รายการอ้างอิง

1. Iwamoto, S. , and Tamura ,Y. A fast load flow method retaining nonlinearity. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-97 (September/October 1978) :1586-1599.

2. Stagg, G.W., and El-Abiad, A.H. Computer Methods in Power System Analysis. New York: McGraw-Hill Book Company , 1968.

3. Stevenson,W.D.,Jr. Elements of Power System Analysis. New York : McGraw-Hill Book Company , 1962.

4. หลักฐาน ทองนพคุณ . การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530.

5. El-Arini , M.M.M. Decoupled power flow solution method for well-conditioned and ill-conditioned power systems. IEE Proceedings-c 140 (January 1993) : 7-10.

6. Iwamoto , S. , and Tamura , Y. A load flow calculation method for ill-conditioned power systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-100 (April 1981) : 1736-1743.

7. Tripathy, S.C., Durga Prasad, G., Malik, O.P., and Hope, G.S. Load-flow solutions for ill-conditioned power systems by a Newton-Like method . IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-101 (October 1932) : 3648-3657.

8. Nagendra Rao, P.S., Prakasa Rao, K.S., and Nanda, J. An exact fast load flow method including second order terms in rectangular coordinates.IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-101 (September 1982) : 3261-3268.

9. El-Hawary, M.E., and Wellon, O.K. The alpha-modified quasi-second order Newton-Raphson method for load flow solutions in rectangular form.IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-101 (April 1982) : 854-866.

10. Sachdev, M.S., and Medicherla, T.K.P. A second order load flow technique. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-96 (January./February 1977) : 189-197.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อิลิมิเนชั่น

สำหรับการแก้ระบบสมการของปัญหาทางโหลดโฟลว์ เนื่องจากสมการที่แสดงความคลาดเคลื่อนของปริมาณทางไฟฟ้าที่บัส ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta |V|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \quad J \quad \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \qquad \text{(ก.1)}$$

ระบบสมการที่ (ก.1) เป็นสมการเชิงเส้น การแก้สมการด้วยวิธีอินเวอร์สจาโคเบียนเมตริกซ์ $[J]$ จะมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและเสียเวลามาก โดยเฉพาะเมื่อจาโคเบียนเมตริกซ์ $[J]$ มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณโหลดโฟลว์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยเน้นเวลาที่ใช้คำนวณให้น้อยลงแล้ว จึงเลือกใช้วิธีเกาส์อิลิมิเนชั่น (Gauss elimination method) โดยมีหลักการ คือ ปรับปรุงจาโคเบียนเมตริกซ์ให้เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมบน (Upper triangular matrix) หรือ เมตริกซ์สามเหลี่ยมล่าง (Lower triangular matrix) พร้อมกับ $[\Delta e \quad \Delta f]^T$ ไปในลักษณะเดียวกัน จากนั้นจะคำนวณหาค่าตัวแปรไม่ทราบค่าจากสมการที่เหลืออยู่เพียงตัวแปรเดียวก่อน แล้วในลำดับถัดไปจะสามารถคำนวณหาค่าตัวแปรไม่ทราบค่าจากสมการถัดไปที่มี 2 ตัวแปร โดยที่ตัวแปรหนึ่งในสองนั้นหาได้จากสมการแรก ทำให้สามารถคำนวณหาค่าตัวแปรไม่ทราบค่าที่เหลือได้ เมื่อทราบค่า 2 ตัวแปรแล้ว ในลำดับถัดไปจะสามารถคำนวณหาค่าตัวแปรไม่ทราบค่าจากสมการถัดไปที่มี 3 ตัวแปรได้ โดยที่มี 2 ตัวแปรที่ทราบค่าแล้วจากสมการก่อนหน้านี้ ทำให้หาค่าตัวแปรที่ 3 ได้ เช่นนี้เรื่อยไป

พิจารณาตัวอย่างการแก้ระบบสมการพีชคณิตเชิงเส้นที่ประกอบด้วย 4 สมการ 4 ตัวแปร ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 &= y_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 &= y_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 &= y_3 \\ a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 &= y_4 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.2)}$$

สมการที่ (ก.2) เขียนในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

หรือ

$$Y = AX \qquad \text{(ก.3)}$$

จะเห็นได้ว่า สมการที่ (ก.3) เทียบเท่ากับสมการที่ (ก.1) ดังนี้

เมตริกซ์ Y แทน $\left[\Delta P \quad \Delta Q \quad \Delta|V|^2\right]^T$

เมตริกซ์ A แทน $[J]$

เมตริกซ์ X แทน $\left[\Delta e \quad \Delta f\right]^T$

T คือ ทรานสโพสเมตริกซ์

ดังนั้น จึงอาศัยสมการที่ (ก.2) ในการแสดงขั้นตอนการแก้ระบบสมการพีชคณิตเชิงเส้น โดยวิธีเกาส์อิลิมิเนชั่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำจัดตัวแปร x_1 ของสมการย่อยที่ 2 , 3 และ 4 ในสมการที่ (ก.2)

1.1 จากสมการย่อยที่ 1 ของสมการที่ (ก.2) เมื่อ $a_{11} \neq 0$ นำ a_{11} หารตลอดสมการย่อยที่ 1 จะได้ว่า

$$x_1 + \frac{a_{12}}{a_{11}}x_2 + \frac{a_{13}}{a_{11}}x_3 + \frac{a_{14}}{a_{11}}x_4 = \frac{y_1}{a_{11}}$$

กำหนดให้

$$b_{12} = \frac{a_{12}}{a_{11}}$$

$$b_{13} = \frac{a_{13}}{a_{11}}$$

$$b_{14} = \frac{a_{14}}{a_{11}}$$

$$g_1 = \frac{y_1}{a_{11}}$$

ดังนั้น สมการที่ (ก.2) เขียนใหม่ ได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 &= y_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 &= y_3 \\ a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 &= y_4 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.4)}$$

1.2 กำจัดตัวแปร x_1 ของสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่ (ก.4) โดยการคูณสมการย่อยที่ 1 ในสมการที่(ก.4) ด้วย a_{21} แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่ (ก.4) จะได้ว่า

$$\begin{gathered} (a_{22} - a_{21}b_{12})x_2 + (a_{23} - a_{21}b_{13})x_3 + (a_{24} - a_{21}b_{14})x_4 = y_2 - a_{21}g_1 \\ a_{22}^{(1)}x_2 + a_{23}^{(1)}x_3 + a_{24}^{(1)}x_4 = y_2^{(1)} \end{gathered}$$

1.3 กำจัดตัวแปร x_1 ของสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ (ก.4) โดยการคูณสมการย่อยที่ 1 ในสมการที่(ก.4) ด้วย a_{31} แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ (ก.4) จะได้ว่า

$$\begin{gathered} (a_{32} - a_{31}b_{12})x_2 + (a_{33} - a_{31}b_{13})x_3 + (a_{34} - a_{31}b_{14})x_4 = y_3 - a_{31}g_1 \\ a_{32}^{(1)}x_2 + a_{33}^{(1)}x_3 + a_{34}^{(1)}x_4 = y_3^{(1)} \end{gathered}$$

1.4 กำจัดตัวแปร x_1 ของสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.4) โดยการคูณสมการย่อยที่ 1 ในสมการที่(ก.4) ด้วย a_{41} แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.4) จะได้ว่า

$$\begin{gathered} (a_{42} - a_{41}b_{12})x_2 + (a_{43} - a_{41}b_{13})x_3 + (a_{44} - a_{41}b_{14})x_4 = y_4 - a_{41}g_1 \\ a_{42}^{(1)}x_2 + a_{43}^{(1)}x_3 + a_{44}^{(1)}x_4 = y_4^{(1)} \end{gathered}$$

ท้ายที่สุด จะได้ระบบสมการใหม่ หลังจากกำจัดตัวแปร x_1 ออกจากสมการย่อยที่ 2 , 3 และ 4 ในสมการที่ (ก.4) ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ a_{22}^{(1)}x_2 + a_{23}^{(1)}x_3 + a_{24}^{(1)}x_4 &= y_2^{(1)} \\ a_{32}^{(1)}x_2 + a_{33}^{(1)}x_3 + a_{34}^{(1)}x_4 &= y_3^{(1)} \\ a_{42}^{(1)}x_2 + a_{43}^{(1)}x_3 + a_{44}^{(1)}x_4 &= y_4^{(1)} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.5)}$$

2. กำจัดตัวแปร x_2 ออกจากสมการย่อยที่ 3 และ 4 ของสมการที่ (ก.5) โดยยังคงมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการกำจัดตัวแปร x_1 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 จากสมการย่อยที่ 2 ของสมการที่ (ก.5) เมื่อ $a_{22}^{(1)} \neq 0$ นำ $a_{22}^{(1)}$ หารตลอดสมการย่อยที่ 2 จะได้ว่า

$$x_2 + \frac{a_{23}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}} x_3 + \frac{a_{24}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}} x_4 = \frac{y_2^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

กำหนดให้

$$b_{23} = \frac{a_{23}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

$$b_{24} = \frac{a_{24}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

$$g_2 = \frac{y_2^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

ดังนั้น สมการที่ (ก.5) เขียนใหม่ ได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 &= g_2 \\ a_{32}^{(1)}x_2 + a_{33}^{(1)}x_3 + a_{34}^{(1)}x_4 &= y_3^{(1)} \\ a_{42}^{(1)}x_2 + a_{43}^{(1)}x_3 + a_{44}^{(1)}x_4 &= y_4^{(1)} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.6)}$$

2.2 กำจัดตัวแปร x_2 ของสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ (ก.6) โดยการคูณสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่ (ก.6) ด้วย $a_{32}^{(1)}$ แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ (ก.6) จะได้ว่า

$$\left(a_{33}^{(1)} - a_{32}^{(1)}b_{23}\right)x_3 + \left(a_{34}^{(1)} - a_{32}^{(1)}b_{24}\right)x_4 = y_3^{(1)} - a_{32}^{(1)}g_2$$

$$a_{33}^{(2)}x_3 + a_{34}^{(2)}x_4 = y_3^{(2)}$$

2.3 กำจัดตัวแปร x_2 ของสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.6) โดยการคูณสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่ (ก.6) ด้วย $a_{42}^{(1)}$ แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.6) จะได้ว่า

$$\left(a_{43}^{(1)} - a_{42}^{(1)}b_{23}\right)x_3 + \left(a_{44}^{(1)} - a_{42}^{(1)}b_{24}\right)x_4 = y_4^{(1)} - a_{42}^{(1)}g_2$$

$$a_{43}^{(2)}x_3 + a_{44}^{(2)}x_4 = y_4^{(2)}$$

ท้ายที่สุด จะได้ระบบสมการใหม่ หลังจากกำจัดตัวแปร x_2 ออกจากสมการย่อยที่ 3 และ 4 ในสมการที่ (ก.6) ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 &= g_2 \\ a_{33}^{(2)}x_3 + a_{34}^{(2)}x_4 &= y_3^{(2)} \\ a_{43}^{(2)}x_3 + a_{44}^{(2)}x_4 &= y_4^{(2)} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.7)}$$

3. กำจัดตัวแปร x_3 ออกจากสมการย่อยที่ 4 ของสมการที่ (ก.7) โดยยังคงมีขั้นตอนเช่นเดิม ดังนี้

3.1 จากสมการย่อยที่ 3 ของสมการที่ (ก.7) เมื่อ $a_{33}^{(2)} \neq 0$ นำ $a_{33}^{(2)}$ หารตลอดสมการย่อยที่ 3 จะได้ว่า

$$x_3 + \frac{a_{34}^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}x_4 = \frac{y_3^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}$$

กำหนดให้

$$b_{34} = \frac{a_{34}^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}$$

$$g_3 = \frac{y_3^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}$$

ดังนั้น สมการที่ (ก.7) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 &= g_2 \\ x_3 + b_{34}x_4 &= g_3 \\ a_{43}^{(2)}x_3 + a_{44}^{(2)}x_4 &= y_4^{(2)} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.8)}$$

3.2 กำจัดตัวแปร x_3 ของสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.8) โดยการคูณสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ (ก.8) ด้วย $a_{43}^{(2)}$ แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.8) จะได้ว่า

$$\left(a_{44}^{(2)} - a_{43}^{(2)}b_{34}\right)x_4 = y_4^{(2)} - a_{43}^{(2)}g_3$$

$$a_{44}^{(3)}x_4 = y_4^{(3)}$$

ท้ายที่สุดจะได้ระบบสมการใหม่ หลังจากกำจัดตัวแปร x_3 ออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.8) ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 &= g_2 \\ x_3 + b_{34}x_4 &= g_3 \\ a_{44}^{(3)}x_4 &= y_4^{(3)} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.9)}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เมื่อ $a_{44}^{(3)} \neq 0$ นำ $a_{44}^{(3)}$ หารตลอดสมการย่อยที่ 4 ของสมการที่ (ก.9) จะได้ระบบสมการใหม่ ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + b_{14}x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23}x_3 + b_{24}x_4 &= g_2 \\ x_3 + b_{34}x_4 &= g_3 \\ x_4 &= g_4 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(ก.10)}$$

โดยที่ $g_4 = \dfrac{y_4^{(3)}}{a_{44}^{(3)}}$

ลักษณะของระบบสมการที่ (ก.10) มีเมตริกซ์สัมประสิทธิ์เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมบน ซึ่งสามารถคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่า x_4 , x_3 , x_2 และ x_1 ตามลำดับได้โดยตรง และเป็นเซตคำตอบของสมการที่ (ก.2) นอกจากนี้ การปรับเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ให้เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมล่างก็สามารถกระทำได้ในทำนองเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

1. การแก้สมการพีชคณิตที่ไม่เป็นเชิงเส้นตัวแปรเดียว

พิจารณาสมการพีชคณิตที่ไม่เป็นเชิงเส้นตัวแปรเดียว (Single variable nonlinear algebraic equation) มีรูปทั่วไป ดังนี้

$$f(x) = 0 \qquad \text{(ข.1)}$$

ต้องการแก้สมการ $f(x) = 0$ นั่นคือ การคำนวณหาค่า x ที่ทำให้ $f(x) = 0$ ตามวิธีของนิวตัน-ราฟสัน จะเริ่มต้นสมมติให้ $x^{(0)}$ เป็นคำตอบของสมการ และให้ $\Delta x^{(0)}$ เป็นค่าปรับแต่งของ $x^{(0)}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$f(x^{(0)} + \Delta x^{(0)}) = 0 \qquad \text{(ข.2)}$$

อาศัยการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor 's series expansion) รอบๆจุด $x^{(0)}$ จะได้ว่า

$$f\left(x^{(0)}\right) + \frac{1}{1!}\left(\Delta x^{(0)}\right)\frac{df}{dx}(x^{(0)}) + \frac{1}{2!}\left(\Delta x^{(0)}\right)^2 \frac{d^2 f}{dx^2}\left(x^{(0)}\right) + \ldots = 0 \qquad \text{(ข.3)}$$

เนื่องจาก $\Delta x^{(0)}$ มีค่าน้อย ดังนั้นจึงสามารถละทิ้งได้ตั้งแต่ $(\Delta x^{(0)})^2, (\Delta x^{(0)})^3, \ldots$ ฉะนั้นสมการที่ (ข.3) จะอยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น ดังนี้

$$f\left(x^{(0)}\right) + \left(\Delta x^{(0)}\right)\frac{df}{dx}\left(x^{(0)}\right) \approx 0 \qquad \text{(ข.4)}$$

ทำการแก้สมการที่ (ข.4) เพื่อหา $\Delta x^{(0)}$ ได้ดังนี้

$$\Delta x^{(0)} \approx \frac{0 - f(x^{(0)})}{\frac{df}{dx}(x^{(0)})}$$
$$\approx \frac{\Delta f^{(0)}}{f'(x^{(0)})}$$
$$\approx \left[\frac{1}{f'(x^{(0)})}\right].\Delta f^{(0)} \qquad \text{(ข.5)}$$

กำหนดให้เมตริกซ์ $J^{(0)} = \left[f'(x^{(0)})\right]$ ดังนั้นสมการที่ (ข.5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\Delta x^{(0)} \approx \left[J^{(0)}\right]^{-1}.\Delta f^{(0)}$$

โดยที่ $\left[J^{(0)}\right]^{-1} = \left[\frac{1}{f'(x^{(0)})}\right]$

สำหรับอิทเทอร์เรชันรอบที่ k ใดๆ จะได้ว่า

$$\Delta x^{(k)} \approx \left[J^{(k)}\right]^{-1}.\Delta f^{(k)} \qquad \text{(ข.6)}$$

และจะได้ค่าประมาณของ x ใหม่ ในอิทเทอร์เรชันรอบที่ k+1 ดังนี้

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \qquad \text{(ข.7)}$$

โดยที่ $\Delta x^{(k)}$ คำนวณตามสมการที่ (ข.6)

การคำนวณจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อ $|\Delta x^{(k)}|$ มีค่าไม่เกินค่าความผิดพลาด ε ที่กำหนด ตามสมการที่ (ข.8)

$$|\Delta x^{(k)}| \leq \varepsilon \qquad \text{(ข.8)}$$

เมื่อ $\Delta x^{(k)}$ คือ ค่าปรับแต่งของ x ในอิทเทอร์เรชันรอบที่ k

ε คือ ค่าความผิดพลาดที่กำหนด (Specified tolerance)

และจำนวนรอบที่ใช้คำนวณเพื่อการลู่เข้าของคำตอบต้องไม่เกินจำนวนรอบสูงสุดที่กำหนด นั่นคือ

$$k \leq k_{max} \qquad \text{(ข.9)}$$

เมื่อ k คือ จำนวนรอบที่ใช้คำนวณเพื่อการลู่เข้าของคำตอบ

k_{max} คือ จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดให้คำนวณได้

ดังนั้น เงื่อนไขการลู่เข้าของคำตอบ จะต้องเป็นจริงทั้งสมการที่ (ข.8) และ (ข.9) ตามลำดับ จึงจะถือว่าสามารถหาคำตอบของสมการได้ ถ้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งเป็นเท็จแล้ว จะถือว่าไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจริงได้

2. การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่ไม่เป็นเชิงเส้นหลายตัวแปร

ในการนำวิธีนิวตัน-ราฟสันไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาทางโหลดโฟลว์ เริ่มต้นจากแต่ละบัสมีตัวแปรไม่ทราบค่า 2 ตัวแปร จึงต้องการ 2 สมการ เพื่อใช้ในการหาค่าตัวแปรดังกล่าว ฉะนั้นสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด n บัสใดๆ จะต้องการ $2n$ สมการ ดังนั้นในหัวข้อนี้ จึงขอกล่าวถึงการแก้ระบบสมการพีชคณิตที่ไม่เป็นเชิงเส้นขนาด $2n$ สมการ โดยแต่ละสมการมี $2n$ ตัวแปร โดยมีรูปทั่วไป ดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
&F_1(x_1,x_2,\ldots,x_n,y_1,y_2,\ldots,y_n)=0\\
&F_2(x_1,x_2,\ldots,x_n,y_1,y_2,\ldots,y_n)=0\\
&\quad\vdots\qquad\qquad\qquad\qquad\vdots\\
&F_n(x_1,x_2,\ldots,x_n,y_1,y_2,\ldots,y_n)=0\\
&G_1(x_1,x_2,\ldots,x_n,y_1,y_2,\ldots,y_n)=0\\
&G_2(x_1,x_2,\ldots,x_n,y_1,y_2,\ldots,y_n)=0\\
&\quad\vdots\qquad\qquad\qquad\qquad\vdots\\
&G_n(x_1,x_2,\ldots,x_n,y_1,y_2,\ldots,y_n)=0
\end{aligned}\right\} \qquad \text{(ข.10)}$$

กำหนดให้

$$\bar{x}^{(k)}=\begin{bmatrix}x_1^{(k)}\\x_2^{(k)}\\\vdots\\x_n^{(k)}\end{bmatrix},\quad \bar{y}^{(k)}=\begin{bmatrix}y_1^{(k)}\\y_2^{(k)}\\\vdots\\y_n^{(k)}\end{bmatrix},\quad \bar{F}^{(k)}=\begin{bmatrix}F_1^{(k)}\\F_2^{(k)}\\\vdots\\F_n^{(k)}\end{bmatrix},\quad \bar{G}^{(k)}=\begin{bmatrix}G_1^{(k)}\\G_2^{(k)}\\\vdots\\G_n^{(k)}\end{bmatrix} \qquad \text{(ข.11)}$$

โดยที่

$$\left.\begin{aligned}
F_i^{(k)}&=F_i(\bar{x}^{(k)},\bar{y}^{(k)})=0\\
G_i^{(k)}&=G_i(\bar{x}^{(k)},\bar{y}^{(k)})=0
\end{aligned}\right\} \qquad \text{(ข.12)}$$

และจะนิยามจาโคเบียนเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$\left[\quad J^{(k)} \quad\right] = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]^{(k)} & \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]^{(k)} \\ \left[\frac{\partial G}{\partial x}\right]^{(k)} & \left[\frac{\partial G}{\partial y}\right]^{(k)} \end{bmatrix}_{(2n\times 2n)} = \begin{bmatrix} J_1^{(k)} & J_2^{(k)} \\ J_3^{(k)} & J_4^{(k)} \end{bmatrix}_{(2n\times 2n)} \qquad \text{(ข.13)}$$

โดยที่ สมาชิกในแต่ละจาโคเบียนเมตริกซ์ย่อยซึ่งมีขนาด nxn สำหรับอิทเทอร์เรชันรอบที่ k ใดๆ คำนวณได้ดังนี้

2.1 สำหรับสมาชิกในตำแหน่งที่ (i,j) ใดๆ ของ $[J_1^{(k)}]$ นิยามว่า

$$\left(\frac{\partial F_i}{\partial x_j}\right)^{(k)} = \frac{\partial F_i}{\partial x_j}(\bar{x}^{(k)}, \bar{y}^{(k)}) \qquad \text{(ข.14)}$$

2.2 สำหรับสมาชิกในตำแหน่งที่ (i,j) ใดๆ ของ $[J_2^{(k)}]$ นิยามว่า

$$\left(\frac{\partial F_i}{\partial y_j}\right)^{(k)} = \frac{\partial F_i}{\partial y_j}(\bar{x}^{(k)}, \bar{y}^{(k)}) \qquad \text{(ข.15)}$$

2.3 สำหรับสมาชิกในตำแหน่งที่ (i,j) ใดๆ ของ $[J_3^{(k)}]$ นิยามว่า

$$\left(\frac{\partial G_i}{\partial x_j}\right)^{(k)} = \frac{\partial G_i}{\partial x_j}(\bar{x}^{(k)}, \bar{y}^{(k)}) \qquad \text{(ข.16)}$$

2.4 สำหรับสมาชิกในตำแหน่งที่ (i,j) ใดๆ ของ $[J_4^{(k)}]$ นิยามว่า

$$\left(\frac{\partial G_i}{\partial y_j}\right)^{(k)} = \frac{\partial G_i}{\partial y_j}(\bar{x}^{(k)}, \bar{y}^{(k)}) \qquad \text{(ข.17)}$$

สำหรับค่าปรับแต่งของตัวแปร x และ y คือ Δx และ Δy ตามลำดับ จะอยู่ในรูปของเวกเตอร์ดังนี้

$$\Delta\bar{x}^{(k)} = \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(k)} \\ \Delta x_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad \Delta\bar{y}^{(k)} = \begin{bmatrix} \Delta y_1^{(k)} \\ \Delta y_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta y_n^{(k)} \end{bmatrix} \tag{ข.18}$$

นำสมการที่ (ข.6) มาประยุกต์เสียใหม่ จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \Delta\bar{x} \\ \Delta\bar{y} \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} \\ J^{(k)} \\ \\ \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\bar{F} \\ \Delta\bar{G} \end{bmatrix}^{(k)} \tag{ข.19}$$

ดังนั้น ค่าประมาณของ $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ ใหม่ คือ

$$\left.\begin{aligned} \bar{x}^{(k+1)} &= \bar{x}^{(k)} + \Delta\bar{x}^{(k)} \\ \bar{y}^{(k+1)} &= \bar{y}^{(k)} + \Delta\bar{y}^{(k)} \end{aligned}\right\} \tag{ข.20}$$

สำหรับเงื่อนไขการลู่เข้าของคำตอบ เป็นดังนี้

$$\left.\begin{aligned} |\Delta x_i^{(k)}| &\le \varepsilon_x \\ |\Delta y_i^{(k)}| &\le \varepsilon_y \\ k &\le k_{\max} \end{aligned}\right\} \quad for \quad i = 1,2,\ldots,n \tag{ข.21}$$

โดยทั่วไปจะกำหนดให้ $\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon$ และความหมายของนิพจน์ต่างๆ เป็นดังนี้

$\Delta x_i^{(k)}$ คือ ค่าปรับแต่งของ x_i ในอิทเทอร์เรชันรอบที่ k

$\Delta y_i^{(k)}$ คือ ค่าปรับแต่งของ y_i ในอิทเทอร์เรชันรอบที่ k

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ คือ ค่าความผิดพลาดที่กำหนดทางตัวแปร x และ y ตามลำดับ

k คือ จำนวนรอบที่ใช้คำนวณเพื่อการลู่เข้าของคำตอบ

$k_{\max}$ คือ จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดให้คำนวณได้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันที่รวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สองจากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยการเขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า " BORLAND C++ version 3.1 " บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์รุ่น " Pentium 120 " และประมวลผลบนระบบดอส โปรแกรมดังกล่าวมีชื่อว่า " LOADFLOW.CPP " โดยมีรายละเอียดเป็นภาษาโปรแกรม ดังนี้

```
/* Newton-Raphson using Y-bus in RECTANGULAR FORM */

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <ctype.h>
#include <complex.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#define  N  69  /* Don't more than 35 buses && 50 elements */

float X[N][N],re_z[36][36],im_z[36][36],im_chg[36][36],E[36],angleE[36],P_Gen[36],
      Q_Gen[36],P_Load[36],Q_Load[36],Qmax[36],Qmin[36],ratio[51],shift[51],im_cap[36];
char type[51],sysname[8];
int  p[51],q[51],bus,code[36],nline,ntrans,nelement;

void SOLVE(float A[N][N],float Y[N],int dd);
void error(char *message);
void readline(void);
```

```
void readbus(void);
void saveline(void);
void savebus(void);
void fromline(void);
void frombus(void);
void fromkey(void);
void fromdisk(void);
void calculate(void);
void showline(void);
void showbus(void);
void correct_line(void);
void correct_bus(void);
void menu(void);

void SOLVE(float A[N][N],float Y[N],int dd)
{ int i,j,k;
  float G[N],B[N][N];
  i=1;
  do
  {
   for(j=i;j<=dd;j++)
    B[i][j]=A[i][j]/A[i][i];
   G[i]=Y[i]/A[i][i];
  for(j=i+1;j<=dd;j++)
  {
   for(k=i;k<=dd;k++)
    B[j][k]=A[j][k]-A[j][i]*B[i][k];
   Y[j]=Y[j]-A[j][i]*G[i];
  }
 for(j=1;j<=dd;j++)
  for(k=1;k<=dd;k++)
```

```
   A[j][k]=B[j][k];
  i++;
  } while(i<=dd);
  for(i=1;i<=dd;i++)
   X[i][0]=0.0;
  for(i=dd;i>=1;i--)
  {
   for(j=i+1;j<=dd;j++)
    X[i][0]=X[i][0]-B[i][j]*X[j][0];
   X[i][0]=X[i][0]+G[i];
  }
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void error(char *message)
{
  printf("Error : %s\n", message);
  exit(0);
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void readline()
{
  int i;
  for(i=1;i<=nelement;i++)
  {
   clrscr();
   printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------\n");
   printf(" Element | Type | Bus code | Impedance | Line charging |  Tap  |Phase shifting\n");
   printf("  No.    |      | (p-->q)  |    (p.u.) |      (p.u.)   | ratio |   (degree)\n");
   printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------");
   gotoxy(5,5);
   printf("%d",i);
```

```
    gotoxy(13,5);
    scanf("%s",&type[i]);
    gotoxy(19,5);
    scanf("%d",&p[i]);
    gotoxy(21,5);
    printf("-->");
    scanf("%d",&q[i]);
    gotoxy(28,5);
    scanf("%f",&re_z[p[i]][q[i]]);
    gotoxy(33,5);
    printf("+j*");
    scanf("%f",&im_z[p[i]][q[i]]);
    gotoxy(47,5);
    printf("j*");
    scanf("%f",&im_chg[p[i]][q[i]]);
    if(type[i]=='t')
    { gotoxy(58,5);
      scanf("%f",&ratio[i]);
      gotoxy(71,5);
      scanf("%f",&shift[i]);
    }
   }
   printf("-----------------------------------------------------------------------------------------\n");
   saveline();
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------
void readbus()
{
 int i;
 for(i=1;i<=bus;i++)
 {
```

```
clrscr();
printf("*** System MVA Base : 100\n");
printf("*** Specified code for bus types ***\n");
printf("    PQ bus = 0          PV bus = 1          Slack bus = 2\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------");
printf("Bus Bus   Volt   Angle    Generation      Load      Gen. Q limit(MVar) p.u.Shunt\n");
printf("No. type (p.u.) (degree)  MW    MVar  MW    MVar   Qmax   Qmin  Susceptance");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------");
gotoxy(2,8);
printf("%d",i);
gotoxy(6,8);
scanf("%d",&code[i]);
gotoxy(10,8);
scanf("%f",&E[i]);
gotoxy(18,8);
scanf("%f",&angleE[i]);
if(code[i]!=2)
{ gotoxy(26,8);
  scanf("%f",&P_Gen[i]);
  if(code[i]==0)
  {
    gotoxy(33,8);
    scanf("%f",&Q_Gen[i]);
   }
}
gotoxy(39,8);
scanf("%f",&P_Load[i]);
gotoxy(46,8);
scanf("%f",&Q_Load[i]);
if(code[i]==1)
{
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      gotoxy(53,8);
      scanf("%f",&Qmax[i]);
      gotoxy(62,8);
      scanf("%f",&Qmin[i]);
    }
    gotoxy(72,8);
    printf("j*");
    scanf("%f",&im_cap[i]);
  }
  printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------");
  savebus();
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void saveline()
{
  FILE *fp;
  char temp[8];
  int i;
  strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".lin");
  fp= fopen (temp, "wb");
  if (fp == 0) error("Write Error in file name");
  {
   fwrite(&nline,sizeof(int),1,fp);
   fwrite(&ntrans,sizeof(int),1,fp);
   fwrite(&nelement,sizeof(int),1,fp);
   for(i=1;i<=nelement;i++)
   {
     fwrite(&type[i],sizeof(char),1,fp);
     fwrite(&p[i],sizeof(int),1,fp);
     fwrite(&q[i],sizeof(int),1,fp);
     fwrite(&re_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
```

```
    fwrite(&im_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&im_chg[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&ratio[i],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&shift[i],sizeof(float),1,fp);
   }
  }
  fclose(fp);
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
void fromline()
{
 FILE *fp;
 char temp[8];
 int i;
 strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".lin");
 fp= fopen (temp, "rb");
 if (fp == 0) error("Write Error in file name");
 {
  fread(&nline,sizeof(int),1,fp);
  fread(&ntrans,sizeof(int),1,fp);
  fread(&nelement,sizeof(int),1,fp);
  for(i=1;i<=nelement;i++)
  {
   fread(&type[i],sizeof(char),1,fp);
   fread(&p[i],sizeof(int),1,fp);
   fread(&q[i],sizeof(int),1,fp);
   fread(&re_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
   fread(&im_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
   fread(&im_chg[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
   fread(&ratio[i],sizeof(float),1,fp);
   fread(&shift[i],sizeof(float),1,fp);
```

```
    }
  }
  fclose(fp);
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
void savebus()
{
  FILE *fp;
  char temp[8];
  int i;
  strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".bus");
  fp= fopen (temp, "wb");
  if (fp == 0) error("Write Error in file name");
  {
    fwrite(&bus,sizeof(int),1,fp);
    for(i=1;i<=bus;i++)
     {
      fwrite(&code[i],sizeof(int),1,fp);
      fwrite(&E[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&angleE[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&P_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&Q_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&P_Load[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&Q_Load[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&Qmax[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&Qmin[i],sizeof(float),1,fp);
      fwrite(&im_cap[i],sizeof(float),1,fp);
     }
  }
  fclose(fp);
}
```

```
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
void frombus()
{
  FILE *fp;
  char temp[8];
  int i;
  strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".bus");
  fp= fopen (temp, "rb");
  if (fp == 0) error("Write Error in file name");
  {
    fread(&bus,sizeof(int),1,fp);
    for(i=1;i<=bus;i++)
     {
      fread(&code[i],sizeof(int),1,fp);
      fread(&E[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&angleE[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&P_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&Q_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&P_Load[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&Q_Load[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&Qmax[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&Qmin[i],sizeof(float),1,fp);
      fread(&im_cap[i],sizeof(float),1,fp);
    }
  }
  fclose(fp);
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
void fromkey()
{
 clrscr();
```

```
 printf("Number of lines = ");
 scanf("%d",&nline);
 printf("Number of transformers = ");
 scanf("%d",&ntrans);
 printf("Number of lines+transformers = ");
 scanf("%d",&nelement);
 printf("Number of buses = ");
 scanf("%d",&bus);
 readline();
 readbus();
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void fromdisk()
{
  fromline();
  frombus();
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void correct_line()
{
  int i,ok=0;
  char ch,choice;
  do
  { clrscr();
    printf("*** Correct Line and Transformer Data ***\n\n");
    printf("Do you want to correct data?(y or n): ");
    scanf("%s",&ch);
    ch=tolower(ch);
    if(ch=='y')
    { printf("Enter element NO. which you want to correct : ");
      scanf("%d",&i);
```

```
printf("**** Correction Menu ***\n");
printf("    [1] Element type\n");
printf("    [2] Bus code (p)\n");
printf("    [3] Bus code (q)\n");
printf("    [4] Line impedance\n");
printf("    [5] Line charging\n");
printf("    [6] Tap ratio\n");
printf("    [7] Phase shifting\n\n");
printf("**** Select choice : ");
scanf("%s",&choice);
switch(choice)
{ case '1' : { printf("Enter new element type : ");
               type[i]=getche();
               getch();
             } break;
  case '2' : { printf("Enter new bus code (p) : ");
               scanf("%d",&p[i]);
             } break;
  case '3' : { printf("Enter new bus code (q) : ");
               scanf("%d",&q[i]);
             } break;
  case '4' : { printf("Enter new line impedance : ");
               scanf("%f",&re_z[p[i]][q[i]]);
               gotoxy(34,15);
               printf("+j*");
               scanf("%f",&im_z[p[i]][q[i]]);
             } break;
  case '5' : { printf("Enter new line charging : j*");
               scanf("%f",&im_chg[p[i]][q[i]]);
             } break;
  case '6' : { printf("Enter new tap ratio : ");
```

```
                scanf("%f",&ratio[i]);
              } break;
      case '7': { printf("Enter new phase shifting (degree) : ");
                scanf("%f",&shift[i]);
              } break;
    }
    saveline();
  } else ok=1;
 } while(ok==0);
}//correct_line()
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
void correct_bus()
{
  int i,ok=0;
  char ch,choice;
  do
  { clrscr();
    printf("*** Correct Bus Data ***\n\n");
    printf("Do you want to correct data?(y or n) : ");
    scanf("%s",&ch);
    ch=tolower(ch);
    if(ch=='y')
    { printf("Enter BUS NO. which you want to correct : ");
      scanf("%d",&i);
      printf("*** Correction Menu ***\n");
      printf("    [1] Bus type\n");
      printf("    [2] Per unit voltage magnitude\n");
      printf("    [3] Voltage angle in degree\n");
      printf("    [4] MW Generation\n");
      printf("    [5] MVar Generation\n");
      printf("    [6] MW Load\n");
```

```
printf("    [7] MVar Load\n");
printf("    [8] Generator Q. limit(MVar)\n");
printf("    [9] p.u. Shunt Susceptance\n\n");
printf("*** Select choice : ");
scanf("%s",&choice);
switch(choice)
{ case '1' :{ printf("PQ bus=0   PV bus=1   Slack bus=2\n");
              printf("Enter new bus type : ");
              scanf("%d",&code[i]);
             } break;
  case '2' : { printf("Enter new voltage magnitude in p.u. : ");
               scanf("%f",&E[i]);
              } break;
  case '3' : { printf("Enter new voltage angle in degree : ");
               scanf("%f",&angleE[i]);
              } break;
  case '4' : { printf("Enter new MW Generation : ");
               scanf("%f",&P_Gen[i]);
              } break;
  case '5' : { printf("Enter new MVar Generation : ");
               scanf("%f",&Q_Gen[i]);
              } break;
  case '6' : { printf("Enter new MW Load : ");
               scanf("%f",&P_Load[i]);
              } break;
  case '7' : { printf("Enter new MVar Load : ');
               scanf("%f",&Q_Load[i]);
             } break;
  case '8' : { printf("Enter new Generator Q. limit(MVar) :\n");
               printf("Qmax = ");
               scanf("%f",&Qmax[i]);
```

```
                printf("Qmin = ");
                scanf("%f",&Qmin[i]);
               } break;
      case '9' : { printf("Enter new p.u. Shunt Susceptance : j*");
                scanf("%f",&im_cap[i]);
               } break;
    }
    savebus();
  } else ok=1;
 } while(ok==0);
}//correct_bus()
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void showline()
{
  int i,j;
  fromline();
  clrscr();
  printf("\n                    Line and Transformer Data \n\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf(" ElementlTypelBus codel   Impedance   l Line charging l  Tap  l Phase shifting\n");
  printf("   No.  l     l (p-->q) l      (p.u.)     l      (p.u.)      l ratio l   (degree)\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------");
  for(i=1;i<=nelement;i++)
  { j=i%10;
    gotoxy(4,(7+j));
    printf("%2d",i);
    gotoxy(11,(7+j));
    printf("%c",toupper(type[i]));
    gotoxy(15,(7+j));
    printf("%2d",p[i]);
    gotoxy(17,(7+j));
```

```
    printf("-->");
    printf("%2d",q[i]);
    gotoxy(23,(7+j));
    printf("%6.3f",re_z[p[i]][q[i]]);
    gotoxy(29,(7+j));
    printf("+j*");
    printf("(%6.3f)",im_z[p[i]][q[i]]);
    gotoxy(43,(7+j));
    printf("j*");
    printf("(%6.4f)",im_chg[p[i]][q[i]]);
    if(type[i]=='t')
    {
      gotoxy(57,(7+j));
      printf("%5.3f",ratio[i]);
      gotoxy(69,(7+j));
      printf("%5.3f",shift[i]);
     }
    printf("\n");
    if(j==9)
    { printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
      printf(" Press any key !");
      getch();
      clrscr();
      printf("                    Line and Transformer Data \n\n");
      printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
      printf(" Element|Type|Bus code| Impedance  | Line charging |  Tap  | Phase shifting\n");
      printf("    No.  |     | (p-->q)  |     (p.u.)   |     (p.u.)      | ratio |   (degree)\n");
      printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------");
   }
}
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
```

```
   printf(" Press any key !");
   getch();
}
//-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
void showbus()
{
  int i,j;
  frombus();
  clrscr();
  printf("\n\n                                Bus Data \n\n");
  printf("*** System MVA Base : 100\n");
  printf("*** Specified code for bus types ***\n");
  printf("    PQ bus = 0          PV bus = 1          Slack bus = 2\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------");
  printf("Bus Bus   Volt   Angle    Generation     Load     Gen. Q limit(MVar) p.u.Shunt\n");
  printf("No. type (p.u.) (degree)  MW    MVar  MW   MVar   Qmax   Qmin   Susceptance");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------");
  for(i=1;i<=bus;i++)
  { j=i%10;
    gotoxy(1,11+j);
    printf("%2d",i);
    gotoxy(6,11+j);
    printf("%d",code[i]);
    gotoxy(10,11+j);
    printf("%5.3f",E[i]);
    gotoxy(18,11+j);
    printf("%5.2f",angleE[i]);
    if(code[i]!=2)
    { gotoxy(25,11+j);
      printf("%6.2f",P_Gen[i]);
      if(code[i]==0)
```

```
    { gotoxy(31,11+j);
      printf("%6.2f",Q_Gen[i]);
    }
  }
  gotoxy(38,11+j);
  printf("%6.2f",P_Load[i]);
  gotoxy(45,11+j);
  printf("%6.2f",Q_Load[i]);
  if(code[i]==1)
  { gotoxy(52,11+j);
    printf("%6.2f",Qmax[i]);
    gotoxy(60,11+j);
    printf("%6.2f",Qmin[i]);
  }
  gotoxy(69,11+j);
  printf("%8.4fj\n",im_cap[i]);
  if(j==9)
  { printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
    printf(" Press any key !");
    getch();
    clrscr();
    printf("\n                              Bus Data \n\n");
    printf("*** System MVA Base : 100\n");
    printf("*** Specified code for bus types ***\n");
    printf("    PQ bus = 0          PV bus = 1          Slack bus = 2\n");
    printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------");
    printf("Bus Bus  Volt  Angle   Generation   Load   Gen. Q limit(MVar)  p.u.Shunt\n");
    printf("No. type (p.u.) (degree) MW   MVar  MW   MVar  Qmax  Qmin Susceptance");
    printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------");
  }
}
```

```
 printf("----------\n");
 printf(" Press any key !");
 getch();
}
//----------
void menu()
{
  int ok;
  char select;
  ok=0;
  do                                                    /* Function Menu */
  {
    clrscr();
    printf (" *** MAIN MENU ***\n\n");
    printf (" [1] Show Line and Transformer Data\n");
    printf (" [2] Show Bus Data\n");
    printf (" [3] Correct Line and Transformer Data\n");
    printf (" [4] Correct Bus Data\n");
    printf (" [5] Load Flow Solution & Exit program\n\n");
    printf ("Enter choice:  ");
    select=getche();
    getch();
    switch (select)
    {
     case '1' : { showline();ok=0; } break;
     case '2' : { showbus();ok=0; } break;
     case '3' : { correct_line();ok=0; } break;
     case '4' : { correct_bus();ok=0; } break;
     case '5' : ok=1; break;
    }
 }while(ok==0);
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
}
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
void calculate()
{
  int   i,j,s,t,k,check;
  float a,b,max_ch_P[100],max_ch_Q[100],J[N][N],re_bus[36][36],im_bus[36][36],max_ch_V,
        e[36],f[36],toler_P,toler_Q,delta_P[36],delta_Q[36],P[N],Q[36],delta_e[36],delta_f[36],TT[36];
  char method;
  complex x;
  printf("\nSpecified tolerances for convergence :\n");
  printf(" Per unit tolerance for the changes in the real bus powers = ");
  scanf("%f",&toler_P);
  printf(" Per unit tolerance for the changes in the reactive bus powers = ");
  scanf("%f",&toler_Q);
  printf("**** Newton-Raphson using Y-BUS ****\n");
  printf("     1. First Order Method.\n");
  printf("     2. Second Order Method.\n");
  printf("     Select calculation methods.(1 or 2) : ");
  scanf("%s",&method);
  printf("Press any key to continue.\n");
  getch();
  clock_t start;
  start=clock();
  for(i=1;i<=nelement;i++)
  {
    type[i]=tolower(type[i]);
    if(type[i]=='t')
    shift[i]=shift[i]*(M_PI/180);
  }
  for(i=1;i<=bus;i++)
   for(j=1;j<=bus;j++)
```

```
 { re_bus[i][j]=0.0;
   im_bus[i][j]=0.0;
 }
for(i=1;i<=bus;i++)
 for(j=1;j<=nelement;j++)
  if(i==p[j]||i==q[j])
  { im_bus[i][i]=im_chg[p[j]][q[j]]+im_bus[i][i];
    a=re_z[p[j]][q[j]]/(re_z[p[j]][q[j]]*re_z[p[j]][q[j]]+im_z[p[j]][q[j]]*im_z[p[j]][q[j]]);
    re_bus[i][i]=re_bus[i][i]+a;
    a=((-1)*im_z[p[j]][q[j]])/(re_z[p[j]][q[j]]*re_z[p[j]][q[j]]+im_z[p[j]][q[j]]*im_z[p[j]][q[j]]);
    im_bus[i][i]=im_bus[i][i]+a;
  }
 for(i=1;i<=nelement;i++)
 { a=((-1)*re_z[p[i]][q[i]])/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
   re_bus[p[i]][q[i]]=a;
   a=im_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
   im_bus[p[i]][q[i]]=a;
   re_bus[q[i]][p[i]]=re_bus[p[i]][q[i]];
   im_bus[q[i]][p[i]]=im_bus[p[i]][q[i]];
 }
for(i=1;i<=nelement;i++)
 if(type[i]=='t')
 {
   a=((-1)*re_z[p[i]][q[i]])/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
   re_bus[p[i]][p[i]]=re_bus[p[i]][p[i]]+a;
   a=im_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
   im_bus[p[i]][p[i]]=im_bus[p[i]][p[i]]+a;
   a=ratio[i]*cos(shift[i]);
   b=ratio[i]*sin(shift[i]);
   x=complex(a,b);
   a=norm(x);
```

```
    a=1.00/a;
    b=re_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
    re_bus[p[i]][p[i]]=re_bus[p[i]][p[i]]+a*b;
    b=((-1)*im_z[p[i]][q[i]])/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
    im_bus[p[i]][p[i]]=im_bus[p[i]][p[i]]+a*b;
    a=re_bus[q[i]][p[i]]*real(x)+im_bus[q[i]][p[i]]*imag(x);
    a=a/norm(x);
    re_bus[q[i]][p[i]]=a;
    a=im_bus[q[i]][p[i]]*real(x)-re_bus[q[i]][p[i]]*imag(x);
    a=a/norm(x);
    im_bus[q[i]][p[i]]=a;
    a=re_bus[p[i]][q[i]]*real(x)-im_bus[p[i]][q[i]]*imag(x);
    a=a/norm(x);
    re_bus[p[i]][q[i]]=a;
    a=im_bus[p[i]][q[i]]*real(x)+re_bus[p[i]][q[i]]*imag(x);
    a=a/norm(x);
    im_bus[p[i]][q[i]]=a;
  }
// ---------------------------------------- Capacitor Bank or Reactor ----------------------------------------
for(i=1;i<=bus;i++)
 if(im_cap[i]!=0.0)
  im_bus[i][i]=im_bus[i][i]+im_cap[i];
for(i=1;i<=bus;i++)
{
 angleE[i]=angleE[i]*(M_PI/180.0);
 e[i]=E[i]*cos(angleE[i]);
 f[i]=E[i]*sin(angleE[i]);
 if(code[i]!=2)
 {
  P_Gen[i]=P_Gen[i]/100.0;
  if(code[i]==0)
```

```
      {
       Q_Gen[i]=Q_Gen[i]/100.0;
      }
    }
    P_Load[i]=P_Load[i]/100.0;
    Q_Load[i]=Q_Load[i]/100.0;
    if(code[i]==1)
    {
      Qmax[i]=Qmax[i]/100.0;
      Qmin[i]=Qmin[i]/100.0;
    }
  }
  k=0;
  check=1;
  do
  { if(k==100)
    {
     clrscr();
     printf("\n  **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
     printf("----------------------------------------------------------------------------------------------------");
     printf("Iteration|Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum
APPARENT Power\n");
     printf("Number  | Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches (x1.0E-2)  | Mismatches (x1.0E-2)\n");
     printf("----------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
     for(i=0;i<k;i++)
     {
      j=(i+1)%10;
      gotoxy(5,6+j);
      printf("%d",i);
      gotoxy(15,6+j);
      printf("%10.4f",max_ch_P[i]*100.0);
```

```
        gotoxy(37,6+j);
        printf("%10.4f\n",max_ch_Q[i]*100.0);
        gotoxy(59,6+j);
        a=max_ch_P[i]*max_ch_P[i]+max_ch_Q[i]*max_ch_Q[i];
        b=sqrt(a);
        printf("%10.4f\n",b*100.0);
        if(j==9)
        {
          printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
          printf("Press any key to continue.");
          getch();
          clrscr();
          printf("  **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
          printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
          printf(" Iteration| Maximum REAL Power |Maximum REACTIVE Power |Maximum
APPARENT Power\n");
          printf("Number| Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches (x1.0E-2)| Mismatches (x1.0E-2)\n");
          printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
        }
      }
     printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
     printf("Press any key to continue.\n");
    getch();
    printf("*** Solution does not convergence ***\n");
    printf("*** Press any key to EXIT PROGRAM ***");
    getch();
    exit(0);
}
max_ch_P[k]=0;
max_ch_Q[k]=0;
max_ch_V=0;
```

```
for(i=2;i<=bus;i++)
{
 if(code[i]==1)
 {
  Q[i]=0.0;
  for(j=1;(j<=bus);j++)
  {
   Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];
   Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
   Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
   Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
  }
  Q_Gen[i]=Q[i]+Q_Load[i];
  if(Q_Gen[i]>Qmax[i])
  {
    code[i]=0;
    Q_Gen[i]=Qmax[i];
  }
  else if(Q_Gen[i]<Qmin[i])
        {
         code[i]=0;
         Q_Gen[i]=Qmin[i];
        }
}
P[i]=0;
if(code[i]==0)
 Q[i]=0;
else Q[i]=e[i]*e[i]+f[i]*f[i];
for(j=1;j<=bus;j++)
{
 P[i]=P[i]+e[i]*e[j]*re_bus[i][j];
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  P[i]=P[i]-e[i]*f[j]*im_bus[i][j];
  P[i]=P[i]+f[i]*f[j]*re_bus[i][j];
  P[i]=P[i]+f[i]*e[j]*im_bus[i][j];
  if(code[i]==0)
  {
   Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];
   Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
   Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
   Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
   }
 }
 delta_P[i]=P_Gen[i]-P_Load[i]-P[i];
 a=delta_P[i];
 if(a<0)
  a=-a;
 if(a>max_ch_P[k])
  max_ch_P[k]=a;
 if(code[i]==0)
 {
  delta_Q[i]=Q_Gen[i]-Q_Load[i]-Q[i];
  b=delta_Q[i];
  if(b<0)
   b=-b;
  if(b>max_ch_Q[k])
   max_ch_Q[k]=b;
 }
 else
 {
  delta_Q[i]=E[i]*E[i]-Q[i];
  a=delta_Q[i];
  if(a<0)
```

```
  a=-a;
 if(a>max_ch_V)
  max_ch_V=a;
 }
}
if(max_ch_P[k]<=toler_P && max_ch_Q[k]<=toler_Q && max_ch_V<=0.0001)
{
 clock_t end;
 end=clock();
 check=0;
 //---------------------------------------- Calculate line flows ----------------------------------------
 clrscr();
 for(i=2;i<=bus;i++)
 if(code[i]==0)
 {
   a=e[i]*e[i]+f[i]*f[i];
   E[i]=sqrt(a);
   b=f[i]/e[i];
   angleE[i]=atan(b);
   angleE[i]=angleE[i]*(180.0/M_PI);
 }
 else
 {
  b=f[i]/e[i];
  angleE[i]=atan(b);
  angleE[i]=angleE[i]*(180.0/M_PI);
 }
 angleE[1]=angleE[1]*(180.0/M_PI);
 printf("                    **** Line Flows Result ****\n");
 printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
 printf("        Bus code                    Line flows\n");
```

```
printf("          (p--> q)                    MW          MVar\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{
 if(type[t]=='l')
 {
  printf("          %2d-->%2d",p[t],q[t]);
  a=re_z[p[t]][q[t]];
  b=im_z[p[t]][q[t]];
  x=complex(e[p[t]],-f[p[t]])*(complex(e[p[t]],f[p[t]])-complex(e[q[t]],f[q[t]]))/complex(a,b);
  b=im_chg[p[t]][q[t]];
  x=x+complex(e[p[t]],-f[p[t]])*complex(e[p[t]],f[p[t]])*complex(0.0,b);
  X[p[t]][q[t]]=real(x);
  printf("                %9.4f",X[p[t]][q[t]]*100.0);
  printf("       %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
 }
 j=t%10;
 if(j==0)
 {
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf("Press any key to continue.");
  getch();
  clrscr();
  printf("                    **** Line Flows Result ****\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf("          Bus code                    Line flows\n");
  printf("          (p--> q)                MW          MVar\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
 }
}
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
```

```
printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("                    **** Line Flows Result ****\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf("          Bus code                    Line flows\n");
printf("          (q--> p)                MW              MVar\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{
 if(type[t]=='1')
 {
  printf("          %2d-->%2d",q[t],p[t]);
  a=re_z[p[t]][q[t]];
  b=im_z[p[t]][q[t]];
  x=complex(e[q[t]],-f[q[t]])*(complex(e[q[t]],f[q[t]])-complex(e[p[t]],f[p[t]]))/complex(a,b);
  b=im_chg[p[t]][q[t]];
  x=x+complex(e[q[t]],-f[q[t]])*complex(e[q[t]],f[q[t]])*complex(0.0,b);
  X[q[t]][p[t]]=real(x);
  printf("          %9.4f",X[q[t]][p[t]]*100.0);
  printf("          %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
j=t%10;
if(j==0)
{
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf("Press any key to continue.");
  getch();
  clrscr();
  printf("                    **** Line Flows Result ****\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
```

```
    printf("          Bus code                    Line flows\n");
    printf("          (q--> p)                MW          MVar\n");
    printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
   }
  }
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf("Press any key to continue.");
  getch();
//------------------------------------ Calculate power losses in lines ----------------------------------
  clrscr();
  printf("                  **** Power Losses in Lines ****\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf("          Bus code                    Power loss in line\n");
  printf("          (p--> q)                      (MW)\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  for(t=1;t<=nelement;t++)
  {
   if(type[t]=='l')
   {
    printf("          %2d-->%2d",p[t],q[t]);
    printf("                              ");
    printf("%9.4f\n",100.0*(X[p[t]][q[t]]+X[q[t]][p[t]]));
   }
   j=t%10;
   if(j==0)
   {
    printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
    printf("Press any key to continue.");
    getch();
    clrscr();
    printf("                  **** Power Losses in Lines ****\n");
```

```
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf("          Bus code                    Power loss in line\n");
  printf("          (p--> q)                       (MW)\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
 }
}
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
//------------------------------ Calculate power flows in transformers ------------------------------
clrscr();
printf("                  **** Power Flows in Transformers ****\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf("          Bus code                    Power Flows in Transformers\n");
printf("          (p--> q)                     MW          MVar\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
if(type[t]=='t')
{
 printf("          %2d-->%2d",p[t],q[t]);
 a=ratio[t]*cos(shift[t]);
 b=ratio[t]*sin(shift[t]);
 x=complex(e[p[t]],f[p[t]])-complex(a,b)*complex(e[q[t]],f[q[t]]);
 x=x/norm(complex(a,b));
 a=re_z[p[t]][q[t]];
 b=im_z[p[t]][q[t]];
 x=x/complex(a,b);
 x=complex(e[p[t]],-f[p[t]])*x;
 X[p[t]][q[t]]=real(x);
 printf("                    %9.4f",X[p[t]][q[t]]*100.0);
 printf("     %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
```

```
}
for(t=1;t<=nelement;t++)
if(type[t]=='t')
{
 printf("          %2d-->%2d",q[t],p[t]);
 a=ratio[t]*cos(shift[t]);
 b=ratio[t]*sin(shift[t]);
 x=complex(e[q[t]],f[q[t]])-complex(e[p[t]],f[p[t]])/complex(a,b);
 a=re_z[p[t]][q[t]];
 b=im_z[p[t]][q[t]];
 x=x/complex(a,b);
 x=complex(e[q[t]],-f[q[t]])*x;
 X[q[t]][p[t]]=real(x);
 printf("                    %9.4f",X[q[t]][p[t]]*100.0);
 printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
//---------------------------------- Calculate power losses in transformers ----------------------------
clrscr();
printf("            **** Power Losses in Transformers ****\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf("          Bus code                Power loss in transformer\n");
printf("          (p--> q)                        (MW)\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
for(j=1;j<=nelement;j++)
if(type[j]=='t')
{
 printf("          %2d-->%2d",p[j],q[j]);
 printf("                          ");
```

```
 a=X[p[j]][q[j]]+X[q[j]][p[j]];
 printf("%9.4f\n",a*100.0);
}
printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf("Press any key to continue.\n");
getch();
P[1]=0.0;
Q[1]=0.0;
for(j=1;j<=bus;j++)
{
 P[1]=P[1]+e[1]*e[j]*re_bus[1][j];
 P[1]=P[1]-e[1]*f[j]*im_bus[1][j];
 P[1]=P[1]+f[1]*f[j]*re_bus[1][j];
 P[1]=P[1]+f[1]*e[j]*im_bus[1][j];
 Q[1]=Q[1]+f[1]*e[j]*re_bus[1][j];
 Q[1]=Q[1]-f[1]*f[j]*im_bus[1][j];
 Q[1]=Q[1]-e[1]*f[j]*re_bus[1][j];
 Q[1]=Q[1]-e[1]*e[j]*im_bus[1][j];
}
P_Gen[1]=P[1]+P_Load[1];
Q_Gen[1]=Q[1]+Q_Load[1];
for(i=2;i<=bus;i++)
if(code[i]==1)
{
 Q[i]=0;
 for(j=1;j<=bus;j++)
 {
  Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];
  Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
  Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
  Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 }
  Q_Gen[i]=Q[i]+Q_Load[i];
}
clrscr();
printf("\n                    **** Load Flow Solution ****\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
printf(" Bus    Bus      Final bus voltage      Generation        Load\n");
printf(" No.    type  |E|(p.u.) angle(degree)   MW     MVar     MW     MVar\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
for(i=1;i<=bus;i++)
{
 j=i%10;
 gotoxy(3,6+j);
 printf("%2d",i);
 gotoxy(12,6+j);
 printf("%d",code[i]);
 gotoxy(19,6+j);
 printf("%8.5f",E[i]);
 gotoxy(30,6+j);
 printf("%9.5f",angleE[i]);
 gotoxy(45,6+j);
 printf("%7.2f",P_Gen[i]*100.0);
 gotoxy(52,6+j);
 printf(" %7.2f",Q_Gen[i]*100.0);
 gotoxy(63,6+j);
 printf("%7.2f",P_Load[i]*100.0);
 gotoxy(70,6+j);
 printf("%7.2f\n",Q_Load[i]*100.0);
 if(j==9)
 {
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
```

```
  printf("Press any key to continue.");
  getch();
  clrscr();
  printf("                    **** Load Flow Solution ****\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
  printf(" Bus    Bus      Final bus voltage      Generation          Load\n");
  printf(" No.    type   |E|(p.u.)  angle(degree)   MW     MVar     MW     MVar\n");
  printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
 }
}
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------\n");
switch(method)
{
case '1':
{
 printf("*** First Order Method : solution time = %6.2f sec ***\n",(end - start)/CLK_TCK);
} break;
case '2':
{
printf("***Second Order Method : solution time = %6.2f sec ***\n",(end- start)/CLK_TCK);
} break;
}
printf("*** Total number of iterations = %d ***\n",k+1);
printf("*** Maximum Iteration = 100 ***\n");
printf("*** Remarks : 0 = PQ bus\t1 = PV bus\t2 = Slack bus ***\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("\n  **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
printf("-------------------------------------------------------------------------------------------");
```

```
   printf(" Iteration| Maximum REAL Power |Maximum REACTIVE Power |Maximum
APPARENT Power\n");
   printf(" Number  | Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches (x1.0E-2)  | Mismatches (x1.0E-2)\n");
   printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------\n");
   for(i=0;i<=k;i++)
   {
    j=(i+1)%10;
    gotoxy(5,6+j);
    printf("%d",i);
    gotoxy(15,6+j);
    printf("%10.4f",max_ch_P[i]*100.0);
    gotoxy(37,6+j);
    printf("%10.4f\n",max_ch_Q[i]*100.0);
    gotoxy(59,6+j);
    a=max_ch_P[i]*max_ch_P[i]+max_ch_Q[i]*max_ch_Q[i];
    b=sqrt(a);
    printf("%10.4f\n",b*100.0);
    if(j==9)
    {
     printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------\n");
     printf("Press any key to continue.");
     getch();
     clrscr();
     printf("  **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
     printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------\n");
     printf(" Iteration| Maximum REAL Power |Maximum REACTIVE Power |Maximum
APPARENT Power\n");
     printf("Number | Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches (x1.0E-2)  | Mismatches (x1.0E-2)\n");
     printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------\n");
    }
   }
```

```
 printf("-----------------------------------------------------------------------------------------------\n");
 printf("**** Press any key to EXIT PROGRAM ****");
 getch();
}
else
{ //------------------------------ Diagonal elements of Jacobian matrix ------------------------------
 for(i=2;i<=bus;i++)
 {
  t=i-1;
  X[t][t]=e[i]*re_bus[i][i]+f[i]*im_bus[i][i];
  for(j=1;j<=bus;j++)
  X[t][t]=X[t][t]+(e[j]*re_bus[i][j]-f[j]*im_bus[i][j]);
  }
  for(i=2;i<=bus;i++)
  {
   s=i-1;
   t=bus+i-2;
   X[s][t]=-e[i]*im_bus[i][i]+f[i]*re_bus[i][i];
   for(j=1;j<=bus;j++)
     X[s][t]=X[s][t]+(f[j]*re_bus[i][j]+e[j]*im_bus[i][j]);
  }
  for(i=2;i<=bus;i++)
  {
   s=bus+i-2;
   t=i-1;
   if(code[i]==0)
   {
    X[s][t]=-e[i]*im_bus[i][i]+f[i]*re_bus[i][i];
    for(j=1;j<=bus;j++)
     X[s][t]=X[s][t]-(e[j]*im_bus[i][j]+f[j]*re_bus[i][j]);
    }
```

```
    else X[s][t]=2*e[i];
   }
  for(i=2;i<=bus;i++)
  {
   s=bus+i-2;
   if(code[i]==0)
   {
    X[s][s]=-e[i]*re_bus[i][i]-f[i]*im_bus[i][i];
    for(j=1;j<=bus;j++)
     X[s][s]=X[s][s]+(e[j]*re_bus[i][j]-f[j]*im_bus[i][j]);
    }
    else X[s][s]=2*f[i];
   }
//---------------------------------- Off-diagonal elements of Jacobian matrix ----------------------------
    for(i=2;i<=bus;i++)
     for(j=2;j<=bus;j++)
      if(i!=j)
      {
       s=i-1;
       t=j-1;
       X[s][t]=e[i]*re_bus[i][j]+f[i]*im_bus[i][j];
      }
  for(i=2;i<=bus;i++)
   for(j=2;j<=bus;j++)
    if(i!=j)
    {
     s=i-1;
     t=bus+j-2;
     X[s][t]=-e[i]*im_bus[i][j]+f[i]*re_bus[i][j];
     }
  for(i=2;i<=bus;i++)
```

```
 for(j=2;j<=bus;j++)
  if(i!=j)
  {
   s=bus+i-2;
   t=j-1;
   if(code[i]==0)
    X[s][t]=f[i]*re_bus[i][j]-e[i]*im_bus[i][j];
   else X[s][t]=0.0;
   }
 for(i=2;i<=bus;i++)
  for(j=2;j<=bus;j++)
   if(i!=j)
   {
    s=bus+i-2;
    t=bus+j-2;
    if(code[i]==0)
     X[s][t]=-f[i]*im_bus[i][j]-e[i]*re_bus[i][j];
    else X[s][t]=0.0;
    }
 for(i=1;i<=2*(bus-1);i++)
  for(j=1;j<=2*(bus-1);j++)
   J[i][j]=X[i][j];
//---------------------------------------- Solve for voltage corrections ----------------------------------------
 t=1;
 for(i=2;i<=bus;i++)
 {
  P[t]=delta_P[i];
  t++;
 }
 t=bus;
 for(i=2;i<=bus;i++)
```

```
{
 P[t]=delta_Q[i];
 t++;
}
SOLVE(X,P,2*(bus-1));
t=1;
for(i=2;i<=bus;i++)
{
 delta_e[i]=X[t][0];
 t++;
}
t=bus;
for(i=2;i<=bus;i++)
{
 delta_f[i]=X[t][0];
 t++;
}
if(method=='2')
{
 for(i=2;i<=bus;i++)
 {
  P[i]=0;
  for(j=2;j<=bus;j++)
   P[i]=P[i]+(delta_e[j]*re_bus[i][j]-delta_f[j]*im_bus[i][j]);
  P[i]=P[i]*delta_e[i];
  TT[i]=0;
  for(j=2;j<=bus;j++)
   TT[i]=TT[i]+(delta_f[j]*re_bus[i][j]+delta_e[j]*im_bus[i][j]);
  TT[i]=TT[i]*delta_f[i];
  P[i]=P[i]+TT[i];
  delta_P[i]=delta_P[i]-P[i];
```

```
 }
for(i=2;i<=bus;i++)
 if(code[i]==0)
 {
  Q[i]=0;
  for(j=2;j<=bus;j++)
   Q[i]=Q[i]+(delta_e[j]*re_bus[i][j]-delta_f[j]*im_bus[i][j]);
  Q[i]=Q[i]*delta_f[i];
  TT[i]=0;
  for(j=2;j<=bus;j++)
   TT[i]=TT[i]-(delta_e[j]*im_bus[i][j]+delta_f[j]*re_bus[i][j]);
  TT[i]=TT[i]*delta_e[i];
  Q[i]=Q[i]+TT[i];
  delta_Q[i]=delta_Q[i]-Q[i];
 }
 else
 {
  Q[i]=delta_e[i]*delta_e[i]+delta_f[i]*delta_f[i];
  delta_Q[i]=delta_Q[i]-Q[i];
 }
t=1;
for(i=2;i<=bus;i++)
{
 P[t]=delta_P[i];
 t++;
}
t=bus;
for(i=2;i<=bus;i++)
{
 P[t]=delta_Q[i];
 t++;
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    }
   SOLVE(J,P,2*(bus-1));
   t=1;
   for(i=2;i<=bus;i++)
   {
    delta_e[i]=X[t][0];
    t++;
    }
   t=bus;
   for(i=2;i<=bus;i++)
   {
    delta_f[i]=X[t][0];
    t++;
    }
   }
   for(i=2;i<=bus;i++)
   {
    e[i]=e[i]+delta_e[i];
    f[i]=f[i]+delta_f[i];
    }
   k++;
  }/*else*/
 } while(check);
} /*calculate*/
int getline(char line[],int max)
{
 int  c,i;
 i=0;
 while((c=getchar()) != '\n' && c!= EOF)
 if (i<max)
 line[i++]=c;
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 line[i] = '\0';
 return (c==EOF) ? -1:i;
}
void main()
{
 int ok;
 char select;
 clrscr();
 gotoxy(25,7);  printf(" Enter system name ");
 gotoxy(32,9);  getline(sysname,8);
 ok=0;
 do                                                    /* Function Menu */
 {
  printf (" [1] fromdisk  \n");
  printf (" [2] fromkey  \n\n");
  printf ("Enter choice:  ");
  select=getche();
  getch();
  switch (select)
  {
   case '1' : { fromdisk();ok=1; } break;
   case '2' : { fromkey();ok=1; } break;
  }
 }
 while (ok==0);
 menu();
 calculate();
} /*end main*/
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโฟลว์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในวิทยานิพนธ์นี้ เขียนด้วยซอฟแวร์ที่มีชื่อว่า " BORLAND C++ version 3.1 " ประมวลผลบนระบบดอส ภายหลังจากการคอมไพล์ (Compile) และ รัน (Run) โปรแกรมที่มีชื่อว่า " LOADFLOW.CPP " จะได้โปรแกรมใช้งานที่มีชื่อว่า " LOADFLOW.EXE " ซึ่งใช้ในการคำนวณโหลดโฟลว์ โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณถูกจัดเก็บไว้เป็นไฟล์ข้อมูล ประกอบด้วย

1. ไฟล์ข้อมูลของบัส(Bus data file) มีชื่อได้ไม่เกิน 7 ตัวอักษรและชื่อสกุลเป็น " .BUS " เช่น 3BUS.BUS, 13BUS.BUS , 14BUS.BUS และ 30BUS.BUS เป็นต้น ประกอบด้วยข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ ง.1 ดังนี้

ตารางที่ ง.1 ตัวอย่างแสดงข้อมูลของบัส

Bus Data

*** System MVA Base :

Specified code for bus types

PQ bus = 0 PV bus = 1 Slack bus = 2

Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation MW	Generation MVar	Load MW	Load MVar	Gen Q. limit(MVar) Qmax	Gen Q. limit(MVar) Qmin	p.u. Shunt Susceptance
1	2	1.050	0.00			0.00	0.00			0.0000j
2	1	1.045	0.00	40.00		21.70	12.70	50.00	-40.00	0.0000j
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.40	1.20			0.0000j
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60			0.0000j
5	1	1.010	0.00	0.00		94.20	19.00	40.00	-40.00	0.0000j
6	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000j
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	22.80	10.90			0.0000j
8	1	1.010	0.00	0.00		30.00	30.00	40.00	-10.00	0.0000j
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000j

Press any key !

1.1 ลำดับที่ของบัส (Bus number) เริ่มนับตั้งแต่บัสที่ 1 จนถึงบัสสุดท้าย โดยแสดงเป็นเลขจำนวนเต็ม เริ่มนับตั้งแต่หมายเลข 1 ที่ใช้เรียกบัสที่ 1 ไปจนถึงหมายเลขสุดท้ายที่ใช้เรียกบัสสุดท้าย โดยบัสที่ 1 จะต้องเป็นบัสอ้างอิงเสมอ

1.2 ชนิดของบัส (Bus type) จะถูกกำหนดด้วยเลขรหัส ดังนี้

หมายเลข 2 เป็นเลขรหัสที่ใช้แทน บัสอ้างอิง

หมายเลข 1 เป็นเลขรหัสที่ใช้แทน บัสควบคุมแรงดัน

หมายเลข 0 เป็นเลขรหัสที่ใช้แทน โหลดบัส

1.3 ขนาดของแรงดันที่บัส (Voltage magnitude) ที่แต่ละบัสจะมีการกำหนดขนาดของแรงดันเริ่มต้นที่จะใช้ในการคำนวณ ดังนี้

1.3.1 ขนาดของแรงดันที่บัสอ้างอิง เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์

1.3.2 ขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดัน เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์

1.3.3 ขนาดของแรงดันที่โหลดบัส เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ให้สมมติขนาดของแรงดันเริ่มต้นที่จะใช้คำนวณเป็น 1.00 เปอร์ยูนิต (p.u.)

1.4 มุมของแรงดันที่บัส (Voltage angle) ที่แต่ละบัสจะมีการกำหนดมุมของแรงดันเริ่มต้นที่จะใช้ในการคำนวณ ดังนี้

1.4.1 มุมของแรงดันที่บัสอ้างอิง เนื่องจากมุมของแรงดันที่บัสดังกล่าว ใช้อ้างอิงเปรียบเทียบกับมุมของแรงดันที่บัสอื่นๆ จึงกำหนดมุมเป็น 0.00 องศา

1.4.2 มุมของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดัน เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ให้สมมติมุมของแรงดันเริ่มต้นที่บัสดังกล่าวเป็น 0.00 องศา

1.4.3 มุมของแรงดันที่โหลดบัส เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ให้สมมติมุมของแรงดันเริ่มต้นที่บัสดังกล่าวเป็น 0.00 องศา

1.5 กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (Power generation) ประกอบด้วย

1.5.1 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิต (Real power generation) ใช้หน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW)

1.5.1.1 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัสอ้างอิง เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ต้องคำนวณหลังจากการทำโหลดโฟลว์แล้ว จึงให้เว้นว่างไว้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น

1.5.1.2 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัสควบคุมแรงดันเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ ให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.5.1.3 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่โหลดบัส เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ ให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.5.2 กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิต (Reactive power generation) ใช้หน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVar)

1.5.2.1 กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิตที่บัสอ้างอิง เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ต้องคำนวณหลังจากการทำโหลดโฟลว์แล้ว จึงให้เว้นว่างไว้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น

1.5.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิตที่บัสควบคุมแรงดัน เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ต้องคำนวณหลังจากการทำโหลดโฟลว์แล้ว จึงให้เว้นว่างไว้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น

1.5.1.3 กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิตที่โหลดบัส เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ ให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.6 โหลด (Load) ประกอบด้วย

1.6.1 โหลดจริง (Real load) ใช้หน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW) สำหรับบัสทุกชนิดมีโหลดจริงเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.6.2 โหลดรีแอกตีฟ (Reactive load) ใช้หน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVar) สำหรับบัสทุกชนิดมีโหลดรีแอกตีฟเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.7 ขีดจำกัดในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสควบคุมแรงดัน (Generator reactive power limit at voltage controlled bus) ประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้

1.7.1 ขีดจำกัดสูงสุดในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ (Maximum reactive power limit) ใช้หน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVar) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.7.2 ขีดจำกัดต่ำสุดในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ (Minimum reactive power limit) ใช้หน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVar) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโฟลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

หมายเหตุ : สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง ถือว่าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟได้อย่างไม่มีขีดจำกัด จึงไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ที่บัสอ้างอิง ให้เว้นว่างไว้ไม่ต้องป้อนข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น ส่วนที่โหลดบัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟคงที่ จึงไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ที่โหลดบัส ให้เว้นว่างไว้ไม่ต้องป้อนข้อมูลใดๆทั้งสิ้น เช่นกัน

1.8 ชั้นท์อิลิเมนต์ (Shunt element) ต้องป้อนและแสดงข้อมูลเป็นค่าซัสเซฟแตนท์ (Susceptance) ในหน่วยเปอร์ยูนิต (p.u.) ถ้าบัสใดไม่มีชั้นท์อิลิเมนต์ต่ออยู่ ให้ป้อนค่า 0.00

2. ไฟล์ข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง (Line and transformer data file) มีชื่อได้ไม่เกิน 7 ตัวอักษรและชื่อสกุลเป็น " .LIN " เช่น 3BUS.LIN, 13BUS.LIN, 14BUS.LIN และ 30BUS.LIN เป็นต้น ประกอบด้วยข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ ง.2 ดังนี้

ตารางที่ ง.2 ตัวอย่างแสดงข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง

Line and Transformer Data

Element No.	Type	Bus code (p-->q)	Impedance (p.u.)	Line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
1	L	1-->2	0.019+j*(0.058)	j*(0.0264)		
2	L	1-->3	0.045+j*(0.185)	j*(0.0204)		
3	L	2-->4	0.057+j*(0.174)	j*(0.0184)		
4	L	2-->5	0.047+j*(0.198)	j*(0.0209)		
5	L	2-->6	0.058+j*(0.176)	j*(0.0187)		
6	L	3-->4	0.013+j*(0.038)	j*(0.0042)		
7	L	4-->6	0.012+j*(0.041)	j*(0.0045)		
8	T	4-->12	0.000+j*(0.256)	j*(0.0000)	1.013	0.000
9	L	5-->7	0.046+j*(0.116)	j*(0.0102)		

Press any key !

2.1 ลำดับที่ของอุปกรณ์ (Element number) เริ่มนับตั้งแต่อุปกรณ์ที่ 1 จนถึงอุปกรณ์สุดท้าย โดยแสดงเป็นเลขจำนวนเต็ม เริ่มนับตั้งแต่หมายเลข 1 ที่ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ 1 ไปจนถึงหมายเลขสุดท้ายที่ใช้เรียกอุปกรณ์สุดท้าย

2.2 ชนิดของอุปกรณ์ (Element type) จะถูกกำหนดด้วยรหัสเป็นตัวอักษร ดังนี้

L เป็นรหัสตัวอักษรที่ใช้แทน สายส่ง

T เป็นรหัสตัวอักษรที่ใช้แทน หม้อแปลง

2.3 ตำแหน่งของอุปกรณ์ จะระบุเป็นการเชื่อมจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสหนึ่ง ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์หมายเลข 1 ซึ่งเป็นสายส่งเชื่อมจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 2 เมื่ออ่านข้อมูลจากไฟล์ซึ่งมีชื่อสกุลเป็น " .LIN " จะปรากฏบนจอภาพ ดังแสดงในตารางที่ ง.2

2.4 ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ (สายส่งและ/หรือหม้อแปลง) ประกอบด้วย ค่าความต้านทาน (R) และรีแอกแตนซ์ (X) หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.) โดยอยู่ในรูปของ R+j*X ดังแสดงในตารางที่ ง.2

2.5 ค่าฮาล์ฟไลน์ชาร์จจิ้ง (Half line charging : y) ของอุปกรณ์ หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.) โดยอยู่ในรูปของ j*(y) ดังแสดงในตารางที่ ง.2 สำหรับสายส่งหรือหม้อแปลงที่ไม่มีค่าฮาล์ฟไลน์ชาร์จจิ้ง จะแสดงเป็นค่า j*(0.0000)

2.6 อัตราส่วนแท็ป (Tap ratio) และการเลื่อนเฟส (Phase shifting) เป็นข้อมูลเฉพาะสำหรับอุปกรณ์ที่เป็นหม้อแปลงเท่านั้น ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์หมายเลข 8 ซึ่งเป็นหม้อแปลงเชื่อมจากบัสที่ 4 ไปยังบัสที่ 12 มีอัตราส่วนแท็ป 1.013 และการเลื่อนเฟส 0.000 องศา เมื่ออ่านข้อมูลจากไฟล์ซึ่งมีชื่อสกุลเป็น " .LIN " จะปรากฏบนจอภาพ ดังแสดงในตารางที่ ง.2

การใช้งานโปรแกรมคำนวณโหลดโฟลว์

โปรแกรมที่ใช้คำนวณโหลดโฟลว์ซึ่งถูกพัฒนาด้วยการเขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า "BORLAND C++ version 3.1" ประมวลผลบนระบบดอส โปรแกรมดังกล่าวมีชื่อว่า "LOADFLOW.CPP" ภายหลังจากการคอมไพล์และรันโปรแกรมนี้จะถูกจัดการให้เป็นโปรแกรมใช้งานที่มีชื่อว่า"LOADFLOW.EXE" และจะใช้โปรแกรม " LOADFLOW.EXE " นี้ ในการคำนวณโหลดโฟลว์ โดยสามารถคำนวณโหลดโฟลว์กับระบบกำลังไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 35 บัส และมีจำนวนอุปกรณ์ (สายส่งและ/หรือหม้อแปลง)ไม่เกิน 50 อุปกรณ์

ข้อกำหนดของการใช้งานโปรแกรม " LOADFLOW.EXE "

1. โปรแกรม" LOADFLOW.EXE " ต้องใช้งานร่วมกับไฟล์ข้อมูลของบัส (.BUS) และไฟล์ข้อมูลของสายส่งและ/หรือหม้อแปลง (.LIN) เสมอ โดยที่ทั้งหมดจะต้องถูกเก็บอยู่ในไดเรกทอรี่ปัจจุบัน (Current directory) เดียวกัน เช่น ถ้าโปรแกรม " LOADFLOW.EXE " อยู่ที่ไดเรกทอรี่ A แล้ว ไฟล์ข้อมูลทั้งสองจะต้องอยู่ที่ไดเรกทอรี่ A ด้วย
2. เนื่องจากโปรแกรม " LOADFLOW.EXE " ถูกพัฒนามาจากซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า " BORLAND C++ version 3.1" ซึ่งประมวลผลบนระบบดอส ดังนั้นก่อนจะเรียกใช้งานโปรแกรมดังกล่าวจะต้องรีเซต (Reset) เครื่องคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในโหมดการทำงานบนระบบดอส จากนั้นจึงเรียกใช้งานโปรแกรมดังกล่าวได้

รายละเอียดของการใช้งานโปรแกรม " LOADFLOW.EXE "

เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ในโหมดการทำงานบนระบบดอสแล้ว สามารถเรียกใช้งานโปรแกรม " LOADFLOW.EXE " โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. สมมติว่าโปรแกรม " LOADFLOW.EXE " อยู่ที่ไดเรกทอรี่ A จะต้องเปลี่ยนไดเรกทอรี่ปัจจุบันไปอยู่ที่ A ดังนี้

```
A:\>
```

แล้วพิมพ์ชื่อโปรแกรมใช้งาน ดังนี้

```
A:\>LOADFLOW
```

หรือ

```
A:\>LOADFLOW.EXE
```

จากนั้นกดคีย์ Enter จะปรากฏบนหน้าจอภาพ เป็นดังนี้

```
                    Enter system name                    -
                    -
```

2. ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน (Current cursor) ให้พิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูล โดยไม่ต้องใส่ชื่อสกุล เช่น ต้องการคำนวณโหลดโฟลว์ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ซึ่งมีชื่อไฟล์ข้อมูลของบัส คือ 30BUS.BUS และชื่อไฟล์ข้อมูลของอุปกรณ์ คือ 30BUS.LIN ก็ให้พิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าดังกล่าว เป็นดังนี้

```
                    Enter system name
                    30BUS
```

หรือ

```
                    Enter system name
                    30bus
```

แล้วกดคีย์ Enter

3. ภายหลังจากกดคีย์ Enter ในขั้นตอนที่ 2. แล้ว จะมีรายการให้เลือกบนหน้าจอภาพดังนี้

```
                    Enter system name
                    30BUS

    [1] fromdisk
    [2] fromkey

    Enter choice: _
```

โดยที่ความหมายของแต่ละรายการเป็นดังนี้

3.1 fromdisk จะเลือกรายการนี้ ก็ต่อเมื่อมีไฟล์ข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณโหลดโฟลว์อยู่แล้ว ก็ให้พิมพ์หมายเลข 1 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter

3.1.1 ในกรณีพิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูลผิดหรือไม่มีชื่อไฟล์ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในไดเรกทอรี่ปัจจุบันเดียวกับโปรแกรม " LOADFLOW.EXE " แล้ว โปรแกรมจะแสดงข้อความผิดพลาด และออกจากโปรแกรมทันที โดยมีข้อความปรากฏบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
                    Enter system name
                        30BUS
    [1] fromdisk
    [2] fromkey

  Enter choice:  1Error  : Write Error in file name
  A:\>
```

3.1.2 หากข้อผิดพลาดในข้อ 3.1.1 มิได้เกิดขึ้นแล้วภายหลังจากพิมพ์หมายเลข 1 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏเมนูหลัก (Main menu) บนหน้าจอภาพดังนี้

```
*** MAIN MENU ***

[1] Show Line and Transformer Data
[2] Show Bus Data
[3] Correct Line and Transformer Data
[4] Correct Bus Data
[5] Load Flow Solution & Exit Program

Enter choice: _
```

ความหมายของแต่ละรายการในเมนูหลัก เป็นดังนี้

3.1.2.1 Show Line and Transformer Data

เมื่อต้องการดูข้อมูลเกี่ยวกับสายส่งและ/หรือหม้อแปลง ให้พิมพ์หมายเลข 1 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏบนหน้าจอภาพ ดังแสดงตามตารางที่ ง.2 โดยรายละเอียด

ของข้อมูลต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง ทำการกดคีย์ใดๆ เพื่อดูข้อมูลถัดไปจนกระทั่งหมด จากนั้นจะกลับไปที่เมนูหลักโดยอัตโนมัติ

3.1.2.2 Show Bus Data

เมื่อต้องการดูข้อมูลเกี่ยวกับบัส ให้พิมพ์หมายเลข 2 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏบนหน้าจอภาพ ดังแสดงตามตารางที่ ง.1 โดยรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลของบัส ทำการกดคีย์ใดๆ เพื่อดูข้อมูลถัดไปจนกระทั่งหมด จากนั้นจะกลับไปที่เมนูหลักโดยอัตโนมัติ

3.1.2.3 Correct Line and Transformer Data

เมื่อต้องการแก้ไขข้อมูลของสายส่งและ/หรือหม้อแปลง ให้พิมพ์หมายเลข 3 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Correct Line and Transformer Data ***

Do you want to correct data?(y or n) : _
```

โปรแกรมจะถามผู้ใช้อีกครั้งว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลจริงหรือไม่ ถ้าไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลใดๆ ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปที่เมนูหลักทันที แต่ถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Correct Line and Transformer Data ***

Do you want to correct data?(y or n) : y
Enter element NO. which you want to correct : _
```

ให้ป้อนลำดับที่ของอุปกรณ์ที่ต้องการแก้ไขข้อมูล เช่น ต้องการแก้ไขข้อมูลของอุปกรณ์ที่ 5 ให้ป้อนหมายเลข 5 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏรายการแก้ไข (Correction Menu) ดังนี้

```
*** Correct Line and Transformer Data ***

Do you want to correct data?(y or n) :  y
Enter element NO. which you want to correct :  5
*** Correction Menu ***
    [1] Element type
    [2] Bus code (p)
    [3] Bus code (q)
    [4] Line impedance
    [5] Line charging
    [6] Tap ratio
    [7] Phase shifting

*** Select choice :  _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนหมายเลขประจำรายการข้อมูลที่ต้องการแก้ไข ดังนี้

- รายการแก้ไขที่ [1] Element type

เมื่อต้องการแก้ไขชนิดของอุปกรณ์ ให้ป้อนหมายเลข 1 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new element type : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนชนิดของอุปกรณ์ใหม่ แล้วกดคีย์ Enter เช่น ป้อน t หรือ T แล้วกดคีย์ Enter ตอนนี้อุปกรณ์หมายเลข 5 ถูกแก้ไขให้เป็นหม้อแปลงแล้ว

- รายการแก้ไขที่ [2] Bus code p

เมื่อต้องการแก้ไขตำแหน่งบัสต้นทาง ให้ป้อนหมายเลข 2 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new bus code (p) : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนตำแหน่งบัสต้นทางใหม่ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [3] Bus code q

เมื่อต้องการแก้ไขตำแหน่งบัสปลายทาง ให้ป้อนหมายเลข 3 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new bus code (q) : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนตำแหน่งบัสปลายทางใหม่ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [4] Line impedance

เมื่อต้องการแก้ไขค่าอิมพีแดนซ์ ให้ป้อนหมายเลข 4 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new line impedance : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าความต้านทาน R ใหม่ ในหน่วยเปอร์ยูนิต แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏ " +j* " ตามด้วยการป้อนค่ารีแอกแตนซ์ X ใหม่ ในหน่วยเปอร์ยูนิต แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [5] Line charging

เมื่อต้องการแก้ไขค่าฮาล์ฟไลน์ชาร์จจิ้ง ให้ป้อนหมายเลข 5 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new line charging : j*_
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าฮาล์ฟไลน์ชาร์จจิ้งใหม่ ในหน่วยเปอร์ยูนิต แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [6] Tap ratio

เมื่อต้องการแก้ไขอัตราส่วนแท็ป ให้ป้อนหมายเลข 6 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new tap ratio : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าอัตราส่วนแท็ปใหม่ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [7] Phase shifting

เมื่อต้องการแก้ไขการเลื่อนเฟส ให้ป้อนหมายเลข 7 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new phase shifting (degree) : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าการเลื่อนเฟสใหม่ หน่วยเป็นองศา แล้วกดคีย์ Enter

ภายหลังการแก้ไขข้อมูลในแต่ละรายการ โปรแกรมจะถามผู้ใช้เสมอว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีกหรือไม่ ถ้าใช่ให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจึงดำเนินการแก้ไขข้อมูลในรายการที่ต้องการต่อไป แต่หากไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีก ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปที่เมนูหลัก

3.1.2.4 Correct Bus Data

เมื่อต้องการแก้ไขข้อมูลของบัส ให้พิมพ์หมายเลข 4 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Correct Bus Data ***

Do you want to correct data?(y or n) : _
```

โปรแกรมจะถามผู้ใช้อีกครั้งว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลจริงหรือไม่ ถ้าไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลใดๆ ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปที่เมนูหลักทันที แต่ถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Correct Bus Data ***

Do you want to correct data?(y or n) :  y
Enter BUS NO. which you want to correct :  _
```

ให้ป้อนลำดับที่ของบัสที่ต้องการแก้ไขข้อมูล เช่น ต้องการแก้ไขข้อมูลของบัสที่ 8 ให้ป้อนหมายเลข 8 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏรายการแก้ไข (Correction menu) ดังนี้

```
*** Correct Bus Data ***

Do you want to correct data?(y or n) :  y
Enter BUS NO. which you want to correct :  8
*** Correction Menu ***
    [1] Bus type
    [2] Per unit voltage magnitude
    [3] Voltage angle in degree
    [4] MW Generation
    [5] MVar Generation
    [6] MW Load
    [7] MVar Load
    [8] Generator Q. limit (Mvar)
    [9] p.u. Shunt Susceptance
*** Select choice :  _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนหมายเลขประจำรายการข้อมูลที่ต้องการแก้ไข ดังนี้

- รายการแก้ไขที่ [1] Bus type

เมื่อต้องการแก้ไขชนิดของบัส ให้ป้อนหมายเลข 1 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
PQ bus = 0      PV bus = 1      Slack bus = 2
Enter new bus type : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนชนิดของบัสใหม่ตามหมายเลขรหัสที่ระบุไว้ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [2] Per unit voltage magnitude

เมื่อต้องการแก้ไขขนาดของแรงดันที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 2 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new voltage magnitude in p.u. : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนขนาดของแรงดันที่บัสใหม่ หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต(p.u.) แล้วกดคีย์Enter

- รายการแก้ไขที่ [3] Voltage angle in degree

เมื่อต้องการแก้ไขมุมของแรงดันที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 3 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new voltage angle in degree : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนมุมของแรงดันที่บัสใหม่ หน่วยเป็นองศา แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [4] MW Generation

เมื่อต้องการแก้ไขกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิต ให้ป้อนหมายเลข 4 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new MW Generation : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตใหม่ หน่วยเป็นเมกกะวัตต์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [5] MVar Generation

เมื่อต้องการแก้ไขกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิต ให้ป้อนหมายเลข 5 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

```
Enter new MVar Generation : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิตใหม่ หน่วยเป็นเมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [6] MW Load

เมื่อต้องการแก้ไขโหลดจริงที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 6 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new MW Load : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนโหลดจริงใหม่ หน่วยเป็นเมกกะวัตต์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [7] MVar Load

เมื่อต้องการแก้ไขโหลดรีแอกตีฟที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 7 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

```
Enter new MVar Load : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนโหลดรีแอกตีฟใหม่ หน่วยเป็นเมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [8] Generator Q. limit (MVar)

เมื่อต้องการแก้ไขขีดจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 8 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new Generator Q. limit (MVar) :
Qmax = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนขีดจำกัดสูงสุดของการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ หน่วยเป็น เมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจะปรากฏข้อความ " Qmin = " ให้ป้อนขีดจำกัดต่ำสุดของการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ หน่วยเป็นเมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [9] p.u. Shunt Susceptance

เมื่อต้องการแก้ไขค่าซั้นท์ซัสเซฟแตนท์ที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 9 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

```
Enter new p.u. Shunt Susceptance : j*_
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าซั้นท์ซัสเซฟแตนท์ หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.) แล้วกดคีย์ Enter

ภายหลังการแก้ไขข้อมูลในแต่ละรายการ โปรแกรมจะถามผู้ใช้เสมอว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีกหรือไม่ ถ้าใช่ให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจึงดำเนินการแก้ไขข้อมูลในรายการที่ต้องการต่อไป แต่หากไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีก ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปที่เมนูหลัก

3.1.2.5 Load Flow Solution & Exit Program

เมื่อต้องการดูผลการคำนวณโหลดโฟลว์ ให้พิมพ์หมายเลข 5 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไปบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** MAIN MENU ***

[1] Show Line and Transformer Data
[2] Show Bus Data
[3] Correct Line and Transformer Data
[4] Correct Bus Data
[5] Load Flow Solution & Exit Program

Enter choice: _
Specified tolerances for convergence :
Per unit tolerances for the changes in the real bus powers = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าความคลาดเคลื่อนทางกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไปบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
Per unit tolerances for the changes in the reactive bus powers = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าความคลาดเคลื่อนทางกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่บัส แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไปบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
**** Newton-Raphson using Y-BUS ****
    1. First Order Method.
    2. Second Order Method.
    Select calculation methods ( 1 or 2 ) : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน

- ป้อนหมายเลข 1 เมื่อต้องการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธี " First Order Newton-Raphson "
- ป้อนหมายเลข 2 เมื่อต้องการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธี " Second Order Newton-Raphson "

จากนั้นกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ " Press any key to continue. " ให้กดคีย์ใดๆ เพื่อดูผลการคำนวณโหลดโฟลว์ ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง
- กำลังสูญเสียในสายส่ง
- กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านหม้อแปลง
- กำลังสูญเสียในหม้อแปลง
- แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ
- ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ

จากนั้นกดคีย์ใดๆ เพื่อออกจากโปรแกรม

3.2 fromkey จะเลือกรายการนี้ ก็ต่อเมื่อต้องการคำนวณโหลดโฟลว์ของระบบกำลังไฟฟ้าที่ยังไม่มีไฟล์ข้อมูล จำเป็นต้องรับข้อมูลจากแป้นพิมพ์ (Keyboard) ในครั้งแรก จึงให้เลือกรายการนี้โดยพิมพ์หมายเลข 2 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
Number of lines = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนสายส่ง แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจะปรากฏข้อความถัดไป คือ

```
Number of transformers = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนหม้อแปลง แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจะปรากฏข้อความถัดไป คือ

```
Number of lines+transformers = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด (จำนวนสายส่งและหม้อแปลงรวมกัน) แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจะปรากฏข้อความถัดไป คือ

```
Number of buses = _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนบัส แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพเป็นตารางให้ป้อนข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง ตั้งแต่อุปกรณ์ที่ 1 ไปจนถึงอุปกรณ์สุดท้าย โดยมีหน้าจอภาพ เป็นดังนี้

Element No.	Type .	Bus code (p-->q)	Impedance (p.u.)	Line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
1	_					

