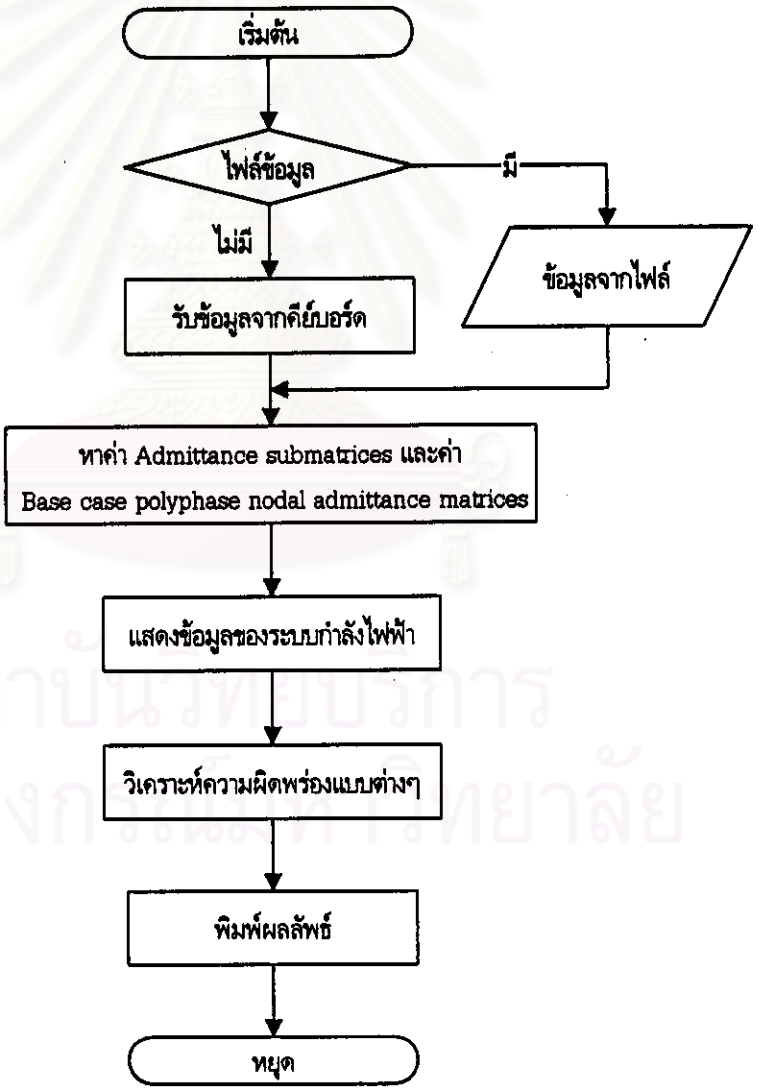
บทที่ 3

โปรแกรมวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรมการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส พร้อมทั้งแสดงแผนภาพ (Flowchart) ประกอบ โดยขั้นตอนหลักของการวิเคราะห์ความผิดพร่องสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแผนภาพตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการวิเคราะห์ความผิดพร่อง

3.1 การรับข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า

ข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดพร่อง จะอ่านจากจอภาพ (monitor) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลเหล่านี้จะมีค่าที่แปลงให้อยู่ในระบบ p.u. เรียบร้อยแล้ว เมื่อโปรแกรมรับข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ความผิดพร่องแล้วเราจะสามารถเก็บข้อมูลเหล่านี้ลงบนแผ่นดิสต์ (Disk) เพื่อไว้ใช้ในการคำนวณต่อไป ขั้นตอนการรับข้อมูลนี้อธิบายได้ในแผนภาพรูปที่ 3.2 สำหรับรายละเอียดข้อมูลที่รับเข้ามามีดังนี้

