



ปีการศึกษา ๒๕๒๖

Power System Fault Analysis

โดย

นาย สหรั่ง วิสุทธานิช

นาย ประมต บุญไชยอภิสิทธิ์

นายไพโรจน์ ศาสร์ตกลุน

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สมโภชน์ ประไพ

เลขหมู่

เลขทะเบียน ๓๐๐ ๘๓๘๖

วัน, เดือน, ปี

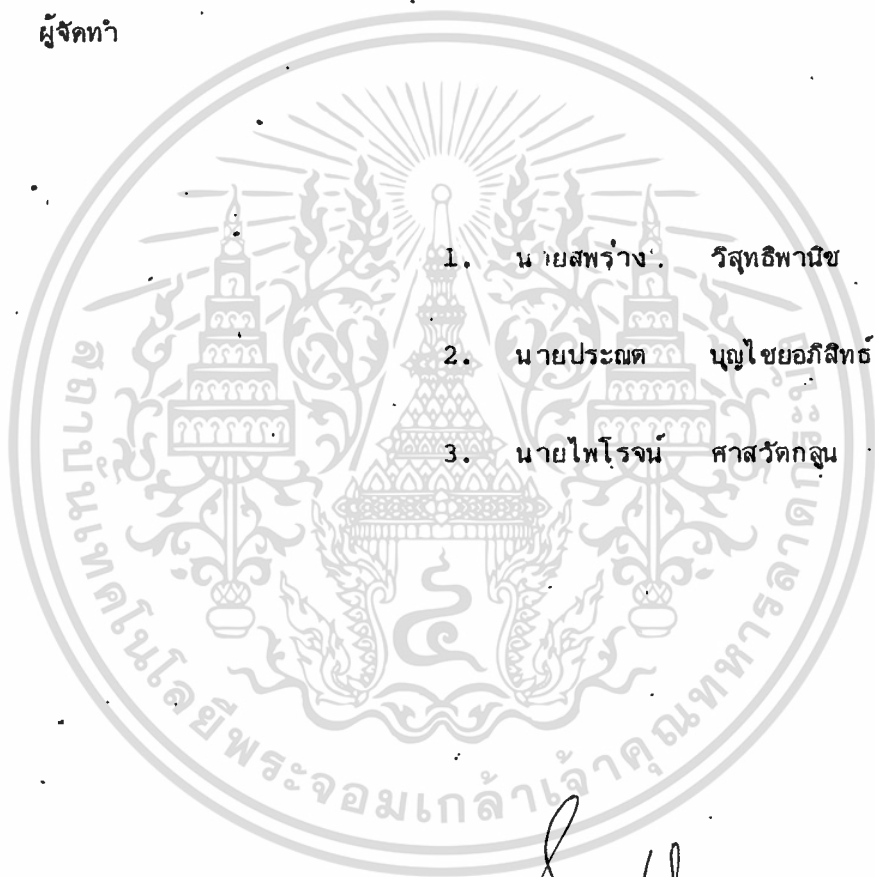
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2526

เรื่อง การวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง

Power System Fault Analysis.

ผู้จัดทำ



1. นายสพรั่ง วิสุทธิพานิช
2. นายประจักษ์ บุญไชยอภิสิทธิ์
3. นายไพโรจน์ ศาสร์วัดกุล

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สมโภชน์ ประไพ)

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง

โดย

สพรั่ง วิสุทธิพานิช

ประเภท บัญชียอกสิทธิ์

ไฟโรจน์ ศาส.วัดกฐน

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สมโภชน์ ประไพ

ระดับการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

ไฟฟ้า

ปีการศึกษา

2526

บทคัดย่อ

การออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง จำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์หาข้อมูลทางพฤติกรรม (ความรุนแรง) ในระบบอื่น เกิดจากความผิดปกติแบบต่างๆมาประกอบการพิจารณา ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำคอมพิวเตอร์เข้ามาวิเคราะห์หาความผิดปกติแบบไม่สมดุล (Unbalance Fault) ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า โดยการศึกษาเปรียบเทียบเป็นสองวิธีใหญ่ๆ คือ

- การใช้วิธีการ Impedance Matrix Method.
- และการใช้วิธีแบบ Piecewise Admittance Matrix Method.

ความผิดปกติต่างๆ จะถูกแสดงออกมาถึงค่ากระแส และศักดาที่เกิดขึ้นตามลำดับ

Title Power System Fault Analysis.
By Saprang Visuthiphanish.
Pranot Boonchai-Apisit.
Phairod Satsawatgaloon.
Supervisors Sompotsh Prapai.
Level of Study Bachelor Degree in Electrical Engineering.
Department Electrical Engineering.
Academic Year 1983

Abstract

This project describes the method for handling Power System fault analysis by effective computer treatment, which can help us for calculating steady state current and voltage made up by several presented conditions of fault. Basically methods are separated to two main methods with

- Impedance Matrix Method.
- and by Piecewise Admittance Matrix Method.

Respectively, the calculated solutions will be showed and these will be useful in case of initial data for making precision on designing power system protection.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

Abstract

สารบัญ

สัญลักษณ์ต่างๆ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	การคำนวณความผิดปกติ และทฤษฎี	3
2.1	บทนำ	3
2.2	สัญลักษณ์ภายในบท	4
2.3	การวิเคราะห์ระบบไฟแบบเฟสโดยทฤษฎี Symmetrical Components.	5
2.3.1	คุณสมบัติทางเฟสของระบบไฟฟ้า และ Symmetrical - Components.	5
2.3.2	Phase - Sequence Transformation.	9
2.3.3	องค์ประกอบความต้านทานของระบบบนแกนซี-ควอนซ์ (Impedance Components in Symmetrical - Coordinations)	11
2.4	การคำนวณ Fault และสมการการเกิดความผิดปกติแบบต่างๆ	16
2.4.1	การคำนวณ Unbalance Fault	17
2.4.2	การคำนวณ Balance Fault	27
2.5	สรุป	28
บทที่ 3	ทฤษฎี Port - Network กับการคำนวณความผิดปกติ (Fault Calculations by Port - Network Theory)	29
3.1	บทนำ	29

	หน้า
3.2 การวิเคราะห์ระบบโดยใช้ Bus Matrix.	29
3.2.1 การสร้าง Bus Impedance Matrix โดยพิจารณาองค์ประกอบของระบบ	31
(Elementary Formation of Bus Impedance - Matrix.)	
3.2.1.1 การเพิ่ม elements ที่เป็น branch	32
3.2.1.2 การเพิ่ม elements ที่เป็น links.	36
3.2.2 Simplification Algorithm for Forming Bus - Impedance & Admittance Matrix..	39
3.2.2.1 Algorithm for Z-Bus.	39
3.2.2.2 Algorithm for Y-Bus.	44
3.3 Port - Network ของ Sequence Network.	49
3.3.1 Generalized Fault Diagram สำหรับการ Fault	50
3.3.2 รูปแบบ Kron's Equivalent of Port - Network.	53
3.4 การวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นพร้อมๆกัน (Simultaneous Fault)	56
3.5 ขั้นตอนหลักในการคำนวณลักษณะโปรแกรมหากคอมพิวเตอร์	58
3.6 สรุป	60
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความผิดปกติโดยวิธี Bus Impedance Matrix. (Fault Analysis by Bus Impedance Matrix Method)	61
4.1 บทนำ	61
4.2 Impedance Matrix in Shunt Fault Computation.	61
4.3 ขั้นตอนการคำนวณ และ Flow - Chart.	62
4.4 ผลการวิเคราะห์	64
4.5 สรุป	68

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์ความผิดปกติ โดยวิธีแยกส่วน Y-Bus. (Fault Analysis by Piecewise Y-Bus Method)	
5.1 บทนำ	69
5.2 การ Triangulation กับ Y-Bus	69
5.2.1 กรณีระบบที่ต่อถึงกันหมดด้วยสายส่ง	71
5.2.2 กรณีระบบไม่ได้ต่อถึงกันหมด	72
5.3 การจัดลำดับของระบบกับการ Triangulation. (Network Ordering in Triangulation)	73
5.4 การเชื่อมต่อของระบบย่อย (Piecewise Subnetwork Connection).	79
5.4.1 การแยกและรวบรวมของระบบจากองค์ประกอบพื้นฐาน (Kron's Primitive Transformation Basis)	79
5.4.2 การวิเคราะห์ Fault โดยระบบย่อยแอมเพนเฟส (Piecewise Phase Analysis)	84
5.5 ลักษณะจากผลการวิเคราะห์ (Characters of Solutions)	86
5.6 สรุป	93
บทที่ 6 การพิจารณาใช้ประโยชน์ในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง Application in Power System Protection	94
6.1 บทนำ	94
6.2 ความผิดปกติ (Fault) ต่างๆขององค์ประกอบในระบบ	94
- กรณี Generator Fault.	
- กรณี Transformer Fault.	
- กรณี Transmission Line Fault (Feeder)	
6.3 อุปกรณ์ป้องกัน และการจัดวางจากการทราบความรุนแรงเบื้องต้น (Protection Equipment with Pre-calculated Fault)	96

6.4	รายละเอียดคัปสีกย่อยของระบบในการพิจารณาป้องกัน	100
6.5	Balance 3 - phases Short Circuit Wave on Generator	102
6.6	ทรานซ์ฟอร์เมอร์ กับผลของ Zero Sequence.	104

บทที่ 7 สรุป และ วิจัยารณ์

7.1	สรุป	106
7.2	วิจัยารณ์	106

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

Appendix I

Appendix II



สัญลักษณ์

$[\quad]$	-	แทนค่าของ matrix หรือ vector
$[\quad]^T$	-	แทนค่าของ transposed matrix
$[\quad]^{-1}$	-	แทนค่าของ inverse matrix
$f(x), g(x)$	-	แทนฟังก์ชัน บนตัวแปรเป็นค่า x ใดๆ
E	-	แทนค่าของ nodal (bus) voltage
V	-	แทนค่าของ general branch voltage
I	-	แทนค่าของ nodal (bus) current
i	-	แทนค่าของ general branch current
Z	-	แทนค่าของ nodal impedance
z	-	แทนค่าของ elementary impedance value
Y	-	แทนค่าของ nodal admittance
y	-	แทนค่าของ elementary admittance value
i, j, k, n, p, q	-	แทนค่าของ integer value for node
$NBUS$	-	แทนค่าของ number of system bus
s	-	แทนค่าของ symmetrical notation
$*$	-	แทนค่าของ complex conjugate superscript
$[A]$	-	แทนค่าของ constant matrix
h	-	แทนค่าของ constant factor of transformation- correction

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาวิธีการศึกษาผลของความผิดปกติ (Fault) ที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลังมีความสำคัญอย่างมาก ความสามารถในการที่จะป้องกันผลของความเสียหายที่จะตามมาทำให้เราจำเป็นต้องทราบค่าสัปดาห์ไฟฟ้าและกระแสที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังโดยการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ประโยชน์มีบทบาทกว้างขวางมากขึ้นโดยตลอด ซึ่งผลจากการคำนวณจะทำให้ได้ข้อมูลในหลายด้านของระบบ เช่น ลักษณะการจ่ายพลังงานและใช้พลังงานที่ตำแหน่งต่างๆในระบบ (Generated Energy Flow and Energy Consumption) ทำให้งานในการควบคุม, การป้องกัน, การออกแบบและขยายระบบไฟฟ้ากำลังมีความสะดวก - และความถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น

การที่เราสามารถทราบและทำนายผลของความผิดปกติ (Fault) ทั้งภายในและภายนอก (Internal and External) (3) (4) ที่แต่ละตำแหน่งและองค์ประกอบ (Components) ในระบบ จะให้ผลประโยชน์โดยตรงต่องานทางด้านการวางระบบป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพ (Power System Protection) ประโยชน์ต่างๆได้แก่

1. การพิจารณาเลือกขนาดอุปกรณ์การป้องกัน (Relay, Circuit Breaker, Current and Potential Transformer) ที่เหมาะสม โดยข้อมูลของ Subtransient, Transient และ Steady State

2. การออกแบบระบบป้องกันเชื่อมโยง (Co-ordination of Protection) ซึ่งเป็นการอาศัยผลของความรุนแรงในสายส่งของกระแสที่เกิดจากความผิดปกติอันกระทบกระเทือนไปยังตำแหน่งต่างๆในระบบ เพื่อที่จะเสริมความปลอดภัยที่เชื่อถือได้สูงแก่ระบบไฟฟ้ากำลัง (Reliability of Protection) ยิ่งขึ้น

(4)

ภายในปริญาพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธีการลงแบบสำคัญ คือ

- การใช้ Z-Bus Method.
- การใช้ Piecewise Y-Bus Method.

ซึ่งลักษณะหลักการรวมทั้งผลที่ได้จากวิธีทั้งสองได้แยกเป็นส่วนๆที่จะกล่าวถึงในบทต่างๆดังนี้ คือ

บทที่ 2 ได้แสดงลักษณะทฤษฎีของ Symmetrical Components และการคำนวณหาค่ากระแสและศักดาไฟฟ้าอันเกิดจาก Fault (Fault Calculation), ด้วยวิธีการดังกล่าวซึ่งจะได้กล่าวถึงการสร้างเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) และการเปรียบเทียบสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณในการเกิดการเกิดความผิดปกติแบบสมดุลย์และไม่สมดุลย์ (Balance and Unbalance Faults)

บทที่ 3 จะเป็นการพิจารณาในระบบในรูปแบบของ Port-network ซึ่งจะทำให้สามารถทำการวิเคราะห์สร้างและเปลี่ยนแปลงค่า Network Matrix ทั้ง Z-Bus และ Y-Bus จากผลการผิดปกติขององค์ประกอบในระบบ โดยจะนำมาใช้ประกอบทฤษฎี "Kron's Primitive Network" เป็นแนวทางหลักในการวิเคราะห์

บทที่ 4 และบทที่ 5 จะอธิบายและแสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการสองแบบที่กล่าวถึง คือ การใช้ Z-Bus และ Piecewise Y-Bus Method ทำการศึกษา โดยอธิบายถึงหลักการ, การพัฒนาความเหมาะสมเพื่อให้ได้ความสะดวกถูกต้องและรวดเร็วในการหาคำคำตอบของระบบ ซึ่งนำมาใช้ในการทดสอบของงานวิจัยในปริญญานิพนธ์นี้

จากการวิจัยด้วยวิธีการซึ่งอธิบายไว้ในบทที่ 2 ถึง 5 นั้น จะนำมากล่าวถึงประโยชน์ในงานของ System Protection สภาจริงในบทที่ 6 รวมทั้งการกล่าวถึงตัวอย่างความคิดเห็นในการวางระบบควบคุมและป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อขยายแง่มุมในทางทฤษฎีกับปฏิบัติไปพร้อมๆกัน

ผลจากการวิจัยทั้งหมดจะแสดงข้อสรุปและวิจารณ์ถึงการพัฒนาต่อไปไว้ในบทที่ 7 ซึ่งเป็นข้อคิดเห็นที่ได้รับของงานวิจัยนี้ทั้งหมดจากผู้ทำการวิจัยที่รวบรวมไว้

บทที่ 2

การคำนวณความผิดปกติและทฤษฎี Symmetrical Components

(Fault Calculation by Symmetrical Components Theory)

2.1 บทนำ

การวิเคราะห์ความผิดปกติ (Fault) ในระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสหรือมากกว่านั้น การเกิด fault หลายประเภทก่อให้เกิดผลของความไม่สมดุลและไม่สมมูลของเฟสในระบบ (Unbalance and Unsymmetry of Phase) ผลเช่นนี้ทำให้การคำนวณโดยตรงกับค่าในแกนของเฟส (Phase Co-ordination) เป็นเรื่องที่ยากลำบาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปัญหาเป็นผลรวมในระบบ System Phase Matrix Value ความผิดปกติดังกล่าวนี้ (4) สามารถที่จะแบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ คือ

1. การเกิดความผิดปกติแบบสมดุล (Balance Fault) ได้แก่ Three Phase-to-ground หรือ Three Line-open Condition
2. การเกิดความผิดปกติแบบไม่สมดุล (Unbalance Fault) ซึ่งมีผลกระทบกระเทือนต่อความสมมูลของเฟสในสภาวะปกติ ได้แก่
 - Single Line-to-ground Fault
 - Line-to-line Fault
 - Double Line-to-ground Fault

และ ลักษณะของ Line-open Fault ตามลำดับ

การศึกษาแนวทางวิเคราะห์ความไม่สมมูลของเฟสที่ได้กระทำมาเป็นเวลานาน- (5) (6) และการพิจารณาโดยทฤษฎี Symmetrical Co-ordinations ซึ่งเสนอโดย Dr. C.L. Fortescue (1918) ได้อธิบายคุณสมบัติใหม่ของเฟสทางไฟฟ้า ทำให้สามารถที่จะอธิบายพฤติกรรมของไฟฟ้าทุกๆด้านโดยระบบของแกนซีควเ็นซ์ (Sequence Co-ordination) ซึ่งให้ผลต่อความเป็นอิสระในการพิจารณาแยกวิเคราะห์ อันไม่สามารถทำได้กับระบบแกน เฟส-เดิม ทฤษฎีดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของระบบไฟฟ้าอย่างกว้างขวาง

โดยเฉพาะการอธิบายคำตอบของการไม่สมดุลย์และไม่สมดุลย์ที่เกิดกับเฟส อันมีสาเหตุมาจากการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง

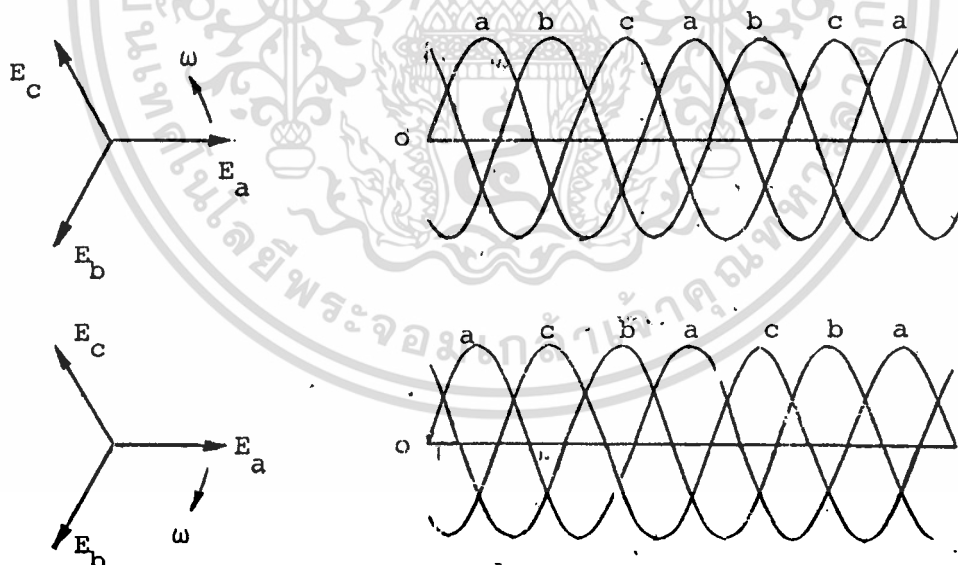
2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ภายในบท

E_{bus}	-	Bus Voltage Matrix.
I_{bus}	-	Bus Current Matrix.
Z_{bus}	-	Bus Impedance Matrix.
$[v]_{ph}$	-	Phase Voltage Matrix
$[I]_{ph}$	-	Phase Current Matrix.
$[z]_{ph}$	-	Phase Impedance Matrix.
$[v]_s, [I]_s$	-	Symmetrical Voltage and Current Matrix.
$[z]_s$	-	Symmetrical Impedance Matrix.
T	-	Symmetrical Transformation Matrix.
a	-	Symmetrical Phasor Operator.
F	-	Symbol (Subscript) for Fault State.
SLG	-	Symbol for Single Line-to-Ground Fault.
LL	-	Symbol for Line-to-Line Fault.
DLG	-	Symbol for Double-Line-to-Ground Fault.
ω	-	Angular Frequency
e	-	Exponential Value.
$z = R + j\omega L$	-	Impedance in Resistance and Reactance Form.
$y = G + jB$	-	Admittance in Conductance and Susceptance.

2.3 การวิเคราะห์ระบบไฟแบบเฟสโดยทฤษฎี Symmetrical Components

ระบบไฟฟ้าแบบหลายเฟสที่กล่าวมาจะมีผลกระทบกระเทือนอย่างมากเมื่อสภาวะของการสมมูลและสมดุล (Symmetry and Balance) ระหว่างเฟสสูญเสียไป การพิจารณาสร้าง Symmetrical Coordinates ขึ้นมาแทนระบบเฟส เป็นไปโดยการอาศัยสมบัติที่เป็นคลื่นของพลังงานไฟฟ้า และพิจารณาการลำดับตัวของเฟส (Phase Sequence) ซึ่งเป็นผลจากลักษณะ multi-phase wave เป็นหลัก ความเป็นอิสระต่อกันของ sequence (ซึ่งไม่สามารถเป็นไปได้ในกรณีเฟส) ก่อให้เกิดระบบ network แบบ sequence ตามมา ซึ่งทำให้วิธีการศึกษาระบบเฟสสะดวกขึ้นและมีประโยชน์เป็นอย่างมากที่จะนำมากล่าว

2.3.1 คุณสมบัติทางเฟสของระบบไฟฟ้าและ Symmetrical Components



รูปที่ 2.1 ลำดับเฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟส

จากรูปที่ 2.1 ได้แสดงถึง phase wave และ phase coordinate ของระบบสัญญาณ 3 เฟสดังกล่าว โดยการอธิบายของ sinusoidal wave เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของ Exponential และ Phasor Representation นั้น เราอาศัยคุณสมบัติทางคณิตศาสตร์ความสัมพันธ์โดยที่

$$e^{j\theta} = \left(1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \frac{\theta^6}{6!} + \dots\right) + j\left(\theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots\right) \quad (2.1)$$

ความสัมพันธ์กับ Sinusoidal Equations จะมีลักษณะ คือ

$$\begin{aligned} e^{j\theta} &= \cos \theta + j \sin \theta \\ \text{และ } e^{-j\theta} &= \cos \theta - j \sin \theta \end{aligned} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) นี้ ทำให้เราสามารถแสดงคลื่นไซน์ของกระแส หรือศักดาไฟฟ้าในรูปของ phasors และแสดงแนวจิตวางของ phase เมื่อวางตัวใน complex plane โดยที่ศักดาไฟฟ้า คือ e มีค่า

$$e = \sqrt{2} \bar{E} \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.3)$$

$$(\omega = 2\pi f)$$

$$f = \text{Frequency of Voltage}$$

$$t = \text{Time Duration}$$

$$\alpha = \text{Displacement Angle from Reference}$$

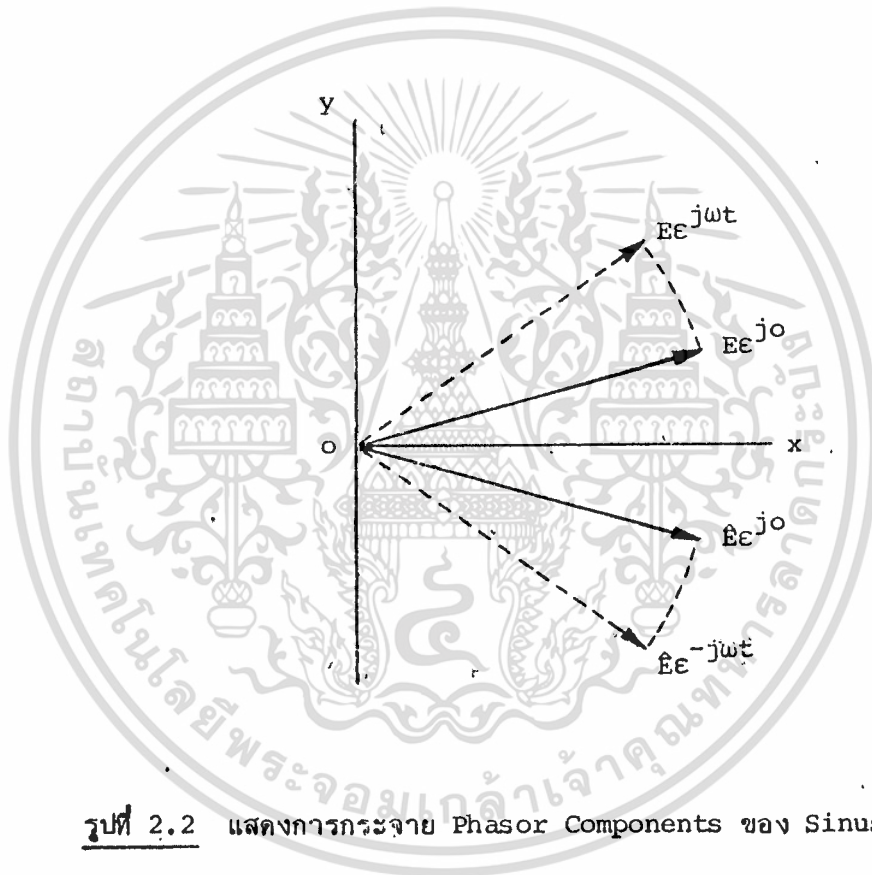
$$\begin{aligned} e &= \sqrt{2} \bar{E} \cos(\omega t + \alpha) \\ &= \sqrt{2} \bar{E} \left\{ \frac{e^{j(\omega t + \alpha)} + e^{-j(\omega t + \alpha)}}{2} \right\} \end{aligned} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = \sqrt{2} \bar{E} \left\{ \frac{e^{j\alpha} e^{j\omega t}}{\epsilon} + \frac{e^{-j\alpha} e^{-j\omega t}}{\epsilon} \right\} \quad (2.4) \text{ (ต่อ)}$$

เมื่อให้ $\sqrt{2} \bar{E} \epsilon^{j\alpha} = \sqrt{2} E$ และ $\sqrt{2} \bar{E} \epsilon^{-j\alpha} = \sqrt{2} \hat{E}$ จะได้

$$e = \frac{\sqrt{2}}{2} (E \epsilon^{j\omega t} + \hat{E} \epsilon^{-j\omega t}) \quad (2.5)$$



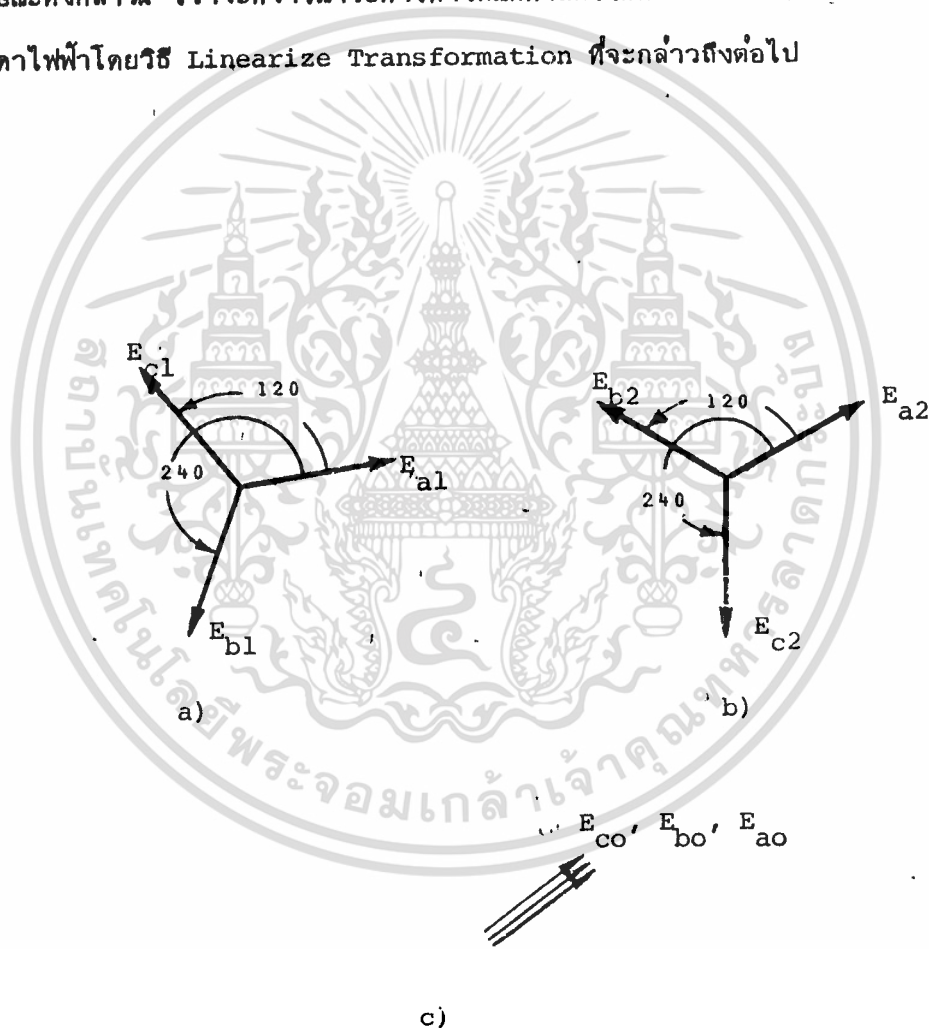
รูปที่ 2.2 แสดงการกระจาย Phasor Components ของ Sinusoidal Wave

จากสมการความสัมพันธ์ข้างต้นนี้ Dr. C.L. Fortescue ได้เสนอทฤษฎี Symmetrical Co-ordination ขึ้น โดยการใช้กระแสและศักดาทางไฟฟ้าเมื่อเป็น complex vectors บนระนาบเดียวกัน (Co-planer Vector) กรณที่ 3 เฟสจะให้องค์ประกอบอิสระ (Real & Imaginary Degree of Freedom) 6 องค์ประกอบ ซึ่งแต่ละเฟสเวกเตอร์จะแจกแจงตัวเองเป็น Rotating Vectors มีความถี่เป็น ω และ $-\omega$ ตามลำดับ และมีองศาความเป็นอิสระของแต่ละเฟสเวกเตอร์เท่ากับสอง เรียกว่าลักษณะของ "Positive Rotating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

and Negative Rotating Sequence"

Degree of Freedom ที่ 3 ของแต่ละเฟสเวกเตอร์ได้มีการค้นพบและแสดงเป็นค่าของ Zero-sequence Component ซึ่งอาจพิจารณาว่าเกิดจาก Reference Effect ดังนั้นแล้วเราจะได้คุณลักษณะใหม่ เป็นกลุ่มของ Positive, Negative และ Zero Sequence (ลักษณะ vector group แสดงในรูปที่ 2.3) สำหรับเทียบแทนเฟสเวกเตอร์เดิมทางไฟฟ้า - ค่ายลักษณะดังกล่าวนี้ เราจะพิจารณาวิธีการทางคณิตศาสตร์ในการแยกและเปลี่ยนแปลงกระแสและศักดาไฟฟ้าโดยวิธี Linearize Transformation ที่จะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.3 Sequence Group ของระบบ 3 เฟส

- a) Positive Sequence b) Negative Sequence
c) Zero Sequence (ใช้ lower subscript 0,1,2 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Phase-Sequence Transformation

การที่องค์ประกอบของ phase vectors สามารถแสดงออกในรูปแบบของซีเควนซ์ นั้น วิธีการวิเคราะห์แบบเวกเตอร์บนระนาบเดียวกัน (co-planer), จะทำให้รูปแบบ (4) ของกระแสและศักดาที่เป็นเฟสมีความสัมพันธ์ต่อ sequence components โดยที่ (ในกรณี - voltage "E")

$$\begin{aligned} E_a &= E_{a0} + E_{a1} + E_{a2} \\ E_b &= E_{b0} + E_{b1} + E_{b2} \\ E_c &= E_{c0} + E_{c1} + E_{c2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

ซึ่งสามารถที่จะใช้อธิบายการณของ multi-phase โดยวิธีเดียวกัน แต่จะกล่าวถึงเฉพาะระบบสามเฟสเป็นหลัก ค่าของกระแสหรือศักดาไฟฟ้านี้เป็นค่าทางคอมเพล็กซ์ - และการพิจารณาโดย phasor displacement ทำให้เราสังเกตเห็นว่า positive, negative หรือ zero sequence นั้นในแต่ละกลุ่มของซีเควนซ์มีลักษณะสมมาตรในการจัดลำดับ นั่นคือจากสมการที่ (2.6) E_{a1} , E_{b1} , E_{c1} มีการวางตัวด้วยมุม $2\pi/3$ (radians) จากกันและกัน ค่าในการวางตัวแยกของเฟสเซอร์แบบนี้ สามารถนำมาจำกัดตัวคูณ a-operator ของระบบสามเฟส คือ

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{\angle 2\pi/3} = e^{j2\pi/3} \\ a^2 &= \frac{1}{\angle 4\pi/3} = e^{j4\pi/3} \end{aligned} \quad (2.7)$$

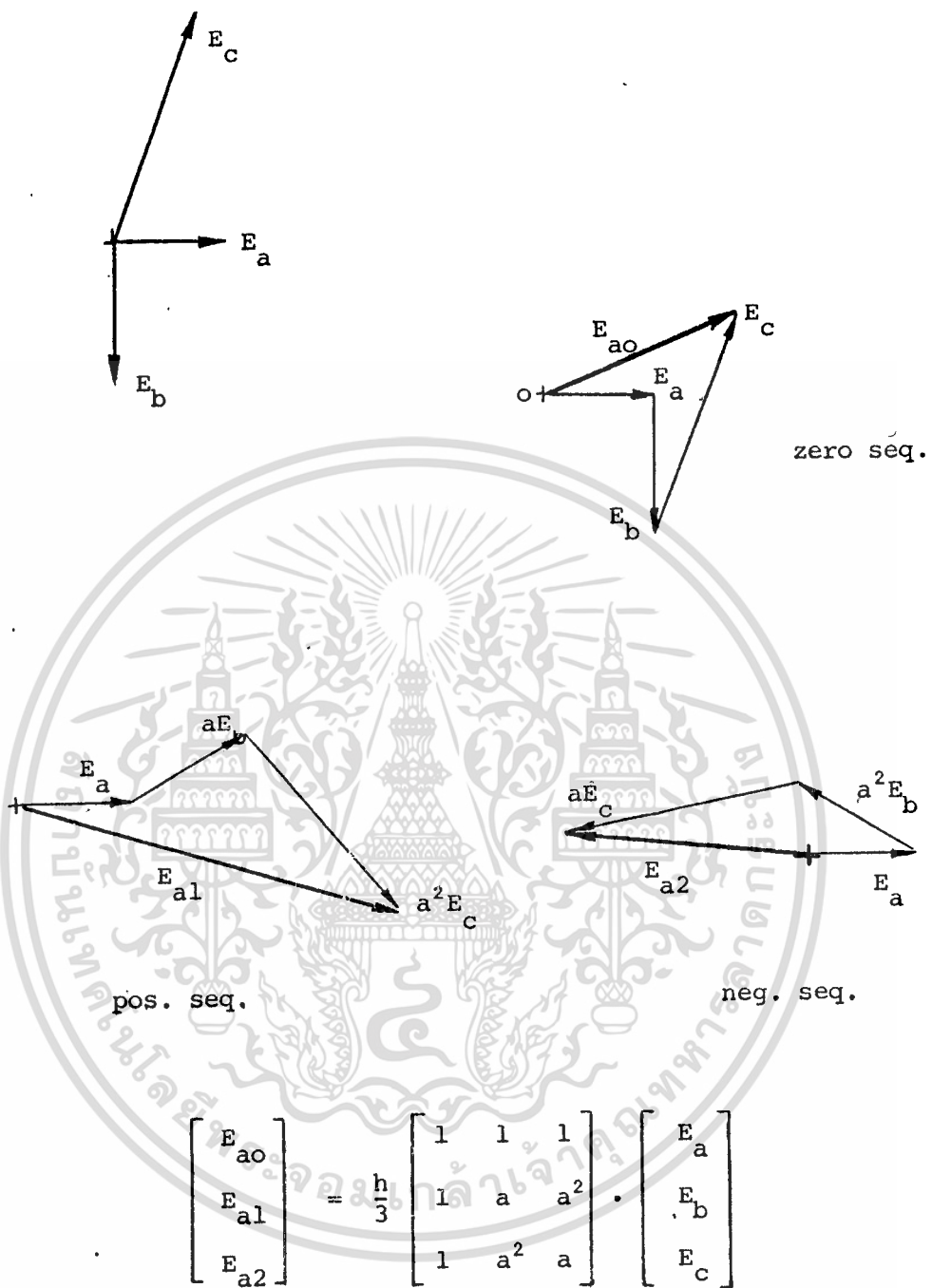
(4) .

ดังนั้นแล้วจะสามารถสร้าง Linear Transformation สำหรับเฟสเวกเตอร์ใดๆได้ คือ

$$\bar{E}_{ph} = T \bar{E}_s \quad (2.8)$$

(T - Complex Transformation Operator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Reference of phase-a and $T^* = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} ;$

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะ vectors ของ phase กับ sequence .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = h^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.8')$$

(4)

h เป็น Correction Factor มีค่าในการพิจารณาปรับสมการให้เข้ากับกายภาพของระบบ ค่านี้มีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ สำหรับการเปลี่ยนแปลงแบบ power invariant ระหว่างแกนเฟสกับซีแควนซ์ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในขณะที่ต้องการมองความสัมพันธ์กลับจากซีแควนซ์ไปเป็นเฟสจะกระทำได้ด้วย inversion ของ T-matrix ซึ่งลักษณะ linear complex transform จะได้

$$\begin{aligned} T^{-1} &= T^* \text{ (conjugate)} \\ &= (h/3) \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.9)$$

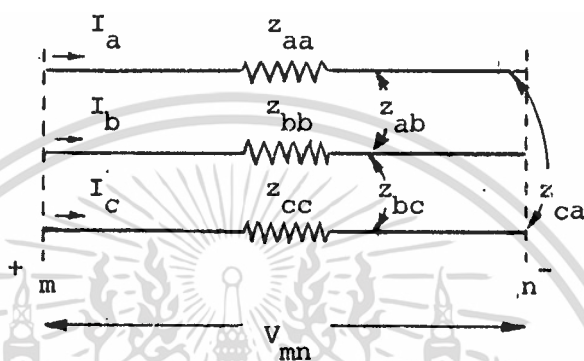
รูปแบบเช่นนี้ เราจะสามารถแสดง vector diagram ของเฟสเป็นลักษณะของซีแควนซ์ ดังในรูปที่ 2.4, ซึ่งเป็นการประกอบการรวมเวกเตอร์ในเฟสเดียวกัน การอธิบายผลของการวิเคราะห์ที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วนี้ การเปลี่ยนแปลงของแกนในแง่ของกระแสและศักดา จะทำให้ค่าของ Impedance หรือ Admittance Matrix ที่เป็นคุณสมบัติของระบบ สามารถที่จะวิเคราะห์เป็น sequence value ได้ และให้ข้อได้เปรียบของการนำไปวิเคราะห์การคำนวณความผิดปกติ (Fault) ได้อย่างกว้างขวางมาก

2.3.3 องค์ประกอบความต้านทานของระบบในแกน Symmetrical

(Impedance Components in Symmetrical Co-ordination)

เมื่อเราได้ค่าเฟสของกระแสและศักดาไฟฟ้า ที่สามารถแสดงลงบนแกนของ symmetrical components แล้ว ลักษณะสำคัญของระบบในด้านค่าความต้านทานสายหรือองค์

ประกอบอื่นๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงลงบนแกนใหม่นี้ด้วย คุณสมบัติของระบบไฟฟ้า เช่น ความสัมพันธ์ของกระแสและศักดา (Kirchoff's Law) เป็นต้นจะยังคงมีความเป็นจริงอยู่ ซึ่งเมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.5 เป็น system impedance (Z) ระหว่าง bus คู่หนึ่งใดๆ ความสัมพันธ์เชิงเฟสของกระแสและศักดาในระบบเฟสจะเป็น



รูปที่ 2.5 ระบบวงจรไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งประกอบจากตัว Series Impedance

$$\begin{aligned}
 [V]_{ph} &= [Z]_{ph} [I]_{ph} \\
 \begin{bmatrix} V_{mn-a} \\ V_{mn-b} \\ V_{mn-c} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

เมื่อเปลี่ยนแปลงลงบนแกนของ symmetrical components (0,1,2) จากสมการ (2.10) ได้

$$T [V]_{012} = [Z] \cdot T \cdot [I]_{012} \quad ([Z] = [Z]_{ph}) \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned}
 [V]_{012} &= T^{-1} [Z] T \cdot [I]_{012} \\
 &= T^* [Z] T \cdot [I]_{012} \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าในกรณีใดๆของ phase components เราสามารถหาในรูปของ sequence components มาแทนที่ได้ โดยที่ $[Z]_{012} = T^* [Z] T$, ค่า admittance components ของ network ก็จะสามารถแสดงได้ด้วยวิธีเดียวกัน

ดังนั้นแล้ว ค่า Z หรือ Y -matrix (Impedance or Admittance Matrix) ของระบบ ซึ่งมีค่ามาจากอุปกรณ์ของสายส่ง (Transmission), Machine, Transformer และอื่นๆนั้น เราสามารถที่จะแสดงค่าความต้านทานขององค์ประกอบเหล่านี้เป็นค่า symmetrical ได้เสมอ และมีประโยชน์อย่างมากกับความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้ากำลัง

ลักษณะของ symmetrical components ของ Impedance Matrix, $[Z]$ สามารถให้ผลประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ระบบอย่างมาก เราจะพิจารณาในหลายๆกรณีของค่า phase impedance ที่มี self และ mutual แบบต่างๆ ว่าให้ค่าบนแกน symmetry อย่างไรบ้างตามลำดับ โดยเฉพาะเมื่อเป็นความต้านทานใน Unbalance System, จากสมการที่ (2.10) เราสามารถแสดงค่า General Value ของ sequence impedance matrix ได้คือ

$$[Z]_{mn012} = \begin{bmatrix} (z_{s0} + 2z_{m0}) & (z_{s2} - z_{m2}) & (z_{s1} - z_{m1}) \\ (z_{s1} - z_{m1}) & (z_{s0} - z_{m0}) & (z_{s2} + 2z_{m2}) \\ (z_{s2} - z_{m2}) & (z_{s1} + 2z_{m1}) & (z_{s0} - z_{m0}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } z_{s0} &= (1/3)(z_{aa} + z_{bb} + z_{cc}) \\ z_{s1} &= (1/3)(z_{aa} + az_{bb} + a^2z_{cc}) \\ z_{s2} &= (1/3)(z_{aa} + a^2z_{bb} + az_{cc}) \\ \text{และ } z_{m0} &= (1/3)(z_{bc} + z_{ca} + z_{ab}) \\ z_{m1} &= (1/3)(z_{bc} + az_{ca} + a^2z_{ab}) \\ z_{m2} &= (1/3)(z_{bc} + a^2z_{ca} + az_{ab}) \end{aligned} \quad (2.13)$$

จากผลของการเปลี่ยนแปลงในสมการที่ (2.13) ทำให้เราพิจารณาแยกประเภท

ของ 3-phase impedance ที่ให้ $[Z]_{012}$ -matrix รูปแบบต่างๆ คือ

กรณีที่ 1 เมื่อค่าของ mutual impedance ระหว่างเฟสมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ self impedance ของแต่ละเฟส และถูกพิจารณาตัดออกจากแมทริกซ์ ทำให้

$$[Z]_{ph} = \begin{bmatrix} z_{aa} & 0 & 0 \\ 0 & z_{bb} & 0 \\ 0 & 0 & z_{cc} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

ผลในกรณีนี้เมื่อถูก transform เป็น sequence matrix จะไม่ได้ทำให้ matrix มีค่า off-diagonal เปลี่ยนแปลง และไม่มีประโยชน์ในการลดความยุ่งยากในการคำนวณใดๆ

กรณีที่ 2 Self และ mutual impedance ของเฟสทั้งสามมีค่าเท่ากัน

$$\begin{aligned} z_{aa} &= z_{bb} = z_{cc} \\ z_{ab} &= z_{bc} = z_{ca} \end{aligned} \quad (2.15)$$

ซึ่งลักษณะของ phase impedance จะมีผลทำให้

$$\begin{aligned} z_{s0} &= z_{aa} ; z_{s1} = z_{s2} = 0 \\ z_{m0} &= z_{bc} ; z_{m1} = z_{m2} = 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

องค์ประกอบของ phase impedance แบบนี้จะไม่ให้ off-diagonal เกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงแกน และเป็นลักษณะเด่นที่ทำให้สามารถพิจารณา network โดยไม่มี sequence mutual coupling กันในระหว่าง sequences

กรณี 3 Phase impedance มีลักษณะ symmetrical โดยมีเฟสใดเฟสหนึ่ง เป็นเฟสอ้างอิง (ส่วนมากจะใช้เฟส a) จะได้

$$z_{bb} = z_{cc} \quad ; \quad z_{ab} = z_{ca} \quad (2.17)$$

เมื่อทำการ transformation เป็น sequence elements เราจะ ได้ค่า

$$\begin{aligned} z_{s0} &= (1/3) (z_{aa} + 2z_{bb}) \\ z_{s1} &= z_{s2} = (1/3) (z_{aa} - z_{bb}) \\ z_{m0} &= (1/3) (z_{bc} + 2z_{ab}) \\ z_{m1} &= z_{m2} = (1/3) (z_{bc} - z_{ab}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Sequence impedance matrix จะกลายเป็น symmetry matrix ทำให้การคำนวณสามารถพิจารณาได้ง่ายขึ้นได้แบบหนึ่ง

จากที่สรุปมานั้น เราจะสังเกตเห็นว่า การพิจารณาเฟสเป็น sequence components นั้นมีผลต่อ network ที่ให้คุณลักษณะต่อการลดความสัมพันธ์อันสมการคณิตศาสตร์หลายด้าน การหาค่าทั้งสามของการทำ matrix transformation ซึ่งกล่าวมาเป็นเงื่อนไขของแมทริกซ์ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง จะช่วยลดการคำนวณเกินความจำเป็นได้อย่างมาก และงานปริญาพนธ์ที่ดำเนินการได้ใช้คุณสมบัติเหล่านี้ในการประกอบการคำนวณหาค่า fault current และ voltage จากระบบสามเฟส (เงื่อนไขแมทริกซ์ได้รวบรวมไว้ใน Table 2.1)

Table 2.1 Summary of Matrix Conditions Based on Impedance

Mutual Impedance	Self Impedance			
	Zero	Equal	Symmetric	Arbitrary
Zero	zero	diag	sym	non
Equal	diag	diag	sym	non
Symmetric	sym	sym	sym	non
Arbitrary	non	non	non	non

- (zero - all matrix elements are zero
diag - the matrix is diagonal
sym - the matrix is symmetric
non - the matrix is nonsymmetric)

2.4 การคำนวณ Fault และสมการของการเกิดความผิดปกติแบบต่างๆ

วิธีการในการคำนวณกระแสและศักดาไฟฟ้าจากการเกิดความผิดปกติ (Fault) นั้น พื้นฐานหลักของการหาค่าต่างๆ จะอาศัย sequence co-ordination แสดงองค์ประกอบต่างๆ โดยเฉพาะ characters of network, การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และพฤติกรรมของการผิดปกติเป็นทฤษฎีที่อาศัยวิธี "Superposition Pre-fault Voltage Source" เป็นตัวผลักดันพลังงานจำนวนหนึ่งแก่ระบบในการเกิด fault ขึ้น การพิจารณาประกอบด้วยองค์ประกอบ-สำคัญหลัก คือ

1. การหาแหล่งกำเนิดของพลังงานที่เป็นตัวจ่าย Fault Power, ค่านี้จะเป็นค่าที่เรียกว่า "Pre-fault Value", โดยวิธีการ Superposition Principle นั้น ศักดาไฟฟ้าที่ตำแหน่ง fault (ไม่ว่าจะเป็นค่า node-to-node หรือ node-to-reference และกรณีเฟสใดเป็นหลัก) จะเป็นค่า pre-fault voltage source ซึ่งก่อให้เกิดกระแสที่จะคำนวณออกมา ค่าศักดาไฟฟ้านี้เมื่อมองในลักษณะ sequence source, และโดยที่ในสภาวะปกติระบบจะถูกพิจารณาว่าเป็น Balance and Symmetrical System



ซึ่งให้ค่าศักดาไฟฟ้าใน positive sequence เท่านั้น (ความเป็นจริงของระบบอาจมีลักษณะ unsymmetry ของเฟส และมี negative หรือ zero sequence source ก่อนการเกิดความผิดปกติได้ แต่เป็นกรณีพิเศษที่จะไม่นำมาพิจารณา)

2. System Impedance (Admittance) ซึ่งเป็นค่าความต้านทานของสายส่งและของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ . ค่าเหล่านี้จะเป็นค่าบนแกน sequence ที่นำมาสร้างสมการทาง Linear Equation สำหรับวิเคราะห์

3. เงื่อนไขขอบเขตของชนิดของ fault (Boundary Conditions) แต่ละประเภท เป็นจุดสำคัญที่บอกให้ทราบว่า เกิดความไม่สมดุลอย่างไรในระบบ ที่ตำแหน่งบัส และเฟสใด

องค์ประกอบทั้งสามนี้จะต้องนำมาพิจารณาร่วมกัน ในการแสดงค่ากระแสที่เกิดจาก fault, เป็นกรณีต่างๆที่จะกล่าวถึงตามลำดับ

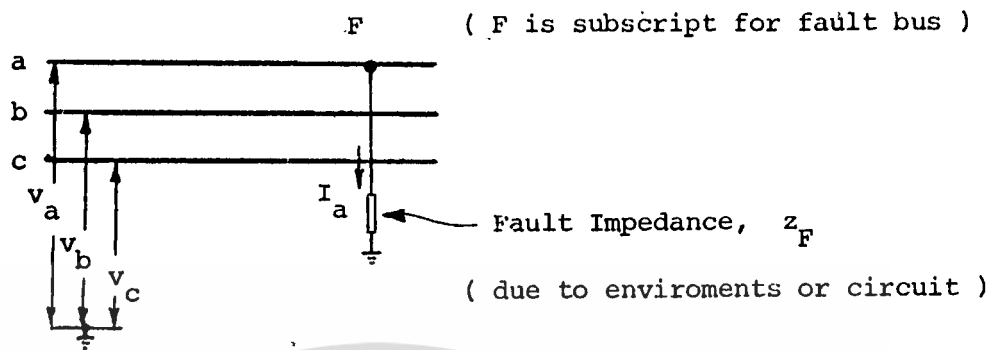
(1) (4) (5)

2.4.1 การคำนวณ Unbalance Fault

ภายในปริศนาพจน์และกับการศึกษาหาค่าความผิดปกติโดยทั่วไป มีจุดสนใจหลัก คือ สภาพการเกิดและผลที่ตามมาซึ่งก่อให้เกิดความไม่สมดุลในเฟส (Unbalance Phase Components) โดยตรง Symmetrical Components ทำให้เราสามารถแสดงถึงลักษณะ และคำตอบของ fault ที่เด่นชัดออกมา และจะกล่าวแสดงกรณีการ fault เป็นแบบไปตามลำดับ

n) Single Line-to-ground Fault

การพิจารณาความผิดปกติแบบนี้ซึ่งเกิดขึ้นกับเฟสใดเฟสหนึ่งในระบบสามเฟส เรา มักจะให้เฟส a เป็นเฟสอ้างอิง (การเปลี่ยนแปลงเฟสอ้างอิงเป็นเฟส b หรือ c , สามารถทำได้โดยทฤษฎี Port-network ที่จะกล่าวถึงในบทที่สาม) รูปที่ 2.6 จะแสดงการเกิดของ fault แบบนี้



รูปที่ 2.6

การเกิด fault กับสายส่งหรือบัสในระบบที่เฟส a

(a is reference phase)

เรานำ Boundary Condition ของการเกิดความผิดปกติแบบไม่พหุคูณมาพิจารณา ซึ่งได้ว่า

กระแสในเฟสที่เหลือ ; $I_b = I_c = 0$ (2.19)

และศักดาไฟฟ้าของเฟส ; $V_a = z_f \cdot I_a$ (2.20)

การพิจารณากระแสในกรณีของแกน Symmetrical, จะบอกถึงค่า sequence current - ซึ่งจากเงื่อนไขที่ได้รับมา

$$I_{012} = (h/3) \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = (h/3) \begin{bmatrix} I_a \\ I_a \\ I_a \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.20), เมื่อเราแทนค่าของกระแสที่เป็นค่าของ sequence ที่เฟส a จะได้

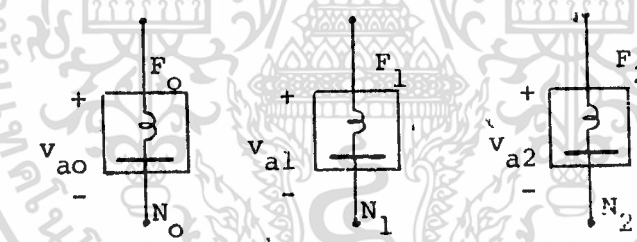
$$V_a = z_f \cdot I_a = (3/h) z_f \cdot I_{a1} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

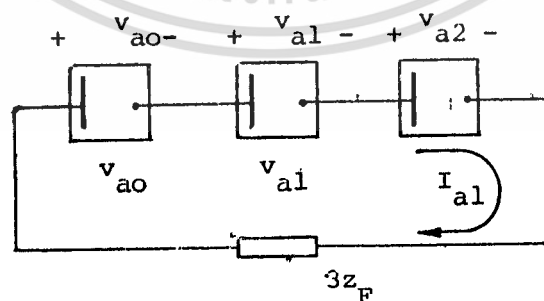
(I_{a1} เป็น positive sequence ของทั้งระบบที่ใช้เฟส a เป็นเฟสอ้างอิง) ดังนั้น

$$V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = (3/h) \cdot z_f \cdot I_{a1} \quad (2.23)$$

ลักษณะเช่นนี้นั้นถ้าพิจารณาโดย Kirchoff's voltage law, จะแสดงให้เห็นว่า ศักดาไฟฟ้าที่มาจาก sequence ทั้งสามเปรียบเทียบได้กับการอนุกรมวงจรเข้าด้วยกัน (โดยความคิดในรูปแบบนี้เองจะเป็นพื้นฐานของการนำไปสู่ Network's Sequence Connection) และความคิดโดยหลักการ network และ superposition, เราจะสามารถบ่งบอกค่าศักดาของทั้งสามซีควเอนซ์ คือ source voltage ของ circuit group 3 ชุด แสดงในรูปแบบ group circuit equivalent network โดยสัญลักษณ์ทั่วไปของรูปที่ 2.7 และการเชื่อมต่อของวงจรสมมูลย์ (Interconnection of Equivalent Circuit) จากสมการ (2.23)



a) Sequence Circuit Representation.



b) Connection of Sequence Circuit of SLG-Fault.

รูปที่ 2.7 Equivalent Network and Connection of SLG-Fault.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

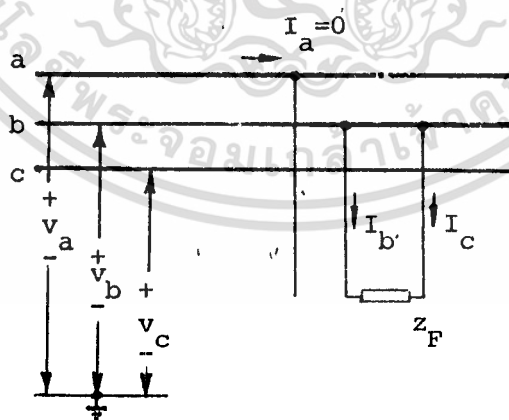
ค่าของ Fault Current บนแกน sequence co-ordination จะคำนวณได้เป็น

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{(h/3) V_{a1}}{(Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f)} \quad (2.24)$$

(สมการ (2.24) นั้นเทอมที่เป็น source voltage ใน negative และ zero sequence นั้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะระบบก่อนfault เป็น balance & symmetry และค่า Z_0, Z_1, Z_2 นี้เป็น equivalent impedance ของระบบจากรูปที่ 2.7, ดังนั้น prefault source ที่อธิบายมาตั้งแต่ต้น จึงมี positive sequence voltage ที่จุดนั้นเป็นดังกำหนดกระแสของการผิดปกติ)

ข) Line-to-line Fault

ในการพิจารณาการส่วจรของสายเฟสคู่ใดๆ รวมทั้งการผิดปกติแบบอื่นๆที่จะแสดงการรบกวนนั้น มีวิธีและขั้นตอนในการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการ SLG-fault ดังที่แสดงไว้ เราจะแสดง circuit diagram ของ line-to-line fault ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Circuit Diagram ของการเกิด Line-to-line Fault.

boundary conditions จะได้

$$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= -I_c \\ V_b - V_c &= I_b \cdot z_f \end{aligned} \quad (2.25)$$

โดย transformation เป็น symmetrical components ตามลำดับ

$$I_{012} = (h/3) \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} = j\left(\frac{h}{3}\right) I_b \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

และความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าจะได้จากสมการที่ (2.25) ของเฟส b และ c :

$$\begin{aligned} z_f \cdot I_b &= V_b - V_c = \left(\frac{1}{h}\right)(V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2}) \\ &\quad - \left(\frac{1}{h}\right)(V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2}) \\ (z_f/h)(I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}) &= \frac{1}{h}(a^2 - a) \cdot V_{a1} + \frac{1}{h}(a - a^2) \cdot V_{a2} \end{aligned} \quad (2.27)$$

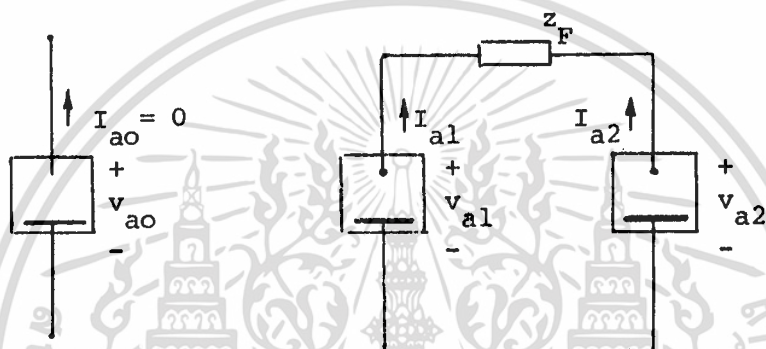
แทน $I_{a0} = 0$, และ $I_{a1} = -I_{a2} = j\left(\frac{h}{3}\right) \cdot I_b$ จะได้

$$\begin{aligned} z_f(a^2 - a) \cdot I_{a1} &= (a^2 - a) \cdot V_{a1} + (a - a^2) \cdot V_{a2} \\ \text{หรือ } z_f \cdot I_{a1} &= V_{a1} - V_{a2} \end{aligned} \quad (2.28)$$

จะสรุปได้ว่า Zero Sequence Components จะไม่ได้แสดงออกมาจากผลของความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดปกติ และค่าของกระแส fault (I_{a1}), จะก่อให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่าง Equivalent Network จาก positive ไปยัง negative ซึ่งให้รูปแบบของวงจรในรูป 2.9

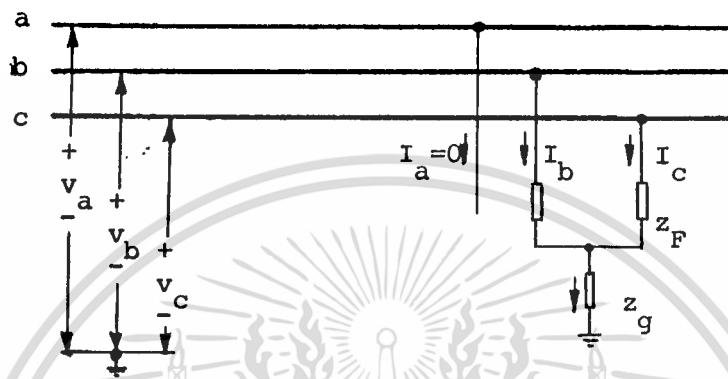


รูปที่ 2.9 Sequence Port-Network Connection of L-L Fault

และกระแสของ fault จะเท่ากับ

$$I_{a1} = \frac{hV_f}{z_1 + z_2 + z_f} \quad (2.29)$$

ค) Double Line-to-ground Fault (DLG-fault)



รูปที่ 2.10 Circuit Diagram of Double Line-to-ground Fault.

boundary conditions จะพิจารณาหาได้ คือ

$$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ V_b &= (z_f + z_g) \cdot I_b + z_g \cdot I_c \\ V_c &= (z_f + z_g) \cdot I_c + z_g \cdot I_b \end{aligned} \quad (2.30)$$

โดยการ transformation จาก boundary conditions นั้น phase a current จะได้

$$I_a = \frac{1}{h} (I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}) = 0 \quad (2.31)$$

และนำมาพิจารณาหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เฟส b และ c ตามลำดับ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
v_b &= \frac{1}{h} (v_{a0} + a^2 v_{a1} + a v_{a2}) \\
v_c &= \frac{1}{h} (v_{a0} + a v_{a1} + a^2 v_{a2}) \\
(v_b - v_c) &= \frac{1}{h} (a^2 - a) \cdot v_{a1} + \frac{1}{h} (a - a^2) \cdot v_{a2} \\
&= -j \left(\frac{3}{h} \right) (v_{a1} - v_{a2})
\end{aligned} \tag{2.32}$$

เปรียบเทียบกับ boundary conditions ซึ่ง $(v_b - v_c) = z_f (I_b - I_c)$, จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
z_f (I_b - I_c) &= \frac{1}{h} (a^2 - a) v_{a1} + \frac{1}{h} (a - a^2) v_{a2} \\
z_f ((I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}) - (I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2})) \\
&= \frac{1}{h} (a^2 - a) \cdot v_{a1} + \frac{1}{h} (a - a^2) \cdot v_{a2} \\
(z_f I_{a1} - z_f I_{a2}) &= v_{a1} - v_{a2} \\
v_{a1} - z_f \cdot I_{a1} &= v_{a2} - z_f \cdot I_{a2}
\end{aligned} \tag{2.33}$$

ถ้าเราแสดงผลบวก $(v_b + v_c) = \frac{1}{h} (2v_{a0} - (v_{a1} + v_{a2}))$, และเปรียบเทียบกับ boundary condition ซึ่ง

$$\begin{aligned}
(v_b + v_c) &= \left(\frac{z_f}{h} \right) (2 \cdot I_{a0} - (I_{a1} + I_{a2})) + \\
&\quad \left(\frac{z_g}{h} \right) (4 \cdot I_{a0} - 2(I_{a1} + I_{a2}))
\end{aligned} \tag{2.34}$$

$$(2v_{a0} - 2z_f I_{a0} - 4z_g I_{a0}) = v_{a1} + v_{a2} - z_f (I_{a1} + I_{a2}) - 2z_g (I_{a1} + I_{a2}) \tag{2.35}$$

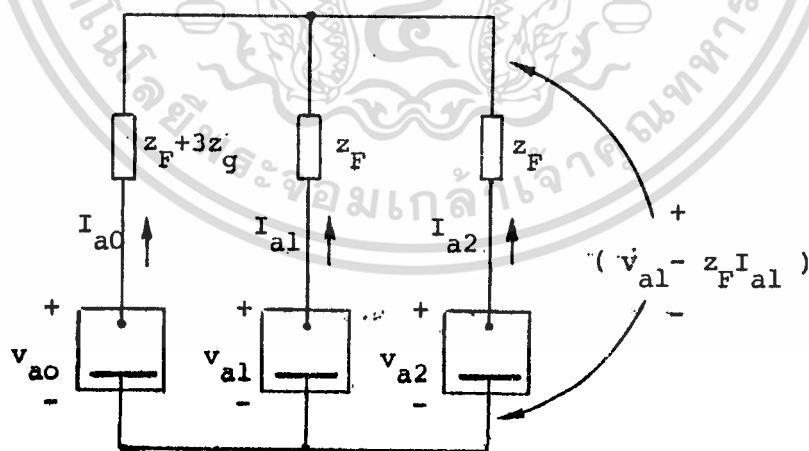
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก เฟส a มีกระแสเท่ากับศูนย์ ดังนั้น $(I_{a1} + I_{a2}) = -I_{a0}$, และทำให้สามารถใช้ผลจากสมการที่ (2,33) แสดงต่อไปได้ว่า

$$\begin{aligned} V_{a0} - z_f \cdot I_{a0} - 3z_g \cdot I_{a0} &= V_{a1} - z_f \cdot I_{a1} \\ &= V_{a2} - z_f \cdot I_{a2} \end{aligned} \quad (2.36)$$

วิธีการ sequence equivalent connection จะทำให้มีการเชื่อมต่อกันของระบบ sequence network, โดยพิจารณาเปรียบเทียบในรูปที่ 2.11 และมีค่ากระแส positive - fault current เท่ากับ

$$I_{a1} = (hV_f) / \left(Z_1 + z_f + \frac{(Z_2 + z_f)(Z_0 + z_f + 3z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2z_f + 3z_g} \right) \quad (2.37)$$



รูปที่ 2.11 Port-Network of Double Line-to-ground Fault.