เมื่อป้อนข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลงเสร็จแล้ว จะต่อด้วยการป้อนข้อมูลของบัส ตั้งแต่บัสที่ 1 ไปจนถึงบัสสุดท้าย โดยมีหน้าจอภาพเป็นดังนี้

*** System MVA Base : 100

*** Specified code for bus types ***

PQ bus = 0 PV bus = 1 Slack bus = 2

Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation MW	Generation MVar	Load MW	Load MVar	Gen. Q limit (MVar) Qmax	Gen. Q limit (MVar) Qmin	p.u. Shunt Susceptance
1	_									

ภายหลังจากการป้อนข้อมูลของบัสสุดท้ายเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลและจะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** MAIN MENU ***

[1] Show Line and Transformer Data
[2] Show Bus Data
[3] Correct Line and Transformer Data
[4] Correct Bus Data
[5] Load Flow Solution & Exit Program

Enter choice: _
```

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละรายการในเมนูหลักได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.1 fromdisk ถ้าต้องการคำนวณโหลดโฟลว์ใหม่ในครั้งต่อไป สามารถเรียก fromdisk ได้ทันที ไม่ต้องเสียเวลาป้อนข้อมูลใหม่ เนื่องจากข้อมูลถูกจัดเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลไว้แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ผลการคำนวณโหลดโฟลว์

ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในบทที่ 4 ทั้งที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม ได้แบ่งออกเป็น ผลการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (FONR) และผลการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันที่รวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สองจากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ (SONR) โดยมีรายละเอียดของผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับแต่ละระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ ดังนี้คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม

1.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

1.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.1

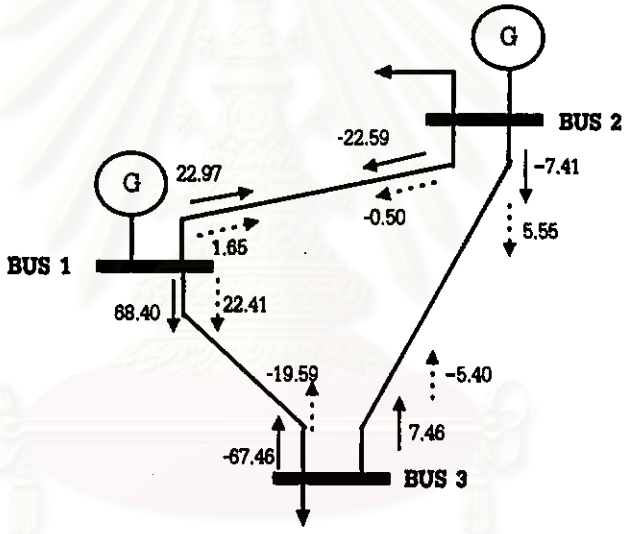
1.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.2 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	91.37	24.06	0.00	0.00
2	1	1.03000	-2.85202	20.00	25.05	50.00	20.00
3	0	1.02476	-1.94700	0.00	0.00	60.00	25.00
*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***							

ตารางที่ จ.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	Mvar	MW	MVar	MW
1-->2	22.9718	1.6506	-22.5869	-0.4959	0.3849
1-->3	68.3996	22.4140	-67.4598	-19.5944	0.9398
2-->3	-7.4133	5.5459	7.4618	-5.4005	0.0485



รูปที่ จ.1 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

1.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

1.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.3

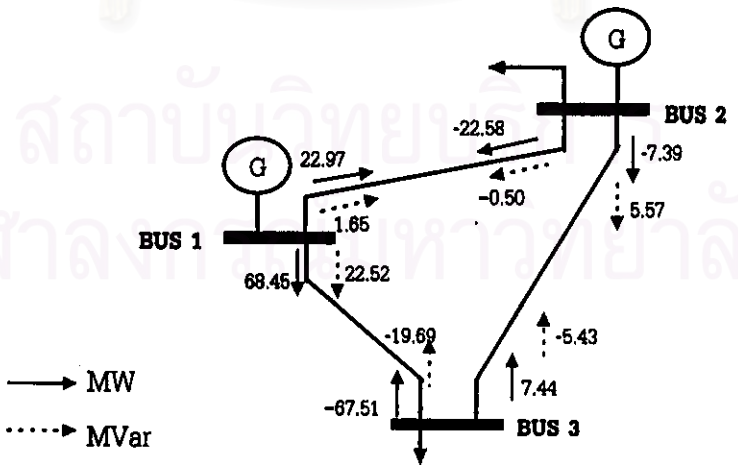
1.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.4 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.2

ตารางที่ จ.3 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	91.42	24.17	0.00	0.00
2	1	1.03000	-2.85143	20.00	25.07	50.00	20.00
3	0	1.02468	-1.94765	0.00	0.00	60.00	25.00
*** Remarks : 0 = PQ bus				1 = PV bus		2 = Slack bus ***	

ตารางที่ จ.4 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	22.9683	1.6544	-22.5835	-0.5001	0.3848
1-->3	68.4511	22.5203	-67.5091	-19.6943	0.9420
2-->3	-7.3904	5.5744	7.4389	-5.4291	0.0485



รูปที่ จ.2 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

2. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม

2.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

2.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.5

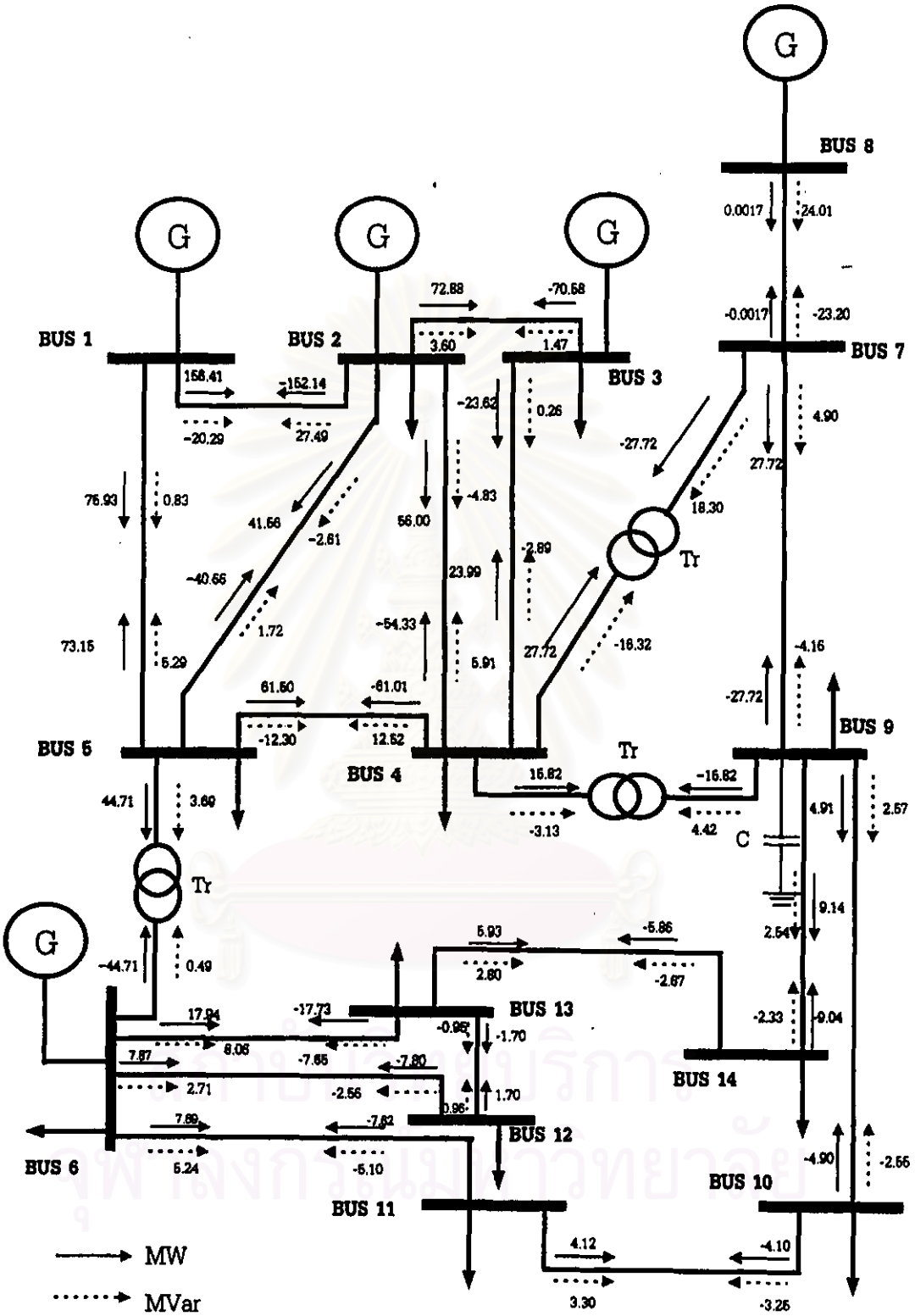
2.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.6 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.3

ตารางที่ จ.5 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.06000	0.00000	232.34	-19.47	0.00	0.00
2	1	1.04500	-4.96698	40.00	36.33	21.70	12.70
3	1	1.01000	-12.66949	0.00	20.73	94.20	19.00
4	0	1.02309	-10.35354	0.00	0.00	47.80	3.90
5	0	1.02597	-8.85496	0.00	0.00	7.60	1.60
6	0	1.09715	-14.20770	0.00	24.00	11.20	7.50
7	0	1.08015	-13.29405	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	1.11798	-13.29390	0.00	24.00	0.00	0.00
9	0	1.07553	-14.79819	0.00	0.00	29.50	16.60
10	0	1.07206	-14.96360	0.00	0.00	9.00	5.80
11	0	1.08104	-14.70604	0.00	0.00	3.50	1.80
12	0	1.08213	-15.01925	0.00	0.00	6.10	1.60
13	0	1.07688	-15.08251	0.00	0.00	13.50	5.80
14	0	1.05853	-15.87884	0.00	0.00	14.90	5.00
*** Remarks : 0 = PQ bus				1 = PV bus		2 = Slack bus ***	

ตารางที่ จ.6 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	156.4108	-20.2941	-152.1393	27.4861	4.2715
1-->5	75.9271	0.8277	-73.1487	5.2881	2.7784
2-->3	72.8772	3.5957	-70.5764	1.4721	2.3008
2-->4	56.0013	-4.8347	-54.3283	5.9115	1.6730
2-->5	41.5614	-2.6125	-40.6602	1.7179	0.9011
3-->4	-23.6233	0.2550	23.9926	-2.8881	0.3693
4-->5	-61.0055	12.5246	61.5024	-12.3008	0.4969
4-->7	27.7186	-16.3200	-27.7186	18.2971	0.0000
4-->9	15.8225	-3.1270	-15.8225	4.4248	0.0000
5-->6	44.7066	3.6946	-44.7066	0.4904	0.0000
6-->11	7.6888	5.2404	-7.6205	-5.0973	0.0683
6-->12	7.8735	2.7055	-7.8027	-2.5582	0.0708
6-->13	17.9423	8.0645	-17.7296	-7.6457	0.2127
7-->8	-0.0017	-23.1984	0.0017	24.0109	0.0000
7-->9	27.7198	4.9036	-27.7198	-4.1564	0.0000
9-->10	4.9069	2.5704	-4.8984	-2.5480	0.0084
9-->14	9.1352	2.5398	-9.0365	-2.3297	0.0988
10-->11	-4.1016	-3.2520	4.1212	3.2978	0.0196
12-->13	1.7034	0.9588	-1.6962	-0.9522	0.0072
13-->14	5.9270	2.7990	-5.8637	-2.6700	0.0633



รูปที่ จ.3 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

2.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

2.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.7

2.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.8 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.4

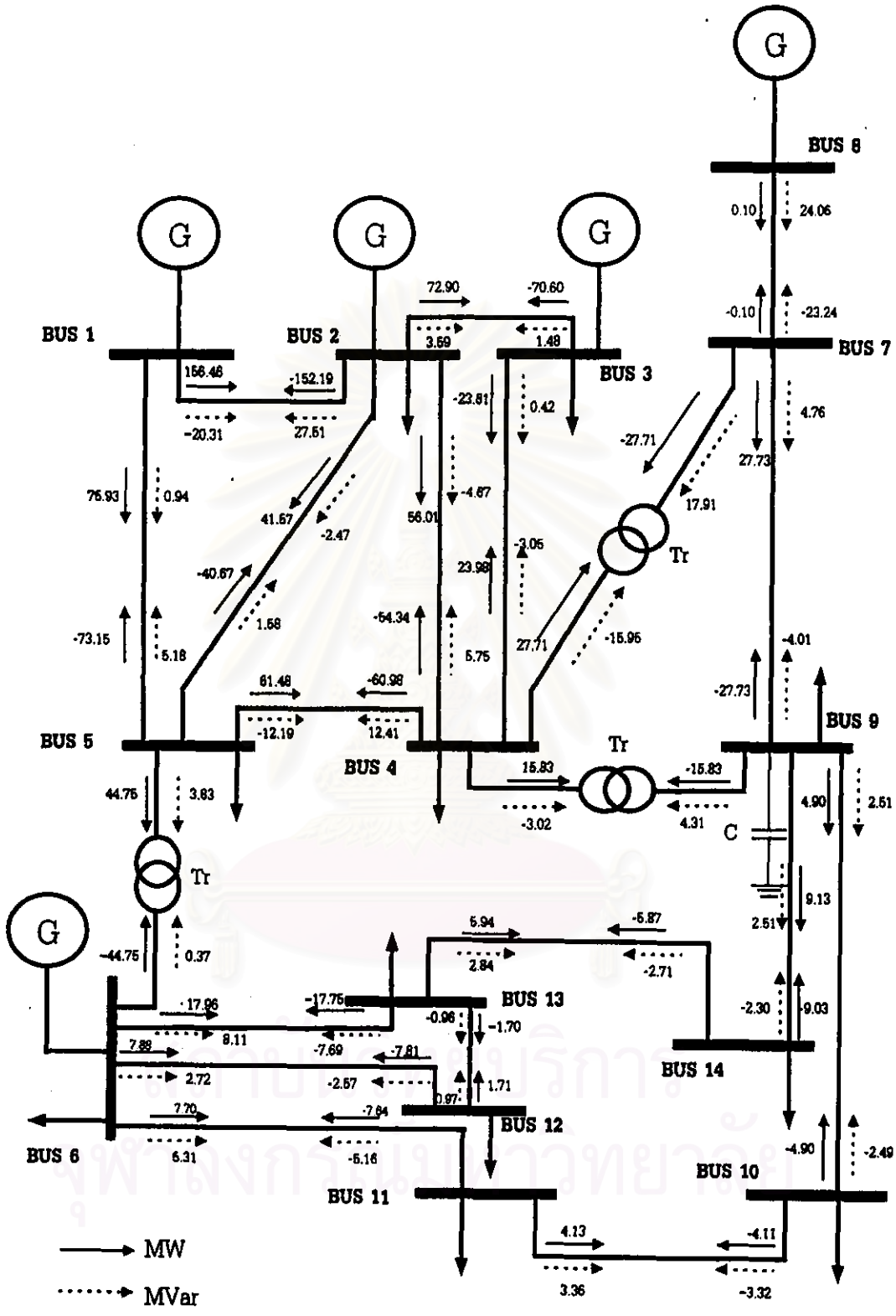
ตารางที่ จ.7 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.06000	0.00000	232.39	-19.36	0.00	0.00
2	1	1.04500	-4.96863	40.00	36.66	21.70	12.70
3	1	1.01000	-12.67365	0.00	20.90	94.20	19.00
4	0	1.02280	-10.35236	0.00	0.00	47.80	3.90
5	0	1.02573	-8.85445	0.00	0.00	7.60	1.60
6	0	1.09659	-14.21637	0.00	24.00	11.20	7.50
7	0	1.07913	-13.29577	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	1.11707	-13.28780	0.00	24.00	0.00	0.00
9	0	1.07465	-14.80337	0.00	0.00	29.50	16.60
10	0	1.07123	-14.96982	0.00	0.00	9.00	5.80
11	0	1.08033	-14.71369	0.00	0.00	3.50	1.80
12	0	1.08153	-15.02920	0.00	0.00	6.10	1.60
13	0	1.07625	-15.09196	0.00	0.00	13.50	5.80
14	0	1.05774	-15.88758	0.00	0.00	14.90	5.00

*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.8 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	156.4607	-20.3055	-152.1865	27.5060	4.2742
1-->5	75.9322	0.9403	-73.1531	5.1798	2.7791
2-->3	72.8999	3.5939	-70.5977	1.4798	2.3022
2-->4	56.0096	-4.6707	-54.3365	5.7487	1.6730
2-->5	41.5742	-2.4721	-40.6726	1.5798	0.9016
3-->4	-23.6079	0.4203	23.9772	-3.0524	0.3692
4-->5	-60.9788	12.4116	61.4751	-12.1888	0.4964
4-->7	27.7120	-15.9532	-27.7120	17.9081	0.0000
4-->9	15.8277	-3.0155	-15.8277	4.3114	0.0000
5-->6	44.7497	3.8291	-44.7497	0.3680	0.0000
6-->11	7.7045	5.3080	-7.6353	-5.1632	0.0691
6-->12	7.8826	2.7173	-7.8115	-2.5694	0.0711
6-->13	17.9607	8.1064	-17.7471	-7.6858	0.2136
7-->8	-0.0952	-23.2409	0.0952	24.0579	0.0000
7-->9	27.7348	4.7595	-27.7348	-4.0114	0.0000
9-->10	4.9037	2.5128	-4.8953	-2.4906	0.0084
9-->14	9.1328	2.5056	-9.0341	-2.2956	0.0987
10-->11	-4.1099	-3.3157	4.1298	3.3624	0.0199
12-->13	1.7069	0.9673	-1.6997	-0.9608	0.0073
13-->14	5.9380	2.8421	-5.8741	-2.7119	0.0640



รูปที่ จ.4 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

3. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม

3.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

3.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.9

3.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.10 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.5

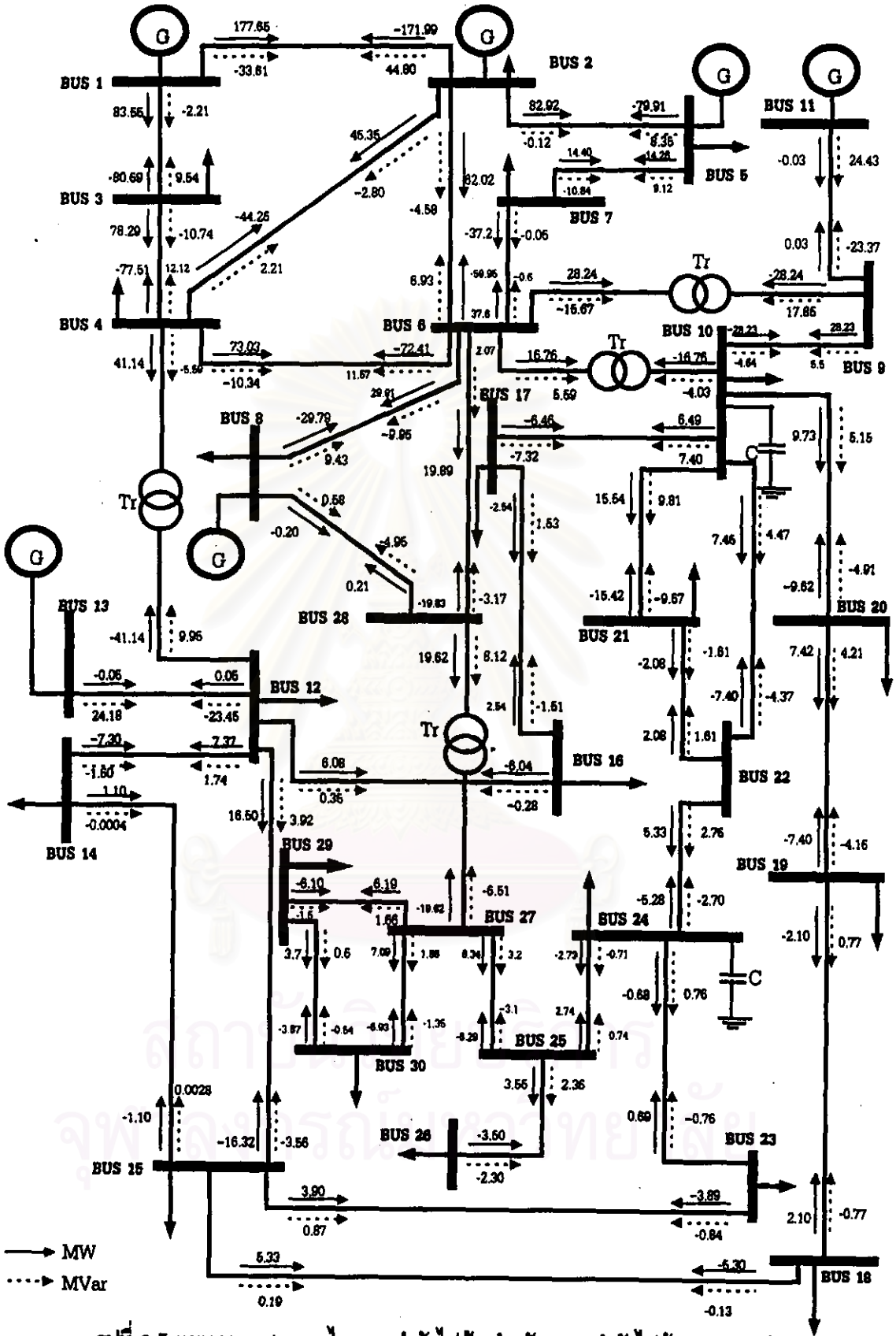
ตารางที่ จ.9 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	261.20	-35.82	0.00	0.00
2	0	1.03943	-5.68128	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	1.02461	-8.26856	0.00	0.00	2.40	1.20
4	0	1.01878	-9.97213	0.00	0.00	7.60	1.60
5	1	1.01000	-14.63647	0.00	36.47	94.20	19.00
6	0	1.01473	-11.71315	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0	1.00505	-13.43901	0.00	0.00	22.80	10.90
8	0	1.01521	-12.47513	0.00	40.00	30.00	30.00
9	0	1.03354	-14.97334	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0	1.02813	-16.64796	0.00	0.00	5.80	2.00
11	0	1.08057	-14.97666	0.00	24.00	0.00	0.00
12	0	1.02540	-15.83340	0.00	0.00	11.20	7.50
13	0	1.05742	-15.83745	0.00	24.00	0.00	0.00
14	0	1.01235	-16.75670	0.00	0.00	6.20	1.60
15	0	1.00993	-16.88070	0.00	0.00	8.20	2.50
16	0	1.01918	-16.47706	0.00	0.00	3.50	1.80
17	0	1.02001	-16.81672	0.00	0.00	9.00	5.80
18	0	1.00393	-17.52725	0.00	0.00	3.20	0.90
19	0	1.00359	-17.70951	0.00	0.00	9.50	3.40
20	0	1.00892	-17.50493	0.00	0.00	2.20	0.70
21	0	1.01576	-17.09903	0.00	0.00	17.50	11.20
22	0	1.01637	-17.08219	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0	1.00436	-17.27667	0.00	0.00	3.20	1.60
24	0	1.00550	-17.43863	0.00	0.00	8.70	6.70
25	0	1.01297	-17.00860	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0	0.99522	-17.43246	0.00	0.00	3.50	2.30
27	0	1.02619	-16.47193	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0	1.00987	-12.35346	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0	1.00643	-17.69507	0.00	0.00	2.40	0.90
30	0	0.99501	-18.57274	0.00	0.00	10.60	1.90

***Remarks : 0 =PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.10 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	177.6493	-33.6138	-171.9891	44.8020	5.6602
1-->3	83.5524	-2.2072	-80.6903	9.5433	2.8621
2-->4	45.3464	-2.8024	-44.2612	2.2116	1.0852
2-->5	82.9202	-0.1158	-79.9144	8.3537	3.0058
2-->6	62.0222	-4.5845	-59.9501	6.9263	2.0721
3-->4	78.2911	-10.7431	-77.5071	12.1174	0.7840
4-->6	73.0291	-10.3381	-72.4064	11.5739	0.6227
4-->12	41.1414	-5.5899	-41.1414	9.9522	0.0000
5-->7	-14.2582	9.1211	14.3964	-10.8434	0.1382
6-->7	37.5617	-0.5558	-37.1958	-0.0544	0.3659
6-->8	29.9077	-9.9517	-29.7930	9.4261	0.1147
6-->9	28.2372	-15.6726	-28.2372	17.8452	0.0000
6-->10	16.7631	5.5935	-16.7631	-4.0300	0.0000
6-->28	19.8918	2.0728	-19.8257	-3.1704	0.0661
8-->28	-0.2041	0.5755	0.2089	-4.9485	0.0048
9-->10	28.2304	5.4964	-28.2304	-4.6446	0.0000
9-->11	0.0311	-23.3660	-0.0311	24.4291	0.0000
10-->17	6.4920	7.3977	-6.4623	-7.3202	0.0297
10-->20	9.7289	5.1488	-9.6217	-4.9092	0.1072
10-->21	15.5355	9.8118	-15.4244	-9.5726	0.1111
10-->22	7.4532	4.4745	-7.4012	-4.3673	0.0520
12-->13	0.0548	-23.4509	-0.0548	24.1832	0.0000
12-->14	7.3718	1.7361	-7.3046	-1.5965	0.0672
12-->15	16.5034	3.9157	-16.3223	-3.5589	0.1811
12-->16	6.0763	0.3530	-6.0430	-0.2830	0.0333
14-->15	1.1075	-0.0004	-1.1049	0.0028	0.0026
15-->18	5.3302	0.1920	-5.3003	-0.1310	0.0299
15-->23	3.9006	0.8692	-3.8850	-0.8376	0.0156
16-->17	2.5440	-1.5142	-2.5371	1.5305	0.0069
18-->19	2.1017	-0.7662	-2.0985	0.7726	0.0032
19-->20	-7.3981	-4.1628	7.4224	4.2114	0.0243
21-->22	-2.0755	-1.6059	2.0763	1.6075	0.0008
22-->24	5.3250	2.7600	-5.2849	-2.6977	0.0401
23-->24	0.6859	-0.7596	-0.6845	0.7624	0.0014
24-->25	-2.7287	-0.7100	2.7435	0.7359	0.0148
25-->26	3.5451	2.3638	-3.5001	-2.2966	0.0450
25-->27	-6.2886	-3.0997	6.3410	3.1997	0.0524
27-->29	6.1884	1.6626	-6.1027	-1.5007	0.0857
27-->30	7.0899	1.6555	-6.9287	-1.3521	0.1612
28-->27	19.6165	8.1166	-19.6165	-6.5101	0.0000
29-->30	3.7027	0.6024	-3.6694	-0.5395	0.0333



รูปที่ จ.5 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

3.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

3.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.11

3.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.12 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.6

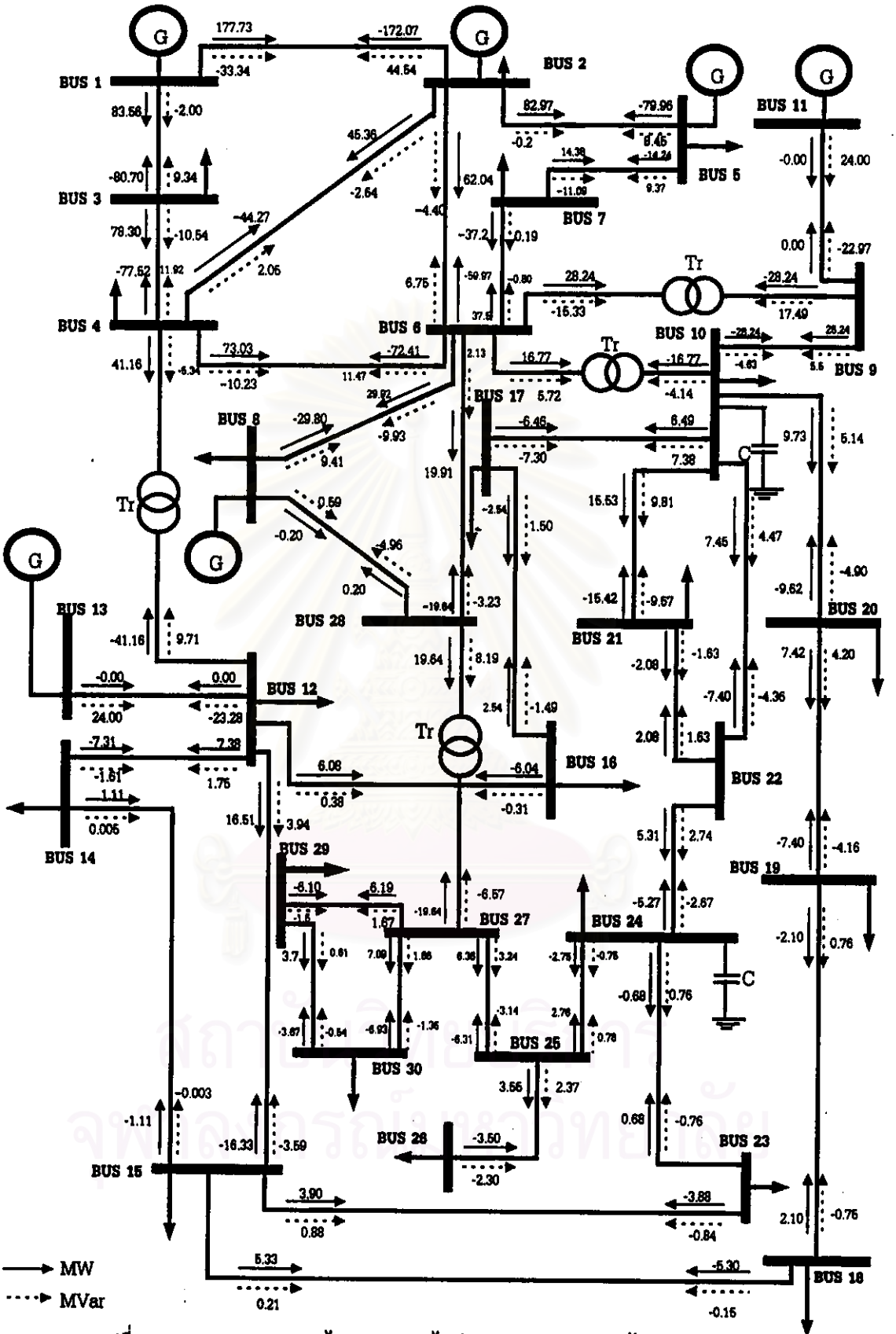
ตารางที่ จ.11 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	261.30	-35.34	0.00	0.00
2	0	1.03927	-5.68195	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	1.02424	-8.26783	0.00	0.00	2.40	1.20
4	0	1.01834	-9.97154	0.00	0.00	7.60	1.60
5	1	1.01000	-14.64652	0.00	36.83	94.20	19.00
6	0	1.01424	-11.71349	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0	1.00475	-13.44352	0.00	0.00	22.80	10.90
8	0	1.01471	-12.47627	0.00	40.00	30.00	30.00
9	0	1.03237	-14.97879	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0	1.02697	-16.65752	0.00	0.00	5.80	2.00
11	0	1.07865	-14.97879	0.00	24.00	0.00	0.00
12	0	1.02435	-15.84408	0.00	0.00	11.20	7.50
13	0	1.05616	-15.84408	0.00	24.00	0.00	0.00
14	0	1.01126	-16.76921	0.00	0.00	6.20	1.60
15	0	1.00883	-16.89285	0.00	0.00	8.20	2.50
16	0	1.01807	-16.48773	0.00	0.00	3.50	1.80
17	0	1.01885	-16.82697	0.00	0.00	9.00	5.80
18	0	1.00278	-17.54003	0.00	0.00	3.20	0.90
19	0	1.00241	-17.72223	0.00	0.00	9.50	3.40
20	0	1.00774	-17.51697	0.00	0.00	2.20	0.70
21	0	1.01458	-17.10936	0.00	0.00	17.50	11.20
22	0	1.01520	-17.09252	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0	1.00323	-17.28891	0.00	0.00	3.20	1.60
24	0	1.00437	-17.45025	0.00	0.00	8.70	6.70
25	0	1.01201	-17.02037	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0	0.99424	-17.44455	0.00	0.00	3.50	2.30
27	0	1.02535	-16.48340	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0	1.00933	-12.35450	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0	1.00555	-17.70821	0.00	0.00	2.40	0.90
30	0	0.99410	-18.58723	0.00	0.00	10.60	1.90

***Remarks: 0=PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.12 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	Mvar	MW	MVar	MW
1-->2	177.7327	-33.3421	-172.0702	44.5380	5.6625
1-->3	83.5646	-2.0028	-80.7017	9.3439	2.8629
2-->4	45.3590	-2.6391	-44.2730	2.0531	1.0860
2-->5	82.9720	-0.2000	-79.9617	8.4578	3.0103
2-->6	62.0392	-4.3988	-59.9657	6.7471	2.0735
3-->4	78.3017	-10.5436	-77.5174	11.9194	0.7843
4-->6	73.0303	-10.2291	-72.4074	11.4668	0.6229
4-->12	41.1599	-5.3434	-41.1599	9.7065	0.0000
5-->7	-14.2383	9.3702	14.3786	-11.0866	0.1403
6-->7	37.5446	-0.7953	-37.1787	0.1865	0.3659
6-->8	29.9153	-9.9327	-29.8005	9.4084	0.1148
6-->9	28.2356	-15.3344	-28.2356	17.4871	0.0000
6-->10	16.7672	5.7156	-16.7672	-4.1430	0.0000
6-->28	19.9104	2.1340	-19.8440	-3.2294	0.0664
8-->28	-0.1995	0.5916	0.2044	-4.9599	0.0049
9-->10	28.2356	5.4832	-28.2356	-4.6293	0.0000
9-->11	0.0000	-22.9703	0.0000	24.0000	0.0000
10-->17	6.4927	7.3823	-6.4630	-7.3048	0.0297
10-->20	9.7315	5.1447	-9.6240	-4.9046	0.1075
10-->21	15.5294	9.8127	-15.4181	-9.5730	0.1113
10-->22	7.4491	4.4716	-7.3971	-4.3643	0.0520
12-->13	0.0000	-23.2771	0.0000	24.0000	0.0000
12-->14	7.3753	1.7451	-7.3079	-1.6050	0.0674
12-->15	16.5073	3.9440	-16.3256	-3.5860	0.1817
12-->16	6.0773	0.3815	-6.0439	-0.3113	0.0334
14-->15	1.1079	0.0050	-1.1053	-0.0026	0.0026
15-->18	5.3334	0.2120	-5.3035	-0.1508	0.0299
15-->23	3.8974	0.8765	-3.8817	-0.8449	0.0157
16-->17	2.5439	-1.4887	-2.5370	1.5049	0.0069
18-->19	2.1035	-0.7491	-2.1003	0.7555	0.0032
19-->20	-7.3997	-4.1558	7.4241	4.2045	0.0244
21-->22	-2.0821	-1.6270	2.0829	1.6286	0.0008
22-->24	5.3140	2.7357	-5.2742	-2.6737	0.0398
23-->24	0.6817	-0.7551	-0.6804	0.7579	0.0013
24-->25	-2.7455	-0.7492	2.7606	0.7756	0.0151
25-->26	3.5452	2.3674	-3.5000	-2.3000	0.0452
25-->27	-6.3058	-3.1431	6.3587	3.2442	0.0529
27-->29	6.1895	1.6679	-6.1036	-1.5056	0.0859
27-->30	7.0914	1.6617	-6.9298	-1.3576	0.1616
28-->27	19.6396	8.1893	-19.6396	-6.5737	0.0000
29-->30	3.7036	0.6056	-3.6702	-0.5424	0.0334



รูปที่ จ.6 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

4. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม

4.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

4.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.13

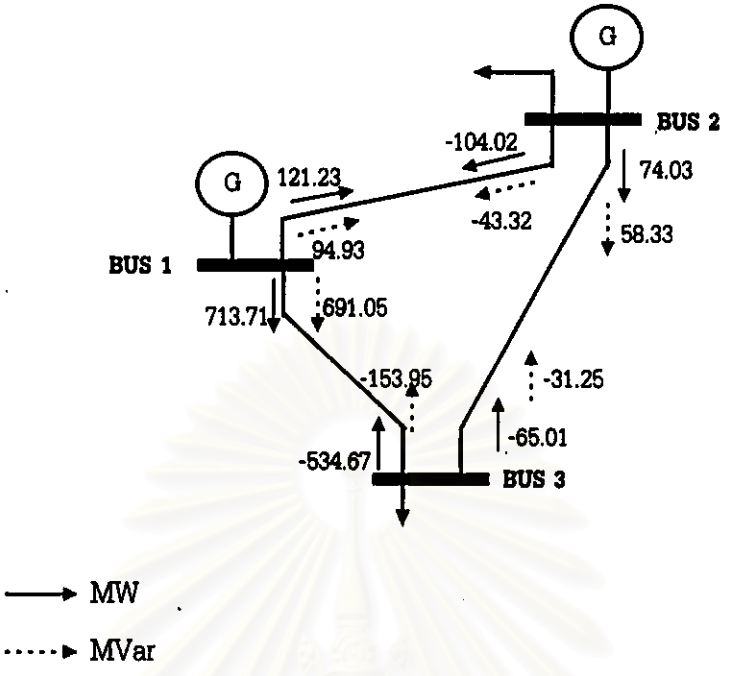
4.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.14 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.7

ตารางที่ จ.13 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	Mvar
1	2	1.05000	0.00000	834.94	785.99	0.00	0.00
2	0	0.76843	-15.45394	20.00	35.00	50.00	20.00
3	0	0.58807	-28.01358	0.00	0.00	600.00	186.18
***Remarks:0=PQ bus				1 = PV bus			2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.14 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	121.2263	94.9336	-104.0230	-43.3239	17.2033
1-->3	713.7090	691.0517	-534.6735	-153.9453	179.0355
2-->3	74.0341	58.3258	-65.0080	-31.2474	9.0261



รูปที่ จ.7 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

4.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

4.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.15

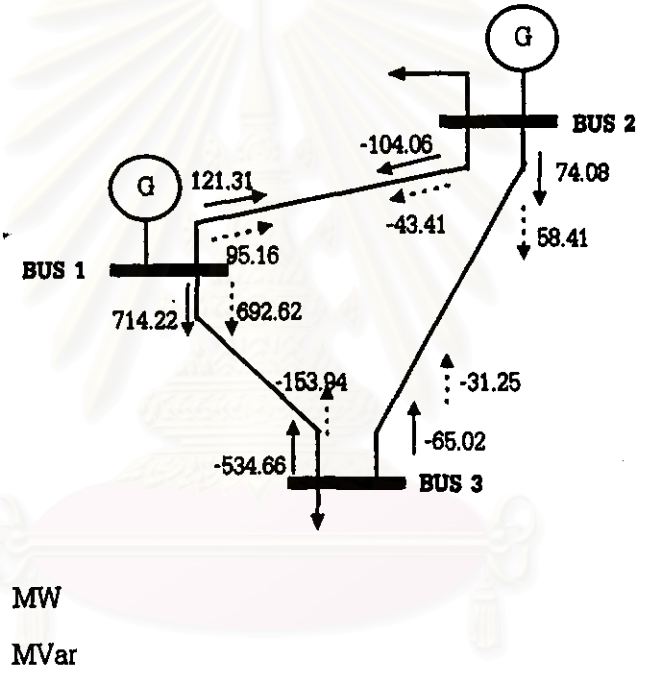
4.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.16 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.8

ตารางที่ จ.15 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	835.53	787.78	0.00	0.00
2	0	0.76787	-15.46759	20.00	35.00	50.00	20.00
3	0	0.58719	-28.05850	0.00	0.00	600.00	186.18
*** Remarks : 0 = PQ bus				1 = PV bus		2 = Slack bus ***	

ตารางที่ จ.16 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	121.3140	95.1594	-104.0642	-43.4099	17.2498
1-->3	714.2192	692.6207	-534.6578	-153.9363	179.5614
2-->3	74.0753	58.4123	-65.0197	-31.2453	9.0556



รูปที่ จ.8 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

5. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม

5.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR ไม่สามารถหาคำตอบที่ลู่เข้าได้ตามผลการวิเคราะห์ในบทที่ 4 จึงไม่มีผลการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีดังกล่าว

5.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

5.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.17

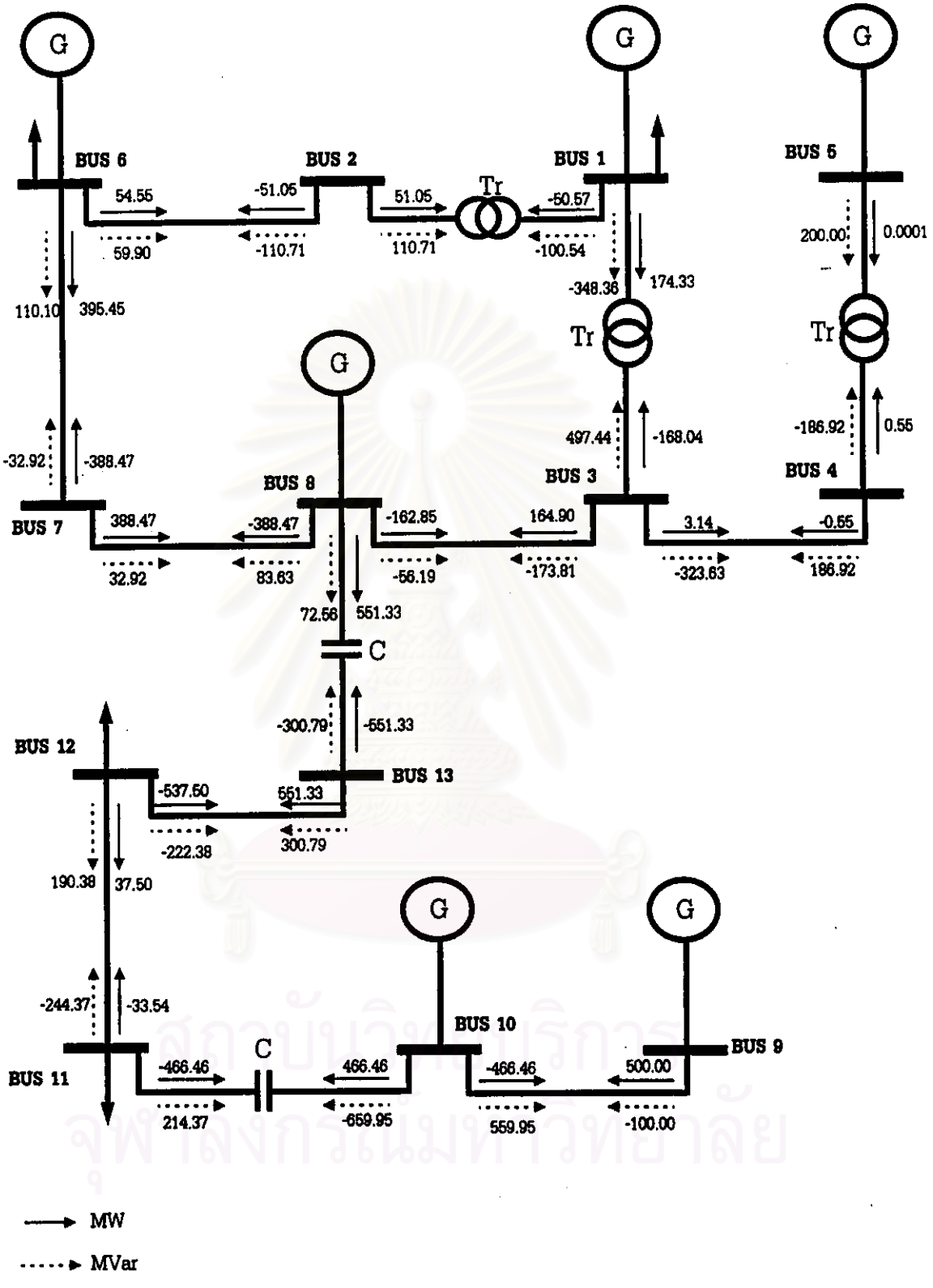
5.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.18 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.9

ตารางที่ จ.17 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.08000	0.00000	1773.77	111.10	1650.00	560.00
2	0	1.11427	1.94807	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0	1.32335	-7.91996	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0	1.59047	-8.54019	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0	1.87193	-8.70955	0.00	200.00	0.00	0.00
6	0	1.47703	8.77847	500.00	200.00	50.00	30.00
7	0	1.39865	-2.86315	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	1.42558	-19.85560	0.00	100.00	0.00	0.00
9	0	0.88923	-2.06734	500.00	-100.00	0.00	0.00
10	0	1.48279	-52.42632	0.00	-100.00	0.00	0.00
11	0	0.94191	-22.36195	0.00	0.00	500.00	30.00
12	0	1.29793	-20.54752	0.00	0.00	500.00	32.00
13	0	1.61007	1.26297	0.00	0.00	0.00	0.00
*** Remarks : 0 = PQ bus			1 = PV bus			2 = Slack bus ***	

ตารางที่ จ.18 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	-50.5668	-100.5389	51.0457	110.7144	0.4789
1-->3	174.3334	-348.3635	-168.0366	497.4418	6.2968
2-->6	-51.0457	-110.7144	54.5452	59.8974	3.4995
3-->4	3.1366	-323.6286	-0.5525	186.9201	2.5841
3-->8	164.9	-173.8134	-162.8545	-56.1854	2.0455
5-->4	0.0001	200.0007	0.5524	-186.9204	0.5525
6-->7	395.4548	110.1027	-388.4711	-32.9185	6.9837
7-->8	388.4711	32.9183	-388.4711	83.6277	0.0000
8-->13	551.3255	72.5578	-551.3254	-300.7916	0.0001
9-->10	499.9998	-99.9999	-466.4576	559.9462	33.5422
10-->11	466.4575	-659.9461	-466.4572	214.3739	0.0003
11-->12	-33.5426	-244.374	37.5022	190.3846	3.9596
12-->13	-537.5021	-222.3845	551.3254	300.7915	13.8233



รูปที่ จ.9 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

6. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม

6.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

6.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.19

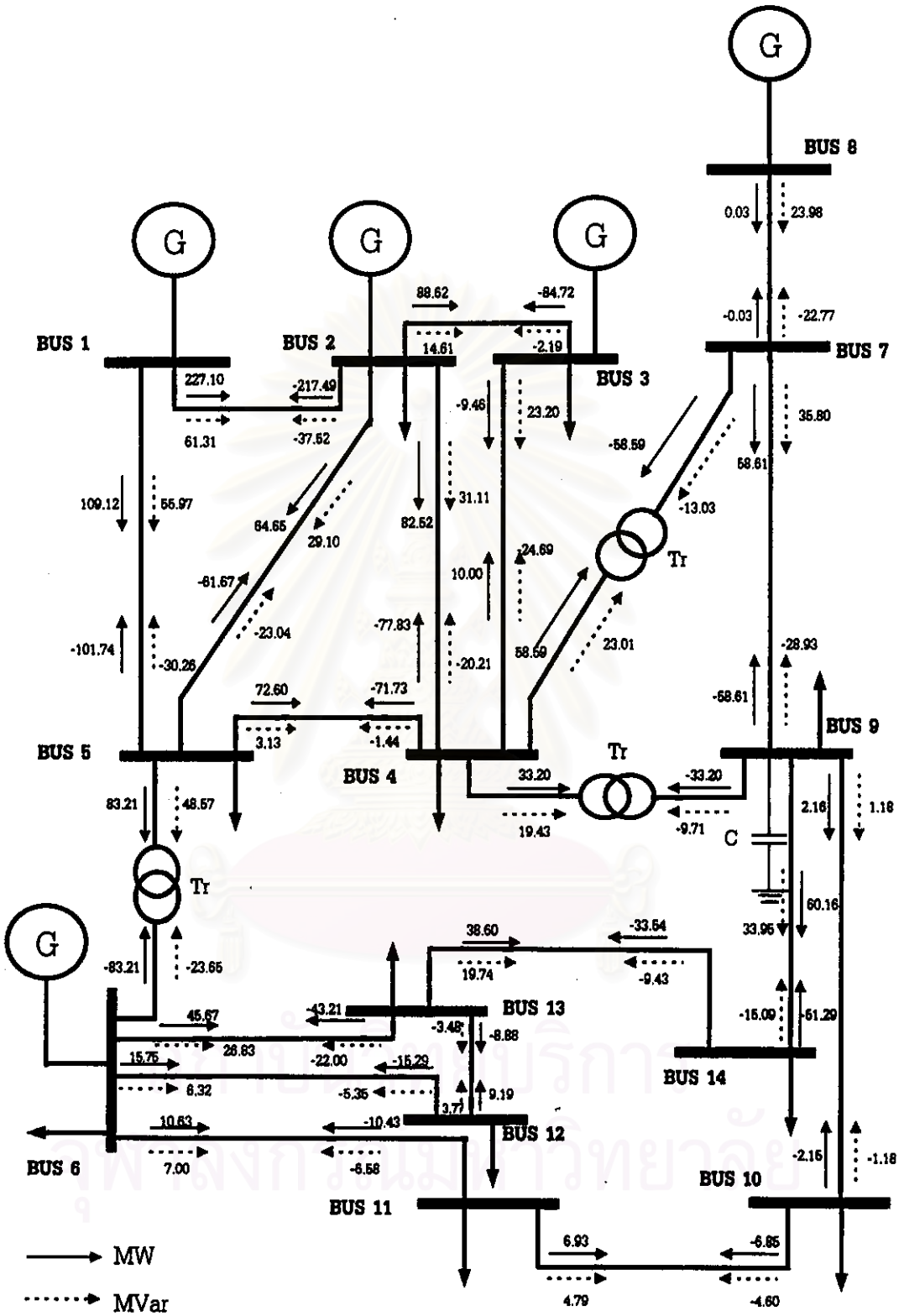
6.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.20 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.10

ตารางที่ จ.19 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.06000	0.00000	336.22	117.28	0.00	0.00
2	0	0.98931	-6.67619	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	0.92926	-17.17858	0.00	40.00	94.20	19.00
4	0	0.89133	-14.91426	0.00	0.00	47.80	3.90
5	0	0.90314	-12.77267	0.00	0.00	7.60	1.60
6	0	0.87007	-27.17463	0.00	24.00	11.20	7.50
7	0	0.86905	-23.81262	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	0.91520	-23.80931	0.00	24.00	0.00	0.00
9	0	0.82707	-28.95939	0.00	0.00	29.50	16.60
10	0	0.82503	-29.08076	0.00	0.00	9.00	5.80
11	0	0.84262	-28.30754	0.00	0.00	3.50	1.80
12	0	0.83006	-29.75628	0.00	0.00	6.10	1.60
13	0	0.79662	-30.62715	0.00	0.00	13.50	5.80
14	0	0.64016	-42.00426	0.00	0.00	85.00	25.52
*** Remarks : 0 = PQ bus			1 = PV bus			2 = Slack bus ***	

ตารางที่ จ.20 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	227.0950	61.3051	-217.4872	-37.5215	9.6078
1-->5	109.1212	55.9708	-101.7364	-30.2566	7.3848
2-->3	88.6217	14.6083	-84.7163	-2.1893	3.9054
2-->4	82.5167	31.1127	-77.8297	-20.2071	4.6870
2-->5	64.6476	29.0969	-61.6652	-23.0415	2.9824
3-->4	-9.4580	23.2021	10.0007	-24.6853	0.5427
4-->5	-71.7303	-1.4352	72.5951	3.1323	0.8648
4-->7	58.5853	23.0052	-58.5853	-13.0315	0.0000
4-->9	33.1959	19.4332	-33.1959	-9.7071	0.0000
5-->6	83.2094	48.5674	-83.2094	-23.6544	0.0000
6-->11	10.6319	7.0030	-10.4285	-6.5772	0.2034
6-->12	15.7547	6.3230	-15.2868	-5.3491	0.4679
6-->13	45.6658	26.8309	-43.2145	-22.0035	2.4513
7-->8	-0.0261	-22.7700	0.0261	23.9792	0.0000
7-->9	58.6114	35.8013	-58.6114	-28.9305	0.0000
9-->10	2.1557	1.1824	-2.1528	-1.1750	0.0029
9-->14	60.1575	33.9459	-51.2914	-15.0866	8.8661
10-->11	-6.8473	-4.5952	6.9293	4.7871	0.0820
12-->13	9.1915	3.7669	-8.8751	-3.4807	0.3164
13-->14	38.5991	19.7358	-33.5370	-9.4291	5.0621



รูปที่ จ.10 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

6.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

6.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.21

6.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.22 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.11

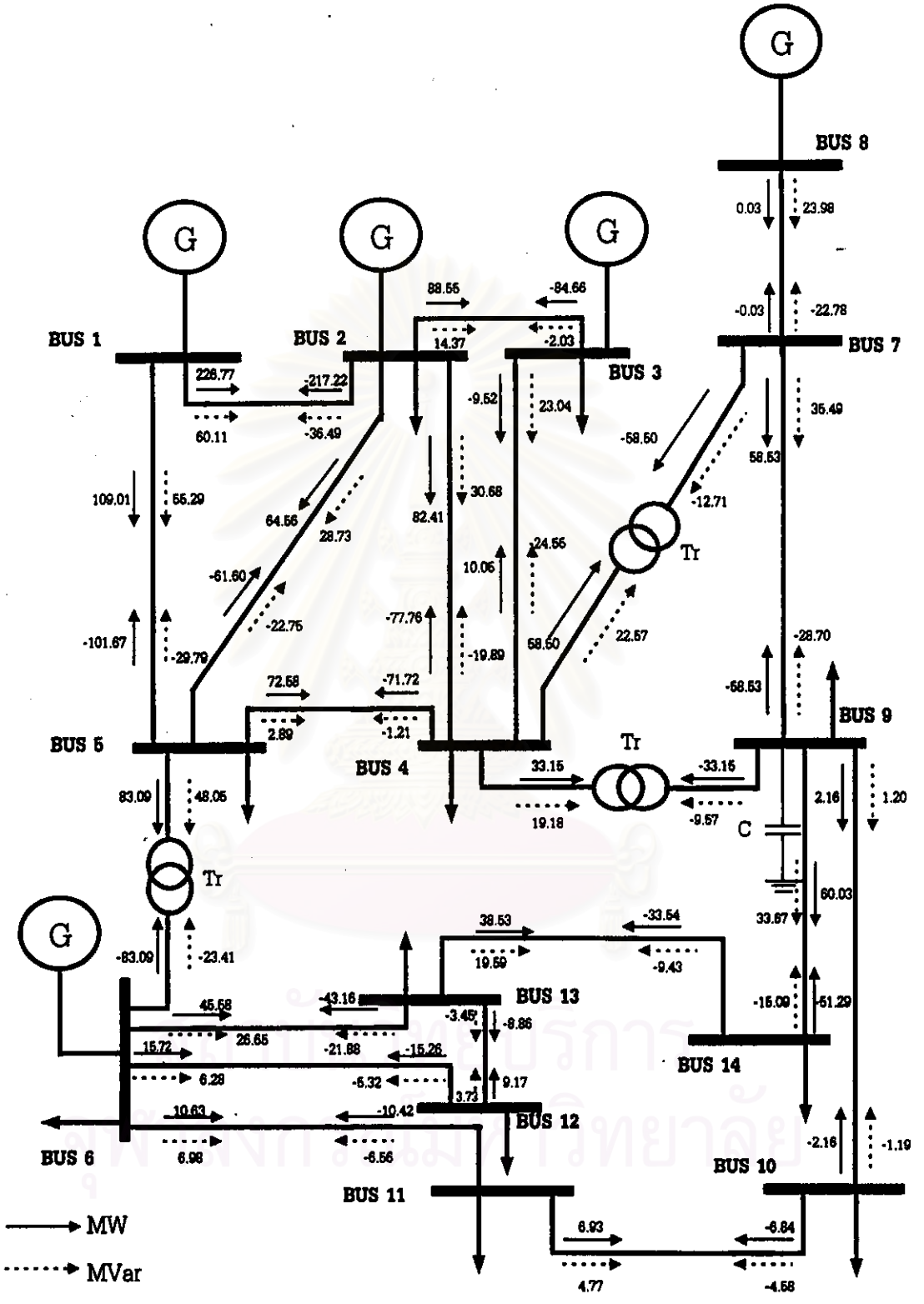
ตารางที่ จ.21 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.06000	0.00000	335.78	115.40	0.00	0.00
2	0	0.99004	-6.67357	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	0.93049	-17.15181	0.00	40.00	94.20	19.00
4	0	0.89294	-14.89495	0.00	0.00	47.80	3.90
5	0	0.90462	-12.75875	0.00	0.00	7.60	1.60
6	0	0.87293	-27.06771	0.00	24.00	11.20	7.50
7	0	0.87168	-23.73719	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	0.91771	-23.73391	0.00	24.00	0.00	0.00
9	0	0.83019	-28.84158	0.00	0.00	29.50	16.60
10	0	0.82815	-28.96182	0.00	0.00	9.00	5.80
11	0	0.84562	-28.19363	0.00	0.00	3.50	1.80
12	0	0.83322	-29.62933	0.00	0.00	6.10	1.60
13	0	0.80005	-30.49511	0.00	0.00	13.50	5.80
14	0	0.64490	-41.73879	0.00	0.00	85.00	25.52

*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.22 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	226.7743	60.1103	-217.2179	-36.4872	9.5564
1-->5	109.0096	55.2907	-101.6748	-29.7890	7.3348
2-->3	88.5478	14.3731	-84.6581	-2.0284	3.8897
2-->4	82.4128	30.6817	-77.7594	-19.8863	4.6534
2-->5	64.5562	28.7291	-61.5980	-22.7546	2.9582
3-->4	-9.5162	23.0412	10.0524	-24.5501	0.5362
4-->5	-71.7232	-1.2085	72.5846	2.8916	0.8614
4-->7	58.5003	22.5719	-58.5003	-12.7086	0.0000
4-->9	33.1519	19.1836	-33.1519	-9.5748	0.0000
5-->6	83.0909	48.0537	-83.0909	-23.4074	0.0000
6-->11	10.6262	6.9810	-10.4247	-6.5591	0.2015
6-->12	15.7247	6.2792	-15.2623	-5.3167	0.4624
6-->13	45.5829	26.6498	-43.1626	-21.8835	2.4203
7-->8	-0.0260	-22.7766	0.0260	23.9792	0.0000
7-->9	58.5263	35.4850	-58.5263	-28.7027	0.0000
9-->10	2.1586	1.1986	-2.1558	-1.1911	0.0028
9-->14	60.0254	33.6679	-51.2899	-15.0863	8.7355
10-->11	-6.8444	-4.5790	6.9255	4.7689	0.0811
12-->13	9.1670	3.7345	-8.8552	-3.4524	0.3118
13-->14	38.5273	19.5875	-33.5388	-9.4307	4.9885



รูปที่ จ.11 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

7. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม

7.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

7.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.23

7.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.24 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.12

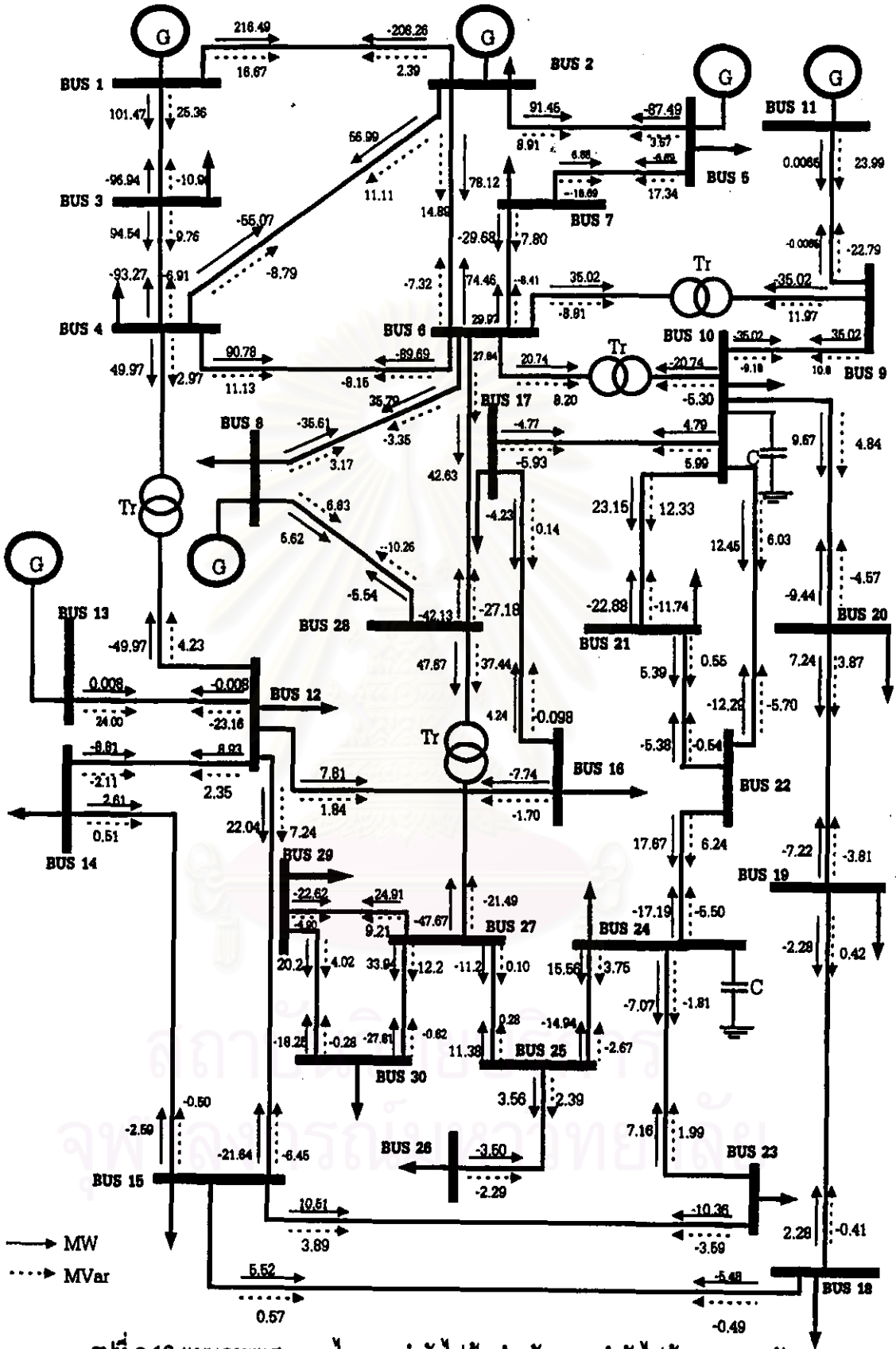
ตารางที่ จ.23 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	317.96	42.02	0.00	0.00
2	0	1.00628	-6.56062	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	0.97210	-9.89762	0.00	0.00	2.40	1.20
4	0	0.95596	-12.02457	0.00	0.00	7.60	1.60
5	0	0.95779	-17.09058	0.00	40.00	94.20	19.00
6	0	0.94042	-14.33282	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0	0.93902	-16.06031	0.00	0.00	22.80	10.90
8	0	0.93732	-15.33285	0.00	40.00	30.00	30.00
9	0	0.94912	-19.08614	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0	0.93746	-21.56775	0.00	0.00	5.80	2.00
11	0	0.99908	-19.08532	0.00	24.00	0.00	0.00
12	0	0.94548	-20.26612	0.00	0.00	11.20	7.50
13	0	0.97977	-20.26543	0.00	24.00	0.00	0.00
14	0	0.92773	-21.56903	0.00	0.00	6.20	1.60
15	0	0.92042	-21.84271	0.00	0.00	8.20	2.50
16	0	0.93391	-21.16037	0.00	0.00	3.50	1.80
17	0	0.93041	-21.70640	0.00	0.00	9.00	5.80
18	0	0.91274	-22.62439	0.00	0.00	3.20	0.90
19	0	0.91173	-22.84569	0.00	0.00	9.50	3.40
20	0	0.91727	-22.59825	0.00	0.00	2.20	0.70
21	0	0.91912	-22.43594	0.00	0.00	17.50	11.20
22	0	0.91830	-22.51787	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0	0.90067	-23.04114	0.00	0.00	3.20	1.60
24	0	0.88441	-24.24278	0.00	0.00	8.70	6.70
25	0	0.83879	-27.65586	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0	0.81721	-28.28065	0.00	0.00	3.50	2.30
27	0	0.82373	-29.59991	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0	0.91493	-15.71362	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0	0.71798	-37.68563	0.00	0.00	2.40	0.90
30	0	0.63537	-48.04654	0.00	0.00	46.37	1.90

*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.24 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	Mvar	MW	MVar	MW
1-->2	216.4859	16.6651	-208.2575	2.3936	8.2284
1-->3	101.4709	25.3570	-96.9372	-10.9576	4.5337
2-->4	56.9895	11.1069	-55.0666	-8.7918	1.9229
2-->5	91.4475	8.9126	-87.4928	3.6687	3.9547
2-->6	78.1200	14.8855	-74.4569	-7.3175	3.6631
3-->4	94.5375	9.7581	-93.2747	-6.9130	1.2628
4-->6	90.7766	11.1319	-89.6863	-8.1476	1.0903
4-->12	49.9657	2.9738	-49.9657	4.2269	0.0000
5-->7	-6.6942	17.3385	6.8841	-18.6947	0.1899
6-->7	29.9699	-8.4135	-29.6810	7.7995	0.2889
6-->8	35.7866	-3.3474	-35.6117	3.1664	0.1749
6-->9	35.0170	-8.8119	-35.0170	11.9741	0.0000
6-->10	20.7385	8.1957	-20.7385	-5.2972	0.0000
6-->28	42.6313	27.8422	-42.1297	-27.1833	0.5016
8-->28	5.6209	6.8348	-5.5431	-10.2615	0.0778
9-->10	35.0235	10.8205	-35.0235	-9.1797	0.0000
9-->11	-0.0065	-22.7947	0.0065	23.9944	0.0000
10-->17	4.7938	5.9880	-4.7721	-5.9314	0.0217
10-->20	9.5669	4.8395	-9.4445	-4.5661	0.1224
10-->21	23.1574	12.3253	-22.8849	-11.7388	0.2725
10-->22	12.4451	6.0252	-12.2869	-5.6991	0.1582
12-->13	-0.0080	-23.1554	0.0080	23.9951	0.0000
12-->14	8.9261	2.3535	-8.8087	-2.1095	0.1174
12-->15	22.0354	7.2373	-21.6370	-6.4526	0.3984
12-->16	7.8123	1.8436	-7.7442	-1.7004	0.0681
14-->15	2.6098	0.5127	-2.5917	-0.4963	0.0181
15-->18	5.5230	0.5671	-5.4841	-0.4876	0.0389
15-->23	10.5074	3.8865	-10.3592	-3.5872	0.1482
16-->17	4.2445	-0.0976	-4.2275	0.1375	0.0170
18-->19	2.2847	-0.4105	-2.2806	0.4188	0.0041
19-->20	-7.2177	-3.8129	7.2449	3.8674	0.0272
21-->22	5.3860	0.5529	-5.3820	-0.5448	0.0040
22-->24	17.6687	6.2438	-17.1898	-5.4984	0.4789
23-->24	7.1598	1.9900	-7.0700	-1.8062	0.0898
24-->25	15.5605	3.7459	-14.9431	-2.6678	0.6174
25-->26	3.5649	2.3868	-3.4983	-2.2873	0.0666
25-->27	11.3782	0.2810	-11.1770	0.1032	0.2012
27-->29	24.9052	9.2106	-22.6211	-4.8950	2.2841
27-->30	33.9445	12.1728	-27.8079	-0.6222	6.1366
28-->27	47.6728	37.4447	-47.6728	-21.4867	0.0000
29-->30	20.2272	4.0211	-18.2479	-0.2811	1.9793



รูปที่ จ.12 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

7.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

7.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.25

7.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.26 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.13

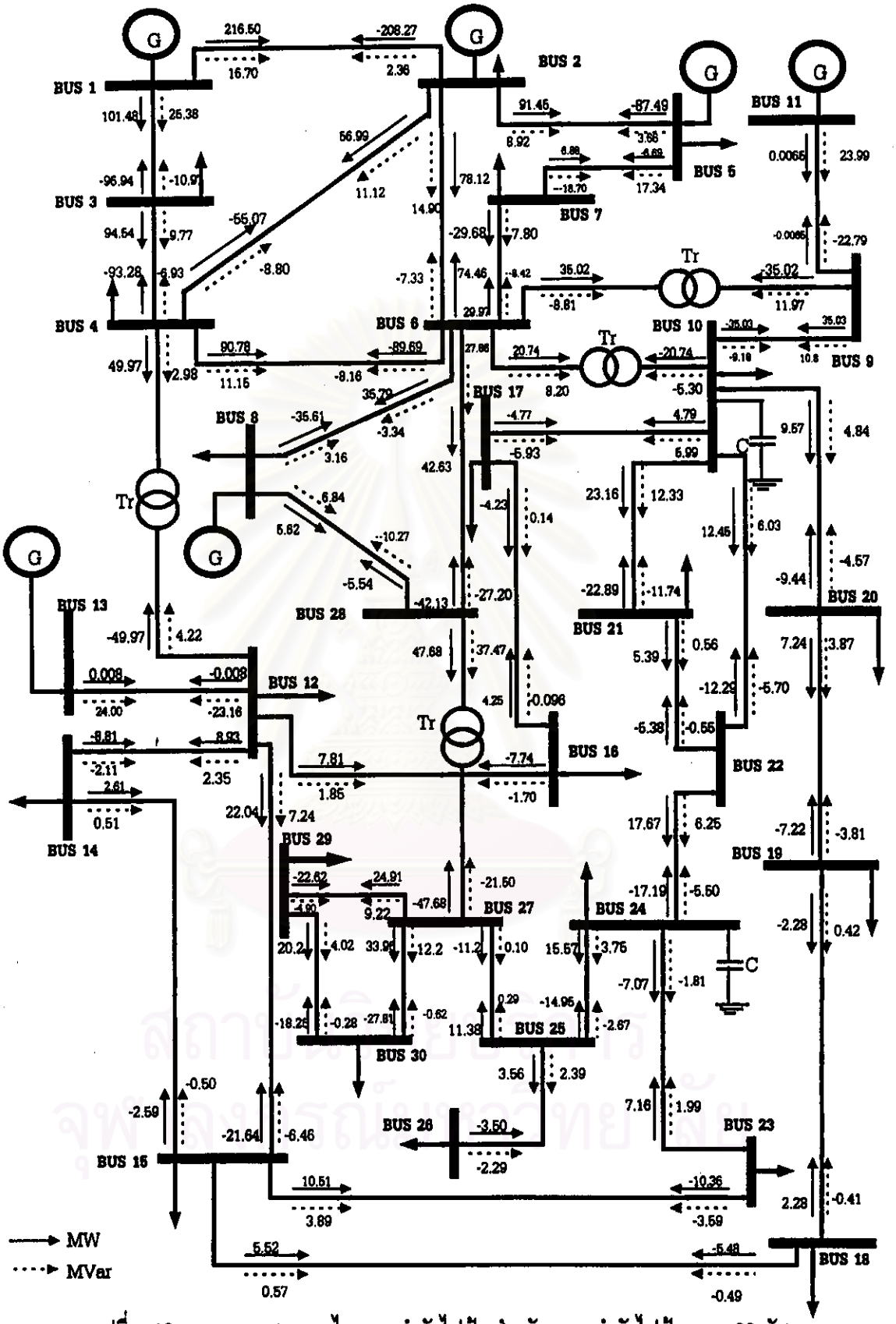
ตารางที่ จ.25 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus	Bus	Final bus voltage		Generation		Load	
No.	type	E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	317.97	42.08	0.00	0.00
2	0	1.00626	-6.56072	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	0.97206	-9.89792	0.00	0.00	2.40	1.20
4	0	0.95592	-12.02500	0.00	0.00	7.60	1.60
5	0	0.95775	-17.09140	0.00	40.00	94.20	19.00
6	0	0.94037	-14.33342	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0	0.93898	-16.06105	0.00	0.00	22.80	10.90
8	0	0.93726	-15.33354	0.00	40.00	30.00	30.00
9	0	0.94907	-19.08761	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0	0.93740	-21.56972	0.00	0.00	5.80	2.00
11	0	0.99902	-19.08680	0.00	24.00	0.00	0.00
12	0	0.94542	-20.26792	0.00	0.00	11.20	7.50
13	0	0.97971	-20.26723	0.00	24.00	0.00	0.00
14	0	0.92767	-21.57104	0.00	0.00	6.20	1.60
15	0	0.92036	-21.84474	0.00	0.00	8.20	2.50
16	0	0.93385	-21.16227	0.00	0.00	3.50	1.80
17	0	0.93035	-21.70838	0.00	0.00	9.00	5.80
18	0	0.91267	-22.62652	0.00	0.00	3.20	0.90
19	0	0.91166	-22.84785	0.00	0.00	9.50	3.40
20	0	0.91720	-22.60038	0.00	0.00	2.20	0.70
21	0	0.91905	-22.43809	0.00	0.00	17.50	11.20
22	0	0.91823	-22.52005	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0	0.90060	-23.04344	0.00	0.00	3.20	1.60
24	0	0.88432	-24.24542	0.00	0.00	8.70	6.70
25	0	0.83866	-27.65993	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0	0.81708	-28.28492	0.00	0.00	3.50	2.30
27	0	0.82358	-29.60509	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0	0.91486	-15.71429	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0	0.71777	-37.69467	0.00	0.00	2.40	0.90
30	0	0.63512	-48.06279	0.00	0.00	46.37	1.90

*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.26 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	216.4965	16.7002	-208.2670	2.3617	8.2295
1-->3	101.4750	25.3756	-96.9406	-10.9730	4.5344
2-->4	56.9925	11.1170	-55.0692	-8.8004	1.9233
2-->5	91.4501	8.9199	-87.4949	3.6635	3.9552
2-->6	78.1239	14.8996	-74.4601	-7.3291	3.6638
3-->4	94.5408	9.7730	-93.2777	-6.9271	1.2631
4-->6	90.7793	11.1480	-89.6887	-8.1629	1.0906
4-->12	49.9689	2.9806	-49.9689	4.2217	0.0000
5-->7	-6.6921	17.3437	6.8821	-18.6995	0.1900
6-->7	29.9679	-8.4180	-29.6790	7.8042	0.2889
6-->8	35.7874	-3.3427	-35.6125	3.1618	0.1749
6-->9	35.0194	-8.8063	-35.0194	11.9691	0.0000
6-->10	20.7399	8.1981	-20.7399	-5.2988	0.0000
6-->28	42.6340	27.8607	-42.1321	-27.2006	0.5019
8-->28	5.6218	6.8394	-5.5438	-10.2654	0.0780
9-->10	35.0259	10.8255	-35.0259	-9.1842	0.0000
9-->11	-0.0065	-22.7946	0.0065	23.9944	0.0000
10-->17	4.7932	5.9869	-4.7715	-5.9304	0.0217
10-->20	9.5668	4.8391	-9.4444	-4.5657	0.1224
10-->21	23.1600	12.3285	-22.8874	-11.7417	0.2726
10-->22	12.4469	6.0272	-12.2886	-5.7010	0.1583
12-->13	-0.0080	-23.1553	0.0080	23.9951	0.0000
12-->14	8.9267	2.3542	-8.8094	-2.1102	0.1173
12-->15	22.0373	7.2405	-21.6388	-6.4555	0.3985
12-->16	7.8129	1.8450	-7.7448	-1.7017	0.0681
14-->15	2.6104	0.5134	-2.5923	-0.4969	0.0181
15-->18	5.5231	0.5673	-5.4841	-0.4878	0.0390
15-->23	10.5096	3.8897	-10.3614	-3.5902	0.1482
16-->17	4.2451	-0.0963	-4.2280	0.1362	0.0171
18-->19	2.2848	-0.4103	-2.2807	0.4187	0.0041
19-->20	-7.2175	-3.8125	7.2448	3.8671	0.0273
21-->22	5.3886	0.5559	-5.3846	-0.5477	0.0040
22-->24	17.6731	6.2488	-17.1938	-5.5028	0.4793
23-->24	7.1620	1.9931	-7.0720	-1.8091	0.0900
24-->25	15.5665	3.7525	-14.9484	-2.6732	0.6181
25-->26	3.5649	2.3868	-3.4983	-2.2874	0.0666
25-->27	11.3835	0.2864	-11.1820	0.0984	0.2015
27-->29	24.9086	9.2170	-22.6228	-4.8981	2.2858
27-->30	33.9494	12.1819	-27.8079	-0.6221	6.1415
28-->27	47.6759	37.4656	-47.6759	-21.4973	0.0000
29-->30	20.2288	4.0242	-18.2480	-0.2813	1.9808



รูปที่ จ.13 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

8. ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส

8.1 แผนภาพของระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส ดังแสดงในรูปที่ จ.14 โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหลดโฟลว์ดังแสดงในตารางที่ จ.27 และตารางที่ จ.28 ตามลำดับ

8.2 ผลการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธี FONR

8.2.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.29

8.2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.30 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.15

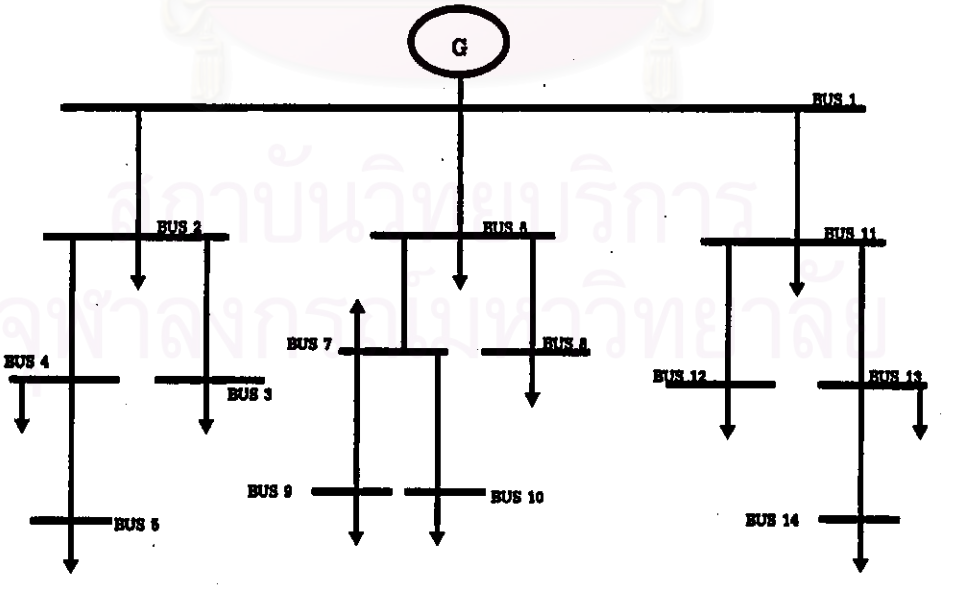
8.3 ผลการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธี SONR

8.3.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ จ.31

8.3.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ จ.32 และแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ จ.16

8.4 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ

คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ โดยนำเสนอในรูปของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR พบว่า ทั้งสองวิธีให้คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบได้ใกล้เคียงกัน โดยใช้ 2 รอบการคำนวณเท่ากัน แต่วิธี SONR ให้คำตอบที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธี FONR โดยสังเกตได้จาก ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในรอบการคำนวณสุดท้ายของวิธี SONR มีค่าน้อยกว่าของวิธี FONR ดังแสดงในตารางที่ จ.33



G : Generator

รูปที่ จ.14 ระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส

ตารางที่ จ.27 ข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging
			R (p.u.)	X (p.u.)	(p.u.)
1	L	1-->2	0.075	0.100	0.000
2	L	1-->6	0.110	0.110	0.000
3	L	1-->11	0.110	0.110	0.000
4	L	2-->3	0.080	0.110	0.000
5	L	2-->4	0.090	0.180	0.000
6	L	4-->5	0.040	0.040	0.000
7	L	6-->7	0.080	0.110	0.000
8	L	6-->8	0.110	0.110	0.000
9	L	7-->9	0.110	0.110	0.000
10	L	7-->10	0.080	0.110	0.000
11	L	11-->12	0.090	0.120	0.000
12	L	11-->13	0.080	0.110	0.000
13	L	13-->14	0.040	0.040	0.000

L : Transmission Line
System MVA Base = 100

ตารางที่ จ.28 ข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส

Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		p.u. Shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	MVar	
1	2	1.000	0.00			0.00	0.00	0.000
2	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.00	1.60	0.000
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.00	1.50	0.011
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.00	0.80	0.012
5	0	1.000	0.00	0.00	0.00	1.50	1.20	0.000
6	0	1.000	0.00	0.00	0.00	4.00	2.70	0.000
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	5.00	3.00	0.012
8	0	1.000	0.00	0.00	0.00	1.00	0.90	0.000
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.60	0.10	0.006
10	0	1.000	0.00	0.00	0.00	4.50	2.00	0.037
11	0	1.000	0.00	0.00	0.00	1.00	0.90	0.000
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	1.00	0.70	0.018
13	0	1.000	0.00	0.00	0.00	1.00	0.90	0.000
14	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.10	1.00	0.018

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 0 คือ โหลดบัส

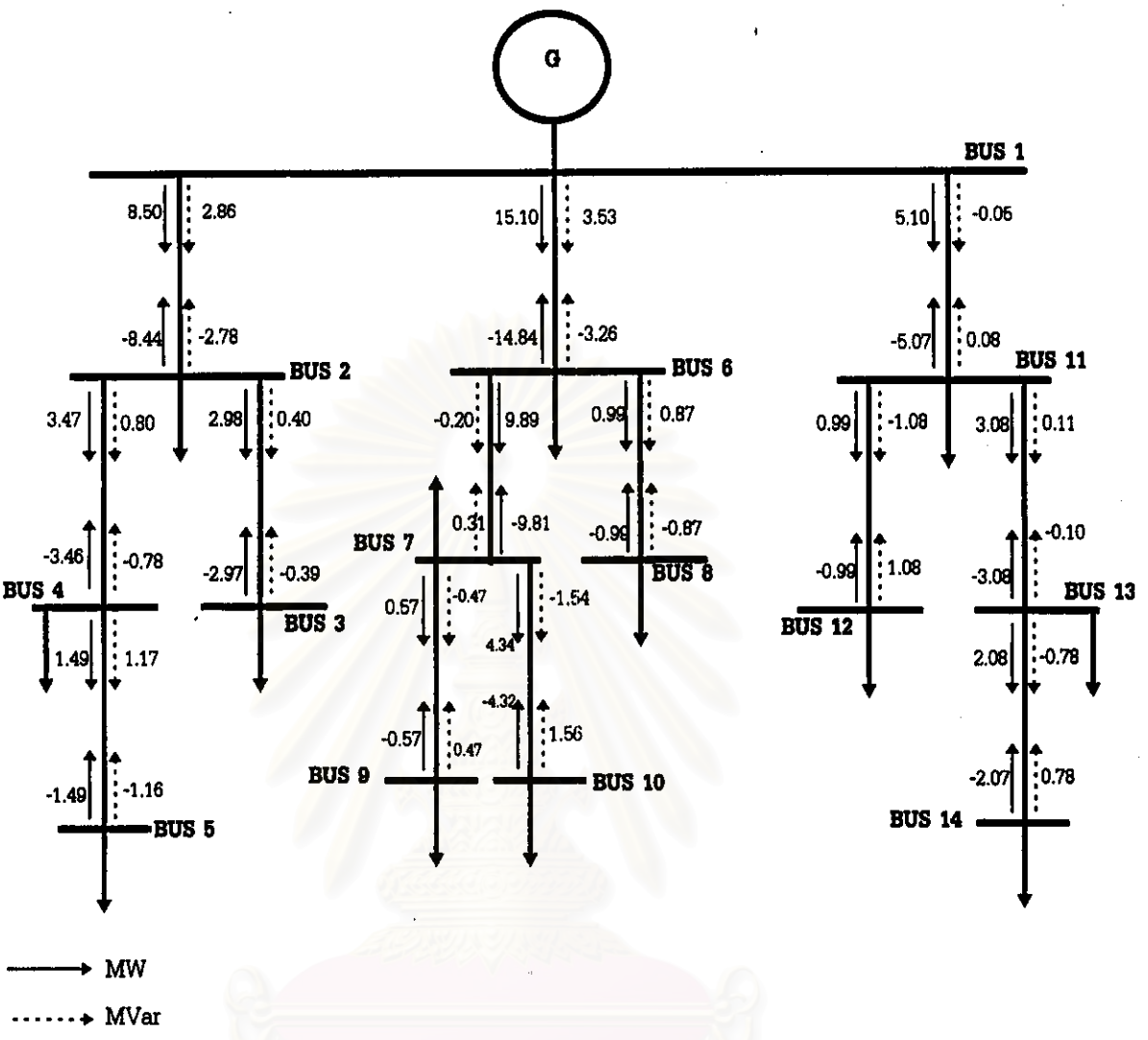
ตารางที่ จ.29 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus No.	Bus type	Final bus voltage		Generation		Load	
		E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.00000	0.00000	28.70	6.34	0.00	0.00
2	0	0.99079	-0.36751	0.00	0.00	2.00	1.60
3	0	0.98794	-0.54016	0.00	0.00	3.00	1.50
4	0	0.98619	-0.69168	0.00	0.00	2.00	0.80
5	0	0.98511	-0.69941	0.00	0.00	1.50	1.20
6	0	0.97959	-0.74453	0.00	0.00	4.00	2.70
7	0	0.97180	-1.40903	0.00	0.00	5.00	3.00
8	0	0.97750	-0.75256	0.00	0.00	1.00	0.90
9	0	0.97168	-1.47834	0.00	0.00	0.60	0.10
10	0	0.96999	-1.77386	0.00	0.00	4.50	2.00
11	0	0.99446	-0.32639	0.00	0.00	1.00	0.90
12	0	0.99487	-0.45142	0.00	0.00	1.00	0.70
13	0	0.99186	-0.51816	0.00	0.00	1.00	0.90
14	0	0.99134	-0.58475	0.00	0.00	2.10	1.00

*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***

ตารางที่ จ.30 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	8.5001	2.8600	-8.4398	-2.7796	0.0603
1-->6	15.1002	3.5285	-14.8357	-3.2640	0.2645
1-->11	5.1000	-0.0500	-5.0714	0.0786	0.0286
2-->3	2.9750	0.4036	-2.9676	-0.3935	0.0074
2-->4	3.4730	0.8035	-3.4613	-0.7802	0.0117
4-->5	1.4935	1.1655	-1.4920	-1.1640	0.0015
6-->7	9.8922	-0.1987	-9.8106	0.3109	0.0816
6-->8	0.9910	0.8688	-0.9890	-0.8668	0.0020
7-->9	0.5718	-0.4667	-0.5712	0.4673	0.0006
7-->10	4.3366	-1.5400	-4.3186	1.5647	0.0180
11-->12	0.9883	-1.0811	-0.9864	1.0837	0.0019
11-->13	3.0835	0.1131	-3.0758	-0.1025	0.0077
13-->14	2.0759	-0.7811	-2.0739	0.7831	0.0020



รูปที่ จ.15 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR

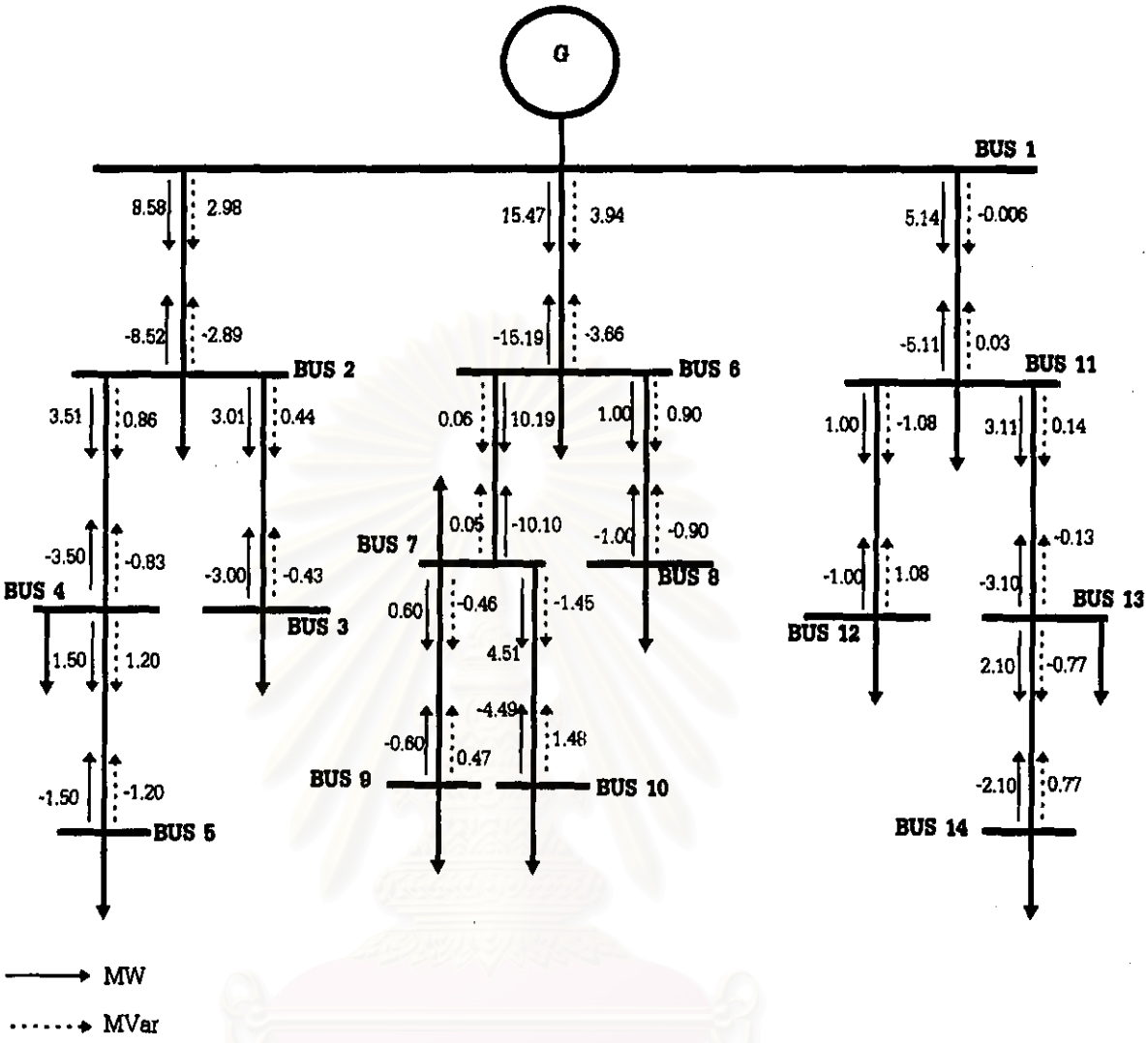
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.31 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus No.	Bus type	Final bus voltage		Generation		Load	
		E (p.u.)	angle(degree)	MW	MVar	MW	MVar
1	2	1.00000	0.00000	29.19	6.91	0.00	0.00
2	0	0.99061	-0.36722	0.00	0.00	2.00	1.60
3	0	0.98770	-0.54045	0.00	0.00	3.00	1.50
4	0	0.98588	-0.69286	0.00	0.00	2.00	0.80
5	0	0.98478	-0.69996	0.00	0.00	1.50	1.20
6	0	0.97873	-0.74226	0.00	0.00	4.00	2.70
7	0	0.97040	-1.41525	0.00	0.00	5.00	3.00
8	0	0.97660	-0.74891	0.00	0.00	1.00	0.90
9	0	0.97025	-1.48642	0.00	0.00	0.60	0.10
10	0	0.96835	-1.78835	0.00	0.00	4.50	2.00
11	0	0.99437	-0.32616	0.00	0.00	1.00	0.90
12	0	0.99477	-0.45202	0.00	0.00	1.00	0.70
13	0	0.99171	-0.51820	0.00	0.00	1.00	0.90
14	0	0.99118	-0.58508	0.00	0.00	2.10	1.00
*** Remarks : 0 = PQ bus 1 = PV bus 2 = Slack bus ***							

ตารางที่ จ.32 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1-->2	8.5809	2.9759	-8.5190	-2.8934	0.0619
1-->6	15.4669	3.9405	-15.1866	-3.6603	0.2803
1-->11	5.1402	-0.0057	-5.1111	0.0348	0.0291
2-->3	3.0067	0.4364	-2.9992	-0.4261	0.0075
2-->4	3.5125	0.8576	-3.5005	-0.8337	0.0120
4-->5	1.5014	1.2005	-1.4998	-1.1990	0.0016
6-->7	10.1885	0.0648	-10.1018	0.0544	0.0867
6-->8	1.0013	0.9004	-0.9992	-0.8983	0.0021
7-->9	0.5990	-0.4643	-0.5983	0.4650	0.0007
7-->10	4.5084	-1.4498	-4.4894	1.4760	0.0190
11-->12	1.0018	-1.0786	-0.9998	1.0812	0.0020
11-->13	3.1094	0.1439	-3.1016	-0.1332	0.0078
13-->14	2.1016	-0.7666	-2.0995	0.7686	0.0021



รูปที่ จ.16 แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR

ตารางที่ จ.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
0	5.0001	5.0001	2.7001	2.7001	5.6826	5.6826
1	0.1814	0.0107	0.1711	0.0104	0.2494	0.0149

ประวัติผู้เขียน

นาย สุรศักดิ์ อัศวชัยอนันต์ เกิดเมื่อวันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2515 ที่เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2538 แล้วได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพลังงานไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยในระหว่างที่ศึกษาอยู่ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนี้ได้รับทุนการศึกษาของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย