

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม
Design of Power System Stabilizer Using Genetic Algorithm



โดย
นาย ทรงชัย แซ่ตัน
นาย พิทยา สังข์ทอง

ร.พ.
๑๗/๑๑/๖
๒๕๕๐

เลขหมู่.....**82993**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**30 ก.ค. 2551**

b. 11๑58๔๖๗
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2550 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การออกแบบตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม
Design of Power System Stabilizer Using Genetic Algorithm



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อิสระชัย งามหรรุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

ผู้จัดทำ



J. Ngamอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์.ดร.อิสระชัย งามหฺร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

นาย ทรงชัย แซ่ตัน
นาย พิทยา สังข์ทอง
รศ.ดร. อิศระชัย งามหรุ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์นำเสนอการออกแบบตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม โครงสร้างของตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเป็นสมการกำลังหนึ่ง การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เจเนติกอัลกอริทึมได้ถูกนำมาช่วยในการแก้ปัญหา และช่วยในการหาค่าตัวแปรของระบบควบคุม ผลการจำลองโปรแกรม MATLAB/Simulink และโปรแกรม Dymola ได้แสดงผลของตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

Design of Power System Stabilizer Using Genetic Algorithm

Mr. Songchai Saetan

Mr. Phidthayar Shungthong

Assoc.Prof.Dr. Issarachai Ngamroo Supervisor

Year 2008

Abstract

This thesis proposes the design of power system stabilizer (PSS) using genetic algorithm (GA). The structure of PSS is a first-order lead/lag compensators. To optimally tune the control parameter of PSS, the optimization problem based on an enhancement of the damping of the electromechanical oscillation mode is formulated. The GA is applied to solve the problem and obtain the control parameters. Simulation studies using MATLAB/Simulink and Dymola software show the effect of the proposed PSS on stabilizing the system under small and large disturbances.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการมีความซาบซึ้งใจในความเมตตากรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร. อิศระชัย งามหรุ ผู้ซึ่งให้โอกาส ความรู้ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำ และคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ตลอดจนพี่น้องบัณฑิตวิทยาลัยที่คอยดูแลความเป็นอยู่ของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ถ้าปราศจากท่าน โครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจนญาติผู้ใหญ่ที่คอยเอาใจใส่อุปถัมภ์เลี้ยงดู จนคณะผู้จัดทำสำเร็จการศึกษา



III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 : บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาปัญหา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 สัญลักษณ์ และคำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....	4
1.6.1 สัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์.....	4
1.6.2 คำย่อที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 : ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	6
2.2 ทฤษฎีของการควบคุมความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงภาระ.....	12
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับการเปลี่ยนแปลงความถี่.....	14
2.5 แรงบิดทางไฟฟ้า.....	15
2.6 การกำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ และการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม.....	18
2.7 การแปลงฟังก์ชันสำหรับศึกษาการ กำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ.....	18
2.8 ส่วนประกอบแกน d และ แกน q ของกระแสอาเมเจอร์.....	20
2.9 ค่าคงที่ K_1, K_2, \dots, K_6	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(2)

	หน้า
2.10 ค่าเริ่มต้นของกระแส,แรงดัน และมุมของแรงบิด.....	25
2.11 การปรับปรุงระบบการหน่วงด้วยระบบการกระตุ้นเสริม.....	29
2.12 การออกแบบการหน่วงเพื่อให้สัญญาณรบกวน ความถี่ต่ำลดน้อยลง.....	30
2.13 การออกแบบตัวควบคุมการกระตุ้นเสริม.....	31
2.14 State Equations ของระบบ one-machine infinite bus.....	35
บทที่ 3 : ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมและผลการทดลอง	44
3.1 สมการ State Space ของระบบ	44
3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ.....	46
3.3 กระบวนการหาค่าของ GA	46
3.4 องค์ประกอบของวิธีพันธุกรรม.....	48
3.4.1 รูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding).....	48
3.4.2 ประชากรต้นกำเนิด (Initial Population).....	49
3.4.3 ค่าฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function).....	49
3.4.4 การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator).....	49
3.5 ผลการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Matlab.....	52
3.6 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม Dymola	63
บทที่ 4 : สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	69
4.1 สรุปผลการทดลอง.....	69
4.2 ข้อดีและข้อจำกัด.....	69
4.3 ข้อเสนอแนะ.....	69

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	8
2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังให้แก่ภาระอิสระ.....	12
2.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่สัมพันธ์กับความเร็วและแรงบิด	12
2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่สัมพันธ์กับความเร็วและกำลังไฟฟ้าจริง.....	13
2.5 บล็อกไดอะแกรมที่รวมผลของค่าความหน่วงภาระ.....	14
2.6 บล็อกไดอะแกรมที่รวมผลของค่าความหน่วงภาระที่ลดรูป.....	14
2.7 ระบบทางกลของเครื่องกำเนิด.....	15
2.8 ระบบ Flux Decay	16
2.9 ระบบ Excitation ของเครื่องกำเนิด.....	17
2.10 บล็อกไดอะแกรมการแปลง Transfer function สำหรับ การศึกษาการกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ.....	18
2.11 ระบบ single-machine infinite bus (SMIB).....	19
2.12 ระบบ one-machine infinite bus.....	20
2.13 เฟสเซอร์ของกระแสและแรงดัน.....	21
2.14 มุมเฟส.....	27
2.15 การหาค่า β	28
2.16 ระบบกำลังไฟฟ้าขณะไม่เสถียรภาพ.....	29
2.17 เฟสเซอร์ของแรงบิดบนระนาบ $\Delta\delta - \Delta\omega$	30
2.18 ตัวควบคุมระบบการกระตุ้นเสริม.....	35
2.19 Block Diagram ของสมการ State Space.....	39
2.20 ตัวควบคุมระบบการกระตุ้นเสริม.....	39
3.1 การจำลองระบบ single-machine infinite bus.....	44
3.2 บล็อกไดอะแกรมของ PSS.....	45
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีพันธุกรรม.....	48
3.4 การค้นหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม.....	49
3.5 สัดส่วนของค่าฟังก์ชันความเหมาะสมในรูปวงล้อรูเลต.....	50
3.6 การข้ามสายพันธุ์.....	51
3.7 การกลายพันธุ์.....	51

สารบัญญภาพ(2)

ภาพที่	หน้า
3.8 ตำแหน่งของไอเกนกรณีที่ไม่มี PSS.....	54
3.9 การหาค่าของ GA เพื่อให้ได้ ζ ตามที่ต้องการ.....	58
3.10 ตำแหน่งของไอเกนกรณีที่มี PSS.....	59
3.11 สัญญาณที่ออกจาก PSS.....	60
3.12 การเปรียบเทียบสัญญาณที่ออกจาก PSS โดยมี V_{ref}	60
3.13 การเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณ $\Delta\omega$	61
3.14 การเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณ $\Delta\omega$ โดยมี V_{ref}	61
3.15 การเปรียบเทียบการแกว่งของ V_t	62
3.16 การเปรียบเทียบการแกว่งของ V_t โดยมี V_{ref}	62
3.17 smib_dyn เมื่อเกิด fault ที่ bus3.....	63
3.18 ข้อมูลขณะเกิด fault และการเคลียร์ fault	63
3.19 ตำแหน่งของไอเกนขณะไม่มี PSS	64
3.20 ตำแหน่งของไอเกนเมื่อใส่ PSS (damping 0.2).....	65
3.21 ตำแหน่งของไอเกนเมื่อใส่ PSS (damping 0.6).....	66
3.22 เปรียบเทียบการแกว่งของ Rotor Angle.....	66
3.23 เปรียบเทียบแรงดันที่หม้อแปลง.....	67
3.24 เปรียบเทียบมุมของ Voltage Angle ที่ Bus1.....	67

VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	6
2.2 ตารางแสดงช่วงค่ามาตรฐานของตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบ่งตามชนิด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	7
2.3 ตารางแสดงช่วงค่ามาตรฐานของตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบ่งตามชนิด ของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	7
2.4 ค่าความเฉื่อยคงที่ (inertia constant , H) ค่าปกติสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ Thermal และ Hydraulic โดยมีหน่วยเป็น $MW \cdot s / MVA$ rating	11
2.5 ค่าไอเกนของเครื่องกำเนิดขณะที่มีและไม่มี PSS.....	43



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในอนาคต ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มจะสูงขึ้นมากกว่าในปัจจุบัน และในอดีตหลายเท่าตัว นั้นรวมไปถึงการมีโครงข่าย และการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าหลาย ๆ ระบบเล็กเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถรองรับความต้องการที่นับวันมีแต่จะเพิ่มขึ้นเหล่านั้นได้ตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งแน่นอนที่จะส่งผลให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความซับซ้อนขึ้นตามลำดับ ปัญหาใหญ่อันดับแรกที่จะตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยก็คือ ปัญหาเรื่องของเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังใหม่ที่จะเกิดขึ้น เพราะเมื่อใดก็ตามที่ระบบไฟฟ้าไม่มีเสถียรภาพอยู่ในระดับที่พอเพียงนั้นย่อมจะหมายถึง ความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ไม่เพียงแต่ผู้ใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวงการอุตสาหกรรมที่เป็นกลจักรสำคัญที่จะนำพาประเทศไปสู่ความมั่งคั่ง และความเจริญที่ตามมาด้วย

การศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีการกล่าวถึงกันอย่างกว้างขวาง ทั้งในการศึกษาจากกรณีศึกษาจริงที่เกิดขึ้นซึ่งค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง กับอีกแนวทางหนึ่งก็คือการศึกษาโดยการจำลองผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในปัจจุบันเริ่มเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้น เพราะการจำลองผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าความถูกต้องอยู่ในย่านที่สามารถยอมรับได้ อีกทั้งยังสามารถใช้พยากรณ์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นล่วงหน้าได้อีกด้วย ทำให้สามารถที่จะทำการวางแผน และเตรียมการที่จะรับมือกับสิ่งที่จะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ โดยมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบอื่น ๆ จึงเป็นที่มาให้ปริญาณิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การจำลองระบบควบคุม และวิธีการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การปรับปรุงและรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้มีการนำเอาอุปกรณ์หลายชนิด และวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ มาใช้เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถเข้าสู่เสถียรภาพได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ตัวอย่างของการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง อาทิ เช่น การใช้อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบสถิตย์ (Static Var Compensator : SVC) ในการควบคุมการส่งจ่ายกำลังผ่านทางสายส่งระยะไกล การใช้อุปกรณ์รักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer : PSS) แบบต่าง ๆ การใช้ทฤษฎีฟัซซี่เพื่อช่วยในการหาสัญญาณควบคุมให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอุปกรณ์ควบคุมของการรักษาเสถียรภาพเอกสารแบบเดิมนั้นจะใช้วิธีการแทนค่าทุกค่าในช่วงของค่าตัวแปรนั้นๆ แล้วนำค่าที่ดีที่สุดมาใช้การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทำให้ใช้เวลานานในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีแนวคิดในการจะประยุกต์ใช้งานเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับฟังก์ชันที่ต้องการ (Optimization) มาประยุกต์ใช้ในการหาค่าตัวแปรเพื่อป้อนให้กับแต่ละอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งวิธีการหาค่าตัวแปรโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมนั้น ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีอื่นๆ และยังพบว่ามีความหลากหลายในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่นอีกด้วย ดังนั้น วิธีการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

วัตถุประสงค์หลักของการทำปริญญานิพนธ์นี้คือการนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแบบไฮบริด ที่เป็นการรวมเอาอุปกรณ์ควบคุมแบบเดิมหลายๆ อย่างมาผสมผสาน เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ในการที่จะสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อส่งให้กับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง และมีการปรับปรุงการทำงานของอุปกรณ์ในบางส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม รวมไปถึงมีแนวคิดและจุดมุ่งหมายที่จะใช้เจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นคณิตศาสตร์แนวใหม่ ในการช่วยออกแบบค่าตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อจะนำไปป้อนเป็นอินพุทของระบบควบคุมที่นำเสนออีกด้วย สามารถสรุปได้เป็นประเด็นหลักดังนี้

- เพื่อพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ควบคุมเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือดีกว่าอุปกรณ์ควบคุมอ้างอิงเดิม
- เพื่อพัฒนาการประยุกต์ใช้งานเจเนติกอัลกอริทึมในสาขาวิชาของระบบไฟฟ้ากำลัง ออกแบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรของอุปกรณ์ควบคุมที่นำเสนอ
- เปรียบเทียบการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้วิธีที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังในการจำลองและวิเคราะห์เพื่อคาดเดา และวางแผนในเรื่องของระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันและอนาคตได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเดี่ยวต่อกับบัสอนันต์ระบบสายส่งคู่ โดยใช้อุปกรณ์ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแบบไฮบริด (Hybrid) เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้กับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator : AVR) ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสดังกล่าว และใช้เจเนติกอัลกอริทึมเพื่อช่วยในการหาค่าที่

เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรของแต่ละอุปกรณ์ควบคุม เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะของการเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้ากำลังขึ้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาปัญหา

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาระบบจำลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมซึ่งประกอบด้วย
 - เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเกี่ยวข้องกับบัสบนันต์ระบบสายส่งคู่
 - อุปกรณ์ควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (AVR)
 - อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริด ประกอบด้วย $\Delta P - PSS$
- 1.4.2 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน และหลักการของการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีการต่างๆ
- 1.4.3 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน และการประยุกต์ใช้งานเจเนติกอัลกอริทึม
- 1.4.4 เขียนโปรแกรมจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่สนใจ โดยใช้การควบคุมอ้างอิงแบบเกาตามเอกสาร
- 1.4.5 เขียนโปรแกรมจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่สนใจ โดยใช้การควบคุมแบบไฮบริดที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการควบคุม
- 1.4.6 พัฒนาโปรแกรมในข้อ 1.4.5 โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาในส่วนของหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อป้อนให้กับระบบควบคุม
- 1.4.7 บันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลทดสอบจากการใช้งานโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อทำการแก้ไขและปรับปรุง
- 1.4.8 ปรับปรุงและแก้ไขโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากผลการวิเคราะห์ในข้อ 1.4.7
- 1.4.9 ทดสอบและบันทึกผลการใช้งานโปรแกรมครั้งสุดท้าย
- 1.4.10 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหา รวมไปถึงแนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถจำลองพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส เพื่อตอบสนองกรณีที่มีการเกิดสัญญาณรบกวนได้
- 1.5.2 สามารถใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริดที่นำเสนอควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีที่เกิดสัญญาณรบกวนให้เข้าสู่เสถียรภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5.3 สามารถใช้เจเนติกอัลกอริทึม เพื่อเป็นตัวช่วยในการทำให้ลดเวลาการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของอุปกรณ์ควบคุมแบบต่างๆ ซึ่งวิธีเดิมจะใช้ การแทนค่าทุกค่าของตัวแปรทำให้เสียเวลามาก
- 1.5.4 เป็นการนำเสนอแนวทางตัวอย่างในการประยุกต์ใช้งานเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อประโยชน์ในทางวิศวกรรม เพื่อเป็นต้นแบบและแนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป
- 1.5.5 สามารถจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง และผลตอบสนองจากการเกิดสัญญาณรบกวนลงบนระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้เราสามารถรู้ถึงปัญหา เพื่อที่จะวางแผนทางการแก้ไขได้อย่างถูกต้อง สะดวก และประหยัดค่าใช้จ่าย ในการที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังในความเป็นจริงได้

1.6 สัญลักษณ์ และคำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1.6.1 สัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในปริภูมิพหุ

δ = มุมถ่ายโอนกำลัง (Power angle : rad)

θ_m = มุมทางกลของโรเตอร์ (Mechanical angle of Rotor : rad)

ω = ความเร็วรอบ (Speed : rad/s)

ω_0 = ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed : rad/s)

ω_m = ความเร็วเพลารอเตอร์ (Rotor Shaft Velocity : rad/s)

ϕ_d = ฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวค้ำในแกน d (d-axis Linkage Flux)

ϕ_q = ฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวค้ำในแกน q (q-axis Linkage Flux)

ϕ_f = ฟลักซ์ในขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กฟิลด์ (Field Flux)

B = ซับเซบแดนซ์ (Susceptance)

D = สัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping Coefficient)

i_d = กระแสในแกน d (d-axis current)

i_q = กระแสในแกน q (q-axis current)

I = โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

J = ดัชนีบ่งชี้สมรรถนะการทำงาน (Performance Index)

K_4 = อัตราขยายของเอ็กซิเตอร์ (Exciter Gain)

K_5 = อัตราขยายของอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์ (SVC Gain)

M = ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia Constant : pu - s² / elec.degree)

P_e = กำลังไฟฟ้าด้านขาออก (Electrical Power Output : pu)

P_i = กำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า (Electrical Power Input : pu)

P_o = กำลังทางกลด้านขาออก (Mechanical Power Output : pu)

T_a = ทอร์กเร่ง (Accelerating Torque : pu)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- T_A = ค่าคงตัวเวลาเอกไซเตอร์ (Exciter Time constant : s)
 T'_{do} = ค่าคงตัวเวลาเปิดวงจรขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Open Circuit Time constant of the Field)
 T_e = แรงบิดทางไฟฟ้าด้านขาออก (Electrical Torque Output : pu)
 T_i = แรงบิดทางไฟฟ้าด้านขาเข้า (Electrical Torque Input : pu)
 T = ค่าคงตัวเวลาวงจรรีเซต (Reset Circuit Time Constant : s)
 V_d = แรงดันในแกน d (d-axis voltage)
 V_q = แรงดันในแกน q (q-axis voltage)
 V_f = แรงดันขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field voltage)
 V_0 = แรงดันที่บัสอนันต์ (Infinite bus voltage)
 V_t = แรงดันที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Terminal voltage)
 X_d = ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ในแกน d (Synchronous reactance d-axis : pu)
 X_q = ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ในแกน q (Synchronous reactance q-axis : pu)
 X'_d = ทรานเซียนรีแอกแตนซ์ในแกน d (Transient reactance d-axis : pu)

1.6.2 คำย่อที่ใช้ในปริญาณิพนธ์

- AVR = อุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator)
 GA = เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)
 PSS = อุปกรณ์ควบคุมเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer)

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการศึกษาพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ต้องมีการศึกษาตัวแปรต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยตัวแปรพื้นฐานแสดงในตาราง 2.1

นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังมีตัวแปรอื่นๆ อีก โดยเป็นค่าอิมพีแดนซ์ และค่าเวลาในสภาวะต่างๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 แบ่งตามชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Thermal และแบบ Hydraulic โดยค่ารีแอกแตนซ์เป็นค่าต่อหน่วย ส่วนตารางที่ 2.3 แบ่งเป็น แบบ Round – rotor และแบบ Salient-pole rotor ซึ่งยังแบ่งย่อยออกตามขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วย MVA

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

Linear Motion			Rotation		
Quantity	Symbol/ Equation	MKS unit	Quantity	Symbol/ Equation	MKS unit
Length	s	meter(m)	Angular displacement	θ	Radian (rad)
Mass	M	kilogram (kg)	Moment of inertia	$J = \int r^2 dm$	$kg.m^2$
Velocity	$v=ds/dt$	meter/second (m/s)	Angular velocity	$\omega = d\theta / dt$	rad / s
Acceleration	$a=dv/dt$	m/s^2	Angular acceleration	$\alpha = d\omega / dt$	$\frac{rad}{s^2}$
Force	$F=Ma$	newton (N)	Torque	$T = J\alpha$	(N.m) or J/rad
Work	$W = \int Fds$	joule(j)	Work	$W = \int Td\theta$	J or W.s
Power	$P=dW/dt$ $=Fv$	Watt (w)	Power	$p = dW / dt$ $=T\omega$	W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงช่วงค่ามาตรฐานของตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งตามชนิด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

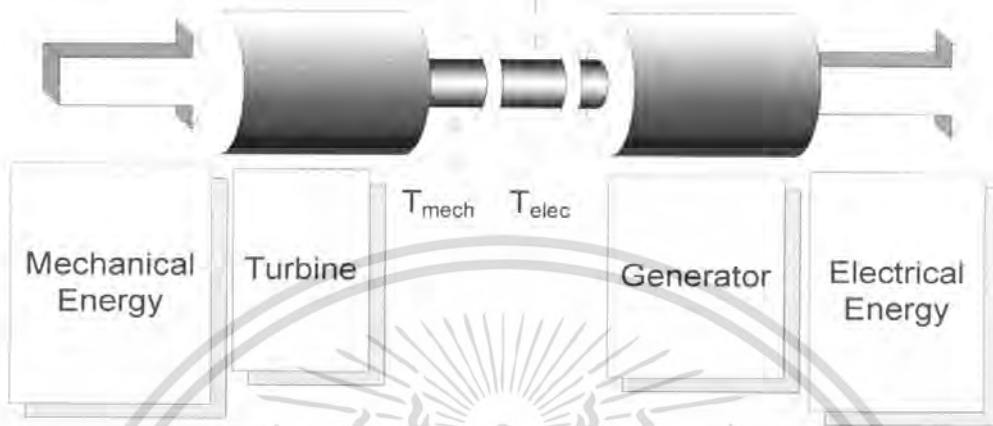
Parameter		Hydraulic unit	Thermal unit
Synchronous Reactance	X_d	0.6 – 1.5	1.0 – 2.3
	X_q	0.4 – 1.0	1.0 – 2.3
Transient Reactance	X'_d	0.2 – 0.5	0.15 – 0.4
	X'_q	-	0.3 – 1.0
Subtransient Reactance	X''_d	0.15 – 0.35	0.12 – 0.25
	X''_q	0.2 – 0.45	0.12 – 0.25
Transient OC Time Constant	T'_{d0}	1.5 – 9.0 s	3.0 – 10.0 s
	T'_{q0}	-	0.5 – 2.0 s
Subtransient OC Time Constant	T''_{d0}	0.01 – 0.05 s	0.02 – 0.05 s
	T''_{q0}	0.01 – 0.09 s	0.02 – 0.05 s
Stator Leakage Inductance	X_l	0.1 – 0.2	0.1 - 0.2
Stator Resistance	R_a	0.002 – 0.02	0.0015 – 0.005

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงช่วงค่ามาตรฐานของตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Parameter	Round – rotor			Salient – pole rotor	
	200 MVA	600 MVA	1500MVA	150MVA	230MVA
X_d	1.65	2.00	2.02	0.91	0.93
X_q	1.59	1.85	2.10	0.66	0.69
X'_d	0.23	0.39	0.44	0.3	0.3
X'_q	0.38	0.52	0.64	-	-
X''_d	0.17	0.28	0.28	0.24	0.25
X''_q	0.17	0.32	0.32	0.27	0.27
T'_{d0}	0.83	0.85	1.21	1.10	3.30
T'_{q0}	0.42	0.58	0.47	-	-
T''_{d0}	0.023	0.028	0.030	0.05	0.02
T''_{q0}	0.023	0.058	0.049	0.06	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานที่ศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวแปรเหล่านี้เป็นค่าที่ไม่สามารถปรับค่าได้ขึ้นอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิดและขนาด



ภาพที่ 2.1 การขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นต้องมีแรงบิดมาทำการหมุน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็คือ T_a โดยค่า T_a นั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างแรงบิดทางกลและแรงบิดทางไฟฟ้าดังสมการ

$$T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

โดย

T_a = แรงบิดลัพธ์ มีหน่วยเป็น ($N \cdot m$)

T_m = แรงบิดทางกล มีหน่วยเป็น ($N \cdot m$)

T_e = แรงบิดทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ($N \cdot m$)

จากสมการข้างต้นค่า T_m และ T_e จะมีค่าเป็นบวกในกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อนำค่าความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Inertia of generator) และต้นแรงขับ (prime mover) มารวมกับสมการแรงบิดจะมีสมการดังนี้

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_a = T_m - T_e \quad (2.2)$$

โดย

J = ค่ารวมของความเฉื่อยชั่วขณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และต้นแรงขับ, $kg \cdot m^2$ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ω_m = ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ , *mech•rad / s*

T = เวลา , *s*

สมการข้างต้นโดยปกติแล้วจะอยู่ในรูปตัวแปรค่าความเฉื่อยคงที่ (inertia constant , H) ในหน่วยต่อหน่วยคือ ค่าพลังงานศักย์ในหน่วย watt-seconds ที่อัตราความเร็ว หาร ด้วย VA base ค่า ω_{0m} ให้เป็นค่าความเร็วทางกลเชิงมุม มีหน่วยเป็น *rad / sec* ค่าความเฉื่อยคงที่มีค่า

$$H = \frac{1}{2} \frac{J \omega_{0m}^2}{VA_{base}} \quad (2.3)$$

ค่าความเฉื่อยชั่วขณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (J) ในรูปตัวแปร (H) คือ

$$J = \frac{2H}{\omega_{0m}^2} VA_{base} \quad (2.4)$$

แทนสมการ (2.4) ในสมการ (2.2) จะได้

$$\frac{2H}{\omega_{0m}^2} VA_{base} \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e$$

จัดรูปใหม่ได้

$$2H \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega_m}{\omega_{0m}} \right) = \frac{T_m - T_e}{VA_{base} / \omega_{0m}}$$

สมมติให้ค่า $T_{base} = VA_{base} / \omega_{0m}$ สมการการเคลื่อนที่ในหน่วยต่อหน่วยคือ

$$2H \frac{d\bar{\omega}_r}{dt} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (2.5)$$

จากสมการข้างต้น

$$\bar{\omega}_r = \frac{d\bar{\omega}}{\bar{\omega}_{0m}} = \frac{\omega_r / P_f}{\omega_0 / P_f} = \frac{\omega_r}{\omega_0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า ω_r คือค่าความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์ในหน่วย rad/s , ω_0 คือค่าที่อัตรา และ P_f คือจำนวนของ Field poles
ถ้า δ คือตำแหน่งของโรเตอร์ในหน่วยเรเดียนไฟฟ้า และค่า δ_0 คือค่าที่ $t = 0$

$$\delta = \omega_r t - \omega_0 t + \delta_0 \quad (2.6)$$

หาความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_r - \omega_0 = \Delta\omega_r \quad (2.7)$$

และ

$$\begin{aligned} \frac{d^2\delta}{dt^2} &= \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{d(\Delta\omega_r)}{dt} \\ &= \omega_0 \frac{d\overline{\omega_r}}{dt} = \omega_0 \frac{d(\overline{\Delta\omega_r})}{dt} \end{aligned} \quad (2.8)$$

แทนค่า $\frac{d\overline{\omega_r}}{dt}$ ในสมการ (2.5)

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \overline{T_m} - \overline{T_e} \quad (2.9)$$

บ่อยครั้งที่เราจะนำค่าแรงบิดหน่วง (damping torque) เข้ามาคิดโดยแยกจาก T_e โดยนำเข้าไปสัมพันธ์กับค่าความเร็วเชิงมุม จากสมการข้างต้นเราจะได้

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \overline{T_m} - \overline{T_e} - K_D \overline{\Delta\omega_r} \quad (2.10)$$

จากสมการ (2.7)

$$\overline{\Delta\omega_r} = \frac{\Delta\omega_r}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0} \frac{d\delta}{dt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าความเฉื่อยคงที่ (Inertia Constant)

จากหัวข้อที่ได้กล่าวมาข้างต้น ค่าความเฉื่อยคงที่แทนด้วยสมการ

$$H = \frac{\text{พลังงานสะสมที่อัตราเร็วในหน่วย MW}\cdot\text{s}}{\text{อัตรา MVA}}$$

พลังงานสะสม = พลังงานศักย์

$$= \frac{1}{2} J \omega_{0m}^2 \quad W \cdot s$$

$$= \frac{1}{2} J \omega_{0m}^2 \times 10^{-6} \quad MW \cdot s$$

โดย

J = ค่าความเฉื่อยชั่วขณะ (moment of inertia) $kg \cdot m^2$

$$\omega_{0m} = \text{อัตราเร็วเชิงกล rad/s} = 2\pi \frac{RPM}{60}$$

ดังนั้น

$$H = \frac{1}{2} \frac{J \omega_{0m}^2 \times 10^{-6}}{MVA_{rating}}$$

$$H = 5.48 \times 10^{-9} \frac{J(RPM)^2}{MVA_{rating}}$$

(2.11)

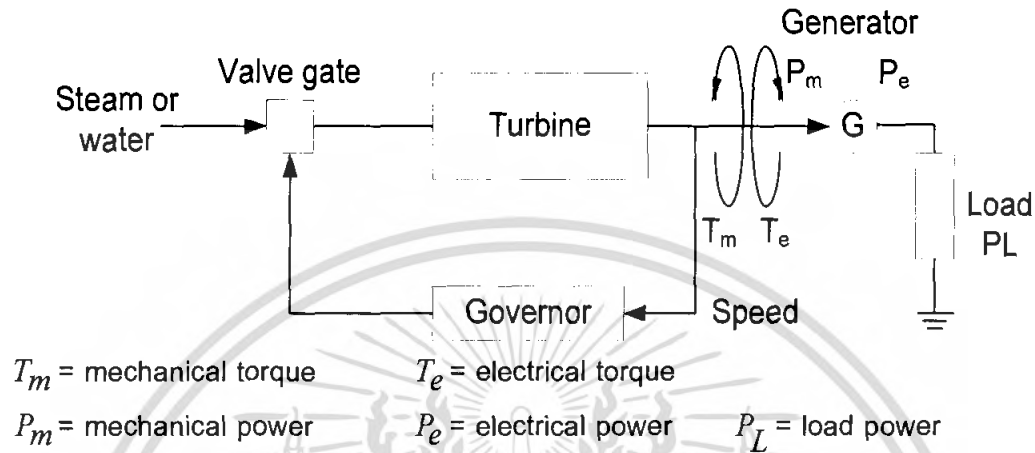
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความเฉื่อยคงที่ (inertia constant, H) ค่าปกติสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Thermal และ Hydraulic โดยมีหน่วยเป็น $MW \cdot s / MVA$ rating

ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	H
แบบ Thermal	
(a) 3600 r/min (2-pole)	2.5 – 6.0
(b) 1800 r/min (4-pole)	4.0 – 10.0
แบบ Hydraulic	2.0 – 4.0

2.2 ทฤษฎีของการควบคุมความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ทฤษฎีของการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Active power) มีความสัมพันธ์อย่างมากในการควบคุมความถี่ การควบคุมความถี่ของไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความเร็วรอบที่คงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความถี่ของระบบขึ้นอยู่กับความสมดุลของเอกสารกำลังไฟฟ้าจริง การเปลี่ยนความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงส่งผลต่อระบบ โดยทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวได้ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

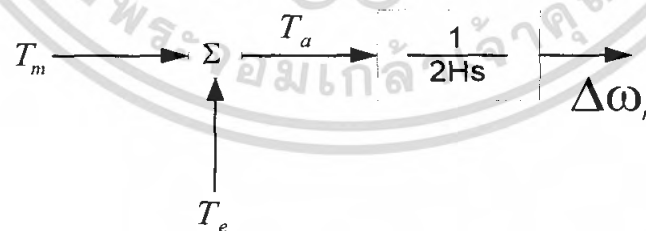
การเปลี่ยนแปลงความถี่ ดังนั้นตัวควบคุมความเร็วรอบ (speed governor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงมีความสำคัญ ความเข้าใจพื้นฐานของการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวหนึ่ง ซึ่งรองรับภาระแสดงได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังให้แก่ภาระอิสระ

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงภาระ

เมื่อมีการเปลี่ยนภาระจะส่งผลกระทบต่อแรงบิดทางไฟฟ้า (T_e) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นสาเหตุของการไม่สมดุลย์กันระหว่างแรงบิดทางกล (T_m) กับแรงบิดทางไฟฟ้า (T_e) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ โดยสามารถพิจารณาจากสมการการเคลื่อนที่ ภาพที่ 2.3 แสดงถึงฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ในรูปของแรงบิดทางไฟฟ้าและทางกล



s = laplace operator T_m = แรงบิดทางกล
 T_e = แรงบิดทางไฟฟ้า T_a = accelerating torque
 H = ค่าความเฉื่อย
 $\Delta\omega_r$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วโรเตอร์

ภาพที่ 2.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่สัมพันธ์กับความเร็วและแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (P) และแรงบิด (T) แสดงในสมการ

$$P = \omega_r T \quad (2.12)$$

ถ้าพิจารณาถึงค่าความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จากค่าเริ่มต้นเราสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} P &= P_0 + \Delta P \\ T &= T_0 + \Delta T \\ \omega_r &= \omega_0 + \Delta \omega_r \end{aligned} \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.12) จะได้

$$P_0 + \Delta P = (\omega_0 + \Delta \omega_r)(T_0 + \Delta T)$$

เราจะได้

$$\Delta P = \omega_0 \Delta T + T_0 \Delta \omega_r \quad (2.14)$$

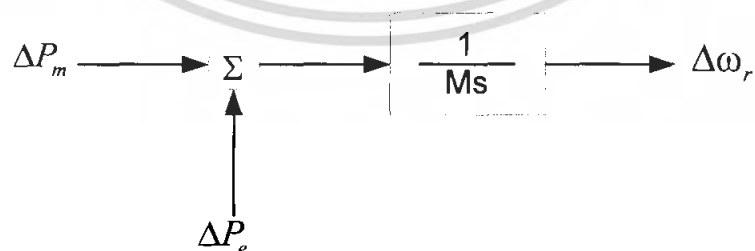
ดังนั้น

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 (\Delta T_m - \Delta T_e) + (T_0 + \Delta T) \Delta \omega_r \quad (2.15)$$

ในสภาวะอยู่ตัว (steady state) แรงบิดทางไฟฟ้าและทางกลจะมีค่าเท่ากัน ($T_{m0} = T_{e0}$) ด้วยความเร็วในหน่วยต่อหน่วย ($\omega_0 = 1$) ดังนั้น

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \Delta T_m - \Delta T_e \quad (2.16)$$

ภาพที่ 2.4 แสดงในรูปของ ΔP_m และ ΔP_e โดยให้ $M = 2H$



$$M = 2H$$

ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่สัมพันธ์กับความเร็วและกำลังไฟฟ้าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างภาวะกับการเปลี่ยนแปลงความถี่

สำหรับภาวะความต้านทานกำลังไฟฟ้าไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ในกรณีภาวะที่เป็นมอเตอร์ กำลังไฟฟ้าจะเปลี่ยนตามความถี่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วมอเตอร์ สมการแสดงความสัมพันธ์ของภาวะที่มีความสัมพันธ์กับความถี่ก็คือ

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega_r \quad (2.17)$$

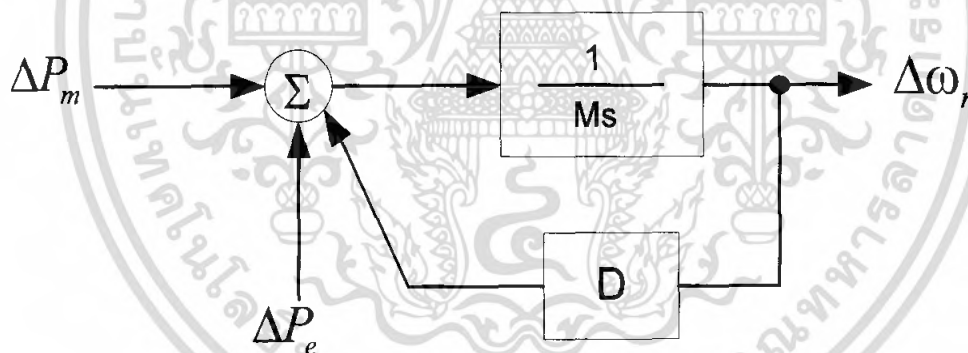
โดย

ΔP_L = การเปลี่ยนแปลงภาวะที่ไม่ขึ้นกับผลของความถี่

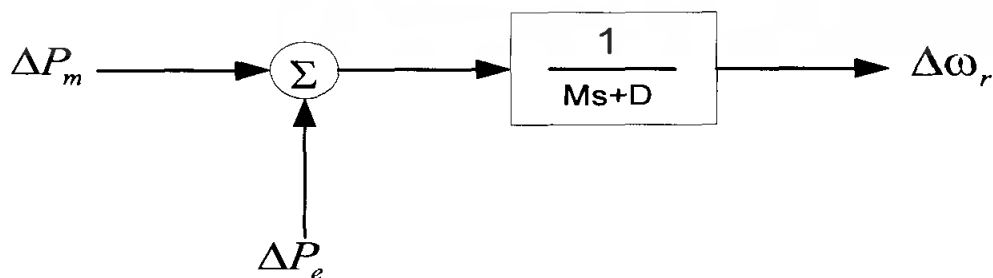
$D\Delta\omega_r$ = การเปลี่ยนแปลงภาวะที่ขึ้นกับผลของความถี่

D = ค่าคงที่ของความหน่วงภาวะ (load-damping constant)

ค่าคงที่ของการหน่วงแสดงถึงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของภาวะต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ ค่ามาตรฐานของ D คือ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ค่าของ D เท่ากับ 2 หมายถึง 1% ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภาวะ 2%



ภาพที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมที่รวมผลของค่าความหน่วงภาวะสามารถลดรูปได้ แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมที่รวมผลของค่าความหน่วงภาวะที่ลดรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แรงบิดทางไฟฟ้า

แรงบิดทางไฟฟ้า (electrical torque) แรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกลไฟฟ้าซิงโครนัสมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัสนสามารถประมาณค่าได้เท่ากับ

$$T_e \cong P_e = i_d v_d + i_q v_q \quad \text{per unit} \quad (2.18)$$

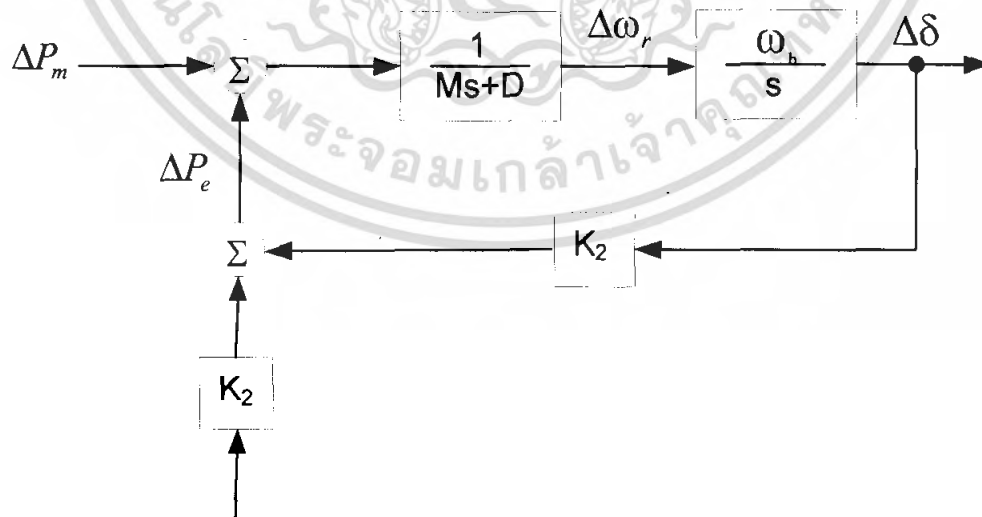
แทนค่าสมการ $\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} e_q - \begin{bmatrix} 0 & -x_q \\ x_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$ ลงในสมการ (2.18) จะได้

$$T_e = i_q e_q + (x_q - x_d) i_d i_q \quad (2.19)$$

และแทนค่า $\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_d \\ Y_q \end{bmatrix} e_q - \begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} \Delta\delta$ และ $\begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} = \frac{v_0}{Z_e^2} \begin{bmatrix} -R_2 & X_1 \\ X_2 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta_0 \\ \sin \delta_0 \end{bmatrix}$ ลงในสมการ (2.19) จะได้

$$\Delta T_e = K_1 \Delta\delta + K_2 \Delta e_q \quad (2.20)$$

นำสมการ (2.17) และ (2.20) สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.7 ระบบทางกลของเครื่องกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแรงดันวงจรขดลวดสนามไฟฟ้า สามารถ Linearize และเขียนได้เป็น

$$(1 + sT'_{d0})\Delta e'_q = \Delta E_{FD} - (x_d - x_q)\Delta i_d \quad (2.21)$$

แทนค่า Δi_d จากสมการ

$$\begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_d \\ Y_q \end{bmatrix} e'_d - \begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} \Delta \delta \quad (2.22)$$

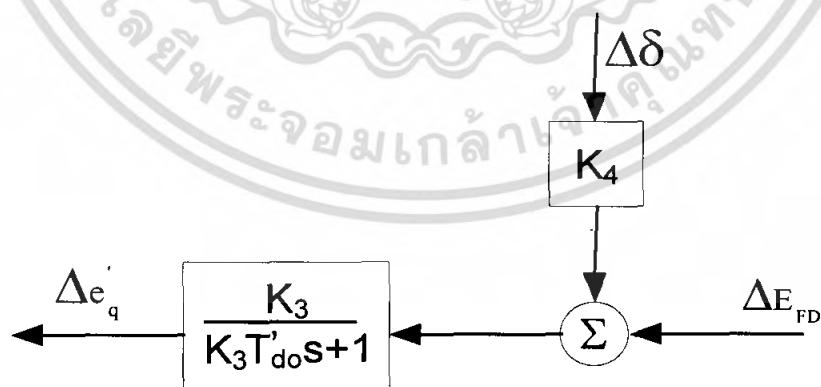
ลงในสมการ (2.21) จะได้

$$(1 + sT'_{d0}K_3)\Delta e'_q = K_3[\Delta E_{FD} - K_4\Delta\delta] \quad (2.23)$$

หรือ

$$\frac{\Delta e'_q}{[\Delta E_{FD} - K_4\Delta\delta]} = \frac{K_3}{(1 + sT'_{d0}K_3)}$$

สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.8 ระบบ Flux Decay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดสามารถเขียนให้อยู่ในส่วนประกอบของเทอม d และ q จะได้

$$v_t^2 = v_d^2 + v_q^2 \quad (2.24)$$

และเปลี่ยนแปลงของ v_t มีค่าเท่ากับ

$$\Delta v_t = \left(\frac{v_{d0}}{v_{q0}} \right) \Delta v_d + \left(\frac{v_{q0}}{v_{d0}} \right) \Delta v_q \quad (2.25)$$

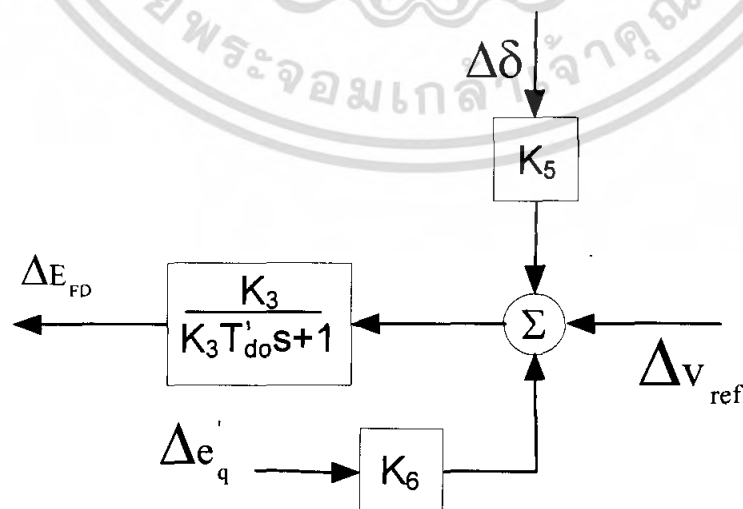
แทนค่าสมการ (2.22) ลงในสมการที่ได้จากการ Linearize สมการ

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} e'_d + \begin{bmatrix} 0 & -x_q \\ x_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

กับ Δv_d และ Δv_q แล้วแทนค่าลงในสมการ (2.25) จะได้

$$\Delta v_t = K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta e'_q \quad (2.27)$$

สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การกำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำและการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุม

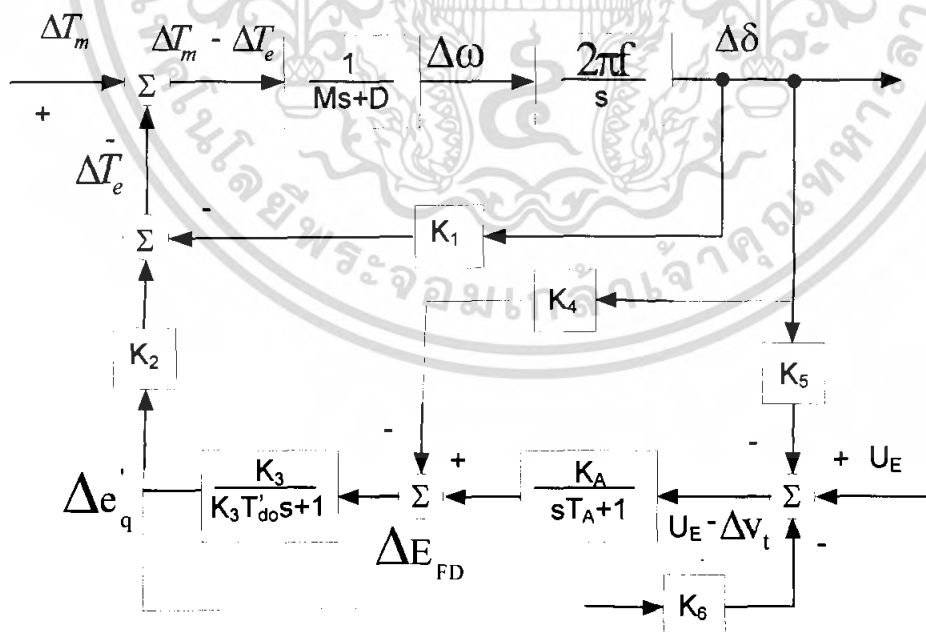
ตั้งแต่มีการพัฒนาการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ระบบจะมีการกำเนิดสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเองที่ความถี่ต่ำ เมื่อมันจะเกิดขึ้นมาแล้วก็จะค่อยๆหายไปเอง หรือเมื่อมันเกิดขึ้นก็จะเพิ่มขนาดของสัญญาณจนเป็นสาเหตุของการแยกตัวของระบบ (ตัดระบบออก)

สาเหตุของการเกิดสัญญาณความถี่ต่ำเนื่องจากการมีมุมต่างเฟสของ damp ในระบบทางกลของระบบการเชื่อมต่อและเราสามารถแก้ไขมุมต่างเฟสของ damp โดยการเพิ่มการกระตุ้นเข้าไปชดเชย

ในปัจจุบันโรงงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ในอเมริกาเหนือมีการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยการควบคุมการกระตุ้นเสริมซึ่งโดยทั่วไปเรียกอุปกรณ์นี้ว่า PSS (Power System Stabilizer) อย่างไรก็ตามก็ยังมีการกำเนิดของสัญญาณความถี่ต่ำเกิดขึ้น ตัวควบคุม PSS จะออกแบบมาจากการจำลองเครื่องกำเนิดหนึ่งตัวต่อกับบัสอนันต์ เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์รวมตัวควบคุม PSS เข้ากับระบบกำลังไฟฟ้า

2.7 การแปลงฟังก์ชันสำหรับศึกษาการกำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ

ค่าตัวแปรต่างๆของเครื่องกำเนิดสำหรับการศึกษาการกำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 2.10

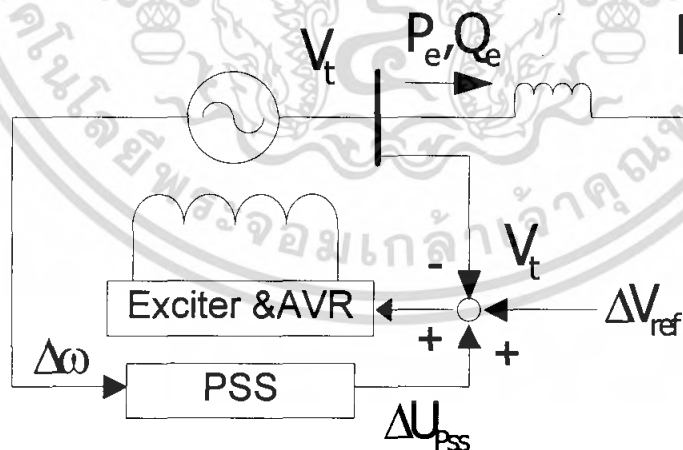


ภาพที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการแปลง Transfer function สำหรับการศึกษาการกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

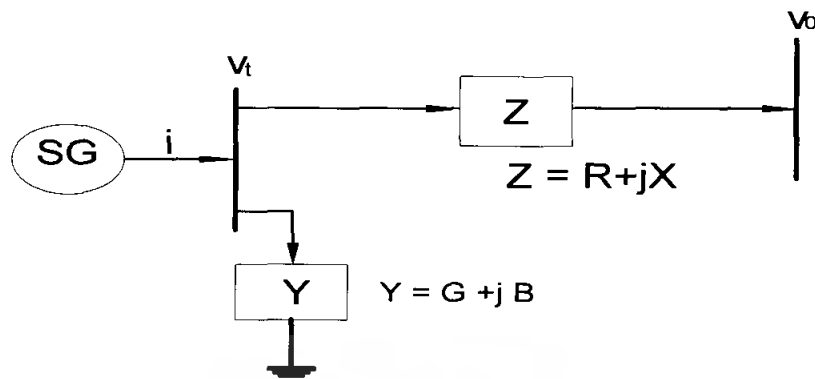
ในภาพที่ 2.10 จะประกอบด้วยระบบสองส่วนหลักๆ คือ ระบบทางกลกับระบบทางไฟฟ้า ส่วนของระบบทางกลจะอยู่ทางด้านบนของรูป และส่วนของระบบทางไฟฟ้าจะอยู่ทางด้านล่าง ระบบทางกลจะเขียนอยู่ในรูปของ $D\Delta\omega$ วิธีการ Linearize จะถูกใช้ในการแยกการกำเนิดสัญญาณออกเป็นระยะขนาดเล็กลงๆ ผลรวมของแรงบิดที่เกิดขึ้น $(\Delta T_E - \Delta T_L)$ จะพิจารณาเป็นอินพุต และมุมของแรงบิด $\Delta\delta$ จะเป็นเอาพุต ส่วนระบบทางกลจะมีทรานเฟอร์ฟังก์ชันอยู่สองบล็อกจากซ้ายไปขวา บล็อกแรกเป็นพื้นฐานของสมการที่สมมุติว่าความสมดุลของแรงบิด และบล็อกที่สองแสดงความสัมพันธ์ของมุมและความเร็ว ในบล็อกนี้ M คือค่าความเฉื่อย, D คือ สัมประสิทธิ์การหน่วงทางกลและ $2\pi f$ คือความเร็วซิงโครนัส

ส่วนของทางไฟฟ้าที่แสดงในภาพที่ 2.10 มีการเพิ่มเติมการควบคุม u_E ลงด้วย ส่วนที่เพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว ΔV_t ซึ่งเป็นอินพุตที่เข้ามาในระบบและส่วนที่เพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าภายใน $\Delta e'_q$ จะเป็นเอาพุตซึ่งถูกคูณกับ K_2 ก่อนที่จะกลายเป็นส่วนของแรงบิดทางไฟฟ้า ΔT_L ของระบบ จะมีบล็อกการแปลงทรานเฟอร์ฟังก์ชันอยู่สองบล็อกจากขวาไปซ้ายบล็อกแรกแสดงระบบการกระตุ้นและระบบการปรับแรงดัน ที่ค่าคงที่ทางเวลา T_A และอัตราขยาย K_A บล็อกนี้ควรจะถูกขยายเมื่อระบบการกระตุ้นและระบบการปรับแรงดัน หมุน บล็อกที่สองจะแสดงการแปลงทรานเฟอร์ฟังก์ชันของขดลวดสนามที่มีผลกระทบจากปฏิกิริยาจากอามีเจอร์รีเอคชันที่ค่าสัมประสิทธิ์ทางเวลา $T'_{d0}K_3$ และอัตราขยาย K_3



ภาพที่ 2.11 ระบบ single-machine infinite bus (SMIB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 ระบบ one-machine infinite bus

ท้ายที่สุด Δv_t จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสองส่วนคือ $K_s \Delta \delta$ เนื่องจากตัวแปรมุมของแรงบิดทางกล $\Delta \delta$ และ $K_6 \Delta e'_q$ เนื่องจากตัวแปรแรงดันไฟฟ้าภายใน $\Delta e'_q$ ดังนั้น Δv_t จึงมีความหมายว่า $(\Delta v_t - \Delta v_{REF})$ และสัญญาณที่ป้อนให้ Δv_t จะเป็นลบเพราะว่ามีการป้อนกลับแบบลบ

2.8 ส่วนประกอบแกน d และ แกน q ของกระแสอาเมเจอร์

สำหรับการคิดค่าคงที่ K_1, K_2, \dots, K_6 ในภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบของกระแสอาเมเจอร์ i_d และ i_q จะต้องทราบค่าในภาพที่ 2.12 แสดงการต่อ one-machine infinite bus ของระบบไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบ Synchronous SG, กระแสอาเมเจอร์ i , แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว v_t , แรงดันที่ infinite-bus v_0 , อิมพีแดนซ์ของสายส่ง Z , แอดมิตแตนซ์ขนานของโหลด Y

จะได้เขียนเฟสเซอร์กระแสและแรงดันได้ดังภาพที่ 2.13 และกำหนดให้มุมของแรงบิด δ เป็นมุมระหว่างแรงดันที่ infinite-bus กับ v_0 กับแรงดันภายใน e'_q จะได้

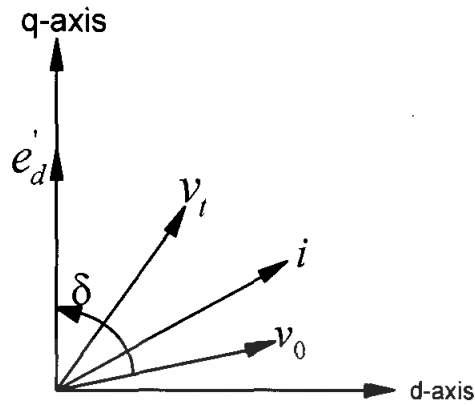
$$i \cong i_d + j i_q, \quad v_t \cong v_d + j v_q \quad (2.28)$$

$$[\text{phasor } V_0] \cong V_0 (\sin \delta + j \cos \delta) \quad (2.29)$$

เมื่อ

$$\delta \cong \angle(e'_q, v_0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 เฟสเซอร์ของกระแสและแรงดัน

เพื่อความสะดวกให้กำหนดค่าเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 1 + ZY &\cong C_1 + jC_2 \\
 R_1 &\cong R - C_2 x'_d \\
 X_1 &\cong X - C_2 x_q \\
 X_2 &\cong X - C_1 x'_d \\
 R_2 &\cong R - C_2 x_q \\
 Z_e^2 &\cong R_1 R_2 - X_1 X_2 \\
 Y_d &\cong \frac{(C_1 X_1 - C_2 R_2)}{Z_e^2} \\
 Y_q &\cong \frac{(C_1 R_1 - C_2 X_2)}{Z_e^2}
 \end{aligned} \tag{2.30}$$

จากภาพที่ 2.12 เราจะได้ว่า

$$i = Yv_t + Z^{-1}(v_t - v_0) \text{ หรือ } Zi = (1 + ZY)v_t - v_0 \tag{2-31}$$

แยกส่วนส่วนสมการ (2.32) จะได้ส่วนจริงกับส่วนจินตภาพ นำผลที่ได้ไปเขียนในรูปแบบเมตริกซ์ จากตัวเลขจำนวนจริงสามารถเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} R & -X \\ X & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & -C_2 \\ C_2 & C_1 \end{bmatrix} -v_0 \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

เมื่อ

$$C_1 \cong 1 + RG - XB, \quad C_2 \cong XG + RB \quad (2.31a)$$

แต่ขนาดของ v_d และ v_q เป็น

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} e_d - \begin{bmatrix} 0 & -x_q \\ x_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

แทนค่าสมการ (2.32) ในสมการ (2.31) และคำนวณหาค่า i_d และ i_q จะได้

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_d \\ Y_q \end{bmatrix} e_d - \frac{v_0}{Z_e^2} \begin{bmatrix} R_2 & X_1 \\ -X_2 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Linearize สมการ (2.33) จะได้

$$\begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_d \\ Y_q \end{bmatrix} e_d - \begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} \Delta \delta \quad (2.34)$$

เมื่อ Y_d และ Y_q เท่ากับสมการ (2.30)

$$\begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} = \frac{v_0}{Z_e^2} \begin{bmatrix} -R_2 & X_1 \\ X_2 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

และ δ_0 เป็นมุมเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ค่าคงที่ K_1, K_2, \dots, K_6

