หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่4

การกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองและการขยายสายส่ง

โดยปกติระบบไฟฟ้ากำลัง จะต้องมีกำลังผลิตมากกว่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่ากำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง ถ้ากำลังผลิตไฟฟ้าสำรองมีมากทำให้ต้องลงทุนสูง ระดับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าก็สูง ในทางกลับกัน ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ามีระดับต่ำ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะเป็นผู้รับภาระในความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งอาจเกิดเมื่อกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองมีค่าต่ำ ขนาดของกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองจึงเป็นส่วนสำคัญต่อความเชื่อถือได้ของการทำงานของระบบมากส่วนหนึ่ง สำหรับกฎเกณฑ์การกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองจะแบ่งออกได้ดังนี้

1. กฎเกณฑ์ที่มาจากการตัดสินใจ (Deterministic Criteria)
2. กฎเกณฑ์ที่มาจากความน่าจะเป็น (Probabilistic Criteria)

ส่วนการขยายสายส่งนั้น จะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งและขนาดของสายส่งนั้น ว่ามีขนาดเหมาะสมกันหรือไม่ ในกรณีที่สายส่งนั้นมีกำลังไฟฟ้าไหลผ่านสูงมาก เมื่อเทียบกับขนาดของตัวสายส่งเองนั้น นั่นหมายถึงระยะเวลาที่ควรจะมีการเพิ่มสายส่งเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเป็นหลักที่ใช้พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำหรับการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งนั้นจะใช้วิธีโหลดโฟลว์ ซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3

4.1 กฎเกณฑ์ที่มาจากการตัดสินใจ [1,2,3]

เกณฑ์การตัดสินใจในการกำหนดขนาดของกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง ได้มาจากการตั้งสมมติฐานขึ้นก่อนโดยพิจารณาถึงสถานะการทำงานของระบบจำนวนหนึ่ง เช่น โหลดและสภาวะที่เกิดการขัดข้องเพื่อที่จะดูผลการปฏิบัติงานของระบบผลิต หรือ ระบบส่งพลังงานไฟฟ้า สถานการณ์เหล่านี้จะถูกพิจารณาเมื่อมีผลกระทบต่อการปฏิบัติงานของระบบเท่านั้น เช่น ขณะที่มีโหลดสูงพร้อม ๆ กับที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดในระบบเกิดขัดข้อง โดยสมมติฐานที่ตั้งขึ้นจะถือว่าถ้าระบบสามารถทำงานได้เป็นปกติเมื่อเกิดเหตุการณ์รุนแรงที่ถูกกำหนดขึ้นก่อนได้แล้ว ระบบก็

I17513212

สามารถทำงานได้เป็นปกติเมื่อเกิดเหตุการณ์อื่นๆขึ้นกับระบบได้เช่นกัน

ข้อได้เปรียบของเกณฑ์การตัดสินใจนี้ คือ สถานะที่ทำการตรวจสอบมีอยู่จำนวนน้อย ส่งผลให้การตรวจสอบในแต่ละสถานะสามารถทำได้อย่างละเอียด แต่วิธีการดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้วางแผนเป็นปัจจัยสำคัญ สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจที่ใช้กำหนดขนาดของกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

4.1.1 การกำหนดกำลังผลิตสำรองด้วยกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหญ่ที่สุดของระบบ

เป็นการกำหนดกำลังผลิตสำรอง ซึ่งจัดให้มีในระบบไว้เผื่อในกรณีที่ต้องหยุดซ่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ใหญ่ที่สุดในระบบตามกำหนดเวลา 1 เครื่อง บวกด้วยกรณีที่อาจมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีก 1 เครื่องเกิดเสียอย่างกระทันหัน

วิธีการกำหนดกำลังผลิตสำรองดังกล่าวข้างต้นนี้มีความง่ายต่อการเข้าใจของบุคคลทั่วไป แต่ไม่ได้ครอบคลุมถึง ความเป็นไปได้ในกรณีต่างๆ อีกมากที่จะทำให้เกิดไฟฟ้าดับในระบบขึ้นได้บางส่วนเช่นโอกาสที่จะมีเครื่องเสียพร้อมๆกันหลายเครื่อง โอกาสที่จะต้องหยุดซ่อมเครื่องพร้อมๆกันหลายเครื่องเพราะมีจำนวนเครื่องมากมาย เป็นต้น

4.1.2 การกำหนดให้กำลังผลิตสำรองมีเป็นร้อยละของความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบ

การกำหนดให้มีกำลังผลิตสำรองเป็นร้อยละของความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบ เช่น กำหนดเป็น 15,20,25 หรือ 30% เป็นต้น เช่น ระบบไฟฟ้ามีความต้องการสูงสุด 4,000 เมกะวัตต์ ถ้าให้กำลังผลิตสำรองเป็น 20% ก็เท่ากับ 800 เมกะวัตต์

การกำหนดให้มีกำลังผลิตสำรองเป็นร้อยละของความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบนั้นส่วนมากขึ้นอยู่กับขนาดของระบบไฟฟ้า ถ้าระบบไฟฟ้ามีขนาดเล็ก อาจต้องใช้วิธีกำลังผลิตสำรองจากวิธีแรก คือคิดเป็นเครื่องใหญ่ที่สุดหยุดได้ 1-2 เครื่องก่อน แล้วเทียบกลับมาหากำลังสำรองเป็นร้อยละ ซึ่งจะเป็นเปอร์เซนต์ที่สูงมากอาจจะ 30-50% ก็ได้ แต่ถ้าหากระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่มากขึ้น ขนาดร้อยละของกำลังผลิตสำรองก็จะลดลงได้ เช่น ระบบไฟฟ้ามีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 10,000 เมกะวัตต์ ถ้ากำลังผลิตสำรองเท่ากับ 20% ก็จะมีถึง 2,000 เมกะวัตต์ ซึ่งอาจจะ

เพียงพอแล้ว เพราะขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหญ่ที่สุดในระบบนั้นอาจจะเพียงเครื่องละ 900 เมกะวัตต์ การกำหนดกำลังผลิตสำรองเป็นร้อยละของความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบนั้นเป็นวิธีคำนวณได้ง่ายอีกวิธีหนึ่ง แต่ยังต้องพึ่งพาการวิเคราะห์ และเทียบกับการกำหนดกำลังผลิตสำรองในวิธีที่ 1 อยู่เช่นกัน

4.2 กฎเกณฑ์ที่มาจากความน่าจะเป็น [1,3,4]

วิธีการกำหนดกำลังผลิตสำรองตามเกณฑ์การตัดสินใจนั้นเป็นวิธีที่เข้าใจง่ายแต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถทราบได้ว่าระบบไฟฟ้ามีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟฟ้าดับได้มากน้อยเพียงไร ซึ่งอาจจะมีความเชื่อถือได้ดีไม่เพียงพอ หรือ อาจจะดีเกินไป จึงนำเกณฑ์ความน่าจะเป็นมาใช้คำนวณระดับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยอาศัยค่า LOLE ดังที่กล่าวไว้ในบทที่2

ด้วยวิธีการกำหนดกำลังผลิตสำรองตาม 2 วิธีข้างต้น ไม่สามารถจะทราบถึงระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบการผลิตพลังไฟฟ้า ซึ่งอาจจะทำให้ได้แผนการพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าที่มีระดับความมั่นคงไม่เพียงพอ หรืออาจจะดีเกินไป (ซึ่งหมายถึงมีการลงทุนมากเกินไป) ดังนั้นในปัจจุบัน จึงนิยมใช้วิธีการกำหนดกำลังผลิตสำรอง โดยใช้การคำนวณด้วยวิธีทางความน่าจะเป็นเพื่อกำหนดระดับความเชื่อถือได้ที่ต้องการ ระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบผลิตโดยการคำนวณค่า LOLE ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาจำนวนครั้ง หรือ เวลาที่เกิดวิกฤตที่กำลังผลิตไฟฟ้าในระบบจะมีไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าถือว่าไม่สามารถสนองความต้องการไฟฟ้าได้ ซึ่งก็อาจจะเกิดผลตามมาคือ ต้องดับไฟฟ้าไปบางส่วน โดยวิธีการคำนวณความมั่นคงของระบบผลิตนี้จะกำหนดโดยจำนวนวัน (โดยเฉลี่ย) ใน 1 ปี ที่คาดว่ากำลังผลิตของระบบจะมีน้อยกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

การวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าโดยการคำนวณระดับความเชื่อถือได้ด้วยวิธี LOLE นี้เป็นวิธีที่นิยมแพร่หลายมากในการไฟฟ้าต่างๆ มีข้อดีที่ให้ระดับเปรียบเทียบได้ เช่นในกลุ่มประเทศอาเซี่ยน ใช้ LOLE = 1 วัน/ปี ส่วนในระบบไฟฟ้าที่ใหญ่มากเช่นในสหรัฐ ใช้ LOLE = 0.1 วัน/ปี เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่า LOLE กับปริมาณกำลังผลิตสำรอง มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน คือ ถ้ากำลังผลิตสำรองมีมาก ค่า LOLE ก็จะต่ำ (หมายถึงระบบการผลิตไฟฟ้าดี) แต่ถ้ากำลังผลิตสำรองมีน้อย ค่า LOLE ก็จะสูง (ระบบการผลิตไฟฟ้าไม่ดี)

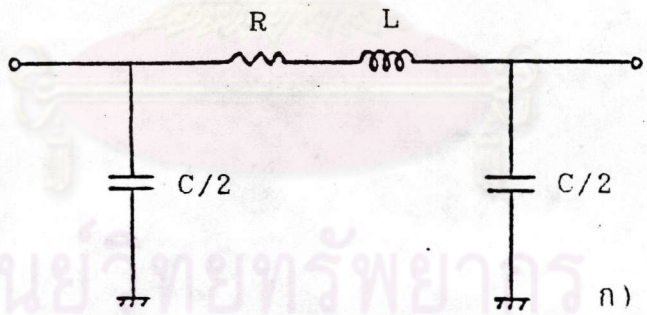
4.3 โหลดโฟลว์กับการขยายสายส่งพลังงานไฟฟ้า [10]

โหลดโฟลว์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้ากำลังขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานปกติ ผลที่ได้จากการศึกษาโหลดโฟลว์โดยทั่วไปต้องการขนาดและมุมของแรงดันที่บัสต่างๆในระบบ กระแสที่ไหลในสายส่งทุกเส้น กำลังไฟฟ้าที่บัสและสายส่งทั้งกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) แต่เพื่อให้สอดคล้องกับการคำนวณในบทก่อน ๆ ซึ่งคิดเฉพาะกำลังงานจริง ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงจะแสดงเฉพาะกำลังงานจริงด้วย

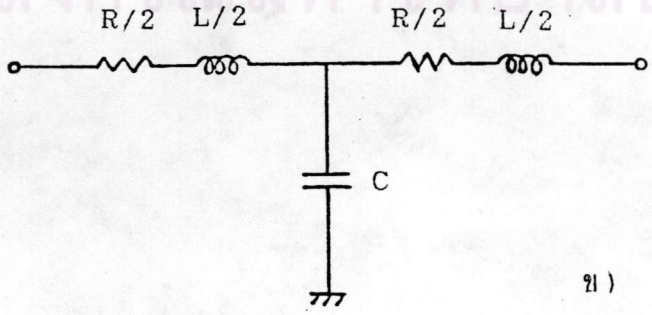
4.3.1 วงจรสมมูลขององค์ประกอบในระบบไฟฟ้ากำลัง

4.3.1.1 สายส่ง

สายส่งในระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะแทนด้วยวงจรสมมูลของสายขนาดกลาง ซึ่งมีสองแบบคือ แบบพายน์ (π) และแบบที (T) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก. และ ข.



ก)



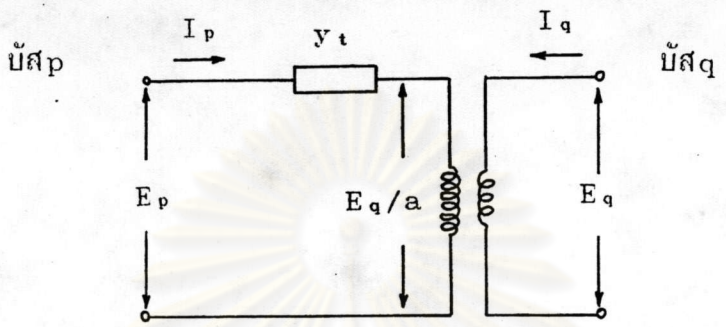
ข)

รูปที่ 4.1 ก) วงจรสมมูลของสายส่งขนาดกลางแบบพายน์

ข) วงจรสมมูลของสายส่งขนาดกลางแบบที (T)

4.3.1.2 หม้อแปลง

หม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลังจะถูกแทนด้วยหม้อแปลงอุดมคติและแอดมิตแตนซ์หรืออิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลง

E_p, E_q เป็นแรงดันที่บัส P และ Q ตามลำดับ

a เป็นอัตราส่วนการแปลง (transformation ratio)

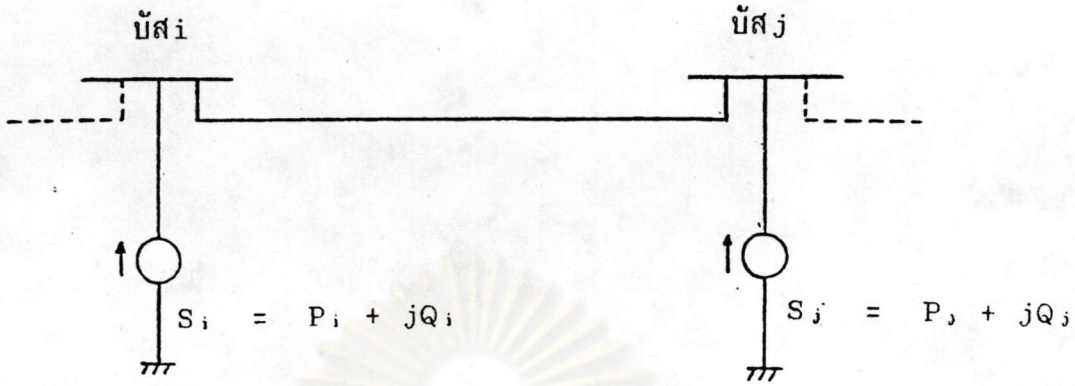
y_t เป็นแอดมิตแตนซ์ของหม้อแปลง

ส่วนบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ของหม้อแปลง (bus admittance matrix) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$[Y_{bus}] = \left[\begin{array}{c|c} y_t & -y_t/a \\ \hline -y_t/a^* & y_t/a^2 \end{array}\right] \qquad (4.1)$$

4.3.1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดจะแทนด้วย bus power source ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด

โดยที่ $$P_i = P_{Gi} - P_{Di} \quad (4.2)$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (4.3)$$

เมื่อ P_{Gi} และ Q_{Gi} เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและกำลังรีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส i ตามลำดับ

P_{Di} และ Q_{Di} เป็นโหลดจริงและโหลดรีแอกทีฟที่บัส i ตามลำดับ

P_i และ Q_i เป็น bus real power source และ bus reactive power source ที่บัส i ตามลำดับ

4.3.2 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

บัสต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. บัสชนิดที่ 1 (Bus Type 1) หรือโหลดบัส (Load Bus) หรือบัส P Q บัสนี้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟมีค่าคงที่ ซึ่งทราบค่า ส่วนขนาดและมุมของแรงดันบัสเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

2. บัสชนิดที่ 2 (Bus Type 2) หรือบัสควบคุมแรงดัน (Voltage Controlled Bus) หรือ บัส P-V บัสนี้กำหนดให้ขนาดของแรงดันบัสและกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าสู่บัสมีค่าคงที่ ส่วนมุมของแรงดัน และกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่ไหลเข้าสู่บัสเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

3. บัสชนิดที่ 3 (Bus Type 3) หรือสแล็คบัส (Slack Bus) หรือบัสอ้างอิง (Reference Bus) บัสนี้กำหนดให้ขนาดและมุมของแรงดันบัสมีค่าคงที่ ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ไหลเข้าสู่บัสเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

4.3.3 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Equation)

สมการซึ่งบรรยายการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง อาจเขียนในระบบอ้างอิงบัส (Bus Frame of Reference) ในรูปแอดมิทแตนซ์ คือ

$$I_{BUS} = Y_{BUS} E_{BUS} \qquad (4.4)$$

โดยที่ I_{BUS} คือ เวกเตอร์ของกระแสที่ไหลเข้าสู่บัส

Y_{BUS} คือ เวกเตอร์ของแรงดันบัสเทียบกับกราวนด์

E_{BUS} คือ บัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์

จะได้กำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส p คือ

$$P_p + jQ_p = E_p I_p^*$$

หรือ
$$P_p - jQ_p = E_p^* I_p \qquad (4.5)$$

โดย P_p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าสู่บัส p

Q_p คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่ไหลเข้าสู่บัส p

E_p คือ แรงดันที่บัส p เทียบกับกราวนด์

I_p คือ กระแสที่ไหลเข้าสู่บัส p

จากสมการ (4.4) สามารถกระจายเพื่อเขียนสมการของ I_p ได้ดังนี้คือ

$$I_p = \sum_{q=1}^{n} y_{pq} E_q \qquad (4.6)$$

n คือ จำนวนบัสทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลัง

y_{pq} คือ สมาชิกตำแหน่ง (p,q) ของบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์

แทนค่า I_p ในสมการ (4.5)

$$P_p - jQ_p = E_p^* \sum_{q=1}^{n} y_{pq} E_q \qquad (4.7)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการ (4.7) เรียกว่าสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Equation) ซึ่งมีลักษณะไม่เชิงเส้น ดังนั้นการวิเคราะห์สมการนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงต้องใช้วิธี อิเทอเรตีฟ (Iterative Method) แบบนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson Method)

โดยให้ $E_p = e_p + j\, f_p$

และ $y_{pq} = G_{pq} - j\, B_{pq}$

จากสมการ (4.7) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_p - jQ_p = (e_p - j\, f_p) \sum_{q=1}^{n} (G_{pq} - jB_{pq})(e_q + j\, f_q) \qquad (4.8)$$

แยกจากสมการ (4.7) เป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพจะได้

$$P_p = \sum_{q=1}^{n} [e_p(e_qG_{pq} + f_qB_{pq}) + fp(f_fqG_{pq} - e_qB_{pq})] \qquad (4.9)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^{n} [f_p(e_qG_{pq} + f_qB_{pq}) - ep(f_fqG_{pq} - e_qB_{pq})] \qquad (4.10)$$

4.3.4 การศึกษาโหลดโฟลว์โดยวิธีอิทเทอเรทีฟของนิวตันราฟสัน

(Newton-Raphson Iterative Method)

การวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบนิวตันราฟสันเป็นวิธีเปลี่ยนสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในลักษณะเชิงเส้น โดยวิธีเรคแทงคูล่าโค-ออร์ดิเนต (Rectangular Co-ordinate Method) สามารถเขียนได้ในรูปเมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \hline \Delta Q \\ \hline \Delta |E|^2 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} J_1 & J_2 \\ \hline J_3 & J_4 \\ \hline J_5 & J_6 \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta e \\ \hline \Delta f \\ \hline \end{bmatrix} \qquad (4.11)$$

โดยที่ P คือ ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าบัส ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\Delta P = P_{กำหนด} - P_{คำนวณ} \qquad (4.12)$$

Q คือ ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ไหลเข้าบัส ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\Delta Q = Q_{กำหนด} - Q_{คำนวณ} \qquad (4.13)$$

$\Delta|E|$ คือ ค่าของขนาดแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจากการทำอิเทอเรทีฟ

$[J_1]$, $[J_2]$, $[J_3]$ .. $[J_6]$ คือสมาชิกจาโคเบี้ยนเมทริกซ์ ซึ่งคำนวณได้

จาก $$I_p = C_p + jD_p = \sum_{q=1}^{n} (G_{pq} - j\,B_{pq})(e_p + j\,f_p) \qquad (4.12)$$

สมการ 4.12 แยกเป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพจะได้

$$C_p = \sum_{q=1}^{n} (e_pG_{pq} + f_qB_{pq}) \qquad (4.13)$$

$$D_p = \sum_{q=1}^{n} (f_pG_{pq} - e_pB_{pq}) \qquad (4.14)$$

$[J_1]$ สามารถคำนวณได้โดยหา $\frac{\partial P_p}{\partial e_q}$ จากสมการ (4.6) จะได้

$$\frac{\partial P_p}{\partial e_q} = e_pG_{pq} - f_pB_{pq} \qquad q = p$$

$$= e_pG_{pp} - f_pB_{pp} + C_p \qquad q = p \qquad (4.15)$$

$[J_2]$ สามารถคำนวณได้โดยหา $\frac{\partial P_p}{\partial f_q}$ จะได้

$$\frac{\partial P_p}{\partial f_q} = e_pB_{pq} + f_pG_{pq} \qquad q = p$$

$$= e_pB_{pp} - f_pG_{pp} + D_p \qquad q = p \qquad (4.16)$$

$[J_3]$ สามารถคำนวณได้โดยหา $\frac{\partial Q_p}{\partial e_q}$ จะได้

$$\frac{\partial Q_p}{\partial e_q} = e_pB_{pq} + f_pG_{pq} \qquad q = p$$

$$= e_pB_{pp} + f_pG_{pp} - D_p \qquad q = p \qquad (4.17)$$

$[J_4]$ สามารถคำนวณได้โดยหา $\frac{\partial Q_p}{\partial f_q}$ จะได้

$$\frac{\partial Q_p}{\partial f_q} = -e_pG_{pq} + f_pB_{pq} \qquad q = p$$

$$= -e_pG_{pp} + f_pB_{pp} + C_p \qquad q = p \qquad (4.18)$$

จาก $$|E_p|^2 = |e_p|^2 + |f_p|^2 \qquad (4.19)$$

$[J_5]$ สามารถคำนวณได้โดยหา

$$\frac{\partial |E_p|^2}{e_q} = 0 \qquad q = p$$

$$= 2E_p \qquad q = p \qquad (4.20)$$

$[J_6]$ สามารถคำนวณได้โดยหา

$$\frac{\partial |E_p|^2}{\partial f_q} = 0 \qquad q = p$$

$$= 2f_p \qquad q = p \qquad (4.21)$$

Δe คือ ค่าของแรงดันจริงที่เปลี่ยนแปลงจากการทำอิเทอเรทีฟ

Δf คือ ค่าของแรงดันจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงจากการทำอิเทอเรทีฟ

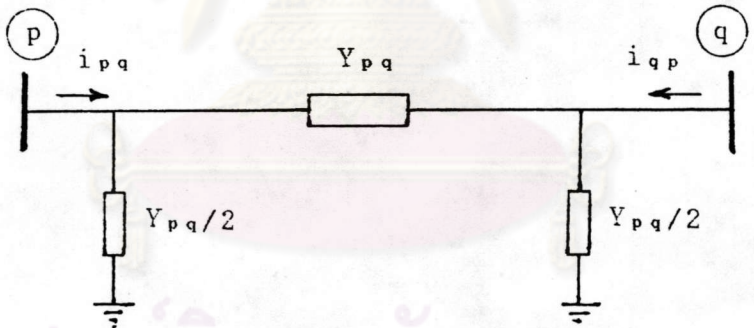
โดย $e^{k+1} = e^k + \Delta e^k$ (4.22)

$f^{k+1} = f^k + \Delta f^k$ (4.23)

จากสมการ (4.15) ถึง (4.21) สามารถคำนวณ $[J_1]$ ถึง $[J_6]$ ได้ ดังนั้นจะคำนวณ Δe และ Δf ได้ตามสมการ (4.11) และอาศัยสมการ (4.22) และ (4.23) หา e^{k+1} และ f^{k+1} ได้ จากนั้นทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่า ΔP, ΔQ และ ΔE ทุกตัวมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดจึงหยุดการคำนวณ

4.3.5 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งไฟฟ้า

พิจารณาสายส่งไฟฟ้าที่เชื่อมระหว่างบัส p และ บัส q ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรสมมูลย์ของสายส่ง

กระแสที่ไหลจากบัส p ไปบัส q ให้เป็น i_{pq} หาได้จาก

$$i_{pq} = (E_p - E_q)\, Y_{pq} + E_p\, Y_{pq}/2 \qquad (4.22)$$

โดยที่ Y_{pq} คือ แอดมิทแตนซ์ของสายส่ง (Line Admittance)

Y_{pq} คือ ค่าลายน์ชาร์จซึ่งของสายส่ง (Line Charging)

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส p ไปยังบัส q จะหาได้จาก

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p i_{pq}$$

หรือ $$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p (E_p - E_q) Y_{pq} + E_p E_p Y_{pq}/2 \qquad (4.23)$$

ในทำนองเดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส p ไปยังบัส q จะหาได้จาก

$$P_{qp} - jQ_{qp} = E_q (E_q - E_p) Y_{pq} + E_q E_q Y_{pq}/2 \qquad (4.24)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย