บทที่ 2

ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา

ในการวางแผนและควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น นอกจากการควบคุมให้กำลังผลิตเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภคแล้ว เสถียรภาพหรือความมั่นคงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าก็ถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาควบคู่กันไปเสมอ โดยวิธีการเสริมสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี [7] ได้แก่

- การใช้อุปกรณ์ป้องกันและตัวตัดวงจรอย่างมีประสิทธิภาพในการจัดการกับความผิดพร่องที่เกิดขึ้นให้เร็วที่สุด และจำกัดบริเวณที่ถูกรบกวนให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- การใช้ตัวตัดวงจรแบบขั้วเดียว เพื่อตัดวงจรเฉพาะส่วนที่เกิดลัดวงจรโดยวงจรที่เหลือยังคงสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ
- การใช้รูปแบบเครือข่ายที่เหมาะสมในการปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น หลีกเลี่ยงการเชื่อมโยงที่มีกำลังไฟฟ้าไหลมากๆ ด้วยสายส่งเส้นยาว เป็นต้น
- สำรองกำลังผลิตให้เพียงพอและเหมาะสมกับความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
- หลีกเลี่ยงการปฏิบัติการระบบที่ความถี่ และ/หรือแรงดันต่ำ
- หลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงเครือข่ายที่ทำให้เครือข่ายมีความอ่อนแอ เช่น การปลดสายส่งหรือหม้อแปลงพร้อมๆ กันเป็นจำนวนมาก เป็นต้น

ในทางปฏิบัติแล้ว การเลือกวิธีการเสริมสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังจะมีการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนก่อสร้างประกอบกับความเหมาะสมทางวิศวกรรม ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ช่วยเสริมสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังชนิดหนึ่ง คือ ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา

2.1 ที่มาของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา

คำนิยามของเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

2.1.1 เสถียรภาพของมุมโรเตอร์ (Rotor angle stability)

เนื่องจากเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาส่วนใหญ่ มักพิจารณาในส่วนของเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ ซึ่งอาจแบ่งย่อยได้สองชนิด [8] คือ เสถียรภาพเมื่อมีการรบกวนขนาดเล็ก (Small-disturbance stability) และเสถียรภาพชั่วครู่ (Transient stability) โดยที่

- เสถียรภาพเมื่อมีการรบกวนขนาดเล็กคือความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังในการรักษาซิงโครนัสเมื่อเกิดการรบกวนขนาดเล็กขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปเพียงเล็กน้อย โดยปกติการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าดังกล่าวมักมีค่าไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ของ

ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งระบบ [6] ซึ่งการรบกวนดังกล่าวเกิดขึ้นเป็นประจำอย่างต่อเนื่องในระบบไฟฟ้ากำลังเช่น การเปลี่ยนแปลงของโหลด, แรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นเพียงเล็กน้อย เป็นต้น โดยที่ขนาดของการรบกวนขนาดเล็กพิจารณาจากความสามารถในการประมาณระบบไฟฟ้ากำลังให้เป็นเชิงเส้นได้ ซึ่งหากพิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังให้เป็นเชิงเส้นได้ตลอดช่วงการรบกวน การรบกวนดังกล่าวถือว่าเป็นการรบกวนขนาดเล็ก ได้แก่ การปรับเปลี่ยนค่าแรงดันอ้างอิงของตัวกระตุ้น เป็นต้น มิเช่นนั้นถือว่าเป็นการรบกวนขนาดใหญ่ เช่น การเกิดลัดวงจร เป็นต้น จากการศึกษาระบบโดยทั่วไป พบว่าความไม่มีเสถียรภาพอาจเกิดได้ในสองลักษณะกล่าวคือ (1) การเพิ่มขึ้นแบบค่อยเป็นค่อยไปของมุมโรเตอร์เนื่องจากการขาดแรงบิดซิงโครนัส หรือ (2) การแกว่งของโรเตอร์เนื่องจากการขาดแรงบิดหน่วงที่เพียงพอ โดยธรรมชาติผลตอบของระบบที่มีต่อการรบกวนขนาดเล็กนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยจำนวนมาก ซึ่งรวมไปถึงจุดทำงานเริ่มต้น ความแข็งแรงของระบบส่งซึ่งเป็นตัววัดการเชื่อมโยงกันของระบบส่งไฟฟ้า และชนิดของระบบควบคุมการกระตุ้นภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ด้วย ในปัจจุบันนี้ปัญหาเสถียรภาพเมื่อมีการรบกวนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นส่วนมากมักเกี่ยวพันกับการขาดการหน่วงการแกว่งที่เพียงพอ ซึ่งอาจแบ่งชนิดของการแกว่งที่พิจารณาแตกต่างกันไปได้ดังนี้ [8,9]

1. โหมดเฉพาะที่ (Local mode) การแกว่งชนิดนี้โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรหรือกลุ่มเครื่องจักรที่อยู่ที่โรงไฟฟ้าเดียวกันกันแกว่งเทียบกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่หรือศูนย์กลางโหลด ความถี่ที่มักจะอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 2 Hz การแกว่งนี้มักมีปัญหาบ่อยครั้งเมื่อโรงไฟฟ้าจ่ายโหลดสูงผ่านสายส่งที่มีค่ารีแอกแตนซ์สูง หรือระบบการกระตุ้นสมัยใหม่ที่ใช้ในปัจจุบันมักทำงานได้รวดเร็วและเพิ่มแรงบิดซิงโครนัสได้มาก ขณะเดียวกันจะไปลดแรงบิดหน่วงการแกว่งชนิดนี้ลง ซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 2.1.3

2. โหมดระหว่างพื้นที่ (Interarea mode) การแกว่งชนิดนี้โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการแกว่งระหว่างกลุ่มเครื่องจักรในแต่ละส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง การแกว่งชนิดนี้มีความถี่ต่ำกว่าการแกว่งโหมดเฉพาะที่มาก กล่าวคือ ไม่เกิน 0.5 Hz ดังนั้นนอกจากระบบการกระตุ้นสมัยใหม่ที่มีผลต่อการหน่วงการแกว่งชนิดนี้แล้ว ระบบการกระตุ้นรุ่นเก่าที่ให้ผลตอบสนองช้าอาจไปลดแรงบิดหน่วงการแกว่งชนิดนี้ด้วย

3. โหมดระหว่างเครื่องจักร (Interunit mode) การแกว่งชนิดนี้เกี่ยวข้องกับการแกว่งภายในโรงไฟฟ้าที่มีเครื่องจักรอยู่มากกว่าหนึ่งหน่วย หรือระหว่างโรงไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปความถี่จะอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 3 Hz

4. โหมดระบบควบคุม (Control mode) การแกว่งชนิดนี้มักเกิดจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เช่น ตัวกระตุ้น ตัวบังคับกังหัน เป็นต้น ไม่เหมาะสมวิธีการแก้ไขจึงมุ่งเน้นไปที่การปรับค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์เหล่านั้นเสียใหม่

5. โหมดแรงบิด (Torsional mode) การแกว่งชนิดนี้เกี่ยวกับการแกว่งในระบบเพลากังหัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการทำงานที่ไม่สอดคล้องกันระหว่างการควบคุมของตัวกระตุ้นตัวบังคับกังหัน ตัวควบคุมระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง กับสายส่งที่มีการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมชดเชยอยู่

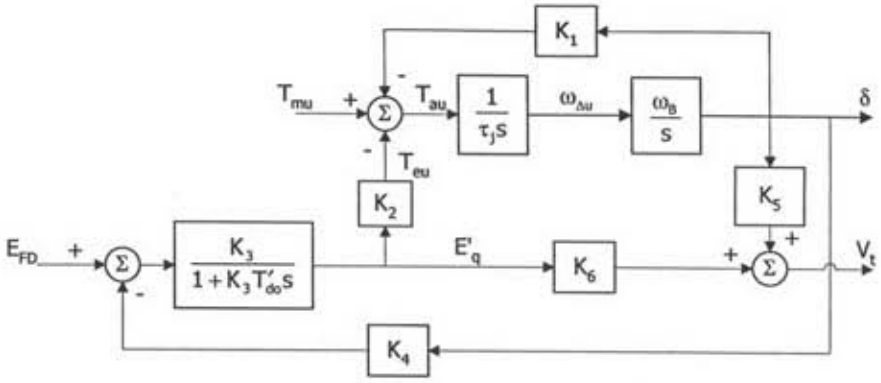
- เสถียรภาพชั่วครู่ คือความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังในการรักษาซิงโครนัสเมื่อเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ ผลตอบของระบบไฟฟ้ากำลังมักเกี่ยวพันกับการเบี่ยงเบนไปของมุมโรเตอร์ที่ห่างออกจากจุดสมดุลเดิม โดยได้รับอิทธิพลจากความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและมุมโรเตอร์ เสถียรภาพชนิดนี้ขึ้นอยู่กับจุดทำงานเริ่มต้นและความรุนแรงของการรบกวน โดยทั่วไประบบไฟฟ้ากำลังมีการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์เครือข่าย (Network configuration) และจุดทำงานไปหลังเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ ซึ่งในการวางแผนระบบไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องพิจารณาเสถียรภาพชนิดนี้ด้วย โดยการเลือกจำลองเหตุการณ์ขัดข้องที่มีความรุนแรงเพียงพอ โดยทั่วไปเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นมักเป็นกรณีเกิดลัดวงจรที่สายส่งหรือหม้อแปลงที่มีการไหลของกำลังไฟฟ้าปริมาณมาก แล้วระบบป้องกันทำงานโดยการปลดสายส่งหรือหม้อแปลงที่เกิดลัดวงจรนั้นออกจากระบบ เพื่อทดสอบดูว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดที่ไม่สามารถรักษาซิงโครนัสไว้ได้ เพื่อพิจารณาหาวิธีแก้ไขต่อไป

ในทางปฏิบัติแล้ว ระบบไฟฟ้ากำลังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงโหลดหรือความต้องการใช้ไฟฟ้า การจัดสรรกำลังผลิตใหม่ เป็นต้นซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดการแกว่งของมุมโรเตอร์เสมอ ดังนั้นวิธีการเสริมสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมอย่างหนึ่งคือการเพิ่มการหน่วงการแกว่งเหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังถือเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มการหน่วงการแกว่งในช่วงความถี่ต่ำได้ดี (ในเชิงความถี่ ความถี่ที่เข้าใกล้ศูนย์ หมายความว่า ในเชิงเวลา เวลามีค่าใกล้อนันต์ หรือเป็นช่วงใกล้เข้าสู่สภาวะอยู่ตัว) และคุ้มค่าแก่การลงทุนอย่างหนึ่ง โดยการวิเคราะห์การแกว่งของมุมโรเตอร์นี้จะพิจารณาระบบเป็นเชิงเส้นดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.1.2 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับบัสอนันต์

จากรูปที่ 2.1 เป็นแผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับบัสอนันต์ผ่านทางอิมพีแดนซ์ภายนอกแบบไม่มีการควบคุม ซึ่งค่า K_1-K_6 มีนิยามดังต่อไปนี้ [6]

ค่า K_1 คือการเปลี่ยนแปลงแรงบิดไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนมุมโรเตอร์ไปเพียงเล็กน้อย โดยที่ฟลักซ์คล้องในแกนตรงมีค่าคงตัว หรือเรียกอีกอย่างว่า สัมประสิทธิ์แรงบิดซิงโครนัส หรือสัมประสิทธิ์ซิงโครนัส นั่นเอง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับบัสอนันต์ผ่านทางอิมพีแดนซ์ภายนอกแบบไม่มีการควบคุม

$$K_1 = \frac{T_e}{\delta}\Bigg]_{E'_q = E'_{q0}} = K_I V_\infty \left\{ E_{qa0}\left[R_e \sin(\delta_0 - \alpha) \right] + I_{q0}\left(x_q - x'_d\right)\left[\left(X_e + x_q\right)\sin(\delta_0 - \alpha) - R_e \cos(\delta_0 - \alpha) \right] \right\} \quad (2.1.1)$$

เมื่อ $K_I = \dfrac{1}{\left[R_e^2 + \left(x_q + X_e\right)\left(x'_d + X_e\right) \right]}$

ค่า K_2 คือการเปลี่ยนแปลงแรงบิดไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนฟลักซ์คล้องในแกนตรงไปเพียงเล็กน้อย โดยที่มุมโรเตอร์มีค่าคงตัว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_2 = \frac{T_e}{E'_q}\Bigg]_{\delta = \delta_0} = K_I \left\{ R_e E_{qa0} + I_{q0}\left[R_e^2 + \left(x_q + X_e\right)^2 \right] \right\} \quad (2.1.2)$$

จะเห็นว่าค่า K_1 และ K_2 ที่กล่าวข้างต้นเกี่ยวข้องกับแรงบิดไฟฟ้า

ค่า K_3 คือตัวประกอบอิมพีแดนซ์ จะเห็นว่าค่า K_3 ไม่เกี่ยวข้องกับจุดทำงานของระบบเลย ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{K_3} = 1 + K_I\left(x_d - x'_d\right)\left(x_q + X_e\right)$$
$$R_e \to 0 : K_3 = \frac{x'_d + X_e}{x_d + X_e} \quad (2.1.3)$$

ค่า K_4 สัมพันธ์กับผลการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อมีการเปลี่ยนมุมโรเตอร์ไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_4 = \frac{1}{K_3}\cdot\frac{E'_q}{\delta}\Bigg]_{E_{FD} = \text{constant}} \quad (2.1.4)$$

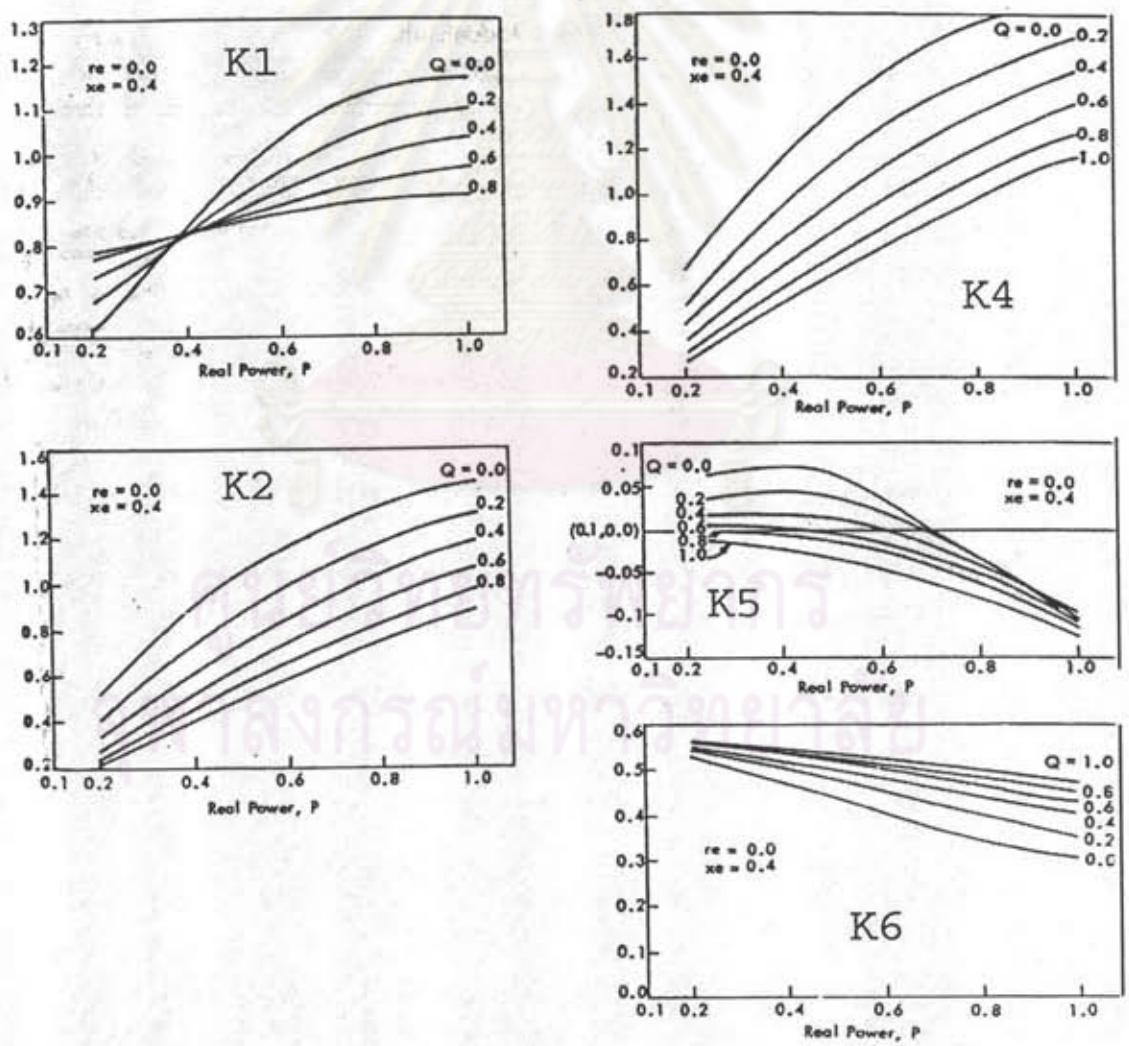
ค่า K_5 คือการเปลี่ยนแปลงแรงดันขั้วเมื่อมีการเปลี่ยนมุมโรเตอร์ไปเพียงเล็กน้อย โดยที่ฟลักซ์คล้องในแกนตรงมีค่าคงตัว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_5 = \frac{V_t}{\delta}\Bigg]_{E'_q = E'_{q0}} \quad (2.1.5)$$

ค่า K_6 คือการเปลี่ยนแปลงแรงดันขั้วเมื่อมีการเปลี่ยนฟลักซ์คล้องในแกนตรงไปเพียงเล็กน้อย โดยที่มุมโรเตอร์มีค่าคงตัว จะเห็นว่าค่า K_5 และ K_6 ที่กล่าวข้างต้นเกี่ยวข้องกับแรงดันขั้ว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_6 = \frac{V_t}{E'_q}\Bigg]_{\delta=\delta_0} \qquad (2.1.6)$$

จากรูปที่ 2.2 แสดงค่า K_1-K_6 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลดต่างๆ สังเกตเห็นว่าค่า K_1-K_6 ยกเว้นค่า K_3 มีการเปลี่ยนแปลงไม่คงตัวขึ้นอยู่กับสภาพการจ่ายโหลดในสภาวะต่างๆ นอกจากนี้ค่า K_1, K_2, K_4, K_6 มีค่าเป็นบวกเท่านั้น รวมทั้งค่า K_3 ถึงแม้ว่าจะไม่ได้แสดงไว้ในรูปดังกล่าว เนื่องจากเป็นสัดส่วนของค่าอิมพีแดนซ์ ขณะที่ค่า K_5 มีค่าทั้งบวกและลบ ขึ้นกับสภาพการจ่ายโหลด โดยค่า K_5 มีโอกาสเป็นค่าลบเมื่อมีการจ่ายโหลดสูงๆ ซึ่งได้กล่าวถึงผลกระทบที่สำคัญต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่า K_1-K_6 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลดต่างๆ [6,10]

พิจารณาแบบจำลองเชิงเส้นของเครื่องจักรที่ไม่มีการควบคุมดังรูปที่ 2.1 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแรงบิดไฟฟ้าและมุมโรเตอร์ เป็นไปตามสมการข้างล่าง

$$T_e = \left(K_1 - \frac{K_2 K_3 K_4}{1 + K_3 T'_{do} s} \right) \cdot \delta = T_s + T_d \qquad (2.1.7)$$

จาก (2.1.7) จะเห็นได้ว่าแรงบิดไฟฟ้าสามารถแบ่งย่อยออกได้ 2 ชนิดคือ ส่วนจริงของ (2.1.7) เป็นแรงบิดซิงโครนัส และส่วนจินตภาพของ (2.1.7) เป็นแรงบิดหน่วง และเมื่อพิจารณาการแกว่งที่ความถี่ต่ำ เราจะได้ว่า

$$T_s = \left(K_1 - K_2 K_3 K_4 \right) \cdot \delta \qquad (2.1.8)$$

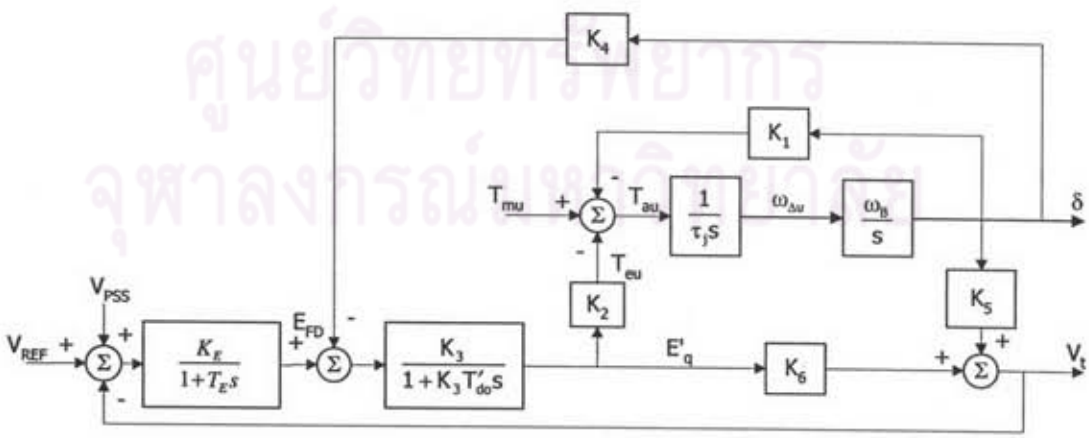
$$T_d = \left(K_2 K_3 K_4 \right) \cdot \omega \qquad (2.1.9)$$

ซึ่งการขาดแรงบิดซิงโครนัสที่กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ ก็ต่อเมื่อ $K_1 - K_2 K_3 K_4 < 0$ นั่นเอง ขณะที่แรงบิดหน่วงมีค่าบวกเสมอเนื่องจากค่า K_2-K_4 เป็นบวกเสมอ โดยได้รับผลจากการต้านของอาร์เมเจอร์เป็นสำคัญ

2.1.3 ผลของการกระตุ้นที่มีต่อเสถียรภาพทางพลวัต

เนื่องจากระบบการกระตุ้นสมัยใหม่ทำงานได้รวดเร็ว ซึ่งมีผลดีต่อเสถียรภาพชั่วครู่ โดยขับดันสนามแม่เหล็กให้เหนี่ยวนำแรงดันขั้วถึงแรงดันเพดาน (Ceiling voltage) โดยไม่มีความล่าช้าได้ แต่การกระตุ้นที่รวดเร็วนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องส่งผลดีต่อการหน่วงการแกว่งหลังจากช่วงการแกว่งครั้งแรก (First swing) และบางครั้งอาจทำให้การแกว่งครั้งต่อๆ ไปมีขนาดเพิ่มขึ้นไปก็ได้

ดังนั้นต้องอาศัยการออกแบบและชดเชยสภาวะดังกล่าวอย่างเหมาะสม ตัวกระตุ้นที่ทำงานได้รวดเร็วนี้จึงจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิผลในการเสริมสร้างเสถียรภาพทางพลวัตด้วย นอกเหนือจากมีผลดีต่อการแกว่งครั้งแรกที่เกิดจากการรบกวนขนาดใหญ่เท่านั้น



รูปที่ 2.3 แผนภาพกรอบแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับบัสอนันต์ผ่านทางอิมพีแดนซ์ภายนอกแบบมีการควบคุมทางด้านระบบการกระตุ้น

จากรูปที่ 2.3 เป็นส่วนขยายจากรูปที่ 2.2 โดยพิจารณาแบบจำลองเชิงเส้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบด้วยระบบการกระตุ้นสมัยใหม่ที่ทำงานได้รวดเร็ว ในที่นี้แทนด้วยฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันดับที่หนึ่ง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแรงบิดไฟฟ้าและมุมโรเตอร์ เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\frac{T_e}{\delta}=\left(K_1-\frac{K_2K_4}{T'_{do}}\cdot\frac{s+\left(1/T_E+K_5K_E/K_4T_E\right)}{s^2+s\left(1/T_E+1/K_3T'_{do}\right)+\left(1+K_3K_6K_E/K_3T'_{do}T_E\right)}\right)$$

$$=\left(K_1-\frac{K_2K_4\left(1+T_Es\right)+K_2K_5K_E}{\left[\left(1/K_3+K_6K_E\right)+T'_{do}T_Es^2\right]+s\left(T'_{do}+T_E/K_3\right)}\right) \qquad (2.1.10)$$

เนื่องจากอัตราขยายในตัวกระตุ้นสมัยใหม่มักมีค่าสูงมาก ทำให้พจน์ $K_2K_4\left(1+T_Es\right)$ มีค่าเล็กมากเมื่อเทียบกับพจน์ $K_2K_5K_E$ เพื่อความง่ายในการวิเคราะห์ สามารถประมาณสมการข้างบนเสียใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{T_e}{\delta}\cong\left(K_1-\frac{K_2K_5K_E}{\left[\left(1/K_3+K_6K_E\right)+T'_{do}T_Es^2\right]+s\left(T'_{do}+T_E/K_3\right)}\right) \qquad (2.1.11)$$

จาก (2.1.11) สามารถหาแรงบิดซิงโครนัสและแรงบิดหน่วงได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$T_s\cong\left\{K_1-\frac{K_2K_5K_E\left[\left(1/K_3+K_6K_E\right)-\omega^2T'_{do}T_E\right]}{\left[\left(1/K_3+K_6K_E\right)-\omega^2T'_{do}T_E\right]+\omega^2\left(T'_{do}+T_E/K_3\right)^2}\right\}\cdot\delta \qquad (2.1.12)$$

$$T_d\cong\frac{K_2K_5K_E\left(T'_{do}+T_E/K_3\right)\cdot\omega}{\left[\left(1/K_3+K_6K_E\right)-\omega^2T'_{do}T_E\right]+\omega^2\left(T'_{do}+T_E/K_3\right)^2} \qquad (2.1.13)$$

พบว่า ค่าแรงบิดหน่วงจะมีเครื่องหมายเดียวกันกับค่า K_5 ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถมีค่าเป็นลบได้ดังในรูปที่ 2.2 ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นแล้ว ตัวกระตุ้นหรือตัวควบคุมแรงดันในกรณีนี้จะทำลายการหน่วงระบบภายในที่มีอยู่นั่นเอง ซึ่งส่งผลให้ระบบไฟฟ้ากำลังไม่มีเสถียรภาพหรือเกิดการแกว่งได้

หากพิจารณาการแกว่งที่ความถี่ต่ำ โดยที่ค่าอัตราขยายของตัวกระตุ้นมีค่าสูงมาก สามารถประมาณแรงบิดซิงโครนัสได้ดังนี้

$$T_s\cong K_1-K_2K_5/K_6 \qquad (2.1.14)$$

ซึ่งพบว่าแรงบิดซิงโครนัสที่ได้จาก (2.1.14) จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จาก (2.1.8) ซึ่งเป็นกรณีที่เครื่องจักรไม่มีการควบคุมแรงดันขั้ว ขณะที่ตัวควบคุมแรงดันนี้จะเพิ่มแรงบิดซิงโครนัสภายในเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำ แต่มันจะไปลดการหน่วงระบบภายในเมื่อค่า K_S มีค่าเป็นลบ ซึ่งเป็นสภาพที่พบเห็นประจำคือ ช่วงที่เครื่องจักรซิงโครนัสกำลังทำงานใกล้ค่าพิกัดนั่นเอง

เพื่อชดเชยผลข้างต้นและปรับปรุงการหน่วงระบบ โดยทั่วไปแล้วจะใช้วิธีการสร้างแรงบิดที่มีทิศทางเดียวกันกับความเร็วโดยใช้สัญญาณสร้างเสถียรภาพเสริม (Supplementary stabilizing signal) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อว่า "ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง" สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดากล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1

2.2 ชนิดของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา [7]

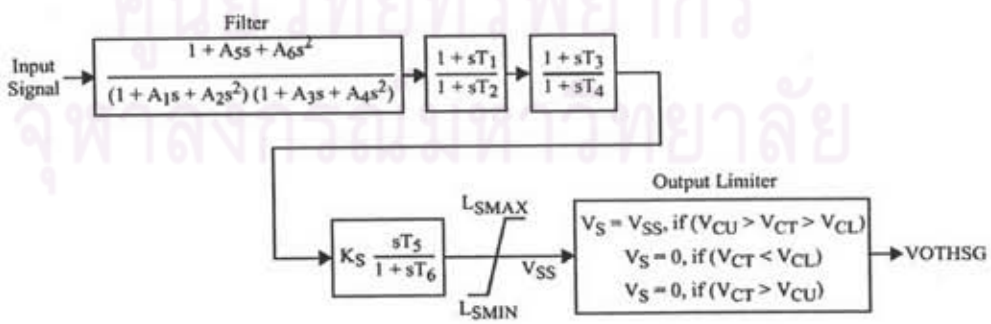
ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer หรือ PSS) คืออุปกรณ์ที่ให้วงรอบการควบคุมเสริมแก่ระบบการกระตุ้น และ/หรือระบบบังคับกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PSS ถือว่าเป็นหนึ่งในวิธีที่คุ้มค่าแก่การลงทุนเพื่อเพิ่มเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

ประเภทของ PSS สามารถแยกออกตามลักษณะของตัวควบคุมได้ 2 แบบหลักคือ

- ตัวควบคุมแบบเชิงเส้น อาศัยการควบคุมแบบเชิงเส้น (Linear control) ในการออกแบบสร้างตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง
- ตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้น อาศัยการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear control) ในการออกแบบสร้างตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงเฉพาะ PSS แบบที่มีโครงสร้างเป็นตัวควบคุมแบบเชิงเส้นเท่านั้น เนื่องจากเป็น PSS ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นจึงเรียก PSS ชนิดดังกล่าวว่า "ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา" (Conventional Power System Stabilizer หรือ CPSS)

2.2.1 PSS แบบธรรมดาที่ใช้กับระบบการกระตุ้น



รูปที่ 2.4 แบบจำลองตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบสัญญาณเข้าเดียว

โครงสร้างทั่วไปของ PSS แบบธรรมดาแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสัญญาณขาออกของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (VOTHSG) ได้มาจากสัญญาณขาเข้าจำนวนหนึ่งซึ่งวัดได้จากขั้ว

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปริมาณที่วัดได้ถูกส่งผ่านไปยังตัวกรอง (Filter) โดยสัญญาณที่กรองได้ถูกส่งผ่านต่อไปยังตัวชดเชยมุมเฟส (Phase compensator) จากรูปที่ 2.4 ใช้เป็นตัวชดเชยแบบนำหน้า-ล้าหลัง 2 ชุดเพื่อเลื่อนมุมเฟสให้ได้ตามที่ต้องการ สุดท้ายสัญญาณหลังจากกระบวนการนี้ถูกส่งผ่านต่อไปยังส่วนขยายสัญญาณ และตัวจำกัด (Limiter) ตามลำดับ

โดยปกติแล้ว สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณขาเข้าของ PSS แบบธรรมดา คือสัญญาณที่บ่งบอกถึงการแกว่งของโรเตอร์ อันได้แก่ การเบี่ยงเบนความเร็วโรเตอร์ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ความถี่ของแรงดันขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นจึงมีวิธีที่เป็นไปได้ในการสร้างตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ เมื่อคำนึงถึงสัญญาณขาเข้าที่เลือกมาใช้ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 PSS บนพื้นฐานการเบี่ยงเบนความเร็วโรเตอร์

PSS รุ่นเก่าแก่ที่สุดใช้การวัดการเบี่ยงเบนความเร็วของเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator shaft) เป็นสัญญาณขาเข้า สัญญาณนี้ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนจากการวัด (Measurement noise) ได้ง่าย ดังนั้นต้องผ่านกระบวนการกรองสัญญาณก่อน ปัญหาหลักของวิธีนี้สัมพันธ์กับการเลือกตำแหน่งในการวัดบนเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นตัวแทนการเบี่ยงเบนความเร็วโรเตอร์ เมื่อแกนเพลายาว และมีแนวโน้มเกิดการบิดตัวเมื่อแกว่ง สำหรับเพลายาวจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องวัดการเบี่ยงเบนความเร็วหลายตำแหน่งตลอดแกนเพลาเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวคำนวณหาการเบี่ยงเบนความเร็วเฉลี่ย ยิ่งไปกว่านั้นการขยายสัญญาณของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังยังถูกจำกัดด้วยผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่มีต่อการแกว่งเชิงความบิด (Torsional oscillation)

2.2.1.2 PSS บนพื้นฐานการเปลี่ยนกำลังเร่ง

มีการหลีกเลี่ยงที่ต้องวัดการเบี่ยงเบนความเร็ว ณ หลายๆ จุดบนแกนเพลาเพื่อคำนวณหาการเบี่ยงเบนความเร็วเฉลี่ยจากปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดมาได้ วิธีที่คำนวณการเบี่ยงเบนความเร็วสมมูล ($\Delta\omega_{eq}$) โดยอ้อมคือการอินทิเกรตกำลังเร่งตามสมการข้างล่าง

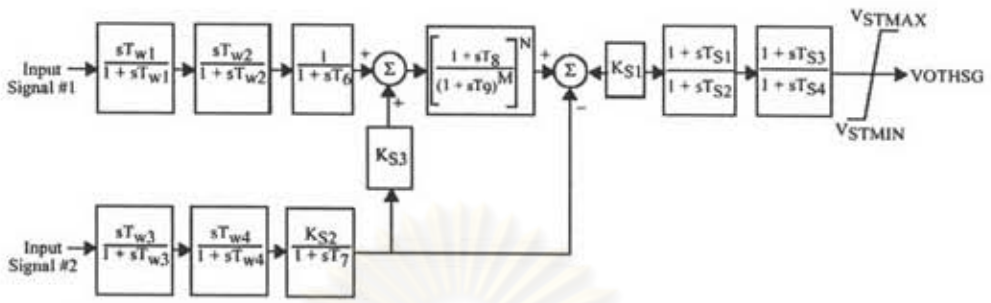
$$\Delta\omega_{eq} = \frac{1}{M}\int (\Delta P_m - \Delta P_e)\,dt \qquad (2.2.1)$$

และ ΔP_e ถูกคำนวณจากการวัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตขึ้นมา ค่าอินทิกรัลของการเปลี่ยนกำลังกล ΔP_m หาได้จาก (2.2.2) ไม่ได้เกิดจากการวัดจริง [8]

$$\int \Delta P_m dt = M\,\Delta\omega_{measuremnet} + \int \Delta P_e dt \qquad (2.2.2)$$

เมื่อ $\Delta\omega_{measurement}$ อยู่บนพื้นฐานของระบบการวัดความเร็วปลายเพลา (End-of-shaft speed sensing system) เนื่องจากกำลังกลเปลี่ยนแปลงช้าเมื่อเทียบกับปริมาณอื่นๆ ค่าอินทิกรัลของกำลังกลต้องถูกส่งผ่านตัวกรองผ่านต่ำเพื่อขจัดความถี่ความบิด (Torsional frequencies)

จากการวัดความเร็วดังกล่าว ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่ได้ในการนี้จึงประกอบด้วยสองสัญญาณขาเข้าคือ $\Delta\omega_{measurement}$ และ ΔP_e ซึ่งใช้คำนวณหาการเบี่ยงเบนความเร็วสมมูลนั่นเอง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบจำลองตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบสองสัญญาณเข้า

2.2.1.3 PSS บนพื้นฐานการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าจริง

ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบนี้ได้มาจากการละเลยการวัดการเบี่ยงเบนความเร็วและวัดเพียงแค่กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปที่ 2.5 ด้วยวิธีนี้สัญญาณขาเข้ามีเพียงหนึ่งสัญญาณ แต่ถูกใช้ก็ต่อเมื่อกำลังกลสมมติได้ว่ามีค่าคงตัว ถ้ากำลังกลเปลี่ยนเนื่องจากการควบคุมความถี่ทุติยภูมิ (Secondary frequency control) แล้วระบบจะเกิดการแกว่งของแรงดันและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในภาวะชั่วครู่ซึ่งถูกบังคับโดยไม่จำเป็นด้วยตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมองเห็นการเปลี่ยนกำลังกลเหมือนการแกว่งกำลังไฟฟ้า (Power swing)

2.2.1.4. ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังบนพื้นฐานความถี่แรงดัน

ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบนี้วัดความถี่แรงดันขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแทนการวัดความเร็วเพลา ข้อเสียของวิธีดังกล่าวคือรูปคลื่นแรงดันขั้วอาจมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากโหลดอุตสาหกรรมหลัก เช่น เตาอาร์ก (Arc furnace) เป็นต้น ความแม่นยำของสัญญาณความเร็วที่วัดได้นี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการเพิ่มแรงดันตกคร่อมรีแอกแตนซ์ภาวะชั่วครู่ (Transient reactance) ที่มีผลต่อแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อหาแรงเคลื่อนไฟฟ้า E' และความถี่ของมัน ($f_{E'}$) ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบนี้รับสัญญาณขาเข้าสองสัญญาณคือกระแสและแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การเบี่ยงเบนความเร็ว อัตราขยายของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังถูกจำกัดด้วยผลของการแกว่งเชิงความบิด ข้อดีของวิธีการนี้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวสร้างเสถียรภาพแบบอื่นๆ คือสามารถปรับปรุงการหน่วงการแกว่งระหว่างพื้นที่ (Interarea oscillations) ในระบบไฟฟ้ากำลังที่เชื่อมโยงระหว่างกัน (Interconnected power systems)

2.2.2 PSS แบบธรรมดาที่ใช้กับตัวบังคับกังหัน

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวในระบบไฟฟ้ากำลังถูกเชื่อมโยงกันด้วยระบบส่งไฟฟ้า การควบคุมแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวหนึ่งๆ ส่งผลต่อผลตอบแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นๆ นั่นคือตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งปรับปรุงการหน่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวหนึ่งๆ ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงการหน่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นๆ ดังนั้นการออกแบบเฉพาะแห่งอาจไม่ให้คำตอบที่พอเหมาะแบบทั้งหมด จำเป็นต้องมีกระบวนการจัดความสัมพันธ์กัน การจัดความสัมพันธ์นี้เพิ่มการคำนวณในการออกแบบ และโดยทั่วไปใช้ได้เฉพาะในรูปลักษณ์เครือข่ายและสถานะของโหลดที่เป็นตัวแทนของระบบนั้นเท่านั้น เมื่อมีการผิดพร่องเกิดขึ้นรูปลักษณ์ของเครือข่ายและโหลดอาจเปลี่ยนไปจากสภาพเดิมมากส่งผลให้การแกว่งถูกหน่วงไม่เพียงพอ เนื่องจากสาเหตุเหล่านี้จึงมีการมุ่งเน้นความสนใจในการใช้ตัวบังคับกังหันเพื่อการหน่วงการแกว่งทั้งแบบเฉพาะที่และระหว่างพื้นที่

การรวมสัญญาณที่จ่ายเข้าตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเข้าไปในระบบบังคับกังหัน (Turbine governing system) ไม่ใช่เรื่องใหม่ [11] หลักการจะคล้ายคลึงกับเมื่อใช้กับระบบการกระตุ้น ค่าคงตัวเวลาในตัวบังคับกังหันทำให้เกิดการเลื่อนมุมเฟสระหว่างการแกว่งของการเบี่ยงเบนความเร็วและกำลังกลของกังหัน เนื่องจากสัญญาณขาเข้าในวงรอบการควบคุมเสริมเป็นสัดส่วนกับการเบี่ยงเบนความเร็ว ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังต้องถูกเลือกเพื่อให้ชดเชยการเลื่อนมุมเฟสดังกล่าวที่ความถี่การแกว่งของตัวหมุน ดังนั้นตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้าแบบนี้จะบังคับการเปลี่ยนกำลังกลให้อยู่ในทิศทางเดียวกันกับการเบี่ยงเบนความเร็ว และให้การหน่วงบวก (Positive damping)

ข้อดีในการใช้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังกับตัวบังคับกังหันอยู่บนข้อเท็จจริงที่ว่าพลวัตของตัวบังคับกังหันเชื่อมต่อกับตัวบังคับกังหันในระบบที่เหลืออย่างอ่อนๆ ดังนั้นพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังจึงไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ของเครือข่าย

2.3 หลักเกณฑ์ในการศึกษาสมรรถนะของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง [9,12]

ในการพิจารณาสมรรถนะของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้น สามารถพิจารณาได้ในสองลักษณะกล่าวคือ

2.3.1 สมรรถนะเชิงสัญญาณขนาดเล็ก (Small signal Performance)

ในการศึกษาสมรรถนะเชิงสัญญาณขนาดเล็ก สามารถพิจารณาได้จากสมการสถานะ (State equation) ซึ่งอยู่ในรูปแบบดังต่อไปนี้

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \qquad (2.3.1)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ **x** เป็นเวคเตอร์ที่แสดงตัวแปรสถานะ และ **A** เป็นเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ โดยที่ **u** เป็นเวคเตอร์ของสัญญาณเข้า และสัญญาณเข้าเหล่านี้สัมพันธ์กันกับสมการอนุพันธ์ (2.3.1) ด้วยเวคเตอร์ **B** ซึ่งเสถียรภาพของระบบเชิงเส้นนี้ขึ้นอยู่กับค่าไอเกนของเมตริกซ์ **A** โดยที่หากส่วนจริงของค่าไอเกนมีค่าเป็นลบ แสดงว่าระบบเชิงเส้นดังกล่าวมีเสถียรภาพ มิเช่นนั้นถือว่าระบบเชิงเส้นไม่มีเสถียรภาพ และวิธีการที่นิยมใช้แสดงสมรรถนะเชิงสัญญาณขนาดเล็กคือ ทางเดินราก (Root locus) ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าไอเกนแต่ละตัวของระบบไฟฟ้ากำลังในระนาบส่วนจริงและส่วนจินตภาพดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยอัตราการหน่วงของโหมดแต่ละโหมดไม่ต่ำกว่า 0.05 สำหรับจุดทำงานแต่ละจุดที่เกิดขึ้น [12]

ในทางปฏิบัติแล้ว ต้องทำการตรวจสอบการทำงานของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่สภาวะการทำงานต่างๆ ว่าสามารถใช้งานได้ดีเพียงพอหรือไม่ก่อนนำไปใช้งานจริง จะเห็นว่าค่าดัชนีทางด้านเสถียรภาพที่ได้จากทางเดินรากหลักๆ ก็คือ อัตราการหน่วง และความถี่การแกว่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาระบบหนึ่งเครื่องจักรต่ออยู่กับบัสอนันต์ด้วยสมการการแกว่ง (Swing equation) [12] แล้วจะได้ว่า

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_{m\Delta} - P_{e\Delta} - D\omega \qquad (2.3.1)$$

เมื่อ M เป็นค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ D เป็นสัมประสิทธิ์การหน่วง

เมื่อจัดรูปใหม่ โดยที่ $P_{m\Delta} = 0$ และ $P_{e\Delta} = K_s\delta$ จะได้ว่า

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + \frac{D}{M}\frac{d\delta}{dt} + \frac{K_S}{M}\delta = 0 \qquad (2.3.2)$$

เมื่อ K_S คือสัมประสิทธิ์ซิงโครนัส (Synchronizing coefficient)

ดังนั้นสมการแสดงคุณลักษณะ (Characteristics equation) เป็นดังนี้

$$s^2 + \frac{D}{M}s + \frac{K_S}{M} = 0 \qquad (2.3.3)$$

ซึ่งจะมีรากเพียงสองค่าคือ

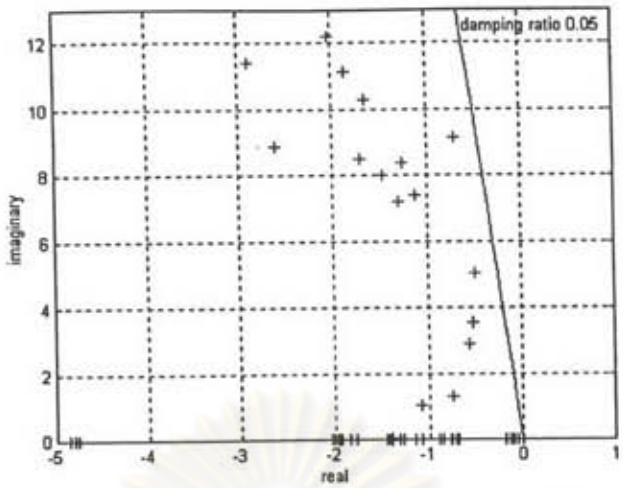
$$s_{1,2} = -\frac{D}{2M} \pm \sqrt{\left(\frac{D}{2M}\right)^2 - \frac{K_S}{M}} \qquad (2.3.4)$$

โดยมี 3 กรณีที่เป็นไปได้คือ

2.3.1.1. มีรากเป็นจำนวนจริงที่มีค่าแตกต่างกัน เป็นผลตอบของโหมดที่ไม่ทำให้เกิดการแกว่ง

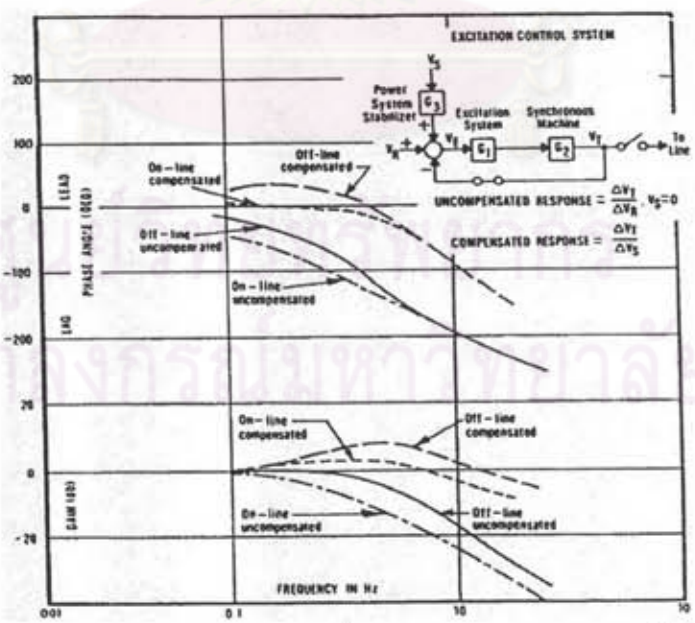
2.3.1.2. มีรากเป็นจำนวนจริงที่มีค่าเหมือนกัน

2.3.1.3. มีรากเป็นคู่สังยุตเชิงซ้อน ซึ่งจะทำให้เกิดการแกว่งขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยที่อัตราการหน่วงมีค่าเท่ากับ $\frac{D}{2\sqrt{K_S M}}$ และความถี่ธรรมชาติไร้หน่วงมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{K_S}{M}}$



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างทางเดินรากของโหมดต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง [12]

นอกจากการหาทางเดินรากแล้ว ยังมีการหาความสัมพันธ์ของขนาดและมุมเฟสระหว่างสัญญาณเข้าคงตัวแบบซายน์และสัญญาณออกคงตัวแบบซายน์ในเชิงความถี่ หรือ แผนภาพโบเด้ (Bode plot) เพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังให้มีความสามารถในการชดเชยมุมเฟสที่ล้าหลังอันเนื่องมาจากระบบควบคุมการกระตุ้นนั่นเอง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังช่วยให้มุมเฟสของฟังก์ชั่นถ่ายโอนวงปิดมีค่าใกล้ศูนย์มากขึ้นในสถานะการจ่ายโหลด



รูปที่ 2.7 แผนภาพโบเด้แสดงผลตอบเชิงความถี่ของระบบควบคุมการกระตุ้นที่มีและไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง [9]

2.3.2 สมรรถนะเชิงสัญญาณขนาดใหญ่ (Large signal Performance) หรือเรียกอีกอย่างว่า การศึกษาเสถียรภาพชั่วครู่ (Transient stability study) นั่นเอง วิธีการนี้อาศัยการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) เพื่อหาผลตอบทางเวลา เพื่อตรวจสอบการทำงานของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังว่าเหมาะสมเพียงใด วิธีการนี้เหมาะสมและสะดวกกว่าเนื่องจากสามารถรวมผลของความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearity) ของระบบไฟฟ้ากำลังไว้ด้วย ซึ่งแตกต่างจากการหาสมรรถนะเชิงสัญญาณขนาดเล็กที่ต้องทำให้ระบบเป็นเชิงเส้นเสียก่อน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้เครือข่ายประสาทเทียมเพื่อชดเชยความผิดพลาดของแบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้ากำลังในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นผลการทดสอบด้วยการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์จึงเหมาะสมกว่าการหาสมรรถนะเชิงสัญญาณขนาดเล็ก เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการศึกษาผลตอบสนองทั้งสถานะการทำงานที่ระบบสามารถจำลองเป็นแบบจำลองเชิงเส้นและสถานะการทำงานที่ระบบไม่สามารถจำลองเป็นแบบจำลองเชิงเส้น เพื่อตรวจสอบการทำงานของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการปรับค่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียมว่ามีความเหมาะสมเพียงใด เมื่อเทียบกับตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวตลอดการทำงาน ดังรายละเอียดของวิธีการทดสอบกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย