



การจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กในระบบ

ไฟฟ้ากำลัง โดยใช้ตัวปรับเสถียรภาพ

SIMULATION AND ANALYSIS SMALL SIGNAL STABILITY

IN ELECTRICAL POWER SYSTEM USING POWER SYSTEM STABILIZER

นายชัชวาลย์ จันทิ รหัส 44362150

นายมานนท์ ชางเล็ง รหัส 44362341

นายวินัย เกื่อนาน รหัส 44362382

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่รับ..... 15 พ.ย. 2549

เลขทะเบียน..... 49.00.16.3.

เลขเรียกหนังสือ..... 45

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 83580

502059X

2542

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2547



ใบรับรองโครงการ

หัวข้อโครงการ การจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กในระบบ

ไฟฟ้ากำลัง โดยใช้ตัวปรับเสถียรภาพ

ผู้ดำเนินโครงการ นายชัชวาลย์ จันทร์ รหัส 44362150

นายมานนท์ ช่างเลี้ยง รหัส 44362341

นายวินัย เกื้อนาน รหัส 44362382

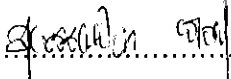
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่


สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

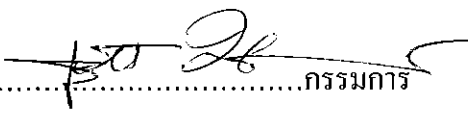
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2547

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะกรรมการสอบโครงการวิจัยนี้

กรรมการ
(อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่)

กรรมการ
(ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

กรรมการ
(ดร.ธนิต มาลากร)

หัวข้อโครงการ	การจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้ตัวปรับเสถียรภาพ	
ผู้ดำเนินโครงการ	นายชัชวาลย์ จันที	รหัส 44362150
	นายณพนธ์ ชวงเค็ง	รหัส 44362341
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายวินัย เกื้อนาน	รหัส 44362382
	อาจารย์สุพรรณนิภา ยังอยู่	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2547	

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพสภาวะสัญญาณขนาดเล็กในระบบไฟฟ้ากำลัง ตัวปรับเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาคารขาดเสถียรภาพของสัญญาณขนาดเล็กซึ่งมีสาเหตุมาจากการจ่ายกำลังไม่เพียงพอของ synchronizing torque และ negative damping torque

โครงการนี้จึงได้ทำการแปลงระบบไม่เชิงเส้นให้อยู่ในระบบเชิงเส้นในรูปสภาวะสัญญาณขนาดเล็ก จากนั้นนำวิธีที่เหมาะสมมาใช้ในการทำให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพ โดยเลือกวิธีซิมเพล็กซ์ (simplex method) เพื่อใช้ในการปรับค่าตัวแปรของตัวปรับเสถียรภาพ

Project Title	Simulation and analysis of electrical power system small signal stability by using power system stabilizer		
Name	Mr. Chatchawan Jantee		ID 44362150
	Mr. Manon Sangleng		ID 44362341
	Mr. Winai Guanana		ID 44362382
Project Adviser	Miss Supunnika Youngyoo		
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic Year	2547		

.....

ABSTRACT

This project presents a method to simulate and analyse the small signal stability in electrical power system. Power system stabilizer is used to solve the small signal stability problem caused by insufficient synchronizing torque and negative damping torque.

This project presents a nonlinear system is linearized to a linear system in the state of small signal stability. An optimization technique; simplex method; is used for improving the parameter of power system stabilizer

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์สุพรรณนิภา
ยังอยู่ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทางด้านนี้ให้แก่ผู้ดำเนินงาน จึงขอแสดง
ความขอบคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้ทำโครงการขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องที่เป็นกำลังใจให้ผู้ทำ
โครงการนี้อยู่เสมอมา



นายชัชวาลย์	จันทิ
นายมานนท์	ช่างเล็ง
นายวินัย	เกื่อนาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบข่ายของงาน.....	1
1.4 ตารางกิจกรรมการดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 เสถียรภาพของไฟฟ้ากำลัง (Power System Stability).....	3
2.2 แบบจำลองของระบบ.....	3
2.3 การวิเคราะห์ระบบ Single machine-infinite bus (SMIB).....	6
2.4 การแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	8
2.5 ตัวปรับเสถียรภาพ Power System Stabilizer.....	17
2.6 หลักการทำให้เหมาะสม Optimization Techniques.....	19
2.7 ค่าเฉพาะ (Eigenvalue).....	24
2.8 การใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้แก้ปัญหา.....	26

บทที่ 3 ตัวอย่างระบบที่ศึกษา

3.1 ระบบที่ใช้ศึกษา.....	27
3.2 การแสดงสมการของ State-Space.....	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการประมวลผล.....	35
4.2 ผลการปรับค่าตัวปรับเสถียรภาพ.....	35

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก. แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวปรับเสถียรภาพ.....	51
ภาคผนวก ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	56
ประวัติผู้เขียนโครงการ.....	64



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ.....	35
4.2 ค่าเจาะจงของเมตริกซ์ของระบบ.....	35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Cross-section and Circuit model.....	4
2.2 Automatic Voltage Regulation.....	5
2.3 Single machine-infinite bus.....	6
2.4 ระบบสายส่ง.....	13
2.5 วงจรสมมูลของระบบสายส่ง.....	13
2.6 กระบวนการสะท้อน.....	20
2.7 การสะท้อนนอกรหัสไม่มีที่สิ้นสุด.....	20
2.8 การสะท้อนนอกรหัสเป็นวงกลม.....	21
2.9 โฟลว์ชาร์ท วิธีซิมเพล็กซ์.....	22
4.1 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันแบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ.....	36
4.2 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันแบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ.....	37
4.3 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันแบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม.....	38
4.4 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันแบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ.....	39
4.5 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันแบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ.....	40
4.6 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันแบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม.....	41
4.7 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังแบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ.....	42
4.8 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังแบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ.....	43
4.9 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังแบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม.....	44
4.10 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังแบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ.....	45
4.11 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังแบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ.....	46
4.12 $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังแบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญและเข้าไปเกี่ยวข้องกับงานทางด้านต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าแทบทุกด้านเช่น โครงการก่อสร้างระบบส่ง โครงการขยายกำลังการผลิต การควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ความจำเป็นที่ต้องศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าก็คือ ระบบกำลังไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกิจการเป็นจำนวนมากเช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีเครื่องจักรจำนวนมาก เชื้อต่าง ๆ โรงงานกลั่นน้ำมันปิโตรเคมีคอล โรงไฟฟ้า และมูลค่าในการลงทุนทางด้านโครงการต่าง ๆ ของระบบกำลังไฟฟ้ามีมูลค่าสูงเมื่อระบบกำลังไฟฟ้ามุ่งเน้นการอยู่ที่สภาวะปกติความถี่ของระบบและศักดาไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่เมื่อระบบถูกรบกวนเช่น เกิดจากสัญญาณขนาดเล็กก็จะส่งผลให้ความถี่และศักดาไฟฟ้าในระบบเบี่ยงเบนจากค่าปกติ ซึ่งปัญหาของสภาวะสัญญาณขนาดเล็กคือ ระบบไม่สามารถจ่ายกำลังได้เพียงพอหรือเกิดจากทอร์คมีค่าเปลี่ยนไปจึงต้องทำการจำลองระบบเพื่อศึกษาเสถียรภาพของสภาวะสัญญาณขนาดเล็กโดยใช้ตัวปรับเสถียรภาพเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียเสถียรภาพดังนั้น เมื่อทำการปรับปรุงและแก้ไขให้ระบบเข้าสู่สภาวะปกติได้ก็จะเรียกว่าระบบมีเสถียรภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ในสภาวะปกติและสภาวะเมื่อเกิดความผิดปกติ
2. เพื่อจำลองการทำงานของระบบเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของทอร์ค เช่น synchronizing torque หรือ negative damping torque
3. เพื่อหาแนวทางแก้ไขเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบให้ดำรงอยู่ได้

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) สายส่ง (Transmission Line) โดยการนำเอาระบบ Single machine-infinite bus (SMIB) มาใช้ในการศึกษา
2. ศึกษาตัวปรับเสถียรภาพ (Power System Stabilizer) เพื่อนำมาใช้ในการปรับเสถียรภาพ
3. ศึกษาและวิเคราะห์เสถียรภาพแบบสัญญาณขนาดเล็กโดยใช้ตัวปรับเสถียรภาพ
4. เขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยโปรแกรม Matlab (Simulink)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรมการดำเนินงาน	2546		2547										
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
ศึกษา Linearization	***												
ศึกษาแบบจำลองทางคณิต ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ สายส่ง	*****												
ศึกษาการนำตัวปรับเสถียรภาพ มาวิเคราะห์สภาวะสัญญาณ ขนาดเล็ก			***										
ศึกษาการใช้งาน Matlab (Simulink)			*****										
เขียน โปรแกรมวิเคราะห์และ จำลอง เสถียรภาพแบบสภาวะ สัญญาณขนาดเล็ก					*****								
ปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม									*****				
จัดทำรูปเล่มโครงการ											***		
เสนอโครงการ												***	

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพแบบสภาวะสัญญาณขนาดเล็ก
2. สามารถใช้งาน โปรแกรม MATLAB ได้
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง

1.6 งบประมาณของโครงการ

1. ค่าวัสดุอุปกรณ์	1200	บาท
2. ค่าเอกสารประกอบการทำโครงการ	500	บาท
3. ค่า Software	200	บาท
4. ค่าหมึกเครื่องพิมพ์	1100	บาท
รวม	3000	บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 เสถียรภาพของไฟฟ้ากำลัง (Power System Stability)

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้าที่ยังคงทำงานได้อย่างสมดุล ในขณะที่เกิดการรบกวนขึ้นในระบบไฟฟ้า

2.1.1 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกได้ดังนี้

1. Rotor Angle Stability
2. Mid – Term Stability
3. Long – Term Stability
4. Voltage Stability

ซึ่งในโครงการนี้ จะศึกษาในส่วนของ Small Signal Stability ที่เกิดจากการส่งจ่ายกำลังที่ไม่เพียงพอ หรือการเปลี่ยนแปลงของทอร์ค ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นทันทีทันใดและอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเพราะทำให้เครื่องกำเนิดไม่สามารถจ่ายกำลังได้ตามที่เราต้องการ

ดังนั้นการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของระบบจะต้องกระทำให้เสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาสั้นๆ เพราะหากไม่สามารถแก้ไขได้ทันเวลา ระบบจะเกิดความเสียหาย และไม่สามารถกลับคืนสู่สภาวะปกติได้

2.2 แบบจำลองของระบบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เราจะทำการ Model Generator (PU Unit) ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการดังต่อไปนี้ Rotational Dynamics สามารถแทนด้วยสมการที่ (1) และ (2)

ก) Rotational Dynamic

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_o(\omega - 1) \quad (1)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{2H} (T_m - T_e) \quad (2)$$

โดยที่

δ = Rotor angle (rad)

ω = Speed (rad/s)

ω_o = Synchronous speed (red/s)

T_m = Mechanical load torque (N-m)

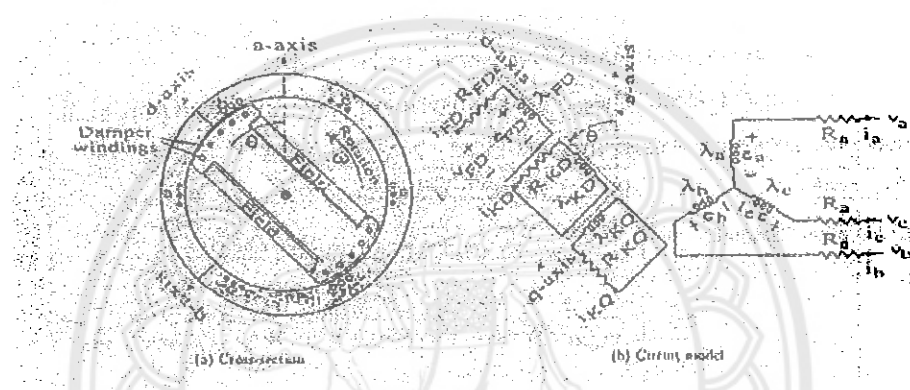
T_e = Electromagnetic torque (N-m)

H = inertia constant (MW.S/MVA)

๗) The dynamics of field circuit

$$\frac{d\lambda_{FD}}{dt} = \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{FD}} \left(\frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} - 1 \right) \lambda_{FD} - \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{FD}} L'_{aFD} i_d + \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{aFD}} \quad (3)$$

๘) The stator circuit equation



รูปที่ 2.1 a) Cross-section b) Circuit model [2]

$$\begin{aligned} v_d &= -R_a i_d - \lambda_q = -R_a i_d + L_l i_q - \lambda_{alq} \\ &= -R_a i_d + (L_l + L_{alq}) i_q \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} v_q &= R_a i_q + \lambda_d = -R_a i_d - L_l i_d + \lambda_{al'D} \\ &= -R_a i_q - (L_q + L'_{al'D}) i_d + \frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} \lambda_{FD} \end{aligned} \quad (5)$$

โดยที่

v_d = Direct axis voltage (V)

v_q = Quadrature axis voltage (V)

R_a = Armature resistance (Ω)

i_d = Direct axis current (A)

i_q = Quadrature axis current (A)

$L'_{al'D}$ = Saturated mutual inductances (H)

L_{FD} = mutual inductances (H)

L_l = Self inductance (H)

L_{alq} = Mutual inductance between stator and rotor winding in transient (H)

λ_q = Quadrature axis flux linkage (Wb)

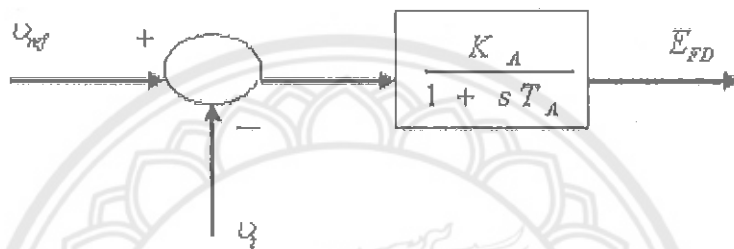
λ_{alq} = Mutual flux linkage (Wb)

λ_d = Direct axis flux linkage (Wb)

λ_{aFD} = Saturated Mutual flux linkage (Wb)

λ_{FD} = Mutual flux linkage (Wb)

๓) The Automatic Voltage Regulation Equation



รูปที่ 2.2 Automatic Voltage Regulation

$$\frac{dE_{FD}}{dt} = \frac{1}{T_A} [K_A (U_{ref} - U_t) - E_{FD}] \tag{6}$$

โดยที่

U_{ref} = Reference voltage (V)

U_t = Voltage feedback (V)

E_{FD} = Voltage field circuit dynamic (V)

K_A = Constant value

T_A = Time constant (sec)

ดังนั้นเราสามารถจัดสมการใหม่เพื่อเขียนโปรแกรม simulation ได้ดังนี้

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_o(\omega - 1) \quad (7)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{2H}(T_m - T_e) \quad (8)$$

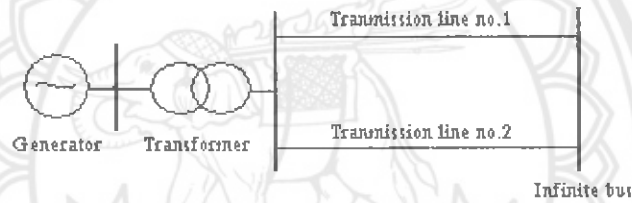
$$\frac{d\lambda_{FD}}{dt} = \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{FD}} \left(\frac{L'_{afD}}{L_{FD}} - 1 \right) \lambda_{FD} - \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{FD}} L'_{afD} i_d + \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{afD}} \quad (9)$$

$$\frac{dE_{FD}}{dt} = \frac{1}{T_A} [K_A (v_{ref} - v_t) - E_{FD}] \quad (10)$$

$$v_d = -R_a i_a + (L_l + L_{alq}) i_q \quad (11)$$

$$v_q = -R_a i_q - (L_q + L'_{afD}) i_d + \frac{L'_{afD}}{L_{FD}} \lambda_{FD} \quad (12)$$

2.3 การวิเคราะห์ระบบ Single machine-infinite bus (SMIB)



รูปที่ 2.3 Single machine-infinite bus

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ส่วนของ generator torque คือ synchronizing torque และ damping torque โดยทั้งสองจะมีเฟสเดียวกันกับ generator torque ซึ่ง synchronizing torque แทนผลต่างของมุมโรเตอร์ ($\Delta\delta$) และ damping torque แทนผลต่างของความเร็ว ($\Delta\omega$) โดยส่วนใหญ่ปัญหาของ small signal stability คือการส่งกำลังให้ระบบไม่เพียงพอ หรือ การเปลี่ยนแปลงของทอร์ก

แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_o(\omega - 1) \quad (13)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} [P_m - P_e - K_D(\omega - 1)] \quad (14)$$

$$\frac{d\lambda_{FD}}{dt} = \frac{\omega_o R_{FD}}{L_{FD}} \left[\left(\frac{L'_{afD}}{L_{FD}} - 1 \right) \lambda_{FD} - L'_{afD} i_d + \frac{L_{FD}}{L_{afD}} E_{FD} \right] \quad (15)$$

$$v_q = \frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} \lambda_{FD} - R_a i_q - (L_q + L'_{aFD}) i_d \tag{16}$$

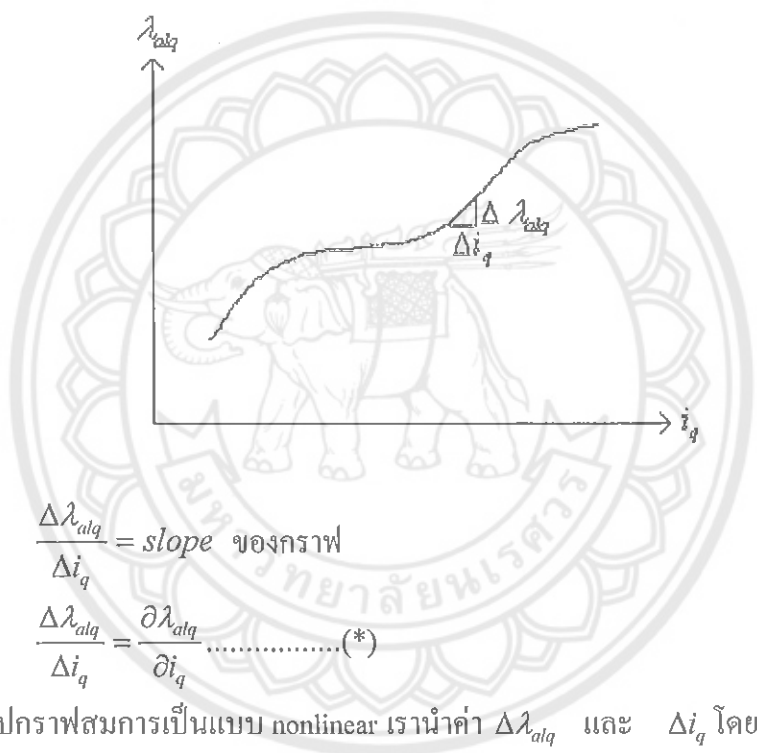
$$v_d = -R_a i_d + (L_l + L_{alq}) i_q \tag{17}$$

$$\lambda_{aFD} = L'_{aFD} \left(-i_d + \frac{1}{L_{FD}} \lambda_{FD} \right) \tag{18}$$

$$\lambda_{alq} = -L_{alq} i_q \tag{19}$$

$$P_e = \lambda_{aFD} i_q - \lambda_{alq} i_d \tag{20}$$

จากสมการที่กล่าวมาข้างต้นทำการ Linearize สมการจะได้



$$\frac{\Delta \lambda_{alq}}{\Delta i_q} = \text{slope ของกราฟ}$$

$$\frac{\Delta \lambda_{alq}}{\Delta i_q} = \frac{\partial \lambda_{alq}}{\partial i_q} \dots \dots \dots (*)$$

