

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แบบจำลองการกำจัด โหนด การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดล และนิวตัน-ราฟสัน ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าและกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง และการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเบื้องต้นเกี่ยวกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรม

ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นปัญหาแบบไม่เชิงเส้น การหาผลเฉลยซึ่งประกอบด้วยขนาดของแรงดันและมุมเฟสที่บัสต้องอาศัยกระบวนการวนรอบเข้ามาช่วยเพื่อหาผลเฉลย วิธีการหาผลเฉลยดังกล่าวได้ถูกนำเสนออย่างต่อเนื่อง ดังปรากฏใน Das, Nagi, and Kothari (1994), Das, Kothari, and Kalam (1995), and Haque (2000) สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่มา ๆ ได้มีการนำเอาการคำนวณแบบขนานเข้ามาช่วย เพื่อให้การคำนวณใช้เวลาลดลง ดังปรากฏใน Koester, Ranka, and Fox (1994) การปรับปรุงอัตราการลู่เข้าของวิธีนิวตัน-ราฟสันเพื่อแก้ปัญหาสภาวะเลว (ill-condition) โดยการรวมพจน์อันดับสองเข้าในสมการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า ดังปรากฏใน Keyhani, Abur, and Hao (1989) นอกจากนี้มีผู้วิจัยบางกลุ่มได้นำเทคนิคการกำจัด โหนดในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อลดขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังให้เล็กลง จากนั้นจึงคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า ดังเช่น Jawad Talaq (1995) ได้นำเสนอสมการแบบจำลองโหลด เพื่อใช้ในการกำจัดบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้ระบบไฟฟ้าถูกลดรูปและแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ใหม่จะถูกลดขนาดให้เหลือเท่ากับจำนวนของบัสควบคุมแรงดันและตัวแปรของแบบจำลองการลดรูปคือบัสที่ถูกควบคุมแรงดัน ทำให้ตัวแปรที่ต้องคำนวณหาเหลือเพียงมุมของแรงดันบัสเท่านั้น จากนั้นจึงใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันคำนวณหาแรงดันบัสที่ถูกลดรูป เทคนิคดังกล่าวทำให้จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลง งานวิจัยของ Chung, Tse, and David (1997) ได้เสนอแนวทางการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าแนวทางใหม่โดยใช้เทคนิคการถ่ายโอนโหลดและการกำจัดบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง วิธีการนี้คล้ายกับวิธีของ Jawad Talaq ที่ได้กล่าวไปแล้วก่อนหน้านี้ การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า

ด้วยเทคนิคนี้พบว่าค่าอัตราส่วน R/X ของระบบไฟฟ้าไม่มีผลต่อการลู่เข้าของคำตอบ จำนวนรอบ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับแบบจำลองโหลดที่ใช้ด้วย โดยทุกเทคนิคที่พัฒนาขึ้นล้วนแต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ ลดระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ปรับปรุงอัตราการใช้รวมไปถึงการประหยัดหน่วยความจำของอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาด้านมุ่งไปที่หลักการพื้นฐานของการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเท่านั้น

2.3 แบบจำลองการกำจัดโนด (node elimination model)

เทคนิคการกำจัดโนดเป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณและหน่วยความจำที่คอมพิวเตอร์ต้องใช้ประมวลผลในการแก้ปัญหาของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ เทคนิคการกำจัดโนดที่ไม่มีโหลดคต่ออยู่ โดยใช้การลดรูปเมตริกซ์โครงข่าย เช่น เมตริกซ์บัสแอดมิตแดนซ์ โดยการจัดรูปสมการเมตริกซ์และแทนค่าตัวแปรให้เหมาะสมเพื่อกำจัดตัวแปรประจำโนดที่ไม่มีโหลดออกไป พิจารณาได้ดังนี้

ถ้ากำหนดให้โครงข่ายทางไฟฟ้ากำลังเขียนแทนได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$[Y_{node}][V_{node}] = [I_{node}] \quad (2-1)$$