K_1 และ K_2 หาได้จากแรงบิดทางไฟฟ้า (electrical torque) แรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกลไฟฟ้าซิงโครนัสที่มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัสสามารถประมาณค่าได้เท่ากับ

$$T_e \cong P_e = i_d v_d + i_q v_q \quad \text{per unit} \quad (2.36)$$

แทนค่า v_d และ v_q จากสมการ (2.32) ลงในสมการ (2.36) จะได้

$$T_e = i_q e'_q + (x_q - x'_d) i_d i_q \quad (2.37)$$

แทนค่า Δi_d และ Δi_q จากสมการ (2.34) ลงในสมการ (2.37) แล้วทำการ Linearize จะได้

$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + K_2 \Delta e'_q \quad (2.38)$$

เมื่อ

$$\begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ i_{q0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_d & F_q \\ Y_d & Y_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (x_q - x'_d) i_{q0} \\ e'_{q0} + (x_q + x'_d) i_{d0} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

K_3 และ K_4 หาได้จากสมการแรงดันวงจรขดลวดสนามไฟฟ้า สามารถ Linearize และเขียนได้เป็น

$$(1 + sT'_{d0} K_3) \Delta e'_q = K \Delta E_{FD} - (x_d - x'_d) \Delta i_d \quad (2.40)$$

แทนค่า Δi_d จากสมการ (2.34) ลงในสมการ (2.40) ผลที่ได้คือ

$$(1 + sT'_{d0} K_3) \Delta e'_q = K_3 [\Delta E_{FD} - K_4 \Delta \delta] \quad (2.41)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_3 = \frac{1}{[1 + (x_d - x'_d)Y_d]}$$

$$K_4 = (x_d - x'_d)F_d \quad (2.42)$$

K_5 และ K_6 หาได้จากขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดสามารถเขียนให้อยู่ในส่วนประกอบของเทอม d และ q จะได้

$$v_t^2 = v_d^2 + v_q^2 \quad (2.43a)$$

และการเปลี่ยนแปลงของ v_t มีค่าเท่ากับ

$$\Delta v_t = \begin{pmatrix} v_{d0} \\ v_{q0} \end{pmatrix} \Delta v_d + \begin{pmatrix} v_{q0} \\ v_{q0} \end{pmatrix} \Delta v_q \quad (2.43b)$$

แทนค่าสมการ (2.34) ลงในสมการที่ได้จากการ Linearize สมการ (2.32) กับ Δv_d และ Δv_q แล้วแทนค่าลงในสมการ (2.43b) จะได้

$$\Delta v_t = K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta e_q' \quad (2.44)$$

เมื่อ

$$\begin{bmatrix} K_5 \\ K_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{v_{q0}}{v_{t0}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_d & F_q \\ Y_d & Y_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x'_d v_{q0} / v_{t0} \\ x_q v_{d0} / v_{t0} \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

ในสมการ (2.45) F_d และ F_q จะมีค่าเท่ากับสมการ (2.35) Y_d และ Y_q มีค่าเท่ากับสมการ (2.30)

2.10 ค่าเริ่มต้นของกระแส,แรงดัน และมุมของแรงบิด

ค่าเริ่มต้นของกระแส,แรงดันและมุมของแรงบิด ในสภาวะ steady-state โดยปกติ จะหาจากการศึกษาโพลไฟลสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดหลายตัว,สำหรับ one-machine infinite bus จะมีกรณี que ศึกษาได้สองกรณี

- 1.กำลังไฟฟ้า P_{e0} กำลังไฟฟ้าจิดภาพ Q_{e0} และแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด $|v_{t0}|$
- 2.กำลังไฟฟ้า P_{e0} ,แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดและแรงดันที่ infinite-bus

$|v_0|$

ตัวอย่างที่ 2-1 หาค่าสภาวะเริ่มต้นในช่วง steady-state ของส่วนประกอบของ กระแสในแกน d และแกน q แรงดันและมุมของแรงบิด ของ one-machine infinite bus แสดงดังภาพที่ 2.12 โดยกำหนดให้ค่า P_{e0}, Q_{e0} และ $|v_{t0}|$

ผลเฉลย subscript ที่สอง " 0 " หมายถึงค่าสภาวะเริ่มต้นเขียนละไว้เพื่อความ กระชับ แต่ใน subscript ตัวแรก " 0 " ใน v_0 จะหมายถึงค่าแรงดันที่ infinite bus กำลังไฟฟ้า ปราบกฎและกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถหาได้จาก

$$P_e + jQ_e = (i_d + ji_q) \cdot (v_d + jv_q) \quad (2.46)$$

ขนาดของ v_d และ v_q สามารถหาได้จากสมการ (2.36) แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของ เครื่องกำเนิด v_t สามารถอธิบายให้อยู่ในเทอมของ v_d และ v_q

$$\begin{aligned} P_e &= i_d v_d + i_q v_q \\ Q_e &= i_d v_q - i_q v_d \\ v_d &= x_q i_q \end{aligned} \quad (2.47)$$

$$v_q = e_q - x_d i_d$$

$$v_t^2 = v_d^2 + v_q^2$$

สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 5 ตัวแปรได้แก่ i_d, i_q, v_d, v_q และ e_q ถ้ากำจัด i_d ออกจาก สองสมการแรกในสมการ (2.47) เราจะได้

$$P_e v_q - Q_e v_d = i_q v_t^2 \quad (2.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า i_q และ v_d ตามลำดับจากสมการที่สามและอันดับสี่ของสมการ (2.47) แล้วแทนค่าลงไปในสมการ (2.48) จะได้

$$P_e(v_t^2 - v_d^2)^{\frac{1}{2}} - Q_e v_d = v_d \left(\frac{v_t^2}{x_q} \right) \quad (2.49)$$

ดังนั้น v_d สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} v_d &= P_e v_t \left[P_e^2 + \left(Q_e^2 + \left(\frac{v_t^2}{x_q} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{-1} \\ v_q &= (v_t^2 - v_d^2)^{\frac{1}{2}} \\ i_q &= v_d / x_q \\ i_d &= \frac{(P_e - i_q v_q)}{v_d} \text{ หรือ } \frac{(Q_e + i_q v_d)}{v_q} \\ e_q &= v_q + x_d' i_d \end{aligned} \quad (2.50)$$

ค่าเริ่มต้นของ v_0 และ δ คำนวณได้จากความหมายของแรงบิด ในภาพ 2.13 และสมการ (2.40) จะได้

$$\begin{aligned} v_{0d} &= v_0 \sin \delta = C_1 v_d - C_2 v_q - R i_d + X i_q \\ v_{0q} &= v_0 \cos \delta = C_2 v_d + C_1 v_q - X i_d - R i_q \end{aligned} \quad (2.51)$$

ท้ายที่สุดแล้ว

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{v_{0d}}{v_{0q}} \right), \quad v_0 = (v_{0d}^2 + v_{0q}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

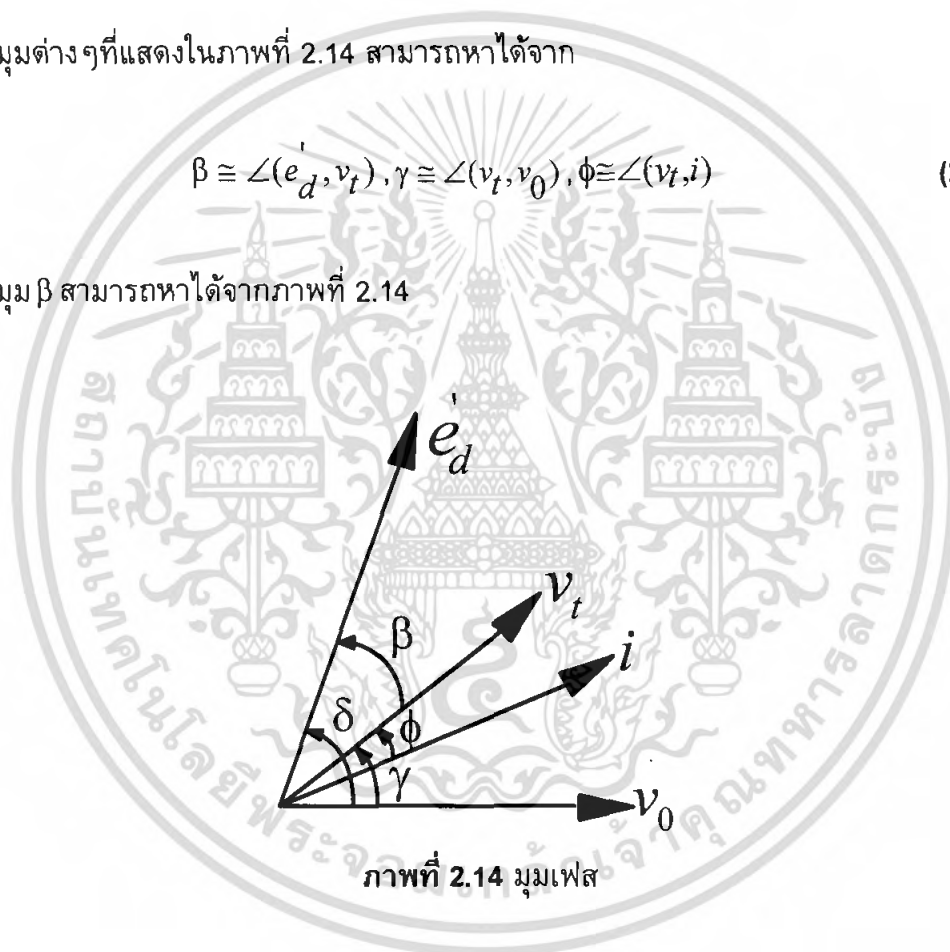
ตัวอย่างที่ 2.2 หาค่าสภาวะเริ่มต้นในช่วง steady state ของส่วนประกอบของกระแส p และ q แรงดันและมุมของแรงบิด จากระบบ one-machine infinite bus ที่แสดงในภาพที่ 2.12 โดยกำหนดให้ P_{e0} , $|v_{t0}|$ และ $|v_0|$ มุมของอิมพีแดนซ์ของสายส่งสามารถหาได้จาก

$$\alpha \cong \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) \quad (2.53)$$

และมุมต่างๆที่แสดงในภาพที่ 2.14 สามารถหาได้จาก

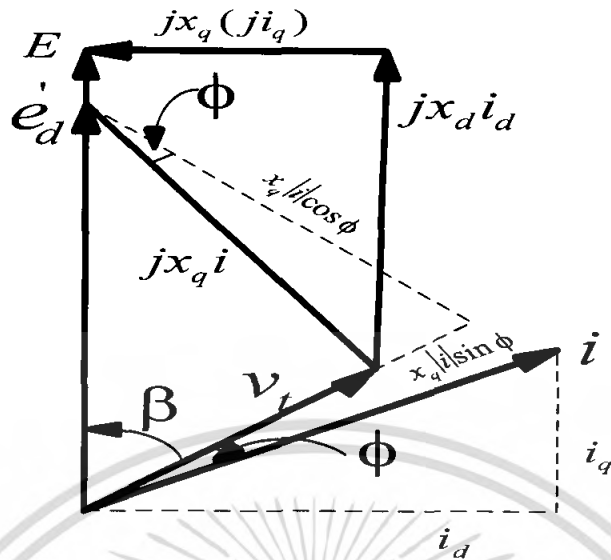
$$\beta \cong \angle(e'_d, v_t), \gamma \cong \angle(v_t, v_0), \phi \cong \angle(v_t, i) \quad (2.54)$$

และมุม β สามารถหาได้จากภาพที่ 2.14



$$\beta = \tan^{-1} \frac{x_q |i| \cos \phi}{|v_t| + x_q |i| \sin \phi} \quad (2.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 การหาค่า β

สำหรับการคำนวณค่า γ, v_0 อาจจะใช้การวิเคราะห์เฟสเซอร์ตามภาพที่ 2.12 และ 2.15

$$i = |v_t| e^{j\gamma} \left[(G + jB) + \frac{1}{R + jX} \right] - \frac{v_0}{R + jX} \tag{2.56}$$

เมื่อ $(P_e + jQ_e)$ ถูกนิยามโดย $i^* v_t$

$$P_e - jQ_e = i v_t^* = |v_t|^2 \left[\left(G + \frac{R}{|Z|^2} \right) - \frac{v_0 |v_t|}{|Z|} e^{-j(\alpha + \gamma)} \right] \tag{2.57}$$

หรือ

$$P_e = |v_t|^2 \left(G + \frac{R}{|Z|^2} \right) - \frac{v_0 |v_t|}{|Z|} \cos(\alpha + \gamma) \tag{2.58}$$

$$Q_e = |v_t|^2 \left(-B + \frac{X}{|Z|^2} \right) + \frac{v_0 |v_t|}{|Z|} \sin(\alpha + \gamma)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น γ สามารถหาได้จากทั้ง P_e หรือ Q_e ของสมการ (2.58) จากสมการ P_e จะได้ว่า

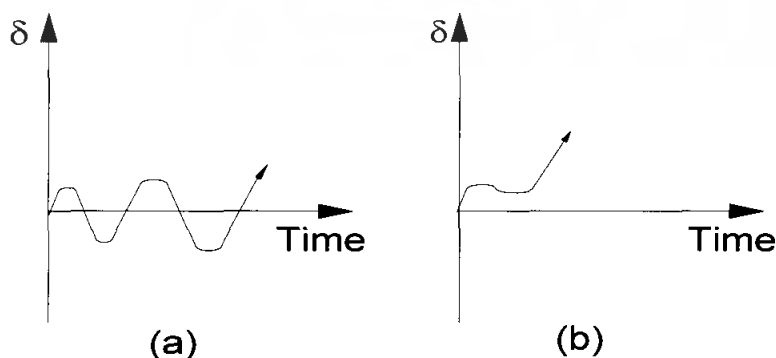
$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{|v_t|^2 \left(G + \frac{R}{|Z|^2} \right) - P_e}{v_0 \frac{|v_t|}{|Z|}} \right] - \alpha \quad (2.59)$$

เมื่อทราบค่า β และ γ ก็จะสามารถคำนวณค่า มุมของแรงบิด กระแสและแรงดันได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \delta &= \beta + \gamma \\ v_d &= |v_t| \sin \beta \\ v_q &= |v_t| \cos \beta \\ i_d &= |i| \sin(\beta + \phi) \\ i_q &= |i| \cos(\beta + \phi) \\ e_q &= v_q + x_d' i_d \end{aligned} \quad (2.60)$$

2.11 การปรับปรุงระบบการหน่วงด้วยระบบการกระตุ้นเสริม

ระบบไฟฟ้าอาจจะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพเมื่อเกิดความต่างเฟสของการหน่วงหรือเมื่อแรงบิด synchronizing ไม่เพียงพอ ดังแสดงในภาพที่ 2.16a และ 2.16b ตามลำดับ การกำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำของระบบกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่เกิดจากการเกิดมุมต่างเฟสของการหน่วงในระบบทางกล เครื่องจักรซิงโครนัสอาจจะมี การหน่วงทางกลเพียงพอสำหรับตัวมันเองแต่ไม่เพียงพอสำหรับการโอเปอร์เรทในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีการชดเชยการหน่วงเพิ่ม



ภาพที่ 2.16 ระบบกำลังไฟฟ้าขณะไม่เสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การออกแบบการหน่วงเพื่อทำให้สัญญาณรบกวนความถี่ต่ำลดน้อยลง

เพราะว่าระยะรูปคลื่นของกระแส แรงดันและแรงบิดมีการเปลี่ยนแปลงในระบบ ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ระหว่างที่มีสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำเกิดขึ้น กระแสและแรงดันเหล่านี้ เป็นจำนวนทางฟิสิกส์ซึ่งสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ดังภาพที่ 2.17 แสดงแรงบิดทางไฟฟ้า ΔT_E และแรงบิดทางกล ΔT_m บนระนาบของ $\Delta\delta - \Delta\omega$ ที่ความถี่การกำเนิด สมการแรงบิดสามารถเขียนได้เป็น

$$M \dot{\omega} = \Delta T_m - \Delta T_e - \Delta T_D \quad (2.61)$$



ภาพที่ 2.17 เฟสเซอร์ของแรงบิดบนระนาบ $\Delta\delta - \Delta\omega$

การหน่วงที่เพิ่มขึ้นนี้จะมาจากการกระตุ้นเสริม ΔT_E และจะต้องมีเฟสเดียวกับ $\Delta\omega$ ตามภาพที่ 2.16 และภาพที่ 2.17 เช่นเดียวกับกับการหน่วงที่เพิ่มขึ้นที่มาจากตัวควบคุม จะต้อง มีเฟสเดียวกับ $-\Delta\omega$ ด้วย

พิจารณากรณีทั่วไปของการกระตุ้นเสริมและตัวควบคุมของการกำเนิดสัญญาณ ความถี่ต่ำ การหน่วงทางไฟฟ้า ΔT_E สามารถรวมเข้ากับ ΔT_e และการหน่วงทางกล ΔT_m สามารถรวมเข้ากับ ΔT_m

$$\Delta T_m = -D_M \Delta\omega, \quad \Delta T_E = D_E \Delta\omega \quad (2.62a)$$

กำหนดให้ ΔT_m เดิมจากตัวควบคุมยังคงมีขนาดเล็กและ ΔT_e เดิมจากชุดปรับ

แรงดันถูกควบคุมโดย $K_1 \Delta\delta$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\Delta T_m &\cong \Delta T_M = -D_M \Delta \omega \\ \Delta T_e &= K_1 \Delta \delta - D_E \Delta \omega \\ \Delta T_D &= D \Delta \omega\end{aligned}\quad (2.62b)$$

และ

$$[Ms^2 + (D_M + D_E + D)s + \omega_b K_1] \Delta \delta = 0 \quad (2.63)$$

เมื่อ

$$\Delta \delta = \frac{\omega_b \Delta \omega}{s}, \quad \omega_b = 2\pi f \quad (2.64)$$

รูปแบบทั่วไปของสมการ (2.63) คือ

$$s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2 \quad (2.65)$$

ดังนั้น

$$s = (-\zeta_n \pm j\sqrt{1-\zeta_n^2})\omega_n \quad (2.66)$$

เมื่อ

$$\omega_n = \sqrt{\omega_b \frac{K_1}{M}}, \quad \zeta_n = \frac{(D_M + D_E + D)}{2\omega_b M} \quad (2.67)$$

ω_n เป็นความถี่การกำเนิดของระบบทางกลที่ไม่มีการหน่วง (ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที) ที่ $\zeta_n = 0$ และ ζ_n เป็นสัมประสิทธิ์การหน่วงในหน่วยเปอร์เซ็นต์

2.13 การออกแบบตัวควบคุมการกระตุ้นเสริม

ตัวควบคุมการกระตุ้นเสริม สำหรับการกำเนิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ ต้องรู้ทิศทางไหลกระแสของตัว PSS (Power System Stabilizer) แนวความคิดคือต้องการประยุกต์ให้สัญญาณผ่านระบบกระตุ้นเพื่อเพิ่มค่าแรงบิดหน่วงของเครื่องกำเนิดในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า สำหรับแบบจำลอง one-machine infinite bus ในภาพที่ 2.10 ตัวควบคุมเสริม u_E จะผ่านบล็อกของ T_A, T'_{d0} และ K_2 โดยจะได้แรงบิดหน่วงขึ้นมาใหม่เป็น ΔT_E

ในภาพที่ 2.10 การ Linearize แบบจำลองจะใช้หลักการ superposition เนื่องจาก มุมเฟสลาหลังระหว่าง $(1+sT_A)$ กับ $(1+sT'_{d0}K_0)$ ที่ $s=j\omega_n$ มุมเฟสนำหน้าที่จะรวมเข้าด้วยกันจะต้องถูกรวมไปในการออกแบบการกระตุ้นเสริมดังนั้นจะได้แรงบิดหน่วง ΔT_E ที่มีเฟสเดียวกันกับ $\Delta\omega$ ที่ความถี่การกำเนิด การรวมนี้จะต้องมีอัตราขยายเพื่อทำให้มีขนาดเพียงพอกับการหน่วง

มีตัวแปรมากมายที่ใช้ในการออกแบบระบบกระตุ้นเสริม เช่น ความเร็วการไถล $\Delta\omega$ การเพิ่มขึ้นของความแตกต่างกันระหว่างกำลังทางกล ΔP_m กับกำลังไฟฟ้า ΔP_e หรือการเพิ่มขึ้นของความถี่ของระบบ Δf PSS อาจจะออกแบบจากความถี่ธรรมชาติขณะไม่มีการหน่วงในระบบทางกล หรือจากความถี่เชิงซ้อน $\sigma + j\omega$ จากระบบทางกลที่ได้จากการคำนวณค่าไอเกนของระบบ

พิจารณาการออกแบบ $j\omega_n$ เมื่อ $\Delta\omega$ แปรผันตามอินพุตที่เข้ามา กระบวนการออกแบบทั่วไปอาจทำได้ดังนี้

1. หาค่า ω_n จากระบบทางกล จากภาพที่ 2.10 แต่ไม่พิจารณาค่าการหน่วง หรือจากสมการ (2.63) แต่ไม่พิจารณาการหน่วงทั้งหมด สมการเฉพาะอาจเขียนได้ดังนี้

$$Ms^2 + \omega_b K_1 = 0 \quad (2.68)$$

และผลเฉลยของสมการเท่ากับ

$$s = \pm j\omega_n, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{\omega_b K_1}{M}} \quad (2.69)$$

เมื่อ ω_n เป็นความถี่ธรรมชาติขณะไม่มีการหน่วงของระบบทางกล, ω_b หรือ $2\pi f$ เป็นความถี่ของระบบทั้งคู่อยู่ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที, K_1 เป็นพารามิเตอร์ของระบบขณะสภาวะ operate , และ M เป็นค่าความเฉื่อยในสมการอันดับสอง

2. หามุมเฟสลาหลัง $\angle G_E$ ระหว่าง u_E กับ e'_q ของระบบทางไฟฟ้าการแปลงทรานเฟอร์ฟังก์ชันระหว่าง u_E กับ e'_q จากภาพที่ 2.10 รวมกับการป้อนกลับของ K_6 จะได้

$$G_E = \frac{K_A K_3}{(1+sT_A)(1+sT'_{d0}K_3) + K_A K_3 K_6} \quad (2.70)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมุมเฟสล่าช้าอาจเขียนได้อีกแบบหนึ่งคือ

$$\text{มุมเฟสล่าช้าของ } G_E = \angle G_E |_{s=j\omega} \quad (2.71)$$

3. การออกแบบมุมเฟสนำหน้า $\angle G_C$ สำหรับชดเชยมุมเฟสล่าช้า $\angle G_E$ เมื่อ $\Delta\omega$ เล็กตามการกระตุ้นเสริมจะได้

$$\angle G_C + \angle G_E = 0, \quad \angle G_E < 0 \quad (2.72)$$

และรูปแบบการแปลง ทรานเฟอร์ฟังก์ชันอย่างง่ายมีรูปแบบดังนี้

$$G_C = \left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2} \right)^k, \quad k=1, \quad T_1 > T_2 \quad (2.73)$$

นั่นเป็นขอบเขตมุมเฟสเซอร์ของบล็อกการชดเชยที่ต้องเตรียมไว้และ T_2 จะต้องไม่มีขนาดเล็กเกินไป สำหรับ T_2 ให้เลือกที่ค่า 0.2 S และ T_1 มีค่าเป็น $10T_2$ S เฟสนำหน้าของแต่ละบล็อกการชดเชยมีค่าเท่ากับ 34° สำหรับ $s = j2\pi$ เรเดียนต่อวินาทีซึ่งเท่ากับ 1 Hz

4. การออกแบบอัตราขยาย K_C สำหรับระบบกระตุ้นช่วย สำหรับการออกแบบตัวควบคุมการกระตุ้น ค่า D_M และ D จากสมการ (2.67) จะไม่นำมาพิจารณาซึ่งเป็นไปเพราะค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง ζ_n จากสมการเฉพาะในรูปปกติมีค่าประมาณ 0.1 ถึง 0.3 เปอร์ยูนิต จากสมการ (2.67) โดยไม่พิจารณาค่า D_M และค่า D เราจะได้

$$D_E \approx 2\zeta_n \omega_n M \quad (2.74)$$

แต่ตามภาพที่ 2.10 แล้วรวมระบบการกระตุ้นเข้าด้วยจะได้

$$D_E = K_C K_2 |G_C|_{s=j\omega_n} |G_E|_{s=j\omega_n} \quad (2.75)$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_c = \frac{2\zeta_n\omega_n M}{K_2|G_c(j\omega_n)||G_e(j\omega_n)|} \quad (2.76)$$

5. การออกแบบบล็อกรีเซตสำหรับ u_E ตัวควบคุมระบบการกระตุ้นควรจะทำงานเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำเท่านั้น และไม่ควรรทำงานในตอนเครื่องกำเนิดอยู่ในสภาวะ steady-state ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$G_{RESET} = \frac{sT}{1+sT} \quad (2.77)$$

ดังนั้นบล็อกรีเซตจึงไม่ควรจะมีผลกระทบใดๆต่อเฟสชิป หรืออัตราขยายที่ความถี่การกำเนิด ซึ่งสามารถทำได้โดยเลือกค่า T ที่มีขนาดมาก ดังนั้น sT จึงมีค่ามากกว่าหนึ่งหน่วยและ

$$G_{RESETs=j\omega_n} \approx 1 \quad (2.78)$$

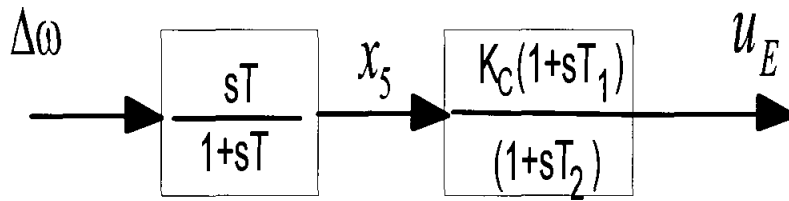
ภาพที่ 2.18 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมระบบกระตุ้นช่วยที่มีบล็อกการชดเชยหนึ่งบล็อกและมีบล็อกรีเซตหนึ่งบล็อก ระบบกระตุ้นช่วยจะไม่ส่งผลใดๆต่อเครื่องกำเนิดในสภาวะ steady-state

$$s\Delta\omega = 0 \quad (2.79)$$

6. การคำนวณค่าไอเกนของระบบโดยขณะมีตัวควบคุมการกระตุ้น u_E และไม่มีตัวควบคุมการกระตุ้น u_E แม้ว่าขั้นตอนนี้จะไม่ใช่ขั้นตอนพัฒนาของตัว PSS แต่ขั้นตอนนี้มีประโยชน์เพื่อใช้หาค่าการหน่วงของระบบที่ความถี่การกำเนิดสำหรับค่าไอเกนปกติที่ความถี่การกำเนิดคือ ω เรเดียนต่อวินาที หรือ $\frac{\omega}{2\pi}$ Hz และสัมประสิทธิ์การหน่วง ζ หาได้จากสมการ (2.80)

$$\zeta = \frac{\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega_n^2}} \quad (2.80)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ตัวควบคุมระบบการกระตุ้นเสริม

2.14 State Equations ของระบบ one-machine infinite bus

การหาค่าไอเกนของสมการระบบจะต้องเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปของสมการ state equations จากสมการอนุพันธ์ อันดับหนึ่งซึ่งตัวแปรทั้งหมดจะอยู่ที่คอลัมเมตริกซ์ที่ชื่อ LHS ของสมการส่วนที่เหลือจะอยู่ที่ RHS ของสมการ

พื้นฐานในการในการตรวจสอบความมีเสถียรภาพของระบบสามารถแสดงได้ด้วยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ small-signal stability สามารถระบุตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระบบได้

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบ Dynamic Systems

1. การแสดง State-Space

พฤติกรรมของระบบ Dynamic Systems เช่น Power System บางครั้งสามารถอธิบายได้ด้วยการใช้สมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2.81)$$

โดย

n คือ จำนวน order ของระบบ

r คือ จำนวนอินพุท ของระบบ

จากสมการข้างบนสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์เมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$\dot{x}_i = f_i(x, u, t) \quad (2.82)$$

โดย

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการ [] เท่านั้น ไม่ [] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวกเตอร์คอลัมน์ x เรียกว่า state vector
 และสมาชิก x_i เรียกว่า state variable
 เวกเตอร์คอลัมน์ u เป็น input ของระบบ เป็นสัญญาณภายนอกซึ่งจะมีอิทธิพล
 ต่อพฤติกรรมของระบบ t คือเวลา

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

ถ้าสมการเชิงอนุพันธ์ของ state variable ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลา สามารถกล่าวได้
 ว่าระบบมีความเป็นอิสระ จากสมการ (2.82) จึงเขียนได้ใหม่เป็น

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (2.83)$$

โดยทั่วไปจะสนใจตัวแปรผลลัพธ์ของระบบ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากระบบ การ
 แสดงผลลัพธ์ในรูปของตัวแปรจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอินพุทของระบบ

$$y = g(x, u) \quad (2.84)$$

เวกเตอร์คอลัมน์ y เป็นเวกเตอร์เอาพุท
 เวกเตอร์คอลัมน์ g เป็นเวกเตอร์ฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับ
 ตัวแปรอินพุทของระบบ state variables จะเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น มุม ความเร็ว
 แรงดันไฟฟ้า

จุดสมดุลจะต้องทำให้สมการเป็นดังนี้

$$f(x_0) = 0 \quad (2.85)$$

x_0 คือ state vector ของ x

ถ้าฟังก์ชันของ f_i ($i=1,2,\dots,n$) ในสมการ (2.83) เป็นเชิงเส้น ระบบก็จะเป็นเชิง
 เส้นด้วย

2. เสถียรภาพของระบบ Dynamic System

เสถียรภาพของระบบที่เป็นเชิงเส้นจะมีความเป็นอิสระจากอินพุท ในทางตรงกัน
 ข้ามระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นความมีเสถียรภาพจะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และสภาวะเริ่มต้นของ
 อินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางทฤษฎีของระบบควบคุม ประเภทของเสถียรภาพในทางปฏิบัติของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น จะมีอยู่ 3 ประเภทคือ

1. เสถียรภาพในบางตำแหน่งหรือเสถียรภาพเมื่อมีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย
2. เสถียรภาพในบริเวณที่จำกัด
3. เสถียรภาพทั้งหมด

เสถียรภาพในบางตำแหน่งหรือเสถียรภาพเมื่อมีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย กรณีนี้สามารถศึกษาได้ด้วยการทำ Linearizing ของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น

3. การทำ Linearization

กระบวนการทำ Linearizing ในสมการ (2.83) คือให้ x_0 เป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ และ u_0 เป็นเวกเตอร์อินพุตตรงจุดสมดุล เมื่อสัญญาณรบกวนเล็กน้อยเข้ามาในระบบ x_0 และ u_0 จะทำให้สมการเป็นดังนี้

$$\dot{x} = f(x_0, u_0) = 0 \quad (2.86)$$

$$x = x_0 + \Delta x$$

$$u = u_0 + \Delta u$$

Δ คือการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
เมื่อแทนลงไปในสมการ (2.83) จะได้

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \dot{x}_0 + \Delta \dot{x} \\ &= f[(x_0 + \Delta x), (u_0 + \Delta u)] \end{aligned} \quad (2.87)$$

ถ้าหากพิจารณาสัญญาณที่เข้ามารบกวนระบบว่ามีขนาดเล็กน้อย ฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น $f(x, u)$ ก็จะสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของอนุกรมเทเลอร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= \dot{x}_{i0} + \Delta \dot{x}_{i0} = f_i[(x_0 + \Delta x), (u_0 + \Delta u)] \\ &= f_i(x_0, u_0) + \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n \\ &\quad + \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial u_r} \Delta u_r \\ \dot{x}_{i0} &= f_i(x_0, u_0) \\ \Delta \dot{x}_i &= \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial u_r} \Delta u_r \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $i=1,2,\dots,n$

ในทำนองเดียวกันในสมการ (2.84) จะได้ว่า

$$\Delta y_j = \frac{\partial g_j}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial g_j}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{\partial g_j}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial g_j}{\partial u_r} \Delta u_r$$

โดย $i=1,2,\dots,m$

ดังนั้นจากการพิจารณาในสมการ (2.83) และ (2.84) ว่าเป็นสมการเชิงเส้น จึงสามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\Delta \dot{x} = A\Delta x + B\Delta u \quad (2.88)$$

$$\Delta y = C\Delta x + D\Delta u \quad (2.89)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial u_r} \end{bmatrix}$$

(2.90)

$$C = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial u_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_m}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_m}{\partial u_r} \end{bmatrix}$$

Δx เป็น state vector มีขนาด n

Δy เป็นเวกเตอร์เอาพุทมีขนาด m

Δu เป็นเวกเตอร์อินพุทมีขนาด r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

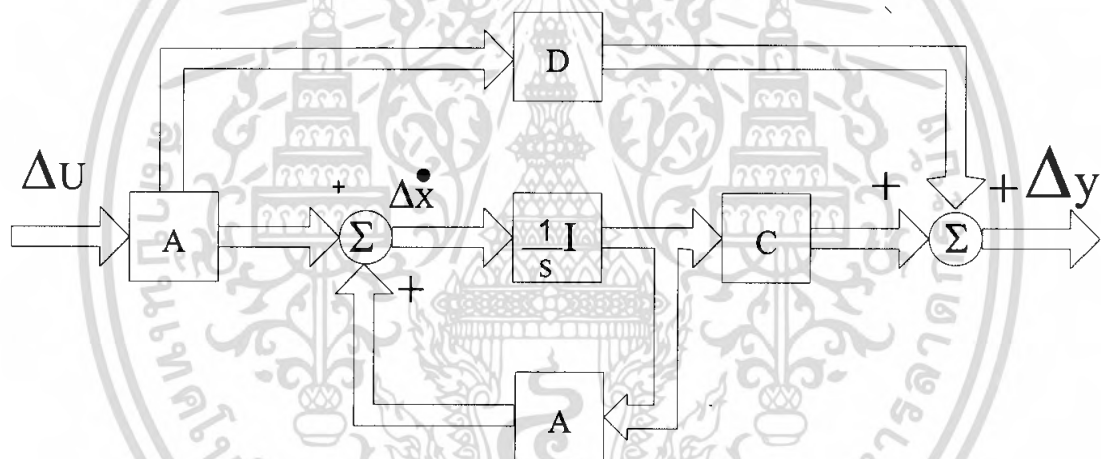
- A เป็นเมตริกซ์ของระบบ มีมิติ $n \times n$
 B เป็นตัวควบคุม หรืออินพุทของระบบ มีมิติ $n \times r$
 C เป็นเมตริกซ์เอาพุท มีมิติ $m \times n$
 D เป็นเมตริกซ์ที่เป็นสัดส่วนกันอินพุทซึ่งจะไปปรากฏในเอาพุท มีมิติ $m \times r$

ทำการ Laplace สมการ (2.88) และ (2.89) จะได้สมการในรูปของโดเมนความถี่

$$s\Delta x(s) - \Delta x(0) = A\Delta x(s) + B\Delta u(s) \quad (2.91)$$

$$\Delta y(s) = C\Delta x(s) + D\Delta u(s) \quad (2.92)$$

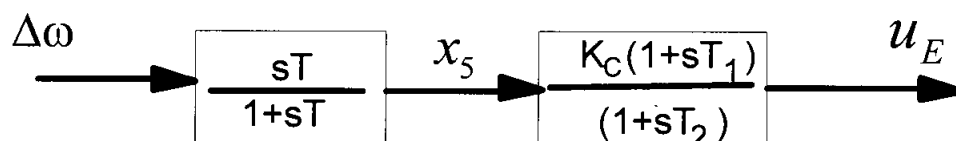
จากสมการเบื้องต้นสามารถแปลงเป็น Block Diagram ได้ดังนี้



ภาพที่ 2.19 Block Diagram ของสมการ State Space

สำหรับระบบที่ไม่มีการควบคุมอาจเขียน state equation ได้ดังนี้

$$\dot{x} = Ax, \quad u_E = 0 \quad (2.93)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ x คือ สเตทเวกเตอร์ตัวแปร และ A เป็นเมตริกซ์ระบบ state equation ของ one-machine infinite bus ดังในภาพที่ 2.10 อาจเขียนได้ดังนี้

$$Ms\Delta\omega = -\Delta T_e = -(K_1\Delta\delta + K_2\Delta e'_q)$$

$$s\Delta\delta = \omega_b\Delta\omega$$

$$(1 + sT'_{d0}K_3)\Delta e'_q = K_3(-K_4\Delta\delta + \Delta E_{FD})$$
(2.94)

$$(1 + sT'_A)\Delta E_{FD} = K_A(u_E - \Delta v_t) = K_A(u_E - K_5\Delta\delta - K_6\Delta e'_q)$$

เมื่อ $s\Delta\omega$, $s\Delta\delta$, $s\Delta e'_q$ และ $s\Delta E_{FD}$ สอดคล้องกับ $\Delta\dot{\omega}$, $\Delta\dot{\delta}$, $\Delta\dot{e}'_q$ และ $\Delta\dot{E}_{FD}$ ตามลำดับ เวกเตอร์ตัวแปรสเตทสามารถเขียนได้ดังนี้

$$x = [\Delta\omega, \Delta\delta, \Delta e'_q, \Delta E_{FD}]^T$$
(2.95)

หรือสามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\omega} \\ \Delta\dot{\delta} \\ \Delta\dot{e}'_q \\ \Delta\dot{E}_{FD} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix}$$
(2.96)

เราจะได้

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 \\ \omega_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_4}{T'_{d0}} & \frac{-1}{(T'_{d0}K_3)} & \frac{-1}{T'_{d0}} \\ 0 & \frac{-K_A K_5}{T_A} & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{1}{T_A} \end{bmatrix}$$
(2.97)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบที่มีตัวควบคุมระบบการกระตุ้น u_E สมการของระบบสามารถเขียนได้เป็น

$$\dot{x} = Ax + Bu_E = A_c x \quad (2.98)$$

เมื่อ B เป็นเมตริกซ์ของตัวควบคุม u_E เป็นเมตริกซ์ระบบการกระตุ้นเสริมและ A_c เป็นเมตริกซ์ระบบควบคุมถ้าตัวควบคุมเสริมมีรูปแบบดังภาพที่ 2.20 สภาวะของสมการจะเป็น

$$(1 + sT)x_5 = sT\Delta\omega \quad (2.99)$$

$$(1 + sT_2)u_E = K_c(1 + sT_1)x_5$$

จะได้เวกเตอร์ตัวแปรสแตทใหม่เป็น

$$x = [\Delta\omega, \Delta\delta, \Delta e_q', \Delta E_{FD}, x_5, u_E]^T \quad (2.100)$$

และเมตริกซ์ระบบควบคุมจะกลายเป็น

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 & 0 & 0 \\ \omega_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_4}{T_{d0}} & \frac{-1}{(T_{d0}K_3)} & \frac{-1}{T_{d0}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_A K_5}{T_A} & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{1}{T_A} & 0 & \frac{K_A}{T_A} \\ 0 & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 & \frac{-1}{T} & 0 \\ 0 & \frac{-K_c K_1 T_1}{MT_2} & \frac{-K_c K_2 T_1}{MT_2} & 0 & \frac{K_c}{T_2} \left(1 - \frac{T_1}{T_3}\right) & \frac{-1}{T_2} \end{bmatrix} \quad (2.101)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2-3 ออกแบบระบบการกระตุ้นช่วย PSS สำหรับระบบ one-machine infinite bus ใช้ $\Delta\omega$ ควบคุมเป็นอินพุต และ ω_n สำหรับออกแบบ ระบบที่ออกแบบ เหมือนกับในภาพที่ 2.10 และข้อมูลที่กำหนดให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ยกเว้นค่า M และ ค่าคงที่ทางเวลาในหน่วยวินาที

$$\begin{aligned} \text{เครื่องกำเนิด} & : M = 9.26, & T'_{d0} &= 7.76, & D &\approx 0 \\ & & x_d &= 0.973, & x'_d &= 0.190, & x_q &= 0.550 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระบบการหน่วง} & : K_A = 50, & T_A &= 0.05 \\ \text{สายส่งและโหลด} & : R = -0.034, & X &= 0.997, G = 0.249, & B &= 0.262 \\ \text{แรงเฉื่อย} & : P_{e0} = 1.0, & Q_{e0} &= 0.015, & v_{r0} &= 1.05, \end{aligned}$$

ออกแบบระบบการกระตุ้นช่วยและเปรียบเทียบค่าไอเกนของระบบที่มีตัวควบคุมระบบการ กระตุ้นเสริมกับระบบที่ไม่มีตัวควบคุมที่ความถี่ของระบบเท่า 60 Hz

ผลเฉลย ค่าเริ่มต้นของส่วนประกอบแกน d และ q ของกระแส แรงต้นและมุมของ แรงบิดจากค่าเริ่มต้นในสภาวะ steady state หาได้จากสมการ (2.50) และ (2.52) จะได้ $v_{d0} = 0.4659, v_{q0} = 0.9410, i_{d0} = 0.4354, i_{q0} = 0.8471, e'_{q0} = 1.024, v_0 = 1.051, \delta_0 = 68.01^\circ$

หาค่าคงที่ K จากสมการ (2.39), (2.42) และ (2.45)

$$K_1 = 0.5441, K_2 = 1.2067, K_3 = 0.6584, K_4 = 0.6981, K_5 = -0.0955, K_6 = 0.8159$$

สำหรับการออกแบบระบบการกระตุ้นเสริมพบว่าบล็อกเพียงบล็อกเดียวก็สามารถชดเชย แรงบิดได้เพียงพอ

$$\zeta_n = 0.3, T_2 = 0.1, T = 3.0$$

ผลที่ได้

$$\omega_n = 4.707 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \angle G_E = -47.57^\circ, |G_E| = 1.001$$

$$T_1 = 0.6851 \text{ s } K_C = 7.09$$

เมตริกซ์ ระบบ A ของสมการ (2.96) สำหรับระบบที่ไม่มีตัวควบคุมและเมตริกซ์ระบบ ควบคุม A_C ใช้สมการ (2.101) ใช้หาค่าไอเกนของระบบผลที่ได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 2.5 ค่าไอเกนของเครื่องกำเนิดขณะที่มีและไม่มี PSS

System model	with out PSS	with PSS
Mechanical	$0.195 \pm j4.96$	$-1.127 \pm j4.33$
Electrical	$-10.393 \pm j3.287$	$-4.618 \pm j7.483$
Control	-	$-0.3439 \pm j15.426$

ระบบที่ไม่มีระบบการกระตุ้นเสริม ค่าไอเกนจะมีส่วนของจำนวนจริงบวก ทำให้ค่าการหน่วงมีค่าเป็นลบและเป็นผลให้ระบบไม่เสถียรภาพ ตัวควบคุมระบบกระตุ้นเสริม PSS สามารถปรับเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการเพิ่มระบบการกระตุ้นเสริมซึ่งทำให้ค่าการหน่วงทางกลใหม่เป็น

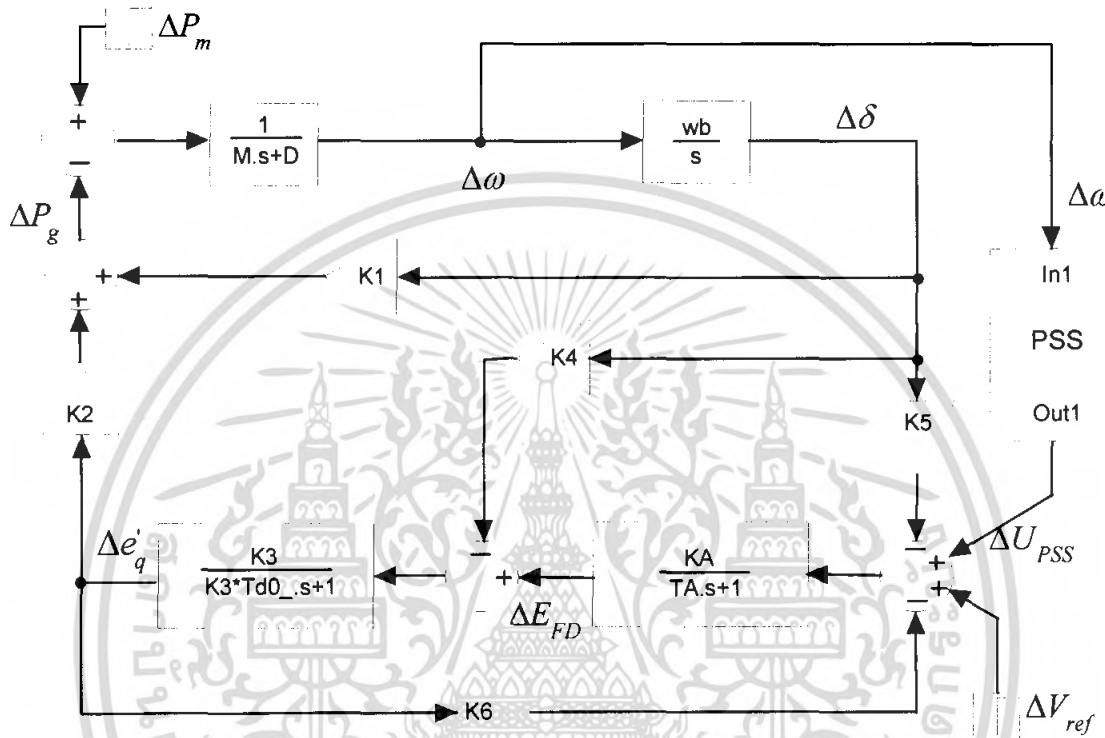
$$\zeta_n = \frac{1.127}{\sqrt{1.127^2 + 4.33^2}} = 0.252$$

ค่าไอเกนใหม่จะมีค่าหลากหลาย ณ เวลาหนึ่งโดยเริ่มที่ระบบทางกลที่ซึ่งเป็นระบบอันดับสองและความถี่ธรรมชาติขณะไม่มีการหน่วงในระบบทางกล ω_n จะมีค่าเท่ากับ 4.707 เรเดียนต่อวินาที ขึ้นต่อไปคำนวณหาค่าไอเกน จากระบบอันดับสี่จากภาพที่ 2.10 ที่ไม่มี PSS ค่าไอเกนจะปรากฏขึ้นแสดงในตารางเพราะว่าการส่งผลกระทบต่อกันทางไดนามิกส์ ระหว่างระบบทางกลกับระบบทางไฟฟ้าค่าไอเกนของระบบทางกลจะเปลี่ยนค่าจาก $\pm j4.707$ กลายเป็น $0.295 \pm j4.96$ ขั้นตอนสุดท้ายคำนวณหาค่าไอเกนของระบบทั้งหมดรวมทั้งระบบกระตุ้นเสริม PSS ซึ่งทำให้ระบบเป็นอันดับหกดังนั้นจะมีไอเกนมากกว่าสองเกิดขึ้น ความถี่ของระบบทางกลกับระบบทางไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนในการคำนวณค่าไอเกนระหว่างระบบอันดับสี่และระบบอันดับหก ดังนั้นจึงมีค่าไอเกนเกิดขึ้นมาใหม่ในส่วนขอระบบควบคุม

บทที่ 3

ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมและผลการทดลอง

3.1 สมการ State Space ของระบบ



ภาพที่ 3.1 การจำลองระบบ single-machine infinite bus

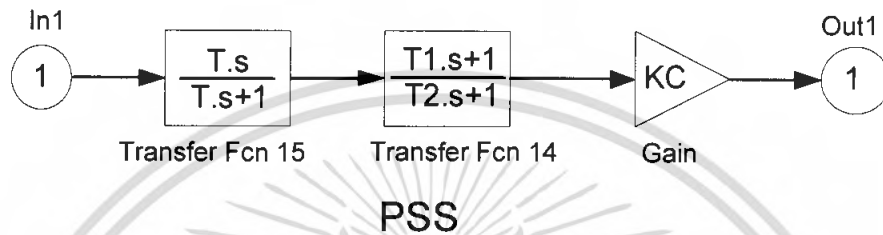
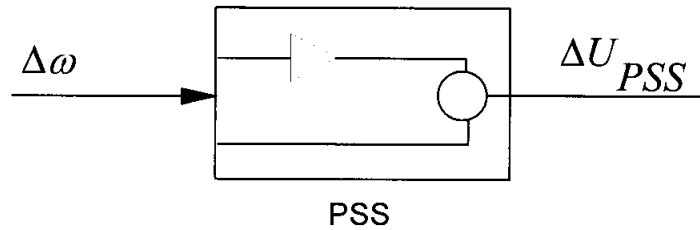
จากระบบในภาพที่ 3.1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ หรือสมการ state space ได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ระบบไม่มีตัว PSS

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 \\ \omega_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_4}{T_{d0}} & \frac{-1}{(T_{d0}K_3)} & \frac{-1}{T_{d0}} \\ 0 & \frac{-K_A K_5}{T_A} & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{1}{T_A} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรณีที่ระบบมี PSS



ภาพที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของ PSS

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 & 0 & 0 \\ \omega_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_4}{T_{d0}} & \frac{-1}{(T_{d0}K_3)} & \frac{-1}{T_{d0}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_A K_5}{T_A} & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{1}{T_A} & 0 & \frac{K_A}{T_A} \\ 0 & \frac{K_1}{M} & \frac{K_2}{M} & 0 & \frac{-1}{T} & 0 \\ 0 & \frac{K_C K_1 T_1}{M T_2} & \frac{K_C K_2 T_1}{M T_2} & 0 & \frac{K_C}{T_2} \left(1 - \frac{T_1}{T_3}\right) & \frac{-1}{T_2} \end{bmatrix}$$

จะพบว่าเมื่อระบบมีการเพิ่ม PSS เข้ามาจะทำให้เมตริกซ์ [A] เปลี่ยนซึ่งก็จะส่งผลต่อความมีเสถียรภาพของระบบ

3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ

$$3.2.1 \text{ minimum } \left| \zeta_{actual} - \zeta_{design} \right|$$

3.2.2 ขอบเขตของ T_1

$$T_{1\min} \leq T_1 \leq T_{1\max}$$

3.2.3 ขอบเขตของ T_2

$$T_{2\min} \leq T_2 \leq T_{2\max}$$

3.2.4 ขอบเขตของ K_C

$$K_{c\min} \leq K_c \leq K_{c\max}$$

3.3 กระบวนการหาค่าของ GA

วิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) John Holland ได้นำเสนอแนวคิดของวิธีพันธุกรรม (Genetic algorithm) ในปี ค.ศ. 1975 ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าสิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งคุณลักษณะที่ดีและไม่ดี ซึ่งคุณลักษณะที่ดีก็ย่อมมีโอกาสอยู่รอดและจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นลูกหลานได้มากกว่า เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น สำหรับวิธีพันธุกรรมเมื่อนำมาใช้กับการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problem) ก็อาศัยหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้คำตอบในรุ่น (Generation) ต่อไป มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดีขึ้น

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับแล้วว่า วิธีพันธุกรรมเป็นวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งได้ประยุกต์ใช้กับการแก้ไขปัญหามานานหลายปี

วิธีพันธุกรรม จะนำเสนอข้อมูลหรือคำตอบในรูปของโครโมโซม (Chromosome) ในแต่ละโครโมโซม จะประกอบด้วยบิต (bit) เรียกว่า ยีน (Gene) โดยจะทำการคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมจากกลุ่มของโครโมโซมทั้งหมด และนำโครโมโซมเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือกที่เลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม เพื่อหาโครโมโซมที่มีความเหมาะสมในการอยู่รอด โดยใช้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธีพันธุกรรม แสดงไว้ในภาพที่ 3.3 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรเริ่มต้นในรูปของโครโมโซม โดยการสุ่มเลือกจากประชากรต้นแบบ

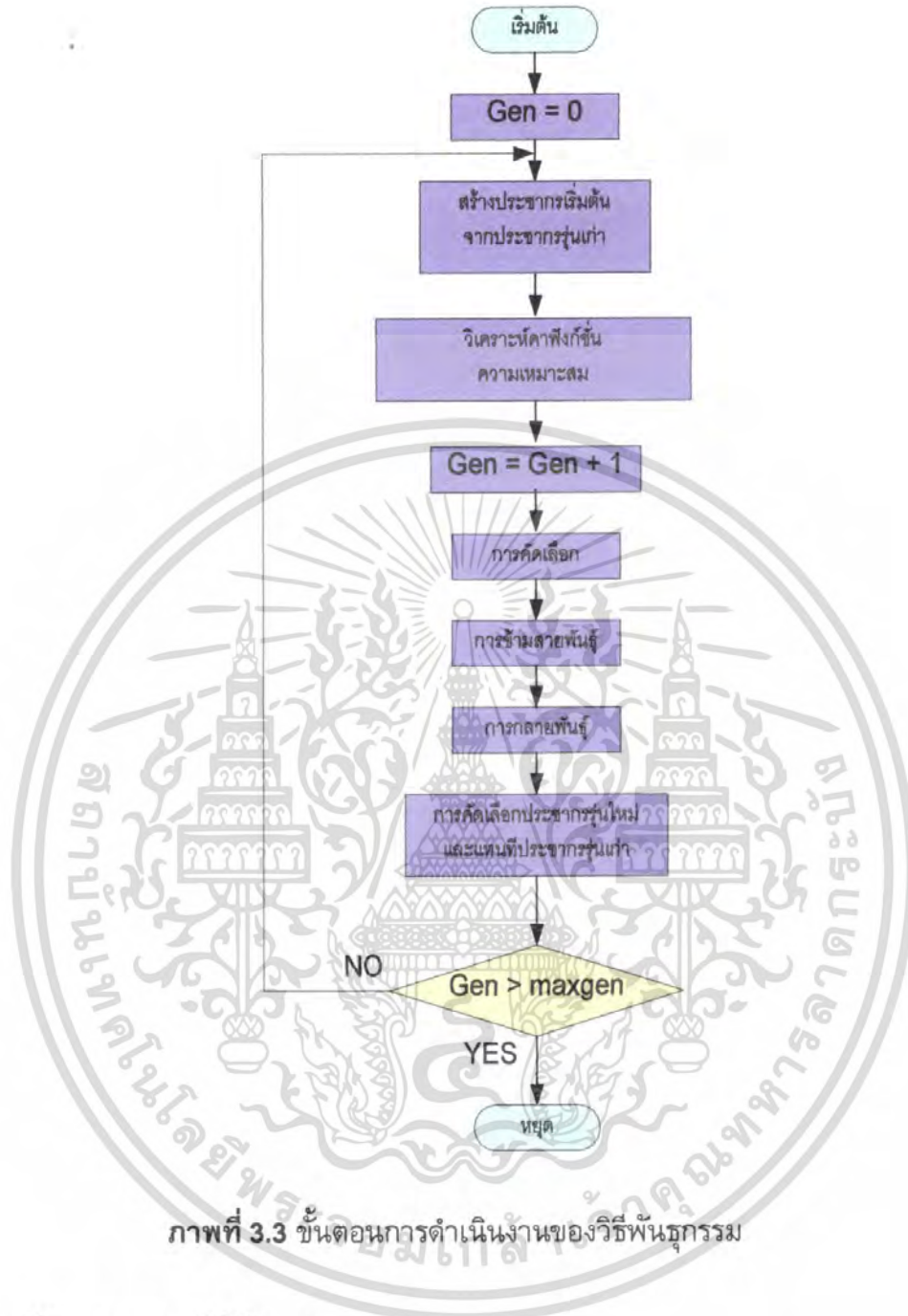
ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์หาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือก (Re-production) อ้างอิงจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสม โดยพิจารณาว่าโครโมโซมใดมีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดี จะถูกกำหนดน้ำหนักความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) ทำโดยการกำหนดค่าสุ่มให้แก่โครโมโซมที่ถูกเลือกมาทั้งหมด โครโมโซมใดที่มีค่าสุ่มน้อยกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ จะถูกนำไปจับคู่เป็นโครโมโซมพ่อแม่ แล้วมีการแลกเปลี่ยนบางส่วนของโครโมโซมทั้งสองเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูก

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) ทำโดยการเปลี่ยนค่าของโครโมโซมบางตำแหน่งเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 6 แทนที่ประชากร (Replacement) ประชากรรุ่นใหม่เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนวิวัฒนาการต่างๆ ข้างต้นจะถูกนำไปแทนที่ประชากรรุ่นก่อนหน้า และถูกนำไปเข้ากระบวนการวิวัฒนาการใหม่ โดยกระบวนการต่างๆจะถูกปฏิบัติซ้ำๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่ต้องการ



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีพันธุกรรม

3.4 องค์ประกอบของวิธีพันธุกรรม

องค์ประกอบที่สำคัญของวิธีพันธุกรรมมีอยู่ด้วยกัน 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

3.4.1 รูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding)

การถอดรหัส หรือการได้มาซึ่งโครโมโซม คือ ปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้วิธีพันธุกรรมในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหา ดังนั้นรูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ ที่นิยมจะแสดงในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary) โดยทุกตำแหน่งของยีนดีในโครโมโซมจะมีค่าเป็นบิต มีค่า เป็น 0 หรือ 1 ตัวอย่างเช่น

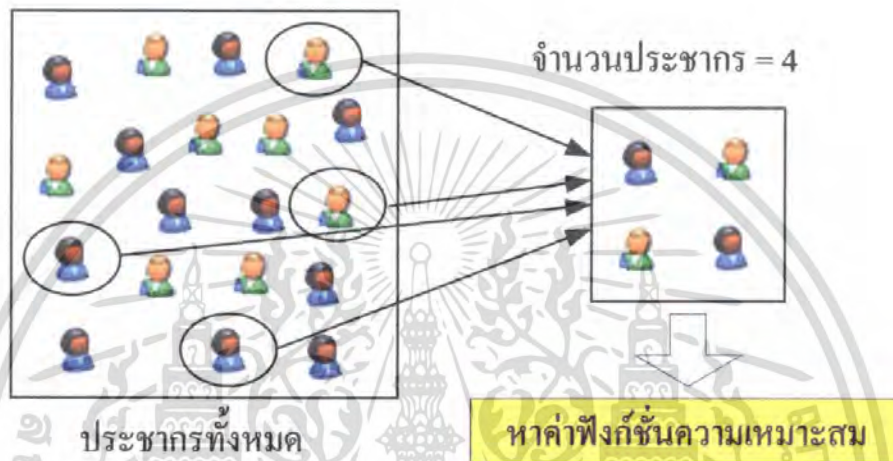
โครโมโซม A : 1000011100

โครโมโซม B : 1100010001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ประชากรต้นกำเนิด (Initial Population)

เป็นการกระทำอันดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของวิธีพันธุกรรมประชากรที่เกิดจากการสุ่ม (Random) ดังภาพที่ 3.4 เพื่อนำประชากรเข้าไปในกระบวนการในการสุ่มจะต้องสุ่มให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม



ภาพที่ 3.4 การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม

3.4.3 ค่าฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function)

โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องมีการให้ค่าความเหมาะสมกับแต่ละโครโมโซมเพื่อนำค่าความเหมาะสมไปพิจารณา โดยใช้สมการหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่สอดคล้องกับปัญหา สรุปได้ว่า ค่าฟังก์ชันความเหมาะสม คือ ตัวที่ใช้ประเมินว่าแต่ละโครโมโซมนั้น มีความเหมาะสม หรือสามารถใช้เป็นคำตอบของปัญหาได้ดีเพียงใด ตัวอย่างของฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม เช่น

ค่าความเหมาะสม = จำนวนของบิต 1 ทั้งหมดในโครโมโซม

โครโมโซม A : 1 0 0 1 1 1 0 0

ค่าฟังก์ชันความเหมาะสม ของโครโมโซม

A คือ 4

โครโมโซม B : 1 1 0 1 1 1 0 0 1

ค่าฟังก์ชันความเหมาะสม ของโครโมโซม

B คือ 6

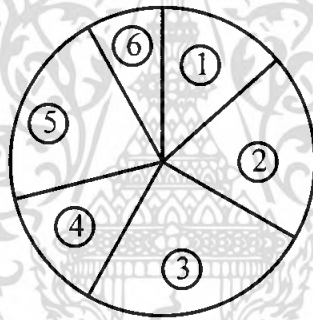
3.4.4 การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator)

กล่าวได้ว่าการดำเนินการทางพันธุกรรมเป็นหัวใจสำคัญของวิธีพันธุกรรม ซึ่งมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ มี 3 ส่วน ดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.1 การคัดเลือก (Selection)

ในการคัดเลือกโครโมโซม เพื่อที่จะนำมาเป็นพ่อแม่ (Parent) ในการสืบสายพันธุ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไร ให้เกิดจากคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจเพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธุ์ เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette wheel) การคัดเลือกแบบจัดลำดับ (Ranking) และ การคัดเลือกแบบ elitist การคัดเลือกแต่ละวิธี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.4.1.1 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต นั่นคือโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดีกว่ามีโอกาสถูกเลือกมากกว่า อธิบายได้จากภาพที่ 3.4 เมื่อแสดงถึงวงล้อเสี่ยงโชคที่โครโมโซมทั้งหมดอาศัยอยู่ ขนาดพื้นที่ของวงล้อเสี่ยงโชคคือสัดส่วนของค่าความเหมาะสมที่เหมาะสมของทุกโครโมโซม ค่าที่มากที่สุดคือ ส่วนที่ใหญ่ที่สุดตามตัวภาพที่ 3.4 เมื่อมีการหมุนวงล้อ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกได้บ่อย



ภาพที่ 3.5 สัดส่วนของค่าฟังก์ชันความเหมาะสมในรูปร่างวงล้อรูเล็ต

3.4.4.1.2 การคัดเลือกแบบจัดลำดับ ทำโดยเลือกประชากรเรียงลำดับตามค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยที่ไม่สนใจประชากรตัวอื่นเลย

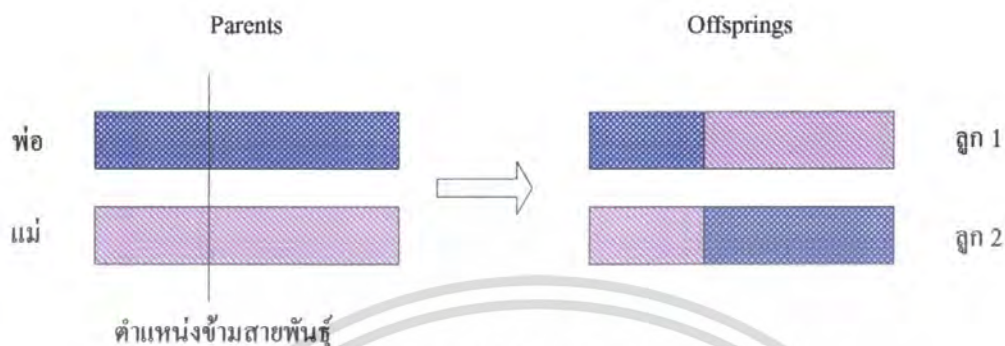
3.4.4.1.3 การคัดเลือกแบบ elitist ทำโดยการคัดลอกโครโมโซมที่ดีที่สุดไว้ก่อน ส่วนประชากรส่วนที่เหลือจะต้องคัดเลือกจะใช้วิธีการเลือกแบบอื่น ๆ

3.4.4.2 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

เป็นกระบวนการที่สำคัญของวิวัฒนาการ ซึ่งเมื่อเกิดการข้ามสายพันธุ์ขึ้นในทางพันธุศาสตร์แล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายขึ้น ซึ่งการข้ามสายพันธุ์จะต้องอาศัยกระบวนการวิวัฒนาการที่เป็นเวลานาน ขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์ ทำได้โดยนำ 2 โครโมโซม (parent) มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมาวิธีการที่ง่ายที่สุดคือ สุ่มตำแหน่งของการข้ามสายพันธุ์ และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งของพ่อและคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมาจากนั้นทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งของแม่และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งของพ่อรวมกัน
จะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมา ดังแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การข้ามสายพันธุ์

3.4.4.3 การกลายพันธุ์ (Mutation)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการข้ามสายพันธุ์เสร็จสิ้น นั้นหมายความว่าได้รับลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้ว จึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุ์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้เกิดลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น และทำให้เกิดวิวัฒนาการ ขั้นตอนในการกลายพันธุ์ เมื่อได้ตำแหน่งการกลายพันธุ์แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้น ถ้าโครโมโซมอยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง จะมีการเปลี่ยนที่เป็นไปได้จาก 1 เป็น 0 หรือ จาก 0 เป็น 1 ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การกลายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ผลการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Matlab

โปรแกรมที่ใช้การหาค่าตัวแปรต่างๆในเมตริกซ์ [A]

% Generator

M=9.26; Td0_=7.76; D=0; xd=0.973; xd_=0.190; xq=0.55;

%Excitation

KA=50; TA=0.05;

%Line and Load

R=-0.034;X=0.997;G=0.249;B=0.262;

%Initial State

Pe0=1.0; Qe0=0.015; vt0=1.05;

%This is constant. Can find from data above

$vd0 = Pe0 * vt0 / \sqrt{(Pe0^2 + (Qe0 + (vt0^2 / xq))^2)}$;

$vq0 = \sqrt{vt0^2 - vd0^2}$;

$iq0 = vd0 / xq$;

$id0 = (Pe0 - iq0 * vq0) / vd0$;

$eq_ = vq0 + xd_ * id0$;

$C1 = 1 + R * G - X * B$; $C2 = X * G + R * B$;

$vod = C1 * vd0 - C2 * vq0 - R * id0 + X * iq0$;

$voq = C2 * vd0 + C1 * vq0 - R * iq0 - X * id0$;

$vo = \sqrt{vod^2 + voq^2}$;

$del0_rad = \text{atan}(vod / voq)$;

$del0_deg = \text{atan}(vod / voq) * (180 / \pi)$;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R1=R-C2*xd_; \quad X1=X+C1*xq;$$

$$X2=X+C1*xd_; \quad R2=R-C2*xq;$$

$$Ze_p2=R1*R2+X1*X2;$$

$$Yd=(C1*X1-C2*R2)/Ze_p2; \quad Yq=(C1*R1+C2*X2)/Ze_p2$$

$$Fd=(vo/Ze_p2)*(-R2*\cos(\text{del}0_rad)+X1*\sin(\text{del}0_rad));$$

$$Fq=(vo/Ze_p2)*(X2*\cos(\text{del}0_rad)+R1*\sin(\text{del}0_rad));$$

$$K1=Fd*(xq-xd_)*iq0+Fq*(eq_+(xq-xd_)*id0)$$

$$K2=iq0+Yd*(xq-xd_)*iq0+Yq*(eq_+(xq-xd_)*id0)$$

$$K3=1/(1+(xd-xd_)*Yd)$$

$$K4=(xd-xd_)*Fd$$

$$K5=Fd*(-xd_ *vq0/vt0)+Fq*(xq*vd0/vt0)$$

$$K6=vq0/vt0+Yd*(-xd_ *vq0/vt0)+Yq*(xq*vd0/vt0)$$

$$\text{constant_K}=[K1 \ K2 \ K3 \ K4 \ K5 \ K6]$$

ค่าของเมตริกซ์ A กรณีที่ไม่มี PSS

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -0.0588 & -0.1303 & 0 \\ 377.0689 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0900 & -0.1957 & 0.1289 \\ 0 & 95.5000 & -815.9000 & -20.0000 \end{bmatrix}$$

ค่าไอเกน (λ) ของเมตริกซ์ A คือ

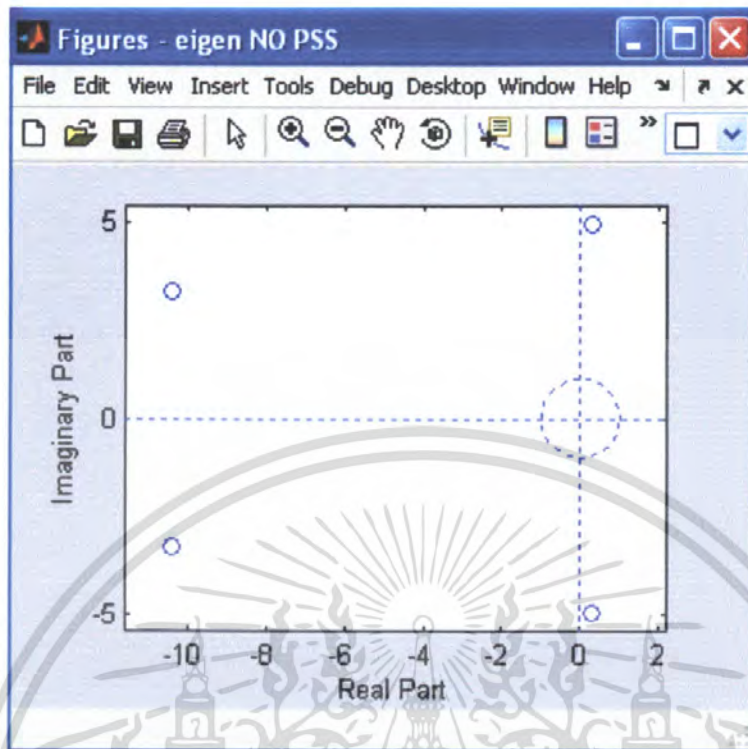
$$0.2950 + 4.9598i$$

$$0.2950 - 4.9598i$$

$$-10.3929 + 3.2831i$$

$$-10.3929 - 3.2831i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 ตำแหน่งของไอเกน กรณีที่ไม่มี PSS

จากการพิจารณาพบว่าค่าของ λ มีส่วนจริงที่เป็นบวกซึ่งจะส่งผลให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ

$$\lambda = \sigma + j\omega$$

สามารถหาค่าของ damping coefficient (ζ) ได้ตามสมการ

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}}$$

ดังนั้นค่าเดมปีงของระบบ คือ

-0.0594

-0.0594

0.9536

0.9536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระบบที่มีเสถียรภาพค่าของ ζ จะมีค่าเป็นบวก โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของการแดมป์จะอยู่ระหว่าง $0 \leq \zeta \leq 1$ ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพ ในกรณีนี้จะใช้ GA ช่วยในการหาค่าตัวแปรต่างๆเพื่อที่จะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพ

โปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ระบบมีความเสถียรภาพ

```
function [sol, val] = chai_ExpSSGA(sol,options)
    T1=sol(1);T2=sol(2);KC=sol(3);
    M=9.26; Td0_=7.76; D=0;
    %Excitation
    KA=50; TA=0.05;
    %Constant K
    K1=0.5441; K2=1.2067; K3=0.6584;
    K4=0.6981; K5=-0.0955; K6=0.8159;

    wn=4.707; %from page 6
    wb=wn^2*M/K1; %from page 3 equation (5)
    T=2;
    % This is matrix from sh_matrix.m
    A=[-D/M -K1/M -K2/M 0 0 0;
    wb 0 0 0 0 0;
    0 -K4/Td0_ -1/(Td0_*K3) 1/Td0_ 0 0;
    0 -KA*K5/TA -KA*K6/TA -1/TA 0 KA/TA;
    -D/M -K1/M -K2/M 0 -1/T 0;
    -D*T1*KC/(M*T2) -KC*K1*T1/(M*T2) -KC*K2*T1/(M*T2) 0 (KC/T2)*(1-T1/T) -1/T2];
    [V,D] = eig(A);
    W=inv(V);
    P1=V.*W.';
    Eigen_Value=D;
    Right_Vector=V;
    Left_vector=W;
    P=abs(P1);
    Pa=max(P(1,:));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if P(1,1)==Pa
    k=1;
elseif P(1,2)==Pa
    k=2;
elseif P(1,3)==Pa
    k=3;
elseif P(1,4)==Pa
    k=4;
elseif P(1,5)==Pa
    k=5;
elseif P(1,6)==Pa
    k=6;

end
E=eig(A);
%eig a
dama=abs(real(E(k,1)));
reala=real(E(k,1));
dam_a=abs(E(k,1));
%damping
dam=(dama)/(dam_a);
e=0.4-dam;
%Objective function damping
if e>0;
    vala=abs(10*e);
elseif e<0;
    vala=abs(10*e);
else
    vala=0;
end
val=-vala;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%PSS T1,T2,Kc Optimation
%STEP 1:initialization
bound=[0.0001 1;0.0001 1;1 10];
initPop=initializega(150,bound,'chai_ExpSSGA');
%plot (initPop(:,1),initPop(:,2),'g+')

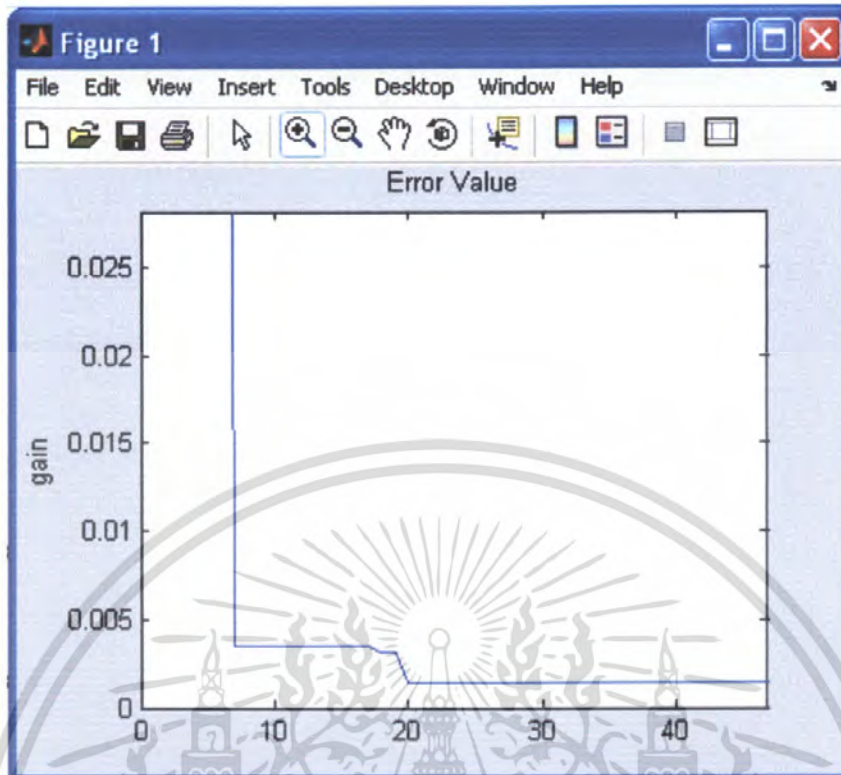
%STEP 2: run the ga for 100 generations
bound=[0.00001 1;0.00001 1;0.1 100];
[TK endPop bPop CK] = ga(bound,'chai_ExpSSGA',[],initPop,[1e-6 1 1],...
    'maxGenTerm',1500,'normGeomSelect',[0.08],['arithXover'],[2],...
    'multiNonUnifMutation',[2 25 3]);

%STEP3: Printing and Plotting
%plot (endPop(:,1),endPop(:,2),'y*');
disp('    T1    T2    KC    Error');
disp( TK );
%Plotting

%figure(1)
%plot(Fit,'b')
plot(CK(:,1),(abs(CK(:,2))),'b')
title('Error Value'),ylabel('gain');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 การหาค่าของ GA เพื่อให้ได้ ζ ตามที่ต้องการ

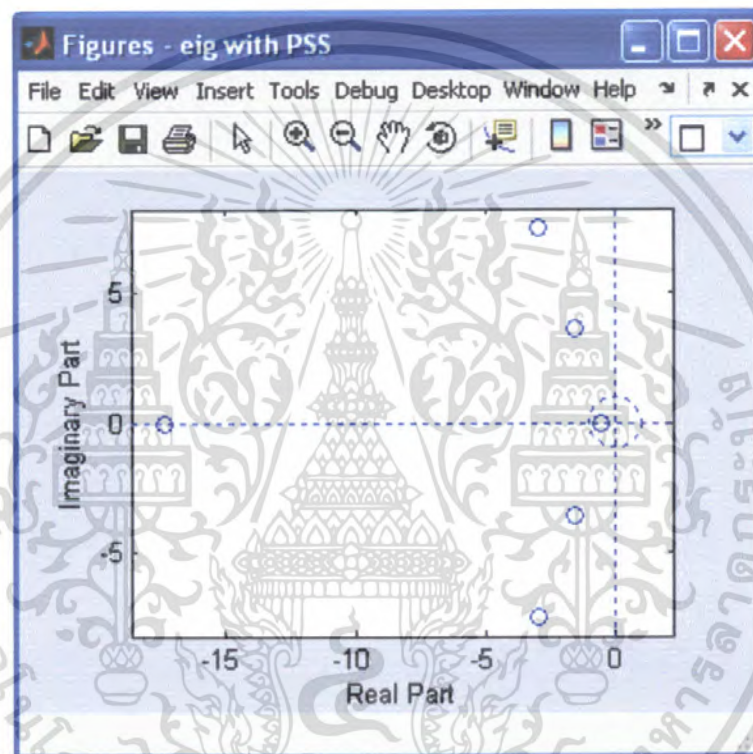
จากภาพที่ได้ GA สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆ ตามขอบเขตและเงื่อนไขที่ตั้งไว้ได้
อย่างรวดเร็ว
ค่าของเมตริกซ์ A กรณีที่มี PSS

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -0.1 & -0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 377.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1 & -0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 95.5 & -815.9 & -20 & 0 & 1000 \\ 0 & -0.1 & -0.1 & 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & -2.7 & -6 & 0 & 34.1 & -6.2 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไอเกน (λ) ของเมตริกซ์ A คือ

-17.3600
 -2.9310 + 7.5095i
 -2.9310 - 7.5095i
 -1.5940 + 3.6524i
 -1.5940 - 3.6524i
 -0.5094



ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งของไอเกน กรณีที่มี PSS

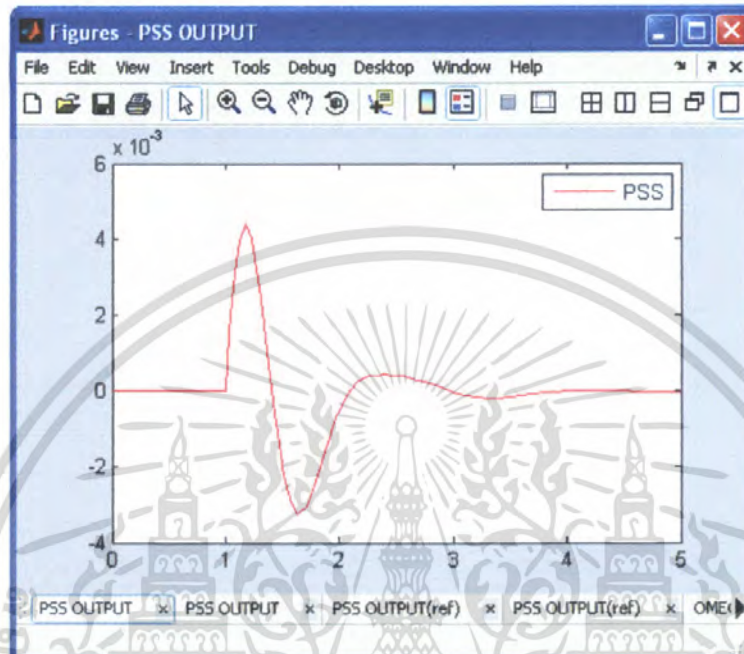
จากภาพที่ได้พบว่าเมื่อมีการใช้ PSS เข้าไปควบคุมระบบจะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพ

แอมป์ปิงของระบบกรณีที่มี PSS คือ

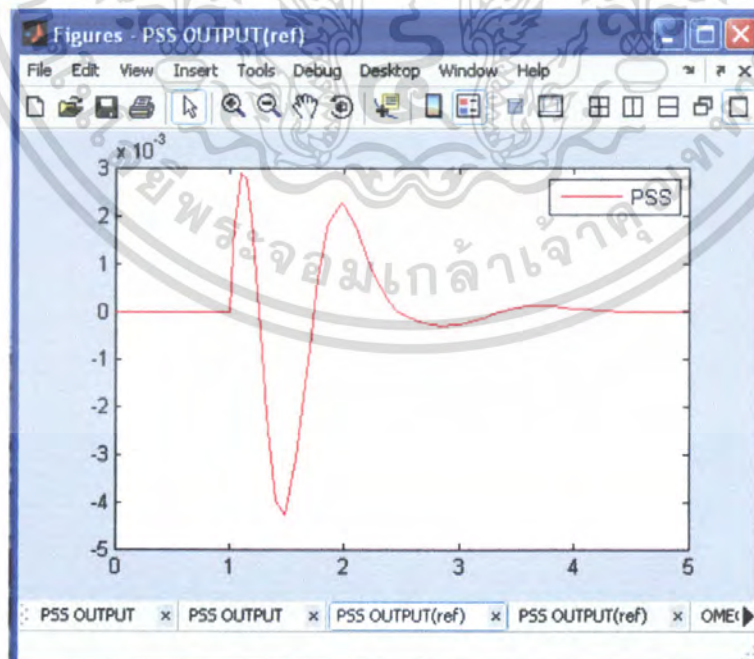
1.0000
 0.3636
 0.3636
 0.4000
 0.4000
 1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาพบว่าระบบที่มีการเพิ่ม PSS เข้าไปช่วยในการควบคุมจะทำให้ค่าของ ζ มีค่าสูงขึ้น
กราฟแสดงผลการทดลอง

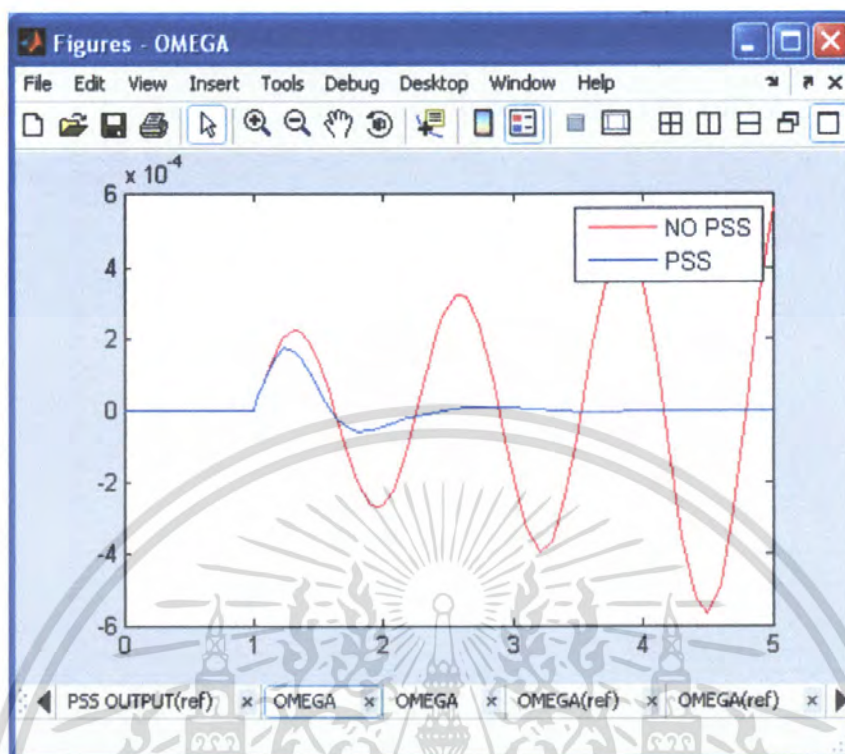


ภาพที่ 3.11 สัญญาณที่ออกจาก PSS

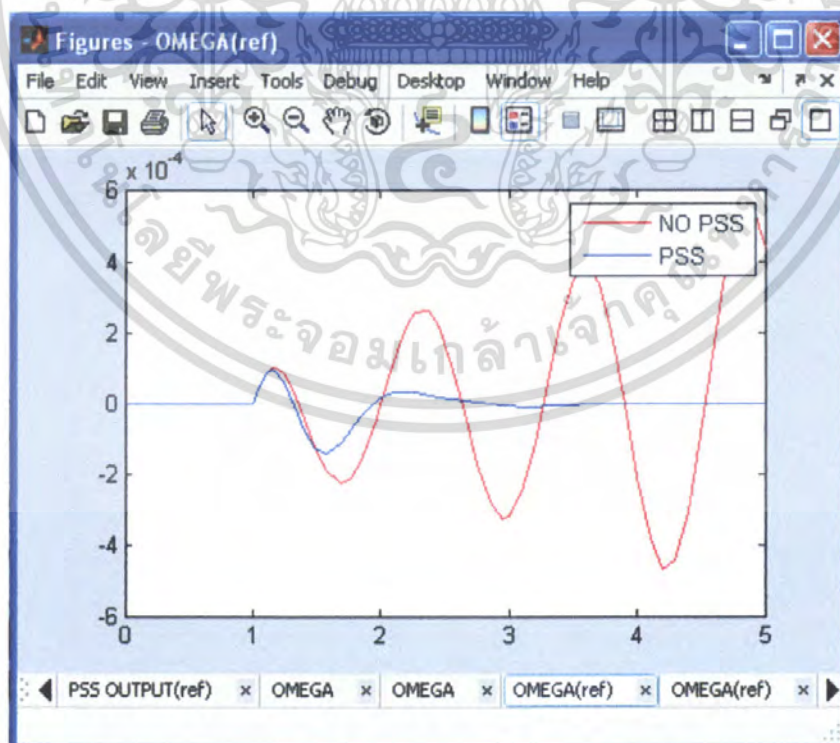


ภาพที่ 3.12 การเปรียบเทียบสัญญาณที่ออกจาก PSS โดยมี V_{ref}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

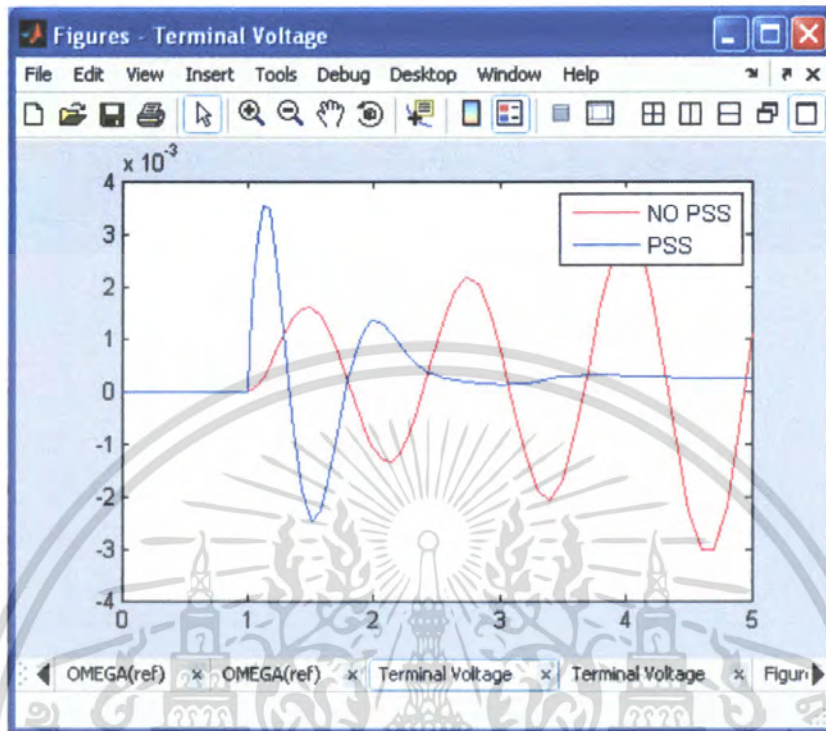


ภาพที่ 3.13 การเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณ $\Delta\omega$

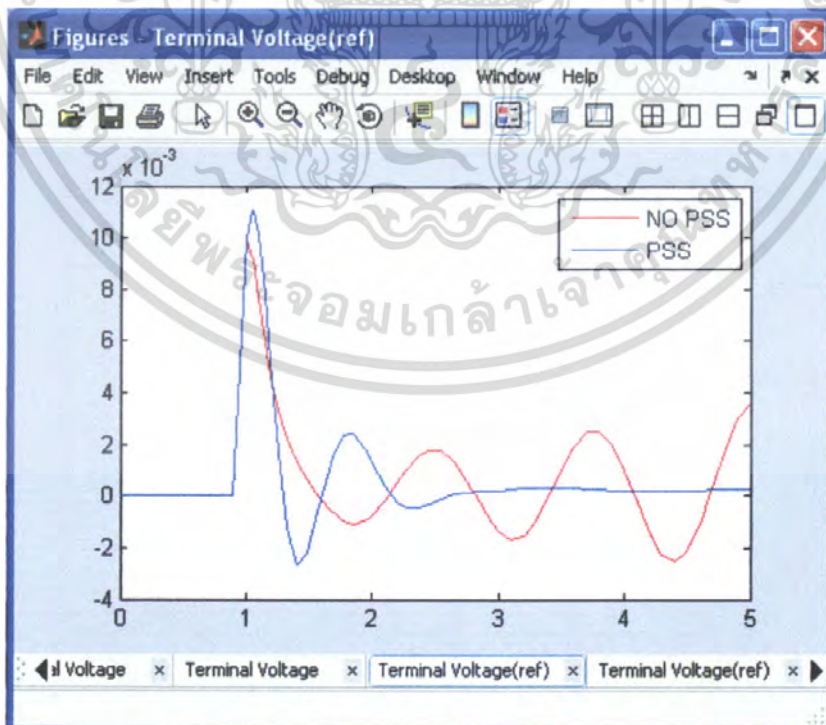


ภาพที่ 3.14 การเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณ $\Delta\omega$ โดยมี V_{ref}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 การเปรียบเทียบการแกว่งของ V_t



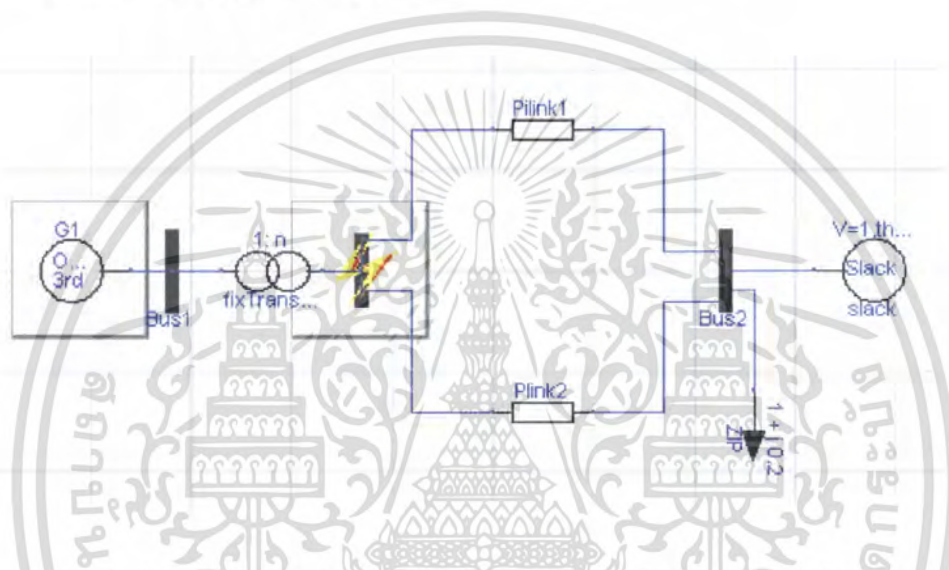
ภาพที่ 3.16 การเปรียบเทียบการแกว่งของ V_t โดยมี V_{ref}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟผลการทดลองข้างบน เป็นการแสดงผลกระทบเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนขนาดเล็ก ผลที่ได้พบว่าระบบที่มี PSS จะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพและกลับสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น ต่อไปจะทำการจำลองระบบกรณีที่เกิดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ โดยจะใช้โปรแกรม Dymola ในการจำลองระบบ เพราะสามารถสร้างเงื่อนไขการเกิดลัดวงจรรวมทั้งแก้ไขส่วนต่างๆ ได้ง่ายและรวดเร็ว

3.6 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม Dymola

ใช้โปรแกรม Dymola จำลองระบบ



ภาพที่ 3.17 smib_dyn เมื่อเกิด Fault ที่ Bus3

```

model smib_dyn_io_A4
  extends smib_loadflow{
    redeclare ex_smib.models.Gen2_A4 G1,
    redeclare ObjectStab.Network.FaultedBus Bus3(
      FaultR=1e-4,
      FaultX=0,
      FaultTime=1,
      FaultDuration=0.05));

  output Real Omega;

  equation
    Omega=G1.w;
  end smib_dyn_io_A4;

```

ภาพที่ 3.18 ข้อมูลขณะเกิด fault และการเคลียร์ fault

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

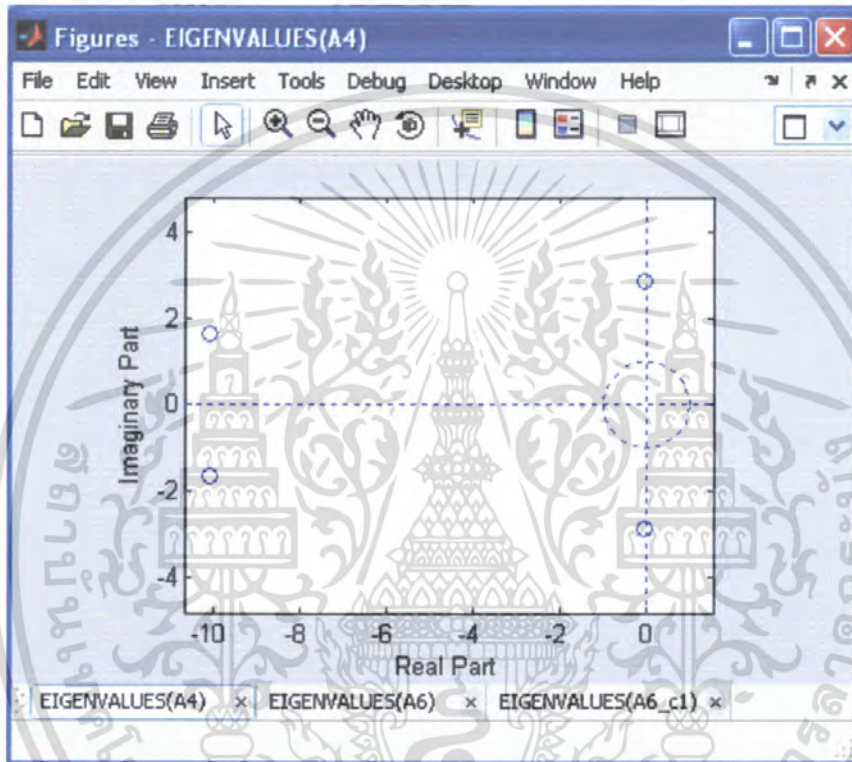
ค่าไอเกนของเมตริกซ์ A ขณะไม่มี PSS มีค่าเท่ากับ

$$\lambda_1 = -0.0206 + 2.8693i \implies \zeta = 0.0072$$

$$\lambda_2 = -0.0206 - 2.8693i \implies \zeta = 0.0072$$

$$\lambda_3 = -10.0986 + 1.6472i \implies \zeta = 0.9870$$

$$\lambda_4 = -10.0986 - 1.6472i \implies \zeta = 0.9870$$



ภาพที่ 3.19 ตำแหน่งของไอเกน ขณะไม่มี PSS

ค่าไอเกนของเมตริกซ์ A เมื่อใส่ PSS (damping 0.2) มีค่าเท่ากับ

$$\lambda_1 = -13.1767 \implies \zeta = 1.0000$$

$$\lambda_2 = -4.0201 + 1.8633i \implies \zeta = 0.9073$$

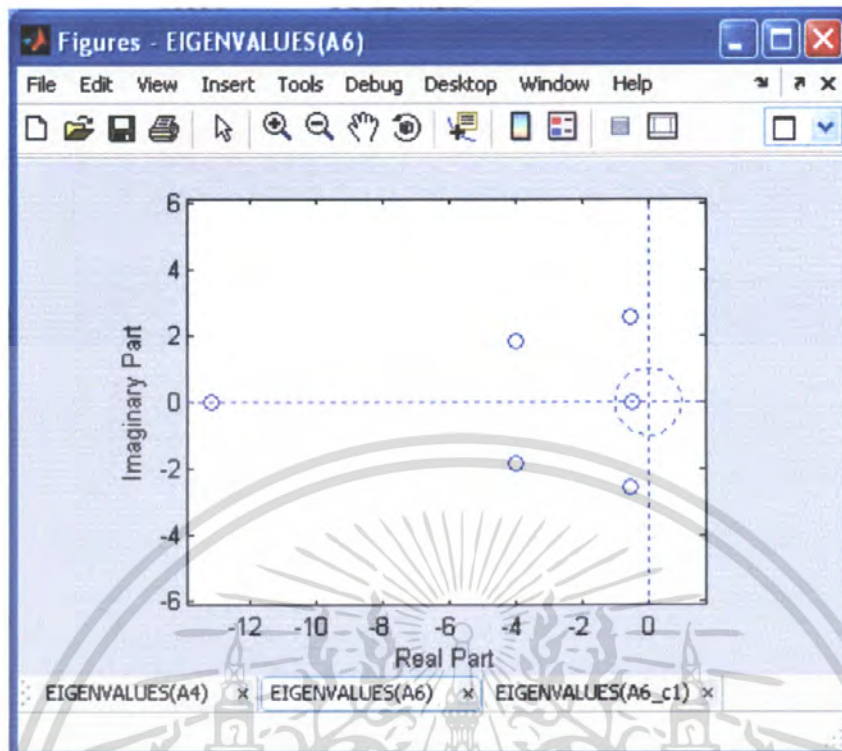
$$\lambda_3 = -4.0201 - 1.8633i \implies \zeta = 0.9073$$

$$\lambda_4 = -0.5358 + 2.5827i \implies \zeta = 0.2031$$

$$\lambda_5 = -0.5358 - 2.5827i \implies \zeta = 0.2031$$

$$\lambda_6 = -0.4880 \implies \zeta = 1.0000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 ตำแหน่งของโถงเมื่อใส่ PSS (damping 0.2)

ค่าโถงของเมตริกซ์ A เมื่อใส่ PSS (damping 0.6) มีค่าเท่ากับ

$$\lambda_1 = -13.7357 \quad \Rightarrow \zeta = 1.0000$$

$$\lambda_2 = -2.0685 + 2.4235i \quad \Rightarrow \zeta = 0.6492$$

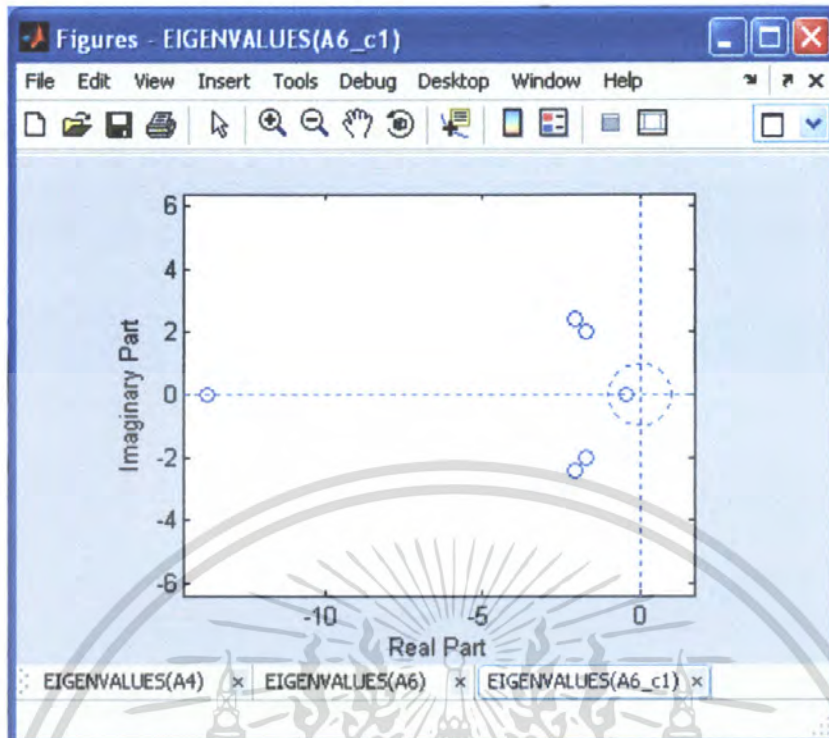
$$\lambda_3 = -2.0685 - 2.4235i \quad \Rightarrow \zeta = 0.6492$$

$$\lambda_4 = -1.7338 + 2.0313i \quad \Rightarrow \zeta = 0.6492$$

$$\lambda_5 = -1.7338 - 2.0313i \quad \Rightarrow \zeta = 0.6492$$

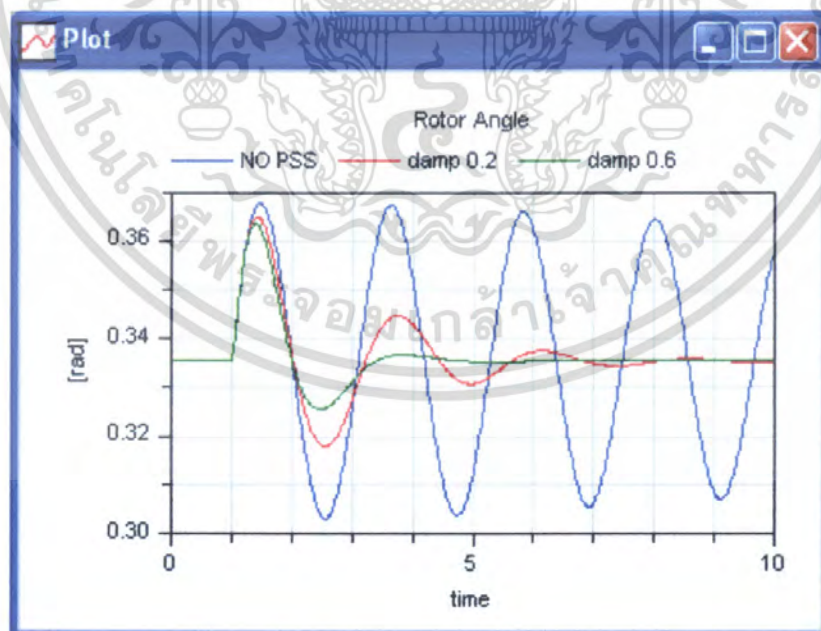
$$\lambda_6 = -0.4601 \quad \Rightarrow \zeta = 1.0000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งของไอเกน เมื่อใส่ PSS (damping 0.6)

ผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม Dymola

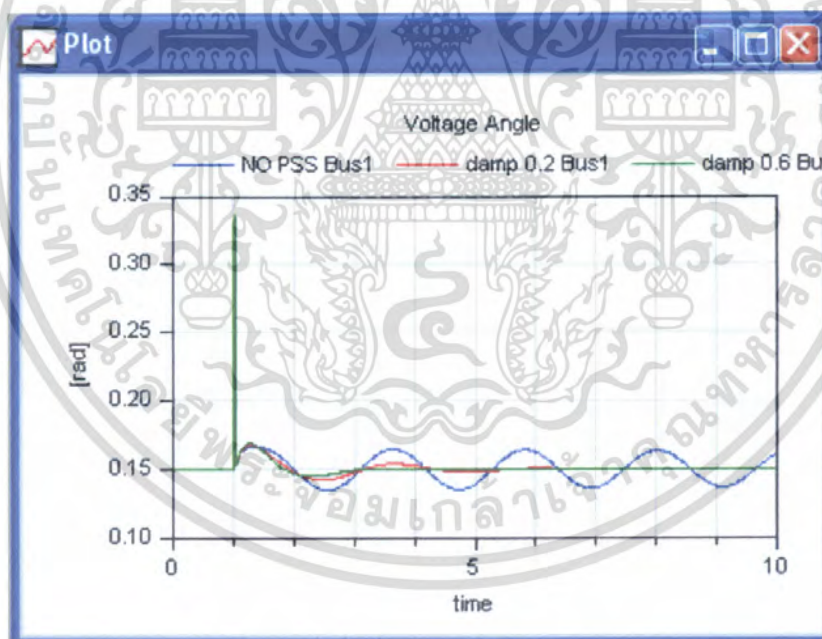


ภาพที่ 3.22 เปรียบเทียบการแกว่งของ Rotor Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.23 เปรียบเทียบแรงดันที่หม้อแปลง



ภาพที่ 3.24 เปรียบเทียบมุมของ Voltage Angle ที่ Bus1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเมื่อเกิดลัดวงจร 3 เฟสลงดินขึ้น ระบบที่มี PSS จะสามารถรักษาเสถียรภาพได้ดีกว่า เพราะมีค่าแอมป์ปิ้งที่สูงกว่าระบบไม่มี PSS ส่วนการเปรียบเทียบที่ค่าแอมป์ 0.2 และ 0.6 ค่าจริงของไอเกนโหมดทางกลจะมีผลต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบด้วย กล่าวคือค่าจริงที่ติดลบมากๆ จะทำให้ระบบกลับสู่สมดุลเร็วยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

จากการนำเอาโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมาช่วยในการคัดเลือกตัวแปรต่างๆ ในเงื่อนไขของระบบควบคุม ผลของโปรแกรมที่ได้ทำการทดลองนั้นโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมสามารถคัดเลือกตัวแปรที่มีค่าใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลัง หรือมีค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบจำลองที่ออกแบบไว้เพื่อใช้ในการรักษาเสถียรภาพของระบบ ปรับปรุง และพัฒนาระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป

จากผลที่ได้จากการจำลองระบบ พบว่าเมื่อป้อนสัญญาณ Step ให้กับระบบ ผลที่ได้กรณีที่มี PSS กับไม่มี PSS จะต่างกัน คือกรณีที่มี PSS ระบบจะมีเสถียรภาพมากกว่า โดยสังเกตได้จากกราฟที่ได้จากการจำลองระบบขณะเกิดสัญญาณรบกวนขนาดเล็กโดยใช้โปรแกรม MATLAB จะเห็นว่าเมื่อป้อนสัญญาณ Step ให้กับระบบที่เวลา $t = 1s$ จะพบว่าระบบที่มี PSS สัญญาณต่างๆ เช่น แรงดันจะกลับสู่สภาวะสมดุลได้ดีและรวดเร็ว ส่วนกรณีที่เกิดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่จะใช้โปรแกรม Dymola ในการจำลองระบบ ผลที่ได้พบว่ากรณีที่มี PSS ระบบจะกลับสู่สภาวะสมดุลได้ดีเช่นกัน ที่สำคัญค่าแอมป์ปิงและจำนวนจริงของโหมดทางกลจะมีผลต่อระบบอย่างมาก

4.2 ข้อดีและข้อจำกัด

ข้อดี

1. การใช้โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมาช่วยในการคำนวณหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมนั้นสามารถหาค่าตัวแปรที่มีค่าความเหมาะสมต่อระบบได้ดี และสามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้ดี
2. เวลาในการประมวลหาค่าตัวแปรของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมีค่าน้อยกว่าวิธีการแทนค่าโดยตรงเป็นอย่างมาก

ข้อจำกัด

1. โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมไม่สามารถแก้ปัญหาที่ไม่มีจุดประสงค์ หรือข้อจำกัดได้
2. ช่วงของตัวแปรที่ใช้หาค่าในโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมีค่าไม่เหมาะสมจะทำให้คำตอบจากโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร หรือไม่สามารทำได้เลย

4.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรสามารถใช้ได้กับระบบที่เป็นแบบ Multi Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ควบคุมแต่ละชนิดมีขีดความสามารถจำกัดควรเลือกให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการควบคุม

3. โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมสามารถช่วยแก้ไขปัญหาทางวิทยาศาสตร์ทั่วไปที่มีจุดประสงค์หรือข้อจำกัดได้ดี โดยสามารถหาค่าตัวแปรที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาการหาที่เร็วกว่าการหาจากการไล่หาค่าตัวแปรทุกตัว

4. เพื่อให้การประยุกต์ใช้งานเป็นไปได้กว้างขวางน่าจะมีการลองเปรียบเทียบและทดสอบอุปกรณ์ควบคุมให้มากกว่านี้เพราะในปัจจุบันมีระบบควบคุมใหม่ๆออกมามากหลายมาก ซึ่งในส่วนนี้น่าจะมีการใช้ประโยชน์จากข้อดีของเจเนติกอัลกอริทึมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Hadi Saadat, “Power system analysis”, WCB/McGraw-Hill, 1999.
- [2] K.R. Pardiyar, “Power System Dynamic”, John Wiley , 1996
- [3] Prabha Kundur, “Power System Stability and Control”, McGraw-Hill Inc., 1994.
- [4] เซาว์ ชมพูอินไหว, “การรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
- [5] คงเกียรติ กุลกลางดอน, ถวิล ภูมิฐาน, ทรงศักดิ์ ม่วงงาม, “การรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- [6] รัชชะ สัตยสมบูรณ์ และ วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล, “การรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

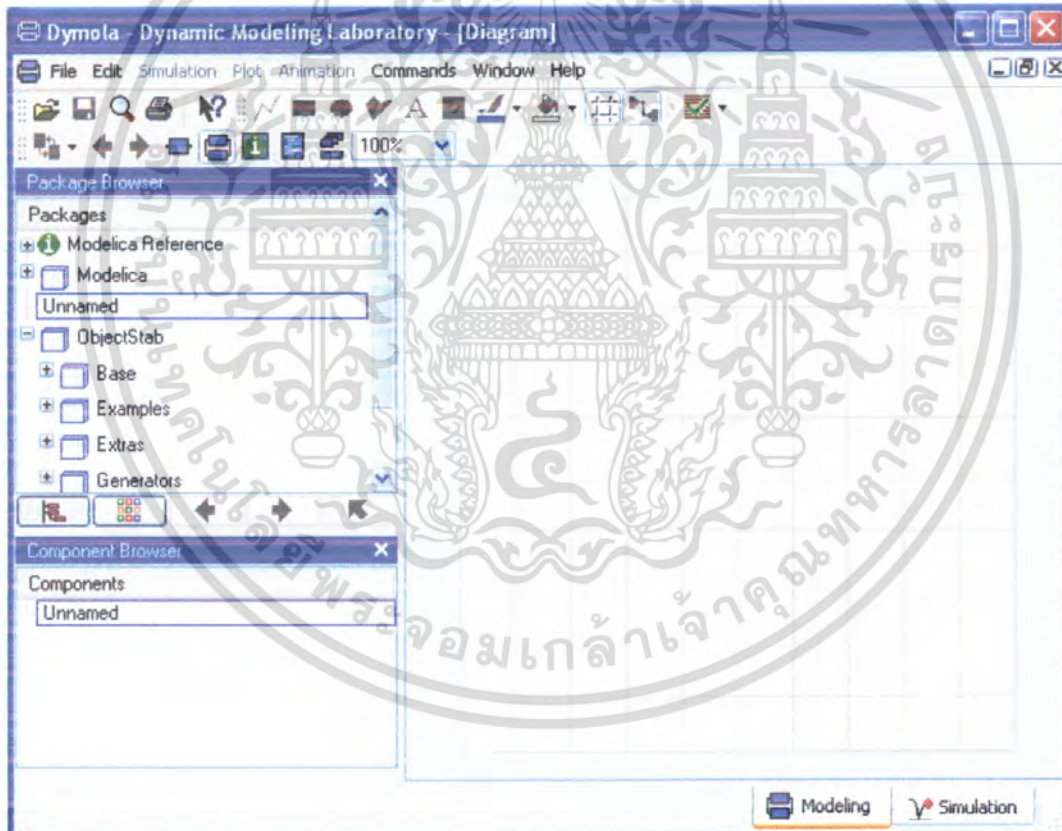
ภาคผนวก

ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Dymola

โปรแกรม Dymola เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและจำลองระบบทางฟิสิกส์ ซึ่งสามารถใช้คำนวณหาผลกระทบต่อดัชนีแปรต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของระบบ โดยจะถูกใช้ในทางด้านสายวิศวกรรมศาสตร์ เช่น เครื่องกล ไฟฟ้า เทอร์โมไดนามิก ความร้อน ระบบควบคุม ซึ่งขึ้นกับการประยุกต์นำไปใช้งาน ในที่นี้โปรแกรม Dymola จะถูกใช้ในการทดสอบการรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังขั้นตอนการสร้าง model สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 1

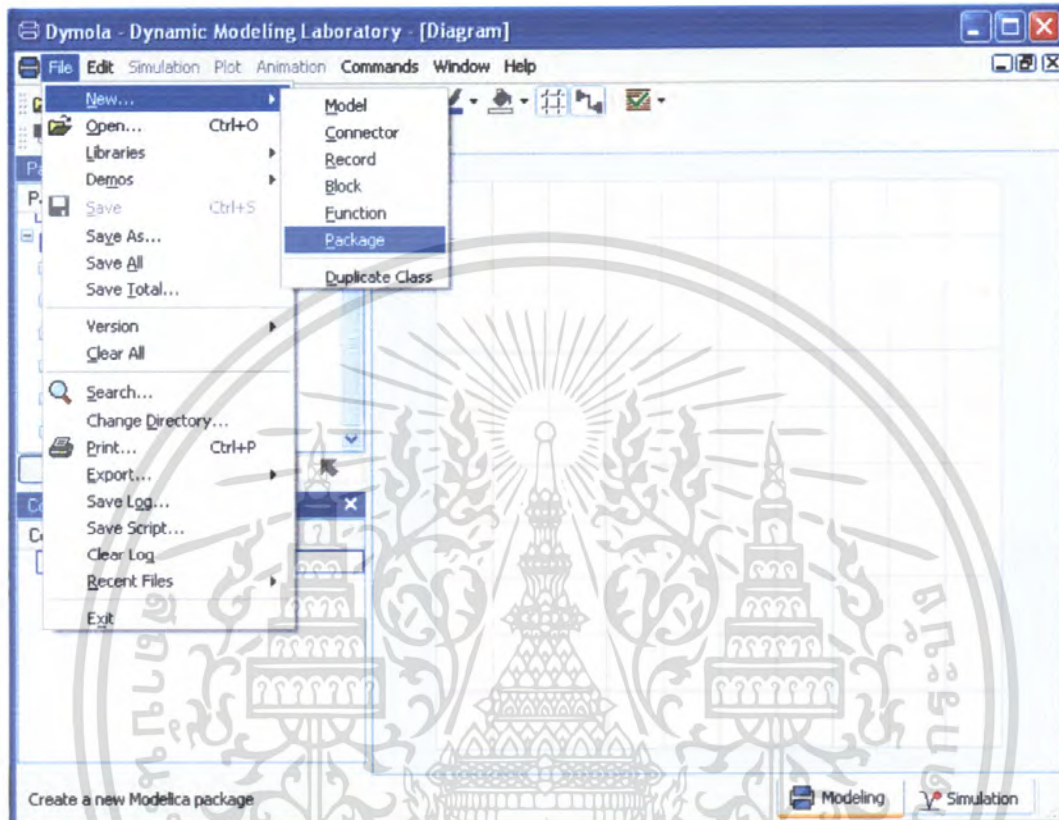
1.1 ทำการเปิดโปรแกรม Dymola ขึ้นมา ดังภาพที่ 1



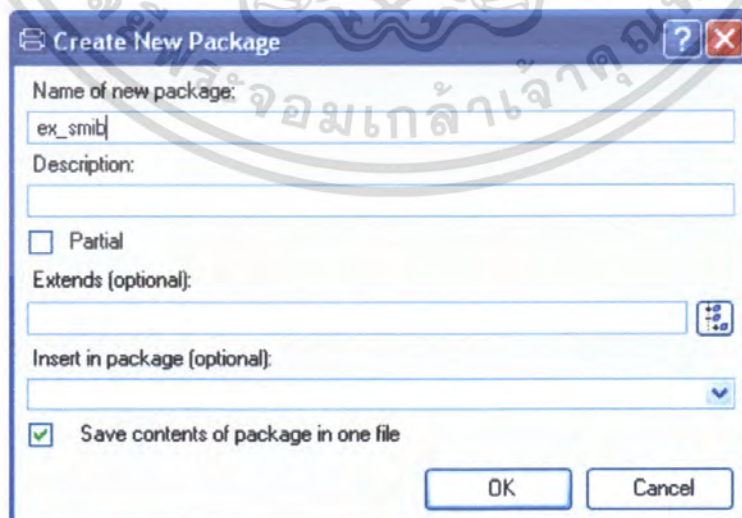
ภาพที่ 1 หน้าต่างของโปรแกรม Dymola

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ทำการสร้าง model ระบบ โดยการเลือกที่ File menu แล้วทำตามภาพที่ 2 และภาพที่ 3



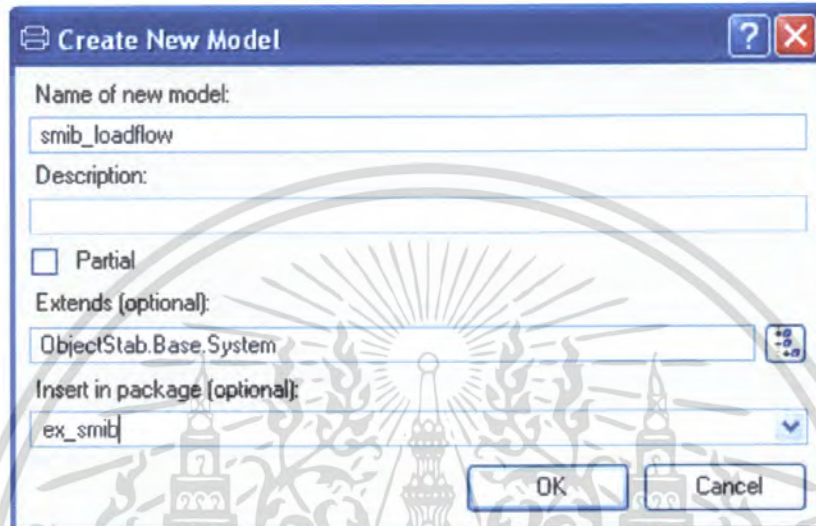
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสร้าง model



ภาพที่ 3 ตั้งชื่อ model ที่เราสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขาดูเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 จากนั้นทำการสร้าง model loadflow โดยเลือก File ==> New ==> Model จากนั้นก็ตั้งชื่อของ model และเลือกตรง Extends กับ Insert in package (optional) ดังภาพที่ 4

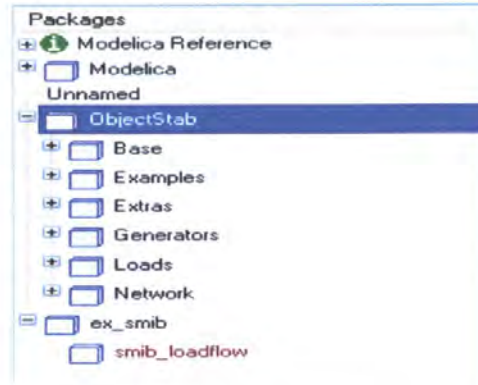


ภาพที่ 4 การสร้าง model loadflow

1.4 ทำการเลือกส่วนประกอบของ model โดยการเลือกที่ ObjectStab ซึ่งจะพบว่าใน ObjectStab จะมีส่วนประกอบย่อยๆ ดังภาพที่ 5 ให้ทำการเลือกดังนี้

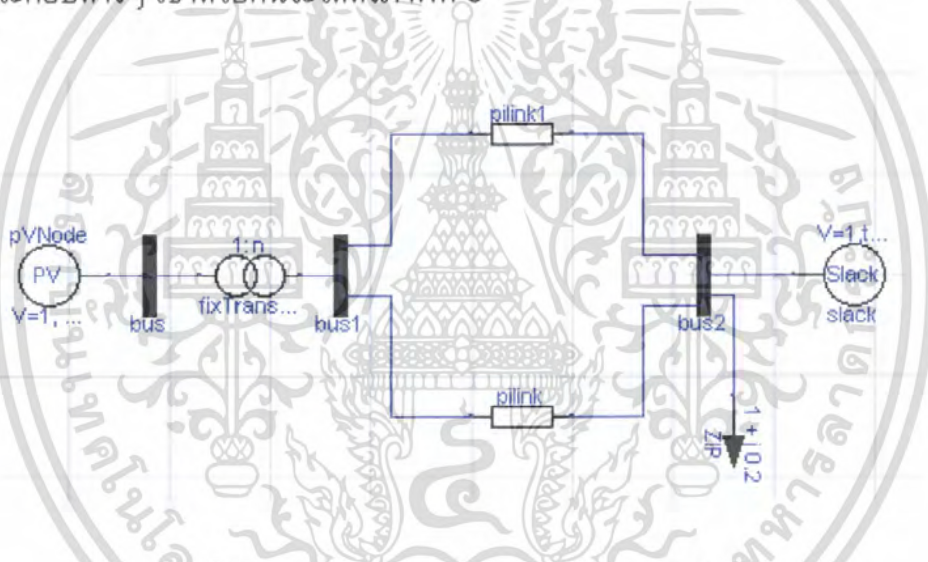
- a. ObjectStab/Generators/PVNode
- b. ObjectStab/Generators/Slack
- c. ObjectStab/Loads/ZIPLoad,
- d. ObjectStab/Network/Bus
- e. ObjectStab,Network/Fix Transformer
- f. ObjectStab/Network/Plink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



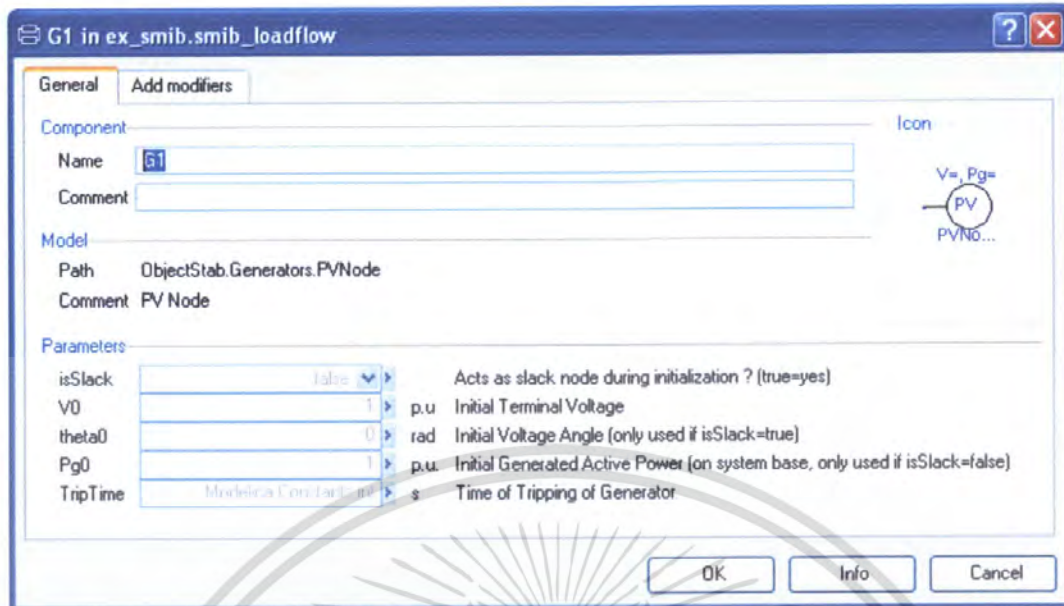
ภาพที่ 5 ส่วนประกอบที่อยู่ภายใน ObjectStab

1.5 เมื่อทำการเลือกส่วนประกอบต่างๆ มาไว้ในหน้าต่างแล้ว ก็ให้ลากเส้นต่อส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันจะได้ดังภาพที่ 6

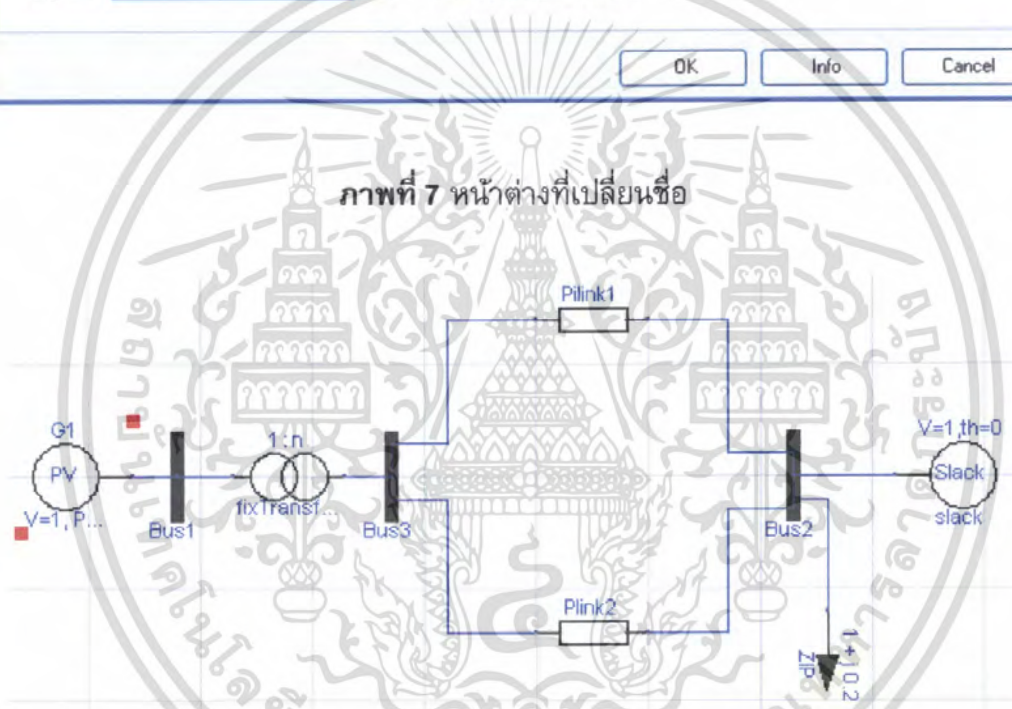


ภาพที่ 6 model loadflow ที่ได้ทำการสร้างขึ้น

1.6 เราสามารถทำการเปลี่ยนชื่อส่วนต่างๆ ใน model loadflow ได้ โดยการดับเบิลคลิกส่วนที่เราต้องการเปลี่ยนชื่อ



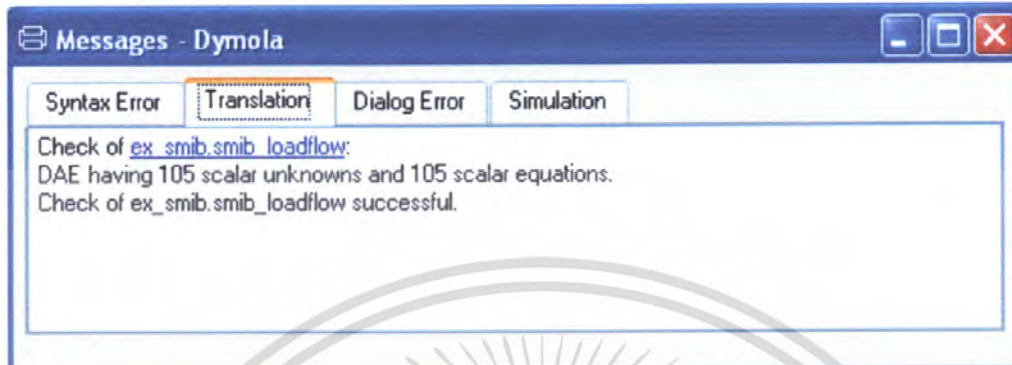
ภาพที่ 7 หน้าต่างที่เปลี่ยนชื่อ



ภาพที่ 8 model หลังจากทำการเปลี่ยนชื่อ

1.7 เมื่อทำการสร้าง model loadflow แล้ว ก็ทำการตรวจสอบว่า model ที่สร้างขึ้นสามารถทำการ simulate ได้หรือไม่ กดการคลิกที่ไอคอนเครื่องหมายถูกสีเขียวเพื่อทำการเช็ค

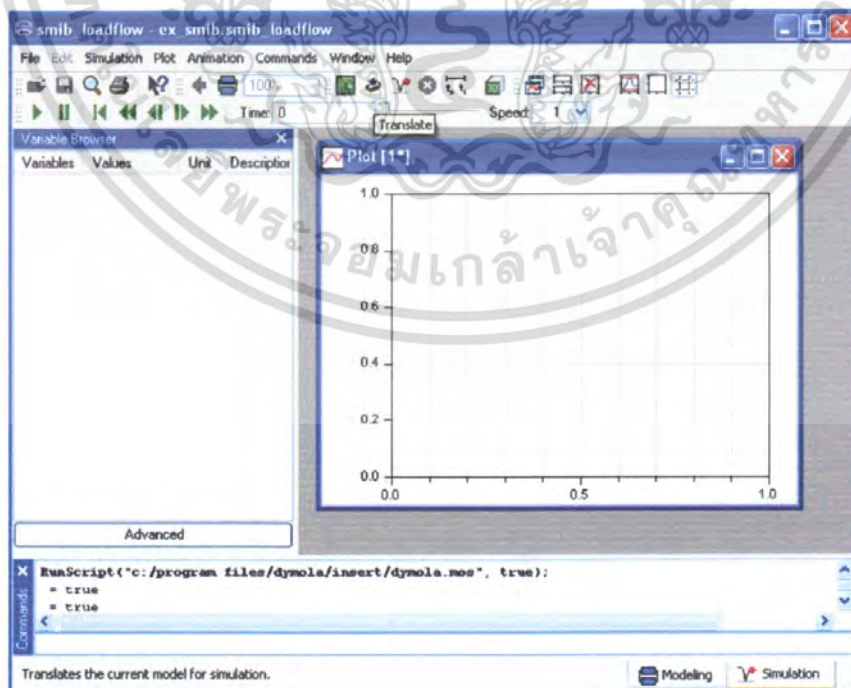
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 ไอคอนที่ใช้เช็ค และหน้าต่างตรวจสอบความถูกต้อง

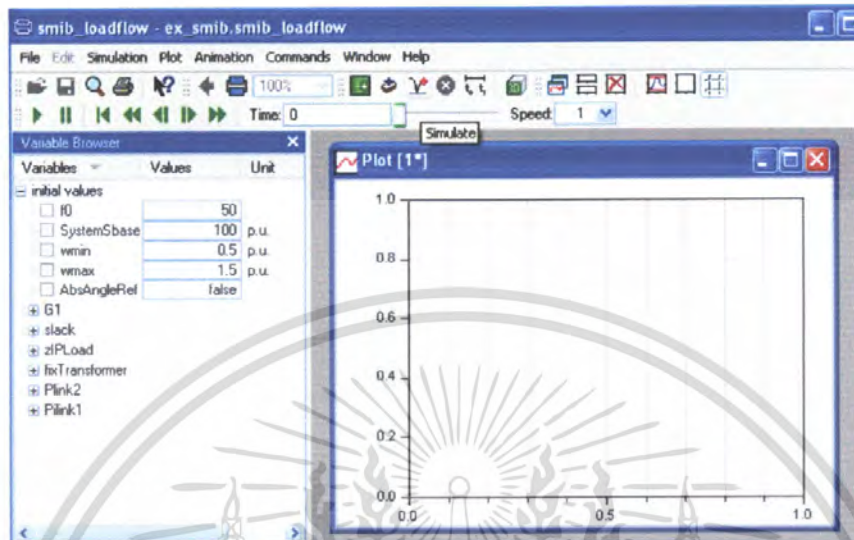
1.8 เมื่อมีหน้าต่างแสดงคำว่า **successful** เราก็สามารถทำการ **simulate** ได้ โดยการเปลี่ยนจากหน้าต่าง **Modeling** ไปยังหน้าต่าง **Simulation** โดยการเปลี่ยนที่ทางด้านล่าง ขวามือของหน้าต่าง (หรือทำการเปลี่ยนหน้าต่างได้โดยการคลิกที่ด้านล่างทางขวามือ หรือกด **Ctrl+F2** เพื่อไปยังหน้าต่าง **Simulation**)

1.9 เมื่อเข้าสู่หน้าต่าง **Simulation** ก็ทำการ **Translate**



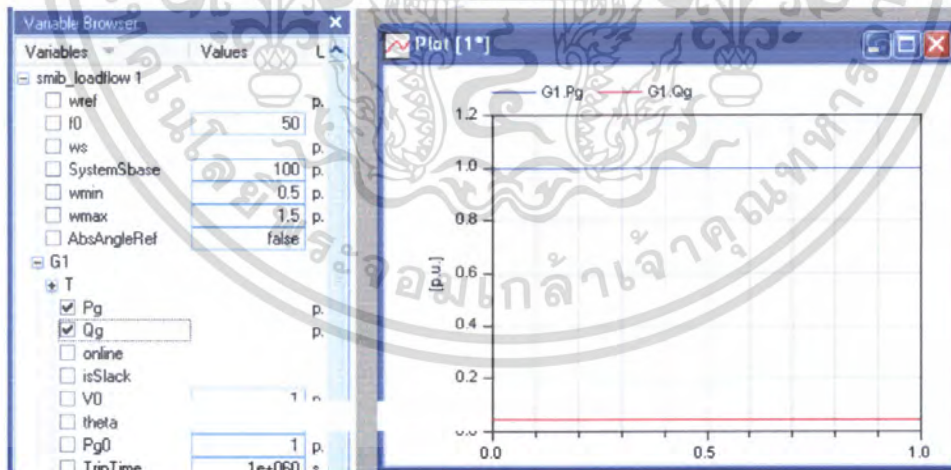
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.10 เมื่อทำการ Translate แล้วก็จะได้ผลดังภาพที่ 11 จึงทำการ Simulate



ภาพที่ 11 ผลจากการ Translate และไอคอน simulate

1.11 หลังจากทำการ simulate แล้ว เราก็สามารถดูพฤติกรรมของตัวแปรต่างๆ ที่เราต้องการได้



ภาพที่ 12 แสดงผลที่ได้จากการ simulate

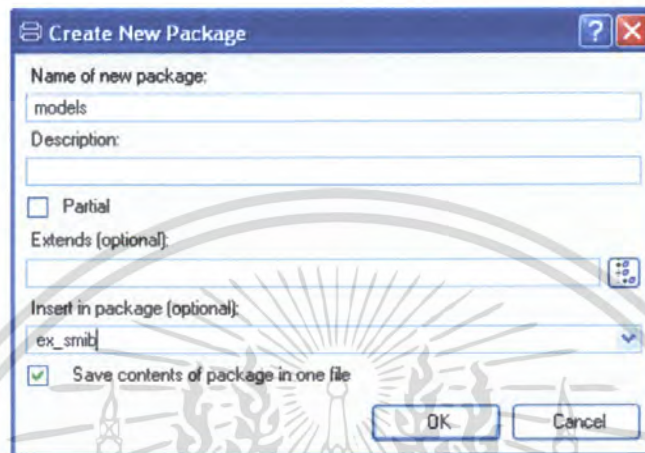
1.12 ทำการ save model ไว้ใช้ในการคราวต่อไป หรือหากต้องการจะแก้ไข model ก็สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2

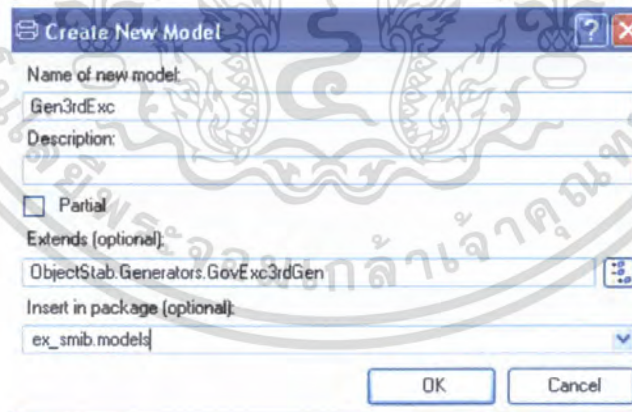
2.1 ทำการเปิด model ที่ได้สร้างไว้ในตัวอย่างที่ 1 ขึ้นมา

2.2 สร้าง models เพื่อนำไปใช้กับตัวอย่างที่ 1 เพื่อศึกษาเสถียรภาพของระบบ โดยทำตามขั้นตอนดังนี้ File ==> New ==> Package



ภาพที่ 13 สร้าง models ขึ้นมาเก็บไว้ใช้

2.3 สร้าง Generator model โดยทำตามขั้นตอนดังนี้ File ==> New ==> Model จากนั้นทำตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การสร้าง Generator model

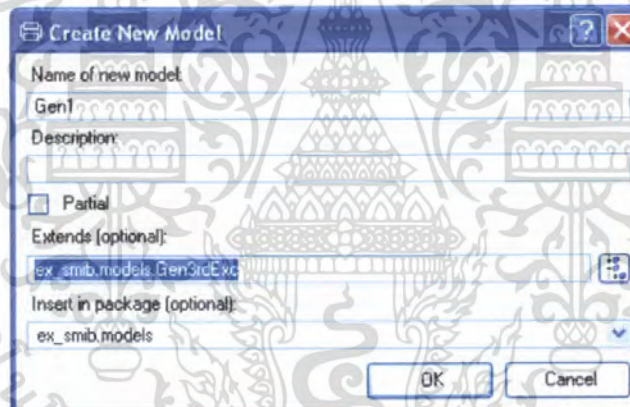
2.4 สร้าง Exciter model ให้ทำดังนี้ File ==> New ==> Model จากนั้นทำตามภาพที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 15 การสร้าง Exciter model

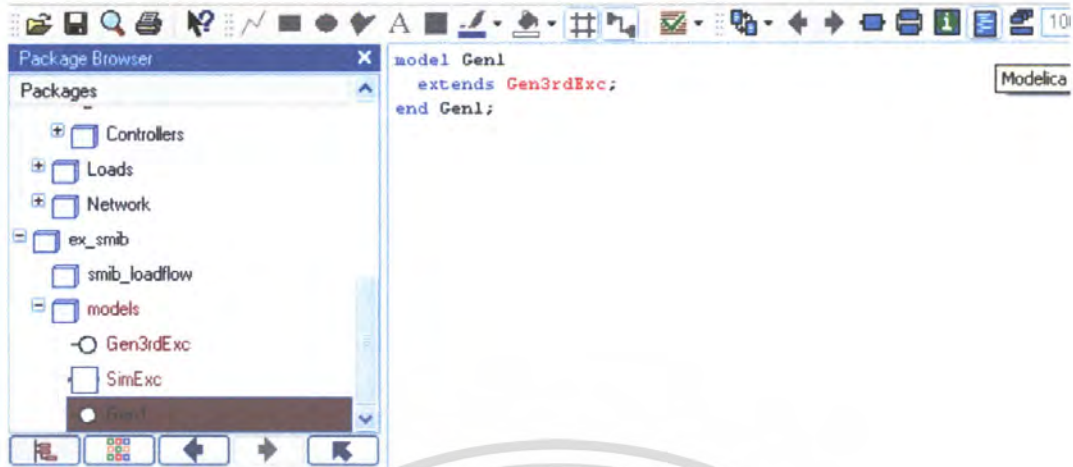
2.5 สร้าง Generator model อีกครั้งโดยการ extend from 'ex_smb.models.Gen3rdExc' ซึ่งเป็นตัวที่เราได้สร้างไว้แล้ว แต่เราต้องการแก้ไขโดยไม่ให้กระทบกับ model เดิมของโปรแกรม ทำตามขั้นตอนดังนี้ File ==> New ==> Model



ภาพที่ 16 Generator model โดย extend จากที่สร้างไว้แล้ว

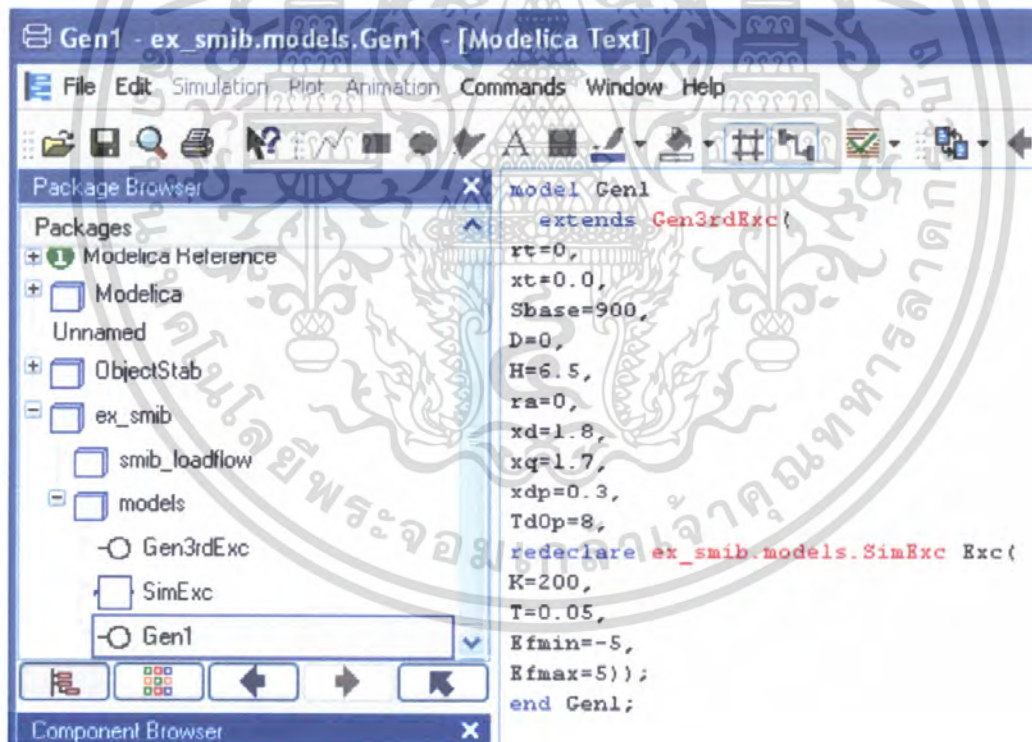
2.6 เราสามารถทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ได้โดยการดับเบิลคลิกที่ Gen1 จากนั้นก็ไปคลิกที่ Modelica Text เพื่อจะเข้าไปทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17 หน้าต่างของ Modelica Text

2.7 ทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ดังภาพที่ 18

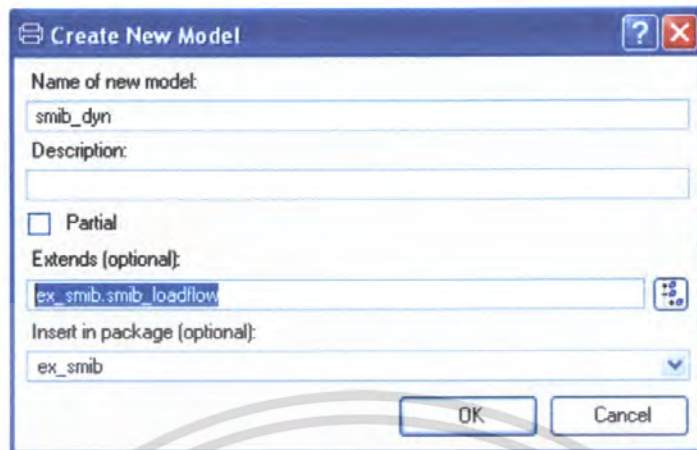


ภาพที่ 18 พารามิเตอร์หลังจากทำการเปลี่ยนแปลง

2.8 สร้าง model loadflow ขึ้นมาใหม่ เพื่อที่จะทดสอบกรณีที่ระบบเกิด Fault ขึ้น โดยการ extend from 'smib_loadflow' ซึ่งได้สร้างไว้แล้ว โดยทำดังนี้ File ==> New ==>

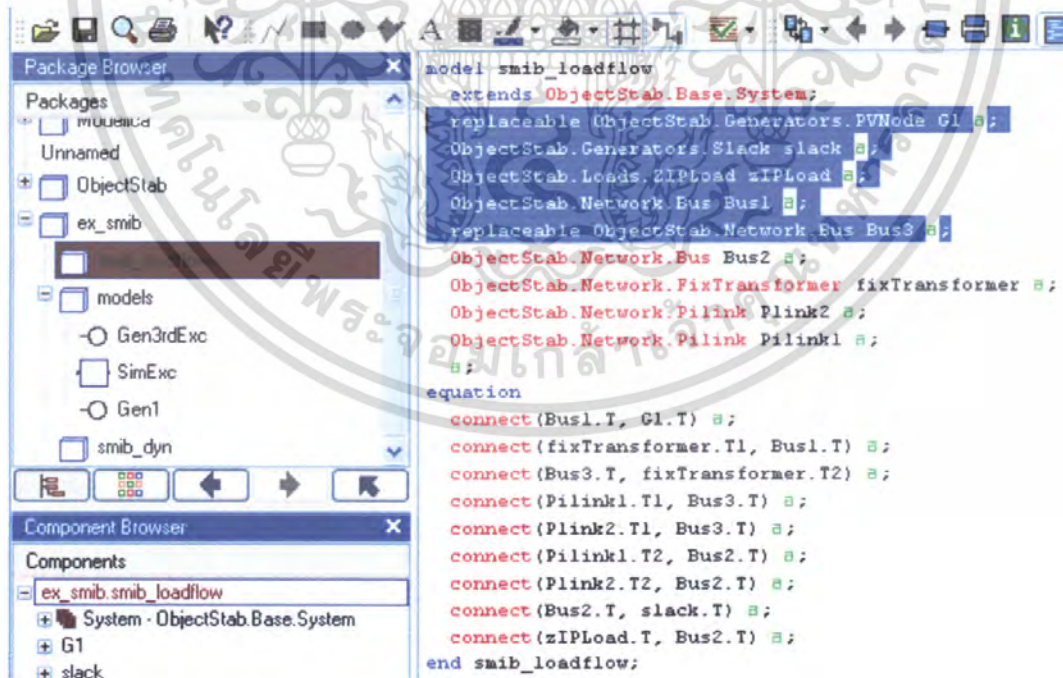
Model จากนั้นทำตามภาพที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 19 การสร้าง loadflow โดยการ extend จากของเดิม

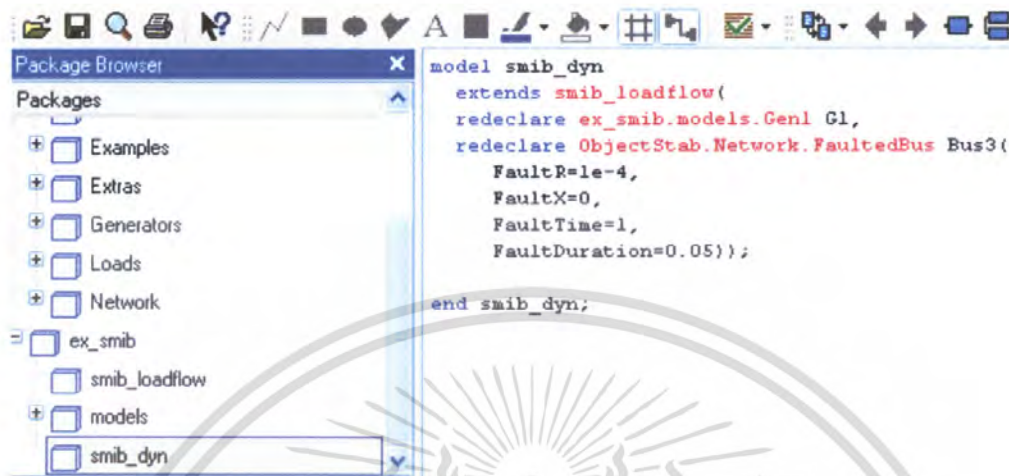
2.9 เราต้องการที่จะนำ model Gen1 เข้าไปใน smib_dyn และทำให้เกิด Fault ที่ Bus3 ซึ่ง extend มาจาก smib_loadflow เราก็ต้องเข้าไประบุใน smib_loadflow เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลง smib_dyn ขั้นตอนการเข้าไประบุใน smib_loadflow ให้ดับเบิลคลิกที่ smib_loadflow จากนั้นก็ทำดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 การเข้าไประบุใน smib_loadflow

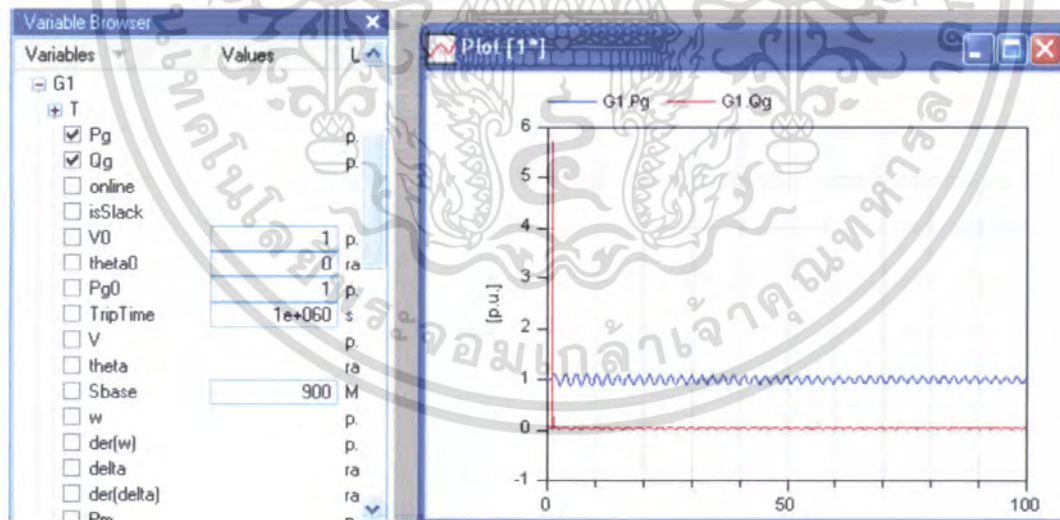
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 เข้าไปที่ Modelica Text ของ smib_dyn เพื่อที่จะนำ Gen1 มาใช้ และทำการทดสอบระบบด้วยการใส่ Fault ที่ Bus3 ทำตามภาพที่ 21



ภาพที่ 21 นำ Gen1 มาใช้ และใส่ Fault ให้กับ smib_dyn

2.11 ทำการเช็คและ simulate เพื่อดูผลที่ได้จากการใช้ model Gen1 และเกิด Fault ที่ Bus3



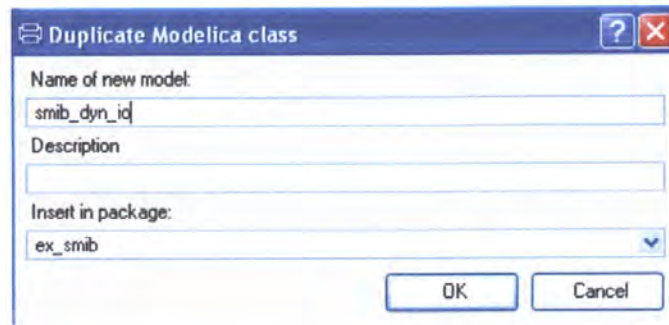
ภาพที่ 22 ผลที่ได้จากการ simulate smib_dyn

ตัวอย่างที่ 3

3.1 ทำการเปิดงานที่ได้สร้างไว้ขึ้นมา เราต้องการที่จะคัดลอก smib_dyn ให้ทำการดับเบิลคลิก smib_dyn จากนั้นเลือก Save As แล้วทำการเปลี่ยนชื่อใหม่เป็น smib_dyn_io เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตั้งภาพที่ 23

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 23 คัดลอกแล้วเปลี่ยนชื่อเป็น smib_dyn_io

3.2 ทำการกำหนด output variable ใหม่ ดังภาพที่ 24

```

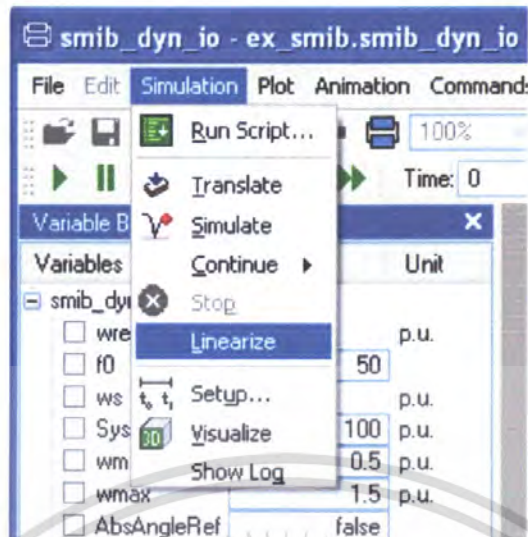
model smib_dyn_io
  extends smib_loadflow(
    redeclare ex_smib.models.Gen1 G1,
    redeclare ObjectStab.Network.FaultedBus Bus3(
      FaultR=1e-4,
      FaultX=0,
      FaultTime=1,
      FaultDuration=0.05));
  output Real Omega;
  equation
    Omega=G1.w;
end smib_dyn_io;

```

ภาพที่ 24 การกำหนด output variable

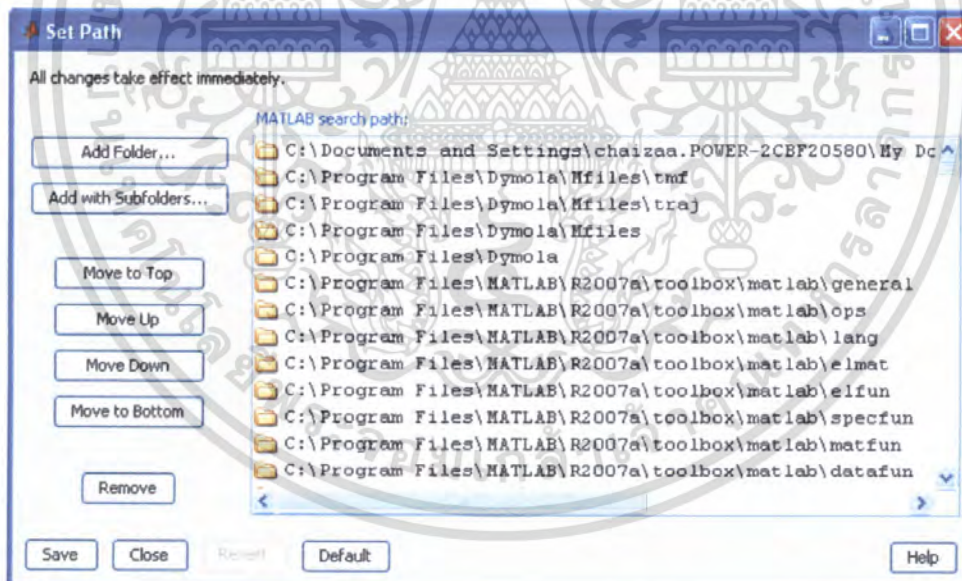
3.3 เราสามารถดูว่าระบบมีเสถียรภาพหรือไม่ ด้วยวิธีการเช็คโอแกนของระบบ ซึ่งจะใช้โปรแกรม MATLAB มาช่วยในการวิเคราะห์โอแกนของระบบ โดยทำการเลือก Simulation ==> Linearize ดังภาพที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 25 การ Linearize

3.4 เปิดโปรแกรม MATLAB ขึ้นมาเพื่อทำการโหลดข้อมูลจาก Dymola ซึ่งจะต้องทำการ Set Path ให้กับโปรแกรม MATLAB ก่อนดังนี้ เลือก File ==> Set Path

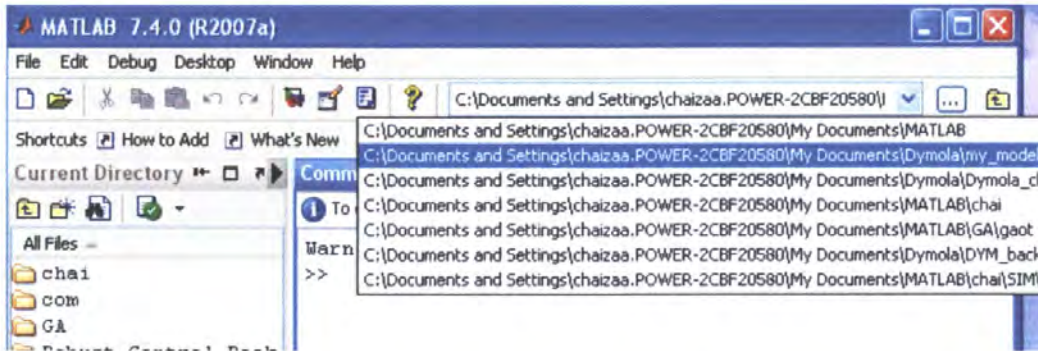


ภาพที่ 26 หน้าต่าง Set Path

3.5 คลิก Add Folder เลือก \dymola\Hfiles\traj และ \dymola\Hfiles จากนั้น Save แล้ว Close

3.6 จากนั้นก็สามารถโหลดข้อมูลจาก Dymola สู่มATLAB ได้แล้ว ด้วยการเปลี่ยน Current Directory เพื่อทำการหาที่อยู่ของงาน ex_smib ที่ได้สร้างเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 27 การเปลี่ยน Current Directory

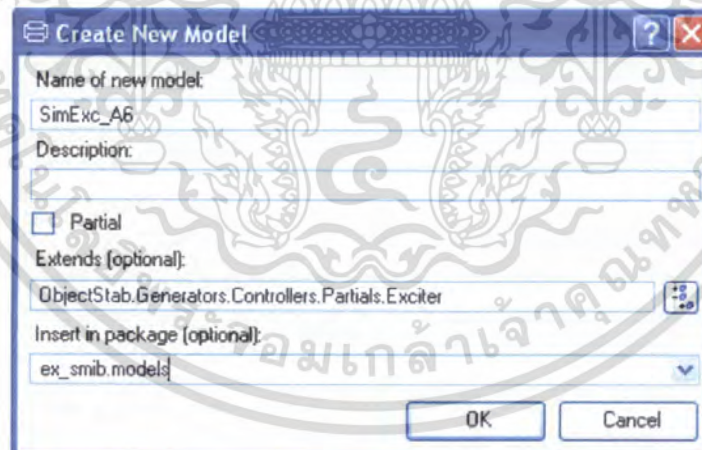
3.7 พิมพ์ `[A,B,C,D,X,U,Y]=loadlin` บน Command Window ของ MATLAB เพื่อที่จะดูไอแกนของระบบ

ตัวอย่างที่ 4

4.1 เปิด `ex_smib` ที่ได้สร้างไว้แล้วขึ้นมา

4.2 สร้าง `exciter model` ที่มี PSS เป็นตัวควบคุมให้มีเสถียรภาพ เลือก File ==>

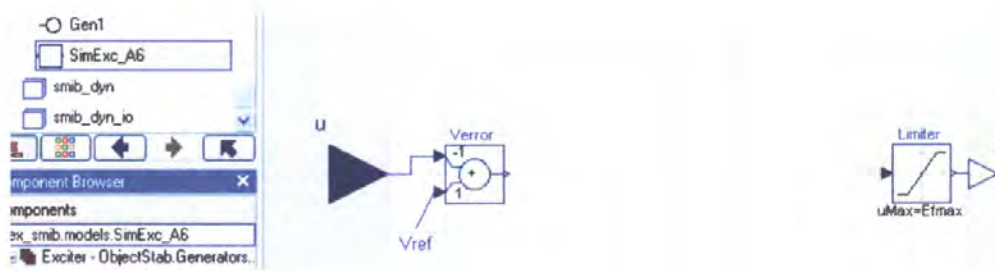
New ==> Model ทำดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 สร้าง exciter โดยมี PSS

4.3 เมื่อทำตามขั้นตอนก็จะได้ Diagram window ดังภาพที่ 29 ซึ่งยังไม่ได้มีการเชื่อมต่อ จึงต้องทำการเชื่อมต่อเพื่อที่จะได้นำ `exciter` ไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

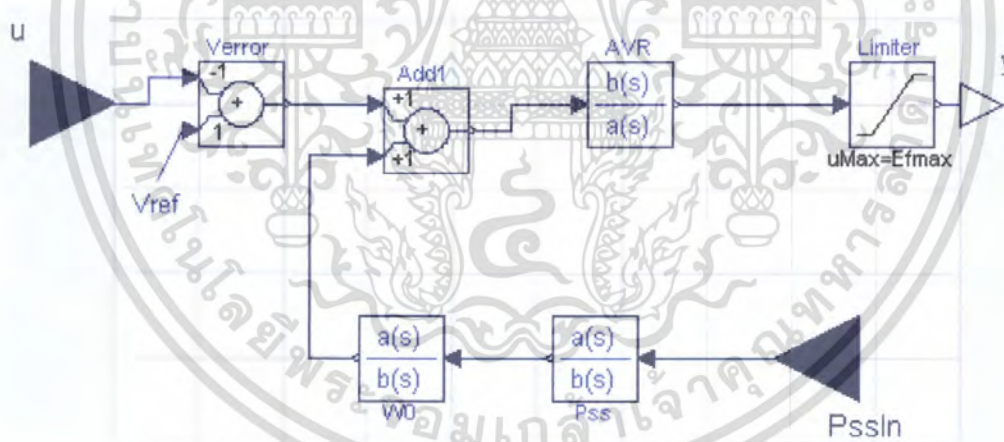


ภาพที่ 29 Diagram window ของ SimExc_A6

4.4 นำส่วนประกอบต่างๆ มาใช้สร้าง exciter ที่มี PSS ส่วนประกอบที่ใช้มีดังนี้

- a. Modelica/Blocks/Math/Add
- b. Modelica/Blocks/Interfaces/RealInput
- c. Modelica/Blocks/Continuous/TransferFunction

ลากส่วนประกอบต่างๆ มาวางใน Diagram window จากนั้นทำการต่อส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันตามภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การต่อส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน

4.5 แก้ไขโปรแกรมเพื่อกำหนดค่าให้กับตัวแปรต่างๆ ดังภาพที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

model SimExc2_A6 "withPSSinput"
  extends ObjectStab.Generators.Controllers.PartialExciter;

  parameter Real T=0.05 "AVR Time Constant";
  parameter Real T1=0.9586;
  parameter Real T2=0.4907;
  parameter Real Kc=36.3546;

  Modelica.Blocks.Continuous.TransferFunction AVR(b=(K), a=(T,1)) s;
  Modelica.Blocks.Math.Add Add1 s;
  s;
  Modelica.Blocks.Continuous.TransferFunction W0(b=(2,0), a=(2,1)) s;
  Modelica.Blocks.Continuous.TransferFunction Pss(a=(T2,1), b=(Kc*T1,1)) s;
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput PssIn "Connector of Real input signal" s;
equation
  connect(Verror.y, Add1.u1) s;
  connect(Add1.y, AVR.u) s;
when time>=0 then

  Ef0=0;
end when;

initial equation
  der(AVR.x)=(0);

equation
  connect(AVR.y, Limiter.u) s;
  connect(PssIn, Pss.u) s;
  connect(Pss.y, W0.u) s;
  connect(W0.y, Add1.u2) s;
end SimExc2_A6;

```

ภาพที่ 31 กำหนดค่าให้กับตัวแปรต่างๆ

4.6 สร้าง model generator ขึ้นมาใหม่ให้คัดลอกมาจาก Gen1 โดยดับเบิลคลิก แล้ว Save As Gen2_A4

4.7 แก้ไขค่าของตัวแปรต่างๆ ดังภาพที่ 32

```

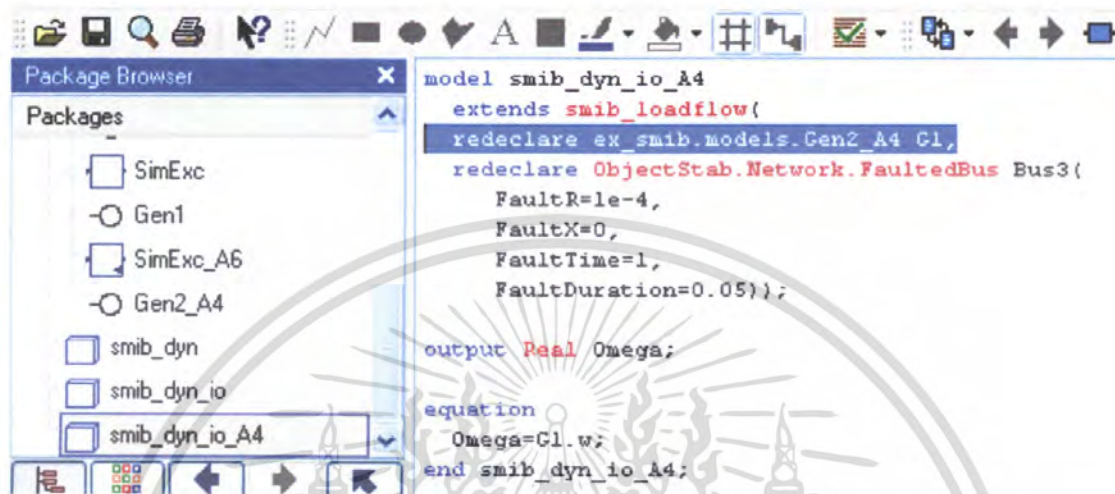
model Gen2_A4
  extends Gen3rdExc(
    rt=0,
    xt=0.0,
    Sbase=900,
    D=0,
    H=6.5,
    ra=0,
    xd=1.8,
    xq=1.7,
    xdp=0.3,
    Td0p=8,
    reddeclare ex_smib.models.SimExc Exc(
      K=50,
      T=0.05,
      Efmin=-5,
      Efmax=5));
end Gen2_A4;

```

ภาพที่ 32 ข้อมูลของ Gen2_A4

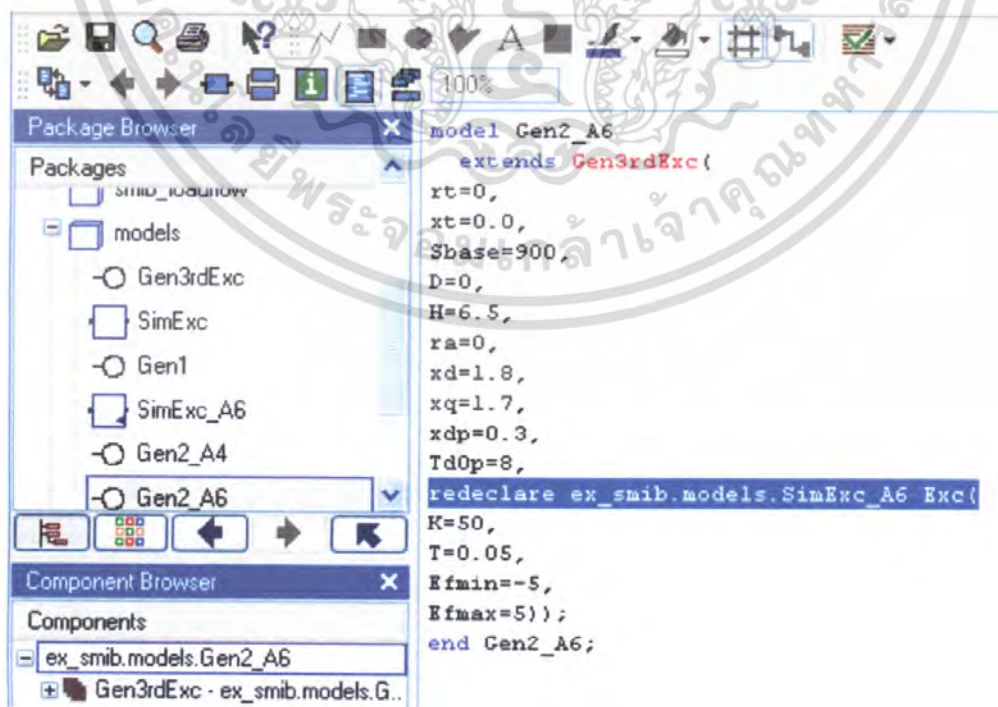
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 คัดลอก smib_dyn_io เปลี่ยนชื่อเป็น smib_dyn_io_A4 เพื่อนำ Gen2_A4 มาใช้ โดยเข้าไปแก้ไขโปรแกรมของ smib_dyn_io_A4 ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แก้ไขโปรแกรมเพื่อนำ Gen2_A4 มาใช้

4.9 คัดลอก Gen2_A4 เปลี่ยนชื่อเป็น Gen2_A6 เพื่อนำ exciter ที่มี PSS มาใช้ โดยทำการแก้ไขโปรแกรมของ Gen2_A6 ดังภาพที่ 34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 34 นำ exciter ที่มี PSS มาใช้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ตัดลอก smib_dyn_io_A4 เปลี่ยนชื่อเป็น smib_dyn_io_A6 เพื่อนำ Gen2_A6 มาใช้ โดยทำการแก้ไขโปรแกรมของ smib_dyn_io_A6 ดังภาพที่ 35

```

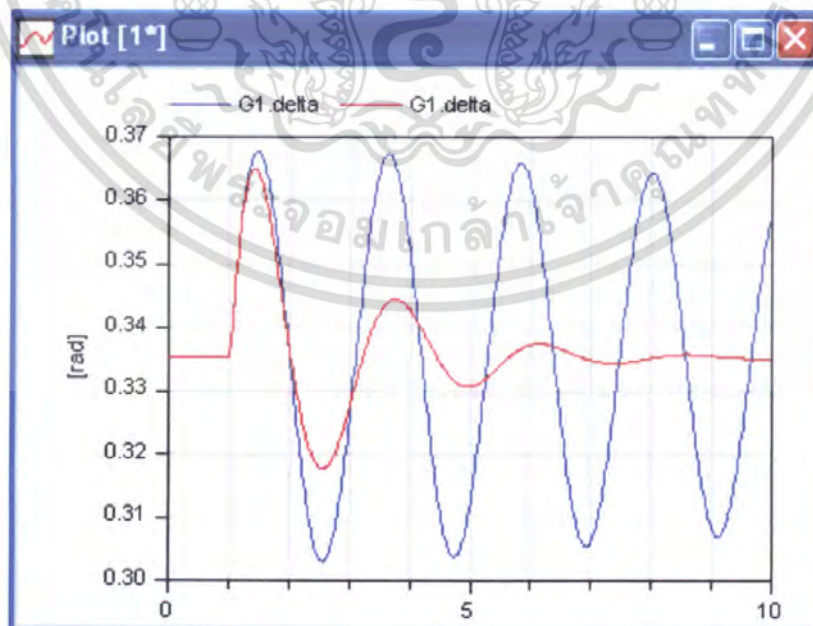
model smib_dyn_io_A6
  extends smib_loadflow(
    redeclare ex_smib.models.Gen2_A6 G1,
    redeclare ObjectStab.Network.FaultedBus Bus3(
      FaultR=1e-4,
      FaultX=0,
      FaultTime=1,
      FaultDuration=0.05));

  equation
    //G1.w-1 = G1.Exc.WD.u;
    G1.w-1 = G1.Exc.PssIn;
  end smib_dyn_io_A6;
  
```

ภาพที่ 35 แก้ไขโปรแกรมเพื่อนำ Gen2_A6 มาใช้

4.11 ทำการเช็คและ simulate เพื่อดูผลที่ได้จากการเพิ่ม PSS เข้าไปในระบบ

4.12 ทำการ simulate เปรียบเทียบกันทั้ง 2 ระบบ ระหว่างมี PSS กับไม่มี PSS



ภาพที่ 36 เปรียบเทียบระหว่างมี PSS กับไม่มี PSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้