3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Type คือ ชนิดของอุปกรณ์และหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้นๆ
Bus คือ หมายเลขโหนดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่
Bus_g คือ หมายเลขโหนดนิวทรอลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Z0 คือ อิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Z1 คือ อิมพีแดนซ์ลำดับบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Z2 คือ อิมพีแดนซ์ลำดับลบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Zg คือ กราวนด์อิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Ea คือ แรงดันไฟฟ้าภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เฟส A
Eb คือ แรงดันไฟฟ้าภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เฟส B
Ec คือ แรงดันไฟฟ้าภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เฟส C

3.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่ง

Type คือ ชนิดของอุปกรณ์และหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้นๆ
Bus_1 คือ หมายเลขโหนดประจำสายส่ง
Bus_2 คือ หมายเลขโหนดประจำอีกด้านของสายส่ง
Z0 คือ อิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของสายส่ง
Z1 คือ อิมพีแดนซ์ลำดับบวกของสายส่ง
Z2 คือ อิมพีแดนซ์ลำดับลบของสายส่ง
Shunt-1 คือ แอดมิตแตนซ์ของชั้นท์อิลิเมนต์ เฟส A
Shunt-2 คือ แอดมิตแตนซ์ของชั้นท์อิลิเมนต์ เฟส B

Shunt-3 คือ แอดมิตแตนซ์ของชั้นท์อิลิเมนต์ เฟส C

3.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับหม้อแปลงแบบเดลตา-สตาร์

Type คือ ชนิดของอุปกรณ์และหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้นๆ
Bus_1 คือ หมายเลขโหนดประจำหม้อแปลงด้านเดลตา
Bus_2 คือ หมายเลขโหนดประจำหม้อแปลงด้านสตาร์
Bus_g คือ หมายเลขโหนดนิวทรอลของหม้อแปลงด้านสตาร์
Z คือ อิมพีแดนซ์รั่วของหม้อแปลง
Zg คือ กราวนด์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านสตาร์
Alpha คือ แท็บสมมูลย์ด้านสตาร์
Beta คือ แท็บสมมูลย์ด้านเดลตา

3.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับหม้อแปลงแบบสตาร์-สตาร์

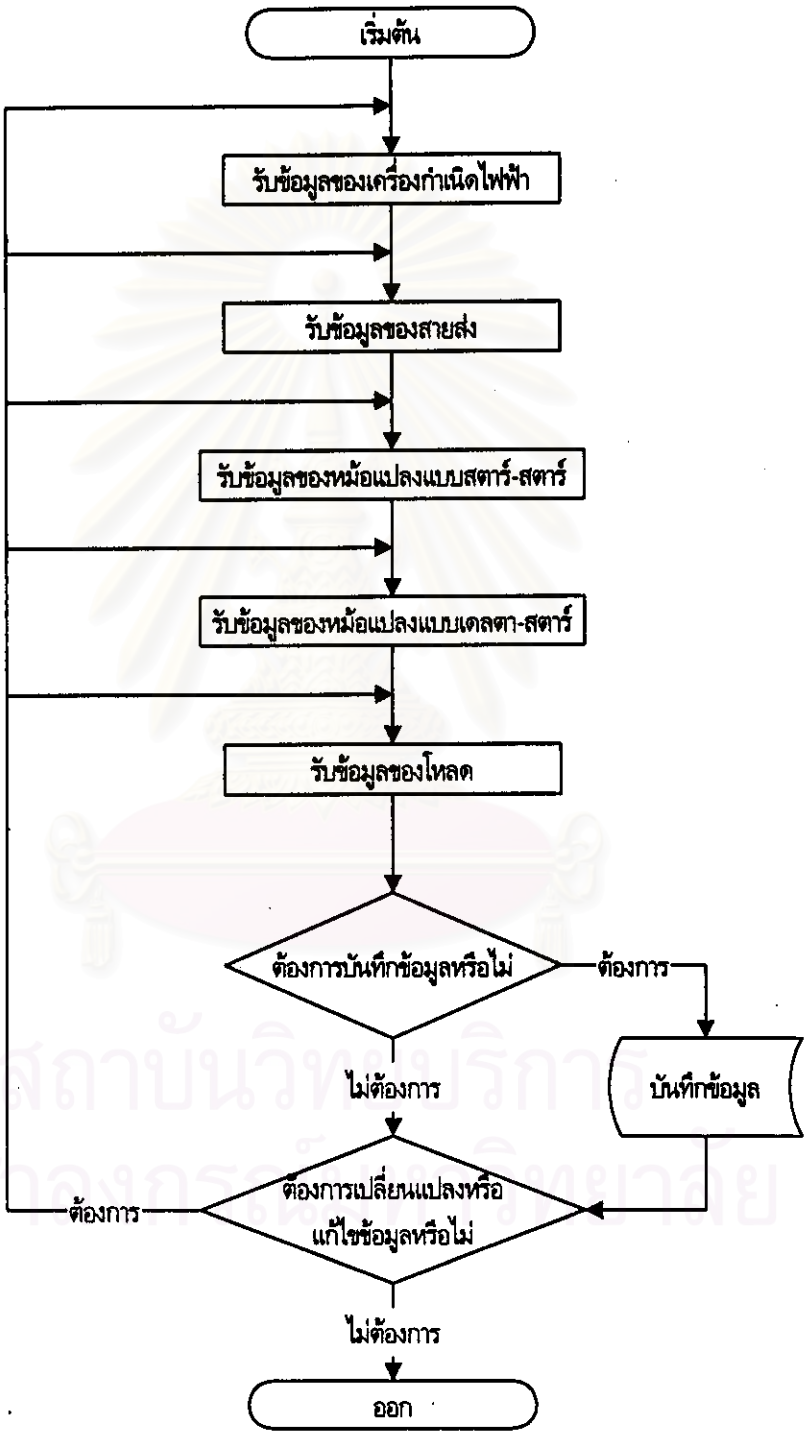
Type คือ ชนิดของอุปกรณ์และหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้นๆ
Bus_1 คือ หมายเลขโหนดประจำหม้อแปลงด้านหนึ่ง
Bus_2 คือ หมายเลขโหนดประจำหม้อแปลงอีกด้านหนึ่ง
Bus_g1 คือ หมายเลขโหนดนิวทรอลของหม้อแปลงด้านหนึ่ง
Bus_g2 คือ หมายเลขโหนดนิวทรอลของหม้อแปลงอีกด้านหนึ่ง
Z คือ อิมพีแดนซ์รั่วของหม้อแปลง
Zg1 คือ กราวนด์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านหนึ่ง
Zg2 คือ กราวนด์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงอีกด้านหนึ่ง
Alpha คือ แท็บสมมูลย์ด้านหนึ่ง
Beta คือ แท็บสมมูลย์อีกด้านหนึ่ง

3.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโหลด

Type คือ ชนิดของอุปกรณ์และหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้นๆ
Bus คือ หมายเลขโหนดที่โหลดต่ออยู่
P_Q คือ ค่ากำลังจริงและกำลังเสมือนของโหลด

V คือ ขนาดแรงดันของบัสบาร์ที่โหลดต่ออยู่

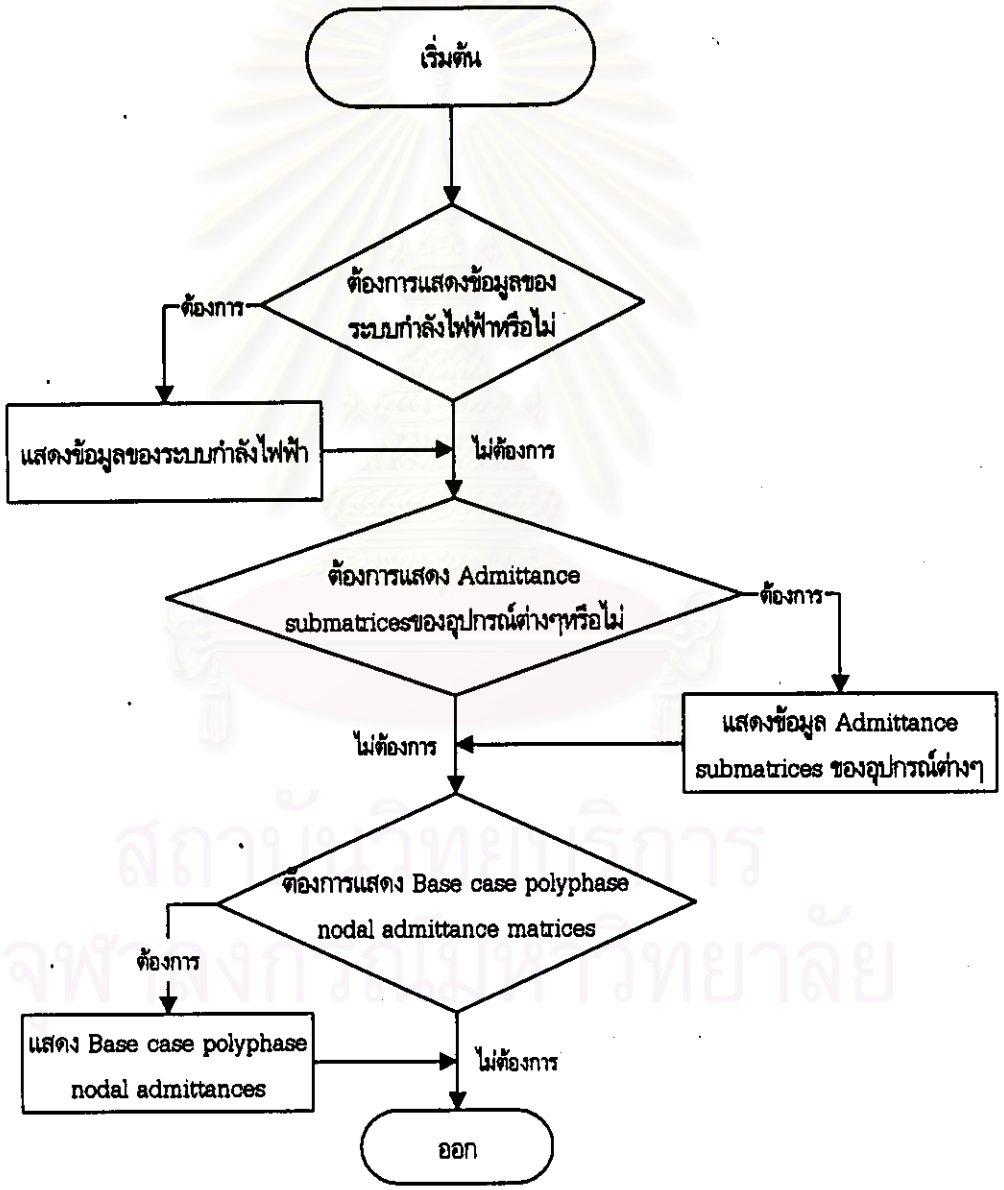
Model type คือ ชนิดของโหลด (1เฟส หรือ 3เฟส)



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการรับข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า

3.2 การแสดงข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า

เมื่อเราได้ใส่ข้อมูลเข้าทางคีย์บอร์ด หรืออ่านข้อมูลไฟล์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะสามารถที่จะให้โปรแกรมแสดงข้อมูลต่างๆ ของอุปกรณ์รวมทั้ง เมตริกซ์ย่อยของแต่ละอุปกรณ์ และ โหนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์พื้นฐานแบบหลายเฟส โดยมีขั้นตอนดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพการแสดงข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความผิดพร่อง

หลังจากคำนวณหาค่าโหนดแอดมิตแตนซ์พื้นฐานแบบหลายเฟสได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการวิเคราะห์ความผิดพร่องแบบต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้น
2. กำหนดชนิดของความผิดพร่องว่าเป็นแบบใดดังต่อไปนี้

    2.1 Single line to ground fault
    2.2 Single line to ground fault through impedance
    2.3 Line to line fault
    2.4 Line to line fault through impedance
    2.5 Double line to ground fault
    2.6 Three phase to ground fault
    2.7 Simultaneous fault

3. กำหนดโหนดที่เกิดความผิดพร่อง
4. หาแรงดันที่ทุกๆ โหนดหลังจากเกิดความผิดพร่อง โดยใช้วิธีเชิงตัวเลข ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในส่วนของภาคผนวก ก
5. หากระแสในสายส่งโดยแยกเป็น 3 กรณี คือ

    5.1 กรณีที่โหนดที่เกิดความผิดพร่อง (p,q,r) ต่อกับโหนดอื่น (i,j,k) ผ่านสายส่ง [4]

$$\begin{bmatrix} I_{i-p} \\ I_{j-q} \\ I_{k-r} \end{bmatrix} = [Y_{TL}] \begin{bmatrix} V_i - V_p \\ V_j - V_q \\ V_k - V_r \end{bmatrix} \qquad (3.1)$$

โดย I_{i-p} คือ กระแสที่ไหลระหว่างโหนด i กับ โหนด p
I_{j-q} คือ กระแสที่ไหลระหว่างโหนด j กับ โหนด q
I_{k-r} คือ กระแสที่ไหลระหว่างโหนด k กับ โหนด r
Y_{TL} คือ แบบจำลองของสายส่งตามสมการที่ (2.22)

5.2 กรณีที่โหนดที่เกิดความผิดพร่อง (p,q,r) ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\begin{bmatrix} I_{GA} \\ I_{GB} \\ I_{GB} \end{bmatrix} = [Y_G] \begin{bmatrix} E_a - V_p \\ E_b - V_q \\ E_c - V_r \end{bmatrix} \qquad (3.2)$$

โดย I_{GA} คือ กระแสที่ไหลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฟส A

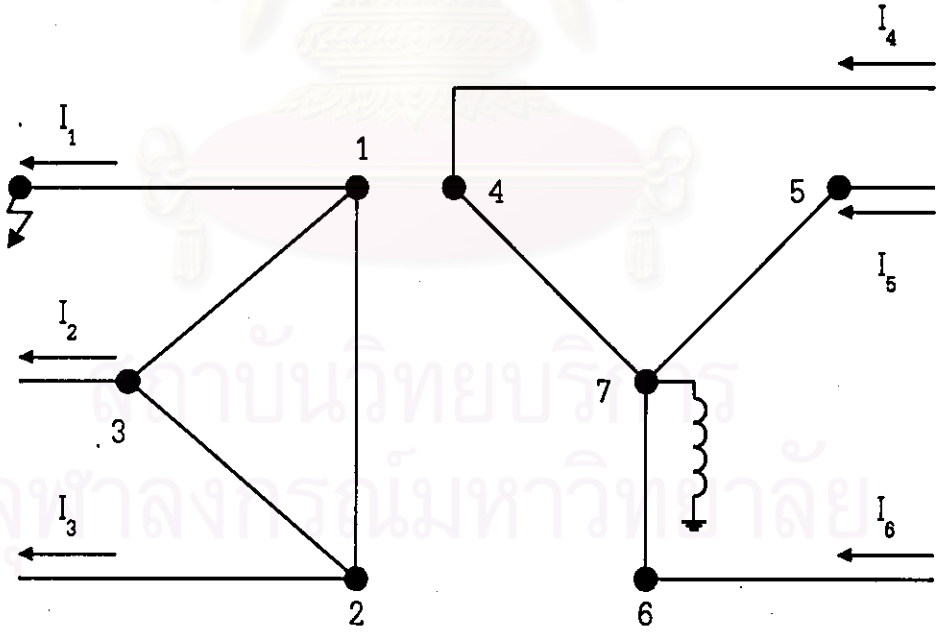
I_{GB} คือ กระแสที่ไหลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฟส B

I_{GA} คือ กระแสที่ไหลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฟส C

Y_G คือ แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามสมการที่ (2.13)

5.3 กรณีที่โหนดที่เกิดความผิดพร่องต่อกับโหนดอื่นผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า [3]

