บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีความต้องการสูงและจะเพิ่มขึ้นอีกมากในอนาคต เนื่องจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรม ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหน้าที่ของ กฟผ. ที่จะต้องผลิตให้มีอย่างเพียงพอและมีคุณภาพ นอกจากนี้ยังต้องมีปริมาณการผลิตสำรองอีกด้วยเพื่อความเชื่อถือได้ของระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการเพิ่มแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าและระบบส่งพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาตามความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำให้ระบบกำลังไฟฟ้ามีความยุ่งยากยิ่งขึ้น และมีโอกาสที่จะทำให้เสถียรภาพของระบบต่ำลงหรืออาจเกิดการไม่เสถียรภาพของระบบได้ นอกจากนี้ในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเลือกเดินให้เต็มพิกัดเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องและถึงจุดคุ้มทุนเร็วขึ้น ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าใกล้ขีดจำกัดทางเสถียรภาพ มีโอกาสที่จะเกิดการไม่เสถียรภาพเมื่อมีการรบกวนที่พอเหมาะต่อระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้ดีขึ้นตามต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการจำลองระบบกำลังไฟฟ้าและวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบรวมทั้งการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้ดีขึ้นตามต้องการด้วยเครื่องสร้างเสถียรภาพ(Power System Stabilizer, PSS) และหาตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จะติดตั้ง PSS โดยระบบที่จะทำการศึกษาคือ ระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ.

1.3 นิยามของเสถียรภาพ

ปัญหาเสถียรภาพ[1]คือการศึกษาพฤติกรรมของเครื่องจักรซิงโครนัส(synchronous machine)หลังจากได้รับการรบกวนถ้าการรบกวนไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ารวมเครื่องจักรจะกลับเข้าสู่สภาวะเดิม แต่ถ้าเกิดการไม่สมดุลย์ระหว่างการจ่ายและการรับกำลังไฟฟ้า เช่นการเปลี่ยนแปลงของโหลด(load) ที่เกิดจากการผลิตหรือตามสภาวะของระบบเครื่องจักรจะไปยังสภาวะจุดทำงานใหม่ ในกรณีที่มีเครื่องจักรซิงโครนัสต่อถึงกันเป็นระบบถ้าระบบมีเสถียรภาพ

ก็จะยังคงมีสภาพซิงโครไนซ์(synchronism) นั่นคือเครื่องจักรทั้งหมดยังคงขนานเครื่อง และมีความเร็วเดียวกัน

ในกรณีที่มีการรบกวนอย่างรุนแรงเช่นเกิดการเกินของการผลิตเมื่อมีการสูญเสียโหลดจากระบบทำให้พลังงานส่วนเกินเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ของเครื่องจักรทุกตัวจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วเครื่องจักรก็ไม่ได้หมายความว่า จะมีการสูญเสียสภาพซิงโครไนซ์ปัจจัยที่สำคัญคือความแตกต่างของมุมโรเตอร์ระหว่างเครื่องจักรโดยที่มุมโรเตอร์จะวัดเทียบกับการหมุนซิงโครนัสที่ใช้อ้างอิง(synchronously rotating reference) เช่นถ้ามุมโรเตอร์ของเครื่องจักรทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้นแต่ความแตกต่างของมุมโรเตอร์ระหว่างเครื่องจักรมีค่าน้อย ระบบยังคงมีเสถียรภาพถ้าระบบปรับตัวไปยังมุมโรเตอร์ใหม่

การปรับตัวเพื่อไปยังสภาวะจุดทำงานจุดใหม่ เรียกว่าคาบภาวะชั่วครู่(transient period) พฤติกรรมของระบบในคาบเวลานี้เรียกว่า สมรรถนะของระบบทางพลศาสตร์(dynamic system performance) ขอบเขตหลักของเสถียรภาพคือ การที่เครื่องจักรซิงโครนัสทุกตัวยังคงมี สภาพซิงโครไนซ์ เมื่อสิ้นสุดคาบภาวะชั่วครู่

นิยาม : ถ้าการตอบสนองการแกว่ง(oscillatory response) ของระบบกำลังไฟฟ้าในคาบภาวะชั่วครู่ ที่เกิดจากการรบกวน มีการหน่วง(damped)และระบบกลับเข้าสู่สภาวะจุดทำงานที่คงที่จุดใหม่ ภายในเวลาที่นับได้(finite time) เราบอกได้ว่าระบบมีเสถียรภาพ

เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า(power system stability) มีนิยามที่ปรากฏอีก[17] ได้แก่

ก. <u>เสถียรภาพสถานะคงที่(steady-state stability)</u> หมายถึงเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก และเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ และระบบยังคงมีเสถียรภาพด้วยระบบควบคุมแรงดันและระบบควบคุมความเร็วแบบใช้กันทั่วไป(conventional excitation and governor controls)

ข. <u>เสถียรภาพพลศาสตร์(dynamic stability)</u> หมายถึงเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีการรบกวนขนาดเล็กและเป็นการรบกวนแบบทันทีทันใด โดยจะอธิบายระบบด้วยสมการอนุพันธ์เชิงเส้น(linear differential equations) และระบบจะถูกทำให้มีเสถียรภาพ ด้วยระบบควบคุมเสถียรภาพเสริมแบบเชิงเส้นและต่อเนื่อง(linear and continuous supplementary stability control)

ค. <u>เสถียรภาพภาวะชั่วครู่(transient stability)</u> หมายถึงเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีการรบกวนแบบทันทีทันใดและรุนแรงเกินความสามารถของระบบควบคุมเสถียรภาพเสริมแบบเชิงเส้นและต่อเนื่อง และระบบจะสูญเสียเสถียรภาพที่การแกว่งครั้งแรก(first swing) จนกว่าจะมีการตัดระบบออกอย่างมีประสิทธิภาพ ในการวิเคราะห์เสถียรภาพภาวะชั่วครู่และการออกแบบ

ระบบควบคุม จะอธิบายระบบกำลังไฟฟ้าด้วย สมการอนุพันธ์ไม่เชิงเส้น(nonlinear differential equations)

ง. เสถียรภาพไม่เชิงเส้น(nonlinear stability) เป็นเทอมคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางเสถียรภาพในทุกระบบ ไม่เฉพาะแต่ระบบกำลังไฟฟ้าเท่านั้น โดยระบบจะถูกอธิบายด้วยสมการไม่เชิงเส้น(nonlinear equation)

1.4 สมมติฐานและขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าในลักษณะเสถียรภาพพลศาสตร์ โดยการจำลองระบบใช้แบบจำลองเชิงเส้น(linearized model) เนื่องจากสมการที่แท้จริงของระบบเป็นสมการแบบไม่เชิงเส้น เมื่อทำให้เป็นสมการเชิงเส้นจะทำให้ง่ายขึ้นในการวิเคราะห์ เช่น สามารถจัดรูปของระบบให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์จากสมการสเตท(state equation) และใช้หาค่าเจาะจง(eigenvalues)ได้ซึ่งผลที่ได้จะเป็นการประมาณในช่วงแคบๆรอบจุดทำงาน(operating point) ที่พิจารณาเท่านั้น

สำหรับแบบจำลองเชิงเส้นของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา และนิยมใช้กันมากคือ แบบจำลองของระบบเครื่องจักรตัวเดียวต่อกับบัสอนันต์(Single Machine to Infinite Bus, SMIB) [1] และแบบจำลองของระบบเครื่องจักรหลายตัว(multi-machine power system) โดยที่แบบจำลองของระบบเครื่องจักรหลายตัว มีผลของการกระทำระหว่างกันทางพลศาสตร์(dynamic interaction) ระหว่างเครื่องจักร[12,17] ซึ่งจะเหมาะกับการวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าจริงที่มีเครื่องจักรหลายตัวต่อกันเป็นระบบ

ระบบ SMIB จะใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาเสถียรภาพของระบบ โดยแสดงการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง, การจัดสมการสเตทของระบบ และการวิเคราะห์ระบบด้วยการหาค่าเจาะจง รวมทั้งการติดตั้ง PSS เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของระบบ และระบบที่ใช้ในการศึกษาคือโรงไฟฟ้าน้ำพอง(NPCC) ที่ต่อกับบัสอนันต์คือ ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 (KK1) โดยที่ NPCC เป็นระบบพลังความร้อนร่วมมีทั้งหมด 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยเครื่องกังหันแก๊ส 2 ตัว และเครื่องกังหันไอน้ำ 1 ตัวโดยตัวที่จะทำการศึกษาคือเครื่องกังหันไอน้ำของชุดที่ 1 ทำการต่อกับบัสอนันต์คือ KK1 ซึ่งเป็นการจำลองระบบอย่างง่ายโดยไม่คิดการกระทำระหว่างกันทางพลศาสตร์ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสายส่งโดยไม่คิดค่าพารามิเตอร์ของสายส่งที่แยกระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับบัสอนันต์ เพื่อให้เป็นระบบ SMIB

ในระบบเครื่องจักรหลายตัวเป็นระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการวิจัย โดยที่ระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. เอง มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 กลุ่ม ประกอบด้วย NPCC,

โรงไฟฟ้าเขื่อนอุบลรัตน์(URH), โรงไฟฟ้าเขื่อนจุฬาภรณ์(CLBH), โรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำพุง(NPH), โรงไฟฟ้าเขื่อนสิรินธร(SRDH), และโรงไฟฟ้าเขื่อนปากมูล(PMNH) และจากประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว 2 กลุ่ม คือโรงไฟฟ้าเขื่อนเซเสด(XSET) และโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำงึม (NNG) ในการพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นกลุ่ม โดยในกลุ่มเดียวกันคิดเป็น 1 ตัว[8,16] เพื่อให้เป็นระบบที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ และเป็นการลดขนาดของเมตริกซ์ระบบ A

ระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. ได้ทำการศึกษาใน 2 กรณี คือกรณีแรกให้ KK1 เป็นบัสอนันต์ และกรณีที่สองให้บัสท่าตะโก(TTK) เป็นบัสอนันต์ และสมมติให้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ต่ออยู่กับบัส TTK คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ(MM) เพื่อใช้เป็นเครื่องจักรอ้างอิงให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากในกรณีแรก จากการหาค่าเจาะจงของระบบ ไม่สามารถบอกค่าความถี่ธรรมชาติ(natural frequency) ที่แท้จริงของ NPCC ได้ จึงต้องทำการขยายระบบเป็นกรณีที่สองเพื่อให้เห็นค่าความถี่ธรรมชาติของ NPCC ด้วย และจากการเปรียบเทียบค่าเจาะจง, ค่าความถี่ธรรมชาติ และค่าอัตราส่วนการหน่วง(damping ratio) ของโมดเครื่องกลไฟฟ้า(electromechanical mode)ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นๆจากทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงประมาณได้ว่าวิธีการสมมติให้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่บัสอนันต์ในกรณีที่สองใช้ได้กับระบบนี้

สำหรับเสถียรภาพของระบบจะพิจารณาจากค่าเจาะจงของระบบซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐาน และสามารถบอกระดับของความมีเสถียรภาพได้อีกด้วย โดยพิจารณาจากค่าของอัตราส่วนการหน่วง โดยทั่วไปค่าเจาะจงที่เราสนใจจะเป็นค่าเจาะจงที่มีผลต่อระบบมากที่สุด เช่นถ้าค่าของส่วนจริง(real part) เป็นค่าบวก จะทำให้ระบบไม่เสถียรภาพ หรือค่าของอัตราส่วนการหน่วงมีค่าต่ำ จะทำให้ระบบเกิดการแกว่ง(oscillate) และเข้าสู่สถานะคงที่ได้ช้า ในกรณีทั่วไปของระบบกำลังไฟฟ้า จะพบว่าเป็นค่าเจาะจงของโมดเครื่องกลไฟฟ้า[2,3,4]

จากระบบเชิงเส้นที่ไม่เปลี่ยนตามเวลา(linear time-invarient system) ค่าเจาะจงของระบบที่หาได้มีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆในเมตริกซ์ระบบ A และถ้าค่าเจาะจง λ_i นั้น แสดงคุณสมบัติของตัวแปรสเตท Δx_i ต่อระบบ เราเรียกค่าเจาะจง λ_i นั้นว่าเป็นค่าเจาะจงของโมด(mode) ตัวแปรสเตท Δx_i

สำหรับการศึกษาเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าโมดเครื่องกลไฟฟ้าจะเป็นโมดที่ได้รับความสนใจ และเป็นโมดของตัวแปรสเตท $\Delta\delta_i$ และ $\Delta\omega_i$ [2,3] โดยปกติค่าเจาะจงของโมดนี้จะมีค่าอัตราส่วนการหน่วงต่ำที่สุด แต่ก็เป็นการยากที่จะระบุว่าค่าเจาะจง λ_i ที่ให้ค่าอัตราส่วนการหน่วงต่ำตามลำดับนั้น เป็นของโมดเครื่องกลไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวใด ในระบบเครื่องจักรหลายตัวโดยเฉพาะระบบที่มีขนาดใหญ่

การวิจัยนี้จะใช้ค่าพาร์ทิซิเพชัน แฟกเตอร์(Participation factors) เพื่อแสดงค่าเจาะจง λ_i ของโมดเครื่องกลไฟฟ้าทั้งหมด[3,4,8,14] ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว และสามารถติดตั้ง PSS ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง

การปรับปรุงเสถียรภาพของระบบจะใช้ทฤษฎีโมดอล คอนโทรล(Modal control) [2,3,7, 8,11] ในการหาค่าพารามิเตอร์ของ PSS ได้แก่ค่าของอัตราขยาย(gain) และค่าคงที่เวลา(time constant) เพื่อปรับปรุงค่าอัตราส่วนการหน่วงของโมดเครื่องกลไฟฟ้าให้ดีขึ้นตามค่าที่ต้องการ

1.5 <u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย</u>

การวิจัยนี้ทำให้สามารถนำวิธีการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจริงได้ คือระบบกำลังไฟฟ้าเขต 2 กฟผ. ทำให้ทราบเสถียรภาพของระบบ และแนวทางในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้ดีขึ้นด้วยการติดตั้ง PSS ที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ทำให้ทราบผลที่จะได้รับโดยประมาณก่อนการแก้ไขจริง รวมทั้งสามารถนำวิธีการที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบอื่นๆ หรือระบบกำลังไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ได้ เช่นระบบกำลังไฟฟ้า กฟผ. ทั้งหมด เป็นต้น