ดำเนินการจัดเรียงโนดของสมการเมตริกซ์ดังกล่าวใหม่ โดยนำโนดที่มีกระแสจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉีดเข้าระบบหรือกระแสจากโหลดดึงออกจากโนดมาเรียงซ้อนกัน เรียกว่า เมตริกซ์ย่อย $[I_G]$ และ โหนดที่ไม่มีกระแสฉีดเข้าหรือดึงออกไป เรียกว่า เมตริกซ์ย่อย $[I_L] = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} Y_{L,L} & Y_{L,G} \\ Y_{G,L} & Y_{G,G} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_L \\ I_G \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

นั่นคือ

$$\begin{bmatrix} Y_{L,L} & Y_{L,G} \\ Y_{G,L} & Y_{G,G} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ I_G \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

เขียนสรุปสมการได้ดังนี้

$$Y_{L,L}V_L + Y_{L,G}V_G = 0 \quad (2-4)$$

$$Y_{G,L}V_L + Y_{G,G}V_G = I_G \quad (2-5)$$

จะได้ว่า

$$V_L = -Y_{L,L}^{-1}Y_{L,G}V_G \quad (2-6)$$

แทนค่าสมการที่ (2-6) ลงในสมการที่ (2-5) และจัดรูปสมการ จะได้ว่า

$$\{Y_{G,G} - Y_{G,L}Y_{L,L}^{-1}Y_{L,G}\}V_G = I_G \quad (2-7)$$

นั่นคือ

$$[Y_G][V_G] = [I_G] \quad (2-8)$$

โดยที่ $Y_G = Y_{G,G} - Y_{G,L}Y_{L,L}^{-1}Y_{L,G}$

2.4 การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า

การศึกษาคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า หรือที่รู้จักกันในชื่อ power flow ซึ่งรูปแบบของปัญหา จะเป็นการหาขนาดและมุมเฟสของแรงดันในแต่ละบัส กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในแต่ละสายส่ง ตลอดจนการคำนวณค่ากำลังงานสูญเสียในสายส่ง ซึ่งในแต่ละบัสมีค่าที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Slack bus หรือ swing bus เป็นบัสที่ค่า $|V|$ และ δ คงที่ ($|V|$ and δ are specified) ส่วน P และ Q เป็นตัวที่ไม่ทราบค่า

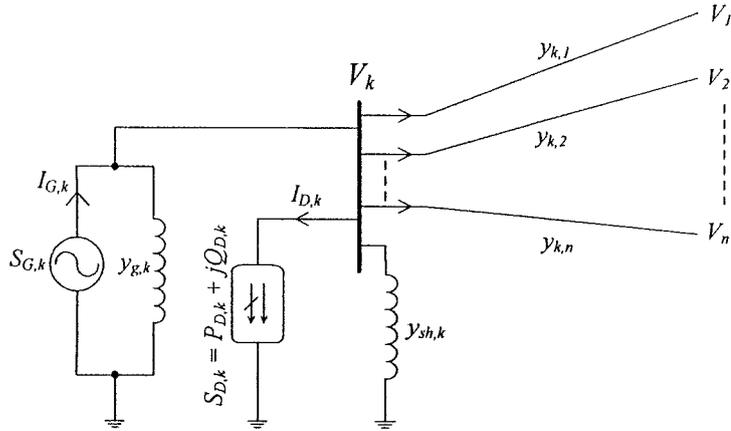
Load bus หรือ P-Q bus เป็นบัสที่ค่า P และ Q คงที่ (P and Q are specified) ส่วน $|V|$ และ δ เป็นตัวที่ไม่ทราบค่า

Voltage-controlled bus หรือ P-V bus เป็นบัสที่ค่า P และ V คงที่ (P and V are specified) ส่วน δ และ Q เป็นตัวที่ไม่ทราบค่า

2.4.1 การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดล

กำหนดให้ระบบไฟฟ้าที่พิจารณามีจำนวนบัสทั้งสิ้น n บัส โดยที่กำหนดให้บัสหนึ่งบัสมีขนาดและมุมของแรงดันมีค่าคงที่ และใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการคำนวณซึ่งจะเรียกบัสนี้ว่าบัส

