บทที่ 4

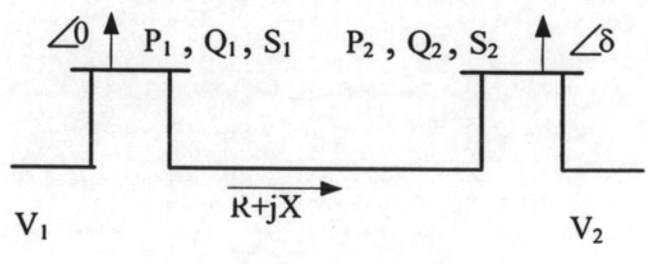
การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่งและดัชนีความมั่นคงของบัส

ดัชนีความมั่นคงของสายส่งและดัชนีความมั่นคงของบัส นำไปใช้ทำนายความมั่นคงของระบบได้ โดยดัชนีความมั่นคงของสายส่ง คำนวณจากความสามารถในการส่งผ่านโหลดของสายส่ง ส่วนดัชนีความมั่นคงของบัส คำนวณจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดทั้งระบบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่บัสนั้น ซึ่งค่าดัชนีที่ได้ สามารถนำไปวางแผนการดำเนินการควบคุมการทำงานของระบบและวางแผนโหลดในอนาคต

4.1 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่ง

4.1.1 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 1 [2,3]

ดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 โดยถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าระบบมีแนวโน้มจะสูญเสียความมั่นคงของแรงดัน และถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าระบบได้สูญเสียความมั่นคงของแรงดันแล้ว



รูปที่ 4.1 สายส่งในระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยกำหนดให้

V_1, V_2	=	แรงดันบัสด้านส่งและด้านรับ
P_1, Q_1	=	กำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่บัสด้านส่ง
P_2, Q_2	=	กำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่บัสด้านรับ
S_1, S_2	=	กำลังปรากฏที่บัสด้านส่งและด้านรับ
$\delta = \delta_1 - \delta_2$	=	มุมระหว่างบัสด้านส่งและรับ

นำมาเขียนสมการกระแส โดยแทนค่า $Z = R + jX$ ได้ดังนี้

$$I = \frac{V_1\angle 0 - V_2\angle\delta}{R + jX} \tag{4.1}$$

กำหนดให้บัสที่ 1 เป็นบัสอ้างอิง มีมุมของแรงดันเป็น 0 และ สามารถเขียนสมการของกำลังปรากฏที่บัส 2 ได้

$$S_2 = V_2 I^* \tag{4.2}$$

นำมาจัดรูปสมการใหม่ได้

$$I = \left(\frac{S_2}{V_2}\right)^* = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2\angle -\delta} \tag{4.3}$$

จาก (4.1) และ (4.3) ได้

$$\frac{V_1\angle 0 - V_2\angle\delta}{R + jX} = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2\angle -\delta} \tag{4.4}$$

$$V_1V_2\angle -\delta - V_2^2\angle 0 = (R + jX)(P_2 - jQ_2) \tag{4.5}$$

จัดรูปสมการใหม่โดยแยกส่วนจริงและส่วนจินตภาพออกจากกัน

$$V_1V_2\cos\delta - V_2^2 = RP_2 + XQ_2 \tag{4.6}$$

$$-V_1V_2\sin\delta = XP_2 - RQ_2 \tag{4.7}$$

แทนค่า P_2 จาก (4.7) ลงใน (4.6)

$$V_2^2 - \left(\frac{R}{X}\sin\delta + \cos\delta\right)V_1V_2 + \left(X + \frac{R^2}{X}\right)Q_2 = 0 \tag{4.8}$$

ค่าของสมการ คือ

$$V_2 = \frac{\left(\frac{R}{X}\sin\delta + \cos\delta\right)V_1 \pm \sqrt{\left[\left(\frac{R}{X}\sin\delta + \cos\delta\right)V_1\right]^2 - 4\left(X + \frac{R^2}{X}\right)Q_2}}{2} \tag{4.9}$$

ค่าที่อยู่ในรากต้องมากกว่า หรือ เท่ากับ 0 ได้

$$\left[\left(\frac{R}{X}\sin\delta + \cos\delta\right)V_1\right]^2 - 4\left(X + \frac{R^2}{X}\right)Q_2 \geq 0 \tag{4.10}$$

$$\frac{4Z^2 Q_2 X}{(V_1)^2 (R\sin\delta + X\cos\delta)^2} \leq 1 \tag{4.11}$$

ปกติแล้ว δ มีค่าน้อยมาก $\delta \approx 0, R\sin\delta \approx 0$ และ $X\sin\delta \approx X$ ให้ สัญลักษณ์ i แทนบัสด้านส่ง และ j แทนบัสด้านรับ

สมการของดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 1 คือ

$$FVSI_{ij} = \frac{4Z^2 Q_j}{V_i^2 X} \tag{4.12}$$

$FVSI_{ij}$ = fast voltage stability index

สายส่งที่มีค่าดัชนีความมั่นคงของสายส่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเป็นสายส่งที่อ่อนแอ

4.1.2 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 2 [9]

ดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 โดยถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าระบบมีแนวโน้มจะสูญเสียความมั่นคงของแรงดัน และถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าระบบได้สูญเสียความมั่นคงของแรงดันแล้ว สายส่งที่มีค่าดัชนีความมั่นคงของสายส่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเป็นสายส่งที่อ่อนแอ

คำนวณได้จาก (4.1)-(4.11) เหมือนดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 1 แต่ไม่ละเลยค่า δ

สมการของดัชนีความมั่นคงของสายส่งแบบที่ 2 คือ

$$Lij = \frac{4Z^2 Q_2 X}{(V_1)^2 (R\sin\delta + X\cos\delta)^2} \tag{4.13}$$

Lij = line stability index

4.2 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของบัส

4.2.1 การคำนวณหาดัชนีความมั่นคงของบัสแบบที่ 1 [4,5]

ดัชนีความมั่นคงของบัสแบบที่ 1 มาจากการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่บัสเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง ถ้าบัสนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเทียบกับโหลดสูง ทำให้ระบบมีแนวโน้มว่าจะสูญเสียความมั่นคงของแรงดัน ที่จุดวิกฤตแรงดันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและโหลดจะไม่เปลี่ยนแปลง $(d\lambda = 0)$ ดัชนีจะมีค่าเข้าใกล้ 0

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงของโหลด (3.19) และ (3.20) ในบทที่ 3 ได้แก่

$$P_{Li} = P_{Lio} + \lambda(k_{Li} S_{\Delta base} \cos\psi_i)$$

$$Q_{Li} = Q_{Lio} + \lambda(k_{Li} S_{\Delta base} \sin\psi_i)$$

หาอนุพันธ์ของสมการได้ ดังนี้

$$dP_{Li} = (k_{Li} S_{\Delta Base} \cos\psi) d\lambda \tag{4.14}$$

$$dQ_{Li} = (k_{Li} S_{\Delta Base} \sin\psi) d\lambda \tag{4.15}$$

เขียนสมการการเปลี่ยนแปลงของกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟทั้งระบบได้ (4.16) , (4.17)

$$dP_{Total} = \sum_{n} dP_{Li} = \sum_{n} \left[k_{Li} S_{\Delta Base} \cos\psi_i \right] d\lambda$$

$$= \left[S_{\Delta Base} \sum_{n} k_{Li} \cos\psi_i \right] d\lambda = C d\lambda \qquad (4.16)$$

$$dQ_{Total} = \sum_{n} dQ_{Li} = \sum_{n} \left[k_{Li} S_{\Delta Base} \sin\psi_i \right] d\lambda$$

$$= \left[S_{\Delta Base} \sum_{n} k_{Li} \sin\psi_i \right] d\lambda \qquad (4.17)$$

dP_{Total} = อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังจริงทั้งระบบ

dQ_{Total} = อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังรีแอกทีฟทั้งระบบ

dP_{Li} = อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังจริงที่บัส i

dQ_{Li} = อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังรีแอกทีฟที่บัส i

k_{Li} = ค่าคงที่เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงที่บัส i

$S_{\Delta Base}$ = กำลังปรากฏที่ใช้เป็นค่าฐานแต่ละบัส

ψ_i = มุมของตัวประกอบกำลังเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงที่บัส i

$d\lambda$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด

$Cd\lambda$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดทั้งระบบ

นำมาเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันได้

$$\left| \frac{dV_j}{dP_{Total}} \right| = \left| \frac{dV_j}{Cd\lambda} \right| \qquad (4.18)$$

dV_j = อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่บัส j

โดยที่ค่า $d\lambda$ และ dV_j สามารถหาค่าได้จาก (3.27) ในบทที่ 3

เมื่อเข้าใกล้จุดวิกฤต อัตราส่วนของ $-dV_j / dP_{Total}$ จะเข้าสู่อนันต์ ในทางกลับกัน $-dP_{Total} / dV_j$ จะเข้าสู่ 0 และในทำนองเดียวกัน ถ้าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟมีค่าเท่ากัน จะได้ $-dQ_{Total} / dV_j$ เข้าสู่ 0 เหมือนกัน

สมการดัชนีความมั่นคงของบัสแบบที่ 1 คือ

$$B_j = \left| \frac{dP_{Total}}{dV_j} \right| \tag{4.19}$$

หรือ

$$B_j = \left| \frac{dQ_{Total}}{dV_j} \right| \tag{4.20}$$

บัสที่มีค่าดัชนีความมั่นคงของบัสเข้าใกล้ 0 แสดงว่าเป็นบัสที่อ่อนแอ