บทที่ 2
การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงไดนามิคของระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงไดนามิคของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้สเตทสเปซ

เมื่อระบบไฟฟ้ากำลังถูกรบกวนด้วยสัญญาณขนาดเล็ก ระบบไฟฟ้าจะเปลี่ยนจุดทำงานจากเดิมเป็นจุดทำงานใหม่ ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่ต่างไปจากจุดทำงานเดิมมากนัก นั่นคือ ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของระบบจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเริ่มต้น (X_0) มากนักและจะสามารถประมาณได้ว่าระบบไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่ในช่วงแคบ ๆ ช่วงหนึ่ง ทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) สามารถแทนได้ด้วยระบบไฟฟ้าที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์ระบบสามารถทำได้ง่ายขึ้น

เมื่อพิจารณาสมการอนุพันธ์ (Differertial Equation) ที่ใช้อธิบายการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อตัวแปรของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเป็นดังนี้ คือ[17]

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + \mathbf{X}_\Delta \tag{2.1}$$

โดย $\mathbf{X}_\Delta$ คือ การเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ ของ $\mathbf{X}$

ถ้าใช้การกระจายอนุกรมเทเลอร์ (Taylor Series Expansion) รอบ ๆ จุด $\mathbf{X}_0$ และเนื่องจากเป็นการพิจารณาในช่วงแคบๆจึงละเลยผลของกำลัง (Degree) ที่มากกว่าหนึ่ง จะทำให้ประมาณสมการแบบไม่เชิงเส้นได้ด้วยสมการแบบเชิงเส้น ดังนั้นความเป็นไปในเชิงไดนามิคของระบบไฟฟ้ากำลัง จะสามารถอธิบายได้ด้วยกลุ่มของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Order Differential Equation) ดังสมการ (2.2)

$$\dot{\mathbf{X}}_\Delta = \mathbf{A}\mathbf{X}_\Delta + \mathbf{B}\mathbf{U} \tag{2.2}$$

โดยที่

$\mathbf{X}_\Delta$ = เวคเตอร์ของตัวแปรสถานะ มิติ (n x 1)

$\mathbf{A}$ = เมตริกซ์คงที่ มิติ (n x n)

$\mathbf{B}$ = เมตริกซ์คงที่ มิติ (n x n)

$\mathbf{U}$ = เวคเตอร์ควบคุม มิติ (n x 1)

สมการที่ (2.2) เป็นสเตทสเปซของระบบไฟฟ้า หรือเป็นสมการสถานะ (state equation) ของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อความสะดวกจะละเลยเครื่องหมาย Δ ดังนั้นสมการ (2.2) จะเขียนได้ดังนี้

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{AX} + \mathbf{BU} \tag{2.3}$$

สมาชิกของเมตริกซ์ A จะเป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรซึ่งเกิดจากการประมาณค่าสมการอนุพันธ์แบบเชิงเส้น มีค่าขึ้นอยู่กับจุดทำงานเริ่มต้น ($\mathbf{X}_0$) ของระบบไฟฟ้ากำลังและเป็นฟังก์ชั่นของอิมพิแดนซ์ของระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นค่าคงที่ในช่วงความถี่ของระบบไฟฟ้าที่กำลังพิจารณาอยู่

ดังนั้นในการหาสมการสถานะนั้นจึงจำเป็นต้องหาแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมอื่น ๆ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 โดยแบบจำลองทั้งหมดจะต้องปรับให้เป็นแบบจำลองชนิดเชิงเส้น และหาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า จากนั้นจึงจะสามารถหาสมการสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังได้ โดยแสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 4 ซึ่งจะสามารถสร้างสมการสถานะได้มากถึง 12 สมการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า[17,18]

การวิเคราะห์ว่าระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพเชิงไดนามิคหรือไม่นั้น จะสามารถวิเคราะห์ได้จากการพิจารณาค่าเจาะจง (Eigenvalue) ของเมตริกซ์ A ซึ่งเป็นผลตอบสนองอิสระ (Free Response) ของสมการ (2.2) และเป็นราก (Root) ของสมการลักษณะ (Characteristic Equation) ของสมการ (2.2) ซึ่งโดยปกติค่าเจาะจงของระบบไฟฟ้ากำลังจะเป็นจำนวนเชิงซ้อน (Complex Number) ชนิดคู่สังยุค (Conjugate) และมีค่าไม่ซ้ำกัน เงื่อนไขที่จำเป็นอย่างหนึ่งของระบบที่มีเสถียรภาพคือส่วนตัวเลขจริง (Real Part) ของค่าเจาะจงต้องมีค่าเป็นลบ ยิ่งมีค่าเป็นลบมากจะทำให้ระบบยิ่งมีเสถียรภาพดีขึ้นในกรณีที่มีค่าเจาะจงอย่างน้อยหนึ่งค่าหรือหลายค่าพร้อมกันมีส่วนตัวเลขจริงเป็นบวกแสดงว่าระบบนั้นไม่มีเสถียรภาพ เมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาดเล็กเกิดขึ้นจะทำให้เกิดออสซิเลชั่นที่ไม่สามารถหน่วงได้จนทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังเกิดความเสียหายได้[17,26]

2.2 การคำนวณหาค่าตัวแปรของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์โดยวิธีต่าง ๆ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 ว่า ถ้าค่าเจาะจงทุกค่ามีตัวเลขจริงเป็นลบระบบไฟฟ้ากำลังจะมีเสถียรภาพ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในปัจจุบันจะมีอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ติดตั้งมาด้วย โดยอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์จะสามารถปรับแต่งค่าตัวแปรได้ตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบ เช่น ค่าอัตราขยาย (k) และค่าคงตัวทางเวลา (t) เมื่อติดตั้งอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์แล้วจะทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีสมการสถานะที่เปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ สมาชิกของเมตริกซ์ A จะเปลี่ยนไป ซึ่งจะทำให้ค่าเจาะจงเปลี่ยนไปด้วย

ได้มีผู้เสนอวิธีการคำนวณหาค่าอัตราขยาย และค่าคงตัวทางเวลาเพื่อให้ได้ค่าเจาะจงตามที่ต้องการเอาไว้บ้างแล้วดังนี้

1. Fleming , Mohan , Parvatisam[18] ได้เสนอวิธีการคำนวณอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอนเอาไว้แต่มีข้อเสียคือ ใช้การคำนวณเพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ได้ทีละเครื่อง ซึ่งจะทำให้ค่าเจาะจงของระบบที่กำหนดเอาไว้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ได้คำนวณและปรับค่าอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ไว้แล้วมีความคลาดเคลื่อนไป เนื่องจากผลของการติดตั้งอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นๆถัดมา

2. Gooi , Hill , Mobarok , Thorne , Lee[12] ได้เสนอวิธีการคำนวณ โดยใช้หลักการของสัมประสิทธิ์ของแรงบิดของซิงโครไนซิ่งและการหน่วง (Synchronizing and Damping Torque Cocffcient) ซึ่งจะได้ค่าเจาะจงตามที่กำหนดไว้ แต่ค่าเจาะจงที่คำนวณได้จะมีความแตกต่างจากค่าเจาะจงของระบบที่ต้องการ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping Coeffcient) ที่กำหนดในการคำนวณนั้น เป็นค่าภายในวงรอบเชิงกล (Inner Mechanical Loop) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งไม่ใช้ค่าเจาะจงของระบบที่กำหนดอย่างแท้จริง

3. Lefebvre[22] ได้เสนอวิธีการคำนวณ โดยคำนึงถึงผลกระทบเชิงไดนามิค (Dynamic Interaction) ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องภายในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งจะได้ค่าเจาะจงตามที่กำหนดไว้ แต่ในการคำนวณต้องคำนวณหาเวคเตอร์เจาะจง (Eigen Vector)ก่อน แล้วจึงคำนวณหาค่าเจาะจงทำให้ในแต่ละวงรอบการคำนวณ (Iteration) นั้น ต้องใช้เวลามาก

4. Abe , Doi[20] ได้เสนอการคำนวณโดยใช้วิธีทางผลตอบเชิงความถี่ (Frequency Response Method) ในการกำหนดค่าเจาะจง ซึ่งทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์จะหาได้โดยวิธี Least Square Approximation ค่าตัวแปรที่ได้นี้เหมาะกับการนำไปใช้ปรับตั้งอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์อย่างหยาบ ๆ เท่านั้น

5. Abe , Doi[21] ได้เสนอวิธีการคำนวณโดยใช้ความไวของค่าเจาะจง (Eigenvalue Sensitivity) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่อง และใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าต่ำสุดของเพอร์ฟอร์มแมนซ์อินเด็กซ์ (Performance Index) ของผลรวมของอัตราขยายของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ทุกเครื่อง ซึ่งจะเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ควรติดตั้งอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์และหาทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ด้วย แต่การตั้งสมมติฐานที่ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าเจาะจงในโมดของการแกว่งของกำลัง (Power Swing Eigenvalue) และผลตอบสนองเชิงความถี่ของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์มีค่าน้อยมาก เป็นสมมติฐานที่ไม่สามารถใช้ได้ทุกสภาวะ

จะเห็นได้ว่าจากตัวอย่างข้างต้น วิธีการคำนวณที่เคยมีผู้เสนอเอาไว้ แม้ว่าจะมีข้อดีแต่ก็มีข้อบกพร่องบางอย่างอยู่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอวิธีการคำนวณ ซึ่งเป็นวิธีการซึ่งได้ลดข้อบกพร่องที่มีในวิธีการคำนวณแบบอื่น ๆ ดังนี้

1. จะทำการคำนวณค่าตัวแปรของสเตบิไลเซอร์ทุกเครื่องในระบบไฟฟ้าออกมาพร้อมกัน ทำให้ไม่มีความคลาดเคลื่อนของค่าเจาะจงของระบบที่กำหนดเอาไว้ เนื่องจากตามวิธีการคำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะได้จำนวนสมการเท่ากับจำนวณค่าตัวแปรของสเตบิไลเซอร์ที่ต้องการคำนวณค่า ทำให้สามารถคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดออกมาได้เลยโดยไม่ต้องใช้วิธีการคำนวณหาค่าตัวแปรของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ทีละเครื่อง

2. เป็นวิธีการคำนวณซึ่งสามารถเลือกใช้สัญญาณเข้า (Input Signal) ของสเตบิไลเซอร์ได้ทุกชนิด เช่น เลือกให้เป็นความเร็วของโรเตอร์ กำลังที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกไป ความถี่ไฟฟ้า ซึ่งผลดีก็คือสามารถนำไปใช้กับสเตบิไลเซอร์ได้ทุกระบบ โดยแบบจำลองที่ใช้จะเป็นแบบจำลองที่ใช้กันตามปกติ[17,2] แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะแสดงรายละเอียดและทำโปรแกรมคำนวณโดยเลือกเฉพาะในกรณีที่สัญญาณเข้าของอุปกรณ์สเตบิไลเซอร์ทุกเครื่องเป็นความเร็วของโรเตอร์เท่านั้น แต่ถ้าสัญญาณเข้าเป็นชนิดอื่นก็สามารถใช้หลักการเดียวกันในการคำนวณได้