

MODIFIED FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD

FOR POWER SYSTEM LOAD FLOW ANALYSIS



ผู้เขียน ชื่อ.....  
เลขทะเบียน..... ๐๒๐๑๙  
เลขเรียกหนังสือ..... กว. จ ๕๙๕๓ ๕๐๕๕

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง

ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๒๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์                    MODIFIED FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD.  
FOR POWER SYSTEM LOAD FLOW ANALYSIS.

โดย    สมโภชน์ ประไพ

อาจารย์ที่ปรึกษา                    ดร. ชำนาญ                    ท่อเกียรติ

ดร. ไพรัชต์                    วรสุนทรโรสถ

ระดับการศึกษา                    ปริญญาโท                    สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา                                    ไฟฟ้า

ปีการศึกษา                                2525

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการวิจัยการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า รวมถึงการควบคุมระดับของโวลเตจ(voltage)ของจุดส่ง และ จุดรับ โดยการใช้ computer ช่วยในการวิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method ซึ่ง เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากวิธี Newton-Raphson Method ร่วมกับ Decouple method การพัฒนาต้องคำนึงถึง การลด computer storage และ computational speed เพื่อใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วย โดยใช้วิธีการทาง Network Topology ร่วมกับคุณสมบัติทางระบบไฟฟ้ากำลัง ช่วยในการพัฒนา computer program.



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ ดร. ชำนาญ ท่อเกียรติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการแก้ปัญหาทาง Power System, Transmission System และ Generation System จนการวิจัยประสบผลสำเร็จ และขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ ดร. พิรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ ที่ให้คำแนะนำทางด้าน Electrical Power Machine และช่วยในการติดต่อประสานงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ ดร. ไพรัช รัชพงษ์ ที่ช่วยแนะนำ และ ให้คำที่ปรึกษาทางด้าน Network และ Computer Analysis พร้อมทั้งการบริการจากศูนย์วิจัย ทั้งทางด้าน การใช้ Computer และอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี.

ขอแสดงความนับถือ

สมโภชน์ ประไพ



ส่วนดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้ ท่านอาจารย์ ดร. ชำนาญ ท่อเกียรติ

	<u>สารบัญ</u>	<u>หน้า</u>
บทคัดย่อ		I
Abstract		II
กิตติกรรมประกาศ		III
คำอุทิศ		IV
สารบัญ		V
Notation		IX
<u>บทที่ 1</u> <u>บทนำ</u>		1
<u>บทที่ 2</u> <u>Load-Flow method</u>		3
2.1 บทนำ		3
2.2 สัญลักษณ์		3
2.3 Input Data		4
2.4 Output Data		4
2.5 Basic Analytical of Load-Flow		4
2.6 Bus Mismatch Equation		5
2.7 Numerical Method for Load-Flow Study		6
2.7.1 $Y_{bus}$ Iterative Method		6
2.7.2 Basic Step Calculation		
for $Y_{bus}$ Method		7
2.7.3 Computational Efficiency of		
$Y_{bus}$ Method.		10
2.7.4 $Z_{bus}$ Iterative Method,		11

2.7,5	Basic Step Calculation for $Z_{bus}$ Method,	12
2.7.6	Computational Efficiency of $Z_{bus}$ Method,	12
2.7,7	Newton-Raphson Method,	13
2.7,8	Basic Step Calculation for Newton-Raphson Method,	14
2.7,9	Computational Efficient of Newton-Raphson Method,	17
2.8	Comparision of Load-Flow Solution Method.	18
2.8.1	ความเชื่อถือได้ของการหาค่าคำตอบ	18
2.8.2	ความรวดเร็วของการหาค่าคำตอบ	19
2.8.3	การเก็บข้อมูล	19
2.8.4	การโปรแกรมจะต่อง่าย	20
2.8.5	การปรับปรุงคำตอบ	21
2.9	บทสรุป	21
<u>บทที่ 3</u>	<u>Approximation Technique for Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method.</u>	22
3.1	บทนำ	22
3.2	Basic Equation Newton-Raphson Method.	22

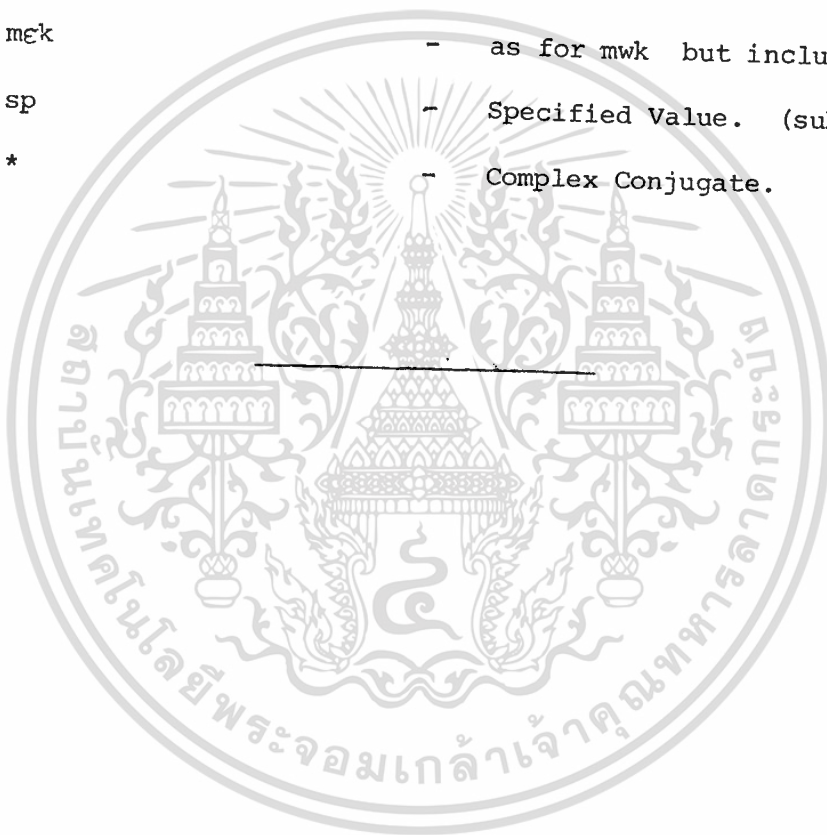
3.3	Techniques which make Newton-Raphson Method Competative in Load-Flow.	25
3.3.1	Sparsity Programming	25
3.3.2	Triangular Factorization	26
3.3.3	Optimal Ordering	26
3.3.4	Starting Effect.	26
3.4	Decouple Load-Flow Equation.	27
3.5	Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method.	28
3.6	บทสรุป	35
<u>บทที่ 4</u>	<u>Improved Programming Technique.</u>	36
4.1	บทนำ	36
4.2	Linknet Storage of Sparse Matrices	36
4.2.1	Algorithm สำหรับทุกๆ branches ที่ต่ออยู่กับ node.	38
4.2.2	Algorithm สำหรับ node ที่ต่ออยู่กับ node ที่กำลังนับ	38
4.3	Triangulation of Jacobian Matrix for Nodal Elimination.	39
4.3.1	Solution of General matrix equation.	39
4.3.2	Linknet Structure สำหรับ Admittance Matrices และ Jacobian Matrices.	42

	<u>หน้า</u>
4,3,3 Row Ordering for Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method,	46
4.4 Modified Method for residual vector and back substitution.	47
4.5 Solution Technique for Single B-matrix Method	51
4.6 บทสรุป	55
<u>บทที่ 5 Case Study.</u>	56
5.1 บทนำ	56
5.2 Test System และ Data Preparation.	56
5.3 Load-Flow Result.	56
5.4 Convergence Characteristic and Improve Ill-condition Problem.	91
5.5 บทสรุป	108
<u>บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์</u>	109
6.1 สรุป	109
6.2 วิจารณ์	110
<u>Appendix 1</u>	111
<u>Appendix 2</u>	116
<u>Appendix 3</u>	119
<u>Appendix 4</u>	121
<u>Reference</u>	

NOTATION

$[ ]$	- Matrix or Vector.
$[ ]^T$	- Transpose of matrix or vector.
$[ ]^{-1}$	- Inverse Matrix
$[A]$	- Constant Vector
$[B]$	- Coefficient Matrix
$[X]$	- Variable or Solution Vector
$a$	- Element of Constant Vector
$b$	- Element of Coefficient Matrix
$x$	- Element of Variable Vector
$f(x)$	- Function of Variable X
$[J]$	- Jacobian Matrix
$S_K = P_K + jQ_K$	- Complex Nodal Power
$I_K = a_K + jb_K$	- Complex Nodal Current
$E_K =  v_K  \angle \theta_K$	- Complex Nodal Voltage (polar co-ordinate)
$E_K = e_K + jf_K$	- Complex Nodal Voltage (rectangular co-ordinate)
$Z_{km} = R_{km} + jX_{km}$	- Branch Impedance
$Y_{km} = G_{km} + jB_{km}$	- Branch Admittance
$\Delta P_K$	- Real Power Mismatch.
$\Delta Q_K$	- Reactive Power Mismatch.
$\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$	- Voltage Phase Angle Difference
$N$	- Number of System Buses
$M$	- Number of Voltage Controlled Buses

- S - Slack Bus Index
- $mwk$  - A Bus  $m$  connected to  $k$
- $m\epsilon k$  - as for  $mwk$  but includ  $m=k$
- sp - Specified Value. (subscript)
- \*
- Complex Conjugate.



## บทที่ 1

### บทนำ

การศึกษาการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติ (Static Operation) ต้องสามารถกำหนดขนาดของ voltage และ power ของระบบได้โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขและความต้องการภาระไฟฟ้า (Load Demand), power flow ในสายส่ง และระดับของ voltage ที่ busbar ซึ่งรวมทั้ง component ต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบด้วย ดังนั้นการใช้ Load-Flow method วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อจุดมุ่งหมายดังนี้ คือ

1. เพื่อการวางแผนงานของระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Planning) อันเนื่องมาจากการติดตั้ง Transmission system เพิ่ม การติดตั้ง generation unit ใหม่ และการเติบโตของ load เพิ่มขึ้นของทุกๆปี
2. เพื่อการทำงานและการควบคุม (operation / control) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ system, วิเคราะห์และควบคุมการเปลี่ยนแปลง loss ของ generation unit หรือ transmission circuit และการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการ consumer load การควบคุมระดับของ voltage โดยการใช้ static capacitor, transformer tap changing และ synchronous condenser
3. เพื่อวางแผนงานทางด้านเศรษฐศาสตร์ไฟฟ้ากำลัง (economic operation) เพื่อใช้วิเคราะห์ราคาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน โดยให้ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด และได้รับประโยชน์จากไฟฟ้ามากที่สุด รวมทั้งการวิเคราะห์ cost of generation ด้วย

เนื้อหาของปริณิธานนี้คือ บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงวิธีการทาง numerical method ที่ใช้ในการวิเคราะห์ load-flow solution โดยการจัดรูปแบบของสมการในรูปของ  $Y_{bus}$  Iterative method,  $Z_{bus}$  Iterative method และ Newton-Raphson method การพัฒนา Load-Flow method โดยพิจารณาข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของแต่ละวิธี จากคุณสมบัติ convergence speed, computer storage, convergence

characteristic และลักษณะของ algorithm ที่ใช้ พร้อมข้อมูลทาง Power System ที่จะให้ computer วิเคราะห์

บทที่ 3 นำวิธีการ Normal Newton-Raphson Method มาพัฒนาใหม่ โดยพิจารณาผลของ Decouple Relation เพื่อวิเคราะห์สมการ Decouple Equation การนำ power system component เช่น transformer tap changing, phase shifting transformer และ components อื่นๆมาพิจารณาประกอบเพื่อการ Modified Decouple Equation เสียใหม่ ให้เป็น Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method. - โดยการทำให้ Jacobian Matrix เป็น Constant Matrix ที่ประกอบมาจาก power system component และ admittance matrix รวมทั้งการใช้เทคนิคต่างๆ เช่น Sparsity Programming, Triangulation Factorization และ Optimal Ordering ที่จะช่วยทำให้ programming technique มีประสิทธิภาพ

บทที่ 4 นำวิธีการทาง Network Topology ที่เรียกว่า Linknet structure มาวิเคราะห์และช่วยเก็บข้อมูล จัดรูป network เพื่อลด storage ของ computer การใช้ Linknet Structure กับ Triangulation Method, elimination และ back substitution และ modified back substitution เพื่อปรับปรุง convergence speed และการหาค่า load-flow solution เมื่อใช้ single B-matrix method โดยที่รวมเอา B' และ B"-matrix มาใช้ใน matrix เดียวกันและการใช้ integer vector program เป็นตัวควบคุมการทำงานของ single B-matrix

บทที่ 5 เป็น test system และการเตรียมข้อมูลสำหรับ computer พร้อมทั้งผลของ computer ใน appendix 4 เป็นผลของ Normal Newton-Raphson method และ Gaussiedel method และ Source Program ของ Modified Fast Decouple Newton-Raphson method

## บทที่ ๒

### LOAD-FLOW METHOD

#### ๒.๑ บทนำ

Load flow หรือ Power flow method เป็นวิธีการวิเคราะห์การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้วางแผนงาน และควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ได้ตามความต้องการ การวิเคราะห์ Load-flow solution ในอดีตที่ผ่านมาใช้ AC-Calculating board ต่อมาได้มีการพัฒนา Digital Computer มาใช้ซึ่งได้ผลดีกว่าและรวดเร็วกว่า Solution ของ Load-flow คือ Bus voltage magnitude, bus voltage angle, bus power solution และ Transmission power flow การใช้ Digital computer วิเคราะห์ต้องคำนึงถึงวิธีการทาง Numerical method ซึ่งมีความจำเป็นต้องเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของแต่ละวิธี เพื่อให้เหมาะกับ Load flow solution method

#### ๒.๒ สัญลักษณ์ที่ใช้

$$E_i = V_i \angle \theta = e_i + jf_i \quad \text{Nodal voltage at bus (i)}$$

$$I_i = \text{Node injected current at bus (i)}$$

$$S_i = P_i + jQ_i \quad \text{Net bus-power source}$$

$$\Delta S_i = \Delta P_i + j\Delta Q_i \quad \text{Bus-power mismatch}$$

$$\Delta I_i = \text{Current mismatch}$$

$$\Delta E_i = \text{Correction to node voltage}$$

$$Y = G + jB \quad \text{Node admittance matrix}$$

$$Z = R + jX \quad \text{Node impedance matrix}$$

$$J = \text{Jacobian matrix}$$

$$S = \text{Slack bus index}$$

### 2.3 Input Data for Load-flow Analysis

1. Network parameter and network modelling for power system,
2. Power and Reactive-Power ที่ทุกๆ bus ถ้า bus ใดๆที่ไม่มี generation เป็น PQ-bus ( load bus )
3. ขนาดของ voltage และ real power generate ที่ PV-bus
4. ขนาดของ voltage และ angle ของ Slack-bus
5. ซีตจำกัดของ Reactive power generation,
6. Tap setting for on-load tap changing transformer

### 2.4 Load-Flow Output

1. Net real and reactive power ที่ slack-bus
2. Reactive power และ voltage angle ของ Pv-bus
3. Voltage angle และ magnitude ของ PQ-bus
4. Tap setting for on-load tap changing transformer
5. Power flows in transmission lines
6. Reactive Power Generated and consumed by system reactance
7. Transmission Losses

### 2.5 Basic analytical formulation of Load-Flow

ในการวิเคราะห์สมการขั้นพื้นฐานของ Load-flow นั้นใช้วิธีการ Nodal analysis (1), (2) และ Nodal admittance matrix equation คือ

$$I_{bus} = Y_{bus} E_{bus} \quad ( 2.1 )$$

โดยที่  $Y_{bus}$  เป็น square matrix, sparse and symmetrical matrix และจะไม่คิดถึงผลของ Phase shifting หรือ mutual coupling elements

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ระบบไฟฟ้ากำลังที่อยู่ในสภาวะที่มีการทำงานปกติ (static operating - condition) (3) จะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้า หรือค่าของ voltage ที่ Bus ดังนั้น Bus ในไฟฟ้ากำลังจึงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1. PQ-bus เป็น Bus ที่มี net power กำหนดให้ คือ  $S_i^{sp} = P_i^{sp} + jQ_i^{sp}$  นั่นคือ

$$S_i^{sp} = P_i^{sp} + jQ_i^{sp} \tag{2.2}$$

$$= P_{G_i}^{sp} - P_{L_i}^{sp} + j(Q_{G_i}^{sp} - Q_{L_i}^{sp}) = E_i I_i^* \tag{2.3}$$

2. PV-bus เป็น Bus ที่มี Total active power ( $P_i$ ) กำหนดให้ และกำหนดขนาดของ voltage ที่ Bus มาให้ นั่นคือ

$$P_i^{sp} = P_{G_i}^{sp} - P_{L_i}^{sp} = \text{Re}(E_i I_i^*) \tag{2.4}$$

$$V_i^{sp} = (e_i^2 + f_i^2)^{1/2} = V_i = |E_i| \tag{2.5}$$

3. Slack-Bus (swing bus) เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลัง เราไม่สามารถที่จะรู้ค่า loss ของระบบ จนกว่า Load-flow problem converge เสียก่อน โดยที่ swing-bus เป็น voltage-controlled bus ที่จะต้องทราบค่าขนาดของ voltage และ phase ของ voltage โดยทั่วไป phase ของ voltage มีค่าเท่ากับศูนย์องศา ดังนั้น slack-bus voltage angle จึงเป็น phase reference ของระบบ

### 2.6 Bus Mismatch Equation

การคำนวณ Bus Power Mismatch นั้นเป็นวิธีการคำนวณ  $P$  และ  $Q$  ของทุกๆ Bus และเปรียบเทียบกับ  $P$  และ  $Q$  ที่กำหนดให้ เช่นที่ PQ-bus จะได้ว่า

$$\Delta S_i^{sp} = S_i^{sp} - E_i I_i^* = P_i^{sp} + jQ_i^{sp} - E_i \sum_{ik \in i} Y_{ik}^* E_k^* \tag{2.6}$$

จากลักษณะของสมการนี้ สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ Real power mismatch

Reactive power mismatch equation ใช้สำหรับวิเคราะห์ mismatch (1), (2) ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PQ-bus และ PV-bus

$$\begin{aligned}\Delta P_i &= P_{i,sp} - \operatorname{Re} \left[ (e_i + jf_i) \sum_{k \in i} (G_{ik} - jB_{ik}) (e_k - jf_k) \right] \\ &= P_i - V_i \sum_{k \in i} (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) V_k\end{aligned}\quad (2.7)$$

$$\begin{aligned}\Delta Q_i &= Q_{i,sp} - \operatorname{Im} \left[ (e_i + jf_i) \sum_{k \in i} (G_{ik} - jB_{ik}) (e_k - jf_k) \right] \\ &= Q_i - V_i \sum_{k \in i} (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) V_k\end{aligned}\quad (2.8)$$

ในแต่ละ iteration ของการคำนวณ จะนำค่า  $\Delta P_i$  และ  $\Delta Q_i$  เปรียบเทียบกับค่า convergence criterion ซึ่งนิยมใช้เท่ากับ 0.001 MW, MVar

## 2.7 Numerical Method for Load-Flow Study

Numerical method ที่นิยมใช้กันคือ Gauss method, Gauss-Seidel method<sup>(2)</sup>, Newton method ทั้ง 3 วิธี ใช้ลักษณะ Network matrix แตกต่างกันออกไป แต่ที่ใช้กัน - อย่างกว้างขวาง คือ

- (1)  $Y_{bus}$  iterative method
- (2)  $Z_{bus}$  iterative method
- (3) Newton method

### 2.7.1 $Y_{bus}$ iterative method

$Y_{bus}$  iterative method เป็นวิธีการคำนวณ bus voltage โดยใช้ relaxation method<sup>(2), (4)</sup> คำนวณค่า current mismatch ที่แต่ละ bus โดยที่  $\Delta I_i = \Delta a_i + j\Delta b_i$  ดังนี้

$$\Delta I_i = I_i - \sum_{k \in i} Y_{ik} E_k \quad (2.9)$$

ต่อจากนั้นคำนวณค่า Voltage mismatch  $\Delta E_i = \Delta I_i / Y_{ii}$  จาก bus voltage equation คือ

$$E_i = \left[ (P_i - jQ_i) / E_i^* - \sum_{k \in i} Y_{ik} E_k \right] / Y_{ii} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากสมการ(2,9)และ(2,10) voltage mismatch ที่ bus<sub>i</sub>  $\Delta E_i$  สามารถคำนวณได้ และ  $\Delta E_k$  ขึ้นเนื่องมาจาก bus<sub>k</sub> อื่นมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Delta E_i &= \Delta I_i / Y_{ii} = \Delta S_i^* / E_i^* Y_{ii} \\ &= (\Delta P_i - j\Delta Q_i) / E_i^* Y_{ii}\end{aligned}\quad (2.11)$$

การเปลี่ยนแปลงของ bus voltage จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ  $E_i^*$  ทั้งนี้การใช้สมการนี้วิเคราะห์ PQ-bus จะทำให้ลักษณะของ non-linear equation เป็น linear-equation เพราะเป็น function ของ  $E_i$  เพียงตัวเดียว ไม่ขึ้นกับ  $E_k$  เลย

ถ้าใช้สมการนี้วิเคราะห์ PV-bus ,Bus Voltage Magnitude กำหนดมาให้จะต้องคำนวณหาค่า  $Q_i$  โดยการกำหนดค่า  $\Delta Q_i$  ในสมการ  $\Delta E_i = (\Delta P_i - j\Delta Q_i) / E_i^* Y_{ii}$  (5) ให้มีค่าเป็นศูนย์ และทำการคำนวณหา  $E_i$  และกำหนดขนาด voltage ให้เป็นไปตามที่กำหนด และคำนวณค่า  $Q_i$

เนื่องจากการเข้าหา solution ช้ามาก การปรับปรุง convergence speed จะใช้ Acceleration Factor ช่วย, ค่า Acceleration Factor มีค่า 1.0-1.6 การปรับปรุง ใช้สมการ(2.11) ได้ดังนี้ คือ

$$\Delta E_i = \alpha \Delta S_i^* / E_i^* Y_{ii} \quad (2.12)$$

$\alpha$  = Acceleration Factor โดยที่  $1 < \alpha < 2$

การปรับปรุง speed แบบนี้จะทำให้การเข้าหาคำตอบเร็วขึ้น นอกเสียจากว่าในระบบไฟฟ้ากำลังมีจำนวน N bus มากๆ วิธีการหาค่า  $\Delta E_k$  นี้เรียก Secondary-Adjustment method. (2), (5)

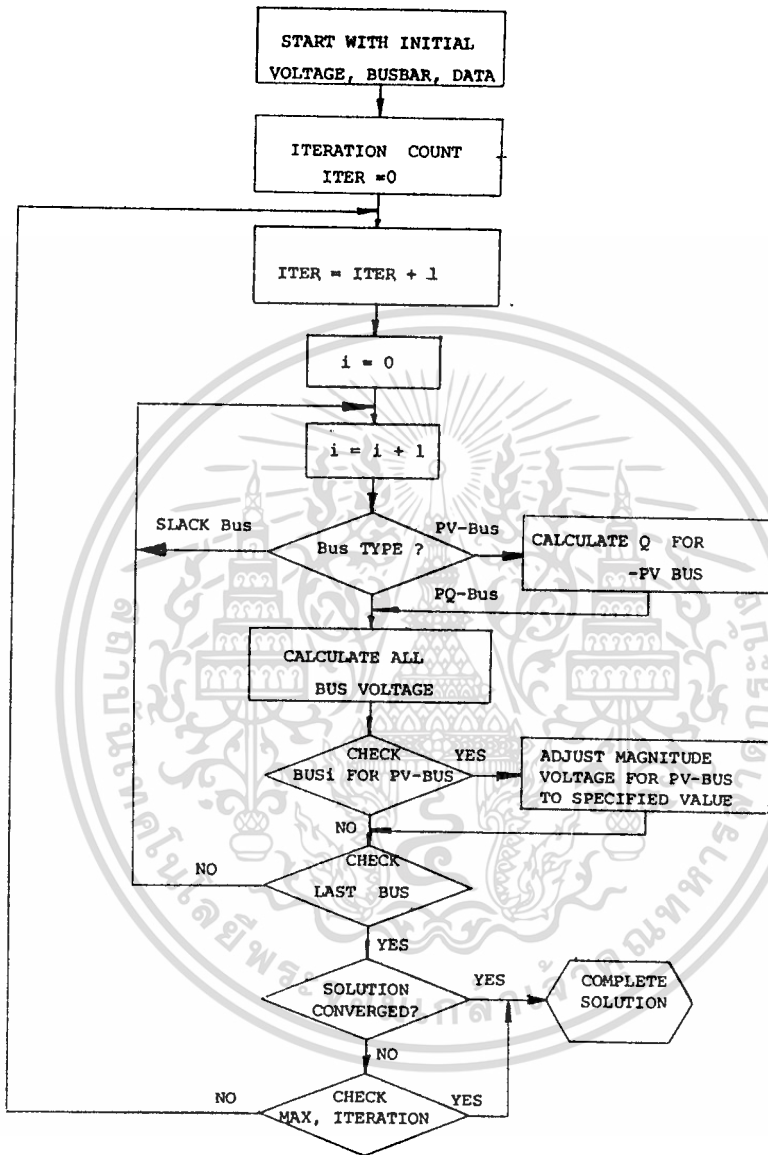
### 2.7.2 Basic Step Calculation for Y-bus Method

Step 1. Assume Initial Bus Voltage.

Step 2. Re-evaluate Bus Voltage according to equation above

- Step 3. Test for Voltage Convergence, If convergence not achieved, accelerate bus-voltage and return to - step 2 or else go to step 4
- Step 4 Calculate power mismatch, If these are not satisfactory, reduce voltage tolerance and return to step 2 or else go to step 5
- Step 5. Calculate all required outputs.

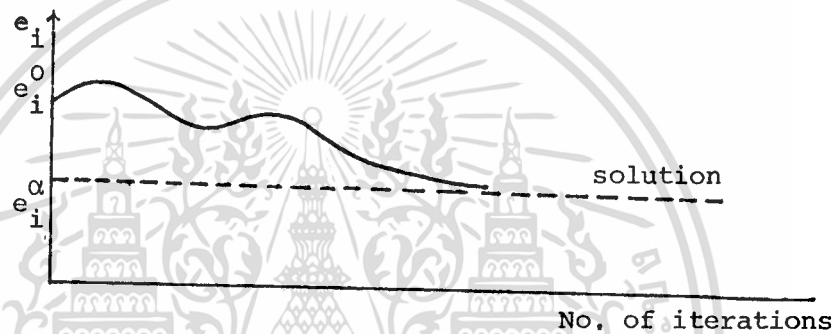




รูปที่ 1 แสดง Flow Chart ของ  $Y_{bus}$  Iteration Method.

### 2.7.3 Computational Efficiency of $Y_{bus}$ Method

$Y_{bus}$  Iterative Method ที่ใช้หาค่า Load Flow solution อาจจะเป็น Gauss Method หรือ Gaussiedel Method ก็ตาม การเข้าหาค่าคำตอบช้าเพราะจำนวน Iterations ของการคำนวณสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวน bus ในระบบ และค่า Initial-Voltage ที่ใช้ รูปที่ 2 ประกอบ

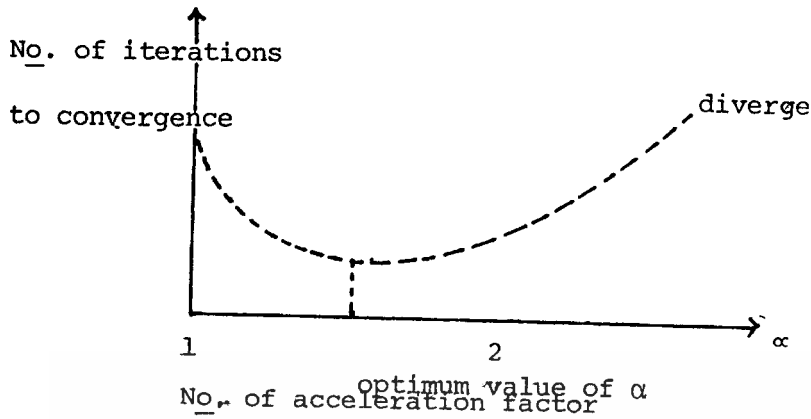


รูปที่ 2. Characteristics of Convergence for  $Y_{bus}$  Method.

จากรูปที่ 3. การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิธี  $Y_{bus}$  iterative method โดยการเลือกค่า acceleration factor ที่มีค่าเหมาะสมที่สุด การเลือกใช้วิธี Successive over Relaxation Method เพื่อให้ได้ค่า Optimal Acceleration Value และ Update ค่า-voltage ใน iteration ต่อไป คือ

$$E_{bus}^p(\text{acceleration}) = E_{bus}^{p-1} + \alpha(E_{bus}^p - E_{bus}^{p-1})$$

โดยที่  $\alpha$  = Acceleration Factor มีค่าระหว่าง 1-2.



รูปที่ 3 Critical Acceleration Value for Load Flow problems.

จะพบว่า ค่า Acceleration Factor ที่มีค่าเหมาะสม จะทำให้ได้ load-flow solution เร็วขึ้น ซึ่งการคำนวณหาค่า load-flow ที่ออกมาจะเป็นค่าที่ถูกต้องด้วย และจำนวน iterationsที่ใช้คำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับจำนวน bus ของระบบที่ทำการวิเคราะห์

2.7.4  $Z_{bus}$  Iterative Method.

$Z_{bus}$  method เป็นวิธีการแก้ปัญหา Load Flow ที่ทำได้โดยตรงเหมือน  $Y_{bus}$  iterative method สามารถเขียนสมการพื้นฐานได้ดังนี้ คือ

$$E_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \tag{2.14}$$

( $Z_{bus}$  = Inversion of  $Y_{bus}$  มีค่าเท่ากับ  $Y_{bus}^{-1}$ )

จากสมการ(2.14) เมื่อไม่คิดผลของ slack bus<sup>(2)</sup> สามารถแยกสมการออกเพื่อทำการวิเคราะห์ที่ bus i ใดๆได้ดังนี้

$$E_i = \sum_{j \in i}^n Z_{ij} (I_j - Y_{ij} E_j) \quad \text{สำหรับค่า } i = 2, 3, \dots, n \tag{2.15}$$

นั่นคือ 
$$E_i = \sum_{j \in i}^n Z_{ij} I_j - m_i \quad \text{เมื่อ } m_i = \text{constant} \tag{2.16}$$

สมการที่(2.16) เป็นสมการโดยทั่วไปของ  $Z_{bus}$  method สามารถหาค่า solution ได้ซึ่งจะใช้วิธีของ Gauss method หรือ Gaussiedel method ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สำหรับ PV-bus<sup>(1), (2), (4)</sup> เราสามารถแยกสมการออกมาเป็นส่วนของ Imaginary Part ได้ดังนี้ คือ

$$Q_i = -\text{Im} \left[ \frac{E_i^*}{Z_{ii}} \left( E_i + m_i - \sum_{j=1}^n Z_{ij} I_j \right) \right] \quad (2.17)$$

### 2.7.5 Basic Step Calculation for $Z_{bus}$ Method

- Step 1. Assume initial bus-voltage.
- Step 2. Re-evaluate bus-voltage(s) according to the equations above
- Step 3. Test for voltage convergence. If not achieved, return to step 2, or else go to step 4,
- Step 4. Calculate power mismatches, If these are not satisfactory reduce voltage tolerance and return to step 2. or else go to step 5.
- Step 5. Calculate all required outputs.

### 2.7.6 Computation Efficiency of $Z_{bus}$ Method

วิธีการ  $Z_{bus}$  method สามารถหาค่า Load Flow solution ได้เร็วกว่า  $Y_{bus}$  method เนื่องจาก  $Z_{bus}$  matrix เป็น inversion ของ  $Y_{bus}$  matrix ซึ่งเป็น full matrix ซึ่งให้ผลดีทางการคำนวณมาก (mathematical coupling) เช่น ช่วยในการ improve bus-voltage ได้ การหา load-flow solutions ด้วยวิธีนี้ใช้ iterations ในการคำนวณ 8-20<sup>(2)</sup> iterations แต่เมื่อใช้กับระบบขนาดใหญ่ที่มีจำนวน bus มากๆ จะต้องใช้ computer storage สูงมากด้วย

\* Note Flow-chart ของ  $Z_{bus}$  เหมือน  $Y_{bus}$  method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### 2.7.7 Newton-Raphson Method

Newton-Raphson method เป็นวิธีการหาคำคำตอบของ non-linear equations  $F(x) = 0$  โดยจัดรูปของสมการเป็น Jacobian matrix โดยที่ Jacobian matrix elements อยู่ในรูปของ Partial-derivative function <sup>(7)</sup> เมื่อตัดเทอมกำลังสูงๆของ Taylor's series expansion จะทำให้ non-linear equation เป็น linear equation และเขียนอยู่ในรูปของ Jacobian matrix Equation ได้ดังนี้

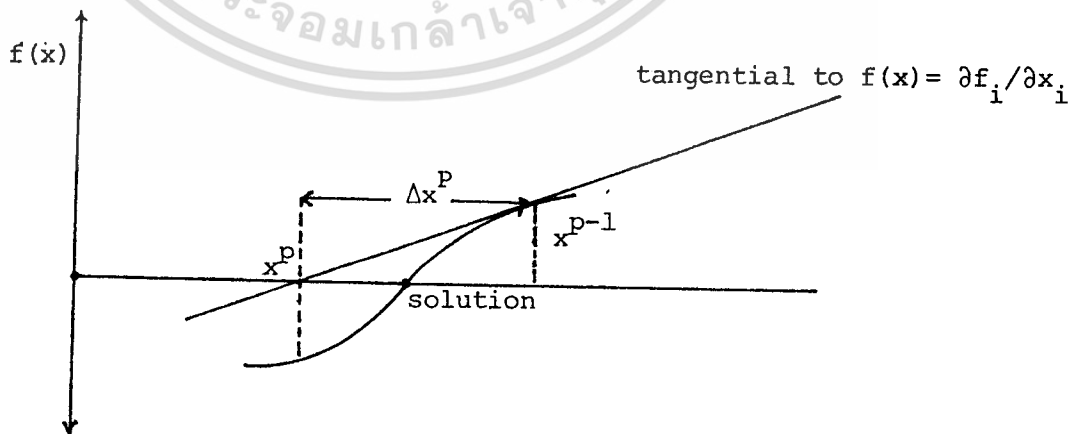
$$F(\bar{x}) = J(\bar{x}) \Delta x \quad (2.18)$$

$$(J(x) = \text{Jacobian Matrix } J_{ik} = \partial f_i / \partial x_k)$$

จากสมการ(2.18) หาค่า  $\Delta x$  โดย Inversion หรือ Triangulation ก็ได้และ update ค่า  $x$  ใน iteration ได้ดังนี้คือ

$$x^p = x^{p-1} + \Delta x^p \quad (2.19)$$

ลักษณะ Jacobian Matrix เป็น square matrix มี elements  $\partial f_i / \partial x_i$  เป็น slope ของเส้นตรงของ function  $F(x)$  ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. แสดง slope ของ function =  $\partial f_i / \partial x_i$

Load Flow equation เมื่อใช้วิธีการNewton-Raphson method จะคำนวณ real และ reactive power mismatch

$$\Delta P_i = P_i^{sp} - V_i \sum_{k \in i} V_k (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) = 0 \quad (2.20)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - V_i \sum_{k \in i} V_k (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) = 0 \quad (2.21)$$

โดยที่  $\theta_{ik} = \theta_i - \theta_k$  และ  $\Delta P_i, \Delta Q_i$  real และ reactive power mismatch จากสมการ (2.18), (2.20) และ (2.21) เขียนให้อยู่ในรูปของ Jacobian Matrix equation ได้ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

โดยที่

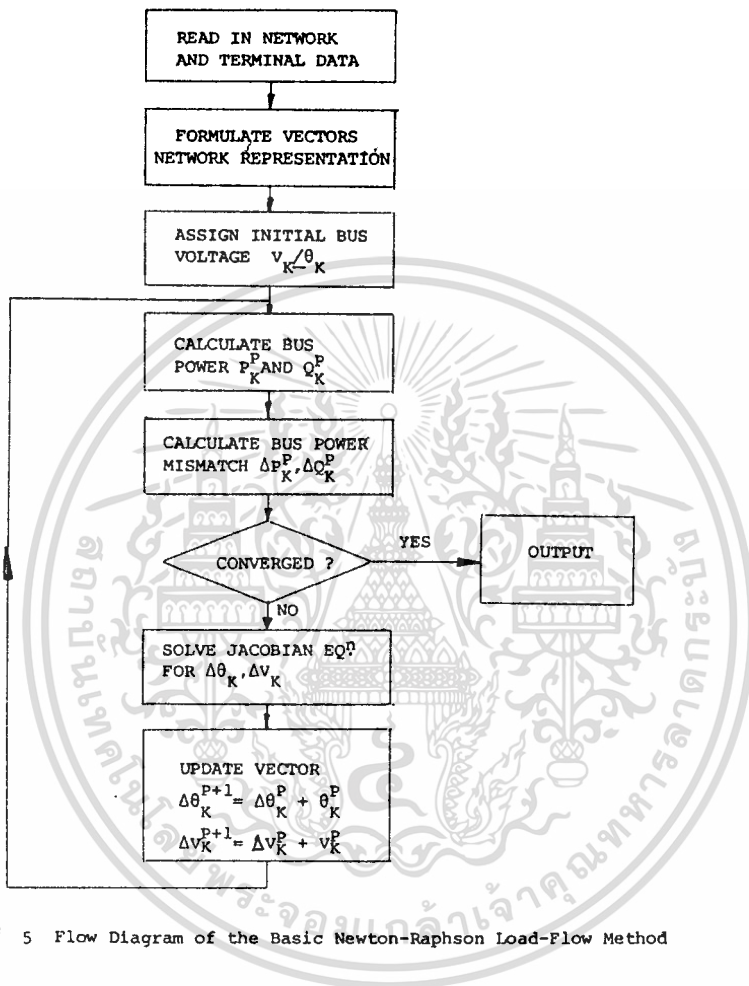
$$\begin{bmatrix} H \\ N \\ J \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial P / \partial \theta \\ \partial P / \partial V \\ \partial Q / \partial \theta \\ \partial Q / \partial V \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{vectors} \\ \text{vectors} \\ \text{vectors} \\ \text{vectors} \end{matrix}$$

### 2.7.8 Basic Step Calculation for Newton-Raphson Method

- Step 1. Assume Initial Bus-Voltages.
- Step 2. Calculate Nodal Currents and Powers.
- Step 3. Calculate Power (and voltage magnitude) mismatch.  
If these are less than tolerance limit go to step 6, else go to step 4.

- Step 4. Calculate the elements of Jacobian Matrix.
- Step 5. Calculate voltage corrections and calculate new bus voltage then go to step 2.
- Step 6. Calculate all required output.

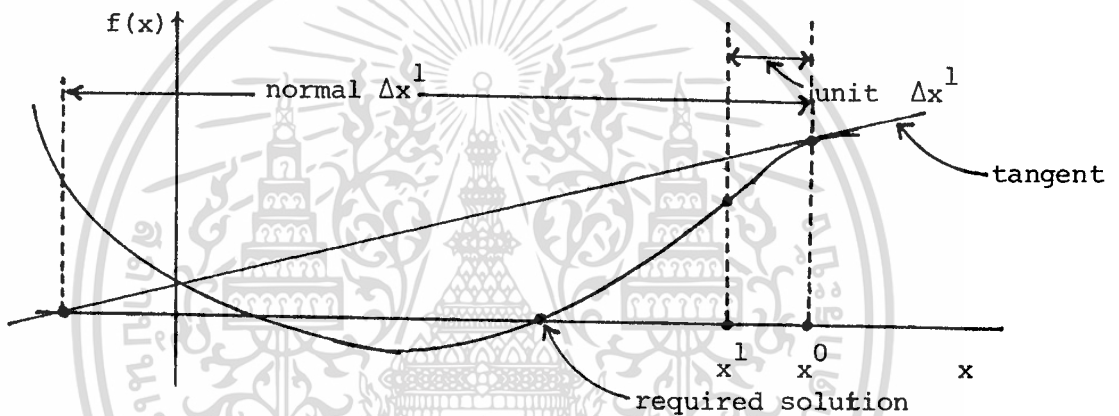




รูปที่ 5 Flow Diagram of the Basic Newton-Raphson Load-Flow Method

### 2.7.9 Computational Efficiency of Newton-Raphson Method

วิธีการของ Newton-Raphson สามารถคำนวณหาค่า solution ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อกำหนดค่า Initial เริ่มต้นของการคำนวณใกล้เคียงคำตอบ<sup>(7)</sup> ในขณะที่เดียวกัน Newton-Raphson method อาจจะ diverge หรือ converge หาค่าคำตอบที่ผิดได้เช่นกัน



รูปที่ 6 แสดงค่า initial value ที่มีผลต่อวิธีการ Newton-Raphson Method

จากรูปที่ 6 แสดงว่าค่า Initial นั้นมีค่าไกลจากความเป็นจริงมาก ซึ่งจะทำให้  $x$  มีค่าผิดไปมาก ทำให้ diverge ถ้า converge ก็จะทำให้หาค่าคำตอบที่ผิด ดังนั้นการหาค่าเริ่มต้นก่อนที่จะใช้วิธีการของ Newton-Raphson จึงนิยมใช้  $Y_{bus}$  method<sup>(2), (6)</sup> คำนวณเสียก่อน 1-2 iterations

เนื่องจาก Jacobian Matrix เป็น Square Matrix เมื่อวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ย่อมใช้ Computer Storage สูง และ Computing time สูงด้วย ในทางปฏิบัติเราใช้คุณสมบัติของ Sparsity Network และ Sparse Programming Order Elimination เพื่อลด Storage และ Computer Time Convergence Criteria ที่ใช้ Test System มีค่า 0.01 MW/MVar

## 2.8 Comparison of Load Flow Solution Method.

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่า การแก้ปัญหา load-flow solutions มีหลายวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการตัดสินใจที่จะใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จะต้องคำนึงถึงขนาดของระบบไฟฟ้ากำลัง ความสามารถและขีดจำกัดของ Computer ซึ่งรวมถึงการ Programming ด้วยเป็นสำคัญ การพิจารณาที่จะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งแก้ปัญหาต้องคำนึงถึงเหตุผลต่อไปนี้ประกอบ คือ

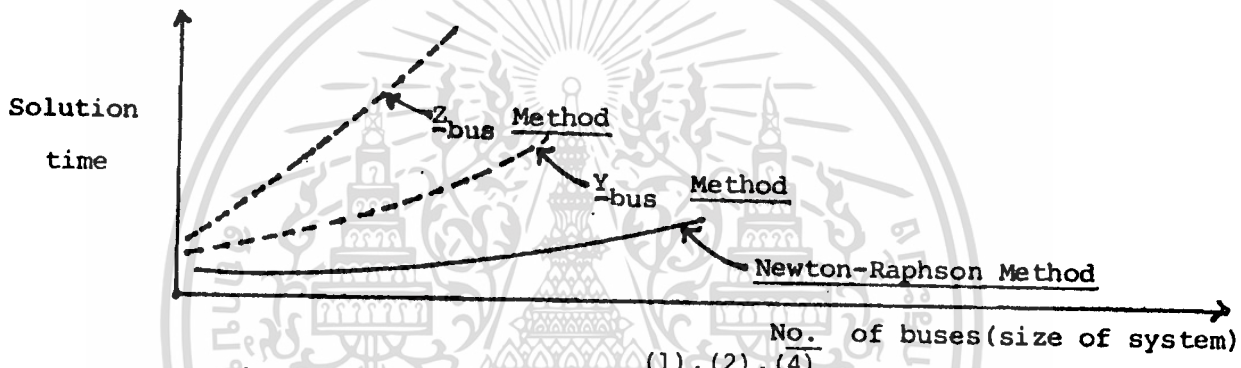
- (1) ความเชื่อถือได้ของการหาค่าคำตอบ
- (2) ความรวดเร็วของการหาค่าคำตอบ
- (3) การเก็บข้อมูล
- (4) การโปรแกรมจะต้องง่าย
- (5) การปรับปรุงคำตอบ

### 2.8.1 ความเชื่อถือได้ของการหาค่าคำตอบ

ถ้าเราต้องการผลของ Solution อย่างรวดเร็ว การใช้วิธีการของ Newton-Raphson จะเหมาะสมที่สุด แต่ปัญหาคือค่า initial voltage จะต้องมามีค่าใกล้เคียงกับคำตอบมากที่สุด การแก้ปัญหานี้ใช้ Gaussiedel Method จำนวนก่อน 1-2 iterations และในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาผลทาง Physical System R/X Ratio ก็จะช่วยพัฒนา Jacobian Matrix ให้ง่ายต่อการ Elimination เมื่อเปรียบเทียบวิธีการของ  $Y_{bus}$  หรือ  $Z_{bus}$  - Matrix แล้วย่อมได้เปรียบกว่า เพราะว่า  $Z_{bus}$  Matrix เป็น Full Matrix ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงกว่า และจะมีปัญหามากขึ้นเมื่อใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีจำนวน bus มาก

2.8.2 ความเร็วของการหาค่าคำตอบ

ความเร็วในการคำนวณมีความสำคัญมากที่จะพิจารณา เพราะว่ามีผลโดยตรงกับ Running-Cost ของ Computer เมื่อหาค่า Load Flow Solution ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้จำนวนของ Iteration น้อย วิธีการของ Newton-Raphson Method ใช้เวลาต่อจำนวน Iteration ต่ำกว่าวิธีการ  $Y_{bus}$  และ  $Z_{bus}$  method มาก ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบ Speed of Solution Time ของแต่ละวิธีกับขนาดของระบบไฟฟ้า

2.8.3 การเก็บข้อมูล

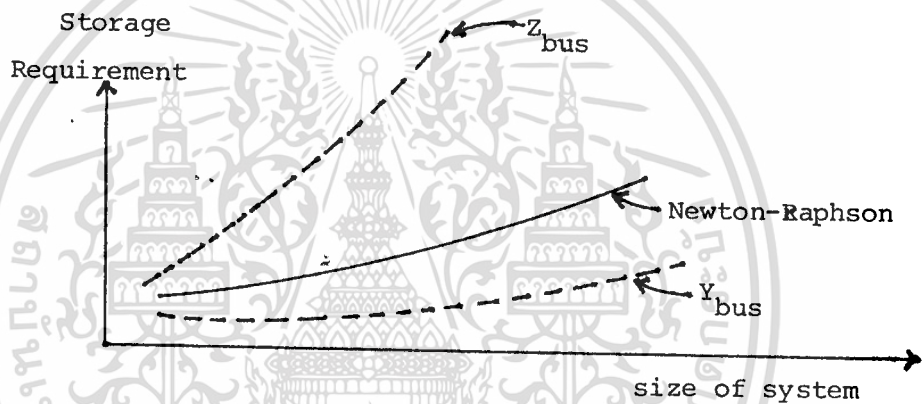
การใช้ Computer Storage มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของ Network - equation และ sparsity techniques สำหรับ network เราสามารถแยกการวิเคราะห์ของแต่ละวิธี ดังนี้

$Y_{bus}$  Iterative Method มีลักษณะทาง Sparsity Network สูงมาก นั่นคือ  $Y_{bus}$  Matrix มี Zero-elements มาก ดังนั้นในการเก็บข้อมูล เราจะเก็บเพียง Nonzero elements เท่านั้น ซึ่งทำให้ Computer Speed เร็วขึ้นด้วย

$Z_{bus}$  Method เป็น inverse ของ  $Y_{bus}$  Method มีลักษณะเป็น Full-matrix Computer Storage เป็นสัดส่วนกับขนาดของระบบไฟฟ้า ( $n^2$ ) ซึ่งมีปัญหามากในการ

เก็บข้อมูลเมื่อใช้กับระบบที่มีขนาดใหญ่

Newton-Raphson Method เมื่อพิจารณาผลของ Physical Property ของระบบสามารถพัฒนา Jacobian-matrix และ ใช้คุณสมบัติของ Sparsity programming จะช่วยลด Computer Storage ลงอีก แต่ยังใช้ Computer Storage สูงกว่า  $Y_{bus}$  เพราะจะต้องเก็บข้อมูล Network Data และ Jacobian Matrix ที่ developed จาก Network Data ด้วย



รูปที่ 8 เปรียบเทียบ Computer Storage ของแต่ละวิธีกับขนาดระบบไฟฟ้ากำลัง

#### 2.8.4 การโปรแกรมจะต้องง่าย

$Y_{bus}$  และ  $Z_{bus}$  Method นั้นง่ายต่อการ Programming (Fortran-language) ถึงแม้ว่า  $Z_{bus}$  Matrix จะเป็น inversion ของ  $Y_{bus}$  Matrix ก็ตามซึ่งเรายังสามารถ modify  $Z_{bus}$  ได้เพื่อลด Computer Storage แต่ Newton-Raphson Method นั้นยุ่งยากมาก เนื่องจากต้องใช้วิธีการ Order Elimination ช่วยในการ eliminate Jacobian Matrix เพื่อหาค่า residual vector ( $\Delta V$ ) และ ( $\Delta \theta$ ) ของแต่ละ iteration.

### 2.8.5 การปรับปรุงค่าคำตอบ

สำหรับ Load Flow solution ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ต้องคำนึงถึง On load tap changing transformer และ Q-limits ของ Generator ซึ่งมีผลโดยตรงกับ Convergence Speed ซึ่งเมื่อใช้  $Y_{bus}$  และ  $Z_{bus}$  จะช้ามาก โดยเฉพาะถ้าในระบบไฟฟ้ากำลังที่มี PV-bus เป็นจำนวนมาก ควรจะใช้ Newton-Raphson Method หาค่า Load Flow Solution จะได้ค่าเร็วกว่ามาก

### 2.9 บทสรุป

จากที่กล่าวมาแล้วในบทนี้ เป็นการหา Basic load-flow equation ที่ใช้วิธีการต่างๆกัน และวิธีการแก้ปัญหาแต่ละวิธี โดยการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี จะเห็นว่าวิธี Newton-Raphson Method มีข้อดีและข้อได้เปรียบมากกว่าวิธี  $Y_{bus}$  และ  $Z_{bus}$  โดยเฉพาะความเชื่อถือได้ของ Solution, Computing Speed of Solution และลักษณะของการเขียนโปรแกรม เมื่อใช้ Sparsity Techniques.

### บทที่ 3

#### Approximation Technique for Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method.

##### 3.1 บทนำ

การคำนวณ Load-flow Solution ที่นิยมกันอย่างแพร่หลายคือวิธีการของ Newton-Raphson method วิธีการนี้พัฒนาโดย Tinney<sup>(8)</sup> และ Hart โดยใช้ Sparsity matrix technique<sup>(9)</sup> ช่วยในการพัฒนา โดยอาศัยข้อได้เปรียบ และข้อเสียเปรียบของแต่ละวิธี อันเนื่องมาจากการใช้ Computer storage, Speed of Solution, convergence characteristic และ Reliability of Solution ซึ่งจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทาง Physical System ทำให้ B-Stott ได้ผลของ Decouple equation<sup>(10)</sup> MW- $\theta$  และ Mvar-V จากความสัมพันธ์ของ Decouple equation ได้นำมาพัฒนา Computer Algorithm<sup>(11)</sup> เพื่อแยก Decouple-equation ออกเป็นอิสระจากกันเพื่อหาค่า Load-flow Solution ได้เร็วขึ้น

ในบทนี้จะเป็นการพัฒนาวิธีการของ Newton-Raphson method และ Decouple equation method เพื่อพิจารณาผลของ Jacobian Matrix และการใช้เทคนิคต่างๆช่วยในการพัฒนา Load-flow equation เสียใหม่ โดยจะคำนึงถึงข้อได้เปรียบและเสียเปรียบเป็นหลัก

##### 3.2 Basic Equation Newton-Raphson Method

สมการของ Node equation ที่อยู่ในรูป Node admittance matrix<sup>(1)</sup> คือ

$$I_k = \sum_{m \in k} Y_{km} E_m \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } k \quad (3.1)$$

โดยที่  $I_k$  เป็นกระแสที่ bus k ดังนั้นเราสามารถหาค่า complex power ที่ bus k ได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} S_k &= P_k + jQ_k = E_k I_k^* \\ &= E_k \sum_{m \in k} Y_{km}^* E_m^* \end{aligned} \quad (3.2)$$

จากสมการ ( 3.2) สามารถแยกออกเป็น real equation และ real - variable ในรูปของ rectangular co-ordinates และ polar co-ordinates (1), (2) โดยที่ real power และ reactive power เป็นฟังก์ชันของ voltage และ phase voltage คือ

$$P_k = P(v, \theta) \quad \text{หรือ} \quad P_k = P(e, f)$$

$$Q_k = Q(v, \theta) \quad \text{หรือ} \quad Q_k = Q(e, f)$$

โดยที่  $P_k$  และ  $Q_k$  เป็น real bus power และ reactive bus power ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ voltage และ phase voltage ที่ bus นั้นๆ การหาค่า  $P_k$  และ  $Q_k$  อยู่ใน Appendix 1

ดังนั้นเราสามารถหาค่า real power mismatch และ reactive power mismatch โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ bus กำหนดมาให้ และที่ได้จากการคำนวณคือ

$$\Delta P_k = P_k^{sp} - P_k \tag{3.3a}$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{sp} - Q_k \tag{3.3b}$$

จากสมการ (3.3a) และ (3.3b) สามารถจัดรูปของสมการให้อยู่ในรูปของ - Jacobian matrix equation (1), (2), (8) ทั้ง polar co-ordination และ rectangular co-ordination ได้ดังนี้ คือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta v \end{bmatrix} \tag{3.4a}$$

และ

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta v^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S & T \\ U & W \\ EE & FF \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (3.4b)$$

Jacobian Matrix element ของสมการ (3.4a) และ (3.4b) อยู่ใน Appendix 1 เมื่อใช้ rectangular voltage co-ordination ลักษณะสมการ (3.4b) จะใช้คำนวณสำหรับทุกๆ bus ยกเว้น slack bus สำหรับ voltage controlled bus จะกำหนดขนาดของ voltage มาให้แต่ real และ imaginary part ของ voltage คือ e และ f จะไม่รู้ค่าในการคำนวณ จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของ voltage ให้คือ  $E = 1.0 + j0.0$  p.u.

ลักษณะของ polar co-ordination สมการ (3.4a) นิยมใช้ในการคำนวณมากกว่า เนื่องจาก real power mismatch equation สามารถคำนวณได้ทุก bus ยกเว้น slack bus ในขณะที่ reactive power mismatch equation ใช้คำนวณสำหรับ non-voltage controlled bus

จากสมการที่ (3.4a) Jacobian Matrix มีลักษณะเป็น Sparsity matrix แต่ผลของ numerical value ไม่เป็น Symmetric matrix ดังนั้นในการทำให้ Jacobian matrix มีคุณสมบัติเป็น Symmetric matrix โดยการจัดรูปของสมการให้อยู่ในรูปของ  $[\Delta\theta, \Delta v/V]^T(10), (11)$  ซึ่งเป็น variable voltage vector จะทำให้ Jacobian matrix element เป็น function ของ  $(v, \theta)$

การปรับปรุง reactive power mismatch  $\Delta Q$  ใน Jacobian Matrix equation โดยการหาร  $V$  คือ  $\Delta Q/V$  จะทำให้เกิดผลของ linear equation (11) ขึ้นซึ่งใช้

ในการคำนวณได้ดีกว่าสมการ (3.4b) นั่นคือ จากสมการ (3.4b) จะได้ว่า

$$\Delta Q_k / V_k = (Q_k^{SP} - Q_k) / V_k \quad (3.5a)$$

ในทำนองเดียวกัน  $\Delta P/V$  มีผลน้อยมาก<sup>(2)</sup> เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ  
มีผลน้อยมากกับการเปลี่ยนแปลงของ voltage

$$\Delta P_k / V_k = (P_k^{SP} - P_k) / V_k \quad (3.5b)$$

### 3.3 Techniques which make Newton-Raphson method competitive in load flow

ระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปมี admittance matrix เป็น Sparsity Matrix ในขณะเดียวกัน Jacobian Matrix ก็เป็น Sparsity Matrix ดังนั้นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อใช้แก้ปัญหาของ Newton-Raphson Method คือ Sparsity Programming, Triangular - Factorization และ Optimal Ordering

#### 3.3.1 Sparsity Programming

โครงสร้างของ Computer Programming โดยทั่วไปเมื่อเก็บข้อมูลของ matrix จะเก็บอยู่ในรูปของ Double Subscript Array เมื่อใช้ Sparsity Programming<sup>(12)</sup> จะเก็บข้อมูลของ matrix ในรูป Single Subscript Array โดยมี Integer Vector เป็นตัวบอกตำแหน่งของ row ใน matrix และจะเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นศูนย์เท่านั้น (non-zero element)

เมื่อใช้ Sparsity Programming เก็บข้อมูลของ Admittance Matrix จะลด storage ของ computer ลง โดยใช้ storage เพียง  $6b+3n$  <sup>(13)</sup> (  $b$  = branch of system,  $n$  = จำนวน bus ของ system ) แต่ถ้าใช้ Double Subscript Array จะใช้ - storage =  $n^2$ .

### 3.3.2 Triangular factorization

จากสมการที่ (3.4a) สามารถหาค่า  $\Delta\theta$  และ  $\Delta V$  โดยวิธี Inversion matrix ได้แต่จากลักษณะของ Jacobian matrix เป็น sparsity matrix เมื่อทำการ Inversion Jacobian matrix จะทำให้เป็น Full-matrix เกิดขึ้น จะใช้ computer storage มากขึ้นอีก มีค่าเท่ากับ  $n^3$  ดังนั้น การหาค่า (8), (9), (12) ( $\Delta\theta, \Delta V$ ) จึงนิยมใช้ Triangulation factorization โดยการ eliminate Jacobian matrix โดยวิธี row-operation และใช้ sparsity programming ช่วยด้วยจะลด computer storage ลงอีก

### 3.3.3 Optimal ordering

(8), (9)  
ในขณะที่ Triangulation Jacobian matrix จำนวน non-zero term จะรวมกันเป็น upper triangle term และ diagonal term จะเกิด round-off error มาก ดังนั้น จะต้องเลือกการกระทำ row-operation ที่จะทำให้เกิด round-off error น้อยที่สุด ดังนั้น optimal ordering ของ row-operation แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ pre-ordering และ dynamic ordering เรียกว่า Semi-optimal ordering ดู Appendix 3

### 3.3.4 Starting effect

(7)  
วิธีการของ Newton Raphson method จะต้องใช้ initial voltage ที่มีค่าใกล้เคียง solution เพราะว่าถ้าค่า initial voltage ไม่ดีพอจะทำให้ diverge หรือ converge เข้าหาค่าที่ผิดได้ การแก้ปัญหาโดยใช้  $Y_{bus}$  iterative method คำณวนก่อน 1-2 iterations แล้วถึงใช้วิธีการของ Newton Raphson method

3.4 Decouple load flow equation

ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงขนาดของ voltage มีผลน้อยต่อการเปลี่ยนของ real power และการเปลี่ยนแปลง voltage phase angle มีผลน้อยมากกับการเปลี่ยนแปลงของ reactive power จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของ  $P = P(V, \theta)$  และ  $Q = Q(V, \theta)$  สามารถหาค่า  $\Delta P$  และ  $\Delta Q$  ได้ดังนี้

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial \theta} \Delta \theta + \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V \tag{3.6a}$$

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial \theta} \Delta \theta + \frac{\partial Q}{\partial V} \Delta V \tag{3.6b}$$

จากสมการ (3.6a) และ (3.6b) สามารถเขียนเป็น Decouple Equation ได้ดังนี้

$$\Delta P \approx \frac{\partial P}{\partial \theta} \Delta \theta \tag{3.7a}$$

$$\Delta Q \approx \frac{\partial Q}{\partial V} \Delta V \tag{3.7b}$$

จากสมการที่ (3.7a) และ (3.7b) สามารถเขียนอยู่ในรูปของ Jacobian matrix equation ได้ดังนี้

$\Delta P$	=	H	O	$\Delta \theta$	(3.8)
$\Delta Q$		O	L	$\Delta V$	

โดยที่  $H = \frac{\partial P}{\partial \theta}$  และ  $L = \frac{\partial Q}{\partial V}$

การปรับปรุงสมการที่ (3.8) เนื่องจาก load flow equation เป็น non-linear equation การขจัดปัญหาของ non-linear equation ของสมการ (3.8) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(10), (11)

การหารด้วยขนาดของ voltage จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \Delta P/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H/V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \end{bmatrix} \quad (3.9a)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta Q/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L/V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.9b)$$

จากสมการที่ (3.9a) และ (3.9b) จะแตกต่างกัน (3.4a) เนื่องจากวิธีการของ Decouple equation ลดผลของ non-linear equation ลงเนื่องจากหารด้วยขนาดของ voltage magnitude ทั้งสองข้างของสมการ ทำให้มีความเชื่อถือได้เมื่อนำมาแก้ปัญหา ill condition problem นอกจากนี้ยังใช้ computer storage น้อยกว่า Normal Newton Raphson เนื่องจากติดผลของ Sub-matrix  $[N]$  และ  $[J]$  ทั้ง การเข้าหา load flow solution ก็ยังเร็วกว่าด้วย แต่เมื่อใช้รีเคาระระบบไฟฟ้ากำลังที่มี transformer tap/ phase shifter แล้ว จะมีปัญหาเรื่องการเข้าหาคำคำตอบซ้ำมากและ คำคำตอบมีความคลาดเคลื่อนมากในแต่ละ iteration ของการคำนวณ  $[H/V]$  และ  $[L/V]$  ก็ยังเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเช่นเดิม จากสมการ (3.4a), (3.9a) และ (3.9b) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่ว ๆ ไปได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \Delta P/V \\ \Delta Q/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H/V & \epsilon N/V \\ \epsilon J/V & L/V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

โดยที่  $\epsilon = 0$  Fast Decouple Newton Raphson method

$\epsilon = 1$  Normal Newton Raphson method

### 3.5 Modified Fast Decouple Newton Raphson method

การ Modified Fast Decouple Newton Raphson method อาศัยคุณสมบัติของ physical system โดยพยายามพัฒนา Jacobian matrix  $[H/V]$  และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$L/V$  ให้อยู่ในรูปของ constant matrix เพื่อประโยชน์ในการ triangulation และ Elimination จาก Appendix 1 เราสามารถหาค่า  $P_k$  และ  $Q_k$  ได้ดังนี้

$$P_k = V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (3.11a)$$

$$Q_k = V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (3.11b)$$

โดยที่  $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$

จากสมการ (3.11a) และ (3.11b) เมื่อเราใช้ series expansion สำหรับ  $\sin \theta_{km}$  และ  $\cos \theta_{km}$  จะได้ว่า

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{6} + \frac{\theta^5}{5!} - \dots \quad (3.12a)$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2} + \frac{\theta^4}{4!} - \dots \quad (3.12b)$$

จากลักษณะของสมการ (3.12a) และ (3.12b) ถ้าตัดเทอม power series สูง ๆ ทิ้ง จะได้  $\sin \theta \approx \theta$  และ  $\cos \theta \approx 1$  นั่นคือเราสามารถเขียนสมการ (3.11a) และ (3.11b) ในรูปของ simplified matrix ได้คือ

$$[P] = [A][\theta] \quad (3.13a)$$

$$[Q] = [C][V] \quad (3.13b)$$

โดยที่  $[P]$  และ  $[Q]$  เป็น term ของ real และ reactive power และ

$$\left. \begin{aligned} A_{kk} &= V_k \sum_{m \in k} V_m B_{km} \\ A_{km} &= -V_k V_m B_{km} \quad \text{สำหรับค่า } m \neq k \end{aligned} \right\} \quad (3.14a)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{kk} &= \sum_{m \in k} B_{km} \\ C_{km} &= -B_{km} \quad \text{สำหรับค่า } m \neq k \end{aligned} \right\} \quad (3.14b)$$

ถ้าในระบบไฟฟ้ากำลังมี transformer tap changing อยู่ใน transmission line จะทำให้เกิดผลของ reactive power flow และปรับปรุงค่าของ voltage ด้วย ดังนั้น จากสมการที่ (3.14b) จะได้ว่า

$$\left. \begin{aligned} C_{kk} &= \sum_{m \in k} t_{km} B_{km} \\ C_{km} &= -B_{km} \quad \text{สำหรับค่า } m \neq k \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

เมื่อ  $t_{km}$  - tap ratio ของ transformer ที่อยู่ใน line จากสมการ (3.14a) และสมการ (3.13a) เป็นเหตุผลของการ modified decouple equation เพื่อปรับปรุง Jacobian matrix ให้เป็น constant matrix ในขณะที่สมการ (3.14b) และ (3.15) เป็น constant matrix แล้ว ดังนั้น สามารถแก้ไขสมการ (3.13a) และ (3.14a) ได้ดังนี้

$$[\hat{A}][\hat{\theta}] = [\hat{P}] \quad (3.16)$$

$$\left. \begin{aligned} \hat{A}_{km} &= -B_{km} \\ \hat{A}_{kk} &= \sum_{m \in k} B_{km} \\ \hat{\theta}_k &= \theta_k \cdot V_k \\ \hat{P}_k &= P_k / V_k \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

เพราะฉะนั้น Jacobian matrix จะเป็น constant matrix  $[\hat{A}]$  ดังสมการ (3.16) และ (3.17) ดังนั้น จากสมการ (3.9a) และ (3.9b) เราสามารถหาค่า Jacobian matrix element  $[H/V]$  และ  $[L/V]$  ได้ดังนี้ คือ

จากสมการ (3.11a) Diagonal element ของ  $\left[ \frac{H}{V} \right]$  คือ

$$H_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -Q_k - B_{kk} V_k^2$$

$$\therefore H_{kk}/V_k = -\frac{Q_k}{V_k} - B_{kk} \quad (3.18)$$

off-diagonal element ของ  $\left[ \frac{H}{V} \right]$  คือ

$$H_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$H_{km}/V_k = V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (3.19)$$

จากสมการ (3.11b) Diagonal element ของ  $\left[ \frac{L}{V} \right]$  คือ

$$L_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} = \frac{Q_k}{V_k} - B_{kk} V_k$$

$$\therefore L_{kk}/V_k = \frac{Q_k}{V_k^2} - B_{kk} \quad (3.20)$$

off-diagonal element ของ  $\left[ \frac{L}{V} \right]$  คือ

$$L_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$\therefore L_{km}/V_k = G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km} \quad (3.21)$$

เพราะฉะนั้น จากสมการ (3.14a), (3.14b) และ (3.15) ถึง

(3.17) สามารถนำมาพัฒนา Jacobian matrix  $\left[ \frac{H}{V} \right]$  และ  $\left[ \frac{L}{V} \right]$  ให้เป็น constant matrix โดยพิจารณาสมการ (3.18) ถึง (3.21) ซึ่งจะได้ constant matrix ที่ประกอบมาจาก Network element ของระบบไฟฟ้ากำลัง นั่นคือ

(1) ให้  $V_k$  และ  $V_m$  มีค่าเท่ากับ  $1.0 \angle 0^\circ$  per-unit

(2) ใน transmission line system ( $R/X$  ratio)  $\ll 1$  ดังนั้น

$G_{km} \ll B_{km}$  ตัดค่า  $G_{km}$  ทิ้งได้

(3) ภายใต้สภาวะการทำงานปกติของระบบไฟฟ้ากำลัง voltage phase angle  $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$  มีค่าน้อยมาก นั่นคือ  $\cos(\theta_k - \theta_m) \approx 1.0$  และ  $\sin(\theta_k - \theta_m) \approx 0.0$

(4) ดังนั้น  $G_{km} \sin \theta_{km} \ll B_{km}$  และ  $Q_k \ll B_{kk} V_k^2$

นั่นคือ จากข้อ (1) ถึง (4) สามารถเขียน Jacobian matrix equation

อยู่ในรูปของ constant matrix หรือ B-matrix ได้ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P/V \\ \Delta Q/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.22a)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta Q/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.22b)$$

โดยที่  $[B]$  matrix เป็นส่วนของ imaginary part ของ admittance

matrix  $Y$

$$Y_{kk} = G_{kk} + jB_{kk} \quad \text{และ} \quad Y_{km} = G_{km} + jB_{km}$$

เนื่องจากเหตุผลของสมการ (3.14a), (3.14b), (3.15) และ (3.17) นำมาพิจารณาสมการ (3.22a) และ (3.22b) จะต้องพิจารณาผลของ power system component ด้วยเช่น transformer tap, shunt reactance และ phase shift transformer

(5) จากสมการ (3.17) และ (3.22a) เมื่อตัดผลของ reactive power flow ใน shunt reactance และ off nominal transformer tap และ line resistance โครงสร้างของ B matrix จะประกอบมาจาก reactance ของ transmission line เท่านั้น นั่นคือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \end{bmatrix} \quad (3.23a)$$

โดยที่  $B'_{km} = -1/X_{km}$  สำหรับค่า  $k \neq m$

$$B'_{kk} = \sum_{m=1}^n 1/X_{km} \quad \text{เมื่อ } k = 1, 2, \dots, n$$

$X_{km}$  = mutual reactance ของ transmission line

(6) จากสมการ (3.14b), (3.15) และ (3.22b) เมื่อคิดผลของ reactive power flow ใน transmission line และ power system component จะทำให้ B-matrix ประกอบมาจาก imaginary part ของ admittance matrix ด้วย

$$\begin{bmatrix} \Delta Q/V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.23b)$$

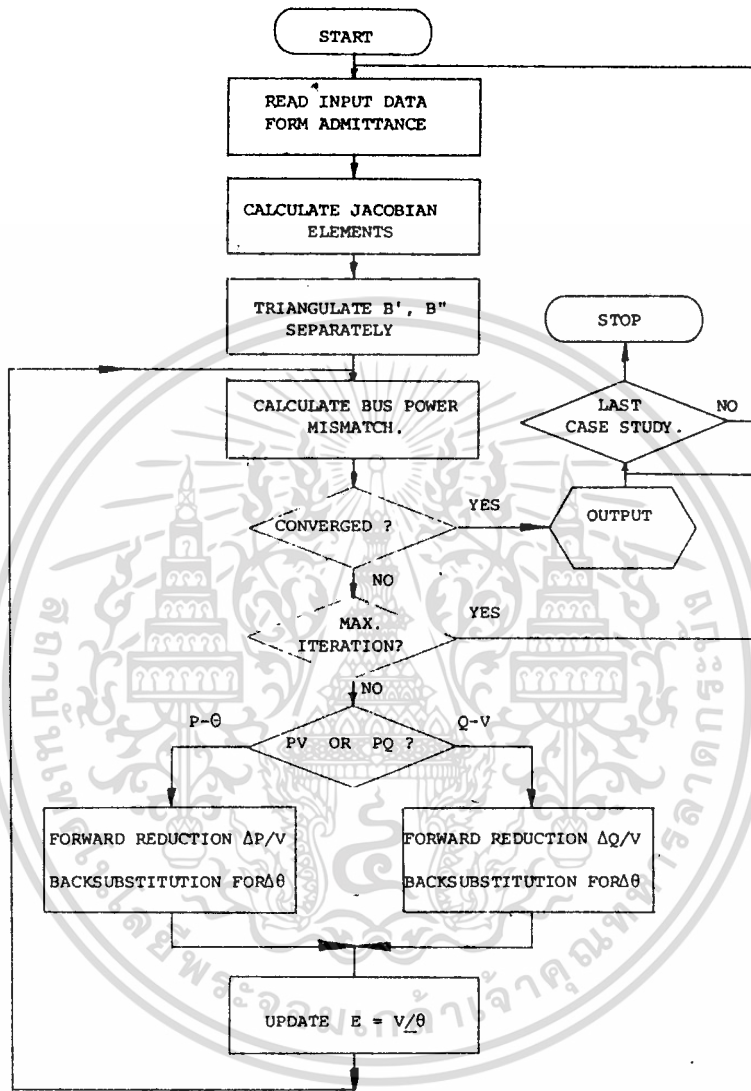
โดยที่  $B''_{km} = -B_{km}$  สำหรับค่า  $m \neq k$

$$B''_{kk} = \sum_{m=1}^n B_{km} \quad \text{สำหรับ } k = 1, 2, \dots, n$$

นั่นคือ element ของ  $B''$ -matrix เป็นส่วนของ imaginary part ของ admittance matrix  $[Y]$

$$Y_{km} = G_{km} + jB_{km} \quad \text{และ} \quad Y_{kk} = G_{kk} + jB_{kk}$$

ดังนั้น การศึกษา load flow solution จึงต้องพิจารณาผลของ  $B' = B''$ -matrix จากเหตุผลของสมการ (3.14b) และ (3.17) เปรียบเทียบกับ  $B' \neq B''$ -matrix จากเหตุผลของสมการ (3.17) และ (3.15) อันเนื่องมาจาก power system component โดยการเปรียบเทียบ characteristic of convergence, ผลของ load flow solution/ maximum mismatch ( $\Delta P, \Delta Q$ ) และความเชื่อถือได้ของ solution จากทั้งสองกรณี รูปที่ 9 แสดง Flow-chart สำหรับ Modified Fast Decouple Newton Raphson method



รูปที่ 9 แสดง Flow-chart ของ Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method

### 3.6 บทสรุป

การพัฒนา Normal Newton Raphson เป็น Fast Decouple Newton-Raphson โดยการปรับปรุงผลของ Jacobian matrix จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า วิธีการ Normal Newton Raphson Jacobian matrix element จะเปลี่ยนแปลงทุก ๆ iteration ที่ทำการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 9 Jacobian matrix element เป็นค่าคงที่ตลอดเวลาของการคำนวณ การพัฒนา Jacobian matrix ให้เป็น constant matrix อาศัยคุณสมบัติทาง physical system และ decouple equation ประกอบ (หัวข้อ 3.5) การปรับปรุง Algorithm สำหรับรูปที่ 5 และรูปที่ 9 ให้ผลของ solution speed แยกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจาก Normal Newton Raphson ลักษณะ iteration loop จะอยู่ในรูปของ  $(\Delta P, \Delta Q)$  co-ordination ทำให้ผลของ solution speed ช้ากว่า เพราะว่า การเปลี่ยนแปลงของ Jacobian matrix element ของแต่ละ iteration จะทำให้  $(\Delta P, \Delta Q)$  co-ordination เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในขณะที่ Modified Fast Decouple Newton-Raphson method มี iteration loop  $(\Delta P, \Delta \theta)$  และ  $(\Delta Q, \Delta V)$  co-ordination การเข้าหา solution แยกจากกันโดยอิสระ (Extra-iteration) (11) และเมื่อเปรียบเทียบกับ Flow-chart ของ B. Stott ซึ่งมีการคำนวณ extra iteration loop ซึ่งซ้อนกัน ในระหว่างที่คำนวณหาค่า  $\Delta P/V$  และ  $\Delta Q/V$  การพัฒนา algorithm จะช่วยในการเขียนโครงสร้างของ computer program ให้ง่ายต่อการคำนวณและขั้นตอนการคำนวณไม่ยุ่งยาก

## บทที่ 4

### Improved Programming Technique.

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้ เป็นการที่หา Network Topology โดยใช้คุณสมบัติของ node และ branch ของระบบไฟฟ้ากำลังจัดรูปของ Linknet Structure เพื่อใช้ลด computer - storage และจัดรูป computer program จาก Double Subscript Array เป็น Single Subscript Array การใช้ Semi Optimal Ordering โดยแยกออกเป็น Pre-ordering และ Dynamic Ordering เพื่อใช้ในการ Elimination และ Triangulation Jacobian Matrix การพัฒนาและปรับปรุง Speed of Convergence โดยการ update variables ในระหว่างที่ทำการ Back Substitution และการพัฒนา B'-matrix และ B"-matrix ให้เป็น Single B-matrix เพื่อใช้คำนวณ real และ reactive power equation เพื่อลด Computer Storage และเพิ่ม Convergence Speed

#### 4.2 Linknet Storage of Sparse Matrices

Linknet Structure <sup>(22), (23)</sup> ถูกพัฒนาขึ้นมาจก Network Topology โดยอาศัยคุณสมบัติ และความสัมพันธ์ของ node และ branch ใน network ลักษณะของ Linknet Structure เป็นการกำหนดโครงสร้างของ Network ให้กับ Computer โดยให้ Computer เก็บข้อมูลของ Network ในรูปของ One-dimensional vectors โดยที่แต่ละตำแหน่งของ vector จะถูกกำหนดโดย node และ branch ประโยชน์คือ ช่วยในการเก็บข้อมูลของ Self และ mutual admittance matrix ในรูปของ One-dimensional และ เก็บเฉพาะข้อมูลที่มีความสำคัญที่จะใช้วิเคราะห์ปัญหาเท่านั้น นอกจากนี้ ยังช่วยในการทำ -

computer program สำหรับ Elimination matrix, Triangulation matrix และ Back-substitution matrix โดยจัด matrices เหล่านี้ให้อยู่ใน Computer Storage เดียวกันได้

จากคุณสมบัติของ Network Topology ในแต่ละ branch จะประกอบด้วย branch end 2 จุด (branch end number) นั่นคือให้ ENDA และ ENDB เป็น branch end number และ BRANCH เป็น branch number

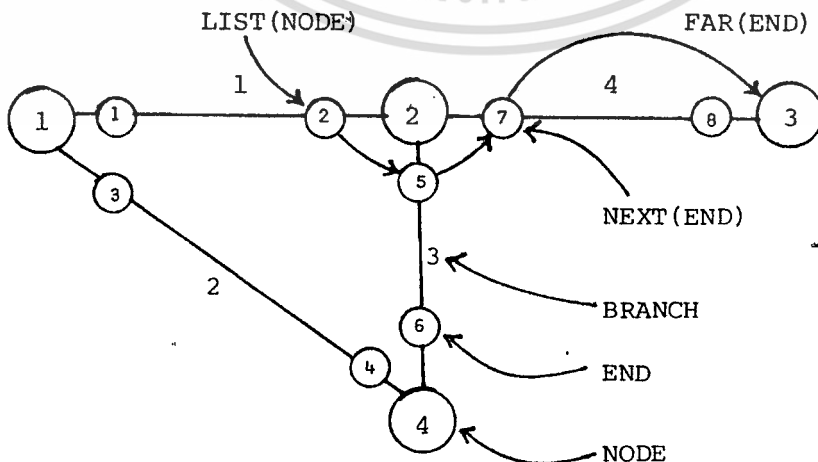
$$ENDA = 2 \cdot BRANCH - 1 \tag{4.1}$$

$$ENDB = 2 \cdot BRANCH \tag{4.2}$$

โดยที่ ENDA, ENDB และ BRANCH เป็น integer number ในภาษา FORTRAN PROGRAMMING จากความสัมพันธ์ของสมการ (4.1) สามารถหาค่า BRANCH ได้ คือ

$$BRANCH = (ENDA + 1) / 2 \tag{4.3}$$

จากความสัมพันธ์ของ (4.3) เป็นการบอกถึงจำนวน branch ที่ต่ออยู่กับ node ต่างๆว่ามีจำนวนเท่าใดดังนั้น การกำหนดหมายเลขต่างๆใน network จะต้องอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ (4.1), (4.2) และ (4.3) เราเรียกว่า Network Pointer ดังรูปที่ 10



เอกสารนี้รูปที่ 10 แสดงลักษณะ NODE ของ NETWORK และ END จากความสัมพันธ์ (4.1) และ (4.2) และ (4.3)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Network Pointer LIST(NODE), NEXT( END), FAR( END) และ BRANCH( branch number) จากลักษณะของรูปที่ 10 จะกำหนด Network Pointer คือ LIST(NODE), NEXT( END) และ FAR( END) ซึ่งต่างก็เป็น branch end number ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ (4.1), (4.2) และ (4.3) branch สุดท้ายที่ต่ออยู่กับ node ใดๆ นั้น computer ก็จะได้เมื่อ Network pointer NEXT( END) = 0 ดังรูปที่ 11 เป็นลักษณะการทำงานหรือการนับของ Computer ที่ node 2

NODE	LIST(NODE)	END	NEXT( END)	FAR( END)
1	1	1	3	2
2	2	2	5	1
3	8	3	0	4
4	4	4	6	1
		5	7	4
		6	0	2
		7	0	3
		8	0	2

รูปที่ 11 แสดงการนับที่ node ②

จากรูปที่ 11 แบ่งลักษณะของ algorithm ได้ 2 ขั้นตอน คือ

#### 4.2.1 Algorithm สำหรับ branches ที่ต่ออยู่กับ node เพียง node เดียว

```
Initialize   END = LIST(NODE)
set         BRANCH = ( END + 1) / 2
and        END = NEXT( END), until NEXT( END) = 0
```

#### 4.2.2 Algorithm สำหรับ node อื่นๆ ที่ต่ออยู่กับ node ที่กำลังนับ

```
Initialize   END = LIST(NODE A)
set         NODE B = FAR( END)
and        END = NEXT( END), until NEXT( END) = 0
```

Linknet Structure จะจัดรูปขึ้นเมื่อ Network data ถูกป้อนเข้าไป และจัดรูปของ bus admittance matrix ขึ้น โดยจะเก็บข้อมูล Self admittance เป็น node data และ mutual admittance เป็น branch data

#### 4.3 Triangulation of Jacobian matrices for nodal elimination

##### 4.3.1 Solution of general matrix equation

จาก matrix equation  $[A] = [B][X]$  ----- (4.4)

จากสมการที่ (4.4) สามารถหาค่า  $X$  โดยการ Triangulated matrix B และ A แล้วทำการ back substitution เพื่อหาค่า  $X$  ดังนั้นจากสมการ (4.4) เขียนเป็น matrix ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_1^1 \\ a_2^1 \\ \vdots \\ a_n^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}^1 & b_{12}^1 & \dots & b_{1n}^1 \\ b_{21}^1 & b_{22}^1 & \dots & b_{2n}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1}^1 & b_{n2}^1 & \dots & b_{nn}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \text{----- (4.5)}$$

จากสมการที่ (4.5) Elimination  $x_1$  จากทุก row นอกจาก row แรก (row operation)

$$\begin{bmatrix} a_1^1 \\ a_2^2 \\ \vdots \\ a_n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}^1 & b_{12}^1 & \dots & b_{1n}^1 \\ 0 & b_{22}^2 & \dots & b_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & b_{n2}^2 & \dots & b_{nn}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \text{----- (4.6)}$$

โดยที่  $a_k^2 = a_k^1 - \frac{b_{k1}^1 a_1^1}{b_{11}^1}$  สำหรับ  $k=2, \dots, n$

$$b_{km}^2 = b_{km}^1 - \frac{b_{k1}^1 b_{1m}^1}{b_{11}^1} \quad \text{สำหรับ } k=2, \dots, n$$

$$m=2, \dots, n$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อ eliminate  $x_2, \dots, x_n$  จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ 2 \\ a_2 \\ \vdots \\ n \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}^1 & b_{12}^1 & \dots & b_{1n}^1 \\ & b_{22}^2 & \dots & b_{2n}^2 \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & b_{nn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

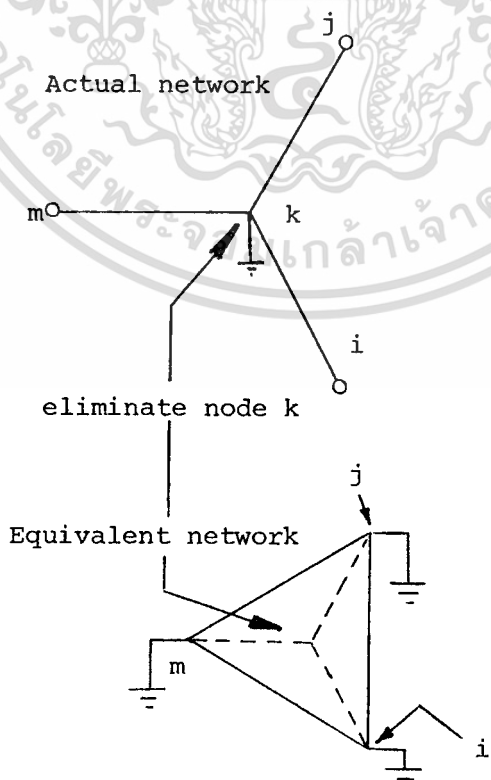
จากสมการ (4.7) สามารถหาค่า  $x$  โดยวิธี back-substitution ได้ดังนี้

คือ

$$\left. \begin{aligned} x_n &= a_n / b_{nn} \\ x_k &= \left[ a_k - \sum_{m=k+1}^n b_{km} x_m \right] / b_{kk} \end{aligned} \right\} (4.8)$$

๓ Appendix 2 ประกอบ

จากลักษณะของ Triangulation ของ network เป็นการลดจำนวน node ใน network ลง ทำให้เกิด branch ใหม่เกิดขึ้น เป็นลักษณะของ equivalent network กับรูปเดิม ดังรูปที่ 12 เป็นการ eliminate ที่ node k



รูปที่ 12 Elimination node k จาก network ปรากฏเป็น equivalent network

จากรูปที่ 12 เมื่อทำการ Elimination Node k จะทำให้ค่า branch admittance ที่ต่ออยู่กับ node m เปลี่ยนไป คือ

$$b'_{mm} = b_{mm} - (b_{mk}b_{km})/b_{kk} \quad (4.9)$$

ในขณะที่เดียวกัน  $a_m$  ก็เปลี่ยนค่าด้วย คือ

$$a'_m = a_m - (b_{mk}/b_{kk}) \cdot a_k \quad (4.10)$$

และค่า mutual term  $b_{mj}$  ที่ต่ออยู่ระหว่าง node m กับ node j จะเปลี่ยนค่าเป็น

$$b'_{mj} = b_{mj} - (b_{mk}/b_{kk}) \cdot b_{kj} \quad (4.11)$$

จากสมการที่(4.11) ถ้าค่า mutual term ระหว่าง node m และ node j มีค่าเป็นศูนย์ (ไม่มี transmission ต่ออยู่) จะทำให้เกิด branch ใหม่ขึ้นมา คือ

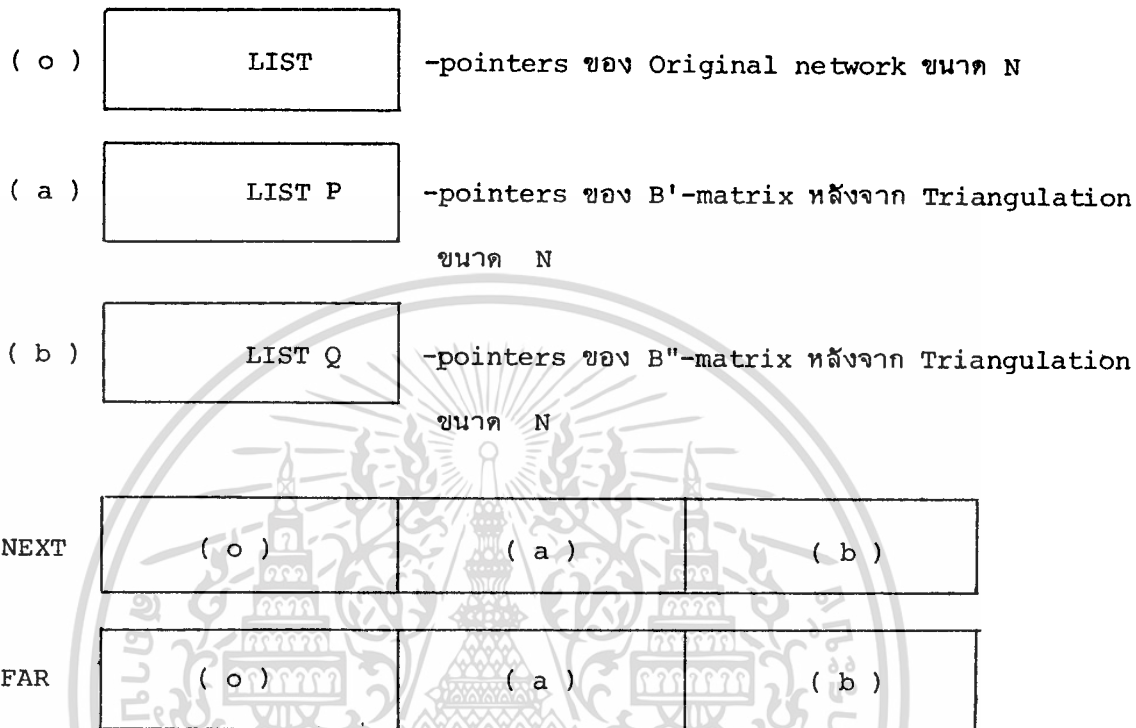
$$b'_{mj} = -(b_{mk}b_{kj})/b_{kk} \quad \text{เมื่อ } b_{mj}=0 \quad (4.12)$$

จากการ Modified Fast Decouple Newton-Raphson โดยแยก Jacobian Matrix เป็น  $B'$  และ  $B''$  matrix เราสามารถ triangulate  $B'$  และ  $B''$ -matrix เพียงครั้งเดียว ซึ่งทำให้  $P/V$  และ  $Q/V$  เปลี่ยนค่าไปด้วยในขณะที่ Triangulation ในแต่ละ iteration ของการคำนวณ  $B'$  และ  $B''$  จะคงที่ตลอดเวลา ต่อจากนั้นทำการ back substitution หาค่า  $\Delta\theta$  และ  $\Delta V$  ในการทำ Forward Reduction  $\Delta P/V$  และ  $\Delta Q/V$  จะใช้ row operation ที่เป็น Semioptimal Ordering จะถูก order โดย integer - vector และจะทำการ back substitution ตาม order ที่กำหนด ดู Appendix 2 และ 3 ประกอบ

#### 4.3.2 Linknet Structure สำหรับ admittance matrices และ Jacobian -Matrix ( $B'$ , $B''$ )

Jacobian Matrixes  $B'$  และ  $B''$ -matrix ขึ้นโครงสร้างมาจาก network elements ของ admittance matrix ซึ่งทั้งตำแหน่งและค่าของ  $B'$  และ  $B''$ -matrix จะถูกเก็บอยู่ในรูปของ upper triangular term และ diagonal term โดยที่ diagonal term เป็น node data และ off-diagonal term เป็น branch data ดังนั้น Linknet Structure สามารถที่จะจัดรูปของ  $B'$  และ  $B''$ -matrix ได้เนื่องจาก Jacobian Matrixes เป็น Sparsity ของ admittance matrix ทำให้ Linknet Structure เดียวกันนี้ สามารถแทน matrix ทั้งสามได้เลยคือ แทน  $B'$ ,  $B''$  และ admittance matrix ไปพร้อมๆกัน

จากหัวข้อ 4.3.1 เมื่อ Triangulated  $B'$  และ  $B''$ -matrix จะทำให้เกิด off-diagonal term ใหม่ขึ้น ซึ่งเป็นการสร้าง branch ใหม่ใน equivalent network ก็จะทำให้เกิด branch end number (END) ขึ้นใหม่อีก 2 ค่า จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บค่า LIST pointers ของ network เดิมเอาไว้ แต่กำหนดค่า LIST pointer สำหรับ  $B'$ -matrix และ LISTQ pointer สำหรับ  $B''$ -matrix ใหม่ โดยที่ NEXT และ FAR\_ - pointer เหมือนเดิม ดังรูปที่ 13



โดยที่

- ( o ) - pointer ของ original network
- ( a ) - pointer ของ branch ใหม่ หลังจาก triangulation  $B'$
- ( b ) - pointer ของ branch ใหม่ หลังจาก triangulation  $B''$
- N - จำนวน bus ของ power system

รูปที่ 13 แสดง Linknet structure storage สำหรับ admittance matrix,  $B'$  และ  $B''$ -matrix ในขณะเดียวกันที่ทำการเก็บข้อมูลสำหรับ computer

จากรูปที่ 11 และรูปที่ 13 NEXT และ FAR pointer จะมีขนาดเป็น 2 เท่าของ LIST, LISTP และ LISTQ pointer นั่นคือ

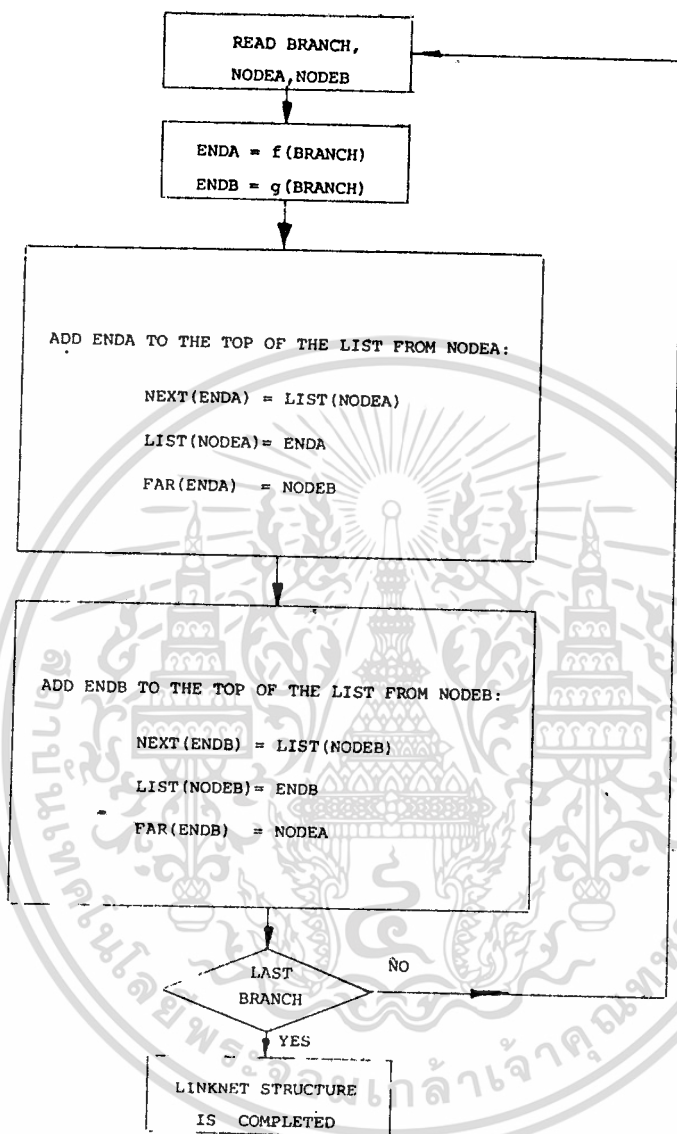
Total Storage pointer สำหรับ admittance, B' และ B"-matrix มีค่าเท่ากับ

LIST + LISTP + LISTQ + NEXT + FAR pointers

$$\text{Total Storage for Computer} = 3N + 6N + 6N = 15N \quad (4.13)$$

เมื่อ N = จำนวน Bus ของ Power System

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของ Normal Newton-Raphson โดยที่ Jacobian Matrix มีขนาด  $4N^2$  จะมีปัญหามากเมื่อใช้กับระบบขนาดใหญ่ และเมื่อใช้การแก้ปัญหามาแบบ Inversion Matrix จะต้องเก็บข้อมูลประมาณ  $3N^2$  ซึ่งก็ใช้ storage จำนวนมากอีกเช่นกัน เมื่อใช้ Linknet Structure แล้วย่อมลด Computer Storage ลงได้ เพราะสามารถเก็บข้อมูลของ matrix ทั้งสาม matrix พร้อมๆกัน เพียงแต่ใช้ Linknet pointer เป็นตัวบอกตำแหน่งของค่าต่างๆใน matrix ในสมการ (4.13) เท่านั้น ลักษณะโครงสร้างของ program จะกำหนดด้วย NEXT(END) pointer เมื่อจบการคำนวณ จากรูปที่ 14 เป็นลักษณะของ Flow diagram ของ Linknet Structure ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 14 LINKNET STRUCTURE ที่ใช้เก็บค่าของ Admittance matrix, B'-matrix และ B"-matrix

#### 4.3.3 Row Ordering for Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method

ในระหว่างที่ทำการ Triangulation Jacobian Matrix จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าใน matrix โดยการเพิ่มค่าแบบสะสมขึ้นดังสมการที่(4.7) เมื่อเราใช้ Semi-optimal ordering<sup>(14), (15)</sup> จะเป็นการลดค่า การบวกสะสมให้มีค่าต่ำสุด โดยแยกออกเป็น 2 ชั้น ตอน คือ dynamic ordering เพื่อเลือก row ที่มีจำนวนศูนย์น้อยขึ้นมา eliminate ก่อน - เมื่อเปรียบเทียบกับ Preordering ดังนั้นการเลือกอันดับก่อนหลังที่จะทำการ elimination Jacobian จะช่วยลด computer time ลง ดู Appendix 3 ซึ่งเป็นการแสดงการ Triangulation และ Algorithm Step ที่ใช้ในการ eliminated

ใน Jacobian Matrix B' slack bus ไม่ได้นำมา Triangulated และใน B"-matrix จะ Triangulated เฉพาะ non-voltage control bus เมื่อเราใช้ Linknet Structure จะเก็บ matrix ทั้งหมดพร้อมๆกันเป็น matrix เดียว ดังนั้นการเปลี่ยนรูปของ matrix ในการคำนวณจะต้องใช้ค่าดัชนีช่วย เราเรียกดัชนีนี้ว่า Integer Vector โดยให้ NSTATE เป็น Integer Vector นั่นคือ

NSTATE = 0 node หรือ bus ถูก eliminated

NSTATE = 1 node หรือ bus ถูกป้องกันจากการ eliminated

โดยใช้ NSTATE เป็นส่วนควบคุมการ eliminated matrix โดยไม่สนใจว่าจะ เป็น B' หรือ B"-matrix ในลักษณะเช่นนี้จำนวน branch ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ใน B' และ B" จะน้อยลงมาก จะทำให้การ Triangulation Jacobian Matrix ใช้เวลาน้อยลง

ข้อได้เปรียบของ dynamic ordering อีกอย่างหนึ่งคือ ช่วยการจัดลำดับ Forward Reducetion ของ  $\Delta P/V$  และ  $\Delta Q/V$  พร้อมทั้งทำการ back substitution โดยพิจารณาจาก Off-diagonal term ของ Jacobian Matrix หลังจาก Triangulation แล้ว แต่ ว่าข้อเสียเปรียบของ Dynamic Ordering ทำให้ Forward Reduction และ Back Subst-

itution เสียเวลาเนื่องจากเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ  $N^2$  (  $N$  = จำนวน bus ของ system ) แต่เมื่อใช้ Linknet pointer ช่วย คือ NEXT และ FAR pointer กำหนด working vector (  $\alpha$  ) มีค่าเท่ากับจำนวนที่มีมากที่สุดที่ติดอยู่กับ node หรือ bus โดยมี dimension =  $\infty N$  จะช่วยในการทำ Dynamic Ordering ใหม่ เราเรียกว่า Dynamic Simulation - technique จะช่วยลดทั้ง Computer time และ Computer storage

#### 4.4 Modified Method for Residual Vector and Back-Substitution

จากหัวข้อที่ 4.3.1 เป็นการ Triangulation โดยทั่วไป ในหัวข้อนี้จะเป็นการใช้คุณสมบัติ Sparsity Techniques และ Optimal Ordering Triangular Factorization ช่วยในการ modified ทาค่า residual vector  $[\Delta P/V]$  และ  $[\Delta Q/V]$  รวมกับการ Back Substitution ทาค่า  $(\Delta\theta, \Delta V)$  จากสมการที่ (4.4) คือ

$$[A] = [B][X] \quad (4.14)$$

เมื่อ

- $[A]$  = residual vector
- $[X]$  = variable vector
- $[B]$  = matrix coefficient

จากสมการที่(4.14) เมื่อทำการ Triangulation  $[B]$  โดยใช้ row-operation method ทำ  $[B]$  matrix ใหม่ คือ

$B_{11}$	$B_{12}$	$B_{13}$	$\cdots \cdots \cdots$	$B_{1n}$
0	$B_{22}$	$B_{23}$	$\cdots \cdots \cdots$	$B_{2n}$
0	0	$B_{33}$	$\cdots \cdots \cdots$	$B_{3n}$
			$\vdots$	$\vdots$
0	0	0	$\vdots$	$B_{nn}$

(4.15)

สมมติให้  $3^{\text{rd}}$  order matrix ก็จะได้  $[B]_{3 \times 3}$  คือ

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ 0 & B_{22} & B_{23} \\ 0 & 0 & B_{33} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Initial vector Solution  $[X] = [X_1^0, X_2^0, X_3^0]^T$

จากสมการ (4.14) และ (4.16) สามารถหาค่า residual vector  $[A]$  ได้ดังนี้ คือ

$$(a) \quad A_1^0 = A_1(X_1^0, X_2^0, X_3^0)$$

$$\text{นั่นคือ } X_1^1 = X_1^0 + A_1^0/B_{11}$$

$$(b) \quad A_2^0 = A_2(X_1^1, X_2^0, X_3^0)$$

$$\text{นั่นคือ } X_2^1 = X_2^0 + A_2^0/B_{22}$$

$$\text{และ } X_1^2 = X_1^0 - (B_{12}(X_2^1 - X_2^0) - A_1^0)/B_{11}$$

$$(c) \quad A_3^0 = A_3(X_1^2, X_2^1, X_3^0)$$

$$\text{นั่นคือ } X_3^1 = X_3^0 + A_3^0/B_{33}$$

$$X_2^2 = X_2^0 - (B_{23}(X_3^1 - X_3^0) - A_2^0)/B_{22}$$

$$X_1^3 = X_1^0 - (B_{12}(X_2^2 - X_2^0) + B_{13}(X_3^1 - X_3^0) - A_1^0)/B_{11}$$

จาก (a), (b) และ (c) จะได้ Solution Vector ที่ใช้คำนวณ iteration คือ

$$[X] = [x_1^3, x_2^2, x_3^1]^T$$

จากลักษณะของ (a), (b) และ (c) เมื่อนำมาใช้กับระบบ Power System โดยสมมติ  $[B]$  คือ Jacobian Matrix ขนาด  $3 \times 3$  matrix เมื่อทำการ Triangulation แล้วมี Residual Vector คือ  $[\Delta P]$  และ vector variable คือ  $[\Delta \theta]$  จะได้ว่า

$$[\Delta P] = [B][\Delta \theta] \quad (4.17)$$

จากสมการที่(4.17) สามารถหาค่า  $[\Delta \theta]$  ได้ดังนี้คือ

$$(a) \quad \Delta P_1^0 = P_1^{sp} - P_1(\theta_1^0, \theta_2^0, \theta_3^0)$$

นั่นคือ  $\Delta \theta_1 = \Delta P_1^0 / B_{11}$

และ  $\theta_1^1 = \theta_1^0 + \Delta \theta_1$

$$(b) \quad \Delta P_2^0 = P_2^{sp} - P_2(\theta_1^1, \theta_2^0, \theta_3^0)$$

นั่นคือ  $\Delta \theta_2 = (\Delta P_2^0 - B_{12} \Delta \theta_1) / B_{22}$

และ  $\theta_2^1 = \theta_2^0 + \Delta \theta_2$

$$\theta_1^2 = \theta_1^0 + \Delta \theta_1$$

$$(c) \quad \Delta P_3^0 = P_3^{sp} - P_3(\theta_1^2, \theta_2^1, \theta_3^0)$$

นั่นคือ  $\Delta \theta_3 = (\Delta P_3^0 - B_{23} \Delta \theta_2) / B_{33}$

$$\Delta \theta_1 = (\Delta P_1^0 - B_{12} \Delta \theta_2 - B_{13} \Delta \theta_3) / B_{11}$$

และ  $\theta_3^1 = \theta_3^0 + \Delta \theta_3$

$$\theta_2^2 = \theta_2^0 + \Delta\theta_2$$

$$\theta_1^3 = \theta_1^0 + \Delta\theta_1$$

Solution Vector  $[\theta]$  คือ  $[\theta_1^3, \theta_2^2, \theta_3^1]^T$

เพราะฉะนั้นจาก(4.14) , (4.15)สามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วๆไปได้ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} A_1^0 \\ A_2^0 \\ \vdots \\ A_n^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ & B_{22} & & \\ & & \ddots & \\ & & & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}$$

โดยที่  $A_k^0 = A_k [X_1^{k-1}, X_2^{k-2}, \dots, X_n^{k-n}]$

และ 
$$\left. \begin{aligned} X_m^{k-m} &= X_m^0 \text{ สำหรับ } k-m < 0 \\ X_m^j &= X_m^0 - \frac{1}{B_{mn}} \left[ \sum_{i=m+1}^{i=m+j} B_{mk} (X_k^{i-k} - X_k^0) - A_m^0 \right] \end{aligned} \right\} (4.18)$$

เราสามารถเปรียบเทียบสมการที่(4.18) กับสมการที่(4.8) ได้ คือสามารถหาค่า Solution Vector  $[X]$  ได้เร็วกว่า โดยทำ Forward Reduction ของ Residual Vector  $[A]$  ด้วย (เปรียบเทียบกับ Appendix 2 ด้วย)

#### 4.5 Solution Technique for Single B-Matrix Method

จากการพัฒนา Jacobian matrix element ให้เป็น constant matrix โดยการ approximation ผลของ coupling elements ให้เป็น Decouple Equation P- $\theta$  และ Q-V กับ initial voltage profile และการพัฒนาคุณสมบัติทาง physical ของระบบ Transmission system ในรูปของ Sin $\theta$  และ Cos $\theta$  เพื่อพิจารณาผล R/X ratio สามารถหาสมการ real และ reactive power mismatch ออกมาได้ 2 สมการ ดังสมการที่(3.21) คือ

$$[\Delta P/V] = [B'] [\Delta \theta] \quad (4.19)$$

$$[\Delta Q/V] = [B''] [\Delta V] \quad (4.19)$$

จากสมการ (4.19) ลักษณะของ B' และ B''-matrix ไม่เหมือนกัน เมื่อเราใช้ Linknet Structure จัดรูปของ matrix ให้เป็น matrix เดียวกัน ในขณะที่ให้ computer เก็บข้อมูลนี้เอาไว้ และเมื่อนำมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้ Semi-optimal Ordering method แยก matrix ออกมาเพื่อทำการ order ทุกๆ bus ในระบบ เพื่อใช้คำนวณ Reactive power - mismatch สำหรับทุกๆ bus ที่เป็น non-voltage controlled bus และ Reactive power - mismatch มีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับ Voltage Controlled bus ดังนั้นในการจัดรูปของ B' และ B''-matrix ในขณะที่ใช้คำนวณ เพื่อให้เป็น Single B-matrix จึงควร order ให้ non-voltage controlled bus ก่อน การจัดอันดับนี้เราใช้ Dynamic Ordering ดังนั้นจากสมการที่ (4.19) สามารถคำนวณ reactive power mismatch equation ได้ดังนี้ คือ

$\begin{matrix} (\Delta Q/v)_1^1 \\ \vdots \\ (\Delta Q/v)_{N-M}^1 \end{matrix}$	=	$\begin{matrix} B_{11}^1 \dots B_{1,N-M}^1 \dots B_{1,N-1}^1 \\ \vdots \\ B_{N-M,1}^1 \dots B_{N-M,N-M}^1 \\ \vdots \\ B_{N-1,1}^1 \dots B_{N-1,N-1}^1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_{N-M} \\ \vdots \\ \Delta V_{N-M+1} \\ \vdots \\ \Delta V_{N-1} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \Delta Q/v_{N-M+1}^1 \\ \vdots \\ \Delta Q/v_{N-1}^1 \end{matrix}$			

(4.20)

โดยที่  $N$  = จำนวน Bus ในระบบ power system

$M$  = จำนวน Voltage Controlled bus.

Matrix equation (4.20) ไม่ได้รวมผลของ Slack bus

จากสมการ (4.20) เมื่อทำการ Triangulation B-matrix และทำ Forward reduction

$[\Delta Q/V]$  จะได้ว่า

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Non-voltage} \\ \text{controlled bus} \\ \hline \end{array} \left\{ \begin{array}{l} (\Delta Q/V)_1 \\ \vdots \\ (\Delta Q/V)_{N-M} \\ \hline (\Delta Q/V)_{N-M+1} \\ \vdots \\ (\Delta Q/V)_{N-1} \end{array} \right. = \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{ccc} B_{11}^1 & \dots & B_{1,N-M}^1 \dots \dots \dots B_{1,N-1}^1 \\ \vdots & & \vdots \\ & B_{N-M,N-M}^{N-M} & \vdots \\ \hline 0 & & \vdots \\ & & B_{N-1,N-1}^{N-1} \end{array} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_{N-M} \\ \hline \Delta V_{N-M+1} \\ \vdots \\ \Delta V_{N-1} \\ \hline \end{array} \quad (4.21)$$

จากสมการที่ (4.21) Sub-triangle matrix  $N-M$  เป็นส่วนของ Non Voltage - controlled bus ที่สามารถแยกออกมาได้ คือ

$$[\Delta Q/V] = [B''] [\Delta V] \quad \text{สำหรับ } N-M \text{ นั่นคือ}$$

$$\begin{array}{|c|} \hline (\Delta Q/V)_1 \\ \vdots \\ \hline (\Delta Q/V)_{N-M} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline B_{11}^1 \dots \dots \dots B_{1,N-M}^1 \\ \vdots \\ \hline B_{N-M,N-M}^{N-M} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \Delta V_1 \\ \vdots \\ \hline \Delta V_{N-M} \\ \hline \end{array} \quad (4.22)$$

จากลักษณะของสมการ(4.19) ถึง (4.22) สามารถหาค่า  $\Delta V$  ได้เหมือนกัน เพียง  
 แต่่ว่า เมื่อเป็น Voltage Controlled bus  $\frac{\Delta Q}{V} = 0$  นั่นคือจาก สมการ(4.21) หาค่า  
 $\Delta V$  ได้ดังนี้

$$\Delta V_j = \frac{1}{B_{jj}} \left[ (\Delta Q/V)_j + \sum_{i=j+1}^{n-1} B_{ji} \Delta V_i \right]$$

และ 
$$\Delta V_{N-1} = \frac{0}{B_{N-1,N-1}} = 0$$

$$\Delta V_{N-M+1} = \frac{1}{B_{N-M+1,N-M+1}} \left[ (\Delta Q/V)_{N-M+1} - \sum_{j=N-M+2}^{N-1} B_{N-M+1,i} \Delta V_i \right]$$

$$= 0$$

$$\Delta V_{N-M} = \frac{1}{B_{N-M,N-M}} \left[ (\Delta Q/V)_{N-M} - \sum_{j=N-M+1}^{N-1} B_{N-M,i} \Delta V_i \right]$$

$$= \frac{1}{B_{N-M,N-M}} \left[ (\Delta Q/V)_{N-M} \right]$$

และ

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= \frac{1}{B_{11}} \left[ (\Delta Q/V)_1 - \underbrace{\sum_{i=2}^{N-M} B_{1,i} \Delta V_i}_{\text{Load Bus}} - \underbrace{\sum_{k=N-M+1}^{N-1} B_{1,k} \Delta V_k}_{\text{Generator Bus}} \right] \\ &= \frac{1}{B_{11}} \left[ (\Delta Q/V)_1 + \sum_{i=2}^{N-M} B_{1,i} \Delta V_i \right] \end{aligned}$$

จากสมการ(4.21) และ(4.22) จะให้ค่า  $[\Delta V]$  เหมือนกันเมื่อ Voltage -  
 Controlled Bus มีค่า  $[\Delta Q/V] = 0$

#### 4.6 บทสรุป

การพัฒนาประสิทธิภาพ ของ Load Flow Programming เพื่อใช้กับ Digital Computer นั้น จะต้องคำนึงถึง Computer Storage และ Computer Time จะเห็นว่าการพัฒนาวิธีการต่างๆที่ใช้กับ Modified Fast Decouple Newton-Raphson method อาศัยคุณสมบัติของ Network Topology ที่เรียกว่า Linknet Structure เพื่อช่วยเก็บข้อมูลของ Network data , Jacobian Matrix ให้อยู่ในลักษณะของ Low array storage ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของ Sparsity Matrix เป็นสำคัญ และในขณะเดียวกัน เมื่อทำการคำนวณ Sparsity Matrix เหล่านี้ จะใช้ Semi-optimal Dynamic Ordering ช่วยในการ - - Elimination, Triangulation และ Back substitution ควบคู่ไปกับ Linknet Structure จะช่วยลด Computer Storage และ Computing time ไปพร้อมกัน Modified Fast Decouple equation  $[\Delta P/V] = [B'] [\Delta \theta]$  และ  $[\Delta Q/V] = [B''] [\Delta V]$  เป็นการพัฒนาเพื่อปรับปรุง speed ของการ Convergence และ การหาค่าของ solution ต้องเชื่อถือได้ โดยการใช้ Single Jacobian Matrix ซึ่งลักษณะของ B' และ B''-matrix ใช้ Storage Computer ร่วมกัน เพียงแต่การคำนวณเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของ bus เท่านั้น.

## บทที่ 5

### Case Study.

#### 5.1 บทนำ

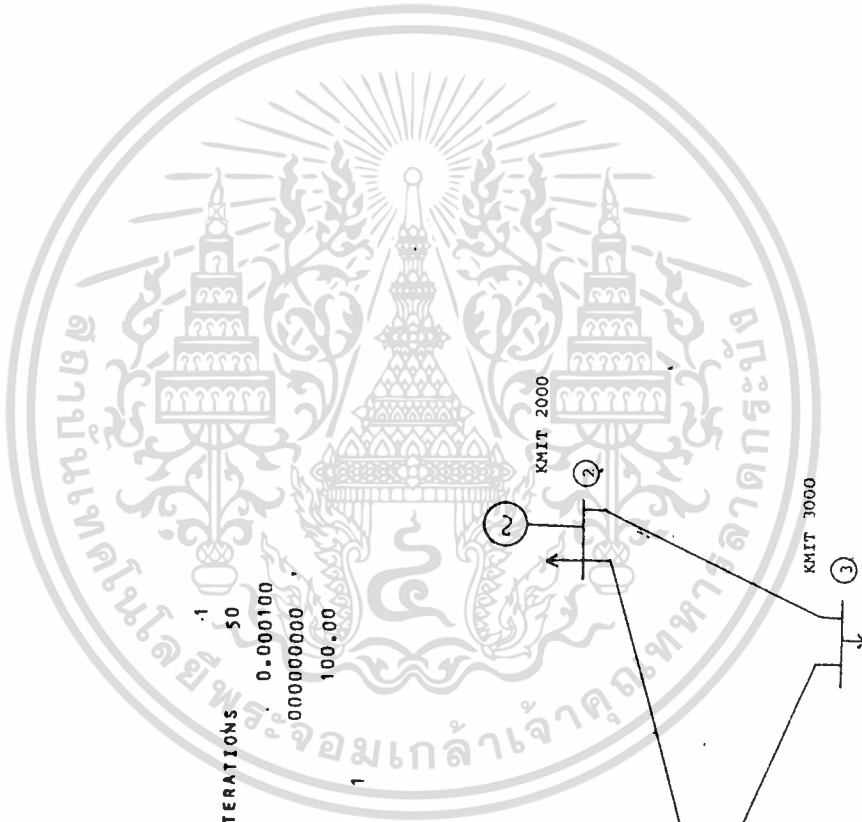
ในบทนี้เป็นการศึกษา Characteristic of Convergence ของ Load flow เมื่อใช้ Modified Fast Decouple Newton-Raphson method เปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ พร้อมทั้ง Load Flow solution และรายละเอียดต่างๆ จาก computer

#### 5.2 Test System และ Data Preparation

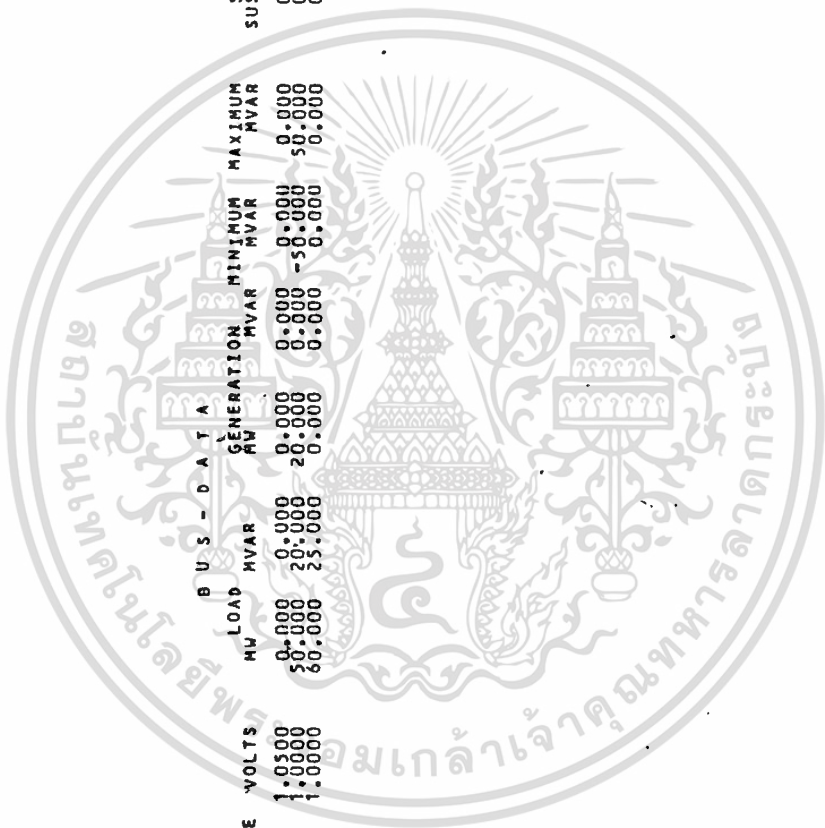
ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 15-18 พร้อมทั้งข้อมูลของระบบคือ Bus data Transmission data, Transformer data ในแต่ละระบบจะมี Power System-Component ต่างๆกันโดยที่ลักษณะของ Test system ทั้งหมดนี้ใช้วิธี Modified Fast Decouple Newton-Raphson ที่ power tolerance 0.0001 และ MVA base 100 MVA. ซึ่งให้ผลของ Load Flow solution ออกมาจากลำดับ จาก Case Study number 1 ถึง Case Study number 4. สำหรับ Source Program อยู่ใน Appendix 4

#### 5.3 Load Flow Results.

จากรูปที่ 15 ถึง 18 เป็นระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดต่างๆกัน แต่ละรูปมีข้อที่นำส่งแตกต่างกันออกไป จากรูปที่ 17 เป็นระบบไฟฟ้ากำลังที่มีจำนวน Bus 6 Busbars โดยมีสายขนาน ( Parallel Transmission ) 3 คู่ คือ จาก Bus 3-Bus 6, Bus 3-Bus 5 และ Bus 5-Bus 6 เป็นการใช้ load-flow วิเคราะห์ผลของ Security System อันเนื่องมาจาก line over-load อาจเกิดขึ้นใน สายใดสายหนึ่งก็ได้ระหว่าง Bus 3-Bus 5,



CASE STUDY NUMBER .1  
 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 50  
 POWER TOLERANCE 0.000100  
 PRINT OUT, INDICATOR 00000000  
 SYSTEM MVA BASE 100.00  
 SLACK BUSBARS 1

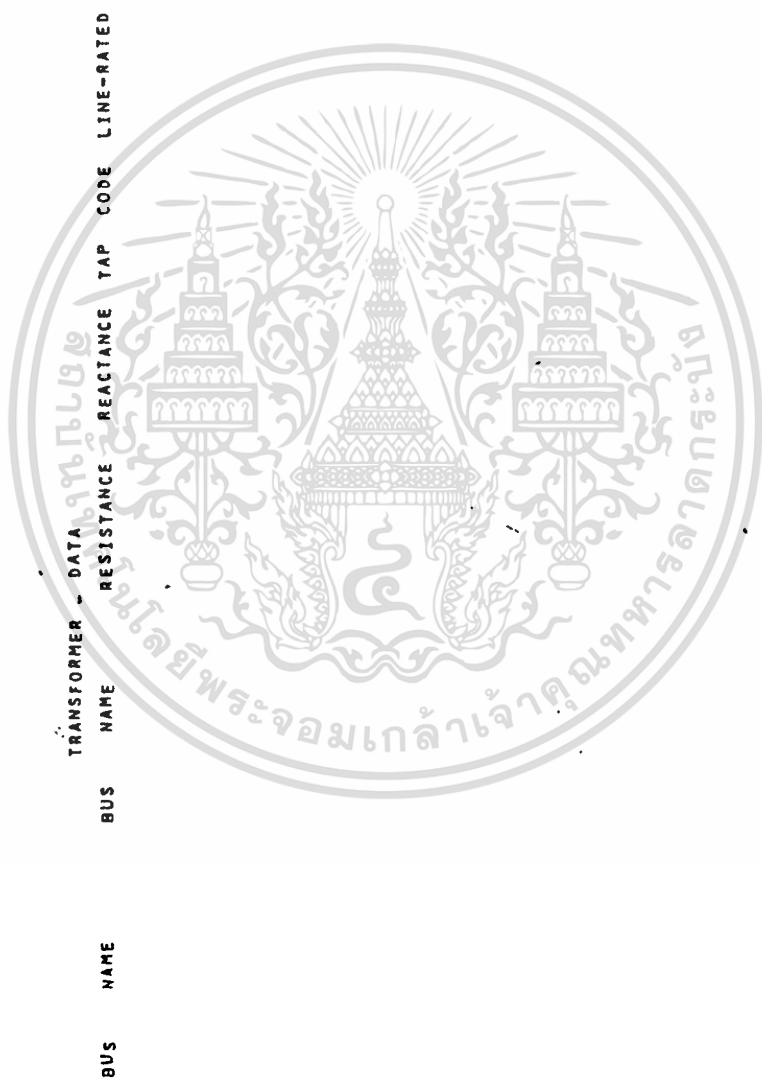


BUS	NAME	TYPE	VOLTS	LOAD MW	LOAD MVAR	GENERATION MW	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SHUNT SUSCEPTANCE	CAP/REAC MVAR
1	KMIT1000	1	1.0500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	KMIT2000	1	1.0000	50.000	20.000	20.000	0.000	50.000	0.000	0.000
3	KMIT3000	0	1.0000	60.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LIME-RATED
1	KMIT1000	2	KMIT2000	0.08000	0.24000	0.00000	100.00000
2	KMIT1000	3	KMIT3000	0.02000	0.06000	0.00000	200.00000
	KMIT2000		KMIT3000	0.06000	0.18000	0.00000	150.00000





NUMBER OF BUSSES 3  
 NUMBER OF LINES 3  
 NO OF TRANSFORMERS 0

BUS	REAL POWER ERROR	REACTIVE POWER ERROR
2	-0.238	-0.090
3	-0.350	0.383
AFTER 1P-Q AND 1Q-V ITERATION		
2	-0.016	0.010
3	-0.137	-0.041
AFTER 2P-Q AND 2Q-V ITERATION		
2	-0.002	0.000
3	0.003	0.000
AFTER 3P-Q AND 3Q-V ITERATION		

SOLUTION CONVERGED IN 4 P-Q AND 3Q-V ITERATIONS

REPORT OF LOAD FLOW SOLUTIONS FOR UNEQUAL B-MATRIX METHOD


BUS DATA

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	GENERATION		LOAD		SHUNT		CAP/REAC		BUS	NAME	MW	MVAR	TAP
				MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR					
1	KMIT1000	1.050	-0.000	91.684	50.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2	KMIT2000	26.7278	35.60234	0.000
													KMIT3000	80.0001	35.60234	0.000
													MISMATCH	-0.001	-0.001	
2	KMIT2000	1.000	-2.367	20.000	0.022	50.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	KMIT1000	-22.40731	-12.99282	0.000
													KMIT3000	-7.59771	-6.98507	0.000
													MISMATCH	-0.001	0.000	
3	KMIT3000	1.017	-1.833	0.000	0.000	60.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	KMIT1000	-67.66254	-32.18109	0.000
													KMIT2000	7.66162	37.17680	0.000
													MISMATCH	0.001	0.000	

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.00440 ON BUS 3  
 THE SLACK BUS GENERATION IS 91.68423 50.03745

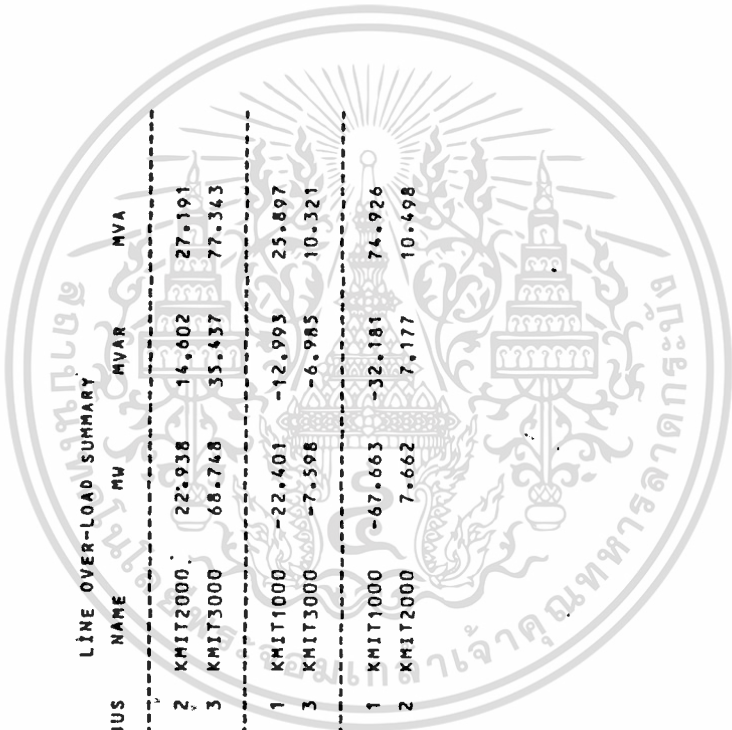




MW	LOAD	MVAR	GENERATION	MW	MVAR	LOSSES	MW	MVAR	MISMATCH	MW	MVAR	SHUNTS	MVAR
110.000		45.000	111.684		50.060	1.686		5.054	-0.001		0.005		0.000

## LINE OVER-LOAD SUMMARY

BUS	NAME	BUS	NAME	MW	MVAR	MVA
1	KMIT1000	2	KMIT2000	22.938	14.602	27.191
		3	KMIT3000	68.748	35.437	77.343
2	KMIT2000	1	KMIT1000	-22.401	-12.993	25.897
		3	KMIT3000	-7.598	-6.985	10.321
3	KMIT3000	1	KMIT1000	-67.663	-32.181	74.926
		2	KMIT2000	7.662	7.177	10.498







BUS	LINE-NAME	BUS	LINE-NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED
1	KMIT0001	3	KMIT0003	0.00000	0.05000	0.00000	100.00000
2	KMIT0002	3	KMIT0003	0.00000	0.10000	0.00000	200.00000
			KMIT0003	0.00080	0.05000	0.00000	100.00000



BUS NAME      BUS      TRANSFORMER - DATA      REACTANCE      TAP CODE      LINE-RATED  
 NAME      NAME      NAME      NAME      NAME      NAME

NUMBER OF BUSSES 3  
 NUMBER OF LINES 3  
 NO OF TRANSFORMERS 0

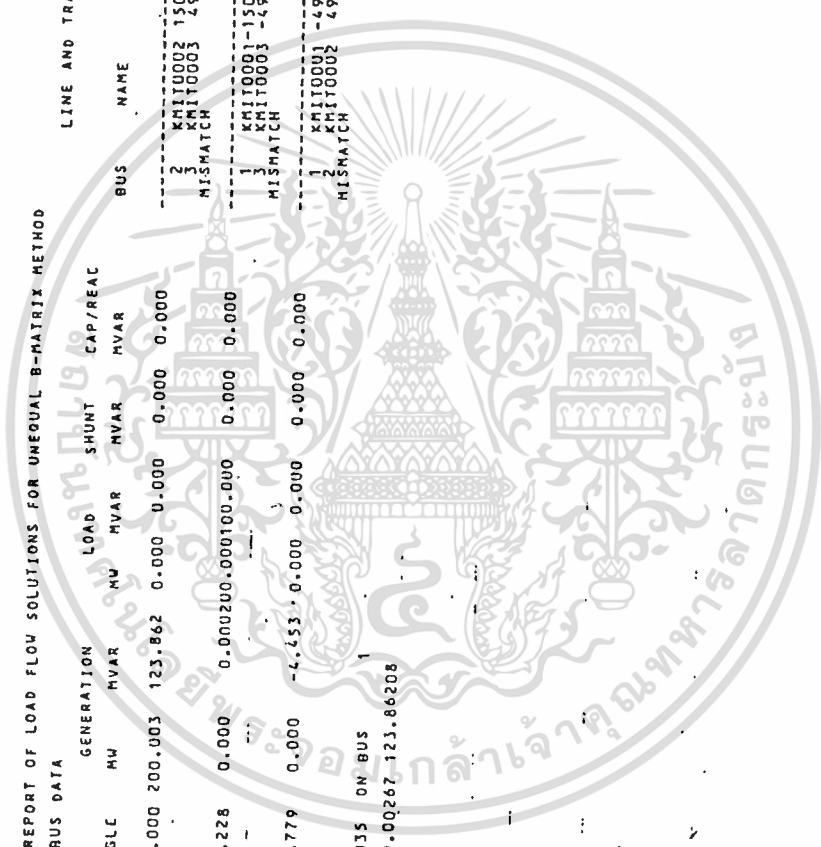
BUS	REAL POWER ERROR	REACTIVE POWER ERROR
2	-2.000	-0.464
3	0.000	0.281
AFTER 1P-0 AND 1Q-V ITERATION		
2	0.020	-0.010
3	0.021	0.050
AFTER 2P-0 AND 2Q-V ITERATION		
2	-0.001	0.000
3	0.000	0.045
AFTER 3P-0 AND 3Q-V ITERATION		

SOLUTION CONVERGED IN 3 P-D AND 3Q-V ITERATIONS

REPORT OF LOAD FLOW SOLUTIONS FOR UNEQUAL B-MATRIX METHOD  
BUS DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLC	GENERATION			LOAD			SHUNT			CAP/REAC			LINE AND TRANSFORMER DATA		
				MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MW	MVAR	TAP		
1	KMIT0001	1.030	0.000	200.003	123.862	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	KMIT0002	0.988	-4.228	0.000	0.000	200.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	150.05693	91.77138	0.000	0.000
															49.97583	32.11104	0.000	0.000
															0.000	-0.020	0.000	0.000
3	KMIT0003	1.000	-2.779	0.000	-4.453	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	150.05684	-72.18983	0.000	0.000	
															-49.97583	-28.78772	0.000	0.000
															49.97583	24.53367	0.000	0.000
															0.002	-0.019	0.000	0.000

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.02035 ON BUS  
THE SLACK BUS GENERATION IS 200.00267 123.86208

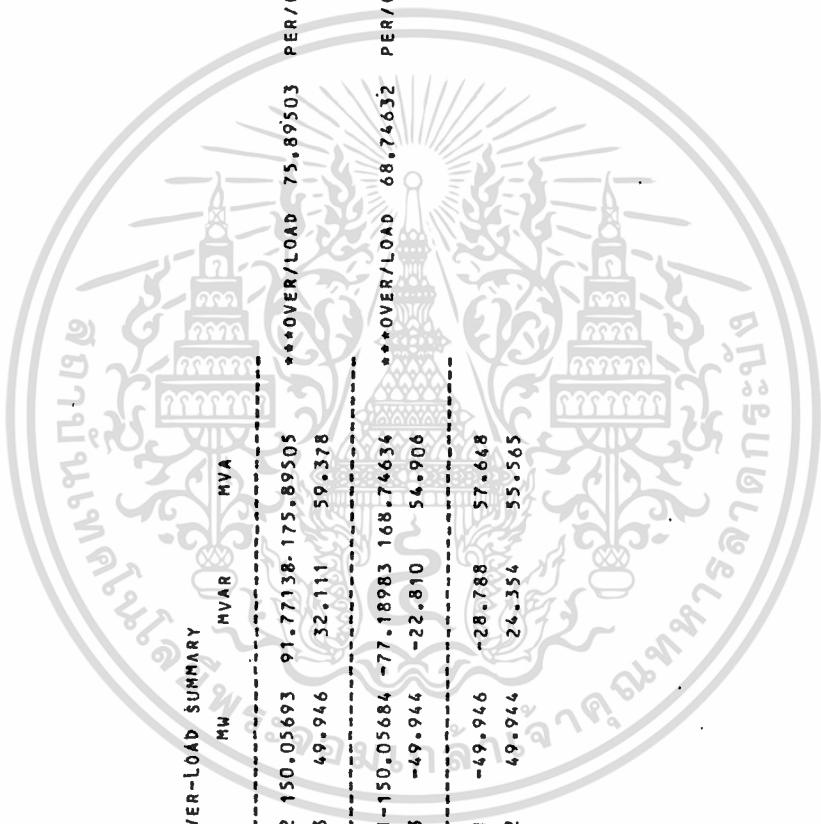




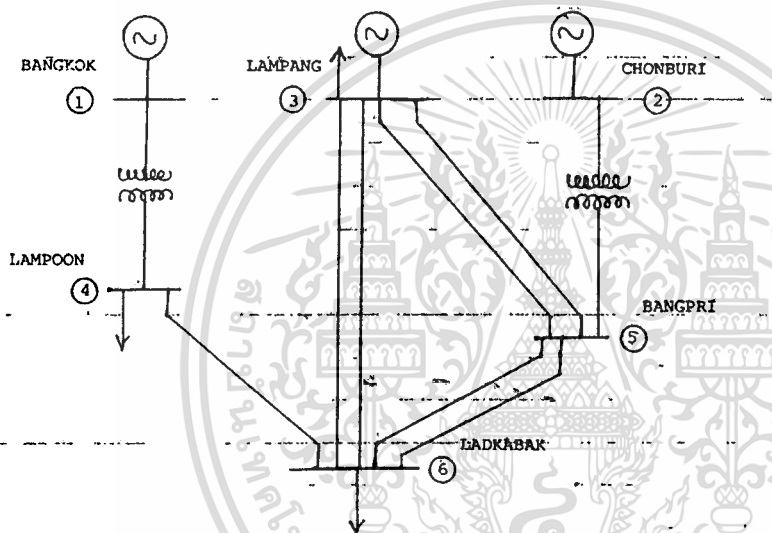
MW LOAD	MVAR	200.000	100.000	200.003	119.409	0.000	19.446	0.003	-0.037	0.000
MW	MVAR	GENERATION	MVAR	LOSSES	MVAR	MW	MVAR	MISMATCH	MVAR	SHUNTS

LINE OVER-LOAD SUMMARY

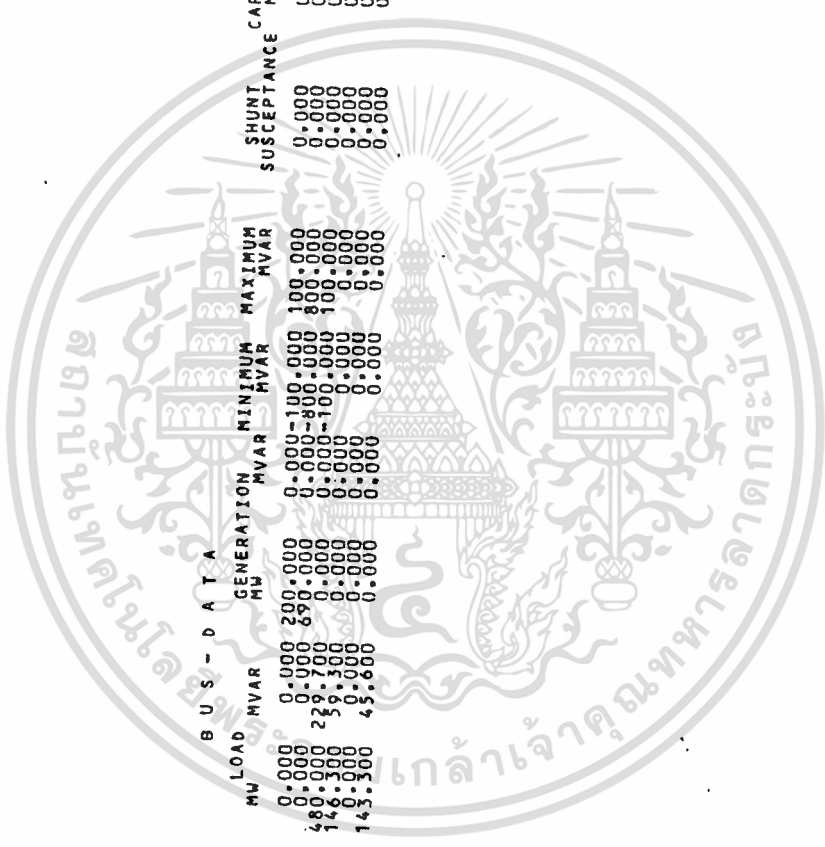
BUS NAME	BUS	NAME	MW	MVAR	MVA	PER/CENT
1 KMIT0001	2	KMIT0002	150.05693	91.77138	175.89505	75.89503
2 KMIT0002	3	KMIT0003	49.946	32.111	59.378	PER/CENT***
3 KMIT0003	1	KMIT0001	150.05684	-77.18983	168.74634	68.74632
	3	KMIT0003	-49.944	-22.810	54.906	PER/CENT***
	1	KMIT0001	-49.946	-28.788	57.668	
	2	KMIT0002	49.944	24.354	55.565	



CASE STUDY NUMBER 3  
 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 100  
 POWER TOLERANCE 0.000100  
 PRINT OUT INDICATOR 00000000  
 SYSTEM MVA BASE 100.00  
 SLACK BUSBARS 1



รูปที่-17



BUS	NAME	TYPE	VOLTS	MW LOAD	MVAR	GENERATION	MINIMUM	MAXIMUM	SUSCEPTANCE	CAP/REAC
				MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	HVAR	HVAR
1	BANGKOK	1	1-0.500	0.000	0.000	0.000-200.000	0.000-100.000	100.000	0.000	0.000
2	CHONGBURI	1	1-0.500	0.000	0.000	0.000-690.000	0.000-800.000	800.000	0.000	0.000
3	LAMPANG	1	1-0.500	0.000	0.000	0.000-100.000	0.000-100.000	100.000	0.000	0.000
4	LAMPUN	0	1-0.500	28.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	BANGPURI	0	1-0.500	37.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	LADKABAK	0	1-0.500	45.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



LINE	DATA	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED
1	LADKABAK	0.01900	0.11200	0.17460	200.00000
2	LADKABAK	0.01330	0.09040	0.05690	200.00000
3	LADKABAK	0.00330	0.00400	0.00560	200.00000
4	LAMPANG	0.00560	0.00800	0.00800	200.00000
5	LAMPANG	0.00230	0.01470	0.04530	200.00000
6	LAMPANG	0.00230	0.01470	0.04530	200.00000

NAME	BUS
LAMPOON	6
BANGPRI	6
BANGPRI	6
BANGPRI	6
LADKABAK	6
LADKABAK	6

BUS
4
5
5
5
6
6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



TRANSFORMER - DATA  
 RESISTANCE REACTANCE TAP CODE LINE-RATED  
 0.00200 0.03880 1.023 0 200.00000  
 0.00060 0.01640 1.023 1 200.00000

BUS	NAME	BUS	NAME
4	LAMPORN	1	BANGKOK
5	BANGPRI	2	CHONBURI

NUMBER OF BUSSES 6  
 NUMBER OF LINES 7  
 NO OF TRANSFORMERS 2

BUS	REAL POWER ERROR	REACTIVE POWER ERROR
2	6.856 ✓	-1.326
3	-5.277	-6.068 ✓
4	-1.370	1.141
5	0.095	1.910
6	-1.017	2.184
AFTER 1P-Q AND 1Q-V ITERATION		
2	0.074	0.101
3	0.393	-3.079 ✓
4	-0.011	0.018
5	-0.071	-0.006
6	-0.372	-0.065
AFTER 2P-Q AND 2Q-V ITERATION		
2	0.001	0.093
3	-0.006	-3.135 ✓
4	-0.002	0.000
5	0.002	0.000
6	0.007 ✓	0.001
AFTER 3P-Q AND 3Q-V ITERATION		



REPORT OF LOAD FLOW SOLUTIONS FOR UNEQUAL B-MATRIX METHOD

BUS DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	GENERATION			LOAD			SHUNT			CAP/REACT		
				MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	MVA	MVAR	MVA	MVAR	MVA		
1	BANGKOK	1.050	0.000	99.758	85.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	CHONBURI	1.045	16.494	690.000	-9.247	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	LAMPANG	1.020	0.463	0.000	313.452	480.000	229.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4	LAMPOON	1.040	-1.985	0.000	0.000	146.300	59.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5	BANGPURI	1.023	10.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
6	LADKABAK	1.018	1.158	0.000	0.000	143.300	45.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.00752 ON BUS 5

THE SLACK BUS GENERATION IS 99.75803 85.17310

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS	NAME	MW	MVAR	TAP
4	LAMPOON	99.75789	85.17259	1.022
MISMATCH 0.000 0.001				
5	BANGPURI	690.00049	-2.2749	1.025
MISMATCH -0.001 0.000				
5	BANGPURI	-18.36505	18.46252	0.000
5	BANGPURI	-18.36505	18.46252	0.000
6	LADKABAK	-81.93495	23.41220	0.000
6	LADKABAK	-81.93495	23.41220	0.000
MISMATCH 0.000 0.003				
6	LADKABAK	-66.85580	19.81400	0.000
1	BANGKOK	-99.42576	-79.11731	1.022
MISMATCH 0.002 0.003				
6	LADKABAK	81.32744	20.12116	0.000
6	LADKABAK	81.32744	20.12116	0.000
6	LADKABAK	162.65488	40.24232	0.000
6	LADKABAK	162.65488	40.24232	0.000
2	CHONBURI	-687.25171	84.31138	1.025
MISMATCH 0.001 0.007				
4	LAMPOON	67.192215	-7.13849	0.000
5	BANGPURI	-177.42200	21.87407	0.000
3	LAMPANG	81.79697	-7.10217	0.000
3	LAMPANG	81.79697	-7.10217	0.000
MISMATCH 0.000 0.005				

MW LOAD	MVAR	GENERATION	MVAR	MW LOSSES	MVAR	MW MISMATCH	MVAR	SHUNTS	MVAR
769.599	334.600	789.758	389.378	20.153	54.755	0.005	0.023		0.000

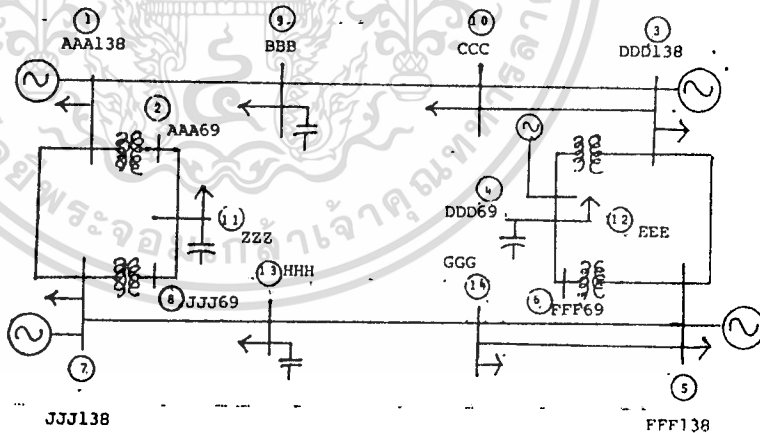


LINE OVER-LOAD SUMMARY

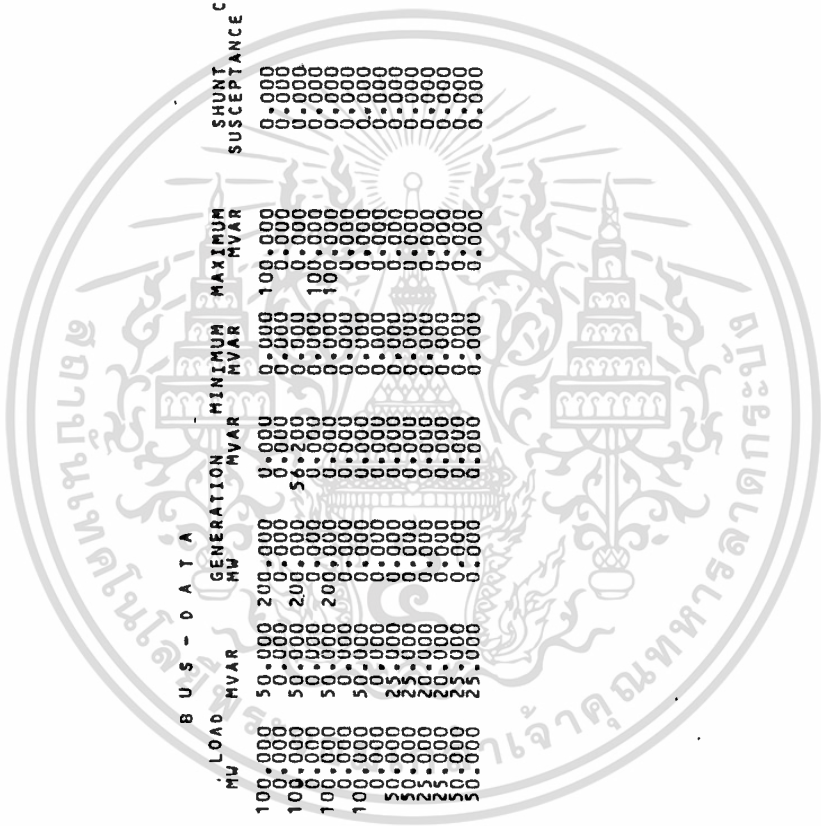
BUS	NAME	BUS	NAME	MW	MVAR	MVA	PER/CENT
1	BANGKOK	4	LAMPOON	99.758	85.173	131.172	
2	CHONBURI	5	BANGPRI	690.0049	-9.24749	690.06250	***OVER/LOAD 245.03125 PER/CENT***
3	LAMPANG	5	BANGPRI	-158.365	18.463	159.438	
		5	BANGPRI	-158.365	18.463	159.438	
		6	LADKABAK	-81.635	23.412	84.926	
		6	LADKABAK	-81.635	23.412	84.926	
4	LAMPOON	6	LADKABAK	-46.856	19.814	50.873	
		1	BANGKOK	-99.446	-79.117	127.079	
5	BANGPRI	6	LADKABAK	181.327	-20.191	182.448	
		6	LADKABAK	181.327	-20.191	182.448	
		3	LAMPANG	162.298	-22.003	163.782	
		3	LAMPANG	162.298	-22.003	163.782	
6	LADKABAK	2	CHONBURI	-687.25171	84.38138	692.41260	***OVER/LOAD 246.20628 PER/CENT***
		4	LAMPOON	47.392	-35.138	58.998	
		5	BANGPRI	-177.143	21.874	178.488	
		5	BANGPRI	-177.143	21.874	178.488	
		3	LAMPANG	81.797	-27.102	86.170	
		3	LAMPANG	81.797	-27.102	86.170	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

CASE STUDY NUMBER 4  
 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 50  
 POWER TOLERANCE 0.000100  
 PRINT OUT INDICATOR 00000000  
 SYSTEM MVA BASE 100.00  
 SLACK BUSBARS 7



BUS	NAME	TYPE	VOLTS	MVA LOAD	MVA GENERATION	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SUSCEPTANCE	CAP/REACT
1	AA138	1	00	0	0	0	100	000	000
2	AA038	1	000000	50	0	0	000	000	000
3	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
4	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
5	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
6	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
7	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
8	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
9	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
10	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
11	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
12	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
13	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
14	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
15	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
16	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
17	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
18	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
19	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
20	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
21	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
22	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
23	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
24	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
25	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
26	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
27	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
28	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
29	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
30	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
31	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
32	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
33	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
34	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
35	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
36	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
37	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
38	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
39	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
40	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
41	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
42	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
43	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
44	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
45	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
46	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
47	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
48	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
49	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
50	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
51	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
52	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
53	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
54	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
55	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
56	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
57	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
58	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
59	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
60	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
61	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
62	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
63	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
64	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
65	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
66	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
67	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
68	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
69	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
70	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
71	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
72	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
73	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
74	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
75	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
76	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
77	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
78	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
79	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
80	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
81	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
82	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
83	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
84	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
85	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
86	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
87	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
88	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
89	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
90	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
91	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
92	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
93	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
94	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
95	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
96	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
97	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
98	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
99	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000
100	DD038	1	000000	50	0	0	000	000	000







TRANSFORMER - DATA		RESISTANCE	REACTANCE	TAP	CODE	LINE-RATED
BUS	NAME					
2	AAA69	0.00000	0.21000	0.990	1	100.00000
4	DDD69	0.00000	0.12000	0.990	0	100.00000
6	FFF69	0.00000	0.12000	1.000	0	100.00000
8	JJJ69	0.00000	0.12000	1.000	0	100.00000

NUMBER OF BUSES 14  
 NUMBER OF LINES 14  
 NO OF TRANSFORMERS 4

BUS	REAL POWER ERROR	REACTIVE POWER ERROR
1	0.962	-0.527
2	-0.081	0.105
3	1.030	0.365
4	-0.084	0.018
5	0.908	-0.680
6	-0.084	0.081
8	-0.081	0.227
9	-0.360	0.081
10	-0.576	-0.623
11	-0.100	-0.065
12	-0.094	-0.053
13	-0.386	-0.007
14	-0.476	-0.319
AFTER 1P-Q AND 10-V ITERATION		
1	0.044	-0.426
2	-0.046	0.009
3	-0.018	-0.007
4	0.034	0.052
5	0.032	-0.759
6	-0.005	0.005
8	-0.039	-0.010
9	-0.139	-0.252
10	0.128	0.028
11	0.002	-0.012
12	-0.030	-0.057
13	-0.104	-0.198
14	0.055	0.005

## AFTER 2P-Q AND 2Q-V ITERATION

1	0.005	-0.417
2	0.005	0.001
3	0.001	0.001
4	0.009	0.059
5	0.004	-0.750 ✓
6	0.004	0.002
8	-0.008	-0.001
9	-0.013 ✓	-0.241
10	0.007	0.002
11	0.001	-0.011
12	-0.012	-0.063
13	-0.012	-0.199
14	0.004	0.000

## AFTER 3P-Q AND 3Q-V ITERATION

1	0.001	-0.415
2	0.001	0.000
3	0.000	-0.000
4	0.003	0.062
5	0.000	-0.747 ✓
6	0.002	0.001
8	-0.001	0.000
9	-0.001	-0.240
10	0.000	0.000
11	0.000	-0.011
12	-0.005 ✓	-0.065
13	-0.001	-0.200
14	0.000	0.000

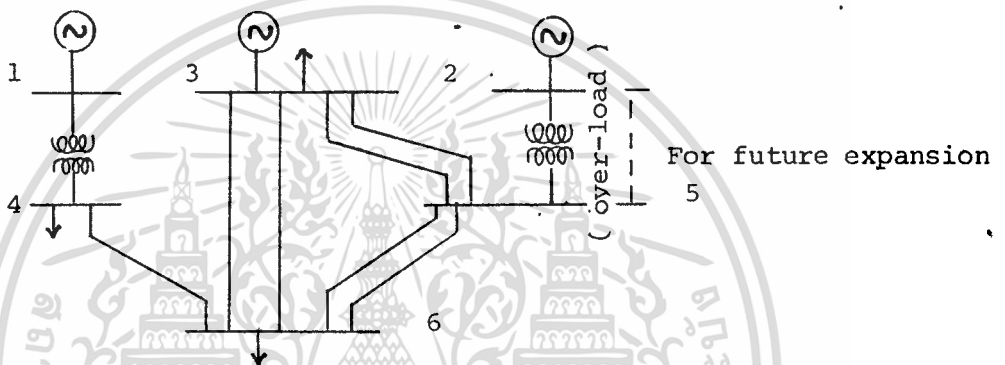
## AFTER 4P-Q AND 4Q-V ITERATION

1	0.000	-0.415
2	0.000	0.000
3	0.000	0.000
4	0.001	0.062
5	0.000	-0.746 ✓
6	0.001	0.000
8	0.000	0.000
9	0.000	-0.239
10	0.000	0.000
11	0.000	-0.011
12	-0.002 ✓	-0.066
13	0.000	-0.200

14	AFTER	5P-Q AND	0.000	50-V	ITERATION	0.000
1			0.000			-0.415
2			0.000			0.000
3			0.000			0.000
4			0.000			0.062
5			0.000			-0.745
6			0.000			0.000
8			0.000			0.000
9			0.000			-0.239
10			0.000			0.000
11			0.000			-0.011
12			-0.001			-0.066
13			0.000			-0.200
14	AFTER	6P-Q AND	0.000	60-V	ITERATION	0.000

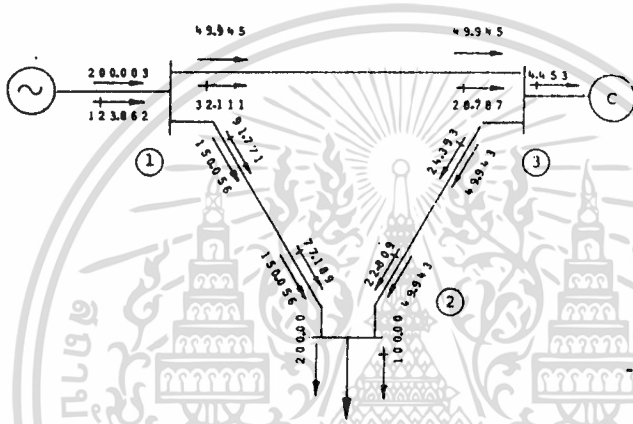
SOLUTION CONVERGED IN 7 P-D AND 60-V ITERATIONS

Bus 3-Bus 6 และ Bus 5-Bus 6 จากผลของ computer สามารถที่จะบอกได้ว่า เกิด line over-load ขึ้นในสายใดบ้าง ซึ่งการเดินสายคู่ขนานนี้ จะป้องกันการเกิด line over-load ได้ และในขณะเดียวกันเมื่อต้องการเพิ่มสายส่งขึ้นระหว่าง bus ใดๆ ก็สามารถที่จะนำมาหาผลของ load-flow solution ได้



รูปที่ 19 แสดงลักษณะของ Line Over-Load ที่ Bus 2-5 และ สายคู่ขนาน Bus 3-5, 3-6, และ 5-6 และเส้นประแสดงผลของสายส่งที่อาจจะใช้ต่อไปในอนาคต.

จากรูปที่ 15-16 เป็นลักษณะของ 3-bus system ที่ให้รายละเอียดเกี่ยว-ผลของ  $B'$  และ  $B''$ -matrix แตกต่างกันอย่างไร จะเห็นว่า จากลักษณะของ  $B' = B''$ -matrix และ  $B' \neq B''$ -matrix ให้ผลของ load-flow เหมือนกัน ถ้าในระบบ Transmission line ไม่มีค่าความต้านทานของสายเลย และ ไม่มีผลของ Line Charging Component แต่ในระบบสายส่ง มีผลของความต้านทาน  $B' \neq B''$ -matrix จะให้ผลของ solution เชื่อถือได้มากกว่า-รวดเร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลของ solution ที่ Tolerance เดียวกัน และ ค่า maximum power mismatch ที่ bus ด้วย



รูปที่ 20 แสดงผล Load Flow Solution : Line Flow และ Line Over Load

→ MW.FLOW  
+ → MVar.FLOW

#### 5.4 Convergence Characteristic and Improve Ill-condition Problem.

การศึกษา convergence characteristic โดยการเปรียบเทียบ solution และ จำนวน iteration ของการคำนวณดังตารางที่ 1 ที่ Power Tolerance = 0.001 วิธีการของ Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method. ให้ผลของ solution ได้รวดเร็วกว่า โดยที่  $|\Delta Q|_{\max}$  จะ converge เข้าหาค่า solution ก่อนการลดลงของ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของแต่ละ iteration จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ  $B' = B''$ -matrix จากกราฟ รูปที่ 21-30 เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 27 ค่า  $|\Delta Q|_{\max}$  - ควรจะเข้าหา solution ก่อนรูปที่ 26 แต่ผลของ solution ไม่มีพอเนื่องจากค่า Maximum power mismatch มีค่าสูงเกินไป ดังตารางที่ 3 การพิจารณาคุณสมบัติของการเข้าหาค่าตอบ จะต้องพิจารณาคำนวน iteration ที่ใช้จำนวน และ เปรียบเทียบค่า Maximum power mismatch ประกอบ จะเห็นว่าค่า Maximum power mismatch ของ  $B' = B''$ -matrix มีค่าสูงกว่า  $B' \neq B''$ -matrix เมื่อเปรียบเทียบที่ค่า power tolerance เดียวกัน จากกราฟรูปที่ 31 เมื่อใช้ Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method คำนวน 14 Bus-System เพื่อเปรียบเทียบการเข้าหา solution ที่ power tolerance ต่างๆกัน ในแนวเส้นประที่ 1 เป็นการลดลงของ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของ  $B' = B''$ -matrix ในแนวเส้นประที่สอง เป็นการลดลงของ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของ  $B' \neq B''$ -matrix ที่ค่า power tolerance = 0.001 อันเนื่องมาจากผลของ Reactive power flow ใน shunt element และ off-nominal transformer tapจขรภกฏใน B-matrix ซึ่งมีผลของการเปลี่ยนแปลงค่า  $|\Delta P|$  ใน B-matrix น้อยมาก ดังนั้น  $B' \neq B''$ -matrix ให้ผลของ solution ได้รวดเร็วกว่า และ เชื่อถือได้มากกว่า

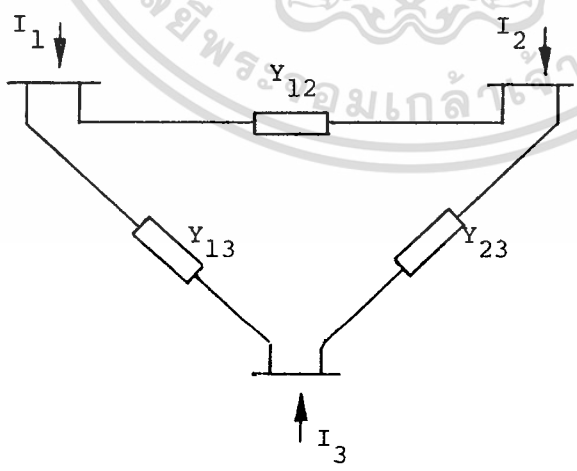
จากสมการที่ (3.11a) และ (3.11b) คือ

$$P_k = V_k \sum_{m \in K} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$Q_k = V_k \sum_{m \in K} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทำให้ค่า solution ต่างๆได้จากสมการ (3.23a) และ (3.23b) โดยเริ่มค่า จากค่า flat start  $E_k = V_k/\theta_k = 1.0 \ 0$  นั้นเกิดความเชื่อถือได้แน่นอน เนื่องจากเรา ได้พิจารณาและปรับปรุง R/X ratio และพิจารณาผลของ susceptance B ช่วยในการปรับปรุง B' และ B'' - matrix ลักษณะของ solution จาก Computer มีความเชื่อถือได้ว่าถูกต้อง (Existance and Uniqueness) <sup>(20)</sup> โดยพิจารณาจากเงื่อนไข  $C < 1$  และ  $(\Delta\theta_k, V_k)$  - เพื่อปรับปรุงทิศทางของการเข้าหา solution (unique direction)  $|\Delta\theta|_k < \alpha$  และ  $|V_k - 1| < \epsilon$  <sup>(20)</sup> โดยที่ C เป็น function ของ R/X ratio และ  $\alpha, \epsilon$  เป็น boundary region - modification เพื่อปรับปรุงค่า intitial voltage flat profile จากตารางที่ 2 สำหรับ 7-Bus system เป็น system test as ill-condition เพื่อแสดงว่า modified Fast - Decouple Newton-Raphson method หาค่าได้แน่นอน ถึงแม้ว่าจำนวน iteration ของการ คำนวณจะมากก็ตาม การปรับปรุงผลของ ill-condition นั้นโดยการพิจารณา admittance matrix ซึ่ง admittance matrix มีคุณสมบัติใกล้เคียง Singular matrix (7), (21), (22) เพราะ Self admittance element มีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของ Mutual admittance การปรับปรุง โดยพิจารณาขนาดของ Shunt admittance เสียใหม่



รูปที่ 30 แสดงผลของ singular network และการ modified network

$$Y_{11} = +Y_{12} + Y_{13} \quad , \quad Y_{22} = Y_{12} + Y_{23} \quad , \quad Y_{33} = Y_{13} + Y_{23}$$

$$\text{นั่นคือ } I_1 = Y_{11}E_1 + Y_{12}E_2 + Y_{13}E_3$$

$$I_2 = +Y_{12}E_1 + Y_{22}E_2 + Y_{23}E_3$$

$$I_3 = +Y_{13}E_1 + Y_{23}E_2 + Y_{33}E_3$$

จากกรูฟของสมการเมื่อต้องการหาค่า  $E_1, E_2$  และ  $E_3$  โดยการ inversion matrix หรือ Elimination ก็ตามจะทำให้หาค่าได้ยากมากเนื่องจาก  $[Y] \approx 0$  ผลอันนี้เนื่องมาจาก Shunt admittance มีค่าต่ำเมื่อเกิดผลของ ill-condition เช่นนี้การแก้ปัญหาโดยการแยกผล Bus ที่มีค่า shunt admittance น้อยๆออกจาก matrix คือ

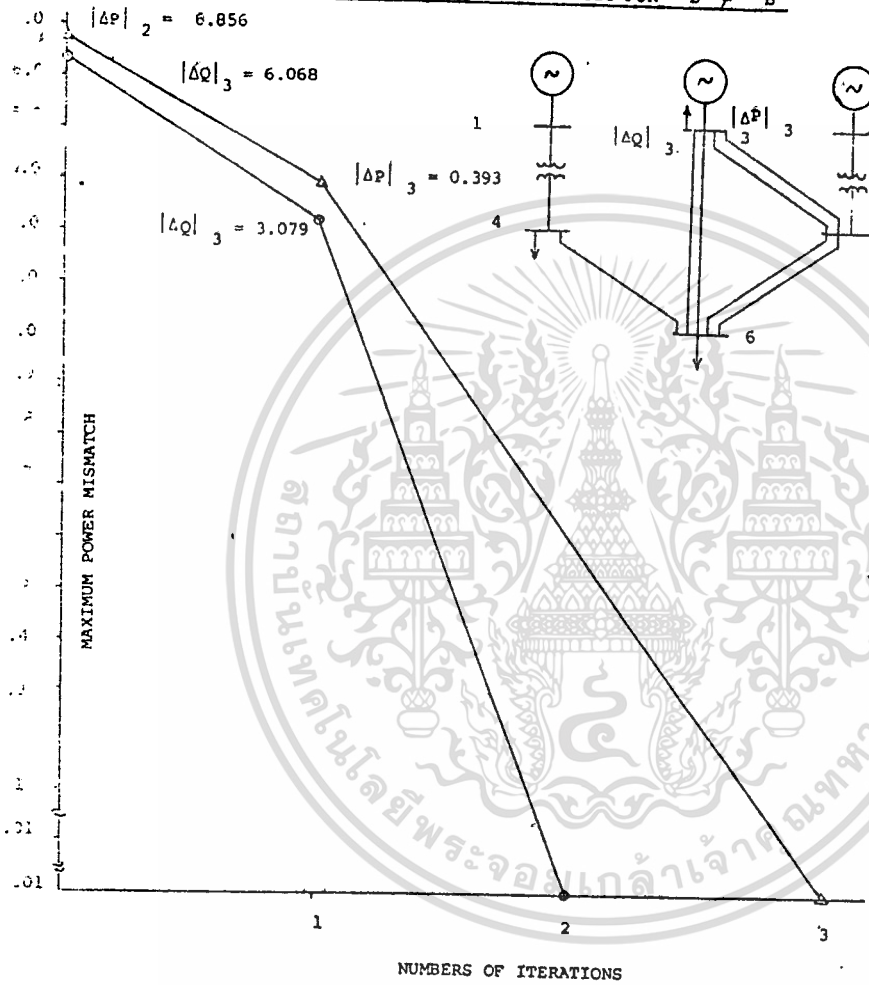
$$I_1 - Y_{11}E_1 = +Y_{12}E_2 + Y_{13}E_3$$

$$I_2 - Y_{12}E_1 = +Y_{22}E_2 + Y_{23}E_3$$

$$I_3 - Y_{13}E_1 = +Y_{23}E_2 + Y_{33}E_3$$

ซึ่งทำให้การใช้จำนวน Iteration สำหรับการคำนวณสูงมากขึ้น สรุปได้ว่า ลักษณะของ load-flow solution diverge หรือ oscillation <sup>(19)</sup> นั้นเนื่องมาจาก ผลของ admittance matrix มีค่าใกล้เคียง Singular matrix และ initial voltage flat profile อาจจะไม่เหมาะสม จึงได้มีการปรับปรุงดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR  $B' \neq B''$

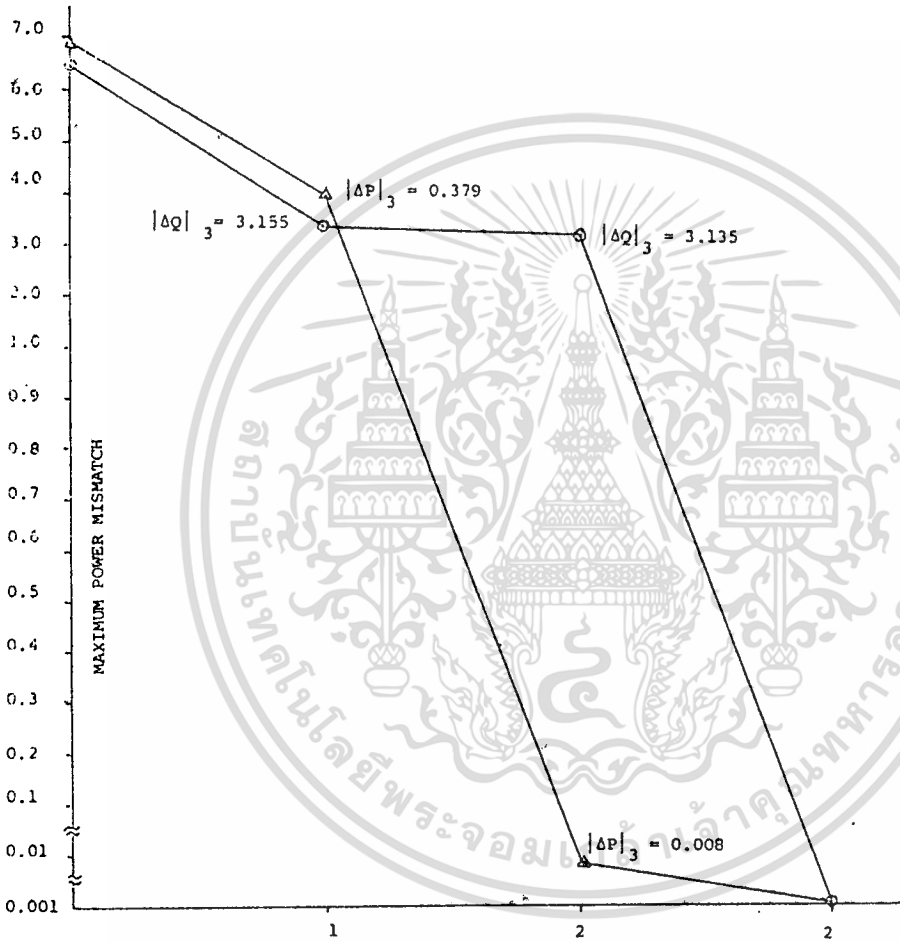


$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.001

SOLUTION CONVERGE IN 3P-0 2Q-V ITERATIONS

รูปที่ 21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{max}$  และ  $|\Delta Q|_{max}$  ของรูปที่ 17  
เมื่อ  $B' \neq B''$

CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR  $B' = B''$



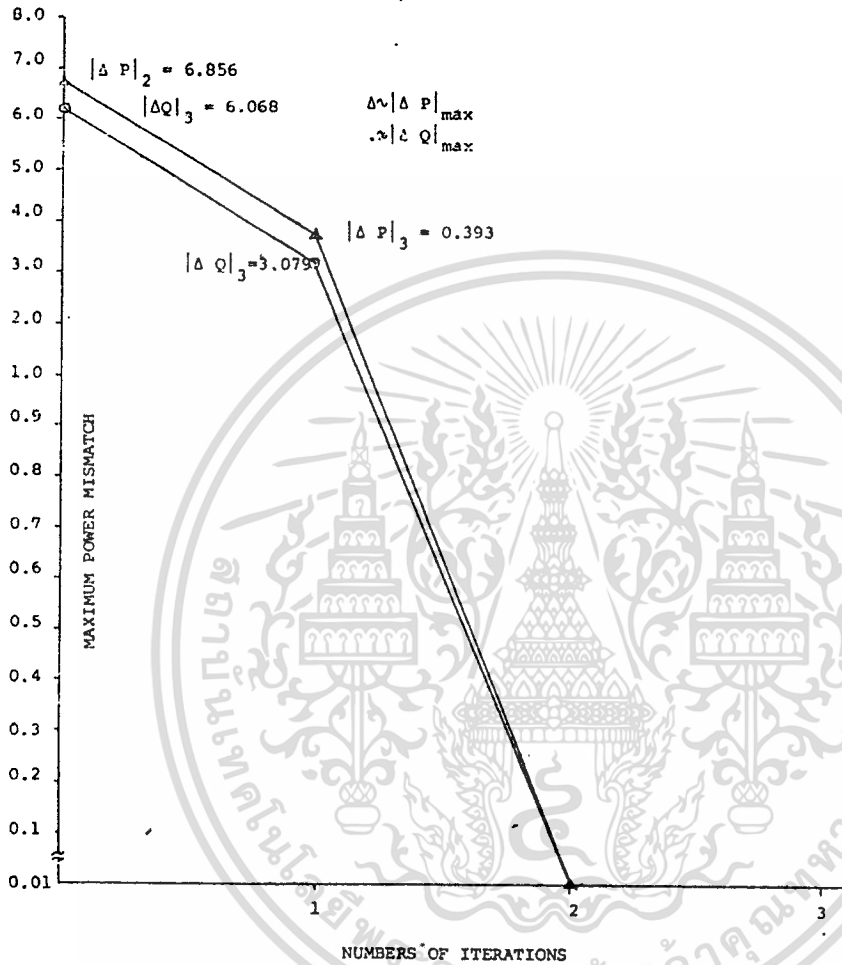
NUMBERS OF ITERATIONS

$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.001

SOLUTION CONVERGE IN 3P-θ AND 3Q-V ITERATIONS

รูปที่ 22 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{\max}$  และ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของรูปที่ 17 เมื่อ  $B' = B''$

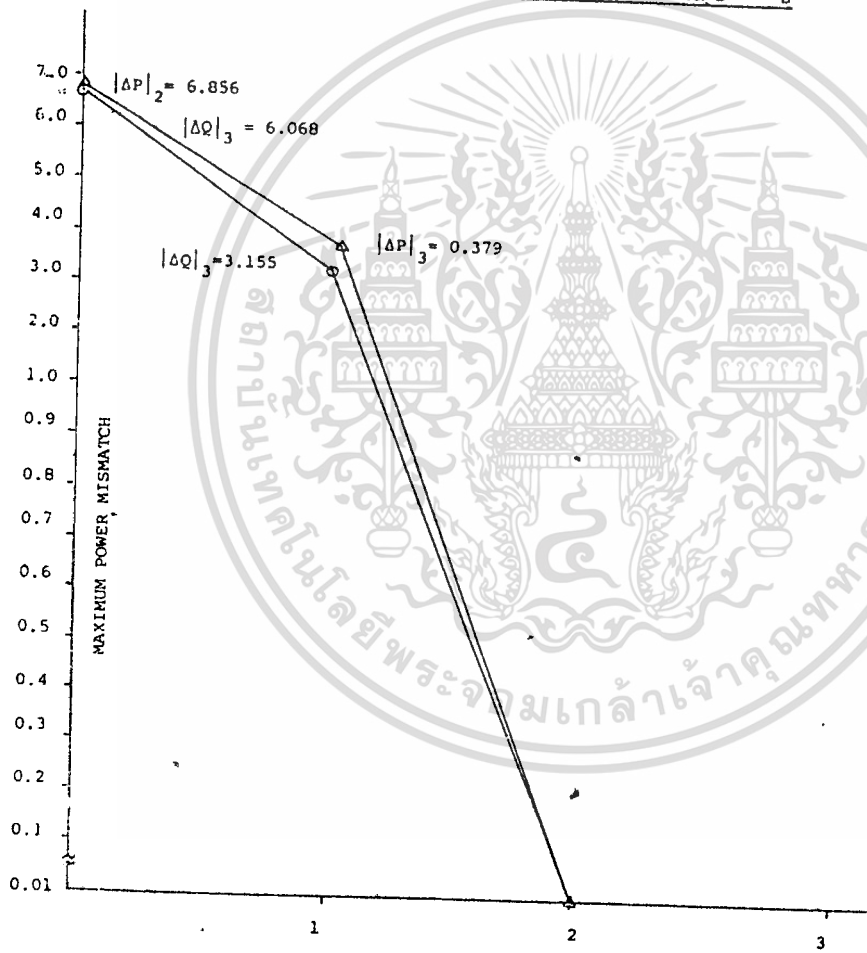
CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR B' ≠ B''



$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.01  
 SOLUTION CONVERGED IN 2P-6 AND 2Q-V ITERATIONS

รูปที่ 23 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{max}$  และ  $|\Delta Q|_{max}$  ของรูปที่ 17

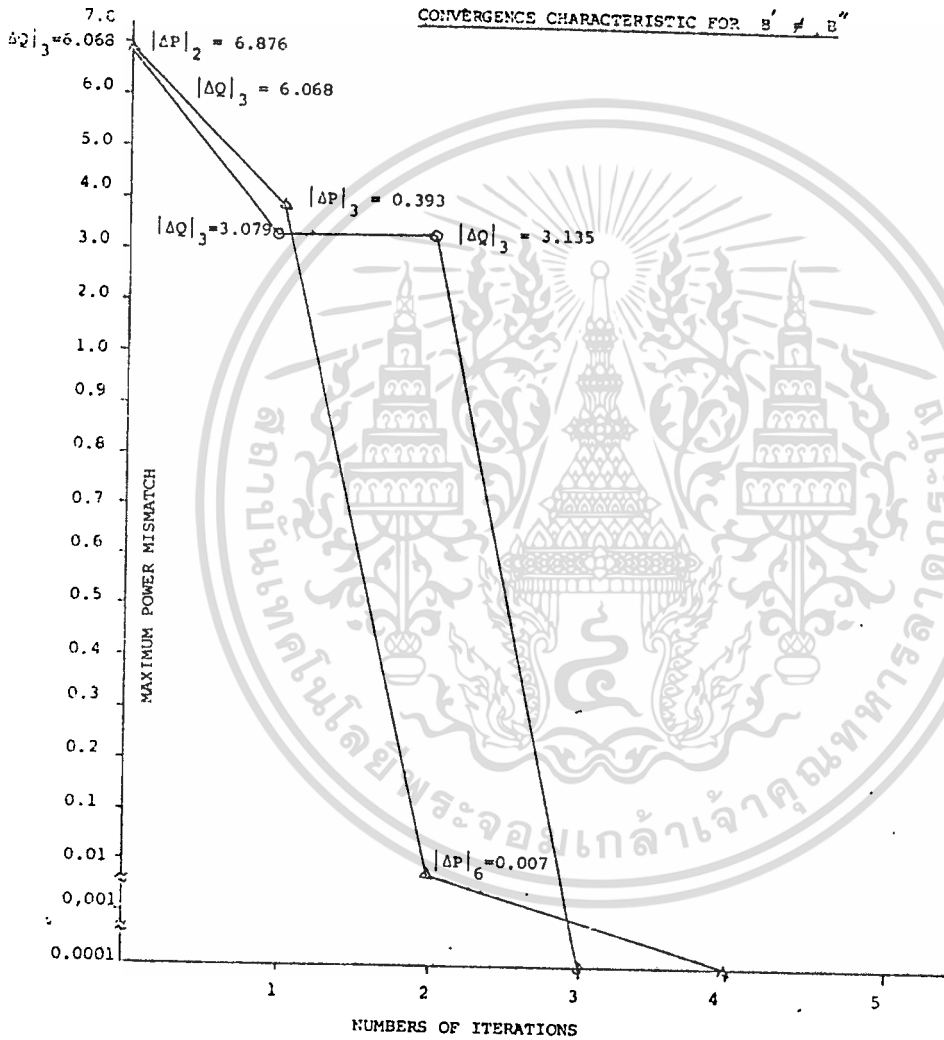
CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR B' = B''



NUMBERS OF ITERATIONS  
 $|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.01

SOLUTION CONVERGED IN 2P-0 AND 2Q-V ITERATIONS

รูปที่ 24 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{\max}$  และ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของรูปที่ 17

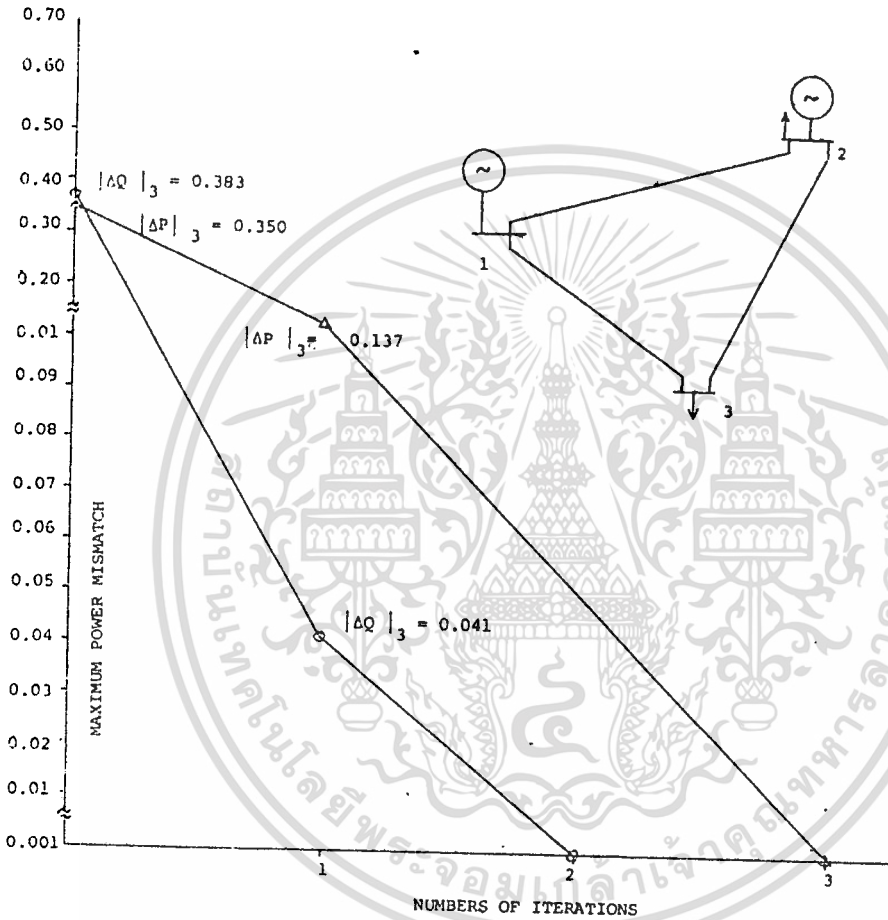


$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.0001

SOLUTION CONVERGE IN 4P-θ AND 3 Q-V ITERATIONS

รูปที่ 25 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{max}$  และ  $|\Delta Q|_{max}$  ของรูปที่ 17

CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR  $B' \neq B''$

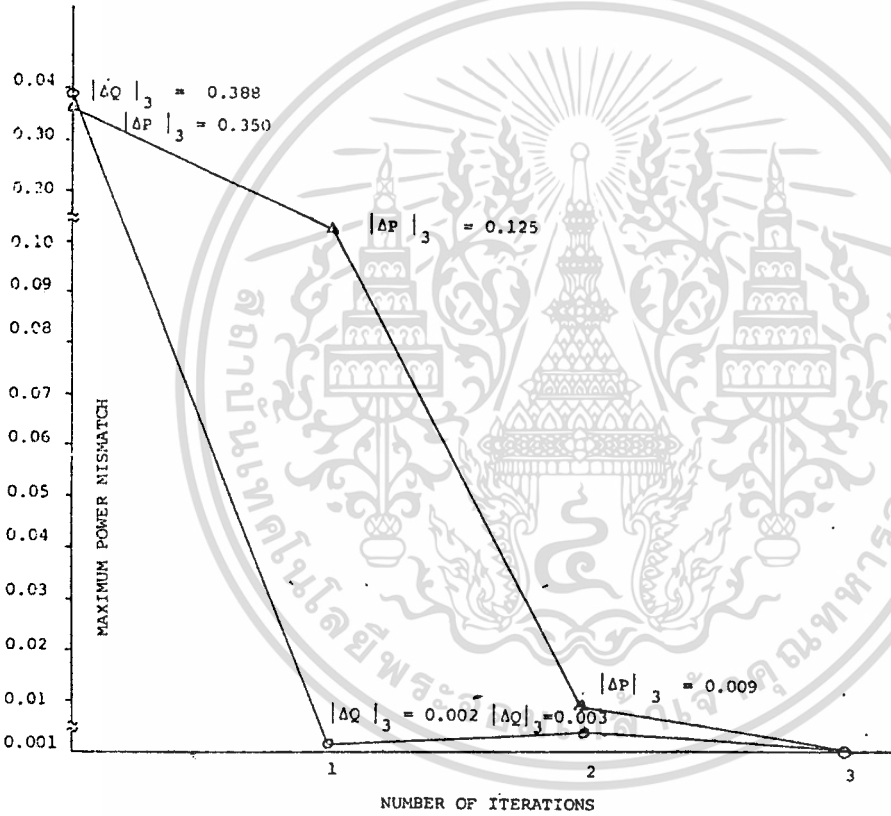


$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.001

SOLUTION CONVERGE IN 3P-0 AND 2Q-V ITERATIONS

รูปที่ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{\max}$  และ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของรูปที่ 15 เมื่อ  $B' \neq B''$

CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR B' ≠ B''



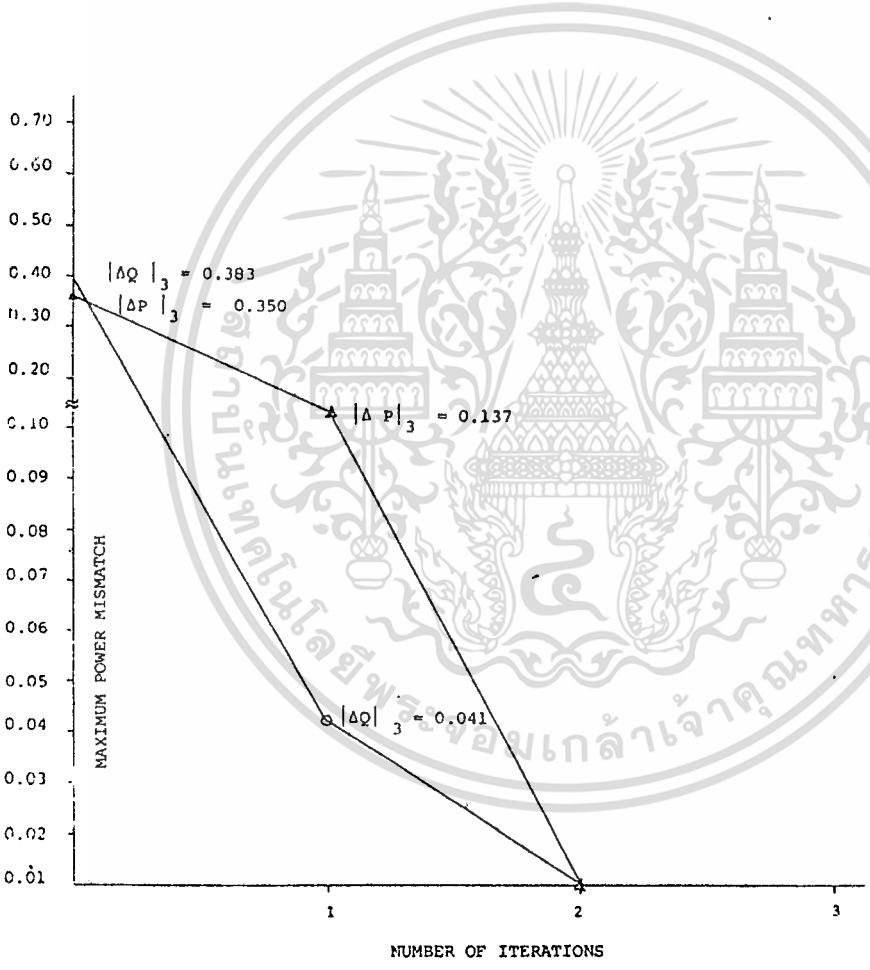
$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.001

SOLUTION CONVERGE IN 3P-θ AND 3Q-V ITERATIONS

รูปที่ 27 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{\max}$  และ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของรูปที่ 15

เมื่อ  $B' = B''$

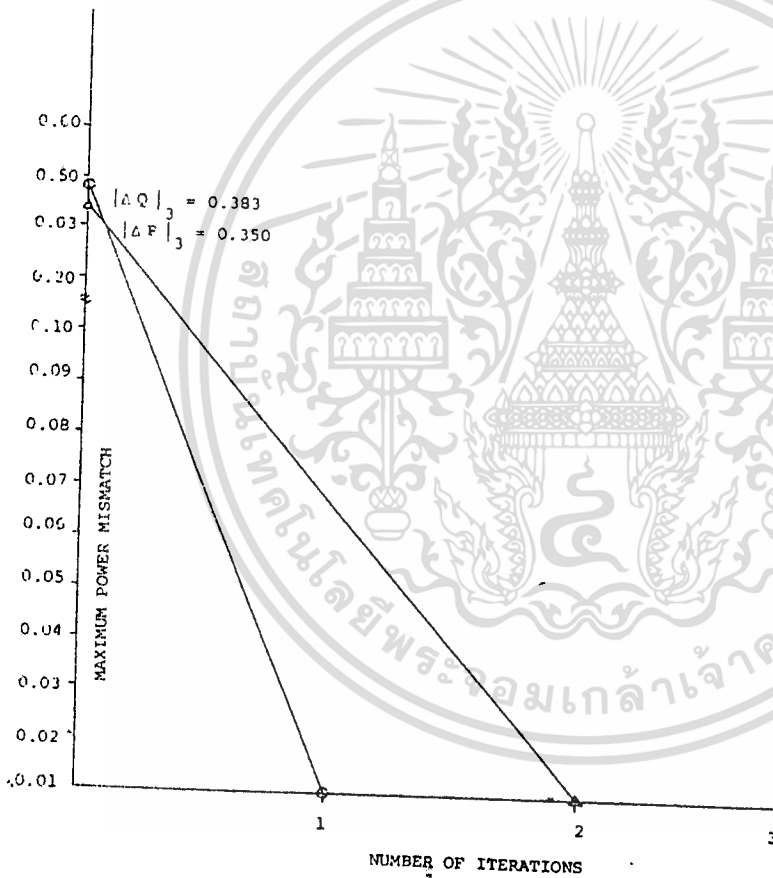
CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR  $B' \neq B''$



รูปที่ 28

$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.01  
SOLUTION CONVERGE IN 2P-θ AND 2Q-V ITERATIONS

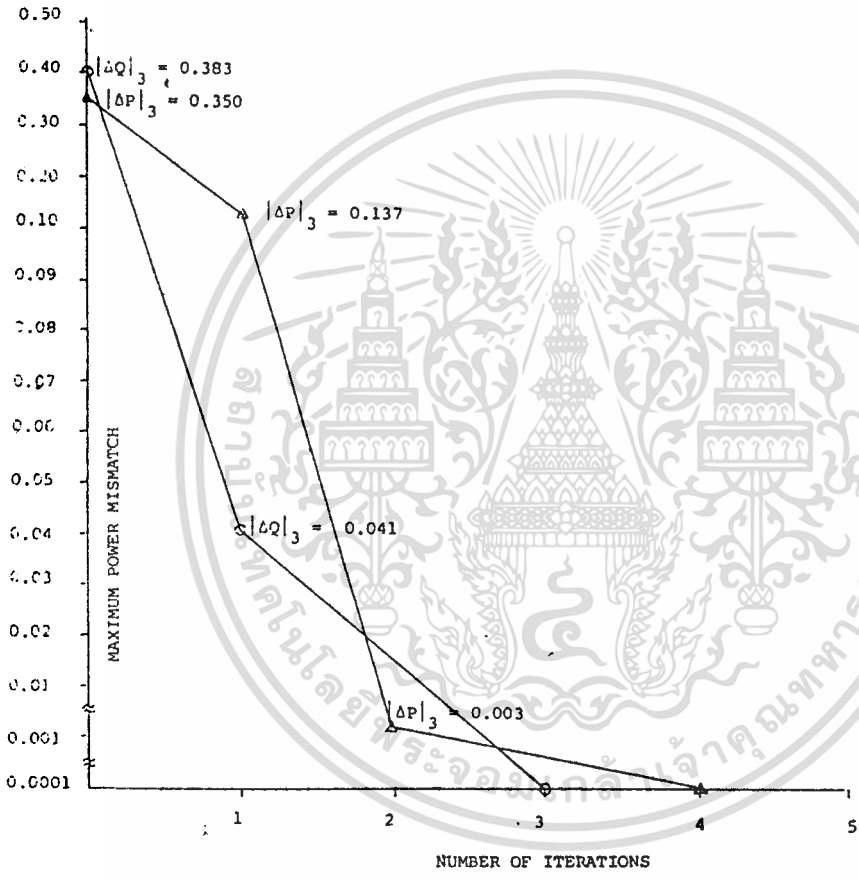
CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR  $B' = B''$



NUMBER OF ITERATIONS  
 P AND Q TOLERANCE = 0.01  
 SOLUTION CONVERGE IN 2P-Q AND 1Q-V ITERATIONS

รูปที่ 29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{\max}$  และ  $|\Delta Q|_{\max}$  ของรูปที่ 15

CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR B ≠ B



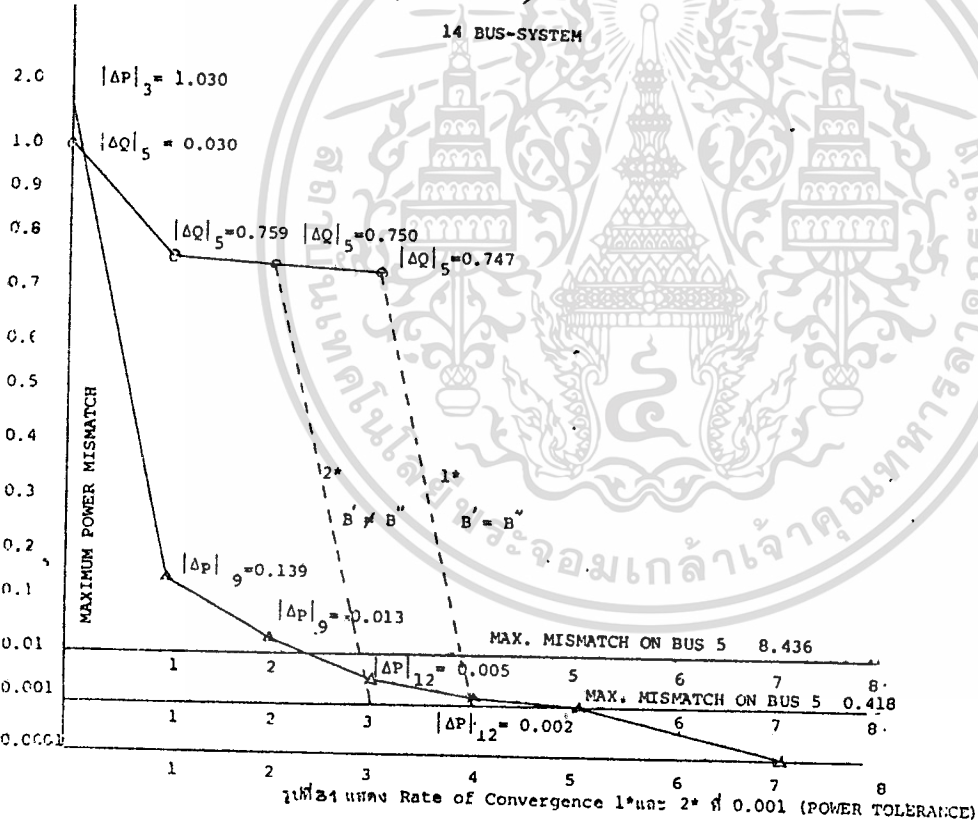
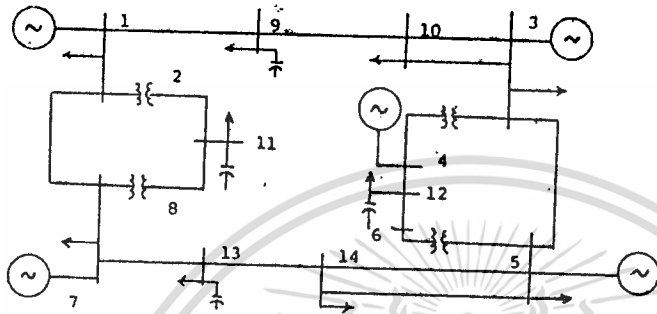
$|\Delta P|$  AND  $|\Delta Q|$  TOLERANCE = 0.0001

SOLUTION CONVERGE IN 4P-θ AND 3Q-V ITERATIONS

รูปที่ 30 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $|\Delta P|_{max}$  และ  $|\Delta Q|_{max}$  ของรูปที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONVERGENCE CHARACTERISTIC FOR 14 BUS-SYSTEM



ตารางที่ ๑ เปรียบเทียบจำนวน ITERATIONS ที่ใช้ตามขั้นตอนวิธี FAST DECOUPLE METHOD และ MODIFIED FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD ที่ค่า  $|\Delta P|$  และ  $|\Delta Q| = 0.001$

NUMBER OF SYSTEM BUS	FAST DECOUPLE METHOD $B' = B''$ -MATRIX	MODIFIED FAST DECOUPLE NEWTON RAPHSON METHOD $B' = B''$ -MATRIX
6	3P-θ AND 3Q-V ITERATIONS	3P-θ AND 2Q-V ITERATIONS
3	3P-θ AND 3Q-V ITERATIONS	3P-θ AND 2Q-V ITERATIONS
3*	3P-θ AND 2Q-V ITERATIONS	3P-θ AND 2Q-V ITERATIONS
14	5P-θ AND 4Q-V ITERATIONS	5P-θ AND 3Q-V ITERATIONS

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวน ITERATION ของแต่ละวิธีที่ค่า POWER TOLERANCE = 0.0001

NUMBER OF SYSTEM BUS	GAUSSEIDEL METHOD	NORMAL NEWTON-RAPHSON	FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD (MODIFIED) FOR B'#B'-matrix
6	DIVERGED	4 ITERATIONS	4P-θ AND 3Q-V ITERATIONS
7	DIVERGED	DIVERGED	106P-θ AND 320-V ITERATIONS

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบ CPU-time ของแต่ละวิธี

SIZE OF SYSTEM	GAUSSEIDEL METHOD	NEWTON-RAPHSON METHOD	MODIFIED FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD.
3	36 second	23 second	17 second
6	Diverge	38 second	26 second
7	Diverge	Diverge	44 second
14	57 second	41 second	38 second
19	52 second	Diverge	30 second

ตารางที่ ๓ เปรียบเทียบ POWER TOLERANCE, จำนวน ITERATION และ MAXIMUM POWER MISMATCH จาก LINE POWER FLOW

NO. OF SYSTEM BUS	POWER TOLERANCE	FAST DECOUPLE $B' = B''$	MODIFIED FAST NEWTON RAPHSON METHOD $B' \neq B''$	MAXIMUM MISMATCH $B' = B''$ FOR Q (MW OF MWAR)	MAXIMUM MISMATCH $B' \neq B''$ FOR Q	MAX MISMATCH OCCUR ON BUS NO
3	0.01	2P-Ø AND 1Q-V	2P-Ø AND 2Q-V	10.684	3.176	1
	0.001	3P-Ø AND 3Q-V	3P-Ø AND 2Q-V	0.203	0.078	1
	0.0001	4P-Ø AND 4Q-V	4P-Ø AND 3Q-V	0.016	0.004	3
3*	0.01	2P-Ø AND 1Q-V	2P-Ø AND 1Q-V	4.148	4.148	1
	0.001	3P-Ø AND 1Q-V	3P-Ø AND 2Q-V	0.147	0.147	1
	0.0001	3P-Ø AND 3Q-V	3P-Ø AND 3Q-V	0.020	0.020	1
6	0.01	2P-Ø AND 2Q-V	2P-Ø AND 2Q-V	0.761	0.679	3
	0.001	3P-Ø AND 3Q-V	3P-Ø AND 2Q-V	0.031	0.002	4
	0.0001	4P-Ø AND 4Q-V	4P-Ø AND 3Q-V	0.086	0.007	5

## 5.5 บทสรุป

การพัฒนา Jacobian matrix ให้เป็น Constant Matrix ที่ประกอบมาจาก Network element ที่มีผลโดยตรงกับ Reactive power flow เป็นการพัฒนา Solution - speed ของ  $|\Delta Q|_{\max}$  มากกว่า  $|\Delta P|_{\max}$  ถึงแม้ว่า  $[\Delta P/V]$  และ  $[\Delta Q/V]$  จะเป็น function ของ  $[\theta]$  และ  $[V]$  ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้ว  $[\Delta P/V]$  จะมีผลโดยตรงกับ  $\theta$  (Transmission angle  $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$ ) และ  $[\Delta Q/V]$  มีผลโดยตรงกับ  $V$  ดังนั้นการพัฒนา  $B' = B''$ -matrix ย่อมมีข้อเสีย เมื่อใช้คำนวณระบบที่มี reactive power element เช่น Transformer Tap และ shunt element ทำให้เกิด  $\theta_{km}$  สูงมากขึ้นและ  $V_k$  มีค่าไม่คงที่ ซึ่งทำให้ convergence rate ช้ามากขึ้น จากตารางที่ 3 bus system ไม่มี shunt element และ Transformer ผลของ load-flow solution และ rate of convergence ของ  $B' = B''$ -matrix จะเหมือนกับ  $B' \neq B''$ -matrix.

## บทที่ 6

### สรุปและวิจารณ์

#### 6.1 สรุป

Modified Fast Decouple Newton Raphson Method เป็นวิธีการของ load flow method ที่พัฒนามาจาก Normal Newton Raphson method และ Decouple equation การพัฒนา load flow method นี้ แบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนคือ การพัฒนาทางด้าน power system โดยอาศัยคุณสมบัติทาง physical system อันเนื่องมาจาก  $R/X$ -ratio, MW- $\theta$ , MVAR-V การพิจารณา power system component ที่ประกอบเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง เช่น Transformer, Synchronous Condenser, Capacitor bank และ Transmission system เพื่อปรับปรุง Jacobian matrix ให้เป็น constant matrix และการพัฒนา initial voltage profile เพื่อให้ค่า load flow solution มีความเชื่อถือได้และ solution speed มีความรวดเร็ว

การพัฒนาทางด้าน Computer system โดยปรับปรุง Computer programming ให้อยู่ในลักษณะของ Integer programming โดยใช้คุณสมบัติทาง Network topology ที่เรียกว่า linknet structure เก็บข้อมูลของ matrix ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และใช้เขียน computer algorithm ให้อยู่ในลักษณะของ general programming การพัฒนาทางด้าน Linknet Structure เข้าช่วยก็เพื่อลด computer storage และการเขียน programming ให้เป็น general programming ที่มีโครงสร้างง่ายต่อการใช้งานและการแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังได้พัฒนา Numerical Technique อื่น ๆ ที่ใช้คือ Elimination, Triangulation, back substitution, Forward reduction โดยใช้ Semi-optimal ordering และ Sparsity programming โดยเขียนให้อยู่ในรูปของ linknet structure ทั้งหมด เพื่อลดทั้ง Computer storage และ Computer time ในขณะที่ใช้คำนวณ การพัฒนาทั้งสองด้านจะช่วยให้วิธีการ Modified Fast Decouple Newton Raphson method มีประสิทธิภาพที่จะใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## 6.2 วิจารณ์

จากผลของ Computer Program วิธีการ Modified Fast Decouple Newton-Raphson method ให้ผลของ load flow solution ได้รวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ เช่น Normal Newton method, Decouple Newton-Raphson method และ Gausseidel method และค่า load flow solution มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังจะเปรียบเทียบผลของ Modified Fast Decouple Newton Raphson method ของ 6-Bus system กับวิธีของ Gausseidel Method และ Normal Newton Raphson method ใน Appendix 4 จะเห็นว่าวิธีการของ Gausseidel method ใช้จำนวน iteration ในการคำนวณ 35 iterations ต่อวิธีการ Normal Newton Raphson ใช้ 4 iteration และใช้ Computer storage สูงมาก เนื่องจากจะต้องเก็บข้อมูลของ Jacobian-matrix และ inversion-Jacobian matrix ซึ่งเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของการคำนวณในแต่ละ iteration ในขณะที่ Modified Fast Decouple Newton-Raphson method ทำการ Triangulation Jacobian matrix ซึ่งเป็น constant matrix เพียงครั้งเดียวเท่านั้นและใช้ sparsity matrix เก็บข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการคำนวณเท่านั้น แต่ให้ผลของ load flow solution มีค่าใกล้เคียงกัน

APPENDIX



### Appendix 1

#### A. Derivation of the Jacobian elements of Newton's Method. When bus voltage represented in Polar-Co-ordination.

The complex power equations are given as.

$$P_k + jQ_k = E_k \sum_{m \in k} Y_{km}^* E_m^* \quad (1)$$

From equation (1) divided in real and imaginary parts.

$$P_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (2)$$

$$Q_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (3)$$

where  $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$

Linear relationships are detained for small variations in the variables  $\theta$  and  $V$  by forming the total differentials.

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= \sum_{m \in k} \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \frac{\partial P_k}{\partial V_m} \Delta V_m \\ &= \sum_{m \in k} H_{km} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} N_{km} \Delta V_m \\ \Delta Q_k &= \sum_{m \in k} \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} \Delta V_m \\ &= \sum_{m \in k} J_{km} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} L_{km} \Delta V_m \end{aligned}$$

Note.  $\Delta P_k$  is present for all buses except the slack bus.

$\Delta Q_k$  is present for non-voltage controlled buses only.

The values of the coefficients of the partial derivatives which are the Jacobian elements, for off-diagonal terms are

$$H_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$N_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$J_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = -V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$L_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

The diagonal element term.

$$H_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -Q_k - B_{kk} V_k^2$$

$$N_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial V_k} = \frac{P_k}{V_k} + G_{kk} V_k$$

$$J_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = P_k - G_{kk} V_k^2$$

$$L_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} = \frac{Q_k}{V_k} - B_{kk} V_k$$

The elements are better calculated in rectangular co-ordinates to avoid slow sine and cosine functions. The diagonal terms are the same but the off-diagonal ( $m \neq k$ ) become.

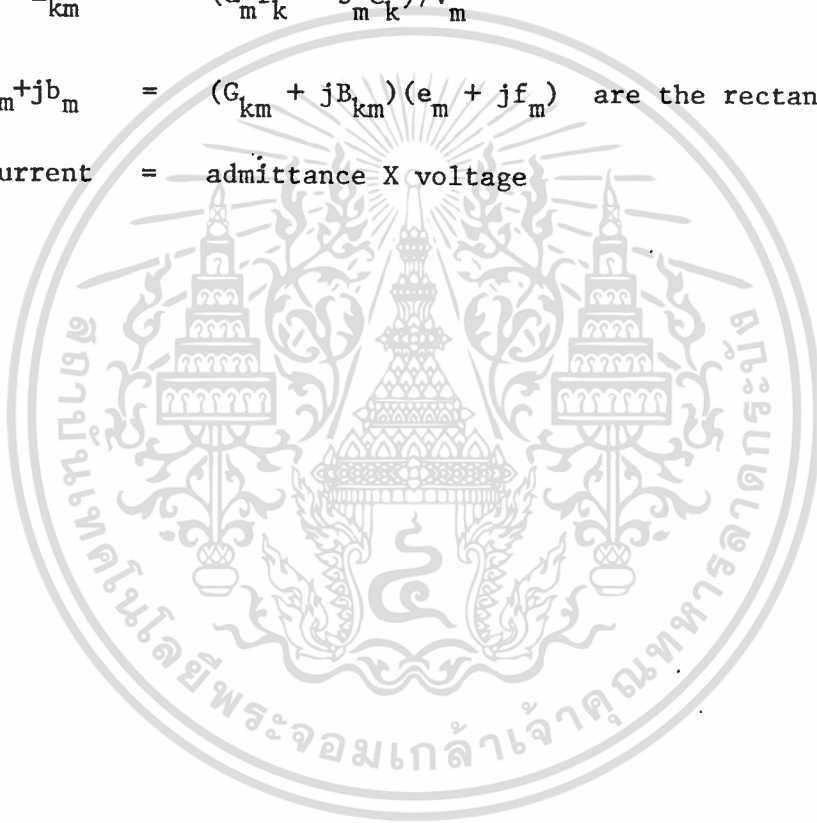
$$H_{km} = a_{m'k} f_k - b_{m'k} e_k$$

$$N_{km} = (a_{m'k} e_k + b_{m'k} f_k) / V_m$$

$$J_{km} = - (a_{m'k} e_k + b_{m'k} f_k)$$

$$L_{km} = (a_{m'k} f_k - b_{m'k} e_k) / V_m$$

where  $a_m + jb_m = (G_{km} + jB_{km})(e_m + jf_m)$  are the rectangular form  
of current = admittance X voltage



B. Derivation of the Jacobian elements when bus voltages are represented in rectangular co-ordination.

The complex power equations are given as

$$\begin{aligned} P_k + jQ_k &= E_k \sum_{m \in k} Y_{km}^* E_m^* \\ &= (e_m + jf_k) \sum_{m \in k} (G_{km} - jB_{km}) (e_m - jf_m) \end{aligned}$$

and these are divided into real and imaginary parts

$$\begin{aligned} P_k &= e_k \sum_{m \in k} (G_{km} e_m - B_{km} f_m) + f_k \sum_{m \in k} (G_{km} f_m + B_{km} e_m) \\ Q_k &= f_k \sum_{m \in k} (G_{km} e_m - B_{km} f_m) - e_k \sum_{m \in k} (G_{km} f_m + B_{km} e_m) \end{aligned}$$

At a voltage controlled bus the voltage magnitude is fixed but not the phase angle. Hence both  $e_k$  and  $f_k$  vary each iteration. It is necessary to provide another equation.

$$V_k^2 = e_k^2 + f_k^2$$

to be solved with the real power equation for these buses. Linear relationships are obtained for small variations in  $e$  and  $f$ , by forming the total differentials.

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= \sum_{m \in k} \frac{\partial P_k}{\partial e_m} \Delta e_m + \sum_{m \in k} \frac{\partial P_k}{\partial f_m} \Delta f_m \\ &= \sum_{m \in k} S_{km} \Delta e_m + \sum_{m \in k} T_{km} \Delta f_m \end{aligned}$$

for all buses except slack bus

$$\begin{aligned}\Delta Q_k &= \sum_{m \in k} \frac{\partial Q_k}{\partial e_m} \Delta e_m + \sum_{m \in k} \frac{\partial Q_k}{\partial f_m} \Delta f_m \\ &= \sum_{m \in k} U_{km} \Delta e_m + \sum_{m \in k} W_{km} \Delta f_m\end{aligned}$$

for all non-voltage controlled buses; and

$$\begin{aligned}\Delta V_k^2 &= \frac{\partial V_k^2}{\partial e_k} \Delta e_k + \frac{\partial V_k^2}{\partial f_k} \Delta f_k \\ &= EE_k \Delta e_k + FF_k \Delta f_k\end{aligned}$$

for voltage control bus

The values of the partial differentials, which are the Jacobian elements, are given by,

$$\begin{aligned}S_{km} &= -W_{km} = G_{km} e_k + B_{km} f_k \quad \text{for } m \neq k \\ T_{km} &= U_{km} = G_{km} f_k - B_{km} e_k \quad \text{for } m \neq k \\ S_{kk} &= a_k + G_{kk} e_k + B_{kk} f_k \\ W_{kk} &= a_k - G_{kk} e_k - B_{kk} f_k \\ T_{kk} &= b_k - R_{kk} e_k + G_{kk} f_k \\ U_{kk} &= -b_k - E_{kk} e_k + G_{kk} f_k \\ EE_k &= 2e_k \\ FF_k &= 2f_k\end{aligned}$$

## Appendix 2

### GAUSSIAN-ELIMINATION AND BACK-SUBSTITUTION

Consider the 3<sup>rd</sup> order matrix equation

$$\begin{array}{|c|} \hline A_1^1 \\ \hline A_2^1 \\ \hline A_3^1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|ccc|} \hline B_{11}^1 & B_{12}^1 & B_{13}^1 \\ \hline B_{21}^1 & B_{22}^1 & B_{23}^1 \\ \hline B_{31}^1 & B_{32}^1 & B_{33}^1 \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline X_1 \\ \hline X_2 \\ \hline X_3 \\ \hline \end{array}$$

a) Eliminating the elements below the leading diagonal in the first column results in

for row 2:

$$B_{22}^2 = B_{22}^1 - \frac{B_{21}^1}{B_{11}^1} B_{12}^1$$

$$B_{23}^2 = B_{23}^1 - \frac{B_{21}^1}{B_{11}^1} B_{13}^1$$

$$A_2^2 = A_2^1 - \frac{B_{21}^1}{B_{11}^1} A_1^1$$

for row 3:

$$B_{32}^2 = B_{32}^1 - \frac{B_{31}^1}{B_{11}^1} B_{12}^1$$

$$B_{33}^2 = B_{33}^1 - \frac{B_{31}^1}{B_{11}^1} B_{13}^1$$

$$A_3^2 = A_3^1 - \frac{B_{31}^1}{B_{11}^1} A_1^1$$

b) Eliminating the elements below the leading diagonal in the second column of the reduced matrix

$$\text{for row 3: } B_{33}^3 = B_{33}^2 - \frac{B_{32}^2}{B_{22}^2} B_{23}^2$$

$$A_3^3 = A_3^2 - \frac{B_{32}^2}{B_{22}^2} A_2^2$$

The triangulated matrix equation is now

$$\begin{bmatrix} A_1^1 \\ A_2^2 \\ A_3^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11}^1 & B_{12}^1 & B_{13}^1 \\ & B_{22}^2 & B_{23}^2 \\ & & B_{33}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

For solution vector is obtained by back-substituting for X

$$X_3 = A_3^3 / B_{33}^3$$

$$X_2 = A_2^2 / B_{22}^2 - (B_{23}^2 / B_{22}^2) X_3$$

$$X_1 = A_1^1 / B_{11}^1 - (B_{12}^1 / B_{11}^1) X_2 - (B_{13}^1 / B_{11}^1) X_3$$

For use in power system load flow, we apply Gaussian-Elimination to solve the Jacobian matrix equations.

$$\text{Consider } \begin{bmatrix} \Delta P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \end{bmatrix}$$

Let the initial solution vector be  $[\theta] = [\theta_1^1, \theta_2^1, \theta_3^1]^T$

for a four bus system (node 4 is the slack bus), then the residual vector  $\Delta P$  is given by

$$[\Delta P] = [\Delta P_1^1, \Delta P_2^1, \Delta P_3^1]^T$$

where,  $\Delta P_1^1 = P_1^{sp} - P_1(\theta_1^1, \theta_2^1, \theta_3^1)$

$$\Delta P_2^1 = P_2^{sp} - P_2(\theta_1^1, \theta_2^1, \theta_3^1)$$

$$\Delta P_3^1 = P_3^{sp} - P_3(\theta_1^1, \theta_2^1, \theta_3^1)$$

The matrix  $A$  is triangulated and the residual vector reduced, using the column operations described in the first part of this appendix

The increments of  $[\theta]$  are then obtained by back substitution

$$\Delta\theta_3 = \Delta P_3^3 / A_{33}^3$$

$$\Delta\theta_2 = \Delta P_2^2 / A_{22}^2 - (A_{23}^2 / A_{22}^2) \Delta\theta_3$$

$$\Delta\theta_1 = \Delta P_1^1 / A_{11}^1 - (A_{12}^1 / A_{11}^1) \Delta\theta_2 - (A_{13}^1 / A_{11}^1) \Delta\theta_3$$

The solution vector  $[\theta]$  is upgraded to

$$\theta_1^2 = \theta_1^1 + \Delta\theta_1$$

$$\theta_2^2 = \theta_2^1 + \Delta\theta_2$$

$$\theta_3^2 = \theta_3^1 + \Delta\theta_3$$

### Appendix 3

#### SEMI-OPTIMAL DYNAMIC ORDERING OF SYMMETRIC MATRIX B

##### Algorithm

1. Store diagonal terms of B as node data and off-diagonal term as branch data
2. Initialize the iteration count  $i = 1$
3. Initialize elements of vector NCONN equal to the number of branches connected to each node
4. Find the node k for which  $NCONN_k$  is a minimum among the uneliminated nodes
5. If  $NCONN_k = 0$ , all nodes except k have been eliminated
6. Eliminate node k from the equivalent network.

Step 1 Modify diagonal terms of B, of each node m adjacent to k

$$B_{mm}^{i+1} = B_{mm}^i - \frac{B_{mk}^i \cdot B_{km}^i}{B_{kk}^i}$$

set.  $NCONN_m = NCONN_m - 1$

Step 2 Modify the off-diagonal terms between each pair of nodes m and j which are adjacent to node k

If a branch exists between nodes m and j then

$$B_{mj}^{i+1} = B_{jm}^{i+1} = B_{mj}^i - \frac{B_{mk}^i \cdot B_{kj}^i}{B_{kk}^i}$$

If no branch exists between nodes  $m$  and  $j$ , a new branch is created

$$B_{mj}^{i+1} = B_{jm}^{i+1} = - \frac{B_{mk}^i \cdot B_{kj}^i}{B_{kk}^i}$$

NCONN must be updated for the addition of this branch to redemand  $j$

$$\text{NCONN}_m = \text{NCONN}_m + 1$$

$$\text{NCONN}_j = \text{NCONN}_j + 1$$

7. Record the order in which the nodes are eliminated by setting

$$\text{NORDER}_i = k$$

8. Increment the elimination count,  $i = i + 1$  and return to step 4.

Appendix 4



**TABLE**

Total storage requirements for the admittance matrix and solution of the Jacobian matrix equations in the fast decoupled loadflow method, using the linknet pointers

	Admittance Matrix	D'	B''	Dimension.
Self admittance of a node	GG, DB			N
Mutual admittance of a branch	C, D			NB
Pointer to first branch end connected to a node	LIST	LISTP	LISTQ	N
Location of next branch end connected to a node	NEXT			6N
Nodes at far end of branches connected to a node	FAR			6N
Jacobian matrix diagonal elements		DDIAGP	BIDIAGQ	N
Jacobian matrix off-diagonal elements		HOFDGP	BOFDGQ	3N
Residual and solution vector		DELTA		N
Number of branches connected to a node		NCONN		N
Node pivotal sequence		NORDRP	NORDRQ	N
Working vector indicating nodes to be eliminated in B' and B''		NSTATE		N
Working vectors for elimination of nodes		NTAB	YTAB	$\alpha$

where  $\alpha$  - is the greatest number of off-diagonal terms expected during triangulation of B' and B'', in any one row  
 N - the number of system nodes  
 NB - the number of system branches  
 Total vector storage: is  $30N + 2NB + 2\alpha \approx 34N$  for large systems, allowing  $NB = 2N$

```

0110 ***** MODIFIED FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD *****
0020 ***** COMMENT**XXXX** *****
0030 ***** COMMENT**PURPOSE** PROGRAM MODIFIDE FAST DECOUPLE NEWTON-RAPHSON METHOD *****
0040 ***** THIS IS LOAD-FLOW SOLUTION METHOD APPLYING FOR *****
0050 ***** ELECTRICAL POWER SYSTEM ANALYSIS *****
0060 *****
0070 *****
0080 *****
0090 ***** VARIABLE ON INPUT-DIMENSION *****
0100 ***** NN-NUMBER OF DIMENSION OF SINGLE ARRAY MATRIX *****
0110 ***** TO BE EQUAL NUMBER OF BUSES IN POWER SYSTEM *****
0120 ***** NBR-MUST BE SET TO NUMBER OF OF-DIAGONAL TERM IN MATRIX *****
0130 ***** TO APPLY TO NUMBER OF PROTECT NUMBER OF BRANCH IN *****
0140 ***** TRANSMISSION SYSTEM *****
0150 ***** NE- MUST OVER PROTECTION FOR PARALLEL BRANCH IS EQUAL TO *****
0160 ***** NE=4 *****
0170 *****
0180 *****
0190 *****
0200 ***** NNS-IS NUMBERS OF SYSTEM FOR ANALYSIS *****
0210 ***** NN,NBR,NE,NNS: ARE ARRAY PARAMETERS AS DECLARED IN THE CALLING *****
0220 ***** PROGRAM DIMENSION STATEMENTS *****
0230 ***** DECLARED *****
0240 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO WORK AND MATRIX STRUCTURE *****
0250 ***** LIST-JACOBIAN MATRIX AND CALCULATION STEP *****
0260 ***** LIST-INTEGER POINTERS OF NODE OR BUS FOR ADMITTANCE MATRIX *****
0270 ***** FORWARD PASS AND SUBSTITUTION FOR REAL *****
0280 ***** POWER MI REDUCTION AND SUB-JACOBIAN MATRIX *****
0290 ***** FORWARD PASS AND BACK SUBSTITUTION FOR REACTIVE *****
0300 ***** NEXT- INTEGER POINTERS TO FORM OF BRANCHES ARE CONNECT *****
0310 ***** FAR -TO A NODE USE TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0320 ***** FAR -INTEGER POINTERS TO FORM OF CONNECT DIRECTLY TO ANOTHER *****
0330 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0340 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0350 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0360 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0370 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0380 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0390 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0400 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0410 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0420 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0430 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0440 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0450 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0460 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0470 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0480 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0490 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0500 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0510 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0520 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0530 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0540 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0550 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0560 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0570 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0580 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0590 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0600 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0610 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0620 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0630 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0640 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0650 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0660 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0670 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0680 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0690 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0700 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0710 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0720 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0730 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0740 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0750 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0760 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0770 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****
0780 ***** LIST-INTEGER POINTERS TO FORM OF DIAGONAL TERM OF MATRIX *****

```

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78

```

```

79 0790
80 0800
81 0810
82 0820
83 0830
84 0840
85 0850
86 0860
87 0870
88 0880
89 0890
90 0900
91 0910
92 0920
93 0930
94 0940
95 0950
96 0960
97 0970
98 0980
99 0990
100 1000
101 1010
102 1020
103 1030
104 1040
105 1050
106 1060
107 1070
108 1080
109 1090
110 1100
111 1110
112 1120

COMMENT**DECLARED REAL VARIABLES TYPE
REAL BSHUNT(200), DELTA(200), EMAG(200), ANGLE(200), PG(200), QG(200),
*PL(200), QL(200), BDIAGP(200), BDIAGQ(200), BOFDGPI(400), BOFDGQ(400),
*QMIN(200), QMAX(200), NAME1(200), NAME2(200), LGG(200), BB(200), G(400),
*B(400), GE(800), BE(800), E(200), P(200), Q(200), QCR(200),
*SRATE(400), RATE(400)
COMMENT**XXXX
C ON INPUT SETTING; MN, NBR, NE, NMS
C MUST BE SET TO THE ARRAY PARAMETERS AS DECLARED IN THE CALLING
C PROGRAM DIMENSION STATEMENTS
C
C NN=2000
C NBR=400
C NE=800
C NMS=119
C
COMMENT**SUBROUTINE CONTENT AND USE TO CALL FOR CALCULATION
C **DESCRIPTION**
C USED FOR CALCULATION LOAD--FLOW STUDY
C USED FOR INPUT DATA AND FORM
C -ADMIN FINANCE MATRIX
C FOR ELIMINATION MATRIX
C FOR FORWARD REDUCTION RESIDUAL VECTOR
C FOR BACKSUBSTITUTION MATRIX
C FOR LOAD FLOW SOLUTION AND LINE OVER
C -LOAD SUMMARY
COMMENT**YYY M
C CALL SUBROUTINE FDNRLF FOR LOAD FLOW CALCULATION
COMMENT**ZZZ N
C CALL FDNRLF(NN,NBR,NE,NMS,LIST,LISTG,NEXT,FAR,NCONN,
*NSTATE,BTYPE,NORDP,BNUM,BNUMR,BSHUNT,DELTA,EMAG,
*ANGLE,PG,GG,PL,QL,BDIAGP,BDIAGQ,BOFDGP,BOFDGQ,QMIN,QMAX,NAME1,
*NAME2,GG,GB,G,B,GE,BE,E,P,Q,CR,SRATE,RATE)
C STOP
C END

```







```

1580 IF(I*TEST1.EQ.1) BOFDGG(K)=B(K)
1590 DO 26 I=1,NBUS
1600 NSTATE(I)=0
1610 COMMENT**XXX
1620 SEARCH BUS TYPE OF SLACK BUS CODE EQUAL 2
1630 IF(BTYPE = 2) EXCLUDING SLACK BUS FROM JACOBIAN MATRIX
1640 COMPUTER SETTING NSTATE(I)=1 FOR SLACK BUS CODE
1650 COMMENT**WWW
1660 IF(BTYPE(I).EQ.2) NSTATE(I)=1
1670 LAST=N
1680 COMMENT**XXX
1690 CALLING SUBROUTINE ELIMINATION MATRIX FOR REAL POWER MISMATCH
1700 ON INPUT DATA:
1710 MN
1720 NBR
1730 NE
1740 LISTP
1750 NEXT
1760 FAR
1770 BDIAGP
1780 BOFDGP
1790 NSTATE
1800 ON OUT PUT DATA:
1810 BDIAGP AFTER ELIMINATION
1820 BOFDGP AFTER ELIMINATION
1830 COMMENT**WWW
1840 FOR THIS ELIMINATION NOT INCLUDING SLACK BUS
1850 CALL ELIM(NBR,NE,LISTP,NEXT,FAR,BDIAGP,BOFDGP,NSTATE,
1860 *NORDRP,NCON,NELIMP,LAST,NCON,MAXCON,0)
1870 DO 82 K=1,NBUS
1880 IF(IDC.EQ.0) GO TO 24
1890 NSTATE(K)=0
1900 IF(BTYPE(K).NE.0) NSTATE(K)=1
1910 COMMENT**XXX
1920 CALLING SUBROUTINE ELIMINATION MATRIX FOR REACTIVE POWER MISMATCH
1930 ON INPUT DATA:
1940 NBR
1950 NE
1960 LISTQ
1970 NEXT
1980 FAR
1990 BDIAGP
2000 BOFDGP
2010 NSTATE
2020 ON OUTPUT DATA:
2030 BDIAGP AFTER ELIMINATION
2040 BOFDGP AFTER ELIMINATION
2050 COMMENT**YYY
2060 AFTER ELIMINATION SUBJACOBIAN IS CONSTANCE MATRIX AND ELIMATED
2070 ONLY ONE TIME
2080 CALL ELIM(NBR,NE,LISTQ,NEXT,FAR,BDIAGP,BOFDGP,NSTATE,
2090 *NORCRG,NCON,NELIMP,LAST,NCON,MAXCON,1)
2100 DO 61 K=1,NBUS
2110 NSTATE(K)=0
2120 NCONN(K)=0
2130 COMMENT**XXX
2140 CHECKED BUS TYPE:
2150 IF BUS TYPE EQUAL SLACK BUS CODE SET NSTATE(I)=1
2160 IF BUS TYPE EQUAL 0 SET NCONN(I)=0
2170 IF BUS TYPE UNEQUAL 0 SET NCONN(I)=1
2180 CODE
2190 0
2200 1
2210 2
2220 IF(BTYPE(K).EQ.2) NSTATE(K)=1
2230 LPORQ=0
2240 COMMENT**XXX
2250 SET ITERATION LOOP FOR CALCULATION FOR POWER MISMATCH
2260 FIELD NAME
2270 ICNTP=0
2280 ICNTOT=0
2290 FOR REAL POWER MISMATCH ITERATION COUNT
2300 FOR REACTIVE POWER MISMATCH ITERATION COUNT
2310
2320
2330
2340
2350
2360

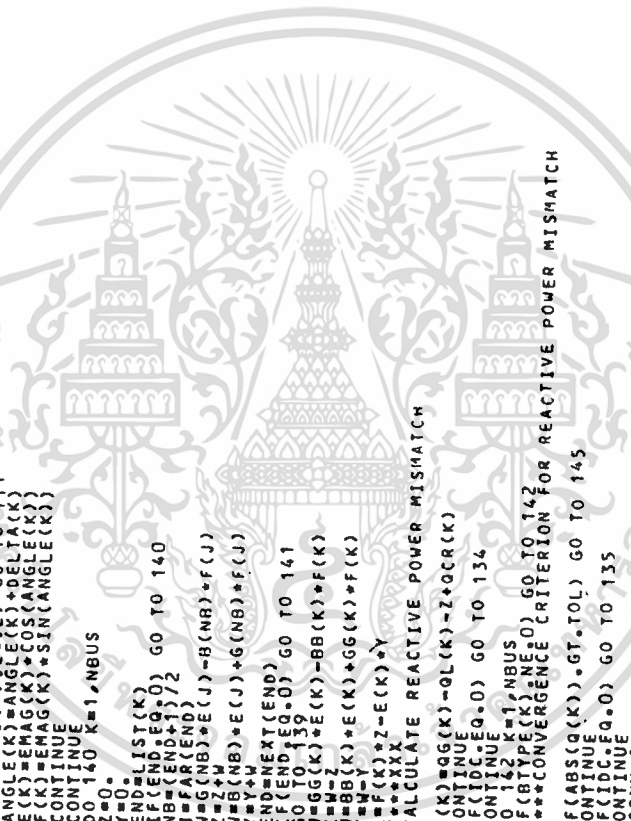
```



```

3160 CALL FORRED(NN,NBR,NE,LISTP,NEXT,FAR,HDIAGP,HOFDGP,
3170 *DELTA,NSTATE,NORDRP,NE(LIMP),
3180 COMMENT**CALLING SURROUTINE RACSUB; FOR BACKSUBSTITUTION SOLUTION FOR
3190 ON INPUT DATA;
3200 FIELD NAME
3210 DELTA(K)
3220 ON OUTPUT DATA;
3230 FIELD NAME
3240 DELTA(K)
3250 ANGLE(K)
3260
3270 *CALL BACSUB(NN,NBR,NE,LISTP,NEXT,FAR,HDIAGP,HOFDGP,
3280 *DELTA,NSTATE,NORDRP,NE(LIMP),
3290 COMMENT***XXX
3300 AND CALCULATION REAL AND IMAGINARY OF VOLTAGE
3310
3320 DO 111 K=1,NBUS
3330 IF(BTYPE(K).EQ.2) GO TO 111
3340 ANGLE(K)=ANGLE(E(K))+DELTA(K)
3350 E(K)=EMAG(K)*COS(ANGLE(K))
3360 F(K)=EMAG(K)*SIN(ANGLE(K))
3370 CONTINUE
3380 111 CONTINUE
3390 DO 140 K=1,NBUS
3400 Z=0.
3410 Y=0.
3420 END=LIST(K)
3430 IF(ENDB=0) GO TO 140
3440 NB=(END-1)/2
3450 J=I+NB
3460 W=J*(NB)+E(J)-B(NB)*F(J)
3470 Y=J*(NB)+E(J)+G(NB)*F(J)
3480 Y=J*(NB)+E(J)+G(NB)*F(J)
3490 END=NEXT(END)
3500 IF(ENDB=0) GO TO 141
3510 GO TO 150
3520 W=GG(K)+E(K)-BB(K)*F(K)
3530 Y=BB(K)+E(K)+GG(K)*F(K)
3540 Y=BB(K)+E(K)+GG(K)*F(K)
3550 Z=J*(K)+Z-E(K)*Y
3560 COMMENT***XXX
3570 CALCULATE REACTIVE POWER MISMATCH
3580 Q(K)=GG(K)-OL(K)-Z*QCR(K)
3590 CONTINUE
3600 IF(INDC.EQ.0) GO TO 134
3610 CONTINUE
3620 DO 142 K=1,NBUS
3630 IF(BTYPE(K).NE.D) GO TO 142
3640 COMMENT**CONVERGENCE CRITERION FOR REACTIVE POWER MISMATCH
3650 IF(ABS(Q(K)).GT.TOL) GO TO 145
3660 CONTINUE
3670 IF(INDC.EQ.0) GO TO 135
3680 CONTINUE
3690 QCONV=1
3700 IF(PCONV) 81,81,444
3710 CONTINUE
3720 IF(ICNTQ.GT.MAXIT) GO TO 290
3730 ICNTQ=ICNTQ+1
3740 IF(INDC.EQ.0) GO TO 136
3750 CONTINUE
3760 DO 146 K=1,NBUS
3770 COMMENT***XXX
3780 CALCULATION RESIDUAL VECTOR
3790 FIELD NAME
3800 DELTA(K)
3810 DESCRIPTION
3820 RESIDUAL VECTOR FOR Q(K)/EMAG(K)
3830 REACTIVE POWER MISMATCH
3840
3850 146 DELTA(K)=Q(K)/EMAG(K)
3860 COMMENT***XXX
3870 CALL SURROUTINE FORRED; FORWARD REDUCTION RESIDUAL VECTOR
3880 ON INPUT DATA;
3890 FIELD NAME
3900 DESCRIPTION
3910
3920
3930
3940

```





PROGRAM: FDNRLF (REV.000) ACOS-4

VER. R7.51 FORTRAN REV. 070

DATE: 82-10-25

TIME: 13:41:12

PAGE: 0037

474  
475  
476  
477

1500 FORMAT(1H0,'NO CONVERGENCE WITHIN',I4,' ITERATION',  
GO TO 555  
291 RETURN  
END

4740  
4750  
4760  
4770









```

31 CONTINUE
  NM=NL+1
  SRATE(C,NL)=SRAT
  BUS=BL*0.5
  V=1./((C/NL)*RL+XL*XL)
  XA=XL*V
  XL=1./XL
  CALCULATION END NUMBER POINTER = FUNCTION(BRANCH NUMBER)
  FORM NETWORK TOPOLOGY BRANCH END NUMBER = 2*NL - 1
  IF GIVEN NL = BRANCH NUMBER;
  END=2*NL-1
  END = 2*BRANCH - 1
  COMMENT** CALL SUBROUTINE ADDEND; LINKNET-STRUCTURE
  FOR FORMING LINK-LIST; FDB; LIST-
  FAR = EQUIVALENT AS BUS NUMBER
  CALL ADDEND(NM,NE,LIST, NEXT, BUSA, END)
  CHECK FAR POINTER FOR TRANSMISSION UNCONNECTED BETWEEN NODES OR BUS
  FAR(END)=BL
  CHECK BRANCH END NUMBER FOR NEW BUS AND CALL ADDEND FOR NEW LINES
  FOR NEW END; END = END*1
  END=END+1
  CALL ADDEND(NM,NE,LIST, NEXT, BUSB, END)
  FAR(END)=BL
  G(NL)=RY
  B(NL)=XX
  BOFGP(NL)=XL
  XX=XX+B
  FORM ADMITTANCE MATRIX FOR DIAGONAL AND OFF DIAGONAL ELEMENT
  FORM JACOBIAN MATRIX ELEMENT FROM ADMITTANCE MATRIX
  GG(BUSA)=GG(BUSA)+KL
  BB(BUSA)=GG(BUSA)+XX
  GG(BUSB)=GG(BUSB)+KL
  BB(BUSB)=GG(BUSB)+XX
  BB(BUSB)=BB(BUSB)+XX
  DD(AGP(BUSA)=DD(AGP(BUSA)-XL
  DD(AGP(BUSB)=DD(AGP(BUSB)-XL
  GO TO 30
40 CONTINUE
  NL=NL+1
  I=I+1
  WRITE(11,110)
  I=I+1
  1110 FORMAT(1H,120,'TRANSFORMER - DATA')
  1120 WRITE(11,120)
  1130 FORMAT(1H,15,'BUS',T12,'NAME',T25,'BUS',T42,'NAME',T43,
  *RESISTANCE',T56,'REACTANCE TAP CODE LINE-RATED',/)
  COMMENT**+TTT
  READ IN LINE TRANSFORMER DATA
  TRANSFORMER INFORMATION; SENDING BUS NUMBER
  ENDING BUS NUMBER
  RESISTANCE
  REACTANCE
  TRANSFORMER RATIO
  TRANSFORMER CODE
  IF CODE=U FIX TAP ON PRIMARY
  IF CODE=L FIX TAP ON SECONDARY
  TRANSFORMER RATED POWER
  COMMENT**+DATA
  FROM BUSJ
  TO BUSI
  RL
  XL
  RATIO
  CODE
  NAC
  SIGNIFIED BLANK LINE FOR ENDING INPUT DATA
  50 READ(5,130) BUSI,BUSJ,RL,XL,RATIO,CODE
  1130 IF(BUSI=0) GO TO 110
  IF(NAC=0) GO TO 300
  BUSI=BUSI+1
  BUSJ=BUSJ+1
  I=I+1
  300 CONTINUE
  BUSA=BNUM(BUSI)
  
```



```
1 COMMENT**XXX  
2 SUBROUTINE ADDEND  
3 ADDEND AS DECLARED FOR LINKNET-STRUCTURE  
4 FOR THIS USE NETWORK TOPOLOGY TO PERFORM  
5 MATRIX AND SUBROUTINE TO KNOW LINK-LIST POINTER;  
6 IN THIS SUBROUTINE TO KNOW LINK-LIST POINTER;  
7 LIST -AS DECLARED FOR LIST(NODE) DEPEND ON SIZE OF  
8 SYSTEM  
9 NEXT -AS DECLARED FOR NEXT(END) USED TO COUNT BRANCH  
10  
11 FAR -AS DECLARED TO NODE  
12 FAR -AS DECLARED FOR FAR(END) USED TO CHECK NODE  
13  
14 INPUT DATA FOR CALLING THIS SUBROUTINE;  
15 NM= FOR NETWORK AND MATRIX DIMENSION  
16 NE= FOR BRANCH AND PARALLEL BRANCH  
17  
18 OUTPUT DATA FORM THIS SUBROUTINE;  
19 LIST(NM)  
20 NEXT(NE) --- TO INDICATED POINTER FOR MATRIX AND  
21 FAR (NE) --- NETWORK  
22  
23 COMMENTYYY.  
24 SUBROUTINE ADDEND(NM,NE,LIST,NEXT,UBSA,ENDA)  
25 INTEGER I,ND,ENDA,BUS,  
26 I=1,LIST(NM),NEXT(NE)  
27 LIST(BUSA),NE=0) GO TO 21  
28 LIST(BUSA)=ENDA  
29  
30 RETURN  
31  
32  
33  
34  
35
```

0010  
0020  
0030  
0040  
0050  
0060  
0070  
0080  
0090  
0100  
0110  
0120  
0130  
0140  
0150  
0160  
0170  
0180  
0190  
0200  
0210  
0220  
0230  
0240  
0250  
0260  
0270  
0280  
0290  
0300  
0310  
0320  
0330  
0340  
0350



```

0010 COMMENT***XX
0020 SUBROUTINE TO TRIANGULARIZE NETWORK ADMITTANCE MATRIX AND-
0030 -JACOBIAN MATRIX BY ELIMINATION METHOD
0040
0050 IN THIS SUBROUTINE USE: SEMI-OPTIMAL ORDERING METHOD
0060 ; SPARSITY PROGRAMMING TECHNIQUE
0070 ; ROW OPERATIONS
0080 INFORMATION INPUT WHEN: SEMI-OPTIMAL ORDERING METHOD
0090 NN-AS DECLARED FOR DIMENSION OF ARRAY NAME AND VARIABLE
0100 MBR-AS DECLARED FOR MUTUAL TERM ARRAY NAME AND VARIABLE
0110 NE-AS DECLARED FOR NEXT AND FAR-POINTERS
0120 LIST(NN) ---LINK-LIST POINTER
0130 FAR(ME)
0140 BOFFDGA-AS DECLARED FOR DIAGONAL TERM USE TO ELIMINA
0150 TION
0160 NSTATE-INTEGER VECTOR INDICATOR
0170 *NORDER,NCON,NELIM,LIST,NEAR,BDIAG,ROFFDGNSTATE,
0180 INTER,NENDI,EDJ,NCON,MAXCON,LPORQ)
0190 INTEGER LIST(NN),NEXT(ME),FAR(ME),NSTATE(NN),NCONN(NN)
0200 REAL BDIAG(NN),BOFFDGNBR),YTAB(15)
0210 COMMON/HVDC/IDC,NLOOP
0220
0230 CHECK INTEGER VECTOR: CAN BE ELIMINATION
0240 IF NSTATE = 0 NODE IS PROTECTED FROM ELIMINATION
0250
0260 NELIM=0
0270
0280 ELIMINATED UNWANTED NODES WITHIN THE LINKNET STRUCTURE
0290 COUNT THE MUTUAL CONNECTIONS OF THE NODES TO BE ELIMINATED
0300
0310 DO 32 K=1,NBUS
0320 IF (IDC.EQ.0 OR LPORQ.EQ.0) GO TO 55
0330 DO 30 I=1,IDC
0340 IF (K.EQ.NCON(I)) GO TO 32
0350 CONTINUE
0360 NCONN(K)=0
0370
0380 CHECK IF NODE IS TO BE SAVED OR IF NODE HAS BEEN ELIMINATED
0390 -ALREADY
0400 IF (NSTATE(K).NE.0) GO TO 32
0410 IF (NLIST(K).EQ.0) GO TO 32
0420 IF (ENDI.EQ.0) GO TO 32
0430 I=0
0440 J=FAR(ENDDI),NE.0) GO TO 29
0450 IF (I.EQ.0) GO TO 28
0460 DO 30 KK=1,I
0470 IF (J.EQ.NTAB(KK)) GO TO 29
0480 CONTINUE
0490 I=I+1
0500 IF (I.LE.15) GO TO 36
0510 IF (I.EQ.200) GO TO 36
0520 WFORMAT(1H, DIMENSIONS OF TABLE EXCEEDED)
0530 STOP
0540 NTAB(I)=J,NCONN(K)+1
0550 NCONN(K)=NEXT(ENDDI)
0560 ENDI=NEXT(ENDDI)
0570 IF (ENDI.EQ.0) GO TO 32
0580 GO TO 31
0590 CONTINUE
0600
0610 LOOP HERE FOR EACH NODE TO BE ELIMINATED IN THE NETWORK
0620
0630 33 CONTINUE
0640
0650 FIND THE NODE WITH THE LEAST NUMBER OF CONNECTIONS
0660
0670 NMAX=1000
0680 NODEN=0
0690 DO 34 K=1,NBUS
0700
0710
0720
0730
0740
0750
0760
0770
0780

```

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78

```

```

790 CHECK IF NODE IS TO BE SAVED OR IF IT WAS BEEN ELIMINATED
800 IF(NSTAT(K).NE.0) GO TO 34
810 IF(LSTAT(K).EQ.0) GO TO 34
820 IF(NCONN(K).GT.NMAX) GO TO 34
830 NMAX=NCONN(K)
840 NODE=NK
850 CONTINUE
860
870
880
890 CHECK IF ALL REQUIRED NODES HAVE BEEN ELIMINATED
900 IF(NODEM.EQ.0) GO TO 51
910 NELL=NELLIM+1
920 NORDER(NELLIM)=NODEM
930 NODEM IS THE NODE WITH THE MINIMUM NUMBER OF CONNECTIONS TO
940 UNELIMINATED BUSES
950 PERFORM ELIMINATION ON NODEM
960 FORM A TABLE OF NODES CONNECTED TO NODEM WHICH HAVE NOT BEEN
970 ELIMINATED
980 I=0
990 ENOM=LIST(NODEM)
1000 NODEN=FAR(ENOM)
1010 IF(NSTAT(NODEM).NE.0) GO TO 37
1020 IF(LI.EQ.0) GO TO 40
1030 DO 20 K=1,I
1040 IF(NODEN.NE.NTAB(K)) GO TO 20
1050 MUTAB(K)=(ENOM+1)/2
1060 YTAB1(K)=YTAB1(K)+BOFFDG(MUTUAL)
1070 GO TO 37
1080 CONTINUE
1090 I=I+1
1100 IF(I.LE.15) GO TO 46
1110 WRITE(6,2005)
1120 FORMAT(1H0,'DIMENSIONS OF TABLE EXCEED')
1130 STOP
1140
1150 46 NTAB(I)=NODEM
1160 MUTUAL=(ENOM+1)/2
1170 YTAB1(I)=BOFFDG(MUTUAL)
1180 ENOM=NEXT(ENOM)
1190 IF(ENOM.EQ.0) GO TO 38
1200 GO TO 35
1210 IF(LI.EQ.0) GO TO 50
1220 NMUT=1
1230 TEMP1=1.0/BDIAG(NODEM)
1240 DO 47 I=1,NMUT
1250 NODEI=NTAB(I)
1260 YDIFF1=YDIFF1+TEMP1
1270 DO 47 J=1,NMUT
1280 NODEJ=NTAB(J)
1290 YDIFF1=YDIFF1-YTAB1(J)
1300
1310 CHECK WHETHER A SELF OR MUTUAL TERM IS TO BE CHANGED
1320 IF(NODEI.NE.NODEJ) GO TO 41
1330 CHANGE DIAGONAL TERM OF NODEI
1340 BDIAG(NODEI)=BDIAG(NODEI)+YDIFF1
1350 GO TO 47
1360 ENDI=LIST(NODEI)
1370
1380 41 CHANGE MUTUAL TERM OF NODEI AND NODEJ
1390 CHECK IF A MUTUAL TERM ALREADY EXISTS BETWEEN NODEI AND NODEJ
1400 IF(FAR(ENDI).EQ.NODEJ) GO TO 43
1410 ENDI=NEXT(ENDI)
1420 IF(ENDI.EQ.0) GO TO 44
1430 GO TO 42
1440
1450
1460
1470 MUTUAL TERM ALREADY EXIST, THEREFORE CHANGE THE EXISTING TERM
1480 MUTUAL=(ENDI+1)/2
1490 BOFFDG(MUTUAL)=BOFFDG(MUTUAL)+YDIFF1
1500 GO TO 47
1510
1520
1530
1540 COME HERE IF MUTUAL TERM DOES NOT YET EXIST THEREFORE ADD A NEW
1550 MUTUAL TERM TO LINKNET
1560 LAST=LAST+1
1570

```





```

1 1  COMMENT**XXX
2 2  SUBROUTINE TO PERFORM FORWARD REDUCTION RESIDUAL VECTOR
3 3  COMMENT**YYY
4 4  INFORMATION INPUT FOR THIS SUBROUTINE:
5 5
6 6  NN-AS DECLARED FOR DIMENSION OF ARRAY NAME
7 7  NBR-AS DECLARED FOR MUTUAL TERM ARRAY NAME
8 8  NE-AS DECLARED FOR OFF-DIAGONAL ELEMENT OF MATRIX
9 9  LIST(MN)
10 10 NEXT(MN)
11 11 FAR(ME)
12 12 BDIAG-AS DECLARED FOR DIAGONAL ELEMENT OF MATRIX
13 13 ROFFDG-AS DECLARED FOR OFF-DIAGONAL ELEMENT OF MATRIX
14 14 DELTAJ-AS INPUT/OUTPUT VARIABLE USE TO SOLVE
15 15 NSTATE-AS INTEGER VECTOR INDICATOR
16 16 COMMENT**ZZZ
17 17 INFORMATION OUTPUT FROM THIS SUBROUTINE
18 18 DELTAJ -AS OUTPUT AFTER CALCULATION
19 19 COMMENT**WWW
20 20 SUBROUTINE FORRED(NN,NBR,NE,LIST,NEXT,FAR,BDIAG,ROFFDG,DELTAJ,
21 21 *NSTATE,NORDER,NELIM)
22 22 INTEGER LIST(NN),NEXT(ME),FAR(ME),NSTATE(NN),NORDER(NN)
23 23 REAL BDIAG(NN),ROFFDG(NBR),DELTAJ(MN)
24 24 DO 65 M=1,NELIM
25 25 NODEN=NORDER(M)
26 26 STEMP=DELTAJ(NODEN)/BDIAG(NODEN)
27 27 ENDM=LIST(NODEN)
28 28 NODEN=STEMP*(NODEN)
29 29 IF(NSTATE(NODEN)EQ-1) GO TO 63
30 30 MUTUAL(NODEN)=DELTAJ(NODEN)-HOFFDG(MUTUAL)*STEMP
31 31 ENDM=NDM+1
32 32 DELTAJ(NODEN)=ENDM
33 33 IF(ENM) GO TO 64
34 34 GO TO 66
35 35 NSTATE(NODEN)=-1
36 36 CONTINUE
37 37 END
38 38
39 39

```

```

0010
0020
0030
0040
0050
0060
0070
0080
0090
0100
0110
0120
0130
0140
0150
0160
0170
0180
0190
0200
0210
0220
0230
0240
0250
0260
0270
0280
0290
0300
0310
0320
0330
0340
0350
0360
0370
0380
0390

```









```

1580
1590
1600
1610
1620
1630
1640
1650
1660
1670
1680
1690
1700
1710
1720
1730
1740
1750
1760
1770
1780
1790
1800
1810
1820
1830
1840
1850
1860
1870
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
2030
2040
2050
2060
2070
2080
2090
2100
2110
2120
2130
2140
2150
2160
2170
2180
2190
2200
2210
2220
2230
2240
2250
2260
2270
2280
2290
2300
2310
2320
2330
2340
2350
2360

```

```

QGEN=QGFN+QG(K)
QLOAD=QLOAD+QL(K)
QSHUNT=EMAG(K)*EMAG(K)*RSHUNT(K)+QSHUNT
GSHUNT=GG(K)-BSHUNT(K)
IF(I=DC.EQ.O) GO TO 251
DO 300 I=1,DC
IF(K.EQ.NCON(I)) YSHUNT=YSHUNT-1./FX(I)
CONTINUE
END=LIST(ND)
J=J+1
NB=(END+1)/2
IF(J.LT.K) GO TO 260
IF(J.EQ.K) E(J)
IF(J.GT.K) E(J)
X=G(NB)
Y=G(NB)
Z=TEMP(NB)+FTEMP
PLOSS=TEMP(NB)+FTEMP
QLOAD=QLOAD+QGEN-QSHUNT-QLOAD-QLOSS
QSHUNT=QSHUNT+QGEN-QSHUNT-QLOAD-QLOSS
END=NEXT(ND)
IF(TEMP.EQ.O) GO TO 270
GO TO 250
PLOSS=EMAG(K)*EMAG(K)*GSHUNT+PLOSS
QSHUNT=EMAG(K)*EMAG(K)*YSHUNT+QLOSS
CONTINUE
QGEN=QGFN-QLOAD-PLOSS
PLOSS=QLOSS+BASE
IF(INPRINT(7).EQ.1) GO TO 281
QLOAD=QLOAD+BASE
QGEN=QGEN+BASE
PLOSS=QLOSS+BASE
QSHUNT=QSHUNT+BASE
WRITE(6,1290) PLOAD,QLOAD,QGEN,QLOSS,PLOSS,QLOSS,QMISS,QSHUNT
1290 FORMAT(1H0,9F10.3)
CONTINUE
LINE OVER LOAD SUMMARY.
WRITE(6,111)
111 FORMAT(1H1,T32,'LINE OVER-LOAD SUMMARY')
WRITE(6,222)
222 FORMAT(1H0,T5,'BUS',T12,'NAME',T26,'BUS',T33,'NAME',T45,'MW',
*TS,'MVAR',T64,'MVA')
DO 248 K=1,NBUS
IF(LIST(K).EQ.O) GO TO 248
KK=BNUMR(K)
KK=BNUMR(K)
WRITE(6,333) KK,NAME1(K),NAME2(K)
333 FORMAT(1H0,T6,3X,A4,A4,T24-5T(1H-))
END=LIST(ND)
J=J+1
NB=(END+1)/2
PTEMP=TEMP(NB)+FTEMP
QTEMP=TEMP(NB)+FTEMP
X=G(NB)+QTEMP+GE(ND)*E(K)-RE(ND)*E(K)
Y=B(NB)+PTEMP+G(NB)*QTEMP+GE(ND)*E(K)+F(K)*Y
PTEMP=TEMP(NB)+FTEMP
QTEMP=TEMP(NB)+FTEMP
STEMP=QTEMP+BASE
JJ=BNUMR(J)
IF(STEMP.LEH) SRATE(NB) GO TO 88
IF(STEMP.GE) SRATE(NB)
STEMP=STEMP*100./SRATE(NB)
WRITE(6,444) JJ,NAME1(J),NAME2(J),PTEMP,QTEMP,STEMP,STEMP
444 FORMAT(1H0,T24,T5,2X,A4,A4,T3F10.5,5X,
*O,5,2X,T10-5,2X,T5,PER/CENT***)
GO TO 666
88 CONTINUE
555 JJ,NAME1(J),NAME2(J),PTEMP,QTEMP,STEMP
555 FORMAT(1H0,T24,T5,2X,A4,A4,T3F10.5)
666 END=NEXT(END)

```

```

159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236

```

PROGRAM: OUTPUT (REV.000) ACOS-4 VER. R7-S1 FORIRAN REV. 070 DATE: 82-10-25 TIME: 13:44:16 PAGE: 0004

TIME: 13:44:16

DATE: 82-10-25

FORIRAN REV. 070

ACOS-4

PROGRAM: OUTPUT (REV.000)  
SOURCE LISTING

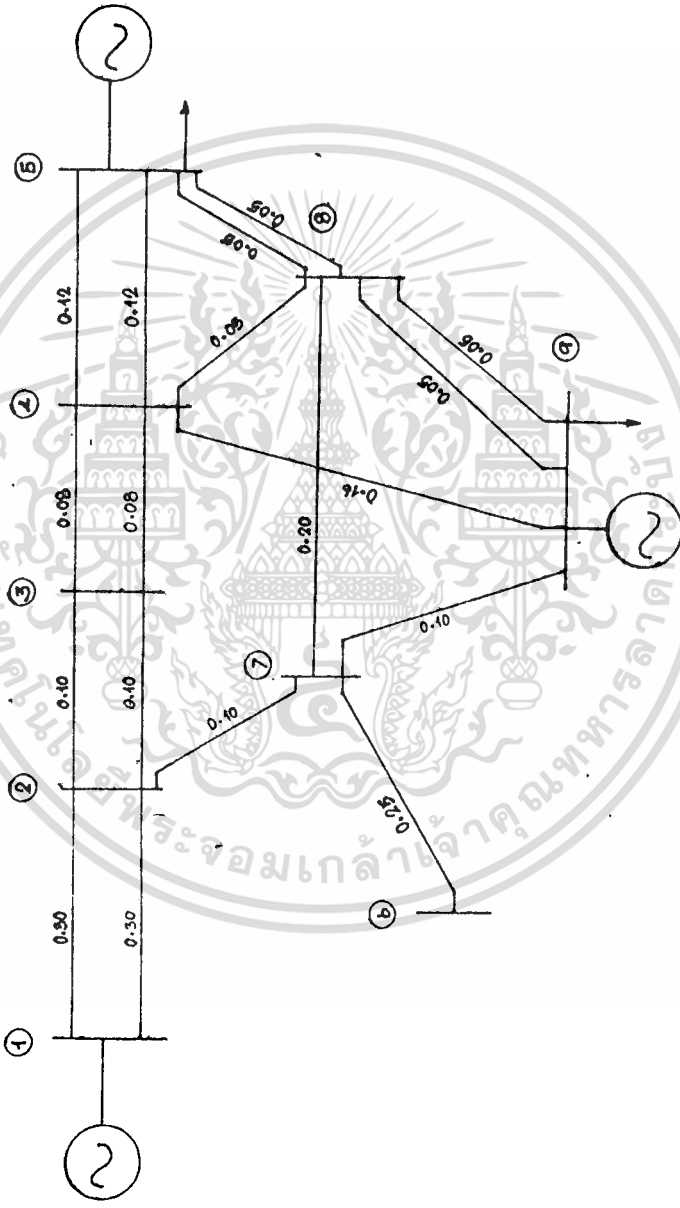
337  
338  
339  
340  
341  
342

IF (END EQ 0) GO TO 99  
GO TO 99  
CONTINUE  
288 RETURN  
END

3370  
3340  
3390  
3400  
3410  
3420

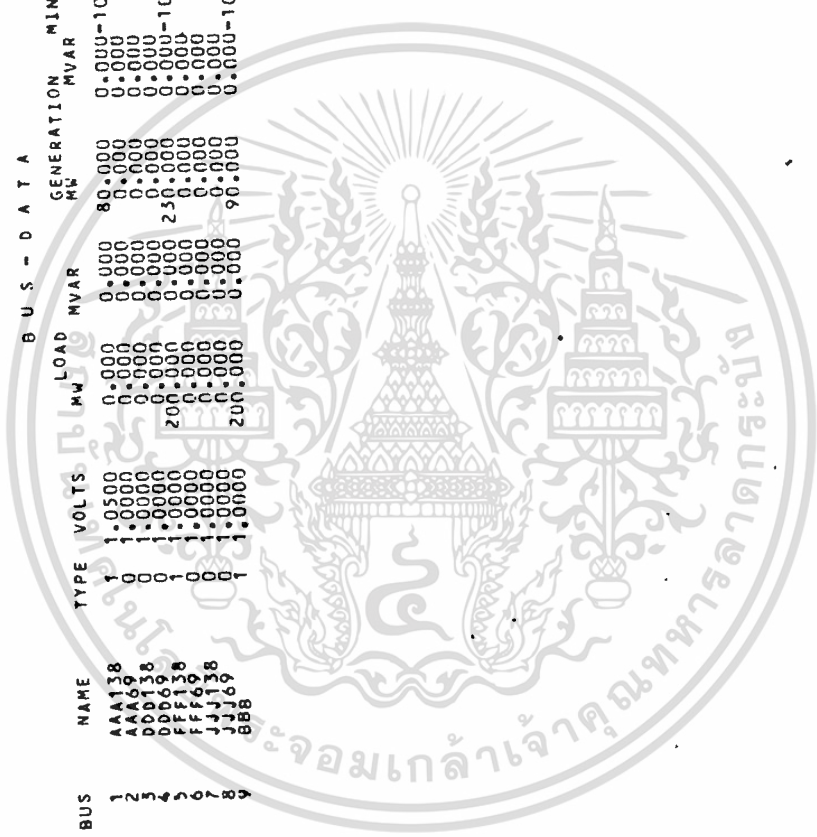


CASE STUDY NUMBER 4  
 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 15  
 POWER TOLERANCE 0.000100  
 PRINT OUT INDICATOR 00000000  
 SYSTEM MVA BASE 100.00  
 SLACK BUSBARS 1



B U S - D A T A

BUS	NAME	TYPE	VOLTS	LOAD MW	MVAR	GENERATION MW	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SHUNT SUSCEPTANCE	CAP/REAC MVAR
1	AA138	1	1.0500	0.0000	0.000	80.000	0.000-100.000	100.000	0.000	0.000
2	AA138	0	1.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	DD138	0	1.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	DD138	1	1.0000	200.000	0.000	250.000	0.000-100.000	100.000	0.000	0.000
5	FF138	0	1.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	FF138	0	1.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	JJ138	0	1.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	JJ138	0	1.0000	200.000	0.000	90.000	0.000-100.000	100.000	0.000	0.000
9	BB8	1	1.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000







NUMBER OF BUSSES	9
NUMBER OF LINES	18
NO OF TRANSFORMERS	0

BUS	REAL POWER ERROR	REACTIVE POWER ERROR
2	0.000	0.272
3	0.000	-0.009
4	0.000	-0.007
5	0.300	-0.002
6	0.000	0.000
7	0.000	-0.012
8	0.000	-0.008
9	-1.100	-0.012
AFTER 1P-Q AND 1Q-V ITERATION		
2	0.034	0.006
3	0.004	0.000
4	0.003	0.000
5	0.000	0.066
6	0.000	0.000
7	0.004	0.000
8	0.001	0.000
9	0.002	0.075
AFTER 2P-Q AND 2Q-V ITERATION		
2	-0.002	0.000
3	0.000	0.000
4	0.000	0.000
5	0.000	0.068
6	0.000	0.000
7	0.000	0.000
8	0.000	0.000
9	0.000	0.078
AFTER 3P-Q AND 3Q-V ITERATION		

SOLUTION CONVERGED IN 3 P-D AND 30-V ITERATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

REPORT OF LOAD FLOW SOLUTIONS FOR UNEQUAL B-MATRIX METHOD

BUS DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	MW	MVAR	GENERATION	LOAD	SHUNT	CAP/REAC
						MW	MVAR	MVAR	MVAR
1	AAA138	1.050	0.000	80.008	30.710	0.000	0.000	0.000	0.000
2	AAA69	1.013	-6.481	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	DDD138	1.007	-7.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	DDD69	1.003	-8.688	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	FFF158	1.000	-8.834	230.000	-6.767200	0.000	0.000	0.000	0.000
6	FFF69	1.005	-8.540	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	JJJ138	1.005	-8.540	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	JJJ69	1.001	-9.325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	BBB	1.000	-10.233	90.000	-7.747200	0.000	0.000	0.000	0.000

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS	NAME	MW	MVAR	TAP
2	AAA69	40.00397	15.35482	0.000
	AAA69	40.00397	15.35482	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
1	AAA138	-40.00393	-10.35866	0.000
	AAA138	-40.00393	-10.35866	0.000
	DDD138	-40.72124	-10.35866	0.000
	DDD138	-40.72124	-10.35866	0.000
	JJJ138	56.55646	8.04109	0.000
	JJJ138	56.55646	8.04109	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
2	AAA69	-21.72124	-5.54306	0.000
	AAA69	-21.72124	-5.54306	0.000
	DDD69	-21.72124	-5.54306	0.000
	DDD69	-21.72124	-5.54306	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
3	DDD138	-21.72145	-5.14701	0.000
	DDD138	-21.72145	-5.14701	0.000
	FFF138	21.13000	2.148232	0.000
	FFF138	21.13000	2.148232	0.000
	FFF138	21.13000	2.148232	0.000
	FFF138	21.13000	2.148232	0.000
	JJJ69	26.269107	1.842269	0.000
	JJJ69	26.269107	1.842269	0.000
	BBB	1.00000	-0.0002	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
4	DDD69	-21.13000	-2.11717	0.000
	DDD69	-21.13000	-2.11717	0.000
	JJJ69	17.13000	1.21144	0.000
	JJJ69	17.13000	1.21144	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
7	JJJ138	0.00000	0.00000	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
2	AAA69	-36.55646	-7.26494	0.000
	AAA69	-36.55646	-7.26494	0.000
	FFF69	0.00000	0.00000	0.000
	FFF69	0.00000	0.00000	0.000
	JJJ69	6.88189	2.09330	0.000
	JJJ69	6.88189	2.09330	0.000
	BBB	29.67470	5.17616	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
4	DDD69	-22.29137	-3.81268	0.000
	DDD69	-22.29137	-3.81268	0.000
	FFF138	-17.13043	-1.33930	0.000
	FFF138	-17.13043	-1.33930	0.000
	JJJ138	-6.88189	-1.99020	0.000
	JJJ138	-6.88189	-1.99020	0.000
	BBB	31.71683	1.53705	0.000
	BBB	31.71683	1.53705	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	
4	DDD69	-16.89107	-1.40305	0.000
	DDD69	-16.89107	-1.40305	0.000
	JJJ138	-29.67470	-4.27228	0.000
	JJJ138	-29.67470	-4.27228	0.000
	JJJ69	-31.71683	-1.03334	0.000
	JJJ69	-31.71683	-1.03334	0.000
	MISMATCH	0.000	0.000	

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.01027 ON BUS 8

THE SLACK BUS GENERATION IS 80.00793 30.70963

LINE OVER-LOAD SUMMARY						
BUS	NAME	BUS	NAME	MW	MVAR	MVA
1	AAA138	2	AAA69	40.004	15.355	42.850
		2	AAA69	40.004	15.355	42.850
2	AAA69	1	AAA138	-40.004	-10.359	41.323
		1	AAA138	-40.004	-10.359	41.323
		3	DDD138	21.721	6.039	22.545
		3	DDD138	21.721	6.039	22.545
		7	JJJ138	36.556	8.641	37.564
3	DDD138	2	AAA69	-21.721	-5.543	22.417
		2	AAA69	-21.721	-5.543	22.417
		4	DDD69	21.721	5.544	22.418
		4	DDD69	21.721	5.544	22.418
4	DDD69	3	DDD138	-21.721	-5.147	22.323
		3	DDD138	-21.721	-5.147	22.323
		5	FFF138	2.130	2.183	3.050
		5	FFF138	2.130	2.183	3.050
		8	JJJ69	22.291	4.068	22.659
		9	BBB	16.891	1.863	16.993
5	FFF138	4	DDD69	-2.130	-2.172	3.042
		4	DDD69	-2.130	-2.172	3.042
		8	JJJ69	17.130	-1.212	17.173
		8	JJJ69	17.130	-1.212	17.173
6	FFF69	7	JJJ138	0.000	0.000	0.000
7	JJJ138	2	AAA69	-36.556	-7.265	37.271
		6	FFF69	0.000	0.000	0.000
		8	JJJ69	6.882	2.093	7.193
		9	BBB	29.675	5.176	30.123
8	JJJ69	4	DDD69	-22.291	-3.812	22.615
		5	FFF138	-17.130	1.359	17.184
		5	FFF138	-17.130	1.359	17.184
		7	JJJ138	-6.882	-1.991	7.164
		9	BBB	31.717	1.537	31.754
		9	BBB	31.717	1.537	31.754
9	BBB	4	DDD69	-16.891	-1.403	16.949
		7	JJJ138	-29.675	-4.277	29.981
		8	JJJ69	-31.717	-1.034	31.734
		8	JJJ69	-31.717	-1.034	31.734

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MW	LOAD	MVAR	GENERATION	MW	MVAR	MW	LOSSES	MVAR	MW	MISMATCH	MVAR	SHUNTS	MVAR
400.000	0.000	0.000	400.008	16.195	0.000	0.000	16.169	0.008	0.008	0.026	0.000		



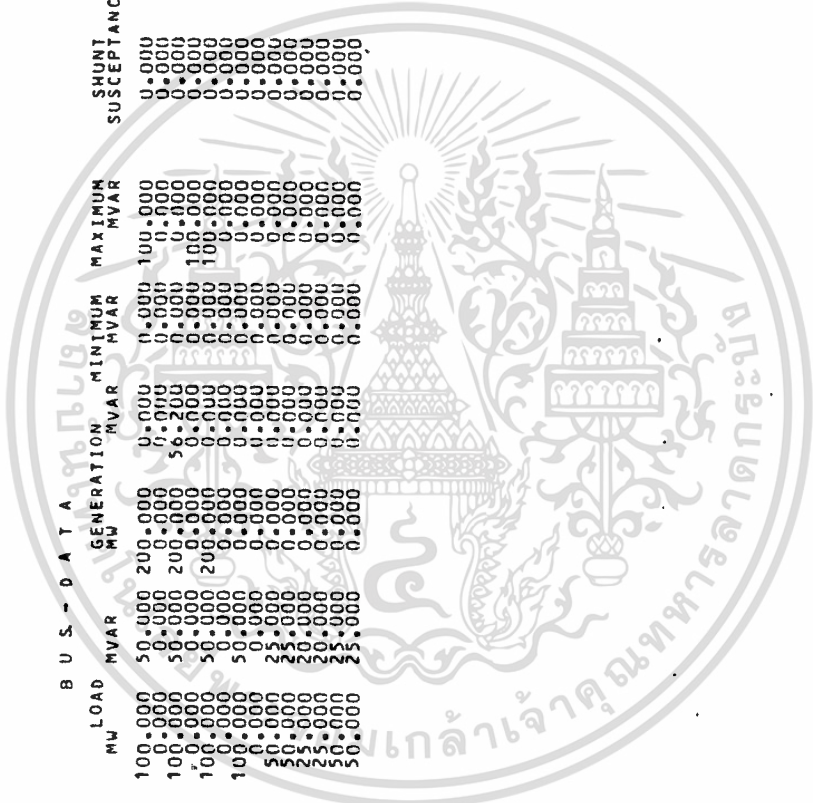
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

CASE STUDY NUMBER 4  
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 50  
POWER TOLERANCE 0.000100  
PRINT OUT INDICATOR 000000000  
SYSTEM MVA BASE 100.00  
SLACK BUSBARS 7

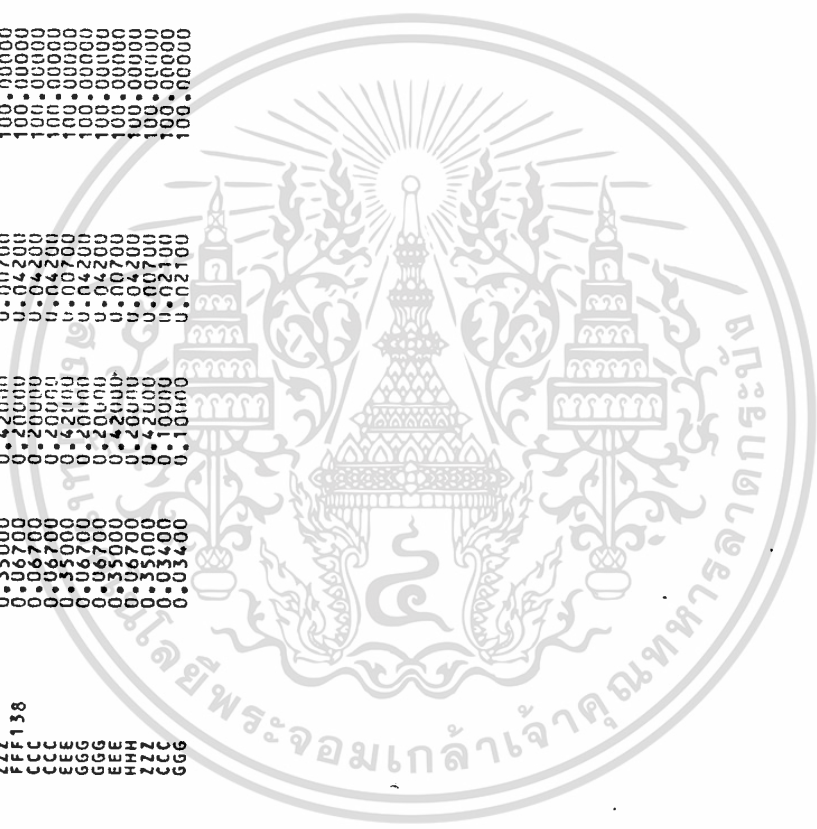


BUS	NAME	TYPE	VOLTS	MW	LOAD	MVAR	GENERATION	MINIMUM	MAXIMUM	SUSCEPTANCE	CAP/REAC
				MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR
1	AA138	1	1.02000	100.0000	50.0000	200.0000	0.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000
2	AA469	0	1.00000	100.0000	0.0000	200.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	DD138	0	1.00000	100.0000	50.0000	200.0000	56.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	DD669	1	1.02000	100.0000	50.0000	200.0000	0.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000
7	FF138	0	1.02000	100.0000	50.0000	200.0000	0.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000
9	JJ138	0	1.04000	100.0000	50.0000	200.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	JJ169	0	1.00000	500.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	BBB	0	0.97500	500.0000	25.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	CCZ	1	1.00000	500.0000	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	EEH	1	0.93100	500.0000	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	HHH	1	0.92800	500.0000	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	GCG	0	1.00000	500.0000	25.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



L I N E - D A T A

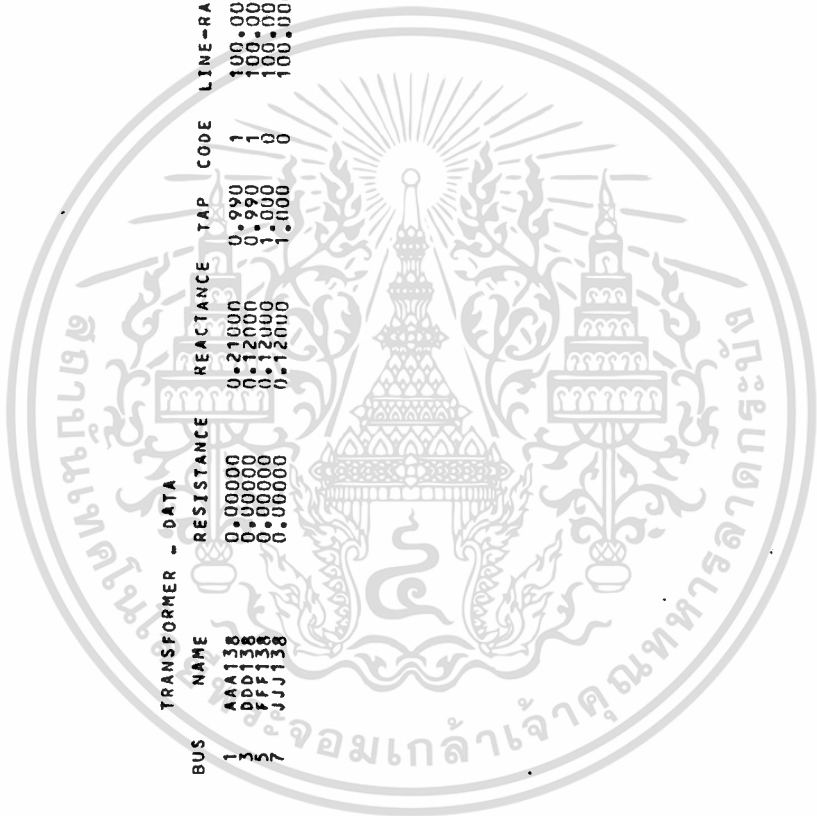
BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED
1	AAA138	7	JJ138	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
1	AAA138	1	BBB	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
2	AAA138	15	ZZZ	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
2	AAA138	10	ZZZ	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
3	AAA138	10	CCC	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
3	AAA138	12	CCC	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
4	AAA138	14	EEE	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
5	AAA138	14	EEE	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
6	AAA138	12	HHH	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
7	AAA138	11	HHH	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
8	AAA138	11	ZZZ	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
8	AAA138	10	CCC	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
8	AAA138	14	GGG	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
13	AAA138	14	GGG	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000



BUS:    NAME  
 2    AA169  
 4    DD069  
 6    FF169  
 8    JJ169

TRANSFORMER - DATA

BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	TAP	CODE	LINE-RATED
1	AA138	0.00000	0.21000	0.990	1	100.00000
2	DD038	0.00000	0.12000	0.990	1	100.00000
4	FF138	0.00000	0.12000	1.000	0	100.00000
8	JJ138	0.00000	0.12000	1.000	0	100.00000



NUMBER OF BUSES 14  
 NUMBER OF LINES 14  
 NO OF TRANSFORMERS 4

BUS	REAL POWER ERROR	REACTIVE POWER ERROR
1	0.962	-0.527
2	-0.081	0.105
3	1.030	0.565
4	-0.084	0.018
5	0.908	-0.680
6	-0.084	0.081
8	-0.081	0.227
9	-0.360	0.081
10	-0.576	-0.623
11	-0.100	-0.065
12	-0.094	-0.053
13	-0.386	-0.007
14	-0.476	-0.319
AFTER 1P-Q AND 10KV ITERATION		
1	0.044	-0.426
2	0.046	0.009
3	-0.018	-0.007
4	0.034	0.052
5	0.032	-0.759
6	0.005	0.005
8	-0.039	-0.010
9	-0.139	-0.252
10	0.128	0.028
11	0.002	-0.012
12	-0.030	-0.057
13	-0.104	-0.198
14	0.055	0.005



AFTER 2P-Q AND 2Q-V ITERATION

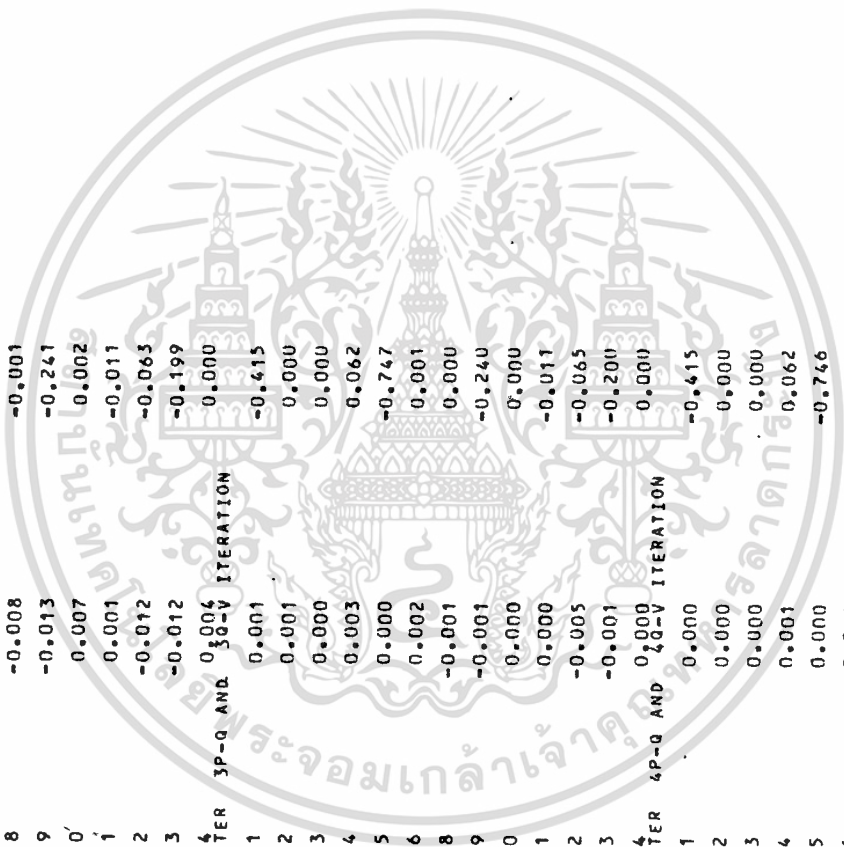
1	0.005	-0.417
2	0.005	0.001
3	0.001	0.001
4	0.009	0.039
5	0.004	-0.750
6	0.004	0.002
8	-0.008	-0.001
9	-0.013	-0.241
10	0.007	0.002
11	0.001	-0.011
12	-0.012	-0.063
13	-0.012	-0.199
14	0.004	0.000

AFTER 3P-Q AND 3Q-V ITERATION

1	0.001	-0.415
2	0.001	0.000
3	0.000	0.000
4	0.003	0.062
5	0.000	-0.747
6	0.002	0.001
8	-0.001	0.000
9	-0.001	-0.240
10	0.000	0.000
11	0.000	-0.011
12	-0.005	-0.065
13	-0.001	-0.200
14	0.000	0.000

AFTER 4P-Q AND 4Q-V ITERATION

1	0.000	-0.415
2	0.000	0.000
3	0.000	0.000
4	0.001	0.062
5	0.000	-0.746
6	0.001	0.000
8	0.000	0.000
9	0.000	-0.239
10	0.000	0.000
11	0.000	-0.011
12	-0.002	-0.066
13	0.000	-0.200



14	AFTER	SP-Q AND	0.000	0.000
		50-V	ITERATION	
1				0.000
2				-0.415
3				0.000
4				0.000
5				0.062
6				-0.745
8				0.000
9				0.000
10				-0.239
11				0.000
12				-0.011
13				-0.066
14				-0.200
14	AFTER	6P-Q AND	0.000	0.000
		60-V	ITERATION	
1				0.000
2				0.000
3				0.000
4				0.062
5				-0.745
6				0.000
8				0.000
9				-0.239
10				0.000
11				-0.011
12				-0.066
13				-0.200
14	AFTER	8P-Q AND	0.000	0.000
		70-V	ITERATION	

REPORT OF LOAD FLOW SOLUTIONS FOR UNEQUAL B-MATRIX METHOD  
BUS DATA

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	MW	MVAR	GENERATION		LOAD		SHUNT		CAP/REAC	
						MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR
1	AAA138	1.020	6.688	200.000	41.538	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	BBB138											1.136	0.000
	CCC138											1.136	0.000
	AAA69											1.136	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
2	AAA69	1.019	4.466	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	AAA138											3.242	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
3	DDD138	1.004	10.079	200.000	56.200	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	AAA69											3.988	0.000
	CCC138											3.988	0.000
	AAA69											1.708	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
4	DDD69	1.000	9.107	0.000	-6.244	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	EEE138											3.069	0.000
	DDD138											3.069	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
5	FFF138	1.020	8.546	200.000	74.528	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	DDD138											9.632	0.000
	CCC138											9.632	0.000
	FFF69											2.824	0.000
	MISMATCH											0.000	1.000
6	FFF69	1.009	7.724	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	EEE138											8.969	0.000
	FFF138											8.969	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
7	JJJ138	1.040	0.000	63.583	116.913	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	AAA138											28.929	0.000
	HHH138											28.929	0.000
	JJJ69											15.523	0.000
	MISMATCH											0.000	1.000
8	JJJ69	1.022	-0.519	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	ZZZ138											15.184	0.000
	JJJ138											15.184	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
9	BBB	0.975	4.124	0.000	0.000	25.000	25.000	0.000	0.000	23.948	0.000	0.000	0.990
	AAA138											16.571	0.000
	CCC138											16.571	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
10	CCC	0.969	5.851	0.000	0.000	30.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
	AAA69											17.261	0.000
	JJJ69											17.261	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
11	ZZZ	0.931	0.731	0.000	0.000	25.000	20.000	0.000	0.000	1.115	0.000	0.000	0.990
	AAA69											17.261	0.000
	JJJ69											17.261	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
12	EEE	0.928	6.559	0.000	0.000	25.000	20.000	0.000	0.000	6.635	0.000	0.000	0.990
	DDD69											6.730	0.000
	FFF69											6.730	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990
13	HHH	0.988	0.156	0.000	0.000	50.000	25.000	0.000	0.000	19.959	0.000	0.000	0.990
	JJJ138											20.524	0.000
	GGG138											20.524	0.000
	MISMATCH											0.000	0.990

MISMATCH 0.001 0.001  
 5 FF138 -47.17299 -3.62576 0.000  
 13 HHM -47.17299 -3.62576 0.000  
 MISMATCH 0.000 -20.11119 0.000  
 0.000 -0.0002

14 666 0.983 3.159 0.000 0.000 25.000 0.000 0.000

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.00986 ON BUS 5  
 THE SLACK BUS GENERATION IS 63.58308 116.91522

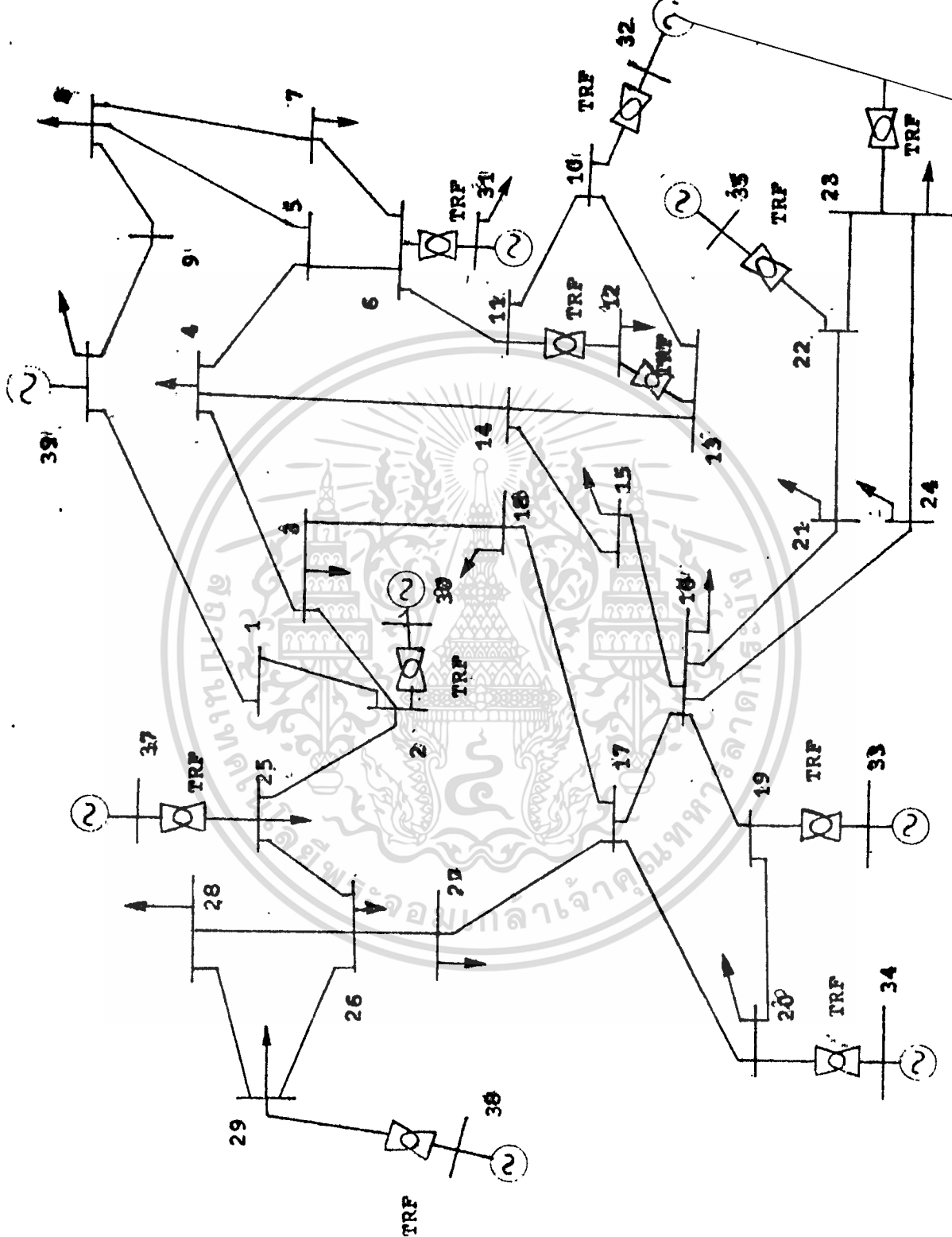
MW LOAD	MVAR	GENERATION	MVAR	MW LOSSES	MVAR	MW MISMATCH	MVAR	SHUNTS	MVAR
650.000	340.000	663.583	282.938	13.581	-5.418	0.002	-51.644		0.000



11 11 11  
 11 11 11  
 11 11 11  
 11 11 11

LINE OVER-LOAD SUMMARY						
BUS	NAME	BUS	NAME	MW	MVAR	MVA
1	AAA138	7	JJJ138	53.553	-26.716	59.847
		9	BBB	27.066	12.196	29.687
		2	AAA69	19.381	6.058	20.306
2	AAA69	11	ZZZ	19.381	5.243	20.077
		1	AAA138	-19.381	-5.243	20.077
3	DDD138	5	FFF138	9.888	-13.484	16.722
		10	CCC	37.886	3.989	38.095
		10	CCC	37.886	3.989	38.095
		4	DDD69	14.339	11.708	18.512
4	DDD69	12	EEE	14.336	5.065	15.204
		3	DDD138	-14.339	-11.308	18.261
5	FFF138	3	DDD138	-9.737	9.635	13.699
		14	GGG	48.718	2.824	48.799
		14	GGG	48.718	2.824	48.799
		6	FFF69	12.302	9.234	15.382
6	FFF69	12	EEE	12.300	8.961	15.218
		5	FFF138	-12.302	-8.961	15.220
7	JJJ138	1	AAA138	-51.319	28.929	58.911
		13	HHH	6.884	22.464	23.495
		8	JJJ69	8.018	15.524	17.472
8	JJJ69	11	ZZZ	8.018	15.184	17.171
		7	JJJ138	-8.018	-15.185	17.172
9	BBB	1	AAA138	-26.461	-14.572	30.208
		10	CCC	-23.539	13.520	27.145
10	CCC	3	DDD138	-36.906	-5.151	37.264
		3	DDD138	-36.906	-5.151	37.264
		9	BBB	23.812	-14.699	27.984
11	ZZZ	2	AAA69	-18.008	-4.262	18.505
		8	JJJ69	-6.992	-14.623	16.209
12	EEE	4	DDD69	-13.514	-4.730	14.318
		6	FFF69	-11.482	-8.637	14.368
13	HHH	7	JJJ138	-6.476	-25.567	26.374
		14	GGG	-43.525	20.524	48.121
14	GGG	5	FFF138	-47.173	-2.426	47.235
		5	FFF138	-47.173	-2.426	47.235
		13	HHH	44.346	-20.146	48.708

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



39 Buses System

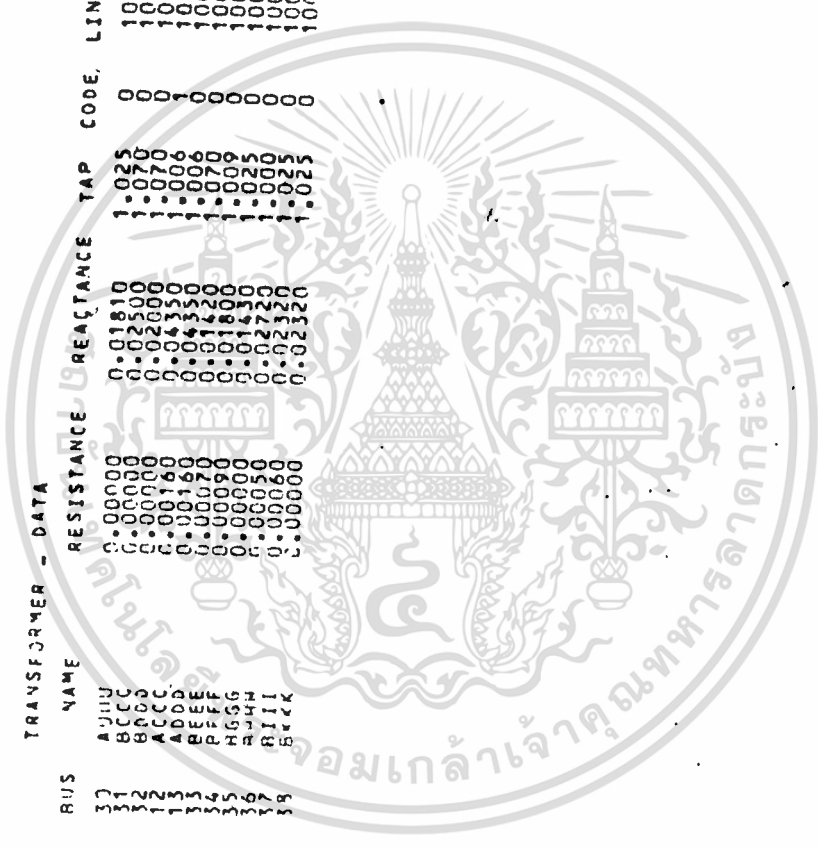
CASE STUDY NUMBER 52  
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 15  
POWER TOLERANCE 0.001000  
PRINT OUT INDICATOR 000000000  
SYSTEM MVA BASE 100.00  
SLACK BUSBARS \$1







BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	RESISTANCE	TAP	CODE	LINE-RATE
2	AA09	17	AJUU	0.00000	0.01810	1.00000	00	100.000000
17	FF09	18	BCUU	0.00000	0.02500	1.00000	00	100.000000
17	ABUU	19	BCUU	0.00000	0.00000	1.00000	00	100.000000
17	AJUU	20	ACUU	0.00160	0.00000	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	21	ADUU	0.00000	0.00000	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	22	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	23	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	24	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	25	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	26	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	27	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000
22	AJUU	28	BEUU	0.00000	0.01620	1.00000	00	100.000000





NUMBER OF BUSES 39

NUMBER OF LINES 35

NO OF TRANSFORMERS 11

SOLUTION CONVERGED IN 0 P-DIAG

70-V ITERATIONS







ARRR	1.056	-9.135	0.000	0.000	281.000	75.500	0.000	0.000	0.000	ATTP	-192.70733	-29.91790	0.000
ASSS	1.051	-3.567	0.000	0.000	206.000	27.600	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
ATTT	1.051	-0.776	0.000	0.000	293.500	26.900	0.000	0.000	0.000	AMM	-17.30823	13.65334	0.000
AVVV	1.043	-1.979	257.000	152.369	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-268.68936	-33.14333	0.000
BCCC	0.732	-0.000	534.561	214.850	9.200	6.600	0.000	0.000	0.000	ATTT	-350.25757	24.32274	0.000
BVVV	0.783	1.430	657.000	212.319	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AGG	194.64317	-83.35573	0.000
DEEE	1.397	2.033	632.000	205.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ASS	151.83037	-34.92477	0.000
EEFF	1.012	0.052	509.000	22.754	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	BKKE	-829.99301	71.0.010	1.023
GGGG	1.049	3.984	659.000	224.867	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
HHMM	1.044	6.573	567.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AAA69	250.00581	152.36813	1.023
IIIII	1.024	0.960	560.000	3.236	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
JKKK	1.027	2.755	333.000	81.426	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	FFF69	575.30984	210.26780	1.070
KKKK	1.040	-1.077	110.000	-57.5051120	100.000	100.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
LLMM	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ALLL	650.00635	212.91798	1.070
MMNN	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AJJJ	632.00024	205.37011	1.070
NNNN	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
OOOP	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AKKK	508.00024	22.75004	1.000
PPQQ	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
RRRR	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AMMM	650.00049	224.86505	1.023
SSSS	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
TTTT	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ANNN	560.00049	110.93892	1.000
UUUU	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
VVVV	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	APPP	539.98037	3.28290	1.023
WWWW	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ATTT	829.99561	81.62316	1.023
XXXX	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.000	-0.000	0.000
YYYY	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AAA138	-126.32893	-103.38897	0.000
ZZZZ	1.040	1.040	110.000	110.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	BBB	6.32033	-54.20775	0.000

MW	LOAD	MVAR	GENERATION	MVAR	MW	LOSSES	MVAR	MW	MISMATCH	MVAR	SHUNTS	MVAR
6106.488	1258.898	6204.555	1171.564	38.007	-87.528	0.058	0.194	0.000				





11 ABBB

6	FFFQ	343.18578	31.60775	344.01987	***OVER/LOAD	244.61984	PER/CENT***
10	ALLL	-365.49341	-76.73732	353.48462	***OVER/LOAD	253.48460	PER/CENT***
12	A6CC	2.306	43.516	43.378			

12 ACCC

11	A9QB	-2.276	-42.515	42.576			
13	A0DD	-6.224	-45.481	45.895			

13 A0DD

10	A1LL	-303.65967	-47.15584	307.29883	***OVER/LOAD	207.29883	PER/CENT***
14	AEEE	297.60405	0.75049	297.60503	***OVER/LOAD	197.60500	PER/CENT***
12	A0CC	6.258	46.412	46.833			

14 AEEE

6	D0D9	263.15161	39.43336	266.08960	***OVER/LOAD	166.08957	PER/CENT***
13	A0DD	-296.62646	-9.62216	296.78247	***OVER/LOAD	196.78246	PER/CENT***
15	AFFF	33.479	-29.803	44.822			

15 AFFF

14	AEEE	-33.457	-7.266	34.237			
16	A5GG	-286.56858	-165.73517	321.67900	***OVER/LOAD	221.67897	PER/CENT***

16 A5GG

15	AFFF	287.43677	137.25681	318.52661	***OVER/LOAD	218.52660	PER/CENT***
17	A9HM	206.58188	-59.94525	215.10347	***OVER/LOAD	115.10342	PER/CENT***
17	A1JJ	-451.21338	-5.20728	451.24341	***OVER/LOAD	351.24316	PER/CENT***

17 A1JJ

21	ALLL	-329.51904	1.58501	329.52271	***OVER/LOAD	229.52269	PER/CENT***
24	A0DD	-42.68755	-106.00223	114.27464	***OVER/LOAD	14.27464	PER/CENT***

17 A1HM

16	A5GG	-205.27985	49.59882	212.15892	***OVER/LOAD	112.15891	PER/CENT***
14	A1LL	123.96695	2.19150	193.97932	***OVER/LOAD	93.97929	PER/CENT***
27	A9QR	12.325	-51.721	53.170			

13 A1LL

5	A0D1R	35.717	-16.761	39.654			
17	A1HM	-193.71823	-13.23905	196.17007	***OVER/LOAD	94.17003	PER/CENT***

13 A1JJ

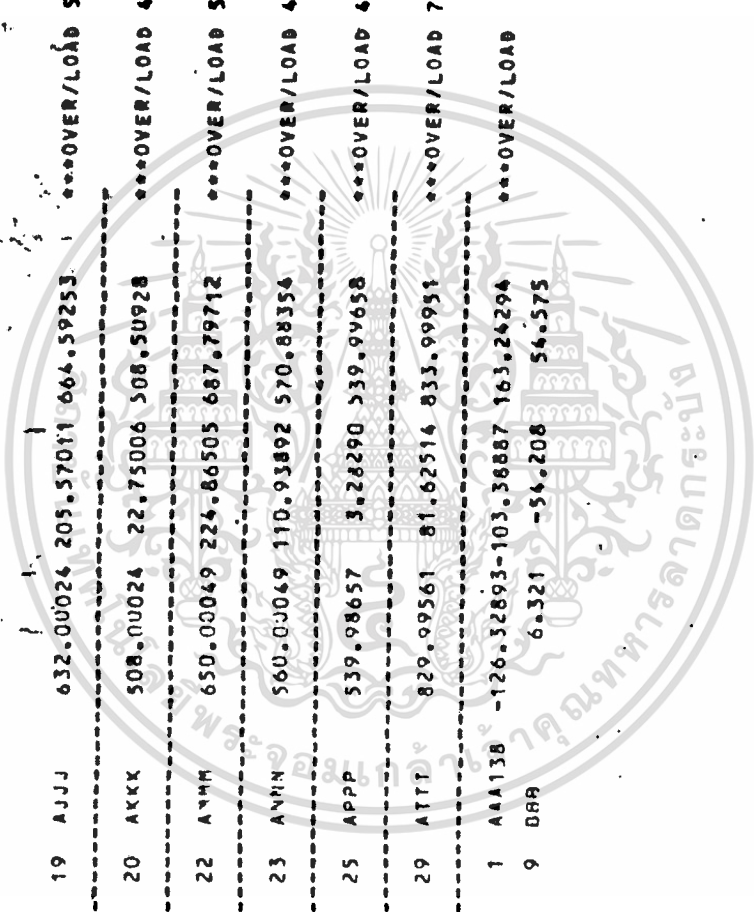
16	A5GG	454.30640	10.60418	454.63018	***OVER/LOAD	354.62993	PER/CENT***
27	A555	174.58638	131.87637	218.79620	***OVER/LOAD	118.79616	PER/CENT***
33	A5EE	-423.54989	-142.67302	644.82617	***OVER/LOAD	544.82617	PER/CENT***

13 A555

17	A1JJ	-174.27353	-125.71101	214.88210	***OVER/LOAD	114.88206	PER/CENT***
34	A5FF	-535.72778	22.69742	576.25682	***OVER/LOAD	406.23657	PER/CENT***

16	AGGG	330.36497	-14.53364	330.66431	***OVER/LOAD	230.66429	PER/CENT***
22	A4MM	-604.36326	-100.45967	612.63599	***OVER/LOAD	512.63574	PER/CENT***
21	ALLL	607.16504	122.20973	619.34206	***OVER/LOAD	519.34180	PER/CENT***
23	ANNN	42.8337	41.164	59.610			
35	BGGG	-650.00073	-163.38882	670.22144	***OVER/LOAD	570.22119	PER/CENT***
22	A4MM	-42.813	-60.943	74.478			
24	A000	353.87476	8.97782	353.98853	***OVER/LOAD	253.98851	PER/CENT***
36	B444	-558.56128	-32.63567	559.51392	***OVER/LOAD	459.51367	PER/CENT***
16	AGGG	42.72260	99.48425	109.26971	***OVER/LOAD	8.26971	PER/CENT***
23	ANNN	-351.32471	-7.26123	351.40015	***OVER/LOAD	251.40012	PER/CENT***
2	AAA69	241.55922	-91.07246	258.15698	***OVER/LOAD	158.15695	PER/CENT***
26	A999	72.714	-16.802	74.629			
37	B111	-538.33105	60.73265	561.74609	***OVER/LOAD	461.74609	PER/CENT***
25	APPP	-72.557	-40.630	83.159			
27	ARRR	269.71680	77.84277	280.72510	***OVER/LOAD	180.72507	PER/CENT***
28	ASSS	-143.64586	-25.27119	145.65489	***OVER/LOAD	45.65488	PER/CENT***
29	ATTT	-192.70753	-28.93790	194.86813	***OVER/LOAD	94.86812	PER/CENT***
17	ANNN	-12.308	17.645	21.514			
26	A000	-268.68970	-93.14633	284.37695	***OVER/LOAD	184.37695	PER/CENT***
26	A770	144.25897	-51.86957	153.33455	***OVER/LOAD	53.33452	PER/CENT***
29	ATTT	-350.25257	24.37274	351.10449	***OVER/LOAD	251.10449	PER/CENT***
26	A770	194.66313	-63.35571	204.71365	***OVER/LOAD	104.71362	PER/CENT***
28	ASSS	351.83057	-34.92477	353.55957	***OVER/LOAD	253.55957	PER/CENT***
34	CCCC	-829.49561	71.37070	833.05859	***OVER/LOAD	733.05811	PER/CENT***
2	AAA00	250.30581	152.34813	292.76758	***OVER/LOAD	192.76758	PER/CENT***
6	FF659	575.36084	210.24780	612.57178	***OVER/LOAD	512.57153	PER/CENT***
10	LLLL	650.4035	212.91798	683.96999	***OVER/LOAD	583.98975	PER/CENT***

54	BIFF	19	AJJJ	632.00024	205.57011	664.59253	***OVER/LOAD	564.59229	PER/CENT***
55	BGGG	20	AKKK	508.00024	22.75006	508.50928	***OVER/LOAD	408.50903	PER/CENT***
56	BHHH	22	AMMM	650.00049	224.86505	687.79712	***OVER/LOAD	587.79688	PER/CENT***
57	RIII	23	ANNN	560.00049	110.93892	570.88354	***OVER/LOAD	470.88330	PER/CENT***
58	HKKK	25	APPP	539.98657	3.26290	539.99658	***OVER/LOAD	439.99634	PER/CENT***
59	RYMM	29	ATTT	829.99561	81.62514	833.99951	***OVER/LOAD	733.99927	PER/CENT***
		1	AAA138	-126.32893	-103.36887	163.24294	***OVER/LOAD	63.24292	PER/CENT***
		9	DRR	6.321	-54.208	54.575			



NB# A

NL# 9

MB# 3

MLT# 2

CODE# 1

LINE	SB	EB	LENGTH	SMUNT	SUSCEPTANCE	SERIES IMPEDANCE
3	4	6	1.00	0.0000	0.1746	0.0190 0.1120
4	5	6	1.00	0.0000	0.2569	0.0133 0.0904
5	5	6	1.00	0.0000	0.2569	0.0133 0.0904
6	5	3	1.00	0.0000	0.2968	0.0156 0.1088
7	5	3	1.00	0.0000	0.2968	0.0156 0.1088
8	6	3	1.00	0.0000	0.0455	0.0023 0.0147
9	6	3	1.00	0.0000	0.0455	0.0023 0.0147

Load-Flow Solution by Newton-Raphson Method.

TRANSFERRED DATA

LINE	SB	ES
1	6	1
2	5	2



TRF IMPEDANCE

0.73200 0.33880

0.30060

RATIO

1.022000

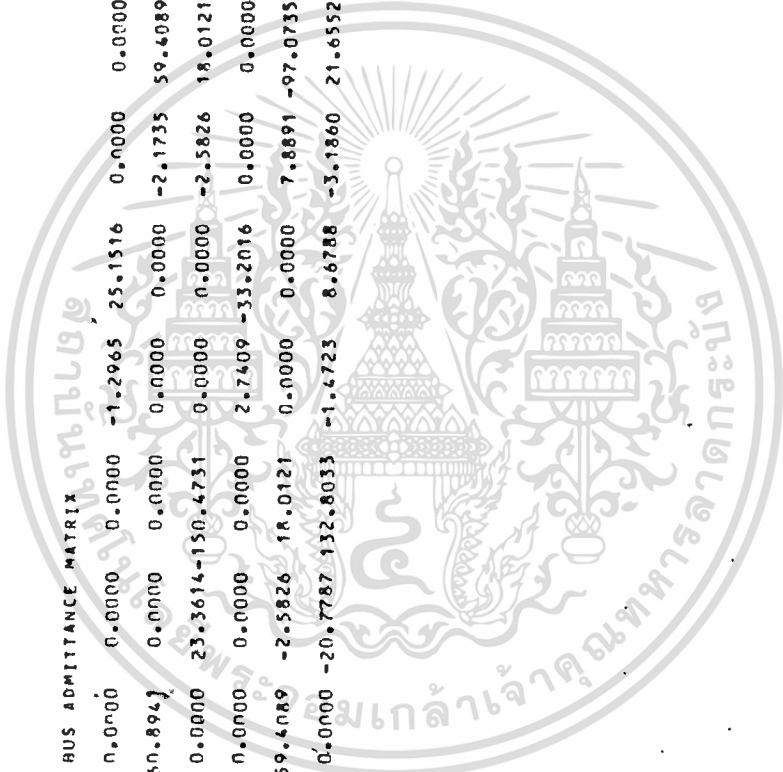
1.025000

ประเทศไทย

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

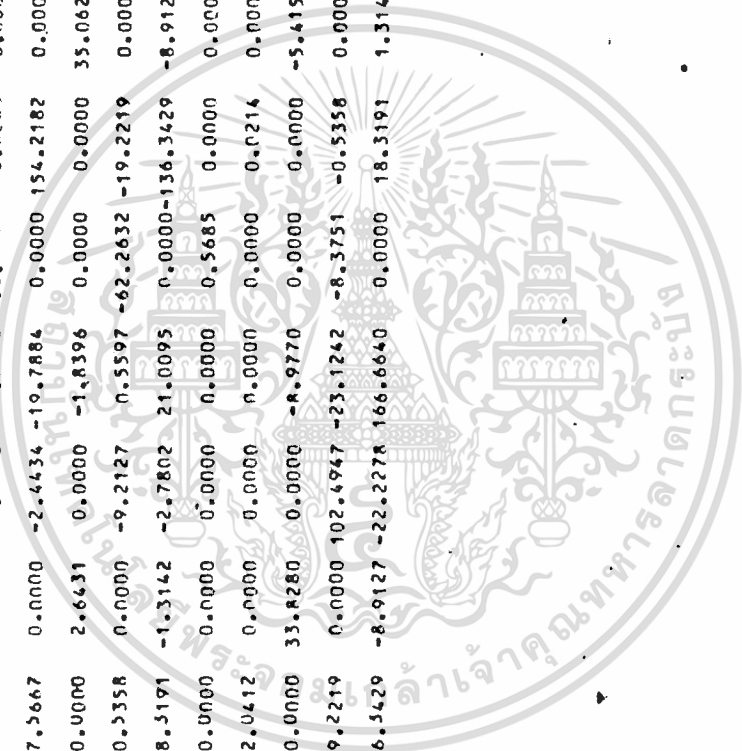
BUS ADMITTANCE MATRIX

1.3250	-25.7049	0.0000	0.0000	0.0000	-1.2965	25.1516	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	2.2278	-60.8943	0.0000	0.0000	0.0000	-2.1735	59.4089	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	23.3614	-150.4731	0.0000	-2.5826	18.0121	-20.7787	132.8033	0.0000	0.0000
-1.2265	25.1516	0.0000	0.0000	0.0000	2.7409	-33.2016	0.0000	0.0000	-1.4723	8.6788	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-2.1735	59.4089	-2.5826	18.0121	0.0000	7.8891	-97.0735	-3.1860	21.6552	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-20.7787	132.8033	-1.4723	8.6788	-3.1860	21.6552	25.4370	-162.7476	0.0000



JACOBIAN-MATRIX

-8.4111	0.0000	14.6962	0.0000	62.7513	0.0000	0.0000	0.0000	-60.5019	0.0000
0.0000	17.5667	0.0000	-2.4434	-19.7884	0.0000	154.2182	0.0000	-18.4102	-135.7576
5.0000	0.0000	2.6431	0.0000	-1.8396	0.0000	0.0000	35.0621	0.0000	-8.9770
8.3751	0.5358	0.0000	-9.2127	0.5597	-62.2632	-19.2219	0.0000	102.5335	-23.1242
0.0000	-18.5191	-1.3142	-2.7802	21.0095	0.0000	-136.3429	-8.9127	-22.2278	167.5054
2.0160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5685	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	2.0412	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0214	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	33.8280	0.0000	-8.9770	0.0000	0.0000	-5.4152	0.0000	1.8396
-62.2632	-19.2219	0.0000	102.6947	-23.1242	-8.3751	-0.5358	0.0000	9.1217	-0.5597
0.0000	-116.5429	-8.9127	-22.2278	166.6640	0.0000	18.3191	1.3142	2.7802	-23.8347



INVERT JACOBIAN MATRIX

-0.04995	-0.04162	-0.01042	-0.04584	-0.04056	0.50953	0.03688	-0.00068	0.00102	0.00032
-0.00146	-0.00159	-0.00039	-0.00143	-0.00151	-0.00002	0.49047	-0.00003	0.00000	0.00000
-0.00296	-0.00293	0.00383	-0.00293	-0.00266	0.01171	0.11847	0.02960	0.00039	0.00169
-0.03044	-0.02631	-0.00633	-0.02917	-0.02544	0.31914	0.20939	-0.00007	0.01052	0.00157
-0.00415	-0.00365	-0.00067	-0.00399	-0.00268	0.04309	0.43544	0.00158	0.00142	0.00619
0.17715	0.14750	0.03694	0.16254	0.14377	-0.06788	-0.13076	0.00240	-0.00362	-0.00112
0.14132	0.15301	0.03744	0.14243	0.14564	0.00153	-0.05239	0.00271	0.00012	-0.00009
0.03556	0.03756	0.03780	0.03584	0.03743	0.00023	0.00083	-0.00131	0.00002	-0.00004
0.16679	0.15238	0.03819	0.16787	0.14957	-0.06298	-0.08989	0.00237	-0.00134	-0.00083
0.13889	0.14659	0.03752	0.13995	0.14595	-0.00447	-0.05110	0.00249	-0.00008	-0.00093

VOLTAGE ERROR

-0.00221

-0.00062

-0.00017

-0.00137

-0.00067

-0.00060

-0.00138

-0.00030

-0.00039

-0.00118

BUS-POWER-ERROR





PDIF

0.00002

-0.00006

0.00000

0.00006

-0.00005

0.00000

0.00000

0.00002

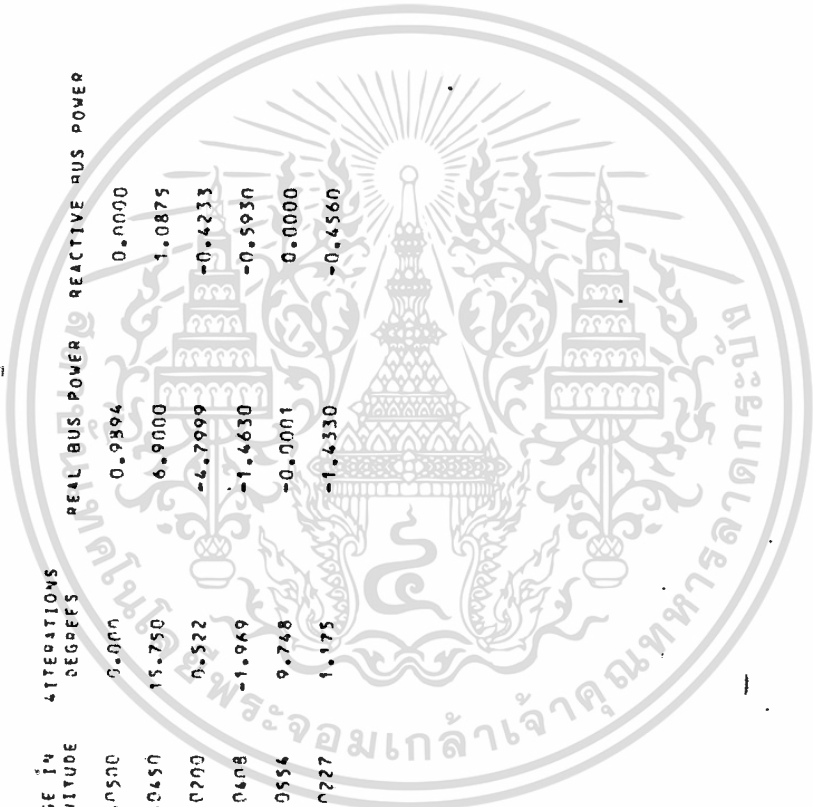
-0.00002

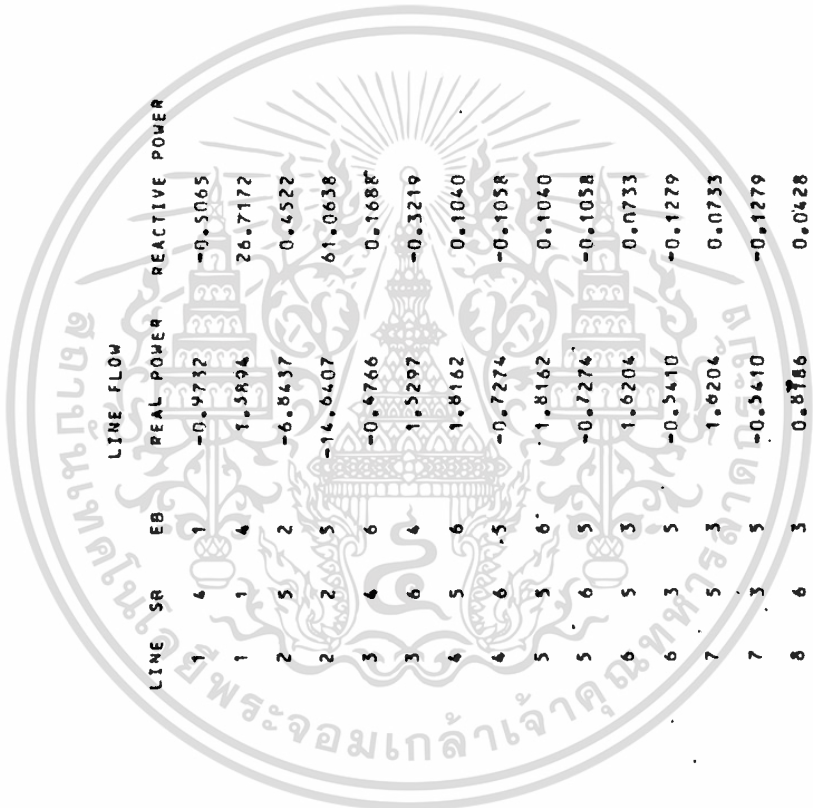
-0.00001

กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ

กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ

NEWTONS RAPHSONS TECHNIC BUS	VOLTAGE	CONVERGE IN MAGNITUDE	ITERATIONS DEGREES	REAL BUS POWER	REACTIVE BUS POWER
1	1.0500	0.0000	0.000	0.9394	0.0000
2	1.0058	0.2817	15.750	6.9000	1.0875
3	1.0200	0.0095	0.522	-4.7999	-0.4233
4	1.0402	-0.0358	-1.969	-1.6630	-0.5930
5	1.0401	0.1787	9.748	-0.0001	0.0000
6	1.0225	0.0210	1.175	-1.4330	-0.4560





LINE FLOW		REAL POWER	REACTIVE POWER
1	4	-0.4732	-0.5065
1	1	1.5894	26.7172
2	5	-6.8437	0.4522
2	2	-14.6407	61.0638
3	4	-0.4766	0.1688
3	6	1.5297	-0.3219
4	5	1.8162	0.1040
4	6	-0.7274	-0.1058
5	3	1.8162	0.1040
5	6	-0.7274	-0.1058
6	5	1.6204	0.0733
6	3	-0.5410	-0.1279
7	5	1.6204	0.0733
7	3	-0.5410	-0.1279
8	6	0.8186	0.0428
8	3	0.2235	-0.0803
9	6	0.8186	0.0428
9	3	0.2235	-0.0803

CASE STUDY NUMBER 1  
 SLACK BUS IS 131  
 MAXIMUM BUS NUMBER 177  
 MAXIMUM NUMBER ITERATIONS 70  
 VOLTAGE ERROR 0.0001  
 ACCELERATION FACTOR 1.0007  
 PRINT OUT INDICATOR 000000

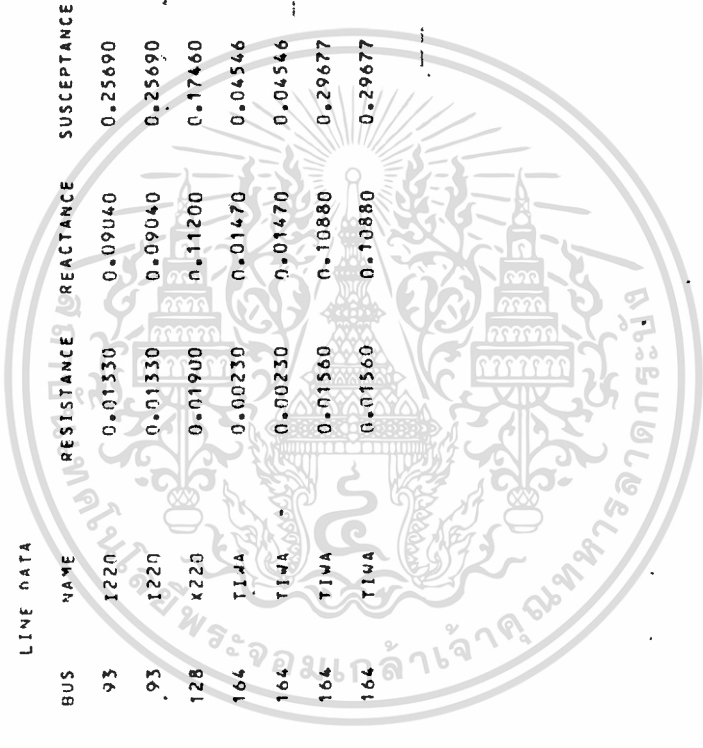
BUS DATA

BUS	NAME	TYPE	VOLT	LOAD		GENERATION		MAXIMUM		MINIMUM		SHUNT SUSCEPTANCE
				MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	
72	G220	0	0.0000	1.6333	0.4566	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
93	I220	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
94	PJ14	1	1.0000	0.0000	0.0000	6.9000	0.0000	-4.9000	2.1000	0.0000	0.0000	0.0000
128	X220	0	0.0000	1.4633	0.5933	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
131	S011	1	1.0000	0.0000	0.0000	2.0000	0.0000	-1.4000	0.8020	0.0000	0.0000	0.0000
164	TIWA	1	1.0000	4.4000	2.2970	0.0000	0.0000	-1.2500	2.5000	0.0000	0.0000	0.0000

Load-Flow Solution by Gausseidel Method.

LINE DATA

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE
72	G220	93	I220	0.01330	0.09040	0.25690
72	G220	93	I220	0.01330	0.09040	0.25690
72	G220	128	K220	0.01900	0.11200	0.17460
72	G220	164	T14A	0.00230	0.01470	0.04546
72	G220	164	T14A	0.00230	0.01470	0.04546
93	I220	164	T14A	0.01560	0.10880	0.29677
93	I220	164	T14A	0.01560	0.10880	0.29677



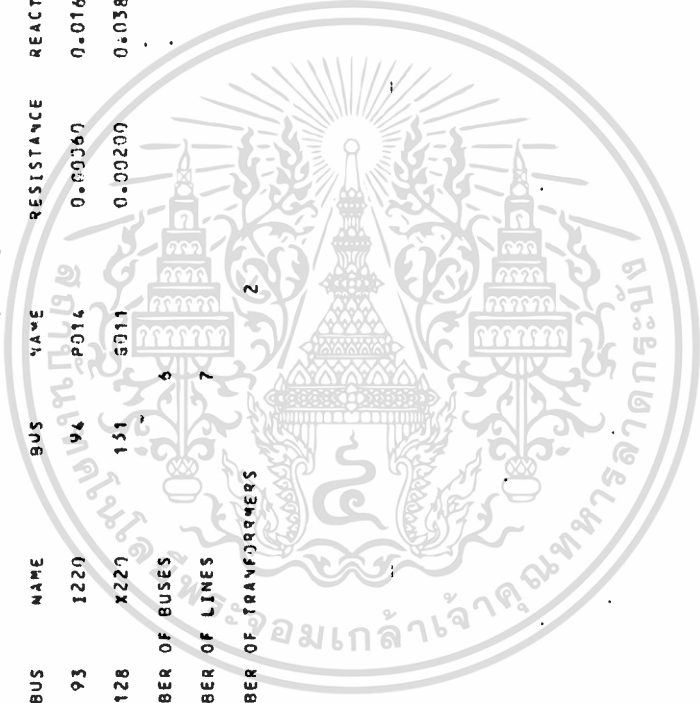
TRANSFER DATA

BUS NAME	BUS NAME	RESISTANCE	REACTANCE	TAP CODE
93 1220	94 PD16	0.00360	0.01640	1.025 0
128 X220	131 GD11	0.00200	0.03880	1.022 0

NUMBER OF BUSES

NUMBER OF LINES

NUMBER OF TRANSFORMERS



RECORD OF CONVERGENCE

ITERATIONS	BUS	ERROR
1	94	0.28129
2	93	0.15816
3	93	0.07397
4	93	0.03463
5	94	0.01956
6	93	0.01273
7	94	0.00459
8	93	0.00416
9	93	0.00338
10	93	0.00299
11	93	0.00260
12	93	0.00227
13	93	0.00198
14	93	0.00173
15	93	0.00151
16	93	0.00132
17	93	0.00115
18	93	0.00100
19	93	0.00088
20	93	0.00076
21	93	0.00057
22	93	0.00058
23	93	0.00051
24	93	0.00046
25	93	0.00039
26	93	0.00034
27	93	0.00029
28	93	0.00026
29	93	0.00022
30	93	0.00020
31	93	0.00017
32	93	0.00015
33	93	0.00013
34	93	0.00011
35	93	0.00010



BUS DATA

LINE AND TRANSFORMER DATA

GENERATION LOAD SHUNT

BUS	NAME	VOLT	ANGLE	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	BUS	NAME	MW	MVAR
72	G220	1.723	1.145	0.000	0.000	1.433	0.456	0.000	0.000	93	I220	-1.775	-0.109
										93	I220	-1.775	-0.109
										128	X220	0.478	-0.324
										164	TIWA	0.819	0.044
										164	TIWA	0.819	0.044
93	I220	1.055	9.713	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	0.001	-0.002	
										72	G220	1.816	0.104
										72	G220	1.816	0.104
										164	TIWA	1.620	0.073
										164	TIWA	1.620	0.073
94	P014	1.045	15.714	6.900	1.086	0.000	0.000	0.000	0.000	94	P014	-6.872	-0.354
										MISMATCH	0.001	-0.001	
										93	I220	6.899	1.087
										MISMATCH	0.001	0.000	
128	A220	1.741	-1.977	0.000	0.000	1.463	0.593	0.000	0.000	72	G220	-0.473	0.168
										131	6011	-0.990	-0.761
										MISMATCH	0.001	0.000	
131	6011	1.050	0.000	0.993	0.819	0.000	0.000	0.000	0.000	128	X220	0.993	0.819
										MISMATCH	0.000	0.000	
164	TIWA	1.020	3.492	0.000	1.872	4.800	2.297	0.000	0.000				

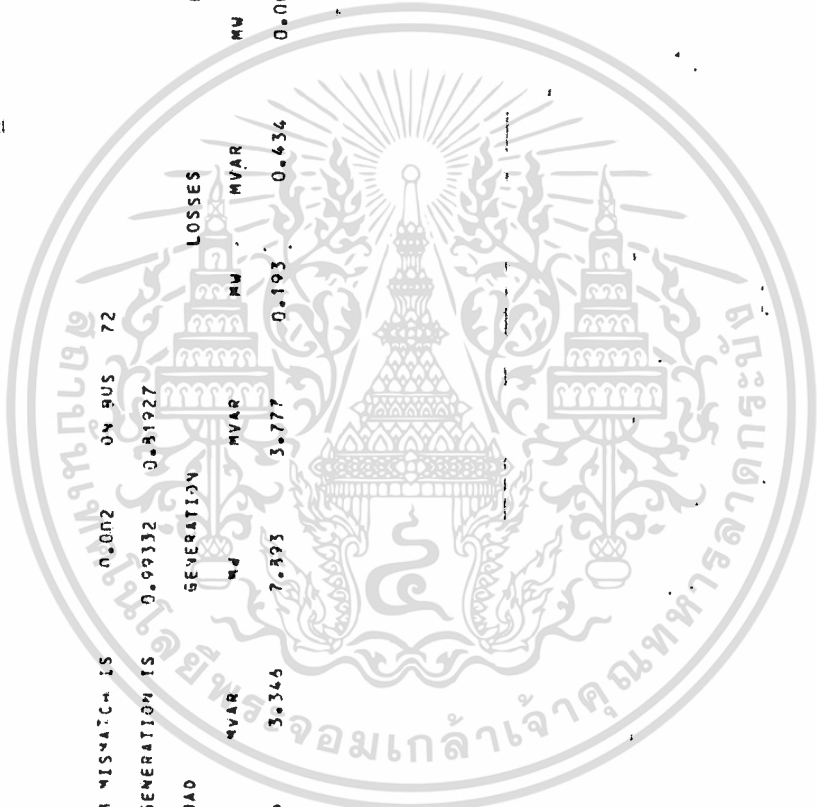




THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.002 ON BUS 72

THE SLACK GENERATION IS 0.99332 0.81927

LOAD		GENERATION		LOSSES		MISMATCH		SHUNTS	
MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
7.696	3.346	7.323	3.777	0.193	0.634	0.004	-0.003	0.000	0.000



## Reference

1. G.W. Stagg and El-Abaid, "Computer Methods in Power System Analysis", Newyork, Mc. Graw-Hill 1968
2. B. Stott, "Review of Load-Flow Calculation Methods", Proc.IEEE, vol.62, pp. 916-929, July 1974
3. Chales A. Gross, "Power System Analysis", John Wiley and Sons. 1979
4. E. Hobson, "Load-Flow Analysis", Lecture.B2. Capriconic Institute of Advanced Education.
5. R. Podmore and J.M. Undrill, "Modified nodal iterative load-flow algorithm to handle Sense Capacitive branches" IEEE Trans.Power. App. Syst, vol PAS-92 pp.1379-1387, July/Aug 1974
6. Olle. I.Elgerd "Eletic Energy System Theory", Mc Graw-Hill book Reprinted 1981
7. William S.Dorn and Daniel D.Mc Grackew, "Numerical Methods with Fortran IV case Studies", John Wiley and Sons 1972
8. W.F.Tinney and C.E.Hart, "Power Flow Solution by Newton's method", IEEE.Trans.Pow.APP.Syst.vol.PAS-86 pp.1449-1460, Nov. 1967
9. W.F.Tinney. "Direct Solution of Sparse Network Equations by Optimally ordered Triangular Factorization", Proc.IEEE.vol.55, No.11 pp. 1801-1809, Nov 1967

10. B.Stott,"Decouple Newton Load Flow",IEEE Trans.Power,App. and Systems. vol,PAS-91, pp.1955-1957,Sept/Oct. 1972
11. B.Stott and O.Alsac,"Fast Decoupled load flow",IEEE Trans. Power.App. and Syst. vol.PAS-93,pp. 859-869,May/June 1974
12. B.Stott. and E.Hobson,"Solution of Large power-system network by ordered elimination", a comaprison of ordering schemes",Proc. IEEE,voll18,11.1,Jan. 1971,pp.125-134
13. B.Stott,"Dicusion on "Application of Newton's method to load flow calculation",Proc.IEEE,voll14,11.8 aug.1967,pp.1163-1164
14. G.Ivisarri and A.M. Sasson and S.F.Hodgcs,"An Optimal ordering Algorithms for Soarse Matrix Applications",IEEE.Fraus.Power. APP. and Syst vol.PAS-97No.6 Nov/Dec. 1978
15. R.L.Sullivan,"Power System planning", Mc Graw-Hill International book 1977
16. B.Stott,"Effective Starting process for Newton-Raphson Load flow", Proc.IEE,1971,pp.1634
17. B.M.Weedy,"Electric Power Systems", John Wiley and Sons, Second Edition 1972
18. I.J.Nagrath and D.P.Kothari,:Modern Power System Analysis", Tata Mc Graw-hill Pubhishing Company Limited Newdelhi 1980
19. S.Iwamoto and Y.Tamura,"A Load Flow Calculation Method For Ill-conditioned Power System",IEEE.Trans.Power.App. and Syst,vol: PAS-100,No.4,April 1981

20. Felix F.Wu, "Theoretical Study of the Convergence of The Fast Decoupled Load Flow", IEEE. Trans. Power, App and System. vol. PAS-96 No.1 Jan/Feb 1977
21. E.Kreyszig, "Advanced engineering mathematics", 2nd Edition, Newyork Wiley, 1967, pp.646
22. Benrouz Peikari, "Fundamentals of Network Analysis and Synthesis", Prentice-Hall, INC. 1974
23. Donald E.Knuth, "The Art of Computer Programming: Fundamental Algorithms", Addison-Wesley Publishing company 1981