5.3.1 พิจารณาวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-สตาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-สตาร์

เมตริกซ์ย่อยที่แทนหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-สตาร์ คือ

$$Y_{delta-star} = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{2y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & 0 & -\frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & 0 \\ \frac{-y}{\beta^2} & \frac{2y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{y}{\alpha\beta} & 0 & -\frac{y}{\alpha\beta} & 0 \\ \frac{-y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{2y}{\beta^2} & -\frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{y}{\alpha\beta} & -\frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha^2} & 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha^2} \\ -\frac{y}{\alpha\beta} & 0 & \frac{y}{\alpha\beta} & 0 & \frac{y}{\alpha^2} & 0 & \frac{-y}{\alpha^2} \\ \frac{y}{\alpha\beta} & -\frac{y}{\alpha\beta} & 0 & 0 & 0 & \frac{y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} & y_g + \frac{3y}{\alpha^2} \end{bmatrix} \end{array} \quad (3.3)$$

ถ้าสมมติให้เกิดความผิดพร่องที่ฝั่งเดลตาดังแสดง ในรูปที่ 3.4 เราจะสามารถหาผลเฉลยแรงดัน V_2 ถึง V_6 ได้ โดย $V_1 = 0$ ทำให้สามารถหากระแสที่ไหลในหม้อแปลงได้ดังนี้

ด้านเดลตา

$$I_1 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 1}}^{6} Y_{1k}(V_k - V_1) \quad (3.4)$$

$$I_2 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 2}}^{6} Y_{2k}(V_k - V_2) \quad (3.5)$$

$$I_3 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 3}}^{6} Y_{3k}(V_k - V_3) \quad (3.6)$$

ด้านสตาร์

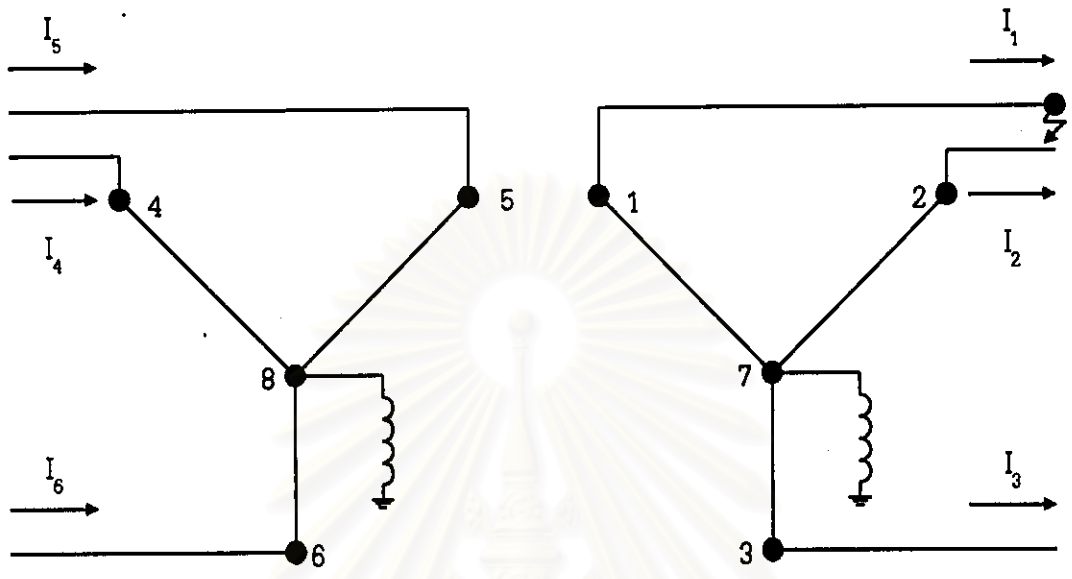
$$I_4 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 4}}^{7} Y_{4k}(V_4 - V_k) \quad (3.7)$$

$$I_5 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 5}}^{7} Y_{5k}(V_5 - V_k) \quad (3.8)$$

$$I_6 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 6}}^{7} Y_{6k}(V_6 - V_k) \quad (3.9)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 พิจารณาวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสตาร์-สตาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสตาร์-สตาร์

เมตริกซ์ย่อยที่แทนหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสตาร์-สตาร์ คือ

$$Y_{star-star} = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{y}{\alpha^2} & 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha\beta} & 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{y}{\alpha\beta} \\ 0 & \frac{y}{\alpha^2} & 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha\beta} & 0 & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{y}{\alpha\beta} \\ 0 & 0 & \frac{y}{\alpha^2} & 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{y}{\alpha\beta} \\ \frac{-y}{\alpha\beta} & 0 & 0 & \frac{y}{\beta^2} & 0 & 0 & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\beta^2} \\ 0 & \frac{-y}{\alpha\beta} & 0 & 0 & \frac{y}{\beta^2} & 0 & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\beta^2} \\ 0 & 0 & \frac{-y}{\alpha\beta} & 0 & 0 & \frac{y}{\beta^2} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\beta^2} \\ \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & y_{g1}+\frac{3y}{\alpha^2} & \frac{-3y}{\beta^2} \\ \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{-3y}{\beta^2} & y_{g2}+\frac{3y}{\beta^2} \end{bmatrix} \end{array} \quad (3.10)$$

ถ้าสมมติให้เกิดความผิดพร่องที่ฝั่งสตาร์ด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เราจะสามารถหาผลเฉลยแรงดัน V_2 ถึง V_6 ได้ โดย $V_1 = 0$ ทำให้สามารถหากระแสที่ไหลในหม้อแปลงได้ดังนี้

ด้านสตาร์

$$I_1 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 1}}^{8} Y_{1k}(V_k - V_1) \tag{3.11}$$

$$I_2 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 2}}^{8} Y_{2k}(V_k - V_2) \tag{3.12}$$

$$I_3 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 3}}^{8} Y_{3k}(V_k - V_3) \tag{3.13}$$

ด้านสตาร์อีกด้านหนึ่ง

$$I_4 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 4}}^{8} Y_{4k}(V_4 - V_k) \tag{3.14}$$

$$I_5 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 5}}^{8} Y_{5k}(V_5 - V_k) \tag{3.15}$$

$$I_6 = -\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq 6}}^{8} Y_{6k}(V_6 - V_k) \tag{3.16}$$

6. หาค่ากระแสผิดพร่องชนิดต่างๆ ตามสมการที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.9.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดิน

Bus number คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่อง

6.2 ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินโดยผ่านอิมพีแดนซ์

Bus number คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่อง

Zf Real คือ ส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดิน

Zf Imaginary คือ ส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดิน

6.3 ความผิดพร่องชนิดสองสาย

Bus number (i) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่อง

Bus number (j) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องอีกโหนดหนึ่ง

6.4 ความผิดพร่องชนิดสองสายโดยผ่านอิมพีแดนซ์

Bus number (i) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่อง

Bus number (j) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องอีกโหนดหนึ่ง

Zf Real คือ ส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ระหว่างความผิดพร่องของโหนด i กับ โหนด j

Zf Imaginary คือ ส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ระหว่างความผิดพร่องของโหนด i กับ j

6.5 ความผิดพร่องชนิดสองสายลงดิน

Bus number (i) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องลงดิน

Bus number (j) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องลงดินอีกโหนดหนึ่ง

6.6 ความผิดพร่องชนิดสามสายลงดิน

Bus number (i) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องลงดิน

Bus number (j) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องลงดินอีกโหนดหนึ่ง

Bus number (k) คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องลงดินอีกโหนดหนึ่ง

6.7 ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินกับการเปิดวงจรของสายส่ง

open at node คือ โหนดที่เกิดความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดิน

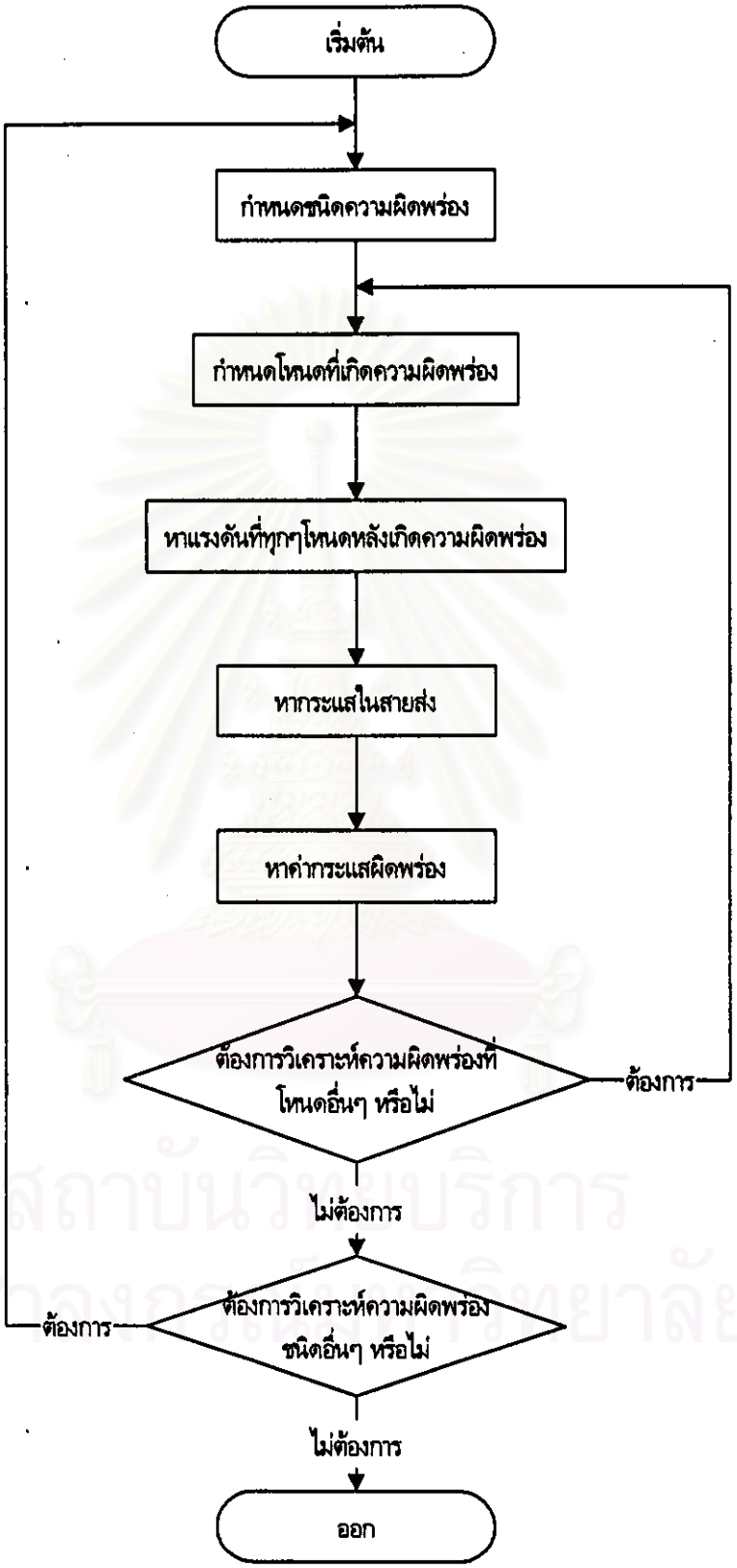
open side คือ หมายเลขแรกของบัสด้านที่ต่ออยู่กับบัสที่เกิดความผิดพร่อง

7. ถ้าต้องการวิเคราะห์ความผิดพร่องที่โหนดอื่น ให้ย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2.

8. ถ้าต้องการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดอื่น ให้ย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 3.

9. ออก

ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดต่างๆ