รายการอ้างอิง

1. G. s:rbac, Y.S. Lim.Analytical approach to probabilistic prediction of voltage sags on transmissionnetworks. IEE Proc-.Generation, Transmission and Distribution, Vol.149 No.1,Jan. 2002 , p.7-14

2. IEEE 1159-1995 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electronic Power Quality.

3. IEEE Std 493-1997 (Revision of IEEE Std 493-1990) IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems.

4. L. Conrad, C. Grigg, K. Little.Predicting and preventing problems associated with remote fault clearing voltage dips. IEEE Trans. Industry Applications, vol 27, no.1,pp. 167-172, Jan/Feb 1991.

5. L. E. Conrad, Chairman.Propose chapter 9 for predicting voltage sags (dips) in revision to IEEE std. 493, the Gold Bcok. IEEE Trans. Industry Applications, vol.30,pp. 805-821, 1994.

6. L. E. Conrad and M. H. J. Bollen.Voltage sag coordination for reliable plant operation. IEEE Trans. Industry Applications, vol. 33, pp.1459-1464, Nov 1997.

7. M. H. J. Bollen.Fast assessment methods for voltage sags in distribution system. IEEE Trans. Industry Applications, vol. 32, no.6, pp.1414-1432, Nov /Dec 1996.

8. M. H. J. Bollen.Understanding power quality problems voltage sags and interruptions. IEEE Press, NewYork, 2000.

9. M. R. Qader, M. H. J. Bollen, and R. N. Allan.Stochastic prediction of voltage sags in a large transmission system. IEEE Trans. Industry Applications, vol. 35,no.1, pp.156-162, Jan 1999.

10. Saadat H.Power system analysis. McGraw-Hill, Singapore, 1999.

11. พงศกร ยุทธโกวิท.การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่คำนึงถึงแรงดันตกและการทำงานของระบบป้องกัน.วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2540.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กระบวนการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

(Algorithm for formation of bus impedance matrix)

ขั้นตอนการคำนวณฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังต้องใช้ค่าอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ ซึ่งกระบวนการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์มีรายละเอียดดังนี้ [11]

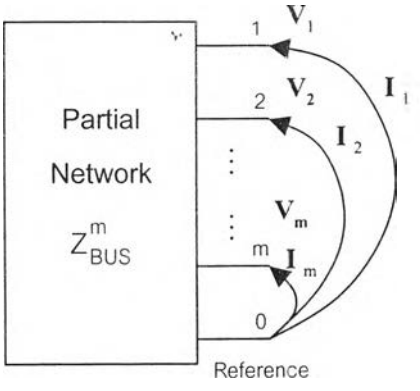
1.ระบบก่อนที่จะมีการเพิ่มชิ้นส่วน

โดยการสมมติบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ Z_{BUS} ของระบบย่อยหนึ่งมี m บัส และมีโหนดอ้างอิง (Node 0) อีกหนึ่งโหนด โดยสมการที่แสดงคุณลักษณะของระบบที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ ก.1 คือ

$$V_{BUS} = Z_{BUS}I_{BUS} \qquad (ก.1)$$

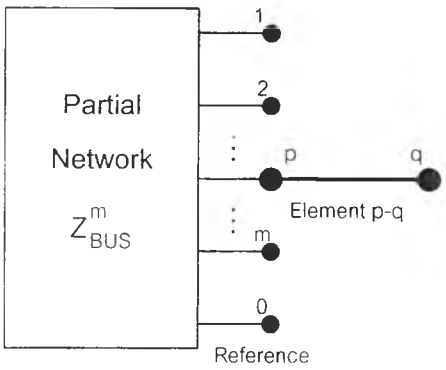
โดยที่ V_{BUS} คือ เวคเตอร์ขนาด mx1 ของแรงดันบัสที่วัดเทียบกับโหนดอ้างอิง

I_{BUS} คือ เวคเตอร์ขนาด mx1 ของกระแสที่ไหลเข้าสู่บัส



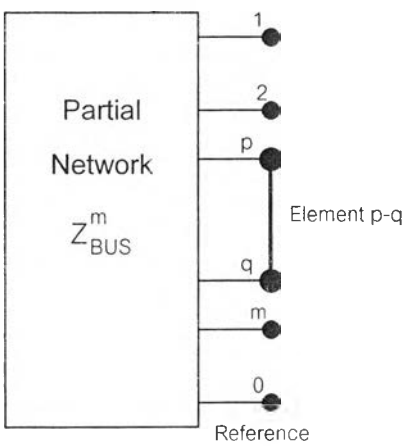
รูปที่ ก.1 ลักษณะของระบบก่อนที่จะมีการเพิ่มชิ้นส่วน