อ้างอิง (reference bus) หรือที่รู้จักกันในชื่อ บัสสแลก (slack bus) และไม่ต้องทำการคำนวณหาแรงดันที่บัสนี้ ทำให้จำนวนบัสที่ต้องคำนวณลดลง 1 บัส ดังนั้น สำหรับระบบ n บัส จะมีสมการแรงดันที่ต้องหาคำตอบเพียง $n-1$ บัส เท่านั้น



รูปที่ 2.1 บัส k ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด สายส่งเชื่อมต่ออยู่กับบัสอื่น

พิจารณาบัส k ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยใช้การวิเคราะห์แบบ โหนด (nodal analysis) จะได้สมการสมมูลกระแสที่ โหนด k ใด ๆ ดังนี้

$$y_{k,1}(V_k - V_1) + y_{k,2}(V_k - V_2) + \dots + y_{k,n}(V_k - V_n) = I_{G,k} - I_{D,k} \quad (2-9)$$

ด้วยกระบวนการวนรอบเมื่อต้องการคำนวณค่าเฟสเซอร์แรงดันปรับปรุงที่บัส k ใด ๆ ในรอบการคำนวณที่ h ใด ๆ จะได้

$$V_k^{(h)} = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h-1)})^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n Y_{k,i} V_i^{(h-1)} \right\} \quad (2-10)$$

สมการที่ (2-10) เป็นการปรับปรุงตามระเบียบวิธีการวนรอบแบบเกาส์ ดังนั้นจะได้สมการการปรับปรุงแรงดันด้วยระเบียบวิธีการวนรอบแบบเกาส์-ไซเคลดดังสมการที่ (2-11)

$$V_k^{(h+1)} = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h)})^*} - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{k,i} V_i^{(h+1)} - \sum_{i=k+1}^n Y_{k,i} V_i^{(h)} \right\} \quad (2-11)$$

สมการที่ (2-11) เป็นสมการที่นำไปใช้ในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า ซึ่งในการคำนวณนี้ จะต้องมีการกำหนดบัสสแลก เพื่อใช้เป็นเฟสอ้างอิงของมุมเฟสแรงดันในระบบซึ่งที่บัสนี้มีการควบคุมขนาดแรงดันบัสด้วยและไม่ต้องการคำนวณหาแรงดันที่บัสนี้ ทำให้จำนวนบัสที่ต้องคำนวณลดลง 1 บัส ดังนั้น สำหรับระบบ n บัส จะมีสมการแรงดันที่ต้องหาคำตอบเพียง $n-1$ บัสเท่านั้น

นอกจากนี้ การใช้ตัวประกอบเร่ง γ สามารถนำมาใช้ได้กับการคำนวณด้วยวิธีนี้เพื่อเร่งอัตราการลู่เข้าให้มีความรวดเร็วยิ่งขึ้น สำหรับปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าค่าตัวประกอบเร่ง γ ที่เหมาะสมนั้น มีค่าประมาณ 1.3-1.7 (ชนิดชัย กุลรวรานิชพงษ์, 2549) โดยกำหนดให้

$$V_{k,acc}^{(h+1)} = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h)})^*} - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{k,i} V_i^{(h+1)} - \sum_{i=k+1}^n Y_{k,i} V_i^{(h)} \right\} \quad (2-12)$$

$$V_k^{(h+1)} = V_k^{(h)} + \gamma (V_{k,acc}^{(h+1)} - V_k^{(h)}) \quad (2-13)$$

สมการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้นี้ แสดงเพียงแบบจำลองโหลดในรูปของกำลังไฟฟ้าเท่านั้น ในระบบไฟฟ้ากำลังนอกจากแบบจำลองโหลดในรูปกำลังไฟฟ้ายังมีแบบจำลองโหลดที่นิยมใช้อีก 2 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองโหลดในรูปกระแสไฟฟ้า (current load model) และแบบจำลองโหลดในรูปอิมพีแดนซ์ (impedance load model) สำหรับสมการที่ใช้คำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า กรณีแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้านำมาได้จากสมการที่ (2-14) และกรณีแบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์คำนวณได้จากสมการที่ (2-15) ดังนี้

$$V_k^{(h+1)} = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h)})^*} - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{k,i} V_i^{(h+1)} - \sum_{i=k+1}^n Y_{k,i} V_i^{(h)} - I_{D,k} \right\} \quad (2-14)$$

$$V_k^{(h+1)} = \frac{1}{\left(Y_{k,k} + \frac{1}{Z_{D,k}}\right)} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h)})^*} - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{k,i} V_i^{(h+1)} - \sum_{i=k+1}^n Y_{k,i} V_i^{(h)} \right\} \quad (2-15)$$

โดยที่ $I_{D,k}$ คือ โหลดกระแสไฟฟ้าที่บัส k

$Z_{D,k}$ คือ โหลดอิมพีแดนซ์ที่บัส k

สรุปขั้นตอนการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดล ดังนี้

- 1) กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดและมุมของแรงดันที่บัสต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณในรอบแรก และการคำนวณซ้ำในรอบต่อไป
- 2) คำนวณค่าแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ Y_{bus} ในรูประบบต่อหน่วย (per-unit-system)
- 3) คำนวณผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริง ($P_G - P_D$) และผลต่างกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ($Q_G - Q_D$) สำหรับบัสโหลด
- 4) คำนวณแรงดันไฟฟ้าในรอบที่ $(h+1)$ ที่บัสโหลด k ใดๆ ($V_k^{(h+1)}$)
- 5) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้า $\Delta|V|$ ถ้า $\Delta|V|$ มีค่ามากกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ ให้กลับไปคำนวณที่ขั้นตอนที่ 4 ใหม่
- 6) ถ้า $\Delta|V|$ มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ ให้แสดงผลที่ทำการคำนวณได้

2.4.2 การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

$$\sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i = \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} \quad (2-16)$$

จัดรูปสมการใหม่ โดยกำหนดให้ $S_{sch,k} = P_{sch,k} + jQ_{sch,k}$ จะได้ว่า

$$\frac{(S_{sch,k})^*}{(V_k)^*} = \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i$$

$$(S_{sch,k})^* = (V_k)^* \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i \quad (2-17)$$

สมการที่ (2-17) เป็นสมการของกำลังไฟฟ้าที่บัส k ใด ๆ และเป็นสมการเริ่มต้นในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

จากสมการที่ (2-17) เมื่อพิจารณาในรูปพีคัดเชิงขั้ว จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (S_{sch,k})^* &= (|V_k| \angle -\delta_k) \sum_{i=1}^n (|Y_{k,i}| \angle \theta_{k,i}) (|V_i| \angle \delta_i) \\ P_{sch,k} - jQ_{sch,k} &= \sum_{i=1}^n |Y_{k,i} V_k V_i| \angle (\theta_{k,i} - \delta_k + \delta_i) \end{aligned} \quad (2-18)$$

โดยที่ $P_{sch,k} = P_{G,k} - P_{D,k}$ และ $Q_{sch,k} = Q_{G,k} - Q_{D,k}$ จะได้ว่า

$$(P_{G,k} - P_{D,k}) - j(Q_{G,k} - Q_{D,k}) = \sum_{i=1}^n |Y_{k,i} V_k V_i| \angle (\theta_{k,i} - \delta_k + \delta_i) \quad (2-19)$$

สำหรับเฟสเซอร์แรงดันบัสที่เป็นผลเฉลยของระบบสมการนี้ จะทำให้สมการสมดุลอย่างไรก็ตาม ในกระบวนการวนรอบต้องดำเนินการกำหนดค่าเริ่มต้นของเฟสเซอร์แรงดันบัส ซึ่งทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเริ่มต้นแบบราบเรียบ โดยการกำหนดให้แรงดันบัสเริ่มต้นของทุกบัสมีค่า $1.0 \angle 0^\circ$ p.u. หรือใช้ผลเฉลยแรงดันของการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าของระบบที่ทำงาน ณ จุดทำงานก่อนหน้าที่จะพิจารณา ถ้าค่าเริ่มต้นเหล่านี้ไม่ใช่ผลเฉลยแรงดันของระบบ จะทำให้สมการดังกล่าวไม่เป็นศูนย์ เกิดความคลาดเคลื่อนของผลรวมกำลังงานไฟฟ้าที่บัสขึ้นมา เรียกว่า ความไม่สอดคล้องของกำลังไฟฟ้า (power mismatches) ซึ่งมีทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟดังนี้

$$\Delta P_k = P_{sch,k} - P_{cal,k} = f_{p,k}$$

$$\Delta Q_k = Q_{sch,k} - Q_{cal,k} = f_{q,k}$$

$$\text{โดยที่ } P_{cal,k} = \sum_{i=1}^n |Y_{k,i} V_k V_i| \cos(\theta_{k,i} - \delta_k + \delta_i) \quad (2-20)$$

$$Q_{cal,k} = -\sum_{i=1}^n |Y_{k,i} V_k V_i| \sin(\theta_{k,i} - \delta_k + \delta_i) \quad (2-21)$$

ใช้ระเบียบวิธีการวนรอบของนิวตัน-ราฟสัน ประมาณผลเฉลยของระบบสมการใน
รอบการคำนวณที่ $k+1$ ใด ๆ จะได้

$$f_{p,k+1} = \Delta P_{k+1} = \Delta P_k + [\nabla f_{p,k}]^T \cdot \Delta X = 0$$

$$\Delta P_k = -[\nabla f_{p,k}]^T \cdot \Delta X$$

โดยที่ $X = [\delta \quad |V|]^T$ จะได้

$$\Delta P_k = -\left(\frac{\partial f_{p,k}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f_{p,k}}{\partial |V|} \Delta |V| \right)$$

เนื่องจาก $P_{sch,k}$ มีค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า $\frac{\partial f_{p,k}}{\partial X} = -\frac{\partial P_{cal,k}}{\partial X}$ นั่นคือ

$$\Delta P_k = \frac{\partial P_{cal,k}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P_{cal,k}}{\partial |V|} \Delta |V| \quad (2-22)$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ จะได้

$$\Delta Q_k = \frac{\partial Q_{cal,k}}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial Q_{cal,k}}{\partial |V|} \Delta |V| \quad (2-23)$$

รวมสมการเพื่อสร้างเมตริกซ์ สำหรับปรับปรุงผลเฉลยแรงดัน ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน หรือ Mismatches (power) = Jacobian \times Corrections (voltage) ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{cal}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{cal}}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q_{cal}}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_{cal}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

สามารถเขียนเป็นเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & J1 & \vdots & \vdots & \vdots & J2 & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta |V_1| \\ \Delta |V_2| \\ \vdots \\ \Delta |V_n| \end{bmatrix} \quad (2-24)$$

จากสมการที่ (2-24) สามารถหาผลเฉลยในรอบที่ $h+1$ โดยคำนวณเมตริกซ์ผกผันจาโคเบียน จะได้

$$\begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(h+1)} = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(h)} + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^{(h)} = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{(h)} + \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix}^{-1(h)} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^{(h)}$$

สรุปขั้นตอนการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน ดังนี้

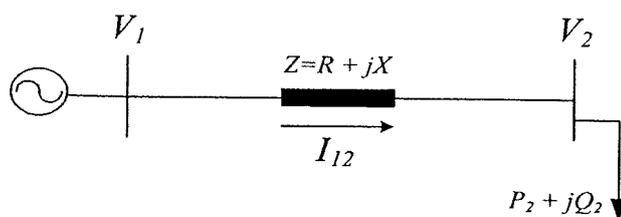
1) กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดและมุมของแรงดันที่บัสต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณในรอบแรก และการคำนวณซ้ำในรอบต่อไป

2) คำนวณค่าแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ Y_{bus} ในรูประบบต่อหน่วย (per-unit-system)

- 3) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) สำหรับบัสโหลด
- 4) คำนวณค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ J_1 - J_4
- 5) คำนวณเมตริกซ์จาโคเบียนผกผัน และคำนวณความถูกต้องของแรงดัน $\Delta\delta$ และ $\Delta|V|$ ทุกบัส
- 6) คำนวณ δ และ $|V|$ ค่าใหม่โดยรวม $\Delta\delta$ และ $\Delta|V|$ กับค่าเก่า
- 7) ตรวจสอบค่า ΔP และ ΔQ หรือค่า $\Delta\delta$ และ $\Delta|V|$ ถ้ามีค่ามากกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ให้กลับไปคำนวณที่ขั้นตอนที่ 3 ใหม่
- 8) ถ้า ΔP และ ΔQ หรือค่า $\Delta\delta$ และ $\Delta|V|$ มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ให้แสดงผลที่ทำการคำนวณได้

2.5 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (power distribution systems)

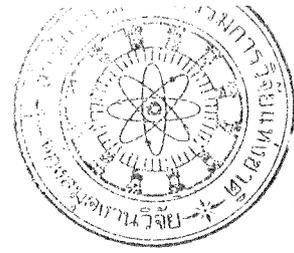
เมื่อคำนวณผลเฉลยแรงดันบัสเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่ง เพื่อดูการกระจายของการไหลของกำลังไฟฟ้าว่ามีทิศทางไปในทางใดและเป็นปริมาณเท่าใด กำลังงานสูญเสียในสายส่ง ตลอดจนแรงดันตกเป็นเท่าไร คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการวางแผนการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้ระบบทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดและประหยัด (ธนดชัย กุลวรวานิชพงษ์, 2549)



รูปที่ 2.2 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 2 บัส

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังดังรูปที่ 2.2 กำลังงานสูญเสียในสายส่งของระบบไฟฟ้าคำนวณได้จากสมการ $S_{loss} = P_{loss} + jQ_{loss} = (I_{12})^2 Z$ โดยกำลังงานสูญเสียประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ กำลังงานสูญเสียแอกทีฟ P_{loss} และกำลังงานสูญเสียรีแอกทีฟ Q_{loss}

$$P_{loss} = (I_{12})^2 R = \left(\frac{V_1 - V_2}{Z} \right)^2 R \quad (2-25)$$



$$Q_{loss} = (I_{12})^2 X = \left(\frac{V_1 - V_2}{Z} \right)^2 X \quad (2-26)$$

2.6 การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (reactive power compensation)

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเข้าสู่ระบบ เพื่อลดกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่าย โดยแหล่งจ่าย เนื่องจากการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟส่งผลกระทบต่อกำลังงานสูญเสียและแรงดันตกในระบบ ดังนั้น การจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพื่อชดเชยความต้องการของโหลดและชดเชยค่าความเหนี่ยวนำของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบมีกำลังงานสูญเสียต่ำและระดับแรงดันตกมีค่าลดลง (ธนัชชัย กุลสุวรรณิชพงษ์, 2549) นอกจากนี้การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟยังช่วยเพิ่มขีดจำกัดการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของสายส่ง ให้มีค่าสูงขึ้นด้วย การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสามารถทำได้ทั้งในรูปแบบอนุกรม รูปแบบขนาน และรูปแบบผสม ตัวชดเชยที่กล่าวมาจะมีหน้าที่และวิธีการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่แตกต่างกัน

2.7 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงแบบจำลองการกำจัด โหนด การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลและนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าของระบบที่ไม่ได้พิจารณาผลของการเพิ่มโหลดหรือการติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยเข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากับกำลังงานสูญเสียในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าและการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า สำหรับการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อพิจารณาผลของตำแหน่งและปริมาณการเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบ จะได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา วิทยาเขตสุรินทร์
วันที่ 18 สิงหาคม 2553
เลขทะเบียน..... 227105
เลขที่เอกสาร.....