จากรูปกราฟสมการเป็นแบบ nonlinear เรานำค่า $\Delta \lambda_{alq}$ และ Δi_q โดยที่ทั้ง 2 คำนี้นมีขนาด เล็กมาก ๆ มาวิเคราะห์

$$\lambda_{alq} = -L_{alq} i_q$$

$$\frac{\partial \lambda_{alq}}{\partial i_q} = -L_{alq} \frac{\partial i_q}{\partial i_q} = -L_{alq}$$

$$\Delta \lambda_{alq} = \frac{\partial \lambda_{alq}}{\partial i_q} \Delta i_q$$

$$\Delta \lambda_{alq} = -L_{alq} \Delta i_q$$

2.4 การแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$1. \frac{d\delta}{dt} = \omega_0(\omega - 1)$$

$$\Delta \left(\frac{d\delta}{dt} \right)_{\Delta\omega} = \partial \left(\frac{d\delta}{dt} \right)_{\partial\omega} \dots\dots\dots (*)$$

$$\partial \left(\frac{d\delta}{dt} \right)_{\partial\omega} = \omega_0 \frac{\partial\omega}{\partial\omega} = \omega_0$$

$$\frac{\Delta d\delta}{dt} = \omega_0 \Delta\omega$$

$$2. \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} [P_m - P_e - K_D(\omega - 1)]$$

$$\Delta \frac{d\omega}{dt \Delta P_m \Delta P_e \Delta\omega} = \partial \frac{d\omega}{dt \partial P_m \partial P_e \partial\omega} \dots\dots\dots (*)$$

$$\begin{aligned} \partial \frac{d\omega}{dt \partial P_m \partial P_e \partial\omega} &= \frac{1}{2H} \left[\frac{\partial P_m}{\partial P_m \partial P_e \partial\omega} - \frac{\partial P_e}{\partial P_m \partial P_e \partial\omega} - K_D \frac{\partial\omega}{\partial\omega} \right] \\ &= \frac{1}{2H} \left[\frac{1}{\partial P_e \partial\omega} - \frac{1}{\partial P_m \partial\omega} - K_D \right] \end{aligned}$$

$$\Delta \frac{d\omega}{dt} = \partial \frac{d\omega}{dt \partial P_m \partial P_e \partial\omega} \Delta P_m \Delta P_e \Delta\omega$$

$$= \frac{1}{2H} \left[\frac{1}{\partial P_e \partial\omega} - \frac{1}{\partial P_m \partial\omega} - K_D \right] \Delta P_m \Delta P_e \Delta\omega$$

$$\frac{\Delta d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} [\Delta P_m - \Delta P_e - K_D \Delta\omega]$$

$$3. \frac{d\lambda_{FD}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} \left[\left(\frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} - 1 \right) \lambda_{FD} - L'_{aFD} i_d + \frac{L_{FD}}{L_{aFD}} E_{FD} \right]$$

$$\Delta \frac{d\lambda_{FD}}{dt \Delta \lambda_{FD} \Delta i_d \Delta E_{FD}} = \partial \frac{d\lambda_{FD}}{dt \partial \lambda_{FD} \partial i_d \partial E_{FD}} \dots \dots \dots (*)$$

$$\Delta \frac{d\lambda_{FD}}{dt} = \partial \frac{d\lambda_{FD}}{dt \partial \lambda_{FD} \partial i_d \partial E_{FD}} \Delta \lambda_{FD} \Delta i_d \Delta E_{FD}$$

$$\frac{d\Delta \lambda_{FD}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} \left[\left(\frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} - 1 \right) \Delta \lambda_{FD} - L'_{aFD} \Delta i_d + \frac{L_{FD}}{L_{aFD}} \Delta E_{FD} \right]$$

$$4. v_q = \frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} \lambda_{FD} - R_a i_q - (L_l + L'_{aFD}) i_d$$

$$\frac{\Delta v_q}{\Delta \lambda_{FD} \Delta i_q \Delta i_d} = \frac{\partial v_q}{\partial \lambda_{FD} \partial i_q \partial i_d} \dots \dots \dots (*)$$

$$\Delta v_q = \frac{\partial v_q}{\partial \lambda_{FD} \partial i_q \partial i_d} \Delta \lambda_{FD} \Delta i_q \Delta i_d$$

$$= \frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} \Delta \lambda_{FD} - R_a \Delta i_q - (L_l + L'_{aFD}) \Delta i_d$$

$$5. v_d = -R_a i_d + (L_l + L'_{alq}) i_q$$

$$\frac{\Delta v_d}{\Delta i_d \Delta i_q} = \frac{\partial v_d}{\partial i_d \partial i_q} \dots\dots\dots (*)$$

$$v_d = -R_a i_d + (L_l + L'_{alq}) i_q$$

$$\frac{\partial v_d}{\partial i_d \partial i_q} = -R_a \frac{1}{\partial i_q} + (L_l + L'_{alq}) \frac{1}{\partial i_d}$$

$$\begin{aligned} \Delta v_d &= \frac{\partial v_d}{\partial i_d \partial i_q} \Delta i_d \Delta i_q = \left[-R_a \frac{1}{\partial i_q} + (L_l + L'_{alq}) \frac{1}{\partial i_d} \right] \Delta i_d \Delta i_q \\ &= -R_a \Delta i_d + (L_l + L'_{alq}) \Delta i_q \end{aligned}$$

$$6. \lambda_{aFD} = L'_{aFD} \left(-i_d + \frac{1}{L_{FD}} \lambda_{FD} \right)$$

$$\frac{\Delta \lambda_{aFD}}{\Delta i_d \Delta \lambda_{FD}} = \frac{\partial \lambda_{aFD}}{\partial i_d \partial \lambda_{FD}} \dots\dots\dots (*)$$

$$\lambda_{aFD} = L'_{aFD} \left(-i_d + \frac{1}{L_{FD}} \lambda_{FD} \right)$$

$$\frac{\partial \lambda_{aFD}}{\partial i_d \partial \lambda_{FD}} = L'_{aFD} \left(-\frac{1}{\partial \lambda_{FD}} + \frac{1}{L_{FD}} \frac{1}{\partial i_d} \right)$$

$$\Delta \lambda_{aFD} = \frac{\partial \lambda_{aFD}}{\partial i_d \partial \lambda_{FD}} \Delta i_d \Delta \lambda_{FD}$$

$$= L'_{aFD} \left(-\Delta i_d + \frac{1}{L_{FD}} \Delta \lambda_{FD} \right)$$

$$7. \lambda_{alq} = -L_{alq} i_q$$

$$\frac{\Delta \lambda_{alq}}{\Delta i_q} = \frac{\partial \lambda_{alq}}{\partial i_q} \dots \dots \dots (*)$$

$$\lambda_{alq} = -L_{alq} i_q$$

$$\Delta \lambda_{alq} = \frac{\partial \lambda_{alq}}{\partial i_q} \Delta i_q$$

$$\Delta \lambda_{alq} = -L_{alq} \Delta i_q$$

$$8. P_e = \lambda_{afD} i_q - \lambda_{alq} i_d$$

$$\frac{\Delta P_e}{\Delta i_q \Delta i_d \Delta \lambda_{afD} \Delta \lambda_{alq}} = \frac{\partial P_e}{\partial i_q \partial i_d \partial \lambda_{afD} \partial \lambda_{alq}} \dots \dots \dots (*)$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial i_q \partial i_d \partial \lambda_{afD} \partial \lambda_{alq}} = \frac{\partial P_e}{\partial i_q \partial i_d \partial \lambda_{afD} \partial \lambda_{alq}} \Delta i_q \Delta i_d \Delta \lambda_{afD} \Delta \lambda_{alq}$$

$$= \left[\lambda_{afD} \frac{1}{\partial i_d \partial \lambda_{afD} \partial \lambda_{alq}} - \lambda_{alq} \frac{1}{\partial i_q \partial \lambda_{afD} \partial \lambda_{alq}} \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\partial i_q \partial i_d \partial \lambda_{alq}} i_q - \frac{1}{\partial i_q \partial i_d \partial \lambda_{afD}} i_d \right] \Delta i_q \Delta i_d \Delta \lambda_{afD} \Delta \lambda_{alq}$$

$$= \lambda_{afD} \Delta i_q - \lambda_{alq} \Delta i_d + \Delta \lambda_{afD} i_q - \Delta \lambda_{alq} i_d$$

จากการทำ Linearize จะได้สมการดังนี้

$$\frac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_0\Delta\omega \quad (21)$$

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2H}[\Delta P_m - \Delta P_e - K_D\Delta\omega] \quad (22)$$

$$\frac{d\Delta\lambda_{FD}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} \left[\left(\frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} - 1 \right) \Delta\lambda_{FD} - \left(L'_{aFD} \Delta i_d + \frac{L_{FD}}{L'_{aFD}} \Delta E_{FD} \right) \right] \quad (23)$$

$$\Delta v_q = \frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} \Delta\lambda_{FD} - R_a \Delta i_q - (L_l + L'_{aFD}) \Delta i_d \quad (24)$$

$$\Delta v_d = -R_a \Delta i_d + (L_l + L_{alq}) \Delta i_q \quad (25)$$

$$\Delta\lambda_{aFD} = L'_{aFD} \left(-\Delta i_d + \frac{1}{L_{FD}} \Delta\lambda_{FD} \right) \quad (26)$$

$$\Delta\lambda_{alq} = -L_{alq} \Delta i_q \quad (27)$$

$$\Delta P_e = \lambda_{aFD} \Delta i_q - \lambda_{alq} \Delta i_d + \Delta\lambda_{aFD} i_q - \Delta\lambda_{alq} i_d \quad (28)$$

แบบจำลองของระบบกระตุ้น (excitation system) คือ

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{1}{T_R} (v_i - v_i) \quad (29)$$

$$v_R = v_{ref} - v_i \quad (30)$$

$$E_{FD} = K_A v_R \quad (31)$$

$$v_i = \sqrt{v_q^2 + v_d^2} \quad (32)$$

เมื่อ v_i คือค่าค้ำค่าไฟฟ้าภายในสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยเป็น per unit (pu.)

จากสมการแบบจำลองระบบกระตุ้นเมื่อทำการ linearise จะได้

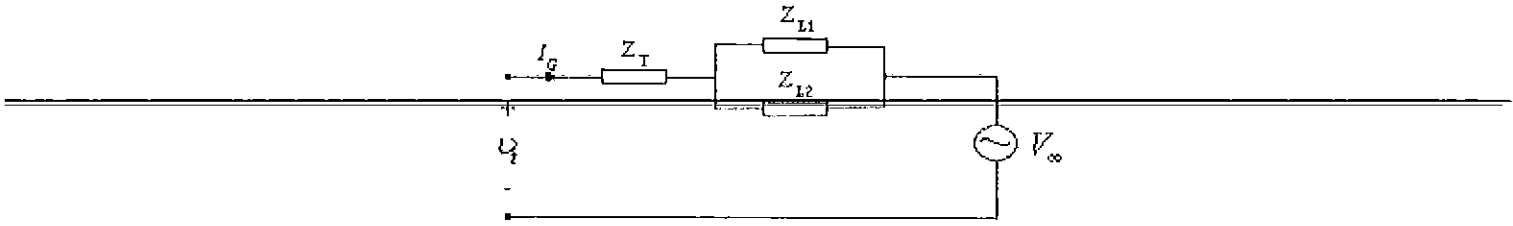
$$\frac{d\Delta v_i}{dt} = \frac{1}{T_R} (\Delta v_i - \Delta v_i) \quad (33)$$

$$\Delta v_R = -\Delta v_i \quad (34)$$

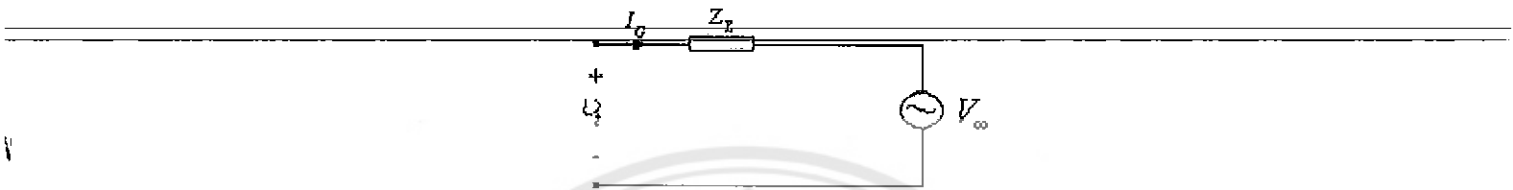
$$\Delta E_{FD} = K_A \Delta v_R = -K_A \Delta v_i \quad (35)$$

$$\Delta v_i = \frac{1}{v_i} (v_q \Delta v_q + v_d \Delta v_d) \quad (36)$$

แบบจำลองระบบสายส่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 และสามารถเขียนใหม่เป็นดังรูปที่ 2.5 เมื่อ I_G คือ กระแสที่ไหลมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสามารถเขียนอยู่ในรูป $i_d + ji_q$ ได้



รูปที่ 2.4 ระบบสายส่ง



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของระบบสายส่ง

จากรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$Z_E = R_E + jX_E = Z_T + \frac{Z_{L1}Z_{L2}}{Z_{L1} + Z_{L2}} \tag{37}$$

$$v_d + jv_q = (i_d + ji_q)(R_E + jX_E) + V_\infty (\sin \delta + j \cos \delta) \tag{38}$$

หรือ

$$v_q = R_E i_q + X_E i_d + V_\infty \cos \delta \tag{39}$$

$$v_d = -X_E i_q + R_E i_d + V_\infty \sin \delta \tag{40}$$

เมื่อ V_∞ คือค่าศักดาไฟฟ้าที่ infinite bus มีค่าแรงดันเป็น 1 pu และมุมเฟสเป็นศูนย์
 ทำการ linearize จะได้ดังนี้

$$\Delta v_q = R_E \Delta i_q + X_E \Delta i_d - V_\infty \sin \delta \Delta \delta \tag{41}$$

$$\Delta v_d = -X_E \Delta i_q + R_E \Delta i_d + V_\infty \cos \delta \Delta \delta \tag{42}$$

กำหนดให้

$$R_s = R_a + R_E \tag{43}$$

$$X_{sd} = X_E + L_l + L'_{afd} \tag{44}$$

$$X_{sq} = X_E + L_l + L_{alq} \tag{45}$$

$$C_1 = R_s^2 + X_{sq} X_{sd} \tag{46}$$

หาคำตอบของ Δi_q และ Δi_d ในเทอมของ $\Delta \lambda_{FD}$ และ $\Delta \delta$ โดยใช้สมการ (24) ,(25) ,(41) และ (42)

$$\Delta i_q = C_2 \Delta \delta + C_3 \Delta \lambda_{FD} \quad (47)$$

$$\Delta i_d = C_4 \Delta \delta + C_5 \Delta \lambda_{FD} \quad (48)$$

เมื่อ

$$C_2 = \frac{V_\infty}{C_1} (R_s \sin \delta + X_{sd} \cos \delta) \quad (49)$$

$$C_3 = \frac{R_s L'_{aFD}}{C_1 L_{FD}} \quad (50)$$

$$C_4 = \frac{V_\infty}{C_1} (X_{sq} \sin \delta - R_s \cos \delta) \quad (51)$$

$$C_5 = \frac{X_{sq} L'_{aFD}}{C_1 L_{FD}} \quad (52)$$

สมการ mutual flux linkages :

$$\Delta \lambda_{aFD} = -L'_{aFD} C_4 \Delta \delta + L'_{aFD} \left(\frac{1}{L_{FD}} - C_5 \right) \Delta \lambda_{FD} \quad (53)$$

$$= C_6 \Delta \delta + C_7 \Delta \lambda_{FD} \quad (54)$$

$$\Delta \lambda_{alq} = -L_{alq} C_2 \Delta \delta - L_{alq} C_3 \Delta \lambda_{FD} \quad (55)$$

$$= C_8 \Delta \delta + C_9 \Delta \lambda_{FD} \quad (56)$$

เมื่อ

$$C_6 = -L'_{aFD} C_4 \quad (57)$$

$$C_7 = L'_{aFD} \left(\frac{1}{L_{FD}} - C_5 \right) \quad (58)$$

$$C_8 = -L_{alq} C_2 \quad (59)$$

$$C_9 = -L_{alq} C_3 \quad (60)$$

เมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกำลังทางไฟฟ้าจะได้สมการข้างล่างนี้

$$\Delta P_e = K_1 \Delta \delta + K_2 \Delta \lambda_{FD} \quad (61)$$

เมื่อกำหนดให้ค่า K เป็นดังนี้

$$K_1 = \lambda_{aFD} C_2 - \lambda_{alq} C_4 + i_d C_6 - i_d C_8 \quad (62)$$

$$K_2 = \lambda_{aFD} C_3 - \lambda_{alq} C_5 + i_d C_7 - i_d C_9 \quad (63)$$

สมการการเคลื่อนที่ของการหมุนแบบไดนามิกส์ในแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\frac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_0 \Delta\omega \quad (64)$$

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2H} [\Delta P_m - K_1 \Delta\delta - K_D \Delta\omega - K_2 \Delta\lambda_{FD}] \quad (65)$$

ทำการ linearize

$$\frac{d\Delta\lambda_{FD}}{dt} = C_{10} \Delta\delta + C_{11} \Delta\lambda_{FD} + C_{12} \Delta E_{FD} \quad (66)$$

เมื่อ

$$C_{10} = -\frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} L'_{afD} C_4 \quad (67)$$

$$C_{11} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} \left(\frac{L'_{afD}}{L_{FD}} - 1 - L'_{afD} C_5 \right) \quad (68)$$

$$C_{12} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} \quad (69)$$

ทำการกำหนดค่าต่างๆ เพื่อที่จะนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\lambda_{FD}}{dt} &= \frac{1}{T_3} [-\Delta\lambda_{FD} + K_3 (\Delta E_{FD} - K_4 \Delta\delta)] \\ &= \frac{1}{T_3} [-\Delta\lambda_{FD} + K_3 \Delta E_{FD} - K_3 K_4 \Delta\delta] \end{aligned} \quad (70)$$

โดยให้

$$T_3 = -\frac{1}{C_{11}} \quad (71)$$

$$K_3 = C_{12} T_3 \quad (72)$$

$$K_4 = -\frac{C_{10}}{C_{12}} \quad (73)$$

กำหนดค่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\Delta v_g = C_{13} \Delta\delta + C_{14} \Delta\lambda_{FD} \quad (74)$$

$$\Delta v_d = C_{15} \Delta\delta + C_{16} \Delta\lambda_{FD} \quad (75)$$

เมื่อ

$$C_{13} = -[R_a C_2 + (L_l + L'_{afD}) C_4] \quad (76)$$

$$C_{14} = \frac{L'_{aFD}}{L_{FD}} - R_a C_3 - (L_l + L'_{aFD}) C_5 \quad (77)$$

$$C_{15} = -R_a C_4 + (L_l + L_{alq}) C_2 \quad (78)$$

$$C_{16} = -R_a C_5 + (L_l + L_{alq}) C_3 \quad (79)$$

จากสมการที่ (36) ค่าศักดาไฟฟ้าสามารถเขียนสมการเป็น

$$\Delta v_i = K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta \lambda_{FD} \quad (80)$$

เมื่อ

$$K_5 = \frac{1}{v_i} (C_{13} v_q + C_{15} v_d) \quad (81)$$

$$K_6 = \frac{1}{v_i} (C_{14} v_q + C_{16} v_d) \quad (82)$$

ค่า ΔE_{FD} จากสมการที่ (70) เมื่อแทนด้วย Δv_i จากสมการที่ (35) จะเขียนเป็นสมการเดียวได้ดังนี้

$$\frac{d\Delta \lambda_{FD}}{dt} = \frac{1}{T_3} [-K_3 K_4 \Delta \delta - \Delta \lambda_{FD} - K_3 K_A \Delta v_i] \quad (83)$$

จากสมการที่ (80) สามารถหาค่า Δv_i ในสมการ (33) ได้เป็น

$$\frac{d\Delta v_i}{dt} = \frac{1}{T_R} (K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta \lambda_{FD} - \Delta v_i) \quad (84)$$

จากสมการ (64) , (65) , (83) และ (84) เขียนให้อยู่ในรูปเมตริกดังนี้

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \omega \\ \Delta \lambda_{FD} \\ \Delta v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{2H} & -\frac{K_D}{2H} & -\frac{K_2}{2H} & 0 \\ -\frac{K_3 K_4}{T_3} & 0 & -\frac{1}{T_3} & -\frac{K_3 K_4}{T_3} \\ \frac{K_5}{T_R} & 0 & \frac{K_6}{T_R} & -\frac{1}{T_R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \omega \\ \Delta \lambda_{FD} \\ \Delta v_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\Delta P_m}{2H} \quad (85)$$

2.5 ตัวปรับเสถียรภาพ (Power System Stabilizer)

$$\frac{d\Delta\lambda_{FD}}{dt} = \frac{1}{T_3} \left[-K_3 K_4 \Delta\delta - \Delta\lambda_{FD} - K_3 K_A \Delta v_i + K_3 K_A \Delta_{pss} \right] \quad (86)$$

สมการ state equation สำหรับ wash-out filter คือ

$$\frac{d\Delta v_i}{dt} = \frac{1}{T_\omega} \left[-\Delta v_i + T_\omega \frac{d\Delta\omega}{dt} \right] \quad (87)$$

$$= -\frac{K_1}{2H} \Delta\delta - \frac{K_D}{2H} \Delta\omega - \frac{K_2}{2H} \Delta\lambda_{FD} - \frac{1}{T_\omega} \Delta v_i + \frac{1}{2H} \Delta P_m \quad (88)$$

สมการ state equation สำหรับ compensation network including stabilizer gain คือ

$$\frac{d\Delta v_i}{dt} = \frac{1}{T_2} \left[-\Delta v_{pss} + K_{pss} \Delta v_i + K_{pss} T_1 \frac{d\Delta v_i}{dt} \right] \quad (89)$$

$$= -K_{pss} \frac{T_1}{T_2} \frac{K_1}{2H} \Delta\delta + K_{pss} \frac{T_1}{T_2} \frac{K_D}{2H} \Delta\omega - K_{pss} \frac{T_1}{T_2} \frac{K_2}{2H} \Delta\lambda_{FD} \\ + \frac{K_{pss}}{T_2} \left(1 - \frac{T_1}{T_\omega} \right) \Delta v_i - \frac{1}{T_2} \Delta v_{pss} + \frac{T_1}{T_2} \frac{K_{pss}}{2H} \Delta P_m \quad (90)$$

state model สำหรับระบบ SMIB กับ AVR และ PSS สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \\ \Delta v_1 \\ \Delta v_{pss} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} & a_{34} & 0 & a_{36} \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} & 0 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & 0 & a_{55} & 0 \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & 0 & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \\ \Delta v_1 \\ \Delta v_{pss} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ 0 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix} \Delta P_m \quad (91)$$

เมื่อ

$$a_{12} = \omega_0 \quad (92)$$

$$a_{21} = a_{51} = -\frac{K_1}{2H} \quad (93)$$

$$a_{22} = a_{52} = -\frac{K_D}{2H} \quad (94)$$

$$a_{23} = a_{53} = -\frac{K_2}{2H} \quad (95)$$

$$a_{31} = -\frac{K_3 K_4}{T_3} \quad (96)$$

$$a_{33} = -\frac{1}{T_3} \quad (97)$$

$$a_{34} = -\frac{K_3 K_A}{T_3} \quad (98)$$

$$a_{36} = \frac{K_3 K_A}{T_3} \quad (99)$$

$$a_{41} = \frac{K_5}{T_R} \quad (100)$$

$$a_{43} = \frac{K_6}{T_R} \quad (101)$$

$$a_{44} = -\frac{1}{T_R} \quad (102)$$

$$a_{55} = -\frac{1}{T_\omega} \quad (103)$$

$$a_{61} = K_{pss} \frac{T_1}{T_2} a_{21} \quad (104)$$

$$a_{62} = K_{pss} \frac{T_1}{T_2} a_{22} \quad (105)$$

$$a_{63} = K_{pss} \frac{T_1}{T_2} a_{23} \quad (106)$$

$$a_{65} = \frac{K_{pss}}{T_2} \left(1 - \frac{T_1}{T_\omega} \right) \quad (107)$$

$$a_{66} = -\frac{1}{T_2} \quad (108)$$

$$b_2 = b_5 = \frac{1}{2H} \quad (109)$$

$$b_6 = \frac{T_1 K_{pss}}{T_2 2H} \quad (110)$$

2.6 หลักการทำให้เหมาะสม Optimization Techniques

หลักการทำให้เหมาะสมเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปร (Variable) ที่เกี่ยวกับฟังก์ชันเป้าหมายให้อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด (Constraint) เพื่อให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุด ในโครงการนี้เป็นกรหาฟังก์ชันเป้าหมายที่มีค่าน้อยที่สุด

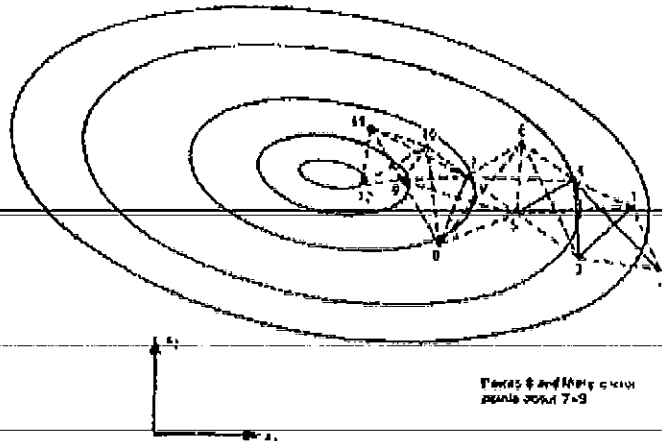
การหาค่าตอบและหลักการที่เหมาะสมมีอยู่หลายวิธี ซึ่งโครงการนี้เลือกใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method)

2.6.1 วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method)

เป็นการคิดโดยจำลองอยู่ในรูปเรขาคณิตที่มี n มิติ, $n+1$ จุดเมื่อจุดแต่ละจุดมีความห่างเท่ากัน และรูปเรขาคณิตจะมีด้านทุกด้านเท่ากันด้วย ดังนั้นในแบบจำลองแบบ 2 มิติจะเป็นรูปสามเหลี่ยม และในแบบ 3 มิติจะเป็นรูปทรงสี่หน้า

ทั่วไปแล้ววิธีซิมเพล็กซ์ คือการเปรียบเทียบค่ากับ Objective Function โดยการเคลื่อนย้ายรูปทรงเรขาคณิตแบบกลิ้งเข้าหาค่าที่ต้องการในที่นี้คือค่าต่ำที่สุด ด้วยกระบวนการ 3 แบบ

1) Reflection ยกตัวอย่างเช่น ในแบบ 2 มิติ ดังรูป จะเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยจะทำการตรวจสอบว่าจุดใดเป็นจุดที่ห่างจากค่าน้อยที่สุด (Minimum) มากที่สุด หรือเช็คว่าจุดใดเป็นจุดที่มีค่ามากที่สุดนั่นเอง แล้วให้จุดดังกล่าวเป็นจุด X_n และตรวจสอบค่าที่น้อยสุดที่จุด 2 จุดที่เหลือ แล้วให้เป็นจุด X_L และจุดที่เหลือเป็นค่า X_m หลังจากนั้นสร้างจุดใหม่ที่มีระยะห่างจากฐานเท่ากัน และอยู่แนวตรงเดียวกับจุด X_n เรียกว่าจุด X_r ซึ่งเราเรียกว่าการสะท้อน (Reflection) โดยที่มีจุด X_0 เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด X_n กับจุด X_r และจุดกึ่งกลางระหว่างจุด X_L กับจุด X_m จะได้รูปสามเหลี่ยมรูปใหม่ที่ประกอบด้วยจุด X_L, X_m และ X_r เป็นจุดยอด แล้วเริ่มเช็คจุดที่มีค่าสูงที่สุดอีกครั้งทำตามข้างต้นซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าที่ได้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าค่านั้นเองคือค่าที่ต้องการ (Optimum Point) เป็นการสิ้นสุด Simplex Method หรือสามารถทำตามขั้นตอนของแผนภาพการทำงานของ Simplex Method

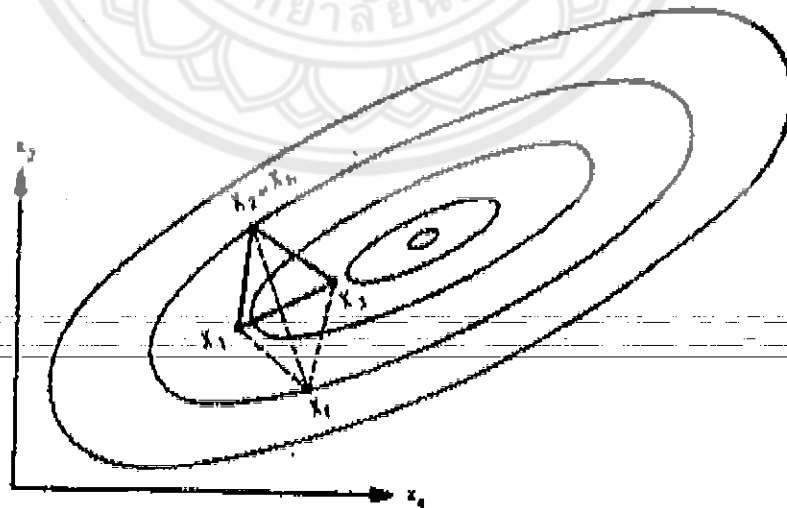


รูปที่ 2.6 กระบวนการสะท้อน [2]

ในบางกรณีไม่สามารถทำตามกระบวนการข้างต้นนี้ได้กรณีดังกล่าวนี้คือ

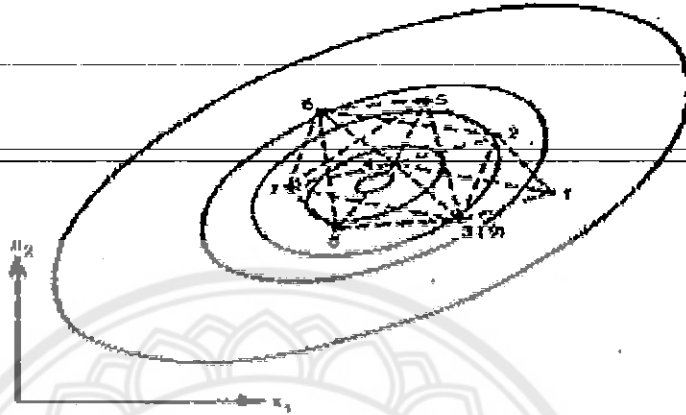
1) กรณีที่มีเมื่อเรากำหนดจุดลงไปแล้วการหมุนของรูปเรขาคณิตเกิดปัญหาขึ้นนั่นก็คือเมื่อเราทำการสะท้อนจุดเพื่อหมุนรูปเรขาคณิตแต่กลับมาพบว่า X_1 มีค่าเท่ากับจุด X_0 ดังรูปซึ่งถ้าเราทำการสะท้อนอีกครั้งจะทำให้ได้สามเหลี่ยมรูปใหม่เหมือนกับรูปแรกเมื่อสะท้อนไปเรื่อยๆ สามเหลี่ยมจะวนกลับหัวไปมาไม่สามารถถึงจุดที่ต้องการได้ ถ้าเราเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณก็จะเกิดการวนซ้ำไม่มีที่สิ้นสุด

วิธีการแก้ไขคือเมื่อใดที่มีการสะท้อนกลับไปซ้ำจุดเก่า ให้เลือกจุดที่มีค่ามากรองลงมาเป็นจุด X_0 แทนที่ ด้วยวิธีนี้ก็จะสามารถกลิ้งรูปเรขาคณิตเข้าสู่ค่าที่ต้องการได้



รูปที่ 2.7 การสะท้อนวนซ้ำไม่มีที่สิ้นสุด [2]

2) การที่กลิ้งซิมเพล็กซ์ไปเรื่อยๆ เกิดลิ่งวนเป็นดังรูป ซึ่งถ้าเราทำการสะท้อนอีกครั้งจะทำให้ได้สามเหลี่ยมรูปใหม่ซิมเพล็กซ์ก็จะกลิ้งกลับไปทีรูปแรกเมื่อสะท้อนไปเรื่อยๆ สามเหลี่ยมก็จะวนเป็นวงกลมไม่สามารถไปถึงจุดที่ต้องการฟอร์มของซิมเพล็กซ์ตามรูป จะเป็น 123, 234, 245, 456, 467, 478, 348, 234 สังเกตได้ว่าวนกลับมาที่ 234 อีกครั้ง วิธีแก้ไขในกรณีนี้เราจะต้องตั้งค่าตั้งต้นใหม่

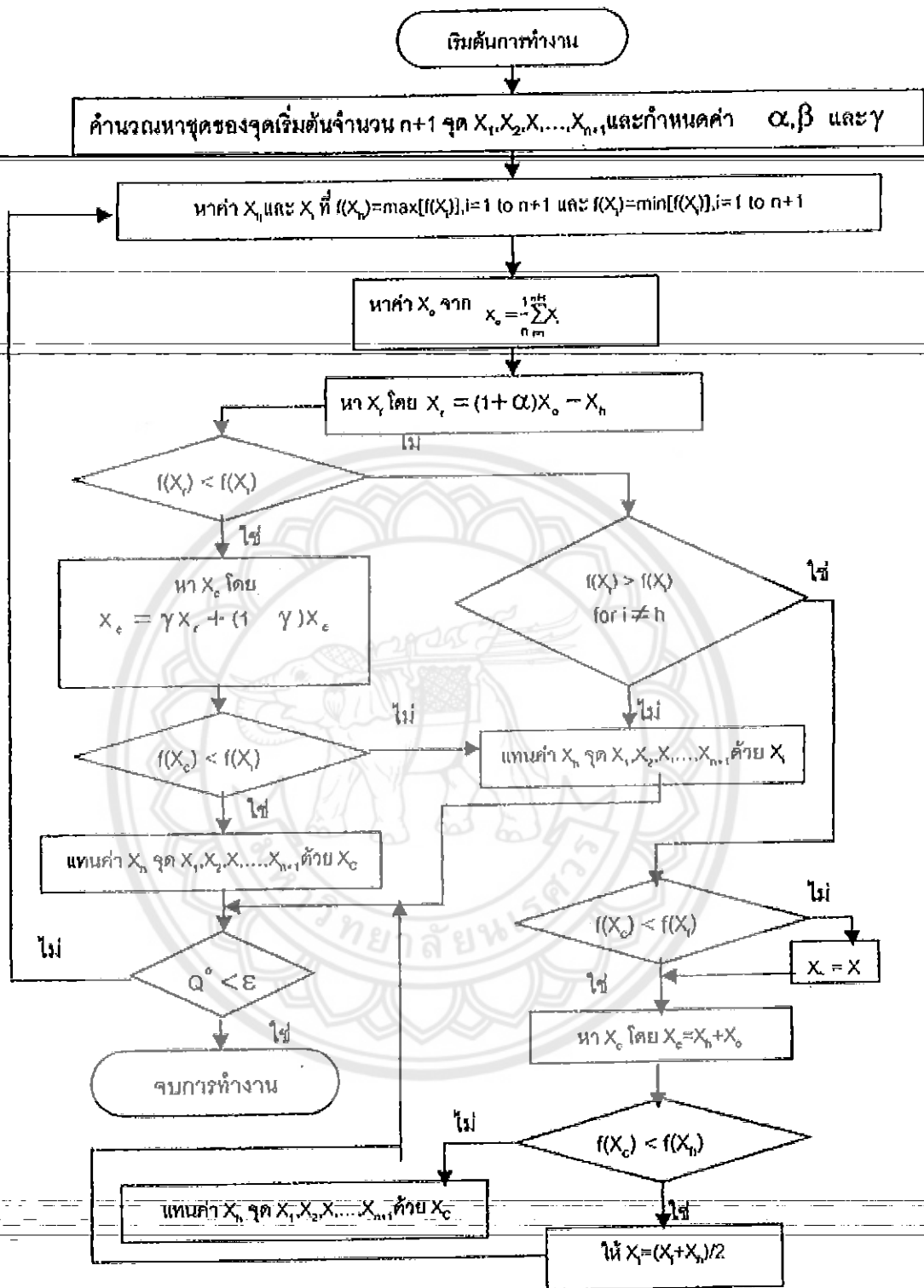


รูปที่ 2.8 การสะท้อนวนเป็นวงกลม (2)

2) **Expansion** เป็นกระบวนการหาจุดใหม่มาแทนจุด X_n อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นการขยายขนาดรูปเรขาคณิตไปในทิศทางที่ต้องการจึงทำให้เข้าถึงค่าที่ต้องการเร็วยิ่งขึ้น กล่าวคือเมื่อเราคำนวณหาจุด X_r มาแทนจุด X_n ได้แล้ว ให้ทำการตรวจสอบหาจุดที่มีค่าน้อยที่สุด (X_r) ถ้าหากจุดที่น้อยที่สุดเป็นจุดให้ขยายระยะ (Expansion) ที่จากจุด X_r ไปถึง X_0 เป็น 2 เท่าเข้าหาจุดที่ต้องการเร็วขึ้น

การใช้กระบวนการ Reflection อย่างเดียวในบางครั้งอาจจะต้องทำการวนซ้ำหลายรอบมากหากว่าเรารวมกระบวนการ Expansion เข้าไปด้วยก็จะทำให้มีการวนซ้ำรอบน้อยลง

3) **Contraction** คล้ายกับการ Expansion แต่เป็นการย่อระยะทางจาก X_r ถึง X_0 ลงครึ่งหนึ่งในกรณีที่ทำการ Reflection ได้จุด X_r ที่หลังการตรวจสอบค่าแล้วพบว่าจุด X_r เลขค่าต่ำสุดไปเมื่อรวม 3 กระบวนการเข้าด้วยกัน จะทำการหาค่าที่ต้องการมีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาสั้น



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนวิธีซิมเพล็กซ์

2.6.2 เงื่อนไข (Constraints)

เงื่อนไขคือข้อกำหนดที่กำหนดไว้เพื่อให้ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดโดยเงื่อนไขสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) เงื่อนไขที่เป็นสมการ (Equality Constraints)

$$h_i(\phi) = 0 \quad \text{โดยที่ } i \text{ เป็นเงื่อนไขที่ } 1, 2, 3, \dots, m \text{ ตามลำดับ}$$

2) เงื่อนไขที่เป็นอสมการ (Inequality Constraints)

$$g_i(\phi) > 0 \quad \text{โดยที่ } i \text{ เป็นเงื่อนไขที่ } 1, 2, 3, \dots, n \text{ ตามลำดับ}$$

การแก้ปัญหาที่ศึกษาโดยที่ไม่มีเงื่อนไขอาจทำให้คำตอบของการคำนวณอยู่ในช่วงที่ไม่ต้องการ ดังนั้นการจัดการกับเงื่อนไขจึงเป็นวิธีที่นำมาใช้เพื่อให้ฟังก์ชันเป้าหมายเข้าสู่จุดที่เหมาะสม โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดซึ่งโครงการนี้เลือกใช้วิธี Penalty Function Method มาเป็นวิธีที่จัดการกับเงื่อนไข

Penalty Function Method คือ การจัดการกับค่าที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะเพิ่มค่า Penalty Function เข้าไปในฟังก์ชันเป้าหมายใหม่ มีค่ามากกว่าฟังก์ชันเป้าหมายเดิมแต่ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมจะเป็นค่าที่ได้จากค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่แท้จริงดังสมการ

$$p(\phi) = f(\phi) + \sum_{i=1}^m u_i h_i(\phi) + \sum_{i=1}^n w_i g_i(\phi)$$

โดยที่ $p(\phi)$ คือฟังก์ชันเป้าหมายใหม่ที่รวมเงื่อนไข

$f(\phi)$ คือฟังก์ชันเป้าหมายเดิมที่ทำการหาค่าที่เหมาะสม

u_i, w_i คือ Weighting Factor

2.7 ค่าเจาะจง (Eigenvalue)

ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของการปรับเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า นั้น เราใช้วิธีการ โปรแกรมเชิงเส้น โดยการประมาณค่าของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ให้เป็นระบบเชิงเส้นในช่วงเสถียรภาพของสัญญาณขนาดเล็กซึ่งการพิจารณาที่รวดเร็วจึงพิจารณาแบบอสมิตोटติคกับระบบเชิงเส้นนี้ และใช้การพิจารณาค่าความไวของค่าเจาะจงมาวิเคราะห์ โดยพิจารณาค่าความไวของค่าเจาะจงเมตริกซ์ของระบบที่มีค่าเด่นที่สุดมีค่าติดลบ ก่อนที่เราจะพิจารณาค่าเจาะจงของเมตริกซ์นั้น ระบบของเราต้องปรับค่าต่างๆ ให้เหมาะสมก่อน เพราะการปรับค่าเจาะจงนั้นเป็นการปรับที่ละเอียดมากดังนั้นการที่จะปรับค่าเจาะจงก่อนจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมแต่หลังจากปรับค่าต่างๆให้เหมาะสมแล้วเราจึงปรับค่าเจาะจงอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่ดีกว่าเดิมออกมา ซึ่งในการพิจารณาค่าเจาะจงนั้นเราจะพิจารณาค่าของส่วนจริงของค่าเจาะจงทุกตัวซึ่งเป็นค่าที่ติดลบ ซึ่งเราจะพิจารณาค่าที่เด่นที่สุดเท่านั้น โดยการพิจารณาต่างๆนั้น จะทำภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้วใน โปรแกรม

2.7.1 ความไวค่าเจาะจง

$$\Delta \lambda_i = \varphi_i^T \Delta A \phi_i \quad (111)$$

โดย φ_i, ϕ_i คือเวกเตอร์เจาะจงทางซ้ายและขวา (left and right eigenvector) ของเมตริกซ์ A ของค่าเจาะจงตัวที่ i

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

กำหนดให้

x_1 คือเวกเตอร์ของตัวแปรสถานะ (state variable vector) ของเมตริกซ์ของระบบ ซึ่งยังไม่รวมผลของตัวปรับเสถียรภาพ

x_2 คือเวกเตอร์ของตัวแปรสถานะ (state variable vector) ของเมตริกซ์ของระบบ เฉพาะในส่วนของตัวปรับเสถียรภาพ

u คือเวกเตอร์ของสัญญาณเข้า (input signal vector)

เมตริกซ์ของระบบ

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ A_{21}(K) & A_{22}(K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{21} \end{bmatrix} u \quad (112)$$

โดย K เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรต่างๆของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการกระจายโดยอนุกรมเทย์เลอร์

1402559x 4900163

$$\Delta A(\Delta K) \cong \frac{\partial A}{\partial K} \Delta K$$

ร.ร.

จากสมการที่ (112)

$$\Delta A(\Delta K) \cong \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{\partial A_{21}}{\partial K} \Delta K & \frac{\partial A_{22}}{\partial K} \Delta K \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} 3547 \\ 0.2 \end{matrix} \quad (113)$$

โดย ΔK คือการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กลงของตัวแปรของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.7.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย

จากสมการที่ (111) และ (113) จะได้

$$\Delta \lambda_i = \phi_i^T \Delta A(\Delta K) \phi_i = \Delta \lambda_i(\Delta K)$$

เนื่องจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบเชิงเส้นพิจารณาจากเสถียรภาพแบบอสมโทติกคือส่วนจริงของค่าเฉพาะของทุกตัวซึ่งจะต้องมีค่าติดลบ แต่ต้องพิจารณาค่าส่วนจริงของค่าเฉพาะที่เด่นที่สุดและอัตราการหน่วงด้วย

เงื่อนไข

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & J(\Delta K) = \text{Re}[\Delta \lambda_i(\Delta K)] \\ \text{Subject to} \quad & \text{Re}[\Delta \lambda_i] \leq p \\ & \text{Im}[\Delta \lambda_i] \leq q \\ & \Delta K_{\min} \leq \Delta K \leq \Delta K_{\max} \end{aligned}$$

โดย $J(\Delta K)$ คือส่วนจริงของการลดลงของค่าเฉพาะตัวที่เด่นที่สุด

i คือตำแหน่งของค่าเฉพาะตัวที่เด่นที่สุด

t คือตำแหน่งของค่าเฉพาะตัวอื่น ๆ ที่ไม่รวมตัวที่ i

p และ q คือค่าที่ต้องการกำหนดให้ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าเฉพาะจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตที่ต้องการให้มีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามข้อกำหนดในการพิจารณาซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเฉพาะที่ไม่ใช่ค่าเฉพาะที่เด่นที่สุดของรอบการคำนวณซ้ำนั้นๆ

ในตอนแรกได้กล่าวไว้แล้วว่าเราพิจารณาเสถียรภาพแบบอสมโทติก คือการพิจารณาส่วนจริงของค่าเฉพาะ และค่าเฉพาะที่นำมาพิจารณานั้นต้องเป็นจำนวนเชิงซ้อน คือมีทั้งจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ เพราะจำนวนจริง จะเกี่ยวข้องกับเวลาที่เข้าสู่เสถียรภาพ และจำนวนจินตภาพจะเกี่ยวกับการแกว่งของผลตอบสนองช่วงเวลา ซึ่งเราพิจารณา 2 ตัวนี้โดยกระบวนการทั้งหมดเราใช้โปรแกรม MATLAB มาช่วยในการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อเราปรับค่าต่างๆแล้วจะเกิดการรบกวนและการแกว่งลดลง

2.8 การใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้แก้ปัญหา

การแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์มักจะเกี่ยวข้องกับระบบสมการเชิงเส้นหลายๆ สมการซึ่งประกอบด้วยสมการย่อยและตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมากในบางครั้งถ้าระบบสมการมีขนาดใหญ่มากก็ไม่สามารถที่จะหาคำตอบหรือแก้ระบบสมการนั้นได้ ดังนั้นการศึกษาระเบียบการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงเส้นจึงมีความสำคัญมากที่จะนำมาใช้หาคำตอบของปัญหาต่างๆ ในการศึกษาถึงระเบียบในการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงเส้นนี้

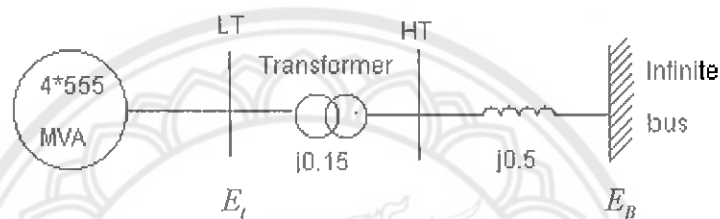


บทที่ 3

ตัวอย่างระบบที่ศึกษา

3.1 ระบบที่ใช้ศึกษา

ระบบ Single-machine-infinite bus มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ต่ออยู่กับหม้อแปลง (transformer) ผ่านสายส่งไปที่ infinite bus โดยที่มีค่า reactance ของแต่ละตัวอยู่ในรูป per unit ที่ base 2220 MVA , 24 kV , 60 Hz



กำหนดค่าให้

$$\begin{array}{llll}
 P = 0.9 & Q = 0.3 & E_t = 1.0 \angle 36^\circ & E_B = 0.995 \angle 0^\circ \\
 L_d = 1.65 & L_q = 1.6 & L_l = 0.16 & R_a = 0.003 \\
 R_{FD} = 0.0006 & L_{FD} = 0.153 & A_{sat} = 0.031 & B_{sat} = 6.93 \\
 \Psi_{fl} = 0.8 & R_E = 0 & X_E = 0.65 & H = 3.5
 \end{array}$$

ตัวอย่าง คำนวณหาค่า initial steady-state ของระบบ

$$\bar{I}_t = \frac{(P + jQ)^*}{\bar{E}_t^*} = \frac{0.9 - j0.3}{1.0} = 0.9 - j0.3$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{P}{I_t E_t} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{0.9}{0.9487 \times 1} \right) = 18.43^\circ$$

$$\bar{E}_a = \bar{E}_t + (R_a + jL_l) \bar{I}_t = 1.0 + (0.003 + j0.16)(0.9 - j0.3) = 1.0507 + j0.1431$$

$$\Psi_{at} = |E_a| = 1.06$$

$$\Psi_l = 0.031 e^{6.93(\Psi_{at} - 0.8)} = 0.031 e^{6.93(1.06 - 0.8)} = 0.1879$$

$$K_{sd} = K_{sq} = \frac{\Psi_{at}}{\Psi_{at} + \Psi_l} = \frac{1.06}{1.06 + 0.1879} = 0.8491$$

$$X_{ds} = L_{ds} = K_{sd}L_{adu} + L_l = (0.8491 \times 1.65) + 0.16 = 1.56$$

$$X_{qs} = L_{qs} = K_{sq}L_{aqui} + L_l = (0.8491 \times 1.6) + 0.16 = 1.52$$

$$\begin{aligned} \delta_i &= \tan^{-1} \left(\frac{I_l X_{qs} \cos \phi - I_l R_a \sin \phi}{E_l + I_l R_a \cos \phi + I_l X_{qs} \sin \phi} \right) \\ &= \tan^{-1} \left[\frac{(0.9487 \times 1.56 \cos 18.43^\circ) - (0.9487 \times 0.003 \sin 18.43^\circ)}{1 + (0.9487 \times 0.003 \cos 18.43^\circ) + (0.9487 \times 1.56 \sin 18.43^\circ)} \right] \\ &= 43.13^\circ \end{aligned}$$

$$e_{d0} = E_l \sin \delta_i = 1 \times \sin(43.130) = 0.6836$$

$$e_{q0} = E_l \cos \delta_i = 1 \times \cos(43.130) = 0.7298$$

$$i_{d0} = I_l \sin(\delta_i + \phi) = (0.9 - j0.3) \times \sin(43.130 + 18.430) = 0.8343$$

$$i_{q0} = I_l \cos(\delta_i + \phi) = (0.9 - j0.3) \times \cos(43.130 + 18.430) = 0.4518$$

$$E_{Bd0} = e_{d0} - R_E i_{d0} + X_E i_{q0} = 0.6836 + (0.65 \times 0.4518) = 0.9773$$

$$E_{Bq0} = e_{q0} - R_E i_{q0} - X_E i_{d0} = 0.7298 - (0.65 \times 0.8343) = 0.1875$$

$$\delta_0 = \tan^{-1} \left[\frac{E_{Bd0}}{E_{Bq0}} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{0.9773}{0.1875} \right] = 79.13^\circ$$

$$E_B = \left(E_{Bd0}^2 + E_{Bq0}^2 \right)^{1/2} = \left(0.9773^2 + 0.1875^2 \right)^{1/2} = 0.995$$

$$i_{fd0} = \frac{e_{q0} + R_a i_{q0} + L_{ds} i_{d0}}{L_{ads}} = \frac{0.7298 + (0.003 \times 0.4518) + (1.56 \times 0.8343)}{1.65} = 1.23$$

$$E_{fd0} = L_{adu} i_{fd0} = 1.65 \times 1.23 = 2.03$$

$$\Psi_{ado} = L_{ads} (-i_{d0} + i_{fd0}) = 1.65 \times (-0.8343 + 1.23) = 0.6529$$

$$\Psi_{aq0} = -L_{aqs} i_{q0} = -1.65 \times 0.4518 = -0.7455$$

$$R_T = R_a + R_E = 0.003 + 0 = 0.003$$

$$X_{Tq} = X_E + X_{qs} = 0.65 + 1.52 = 2.17$$

$$X_{Td} = X_E + (L'_{ads} + L_l)$$

$$L'_{ads} = \frac{1}{\frac{1}{L_{ads}} + \frac{1}{L_{fd}}} = \frac{1}{\frac{1}{1.65} + \frac{1}{0.153}} = 0.14$$

$$X_{Td} = X_E + (L'_{ads} + L_l) = 0.65 + (0.14 + 0.16) = 0.95$$

$$D = R_T^2 + X_{Tq} X_{Td} = (0.003)^2 + (2.17)(0.95) = 2.0615$$

$$m_1 = \frac{E_B (X_{Tq} \sin \delta_0 - R_T \cos \delta_0)}{D} = \frac{0.995(2.17 \times \sin 79.13 - 0.003 \times \cos 79.13)}{2.0615} = 1.0284$$

$$n_1 = \frac{E_B (R_T \sin \delta_0 + X_{Td} \cos \delta_0)}{D} = \frac{0.995(0.003 \times \sin 79.13 + 0.95 \cos 79.13)}{2.0615} = 0.0879$$

$$m_2 = \frac{X_{Tq} L_{ads}}{D (L_{ads} + L_{fd})} = \frac{2.17 \times 1.65}{2.0615 (1.65 + 0.153)} = 0.9633$$

$$n_2 = \frac{R_T L_{ads}}{D (L_{ads} + L_{fd})} = \frac{0.003 \times 1.65}{2.0615 (1.65 + 0.153)} = 0.0013$$

$$K_1 = \frac{E_B E_{q0}}{D} (R_T \sin \delta_0 + X_{Td} \cos \delta_0) + \frac{E_B i_{q0}}{D} (X_q - X'_d) (X_{Tq} \sin \delta_0 - R_T \cos \delta_0)$$

$$K_1 = \left[\frac{0.9951 \times 0.7298}{2.0615} \right] (0.003 \times \sin 79.13 + 0.95 \cos 79.13) +$$

$$\left[\frac{0.9951 \times 0.4518}{2.0615} \right] (1.76 - 0.3) (2.17 \sin 79.13 - 0.003 \cos 79.13) = 0.7403$$

$$K_2 = \frac{L_{ads}}{L_{ads} + L_{FD}} \left[\frac{R_T}{D} E_{q0} + \left(\frac{X_{Tq}}{D} (X_g - X'_d) + 1 \right) i_{q0} \right]$$

$$= \frac{1.65}{(1.65 + 0.153)} \left[\frac{(0.003 \times 0.7298)}{2.0615} + \left(\frac{2.17}{2.0615} (1.76 - 0.3) + 1 \right) (0.4518) \right] = 0.8649$$

$$K_D = 0$$

$$K_3 = \frac{(L_{ads} + L_{FD})}{L_{adu} \times \left[1 + \frac{X_{Tq}}{D} (X_d - X'_d) \right]} = \frac{(1.65 + 0.153)}{(1.65) \times \left[1 + \frac{2.17}{2.0615} (1.81 - 0.3) \right]} = 0.323$$

$$K_4 = L_{adu} \frac{L_{ads}}{L_{ads} + L_{FD}} \times \frac{E_B}{D} (X_{Tq} \sin \delta_0 - R_T \cos \delta_0)$$

$$= (1.65) \frac{1.65}{(1.65 + 0.153)} \times \frac{0.9951}{2.0615} (2.17 \sin 79.13 - 0.003 \cos 79.13) = 1.4187$$

$$K_5 = \frac{e_{do}}{E_{to}} \left[-R_a m_1 + L_1 n_1 + L_{aqs} n_1 \right] + \frac{e_{qo}}{E_{to}} \left[-R_a n_1 + L_1 m_1 - L'_{ads} m_1 \right]$$

$$= \frac{0.6838}{1.0} \left[-(0.003 \times 1.0284) + (0.16 \times 0.0879) + (1.6 \times 0.0879) \right] +$$

$$\frac{0.7298}{1.0} \left[-(0.003 \times 0.0879) + (0.16 \times 1.0284) - (0.14 \times 1.0284) \right] = -0.1463$$

$$K_6 = \frac{e_{do}}{E_{to}} \left[-R_a m_2 + L_1 n_2 + L_{aqs} n_2 \right] + \frac{e_{qo}}{E_{to}} \left[-R_a n_2 + L_1 m_2 - L'_{ads} \left(\frac{1}{L_{FD}} - m_2 \right) \right]$$

$$= \frac{0.6838}{1.0} \left[-(0.003 \times 0.9633) + (0.16 \times 0.0013) + (1.6 \times 0.0013) \right] +$$

$$\frac{0.7298}{1.0} \left[-(0.003 \times 0.0013) + (0.16 \times 0.9633) - (0.14) \left(\frac{1}{0.153} - 0.9633 \right) \right] = 0.4168$$

$$T_3 = \frac{T'_{do}}{1 + \frac{X_{Tq}}{D} (X_d - X'_d)} = \frac{8.0}{1 + \frac{2.17}{2.0615} (1.81 - 0.3)} = 2.365$$

$$b_2 = b_5 = \frac{1}{2H} = \frac{1}{(2 \times 3.5)} = 0.1429$$

$$b_6 = \frac{T_1 K_{STAB}}{T_2 2H} = \frac{[0.154]}{[0.033]} \left[\frac{9.5}{(2 \times 3.5)} \right] = 6.3333$$

$$b_{11} = \frac{1}{2H} = \frac{1}{(2 \times 3.5)} = 0.1429$$

$$b_{32} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{ads}} = \frac{(376.99 \times 0.0006)}{1.65} = 0.1371$$

$$a_{11} = -\frac{K_D}{2H} = -\frac{0}{(2 \times 3.5)} = 0$$

$$a_{12} = -\frac{K_1}{2H} = -\frac{0.7643}{(2 \times 3.5)} = -0.1092$$

$$a_{13} = -\frac{K_2}{2H} = -\frac{0.8649}{(2 \times 3.5)} = -0.1236$$

$$a_{21} = \omega_0 = 2\pi f_0 = 376.99$$

$$a_{32} = -\frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} m_1 L'_{ads} = -\frac{(376.99 \times 0.0006)}{0.153} (1.0437 \times 0.14) = -0.1938$$

$$a_{33} = -\frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{FD}} \left[1 - \frac{L'_{ads}}{L_{FD}} + m_2 L'_{ads} \right]$$

$$= -\frac{(376.99 \times 0.0006)}{0.153} \left[1 - \frac{0.14}{0.153} + (0.8802 \times 0.14) \right]$$

$$= -0.4229$$

$$a_{34} = -\frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{adu}} K_A = -\frac{(376.99 \times 0.0006)}{1.65} \times (200) = -27.4175$$

$$a_{36} = \frac{\omega_0 R_{FD}}{L_{adu}} K_A = \frac{(376.99 \times 0.0006)}{1.65} \times (200) = 27.4175$$

$$a_{41} = 0$$

$$a_{42} = \frac{K_5}{T_R} = -\frac{0.1463}{0.02} = -7.315$$

$$a_{43} = \frac{K_6}{T_R} = \frac{0.4168}{0.02} = 20.84$$

$$a_{44} = -\frac{1}{T_R} = -\frac{1}{0.02} = -50$$

$$a_{14} = a_{24} = 0$$

$$a_{51} = K_{STAB} a_{11} = (9.5 \times 0) = 0$$

$$a_{52} = K_{STAB} a_{12} = 9.5 \times (-0.1092) = -1.0374$$

$$a_{53} = K_{STAB} a_{13} = 9.5 \times (-0.1236) = -1.1742$$

$$a_{55} = -\frac{1}{T_W} = -\frac{1}{1.4} = -0.7143$$

$$\frac{K_3 K_4}{T_3} = \frac{(0.323 \times 1.4187)}{2.365} = 0.1938$$

$$\frac{1}{T_3} = \frac{1}{2.365} = 0.4228$$

$$a_{61} = \frac{T_1}{T_2} a_{51} = \frac{(0.154 \times 0)}{0.033} = 0$$

$$a_{62} = \frac{T_1}{T_2} a_{52} = \frac{0.154 \times (-1.0374)}{0.033} = -4.8412$$

$$a_{63} = \frac{T_1}{T_2} a_{53} = \frac{0.154 \times (-1.1742)}{0.033} = -5.4796$$

$$a_{65} = \frac{T_1}{T_2} a_{55} + \frac{1}{T_2} = \frac{0.154 \times (-0.7143)}{0.033} + \frac{1}{0.033} = 24.8234$$

$$a_{66} = -\frac{1}{T_2} = -\frac{1}{0.033} = -30.303$$

3.2 การแสดงสมการของ State-space

สมการ input ของระบบ

$$\dot{x} = f(x, u, t)$$

สมการ output ของระบบ

$$y = g(x, u)$$

Linearized สมการ input และ output ของระบบ

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u$$

$$\Delta y = C \Delta x + D \Delta u$$

3.2.1 State Model สำหรับระบบ SMIB

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta \omega \\ \Delta \delta \\ \Delta \lambda_{FD} \\ \Delta v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{2H} & -\frac{K_D}{2H} & -\frac{K_2}{2H} & 0 \\ \frac{K_3 K_4}{T_3} & 0 & \frac{1}{T_3} & -\frac{K_3 K_4}{T_3} \\ \frac{K_5}{T_R} & 0 & \frac{K_6}{T_R} & -\frac{1}{T_R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \omega \\ \Delta \delta \\ \Delta \lambda_{FD} \\ \Delta v_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{2H} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta P_m$$

State Model สำหรับระบบ SMIB

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 376.99 & 0 & 0 \\ -0.1092 & 0 & -0.1236 & 0 \\ -0.1938 & 0 & -0.4229 & -27.4175 \\ 7.315 & 0 & 20.84 & -50 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1429 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta P_m$$

3.2.2 State Model สำหรับระบบ SMIB กับ AVR และ PSS

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \\ \Delta v_1 \\ \Delta v_{pss} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} & a_{34} & 0 & a_{36} \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} & 0 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & 0 & a_{55} & 0 \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & 0 & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \\ \Delta v_1 \\ \Delta v_{pss} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ 0 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix} \Delta P_m$$

State Model สำหรับระบบ SMIB กับ AVR และ PSS

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \\ \Delta v_1 \\ \Delta v_{pss} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 376.99 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.1092 & 0 & -0.1236 & 0 & 0 & 0 \\ -0.1938 & 0 & -0.4229 & -27.4175 & 0 & 27.4175 \\ -7.315 & 0 & 20.84 & -50 & 0 & 0 \\ -1.0374 & 0 & -1.1742 & 0 & -0.7143 & 0 \\ -4.8412 & 0 & -5.4796 & 0 & 24.8234 & -30.303 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta\lambda_{FD} \\ \Delta v_i \\ \Delta v_1 \\ \Delta v_{pss} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1429 \\ 0 \\ 0 \\ 0.1429 \\ 6.3333 \end{bmatrix} \Delta P_m$$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการประมวลผล

การจำลองระบบ Single machine infinite bus (SMIB) โดยที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของ synchronizing torque หรือ negative damping torque จะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ และขาดสมดุล เมื่อเรานำตัวปรับเสถียรภาพมาช่วยให้ระบบกลับเข้ามาสู่สมดุล ก็จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพเหมือนเดิม โดยที่โครงงานนี้ทำการรบกวนระบบอยู่ 2 แบบคือ

4.1.1 รบกวนแรงดันของระบบ

- รบกวนแบบ unit step ระยะเวลา 50 ms
- รบกวนแบบ ramp ระยะเวลา 0.15 s

4.1.2 รบกวนกำลังของระบบ

- รบกวนแบบ unit step ระยะเวลา 50 ms
- รบกวนแบบ ramp ระยะเวลา 0.15 s

4.2 ผลการปรับค่าตัวปรับเสถียรภาพ

เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุลได้เร็วยิ่งขึ้น จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ โดยใช้หลักการทำให้เหมาะสม (Optimization Techniques)

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ

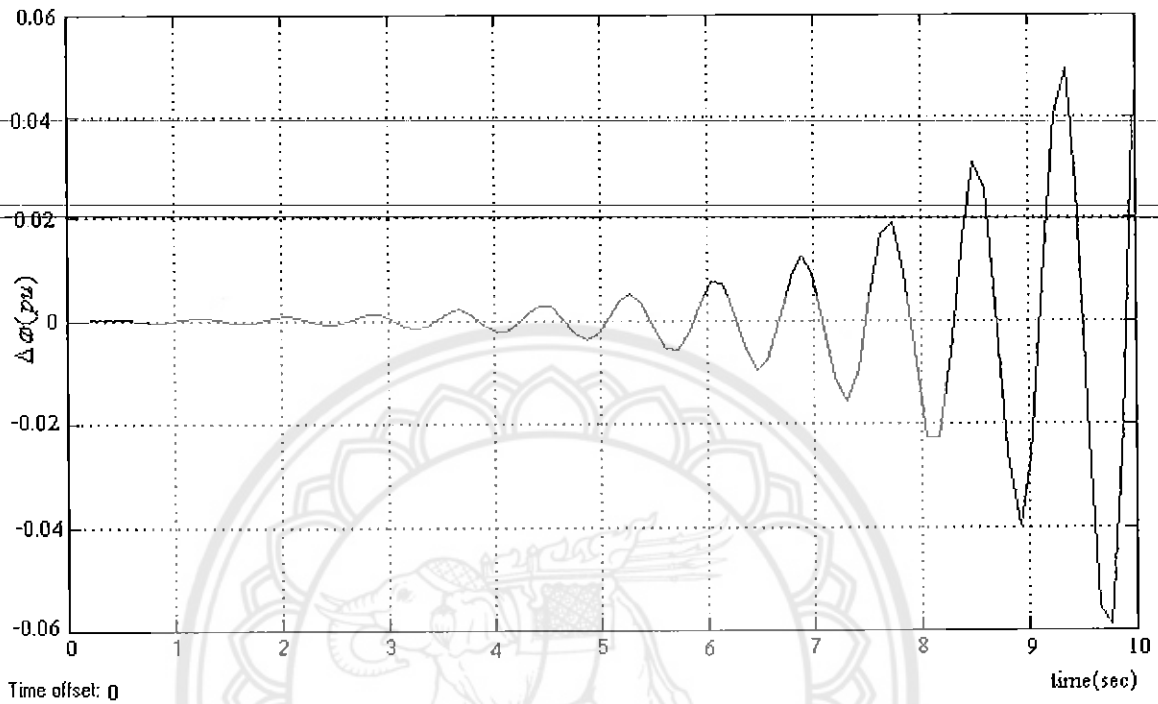
	K_{STAB}	T_W	T_1	T_2
ค่าเริ่มต้น	9.5	1.4	0.154	0.033
ค่าที่จุดเหมาะสม	30.7473	0.5865	0.0583	0.0395

ตารางที่ 4.2 ค่าเจาะจงของเมตริกซ์ของระบบ

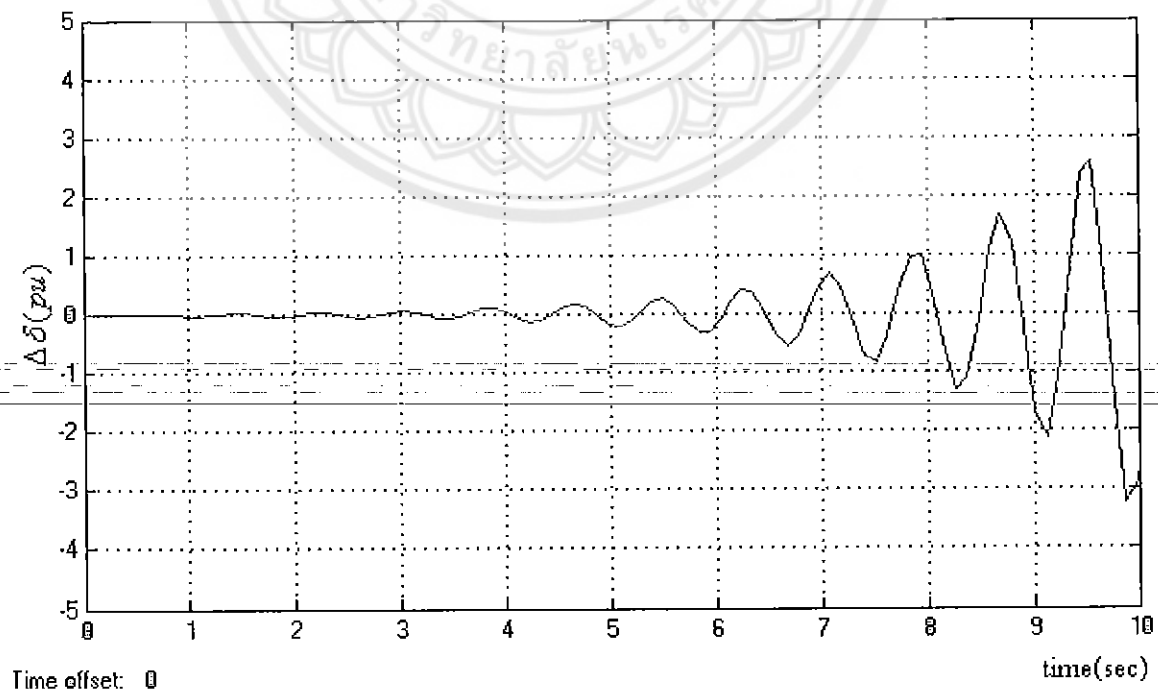
ก่อนปรับค่าพารามิเตอร์	หลังปรับค่าพารามิเตอร์
-39.1592	-36.8305
-0.7314	-3.0978
-0.9902 + j6.6260	-9.9783 + j3.1308
-0.9902 - j6.6260	-9.9783 - j3.1308
-19.9339 + j12.6991	-8.9105 + j6.0756
-19.9339 - j12.6991	-8.9105 - j6.0756

4.1.1 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนแรงดันแบบ unit step เป็นระยะเวลา 50 ms

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันขนาดตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



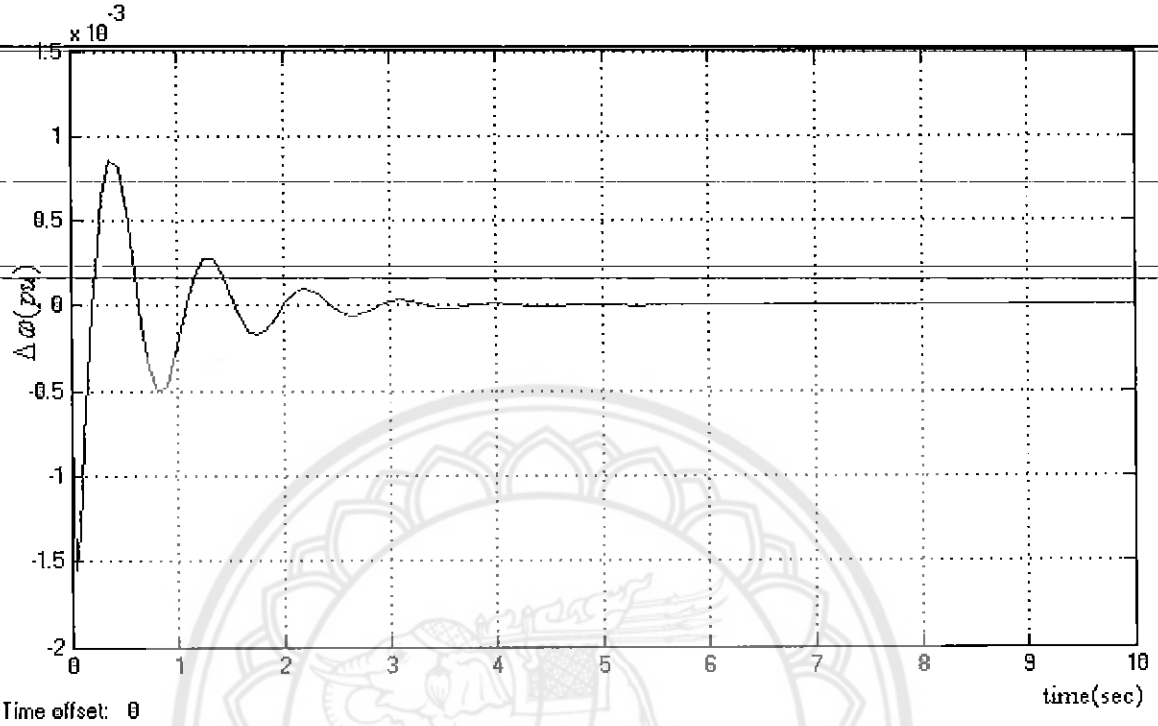
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันขนาดตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



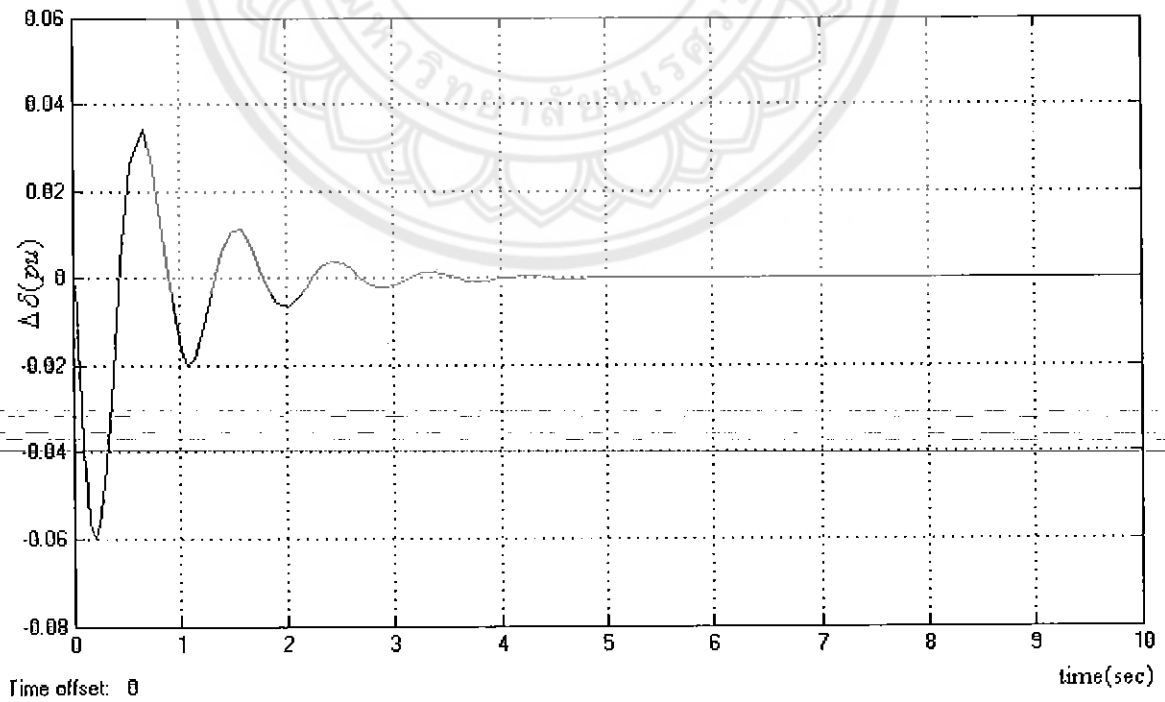
รูปที่ 4.1

4.1.2 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนแรงดันแบบ unit step เป็นระยะเวลา 50 ms

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



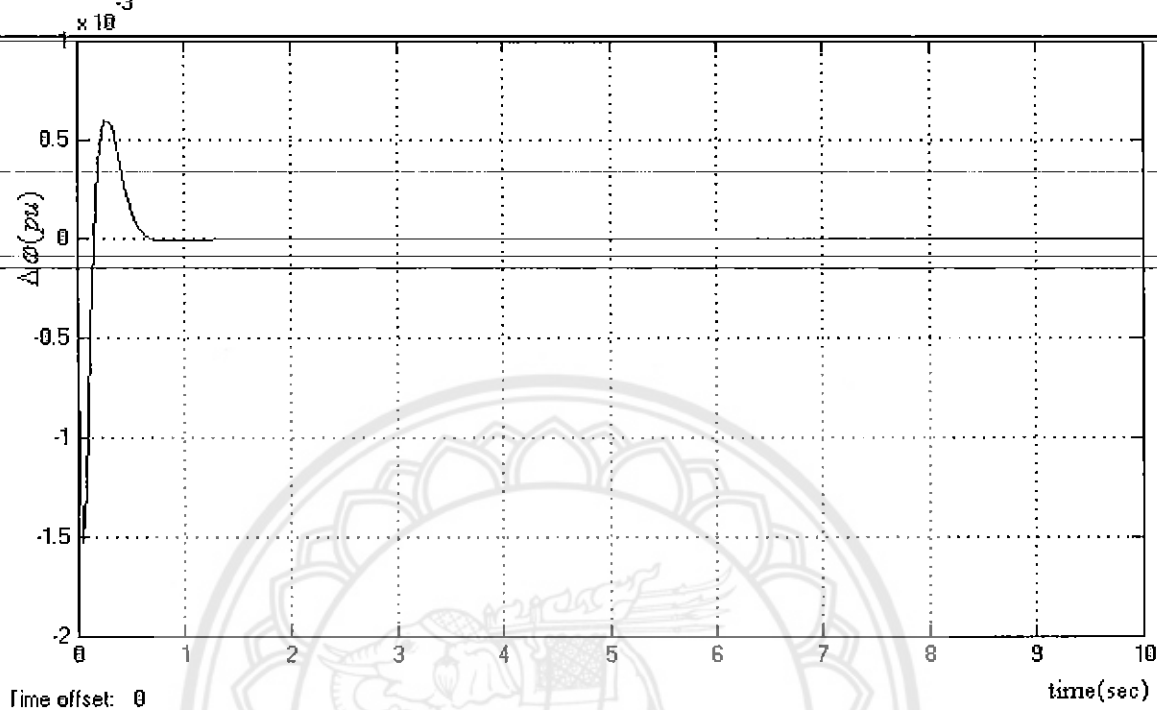
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



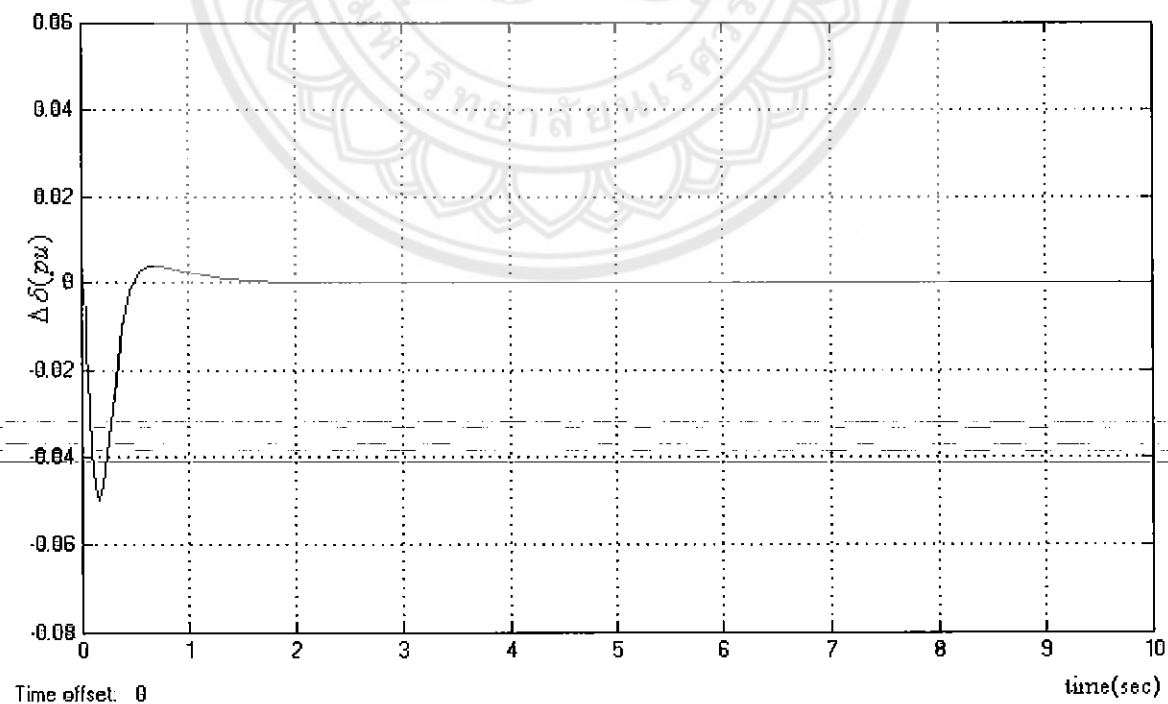
รูปที่ 4.2

4.1.3 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนแรงดันแบบ unit step เป็นระยะเวลา 50 ms

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



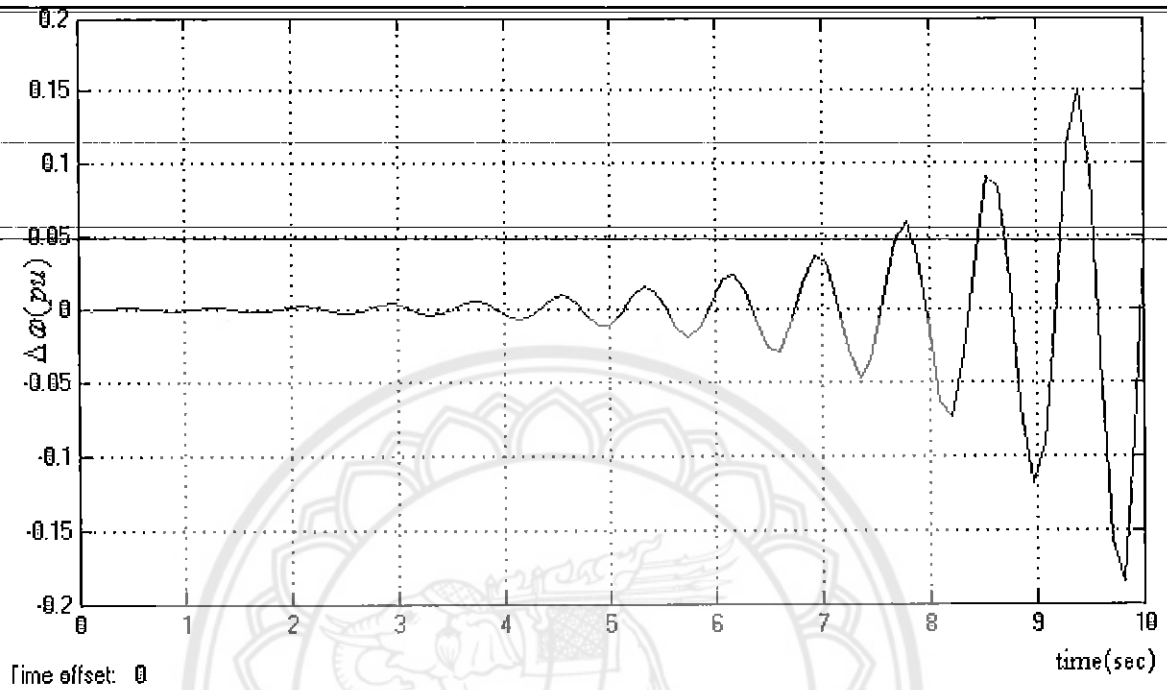
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



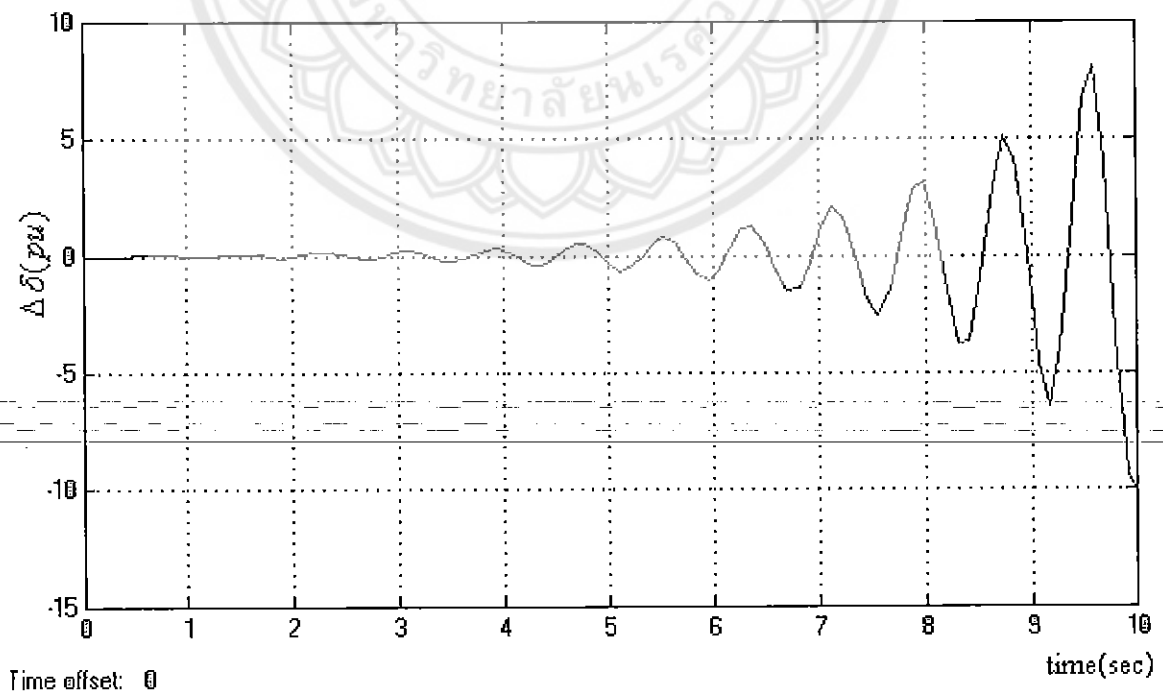
รูปที่ 4.3

4.1.4 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนแรงดันแบบ Ramp เป็นระยะเวลา 0.15 s

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



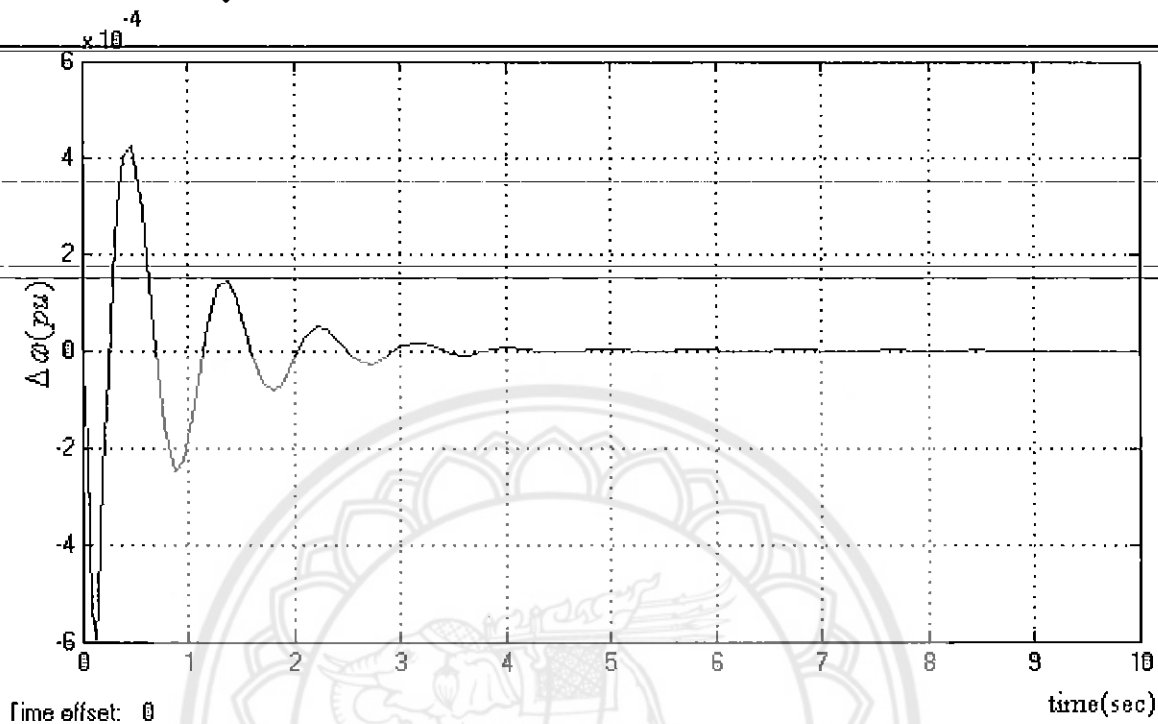
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



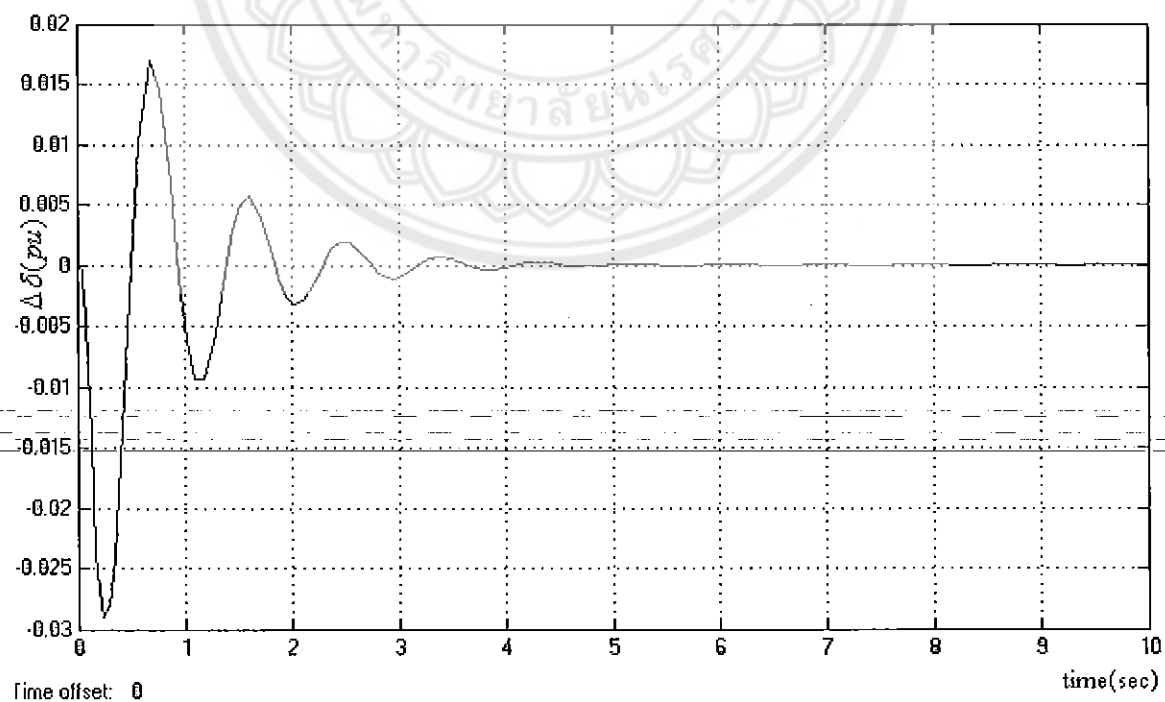
รูปที่ 4.4

4.1.5 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนแรงดันแบบ Ramp เป็นระยะเวลา 0.15 s

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ

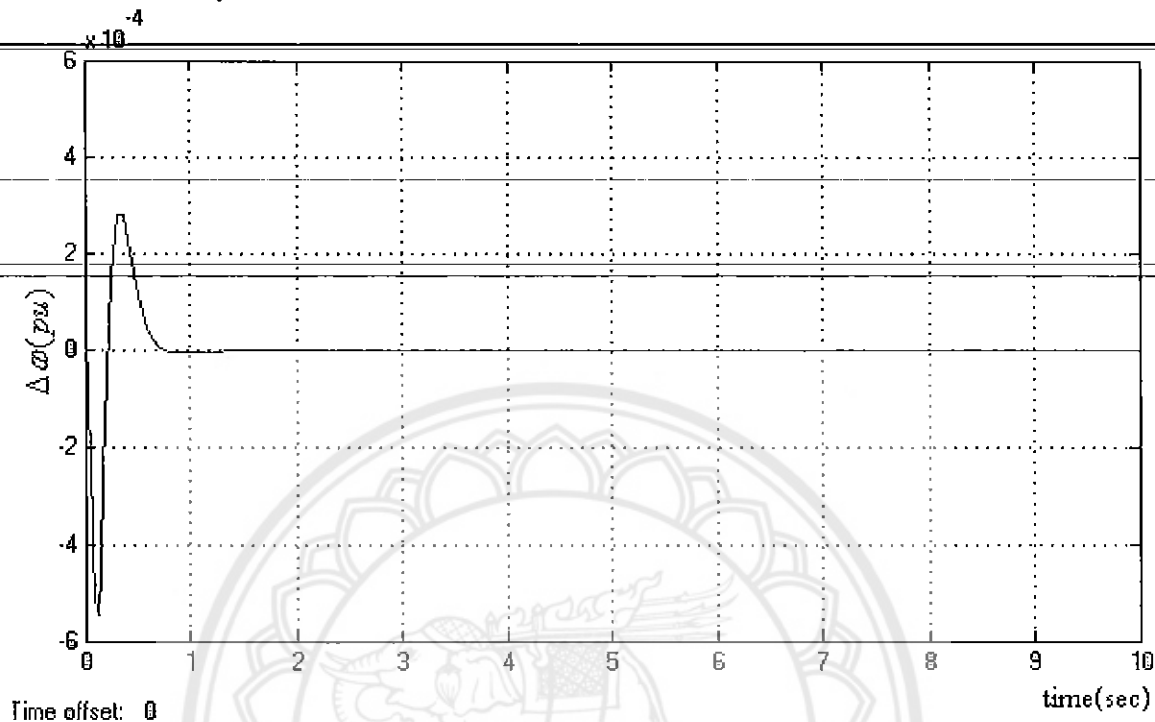


รูปที่ 4.5

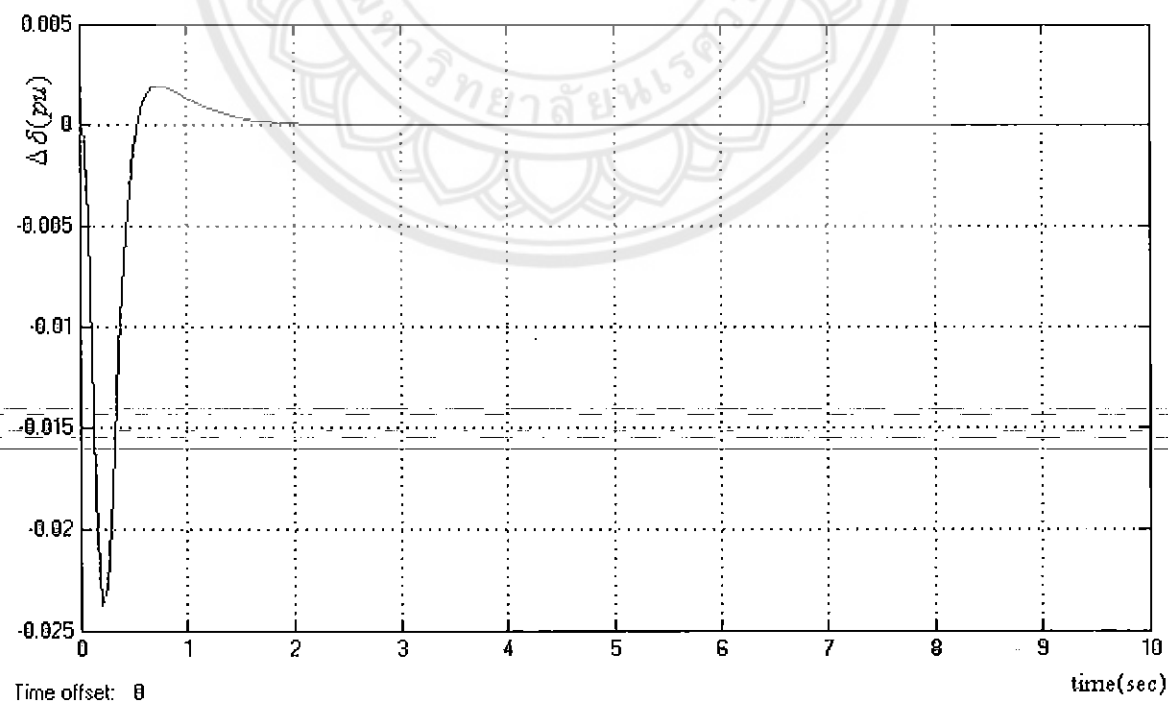
4.1.6 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนแรงดันแบบ Ramp เป็นระยะเวลา

0.15 s

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนแรงดันตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม

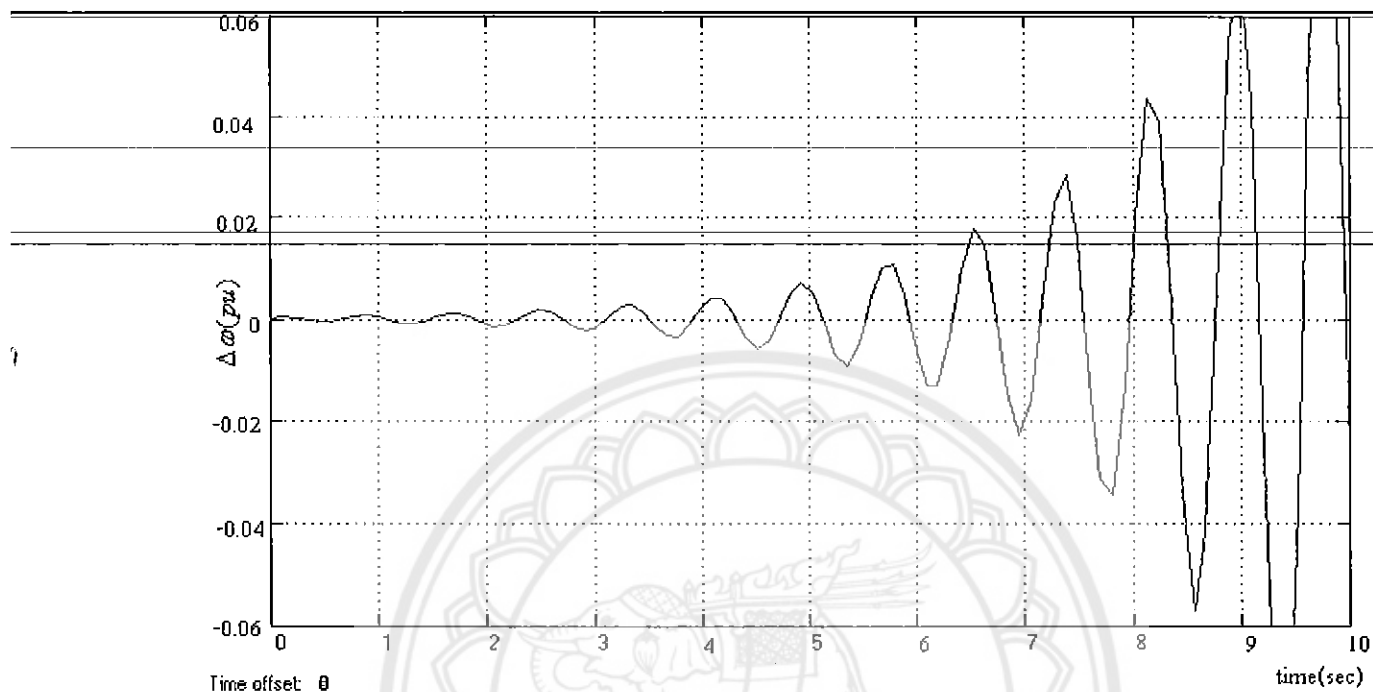


รูปที่ 4.6

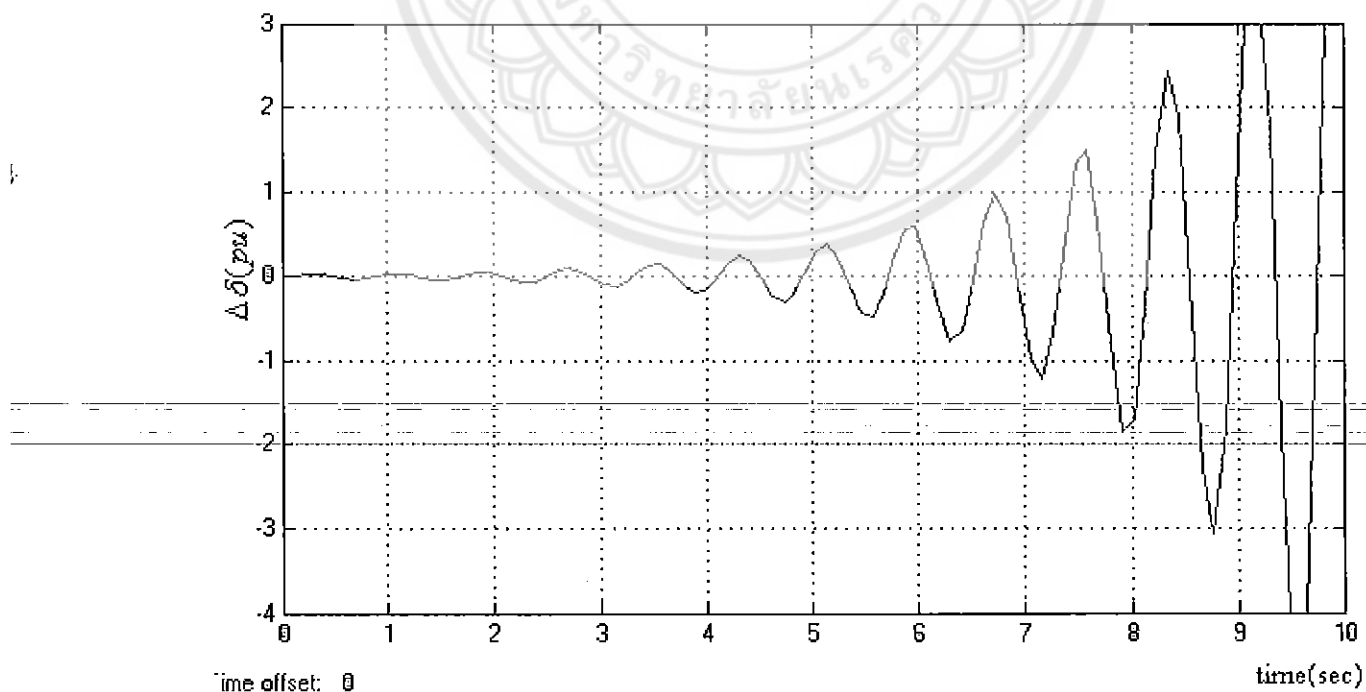
4.1.7 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนกำลังแบบ unit step เป็นระยะเวลา

50 ms

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



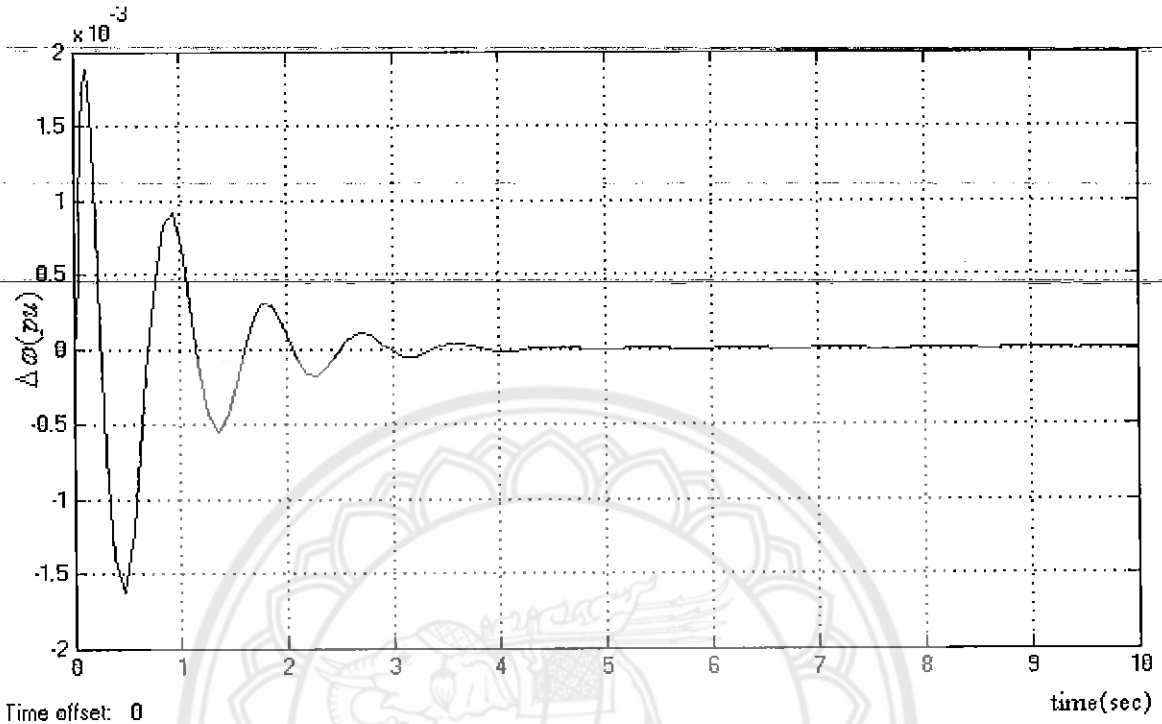
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



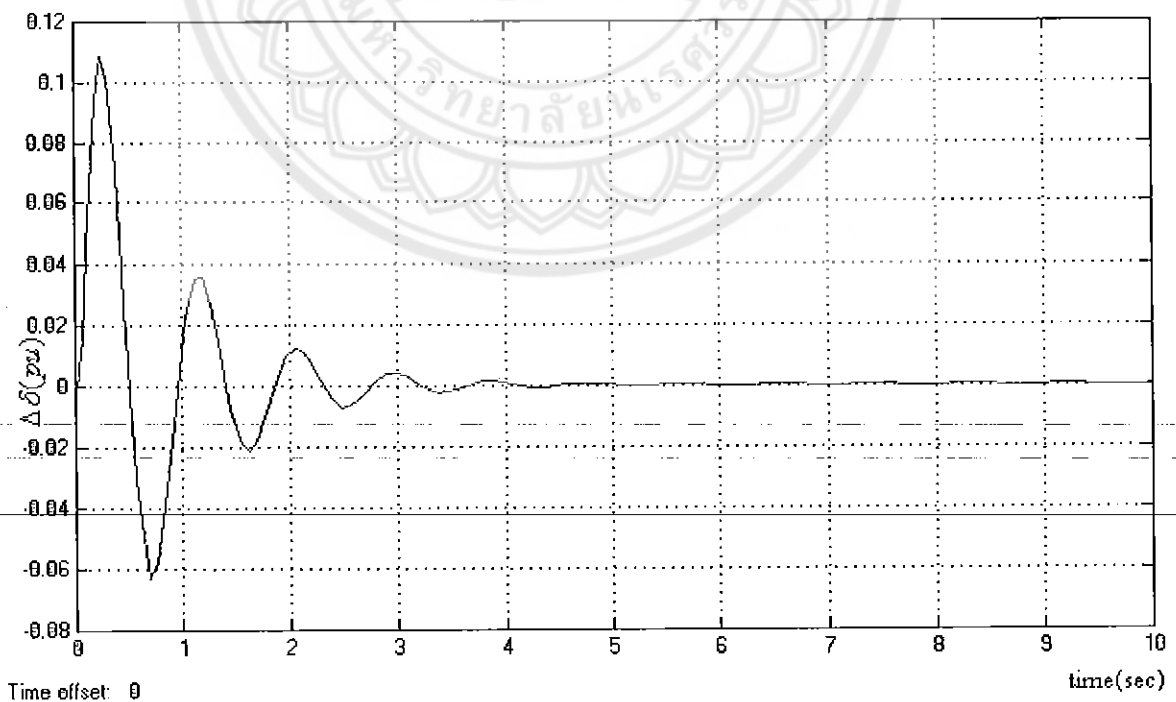
รูปที่ 4.7

4.1.8 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนกำลังแบบ unit step เป็นระยะเวลา 50 ms

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวรับเสถียรภาพ



$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวรับเสถียรภาพที่เหมาะสม

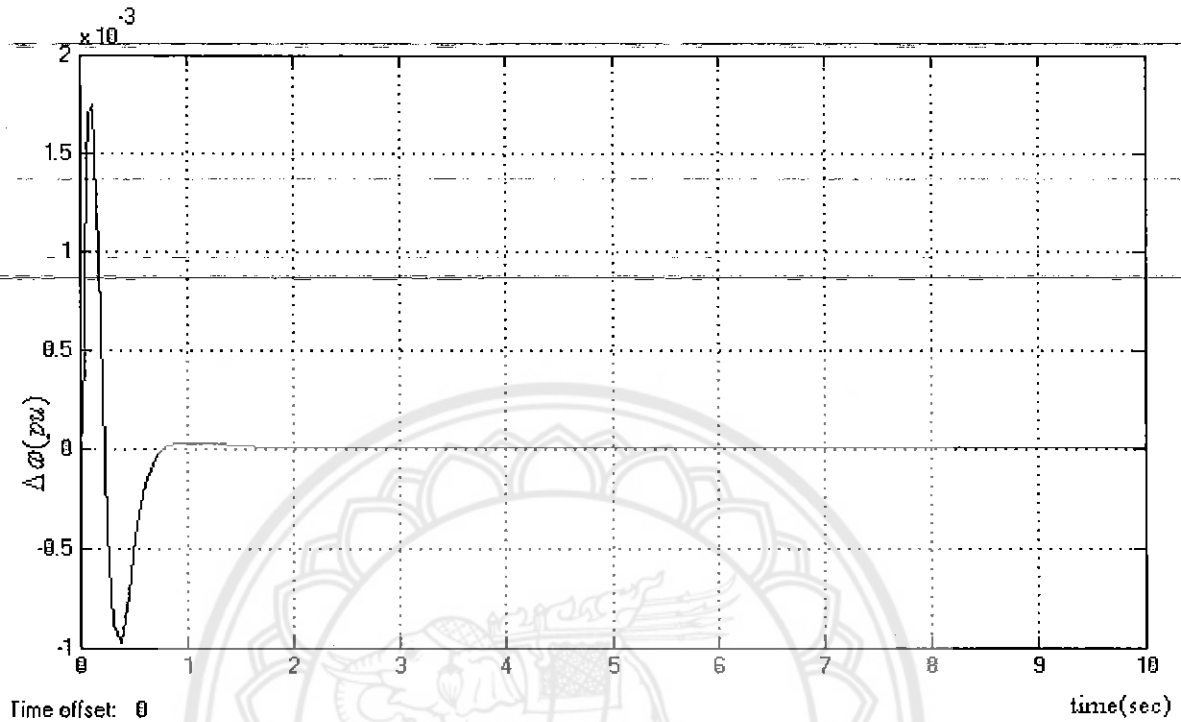


รูปที่ 4.8

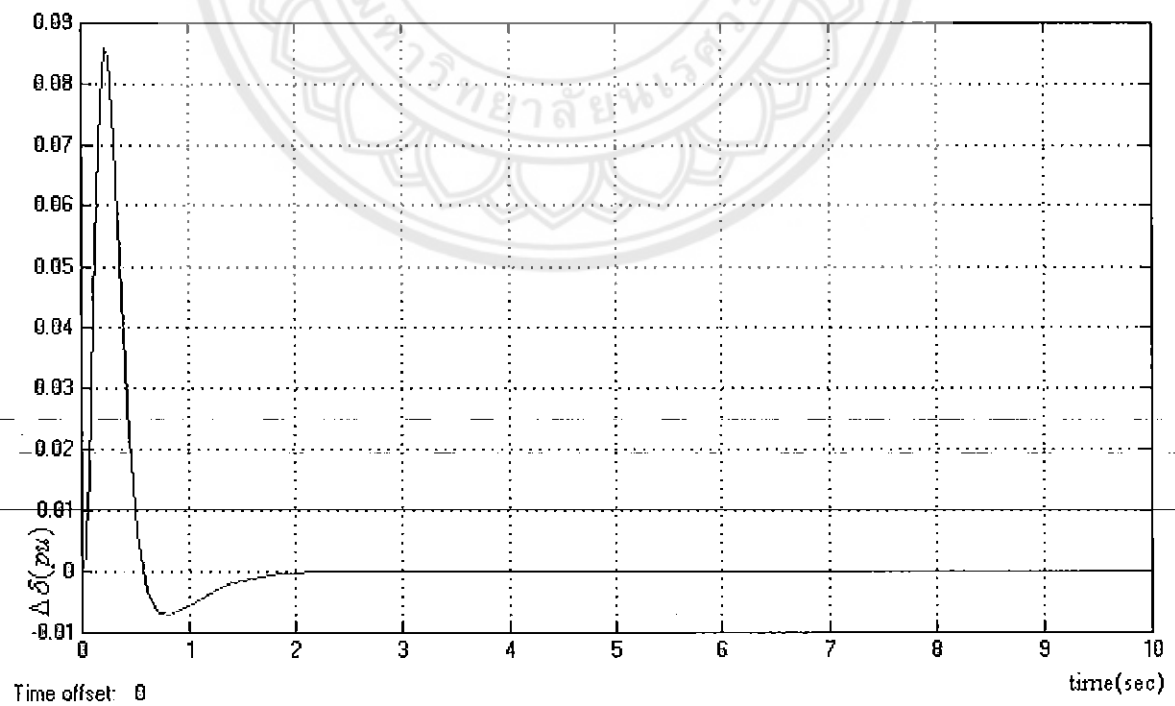
4.1.8 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนกำลังแบบ unit step เป็นระยะเวลา

50 ms

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



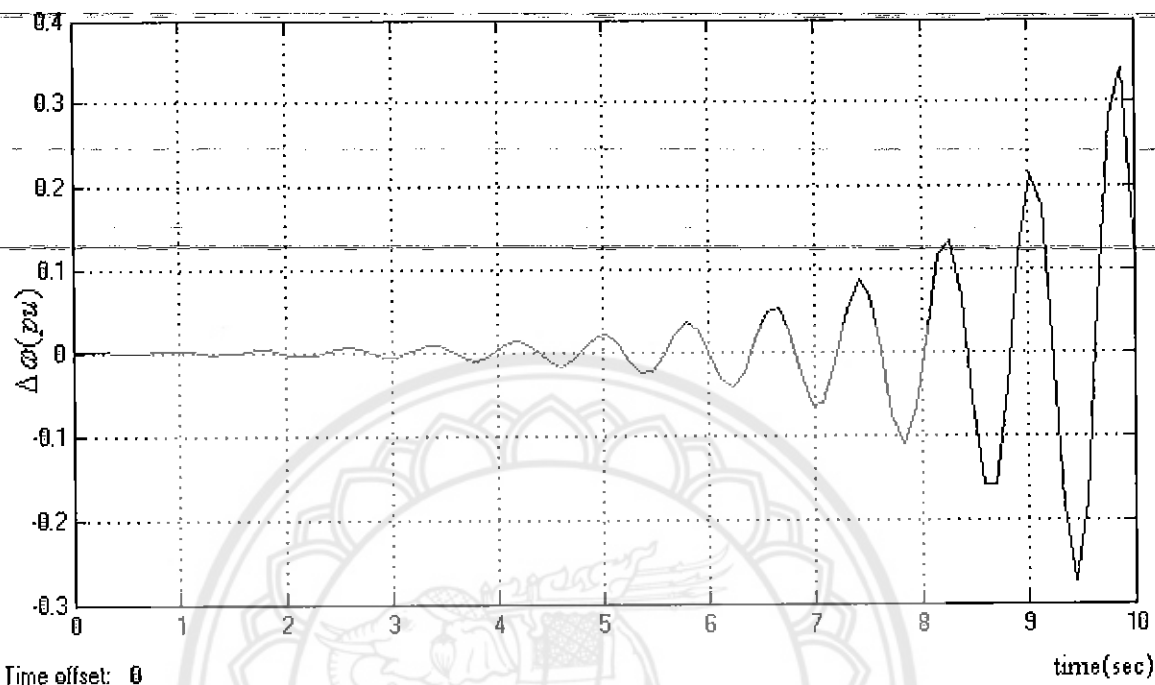
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.2 pu แบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