เมื่อมีการเพิ่มชิ้นส่วน p-q เข้ากับระบบที่แสดงไว้ในรูปที่ ก.1 ซึ่งอาจจะเป็น branch หรือ link โดยแสดงไว้ในรูปที่ ก.2 และ ก.3 ตามลำดับ



รูปที่ ก.2 การเพิ่ม branch เข้าสู่ระบบ

ถ้าชิ้นส่วนที่เพิ่มเป็น branch ก็จะเป็นการเพิ่มบัส q ให้กับระบบเดิม ทำให้ขนาดของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์เพิ่มขึ้นเป็น (m+1)x(m+1) และเพิ่มขนาดของเวคเตอร์แรงดันและกระแสเป็น (m+1)x1 ในการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ใหม่จะทำการคำนวณเพิ่มเพียงในตำแหน่งของแถวหรือหลักใหม่เท่านั้น



รูปที่ ก.3 การเพิ่ม link เข้าสู่ระบบ

ถ้าชิ้นส่วนที่เพิ่มเป็น link ก็จะไม่มีบัสใหม่เพิ่มให้กับระบบ ในกรณีนี้ขนาดของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ทุกตำแหน่งในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์จะต้องถูกคำนวณใหม่เพื่อรวมผลของการเพิ่ม link เข้าไป

2.การเพิ่ม branch (Addition of a branch)

สมการที่แสดงคุณลักษณะของระบบที่มีการเพิ่ม branch p-q เป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_p \\ \vdots \\ V_m \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1p} & \cdots & Z_{1m} & Z_{1q} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2p} & \cdots & Z_{2m} & Z_{2q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \cdots & Z_{pp} & \cdots & Z_{pm} & Z_{pq} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \cdots & Z_{mp} & \cdots & Z_{mm} & Z_{mq} \\ Z_{q1} & Z_{q2} & \cdots & Z_{qp} & \cdots & Z_{qm} & Z_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_m \\ I_q \end{bmatrix} \qquad (ก.2)$$

ในการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ในการศึกษานี้จะไม่คิดผลของการคับปลิ้ง (Coupling) ของชิ้นส่วนต่างๆที่มีต่อกัน โดยสมมติว่าในระบบประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เป็น bilateral passive element คือ $Z_{qi} = Z_{iq}$ และ i = 1,2,...,m เป็นหมายเลขของบัสในระบบซึ่งเป็นระบบเดิมก่อนที่จะเพิ่ม branch ใหม่ p-q

โดยที่ Z_{qi} สามารถคำนวณได้โดยการใส่กระแสเข้าที่บัส i และคำนวณหาแรงดันที่บัส q ซึ่งเทียบกับโหนดอ้างอิง โดยสมมติให้กระแสที่ไหลเข้าบัสที่เหลือมีค่าเป็นศูนย์ จากสมการที่(ก.2) จะได้

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{1i} I_i \\ V_2 &= Z_{2i} I_i \\ &\vdots \\ V_p &= Z_{pi} I_i \\ &\vdots \\ V_m &= Z_{mi} I_i \\ V_q &= Z_{qi} I_i \end{aligned} \qquad (ก.3)$$

โดยให้ค่า I_i ในสมการที่ (ก.3) มีค่าเท่ากับ 1 เปอร์ยูนิต ดังนั้น Z_{qi} สามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากแรงดัน V_q แต่แรงดันที่บัส q สามารถคำนวณได้จากแรงดันที่บัส p และแรงดันที่ตกคร่อมชิ้นส่วน p-q ซึ่งจะได้ค่าแรงดันที่บัส q ตามสมการที่ (ก.4)

$$V_q = V_p - v_{pq} \tag{ก.4}$$

เนื่องจากค่ากระแสในชิ้นส่วนใหม่มีค่าเป็นศูนย์ ($i_{pq} = 0$) และชิ้นส่วนที่เพิ่มเข้าไปใหม่ไม่มีการคับปลิ้งกับชิ้นส่วนอื่นในระบบ ดังนั้น $v_{pq} = 0$ และ $V_q = V_p$ ทำให้ได้ค่า

$$Z_{qi} = Z_{pi} \tag{ก.5}$$

และ $Z_{qi} = Z_{iq}$ โดยที่ $i = 1,2,\ldots,m \qquad i \neq q$

ค่า Z_{qq} สามารถคำนวณได้โดยการใส่กระแสไหลเข้าที่บัส q และคำนวณแรงดันที่บัส q โดยให้ค่ากระแสที่ไหลเข้าที่บัสอื่นๆมีค่าเป็นศูนย์ จากสมการที่ (ก.2) จะได้

$$\begin{aligned}
V_1 &= Z_{1q} I_q \\
V_2 &= Z_{2q} I_q \\
&\vdots \\
V_p &= Z_{pq} I_q \\
&\vdots \\
V_m &= Z_{mq} I_q \\
V_q &= Z_{qq} I_q
\end{aligned} \tag{ก.6}$$

โดยให้ค่า I_q มีค่าเท่ากับ 1 เปอร์ยูนิต แล้วหาค่า Z_{qq} จากค่าแรงดัน V_q ซึ่งแรงดันที่บัส p และบัส q จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ (ก.4) และค่ากระแสที่ไหลในชิ้นส่วน p-q คือ $i_{pq} = -I_q = -1$ เนื่องจากชิ้นส่วน p-q ไม่มีการคัปปลิ้งกันดังนั้น $v_{pq} = i_{pq} z_{pq}$ โดยที่ค่า z_{pq} เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของชิ้นส่วน p-q

เนื่องจาก $V_q = V_p - v_{pq}$

จะได้ $V_q = V_p - i_{pq} z_{pq}$ โดยที่ $V_q = Z_{qq} I_q$ และ $V_p = Z_{pq} I_q$

สามารถสรุปได้ว่า $Z_{qq} I_q = Z_{pq} I_q - i_{pq} z_{pq}$ โดยที่ $i_{pq} = -I_q = -1$

ดังนั้น

$$Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq} \tag{ก.7}$$

ในกรณีที่ p เป็นโหนดอ้างอิงจะทำให้

$$Z_{pi} = 0 \quad \text{และ} \quad Z_{qi} = 0 \qquad \text{โดยที่ } i = 1,2,\ldots,m \qquad i \neq q$$

ดังนั้น $Z_{pq} = 0$ ก็จะได้

$$Z_{qq} = z_{pq} \tag{ก.8}$$

3. **การเพิ่ม** link (Addition of link)

การเพิ่มชิ้นส่วน p-q ที่เป็นการเพิ่ม link กระบวนการคำนวณหาค่าส่วนประกอบของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ใหม่โดยการสมมติว่ามีแหล่งจ่ายแรงดัน E_l ต่ออนุกรมเข้ากับชิ้นส่วน p-q ก่อนที่จะเพิ่มชิ้นส่วน p-q เข้าที่บัส p-q แล้วทำการสร้างโหนดปลอม l ขึ้น ซึ่งสามารถกำจัดได้ในภายหลัง และขนาดแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดัน E_l จะถูกเลือกเพื่อปรับให้ค่ากระแสที่ไหลในชิ้นส่วน p-q มีค่าเป็นศูนย์

ดังนั้นสมการที่แสดงคุณลักษณะของระบบที่มีการเพิ่มชิ้นส่วน p-l และแหล่งจ่ายแรงดันที่ต่ออนุกรมเข้าไปเป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_p \\ \vdots \\ V_m \\ E_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1p} & \cdots & Z_{1m} & Z_{1l} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2p} & \cdots & Z_{2m} & Z_{2l} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \cdots & Z_{pp} & \cdots & Z_{pm} & Z_{pl} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \cdots & Z_{mp} & \cdots & Z_{mm} & Z_{ml} \\ Z_{l1} & Z_{l2} & \cdots & Z_{lp} & \cdots & Z_{lm} & Z_{ll} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_m \\ I_l \end{bmatrix} \tag{ก.9}$$

ดังนั้น $E_l = V_1 - V_q$

ค่า Z_{li} สามารถคำนวณได้โดยการใส่กระแสไหลเข้าที่บัส i แล้วคำนวณหาแรงดันที่ บัส l เทียบกับบัส q โดยที่ค่ากระแสที่ไหลเข้าบัสเหลือเท่ากับศูนย์ เมื่อนำมาพิจารณากับสมการที่ (ก.9) จะได้

$$V_k = Z_{ki} I_i \qquad k = 1,2,\ldots,m \qquad (ก.10)$$

$$E_l = Z_{li} I_i$$

โดยให้ค่า I_i เท่ากับ 1 เปอร์ยูนิต ในสมการที่ (ก.10) Z_{li} สามารถคำนวณได้โดยตรงจากการคำนวณค่า E_l ดังนั้นค่า E_l จะได้ค่า

$$E_l = V_p - V_q - v_{pl} \qquad (ก.11)$$

เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน link p-q มีค่าเป็นศูนย์ ($i_{pq} = 0$) เนื่องจากชิ้นส่วน p-q ที่เพิ่มเข้าไปไม่มีการคลับปลิ้งกับชิ้นส่วนอื่นในระบบ และ $i_{pq} = i_{pl} = 0$ ดังนั้นจะได้ค่า $v_{pq} = 0$

ทำให้ได้ค่า $$Z_{li} I_i = Z_{pi} I_i - Z_{qi} I_i$$

เนื่องจาก $I_i = 1$ จะได้ $$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} \quad \text{โดย } i = 1,2,\ldots,m \quad i \neq l \qquad (ก.12)$$

และ $$Z_{li} = Z_{il}$$

ส่วนค่า Z_{ll} สามารถคำนวณได้โดยการใส่กระแสเข้าที่บัส l แล้วคำนวณหาค่าแรงดันที่บัส l เทียบกับบัส q โดยให้ค่ากระแสที่ไหลเข้าบัสเหลือเท่ากับศูนย์ เมื่อพิจารณากับสมการที่(ก.9) จะได้

$$V_k = Z_{kl} I_l \qquad k = 1,2,\ldots,m \qquad (ก.13)$$

$$E_l = Z_{ll} I_l$$

โดยให้ค่า I_l เท่ากับ 1 เปอร์ยูนิตในสมการที่ (ก.13) Z_{ll} สามารถคำนวณได้โดยตรงจากการคำนวณค่า E_l ค่ากระแสในชิ้นส่วน p-l จะเป็นดังนี้คือ $I_{pl} = -I_l = -1$ เนื่องจากชิ้นส่วน p-l

ไม่มีการคับปลิ้ง ดังนั้น $v_{pl} = i_{pl} z_{pl}$ ซึ่งค่า z_{pl} เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของชิ้นส่วน p-l และค่า $z_{pq} = z_{pl}$ ดังนั้นจะได้ผลดังนี้

เนื่องจาก $E_l = V_p - V_q - v_{pl}$

จะได้ $E_l = V_p - V_q - i_{pl} z_{pl}$ โดยที่ $V_q = Z_{ql} I_l$, $V_p = Z_{pl} I_l$ และ $E_l = Z_{ll} I_l$

จะสรุปได้ว่า $Z_{ll} I_l = Z_{pl} I_l - Z_{ql} I_l - i_{pl} z_{pl}$ โดยที่ $I_q = -i_{pq} = 1$ และ $z_{pq} = z_{pl}$

แล้วจะได้ว่า

$$Z_{ll} = Z_{pl} - Z_{ql} + z_{pq} \qquad (ก.14)$$

แต่ถ้า p เป็นโหนดอ้างอิง ก็จะได้

$$Z_{pi} = 0 \qquad i = 1,2,\ldots,m \qquad i \neq q$$

$$Z_{li} = -Z_{qi} \qquad i = 1,2,\ldots,m \qquad i \neq q$$

ดังนั้น $Z_{pl} = 0$ ก็จะได้

$$Z_{ll} = -Z_{ql} + z_{pq} \qquad (ก.15)$$

เนื่องจากโหนด l เป็นโหนดปลอมที่สร้างขึ้นเพื่อการคำนวณผลของการเพิ่ม link เมื่อคำนวณเสร็จก็จะทำการกำจัดโหนด l โดยการกำจัดสมาชิกในแถวและหลักที่ l ออกจากบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน E_l จากสมการที่ (ก.9) จะได้ว่า

$$V_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} + Z_{il} I_l \qquad (ก.16)$$

และ

$$E_l = Z_{lj} I_{BUS} + Z_{ll} I_l \qquad (ก.17)$$

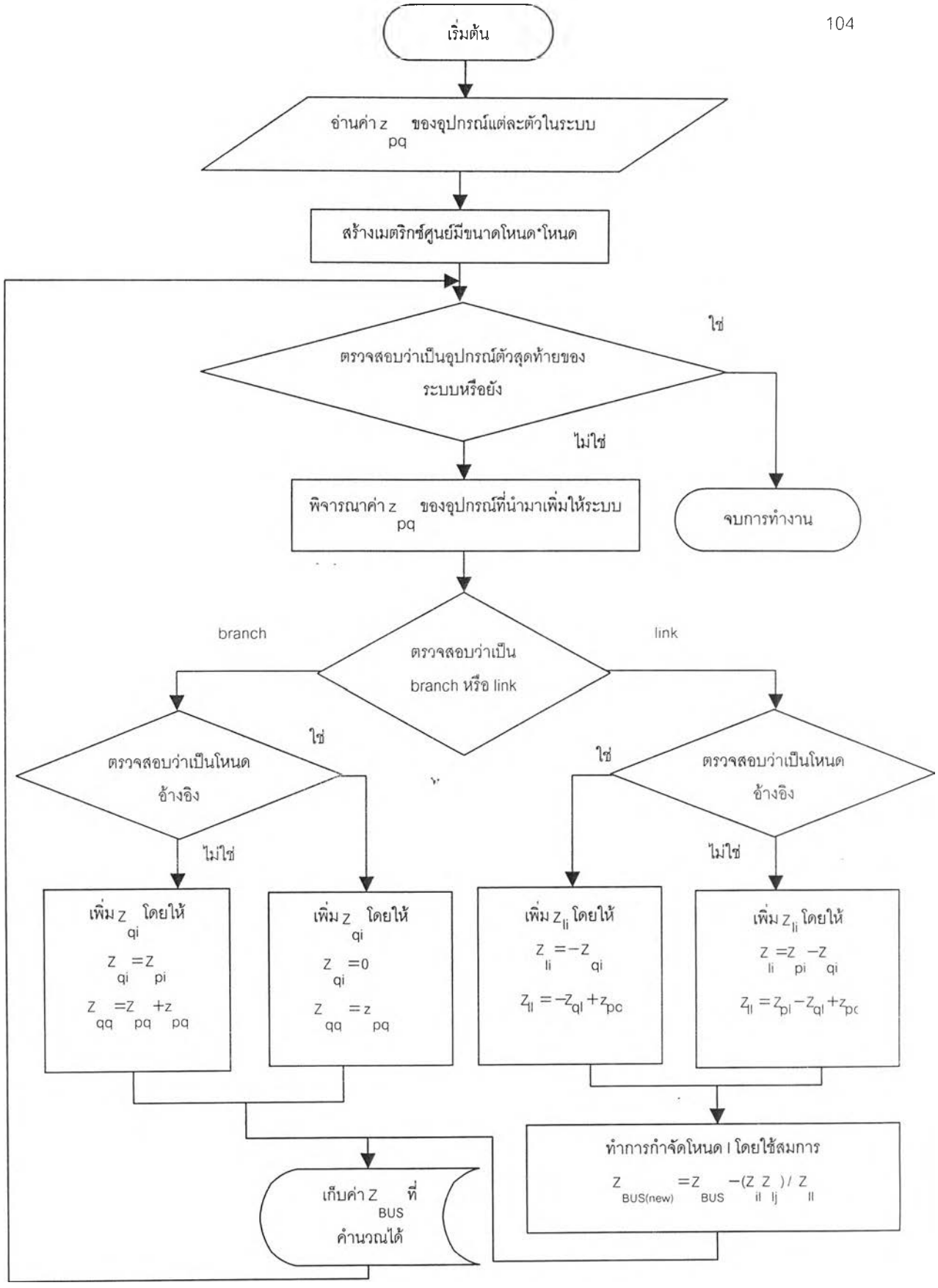
โดยที่ $i,j = 1,2,\ldots,m$ แก้สมการที่ (ก.17) เพื่อหา I_l แล้วนำไปแทนค่าในสมการที่ (ก.16) จะได้

$$V_{BUS} = \left(Z_{BUS} - \frac{\bar{Z}_{il} \bar{Z}_{lj}}{Z_{ll}} \right) \cdot I_{BUS} \qquad (ก.18)$$

ดังนั้นค่าบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์หลังจากการกำจัดโหนด i จะได้ดังนี้คือ

$$Z_{BUS(modified)} = Z_{BUS} - \frac{\overline{Z}_{ii}\overline{Z}_{ij}}{Z_{ii}} \qquad (ก.19)$$

จากกระบวนการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดสามารถเขียนเป็นแผนผังแสดงการคำนวณได้ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 แผนผังแสดงวิธีการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

ภาคผนวก ข

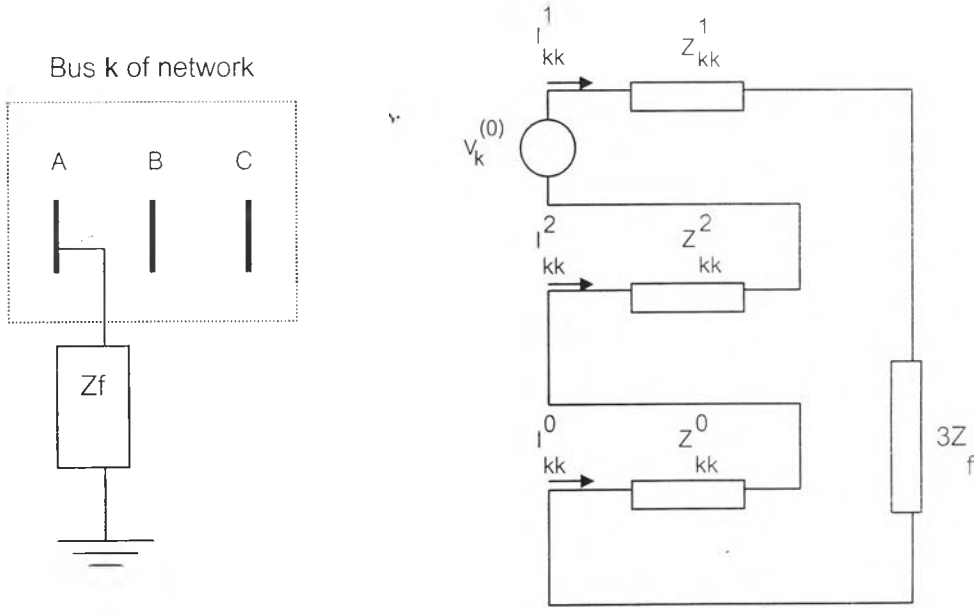
การคำนวณฟอลต์โดยใช้บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

(Fault calculation using bus impedance matrix)

การเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีทั้งแบบสมมาตร(Symmetrical) และแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical) โดยในการคำนวณจะใช้ค่าจากบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ซึ่งการคำนวณสำหรับแบบสมมาตรได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ส่วนวิธีการคำนวณและแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณสำหรับแบบไม่สมมาตรมีรายละเอียดดังนี้ [10]

1.ฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (Single line to ground fault)

พิจารณาการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส A และพื้นดินผ่านอิมพีแดนซ์ Z_f ที่บัส k ดังแสดงในรูปที่ ข.1(ก) ซึ่งในการคำนวณกรณีฟอลต์เส้นเดียวลงดินนี้จำเป็นต้องใช้ค่าอิมพีแดนซ์ทั้งลำดับบวก (Positive sequence) ลำดับลบ(Negative sequence) และลำดับศูนย์(Zero sequence) มาต่ออนุกรมกันโดยแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงอยู่ในรูปที่ ข.1(ข)



(ก) (ข)

รูปที่ ข.1 (ก) การเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส A และพื้นดินผ่านอิมพีแดนซ์ Z_f ที่บัส k

(ข) แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณกรณีฟอลต์เส้นเดียวลงดิน

และเมื่อเกิดฟอลต์ที่บัส k แล้วจะสามารถหาค่าองค์ประกอบสมมาตร(Symmetrical component) ของกระแสฟอลต์ ได้จากสมการ

$$I_k^0 = I_k^1 = I_k^2 = \frac{V_k^{(0)}}{Z_{kk}^1 + Z_{kk}^2 + Z_{kk}^0 + 3Z_f} \qquad (ข.1)$$

โดยที่ Z_{kk}^1 , Z_{kk}^2 และ Z_{kk}^0 คือค่าที่อยู่ในตำแหน่ง k ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ และ $V_k^{(0)}$ คือแรงดันก่อนเกิดฟอลต์ที่บัส k ซึ่งค่ากระแสฟอลต์ของแต่ละเฟสจะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{bmatrix} I_k^A \\ I_k^B \\ I_k^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_k^0 \\ I_k^1 \\ I_k^2 \end{bmatrix} \qquad (ข.2)$$

และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเครื่องหมายเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$I_k^{ABC} = AI_k^{012} \qquad (ข.3)$$

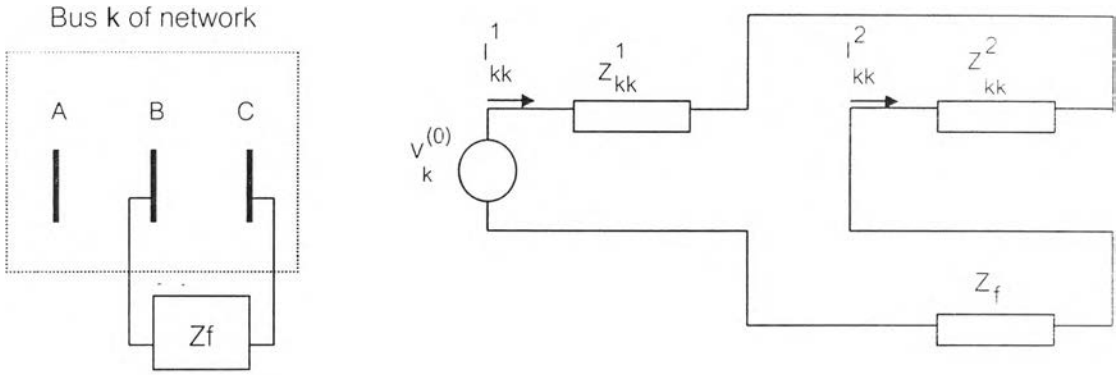
เมื่อ A คือ เมตริกซ์การแปลงองค์ประกอบสมมาตร(Symmetrical components transformation matrix) ซึ่งมีค่าดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \qquad (ข.4)$$

โดยที่ a คือตัวดำเนินการ(Operator) มีค่าเท่ากับ $1\angle 120^\circ$ และ a^2 มีค่าเท่ากับ $1\angle 240^\circ$

2.ฟอลต์สองเส้น (Line to line fault)

พิจารณาการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส B และเฟส C ผ่านอิมพีแดนซ์ Z_f ที่บัส k ดังแสดงในรูปที่ ข.2 (ก) ซึ่งในการคำนวณกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสนี้จะใช้ค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะลำดับบวก และลำดับลบ มาต่อตรงข้ามกันโดยแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงอยู่ในรูปที่ ข.2 (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ ข.2 (ก) การเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส B และเฟส C ผ่านอิมพีแดนซ์ Z_f ที่บัส k
(ข) แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณกรณีฟอลต์สองเส้น

และเมื่อเกิดฟอลต์ที่บัส k แล้วจะสามารถหาค่าองค์ประกอบสมมาตรของกระแสฟอลต์ได้จากสมการ

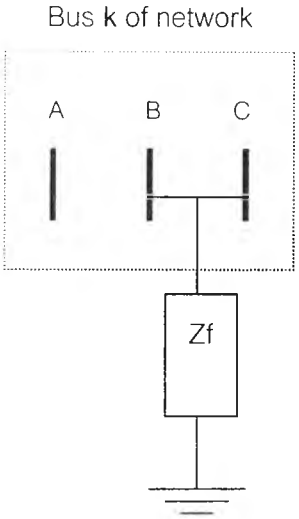
$$I^0_k = 0 \qquad \text{(ข.5)}$$

$$I^1_k = -I^2_k = \frac{V^{(0)}_k}{Z^1_{kk} + Z^2_{kk} + Z_f} \qquad \text{(ข.6)}$$

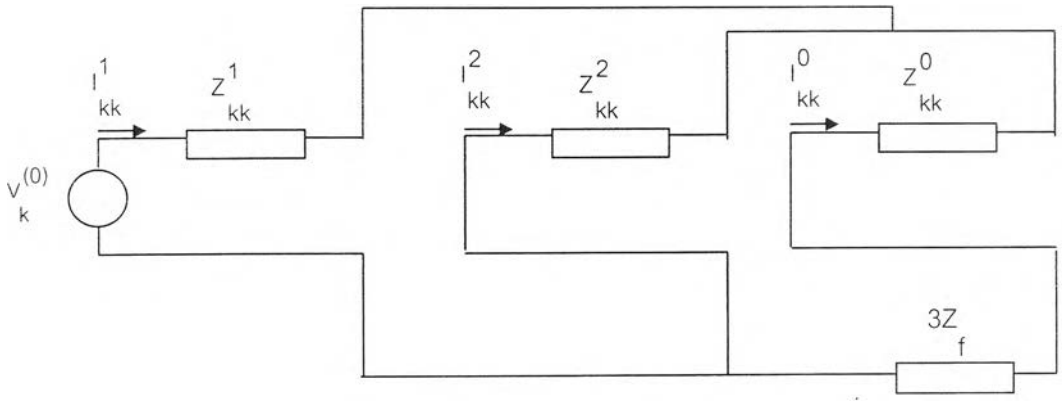
โดยที่ Z^1_{kk} และ Z^2_{kk} คือค่าที่อยู่ในตำแหน่ง k ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ และ $V^{(0)}_k$ คือแรงดันก่อนเกิดฟอลต์ที่บัส k ซึ่งค่ากระแสฟอลต์ของแต่ละเฟสจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (ข.2) เช่นเดียวกันกับกรณีฟอลต์เส้นเดียวลงดิน

3.**ฟอลต์ลงดินสองเส้น** (Double line to ground fault)

พิจารณาการเกิดฟอลต์ลงดินสองเส้น ที่เฟส B และเฟส C ผ่านอิมพีแดนซ์ Z_f ลงดินที่บัส k ดังแสดงในรูปที่ ข.3 (ก) ซึ่งในการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินสองเส้นนี้จะต้องใช้ค่าอิมพีแดนซ์ทั้งลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์ มาต่อขนานกันโดยแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงอยู่ในรูปที่ ข.3 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.3 (ก) การเกิดฟอลต์ลงดินสองเส้น ที่เฟส B และเฟส C ผ่านอิมพีแดนซ์ Z_f ลงดินที่บัส k
(ข) แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณกรณีเกิดฟอลต์สองเส้นลงดิน

และเมื่อเกิดฟอลต์ที่บัส k แล้วจะสามารถหาค่าองค์ประกอบสมมาตรของกระแสฟอลต์ได้จากสมการ

$$I_k^1 = \frac{V_k^{(0)}}{Z_{kk}^1 + \dfrac{Z_{kk}^2 (Z_{kk}^0 + 3Z_f)}{Z_{kk}^2 + Z_{kk}^0 + 3Z_f}} \qquad (ข.7)$$

$$I_k^2 = -\frac{V_k^{(0)} - Z_{kk}^1 I_k^1}{Z_{kk}^2} \qquad (ข.8)$$

$$I_k^0 = -\frac{V_k^{(0)} - Z_{kk}^1 I_k^1}{Z_{kk}^0 + 3Z_f} \qquad (ข.9)$$

โดยที่ Z_{kk}^1, Z_{kk}^2 และ Z_{kk}^0 คือค่าที่อยู่ในตำแหน่ง k ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ และ $V_k^{(0)}$ คือแรงดันก่อนเกิดฟอลต์ที่บัส k ซึ่งค่ากระแสฟอลต์ของแต่ละเฟสจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (ข.2) และกระแสฟอลต์จะหาได้จากสมการ

$$I_k(F) = I_k^B + I_k^C \qquad (ข.10)$$

การคำนวณหาค่าองค์ประกอบสมมาตรของขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส j เนื่องจากการเกิดฟอลต์แบบไม่สมมาตรที่บัส k จะสามารถหาได้จากสมการ

$$V_j^0 = 0 - Z_{jk}^0 I_k^0 \qquad (ข.11)$$

$$V_j^1 = V_j^1(0) - Z_{jk}^1 I_k^1 \qquad (ข.12)$$

$$V_j^2 = 0 - Z_{jk}^2 I_k^2 \qquad (ข.13)$$

เมื่อ $V_j^1(0) = V_j^{(0)}$ คือแรงดันของเฟสก่อนเกิดฟอลต์ที่บัส j ดังนั้นขนาดแรงดันตกชั่วขณะของแต่ละเฟสที่บัส i จะหาได้จากสมการ

$$V_j^{ABC} = AV_j^{012} \qquad \text{(ข.14)}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิติกร เกษพรหม เกิดวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2518 ที่ อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2542 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย