บทที่ 2

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง (Electric Power System) โดยเฉพาะระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ และประกอบไปด้วย จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , สายส่ง , สถานีไฟฟ้าย่อย และอุปกรณ์อื่นๆ มากมาย โดยจะสามารถแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ด้วยกันคือ [1]

1. ระบบผลิต (Generation) เป็นส่วนที่ทำการผลิตกำลังไฟฟ้า
2. ระบบส่ง (Transmission) เป็นส่วนที่เชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า โดยจะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า
3. ระบบจ่ายและโหลด (Distribution and Loads) เป็นส่วนที่ส่งกำลังไฟฟ้ากระจายไปยังผู้ใช้รายย่อยต่างๆ

ระบบทั้ง 3 ส่วนนี้ จะมีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังมีกรณีศึกษาระบบต่างๆ ที่กล่าวมาในหลายๆ ด้านด้วยกันเช่น การศึกษาด้านความเชื่อถือได้ของระบบ (Reliability) , การศึกษาด้านความมั่นคงของระบบ (Security) , การศึกษาด้านเสถียรภาพของระบบ (Stability) และการศึกษาด้านการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเน้นการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังในด้านเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า (Power System Voltage Stability) โดยจะพิจารณาในส่วนของผลกระทบของแบบจำลองโหลดที่มีต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า

การศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stability) เป็นการศึกษาเกี่ยวข้องกับระบบทั้ง 3 ส่วนคือทั้ง ระบบผลิต , ระบบส่ง และโหลด โดยจะมีการศึกษาระบบทั้งในสภาวะอยู่ตัว (Steady State) และสภาวะพลวัต (Dynamic) โดยในการศึกษาจะเน้นหนักถึงความมี เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดปัญหาขึ้น ความมีเสถียรภาพของระบบจะพิจารณาได้จาก [5] ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังในการรักษาจุดทำงานของระบบไว้ได้อย่างสมดุลภายใต้สภาวะการทำงานปกติ และเปลี่ยนจุดทำงานไปยังจุดสมดุลใหม่ที่ยอมรับได้ภายหลังจากเกิดการรบกวน (Disturbance) ขึ้นในระบบ ความไม่มีเสถียรภาพจะเกิดขึ้น เมื่อระบบไม่สามารถ

รักษาจุดทำงานหลังจากมีการรบกวนที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งอาจจะมีได้หลายสาเหตุด้วยกัน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกตัดออกจากระบบ , สายส่งถูกตัดออกไป , สถานีไฟฟ้าย่อยขัดข้อง , ระบบสื่อสารไม่ทำงาน หรือแม้แต่การกำจัดฟอลต์ที่ช้าเกินไป เป็นต้น

ในปัจจุบันการศึกษาเสถียรภาพของระบบจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ด้วยกัน คือ ในส่วนของระบบส่งและส่วนของระบบจ่าย ดังนี้

2.1 เสถียรภาพการแกว่งของโรเตอร์ (Roter Angle Stability)

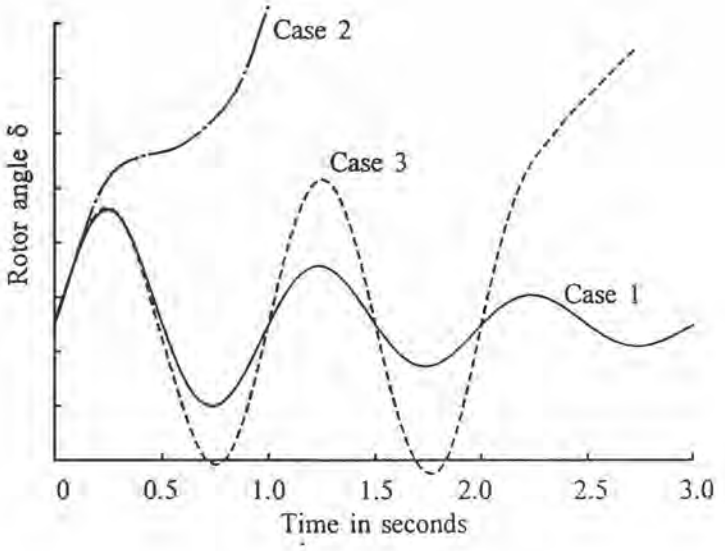
การศึกษาเสถียรภาพของระบบส่งชนิดนี้ เป็นการศึกษาที่เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Stability) ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถรักษาสภาวะซิงโครนิสซึ่ม (Synchronism) ไว้ได้หรือไม่เมื่อมีการรบกวนเกิดขึ้น โดยจะทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับการแกว่งตัวของโรเตอร์ (Rotor Oscillate) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแกว่งของมุมของกำลังไฟฟ้า (Power Angle) ด้วย ดังนั้นในการศึกษาจึงต้องรวมถึงลักษณะและแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องศึกษาถึงอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกด้วย เช่น เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (Automatic Governor Control , AGC) , อุปกรณ์ควบคุมกระแสกระตุ้น (Excitation Control) เป็นต้น เพื่อความสะดวกในการศึกษาเราสามารถแบ่งการศึกษาได้ออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ [2]

2.1.1 การรบกวนขนาดเล็ก (Small-signal Stability)

เป็นการศึกษาถึงความสามารถของระบบที่จะรักษาสภาวะซิงโครนิสซึ่ม เมื่อเกิดการรบกวนขนาดเล็ก (Small Disturbance) ขึ้นในระบบที่มักจะเกิดขึ้นเป็นประจำในระบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงเล็กๆ น้อยๆ ของโหลดและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในการวิเคราะห์จะถือว่าการรบกวนนั้นมีขนาดเล็กมากจนสามารถใช้การวิเคราะห์เป็นแบบเชิงเส้นได้ (Linearization) ความไม่มีเสถียรภาพของระบบจะเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณีด้วยกันคือ มุมของโรเตอร์ (Rotor Angle) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ จนสูญเสียเสถียรภาพอันเนื่องมาจากขาดแรงบิดที่จะรักษาสภาวะซิงโครนิสซึ่ม (Synchronizing Torque) , และการแกว่งของมุมของโรเตอร์ที่แกว่งเพิ่มขึ้นจนสูญเสียเสถียรภาพเนื่องจากขาดแรงบิดที่ทำให้เกิดความหน่วง (Damping Torque)

2.1.2 การรบกวนขนาดใหญ่ (Transient Stability)

เป็นการศึกษาเสถียรภาพของระบบเมื่อเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ขึ้นในระบบ การรบกวนที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงหลายระดับ ขึ้นอยู่กับการรบกวนที่เกิด เช่น การเกิดลัดวงจร (Short Circuits) ทั้งแบบจากสายลงดิน (Phase-to-Ground) , ระหว่างสาย (Phase-to-Phase) , ลัดวงจรทั้งสามสายลงดิน (Three-Phase-to-Ground) เป็นต้น ความไม่มีเสถียรภาพจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีเช่นกันคือ กรณีการแกว่งครั้งแรก (First-swing Instability) และกรณีการแกว่งของโรเตอร์จนเสียเสถียรภาพ กรณีนี้การสูญเสียเสถียรภาพที่เกิดขึ้นมักจะไม่เป็นแบบกรณีการแกว่งครั้งแรก แต่จะเป็นผลมาจากการรบกวนหลายๆ แบบที่เกิดขึ้นรวมกันจนระบบสูญเสียเสถียรภาพ ช่วงเวลาที่ใช้พิจารณาว่าระบบยังคงมีเสถียรภาพอยู่หรือไม่จะอยู่ที่ประมาณ 3-5 วินาทีแรก หลังจากเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ แต่ถ้าเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่มากช่วงเวลาที่พิจารณาจะเพิ่มเป็นประมาณ 10 วินาที [2]



รูปที่ 2.1 แสดงมุมของโรเตอร์เมื่อเทียบกับเวลา
กรณีที่ 1 ระบบยังคงรักษาเสถียรภาพไว้ได้
กรณีที่ 2,3 ระบบสูญเสียเสถียรภาพ

2.2 เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Stability)

เป็นการศึกษาเสถียรภาพทางด้านระบบจ่ายหรือโหลด โดยจะศึกษาถึงความสามารถของระบบในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าทุกๆ บัส ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ภายใต้สภาวะการทำงานปกติ และภายหลังจากเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ ความมีเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังเสมือนที่แต่ละบัสเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการศึกษาจึงต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเสมือนและแรงดันไฟฟ้าเป็นอย่างดี การรบกวนที่เกิดขึ้นมีด้วยกันหลายประเภทคือ การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าของการโหลดจนควบคุมไม่ได้ , การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของระบบเช่น อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนขัดข้อง อันจะทำให้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ได้ เป็นต้น

ความหมายของคำต่างๆในการศึกษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ทาง IEEE ได้ให้คำจำกัดความไว้ดังนี้ [3]

<u>เสถียรภาพของแรงดัน (Voltage Stability)</u> เป็นความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่ยังสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าไว้ได้ เมื่อค่าแอดมิตแตนซ์ของโหลดเพิ่มขึ้น นั่นคือกำลังไฟฟ้าของโหลดเพิ่มขึ้น โดยระบบยังสามารถควบคุมค่ากำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าไว้ได้

<u>การพังทลายของแรงดัน (Voltage Collapse)</u> เป็นกระบวนการที่ความไม่มีเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า จะทำให้แรงดันลดลงอย่างมากของส่วนที่มีความสำคัญต่อระบบ

แต่อย่างไรก็ตามความหมายของคำต่างๆ เหล่านี้ทาง CIGRE ก็ได้ให้คำจำกัดความไว้ด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ [4]

<u>เสถียรภาพของแรงดัน (Voltage Stability)</u> ระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำงานอยู่ในสภาวะการทำงานหนึ่งๆ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นจะมีเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ถ้าแรงดันไฟฟ้าของโหลดมีค่าเข้าใกล้จุดสมดุลหลังถูกรบกวน และการรบกวนที่เกิดขึ้นอยู่ภายในขอบเขตของสภาวะสมดุลหลังจากถูกรบกวน

<u>ความไม่มีเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Instability)</u> จะมีความหมายตรงข้ามกับความหมายเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า และมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง (หรือเพิ่มขึ้น) เป็นอย่างมาก โดยอุปกรณ์ควบคุมจะทำงานจนถึงค่าสูงสุดของมัน

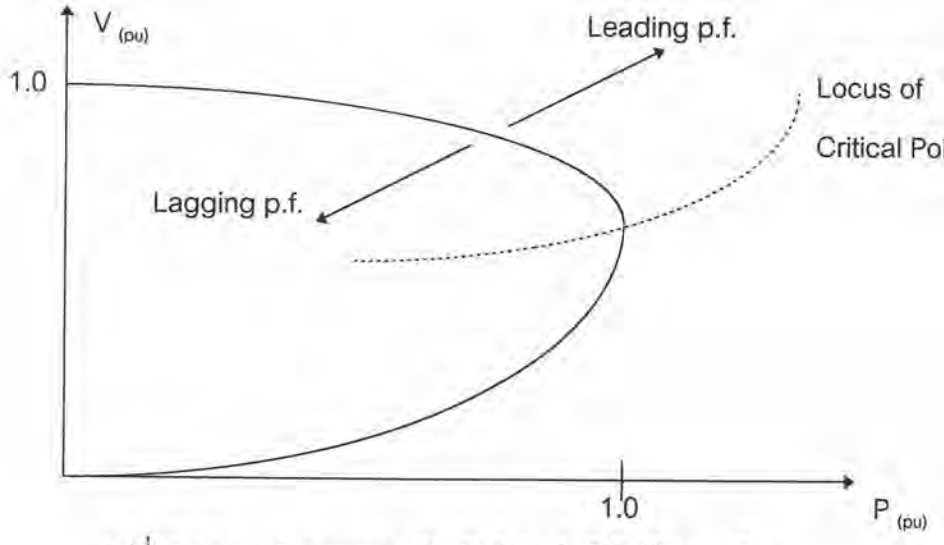
<u>การพังทลายของแรงดัน (Voltage Collapse)</u> หลังจากระบบไม่มีเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าแล้ว ระบบจะเกิดการพังทลายของแรงดันไฟฟ้าขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าของโหลดหลัง

ถูกรบกวนต่ำกว่าค่าที่สามารถยอมรับได้ การพังทลายของแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ อาจจะเกิดทั้งหมดหรือบางส่วนของระบบก็ได้

ความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังอาจจะพิจารณาได้จาก [2] แรงดันไฟฟ้าที่ทุกๆ บัสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจ่ายกำลังเสมือนเข้าไปในระบบที่บัสนั้นๆ เพิ่มมากขึ้น ระบบนั้นจะมีเสถียรภาพ แต่ระบบจะไม่มีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อ มีบัสอย่างน้อยหนึ่งบัสที่แรงดันไฟฟ้ามีขนาดลดลง เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าไปในระบบที่บัสนั้นๆ นอกจากนี้ยังพิจารณาได้จากค่าความชันของกราฟ V-Q (V-Q Sensitivity) อีกด้วยคือ ถ้าระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพค่า V-Q Sensitivity จะมีค่าบวกสำหรับทุกๆ บัส แต่ระบบจะไม่มีเสถียรภาพถ้ามีบัสอย่างน้อย 1 บัสมีค่า V-Q Sensitivity เป็นลบ

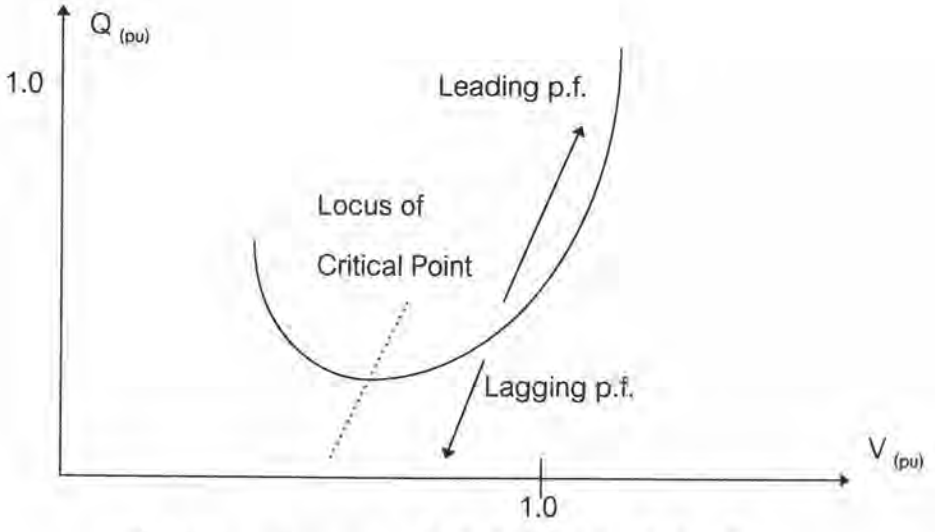
โดยทั่วไปในระบบไฟฟ้ากำลังจะใช้กราฟในการอธิบายถึงเสถียรภาพของระบบอยู่ 2 แบบด้วยกัน ซึ่งกราฟจะบอกถึงจุดที่ระบบทำงานอยู่ , อธิบายขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer) หรือจุดวิกฤต (Critical Point), ช่วงการทำงานของระบบที่ยังมีเสถียรภาพอยู่ เป็นต้น สำหรับบัสแต่ละบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถอธิบายความหมายของกราฟทั้งสองได้ดังนี้ [2]

1. <u>กราฟกำลังไฟฟ้า-แรงดัน (P-V Curve)</u> แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงที่บัสต่างๆ กราฟหนึ่งเส้นจะมีจุดที่สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าแรงดันหนึ่งอยู่เพียงค่าเดียวเท่านั้น เส้นประที่แสดงในกราฟจะหมายถึง แนวทางของค่าขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer) ที่มีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ต่างๆ กัน ถ้าระบบมีค่าตัวประกอบกำลังแบบนำ (Leading) มากขึ้น ระบบก็จะสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นด้วย ถ้าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพที่กำลังไฟฟ้าจริงค่าหนึ่ง แรงดันไฟฟ้าที่บัสจะมีค่าอยู่เหนือเส้นประ นั่นคือ ระบบไฟฟ้ากำลังจะทำงานอย่างมีเสถียรภาพได้ แรงดันไฟฟ้าที่บัสจะต้องอยู่ครึ่งซีกบนของกราฟ ส่วนครึ่งซีกล่างของกราฟจะหมายถึงบริเวณที่ระบบไม่มีเสถียรภาพ



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า-แรงดัน

2. <u>กราฟแรงดัน-กำลังเสมือน (V-Q Curve)</u> สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 จะเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับกราฟแรก แต่จะแสดงค่ากำลังเสมือนแทน เส้นกราฟจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังเสมือนเทียบกับแรงดันไฟฟ้า เมื่อเราให้กำลังจริงมีค่าคงที่ แนวเส้นประจะแสดงแนวทางของค่าขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer) เช่นเดียวกับกราฟรูป 2.2 สำหรับความมีเสถียรภาพของระบบนั้น ค่าความชันของ V-Q จะต้องมีค่าเป็นบวกในทุกๆ บัสของระบบ ระบบจึงจะมีเสถียรภาพ ถ้าค่าความชันมีค่าเป็นลบระบบจะไม่มีเสถียรภาพ ส่วนความชันจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่ออยู่ที่จุดวิกฤต (Critical Point) ดังนั้นจากรูปที่ 2.3 ระบบจะมีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อ ระบบอยู่ทางซีกขวาของเส้นประ ส่วนทางด้านซีกซ้ายของเส้นประจะหมายถึง ระบบไม่มีเสถียรภาพในการทำงาน แต่ถ้าเราใส่อุปกรณ์ชดเชยกำลังเสมือน (Reactive Compensation) ที่สามารถจ่ายกำลังเสมือนได้อย่างเพียงพอเข้าไปในระบบที่มีค่าความชันเป็นลบ ระบบก็สามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพเช่นกัน



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน-กำลังเสมือน

ในการศึกษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ถ้าเราพิจารณาตามช่วงเวลาจะสามารถแบ่งการศึกษาออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ [1]

2.2.1 <u>สภาวะพลวัต (Transient Voltage Stability)</u>

ช่วงเวลาที่พิจารณาจะอยู่ช่วงประมาณ 10 วินาทีแรกหลังจากเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันกับกรณีสภาวะทรานเซียนซ์ของมุมการแกว่งของโรเตอร์ด้วยเช่นกัน ความแตกต่างของเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้ากับเสถียรภาพของมุมของโรเตอร์ ในบางครั้งไม่อาจแยกจากกันอย่างชัดเจน เช่น เมื่อเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ (Rotor Angle) จะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของระบบตามมาด้วยก็ได้ ลักษณะการรบกวนที่เกิดขึ้นจะมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเช่น ฟอลต์ที่จุดต่างๆ ในระบบ , เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกตัดออกจากระบบและสายส่งถูกตัดออกไป เป็นต้น เนื่องจากช่วงเวลาที่พิจารณาอยู่ในช่วง 10 วินาที อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่ต้องคำนึงถึงคือ แบบจำลองพลวัต ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ , อุปกรณ์ชดเชยกำลังเสมือนของระบบเช่น คาปาซิเตอร์ เป็นต้น โดยใช้วิธีวิเคราะห์ของมุมของโรเตอร์ (Transient Rotor Angle Stability) โดยคำนวณหาแรงดันที่บัสต่างๆ ภายในช่วงเวลาที่สนใจเพื่อดูว่าระบบมีเสถียรภาพหรือไม่ ถ้าระบบมีเสถียรภาพแรงดันทุกๆ บัสจะถูกรักษาระดับไว้ได้ภายในช่วงที่สามารถยอมรับได้

2.2.2 <u>สภาวะอยู่ตัว (Longer-term Voltage Stability)</u>

ช่วงเวลาที่พิจารณาจะอยู่ในช่วงนาทีแรกจนถึงหลายสิบนาทีขึ้นไป การรบกวนที่เกิดขึ้นมักจะทำให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เช่น กำลังไฟฟ้าของโหลดที่มีการ

เปลี่ยนแปลงเล็กๆ น้อยๆ อยู่ตลอดเวลา การวิเคราะห์ระบบสามารถใช้การวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัวได้ อุปกรณ์ที่มีผลต่อระบบในช่วงเวลานี้ได้แก่อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , อุปกรณ์ควบคุมหม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นต้น การพิจารณาถึงเสถียรภาพของระบบสามารถพิจารณาได้จาก ระบบไฟฟ้าจะมีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจ่ายกำลังเสมือนเข้าไปในระบบผ่านบัสนั้นๆ เพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีบัสอย่างน้อยหนึ่งบัสที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเมื่อจ่ายกำลังเสมือนเข้าไปเพิ่มขึ้นที่บัสนั้นๆ ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ หรืออาจจะพิจารณาได้จากระบบจะมีเสถียรภาพเมื่อค่า V-Q Sensitivity ของทุกๆ บัสมีค่าเป็นบวก แต่ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ ถ้ามีบัสใดบัสหนึ่งมีค่า V-Q Sensitivity เป็นลบ

2.3 วิธีการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า

ในการศึกษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า โดยทั่วไปจะนิยมใช้เวลาในการแบ่งการวิเคราะห์ระบบออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ ในสภาวะอยู่ตัวและในสภาวะพลวัต ซึ่งในแต่ละประเภทก็จะมีวิธีในการวิเคราะห์เสถียรภาพหลายวิธีด้วยกันคือ

2.3.1. การวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว (Static Voltage Stability Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า โดยศึกษาในช่วงสภาวะอยู่ตัวของระบบหลังจากเกิดการรบกวน โดยจะนำผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้ามาเป็นข้อมูล และตัวแปรในการวิเคราะห์เสถียรภาพต่อไป โดยวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสัน แต่เมื่อระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดใกล้จะถึงขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer) หรือจุดวิกฤต เมตริกซ์จาโคเบียนจะเป็นเมตริกซ์เอกฐาน (Singular Matrix) ทำให้ไม่สามารถคำนวณโหลดโฟลว์ได้ ซึ่งวิธีการศึกษาเสถียรภาพแต่ละวิธีก็จะแก้ไขปัญหานี้ต่างกัน และสามารถอธิบายถึงแต่ละวิธีได้ ดังนี้

1. วิธีของ Modal Analysis [2 , 6 , 7] เนื่องจากระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจนใกล้จะถึงขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด โหลดโฟลว์จะเกิดการไดเวอร์จ (Diverge) ขึ้น และเมตริกซ์จาโคเบียนจะกลายเป็น singular matrix วิธี Modal Analysis จะทำการลดขนาดของเมตริกซ์จาโคเบียนลง (reduced jacobian [J_R]) แทน ซึ่งจะถูกนำไปใช้หาค่าของไอเกน (Eigen Value) , ไอเกนเวคเตอร์ (Eigen Vector) และหาค่าของ V-Q Sensitivity ต่อไป เพื่อใช้บอกถึง

เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ถ้าค่าออกมาเป็นบวก หมายถึง ระบบมีเสถียรภาพ แต่ถ้าค่าออกมาเป็นลบ ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ

2. วิธีกำลังไฟฟ้าไหลต่อเนื่อง (Continuation Power Flow) [8] ในกรณีเมตริกซ์จาโคเบียนเป็นเมตริกซ์เอกฐาน (Singular Matrix) เมื่อเข้าใกล้ขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด การแก้ปัญหาทำได้โดยแก้ไขเมตริกซ์จาโคเบียนบางค่า เพื่อให้ค่าดีเทอมิแนนท์ (Determinant) ไม่เป็นศูนย์ และมีขั้นตอนการคำนวณ 2 ส่วนคือ ส่วนคาดคะเน (Predictor) และ ส่วนแก้ไข (Corrector) ส่วนคาดคะเน (Predictor) จะคำนวณค่าต่างๆของระบบในขั้นตอนต่อไปโดยอาศัย การคาดเดาจากความชันของกราฟ P-V curve ส่วนแก้ไขจะทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จริงของระบบ แล้วทำการแก้ไข จากการคำนวณด้วยวิธีนี้ จะทำให้เราสามารถหาจุดวิกฤต หรือขีดจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้

2.3.2 การวิเคราะห์ในสภาวะพลวัต (Dynamic Voltage Stability Analysis)

จะวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในสภาวะพลวัต หลังจากถูกรบกวน โดยการศึกษาจะทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆที่ได้เปรียบเทียบกับเวลา ในการศึกษาของแต่ละวิธีนั้นจะต้องรวมผลของแบบจำลองพลวัต (Dynamic Model) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , โหลด , ตัวเปลี่ยนแทป (Tap Changer) และอุปกรณ์ควบคุมเข้าไปด้วย เพื่อให้ค่าที่คำนวณได้มีความถูกต้องมากที่สุด วิธีการคำนวณของแต่ละวิธีสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. วิธีวิเคราะห์ค่าของไอเกน (Eigen Analysis) [8] จะทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยใช้วิธีการหาค่าไอเกน (Eigen Value) ของระบบ จะใช้วิธีการทางเชิงเส้น (Linearized Dynamical Model) เพื่อวิเคราะห์สมการที่อยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียล และสมการพีชคณิต เพื่อใช้ในการหาค่าไอเกน ของเมตริกซ์จาโคเบียนของระบบต่อไป

2. วิธีวิเคราะห์เทียบกับเวลา จะเป็นวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ในช่วงทรานเซียนซ์ (Transient Stability) ของเสถียรภาพการแกว่งของโรเตอร์ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของแรงดันได้ เนื่องจากสมการที่ใช้แทนอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล จึงใช้วิธีทางเชิงเลข (Numerical Method) มาช่วยแก้ปัญหาซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีของ Euler , Modified Euler , Runge-Kutta เป็นต้น ส่วนที่เป็นสมการพีชคณิตก็สามารถแก้สมการได้

ผลจากการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของกราฟเทียบกับเวลา ซึ่งเราสามารถพิจารณาความมีเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าได้จากกราฟ ช่วงเวลาที่พิจารณาจะอยู่ในช่วง 5-10 วินาที หรือน้อยกว่านั้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับเวลาซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในสภาวะพลวัต และเป็นวิธีที่สามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย สามารถจำลองเหตุการณ์รบกวนแบบต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาได้ดีกว่าวิธีวิเคราะห์ค่าของไอเกน จึงนำมาใช้ศึกษาถึงผลกระทบของแบบจำลองโหลดต่างๆ ที่มีต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า