายทั้งหมดของระบบกระตุ้นซึ่งเป็นการขยายขึ้นถ้าอยู่ในรูปเปอร์ยูนิต (per-unit)

รูป 2-2 จะแสดงถึงแบบจำลองที่ในระบบนี้ ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลัก ๆ ของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันดังต่อไปนี้

อุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำการเปรียบเทียบแรงดันที่เทอร์มินอลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแรงดันอ้างอิงซึ่งมีการตั้งค่าให้เท่ากับแรงดันที่กำหนดไว้ ดังนั้นค่าผิดพลาดของแรงดันจะเท่ากับ

$$e = \Delta |V|_{\text{ref}} - |V|$$

$$= \begin{vmatrix} V^0 \\ -V^0 \\ -\Delta V^1 \end{vmatrix} \quad (2.2)$$

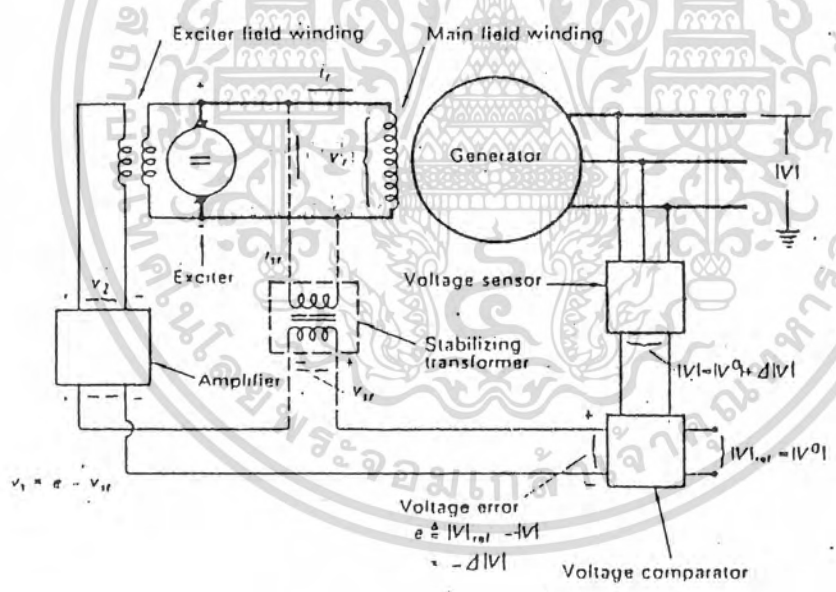
อุปกรณ์ขยายค่า (Amplifier) อุปกรณ์นี้ถูกกำหนดคุณลักษณะโดยอัตราขยาย K_a และมีค่าคงที่ของเวลา T_a ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 100 ms ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของอุปกรณ์ขยายนี้จะเท่ากับ

$$V_2(s)/V_1(s) = K_a/(1+ST_a) \quad (2.3)$$

ตัวกระตุ้นเป็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับอุปกรณ์ขยาย โดยมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่เหมือนกันคือ

$$V_2(s)/V_1(s) = K_a/(1+ST_a) \quad (2.4)$$

โดย T_E เป็นค่าคงที่ของขดลวดกระตุ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 1 S

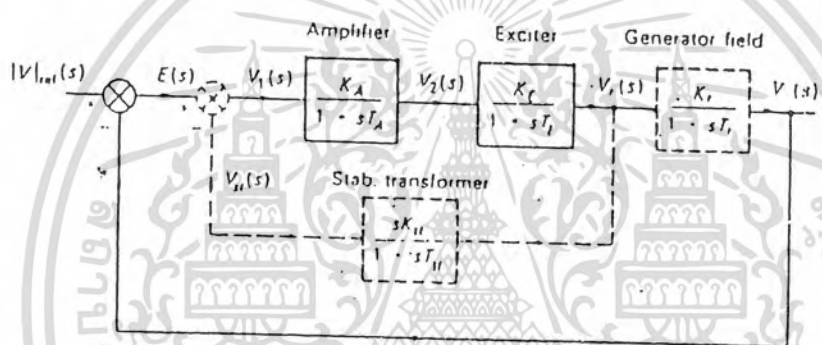


รูปที่ 2-2 แบบจำลองของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

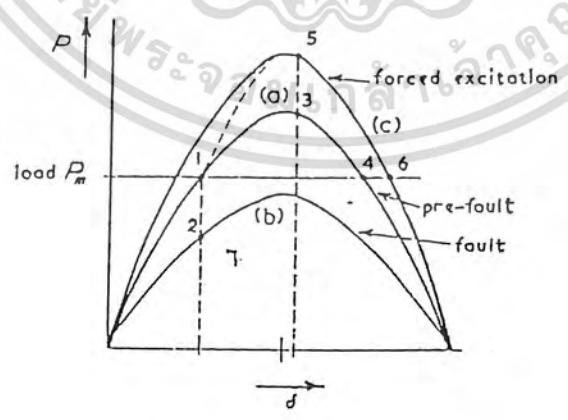
เสถียรภาพภายใต้สภาวะทรานเซียน (Transient Stabilizer) ภายใต้สภาวะการเกิดการผิดปกติ (Fault) มีความต้องการให้เพิ่มค่ากระตุ้นขึ้นเพื่อที่ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าจะมีค่าเหลืออยู่ หลังจากการจัดการสภาวะการผิดปกติเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียสภาวะซิงโครนิซึม (Synchonism) ยกตัวอย่างเช่นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-4 กราฟเอแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับภาระกำลังไฟฟ้าก่อนจะมีการเกิดสภาวะการผิดพลาด ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีความทำงานอยู่ที่จุด 1 เมื่อเกิดการผิดพลาดดังกล่าว กราฟบี โรเตอร์จะเกิดการเร่งและไม่มีการควบคุมการกระตุ้นหลังจากที่ การเกิดการผิดพลาด ได้ถูกจัดการไปหมดแล้วการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะกลับเข้าสู่กราฟเอที่จุด 3 โดยคิดว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในค่ารีแอคแตนซ์ การทำงานในช่วงนี้จะมีการหน่วงเกิดขึ้นซึ่งจะมีความทำงานอยู่ที่จุด 4 ที่จุดนี้โรเตอร์จะเกิดการเร่งอีกครั้งหนึ่งและจะทำให้เกิดการสูญเสียสภาวะซิงโครนิซึม แต่เมื่อมีการควบคุมการกระตุ้น ซึ่งมีความทำงานที่จุด 5 ของกราฟ C และมีการกำหนดการแกว่งให้อยู่ในจุด B กำลังที่ลดลงจะมีค่ามากและโอกาสในการสูญเสียสภาวะซิงโครนิซึม มีค่าลดลง



รูปที่ 2-3 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน



รูปที่ 2-4 ผลของการควบคุมขดลวดกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ชนิดของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

ในส่วนของแล้วจะแสดงให้เห็นถึง การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมแรงดันซึ่งได้รับอิทธิพลจากความต้องการในทางปฏิบัติแต่ก็ยังมีสิ่งที่ขัดแย้งกันอยู่ เช่น การหน่วงเวลาอาจจะมีประโยชน์ในแง่เสถียรภาพได้สภาวะคงที่ การพัฒนาของอุปกรณ์ควบคุมในหลายปีที่ผ่านมาจึงมุ่งหมายเพื่อลดสิ่งที่ขัดแย้งกันเหล่านี้

การพัฒนาระบบกระตุ้นสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ตัวกระตุ้นกระแสตรงที่ควบคุมด้วยมือ (DC Exciter with Manual Field Control)
2. ตัวกระตุ้นกระแสตรงที่ควบคุมด้วยกลไกทางไฟฟ้า (DC EXciter with Electromechanical Reg.)
3. ตัวกระตุ้นกระแสตรงที่ควบคุมด้วยแอมป์ไดนา (Amplidyne) (DC Exciter with Amplidyne Control)
4. ตัวกระตุ้นกระแสตรงที่ควบคุมด้วยตัวขยายแม่เหล็ก (Magnetic Amplifier Control)
5. ตัวกระตุ้นกระแสสลับ ที่ควบคุมด้วยตัวขยายแม่เหล็กและจัดเรียงกระแสด้วยไดโอดแบบสแตติก
6. ตัวกระตุ้นกระแสสลับ ที่มีการควบคุมขดลวดกระตุ้นด้วยไทรสเตอร์และจัดเรียงกระแสด้วยไดโอดทางสถิตย์
7. ตัวกระตุ้นกระแสสลับ ที่มีการควบคุมขดลวดกระตุ้นด้วยไทรสเตอร์และจัดเรียงกระแสด้วยโรเตตติ้งไดโอด (Rotating Diode)
8. ตัวกระตุ้นกระแสสลับที่มีโรเตตติ้งไทรสเตอร์ (Rotating Thyristor)

การควบคุมสนามกระตุ้นด้วยมือ แทนที่ด้วยตัวควบคุมระดับแรงดันด้วยกลไกทางไฟฟ้า แต่ไม่สามารถปรับปรุงเสถียรภาพทางไดนามิกส์ได้ด้วยการควบคุมแรงดันเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ควบคุมด้วยแอมพลิดายน์และตัวขยายแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับ ตัวกระตุ้นกระแสตรงได้ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงเดียวกัน แต่ก็มีความปัญหาทางด้านเวลาที่ช้าและความต้องการรูปที่มีเสถียรภาพ

2.2 อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว

ในอดีตตัวควบคุม (Governor) จะใช้ในการรักษาเสถียรภาพในสภาวะคงที่ของระบบไฟฟ้ากำลังภายใน

ได้การเปลี่ยนแปลงของภาระและใช้ป้องกันการดำเนินงานที่ความเร็วรอบสูงเกิน (Over Speed) จนทำให้เกิดการทริปอย่างฉุกเฉิน (Emergency Trip) ทำให้เกิดการไม่ยอมรับทางไฟฟ้า (Load Rejection)

การเปลี่ยนแปลงของภาระในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะจำกัดโดยการเปลี่ยนแปลงของการผลิตไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบ ในกรณีที่ภาระมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วความถี่จะตกลงในกรณีที่ไม่มี การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบการตกลงอย่างรวดเร็วของความถี่จะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียภาวะคงที่และเกิดความล้มเหลวของระบบ การเปลี่ยนแปลงของความถี่มีมากเกินไปที่จะควบคุมกำลังการผลิตด้วยมือของมนุษย์ (Manual) เพียงอย่างเดียว ดังนั้นตัวควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถปรับกำลังการผลิตไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงความถี่

$$P_g = P_s - (25 (F - F_o) * P_r) / F_o \quad (2.5)$$

เมื่อ P_g คือกำลังด้านอินพุทของไอน้ำที่ไหลผ่าน (Stream Flow Power Input)

P_r คือกำลังที่จ่ายออกมาที่ฟัด (Rated Output Power)

P_s คือการปรับเกียร์ที่ควบคุมความเร็ว (Governor Speeder Gear)

F และ F_o เป็นค่าความถี่ขณะนั้น และความถี่พื้นฐานของระบบตามลำดับ

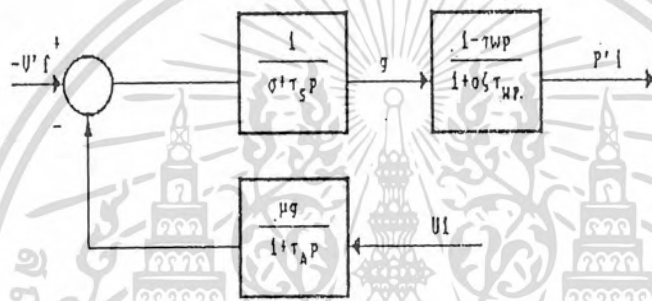
2.2.1 หลักการทำงานทั่ว ๆ ไปของอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว

จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะทำการควบคุมความถี่และกำลังไฟฟ้า ในขณะที่มีการจ่ายโหลดทางไฟฟ้าจะทำให้ความเร็วของเครื่องตกลง และเนื่องจากกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับความถี่ของเครื่องเมื่อกำลังไฟฟ้าของเครื่องเกิดการเปลี่ยนแปลง (P) ก็จะมีผลทำให้ความถี่ของเครื่องเกิดการเปลี่ยนแปลง (f) ซึ่งเราสามารถใช้อุปกรณ์ตรวจจับ ความถี่ (Frequency Sencer) ในการตรวจจับสัญญาณดังกล่าว และส่งเข้าไปที่อุปกรณ์ควบคุม กำลังและความถี่ (Pf controller) พร้อมด้วยกำลังไฟฟ้าเชื่อมจริง (Real Tie Line Power) P_{tie} ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายและเปลี่ยนรูปไปเป็นสัญญาณควบคุม (P_{ci}) ซึ่งสัญญาณควบคุมนี้จะถูกส่งไปยังที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดของวาล์ว (Prime Mover) ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิด การเพิ่มขึ้นของแรงบิดและกำลังของเครื่องก็จะเพิ่มขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับโหลด

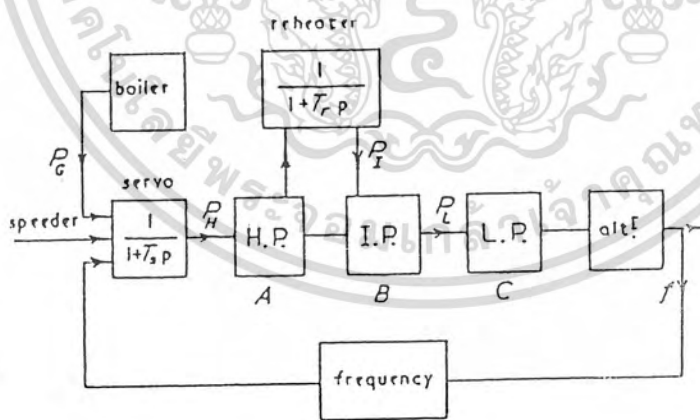
2.2.2 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว

รูปที่ 2-6 จะแสดงถึงแผนภาพไพบัต (Turbine) และตัวควบคุมไอน้ำที่ไหลมาจากหม้อต้ม (Boiler) ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยตัวเซอร์โววาล์ว (Governor Valve Servo) ซึ่งจะมีการเสียเวลา T_s หลังจากนั้นไอน้ำจะไหลไปสู่ลูกสูบ H.P. ค่ากำลังทางกลที่ออกมาจากส่วน H.P. จะมีค่าตามสมการนี้

$$P_h = P_s / (1 + T_s * p) \tag{2.6}$$



รูปที่ 2-5 แสดงทรานสเฟอริงฟังก์ชันของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ



รูปที่ 2-6 บล็อกไดอะแกรมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หลังจากนั้นไอน้ำก็จะไหลเข้าไปที่ตัวอุ่น (Reheater) ซึ่งจะทำให้มีการเสียเวลาอีกประมาณ 10-15 sec.(Tr) การไหลของไอน้ำในลูกสูบจะเป็นไปตามนี้

$$P_i = P_H / (1 + Tr * p) \tag{2.6}$$

และจะมีความผิด (BPi) ของกำลังที่ออกมาที่เกิดขึ้น ไอน้ำจะไหลตรงไปสู่ส่วนที่มีแรงดันต่ำ ดังนั้น $P_i = P_i$ กำลังทางกลที่ออกมาซึ่งเหลืออยู่จะถูกผลิตขึ้นในส่วน L.P. และ CPI ดังนั้น $A+B+C = 1$ ค่ากำลังทางกลที่ออกมารวมจะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 P_m &= AP_H + BP_i + CP_L \\
 &= AP_H + (B+C)P_i \\
 &= AP_H + (1-A)P_i \\
 &= AP_H + (1-A)/(1+Trp)P_H \\
 &= P_H (1+ATrp)/(1+Trp) \\
 &= P_G (1+ATrp)/(1+Trp)(1+Tsp) \\
 &= (1+ATrp) * [P_s - 25(f - f_o) / f_o P_R] / (1+Trp)(1+Tsp) \tag{2.7}
 \end{aligned}$$

ในระยะหลังนี้ ตัวควบคุมความเร็วรอบนั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยใช้เป็นตัวควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Governor) ซึ่งวาล์วจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่มาจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และมีผลทำให้เซอร์โวมีค่าลดลง (Ts) และ มีการตอบสนองที่ดีขึ้น และด้วยวิธีสัญญาณเร่ง (Accelerating Signal) กับสัญญาณความเร็ว จะมีสามารถติดต่อกับตัวควบคุมได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการปรับปรุงเสถียรภาพในสภาวะทรานเซียน (Transient) โดยการปิดไอน้ำเมื่อเกิดความผิดปกติ อย่างไรก็ตามประมาณ 50 % ของกำลังทางกล จะถูกผลิตจากลูกสูบ H.P. (A= 0.5) และถึงแม้ควบคุมได้อย่างรวดเร็วก็ตาม ค่าการเปลี่ยนแปลงของกำลัง I.P. และ L.P. ก็จะถูกหน่วงเวลาลงโดยพลังงานสะสมในส่วนอุ่น (Reheater Limb) ดังนั้นการควบคุมอย่างสมบูรณ์ขอพลังงานไอน้ำจะเป็นไปยากมาก หนทางหนึ่งของการแก้ปัญหานี้ก็คืการควบคุมวาล์วที่ต่ออยู่กับส่วนอุ่น ซึ่งการออกแบบในระยะหลังของเครื่องจักรก็จะมีการเชื่อมต่อนี้

2.2.3 กลไกในการควบคุมความเร็วรอบ (Speed Governor Mechanism)

กลไกในการควบคุมความเร็วรอบประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมความเร็วรอบ (Speed Governor) เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบความผิดพลาดในการควบคุมความถี่ของโหลด ซึ่งจะรวมไปถึงส่วนประกอบทั้งหมดที่ตอบสนองกับความเร็วยรอบและมีอิทธิพลกับส่วนประกอบประกอบอื่นๆ ของระบบ

2. วาล์วซึ่งถูกควบคุมโดยตัวบังคับ (Governor Controlled Valve) เป็นตัวควบคุมสัญญาณอินพุทที่ป้อนเข้าสู่ใบพัด ซึ่งจะถูกระตุ้นโดยกลไกที่ควบคุมความเร็วรอบ

3. กลไกควบคุมความเร็วรอบจะรวมอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น คันโยก (Lever) อุปกรณ์ในการขยายการส่งผ่าน เซอร์โวมอเตอร์และรีเลย์ ซึ่งเป็นตัวกลางระหว่างตัวควบคุมความเร็วรอบและวาล์วที่ควบคุมโดยตัวบังคับ

4. การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ (Speed Changer) จะเป็นการที่ระบบสามารถบังคับความเร็วรอบของ turbo-generator unit ได้ขณะทำงานอยู่

2.3 การควบคุมเสถียรภาพโดยกฎพื้นฐาน (Rule Based Stabilizing)

เนื่องจากจากระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีความซับซ้อนมากขึ้นในปัจจุบันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกือบทั้งหมดถูกออกแบบเตรียมกับสภาวะเสถียรแบบแอนนาล็อกเพื่อที่จะปรับปรุงพัฒนาพฤติกรรมทางพลศาสตร์โดยใช้คณิตกรณ์ (Computer) ปรับสภาวะเสถียรของกำลังทั้งหมด

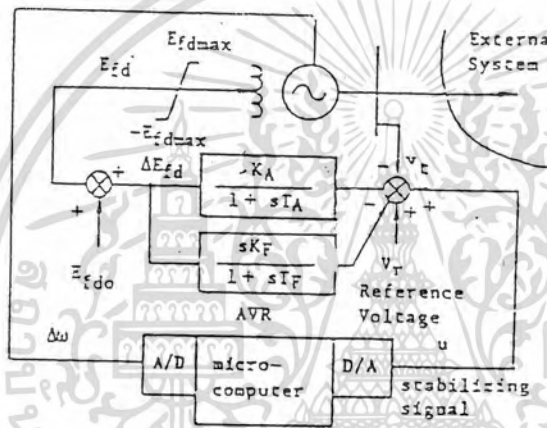
ตัวควบคุมเสถียรภาพตามกฎพื้นฐาน จะใช้คุณสมบัติของความเร็วกับความเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เวลาสุ่มใด ๆ มาเป็นเงื่อนไขในการควบคุมปริมาณอนุพันธ์ความเร็วและอัตราเร่งในระนาบของมุม (Phase Plane) จะถูกแบ่งเป็น 6 ซีกโดยแต่ละซีกจะมีกฎการควบคุมเฉพาะสัญญาณเสถียรภาพที่จ่ายออกไป เพื่อที่จะส่งสัญญาณ u กลับเข้าไปในรอบควบคุมการกระตุ้น (EXcitation Control Loop) สัญญาณเสถียรภาพ u จะได้มาจาก

$$u(t) = U(k), \text{ สำหรับ } kDT \leq T \leq (k+1)DT$$

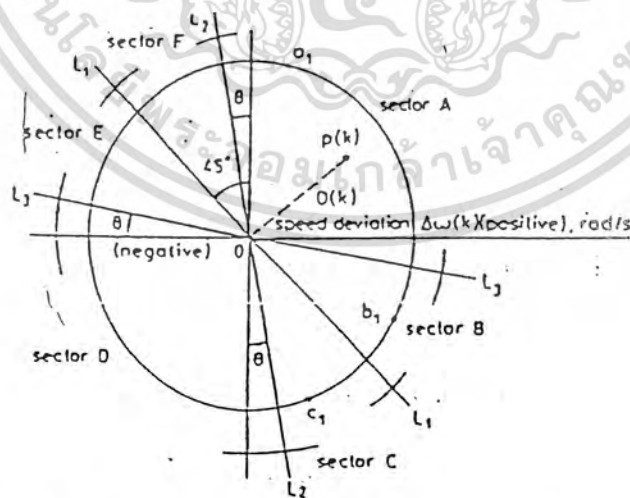
เงื่อนไขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เวลา $t = kt$ จะได้จากจุด $p(k)$ ใน phase plane ซึ่งดูได้ในรูป

$$p(k) = [Dw(k), (Dw(k)-Dw(k-1))] \quad (2.9)$$

อนุพันธ์ความเร็วถูกวัดที่เวลาสุ่มใด ๆ ส่วนความเร่งคำนวณได้จากการใช้ เทอมที่ 2 ในด้านขวาของสมการ 2 จุดในครึ่งระนาบบนแทนความเร่งบวก ระบายล่างทางลบแทนความเร่งลบ หากจุดอยู่ในครึ่งระนาบขวาจะหมายความว่าความเร็ว ที่มากกว่าความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) จุดทางซ้ายจะแทนความเร็วที่น้อยกว่าความเร็วซิงโครนัสจุดกำเนิดคือ จุดสมดุล



รูปที่ 2-7 ระบบที่ศึกษา



รูปที่ 2-8 ซีกในระนาบของมุมจุดกำเนิดคือจุดสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎจะสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ก.ควบคุมด้วยความหน่วงอย่างรุนแรงจากจุด a ซีก A เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้อนุพันธ์ของความเร็วเคลื่อนที่ไปทางขวามากกว่านี้

ข.ควบคุมด้วยความหน่วงที่มีขนาดน้อย จากจุด b ในซีก B เพื่อที่จะเลื่อนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Speed) ไปยังความเร็วที่ต้องการ (ความเร็วซิงโครนัส)

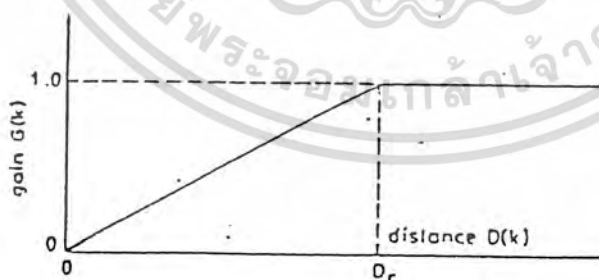
ค.ควบคุมด้วยความเร่งที่มีขนาดน้อยจากจุด c ในซีก C เพื่อที่จะป้องกันการเลื่อนของอนุพันธ์ความเร็วเคลื่อนที่ในทางลบ

ง.ควบคุมด้วยความเร่งอย่างรุนแรงจากจุด d ซีก D เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้อนุพันธ์ของความเร็วเคลื่อนที่ไปทางขวามากกว่านี้

จ.ควบคุมด้วยความเร่งที่มีขนาดน้อยกว่านี้ จากจุด e ในซีก E เพื่อที่จะเลื่อนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังความเร็วที่ต้องการ (ความเร็วซิงโครนัส)

ฉ.ควบคุมด้วยความหน่วงที่มีขนาดน้อยจากจุดที่ f ในซีก F เพื่อที่จะป้องกันการเลื่อนของอนุพันธ์ความเร็วเคลื่อนที่ไปทางลบ

จากสมการที่กล่าวมานี้ $G(k)$ บ่งชี้อัตราขยาย (Gain Factor) ที่เวลา $t = kDt$ และ $G(k)$ เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า $G(k)$ เป็นสัดส่วนกับระยะทาง $D(k)$ จากจุดสมดุลที่พอใจเพราะว่าเป็นตัวบ่งชี้ว่าขณะนี้จุด $p(k)$ อยู่ห่างจากจุดกำเนิดเท่าใด



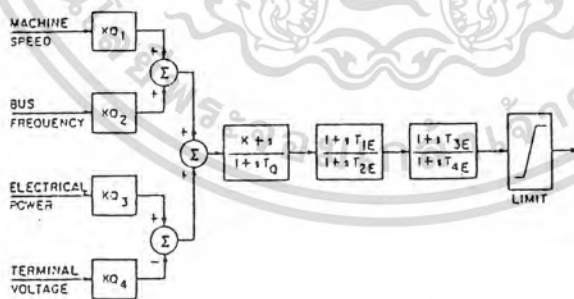
รูปที่ 2-9 Gain factor $g(k)$ กับ distance $D(k)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ตัวเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer)

ตัวเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer) หรือ เรียกย่อว่า PSS จะเป็นอุปกรณ์ในการปรับปรุงเสถียรภาพทางไดนามิกส์ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสัญญาณที่ได้จาก PSS นั้น จะถูกเพิ่มเข้าไปในระบบควบคุมกระตุ้น (Excitation System) เพื่อที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการหน่วง(Damping) ของระบบไฟฟ้ากำลังในช่วงที่เกิดการสั่น (oscillation) ของความถี่ ปริมาณที่จะใช้เป็นอินพุทให้กับตัวเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมีมากมาย ได้แก่กำลังไฟฟ้า (Electrical Power), ความเร็วรอบของ shaft (shaft speed) และความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป (Frequency Deviation) ซึ่งนำไปทำการหาสัญญาณควบคุม PSS เพื่อส่งไปยังระบบควบคุมกระตุ้นของเครื่องจักรซิงโครนัส

โดยทั่วไปแล้วตัวเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมนั้นจะทำงานเป็นโครงข่ายแบบมูมนำหน้า-มูมล้าหลัง (lead-lag network) ซึ่งใช้ความเร็วรอบเป็นอินพุท โดยแนวความคิดพื้นฐานสำหรับการออกแบบตัวเสถียรภาพไฟฟ้ากำลัง คือจะเป็นการชดเชย มูมเฟสล่าช้าหลัง (PHASE LAG) ซึ่งเป็นผล จาก อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (Voltage Regulation) ตัวกระตุ้น (Excitor) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ด้วยเหตุนี้ส่วนประกอบแรงบิดหน่วง(Damping Torque)ที่เพิ่มขึ้นมานี้สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของเสถียรภาพไดนามิกส์ระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2-10 บล็อกไดอะแกรมของ PSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

Phase shifter

ในการศึกษาความแตกต่างกันของเครื่องมือในการเพิ่ม ความเสถียรภาพ และ เทคนิค ของระบบ โดย การเน้นถึง ผลของ damping ของ static phase shifters ซึ่ง phase shifting action ในระบบ AC system dynamics ถูกสร้างแทนด้วย linearized state-space model จากที่ศึกษานี้ได้เสนอขั้นตอน การออกแบบ robust controller ซึ่งแปลง static phase shifter ในรูปของเครื่องมือที่มีอิทธิพลในการเพิ่มเสถียรภาพ (stability) ของระบบคล้ายกับ switched local, serieo compensation ฯลฯ

Phase shifters employing quadrature voltage injection techniqe (QVI) ถูกใช้เพื่อที่จะควบคุม การไหล ของพลังงานในสภาวะ steady state บนการต่อ line ของ AC กับเครื่องมือไฟฟ้าอื่นๆ ปัญหาหลักของ on-line-tap changers ที่ใช้ในการทำงานเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและดีขึ้น thyristor-controlled phase shifters ใช้ เพื่อปรับปรุง first swing stability และ steady state ของระบบและ transient stabilities

การต่อ static phase shifter ในระบบไฟฟ้ากำลังมีข้อจำกัด 3 ข้อ

- a) การควบคุมการไหลของกำลังบนระบบไฟ AC ระหว่างเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์
- b) การสั่นของ damping eletromechanical ในกรณีที่ถูกรบกวน
- c) การกลับมาเป็น synchronous หลังการสูญเสียการ synchronous ในระบบไฟ AC

จากบทความนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการกระทำของ phase shifter ให้เสถียรภาพ กับการทำให้เสถียรภาพของเครื่องมืออื่นๆ เช่น

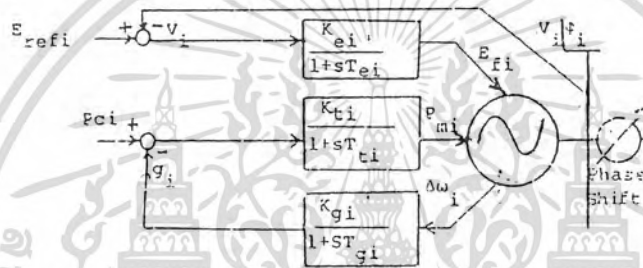
1. switched load
2. VAR compensation

การออกแบบ robust controller เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ phase shifter ให้อยู่ในรูปแบบของการควบคุม active power เพื่อปรับการไหลของกำลังที่เกินในการต่อระบบไฟ AC เพื่อที่จะลดการสั่นของกำลังใน line ที่ต่อกัน ค่าของความแข็งของระบบ(Robustness) ถูกบ่งบอกไว้ในเทอมของความสามารถของตัวควบคุมที่

คงเสถียรภาพได้ในสภาวะที่ทั้ง sensor และ feedback loop ล้มเหลวในการควบคุม

Derivation of State-Space Model

สำหรับการต่อระบบไฟ AC หลายระบบรวมกัน ควรจะมีขั้นตอนการแทนค่าเป็น สูตรในรูปของ a generalized state-space ซึ่งในรูปที่ 3-1 แสดง AC Area(i) และขั้นตอนการใช้ในระบบเล็กๆ

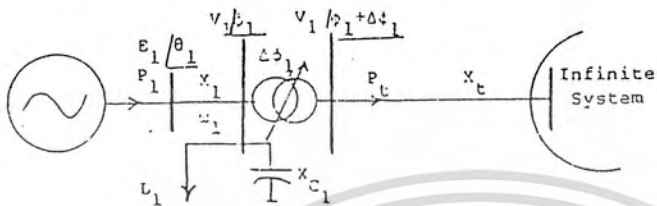


รูปที่ 3-1 AC area (i)

Controller Design

รูปที่ 3-2 แสดงตัวอย่างของระบบไฟ AC มาต่อกัน กับ infinite bus ตัวอย่างที่กล่าวถึงง่ายต่อการเข้าใจถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการเพิ่ม เสถียรภาพ และความเหมาะสม ในการควบคุมจุดที่สำคัญ AC area (1) ถูกแทนโดย 2 สภาวะง่ายๆ ค่าพารามิเตอร์ในระบบไฟ Ac และ วิธีการพื้นฐานถูกกำหนดไว้ใน ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 Two-Area Integrated System

linear state-space model $PX_S = AX_S + BU + CPU$

โดย $P = \frac{d}{dt}$ = ค่าอนุพันธ์ของเวลาในสมการที่ 1

$$\begin{array}{c}
 P \begin{array}{|c|} \hline \Delta P_t \\ \hline \Delta W_1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|ccc|} \hline 0 & 0.36 & \\ \hline -235.62 & -0.2 & \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \Delta P_t \\ \hline \Delta W_1 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|ccc|} \hline 0 & & \Delta U_1 \\ \hline 204.05 & & \\ \hline \end{array} \\
 + \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline -47.18 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \Delta U_3 \\ \hline \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 1.232 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline P\Delta U_1 \\ \hline \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 0.493 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline P\Delta U_2 \\ \hline \\ \hline \end{array} \dots (1)
 \end{array}$$

ซึ่ง $X_S = [\Delta P_t, \Delta W_1]^T$ ซึ่ง T แทน transpose
 $U = [\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3]^T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ΔU_1 = phase shifter-action ($A\phi_1$) ที่ AC bus of area (1)
- ΔU_2 = modulated (equivalent) reactance X_{A1} ที่ AC bus of area (1)
- ΔU_3 = switched resistance ที่ AC bus of area (1)

Design Procedure

จุดสำคัญในการควบคุมจะต้องถูกบ่งชี้อย่างชัดเจน เพื่อการ Closed loop system ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนด 'damping'
- 2) กำหนดพลังงานที่เข้าไปในตัวควบคุม และกำหนด เวกเตอร์ของระบบที่มีการเบี่ยงเบน หรือเปลี่ยนแปลง (P_1, W_1) ให้น้อย
- 3) ความมีประสิทธิภาพของ controller-stabilizing ควรจะเหมาะสมภายใต้การติดกันถึงแม้จะเกิด sensor failure และ feedback loop failures
- 4) ในการออกแบบตัวควบคุมพื้นฐานขึ้นกับ linearized small-perturbation model และระดับของความแข็งแกร่งของระบบ(Robustness) คือตัวแปรที่ไม่รู้ใน power system dynamics equivalent มันมีความหมายว่า ตัวควบคุมจะไม่มีผลกับค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตลอด ในสภาวะการปฏิบัติงาน

gain matrix [K] ได้รับมาจากการ minimization ของ a modified quadrature performance

$$\text{Minimize } \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\alpha t} (\hat{X}^T Q \hat{X} + \hat{U}^T R \hat{U}) dt \right\} \dots\dots\dots(2)$$

Q : สภาวะ (state)

R : น้ำหนักของเมตริกควบคุม (control weighting matrices)

α : Closed loop "damping"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Controller gain ได้มาโดยการ minimization สมการ ซึ่งเป็นการรับรองว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากผลตอบสนองของทางไดนามิกส์ จะอยู่ในช่วงของ ฟังก์ชันลดลง (decaying function) อย่างเอกซโพเนนเชียลที่กำหนดไว้ และด้วยการที่ใช้พลังงานการควบคุมที่น้อย และสภาวะเปลี่ยนแปลง

มันจะแตกต่างจากวิธี conventional จะทำให้เกิดการลดลงจนเป็น a quadratic performance criterion ซึ่งถึงแม้ว่าจะใช้พลังงานน้อย และ สภาวะเปลี่ยนแปลง แต่เวลาที่กำหนดไว้ (setting time) ของระบบที่เกิดการสั่นแบบทรานเซียนมีการผิดพลาด

ในการเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี ระหว่าง modified และ conventional control design ให้ผลลัพธ์ต่างกัน แต่โครงสร้างการควบคุมเหมือนกัน

The controller gains [K] คือ

1) closed loop eigenvalues

$$\operatorname{Re} \lambda(\hat{A} - \hat{B}K) \leq -\alpha \quad (3)$$

2) ผลของการ closed loop system คือ robust ซึ่งจะมีค่า phase margin น้อยที่สุด 60 องศา, gain margin 0.5

3) สามารถป้องกันใน feedback loop failure และ sensor failure ด้วยโครงสร้างการควบคุมร่วมกัน (coordinated control structure), ใช้ ตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร

a modified Riccati matrix equation คือ

$$P(\hat{A} + \alpha I) + (\hat{A} + \alpha I)^T P - P\hat{B}R^{-1}\hat{B}^T P + Q = 0 \quad (4)$$

$$K = R^{-1}\hat{B}^T P$$

K : gain matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\hat{A} : augmented state

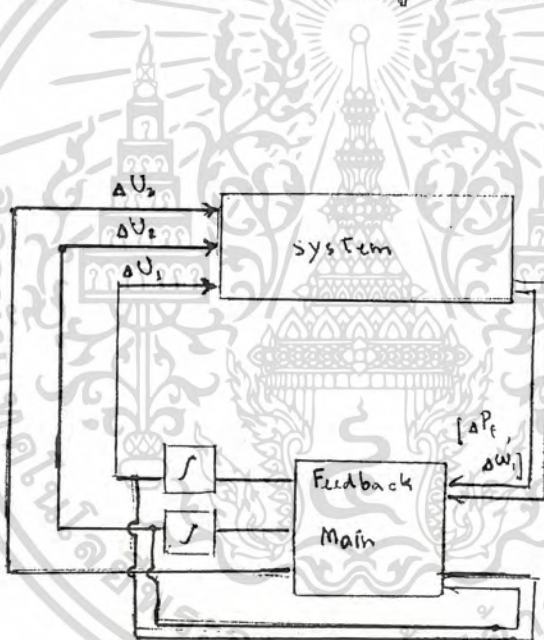
\hat{B} : control matrices

จัดการเรียงสมการใหม่

$$\hat{X} = [\Delta P_t, \Delta W_1, \Delta U_1, \Delta U_2]^T$$

$$\hat{U} = [P\Delta U_1, P\Delta U_2, P\Delta U_3]^T$$

ในรูปที่ 3-3 แสดงระบบ AC ด้วยการควบคุม $\Delta P_t, \Delta W_1$ ในระบบย้อนกลับค่าตัวแปรต่างๆ α, Q, R จะถูกเลือกเพื่อให้เหมาะสมกับการออกแบบขึ้นอยู่กับ overshoot ของกราฟ



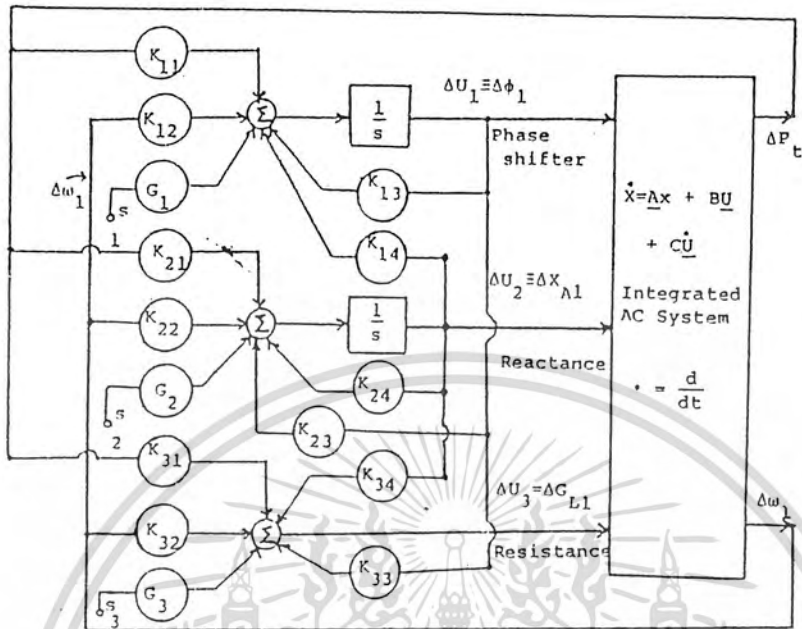
K_{ij} = are elements of the gains matrix

G_i = supplementary transfer functions

s = supplementary signals

รูปที่ 3-3a Controller structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3b Integrated AC system with coordinated control

ขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

- 1) เลือก α , Q และ R
- 2) รับค่า K จากสมการที่ 5
- 3) สังเกตระบบผลตอบสองทางไดนามิกส์
- 4) ถ้า overshoot มีขนาดใหญ่ กลับไปสมการที่ 1 และทำซ้ำ สมการ 1-3 สำหรับค่าของ Q และ R หรือ

แตกต่างกัน

ผลลัพธ์

- 1) Open Loop System (No Controls)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P \begin{vmatrix} \Delta P_t \\ \Delta W_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0.36 \\ -235.62 & -0.2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta P_t \\ \Delta W_1 \end{vmatrix}$$

eigenvalues $\lambda_1 = -0.1 \pm j9.20$; $f_0 = 1.465$ Hz

2

แสดงในรูป 3-4a, 3-4b ตามลำดับ

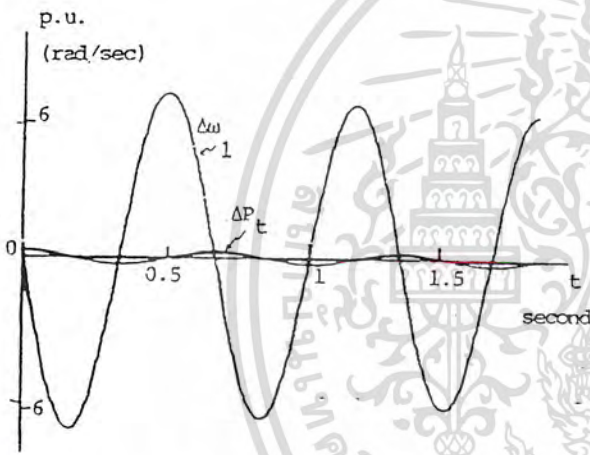


Figure 4a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ (No Controls)

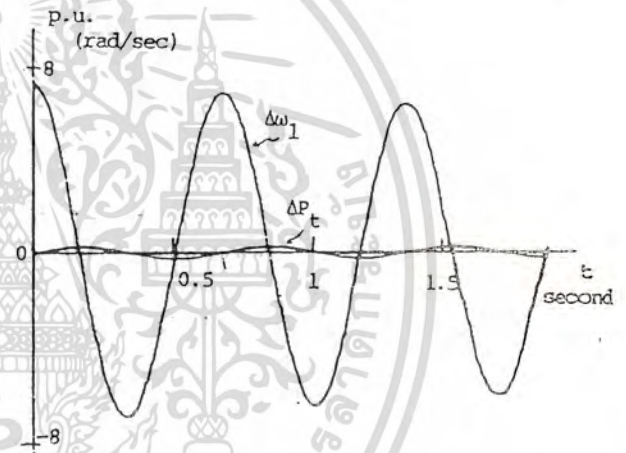


Figure 4b System dynamic response to a disturbance $\Delta \omega_1 = 2\%$ (No Controls)

รูปที่ 3-4a , 3-4b

2) Phase-Shifter Controller

$$P \hat{X} = \begin{vmatrix} 0 & 0.36 & 0 \\ -235.62 & -0.2 & 204.05 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \hat{X} + \begin{vmatrix} 1.232 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} P \Delta U_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\underline{X} = [\Delta P_t \ \Delta W_1 \ \Delta U_1]^T, \ \Delta U_1 = \Delta \phi_1 \text{ (phase angle control)}$$

$$, \ \alpha = 4, \ R = 1$$

$$Q_{ii} = 1.0 \ (i = 1,2,3), \ \text{gain matrix } K$$

จากการคำนวณ = [23.68 -299 -2.036]

$$P.U./P.U. \ \text{และ} \ \text{กฎการควบคุม} : P\Delta\phi_1 = -23.68 \Delta P_t + 2.99\Delta W_1 + 2.036\Delta\phi_1$$

Close loop eigenvalues $\lambda_{1,2} = -9.7 \pm j10.17$

$$\lambda_3 = -7.90$$

แสดงในรูป 3-5a, 3-5b ตามลำดับ

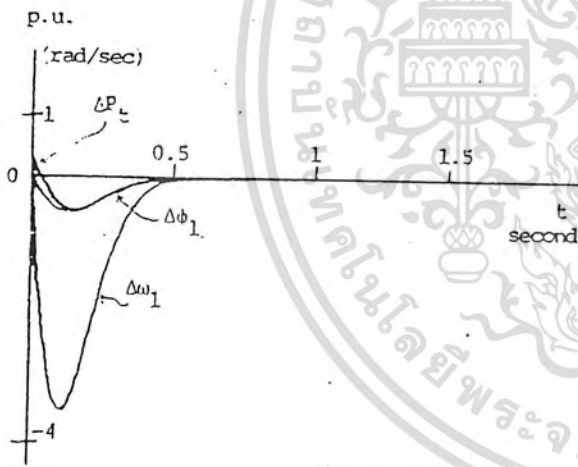


Figure 5a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with phase shifter control alone

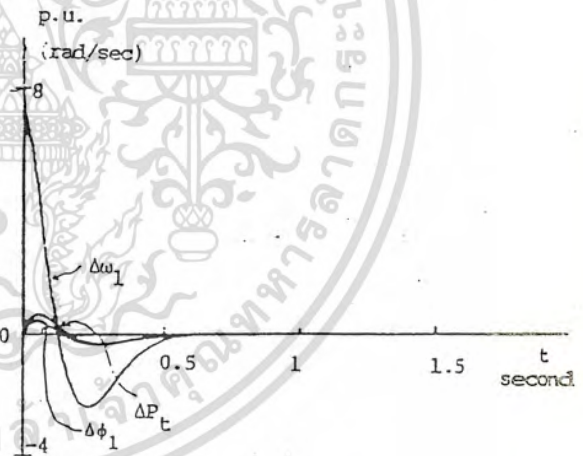


Figure 5b System dynamic response to a disturbance $\Delta \omega_1 = 2\%$ with phase shifter control alone

รูปที่ 3-5a , 3-5b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Modulated-Reactance Controller

$$\hat{P}\underline{\hat{X}} = \begin{bmatrix} 0 & 0.36 & 0 \\ -235.62 & -0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \hat{X} + \begin{bmatrix} 0.493 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} P\Delta U_2$$

$$\hat{X} = [\Delta P_t, \Delta W_1, \Delta U_2]^T, \Delta U_2 = \Delta X_{AI} \text{ (modulated reactance),}$$

$$\alpha = 4, R = 1$$

$$Q_{ii} = 1.0 \quad [i = 1,2,3], \text{ gain matrix } K$$

$$\text{จากการคำนวณ} = [15.8706 \quad -2.575 \quad 20.88]$$

$$\text{กฎการควบคุม: } P X_{AI} = -15.87 \Delta P_t + 2.57 \Delta W_1 + 20.88 \Delta X_{AI}$$

$$\text{Close loop eigenvalues: } \lambda_{1,2} = -10 \pm j9.9, \quad = -8.95$$

แสดงในรูป 3-6a , 3-6b ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

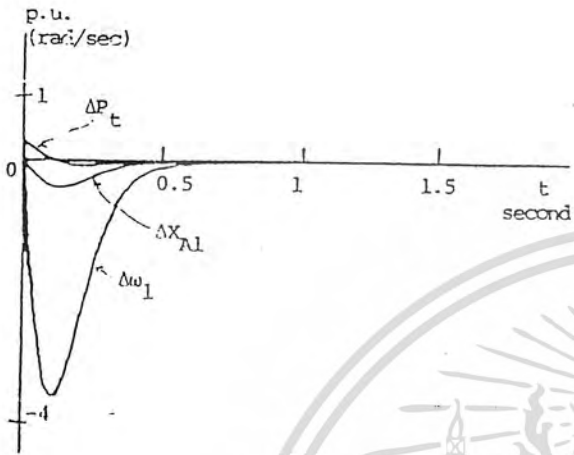


Figure 6a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with Modulated Reactance control alone

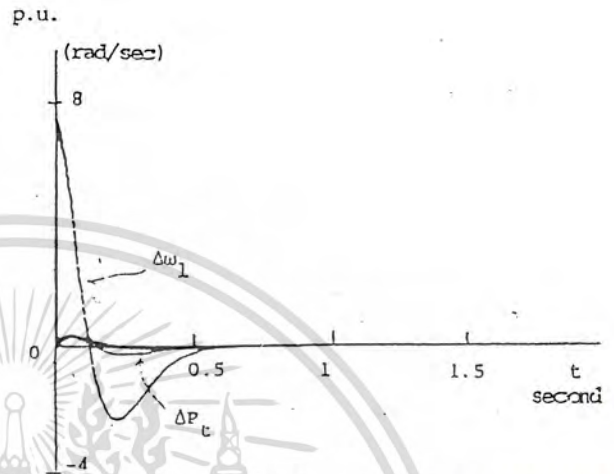


Figure 6b System dynamic response to a disturbance $\Delta \omega_1 = 2\%$ with Modulated Reactance control alone

รูปที่ 3-6a, 3-6b

4) Modulated Resistance Controller

$$\hat{P}\hat{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0.36 \\ -235.62 & -0.2 \end{bmatrix} \hat{X} + \begin{bmatrix} 0 \\ 47.12 \end{bmatrix} \Delta U_3$$

$$\hat{X} = [\Delta P_t, \Delta W_1]^T, \Delta U_3 = \Delta G_{L1} \text{ (switched load),}$$

$$\alpha = 4, R = 1$$

$$Q_{ii} = 1.0 \text{ [} i= 1,2 \text{]}, \text{ gain matrix } K = [-20.73 \quad -1.228]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎการควบคุม : $\Delta G_{L1} = 20.37 \Delta P_t + 1.22 \Delta W_1$

Close loop eigenvalues : $\lambda_{1,2} = -8.7, -49.37$

แสดงในรูป 3-7a . 3-7b ตามลำดับ

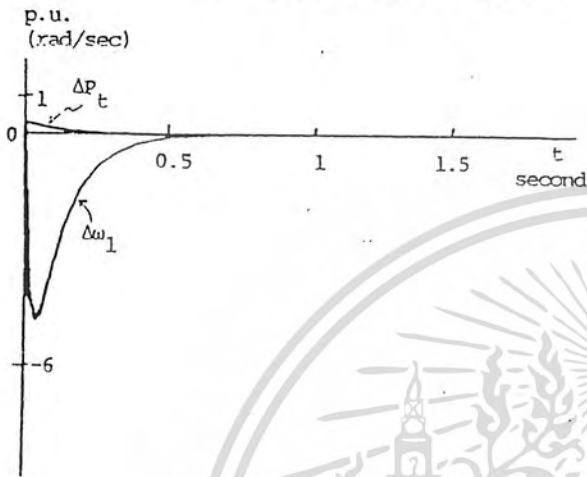


Figure 7a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with Modulated Resistance control alone

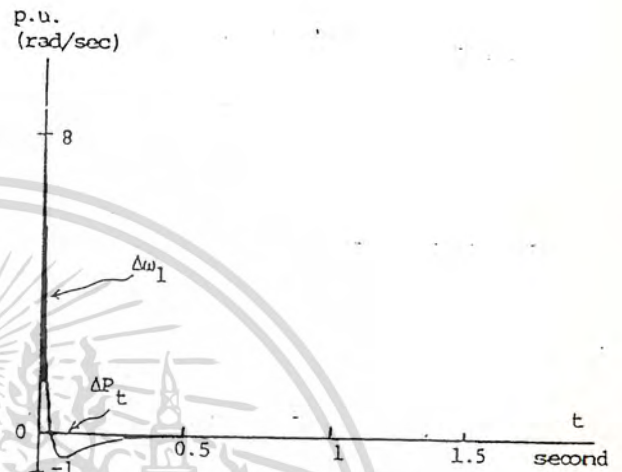


Figure 7b System dynamic response to a disturbance $\Delta \omega_1 = 2\%$ with Modulated Resistance alone

รูปที่ 3-7a , 3-7b

5) Coordinated Control ซึ่งจะมีหลายตัวแปร

$$\hat{P}\hat{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0.36 & 0 & 0 \\ -235.62 & -0.2 & 204.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \hat{X} + \begin{bmatrix} 1.232 & 0.493 & 0 \\ 0 & 0 & -47.12 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} U$$

$$\hat{X} = [\Delta P_t \quad \Delta W_1 \quad \Delta U_1 \quad \Delta U_2]^T$$

$$\hat{U} = [P \Delta U_1 \quad P \Delta U_2 \quad P U_3]^T$$

$U_1 =$ pahse shifter, $U_2 =$ modulated reactance,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_3 = \text{modulated resistance}$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}, \alpha = 4$$

gain matrix $K = \begin{bmatrix} 6.425 & -0.973 & 6.189 & 4.787 \\ 8.791 & -1.314 & -2.875 & 14.53 \\ -0.886 & -0.137 & 1.550 & 1.0562 \end{bmatrix}$

eigenvalues $\lambda_{1,2} = -11.7 \pm j10.82$
 $\lambda_3 = -8.05, \lambda_4 = -8.19$

รูปที่ 3-8a,b,c,d

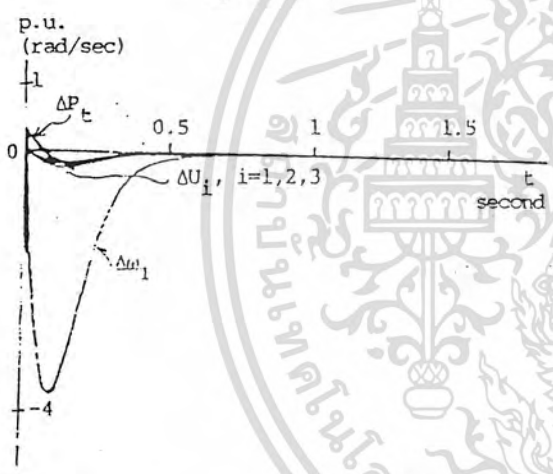


Figure 8a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with coordinated control (all loops acting)

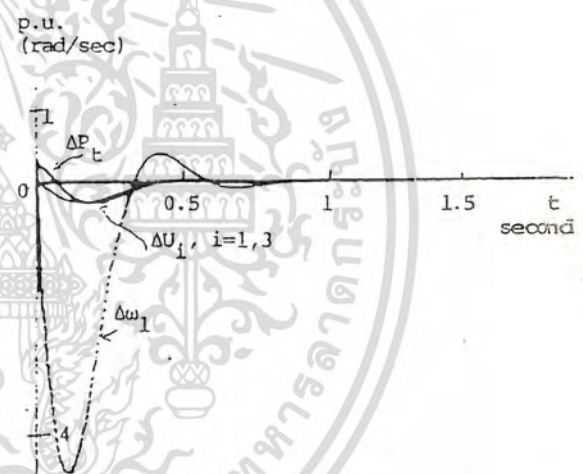


Figure 8b System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with coordinated control (Modulated Reactance out of action) $\Delta U_2 = 0$

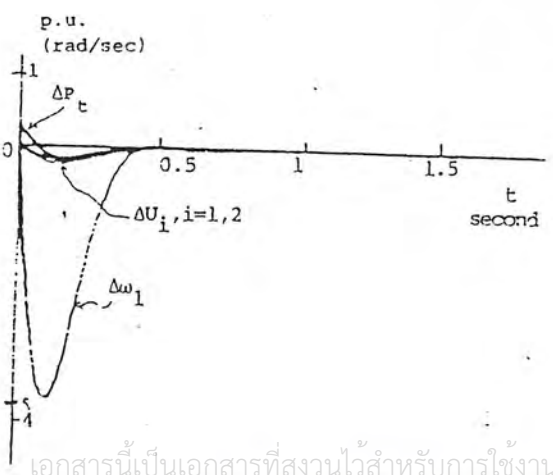


Figure 8c System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with coordinated control (Modulated Resistance out of action) $\Delta U_3 = 0$

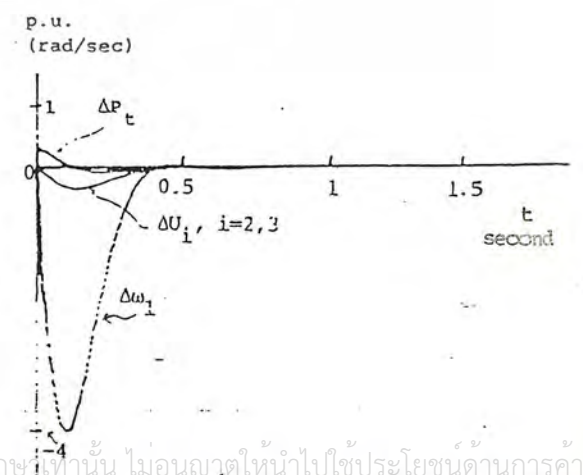


Figure 8d System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with coordinated control (Phase shifter out of action) $\Delta U_1 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3-8a,b,c,d

Sensor Reliability

การเปรียบเทียบระหว่าง phase shifter control และ coordinated control แสดงในรูปที่ 3-9a,b,c,d

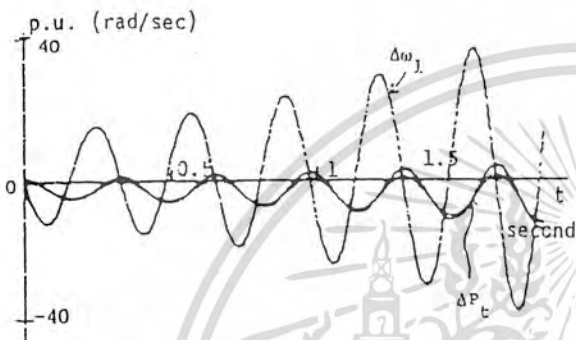


Figure 9a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ in case of ΔP_t -sensor failure ($K_{11} = 0$) for phase shifter

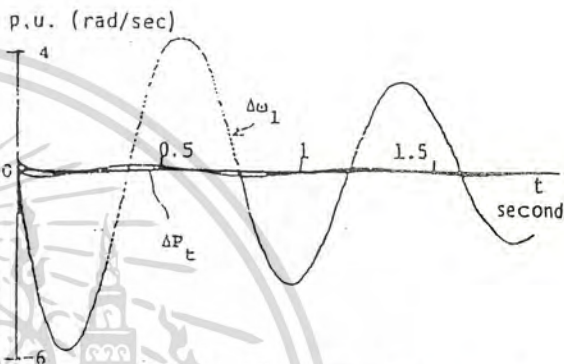


Figure 9b System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ in case of $\Delta \omega_1$ -sensor failure ($K_{12} = 0$) for phase shifter

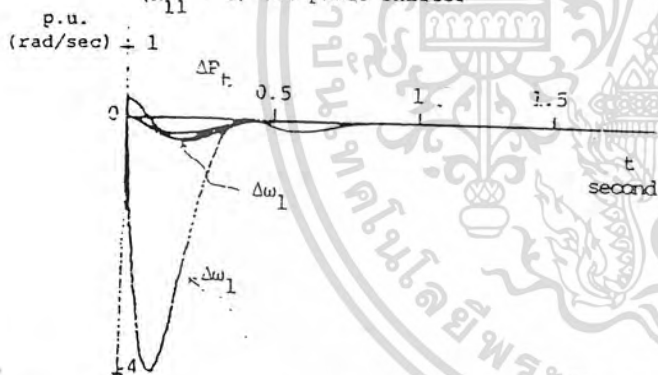


Figure 9c System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ in case of ΔP_t -sensor failure ($K_{i1} = 0, i=1,2,3$) for coordinated control

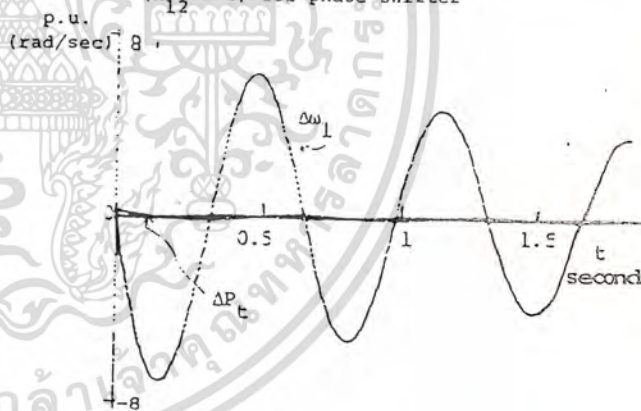


Figure 9d System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ in case of $\Delta \omega_1$ -sensor failure ($K_{i2} = 0, i=1,2,3$) for coordinated control

รูปที่ 3-9a,b,c,d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modified-Versus-Conventional Control Designs

ตารางที่ 3-1 เป็นการเปรียบเทียบการออกแบบ phase-shifter ทั้งวิธี Modified และ Conventional

Table 3-1

Phase-Shifter Controller design (ΔU_1 alone) Utilizing Modified-vs-Conventional optimal Control

Control Design Parameter	Modified ($\alpha=4$)	Conventional ($\alpha=0$)
Gains [K]	[23.68 -2.996 -2.036]	[21.618 -0.479 19]
Overshoot	3.5	4.0
Settling time	1 second	2 seconds

รูปที่ 3-10 a,b,c แสดงการให้ Conventional optimal Control design

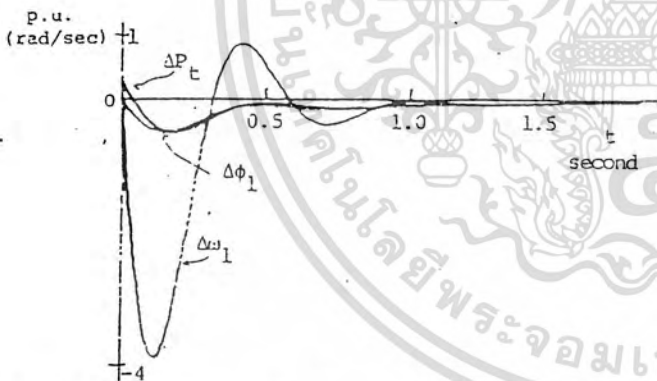


Figure 10a System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with phase shifter conventional control design ($\alpha=0$)

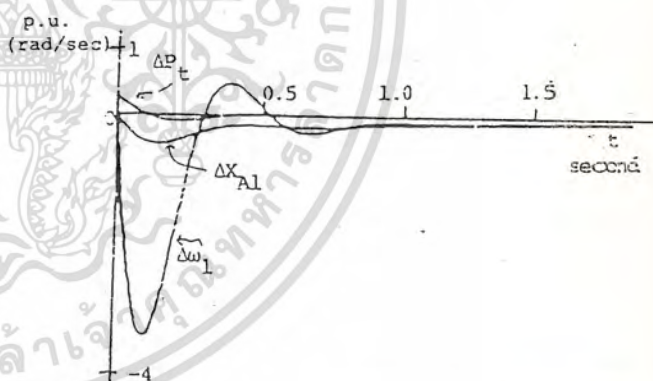


Figure 10b System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with Modulated Reactance conventional control design ($\alpha=0$)

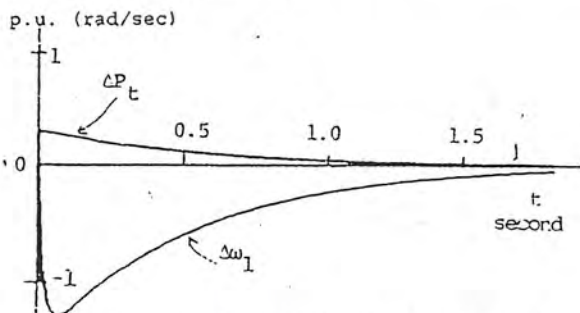


Figure 10c System dynamic response to a disturbance $\Delta P_t = 30\%$ with Modulated Resistance conventional control ($\alpha=0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a state space model ถูกใช้เพื่อให้เข้าใจถึงผลของเทคนิคต่างๆ ในการเพิ่มเสถียรภาพของระบบ และการออกแบบตัวควบคุมเสถียรภาพ

1. ภาพที่แสดงให้เห็น small-perturbation model ใกล้เคียงกับ phase shifting action (phase control) หรือ Modulated Reactance ฯลฯ
2. Static phase shifter จะติดตั้งพร้อมกับ ตัวควบคุมป้อนกลับ (feedback controller) ทำให้การเปลี่ยนแปลงทั้ง power และ frequency เหมือนกับสัญญาณ damping ซึ่งควรที่จะใช้เพื่อลด power swings และรักษาเสถียรภาพของการลั่นของ electromechanical
3. การใช้ทั้งทฤษฎี optimal control และ a small signal state - space model จะทำให้สามารถสร้าง static phase shifter ที่ควบคุมเสถียรภาพได้อย่างรวดเร็วเหมือน active power controller
4. ในส่วนของ feedback จะถูกใช้ประโยชน์เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ AC แต่ตามข้อสรุปจากทฤษฎี และตัวอย่างที่ทำ feedback ของ P_t , W_1 เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อนำมาเขียนในรูป linear model ของระบบไฟฟ้ากำลัง แต่ที่ใช้งานจริงเป็นแบบ nonlinear power system
5. Phase shifter ถูกพบว่า ใกล้เคียงกับตัวเพิ่มประสิทธิภาพตัวอื่นในด้านความเร็วของ damping action ถึงแม้ว่าบางครั้งจะมี overshoot ที่สูงกว่า

บทที่ 4

ทฤษฎีฟัซซี

4.1 ทฤษฎีฟัซซีเซตและฟัซซีลอจิก (Fuzzy sets and Fuzzy logic)

4.1.1. ฟัซซีและคัพท์เฉพาะ

ให้ U เป็นกลุ่มของสิ่งที่กำลังพิจารณา ซึ่งโดยทั่วไปกำหนด เป็น (u) ซึ่งอาจจะเป็นปริมาณ ที่ ต่อเนื่องหรือไม่ก็ได้ U จะถูกเรียกว่าเอกภพสัมพัทธ์ และ u จะแทนสมาชิกภายใน U

นิยามที่ 1: ฟัซซีเซต : ฟัซซีเซต F ภายในเอกภพสัมพัทธ์ U สามารถที่จะแสดงได้โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) F ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ ใช้สัญลักษณ์แทนดังนี้ $\mu_F : U \rightarrow [0,1]$ ฟัซซีสามารถที่จะมองในรูปของเซตทั่วไปซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกอยู่ในช่วง $[0,1]$ โดยที่ ฟัซซีเซต F ในเอกภพสัมพัทธ์ U สามารถเขียนแทนได้ในลักษณะ ของเซตของคู่ลำดับ ของ u กับค่าความเป็นสมาชิก ของมันเอง:

$$F = \{ (u, \mu_F(u)) \mid u \in U \}$$

เมื่อ U เป็นค่าต่อเนื่อง ฟัซซีเซต F สามารถเขียนได้เป็น

$$F = \int_U \mu_F(u) / u$$

เมื่อ U เป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องฟัซซีเซตสามารถแทนได้

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i) / u_i$$

นิยามที่ 2 : Support, Crossover point และ Fuzzy Singleton:

Support ของฟuzzyเซต F คือเซตที่ค่าความเป็นสมาชิกที่ทุก ๆ ค่า ของ u ใน เอกภพสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 0

crossover point คือค่าของ u ในเอกภพสัมพัทธ์ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

Fuzzy singleton คือ ฟuzzyเซตที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียวและมีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 1.0

4.1.2. ตัวปฏิบัติการของเซต กำหนดให้ A และ B เป็นฟuzzyเซตในเอกภพสัมพัทธ์ U ด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก A และ B ตัวปฏิบัติการของเซตได้แก่ ยูเนียน อินเตอร์เซกชัน และคอมพลีเมนต์ สำหรับฟuzzyเซตจะนิยามโดยตรงกับฟังก์ชันความเป็นอินเตอร์เซกชัน และคอมพลีเมนต์ สำหรับฟuzzyเซตจะนิยามโดยตรงกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซตนั้น ดังที่จะกล่าวต่อไป

นิยามที่ 3: ยูเนียน (union): ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{A \cup B}$ ของ $A \cup B$ ภายในเอกภพสัมพัทธ์ U คือ

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}$$

นิยามที่ 4: อินเตอร์เซกชัน (intersection): ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{A \cap B}$ ของ $A \cap B$ ภายในเอกภพสัมพัทธ์ U คือ

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}$$

นิยามที่ 5 : คอมพลีเมนต์ (complement): ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ของคอมพลีเมนต์ ของฟuzzyเซต A ภายในเอกภพสัมพัทธ์ U คือ

$$\mu_{A^c}(u) = 1 - \mu_A(u)$$

นิยามที่ 6: ผลคูณคาร์ทีเซียน (cartesian Product): ถ้า A_1, \dots, A_n เป็นฟัซซีเซตภายในเอกภพ
 สัมพัทธ์ U_1, \dots, U_n ผลคูณคาร์ทีเซียนของ A_1, \dots, A_n จะเป็นฟัซซีเซตภายใต้เอกภพสัมพัทธ์ใหม่ซึ่งเป็น
 ผลคูณคาร์ทีเซียนของเอกภพสัมพัทธ์เดิม
 $U_1 \times \dots \times U_n$ ซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกคือ

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\}$$

or

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1) \cdot \mu_{A_2}(u_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(u_n)$$

นิยาม 7 : ความสัมพันธ์เชิงฟัซซี (Fuzzy Relation) : ความสัมพันธ์เชิงฟัซซี ขนาด n หน่วย คือ
 ฟัซซีเซตภายใน $U_1 \times \dots \times U_n$ ซึ่ง แสดงได้โดย

นิยามที่ 8 : ซับ-สตาร์ คอมโพสิชัน (Sup-Star Composition): ถ้า R และ S เป็นความสัมพันธ์
 เชิงฟัซซี ภายใน $U \times V$ และ $V \times W$ แล้ว คอมโพสิชัน ของและ R คือ S ความสัมพันธ์เชิงฟัซซีเขียนแทนได้
 ด้วย $R.S =$ และกำหนดโดย $R.S = \{(u,w), \sup\{\mu_R(u,v) * \mu_S(v,w)\}, u \in U, v \in V, w \in W\}$

โดยที่ * เป็นตัวปฏิบัติการใด ๆ ซึ่งอยู่ในกลุ่ม triangular norms เช่น minimum, algebraic product,
 bounded product, หรือ drastic product

4.1.3. ตัวแปร Linguistic และ ฟัซซีเซต

นิยามที่ 9: ปริมาณฟัซซี (Fuzzy Number) : ปริมาณฟัซซี F ภายใต้ เอกภพสัมพัทธ์ที่ต่อเนื่อง
 U คือฟัซซีเซต F ภายใน U ซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขนอร์มัล (normal) และคอนเวกซ์ (convex)

$$\text{MAX}_{u \in U} \mu_F(u) = 1 \quad (\text{normal})$$

$$\mu_F(u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \min(\mu_F(u_1), \mu_F(u_2)), \quad u_1, u_2 \in U, \lambda \in [0,1]$$

(convex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของการใช้ฟัชชีเซตสำหรับระบบโดยทั่วไปก็คือความสามารถที่จะกระทำการหลักการของระบบที่มีความคลุมเครือและไม่แน่นอนในทางปฏิบัติเราสามารถที่จะใช้ฟัชชีเซตเพื่อจะแทนตัวแปร linguistic ได้ ซึ่งตัวแปร linguistic สามารถที่จะพิจารณาได้เป็นตัวแปร ที่ค่าของมันเป็นปริมาณฟัชชีหรือไม่ก็เป็นตัวแปรที่ ค่าของมันกำหนดเป็น linguistic term ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

นิยามที่ 10: ตัวแปร Linguistic : ตัวแปร linguistic จะสามารถแสดงได้ด้วยส่วนประกอบ 5 ส่วนด้วยกัน (x,T(x),U,G,M) คือ

x เป็นชื่อของตัวแปร

T(x) เป็นเซตของชื่อ (Label) ที่บอกค่าของตัวแปร x โดยแต่ละชื่อจะมีค่าของปริมาณ ฟัชชีของมันเอง

U เป็นช่วง (range) ของปริมาณฟัชชีที่ครอบคลุมปริมาณฟัชชีทั้งหมดที่ถูกกำหนดใน T(x)

G เป็นกฎการตั้งชื่อของค่าตัวแปร x

M เป็นกฎการให้ความหมายที่เหมาะสมกับค่า x ที่รวมกันเป็นกลุ่ม (Label)

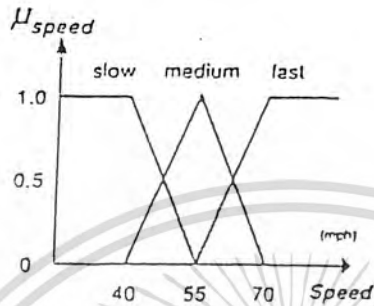
ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลตัวแปรความเร็วในลักษณะของตัวแปรแบบ Linguistic ดังนั้น x คือ ความเร็วและ T(x) อาจเขียนได้เป็น

T(speed)=(slow,moderate,fast,very slow,more or less fast....]

โดยที่แต่ละ T(speed) จะถูกแทนได้ด้วยฟัชชีเซตภายใต้เอกภพสัมพัทธ์ $U=[0,100]$ ซึ่งเราอาจจะแปลความหมายของ "slow" ได้เป็น "ความเร็วที่ต่ำกว่า 40 mph" "moderate" เป็น "ความเร็วในช่วงใกล้กับ 55 mph" และ "fast" เป็น "ความเร็วที่สูงกว่า 70 mph" ซึ่งจากความหมายที่กำหนดข้างต้น สามารถเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟuzzyเซตได้โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังแสดงในรูป



รูปที่ 4-1 แผนภาพแสดงฟuzzyเซต ความเร็ว (speed) โดยที่ "ความเร็ว" เป็น ตัวแปร linguistic ประกอบด้วย 3 กลุ่มตัวแปร (label) คือ "slow", "medium", และ "high"

4.1.4. ฟuzzyลอจิกและการให้เหตุผล ในเรื่องฟuzzyลอจิกและการให้เหตุผลมี กฎการสรุปเหตุผลที่สำคัญ อยู่ 2 ข้อ คือ generalized modus ponens (GMP) และ generalized modus tollens (GMT)

เหตุการณ์ที่ 1: x คือ A'

เหตุการณ์ที่ 2: ถ้า x คือ A แล้ว y คือ B

ผลลัพธ์ : y คือ B' (GMP)

เหตุการณ์ที่ 1: y คือ B'

เหตุการณ์ที่ 2: ถ้า x คือ A แล้ว y คือ B

ผลลัพธ์ : x คือ A' (GMT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ ฟัชชีเซต A, A', B, B' กับตัวแปร linguistic x, y แทนที่จะ เป็นเซตธรรมดาในระบบลอจิกทั่วไป สำหรับ GMP เมื่อ $A=A'$ และ $B=B'$ ซึ่ง เรียกว่า forward data-driven inference ซึ่งจะใช้มากในการประยุกต์ใช้ ฟัชชีในระบบทั่วไป และ GMT เมื่อ $B=\text{not}B'$ และ $A=\text{not}A'$ จะเรียกว่า backward goal-driven inference ซึ่งจะใช้มากในระบบผู้เชี่ยวชาญ

นิยามที่ 11: Sup-Star Compositional Rule of Inference : ถ้า R คือความสัมพันธ์เชิงฟัชชีภายใน $U \times V$ และ x คือ ฟัชชีเซตใน U แล้ว Sup-Star Compositional Rule of Inference กล่าวถึง ฟัชชีเซต y ใน V ในรูปของ x คือ

$$y = x.R$$

โดยที่ $x.R$ คือ sup-star composition ของ x และ R ถ้า star แทนตัวปฏิบัติ การ minimum แล้ว การกำหนดในลักษณะนี้คือ Zadeh's compositional rule of inference

4.1.5. กลุ่มของฟังก์ชัน Fuzzy Implication Functions

นิยามที่ 12: Triangular Norms : Triangular Norms ประกอบด้วย intersection, algebraic product, bounded product, และ drastic product

กำหนดให้ $x, y \in [0, 1]$:

intersection $x \wedge y = \min \{x, y\}$

algebraic product $x \cdot y = xy$

bounded product $x \circ y = \max\{0, x+y-1\}$

$$=x, y=1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

drastic product $x \cdot y = y$, $x=1$

$=0$, $x,y < 1$

นิยามที่ 13: Triangular Co-Norms: ประกอบด้วย union, algebraic sum, bounded sum, drastic sum, และ disjoint sum

กำหนดให้ $x, y \in [0, 1]$

union $x \cup y = \max(x, y)$

algebraic sum $x + y = x + y - xy$

bounded sum $x + y = \min(1, x + y)$

$= x$, $y = 0$

drastic sum $x \cup y = y$, $x = 0$

$= 1$, $x, y > 0$

disjoint sum $x \Delta y = \max\{\min(x, 1-y), \min(1-x, y)\}$

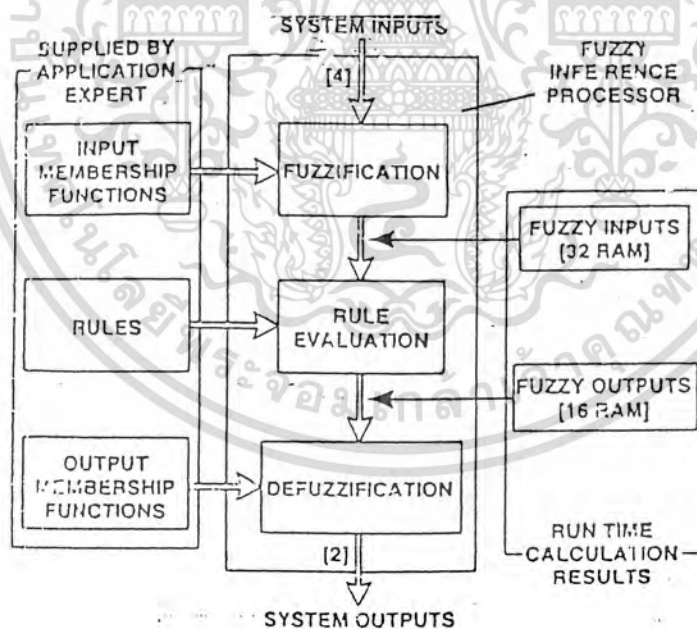
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การประยุกต์ใช้ FUZZY EXPERT RULES ใน HARDWARE

พิจารณากฎ "ถ้าอุณหภูมิอุ่นและค่าความชื้นในอากาศสูง ดังนั้นเร่งระบบทำ ความเย็นให้สูงสุดและเร่งพัดลมให้เร็วที่สุด" ซึ่งลำพังกฎนี้มีความไม่แน่นอนและยาก ที่จะทำการควบคุมในการทำงานซึ่งความไม่แน่นอนนี้จะมีปัญหามากในระบบควบคุม แบบ AI

แต่สำหรับ fuzzy logic นั้นจะสามารถที่จะทำงานได้อย่างง่ายดายและ มีประสิทธิภาพแม้จะใช้ในระบบไมโครโปรเซสเซอร์เพียงตัวเดียว

fuzzy logic ประกอบด้วยขั้นตอนการพื้นฐาน 3 ส่วนด้วยกัน คือ fuzzification, rule evaluation, defuzzification โดย membership function เป็น function ที่เกิดจากการแปลง linguistic expressions ดังเช่น "ถ้าอุณหภูมิอุ่น" เป็นจำนวน ซึ่งสามารถทำการคำนวณได้ โดย ไมโครโปรเซสเซอร์เล็ก ๆ รูปที่ 4-2 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของระบบ ควบคุม fuzzy



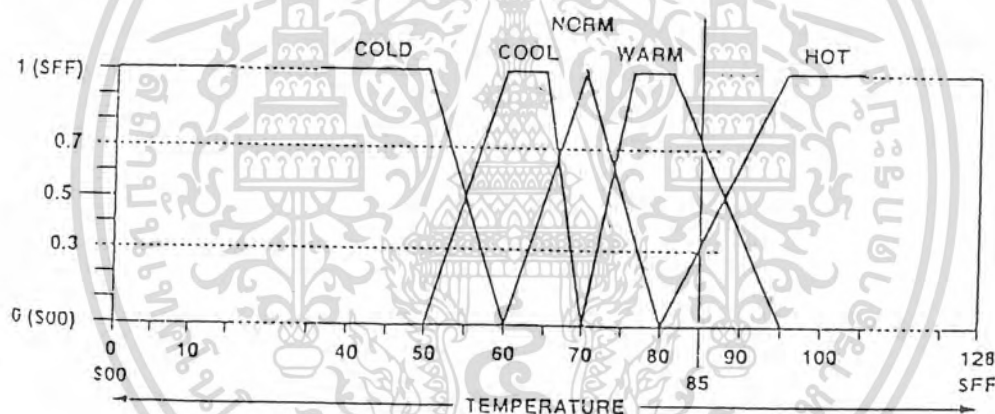
รูปที่ 4-2 บล็อกไดอะแกรมของระบบฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUZZIFICATION

fuzzification จะนำสัญญาณอินพุตที่เป็น real time เช่น อุณหภูมิ เปรียบเทียบกับค่า membership function จะได้เป็นค่า fuzzy input ซึ่งระบบที่ให้มาในแต่ละ input จะมีกลุ่มของตัวแปรหรือสถานะภาพอยู่ 3 ถึง 8 กลุ่ม ตัวอย่างเช่นอินพุตที่เป็นอุณหภูมิอาจจะมีกลุ่มดังนี้ หนาว เย็น ปกติ อุ่น และ ร้อน membership function จะถูกสร้างขึ้นโดย programmer เพื่อแทนความหมาย ทางจำนวนสำหรับกลุ่ม แต่ละกลุ่มโดยแต่ละ membership function จะไม่ได้กำหนดค่าของช่วงอินพุตเจาะจงลงไปซึ่งจะต่างกับ boolean logic รูปที่ 4-3 แสดงถึง membership function ของอินพุตอุณหภูมิ

เพื่อแสดงว่าค่า input membership function ถูกใช้อย่างไรพิจารณา การทำ fuzzification กับ อินพุตอุณหภูมิสมมติว่าอุณหภูมิมีค่าเป็น 8.5 องศาเซลเซียส ซึ่งชี้ให้เห็นโดยเส้นทางแนวตั้ง



รูปที่ 4-3 กราฟความเป็นสมาชิก

ในรูปที่ 4-3 ซึ่งจะเห็นว่าที่ 8.5 องศาจะไม่ได้รวมเอากลุ่ม หนาว เย็น ปกติ เข้ามาเลยซึ่ง fuzzy input สำหรับกลุ่มเหล่านี้จะเป็น 0 สำหรับกลุ่มอุ่น จะมีค่าเป็นสมาชิกอยู่ 0.7 และสำหรับกลุ่มร้อน จะมีค่าความเป็นสมาชิกอยู่ 0.3

fuzzification จะสร้างกลุ่มของจำนวน ขึ้นจากวลีที่คลุมเครือ "อุณหภูมิอุ่น" และ "อุณหภูมิร้อน" ซึ่งต่อมากฎที่เขียนในรูปประโยคที่คลุมเครือ เหล่านี้จะถูกคำนวณโดย CPU พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า fuzzy input ใน ขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนจาก 80 เป็น 95 องศาเซียส ซึ่งการแปลค่าแบบนี้จะเป็นการถ่ายเมื่อถูก แปลค่าโดย ความรู้สึกของมนุษย์

การสร้างขอบเขตล้อมรอบ (HEDES)

การสร้างขอบเขตนี้เป็นการปรับปรุง fuzzy set โดยการ แปลงความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน เช่น เรากำหนด "มาก (very)" เป็นตัวกำหนดขอบเขตล้อมรอบของ "ราคาสูง (high price)" "เพื่อที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมของ fuzzy set ของราคาสูง (high price) คำนียามของ "มาก (very) ก็คือ ความเหมาะสมและความพอใจของเซต คล้ายกับการกำหนด "อุณหภูมิที่สะดวกสบายที่สุด" ดังนั้น ในการกำหนดขอบเขตโดยการใช้รูปสี่เหลี่ยมของฟังก์ชัน ไม่เชิงเส้นในรูปของฟังก์ชัน เชิง เส้น เราต้องทำการประมาณค่าขึ้นเป็นการยกขึ้นมา อย่างไม่มีเหตุผลใด ๆ ทั้งสิ้นเป็น การกำหนดขึ้นตามความเหมาะสมและความพอใจ กำหนดให้ ฟังก์ชันการประมาณคือ f และมีขอบเขต $[a,b]$

1. กำหนดค่าอ้างอิงประมาณ ซึ่งเป็นเส้นที่อยู่ระหว่าง $[a, f(a)]$ และ $[b, f(b)]$
2. เลือกจุดหนึ่งจุดหรือมากกว่าระหว่างจุดปลาย สุดภายในขอบเขต ที่ได้ประมาณไว้ เช่น เลือกที่จุดกึ่งกลางเป็นจุดใหม่ที่จะทำการทดสอบ
3. กำหนดค่า f และประมาณค่าที่จุดใหม่ภายในขอบเขตและทำการบวกค่า ใหม่เข้า กับ linear approximation ถ้าเราบวกจุดใหม่เข้ากับค่า linear approximation แล้วเราสามารถไปยังจุดที่สองและทำซ้ำได้อีก ถ้าค่าประมาณของ f เป็นที่น่าพอใจแล้วเราก็ถือว่า linear approximation ปัจจุบันมีคุณสมบัติ เพียงพอ กับฟังก์ชันเดิม และหยุดการคำนวณขั้นต่อ ๆ ไปได้

บางครั้งเราก็จะหลีกเลี่ยงการประมาณของ nonlinear ฟังก์ชันโดย ใช้การ แปลงอย่างเชิงเส้น คล้ายกับการสร้างขอบเขต เช่น เรากำหนดเงื่อนไข ของ "แพง (expensive)" คือ

- 0 มีความเป็นสมาชิกสำหรับราคา ≤ 5.00
- 1 สำหรับราคา ≥ 8
- การเพิ่มขึ้นระหว่างค่าเชิงเส้น (linear)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถสร้าง "แพงมาก (very expensive)" โดยการเลื่อน ขอบเขตของจุดเดิมของความเป็นสมาชิก "1" คือ

- 0 มีความเป็นสมาชิกสำหรับราคา $< = 8.00$
- 1 สำหรับราคา $> = 11.00$
- 1 การเพิ่มขึ้นระหว่างค่าเป็นเชิงเส้น (linear)

ซึ่งการเลื่อนของขอบเขตนี้เราจะนำไปประยุกต์ใช้ในระบบ fuzzy ในการเปลี่ยนผลเงื่อนไข ๗ เช่น "สูง" "ร้อน" "เย็น"

RULE EVALUATION

ใช้เทคนิคของ min-max ในการคำนวณผลลัพธ์รวมจากกฎซึ่งเป็นฐานของระบบค่าผลลัพธ์จากการคำนวณนี้ เรียกว่า fuzzy output จากจุดนี้เราสามารถให้กฎต่าง ๆ ในการคำนวณให้ได้ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ที่สุด แม้ว่ากฎเหล่านี้จะดูว่าเป็นอิสระ จากภาษาทั่วไปกฎ เหล่านี้จะถูกจำกัดขอบเขตของตัวแปรและไวยากรณ์ที่เข้มงวดซึ่งกฎ เหล่านี้สามารถนำไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้สำหรับระบบที่ซับซ้อน fuzzy logic สามารถขยายความสามารถออกไปได้โดยเพิ่มความซับซ้อนของกฎซึ่งจะเพิ่มความซับซ้อนของ software ด้วย

กฎแต่ละข้อสามารถลดขนาดลงเพื่อเก็บในหน่วยความจำจำนวนจำกัดซึ่งประกอบด้วยส่วนของอินพุตและส่วนของเอาต์พุตเป็นที่สังเกตว่ากฎแต่ละข้อจะมีผลตอบสนอง ต่อค่าของ fuzzy input อย่างเฉพาะเจาะจง ค่า fuzzy เหล่านี้เป็นผลที่เกิดจากขบวนการ fuzzification ผลลัพธ์ที่ได้จากกฎแต่ละข้อรวมกันแล้วลดรูปกลายเป็นตัวชี้ ตำแหน่งของ fuzzy output ค่าเหล่านี้เกิดขึ้นโดยการเปรียบเทียบกับกลุ่ม ของ output เป็นที่สังเกตว่า ผลลัพธ์ของกฎแต่ละข้อจะเกิดเป็น fuzzy output ที่เฉพาะเจาะจง rule evaluation เกิดจากการใช้กฎ smallest rule เข้ากับเหตุของกฎซึ่งจะมีค่าความจริงของมันอยู่แล้วนำค่าความจริงนี้ไปประยุกต์เข้ากับกฎจะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็น fuzzy output หรือเป็นไปได้ที่จะใช้กฎ highest rule เข้ากับกฎการทำงานก็ได้ผลที่ได้จากการใช้ rule evaluation นี้ก็จะได้ fuzzy output ที่สมบูรณ์ซึ่งเป็น ผลที่เกิดจากผลลัพธ์ของกฎที่ไม่เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลคูลัสของ FUZZY กฎของ ถ้า/ดังนั้น

การคำนวณทาง fuzzy logic จะอยู่ในรูปของกฎ ถ้า/ดังนั้น ตัวอย่าง เช่น การใช้กฎ ถ้า/ดังนั้น ของตัวแปร 3 ตัว คือ X Y Z

Z คือค่าปานกลาง ถ้า X คือค่ามาก และ Y คือค่าไม่น้อยมาก

Z คือค่ามาก ถ้า X คือค่าน้อย และ Y คือค่าปานกลาง

Z คือค่าปานกลาง ถ้า X คือค่าน้อย และ Y คือค่ามาก

โดยมีค่า น้อย, ปานกลาง, มาก เป็น fuzzy set ซึ่งโดยลักษณะของค่าเหล่านี้จะถูกกำหนด ในลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนสำคัญของแคลคูลัสฟังก์ชันของ ถ้า/ดังนั้น ขึ้นอยู่กับเหตุผลของตัวผู้ใช้เองซึ่งจะเป็น การประมาณมากกว่า เป็นผลจริง ๆ ดังนั้นแคลคูลัสของกฎ ถ้า/ดังนั้น จึงง่ายต่อการประยุกต์ใช้ต่อไปโดย ผลทางกฎของ fuzzy แต่ละกฎจะมีดีกรีขึ้นอยู่กับฟังก์ชันแสดง (degree) ระหว่างเหตุผลทางด้านอินพุต

กฎ ถ้า/ดังนั้น ของ fuzzy (fuzzy if/then rules)

กฎ ถ้า/ดังนั้น ของ fuzzy อยู่ในรูปแบบ

Y_1 คือ B_1 และ Y_2 คือ B_2 และ Y_m คือ B_m

ถ้า X_1 คือ A_1 และ X_2 คือ A_2 และ X_n คือ A_n

โดยที่ A_s และ B_s คือค่า เช่น เล็ก, ใหญ่, และไม่เล็กมาก โดยทางด้านซ้ายของกฎคือ ผล และทางด้าน ขวา คือ เหตุ ในกรณีง่าย ๆ ใช้ $n=m=1$ ดังนั้นกฎจะเขียนใหม่ได้เป็น

Y คือ B ถ้า X คือ A

ซึ่ง X และ Y เป็นตัวแปรซึ่งมีโดเมนเป็น U และ V และ A และ B เป็นผลการคาดคะเนทาง fuzzy ถ้าเราให้

โวลุ่ม คือ ต่ำ ถ้า ความดัน คือ สูง

ในกรณีนี้ $V =$ โวลุ่ม, $X =$ ความดัน

$$B = \text{ต่ำ}, A = \text{สูง}$$

ในการประยุกต์ Y คือ B และ X คือ A สามารถแปรให้อยู่ในรูปของ การกระจายความน่าจะเป็นของ X และ Y คือ

$$(x,y) = A \times B$$

โดย $A \times B$ คือผลคูณ คาร์ทีเซียน (cartesian product) ของ A และ B

การอธิบายการกระจายฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ X และ Y อาจอธิบาย ได้โดย

$$(u,v) = U \quad a \quad (u) \quad V \quad b \quad (v)$$

โดยที่ $U \quad a$ และ $U \quad b$ เป็นสมาชิกของฟังก์ชันของ A และ B และ คือ การกระทำน้อยที่สุด (min operator) โดยใช้กฎความน่าจะเป็นของ $X = U$ และ $Y = V$ โดย $U \quad a \quad (u) \quad V \quad b \quad (v)$ แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4-4

ปัญหาต่อมาคือ เราจะทำการรวมกฎ 2 กฎหรือมากกว่าเข้าด้วยกันอย่างไรในรูปแบบของการกระจายความน่าจะเป็น ในการรวมการกระจายอาจแสดงได้ดังนี้

ถ้ามี กฎ ถ้า/ดังนั้น ในรูป

$$Y \text{ คือ } B \quad i \text{ ถ้า } X \text{ คือ } A \quad i ; i = 1, \dots, n$$

เขียนในรูป การรวมการกระจายความน่าจะเป็นได้เป็น

$$(x,y) = (A_1 \times B_1) + \dots + (A_n \times B_n)$$

ซึ่ง + (กระทำในส่วนไม่ต่อเนื่อง) ดังนั้น ถ้าผลคูณค่าที่เขียน (cartesian product) $A_i \times B_i$ ในรูปของจุด fuzzy (x,y) อาจ แสดงในรูป fuzzy กราฟของความสัมพันธ์ของ R คือ

$$R = \bigcup_i (A_i \times B_i)$$

การรวมรูปสี่เหลี่ยมของกฎ

ในระบบควบคุมที่มีความฉลาดและมีประสิทธิภาพสูง เซตของกฎของ fuzzy จะมีความสัมพันธ์กับ อินพุต-เอาต์พุต ของระบบ ดังนั้น เซตของกฎอยู่ในรูป

Y คือ B_1 ถ้า X คือ A_1

Y คือ B_2 ถ้า X คือ A_2

Y คือ B_n ถ้า X คือ A_n

เราอาจจะแสดงความสัมพันธ์ของ อินพุต-เอาต์พุต ของระบบ R

$$R(x,y) = \bigcup_i (A_i \times B_i)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEFUZZIFICATION

เป็นขบวนการที่ทำการเปรียบเทียบ fuzzy output ทั้งหมดเข้ากับ ผลลัพธ์รวม ซึ่งจะสามารถประยุกต์ใช้ได้ในแต่ละระบบ ในยุคแรก ๆ ของระบบ fuzzy จะใช้ fuzzy output ที่มีค่ามากที่สุด ในระบบเป็นผลลัพธ์ของระบบ ซึ่งระบบในลักษณะนี้จะเรียกว่า max defuzzification ซึ่งในปัจจุบันวิธีการนี้เป็นวิธีที่ไม่ดี เพราะว่าจะมีการละทิ้งผลลัพธ์ของกฎทุกกฎยกเว้นกฎที่พิจารณานั้น ทำให้ได้ fuzzy output มากที่สุดอีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากกว่าคือ วิธี centroid (center of gravity) เพราะวิธีนี้จะพิจารณาการกระจายของ fuzzy output และค่าระดับความจริงของมันด้วย

การหาค่ากลางหรือค่าศูนย์ถ่วง

การหาค่ากลางหรือค่าศูนย์ถ่วงของการแปลง fuzzy ย้อนกลับจะทำได้ ง่ายค่ากลางของการแปลง fuzzy ย้อนกลับได้นิยามไว้ว่า เป็นจุดกลางของพื้นที่ ภายใต้ฟังก์ชัน สำหรับฟังก์ชันเชิงเส้น (linear function) โดยกำหนดเป็น กราฟสามเหลี่ยมที่มี ค่าอินพุตตามแนวแกน X ซึ่งมีลักษณะเป็นเพียงอยู่ส่วนยอด และ กราฟรูปสี่เหลี่ยม

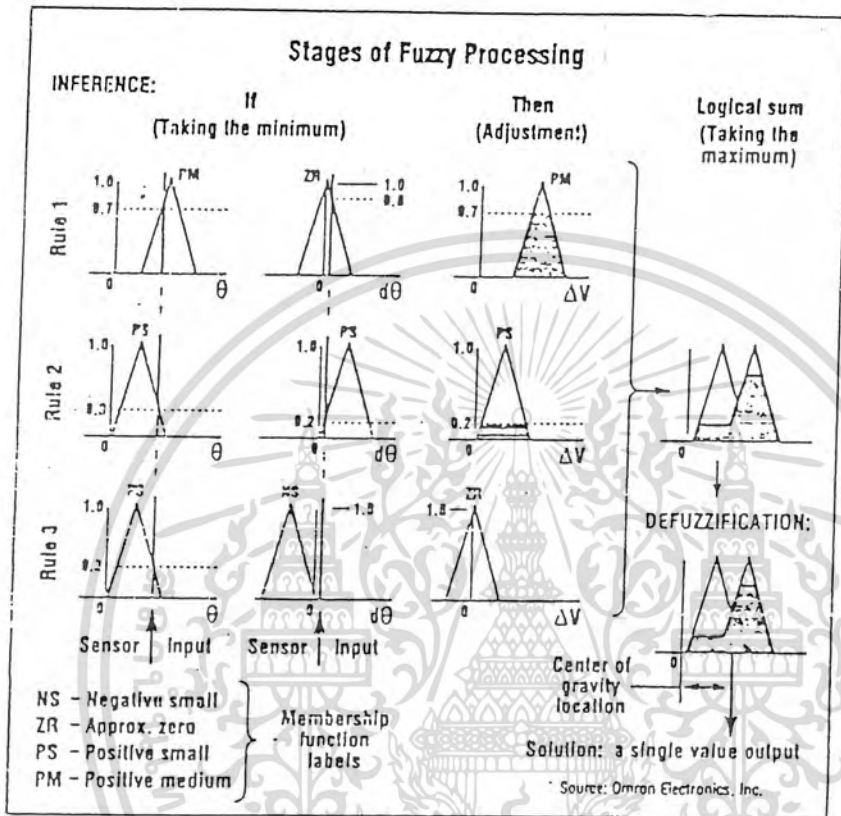
โดยอันดับแรกในการคำนวณค่ากลางรวมทั้งหมด คือการคำนวณค่ากลาง ของแต่ละกราฟรูปสามเหลี่ยม ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่ากลางได้จากฟังก์ชันเชิง เส้น ดังนี้

$$\text{ค่ากลางหรือค่าศูนย์ถ่วง} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่ } |P| \times \text{ค่ากลางของ } |P|}{\text{ผลรวมของพื้นที่ } P}$$

โดย P คือ ขอบเขตทั้งหมดของรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เนื่องจาก fuzzy logic เป็นการนำมาซึ่งประสบการณ์ของมนุษย์และเป็นขบวนการที่ไม่แน่นอนของการกำหนดขอบเขต ทำให้ไม่สามารถกำหนดลงไปแน่นอนได้ว่า สถานะใด คือ ลอจิกใด fuzzy set หรือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจึงกำหนดขึ้นในรูปของ (กราฟรูปประซัง กราฟสามเหลี่ยม กราฟสี่เหลี่ยมคางหมู และอื่น ๆ) ซึ่งกราฟรูปสามเหลี่ยมจะมีการใช้บ่อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 ขั้นตอนการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง

สถานะของการดำเนินการด้าน fuzzy แสดงดังรูปข้างบน สำหรับกรณีทั่ว ๆ ไปจะมี 2 ตัวแปร โดยให้มีค่าเท่ากับ θ และ d โดยมีผลตามกฎอยู่ 3 ข้อ คือ เนื่องจากผลที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไม่ได้เป็นค่าเพียงค่าเดียว ดังแสดงด้วย fuzzy set การโอเวอร์แลป (overlap) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงไปของการคอนโทรล ในรูปแสดงถึงการควบคุมโดย fuzzy ที่มี 7 ระดับจาก ค่าบวกมาก-ค่าลบมาก (positive large to negative large) แต่มีการนำมาใช้เพียง 4 ระดับ

ตัวตรวจจับทางอินพุตได้นำมาเปรียบเทียบกับสมาชิกของ fuzzy และทำการเลือกค่าต่ำกว่าของทั้ง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขเอาไว้ เนื่องจากใช้กฎต่ำสุด (minimum) ค่าเอาต์พุตของทั้งกฎทั้งหมดรวมอยู่ในผลรวมของลอจิกนั้น การแปลง fuzzy ย้อนกลับซึ่งเป็นค่าสำคัญที่สุดในการควบคุมค่าเอาต์พุต ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าทางอินพุตสามารถทำได้โดยหาจุดศูนย์ถ่วง (center of gravity)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

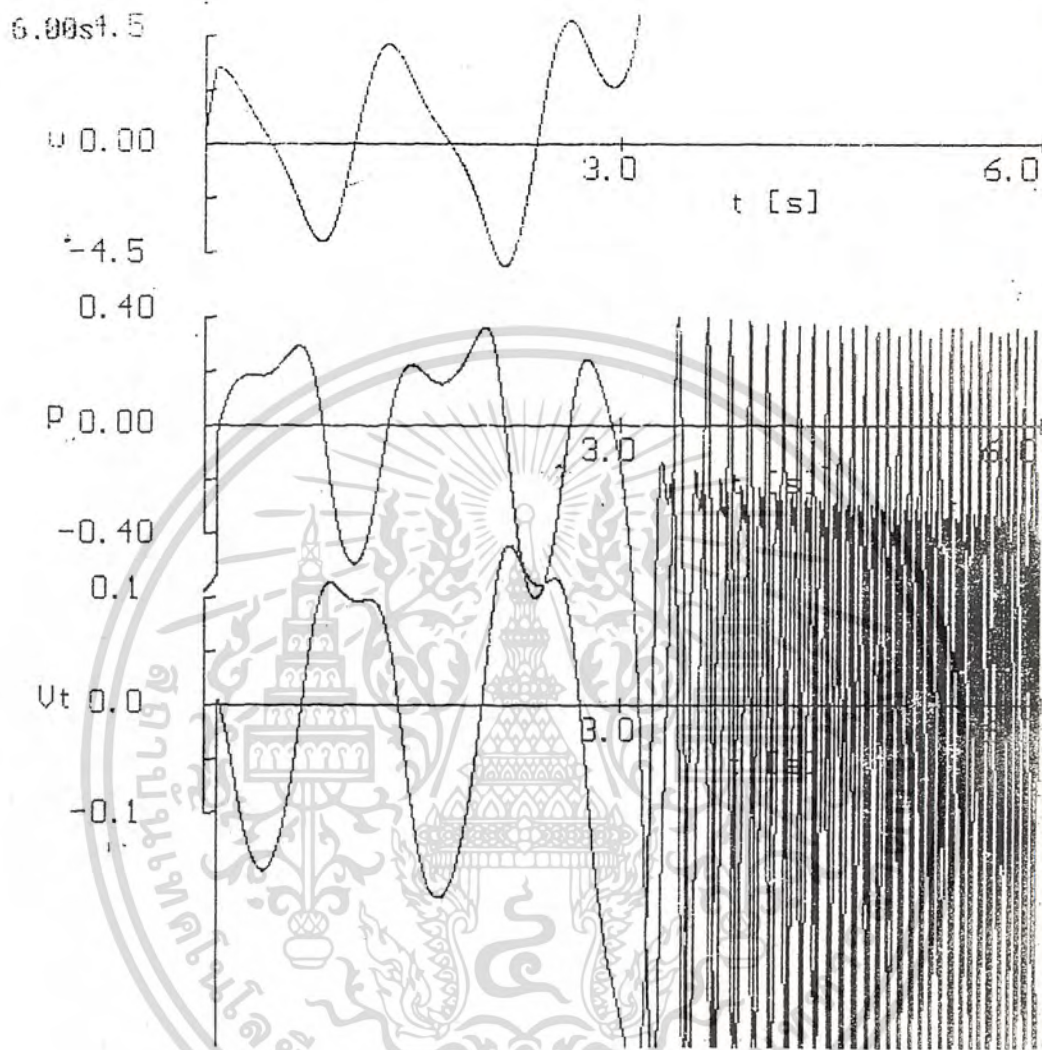
ขั้นตอนและผลการวิเคราะห์

เมื่อนำโปรแกรมใช้ควบคุมระบบจำลองซึ่งมีการต่อเข้ากับบัสอนันต์ (Infinite bus) ซึ่งมีค่ากำลังจริงและกำลังจินตภาพคงที่ ในรูปที่ 1 แสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ในระบบตัวอย่าง ซึ่งเมื่อระบบถูกรบกวน เช่น เกิดการลัดวงจรซึ่งจะเป็นการรบกวนอย่างมาก หรือ เกิดการ over load ซึ่งเป็นการรบกวนระบบอีกแบบหนึ่ง ในรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างหลังการรบกวนระบบแบบเกิดการลัดวงจรและในรูปที่ 3 เป็นการรบกวนแบบ over load โดยทั้ง 2 รูปนั้นระบบถูกควบคุมโดย GOV และ AVR และเมื่อทำการขยับเพิ่มตัวควบคุมเสถียรภาพระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (BSS Control) ซึ่งใช้วิธีการของ Phasor plane ร่วมกับ theory จะได้ผลการควบคุมดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 และสำหรับขั้นตอนการทำงานของระบบที่มีการควบคุมโดย GOV และ AVR แสดงในรูปที่ 6 เป็นขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมเสถียรภาพไฟฟ้ากำลัง

Generator Constant

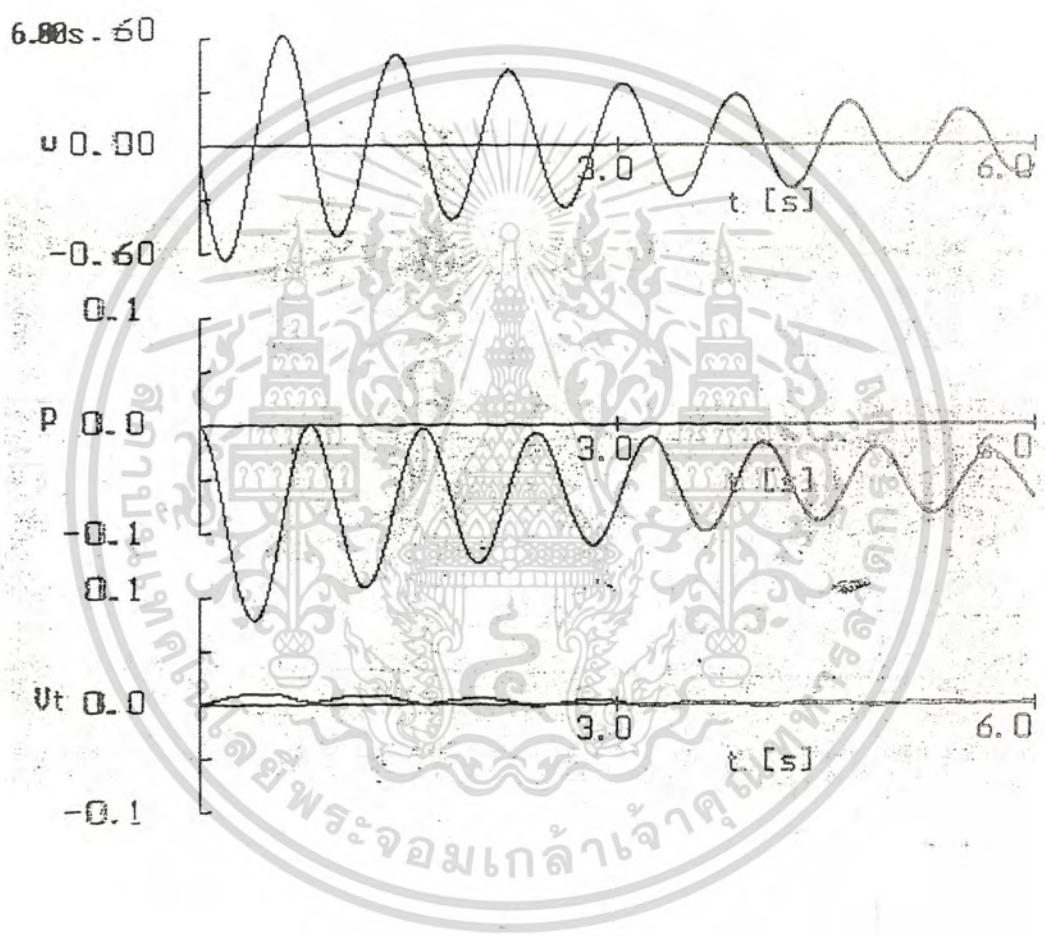
Inertia constant	M 0.191 s
Damping coefficient	D 0.00531 pu.s
Time constant of d- axis circuit	Tdo 5.600 s
d- axis synchronous reactant	Xd 1.620 pu.
d- axis transient reactant	Xdd 0.250 pu.
q- axis synchronous reactant	Xq 1.600 pu.

รูปที่ 5-1 แสดงค่าคงที่ของระบบที่ใช้ทำการทดลอง



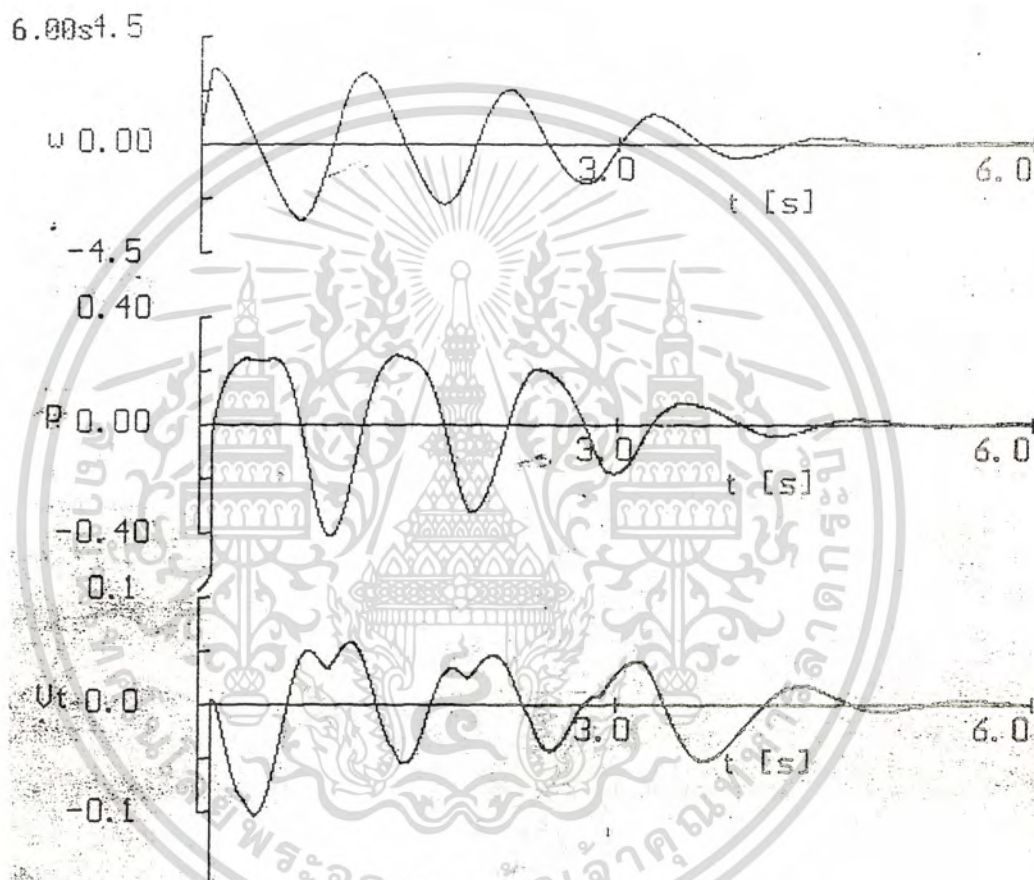
รูปที่ 5-2 ระบบที่ไม่มีการควบคุมถูกรบกวนอย่างมากจากการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



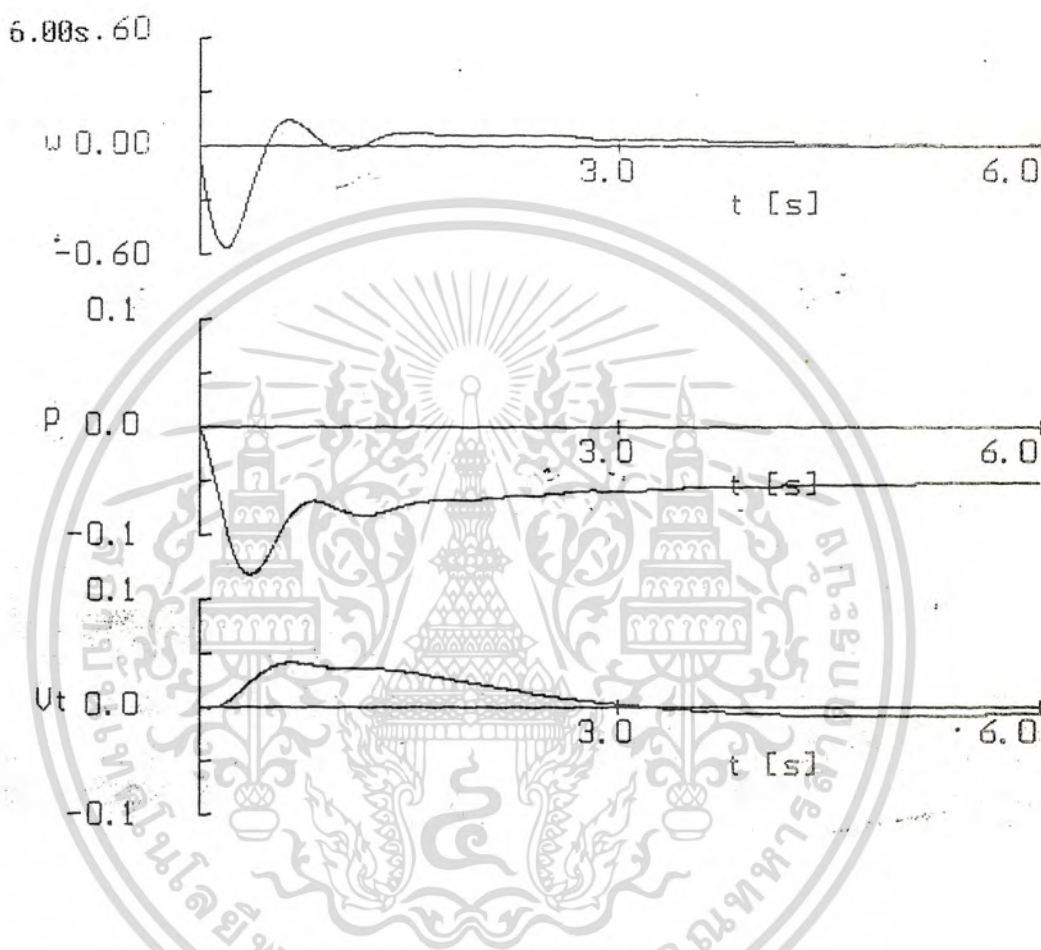
รูปที่ 5-3 ระบบที่ไม่มีการควบคุมถูกรบกวนน้อยจากการใช้กำลังไฟเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



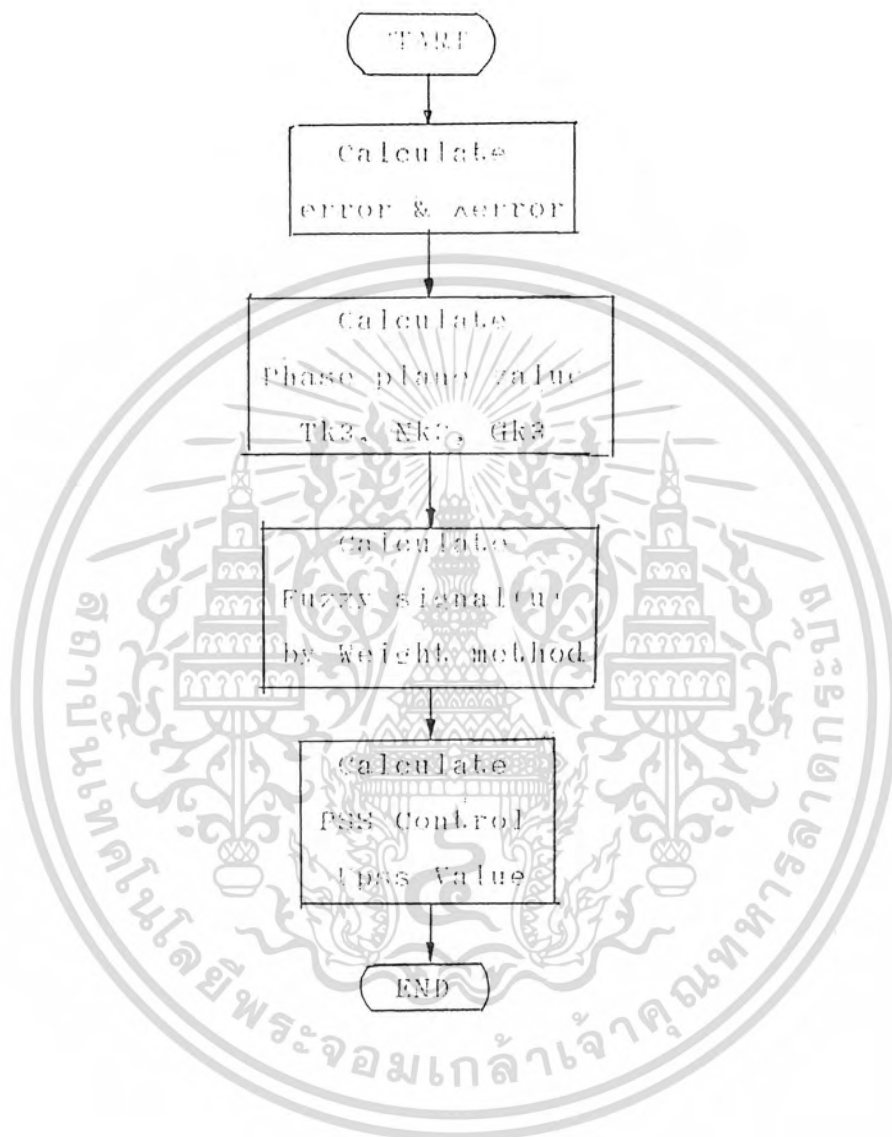
รูปที่ 5-4 ระบบที่มีการควบคุมจากตัวควบคุมเสถียรภาพไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการของ Phase plane ร่วมกับ Fuzzy Theory หลังเกิดการรบกวนอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



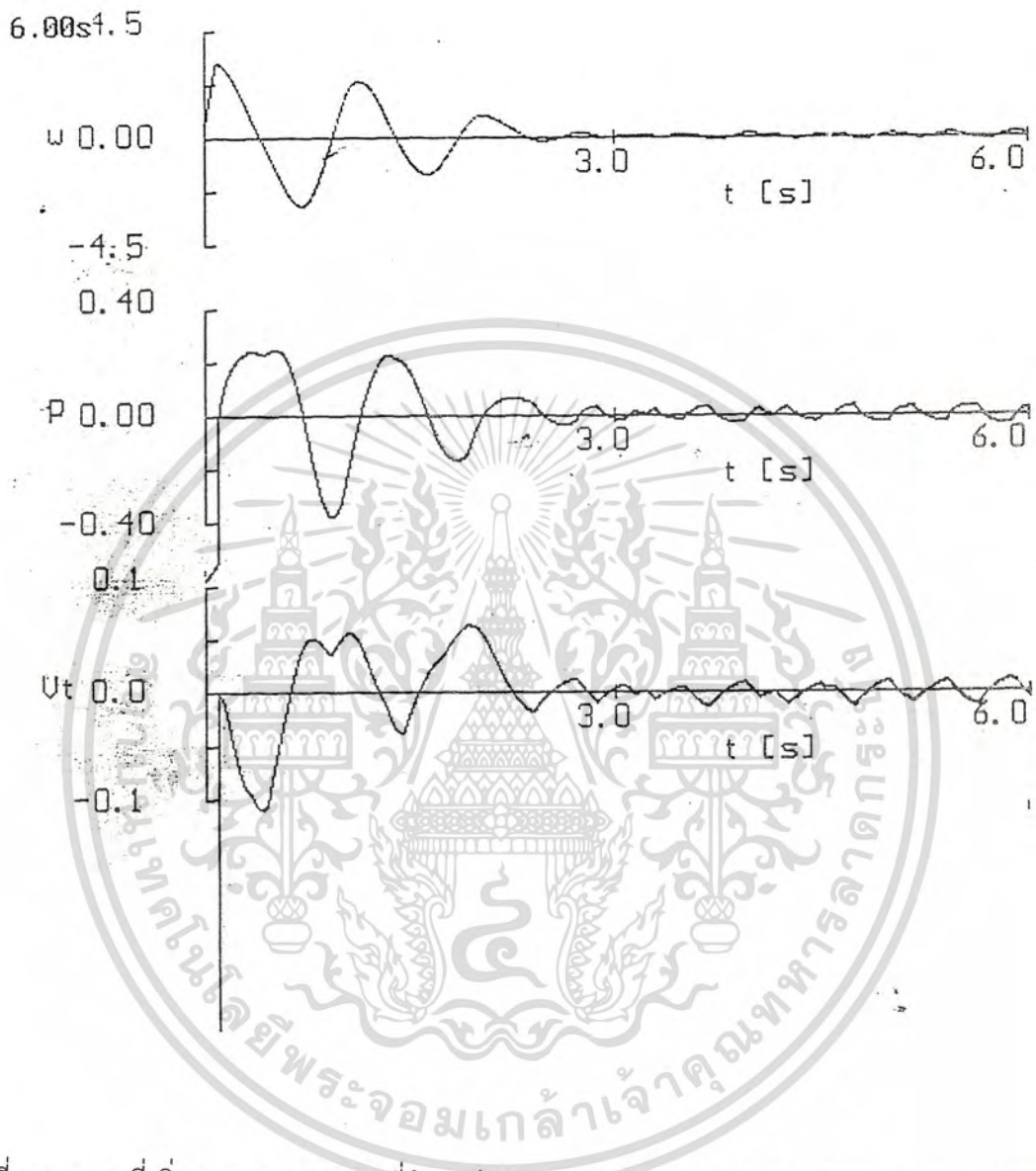
รูปที่ 5-5 ระบบที่มีการควบคุมจากตัวควบคุมเสถียรภาพไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการของ Phase plane ร่วมกับ Fuzzy Theory หลังเกิดการรบกวนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



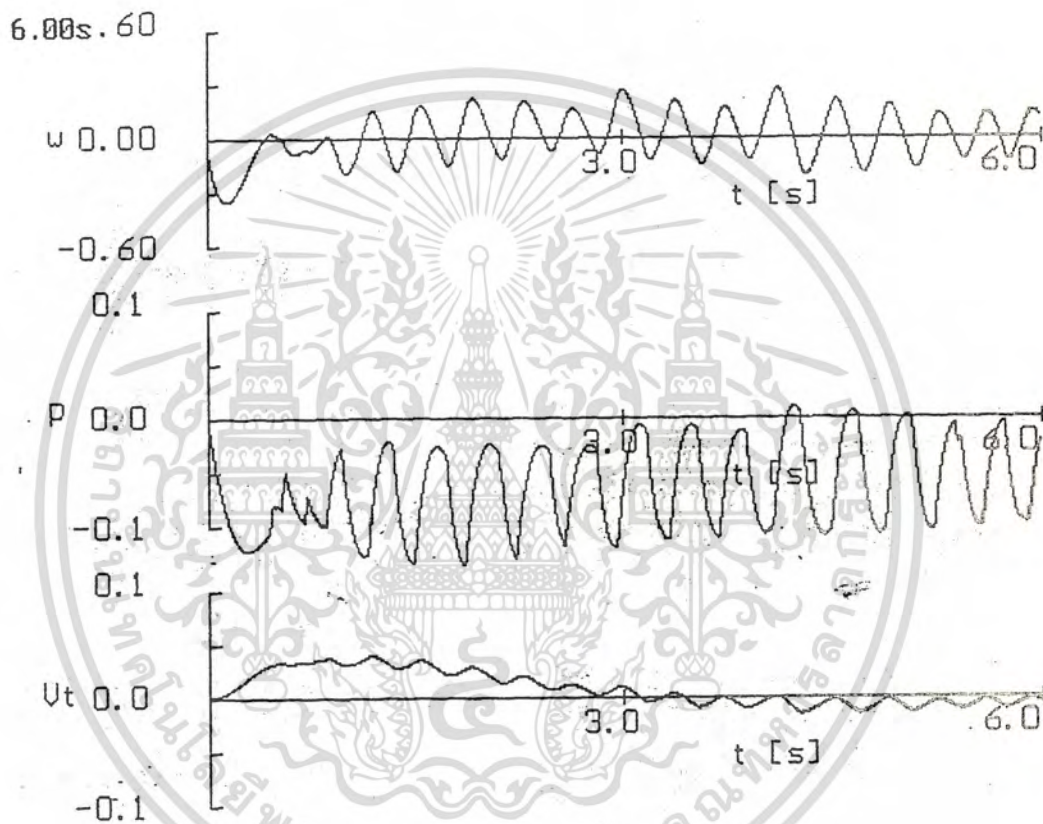
รูปที่ 5-6 ขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมเสถียรภาพไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการของ Phase plane ร่วมกับ Fuzzy Theory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-7 ระบบที่เพิ่มการควบคุมความถี่ด้วยวิธีการของ Phase plane ร่วมกับ Fuzzy Theory หลังเกิดการรบกวนอย่างมาก

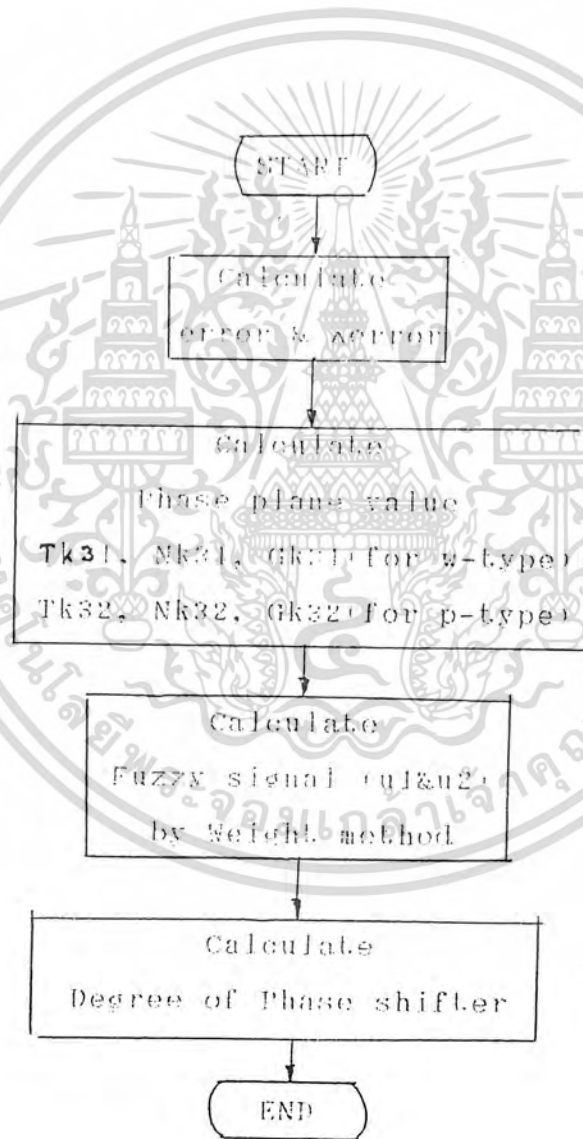
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-8 ระบบที่เพิ่มการควบคุมความถี่ด้วยวิธีการของ Phase plane ร่วมกับ Fuzzy Theory หลังเกิดการรบกวนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ที่ศึกษาคือทำการเพิ่มการควบคุมความถี่และกำลังของไฟฟ้า ให้เข้าสู่เสถียรภาพให้เร็วยิ่งขึ้นโดยใช้วิธีการของ Phase plane รวมกับวิธีการของ Fuzzy Theory ในรูปที่ 7 และ 8 เป็นตัวอย่างของการควบคุมความถี่เพียงอย่างเดียวเมื่อเกิดการรบกวนอย่างมากและอย่างน้อยตามลำดับโดยการควบคุมทั้ง 2 อย่างมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 9

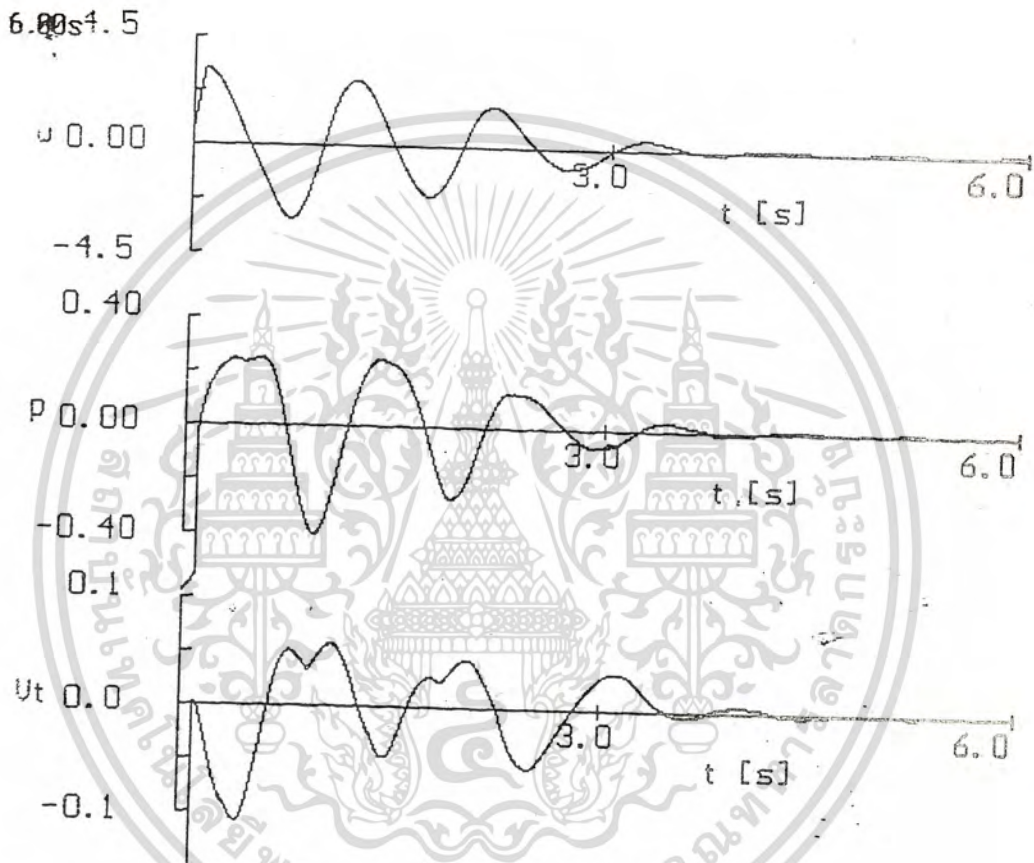


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5-9 ขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมความถี่และกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการของ Phase plane ร่วมกับ Fuzzy Theory
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปแบบการควบคุมความถี่และกำลังจะต้องคำนึงถึงมุมของ Phase Shifter ด้วยเพราะหากมุมของ Phase Shifter เปลี่ยนไป ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีการ Phase plane และ Fuzzy Theory ที่เหมาะสม ก็จะเปลี่ยนไปด้วย จึงต้องทำการทดลองหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละวิธีการ ซึ่งหาได้จากค่า J_n รวมภายในเวลาที่เท่ากัน โดยให้ค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนไปเรื่อยๆ หลังจากนั้นจึงทำการทดลองหาค่าแกนร่วมที่จะนำค่าทั้งสองชุดมาใช้ร่วมกัน รูปที่ 10, 11, 12 เป็นตัวอย่างของระบบที่มีการรบกวนอย่างมากของมุม Phase Shifter 15, 25, 35 องศาตามลำดับ และในรูปที่ 13, 14, 15 เป็นตัวอย่างของระบบที่มีการรบกวนระบบน้อยของมุม Phase Shifter 15, 25, 35 ตามลำดับซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้มาจากการทดสอบ

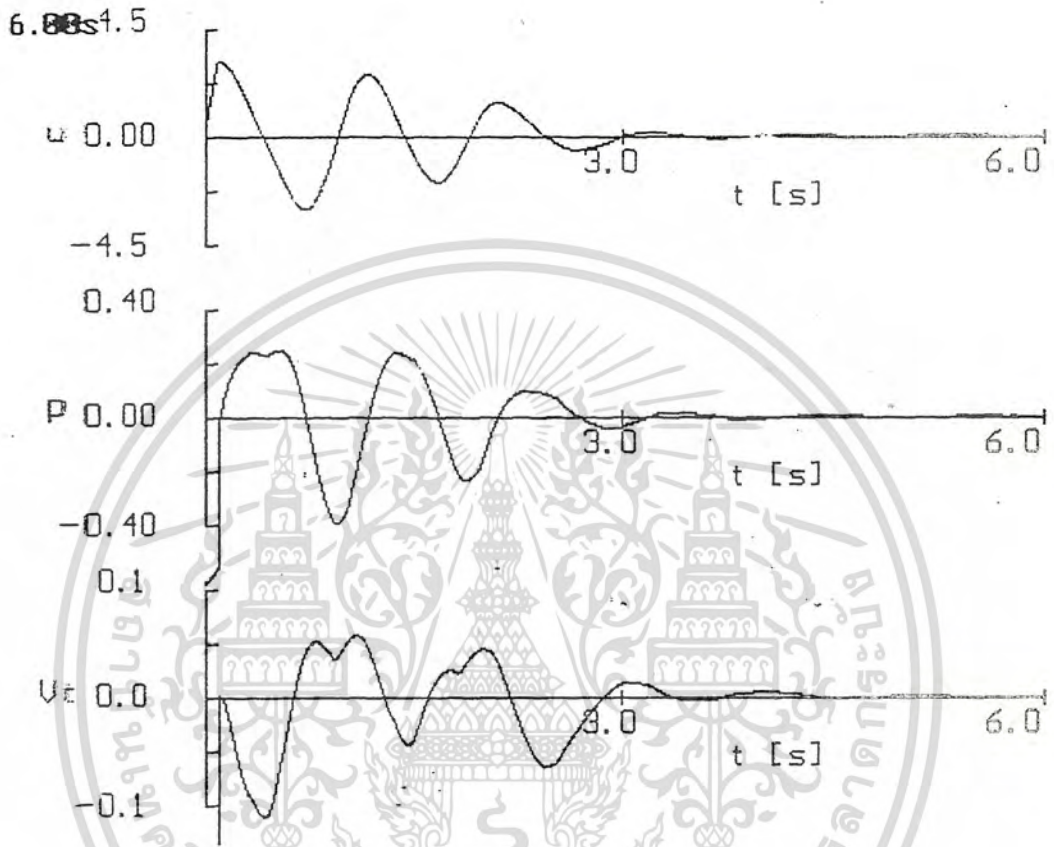


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



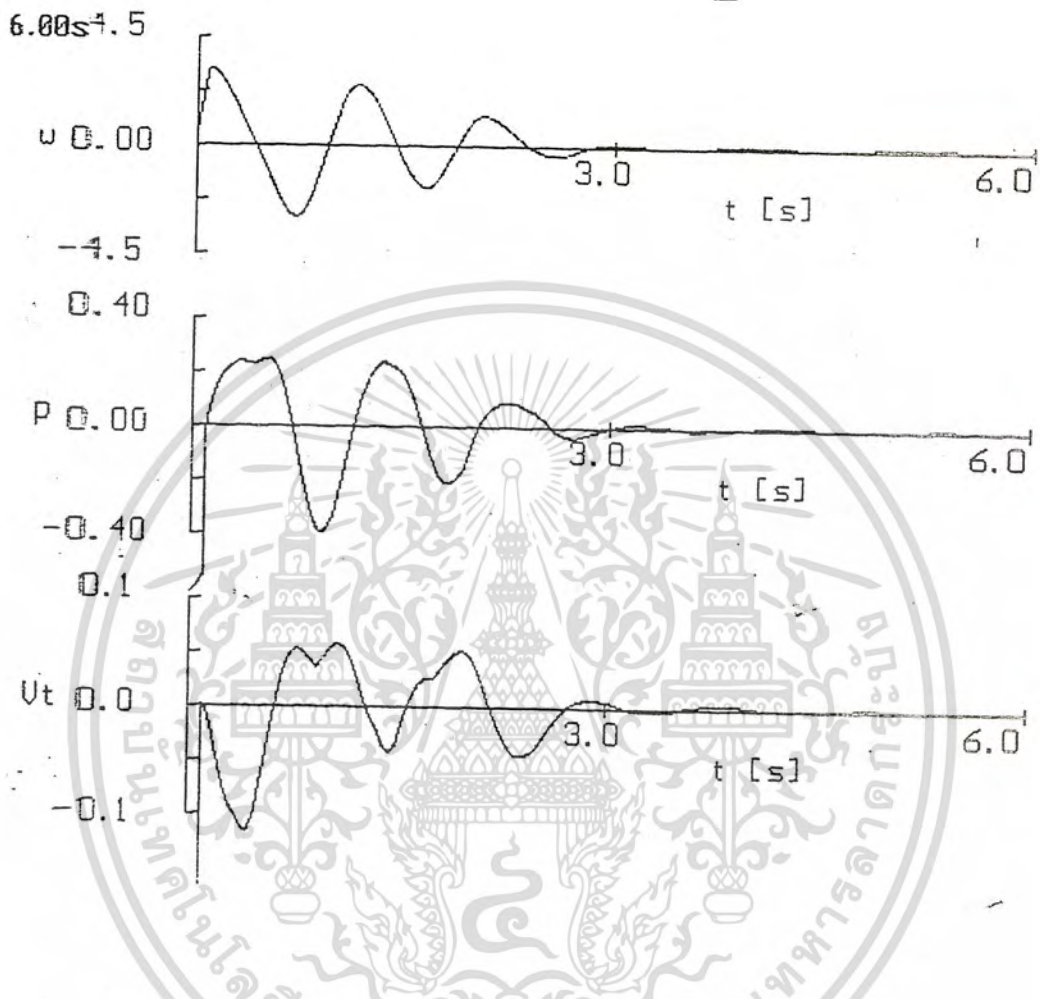
รูปที่ 5-10 ระบบถูกรบกวนอย่างมากที่มีการใช้มุม Phase Shifter 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



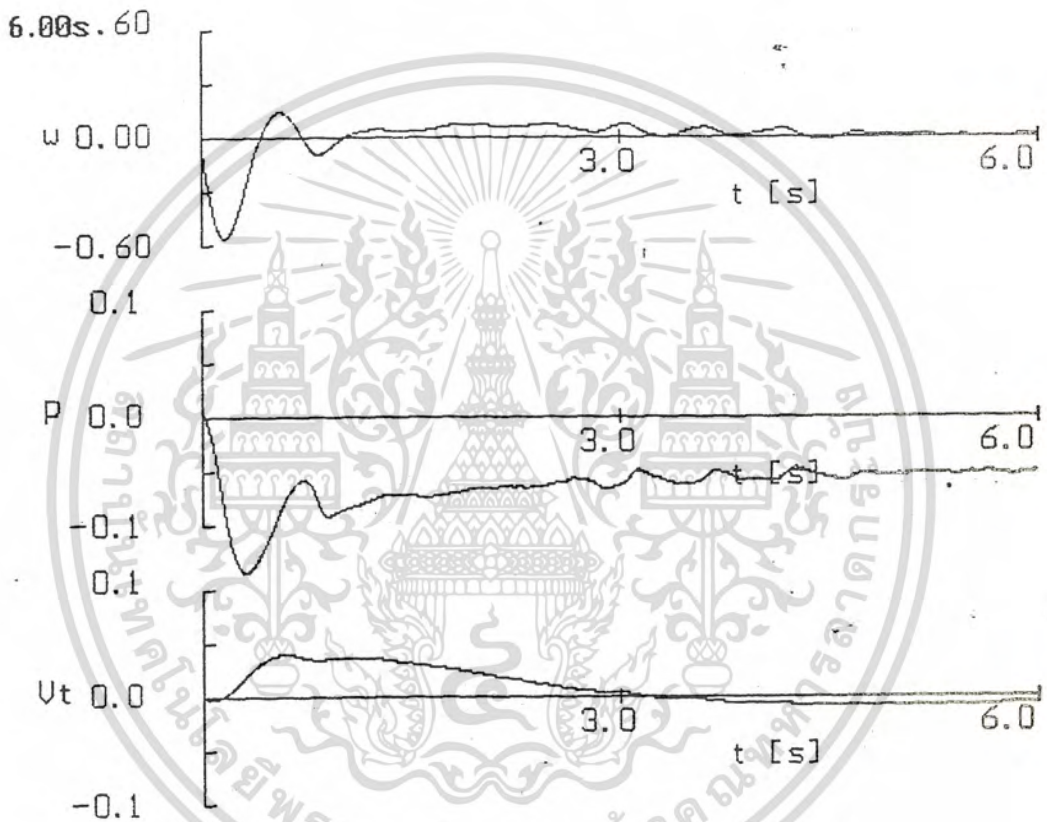
รูปที่ 5-11 ระบบถูกรบกวนอย่างมากที่มีการใช้มุม Phase Shifter 25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



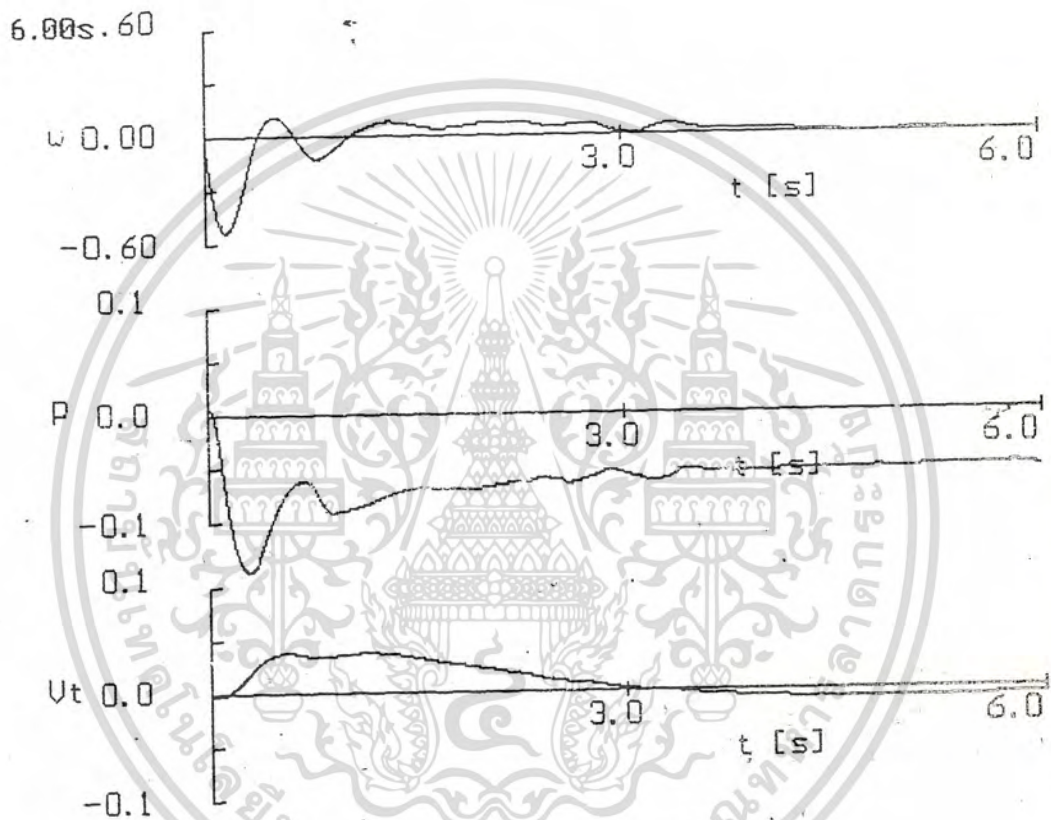
รูปที่ 5-12 ระบบถูกรบกวนอย่างมากที่มีการใช้มุม Phase Shifter 35 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



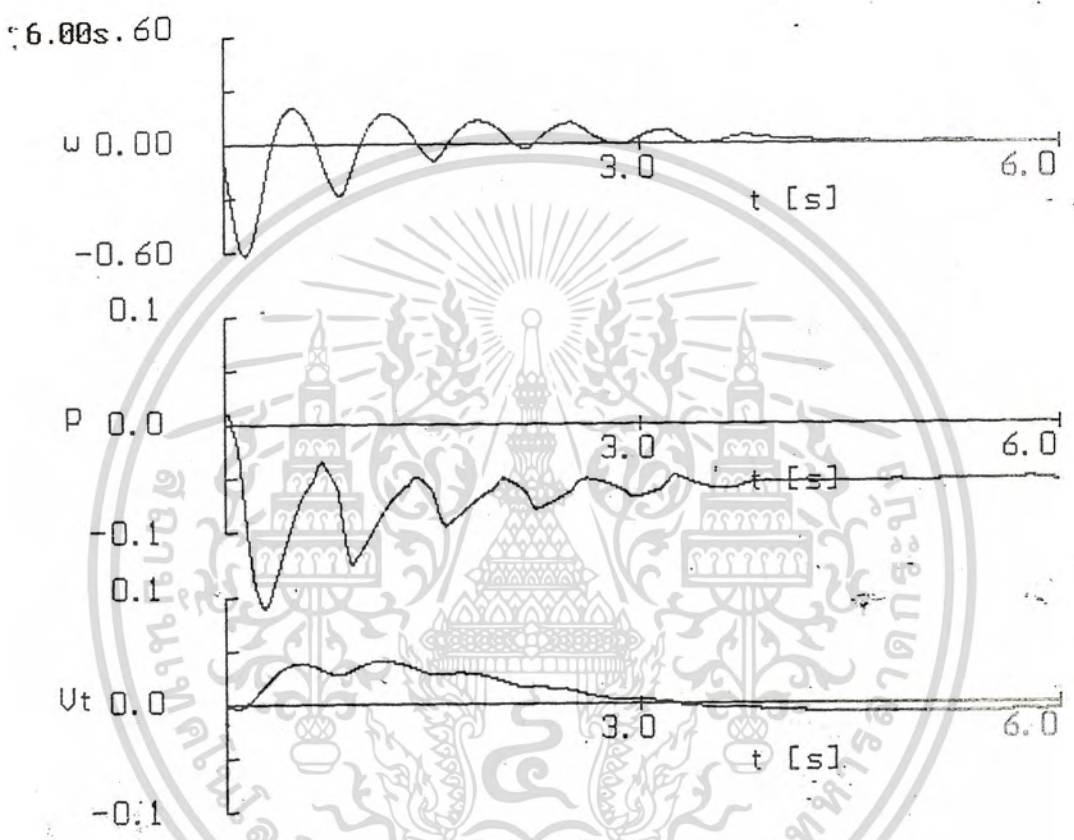
รูปที่ 5-13 ระบบถูกรบกวนน้อยที่มีการใช้มุม Phase Shifter 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-14 ระบบถูกรบกวนน้อยที่มีการใช้มุม Phase Shifter 25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-15 ระบบถูกรบกวนน้อยที่มีการใช้มุม Phase Shifter 35 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

จากกราฟผลการทดลองนั้นปริมาณต่างๆ ในกราฟอธิบายได้ดังนี้บนแกนตั้งจะเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไป ความถี่ , กำลังไฟฟ้า และแรงดันที่เทอร์มินอลซึ่งมีหน่วยเป็น rad/sec , KVA , Volt ตามลำดับโดยจะแสดงบนกราฟเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ (P.U) และแกนนอนจะแสดงค่าเวลาเป็นวินาที (Second) ค่าของปริมาณต่างๆ เช่นเวลาที่เห็นบนกราฟนั้นแตกต่างกัน จากความเป็นจริงเพราะ เราเพียงจำลองระบบขึ้นความถี่ในการส่งข้อมูลซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการควบคุมนั้นจึงไม่ใช่ค่าเวลาเป็นวินาทีที่แท้จริง เราเพียงศึกษาวิธีการควบคุมโดยใช้ทฤษฎีพีซีเท่านั้นซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าเราสามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่เสถียรภาพได้ โดยใช้วิธีการควบคุมโดยทฤษฎีพีซี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและข้อแนะนำ

จากนำเอาทฤษฎีพีซีซีและเทคนิคการควบคุมแบบ Phase-plane มาประยุกต์ใช้พร้อมด้วยอุปกรณ์ GOV, AVR และ PSS นั้น จะสามารถทำให้ระบบซึ่งถูกรบกวน ในระดับต่างๆ ทั้งอย่างมาก(Large Disturbance)และ อย่างน้อย (Small Disturbance) นั้น เข้าสู่สภาวะเสถียรภาพได้รวดเร็วในระดับหนึ่ง แต่เมื่อ เพิ่มอุปกรณ์ Phase-Shifter เข้าไปในระบบแล้ว ผลของการควบคุมแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพ ได้เร็วยิ่งขึ้น และได้มุมที่ใช้ในการ ควบคุมของอุปกรณ์ Phase-Shifter ที่ให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุดอีกด้วย

ในส่วนของการรันโปรแกรมในแบบ w-TYPE , P-TYPE และ Combination TYPE เพื่อที่จะหาค่าพารามิเตอร์ของพีซีซีที่เหมาะสมนั้น ยังคงมี ปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ คือ ต้องใช้เวลาในการรันโปรแกรม ยาวนานมาก ซึ่ง อาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้ วิธีการที่จะช่วยประหยัดเวลา คือ การ ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วมากที่สุดที่จะหาได้ เพราะการรันโปรแกรม เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในลักษณะเช่นนี้ อาจต้องใช้ เวลาหลายวัน ค่าพารามิเตอร์ที่ ได้มานั้นจะเหมาะสมกับสภาวะการควบคุมในสภาวะหนึ่งเท่านั้น เมื่อสภาวะ นั้น เปลี่ยนแปลงไปค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมก็จะต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงควร มีการพัฒนา โปรแกรมให้สามารถปรับตัวได้ในทุกสภาวะต่อไป

ภาคผนวก 1

Procedural Steps

Step (1)

From linearized current nodal equations, determine for each AC area (i)

$$\begin{bmatrix} \Delta E_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M(I,J) \\ N(I,J) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_i \\ \Delta \phi_i \\ \Delta a_i \\ \Delta \phi_i \end{bmatrix}$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

$$J = 1, 2, \dots, 4$$

[M], [N] are coefficient matrices calculated at trial load flow (base point) solution. Step (2) From power balance equations, determine for area (i) $\Delta P_i = R(I,J)$

$$\begin{bmatrix} \Delta a_i \\ \Delta \phi_i \\ \Delta G_i \\ \Delta \theta_i \\ \Delta \phi_i \end{bmatrix}$$

where $i = 1, 2, \dots, N$

$$J = 1, 2, \dots, 5$$

[R] is coefficient matrix calculated at initial load flow (base point) solution.

Step (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Substitute (ξ , V_i , P_i) determined in steps (1) and (2)) into the following small-displacement differential equations representing the integrated AC system dynamics.

Equivalent Machind Dynamics

$$\Delta \theta_i = \Delta_i$$

$$\Delta_i = \frac{1}{M_i} (\Delta P_{mi} - \Delta P_i - U_{\Delta i})$$

$$M_i$$

$$i = 1, 2, \dots, N \text{ areas}$$

Excitation Control

$$\Delta E_{fi} = -\frac{1}{T_t} \Delta P_{mi} - \frac{K_{ti} \Delta g}{T_{ti}}$$

$$\Delta g = -\frac{1}{T_{gi}} \Delta g + \frac{K_{gi}}{T_{gi}} \Delta_i$$

Step (4)

Determine the state and control matrices

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$x = [\Delta \theta_i, \Delta P_{mi}, \Delta g, \Delta E_{fi}]^T$$

$$u = [\Delta a_i, \Delta G_i]^T$$

State-space derivation is given in reference [5].

Step (5)

Transform the control vector u to u_1 where

$$u = T u_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and $\underline{u}_1 = \dot{\phi}_1, X_{Ai}, G_{Li}^T$

and $[T]$ is the transformation matrix relating (eq 1) control variables to (X_{Ai}, G_{Li}) variables.

ΔX_{Ai} represents the equivalent modulated reactance at

AC terminal bus (i).

$$\Delta X_{Ai} = [\Delta X_i + \Delta X_{tij} - \Delta X_{ci} - \Delta B_{Li}]$$

$\begin{matrix} X^2 & X^2 & X^2 \\ i & tij & ci \end{matrix}$

where,

X_i : change in transient reactance of the equivalent machine representation of AC area (i).

ภาคผนวก 2

```
/*_____
```

Nonlinear Model System - One Machine Infinite Bus

Condition Variables

```
x0 : @ Torque angle
x1 : w Frequency
x2 : f Field flux
x3 : vf Exciter voltage
x4 : vs measured signal voltage
x5 : g Gate openning
x6 : gf Governer feedback loop signal
x7 : h
```

Input Variables

```
u0 : G O V input
u1 : A V R input
```

Output Variables

```
y0 : P e Real power
y1 : V t Terminal voltage
y2 : Q e Reactive power
```

```
_____*/
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <float.h>
#include <math.h>
#include <pg.h>
```

```
/*—fuzzy parameters —*/
```

```
#define b3 0.75/*alpha1*/
```

```
#define a3 11.0/*alpha2*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define      Dr3      2.30/*alpha3*/
#define      Um      0.10 /*— control signal of Max. —*/
#define      alp1     1.30/*gan1*/
#define      alp2     1.60/*gan2*/

/*****spst fuzzy control w-type *****/
#define      b31      0.3/*alpha1*/
#define      a31      10.0/*alpha2*/
#define      Dr31     0.1/*alpha3*/

/*****spst fuzzy control p-type *****/
#define      b32      1.0/*alpha1*/
#define      a32      40.0/*alpha2*/
#define      Dr32     0.80/*alpha3*/

/*****spst fuzzy control combination type *****/
#define      alps1    0.2/*gan1*/
#define      alps2    0.4/*gan2*/

#define      Um1      0.6108/*17444*/ /*—phase shifter control angle—*/
#define      Tphs     0.1

#define      BD1      12.0

#define      Wmin     0.0 /*—noise parameter —*/
#define      SL3      135.0 /*—fuzzy swiching line—*/
#define      NORM     1.0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 #define Pmax 1.05 /*—Maximum Power Output of Gen.—*/ ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define Pmin 0.0 /*--Minimum Power Output of Gen.--*/

#define Efmax 7.30 /*-- Limit of field voltage (max)--*/
#define Efmin -7.30 /*-- Limit of field voltage (min)--*/

#define Ue 200.0 /* Exciter gain */
#define Te 0.05 /* Exciter time constant */
#define Ts 0.100 /* Te & Ts control time */

#define SIGM 0.05 /* Permanent drop */
#define Tg 0.20 /* Gate time conatant */
#define Ta 0.010 /* Governer actuator time constant */
#define Tw 2.000 /* Water time constant */

#define P0 1.0 /* Real power */
#define v0 1.0 /* Reactive power */
#define Vt0 1.0 /* Terminal voltage */
#define W0 377.0 /* Synchronous speed */

#define BETA 1.0 /* Time scaling factor */
#define BETA2 BETA*BETA

#define Xdd ((1.0-xe*B)*xdd+xe)
#define Xq ((1.0-xe*B)*xq+xe)
#define Xd ((1.0-xe*B)*xd+xe)
#define x10 1.0*xl /* short circuit impedance */

#define T 0.005 /* Sampling time */
#define STT 2 /* W noise sampling */
#define STT1 64 /* P noise sampling */

```

```

#define STT2 4 /* V noise sampling */
#define ST 0.01 /* time control */
#define N 1201 /* Number of data */
#define LIMIT T*(double)(N-1) /* Max. number of data */
#define NA 17 /* Number of differential equations */
#define Kf 0.0562*1.25 /* Hunting parameter */
#define Tf 1.250 /* Time setting */

```

```
/*— PSS —*/
```

```

#define TQ 4.0 /* */
#define T3 0.20 /* PSS time constant */
#define T4 0.05 /* PSS time constant */
#define T5 0.056 /* Measurement time constant */
#define Kp 1.0 /* PSS gain */
#define Tpi 0.01 /* Measurement time constant */
#define Tvi 0.056 /* Measurement time constant */
#define T1 0.01 /* PSS time constant */
#define T2 0.05 /* PSS time constant */

```

```
/*— initial condition variables —*/
```

```
static double vd0, vq0, id0, iq0, del0 ,
```

```
Q0, fif0, vf0, xe, x111, x222,
```

```
B = 0.0, /* System susceptance */
```

```
xt = 0.14,
```

```
xl = 0.26,
```

```
xee = 0.05 * 1.0;
```

```

static double xd = 1.620, /* d-axis reactance */
            xdd = 0.250, /* d-axis transient reactance */
            xq = 1.600, /* q-axis reactance */
            Td0d = 5.600, /* d-axis open circuit time constant */
            M = 0.0191, /* Inertia constant */
            D = 0.00531; /* Damping coefficient */

static double u1, u2, u10, u20, /* input (0: Pi 1: Vf) */
            dy1, /* Real power Pe */
            dy3, /* Terminal voltage */
            ti; /* kpt simulation time */

static double Pd, Wr, Pr, uf1, uf2, Upss, Ups, MYU, out1, Upss1;
static double Wrn1, Wrn2, Wrn3;
static double EE1 = P0, DE1, Jm = 1000000.0;
static double u3, u30, uf3, uf4, MYU1;

static double EE3, DE3, Dk3, Tk3, Jn3, Jn31, Jv, Ju, Jgam;
static double EE31, DE31, Dk31, Tk31;
static double EE32, DE32, Dk32, Tk32;

static double Dk1, DE;

static double ZZ, DESH, DESH1;

static int DD1, DD2, DXD1, DXD2;
static int AVRL, AVRL1;
static int PSS, PSS1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int    kpt, CH;

void  d_out(),
      runge4(),
      sys1(),
      x_stand(),
      prepa(),
      prepa1(),
      sita(),
      simem(),
      hyoka(),
      shoki();

unsigned _stack = 50000;
FILE *fp, *fp1, *fp2;

/*-----*/
Main program
*-----*/

void  main()
{

    static  double  GD;
    static  double  x1[NA], y1[3], f[NA];
    double  Xy,Xz;
    double  noisew, noisep, noisev;
    double  noiw, noip, noiv;
    char    buf[15];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*—— Open files for i/p & o/p ——*/
fp = fopen("da3", "w");
fp1 = fopen("nois2.dat", "r");
fp2 = fopen("nois1.dat", "r");
printf("da4 \n");

/*—— Disturbance Large (0,1) Small (1,2) ——*/
for(CH=0; CH<1; CH+=1)
{
    xe = xt+xl+xee;
    EE3 = 0.0; DE3 = 0.0; Dk3 = 0.0; Tk3=0.0; MYU = 0.0; DE = 0.0;
    EE1 = P0; DE1 = 0.0; ZZ = 0.0; Wr = 0.0; Pr = 0.0; Dk1 = 0.0;
    Upss = 0.0; Ups = 0.0; uf1 = 0.0; out1 = 0.0; Upss1 = 0.0;
    DESH=0.0;
    DESH1=0.0;
    EE31=0.0;DE31=0.0;Dk31=0.0;Tk31=0.0;
    EE32=0.0;DE32=0.0;Dk32=0.0;Tk32=0.0;

    if(CH==1) Pd = 0.05;
    else Pd = 0.0;

    GD=0.0;
    Xy=0.0; Xz =0.0;

    DD1 = 0;DD2 = 0; DXD1 = 0; DXD2 = 0;
    AVRL= 0;AVRL1 = 0;
    PSS = 0;PSS1= 0; cch = 0; cch1 = 0; cch2 = 0; cch3=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        y1[i]=0.0 ;           }

for(i=0;i<NA;i+=1){
    f[i]=0.0;
}

dy3 = 0.0;
dy1 = 0.0;
u1 = 0.0;
u2 = 0.0;
u10 = 0.0;
u20 = 0.0;

/*----- Initial Condition of System -----*/
shoki);

/*----- Initial Condition of State Equations -----*/
x_stand(x1);

/*----- Graphic -----*/

g_init();
g_screen(3, 0, 0, 1);
g_cls();

/*****-----*/

sprintf(buf, "Um=%6.3f", Um);
g_print(550, 150, buf);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

g_print(550, 170, buf);

sprintf(buf, "a3=%6.3f", a3);
g_print(550, 190, buf);

sprintf(buf, "b3=%6.3f", b3);
g_print(550, 210, buf);

g_print(500, 10, " : -ณลงใจ");
g_print(500, 30, " : ณใจ");
_____*****/

if(CH<1){
w_view(100.0, 10.0, 500.0, 110.0);
w_axiss(0.0, 4.5, N * T, -4.5);
w_line(0.0, 0, 0);

g_view(0, 0, 639, 399, -1, -1);

g_print(54, (int)((110.0-0.0)*0.0/4.0+4.0), " 4.5");
g_print(54, (int)((110.0-0.0)*2.0/4.0+2.0), " 0.00");
g_print(30, (int)((110.0-0.0)*2.0/4.0+0.0), "W");
g_print(54, (int)((110.0-0.0)*4.0/4.0-2.0), "-4.5");

g_line(450, 18, 490, 18, 3, 0, 1, 0xffff);
g_line(450, 38, 490, 38, 5, 0, 1, 0xffff);

w_view(100.0, 140.0, 500.0, 240.0);
w_axiss(0.0, 0.4, N * T, -0.4);
w_line(0.0, 0, 0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

g_view(0, 0, 639, 399, -1, -1);
g_print(54, (int)((250.0-140.0)*0.0/4.0+134.0), " 0.40");
g_print(54, (int)((250.0-140.0)*2.0/4.0+132.0), " 0.00");
g_print(30, (int)((250.0-140.0)*2.0/4.0+130.0), "P");
g_print(54, (int)((250.0-140.0)*4.0/4.0+128.0), "-0.40");

```

```

w_view(100.0, 270.0, 500.0, 370.0);
w_axiss(0.0, 0.1, N * T, -0.1);
w_line(0.0, 0, 0);

```

```

g_view(0, 0, 639, 399, -1, -1);
g_print(54, (int)((380.0-270.0)*0.0/4.0+264.0), " 0.1");
g_print(54, (int)((380.0-270.0)*2.0/4.0+262.0), " 0.0");
g_print(30, (int)((380.0-270.0)*2.0/4.0+260.0), "\t");
g_print(54, (int)((380.0-270.0)*4.0/4.0+258.0), "-0.1");
}

```

```

else {
w_view(100.0, 10.0, 500.0, 110.0);
w_axiss(0.0, 0.6, N * T, -0.6);
w_line(0.0, 0, 0);

```

```

g_view(0, 0, 639, 399, -1, -1);

```

```

g_print(54, (int)((110.0-0.0)*0.0/4.0+4.0), " 0.60");
g_print(54, (int)((110.0-0.0)*2.0/4.0+2.0), " 0.00");
g_print(30, (int)((110.0-0.0)*2.0/4.0+0.0), "W");
g_print(54, (int)((110.0-0.0)*4.0/4.0-2.0), "-0.60");

```

```

g_line(450, 18, 490, 18, 3, 0, 1, 0xffff);

```

```

g_line(450, 38, 490, 38, 5, 0, 1, 0xffff);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

w_view(100.0, 140.0, 500.0, 240.0);
w_axiss(0.0, 0.1, N * T, -0.1);
w_line(0.0, 0, 0);

g_view(0, 0, 639, 399, -1, -1);
g_print(54, (int)((250.0-140.0)*0.0/4.0+134.0), " 0.1");
g_print(54, (int)((250.0-140.0)*2.0/4.0+132.0), " 0.0");
g_print(30, (int)((250.0-140.0)*2.0/4.0+130.0), "P");
g_print(54, (int)((250.0-140.0)*4.0/4.0+128.0), "-0.1");

w_view(100.0, 270.0, 500.0, 370.0);
w_axiss(0.0, 0.1, N * T, -0.1);
w_line(0.0, 0, 0);

g_view(0, 0, 639, 399, -1, -1);
g_print(54, (int)((380.0-270.0)*0.0/4.0+264.0), " 0.1");
g_print(54, (int)((380.0-270.0)*2.0/4.0+262.0), " 0.0");
g_print(30, (int)((380.0-270.0)*2.0/4.0+260.0), "Vt");
g_print(54, (int)((380.0-270.0)*4.0/4.0+258.0), "-0.1");

}

```

```
/** short circuit 3 phase to ground **/
```

```
if(CH<1){
```

```
x111 = xt+0.75*xl+(0.25*xl)*(xt+0.5*xl)/(xee+0.5*xl);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x222 = xt+xl+xee+(xt+0.5*xl)*(xee+0.5*xl)/(0.25*xl);
```

```
/**
```

```
xe=( (xt+0.5*x10) * (xee+0.5*(2.0*xl-x10)) * (4.0*xl)+
```

```
(xt+0.5*x10) * (x10*(2.0*xl-x10)) +
```

```
(xee+0.5*(2.0*xl-x10)) * (x10*(2.0*xl-x10 ))/(x10*(2.0*xl-x10));
```

```
B = -(xt+0.5*x10) * (xee+0.5*(2.0*xl-x10)) +
```

```
(xt+0.5*x10) * (x10*(2.0*xl-x10)) / (4.0*xl) +
```

```
(xee+0.5*(2.0*xl-x10)) * (x10*(2.0*xl-x10 )) / (4.0*xl)
```

```
/(xee+(0.5*(2.0*xl-x10)));
```

```
B = 1.0/B;
```

```
***/
```

```
}
```

```
/*— On line 1 —*/
```

```
for (kpt = 0;kpt <N-1;kpt ++ ) {
```

```
ti = (double)kpt * T;
```

```
printf("%5.2fsr", ti);
```

```
if(cch1 ==0){
```

```
fscanf(fp1,"%lf %lf %lf", &noiw, &noisep, &noisev);
```

```
cch1 = STT1;
```

```
}
```

```
if(cch2 ==0){
```

```
fscanf(fp2,"%lf %lf %lf", &noisew, &noip, &noiv);
```

```
cch2 = STT2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    cch1 = cch1 - 1;

    cch2 = cch2 - 1;

    if(CH==0){
    if(kpt==20){
        xe = xt+2.0*xl+xee ;
        B = 0.0;
    }
    }

    /*—Noise Signal —*/
    Wrn1 = noisew * 2.30 * 1.5;
    Wrn2 = noisep * 3.08*2.90 * 0.55;
    Wrn3 = noisev * 2.32*2.4 * 0.5;

    hyoka(Wr);

    AVRL = AVRL1;
    PSS = PSS1;
    DD1=DXD1;DD2=DXD2;

    /*——System state equations calculation using Rungekutta——*/
    runge4(x1, u1, T, NA,dy3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*- Limiter of A V R -*/
    if(x1[3]>Efmax-vf0){
        AVR1 = 1;
        ZZ = Efmax - vf0;
    }

```

```

else

```

```

    if(x1[3]<Efmin - vf0){
        AVR1 = -1;
        ZZ = Efmin - vf0;
    }

```

```

else

```

```

    {
        AVR1 = 0;
        ZZ = x1[3];
    }

```

```

/*- PSS Limiter -*/

```

```

    Ups = Pr * Kp;
    if(Ups > Um) Ups = Um;
    if(Ups < -Um) Ups = - Um;

```

```

/*- starting point of control action **/

```

```

if(cch ==0){
    prepa(Wr, &u1,x1[15],x1[14], x1[1]);
    cch = STT;
    u10 = u1;
}

```

```

else

```

```

    u1 = u10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 1. สำหรับการจ้างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

uf1 = MYU * (u1 - Ups);

if (Ups + uf1 > Um){
    PSS1 = 1;
    Upss = Um;
}

else
if (Ups + uf1 < -Um){
    PSS1 = -1;
    Upss = -Um;
}

else{
    PSS1 = 0;
    Upss = Ups + uf1;
}

/**- ending point of control action —*/

/**** shst fuzzy control ****/

if(cch3 ==0){
    prepa1(Wr, Pr,&u2,&u3,x1(15));

    cch3 = STT;

    u20 = u2;

    u30 = u3;

}

else

{ u2 = u20;

  u3 = u30;}

cch3 = cch3 - 1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

uf2 = u2;
uf3 = - u3;

uf4 = uf3 + MYU1 * (uf2 - uf3);

if (x1[16] > Um1){
    DESH = Um1;
}
else
if (x1[16] < -Um1){
    DESH = -Um1;
}
else{
    DESH = x1[16];
}
/**
DESH=0.0;
***/
/**
printf( "DESH = %10.5e \n", DESH);
***/
/*- ending point of control action —*/

/**If not use PSS control ,Upss=0.0 *****/

/****
Upss=0.0;
****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*— Limiter of G O V —*/
GD=(-x1[1]/W0-SIGM*x1[5])/Tg;

if(GD>0.1)DXD1=1;
else if(GD<-0.1)DXD1=-1;
else DXD1=0;

if(x1[5]>(Pmax-(P0-Pd)))DXD2=1;
else if(x1[5]<-(P0-Pd))DXD2=-1;
else DXD2=0;

sys1(x1, u1, f, y1,dy3);
/*— Calculation of Deviation of Output —*/
d_out(y1);

/*—— Graphic ——*/
if(CH<1){

w_view(100.0, 10.0, 500.0, 110.0);

w_axis(0.0,4.5, N * T, -4.5);
w_attr(5, 0xffff);
w_line2((ti), x1[1], fri,1);

w_view(100.0, 140.0, 500.0, 240.0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ w_axis(0.0, 0.40, N * T, -0.40); เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

w_attr(5, 0xffff);
w_line2((ti), dy1, fri, 2);

/**

w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
w_attr(4, 0xffff);
w_line2((ti), Ups, 1, 3);

w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
w_attr(2, 0xffff);
w_line2((ti), uf1, 1, 4);
**/
w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
w_attr(3, 0xffff);
w_line2((ti), DESH, fri, 6);
/**
w_line2((ti), Upss, 1, 6);
****/
w_view(100.0, 270.0, 500.0, 370.0);

w_axis(0.0, 0.1, N * T, -0.1);
w_attr(5, 0xffff);
w_line2((ti), dy3, fri, 5);

}

else{

w_view(100.0, 10.0, 500.0, 110.0);

w_axis(0.0,0.6, N * T, -0.6);
w_attr(5, 0xffff);
w_line2((ti), x1[1], fri, 1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
w_view(100.0, 140.0, 500.0, 240.0);
```

```
w_axis(0.0, 0.1, N * T, -0.1);
```

```
w_attr(5, 0xffff);
```

```
w_line2((ti), dy1, fri, 2);
```

```
/**
```

```
w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
```

```
w_attr(5, 0xffff);
```

```
w_line2((ti), Ups, 1, 3);
```

```
w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
```

```
w_attr(2, 0xffff);
```

```
w_line2((ti), uf1, 1, 4);
```

```
**/
```

```
w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
```

```
w_attr(3, 0xffff);
```

```
w_line2((ti), Upss, fri, 6);
```

```
w_view(100.0, 270.0, 500.0, 370.0);
```

```
w_axis(0.0, 0.10, N * T, -0.10);
```

```
w_attr(5, 0xffff);
```

```
w_line2((ti), dy3, fri, 5);
```

```
/**
```

```
w_axis(0.0, 0.1, N * T, -0.1);
```

```
w_attr(4, 0xffff);
```

```
w_line2((ti), Wr, 1, 5);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    fri=1;

/*—— Print data in Output file—— */

/**

fprintf(fp, " %10.6f %10.6f %10.6f %10.6f %10.6f %10.6f\n",
        Wr, Ups, u1, uf1, Upss, MYU);

fprintf(fp, " %22.18f %22.18f %22.18f\n", x1[3], ZZ, x1[8]);
fprintf(fp, " %24.20f %24.20f\n", dy3, x1[11]);
fprintf(fp, " %12.8f %12.8f %12.8f %12.8f %12.8f\n", x1[11],
        uf1, Upss, x1[12], DE1);
**/
}

if(CH==0){
fprintf(fp, "Jwb = %10.5e Jvb = %10.5e Jub = %10.5e\n",
        Jn3, Jv, Ju);
fprintf(fp, "Jgam = %10.5e\n", Jgam);
}

if(CH==1){
fprintf(fp, "Jws = %10.5e Jvs = %10.5e Jus = %10.5e\n",
        Jn3, Jv, Ju);

fprintf(fp, "Jgam = %10.5e Jwt = %10.5e\n",
        Jgam, Jn31);
}

Jn3 = 0.0; Ju = 0.0;

Jv = 0.0; Jgam = 0.0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/**
if(Jm>Jn31){
    Jm = Jn31;
    BD11=BD1;
    }
**/

}

Jn3 =0.0;
Jn31 =0.0;
/**
fprintf(fp, "BD1 = %6.3e  Jm = %12.7e\n",
    BD11, Jm);
**/
fclose(fp);
fclose(fp1);
fclose(fp2);
getch();
}

/*_____*/
Initial Condition of state variables
*_____*/

```

```

void x_stand(x)
double x[];
{
    x[0] = del0;
    x[1] = 0.0;
    x[2] = fif0;
    x[3] = 0.0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x[4] = 0.0;
x[5] = 0.0;
x[6] = 0.0;
x[7] = 0.0 - Pd;
x[8] = 0.0;
x[9] = 0.0;
x[10] = 0.0;
x[11] = 0.0;
x[12] = 0.0;
x[13] = 0.0;
x[14] = 0.0;
x[15] = Vt0;
x[16] = DESH;
}
/*-----*
   Deviation of Output
  *-----*/

```

```

void d_out(y1)
double y1[];
{
    dy1 = y1[0] - P0;
    dy3 = y1[1] - Vt0;
}

/*-----*

```

System Equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void sys1(x, u, f, y, dy)
double x[], u, f[], y[], dy;
{
    double out2;
    double vd, /* d axis voltage */
           vq, /* q axis voltage */
           id, /* d axis current */
           iq; /* q axis current */

    /*— Operating point calculation —*/
    if(CH==0){
    if(kpt<20){
        id = ( ( v0*sin(DESH)*sin(x[0])) - (v0*cos(DESH)*cos(x[0]) ) ) /
              (x222+xdd*(1+(x222/x111))))+ (x[2]/Td0d)* (1/(xdd+((
              x111*x222)/(x111+x222)))));

        vq = x[2]/Td0d-xdd*id;

        iq = ((v0*sin(DESH)*cos(x[0]))+(v0*cos(DESH)*sin(x[0]))) /
              ((x222+xq+(xq*x222/x111)));

        vd = xq*iq;
    }
    if(kpt>=20){
        /*— d axis current calculation —*/
    /**

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (สงวนด้วยพระราชบัญญัติ) ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

- v0 * cos(x[0]) / Xdd;
***/

id = ( x[2] / Td0d + v0 * sin(DESH)*sin(x[0])
- v0*cos(DESH)*cos(x[0]))/ (xe+xdd);
/*— q axis voltage calculation —*/
/****

vq = (xe * x[2]) / (Xdd * Td0d)
+ xdd * v0 * cos(x[0]) / Xdd;
***/

vq = x[2] / Td0d - xdd * id;
/*— q axis current calculation —*/
/****

iq = v0 * sin(x[0]) / Xq;
***/

iq = (v0 * cos(DESH)*sin(x[0])+v0*sin(DESH)*cos(x[0])) / (xe+xq);
/*— d axis voltage calculation —*/
/****

vd = xq * v0 * sin(x[0]) / Xq;
****/

vd = xq * iq;

}

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(CH==1){

    /*— d axis current calculation —*/
    /**
    id = (1.0 - xe * B) * x[2] / (Xdd * Td0d)
        - v0 * cos(x[0]) / Xdd;
    ***/

    id = ( x[2] / Td0d + v0 * sin(DESH)*sin(x[0])
        - v0*cos(DESH)*cos(x[0]))/ (xe+xdd);
    /*— q axis voltage calculation —*/
    /**
    vq = (xe * x[2]) / (Xdd * Td0d)
        + xdd * v0 * cos(x[0]) / Xdd;
    ***/

    vq = x[2] / Td0d - xdd * id;
    /*— q axis current calculation —*/
    /**
    iq = v0 * sin(x[0]) / Xq;
    ***/

    iq = (v0 * cos(DESH)*sin(x[0])+v0*sin(DESH)*cos(x[0])) / (xe+xq);

    /*— d axis voltage calculation —*/
    /****
    vd = xq * v0 * sin(x[0]) / Xq;
    ****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

/*— Real Power calculation —*/

y[0] = vd * id + vq * iq;

/*— Terminal Voltage calculation —*/

y[1] = sqrt(vd * vd + vq * vq);

/*— Reactive Power calculation—*/

y[2] = vq * id - vd * iq;

/*— reset circuit of output signals —*/

Wr = x[4] - x[6]/TQ;
Pr = x[14] - x[9]/TQ;

out1 = x[10] + (Wr * T1 - x[11]) / T2;
out2 = x[12] + (out1 * T3 - x[13]) / T4;

/*— Nonlinear differential equation —*/

/*— 0: torque angle—*/

f[0] = x[1];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*— 1: w —*/

f[1] = 1.0 / M * (x[7] - D * BETA * x[1]
- (id*vd+iq*vq-(P0-Pd)));

/****

v0 * sin(x[0]) * x[2] / (Xdd * Td0d)
+ (xdd - xq) * v0 * v0 * sin(2.0 * x[0])
/ (2.0 * Xdd * Xq) - (P0-Pd));

***/

/*— 2: f —*/

switch(AVRL){
case 1 :
f[2] = (Efmax) -
(x[2] / Td0d + (xd - xdd) * id);

/*****
Xd * x[2] / (BETA * Xdd * Td0d)
+ (xd - xdd) * v0 * cos(x[0]) / (BETA * Xdd);

****/

break;

case -1:

f[2] = (Efmin) -
(x[2] / Td0d + (xd - xdd) * id);

break;

case 0 :

f[2] = (vf0 + x[3]) -
(x[2] / Td0d + (xd - xdd) * id);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    }

/*- 3: vf -*/

switch(PSS){
case 1 :
    f[3] = - x[3] / (BETA * Te)
        + Ue / (BETA * Te) * (- dy + Um
        - (Kf * ZZ - x[8])/Tf);
        break;
case -1:
    f[3] = - x[3] / (BETA * Te)
        + Ue / (BETA * Te) * (- dy - Um
        - (Kf * ZZ - x[8])/Tf);
        break;
case 0 :
    f[3] = - x[3] / (BETA * Te)
        + Ue / (BETA * Te) * (- dy + Upss
        - (Kf * ZZ - x[8])/Tf);
        break;
}

/*- 4: vs -*/

f[4] = (x[1] + Wrn1- x[4]) / T5;

/*- 5: g -*/

switch(DD1){

```

```

    case 1 : f[5]=0.1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    case -1: f[5]=-0.1;
        break;
    case 0 :
        f[5] = - SIGM * x[5] / (BETA * Tg)
            + 1.0 / (BETA * Tg) * (- BETA * x[1] / W0);
        break;
    }
    /*- 6: gf -*/

    f[6] = x[4] - x[6]/TQ;

    /*- 7: h -*/
    switch(DD2){
    case 1 : f[7]=(-x[7]+(Pmax-(P0-Pd)))/Tw;
        break;
    case -1 : f[7]=(-x[7]-(P0-Pd))/Tw;
        break;
    case 0 : f[7]=(-x[7]+x[5])/Tw;
        break;
    }

    /*- Feedback control signal -*/

    f[8] = (Kf * ZZ - x[8])/Tf;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f[9] = x[14] - x[9] / TQ;$$

$$f[10] = (Wr - x[10]) / T2;$$

$$f[11] = (Wr * T1 - x[11]) / T2;$$

$$f[12] = (out1 - x[12]) / T4;$$

$$f[13] = (out1 * T3 - x[13]) / T4;$$

$$f[14] = (-y[0] + (P0 - Pd) + Wrn2 - x[14]) / Tpi;$$

$$f[15] = (y[1] + Wrn3 - x[15]) / Tvi;$$

$$f[16] = uf4 - x[16] / Tphs;$$

}

/*

Rungekutta Method

*/

```

void runge4(x, u, t, n, dy)
double x[], u, t, dy;
int n;
{
    double k1[NA], k2[NA], k3[NA],
           k4[NA], y[3], z[NA];
    int i;
    sys1(x, u, k1, y, dy);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

z[i] = x[i] + t / 2 * k1[i];

sys1(z, u, k2, y,dy);

for (i = 0; i < n; i++)
    z[i] = x[i] + t / 2 * k2[i];

sys1(z, u, k3, y,dy);

for (i = 0; i < n; i++)
    z[i] = x[i] + t * k3[i];
sys1(z, u, k4, y,dy);
for (i = 0; i < n; i++)
    x[i] = x[i] + t * (k1[i] + 2 * k2[i]
                    + 2 * k3[i] + k4[i]) / 6;
}

/*_____*/
void prepa(x1,u,Vt,Pe, x2)
/*_____*/
double x1, *u, Vt, Pe, x2;
{
static double Nk3,Gk3, uu1;

if(x1>0.0){
    x1 = x1 - Wmin;
    if(x1 < 0.0) x1 = 0.0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else {
    x1 = x1 + Wmin;
    if(x1 > 0.0) x1 = 0.0;
}

Nk3 = 0.0;

DE3 = b3*(x1-EE3)/ST ;
DE = x1-EE3;
EE3 = x1;
Dk3 = sqrt(DE3*DE3 + x1*x1);
Dk1 = sqrt(DE*DE + x1*x1);
DE1 = (Pe-EE1)/ST ;
EE1 = Pe;
/*— phase plane & fuzzy control —*/
sita(DE3,x1,Dk3,&Tk3);
simem(Tk3,a3,&Nk3,SL3);

/*— determine Gain factor—*/
Gk3 = Dk3/Dr3;
if(Gk3>1.0)Gk3=1.0;

/**
uu1= DE1/BD1;
if(uu1>1.0)uu1 = 1.0;
if(uu1<-1.0)uu1 = -1.0;
uu1= uu1 * Vt;
**/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสาร if(alp1 == alp2) รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(Dk1 < alp1) MYU = 1.0;
else
    MYU = 0.0;
}

else{
    MYU = (Dk1- alp2)/(alp1- alp2);
    if(MYU>1.0)MYU=1.0;
    if(MYU<0.0)MYU=0.0;
}

MYU = 1.0 - MYU;

/**
MYU = 1.0;
***/
/**
MYU = 0.0;
**/
/***** MYU=1.0-MYU; proposed control */
/***** MYU=1.0; F1 fuzzy only control */
/***** MYU=0.0 PPSS */

/*— calculate the PSS control signal —*/

*u= (2.0*Nk3-1.0)*Um*Gk3 /**+ MYU * uu1**/;
if(*u<-Um)*u=-Um;
if(*u>Um)*u=Um;

/**

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (Copyright) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

**/

}

/*—————*/
/*speed phase sifter w-type and p type controls*/
void prepa1(x1,x2,uw,up,Vt)
/*—————*/

double x1,x2,*uw,*up,Vt;
{
static double Nk31,Gk31, uu1;
static double Nk32,Gk32, uu2;

Nk31 = 0.0;
Nk32 = 0.0;

DE31 = b31*(x1-EE31)/ST ;
DE = x1-EE3;

DE32 = b32*(x2-EE32)/ST ;

EE31 = x1;
EE32 = x2;

Dk1 = sqrt(DE*DE + x1*x1);

Dk31 = sqrt(DE31*DE31 + x1*x1);
Dk32 = sqrt(DE32*DE32 + x2*x2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*— phase plane & fuzzy control—*/
```

```
sita(DE31,x1,Dk31,&Tk31);
```

```
sita(DE32,x2,Dk32,&Tk32);
```

```
simem(Tk31,a31,&Nk31,SL3);
```

```
simem(Tk32,a32,&Nk32,SL3);
```

```
/*— determine Gain factor —*/
```

```
Gk31 = Dk31/Dr31;
```

```
Gk32 = Dk32/Dr32;
```

```
if(Gk31>1.0)Gk31=1.0;
```

```
if(Gk32>1.0)Gk32=1.0;
```

```
if(alps1 == alps2){
```

```
    if(Dk1 < alps1) MYU1 = 1.0;
```

```
    else
```

```
        MYU1 = 0.0;
```

```
    }
```

```
    else{
```

```
        MYU1 = (Dk1-alps2)/(alps1-alps2);
```

```
        if(MYU1>1.0)MYU1=1.0;
```

```
        if(MYU1<0.0)MYU1=0.0;
```

```
    }
```

```
MYU1 = 1.0 - MYU1;
```

```
/**
```

```
MYU1 = 1.0;
```

```
*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/****

        MYU1 = 0.0;

****/

/***** MYU1=1.0-MYU1;  proposed control(spht)fuzzy control */
/***** MYU1=1.0;      spht w-type  fuzzy only control   */
/***** MYU1=0.0;      spht p-type  fuzzy only control   */

/*— the speed phase shifter control—*/
/*speed phase shifter w-type  control law u1*/

        *uw= (2.0*Nk31-1.0)*Um1*Gk31;
        if(*uw<=-Um1)*uw=-Um1;
        if(*uw>Um1)*uw=Um1;

/*speed phase shifter  p-type control law u2*/
        *up= (2.0*Nk32-1.0)*Um1*Gk32;
        if(*up<=-Um1)*up=-Um1;
        if(*up>Um1)*up=Um1;

}

void hyoka(x2)
double x2;
{
if(CH==1){

        Jn31 =Jn31 + fabs(x2) * ti + NORM * fabs(dy3) * ti
        + NORM * fabs(Upsc) * ti;

        Jgam = Jgam + fabs(Upsc) * ti + NORM * fabs(Upsc - Upss1) * ti;

        Upss1 = Upss;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Jn3 =Jn3 + fabs(x2) * ti + NORM*fabs(DESH-DESH1)*ti/ST;
```

```
DESH1 = DESH;
```

```
/**
```

```
Jn3 =Jn3 + fabs(x2) * ti/ /*+fabs(DESH)*ti**/*;
```

```
Jv =Jv + NORM * fabs(dy3) * ti;
```

```
Ju =Ju + NORM *fabs(Upsc) * ti;
```

```
else {
```

```
Jn31 =Jn31 + fabs(x2) * ti + NORM * fabs(Upsc) * ti;
```

```
Jgam = Jgam + fabs(Upsc) * ti + NORM * fabs(Upsc - Upsc1) * ti;
```

```
Upsc1 = Upsc;
```

```
Jn3 =Jn3 + fabs(x2) * ti + NORM*fabs(DESH-DESH1)*ti/ST;
```

```
DESH1 = DESH;
```

```
****
```

```
Jn3 =Jn3 + fabs(x2) * ti/ /*+fabs(DESH)*ti**/*;
```

```
****/
```

```
Jv =Jv + NORM * fabs(dy3) * ti;
```

```
Ju =Ju + NORM * fabs(Upsc) * ti;
```

```
}
```

```
/*—————*/
```

```
void sita(DE,EE,Dk,Tk)
```

```
/*—————*/
```

```
double DE,EE,Dk,*Tk;
```

```
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(DE>=0.0 && EE>0.0)
    *Tk= asin(DE/Dk)*180.0/PI;
if(DE>=0.0 && EE<0.0)
    *Tk= -asin(DE/Dk)*180.0/PI+180.0;
if(DE<0.0 && EE<=0.0)
    *Tk= -asin(DE/Dk)*180.0/PI+180.0;
if(DE<0.0 && EE>0.0)
    *Tk= asin(DE/Dk)*180.0/PI+360.0;
}

/*-----*/
void simem(Tk,a,Nk,SL)
/*-----*/
double Tk,a,*Nk,SL;
{
if(Tk >= 0.0 && Tk < SL - a / 2.0)
    *Nk = 1.0;

if(Tk >= SL - a/2.0 && Tk < SL + a / 2.0)
    *Nk = ( - Tk + SL ) / a + 0.5;

if(Tk >= SL + 180.0 - a / 2.0 && Tk < SL + 180.0 + a / 2.0)
    *Nk = ( Tk - ( SL + 180.0 ) ) / a + 0.5;

if(Tk >= SL + 180.0 + a / 2.0 && Tk <= 360.0)
    *Nk = 1.0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void shoki()
/*-----*/
{
static double A, C, lr, lx;
static double Sit, Bet, Phy;
lr = P0 / v0;
Bet = asin(lr * xe / Vt0);
lx = (-v0 + Vt0 * cos(Bet)) / xe;
Sit = atan(lx / lr);
Phy = Bet + Sit;
A = tan(Phy);
Q0 = A * P0;
del0 = atan((lr * (xe + xq))/(v0 + lx * (xe + xq)));
/*- 1. v d 0 Calculation -*/
A = (Vt0 * Vt0 / xq + Q0);
A = A * A;
A = A + P0 * P0;
vd0 = P0 * Vt0 / sqrt(A);
/*- 2. i q 0 Calculation-*/
C = Vt0 * Vt0 + xq * Q0;
C = C * C;
C = C + xq * xq * P0 * P0;
iq0 = P0 * Vt0 / sqrt(C);
/*- 3. v q 0 Calculation -*/
A = Vt0 * Vt0 - vd0 * vd0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*- 4. i d 0 Calculation    -*/
      id0 = (P0 - vq0 * iq0) / vd0;

```

```

/*- 5. d e l 0 Calculation    -*/

```

```

/**

```

```

      A = iq0 * xe + vd0 - vd0 * B * xe;

```

```

      C = -id0 * xe + vq0 - vq0 * B * xe;

```

```

      del0 = atan(A/C);

```

```

**/

```

```

/*- 6. v 0 Calculation    -*/

```

```

/**

```

```

      A = iq0 * xe + vd0 - vd0 * B * xe;

```

```

      C = sin (del0);

```

```

      v0 = A/C;

```

```

**/

```

```

/*- 7. f i f 0 Calculation -*/

```

```

      fif0 = ( xdd * v0 * cos(del0)/Xdd );

```

```

      fif0 = ( vq0 - fif0 ) * Xdd * Td0d / xe ;

```

```

/*- 8. v f 0 Calculation    -*/

```

```

      vf0 = (Xd * fif0) / (Xdd * Td0d) -

```

```

      (xd - xdd) * v0 * cos(del0) / Xdd;

```

```

}

```

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก
หลายๆฝ่าย โดยจะขอเอ่ยนามดังต่อไปนี้

ผศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและให้คำ
แนะนำวิธีการทดลองทั้งหมด

บ. Chesterton เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำปริญญาานิพนธ์

อาจารย์ท่านอื่น ๆ และ เพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือกันมาตลอดซึ่งมีอาจกลาวชื่อได้ทั้งหมด ที่
คอยให้ทั้งกำลังกายและกำลังใจทั้งคำแนะนำ เอื้อเฟื้ออุปกรณซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ
มา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. J.Arrillaga ,C.D.Arnold ,Computer Modeling of Electrical of E.P.S ,John Wiley &Son, 1983
2. Herbert Schildt,C the Complete Reference ,2th Edition,McGrawhill,1987
3. Professor M.V. Deshpande,Element of Eelectical Power Station Design,
Wheeler Publishing , 1978
4. W.J. Lyman and J.R. North, "Application of Large Phase-Shifting Transformer on an Interconnected System Loop", AIEE Tran., Vol. 57,
Oct. 1938,pp 579-587
5. B.W. Homer, "Tap-Changing Under Load for Voltage and Phase-Angle Control", AIEE Trans.,
July 1930, pp 839-847.
6. L.A. Zadeh. "Fuzzy sets,"Information and Control,8, 1965,pp 338-353.
7. H.J. Zimmerman, "Fuzzy Programming and Linear Programmimg with Several Objective Functions," TIMS/Studies in the Management Sciences , Val. 20, 1984, North-Holland,pp. 109-121
8. G.J. Klir and T.A. Folger, Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice-Hall, New Jersey, 1988
9. H.A. Moussa, Y. Yu, "Optimal Power System Stabilizateon Through Excitation and/or Gocermor Control," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol .PAS-91, pp. 1166-1174, 1972.
10. Y.Y. Hsu, C.Y.Hsu, "Design of a Proportional-Integral Power System Stabilizer,"IEEE Trans. Power Systems, Vol. PWRS-1, No. 2,pp. 46-53,
1986
11. W.J. Lyman and J.R. North, "Application of Large Phase-Shifting Transformer on an Interconnected System Loop", AIEE Trans., Vol. 57, Oct. 1938,pp 579-587.
12. B.W. Homer, "Tap-Changing Under Load for Voltage and Phase-Angle Control", AIEE Trans.,
July 1930,pp 839-847.
13. Yao-Nan YU, Senior Member, Khien Vongsuriya and Leonard N. Wedman, Application of an Optimal Control Theory To a Power System, IEEE TRansactions on Power Apparatus and Systems, Vol Pas-89, No. 1 , January 1970,pp.55-62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้