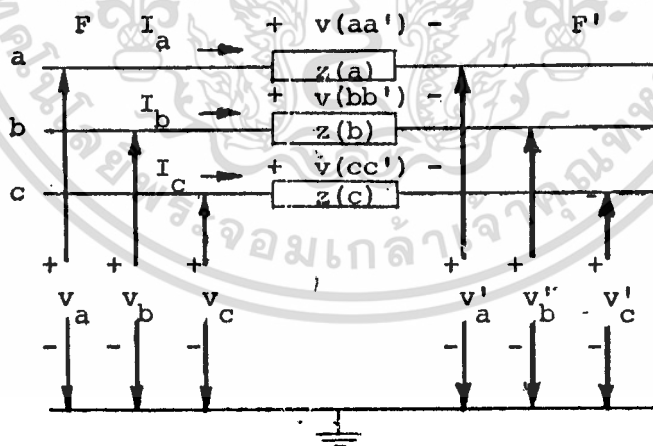
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทั้งสามกรณีที่กล่าวมาเป็นตัวอย่างนั้น จะนำไปใช้
โดยแนวทางเดียวกันเพื่อวิเคราะห์กรณีของ Line-open Fault , และสามารถที่จะแยก-
ชนิดของ fault เป็นสองแบบใหญ่ๆ คือ

ก) Shunt Fault เป็นการผิดปกติที่มีการเกี่ยวข้องกับ reference bus ของระบบ
เช่น การเกิด SLG-fault เป็นต้น

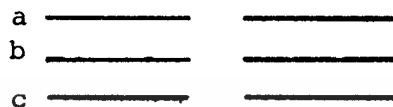
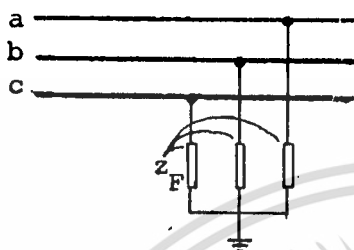
ข) Series Fault เป็นการผิดปกติที่ไม่ยุ่งเกี่ยวกับ reference bus ได้แก่
การขาดตัว (line-open) ของสายส่ง เป็นต้น

การผิดปกติแบบ series นี้ เป็นในลักษณะรวมของ line-open แบบต่างๆ (Single, Double, Three Line-open) จะวิเคราะห์โดยค่าต่างๆอยู่ในรูปของ node-to-node value และกำหนดเงื่อนไขขอบเขตตาม circuit diagram, นอกจากนี้แล้ว ที่ไม่ได้กล่าวรวมไว้ อีกแบบหนึ่งของ unbalance fault คือ การที่ค่าความต้านทานของระบบในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.12 ตามลำดับ



รูปที่ 2.12 Circuit Diagram for Unequal Series Impedance.

2.4.2 การคำนวณ Balance Fault



: 3-phases to ground

: 3-lines open fault.

รูปที่ 2.13 Circuit Diagram of Balance Fault Conditions.

ถึงแม้ว่าในกรณีนี้จะมีจุดมุ่งความสนใจในการศึกษา unbalance fault เป็นส่วนใหญ่ แต่ก็กล่าวถึงการศึกษาความผิดปกติแบบอื่นไว้คร่าวๆด้วย จากรูปที่ 2.13 นั้น การผิดปกติแบบนี้ ไม่ก่อให้เกิดการเชื่อมต่อของ positive sequence network กับ negative-zero sequence network , จะมีแต่เพียงค่าของ positive sequence value ที่มอง-เข้าจากจุดที่ผิดปกติเท่านั้น เนื่องจากเฟสทั้งสามของระบบยังรักษาสมมูลอยู่

ถ้าเราพิจารณาค่า Fault Impedance ของการเกิด fault ที่สายส่งทั้งสามเฟส ลัดวงจรสู่พื้นดิน (Three phase-to-ground) เป็นตัวอย่าง ผลที่ตามมาจะทำให้กระแสในแต่ละเฟสมีค่า คือ

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{hV_f}{(Z_1 + z_f)} \quad (a - \text{reference phase}) \\ I_{a0} &= I_{a2} = 0 \end{aligned} \quad (2.38)$$

(เมื่อ hV_f เป็น prefault voltage source ของจุดที่เกิดการผิดปกติ
 Z_1 เป็น equivalent positive sequence impedance
 z_f เป็น fault impedance ของจุดที่เกิดการผิดปกติ)

ในแง่ของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น การเกิดความผิดปกติแบบ Balance จะเกิดความสูญเสียต่อระบบสูงที่สุด และทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังเสถียรภาพ (Stability Lossing) ได้ แต่ก็มีเปอร์เซ็นต์การเกิดน้อยกว่ากรณีอื่นๆ

2.5 สรุป

จากที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.1 - 2.4 นั้น ได้แสดงถึงความสำคัญของการวิเคราะห์และคำนวณหาค่ากระแสความผิดปกติ โดยหลักทฤษฎี Symmetrical Co-ordination ซึ่งทำให้เรามองเห็นถึงลักษณะการแยกเฟสของระบบเป็นค่าบนแกน sequence, และยังทำให้ network แสดงสถานะเป็น sequence network (0, 1, 2) อีกระยะก็ออกมาทำการวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น

การคำนวณโดยพิจารณาสร้าง boundary conditions นี้ ได้ทำให้เราเห็นถึงค่าของ fault source รวมทั้ง equivalent impedance ของระบบ ซึ่งความจริงแล้วมาจากทฤษฎี Thevenin & Norton Theorems , โดยเฉพาะในกรณีของ Series fault ที่ไม่ได้นำมาแสดงโดยตรง จะนำมาพิจารณาต่อไปโดยอาศัยการมองระบบแบบ Multi-ports network และจะแสดงผลของความผิดปกติต่อสมการคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้น Linear Analysis ทำให้สามารถศึกษาได้ทั้งกรณีเงื่อนไขของ node-to-reference และ node-to-node effect รวมทั้งการรวบรวมผลของ sequence mutual coupling ซึ่งไม่ได้กล่าวไว้ต่อไป

บทที่ 3

ทฤษฎี Port - network กับ การคำนวณความผิดปกติ

(Fault Calculations by Port-network Theory)

3.1 บทนำ

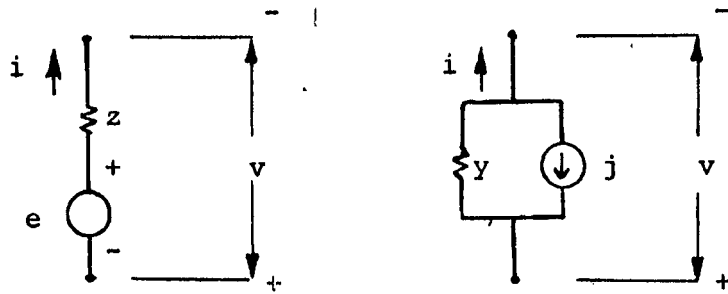
ในบทนี้นั้นจะเป็นการเชื่อมโยงจากการพิจารณาวิเคราะห์สมการของ fault current (2), (4), (19) (voltage) โดยอธิบายในแง่ของ Port (Terminals) Theory of Network ความคิดในการวิเคราะห์ระบบแบบ Passive network ซึ่งทำการสร้างความสัมพันธ์ของ Bus-equations ทั้ง Impedance (Z-bus) และ Admittance (Y-bus) , จะสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของ elements ที่เป็น branches และ links ของ nodes (buses). และความสัมพันธ์ของกระแส (ศักดา) ไฟฟ้าที่บัสต่างๆจะนำไปสู่วิธีการศึกษาแบบ Kron's Primitive Theory ช่วยให้การวิเคราะห์ค่าสมมูลของระบบมีความง่ายเข้า

เนื่องจากลักษณะเฟสของระบบถูกเปลี่ยนแปลงบนแกน sequence ดังที่ได้แสดงมา เราอาศัยความรู้เกี่ยวกับ network จะทำให้สามารถคำนวณแยกกับแต่ละ sequence network ได้ และในบทนี้จะรวบรวมเอาทฤษฎีการเชื่อมโยง (connection) ของระบบย่อยๆ (subnetwork's Connections) ซึ่งเป็นวิธีการพิจารณาโดย "Atabekov's Construction of Generalized Fault Diagram" และนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับ Kron's Primitive Networks เพื่อใช้ในการคำนวณโดยตรง และจากความสะดวกที่เรามองระบบไฟฟ้าแบบ port จะทำให้สามารถศึกษาต่อเนื่องกับการผิดปกติหลายๆอย่างที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน (Simultaneous) อันไม่สามารถพิจารณาโดยสมการจาก boundary ง่ายๆได้ตามลำดับ

(4)

3.2 การวิเคราะห์ระบบโดยการใช้ Bus Matrix,

ระบบไฟฟ้ากำลังจะมี elementary branch โดยลักษณะ primitive theory ของ Kron's, ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 3.1 และสามารถแบ่งความสัมพันธ์ตามกฎของ Kirchhoff's



$$a) \quad v = zi - e$$

$$b) \quad i = yv - j$$

รูปที่ 3.1

Primitive Branch (elements) of Network

a) Impedance view.

b) Admittance view.

ด้วยวิธีทั่วไปของ Bus-incident Matrix (A) เราสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นสมการของบัส (Bus-equation) ปกติที่เราต้องการ ซึ่ง

$$\begin{aligned} E_{bus} &= Z_{bus} \cdot I_{bus} \\ I_{bus} &= Y_{bus} \cdot E_{bus} \end{aligned} \quad (3.1)$$

ได้จาก ; Primitive Equation : $[i] + [y][v] = [j]$

$$A^T [i] + A^T [y] \cdot [v] = A^T [j] \quad (3.2)$$

(A^T = Transposed Bus-incident Matrix)

(15) (16) (19)

โดย Theory of Transformation (Tensor Analysis), $A^T [i] = 0$

และ $I_{bus} = A^T [j]$, อาศัยหลักของพลังงานนั้น $(I_{bus}^*)^T \cdot E_{bus} = [j^*]^T \cdot [v]$, จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เราจะได้จุดสำคัญในการสร้างสมการของบัสขึ้น คือ

$$\begin{aligned} A \cdot E_{bus} &= [v] \\ I_{bus} &= A^T [y] A \cdot E_{bus} \end{aligned} \quad (3.3)$$

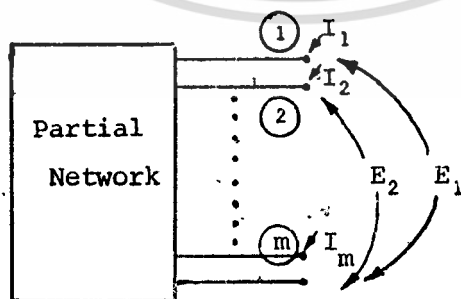
และเราจะได้ Bus Admittance และ Impedance ;

$$Y_{bus} = A^T [y] A, \quad Z_{bus} = Y_{bus}^{-1} \quad (3.4)$$

จากการวิเคราะห์ Bus Matrix ที่แสดงนั้น การพิจารณาปัญหาใดๆของระบบไฟฟ้ากำลังจะกระทำได้ง่ายขึ้นโดยวิธีการของสมการปัด แต่สิ่งที่เราต้องการเพิ่มเติมในกรณีของการศึกษาความผิดปกติ (fault) นั้น เราจำเป็นต้องวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงระบบ องค์ประกอบ (elements) แต่ละจุด ซึ่งการจะกระทำดังกล่าวได้ต้องอาศัยวิธี Formation of Bus โดยการเพิ่มและลด branches หรือ links ใน network ที่เราจะกล่าวถึงต่อไป

3.2.1 การสร้าง Bus Impedance Matrix โดยพิจารณาองค์ประกอบของระบบ (Elementary Formation of Bus Impedance Matrix)

Bus equations ที่ได้นั้นสามารถวิเคราะห์ตามแบบของ Multi-ports network (รูปที่ 3.2) ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงหลักในแง่ของ nodes (buses), branches, links ซึ่งเกิดขึ้นต่อ ports ของ network block



⊙ - reference.

$$E_{bus} = Z_{bus} I_{bus}$$

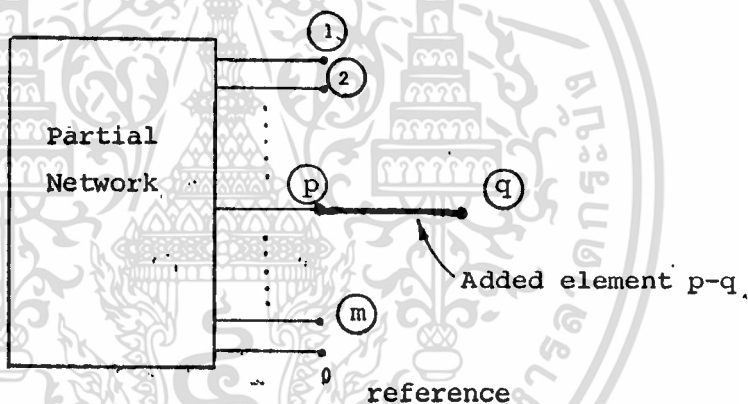
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับใช้ในการศึกษาและการวิเคราะห์ระบบ Bus-equation, เน้นด้านการคำนวณและการแก้ปัญหาต่างๆ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าวนั้นจะเป็นการเพิ่ม branch ซึ่งต่อบัสใหม่เข้าไปในระบบที่มีอยู่ และเพิ่มองค์ประกอบที่เป็น link ของบัสคู่ใดในระบบเดิม และแสดงค่าของบัสเมทริกซ์ที่ได้มา

3.2.1.1 การเพิ่ม elements ที่เป็น branch

(Addition of Branch)

ลักษณะการเพิ่มองค์ประกอบที่เป็น branch เข้าไปใน network นั้น สามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงบัส q ใหม่ที่ต่อเข้าไปในระบบ และทำการหาค่าของความต้านทาน Impedance ในเมทริกซ์โดยทฤษฎี "Injection of Unit Source Current"



รูปที่ 3.3 แสดงการเพิ่ม branch และ node q เข้าไปยังระบบที่ node p

สมการของบัสอิมพีแดนซ์ จะแสดงได้คือ

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_p \\ \vdots \\ E_m \\ E_q \end{array} \\
 =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ p \\ \vdots \\ m \\ q \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad \dots \quad p \quad \dots \quad m \quad q \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|}
 \hline
 z_{11} & z_{12} & & z_{1p} & & z_{1m} \quad z_{1q} \\
 \hline
 z_{21} & z_{22} & & z_{2p} & & z_{2m} \quad z_{2q} \\
 \hline
 & & & & & \\
 \hline
 z_{p1} & z_{p2} & & z_{pp} & & z_{pm} \quad z_{pq} \\
 \hline
 & & & & & \\
 \hline
 z_{m1} & z_{m2} & & z_{mp} & & z_{mm} \quad z_{mq} \\
 \hline
 z_{q1} & z_{q2} & & z_{qp} & & z_{qm} \quad z_{qq} \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_m \\ I_q \end{array}
 \end{array}
 \end{array}
 \quad (3.5)$$

a) การหา mutual elements ของ bus q ไปยัง bus i อื่นๆ จะทำได้โดย
 บ่อนกระแสหนึ่งหน่วยเข้าสู่ bus i ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{array}{c}
 E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_p \\ \dots \\ E_m \\ E_q
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 z_{1i} I_i \\ z_{2i} I_i \\ \dots \\ z_{pi} I_i \\ \dots \\ z_{mi} I_i \\ z_{qi} I_i
 \end{array}
 \quad (3.6)$$

กระแสใน elements ของ network จะมีค่า

$$\begin{bmatrix} i_{pq} \\ \vdots \\ i_{\rho\sigma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{pq,pq} & \bar{y}_{pq,\rho\sigma} \\ \bar{y}_{\rho\sigma,pq} & \bar{y}_{\rho\sigma,\rho\sigma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{pq} \\ \vdots \\ v_{\rho\sigma} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $i_{pq}, i_{\rho\sigma}$ - เป็นกระแสในสายส่งที่ไหลจากบัส p ไปยัง q และจากบัส ρ ไปยัง σ ตามลำดับ
 $y_{ij,ij}, y_{kn,kn}$ - เป็น Diagonal Self Admittance ของสายส่งใน Primitive Matrix ระหว่างสองบัสใดๆ
 $y_{ij,kn}$ - เป็น Off-diagonal mutual admittance ของสายส่งคู่หนึ่ง
 $v_{pq}, \bar{v}_{\rho\sigma}$ เป็น branch voltage ระหว่างบัสตามลำดับ โดยระหว่าง $p-q$ เป็น added branch และ $\bar{v}_{\rho\sigma}$ เป็นเวกเตอร์ของ - branches ต่างๆใน partial network เดิม

นอกจากนี้เรากำหนดให้ $\bar{y}_{pq,\rho\sigma}$ เป็นเวกเตอร์ของ mutual admittance ระหว่าง branch $p-q$ ที่เพิ่มเข้าไป กับ branch $\rho-\sigma$ โทกที่มีอยู่ในระบบเดิม (มี $\bar{y}_{\rho\sigma,pq}$ เป็น transposed vector), $[y_{\rho\sigma,\rho\sigma}]$ เป็น primitive admittance matrix ของ partial network โทกของระบบเดิม

โดยที่กระแสใน added branch ($p-q$) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นในสมการ (3.7) ได้

$$\begin{aligned}
 \bar{v}_{\rho\sigma} &= \bar{E}_\rho - \bar{E}_\sigma \\
 v_{pq} &= \bar{E}_p - \bar{E}_q \\
 \text{and, } v_{pq} &= -\frac{\bar{y}_{pq,\rho\sigma}}{y_{pq,pq}} \cdot (\bar{E}_\rho - \bar{E}_\sigma)
 \end{aligned}$$

$$\text{so, } E_q = E_p + \frac{\bar{y}_{pq,\rho\sigma}}{y_{pq,pq}} \cdot (\bar{E}_p - \bar{E}_\sigma) \quad (3.8)$$

และจากสมการที่ 3.6 เราจะแสดง Impedance Value ได้ คือ

$$z_{qi} = z_{pi} + \frac{\bar{y}_{pq,\rho\sigma}}{y_{pq,pq}} \cdot (z_{\rho i} - z_{\sigma i})$$

$$(i = 1, 2, \dots, m \text{ and } i \neq q) \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b) การหา self admittance, z_{qq} ของ node q , จะได้โดยการ -
inject unit current ที่ bus q ทำให้

$$E_1 = z_{1q} I_q$$

$$E_2 = z_{2q} I_q$$

$$\dots \dots \dots$$

$$E_p = z_{pq} I_q$$

$$\dots \dots \dots$$

$$E_m = z_{mq} I_q$$

$$E_q = z_{qq} I_q$$

(3.10)

โดยการพิจารณาในแบบเดียวกันกับการหามutual impedance, เราได้ว่า

$$z_{qq} = z_{pq} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,\rho\sigma} (\bar{z}_{\rho q} - \bar{z}_{\sigma q})}{y_{pq,pq}} \quad (3.11)$$

ถ้าเราตัดการ coupling ของ mutual จากแต่ละคู่ของ branch, จะ
สามารถแสดงความสัมพันธ์ที่ง่ายลงได้ คือ

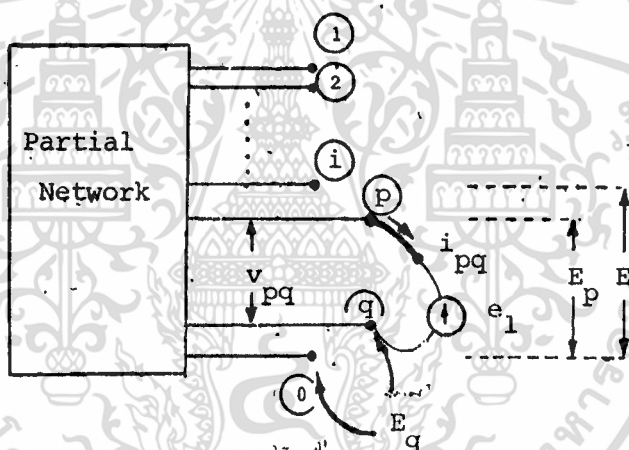
$$z_{qi} = z_{pi} ; (i = 1, 2, 3, \dots, m, i \neq q)$$

$$z_{qq} = z_{pq} + \bar{z}_{pq,pq} \quad (3.12)$$

$$(\bar{z}_{pq,pq} = y_{pq,pq}^{-1})$$

3.2.1.2 การเพิ่ม Elements ที่ เป็น Links (Addition of Link)

องค์ประกอบ (elements) ที่ เป็น link ในระบบ คือ การเชื่อมต่อระหว่างบัสคู่ใด ๆ ของ partial network เดิม เป็นลักษณะที่จะไม่มีบัสใหม่เกิดขึ้นในระบบและในแมทริกซ์ ในการวิเคราะห์นั้น เราสามารถพิจารณาเป็นการเพิ่ม fictitious bus : 1 ในระบบเดิม - เหมือนการพิจารณาเพิ่ม branch , แล้วทำการยุบทิ้งโดยทฤษฎี Matrix Reduction - ตามลำดับ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดง addition ของ elements ที่ เป็น link ระหว่างบัส p-q ใดๆ ใน partial network เดิม
(e_1 เป็น link source โดยลักษณะ primitive ของ circuit ที่เกิด)

การพิจารณา circuit diagram ในรูปที่ 3.4 นั้น เมื่อเราสร้าง fictitious bus - 1 ขึ้น ลักษณะของแมทริกซ์จะมี bus - 1 ในแมทริกซ์ของสมการที่ 3.5 และเราจะได้ค่าของ source (e_1) นี้ได้เท่ากับ

$$e_1 = E_1 - E_q = E_p - E_q - v_{p1} \quad (3.13)$$

(v_{p1} - voltage of branch p-1)

และการวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกับการที่กล่าวมา จะหา mutual (z_{li}) และ self admittance (z_{ll}) ได้ คือ

$$\begin{aligned} z_{li} &= z_{pi} - z_{qi} + \frac{\bar{y}_{pq,po}}{y_{pq,pq}} (\bar{z}_{pi} - \bar{z}_{oi}) \\ z_{ll} &= z_{pl} - z_{ql} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,po} (\bar{z}_{pl} - \bar{z}_{ol})}{y_{pq,pq}} \end{aligned} \quad (3.14)$$

จะมีกรณีเช่นเดียวกับการพิจารณา adding branch , ซึ่งเราคิด mutual - value ($\bar{y}_{pq,po}$) ออกจากความสนใจ และจะได้กรณีที่ย้ายขึ้นมาพิจารณาว่า

$$\begin{aligned} z_{li} &= z_{pi} - z_{qi} \\ \text{and;} \quad z_{ll} &= z_{pl} - z_{ql} + (1/y_{pq,pq}) \\ &= z_{pl} - z_{ql} + \bar{z}_{pq,pq} \end{aligned} \quad (3.15)$$

เมื่อ 1 เป็น fictitious bus, เราจะทำการขจัดทิ้ง (elimination) โดยทำการ short bus 1 กับ bus q ทำให้ได้สมการของบัสออกมา คือ

$$\begin{aligned} E_{bus} &= z_{bus} \cdot I_{bus} + \bar{z}_{il} \cdot I_l \\ e_1 &= \bar{z}_{lj} \cdot I_{bus} + z_{ll} \cdot I_l = 0 \\ & \quad (\text{where } i, j = 1, 2, 3, \dots, m) \end{aligned} \quad (3.16)$$

ซึ่งทำให้เราได้สมการบัสของระบบโดยการแก้สมการที่ 3.16 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{bus} = (Z_{bus} - \frac{\bar{z}_{11} \cdot \bar{z}_{1j}}{z_{11}}) \cdot I_{bus} \quad (3.17)$$

(ในกรณีพิเศษที่ บัส p เกิดเป็นบัสอ้างอิงของระบบไฟฟ้ากำลังนั้นๆ ด้วยแล้ว จะทำให้ z_{pi} และ z_{pl} ในสมการ 3.14 มีค่าเท่ากับศูนย์)

ค่าของ Z_{bus} จากการเพิ่มองค์ประกอบที่เป็น link จะทำให้ได้ Z_{bus} ใหม่ (Z'_{bus}) ซึ่ง

$$Z'_{bus} = (Z_{bus} - \frac{\bar{z}_{11} \cdot \bar{z}_{11}}{z_{11}}) \quad (3.18)$$

จากที่กล่าวมาแล้วนั้น จะแสดงถึงการสร้างบัสเมทริกซ์ที่เป็นอิมพีแดนซ์ โดย-
ผลของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแต่ละตัวภายในระบบ (และยังสมารถกระทำได้ในกรณีของ
Admittance Matrix ด้วย) เมื่อเราวิเคราะห์ระบบโดยทฤษฎี Ports-network ดังกล่าว
การเปลี่ยนแปลงใดๆที่เกิดขึ้นกับระบบจากการ fault , จะกระทำได้ในหลักการเดียวกัน (
ยังมีทฤษฎีที่แสดงผลของ Bus's Changing , แต่ความจริงก็นำมาจากการคิดเดียวกัน)

3.2.2 Simplificational Algorithm for Forming Bus Impedance & Admittance Matrix.

การวิเคราะห์ Bus Impedance Matrix ที่พิจารณาจาก primitive element ที่กล่าวมานั้น การใช้วิธีการดังกล่าวคำนวณตรงๆจะก่อให้เกิดข้อเสียเปรียบในรูปของหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์อย่างมาก การพิจารณาที่จะกล่าวต่อไปนี้จะ เป็นแนวทางในการฟอร์ม Bus - Impedance และ Admittance โดยการนำสมการที่ได้จากในหัวข้อ 3.2.1 และพิจารณาประกอบกับคุณสมบัติทางเมทริกซ์ของ Z-Bus และ Y-Bus ⁽⁴⁾ ซึ่งได้รวบรวมค่าของ mutual coupling เข้าไปในเมทริกซ์ด้วย (เนื่องจากมีความจำเป็นอย่างมาก กรณีที่ zero sequence network มีค่า mutual ที่ไม่อาจตัดทิ้งได้)

3.2.2.1 Algorithm for Z-Bus

การสร้าง Z-Bus สำหรับ network ใดๆนั้น การเพิ่มองค์ประกอบแต่ละตัวในเมทริกซ์จำเป็นต้องจัดลำดับ (Ordering) ขององค์ประกอบนั้นๆ โดยองค์ประกอบตัวแรกจะต้องเป็น impedance ของสายที่ต่อระหว่างบัสใดๆกับบัสอ้างอิง (reference bus) ของระบบก่อน - เสมอ (ในกรณีของ Y-Bus จะสามารถกระทำการคำนวณได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงว่าบัสแรกจะต้องต่อกับบัสอ้างอิง) การสร้างเมทริกซ์แบบนี้จะกระทำการคำนวณเป็นขั้นตอนไปพร้อมๆกับการจัดลำดับและบอกค่าว่าเป็นตำแหน่ง elements ใดในเมทริกซ์ ซึ่งจะต้องพิจารณา Previous Defined Matrix ก่อนเสมอ การอธิบาย algorithm ทางคอมพิวเตอร์จะเริ่มจากการเพิ่มองค์ประกอบเป็นกรณีแยกต่างๆ คือ

- Radial Impedance-to-Reference Bus
- Radial Branch-to-New Bus.
- Closing Loop to Reference.
- Closing Not Involving Reference.

และกรณีของ mutual coupling element ตามลำดับ (รูปที่ 3.5 แสดงกรณีต่างๆดังกล่าว)

ก) การเพิ่มองค์ประกอบที่เป็น Radial Impedance to Reference Bus.

ในรูปที่ 3.5 นั้น ความสัมพันธ์ของ column impedance จากบัส ที่เพิ่มเข้าไปในระบบ จะพิจารณาได้จาก $z_{ik} = z_{iq} = (v_i / I_k)$, ($i = 1, 2, \dots, n$; และ k เป็นบัสที่เพิ่มเข้าไป) คุณสมบัติของ branch ของบัส q (เพิ่มเข้าไปใหม่) จะทำให้กระแสหน่วยที่ไหลทดสอบให้ศักดาของบัส q ใหม่มีเท่ากัน ดังนั้นแมทริกซ์ของ Z-Bus จะไม่มี column vector ของ q ที่เป็น mutual element แต่จะมีเฉพาะ self element (z_{qq}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ impedance ของ branch ที่เพิ่มจาก reference point และ Z-Bus matrix สามารถแสดงได้ คือ

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & p & q \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ p \\ q \end{matrix} & \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1p} & 0 \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2p} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{p1} & z_{p2} & \dots & z_{pp} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \boxed{z} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(z - line impedance value of new branch)

$$z_{qq} = z; \quad z_{qi} = z_{iq} = 0 \quad (3.19)$$

ข) กรณีการเพิ่ม elements ที่เป็น Radial to New Bus.

การเพิ่ม elements ในลักษณะนี้วิเคราะห์ได้จากสมการที่ 3.9 ในหัวข้อ 3.2.1.1 ซึ่ง mutual coupling มีค่าเท่ากับศูนย์ และได้

$$\begin{aligned} z_{qi} &= z_{pi} \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ (previous bus)}) \\ z_{qq} &= z_{pq} + z_{pq,pq} \end{aligned}$$

(p is the bus that connected by q -bus, and $z_{pq,pq}$ is - impedance value of new branch)

(3.20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ $z_{qp} = z_{pp}$ ของ self element ของ bus-p ที่ q เข้าไปคือและ self impedance (z_{qq}) ของ bus-q ใหม่จะมีค่าเท่ากับ $z_{pp} + z_{pq,pq}$, ทำให้เราแสดงการเปลี่ยนแปลงของเมทริกซ์ คือ

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & p & \dots & m & q \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ p \\ \dots \\ m \\ q \end{matrix} & \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1p} & \dots & z_{1m} & z_{1p} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2p} & \dots & z_{2m} & z_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_p & z_p & \dots & z_{pp} & \dots & z_{pm} & z_{pp} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_m & z_m & \dots & z_{mp} & \dots & z_{mm} & z_{pm} \\ z_q & z_p & \dots & z_{pp} & \dots & z_{mp} & (z'') \end{bmatrix} \end{matrix}$$

($z'' = z_{pp} + z_{pq,pq}$)

(3.21)

ก) การเพิ่ม elements แบบ Closed Loop to Reference กับ Closed - Loop Not Involving Reference

รูป 3.5 จะแสดงลักษณะ closed loop circuit ของทั้งสองกรณีที่กล่าว โดยอาศัยแนวสมการจากหัวข้อ 3.2.1.2 (และจากวิธีการเพิ่มองค์ประกอบที่เป็น radial ที่แสดงไว้) เราสามารถพิจารณา fictitious bus-q ใดๆ เพิ่มในระบบ แล้วทำการขบออก elimination โดยวิธีการทางเมทริกซ์และ network แบ่งเป็นสองกรณี คือ

- a) Bus-q เป็น closed loop to reference ซึ่ง eliminate โดยการวิเคราะห์ให้ $v_q = 0$

$$\begin{bmatrix} E_i \\ E_q = 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{ii} & z_{iq} \\ z_{qi} & z_{qq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_i \\ I_q \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

(i - previous bus, q - new bus)

ซึ่งในการผสมการ 3.22 เรา eliminate bus-q จะทำให้ Z-matrix มีค่า

$$Z = \begin{bmatrix} z_{ii} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{iq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{qi} \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} z_{qq} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

b) Bus-q เป็น closed loop ไปยัง bus-i ใดๆ โดยต่อกับ bus-k ซึ่งทำการ eliminate bus-q โดยการ short bus-q กับ bus-i ($E_q - E_i = 0$)

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ \dots \\ E_i \\ \dots \\ E_k \\ \hline E_q - E_i = 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{11} & z_{1i} & z_{1k} & (z_{1k} - z_{1i}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{i1} & z_{ii} & z_{ik} & (z_{ik} - z_{ii}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{k1} & z_{ki} & z_{kk} & (z_{kk} - z_{ki}) \\ \hline (z_{k1} - z_{i1}) & \dots & \dots & z_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_q + I_i \\ \dots \\ I_k \\ \hline I_q \end{bmatrix}$$

(3.24)

โดยการ elimination จะได้ Z-matrix ;

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ z_{p1} & \dots & z_{pp} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{1k} & z_{1i} \\ \vdots & \vdots \\ z_{pk} & z_{pi} \end{bmatrix} \cdot z_{qq}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} (z_{k1} - z_{i1}) & \dots & (z_{kp} - z_{ip}) \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

ง) Mutual Coupling Branch of Z-bus

เนื่องจาก mutual coupled ระหว่าง elements ทำให้ลักษณะ network โดยเฉพาะกับ zero sequence เปลี่ยนแปลงค่าไปอย่างมาก ถึงแม้ว่าการพิจารณาว่า mutual couple มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ self impedance ของ line และตัดออกจากความสนใจ อาจจะไม่ก่อให้เกิดผลผิดในกรณีในระบบไฟฟ้าที่จะศึกษามีสายขนานมากๆ และกับการวิเคราะห์งานในระบบ Distribution System

การวิเคราะห์ผลของการเพิ่มองค์ประกอบที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 นั้น ได้แสดงค่าของแมทริกซ์เมื่อ elements ถูกเพิ่มเข้าไปจากบัส p ไปยังบัส q ใหม่ ซึ่งมีค่าความต้านทานคือ z_{pq}' เราสมมติว่า mutual coupling ของ element p-q กับ elements ที่มีอยู่ก่อนในแมทริกซ์มีค่าเป็น z_{mi} ใดๆ และมีค่าของความต้านทาน mutual เท่ากับ เราคำนวณได้ว่าสมการของบัสจะมีค่าต่างๆ คือ

$$z_{qi} = z_{pi} + \frac{\bar{y}_{pq,mn}(z_{mi} - z_{ni})}{y_{pq,pq}}$$

$$z_{qq} = z_{pq} + \frac{(1 + \bar{y}_{pq,mn}(\bar{z}_{mq} - \bar{z}_{nq}))}{y_{pq,pq}}$$

(q - added bus due to new element p-q)

m,n - previous defined bus of partial network) (3.26)

การสร้าง algorithm ในสมการที่ 3.26 นี้ สามารถที่จะพิจารณาเป็น group of mutual ที่จะเพิ่มเข้าไปในระบบ ซึ่งค่าของ z_{qi} , z_{qq} , $\bar{y}_{pq,mn}$, $y_{pq,pq}$ เป็นค่าของ linear matrix operation. ดังนั้นจะไม่อธิบายเพิ่มเติมแต่อย่างไร

อย่างไรก็ดีถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ mutual elements นั้นอยู่ในวิสัยที่จะกระทำได้ แต่ก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่หน่วยความจำจำนวนมากของคอมพิวเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปทั้ง

Impedance และ Admittance method ใช้ในการคำนวณ มักจะพิจารณาถึง mutual - coupled ออกจากระบบสายส่ง. เมื่อเห็นว่าผลที่เกิดขึ้นจะไม่ทำให้ค่าที่คำนวณออกมาผิดพลาดมาก

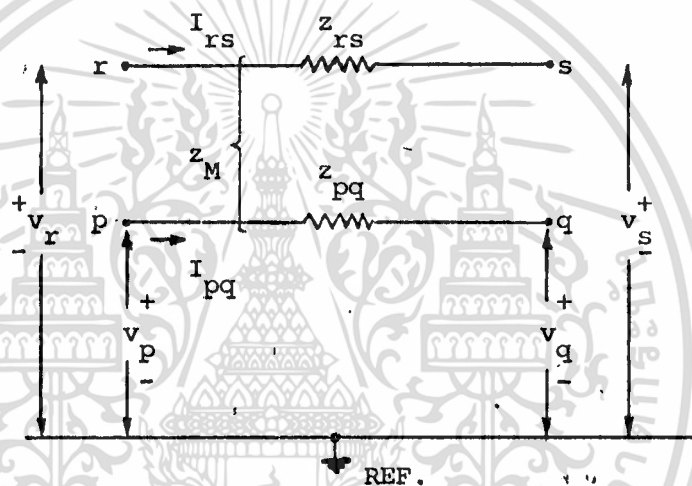
3.2.2.2 Algorithm สำหรับ Y-Bus.

การใช้ Y-Bus matrix เป็นข้อสังเกตเชิงในทฤษฎีของการลดจำนวนครั้งในการคำนวณ โดยอาศัยคุณสมบัติที่ Y-Bus matrix มีลักษณะ sparse (มี elements ในแมทริกซ์ที่มีค่าเป็นศูนย์จำนวนมาก) ในการวิเคราะห์คำนวณเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังโดยการแสดงระบบแบบ Y-Bus , จะให้ผลดีเป็นอย่างมากเมื่อเราใช้เทคนิคเกี่ยวกับการจัดลำดับในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Numerical Technique of Ordering) นอกจากนี้แล้วการสร้าง Y-Bus matrix ยังสะดวกกว่าการใช้ Z-Bus, ซึ่ง Y-Bus matrix สามารถพิจารณาการเพิ่ม elements เข้าสู่ระบบและแมทริกซ์โดยไม่ต้องคำนึงถึงว่า elements นั้นๆ จะใช้ reference เป็นบัสอ้างอิงอยู่ด้วยหรือไม่

แนวทางการสร้าง Y-Bus ของระบบนั้น จะใช้ลักษณะสำคัญของแมทริกซ์ ซึ่งการเพิ่ม admittance elements ใดๆจาก bus-p ไปบัสใหม่ q ของระบบ จะเป็นการนำค่า line admittance บวกเข้าไปใน diagonal และลบออกจาก off-diagonal ของแมทริกซ์ สมมติว่าให้ y_{pq} เป็น line admittance ที่ต่อเข้ากับ bus-p ในระบบเดิม และ q เป็น new node จะได้ Y-Bus คือ

$$Y = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \dots & p & \dots & q \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ p \\ \vdots \\ q \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc|c} y_{11} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \dots & y_{pp} + y_{pq} & \dots & -y_{pq} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & -y_{pq} & \dots & y_{pq} \end{array} \right] \end{matrix} \quad (3.27)$$

และกรณี q-bus เป็น reference, หรือ element p-q form loop ขึ้น
 ก็สามารถทำการ eliminate จากแมทริกซ์ได้ตามลำดับ และอีกกรณีที่จะกล่าวถึง คือ การ
 เพิ่มการพิจารณา mutual coupled ของ elements เราสามารถสังเกต circuit
 diagram ของ line ที่ต่อระหว่าง bus r-s และ p-q ซึ่งมี mutual coupled impe-
 dance = z_M จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดง Line Impedance และการ mutual coupled ระหว่างสาย
 ทั้งสองในส่วนหนึ่งของระบบ

จากรูปที่ 3.5 นั้นเราสามารถแสดง primitive voltage drop ได้คือ

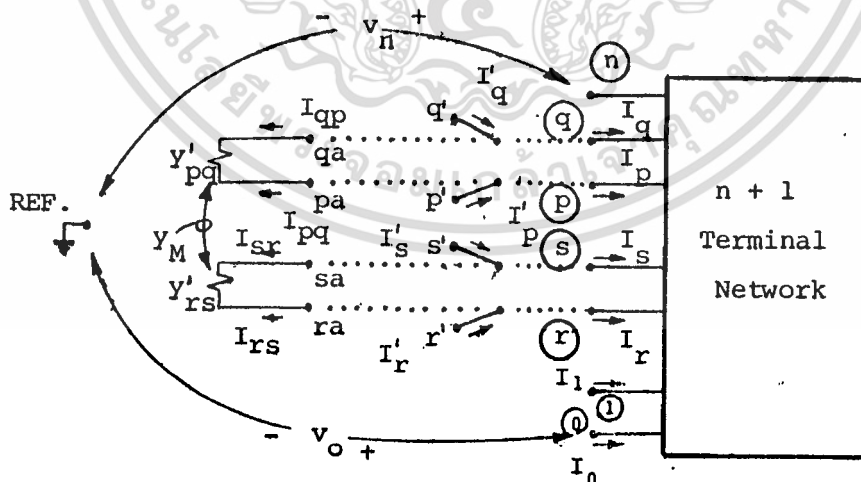
$$\begin{bmatrix} v_r - v_s \\ v_p - v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{rs} \\ v_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{rs} & z_M \\ z_M & z_{pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rs} \\ i_{pq} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{rs} \\ i_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y'_{rs} & y_M \\ y_M & y'_{pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r - v_s \\ v_p - v_q \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

จากสมการที่ (3.28) นั้น เนื่องจากคุณสมบัติ symmetry ของแมทริกซ์ ทำให้ off-diagonal (y_M) เท่ากัน และจากสมการเราสามารถขยายเพื่อแสดงค่าของ line current ที่ขึ้นกับค่าของ Bus voltage คือ

$$\begin{aligned} i_{rs} &= (y'_{rs} v_r - y'_{rs} v_s) + (y_M v_p - y_M v_q) \\ i_{sr} &= (-y'_{rs} v_r + y'_{rs} v_s) + (-y_M v_p + y_M v_q) \\ i_{pq} &= (y'_{pq} v_p - y'_{pq} v_q) + (y_M v_r - y_M v_s) \\ i_{qp} &= (-y'_{pq} v_p + y'_{pq} v_q) + (-y_M v_r + y_M v_s) \end{aligned} \quad (3.29)$$

สมการที่ (3.29) นี้ เราสามารถพิจารณาเป็น port-network ซึ่งมี injection mutual effect current ดังในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Port-Network ของ Mutual Effect.

จากรูป 3.6 เราสามารถแสดงแทนการ connection ของ bus r-s และ p-q โดยการพิจารณา q_a ของ elements เป็นต้นที่ต่อกับ bus-q ของ network เดิม และมีค่า injected current ที่มีเครื่องหมาย prime อยู่ จะได้

$$\begin{aligned} I'_r &= I_r + i_{rs} & ; & & I'_s &= I_s + i_{sr} \\ I'_q &= I_q + i_{qp} & ; & & I'_p &= I_p + i_{pq} \end{aligned} \quad (3.30)$$

การพิจารณาการเชื่อมต่อของ network ย่อย และเปลี่ยนเป็นรูปลักษณะของบัสแมทริกซ์ใหม่ มีหลักการเช่นเดียวกับการ transformation และจากรูปที่ 3.6 จะทำเครื่องหมาย dot (.) ไว้ที่ข้อ r และ p เพื่อให้ความสะดวก สำหรับบอกค่า z_M กับ matrix elements ของระบบที่มี subscript r และ p, และลบค่า z_M จาก element ที่ไม่ได้มี subscript (s,q) ตามสมการที่ 3.29 ซึ่งจะได้แมทริกซ์ใหม่ คือ

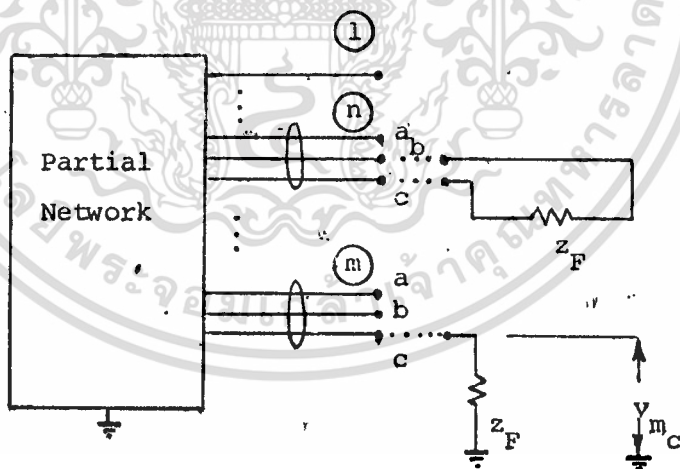
$$\begin{aligned}
I_0 &= y_{00}V_0 + \dots + y_{0r}V_r + y_{0s}V_s + \dots + y_{0p}V_p + y_{0q}V_q + \dots + y_{0n}V_n \\
I'_r &= y_{r0}V_0 + \dots + (y_{rr} + y'_r)V_r + (y_{rs} - y'_r)V_s + \dots + (y_{rp} + y'_r)V_p + (y_{rq} - y'_r)V_q + \dots + y_{rn}V_n \\
I'_s &= y_{s0}V_0 + \dots + (y_{sr} - y'_s)V_r + (y_{ss} + y'_s)V_s + \dots + (y_{sp} - y'_s)V_p + (y_{sq} + y'_s)V_q + \dots + y_{sn}V_n \\
&\dots \\
I'_p &= y_{p0}V_0 + \dots + (y_{pr} + y'_p)V_r + (y_{ps} - y'_p)V_s + \dots + (y_{pp} + y'_p)V_p + (y_{pq} - y'_p)V_q + \dots + y_{pn}V_n \\
I'_q &= y_{q0}V_0 + \dots + (y_{qr} - y'_q)V_r + (y_{qs} + y'_q)V_s + \dots + (y_{qp} - y'_q)V_p + (y_{qq} + y'_q)V_q + \dots + y_{qn}V_n \\
I_n &= y_{n0}V_0 + \dots + y_{nr}V_r + y_{ns}V_s + \dots + y_{np}V_p + y_{nq}V_q + \dots + y_{nn}V_n
\end{aligned}$$

(3.31)

ในการดำเนินการ adding group of lines ที่มี mutual, โดยเฉพาะ parallel line ในระบบนั้น ก็สามารถวิเคราะห์ได้ในแบบเดียวกัน

3.3 Port-Network ของ Sequence Network,

นอกจากการนำมาใช้ของ port-network สำหรับ Bus-matrix formation นั้น จากบทที่สองเราจะเห็นว่า วิธีวิเคราะห์ fault จะพิจารณาจุดของการเกิด fault เป็นขั้วของ fault ในระบบได้ และเป็น ports ของ network ที่มีการ changing เกิดขึ้น ความแตกต่าง คือ ลักษณะ ports ของ fault จะเป็นคู่ของขั้วที่มี source เป็น pre-fault และเป็น source แห่งเดียวในระบบขณะนั้น Circuit Diagram สำหรับ Fault-port connection แสดงได้ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7

Fault Port-Network Connection,

การผิดปกติ (fault) ที่เกิดขึ้นกับระบบหลายเฟส (multi-phase) ทำให้เราสามารถขยาย port เป็นชั่วเฟสแบบ port-network ของระบบ และจากการพิจารณาโดยการย้ายแกนเฟสเป็น symmetrical จะทำให้เราได้ sequence network ของ positive, negative และ zero sequence เกิดขึ้น โดย network ทั้งสามสามารถแสดงเป็น port-network ที่เป็นอิสระต่อกัน (เนื่องจาก phase network ทั้งสามเฟสมีลักษณะ balance และ symmetry ระหว่างเฟส ทำให้การ transform ให้ความอิสระดังกล่าวในหัวข้อ 2.3.3)

Boundary conditions ของ fault แต่ละชนิด ที่เราพิจารณาในการสร้างสมการคำนวณ sequence fault current จะเห็นว่าจากบทที่สอง นอกจากทางด้านคณิตศาสตร์แล้ว ผลของความคิดเกี่ยวกับระบบ จะเป็นตัวแสดงการเชื่อมต่อของ sequence network ทั้งสามตัว และ network ในแต่ละ sequence จะมี Impedance matrix ของตัวเอง ซึ่งจะนำมาหา equivalent circuit โดยมีชั่วที่เกิด fault เป็น reference การวิเคราะห์ในแนวทางลักษณะนี้ เป็นทฤษฎีของ " Kron's Primitive Network and Reduction of Network Matrix " (4) (15) (16)

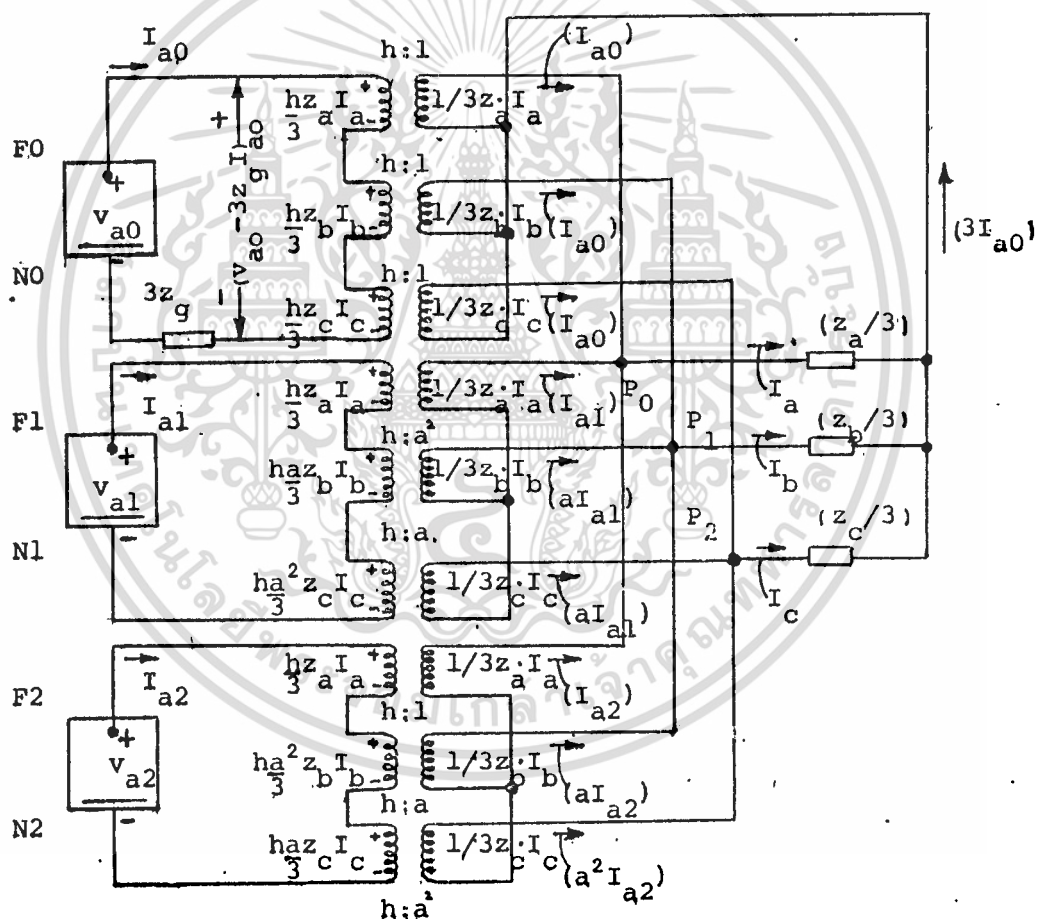
ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการหา equivalent value ของ network, จำเป็นจะต้องอธิบายถึงลักษณะ ของความผิดปกติที่ทำให้ sequence network เกิดการเชื่อมต่อกัน (connection) ซึ่งจะสามารถนำมาแก้ปัญหาการวิเคราะห์ที่ไม่ใช่เฟส a เป็นเฟสอ้างอิงได้ด้วย ทำให้สามารถมีอิสระในการศึกษามากขึ้น

3.3.1 Generalized Fault Diagram.

การวิเคราะห์ความผิดปกติโดยลักษณะ sequence network ได้ถูกพัฒนาแนวการศึกษาให้กว้างขวางขึ้น โดยพิจารณาการเชื่อมต่อของ networks ทั้งสาม เป็น diagram ที่เรียกว่า " Generalized Fault Diagram " (4)

จากที่เราสังเกตเห็นในทฤษฎีการหาสมการของกระแสที่เกิดจากความผิดปกติ ในบทที่ 2. เราจะได้นำความคิดในการจัดตัวเป็น series หรือ parallel และลักษณะอื่นๆจากการเกิดความผิดปกติแบบต่างๆ เช่น Single Line-to-ground ซึ่งก่อให้เกิดการ connection

ของ sequence networks ทั้งสามแบบอนุกรม เป็นต้น จุดอ่อนของวิธีการนี้ คือ การที่เราไม่สามารถเลือกเฟสใดเฟสหนึ่งเป็นเฟสของการสมมาตรได้โดยง่ายคาย ดังนั้นจึงมีการเสนอ-port-network transformation & connection ซึ่งอาศัย Ideal Phase Transformer ที่มีคุณสมบัติพิเศษเป็นตัวโยกระหว่างซีเค้นข้ออิสระ เพื่อประกอบเป็น Fault Circuit. รูปแสดงลักษณะของ idea จะแสดงในรูปที่ 3.8 และแสดงการ connection สำหรับ shunt fault และ longitudinal fault.



รูปที่ 3.8 a) Generalized Fault Diagram for Shunt Fault.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ideal Transformer จะมีคุณสมบัติของ transfer gain, $n = \frac{I_2}{I_1} = \frac{V_2}{V_1}$ และ (n) จะมีค่าเป็น phase transfer functional ด้วย การที่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสได้ ทำให้ transformer ใน diagram ของรูป 3.8 สามารถที่จะเปลี่ยนค่าเมื่อเกิดการผิดปกติที่ไม่ใช่เฟส a เป็นเฟสอื่นดังได้ โดย tap ของ n จะมีค่าเป็น phasor ที่สอดคล้องกับ symmetrical transformation ซึ่งมีค่า $a = e^{j2\pi/3}$ เป็นมาตรฐาน ค่าของ n สำหรับการ fault ของเฟสต่างๆจะแสดงไว้ใน Table 3.1 ตามลำดับ

Table 3.1 Variable Tap Summary of Ideal Phase Transformer

faulted phase	phase shift		
	n_0	n_1	n_2
a	1	1	1
b	1	a^2	a
c	1	a	a^2

3.3.2 Kron's Equivalent of Port-Network

นอกจากการวิเคราะห์ที่ต้องการวิธีการในการสร้าง bus-matrix ซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2 นั้น ปัญหาที่สำคัญมาก คือ ความสามารถในการวิเคราะห์ equivalent value ของ network จากสมการบัส ไม่ว่าจะต้องการหาจากตำแหน่งใดของระบบ ถึงแม้ในหัวข้อ 3.2 เราได้แสดงการยุบ bus-q ซึ่งเป็น fictitious bus ไว้ แต่ลักษณะวิธีการดังกล่าวก็เป็นความคิดแบบ Kron's Primitive Network นั้นเอง ในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงโครงสร้าง network กับลักษณะของ reduction แต่ละขั้นตอน และค่าจากการยุบบัสใน bus-matrix ของ Impedance และ Admittance

Primitive Circuit จะมีลักษณะของ ports โดยความหัดของทฤษฎี Thevenin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and Norton's Theorem of Equivalent Impedance ที่มองจาก ports และเมื่อ primitive circuit ถูกพิจารณาเป็น port-matrix (Bus-matrix). การหาค่าของ equivalent value ใน Z-Bus และ Y-Bus. จะเป็นการ open current source & short circuit voltage source ของ ports ต่างๆในระบบ เมื่อเราพิจารณาสมการบัลของคircuit และกระแส ซึ่ง

$$\begin{aligned} E_{bus} &= Z_{bus} \cdot I_{bus} \\ I_{bus} &= Y_{bus} \cdot E_{bus} \end{aligned} \quad (3.32)$$

การ Elimination ของ bus โดยลักษณะ submatrix ทั้ง Z-Bus และ Y-Bus เรากระทำโดย short circuit bus voltage และ การ open bus current ของ port-network matrix. เราใช้อักษรย่อ R สำหรับบัลที่ต้องการเป็นหลักในการมองกลับเข้าไปใน network และ e สำหรับบัลที่ต้องการยุบออกจากระบบแมทริกซ์ จะได้

$$\begin{bmatrix} E_{R1} \\ \vdots \\ E_{Rm} \\ \dots \\ E_{em+1} \\ \vdots \\ E_{en} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ Z_{RR} & Z_{Re} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ Z_{eR} & Z_{ee} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{R1} \\ \vdots \\ I_{Rm} \\ \dots \\ I_{em+1} \\ \vdots \\ I_{en} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_{R1} \\ \vdots \\ I_{Rm} \\ \dots \\ I_{em+1} \\ \vdots \\ I_{en} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ Y_{RR} & Y_{Re} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ Y_{eR} & Y_{ee} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{R1} \\ \vdots \\ E_{Rm} \\ \dots \\ E_{em+1} \\ \vdots \\ E_{en} \end{bmatrix}$$

(3.33)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.33) เราสามารถหาสมการของบัสที่เหลือในระบบเป็น equivalent value ซึ่ง

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_R \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} z_{RR} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{Re} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{ee} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_{eR} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_R \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} I_R \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} y_{RR} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y_{Re} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{ee} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_{eR} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_R \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(3.34)

ซึ่ง elements ของ matrix ใหม่จะได้ แต่ละ element คือ

$$\begin{aligned} z_{rr \text{ new}} &= \left(z_{rr} - \frac{(z_{re} \cdot z_{er})}{z_{ee}} \right) \\ y_{rr \text{ new}} &= \left(y_{rr} - \frac{(y_{re} \cdot y_{er})}{y_{ee}} \right) \end{aligned}$$

(3.35)

โดยความจริงแล้ว Reduction ของ network นี้ไม่ได้แสดงความคิดใหม่ๆแต่อย่างใด ไรกับความรู้อยู่เดิม แต่การวิเคราะห์หาเทคนิคในการพิจารณากับลักษณะ port-matrix ให้ข้อคิดที่ดีเพิ่มขึ้น การคำนวณโดยอาศัย Bus-Impedance และ Admittance แทนระบบ จะมีข้อดีและข้อเสียเปรียบในรูปแบบของ Basic Matrix Operation ซึ่งเป็นหลักที่ถูกยกขึ้นมาพิจารณาพัฒนาทาง Numerical Techniques ทางคอมพิวเตอร์ ให้มีประสิทธิภาพในแง่ความรวดเร็ว-ความถูกต้อง และพื้นที่ความจำที่ต้องใช้ภายในโปรแกรม

สำหรับการหาแนวทางที่ดีในการคำนวณทาง network นั้น Z-Bus ซึ่งเป็น full-matrix ในระบบไฟฟ้ากำลัง ไม่สามารถลดจำนวนครั้งและจำนวนความจำในการคำนวณได้ แต่ Z-Bus จะช่วยในกรณีที่จะต้องหลีกเลี่ยงการ inversion ในด้านคอมพิวเตอร์โปรแกรม ส่วนการใช้ Y-Bus นั้น จะสามารถพิจารณาลดการคำนวณจากลักษณะ sparsity ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการจัดลำดับ (ordering) ของแต่ละ elements ในแมทริกซ์ แต่การใช้ Y-Bus นั้นก็มีจุดอ่อนเหมือนกันในแง่ของความยากลำบากต่อการคำนวณ linear equation โดยจะกระทำตามเทคนิคดังกล่าว

(4) (10) (11)

3.4 การวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นพร้อมกัน (Simultaneous Fault)

ถึงแม้ปัญหานี้ดูเหมือนจะไม่ได้ก้าวไปสู่การศึกษา simultaneous fault โดยตรง แต่ลักษณะพื้นฐานการคำนวณความผิดปกติที่เกิดขึ้นหลายๆจุด และหลายๆชนิดพร้อมกันในระบบก็อาศัยหลักทฤษฎีดังที่กล่าวมานั่นเอง ความผิดปกติในลักษณะนี้อาจจะเป็น กรณี เช่น การเกิด shunt fault และ series fault พร้อมกันขณะใดขณะหนึ่ง เราสามารถแสดง port-network matrix ไว้ได้ในรูปที่ 3.9 โดย D และ K เป็น node pair ของ fault ports- และถูกกำหนดขึ้นแบบให้เป็น 4 ขั้ว (terminals) จาก network และทำการวิเคราะห์โดย linear matrix ได้ดังกล่าว



รูปที่ 3.9 แสดง Double Fault Ports ที่เกิดขึ้นกับระบบ

ความสัมพันธ์ระหว่าง port I และ port II จะได้

$$\begin{bmatrix} V_I \\ V_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{I I} & z_{I II} \\ z_{II I} & z_{II II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_I \\ I_{II} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_I^{(0)} \\ V_{II}^{(0)} \end{bmatrix}$$

(3.36)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V_I, V_{II} - เป็น voltage ที่ port I และ II ของระบบ
 $V_I^{(0)}, V_{II}^{(0)}$ - เป็น open circuit voltage ของ port และ มีค่าเฉพาะกับ positive sequence

จากความสัมพันธ์ของ network , เมื่อเรากล่าวถึง Driving Point Impedance ซึ่งหาได้จากบัสเมทริกซ์มีค่าของ z_{DD}, z_{DK}, z_{KK} เป็น elements ในเมทริกซ์ ได้

$$\begin{bmatrix} V_D \\ V_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{DD} & z_{DK} \\ z_{KD} & z_{KK} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_D \\ I_K \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

จากสมการที่ 3.36 และ 3.37 เราจะหาค่า self elements ในสมการที่ 3.36 ได้ง่ายๆ คือ

$$z_{I I} (z_{II II}) = z_{DD} + z_{KK} - 2 \cdot z_{DK} \quad (3.38)$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้าพิจารณา transfer impedance ของ port I และ II เราจะได้ค่า

$$z_{I II} = z_{D I II} - z_{D I K II} \quad (3.39)$$

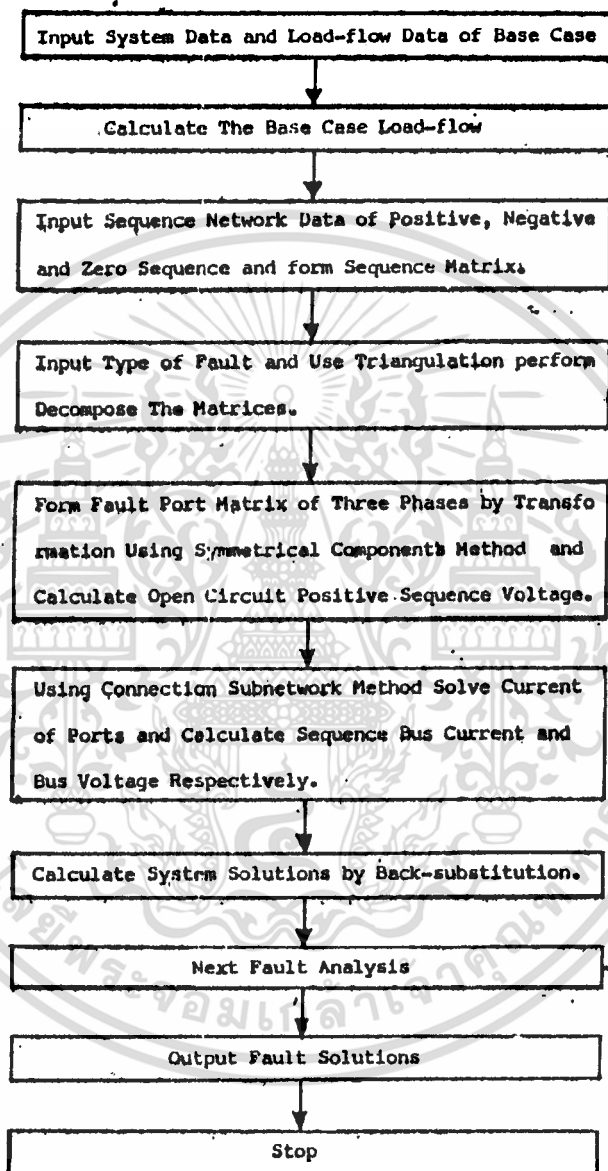
จะเห็นว่าการ fault ในลักษณะนี้ ถึงแม้ว่าจะแสดงสมการทางเมทริกซ์ได้ แต่ในการคำนวณวิเคราะห์จริงๆ นั้น มีความยุ่งยากต่อการหาค่าของ Impedance matrix มากโดยเฉพาะ port-network แบบ multi-port ทำให้การแสดงค่าอิมพีแดนซ์สัมพันธ์กับการคำนวณหาค่า equivalent ที่เป็นบัลเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ มากขึ้น และ bus-K ไม่ใช่กรณีของ reference ของระบบเป็นกรณีของ series fault การพิจารณาพื้นฐานของบัสเมทริกซ์ และ เทคนิคการคำนวณความเปลี่ยนแปลง จึงเป็นเป้าหมายแรกในการวิเคราะห์ที่สําคัญอย่างมาก

3.5 ขั้นตอนหลักในการคำนวณลักษณะโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

จากในหัวข้อที่กล่าวมาทั้งหมด ขั้นตอนการวิเคราะห์สามารถแบ่งเป็นลำดับต่างๆ คือ

- การวิเคราะห์ระบบที่สภาวะปกติก่อน เพื่อทราบถึง pre-fault value ซึ่งทำได้โดยการคำนวณ Load-flow ของระบบ
- การวิเคราะห์สร้าง System matrix ของ positive, negative และ zero sequences.
- การนำชนิดของ fault และ boundary conditions มาเป็นข้อมูลเบื้องต้น
- การหาค่าสมมูลของระบบ (Equivalent Circuit) จากเงื่อนไขข้อ c) โดยการ
- การเชื่อมต่อของระบบ sequence networks ตามเงื่อนไขของ c) เพื่อคำนวณกระแส และศักดาไฟฟ้าของจุดที่เกิดความผิดปกติ
- การแสดงผล (Output Solutions) จากที่คำนวณได้ ทั้งลักษณะค่าของเฟส และ sequences

ขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้ จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.10 เป็น Flow-Chart สำหรับ Program algorithm หลัก



รูปที่ 3.10 Flow-Chart showing steps of Fault Calculation.

3.6 สรุป

การคำนวณค่าของผลจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่สอง และการพิจารณาวิเคราะห์โดย Network's Bus-matrix นั้น จะเห็นว่าสิ่งที่เป็ปัญหาหลักคือ แก่งของลักษณะโครงข่าย และความเปลี่ยนแปลงของ network เป็นเรื่องที่สำคัญ คอมพิวเตอร์ จะคำนวณค่าอย่างถูกต้อง, รวดเร็ว หรือไม่ยอมขึ้นกับการพิจารณาคุณลักษณะประกอบของ network กับสมการคณิตศาสตร์ไปพร้อมๆกันอย่างรอบคอบ การเปลี่ยนแกนโดยทฤษฎี Symmetrical Co-ordination Transformation ก่อให้เกิดความจำเป็นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากการเปรียบเทียบการเพิ่มระบบขึ้นถึงสามเท่า และเพิ่มตัวแปรขึ้นอย่างมากมายในการแก้ปัญหา พลอยทำให้การสร้าง Bus-equation ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเป็นอย่างมาก

ดังนั้น การพิจารณาจริงๆในการนำผลจากทฤษฎีมาปฏิบัติในการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางขึ้น และวิธีการเหล่านี้มีข้อคิดเห็น ในการใช้หลายแนวทาง ปริณยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกนำวิธีการสองแบบเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ - ที่จะนำมากล่าวเป็นหัวใจของงานในบทต่อไปตามลำดับ โดยอาศัยหลักการที่อธิบายมาตั้งแต่ต้นนั้น

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความผิดปกติโดยวิธี Bus Impedance Matrix.

(Fault Analysis By Bus Impedance Matrix Method)

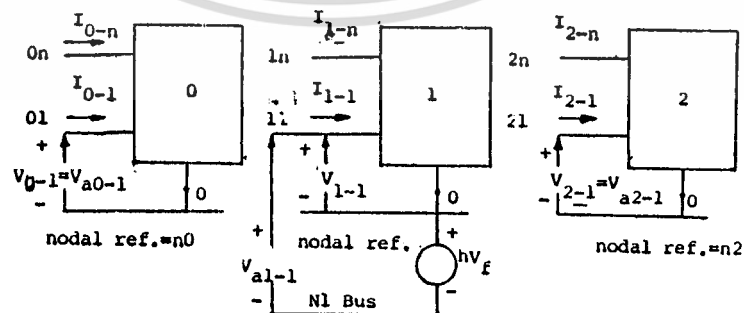
4.1 บทนำ

ในบทนี้ได้แสดงวิธีการ และ Flow Chart ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติโดยสมการสำหรับ sequence current จากหัวข้อ 2.4 และวิธีการสำหรับ Form Bus Impedance Matrix จากหัวข้อ 3.2.2.1 จะถูกนำมาเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติแบบ

1. Single Line-to-ground.
2. Line-to-line.
3. Double Line-to-ground.

และได้รวบรวมการคำนวณ Branch Current Value ไว้ด้วยเพิ่มเติม ในการวิเคราะห์ด้วย Z-Bus Method นี้ ได้สนใจเกี่ยวกับความถูกต้องของ solutions เป็นหลัก ซึ่งได้คำนวณผลของ mutual coupling และค่าของ resistance ของระบบเพื่อส่งเกดถึงคำตอบที่ได้มา ในบทนี้จะแสดง plotted graph ของ fault solutions ให้เห็นชัดไว้ด้วย

4.2 Impedance Matrix in Shunt Fault Computation.



รูปที่ 4.1 Sequence Quantities Defined for Nodal Equations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 คือ positive, negative และ zero sequence network ซึ่งมี
 บัสอ้างอิง คือ บัส 0 เรากำหนดให้กระแสไหลเข้า network ที่ bus 1,2,...,n และ
 voltage drop จากแต่ละบัสเทียบกับบัสอ้างอิง เราจะได้สมการ คือ

$$[V_{a0-i}] = -[z_{0-ij}][I_{0-i}] \quad (4.1)$$

$$[V_{a1-i}] = h[V_f] - [z_{1-ij}][I_{1-i}] \quad (4.2)$$

$$[V_{a2-i}] = -[z_{2-ij}][I_{2-i}] \quad (4.3)$$

โดย subscript คือ sequence bus สำหรับ Z-Bus (open circuit driving point and transfer impedance) นั้นหาได้หลายวิธี ในที่นี้ทำโดย Impedance Matrix Algorithm

สำหรับ current ที่ไหลระหว่าง bus ij หาได้จากสมการ

$$I_{s-ij} = (V_i - V_j)/z_{ij} = \frac{(z_{s-jk} - z_{s-ik})(I_{s-k})}{z_{ij}}$$

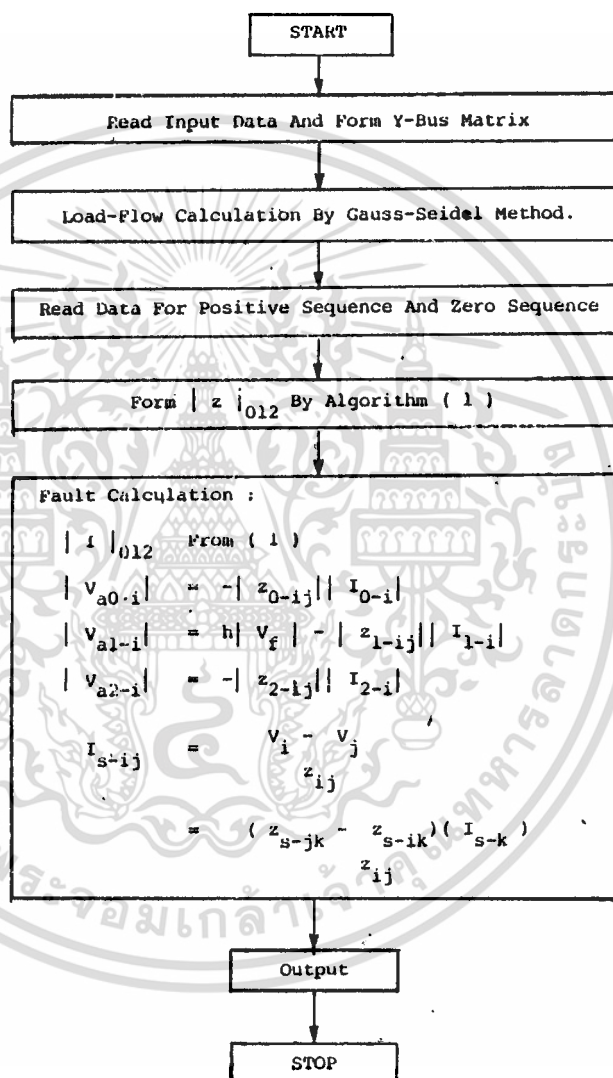
(โดย k : บัสที่เกิด fault

z_{ij} : primitive impedance element between bus i and j)

(4.4)

4.3 ขั้นตอนการคำนวณ และ Flow-Chart.

ขั้นตอนของการคำนวณ fault นี้เป็นตามแบบที่อธิบายในบทที่ 3 ไว้ตรงๆ โดยเฉพาะการวิเคราะห์จะกระทำโดยไม่มีการ simplification เลย และในรูปที่ 4.2 จะคล้ายคลึงกับ Flow-Chart ในรูปที่ 3.10 แต่ได้เพิ่มเติมสมการรายละเอียดลงไปตามลำดับ



รูปที่ 4.2 Fault Calculation Flow-Chart.

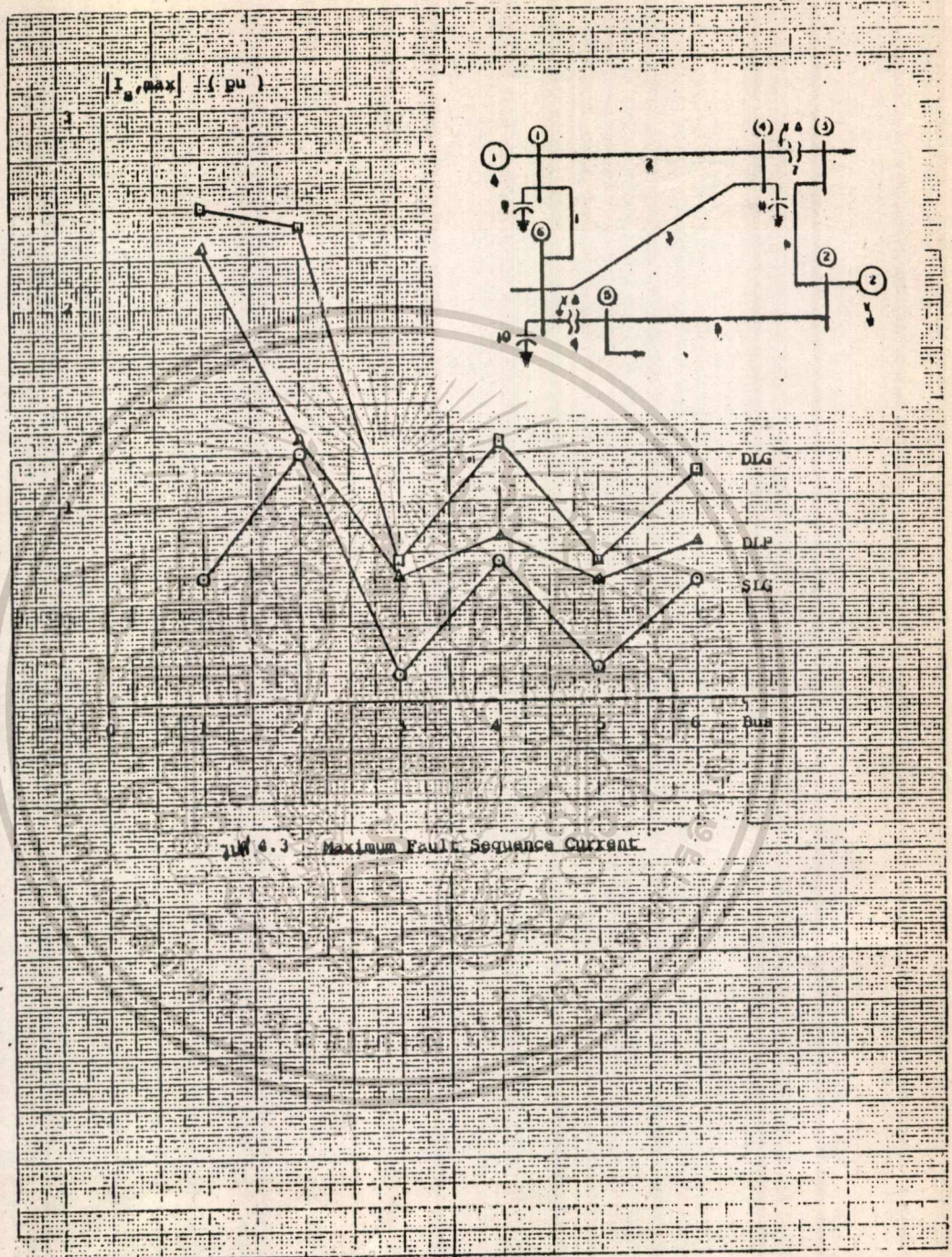
4.4 ผลการวิเคราะห์

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้แสดงในรูปที่ 4.3, 4.4 ส่วนโปรแกรม และ solutions - โดยจะแยกแสดงไว้ใน Appendix I, II ตามลำดับ

จากกราฟ Maximum Fault Sequence Current ของความผิดปกติแบบ Single Line-to-ground, Line-to-line, Double Line-to-ground ได้ถูกแสดงไว้ที่แต่ละบัส - ของระบบ

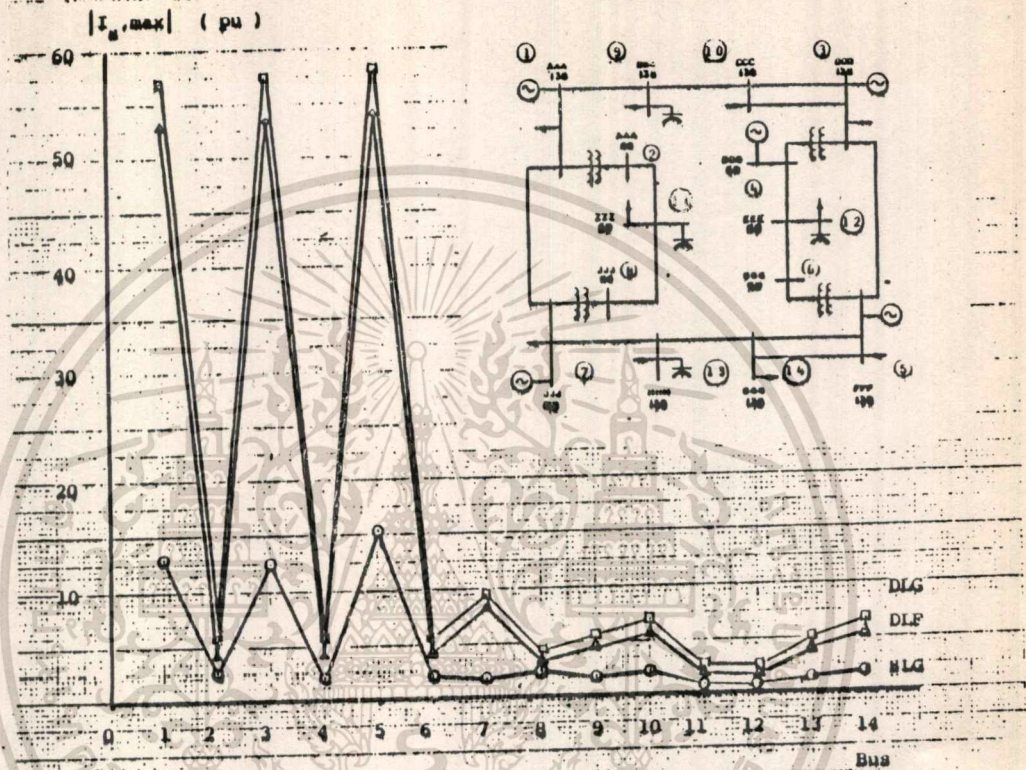
Solutions ที่ได้จากการวิเคราะห์มีความถูกต้องสูง และเชื่อถือได้โดยนำมาแสดงเปรียบเทียบเป็นบางส่วน ในรูปที่ 4.5 เป็นผลของ SLG-fault ที่เกิดขึ้นที่บัส 1 ของ 14-Buses system (รูปที่ 4.4)

เมื่อพิจารณาเวลาของ Computer Processing Time ที่แสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า เวลาที่ใช้เพิ่มขึ้น เมื่อขนาดของระบบใหญ่ขึ้น แต่ข้อนี้สามารถทดแทนข้อเสียได้จากผลของ Z-Bus ที่ได้ทำให้สามารถคำนวณ fault ที่ทุกบัสในระบบได้ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน (การคำนวณ Z-Bus จะกระทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้น)



รูป 4.3 Maximum Fault Sequence Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



รูปที่ 4.4 Maximum Fault Sequence Current

Solutions From Reference 4

Bus	Name	VOLTS	DEGREE	AMPS	DEGREE
1	AA138	0.0143	-0.1	13.110	-88.5P
		0.1257	-179.5	13.110	-88.5M
		0.1400	179.0	13.110	-88.5S

0-0

1.0000	0.0	17.412	-89.41
0.0	0.0	12.568	-89.50
0.0	0.0	12.568	-89.54
0.0	0.0	12.569	-89.52

2-0

0.0015	0.2	0.060	-81.60
0.1103	179.7	0.060	-81.64
0.0	0.0	0.0	0.00

3-0

0.0015	-0.3	0.015	-76.00
0.0393	-168.3	0.015	-76.00
0.3174	179.0	0.300	-76.31

4-0

0.0015	-0.1	0.201	-71.30
0.0442	-179.2	0.201	-71.34
0.4412	-179.2	0.300	-71.31

Solutions By Z-Bus Method.

Bus	Name	VOLTS	DEGREE	AMPS	DEGREE
1	AA138	0.7146	179.0	39.933	-88.5 P
		0.4743	-0.1	13.111	-88.5 M
		0.1257	-179.5	13.111	-88.5 S

0-0

0.0000	0.0	17.413	-89.41
1.0000	0.0	12.568	-89.50
0.0000	0.0	12.569	-89.51

2-0

0.5174	179.8	1.177	-76.1
0.0414	-0.3	0.415	-76.0
0.0393	-168.3	0.415	-76.0

3-0

0.4410	-179.2	1.081	-71.4
0.0338	-0.1	0.201	-71.3
0.0442	-179.2	0.201	-71.3

4-0

0.0000	0.0	0.000	-81.6
0.8811	0.0	0.008	-81.6
0.1103	179.7	0.008	-81.6

Figure 4.5 Solutions for bus 1 using SLG.

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบเวลาในการคำนวณความผิดปกติ (Fault Calculation)

Number of System Bus	Time for Z - Bus	Time for SLG*	Time for DLF*	Time for DLG*
3	0.608	0.874	0.686	0.738
6	1.481	1.472	1.217	1.336
14	8.495	3.797	3.249	3.286

* second

4.5 สรุป

Z-Bus Method เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ให้ความถูกต้องสูง ในขณะที่ยวกันความสามารถที่จะแก้ปัญหาได้โดยการ Form Z-Bus เพียงครั้งเดียวก็เป็นข้อดีเด่นของวิธีการ เมื่อคำนึงถึงผลของ Computer Storage ซึ่งจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำสูงจะสามารถทดแทนแก้ไขได้โดยวิธีการของ H.H. Happ⁽¹⁶⁾ เพื่อศึกษาระบบเป็นแบบส่วนย่อย (piecewise) ทำให้เราลดหน่วยความจำลงได้และสะดวกต่อการวิเคราะห์



บทที่ 5

การวิเคราะห์ความผิดปกติ โดยวิธีแยกส่วน Y-Bus.

(Fault Analysis by Piecewise Y-Bus Method.)

5.1 บทนำ

การวิเคราะห์ Y-Bus matrix ของระบบไฟฟ้ากำลังที่จะกล่าวถึงในบทนี้นั้น ได้คำนึงถึงการใช้คุณสมบัติ sparse ของแมทริกซ์ โดยพิจารณาสร้างตัวแปร (variable) ที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer) ในการลำดับ (Ordering) branch และ bus ในระบบ network ซึ่งจะทำให้การสร้างแมทริกซ์ด้วยคุณสมบัติลักษณะเช่นนี้เป็นหลัก การจัดลำดับ (Ordering) สำหรับ Network's Triangulation ของระบบ จะพิจารณาประกอบโดยการใช้ Semi-Optimal Ordering Triangulation (13) (17) (18) กับ Y-Bus. และหาค่าสมมูลย์ (equivalent) ของ sequence admittance matrix. เป็นการแสดงเทคนิคทางการคำนวณเพื่อจำนวนของทางคณิตศาสตร์และเวลาที่ต้องใช้จากคอมพิวเตอร์

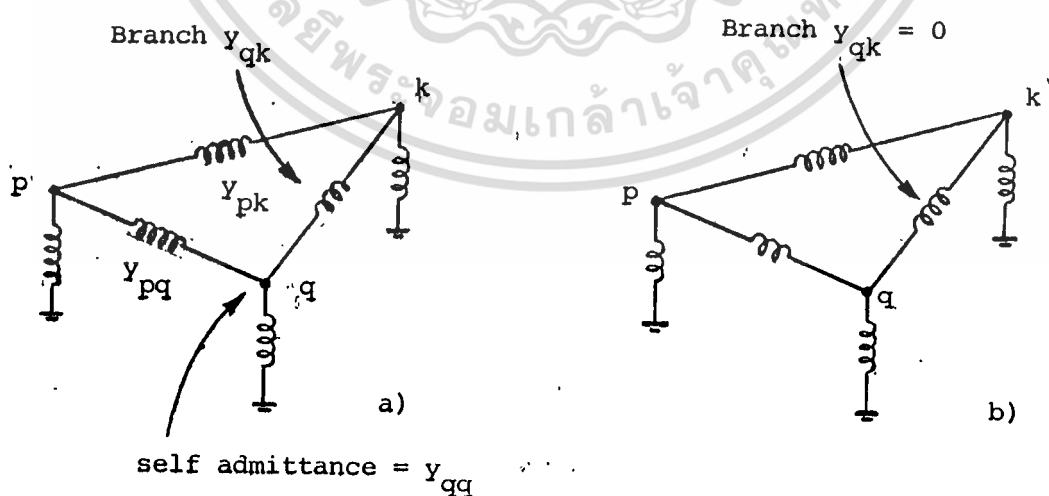
ส่วนการคำนวณค่ากระแสที่เกิดจากความผิดปกติ จะอาศัยเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ในแกนของเฟส เพื่อคำนวณ fault โดยการหลีกเลี่ยงการใช้แมทริกซ์ การคำนวณขั้นสุดท้ายจะกระทำกับ Piecewise Y-Bus matrix ที่เป็นค่าเฟส การใช้วิธีการดังกล่าวนี้ เพราะ การพิจารณาเฟสจะสามารถเชื่อมต่อ fault ports ของ network matrix ได้ง่ายกว่าบนแกนซีเคอร์นซ์ โดยอาศัย Subnetwork Connection ตามทฤษฎีของ Diakoptics of Tearing Network เป็นหลักโดยสร้าง Transformation Matrix ในการเชื่อมต่อวงจรของระบบย่อยๆ จาก equivalent และกับ fault impedances เข้าด้วยกัน

5.2 การ Triangulation กับ Y-Bus.

ในระบบไฟฟ้ากำลังถ้าเราสร้าง admittance matrix เพื่ออธิบาย network ของระบบ เราจะทราบความสัมพันธ์ของ elements จริง กับ elements ในแมทริกซ์ ซึ่งถ้า-

สายส่งมี admittance value เท่ากับ y_{pq} (สายส่งเชื่อมโยงระหว่างบัส p ไปยังบัส q)
 จากค่านี้ bus admittance value ที่เป็น mutual จาก column p - row q (หรือ column
 q - row p เนื่องจากการ symmetry ของเมทริกซ์) จะมีค่าเท่ากับ $-y_{pq}$ นี้ ส่วน
 diagonal elements ที่ตำแหน่ง p และ q ในเมทริกซ์ จะถูกพิจารณาบวกค่าเข้ากับ admittance
 เดิม ด้วยค่า y_{pq} ดังนั้นลักษณะของบัสคู่ใดๆที่ไม่มีสายต่อถึงกัน จึงไม่มี elements
 ระหว่างบัสทั้งสองในเมทริกซ์นั้นด้วย คุณสมบัติอันนี้ ทำให้ Y-Bus matrix มี zero value
 อยู่เป็นจำนวนมากในเมทริกซ์ ซึ่งจากระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ทั่วไปแล้ว จะเหลืออัตราส่วนของ
 จำนวนสายส่งต่อจำนวนบัสเพียงไม่เกิน 1.5 เท่า เท่านั้น (4)

การสังเกตเมทริกซ์ที่กล่าวข้างต้น (ซึ่งได้อธิบายไว้แล้ว เกี่ยวกับการสร้าง Y-Bus
 matrix ในบทที่ 3) จะนำมาศึกษาโดยตรงเมื่อระบบถูกทำการ triangulate เพื่อหาค่าสม
 มูลย์ที่มองจากบัสใดๆ วิธีการหาค่าสมมูลต่อเมทริกซ์ โดยทฤษฎีของ Kron's Reduction -
 นั้น ถ้าเราพิจารณาดูอย่างระบบไฟฟ้าที่มีบัสอยู่เป็น 3 บัส คือ p, q และ k, แล้วกระ-
 ทำการตัดบัส p ออกจากเมทริกซ์ (เพื่อหา equivalent ที่เหลือ มองจากบัส q และ k) เรา
 จะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เป็นสองลักษณะ ซึ่งรูปแสดงระบบที่จะศึกษาดังกล่าวสอง
 แบบ แสดงในรูปที่ 5.1 a และ b และจะอธิบายแยกกันไว้เป็นข้อๆตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ระบบตัวอย่างง่ายๆสองแบบที่นำมาพิจารณาในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 กรณีของระบบที่ต่อถึงกันหมดด้วยสายส่ง

จากรูปที่ 5.1 a) จะแสดงระบบในการถักแรกนี้ บัส p, q และ k จะมีสายส่งต่อถึงกัน เป็น ค่า admittance elements y_{kq} , y_{qp} , y_{pk} และมีค่า admittance to reference คือ y_{kk} , y_{qq} , y_{pp} ทำให้เราได้ Y-Bus matrix ของ network มีค่า

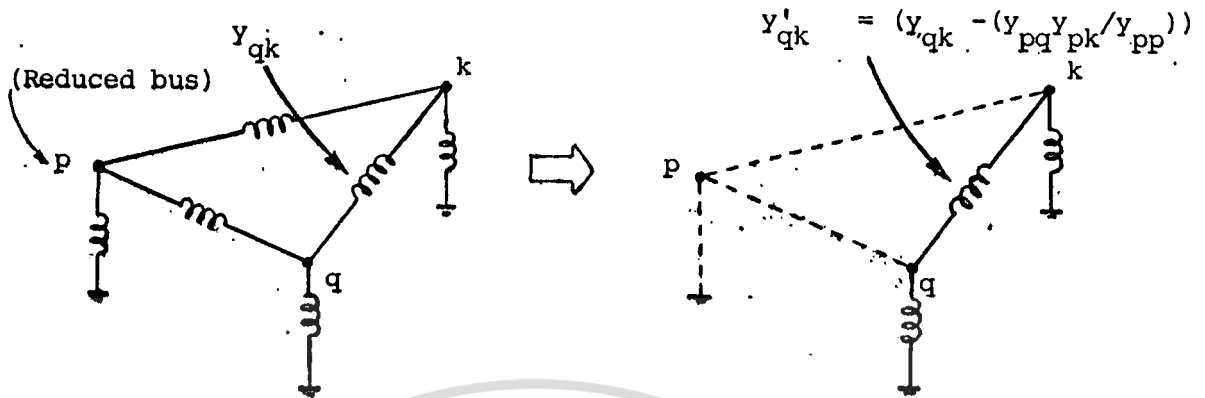
$$Y_{bus} = \begin{matrix} & \begin{matrix} p & q & k \end{matrix} \\ \begin{matrix} p \\ q \\ k \end{matrix} & \begin{bmatrix} (y_{pp} + y_{pq} + y_{pk}) & -y_{pq} & -y_{pk} \\ -y_{qp} & (y_{qq} + y_{qp} + y_{qk}) & -y_{qk} \\ -y_{kp} & -y_{kq} & (y_{kk} + y_{kp} + y_{kq}) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.1)$$

และการ reduction bus-p จะกระทำโดยสมการที่ 3.35 ได้ admittance matrix ของ qk bus มีค่า (เครื่องหมาย prime ที่ใช้ สำหรับค่าใหม่ที่ได้)

$$Y'_{bus} = \begin{matrix} & \begin{matrix} q & k \end{matrix} \\ \begin{matrix} q \\ k \end{matrix} & \begin{bmatrix} y'_{qq} & y'_{qk} \\ y'_{kq} & y'_{kk} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} y'_{qq} &= (y_{qq} - y_{pq} \cdot y_{qp} / y_{pp}) \\ y'_{kk} &= (y_{kk} - y_{pk} \cdot y_{kp} / y_{pp}) \\ y'_{kq} &= y'_{qk} = (y_{kq} - y_{pq} \cdot y_{kp} / y_{pp}) \end{aligned} \quad (5.2)$$

ซึ่งลักษณะการ triangulation-Reduction ทำให้ bus-p หายไปจากระบบ และค่าของ-self และ mutual elements ที่บัส q และ k เปลี่ยนแปลงไป แสดงได้ในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงผลของการ Reduction ซึ่งให้ network equivalent ใหม่

5.2.2 กรณีที่ระบบไม่ได้คือถึงกันหมด (Mostly Tree Graph)

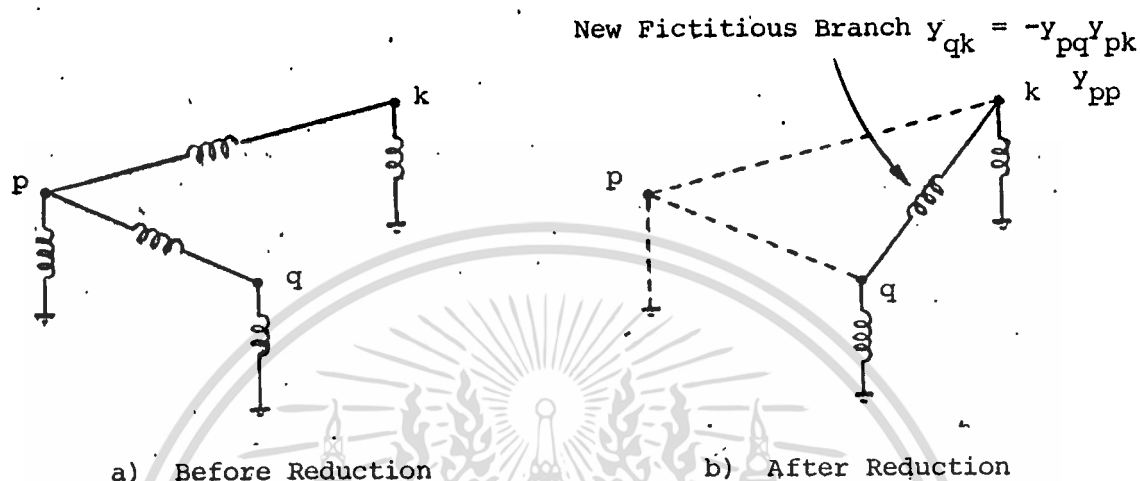
ผลของการ Reduction จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น เพราะการเกิดของ branch (line) ใหม่ระหว่าง bus-q และ k ในรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบที่ทำให้เราได้ความคิดในการจัดลำดับการ triangulate matrix อย่างเหมาะสม - ลักษณะเช่นนี้จากกรณี 5.2.1 เราจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่าของ mutual elements ในขัสมมาตรกันนั้น มีค่า คือ (จากสมการที่ 5.2)

$$y'_{kq} = y_{kq} - (y_{pq} \cdot y_{kp}) / y_{pp}$$

$$\Delta y_{kq} = -y_{pq} \cdot y_{kp} / y_{pp} \quad (5.3)$$

ในกรณีที่ระบบไม่มีสายส่งอยู่ระหว่าง ขัสม q และ k นั้น จะมีค่า $y_{kq} = 0$ และค่าของ y'_{kq} จะมีค่าเท่ากับ $(-y_{pq} \cdot y_{kp} / y_{pp})$ ซึ่งเมื่อพิจารณา mutual admittance เป็นค่าลบของค่า admittance ของสายส่งจริงๆ จะสามารถแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.3 โดย

มี line ระหว่าง k และ q เกิดขึ้น



รูปที่ 5.3 แสดงผลจากการ Reduction ซึ่งเพิ่ม line ในระบบ

5.3 การจัดลำดับของระบบกับการ Triangulation.

(Network Ordering in Triangulation)

จากการที่ Y-Bus matrix ทำให้เราสามารถพิจารณากลับเข้าสู่ระบบ network ได้สะดวก และสามารถวิเคราะห์การ triangulation แต่ละครั้งในการแสดงการเปลี่ยนแปลงของ line ในระบบที่เกิดขึ้นใหม่ และเปลี่ยนแปลงค่า admittance ไป วิธีการที่จะคำนวณต่อ elements แต่ละตัวในเมทริกซ์ จะต้องหาทางหลีกเลี่ยงการคำนวณกับค่าที่เป็นศูนย์ และสามารถทำนายล่วงหน้าของผลที่จะเกิดจากการ triangulation, ซึ่งความคิดในการจัดลำดับที่จะคำนวณก่อนหรือหลัง ต้องตัดสินใจว่า จะต้องให้ผลดีที่สุด จำเป็นต้องอาศัยลักษณะ Optimal Ordering Triangulation Factorization (OOTF). (17) (18) ในการแก้สมการทางระบบเมทริกซ์

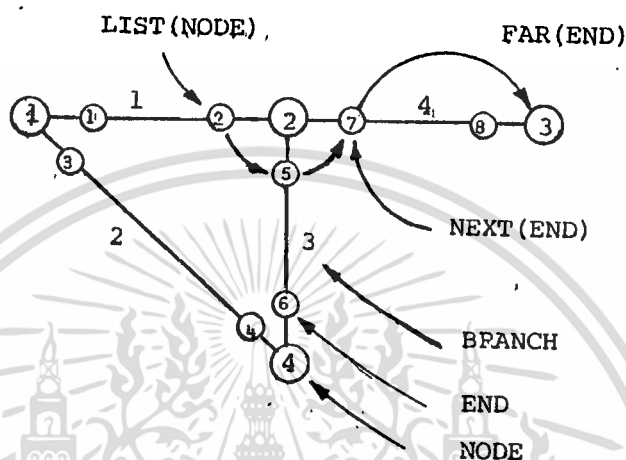
การใช้วิธีการวิเคราะห์ผลของ network ก่อนที่จะทำการคำนวณ และแยกกรณีที่จะก่อให้เกิดผลคือออกมา นั้น การศึกษาที่กระทำ ได้ทำการหลีกเลี่ยงการใช้ (OOTF) โดยตรง - เนื่องจากความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ และในกรณีของ Power System นอกจากจะให้คุณสมบัติ sparsity แล้ว ยังมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ที่ diagonal elements มีค่ามากกว่า off-diagonal terms (ยกเว้นบางกรณีที่มีการ compensation ในระบบ) ดังนั้นวิธีการที่จะนำมาใช้กับระบบ จะวิเคราะห์ขั้นแรกเริ่ม โดยการใช้พื้นที่ตัวแปรจำนวนเต็ม (Integer) กำหนดลำดับของสายส่ง และบัสในระบบขึ้น โดยอาศัยหลักการ Linknet Struction Program ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นค่าบังคับตำแหน่ง elements สัมพันธ์ของแมทริกซ์ที่จะช่วยในการพิจารณาเลือกคำนวณก่อนหรือหลัง และตัดสินใจในผลที่จะตามมา วิธีการนี้ เรียกว่า " Semi-optimal Ordering Method " (8) (9) (13) ซึ่งจะนำมาอธิบายไว้ง่ายๆ คือ

" Linknet Struction " เป็นเทคนิคการบังคับตำแหน่งของระบบ network การวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ในลักษณะเช่นนี้ เป็นการอาศัยเทคนิค link list สำหรับจัด Table-of Location แก่ข้อมูล วิธีการนี้ได้นำมาประกอบจากบทวิทยานิพนธ์ เรื่อง " Modified - Fast Decouple Newton-Raphson Method " ในการศึกษา Load-flow และ network ของระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถอธิบายคร่าวๆ คือ

ตัวแปรจำนวนเต็มจะถูกกำหนดไว้สำหรับลำดับของบัส และลำดับของ branch ที่ต่อระหว่างบัสแต่ละคู่ในระบบ โดยความเกี่ยวเนื่องของตัวเลขจำนวนเต็มตลอดคล้องกับ graph - (รูปโครงข่ายแทน network ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบ Network Analysis) ตัวเลขจะถูกบันทึกเพื่อบอกจุดเริ่มต้นของบัสและข้อมูล รวมทั้งค่าลำดับต่อไปจนถึงจุดสุดท้ายซึ่งขึ้นกับ branch ปลายของแต่ละสายส่ง จะมีค่าบังคับบอกตำแหน่ง (ตัวแปร END) และจะมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันคณิตศาสตร์ กับลำดับของสายส่ง (ตัวแปร BRANCH) ซึ่ง

$$\begin{aligned}
 \text{END} &= f(\text{BRANCH}) \\
 \text{BRANCH} &= g(\text{END}) \\
 \text{END} &= 2 * \text{BRANCH} - 1 \quad (\text{สำหรับปลายแรกของสาย}) \\
 &= 2 * \text{BRANCH} \quad (\text{สำหรับปลายที่สองของสาย}) \quad (5.4)
 \end{aligned}$$

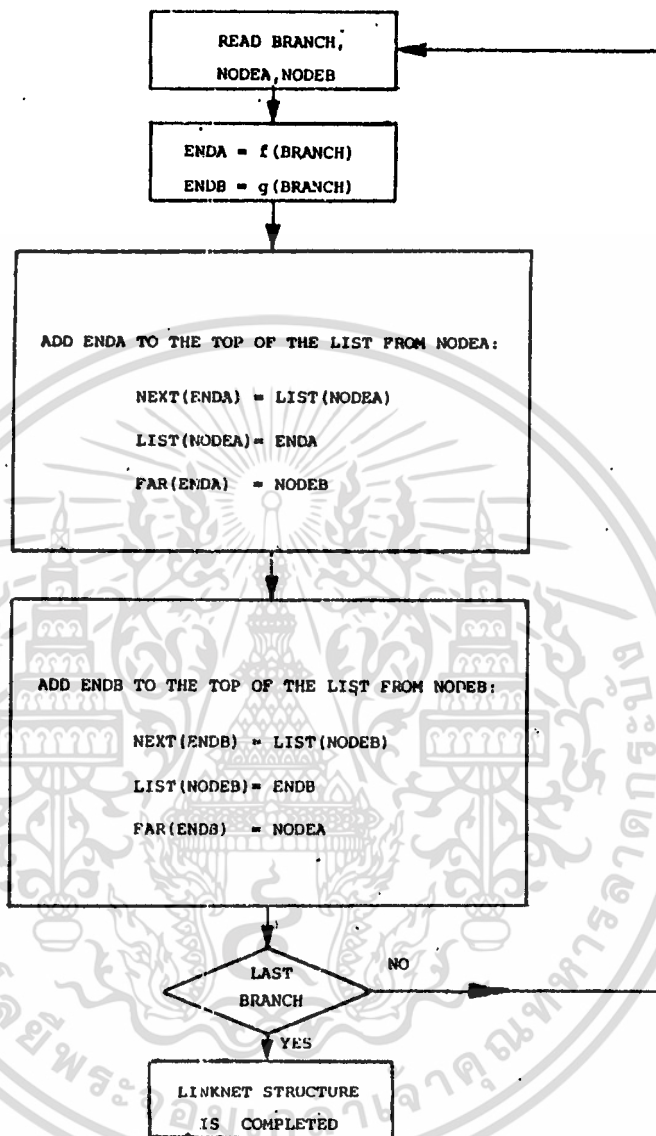
และตัวแปรสำหรับขยายการนับค่า END จะบันทึกต่อไปในตัวแปร NEXT และสำหรับการบอก บั๊ต ตรงข้าม จะใช้ตัวแปร FAR รูปลักษณะ network, graph และ marked graph โดย linknet structure จะแสดงไว้ในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 a) แสดงลักษณะ node ของ network, และ END จากความสัมพันธ์

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

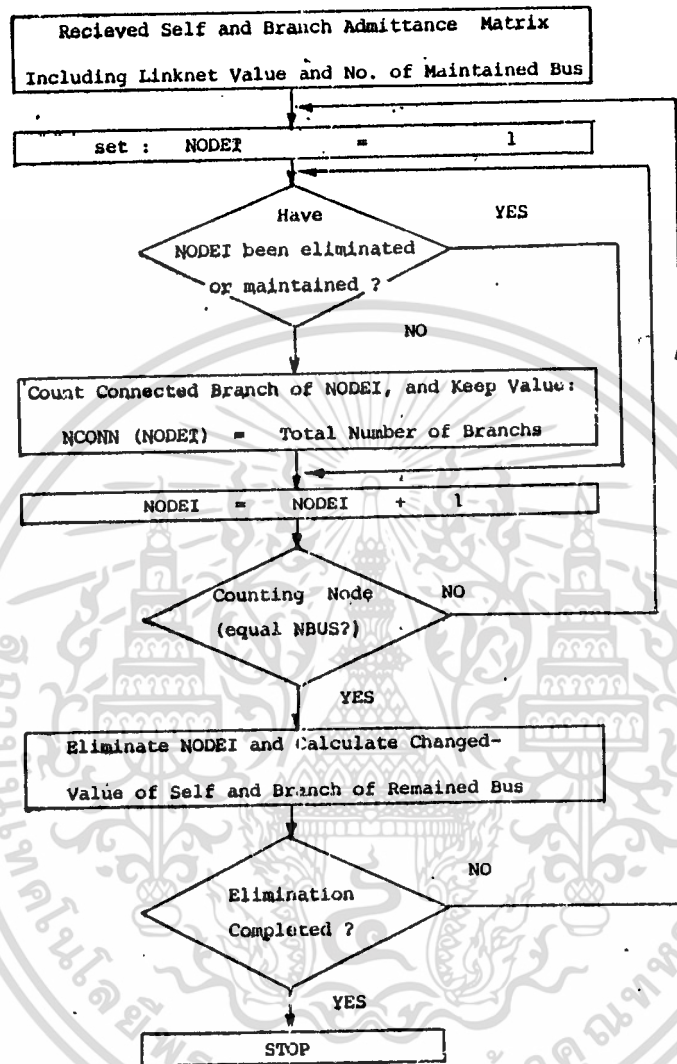
รูปที่ 5.4 b) แสดงภาพหน้า node 2



รูปที่ 5.4c) LINKNET STRUCTURE ที่ใช้เก็บค่าของ Admittance matrix

การวิเคราะห์เชิง Semi-Optimal Ordering จะกระทำจากการใช้ผลประโยชน์ของระบบ linknet ทำให้เราสามารถเลือกตำแหน่งบัสแรกใน network ที่ควรจะทำให้การ reduction ออกจากแมทริกซ์ จาก หัวข้อ 5.2 ที่กล่าวไว้จะเห็นว่า บัสใดในแมทริกซ์ที่มีสายต่ออยู่น้อยที่สุด จะมี mutual elements ใน column และ row น้อยที่สุด ซึ่งถ้าเราเลือกบัสนี้มากำหนดตัดออกจากแมทริกซ์ จะไม่ทำให้เกิด branches ใหม่ๆ ขึ้นมามากในระบบคุณลักษณะของ linknet structure ทำให้เราสามารถนับจำนวนสายส่งทั้งหมดของแต่ละบัสมาได้ง่ายๆ เพื่อเปรียบเทียบตามที่กล่าว และแสดงลำดับวิธีได้ในรูปที่ 5.5





รูปที่ 5.5

Flow-Chart แสดงการ Elimination & Precision.

5.4 การเชื่อมต่อของระบบย่อย (Piecewise Subnetwork Connection)

ในการวิเคราะห์ที่ประยุกต์เพื่อหาค่าของกระแส fault หลังจากการทำ port equivalent value (equivalent admittance หรือ impedance) โดยการ reduction ของ Kron's นั้น เราอาจนำค่าสมมูลของระบบเข้าจัดเป็นซีคอนซ์ อันมีผลมาจากการวิเคราะห์เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ของเฟสที่ทำให้ sequence networks มีการเชื่อมต่อแบบต่างๆ และทำการหาค่ากระแสดังที่อธิบายในบทที่สอง แต่ลักษณะวิธีดังกล่าวนี้มีข้อเสียเปรียบต่อการเกิดการเกิด fault หลายจุดในระบบ ซึ่งทำให้ขนาดเมทริกซ์ที่จะคำนวณด้วยมีขนาดใหญ่ และไม่สามารถบ่งค่ากระแสออกมาได้ง่ายๆ

การหลีกเลี่ยง - นำ phase boundary วิเคราะห์ sequence networks ตรงๆ - เป็นความคิดเดิมที่เนื่องจาก Kron's Primitive networks ให้ความสัมพันธ์ของ Transformation & Connection (7), (15), (16) (การพิจารณาจาก primitive elements ไปสู่ระบบแบบของ bus, branch หรือ mesh) รูปแบบของ primitive network กับ composite bus (or mesh) ซึ่งอาศัย transformation matrix ให้เป็นประโยชน์ สามารถนำมาใช้กับ primitive equivalent และ fault-port impedance (admittance) เป็นวิธีการทดแทนที่ทำให้การศึกษาง่ายดายขึ้นอย่างมาก

5.4.1 การแยกและ รวบรวมของระบบจากองค์ประกอบพื้นฐาน

(Kron's Transformation of Primitive-to-Network Basis)

รูปแบบของ Primitive Elements สามารถก่อให้เกิดการเชื่อมต่อเป็น network ทั้ง mesh หรือ bus ได้ ซึ่งได้แสดงการ Transformation Method ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.2 นั้น ในทางกลับกันระบบ network สามารถนำมาแยกเป็น primitive circuit ย่อย (15), (16) ได้ เป็นการแยกระบบใหญ่ออกที่เรียกว่า " Tearing Method " (เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาของ Contour Theory of Diakoptics) โดยวิธีการดังกล่าว เราสามารถแสดง circuit mesh กับการแยกวิเคราะห์ ดังในรูปที่ 5.6-5.8 เป็น mesh และ bus ตามลำดับ

ในลักษณะของ Mesh Equations จากรูป 5.6 a). เราสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ในสมการ 5.5 คือ

$$\begin{bmatrix} (z_1 + z_4) & -z_4 & 0 \\ -z_4 & (z_2 + z_4 + z_5) & -z_5 \\ 0 & -z_5 & (z_3 + z_5) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \\ i_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_p \\ 0 \\ -E_r \end{bmatrix}$$

so;

$$Z_{MM} i_M = E_M \quad (5.5)$$

และ ในลักษณะของรูป Primitive Sub-mesh (รูปที่ 5.7) ความสัมพันธ์จะเป็น

$$\begin{bmatrix} z_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \end{bmatrix}$$

$$Z_{SS} \cdot i_S = e_S \quad (5.6)$$

การพิจารณา Sub-mesh (primitive) ประกอบใน network รูป 5.6 จะกระทำโดยการหาความสัมพันธ์ ระหว่าง i_S กับ i_M ซึ่งจะเห็นว่า เราสามารถสร้างสมการ-แยกสนใจกระแส คือ

$$i_1 = i_p ; i_2 = i_q ; i_3 = i_r ;$$

$$i_4 = i_p - i_q ; i_5 = i_q - i_r$$

ในรูปของเวกเตอร์ จะสามารถแสดงได้ คือ

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \\ i_r \end{bmatrix}$$

$$i_s = C_{SM} \cdot i_M \quad (5,7)$$

: vector C_{SM} , นี้เป็นรูปแบบของ Transformation matrix เรียกว่า " Connection Matrix ", เราจะวิเคราะห์หาค่าสมบัติ C_{SM} - matrix โดยเฉพาะในรูปแบบของ Power Invariant ซึ่งทั้งสองระบบ (ระบบเดิมและระบบที่แยก) จะต้องมี complex power ไม่เปลี่ยนแปลง

$$e_s^T \cdot i_s^* = E_M^T \cdot i_M^* ;$$

$$e_s^T \cdot C_{SM}^* \cdot i_M^* = E_M^T \cdot i_M^* \quad (5.8)$$

จากสมการที่ 5.6 เราจะหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ voltage transform ซึ่ง

$$C_{SM}^{*T} \cdot e_s = (e_s^T \cdot C_{SM}^*)^T$$

และได้ว่า ; $C_{MS} \cdot e_s = C_{SM}^{*T} \cdot e_s = E_M \quad (5,9)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราจะได้ $C_{MS} = C_{SM}^{*T}$: โดย Kirchoff's voltage law. ระบบ network สำหรับ mesh impedance ของระบบ สามารถหาจาก sub-mesh value คือ

$$Z_M = C_{SM}^{*T} Z_S C_{SM} \quad (5.10)$$

ส่วนการวิเคราะห์การเชื่อมต่อของระบบในรูป Bus Analysis จากรูปที่ 5.6 และ 5.8 เราจะสังเกตเห็นว่า การต่อระบบย่อยจะมีลักษณะของการเชื่อม bus-a และ bus-b ในรูปที่ 5.8 โดยที่ line a'-b' เป็น connection path ของระบบรวม

การศึกษาในแบบนี้เป็นประกอบความคิดของ Primitive Network ของ Kron และถูกนำมาใช้พัฒนาเกี่ยวกับการศึกษาระบบ system ใหญ่ๆโดยซอยระบบเป็นส่วนย่อยๆ (16) ซึ่ง H.H. Happ (1974) ได้เสนอออกมาเป็นทฤษฎี Diakoptics (Contour Theory) โดยเมื่อก้าวในแง่วิธีการแล้ว จะเป็นการอาศัยหลักการใหญ่ๆ สองประการ คือ

1. Transformation Network (Subnetwork) Analysis.
2. Kron's Primitive and Reduction Theory.

และ ถ้ากล่าวถึงจุดประสงค์และผลประโยชน์ของการนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในปัจจุบัน - พิจารณายกได้สองข้อใหญ่เช่นเดียวกัน คือ

1. การวิเคราะห์ Bus Solutions เพื่อหาแนวทางเชื่อมต่อ network ขนาดใหญ่
2. การวิเคราะห์ Branch Connection Solution เพื่อหาผลเฉพาะการเชื่อมต่อของระบบแต่ละจุด (สาย)

จุดมุ่งหมายทั้งสองข้อ เป็นลักษณะความคิดเห็นที่ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการศึกษาระบบ และมีทั้งข้อดี และข้อเสียในการที่จะนำมาใช้ทั่วไปกับงานในระบบไฟฟ้ากำลัง ในจุดประสงค์ทั้งสองนั้น เรานำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบซึ่งเกิดสภาพความผิดปกติ (fault) ได้ที่จะแสดงต่อไป- ส่วนกรณีแรกเป็นทฤษฎีดั้งเดิม ซึ่งพิจารณาจากรูปที่ 5.8 อาจจะเรียกว่า subnetwork a และ b มีการเชื่อมต่อโดย link branch (Tie or Inter-subdivision เป็นชื่อที่เรียกกันเดิม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเป็นมาและการคำนวณ สามารถกระทำตามลำดับ คือ (รูปสมการบัส)

$$\begin{bmatrix} E_a \\ E_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & 0 \\ 0 & z_{bb} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a + I'_a \\ I_b + I'_b \end{bmatrix}$$

$$E_n = [z] \cdot I_n + [z] \cdot I'_n \quad (5.11)$$

ถ้าสมการที่ (5.11) แสดงในรูป node-branch separation จะได้

$$\begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ v_{a'-b'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & 0 & 0 \\ 0 & z_{bb} & 0 \\ 0 & 0 & z_{a'-b'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_{a'-b'} \end{bmatrix}$$

(a'-b' - เป็นค่า subscript ของ line value) (5.12)

ด้วยลักษณะ transformation จะทำให้ได้ $I_{a'-b'} = C \cdot I_n$; $C^T \cdot v_{a'-b'} = E_n$,
ซึ่งอยู่ในฟอร์มของโหนด หรืออาจหาความสัมพันธ์ของ I'_n (linked-bus current) กับ $I_{a'-b'}$ ก็ได้
และพิจารณาแก้สมการโดย Kron's Reduction. ในการทำ Modified Bus-equation ตาม
ลำดับ

5.4.2 การวิเคราะห์ Fault โดยระบบย่อยบนแกนเฟส

(Piecedwise Phase Analysis)

การศึกษาหาจุดประสงค์ที่สองซึ่งกล่าวในหัวข้อ 5.4.1 เป็นลักษณะที่เหมาะสมสำหรับหากระแส phase แล้วเปลี่ยนแปลงให้ได้ค่าซีเควนซ์ตามที่ต้องการออกมา การศึกษาจะแบ่งระบบเดิมเป็น Equivalent Impedance และ Voltage Source (ได้จากการ Reduction) และแสดงเป็นระบบย่อย (subnetwork) แบบ primitive form มี ports เป็น phase a, b, c port. ส่วน Fault Impedance จะอยู่ในรูปของ phase matrix value ในเฟสทั้งสามด้วยเช่นกัน แล้วทำการเชื่อมกันตามรูปที่แสดง 5.9 a-b)

Phase-Admittance equivalent คือการพิจารณาว่า ระบบที่มองจาก fault ports เป็น balance state และหาค่าโดยใช้ Symmetrical Transformation matrix T กับ $[Y]_{012}$ เพื่อกลับเข้าสู่แกนเฟสเป็นแกนอ้างอิง โดย

$$[Y]_{ph} \text{ (phase admittance) } = T \cdot [Y]_{012} \cdot T^* \quad (5.13)$$

(T^* - Conjugate matrix of T (symmetrical transformation))

การพิจารณา connection จะกระทำโดยใช้ constrain matrix method ซึ่งได้จากการ inspection ลักษณะของ fault boundary conditions. (เมื่อเราให้ u เป็น upper subscript สำหรับ unbalance) การพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสและศักดาไฟฟ้าของ primitive circuit แสดงได้ คือ

$$A \cdot [e]_{ph} = A \cdot [e]_{abc} = A \cdot [z]_{abc} \cdot [I]_{abc} \quad (5.14)$$

(A - Connection Constrain Matrix (ซึ่ง elements เป็นค่า 0,1,-1 ที่ตำแหน่งต่างๆ)

$$A \cdot [e]_{ph} \text{ - unbalance phase voltage } [e^u]_{ph})$$

และเมื่อพิจารณา constrain matrix : A ในลักษณะของ Invariant Power แล้ว $[I]_{abc}$ จะมีค่า

$$[I]_{abc} = A^T \cdot [I']_{abc} \quad (5.15)$$

(subscript prime for unnormal phase current to find)

จะทำให้เกิด unbalance phase impedance matrix, $[z^u]_{abc} = A \cdot [z]_{abc} \cdot A^T$;
ซึ่งเราจะสามารถหา unnormal current flow $[I']_{abc}$ ได้โดย

$$[I']_{abc} = - \left([z^u]_{abc} + [z]_F \right)^{-1} \cdot [e^u]_{abc} \quad (5.16)$$

:เมื่อ $[z]_F$ เป็น fault matrix ที่ form ได้โดยตรงเช่นเดียวกับ A-matrix.

ในที่สุดเราจะสามารถหาค่าตอนสุดท้ายของ phase voltage ที่บัสที่เกิดการ
จาก equivalent diagram ในรูปที่ 5.9

$$[E_F^u]_{ph} = [e]_{ph} - [z]_{abc} \cdot [I']_{abc} \quad (5.17)$$

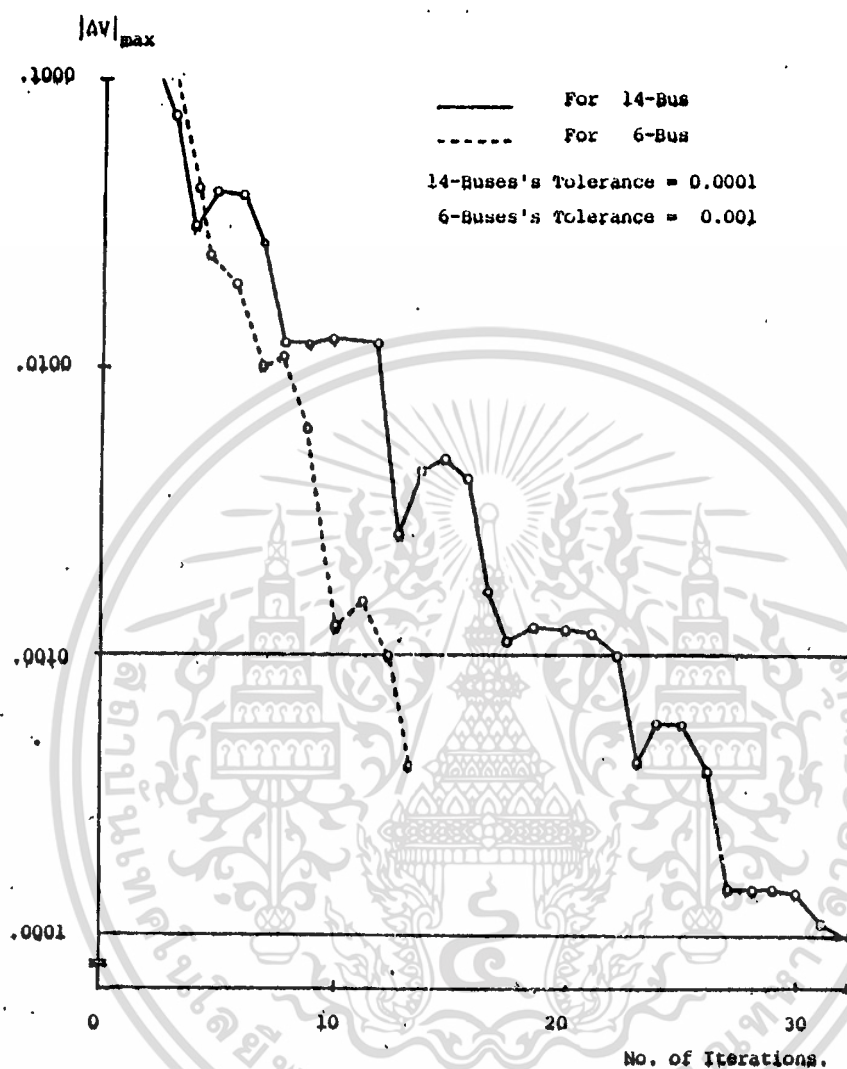
ค่าของ $[E_F^u]_{ph}$ คือ fault bus-voltage ที่เราต้องการ จงนำมา transform เป็น sequence solutions ของ fault ตามลำดับ และจากการที่ constrain-matrix เป็นการ operation ที่สามารถแยกบางส่วนของแมทริกซ์รวม ที่มีบัสพัวพันกับชนิดของ fault (piecewise separation) ออกมาใช้ในการคำนวณโดยตรง จึงทำให้เราได้ลักษณะวิธีการคำนวณง่ายขึ้น ในกรณี fault bus มากกว่าสองบัสขึ้นไป ในการเกิด fault แต่ละรูปแบบ แตกต่างไปจากการใช้ sequence interconnection โดยตรงปกติ

5.5 ลักษณะผลจากการคำนวณ (Characters of Solutions)

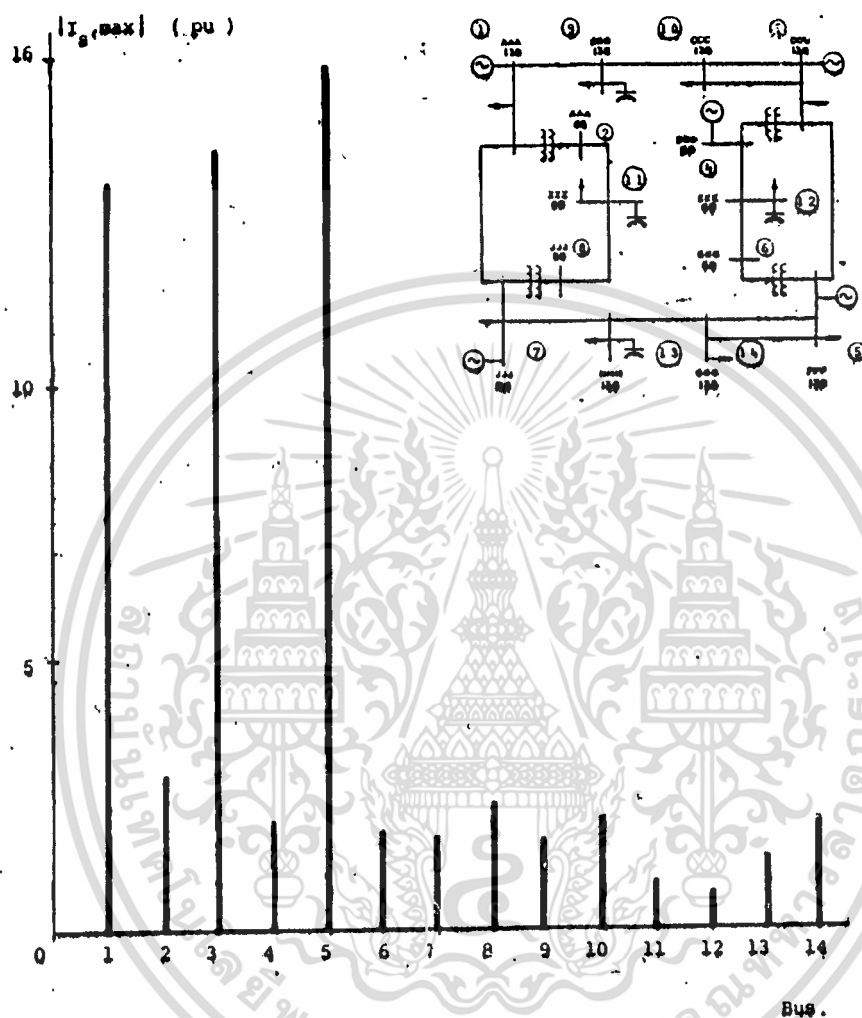
ใน Appendix I และ II จะเป็นโปรแกรมและ solutions ที่ทำไว้กับ 6 และ 14 buses system โดยได้แสดง flow-chart การคำนวณไว้ในรูปที่ 5.11 ด้วย การแสดงจุดสำคัญจาก solutions ที่จะกล่าวนี้ จะนำ solutions จาก 14-buses มาแสดง ในรูปของกราฟของ convergence of load-flow solutions ซึ่งใช้ Primary-Secondary Adjustment of Gauss-seidel Method. และการคำนวณค่า fault ของระบบ แบบ SLG, L-L และ DLG-fault มาแสดงเป็น Riser Diagram ตามลำดับ

จากค่าที่ได้ของ Fault Bus Current จะแสดงให้เห็นว่าระบบที่ทดสอบมีจุดรุนแรงที่สุดของ fault ที่เกิดขึ้นกับตำแหน่งบัสที่ 5 โดยบัสนี้เป็น main generation ของระบบที่ส่งผลกระทบกระเทือนมากที่สุด และเมื่อทำการ simplification Mutual Coupling - Effects รวมทั้งการตัด Resistance ของสายส่ง เราจะนำค่าของกระแสและศักย์สร้าง-phase diagram มาเปรียบเทียบในรูปที่ 5.9 และ 5.10 ซึ่งได้จากการคำนวณโดย Piecewise Y-Bus เปรียบเทียบกับ solutions ของ Dr. Anderson และเราจะเห็นถึง error จากการคำนวณได้ชัดเจนขึ้น

นอกจากนี้ในรูป 5.12 จะเป็น Table ของ processing time ที่ใช้คำนวณในโปรแกรมนี้ตามลำดับ

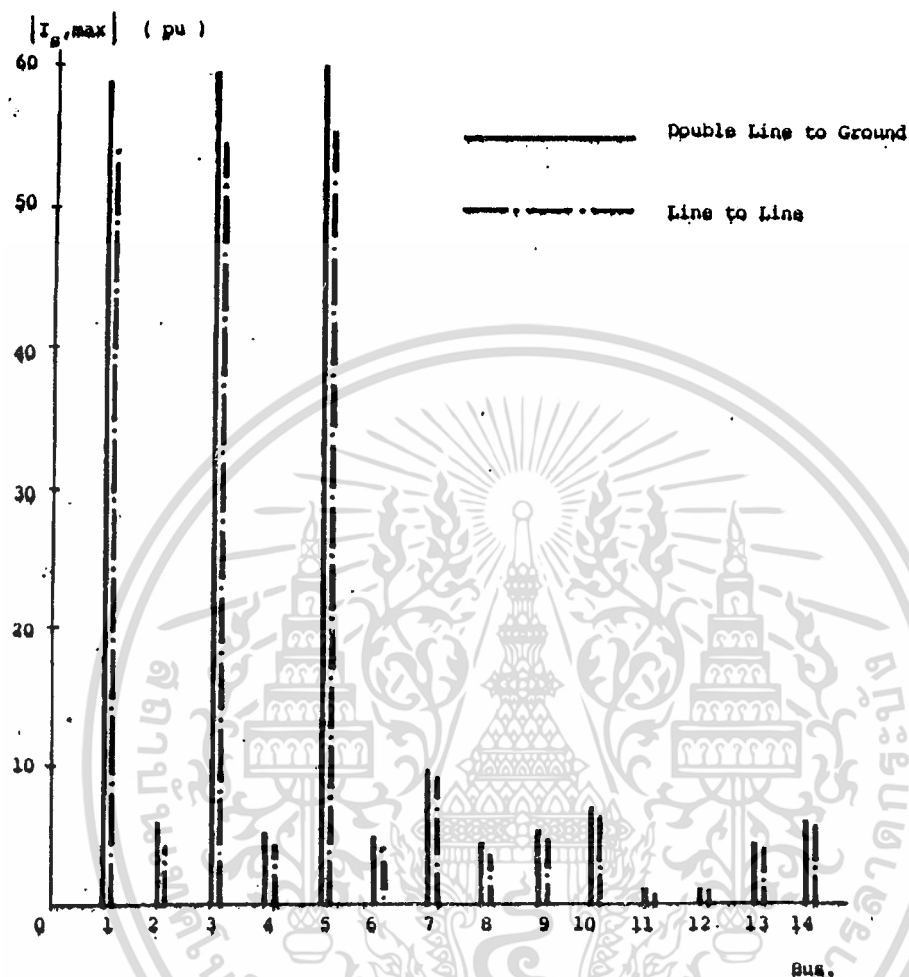


รูปที่ 5.6 Convergence Characteristics of 6-14 Buses System
 (Primary & Secondary Adjustment Load-Flow Method.)



Comparison Diagram of SLG-Fault in 14-buses System

รูปที่ 5.7 Comparison Diagram of SLG-Fault in 14-Buses.



Comparison of Maximum Fault Sequence Current (in 14 buses)

Case Study of Double Line to Ground and Line to Line Fault.

รูปที่ 5.8 Comparison of Maximum Fault Sequence Current

Case Study of Double Line-to-ground and Line

To-Line Fault.

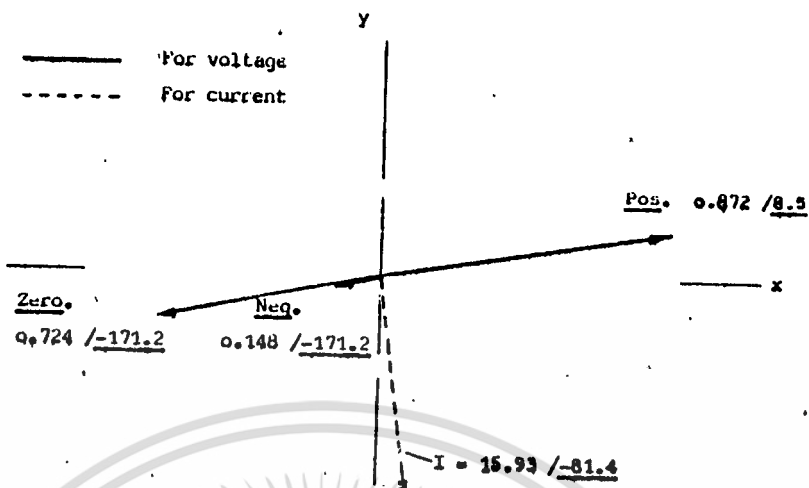


Diagram Showing Single Line-to-ground Fault Vectors at Bus 5

รูปที่ 5.9 แสดงเฟสเซอร์การ Fault ที่บัส 5 จากการคำนวณ

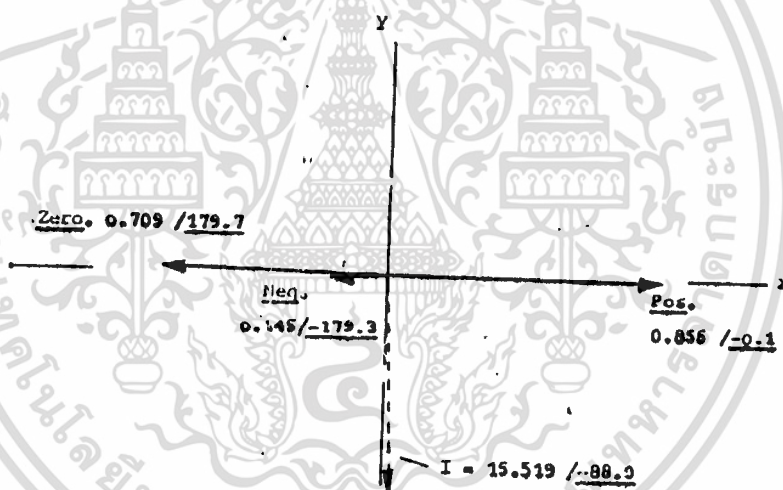
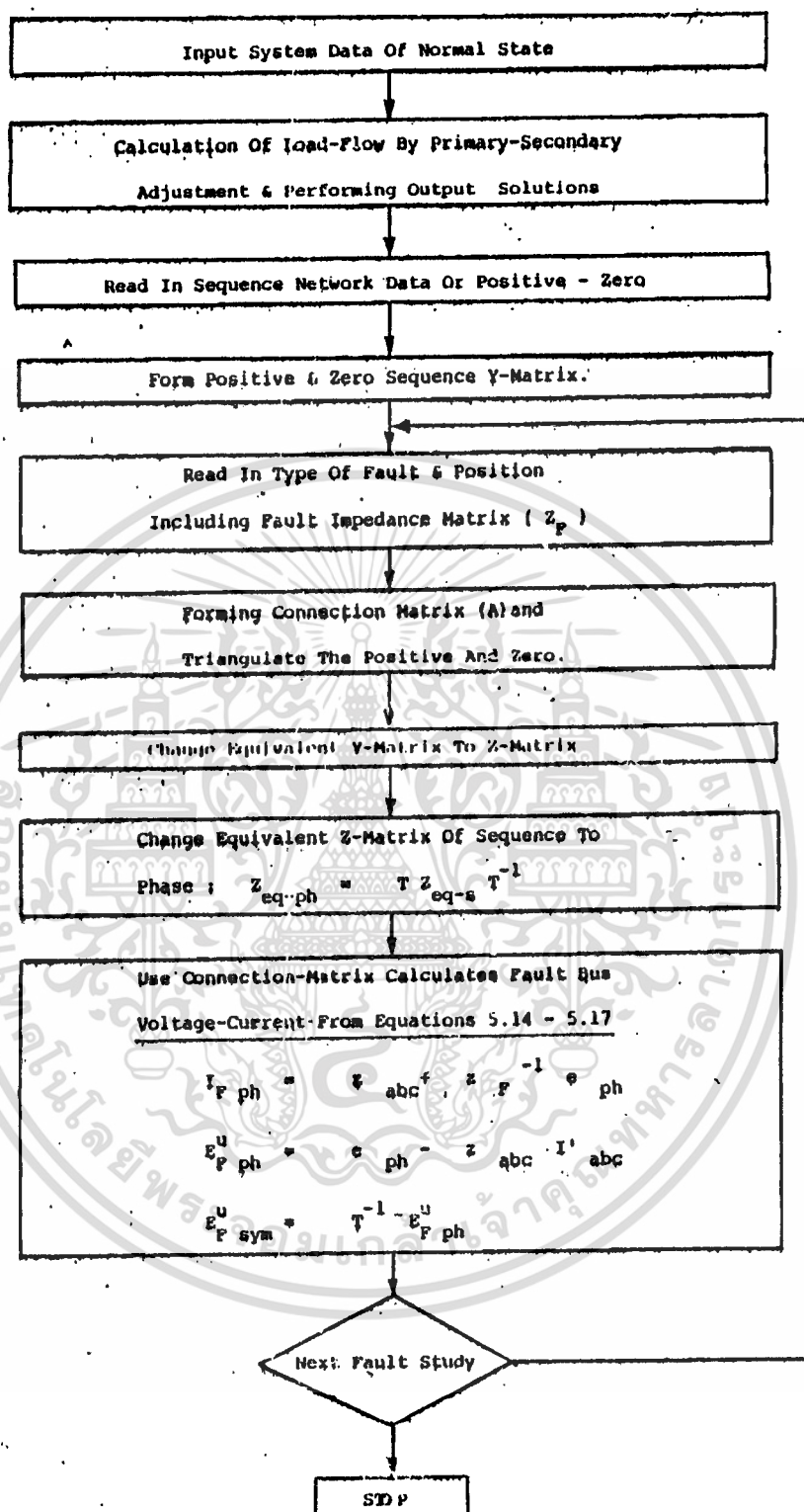


Diagram Showing Single Line-to-ground Fault Vectors at Bus 5 in Sequence Components. (from Anderson's)

รูปที่ 5.10 แสดงเฟสเซอร์ของการ Fault จาก Anderson's.



รูปที่ 5.11 Flow-Chart แสดงการคำนวณแบบ Piecewise Method.

System Bus	Time for Load-Flow	Average Time for Reduction *
14	2.407	0.062
6	0.414	0.032

รูปที่ 5.12 Time Used in Performing Calculation. (sec.)

* - Time for Reduction Per Bus.

5.6 สรุป

การปรับปรุงการคำนวณโดยใช้ Y-Bus ที่กล่าวมาจะทำให้ การ operations ลดลงอย่างมากยิ่งในกรณีของระบบไฟฟ้าที่ใหญ่มากขึ้น ซึ่งจะกระทำได้ยากเมื่อเราพิจารณาใช้ Z-Bus ที่สำคัญ คือ การวิเคราะห์จะสามารถแก้สมการได้โดยเทคนิค Ordering และ Triangulation. . และเป็นที่ยอมรับกันดีต่อการพัฒนาไปสู่การสร้าง Factorization Vector ขึ้น ส่วนในการหาค่า fault solutions ออกมานั้น ถึงแม้การ simplify จะมีข้อผิดพลาดบ้าง แต่ในกรณีทั่วไปสำหรับระบบขนาดใหญ่ ค่าทั้งสองนี้จะมีผลน้อยลงตามลำดับ

จนถึงจุดนี้เราจะสามารถแสดงได้ว่า วิธีการศึกษาทางคอมพิวเตอร์ จำเป็นที่จะต้องเลือกแนวทางที่เหมาะสมในรูปของ software programming. และยังจำเป็นที่จะต้องขยายออกไปในการศึกษาหัวข้อทางระบบไฟฟ้าด้านอื่นๆ เช่น Stability, Economics. เป็นต้น. ซึ่งจะนำมาประกอบกันได้ตามความเหมาะสมและสะดวกรวดเร็ว และการใช้ Y-Bus Matrix หา solutions ของ fault. จะแสดงถึงข้อดีหลายประการที่สามารถพัฒนาต่อไปได้อย่างมาก

บทที่ 6

การพิจารณาใช้ประโยชน์ในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง

Application in Power System Protection

6.1 บทนำ

ความคิดเริ่มต้น และพัฒนาการแก้ปัญหาในทางรองรับความเป็นจริงในงานวิศวกรรม เป็นจุดสำคัญใหญ่ งานทางคอมพิวเตอร์เพื่อพัฒนาความถูกต้อง, สะดวกและรวดเร็วปัจจุบันมีการขยายตัวพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างมาก การศึกษาความผิดปกติ (fault) ในทางคอมพิวเตอร์นั้นนอกจากจะแสดงผลประโยชน์ดังที่กล่าวแล้ว ยังช่วยในการทำนายสถานะจริงที่เราไม่สามารถทดลองได้ในระบบไฟฟ้า

ผลที่ได้รับมา เมื่อพิจารณาโดยตรงในการป้องกันความเสียหายหรือลดความสูญเสีย - อันเกิดจากระบบไฟฟ้าเกิดการลัดวงจร หรือได้รับความกระทบกระเทือนจากสิ่งที่ไม่คาดถึง (unexpected events) จะทำให้เราสามารถออกแบบและควบคุมระบบล่วงหน้า สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เหตุการณ์เหล่านี้จะโต้แย้ง ความคิดปกติจากสภาพการเสื่อมถอยของระบบหรือปรากฏการณ์ฟ้าผ่า เป็นต้น ซึ่งทำให้งานทาง System Protection มีความจำเป็นสูงมากและจะนำมากล่าวเป็นรายละเอียดในตอนต่อไป

6.2 ความผิดปกติ (Fault) ต่างๆขององค์ประกอบในระบบ

ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบขึ้นจาก Generation, Transmission และ Distribution System. (3) เมื่อมุ่งทำการศึกษาเป็น network นั้น ถึงแม้จะเป็นรูปของ Transmission System แต่ก็สามารถรวบรวมผลและขยายการศึกษาต่อเนื่องเข้าสู่ Generation หรือ Distribution ได้ชัดเจน และจากการศึกษา System Fault จะทำให้สามารถวางแผนการ - Protection ได้ครอบคลุมระบบทั้งหมดอย่างถูกต้อง

ในรูปที่ 6.1 คือส่วนของระบบซึ่งเราจะแยกลักษณะของ Fault ที่จะเกิดขึ้น และ

คำนึงถึงเพื่อพิจารณาป้องกัน โดยกล่าวเป็นกรณีในลักษณะ Internal และ External Fault ตามลำดับ

กรณี Generator Fault

เราสามารถแสดงการพิจารณาการเกิด fault ได้สองลักษณะ คือ

a) Stator Circuit Fault Bb) Rotor Circuit Fault

ในลักษณะการเกิด Internal Fault ในแบบของการลัดวงจรสู่พื้นดินนั้น หรือการลัดวงจรระหว่างคอยล์ในอิมเมเจอร์ (Amateur) หรือ Field Coil. จะทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลอย่างรุนแรงในตัว Generator และต่อ bus ที่ต่ออยู่ นอกจากนี้ยังกรณีในระบบขับ prime mover ของ gen. ผิดปกติ ก็มีผลให้กระแสและศักดาเกิดการสูญเสียได้เช่นเดียวกัน (เราทราบกันดีเกี่ยวกับการ Loss Synchronism ด้วย) กระแสและศักดาไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงขนาดไปขึ้นอยู่กับค่าสมมูลความต้านทานของคอยล์, ผลของความเร็ว และลักษณะการ Earthing ของอุปกรณ์ (Resistance, Solid Earthing เป็นต้น)

กรณี Transformer Fault

อุปกรณ์ที่เป็น Transformer นั้น ถูกใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังในการ transfer พลังงาน และ transmitting (feeding) ทรานส์ฟอเมอร์มีรูปแบบของการเกิดความผิดปกติ คล้ายคลึงกับการเกิดใน gen. ในรายละเอียดนั้น ไม่ว่าขั้วภายในของ interturn ของ coil หรือ ระหว่าง coil กับตัวถัง หรือที่ตำแหน่ง Take in - Take off line ซึ่งเกิด fault ขึ้น จะมีความสูญเสีย และไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ เช่น การเกิดอุณหภูมิสูงและความดันเพิ่มขึ้นจากผลของ fault จนมีการระเบิดตามมา เป็นต้น โดยที่ลักษณะการต่อภายในคอยล์ (Y- Δ) และขนาดความต้านทานรวมทั้งการ earthing มีผลต่อความรุนแรงในการเกิด fault การศึกษาจึงพิจารณาลักษณะดังกล่าวเช่นเดียวกับ gen. ซึ่งจะต้องหยุดระบบ หรือทำการตัดอุปกรณ์นั้นๆออกจากระบบ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะตามมา และหมายถึงการพิจารณาออกแบบ ทรานส์ฟอเมอร์ โดยที่ทราบความรุนแรงที่จะเกิดขึ้น และให้มีความสามารถทนทานได้ในระบบไฟฟ้า

กรณี Transmission line fault (Feeder)

สายส่งไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังทั้ง Overhead หรือ Under-ground wire มีโอกาสของการเกิดความผิดปกติทั้งเฟสหรือ ground fault ได้ทั้งนั้น การป้องกันสายในระบบจึงมีความจำเป็น เพราะการเกิด overheating ของสายจาก overcurrent (fault current) จะทำให้ระบบเป็นอันตรายได้ และกระทบกระเทือนจุดต่างๆออกไปตามสาย อุปกรณ์ตำแหน่งอื่นๆออกไปจะมองสถานะเช่นนี้ เป็นการเกิด External Fault. โดยเฉพาะยิ่งจะทำให้ระบบเสถียรภาพ (Stability) ในการ flowing ของพลังงาน อันเนื่องมาจาก Sustaining Leackage หรือ Sustaining Fault.

6.3 อุปกรณ์ป้องกัน และ การจัดการจากการทราบความรุนแรงเบื้องต้น

(Protection Equipment with Pre-calculated Fault Value)

การผิดปกติที่เกิดขึ้น ในรูปของกระแส และ ศักดาไฟฟ้า จะเป็นทั้งขนาดและมุม phase angle และการไม่สมดุลระหว่างเฟส (Unbalance Phase Effect) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจขึ้นออกมาให้ทราบให้ได้เร็วที่สุด อุปกรณ์เหล่านี้จะประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

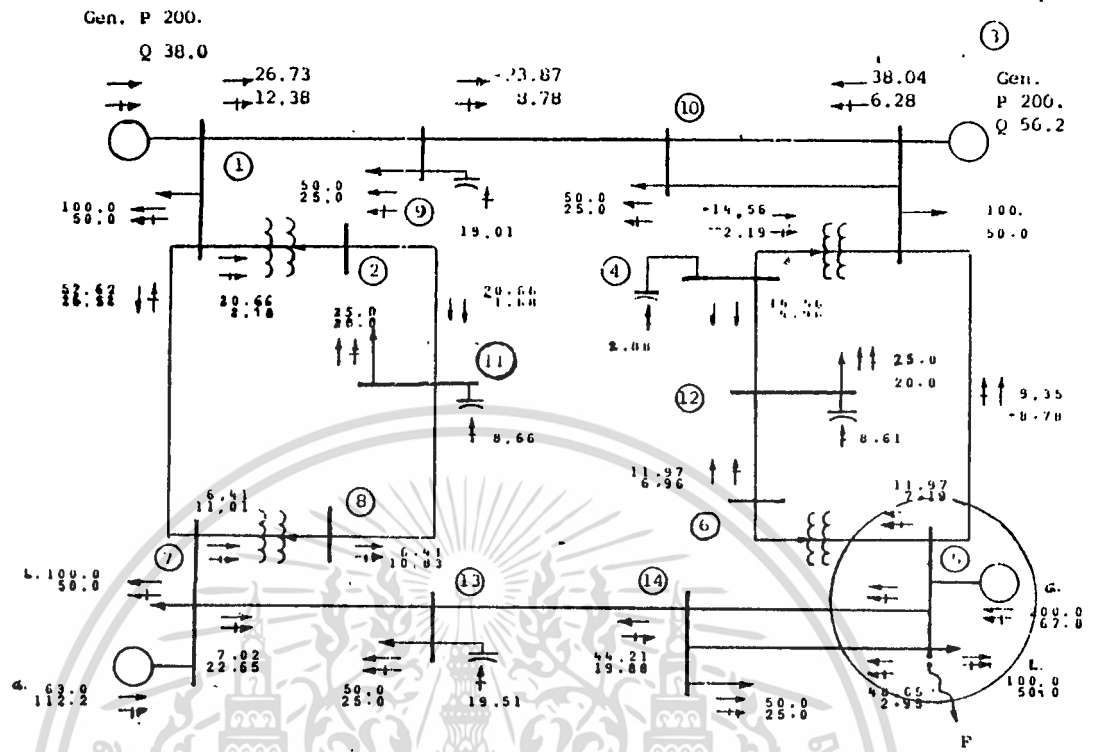
- a) Sensing parts ซึ่งได้แก่ พวก current, potential transformer รวมทั้งการต่อรูปแบบของ power sensing เป็น Distance, Impedance sensing เป็นต้น
- b) Interrupting parts เป็นส่วนตัดระบบซึ่งอยู่ในลักษณะที่มีสภาพทนทานเหมาะสม และถูกควบคุมโดยระบบทางกลหรือทางไฟฟ้า แล้วแต่กรณี ในลักษณะนี้หมายถึงการรวมส่วนที่เป็นหน่วยควบคุมเข้าไปด้วย

กรณีดังกล่าวถึงนี้ คุณสมบัติทางกายภาพของอุปกรณ์ทั้งสองส่วน จะนำมารองรับจากผลของการคำนวณที่ได้ ถึงขนาดของ fault ผลของการเกิด fault จะเป็นตัวกำหนดค่า (Setting value) สำหรับเลือกอุปกรณ์และจัดอุปกรณ์ เช่น การพิจารณา fault current จากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ในรูปของ Subtransient Instantaneous (จะกล่าวถึงเพิ่มเติมในหัวข้อต่อไป) เพื่อให้หา current transformer และ interrupting breaker ที่มี capa

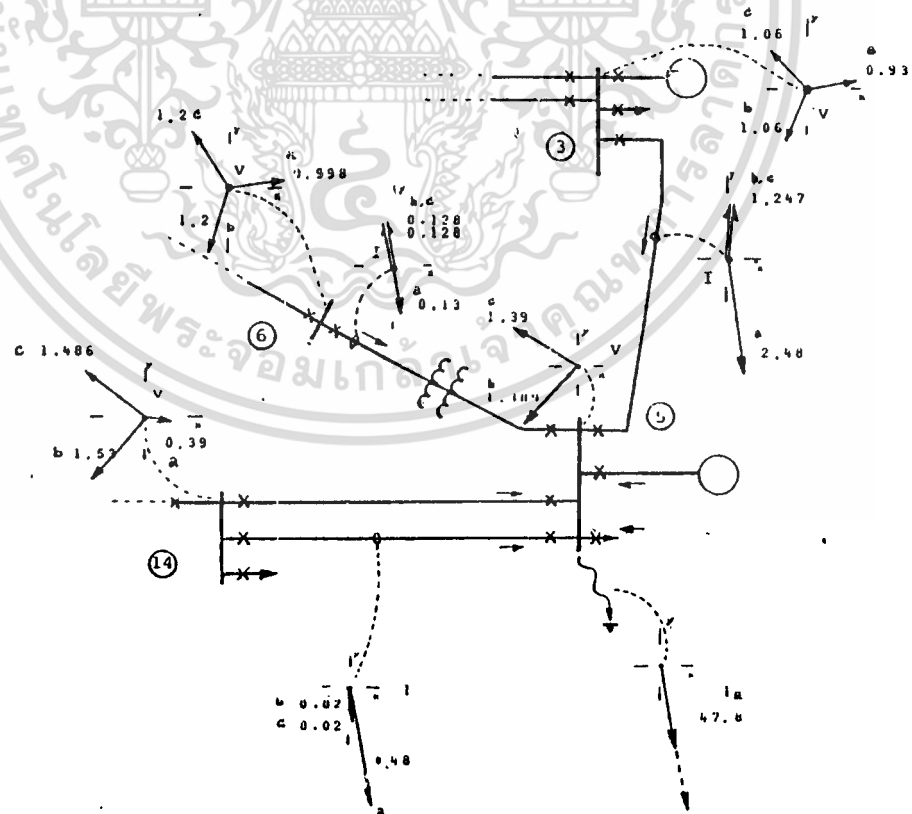
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

city สูงพอในการ clear fault ออกไป. และยังสามารถคำนวณต่อมาในกรณี sustained fault ที่เป็น steady state ซึ่งทำให้ระบบผิดปกติไป รูปที่ 6.2 จะเป็น phasor diagram ซึ่งคำนวณได้ออกมาในระบบ 100 MVA 69 KV ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่อ Precision View ในการ Protection.



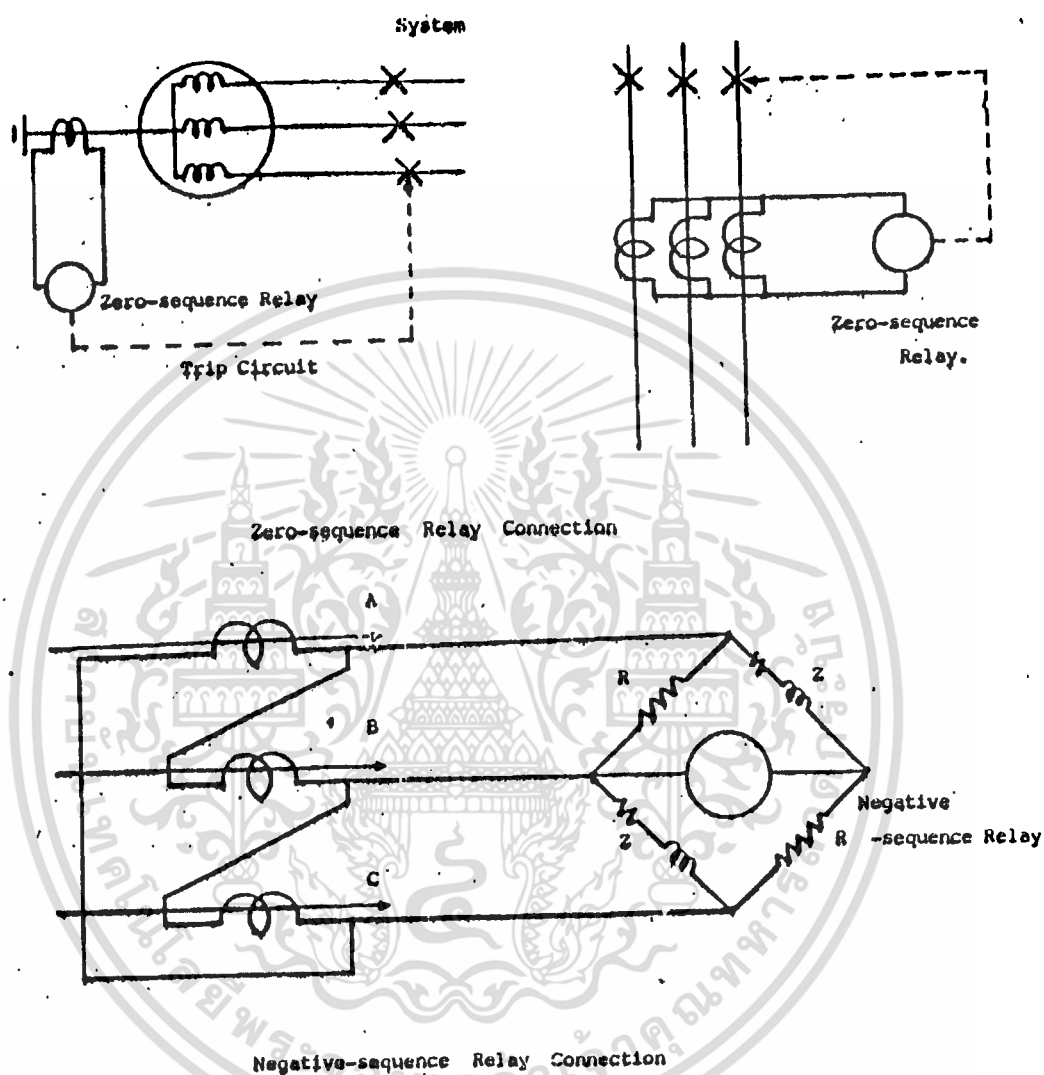


รูปที่ 6.2 a) แผนภาพ Power Flow ของ Normal 14-Buses System.



รูปที่ 6.2 b) Fault Current & Voltage (SLG) at Bus 5 (p.u.-value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงการวาง Relay Protection สำหรับการป้องกันแบบต่างๆ

เนื่องจากงาน Protection มีข้อบังคับสำคัญต่ออุปกรณ์สองประการใหญ่ คือ

1. Capacity
2. Speed (Time Duration of Clearing)

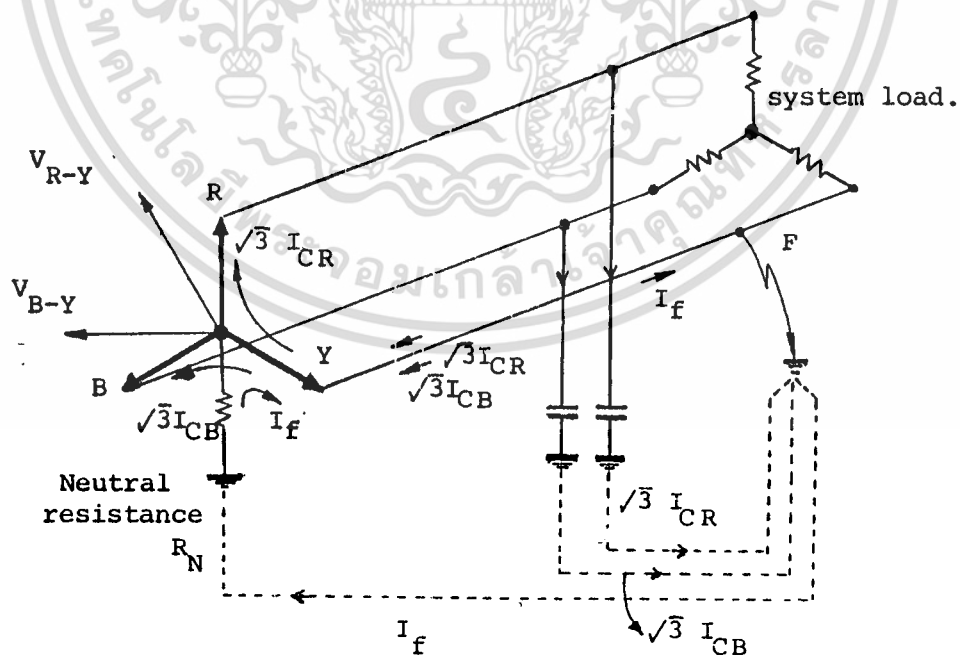
ซึ่งการวิเคราะห์ผลของ fault เป็นขบวนการขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous) แต่ผลทางอ้อมในกรณีของความรวดเร็ว (speed) จะ เป็นกรณีของ Dynamics ที่สามารถขยายศึกษาออกไปได้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ เมื่อเราขยายผลจากการคำนวณออกไป ต่อการพิจารณาการกระทบกระเทือนจาก fault ต่อจุดหนึ่งกับจุดอื่น ๆ ในระบบ จะเป็นตัวอย่างที่ดีที่ทำให้เราทราบและขยายการตัดสินใจป้องกัน ที่เรียกว่า Back-Up Protection. รวมทั้งการสรุปรวบรวมการลำดับการป้องกัน coordination ตามมา ซึ่งในกรณีเศรษฐศาสตร์แล้ว การทราบถึงค่าของ fault ที่ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด จะ เป็นการป้องกันการจัดอุปกรณ์ที่มีสมรรถนะต่ำหรือสูงเกินความจำเป็นได้ตามมาด้วย

6.4 รายละเอียดปลีกย่อยของระบบในการพิจารณาป้องกัน

แนวทางปฏิบัติสำหรับการป้องกันนั้น เราอาจจะจำเริญที่จะต้องศึกษามากมายถึงระบบรีเลย์และวงจรต่างๆเป็นร้อยแบบ เช่น ในรูปที่ 6.3 แสดงการวาง Relay Protection Circuit สำหรับการป้องกันสำคัญๆหลายแบบ และนอกจากนี้เราจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของ Tripping Elements เช่น เกี่ยวกับระบบ Definite, Inverse Time หรือ ระบบฟิวส์ เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ไม่ใช่การมีความยุ่งยากเหมือนการวิเคราะห์หาค่าเริ่มต้นของการเกิด Single Line-to-ground Fault หรือ Line-to-line Fault และอื่นๆ เพียงแต่ข้อปลีกย่อยที่จะวิเคราะห์ใช้ Relay Circuit จะขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะแยกชนิดของ fault ได้ในระบบ (Discrimination Duty) และรูปแบบระบบไฟฟ้ากำลังย่อยๆที่จะส่งผลกระทบกระเทือนต่อค่ากระแสและศักดาทุกๆจุด

ส่วนที่ จะ กล้า มอก เหมื อออก ไป จะ มี จุด สำคัญ มาก ที่ รู้ จัก กัน ดี คือ สาเหตุ การ ผิด ปกติ จาก Lightning, Arcing และ Switching Overvoltage (Surge) ซึ่งเป็น สาเหตุ แบบ หนึ่ง ที่ มัก- เกิด ขึ้น เสมอ ๆ ใน ระบบ

การ เกิด ไฟ ฟ้า เป็น External Overvoltage ที่มี ผล กระทบ กระ เทือน อย่าง มาก - กระแส อาจ มี ค่า สูง กว่า 20,000 แอมป์ และ ก่อ ให้ เกิด ศึก ตา เหมื ยม วน ใน ระบบ Overhead Wire ซึ่ง อาจ ทำ ให้ เกิด Proceeding Fault เป็นการ เกิด Breakdown ระหว่าง wire และ tower หรือ wire-to-ground. การ ป้องกัน เริ่ม ต้น เรา ไม่ สามารถ ทำ ได้ จริง และ การ ป้องกัน ผล ที่ จะ ตาม มา จะ กระ ทำ ได้ โดย การ วิเคราะห์ fault และ ศึกษา แบบ การ เกิด ทาง กาว ท่น วน รูป ที่ 6.4 จะ แสดง ผล ดัง กล่าว และ การ ณ์ การ เกิด Arcing Fault. เหตุ ของ การ เกิด Arcing effect เป็น ผล ต่อ เนื่อง จาก การ เกิด ของ fault ที่ ผล โดย ตรง ต่อ Stray Capacitive effect ของ ระบบ และ ความ ขุน แรง ยี่ มี มาก ขึ้น ใน แ่ง ของ ระบบ จ่าย ไฟ ย่อย Distribution System. ลักษณะ เช่น นี้ จะ ก่อ ให้ เกิด Surge Overvoltage ที่ ขุน แวง มาก ตาม มา



รูปที่ 6.4 Current Distribution for Earth-Fault.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 Balance Three Phases Short Circuit Wave on Generator.