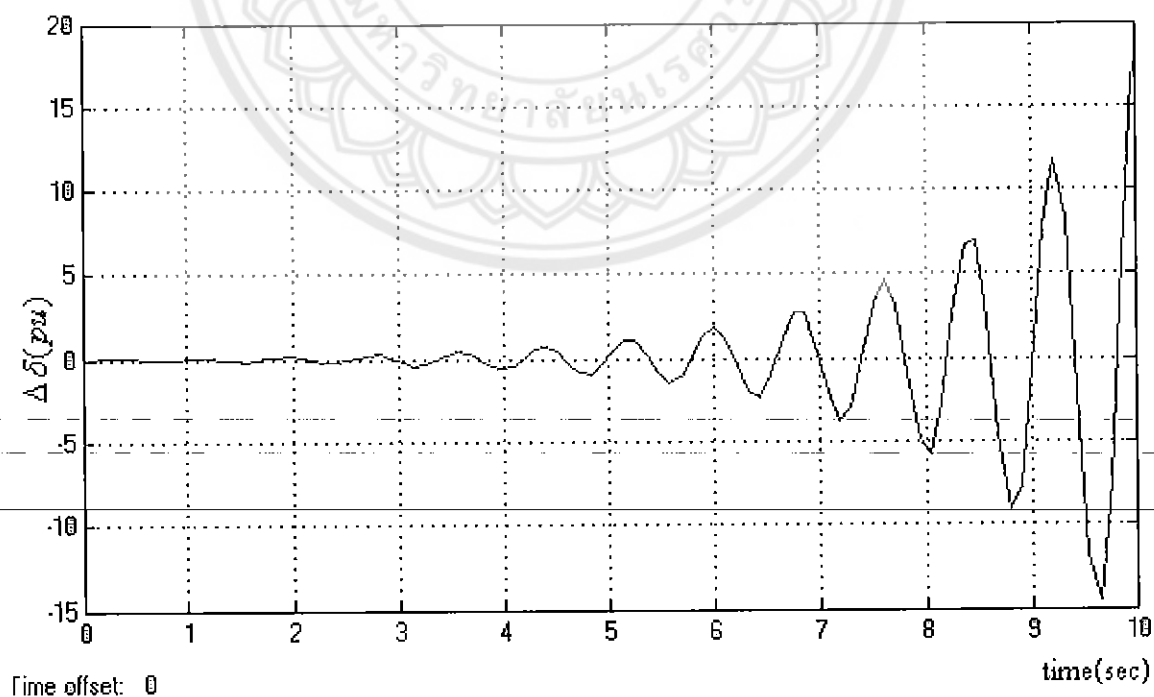
รูปที่ 4.9

4.1.10 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนกำลังแบบ Ramp เป็นระยะเวลา 0.15 s

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ

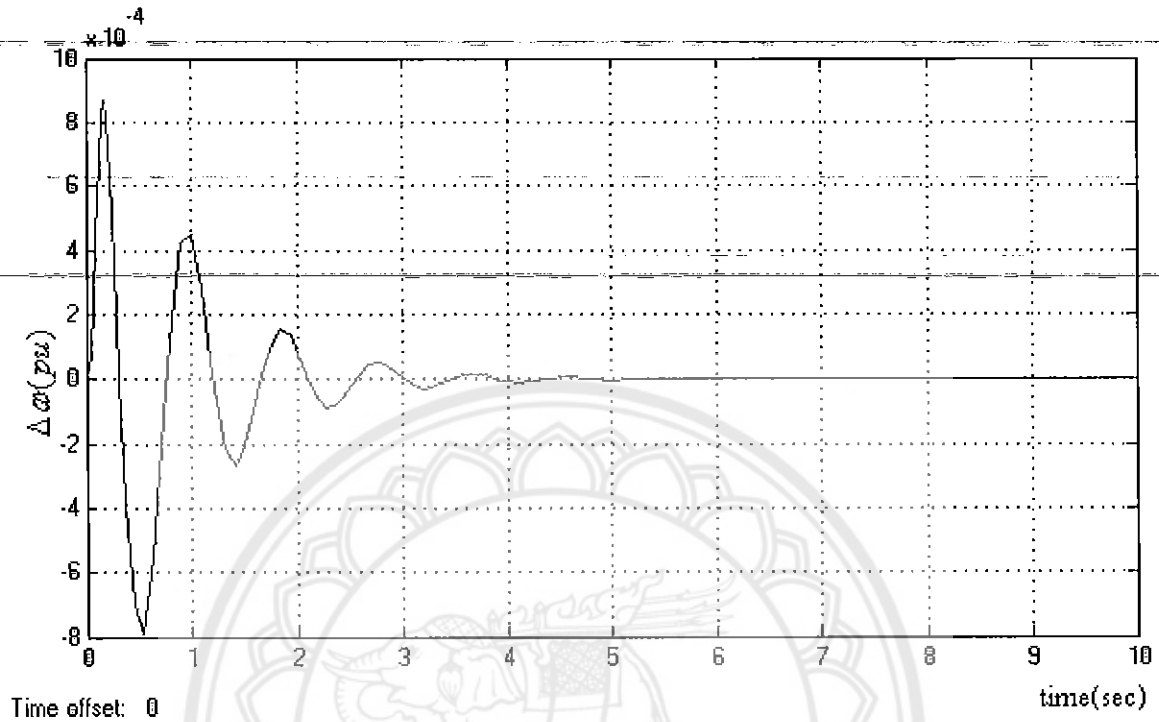


รูปที่ 4.10

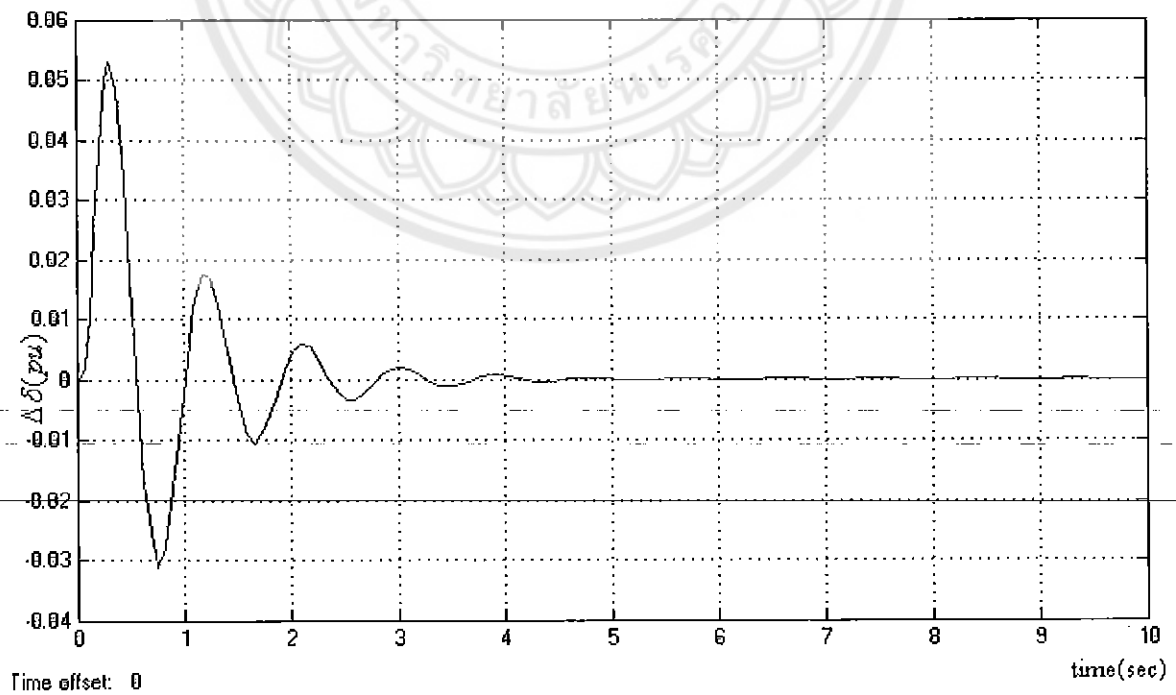
4.1.11 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนกำลังแบบ Ramp เป็นระยะเวลา

0.15 s

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



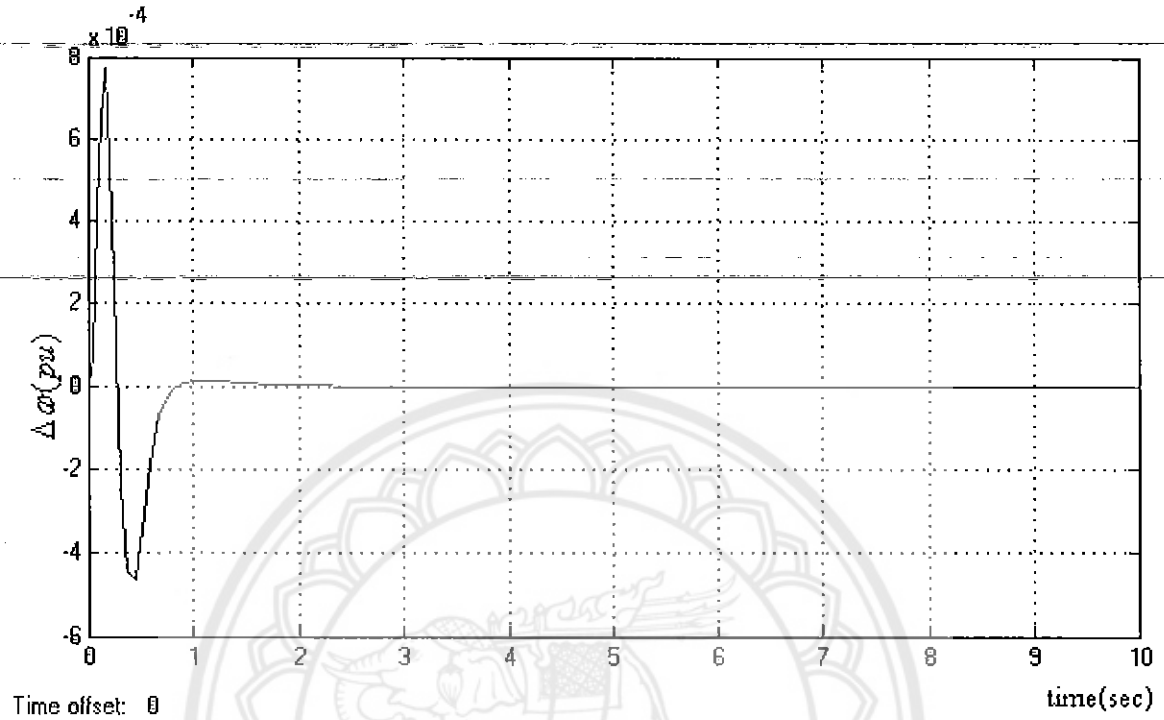
$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



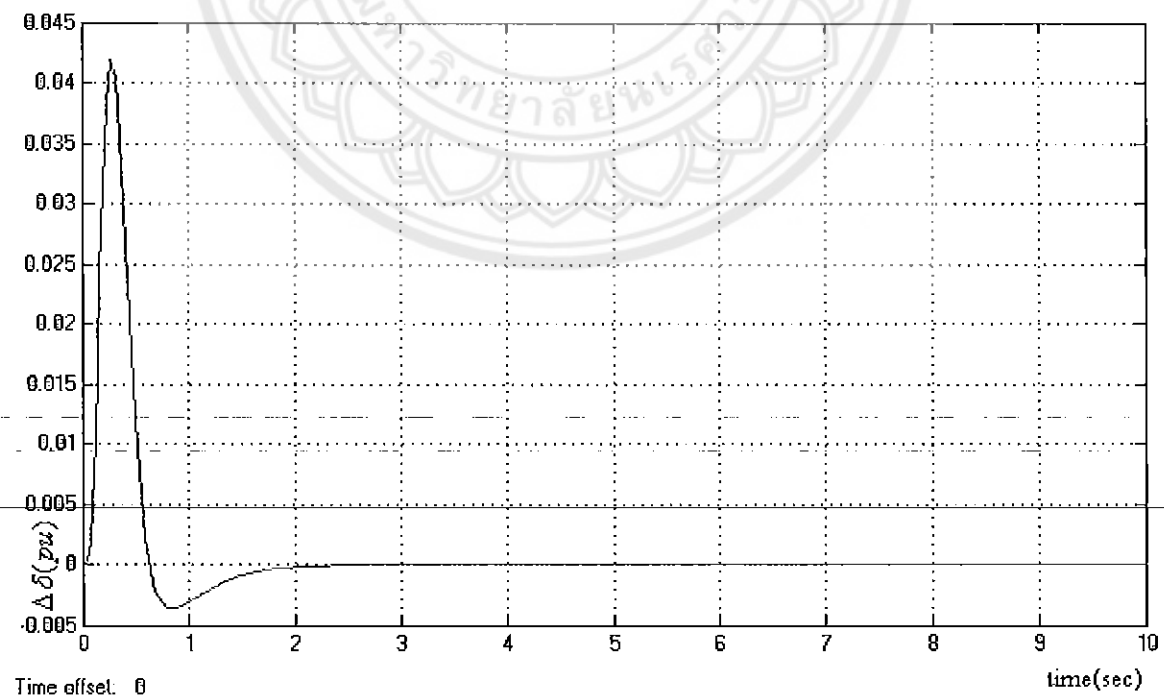
รูปที่ 4.11

4.1.12 ผลการประมวลผลของค่า $\Delta\omega$ และ $\Delta\delta$ เมื่อระบบถูกรบกวนกำลังแบบ Ramp เป็นระยะเวลา 0.15 s

$\Delta\omega$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



$\Delta\delta$ เมื่อถูกรบกวนกำลังตกไป 0.05 pu แบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพที่เหมาะสม



รูปที่ 4.12

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพในสัญญาณขนาดเล็กในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้ตัวปรับเสถียรภาพของระบบ single machine infinite bus (SMIB) สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของ synchronizing torque และ negative damping torque ทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพ เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ ของตัวปรับเสถียรภาพด้วยวิธีหลักการทำให้เหมาะสม (Optimization technique) โดยการนำการเปลี่ยนแปลงค่าเจาะจงที่เด่นที่สุด มาเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย จะสามารถลดโอเวอร์ชูท (Overshoot) และเวลาเข้าที่ (Setting time) ของระบบเชิงเส้นได้ จะส่งผลต่อเสถียรภาพที่ดีขึ้น โดยเสถียรภาพที่ดีคือ เข้าสู่สภาวะปกติเร็วเมื่อถูกรบกวน โดย Disturbance ทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงการนี้ทำการจำลองระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและทำการรบกวนระบบเพียงสองแบบคือ แบบ Unit step และแบบ Ramp ดังนั้นการนำไปใช้งานจริงจึงต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลาย ๆ ด้าน เช่น สัญญาณรบกวนแบบอื่น ๆ สิ่งแวดล้อม และบุคลากร

เอกสารอ้างอิง

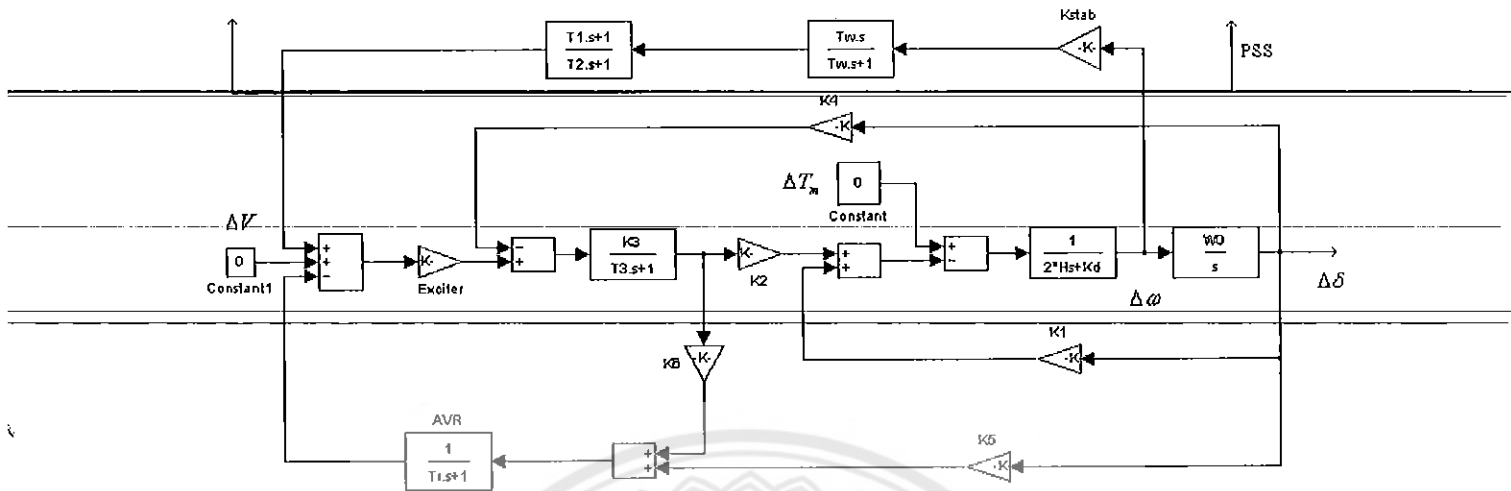
- [1] Katsuhiko Ogata “**Modern Control**” *Prentice-Hall International*, 1990
- [2] Prabha Kundur “**Power system and Control**” *McGraw Hill*, 1994
- [3] S.S. Rao “**Optimization Theory and Application**” *Wiley Eastern Limited*, 1977
- [4] รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล “คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์”
โฟฟเฟรสม พิมพ์ครั้งที่ 1, 2543



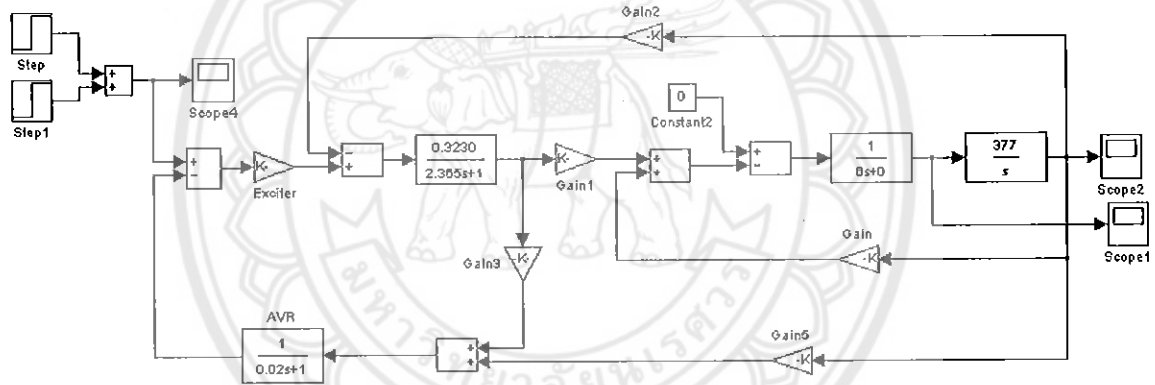




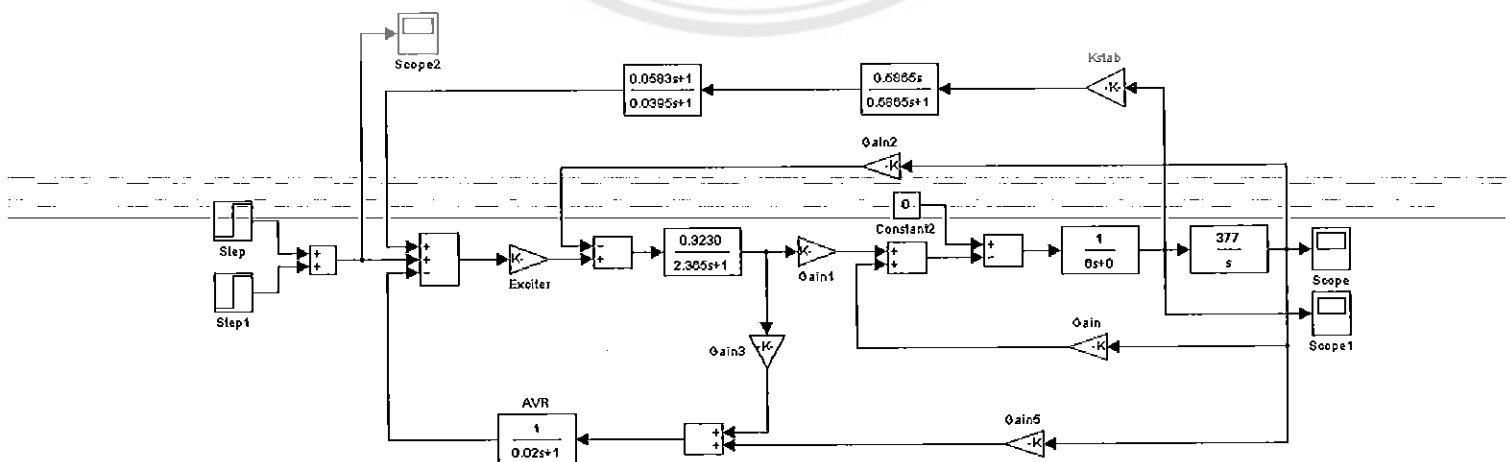
แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวปรับเสถียรภาพ



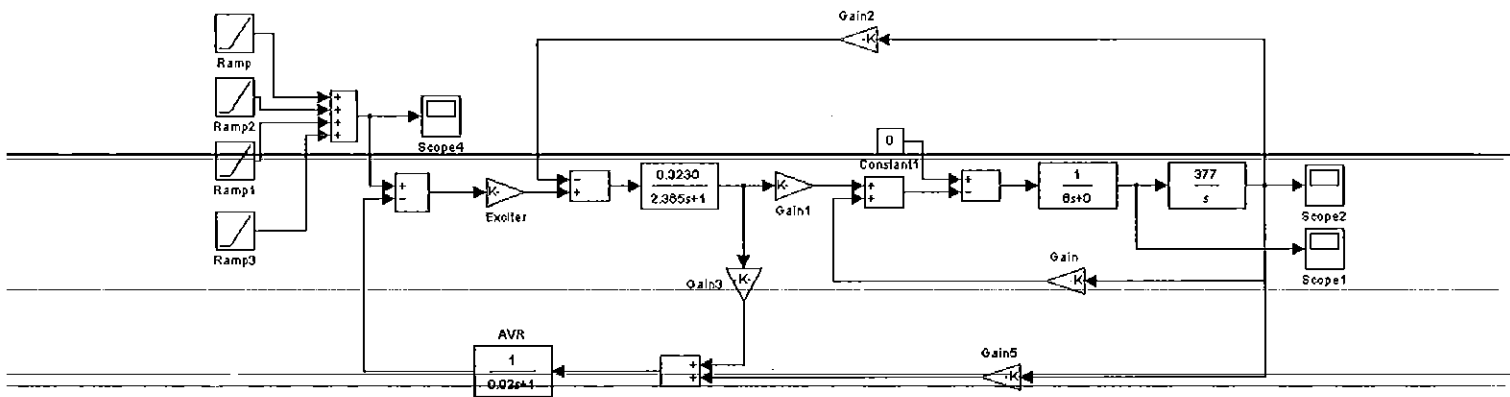
1. แบบจำลองการรบกวนแรงดันแบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



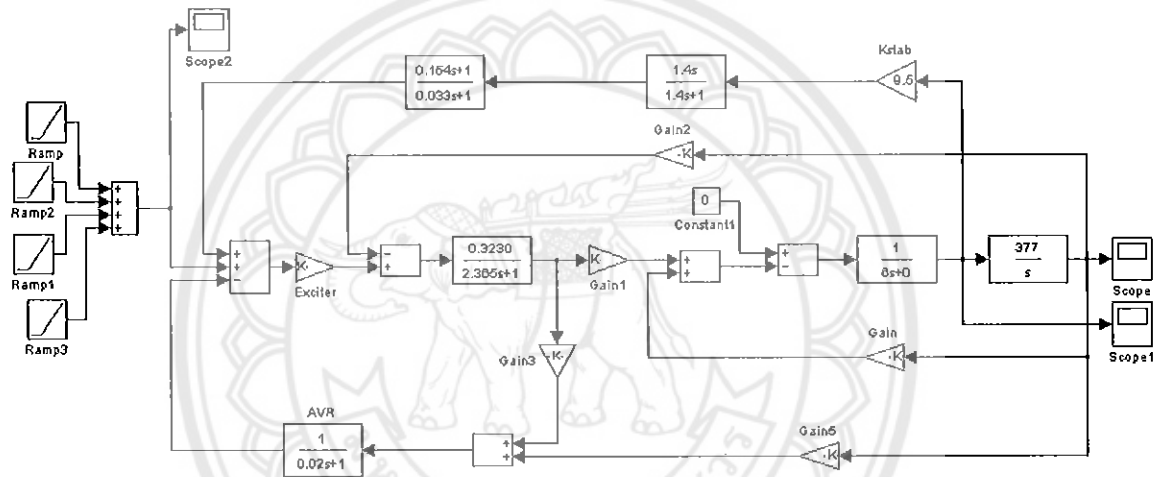
2. แบบจำลองการรบกวนแรงดันแบบ unit step โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



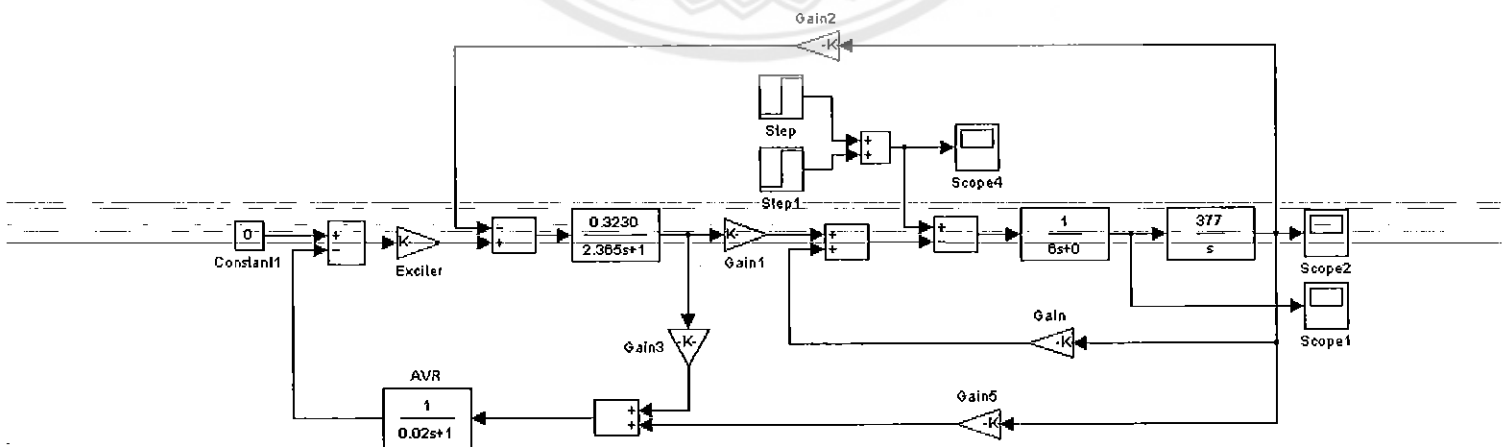
3. แบบจำลองการรบกวนแรงดันแบบ Ramp โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



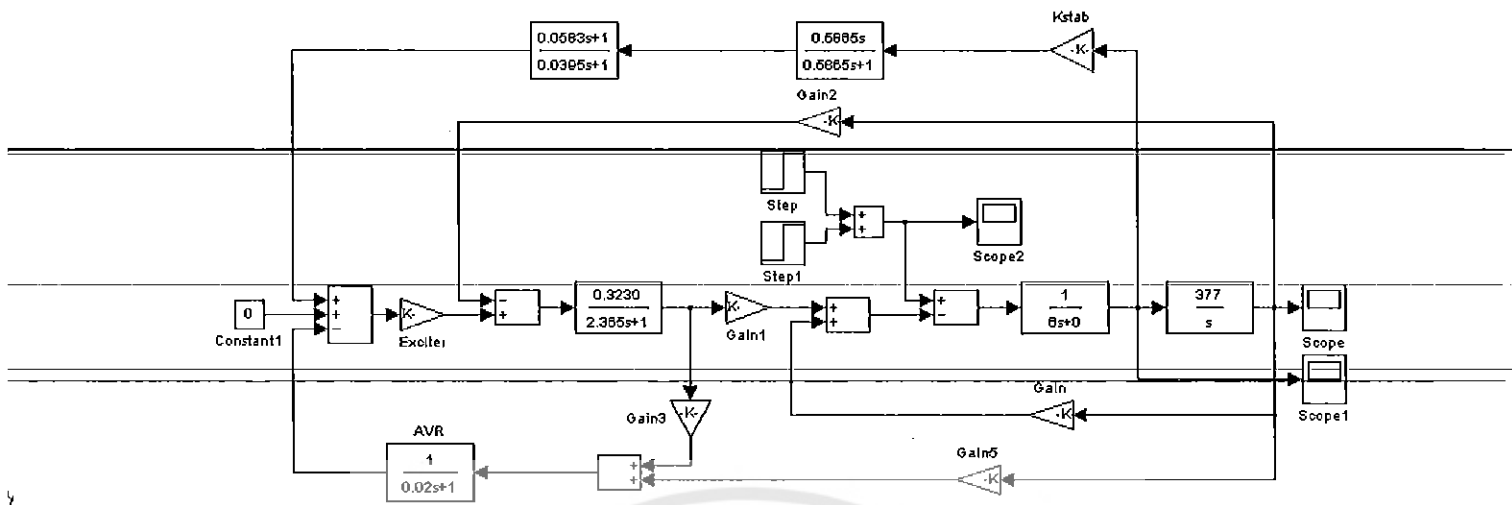
4. แบบจำลองการรบกวนแรงดันแบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ



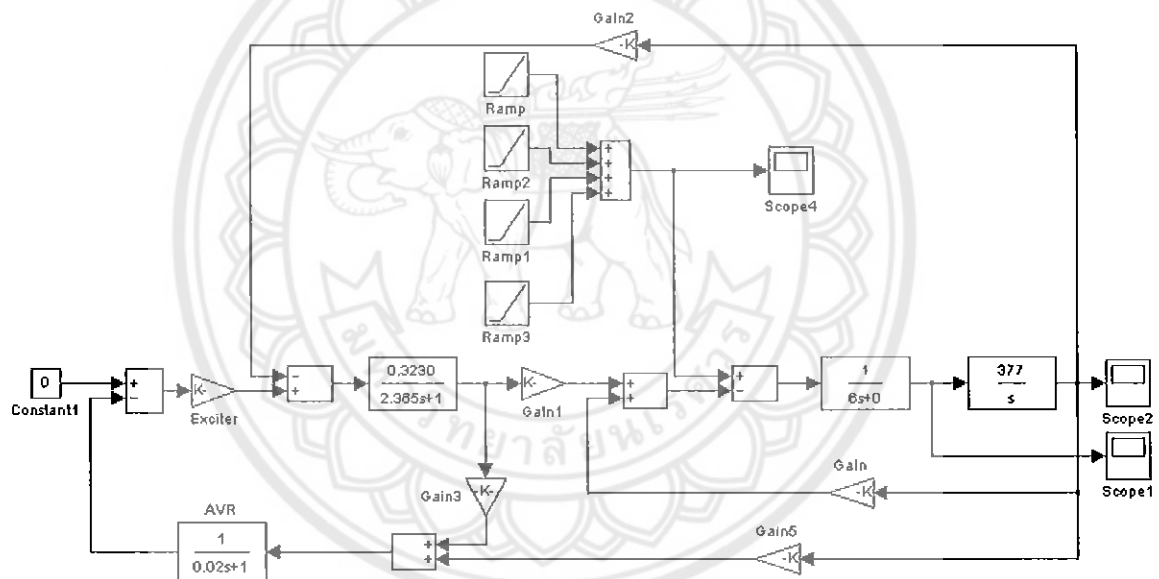
5. แบบจำลองการรบกวนกำลังแบบ unit step โดยไม่มีตัวปรับเสถียรภาพ



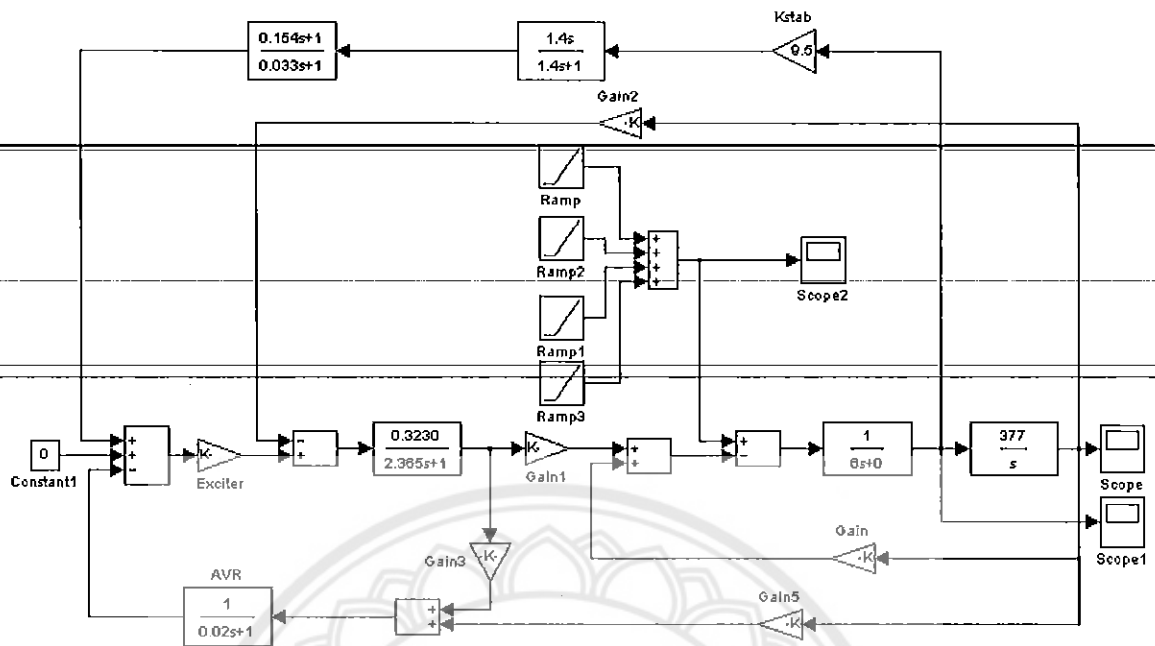
6. แบบจำลองการรบกวนกำลังแบบ unit step โดยมีตัวรับเสถียรภาพ



7. แบบจำลองการรบกวนกำลังแบบ Ramp โดยไม่มีตัวรับเสถียรภาพ



8. แบบจำลองการรบกวนกำลังแบบ Ramp โดยมีตัวปรับเสถียรภาพ





โปรแกรมวิธีทำให้เหมาะสม

```

%simplex method applied for PSS
clear;clear;

%stepsize 0.5
z=0.5;

%Kpss=9.5;Tw=1.4;T1=0.154;T2=0.033;
%x1=9.5;x2=1.4;x3=0.154;x4=0.033;

%Kpss=30.7434;Tw=0.5865;T1=0.0583;T2=0.0395;
x1=30.7434;x2=0.5865;x3=0.0583;x4=0.0395;

%x1=input('enter x1=');
%x2=input('enter x2=');
%x3=input('enter x3=');
%x4=input('enter x4=');

X1=[x1;x2;x3;x4];
K=4;
p=(z./(K*sqrt(2)))*((sqrt(K+1))+K-1);
q=(z./(K*sqrt(2)))*((sqrt(K+1))-1);
X2=[x1+p;x2+q;x3+q;x4+q];
X3=[x1+q;x2+p;x3+q;x4+q];
X4=[x1+q;x2+q;x3+p;x4+q];
X5=[x1+q;x2+q;x3+q;x4+p];
Q=1;
count=0;

while count<20

count=count+1;
X=[X1 X2 X3 X4 X5];
f1=simx(X1(1),X1(2),X1(3),X1(4));
f2=simx(X2(1),X2(2),X2(3),X2(4));

```

```

f3=simx(X3(1),X3(2),X3(3),X3(4));
f4=simx(X4(1),X4(2),X4(3),X4(4));
f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));

Y=[f1 f2 f3 f4 f5];
[F,I]=sort(Y);
T=[X(:,I(1)) X(:,I(2)) X(:,I(3)) X(:,I(4)) X(:,I(5))];
XH=T(:,5);fH=F(5);

XL=T(:,1);fL=F(1);
X1=T(:,1);f1=simx(X1(1),X1(2),X1(3),X1(4));
X2=T(:,2);f2=simx(X2(1),X2(2),X2(3),X2(4));
X3=T(:,3);f3=simx(X3(1),X3(2),X3(3),X3(4));
X4=T(:,4);f4=simx(X4(1),X4(2),X4(3),X4(4));
Xo=(1/4)*(X1+X2+X3+X4);
fo=simx(Xo(1),Xo(2),Xo(3),Xo(4));
Xr=2*Xo-XH;
fr=simx(Xr(1),Xr(2),Xr(3),Xr(4));
if fr<fL
    Xe=2*Xr-Xo;
    fe=simx(Xe(1),Xe(2),Xe(3),Xe(4));
    if fe<fL
        X5=Xe;f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
        Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
    else
        X5=Xr;f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
        Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
    end
elseif fr<=F(2)&fr<=F(3)&fr<=F(4)
    X5=Xr;f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
    Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
elseif fr>fH
    Xc=0.5*(XH+Xo);

```

```

fc=simx(Xc(1),Xc(2),Xc(3),Xc(4));
if fc>fH
    X1=0.5*(X1+XL);f1=simx(X1(1),X1(2),X1(3),X1(4));
    X2=0.5*(X2+XL);f2=simx(X2(1),X2(2),X2(3),X2(4));
    X3=0.5*(X3+XL);f3=simx(X3(1),X3(2),X3(3),X3(4));
    X4=0.5*(X4+XL);f4=simx(X4(1),X4(2),X4(3),X4(4));
    X5=0.5*(X5+XL);f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
    Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
else
    X5=Xc;f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
    Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
end
elseif fr<=fH
    XH=Xr;
    Xc=0.5*(XH+Xo);
    fc=simx(Xc(1),Xc(2),Xc(3),Xc(4));
    if fc>fH
        X1=0.5*(X1+XL);f1=simx(X1(1),X1(2),X1(3),X1(4));
        X2=0.5*(X2+XL);f2=simx(X2(1),X2(2),X2(3),X2(4));
        X3=0.5*(X3+XL);f3=simx(X3(1),X3(2),X3(3),X3(4));
        X4=0.5*(X4+XL);f4=simx(X4(1),X4(2),X4(3),X4(4));
        X5=0.5*(X5+XL);f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
        Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
    else
        X5=Xc;f5=simx(X5(1),X5(2),X5(3),X5(4));
        Q=sqrt(((f1-fo).^2+(f2-fo).^2+(f3-fo).^2+(f4-fo).^2+(f5-fo).^2)/5);
    end
end
end
end
count
Q
XX=[X5(1) X5(2) X5(3) X5(4)];

```

```

disp('X');
fprintf('%2.8f\n',XX(1))
fprintf('%2.8f\n',XX(2))
fprintf('%2.8f\n',XX(3))
fprintf('%2.8f\n',XX(4))

%call function Penaty
function P=simx(Kpss,Tw,T1,T2)

%Kpss=9.5;Tw=1.4;T1=0.154;T2=0.033;
Kpss=30.7434;Tw=0.5865;T1=0.0583;T2=0.0395;

%constant value
KA=200;KD=0;H=3.5;wo=377;T3=2.3650;TR=0.02;
K1=0.7643;K2=0.8649;K3=0.3230;K4=1.4187;K5=-0.1463;K6=0.4168;

Kpss_ =0.99*Kpss+0.02*Kpss*(sin(Kpss)).^2;
Tw_ =0.99*Tw+0.02*Tw*(sin(Tw)).^2;
T1_ =0.99*T1+0.02*T1*(sin(T1)).^2;
T2_ =0.99*T2+0.02*T2*(sin(T2)).^2;

kk=Kpss_*T1_/T2_;tt=1-T1_/Tw_;

A=[ 0          wo          0          0          0          0;
    -K1/(2*H)  -KD/(2*H)  -K2/(2*H)  0          0          0;
    -K3*K4/T3  0          -1/T3  -K3*KA/T3  0  K3*KA/T3;
    K5/TR      0          K6/TR  -1/TR      0          0;
    -K1/(2*H)  -KD/(2*H)  -K2/(2*H)  0          -1/Tw_  0;
    -kk*K1/(2*H) -kk*KD/(2*H) -kk*K2/(2*H)  0  Kpss_/T2_*tt  -1/T2_];

[ei_vectors,ei_values]=eig(A);
eig=ei_values;
eigre=real(eig);

```

```

c=0;
for i=1:6
    for j=1:6
        if i==j
            Re(i)=real(eig(i,j));
            Im(i)=imag(eig(i,j));
            if Re(i)~=0 & Im(i)~=0
                c=c+1;
                Dore(c)=Re(i);nR(c)=i; % show dominant eigenvalue
                Doim(c)=Im(i);
            end
        end
    end
end
end
for i=1:length(nR)
    if Dore(i)==max(Dore)
        Doeigr=Dore(i);
        Doeigi=Doim(i);
        at2=nR(i); %order position
        at1=at2-1;
    end
end
end
for i=1:length(nR)
    compx(i)=eigre(nR(i),nR(i));
end
end
i=0;
for n=1:2:length(compx)
    i=i+1;
    p(i)=compx(n);
end
Domi=sort(p);
if length(p)==2

```

```

g1=Doeigr-Domi(1);
g2=0;
end
if length(p)==3
g1=Doeigr-Domi(1);
g2=Doeigr-Domi(2);
end
g=[g1 g2];
eigv1=ei_vectors(:,at1);
eigv2=ei_vectors(:,at2);

Left=inv(ei_vectors);
left1=Left(:,at1);
left2=Left(:,at2);

Lmd1=(left1'*(A)*(eigv1);
Lmd2=(left2'*(A)*(eigv2);

Ld1=real(Lmd1);
Ld2=real(Lmd2);

cont=0;
for i=1:2
w=10000000;
cont=w*abs(g(i))*HPT(g(i))+cont;
end
P=((Ld1).^2)*HPT(-Ld1)+cont;

function Hx=HPT(i)
if i>=0

```

```
Hx=0;  
else  
  Hx=1;  
End
```



ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ-สกุล: นายชวัลย์ จันทิ รหัส 44362150

ภูมิลำเนา: 90 หมู่ 10 ตำบลวังบาน อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์

วัน/เดือน/ปีเกิด: วันที่ 10 พฤศจิกายน 2525

ประวัติการศึกษา:

จบการศึกษามัธยมต้นจาก โรงเรียนหล่มเก่าพิทยาคม

จบการศึกษามัธยมปลายโรงเรียนหล่มเก่าพิทยาคม

ปัจจุบันกำลังศึกษาที่มหาวิทยาลัยนเรศวร



นายมานนท์ ชางเล็ง รหัส 44362341

ภูมิลำเนา: 64 หมู่ 2 ตำบลหนองล่อง กิ่งอำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน

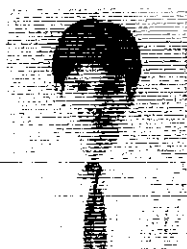
วัน/เดือน/ปีเกิด: วันที่ 23 ธันวาคม 2524

ประวัติการศึกษา:

จบการศึกษามัธยมต้นจาก โรงเรียนจักรคำคณาทร

จบการศึกษามัธยมปลายจาก โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย

ปัจจุบันกำลังศึกษาที่มหาวิทยาลัยนเรศวร



นายวินัย เกื่อนาน รหัส 44362382

ภูมิลำเนา: 76 หมู่ 3 ตำบลบ้านใหม่ อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น

วัน/เดือน/ปีเกิด: วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2524

ประวัติการศึกษา:

จบการศึกษามัธยมต้นจาก โรงเรียนวัดศรีภูกระดัง

จบการศึกษามัธยมปลายจาก โรงเรียนภูกระดังวิทยาคม

ปัจจุบันกำลังศึกษาที่มหาวิทยาลัยนเรศวร