(1) (5)

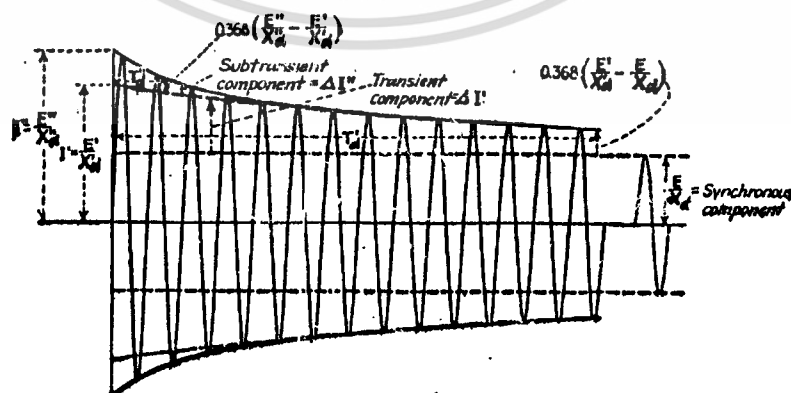
การพิจารณา Balance Fault Wave เป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งในการเลือกเวลาการทำงานของตัวตัดวงจร (Breaker). กระแสที่เกิดความผิดปกติไปมักจะพิจารณาได้จาก Synchronous Machines ในค่าของกระแส subtransient, transient และ steady - state. เนื่องจากสภาพเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กของโครงสร้างภายในจึงเหมือนกับวงจร R - L (resistance-inductance) ในการที่ก่อให้เกิดสภาวะของไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่าง - มกั ในขณะนั้นๆ การวิเคราะห์จะง่ายสำหรับวงจร R - L นั้น เมื่อมี Input Voltage - $v(t) = V_0 \sin \omega t$. จะได้ current wave form คือ

$$i(t) = \frac{V_0}{|z|} \sin(\omega t + \alpha - \theta) - \epsilon^{-\frac{R}{L}t} \sin(\alpha - \theta)$$

(α จะเป็น switching angle และ θ คือ load angle - $z = R + jL$)

(6.1)

จุดสำคัญของการวิเคราะห์นี้ เป็นผลมาจากพลังงาน ในรูปสนามแม่เหล็ก และทำให้รูปแบบของกระแสมีสภาวะของ A.C. และ D.C. components ซึ่งในรูปที่ 6.5 เป็น Oscillogram ของ fault current จาก synchronous machine มาจากผลของ 3 เฟส และการรวม Oscillogram ของ 3 เฟสโดยตัด D.C. Transient ออก



รูปที่ 6.5 Curve of symmetrical (alternating-current) component of short-circuit current from no load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.5 จะเห็นสภาวะที่นำสนใจสามขณะ คือ ในช่วงกระแสสูงสุด 1-2 ลูกคลื่นแรกๆเป็นลักษณะของ Subtransient ซึ่งเมื่อเกิดการ fault ขึ้น วงจรทางสนามแม่เหล็กระหว่าง Field Coil และ Armature จะต้องถูกลดค่าลง ซึ่งกรณีนี้เป็นไปไม่ได้ เนื่องจากสนามแม่เหล็กในรูป Flux Linkage จะพยายามรักษาค่าที่คงที่ไว้ ดังนั้น Field - Coil จะพยายามเพิ่มสภาวะทางแม่เหล็กขึ้นมาจาก leakage field ของ Armature และ Damper ใน machine.

ค่า Damper Winding และ Leakage Reactance ถูกพิจารณาเป็นค่า subtransient และ transient ของ machine ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของกระแสที่เกิดขึ้น เมื่อ source voltage ใน machine ขณะทั้งสองมีค่า E'' และ E' (prime superscript for - subtransient and transient voltage)

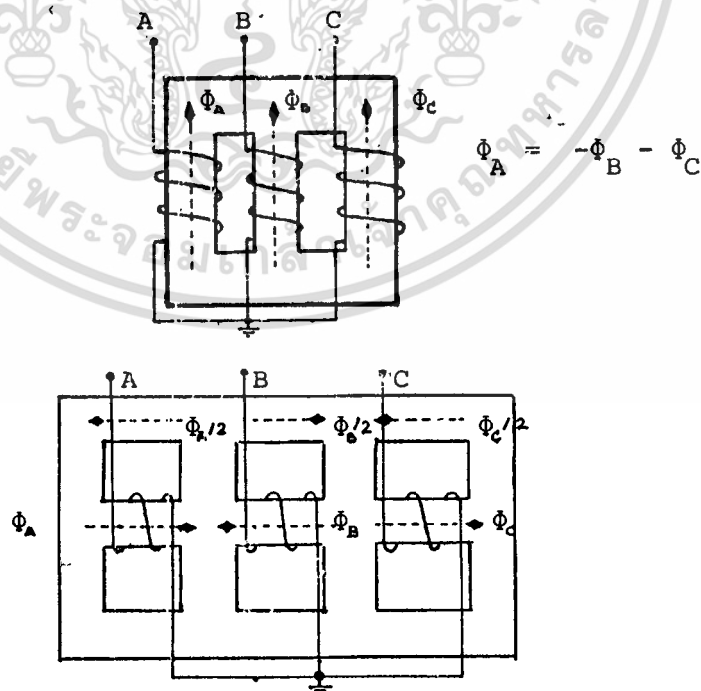
$$I'' = \frac{E''}{x_d''} \quad \text{และ} \quad I' = \frac{E'}{x_d'} \\ (x_d'' \text{ and } x_d' - \text{Reactance value of machine at subtransient \& transient state}) \quad (6.2)$$

ค่าของกระแสจะมีลักษณะ damp ลง โดยลดลงกับเวลาด้วย time constant ของวงจรซึ่งเกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ และถ้า fault ไม่ได้ถูก clear จากระบบ กระแสจะเหลือต่อไปในรูปที่คงที่เป็น sustained current. และพิจารณาค่าความต้านทาน คือ x_d (synchronous reactance) ตามลำดับ

จะเห็นว่า การเกิดความผิดปกติในรูปของ Balance Fault นั้น ค่ากระแสที่สูงขึ้นในช่วงในไม่กี่ cycles แรกๆ จะเป็นตัวประกอบอย่างดีที่จะใช้วิเคราะห์เวลาที่เหมาะสมในการตั้งระบบการทำงานของ Relay-Breaker ให้สามารถแก้ไขสภาวะผิดปกติ โดยที่อุปกรณ์ในระบบโดยเฉพาะ machine ไม่เสียหายไป

6.6 ทรานส์ฟอเมอร์กับผลของ Zero Sequence.

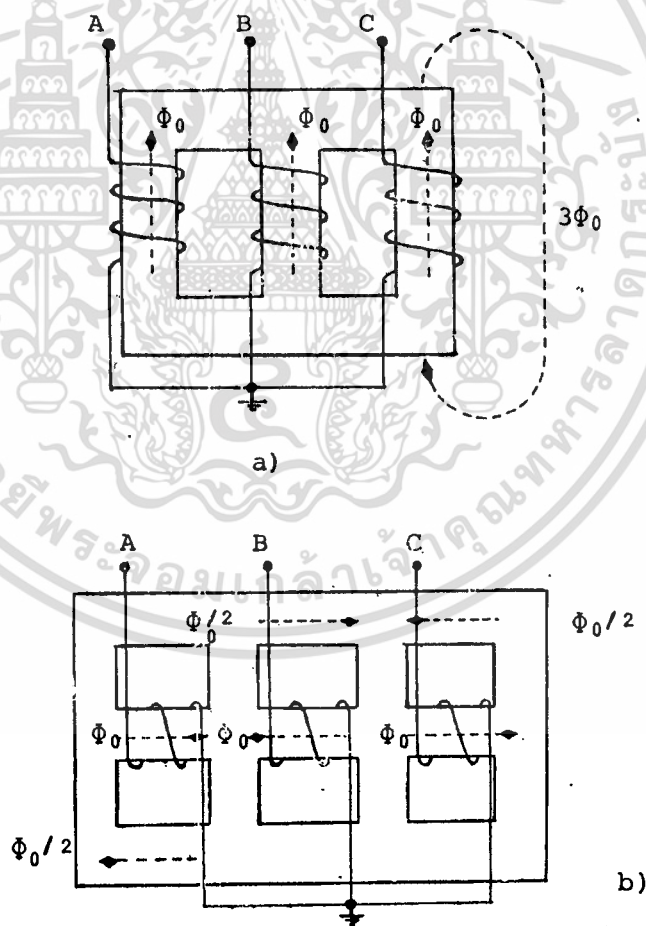
ภายในทรานส์ฟอเมอร์นั้น การออกแบบลักษณะของ magnetic circuit จะต้องคำนึงถึงผลของ zero sequence อย่างมาก รวมทั้งการพิจารณา primary-secondary (4) (5) (หรือทั้ง tertiary) connection ด้วย ในกรณีของ magnetic path นั้น - zero seq. จะก่อให้เกิด zero seq. flux ซึ่งทำให้เกิด loss effects อย่างมาก โดยในรูปที่ 6.6 จะแสดงให้เห็นถึง core type และ shell type transformer. ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของคลื่นที่มีเฟสเดียวกันทั้งสามเฟส จะมีแนวของสนามแม่เหล็กไม่ไปตามแบบของ positive seq., สนามที่เกิดจาก zero seq. จะพุ่งออกจากแกน - เหล็ก และในกรณี core type ออกไปยังตัวกลางอื่นที่มี reluctance สูงกว่า ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ Equivalent Excitation Impedance มีค่าต่ำมากเป็นค่าของ zero seq. impedance ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียต่ออุปกรณ์ตามมา และเช่นเดียวกันใน shell - type core ก็อาจจะแก้ไขทิศทางของ flux ได้ แต่ก็อาจทำให้เกิด Saturation ของแกนเหล็กตามมาได้



รูปที่ 6.6 Positive Sequence Flux in Core and Shell Form.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าว ผู้ออกแบบทรานซ์ฟอร์เมอร์จึงต้องคิดล่วงหน้าเกี่ยวกับค่าความต้านทานที่จะต้องให้ความสามารถป้องกันผลของ zero seq. จากการผิดปกติไว้ด้วย ซึ่งบางครั้งนั้นความคิดในข้อนี้ขยายกว้างออกไปรวมถึงการต่อวงจร (circuit scheme) เช่นการต่อ primary-secondary เกี่ยวกับแบบ Y - และการพิจารณา tertiary สำหรับเป็นทางผ่านแก่ zero seq. ไว้ เป็นต้น ก็เพื่อที่จะสามารถทำให้ทรานซ์ฟอร์เมอร์ในระบบมีค่า zero seq. impedance ที่ถูกต้องกับสภาพกระแสที่เกิดขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 6.6 b) Zero Sequence Flux in Core-Form and Shell-Form.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุป และวิจารณ์

7.1 สรุป

งานปริญญาโท ที่ได้กระทำมานั้น ได้ตั้งจุดสนใจในการหาวิธีการที่ดี และหาหนทางที่จะวิเคราะห์กว้างออกไปสำหรับการใช้คอมพิวเตอร์กับระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งระบบงานดังกล่าวนี้ จะไม่สามารถศึกษาด้วยการทดลอง หรือการคำนวณด้วยมือได้ง่ายๆ และการเติบโตของระบบควบคุมยังเป็นตัวกำหนดความจำเป็นของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำ Interactive System ด้วยการวิจัยที่กระทำดังกล่าวได้สนใจมากต่อการใช้ Z-Matrix และ Y-Matrix แทนระบบ Network และทำการวิเคราะห์โดยหลักการต่างๆ เพื่อแสดงคุณสมบัติ เช่น Sequence Performance, Fault current, Phase Angle เป็นต้น ที่ซึ่งเราสามารถนำมาเป็นข้อมูลเริ่มต้นทางการ controlling และ protecting ระบบ

ผลของการใช้วิธีการทั้งสองแบบให้ผลของการคำนวณที่กระทำจากตัวอย่างระบบ 3, 6, และ 14 Buses (ที่มีองค์ประกอบสำคัญๆ เช่น Generator, Transformer, Capacitor Bank ฯลฯ) โดยได้คำตอบออกมาเป็นที่น่าพอใจ ยิ่งกรณีการวิเคราะห์แบบไม่มีการ Simplification ของ Z-Matrix Method ที่ให้ค่าของ magnitude และ angle ที่มีความผิดพลาดน้อย และคำตอบจากการใช้ Y-Bus แบบ Simplification ที่ให้ความรวดเร็วของการคำนวณ การแสดงคำตอบของกระแสและศักดาไฟฟ้าทั้งค่าที่เป็น bus และเป็น branch จะถูกจัดค่า(list) ออกมา และโปรแกรมที่กระทำจะทำการทดสอบเปรียบเทียบความรุนแรงของความผิดปกติ (fault) ที่จุดต่างๆของระบบออกมาแสดงค่าให้เห็น และสามารถแสดงผลของการเกิด External Fault - Value ออกมา โดยเฉพาะกับ $Y - \Delta$ Transformer Bank และ Main Generation Bus. ของระบบใดๆ

7.2 วิจารณ์

แม้ว่าการเกิดความผิดปกติ จะมีผลที่เกิดจาก D.C.-Rise up. และผลจากการ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณเป็นค่าที่ทำการ Simplification แล้ว แต่ไม่แง่ของ magnitude และ angle จะมีค่าดังกล่าวดังกล่าวผิดพลาดไม่มากไปกว่า 1-2 เปอร์เซ็นต์ การนำค่าดังกล่าวมาพิจารณาย่อยๆเพิ่มเติมในการเก็บรวบรวมถึงการออกแบบรีเลย์ด้วยแล้ว ค่าดังกล่าวซึ่งต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อยจะยิ่งเป็นผลดีมากขึ้นต่อการ setting breaker ยิ่งขึ้น ซึ่งแต่ละบุคคลที่ทำการศึกษาระบบจะมีแนวความคิดเห็น เล็กๆน้อยๆ เหล่านี้ต่างกันไปตามลำดับ

ในด้านของจุดสนใจเพิ่มเติมซึ่งปัจจุบันกำลังถูกพิจารณาหาหนทางใช้คอมพิวเตอร์ศึกษาให้ได้ดีขึ้น คือ การวิเคราะห์ความผิดปกติลงสู่ Distribution System จะเป็นส่วนที่ดีในการพัฒนาต่อเนื่องในอนาคต โดยการศึกษาที่จะต้องแสดง 3-phases Quality ของอุปกรณ์ออกมาเป็น 3x3 matrix เช่น ค่าของ Transformer Impedance เป็นต้น แต่จะก่อให้เกิดการใช้ storage จำนวนมาก และอีกจุดหนึ่งคือการศึกษา Simultaneous Fault อย่างจริงจัง ซึ่งการ fault ที่จุดใดจุดหนึ่งจะมี proceeding fault ตามมาในความเป็นจริง และทำการศึกษต่อเนื่องไปได้จากการพิจารณา Port-Network Theory โดยละเอียด

สิ่งที่อาจจะนำมาวิเคราะห์อย่างจริงจังมากขึ้นอาจจะได้แก่ การเกิด fault ที่ bus แบบ Simultaneous เช่น Single Line-to-ground ที่ phase a และ Line-to-line ที่ phase b และ c ซึ่งจะต้องใช้ reference value ที่ต่างกัน และต้องพิจารณา coupling effect ถ้าเราต้องการความถูกต้องสูง และผลจริงๆของ mutual coupling ใน zero-sequence ซึ่งบางครั้งเราไม่สามารถพิจารณาตัดออกได้ในการคำนวณ และเราสามารถศึกษาผลเสียออกไปโดยการคำนวณแบบ Iterative Change of Delta-current เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณโดยตรงกับ mutual ในระบบใหญ่ๆที่อาจจะมี Round-off Error สูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ สมโภชน์ ประไพ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำ
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการแก้ปัญหาทางระบบไฟฟ้ากำลัง รวมทั้ง
ทั้งทางด้านคอมพิวเตอร์ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

และขอขอบคุณต่อท่านอาจารย์ ดร. ไพรัช ชัยพงษ์ และพนักงานของศูนย์
วิจัยคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยี ๖ ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้บริการทาง
คอมพิวเตอร์ และทางเครื่องพิมพ์ในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไป

ขอแสดงความนับถือ

หนังสืออ้างอิง

1. Stevenson W.D., Jr. : " Elements of Power System Analysis ", 1st ed. McGraw-Hill, New York, 1955.
2. Stagg Glenn W. and El-Abiad, Ahmed H. : " Computer Methods in Power System Analysis ", McGraw-Hill, New York, 1968.
3. " Power System Protection ", vol. 1, 2, 3 ; The Electricity Council, Macdonal, London, 1969.
4. Anderson P.M. : " Analysis of Faulted Power System ", The IOWA State University Press, 1973.
5. Evans R.D., Wagner C.F. : " Symmetrical Components ", McGraw-Hill, New York and London, 1933.
6. Fortescue C.L. : " Method of Symmetrical Coordinates Applied to The Solutions of Polyphase Network ", Trans. AIEE., vol.37, Pt. II, p.p. 1027-1140,
7. Weedy B.M. : " Electric Power System ", 2nd ed., Willy trans., 1972.
8. สมโภชน์ ประไพ, ชำนาญ ภูมิปัญญาพาณิชย์ : " Linknet Structure ", การประชุมวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้า ของ 8 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 4 ณ สถาบันเทคโนโลยี ๗ ลาดกระบัง. พ.ศ. 2524
9. สมโภชน์ ประไพ, ดร. ชำนาญ ห่อเกียรติ : " Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method ", การประชุมวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้า ของ 8 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 5 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2525
10. Han Z.X. : " Generalized Method of Analysis of Simultaneous Fault - in Electrical Power System ", IEEE trans., vol. PAS-101, No. 10, oct. 1982. p.p. 3933-3942

11. Undrill J.M. and Kostyniak T.E. : " Advance Power System Fault Analysis Method ", IEEE trans., vol. PAS-94, No. 6, November/December, 1975. p.p. 2141-2150
12. Roy L. and Rao N.D. : " Exact Calculation of Simultaneous Faults Involving Open Conductors and Line-to-ground Short Circuits on Inherently Unbalanced Power Systems ", IEEE trans., vol. PAS-101, No. 8, - August, 1982. p.p. 2738-2746
13. สมโภชน์ ปะไพ : " Modified Fast Decouple Newton-Raphson Method ", วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี ๗ ลาดกระบัง พ.ศ. 2525
14. สุรศักดิ์ วลีทวารังกูร, วริยะ เจริญศิลป์, สมเกียรติ คุณเผือก : " Transient Stability in Synchronous Machine ", ปรินญาณิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี ๗ ลาดกระบัง พ.ศ. 2525
15. Brammeller A., John M.N. : " Diakoptics of Tearing Network ", Chapman & Hall, 1969.
16. Happ H.H. : " Diakoptics-The Solution of System Problems by Tearing " IEEE trans., vol. PAS-62, No. 7, July, 1974. p.p. 930-940
17. Tinney W.H. and J.W. Walker : " Direct Solutions of Sparse Network - Equation by Optimally Ordered Triangular Factorization ", Proc.IEEE November 1967. p.p. 1801-1809
18. Hodges S.F. and Sasson A.M. : " An Optimal Ordering Algorithm for - Sparse Matrix Applications ", IEEE trans., vol. PAS-97, No. 6, Nov/ Dec 1978. p.p. 2253-2261
19. Alvarado F.L. : " Formation of Y-Node Using The Primitive Y-Node - Concept ", IEEE trans., vol. PAS-101, No.12, Dec. 1982 p.p. 4563-4571

APPENDIX I



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

001-27945678901-27
7890123456789012345
0000000000000000000
0000000000000000000
0000000000000000000
0000000000000000000
0000000000000000000
0000000000000000000

(continued)




```

BSHUNT(I)*BSH
GO TO 103
C 101 CONTINUE
ISINAME=0
NLIN=NLIN+1
220 IF (NPRINT(2)*EQ.1) GO TO 104
3104 WRITE(6,3104)
3105 WRITE(6,3105)
3106 WRITE(6,3106)
3107 WRITE(6,3107)
3108 WRITE(6,3108)
3109 WRITE(6,3109)
3110 WRITE(6,3110)
3111 WRITE(6,3111)
3112 WRITE(6,3112)
3113 WRITE(6,3113)
3114 WRITE(6,3114)
3115 WRITE(6,3115)
3116 WRITE(6,3116)
3117 WRITE(6,3117)
3118 WRITE(6,3118)
3119 WRITE(6,3119)
3120 WRITE(6,3120)
3121 WRITE(6,3121)
3122 WRITE(6,3122)
3123 WRITE(6,3123)
3124 WRITE(6,3124)
3125 WRITE(6,3125)
3126 WRITE(6,3126)
3127 WRITE(6,3127)
3128 WRITE(6,3128)
3129 WRITE(6,3129)
3130 WRITE(6,3130)
3131 WRITE(6,3131)
3132 WRITE(6,3132)
3133 WRITE(6,3133)
3134 WRITE(6,3134)
3135 WRITE(6,3135)
3136 WRITE(6,3136)
3137 WRITE(6,3137)
3138 WRITE(6,3138)
3139 WRITE(6,3139)
3140 WRITE(6,3140)
3141 WRITE(6,3141)
3142 WRITE(6,3142)
3143 WRITE(6,3143)
3144 WRITE(6,3144)
3145 WRITE(6,3145)
3146 WRITE(6,3146)
3147 WRITE(6,3147)
3148 WRITE(6,3148)
3149 WRITE(6,3149)
3150 WRITE(6,3150)
3151 WRITE(6,3151)
3152 WRITE(6,3152)
3153 WRITE(6,3153)
3154 WRITE(6,3154)
3155 WRITE(6,3155)
3156 WRITE(6,3156)
3157 WRITE(6,3157)
3158 WRITE(6,3158)
3159 WRITE(6,3159)
3160 WRITE(6,3160)
3161 WRITE(6,3161)
3162 WRITE(6,3162)
3163 WRITE(6,3163)
3164 WRITE(6,3164)
3165 WRITE(6,3165)
3166 WRITE(6,3166)
3167 WRITE(6,3167)
3168 WRITE(6,3168)
3169 WRITE(6,3169)
3170 WRITE(6,3170)
3171 WRITE(6,3171)
3172 WRITE(6,3172)
3173 WRITE(6,3173)
3174 WRITE(6,3174)
3175 WRITE(6,3175)
3176 WRITE(6,3176)
3177 WRITE(6,3177)
3178 WRITE(6,3178)
3179 WRITE(6,3179)
3180 WRITE(6,3180)
3181 WRITE(6,3181)
3182 WRITE(6,3182)
3183 WRITE(6,3183)
3184 WRITE(6,3184)
3185 WRITE(6,3185)
3186 WRITE(6,3186)
3187 WRITE(6,3187)
3188 WRITE(6,3188)
3189 WRITE(6,3189)
3190 WRITE(6,3190)
3191 WRITE(6,3191)
3192 WRITE(6,3192)
3193 WRITE(6,3193)
3194 WRITE(6,3194)
3195 WRITE(6,3195)
3196 WRITE(6,3196)
3197 WRITE(6,3197)
3198 WRITE(6,3198)
3199 WRITE(6,3199)
3200 WRITE(6,3200)
3201 WRITE(6,3201)
3202 WRITE(6,3202)
3203 WRITE(6,3203)
3204 WRITE(6,3204)
3205 WRITE(6,3205)
3206 WRITE(6,3206)
3207 WRITE(6,3207)
3208 WRITE(6,3208)
3209 WRITE(6,3209)
3210 WRITE(6,3210)
3211 WRITE(6,3211)
3212 WRITE(6,3212)
3213 WRITE(6,3213)
3214 WRITE(6,3214)
3215 WRITE(6,3215)
3216 WRITE(6,3216)
3217 WRITE(6,3217)
3218 WRITE(6,3218)
3219 WRITE(6,3219)
3220 WRITE(6,3220)
3221 WRITE(6,3221)
3222 WRITE(6,3222)
3223 WRITE(6,3223)
3224 WRITE(6,3224)
3225 WRITE(6,3225)
3226 WRITE(6,3226)
3227 WRITE(6,3227)
3228 WRITE(6,3228)
3229 WRITE(6,3229)
3230 WRITE(6,3230)
3231 WRITE(6,3231)
3232 WRITE(6,3232)
3233 WRITE(6,3233)
3234 WRITE(6,3234)
3235 WRITE(6,3235)
3236 WRITE(6,3236)
3237 WRITE(6,3237)
3238 WRITE(6,3238)
3239 WRITE(6,3239)
3240 WRITE(6,3240)
3241 WRITE(6,3241)
3242 WRITE(6,3242)
3243 WRITE(6,3243)
3244 WRITE(6,3244)
3245 WRITE(6,3245)
3246 WRITE(6,3246)
3247 WRITE(6,3247)
3248 WRITE(6,3248)
3249 WRITE(6,3249)
3250 WRITE(6,3250)
3251 WRITE(6,3251)
3252 WRITE(6,3252)
3253 WRITE(6,3253)
3254 WRITE(6,3254)
3255 WRITE(6,3255)
3256 WRITE(6,3256)
3257 WRITE(6,3257)
3258 WRITE(6,3258)
3259 WRITE(6,3259)
3260 WRITE(6,3260)
3261 WRITE(6,3261)
3262 WRITE(6,3262)
3263 WRITE(6,3263)
3264 WRITE(6,3264)
3265 WRITE(6,3265)
3266 WRITE(6,3266)
3267 WRITE(6,3267)
3268 WRITE(6,3268)
3269 WRITE(6,3269)
3270 WRITE(6,3270)
3271 WRITE(6,3271)
3272 WRITE(6,3272)
3273 WRITE(6,3273)
3274 WRITE(6,3274)
3275 WRITE(6,3275)
3276 WRITE(6,3276)
3277 WRITE(6,3277)
3278 WRITE(6,3278)
3279 WRITE(6,3279)
3280 WRITE(6,3280)
3281 WRITE(6,3281)
3282 WRITE(6,3282)
3283 WRITE(6,3283)
3284 WRITE(6,3284)
3285 WRITE(6,3285)
3286 WRITE(6,3286)
3287 WRITE(6,3287)
3288 WRITE(6,3288)
3289 WRITE(6,3289)
3290 WRITE(6,3290)
3291 WRITE(6,3291)
3292 WRITE(6,3292)
3293 WRITE(6,3293)
3294 WRITE(6,3294)
3295 WRITE(6,3295)
3296 WRITE(6,3296)
3297 WRITE(6,3297)
3298 WRITE(6,3298)
3299 WRITE(6,3299)
3300 WRITE(6,3300)
3301 WRITE(6,3301)
3302 WRITE(6,3302)
3303 WRITE(6,3303)
3304 WRITE(6,3304)
3305 WRITE(6,3305)
3306 WRITE(6,3306)
3307 WRITE(6,3307)
3308 WRITE(6,3308)
3309 WRITE(6,3309)
3310 WRITE(6,3310)
3311 WRITE(6,3311)
3312 WRITE(6,3312)
3313 WRITE(6,3313)
3314 WRITE(6,3314)
3315 WRITE(6,3315)
3316 WRITE(6,3316)
3317 WRITE(6,3317)
3318 WRITE(6,3318)
3319 WRITE(6,3319)
3320 WRITE(6,3320)
3321 WRITE(6,3321)
3322 WRITE(6,3322)
3323 WRITE(6,3323)
3324 WRITE(6,3324)
3325 WRITE(6,3325)
3326 WRITE(6,3326)
3327 WRITE(6,3327)
3328 WRITE(6,3328)
3329 WRITE(6,3329)
3330 WRITE(6,3330)
3331 WRITE(6,3331)
3332 WRITE(6,3332)
3333 WRITE(6,3333)
3334 WRITE(6,3334)
3335 WRITE(6,3335)
3336 WRITE(6,3336)
3337 WRITE(6,3337)
3338 WRITE(6,3338)
3339 WRITE(6,3339)
3340 WRITE(6,3340)
3341 WRITE(6,3341)
3342 WRITE(6,3342)
3343 WRITE(6,3343)
3344 WRITE(6,3344)
3345 WRITE(6,3345)
3346 WRITE(6,3346)
3347 WRITE(6,3347)
3348 WRITE(6,3348)
3349 WRITE(6,3349)
3350 WRITE(6,3350)
3351 WRITE(6,3351)
3352 WRITE(6,3352)
3353 WRITE(6,3353)
3354 WRITE(6,3354)
3355 WRITE(6,3355)
3356 WRITE(6,3356)
3357 WRITE(6,3357)
3358 WRITE(6,3358)
3359 WRITE(6,3359)
3360 WRITE(6,3360)
3361 WRITE(6,3361)
3362 WRITE(6,3362)
3363 WRITE(6,3363)
3364 WRITE(6,3364)
3365 WRITE(6,3365)
3366 WRITE(6,3366)
3367 WRITE(6,3367)
3368 WRITE(6,3368)
3369 WRITE(6,3369)
3370 WRITE(6,3370)
3371 WRITE(6,3371)
3372 WRITE(6,3372)
3373 WRITE(6,3373)
3374 WRITE(6,3374)
3375 WRITE(6,3375)
3376 WRITE(6,3376)
3377 WRITE(6,3377)
3378 WRITE(6,3378)
3379 WRITE(6,3379)
3380 WRITE(6,3380)
3381 WRITE(6,3381)
3382 WRITE(6,3382)
3383 WRITE(6,3383)
3384 WRITE(6,3384)
3385 WRITE(6,3385)
3386 WRITE(6,3386)
3387 WRITE(6,3387)
3388 WRITE(6,3388)
3389 WRITE(6,3389)
3390 WRITE(6,3390)
3391 WRITE(6,3391)
339
```


[illegible]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[illegible]


```

SUBROUTINE MULTI(A,B,C,IR,N,IC,K,NB)
  DIMENSION A(IRM),B(N,IC),C(IR,IC),X
  COMMON /E/IR,K,I,C
  DO 1 I=1,IR
    DO 2 J=1,IC
      C(I,J)=A(I,J)*B(J,I)
      DO 3 K=1,N
        X(I,J,K)=C(I,J)*K
        DO 4 L=1,NB
          X(I,J,K)=X(I,J,K)+C(I,J)*L
        END DO
      END DO
    END DO
  END DO
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SEARCH(NL,P,Q,LL,RR,XX,B,S,SRATE,I2,I3,PM,QM,LN)
    I,J
COMPLEX
REAL
INTEGER
    P(NL),Q(NL),LL(NL),I2(NL),I3(NL),
    PH(NL),QM(NL),LN(NL)
    RR(NL,NL),XX(NL,NL),BS(NL,NL),SRATE(NL)
    P(NL),Q(NL),LL(NL),I2(NL),I3(NL),
    PH(NL),QM(NL),LN(NL)
    P(I)=P(J)
    Q(I)=Q(J)
    LL(I)=LL(J)
    I2(I)=I2(J)
    I3(I)=I3(J)
    PH(I)=PH(J)
    QM(I)=QM(J)
    LN(I)=LN(J)
    RR(I,J)=RR(J,I)
    XX(I,J)=X(J,I)
    BS(I,J)=BS(J,I)
    SRATE(I)=SRATE(J)
    X(I)=X(J)
    I2(I)=I2(J)
    I3(I)=I3(J)
    PH(I)=PH(J)
    QM(I)=QM(J)
    LN(I)=LN(J)
    PM(I)=PM(J)
    QM(I)=QM(J)
    LN(I)=LN(J)

```

[illegible]


```

00001069
00001070
00001071
00001072
00001073
00001074
00001075
00001076
00001077
00001078
00001079

```

```

102 SUMC=(0.0,0.0)
    DO 55 J=1,NBUS
    55 SUMC=SUMC+YBUS(SLACKB,J)*VBUS(JJ)
    PBUS(SLACKB)=REAL(SUMC*CONJG(VBUS(SLACKB)))
    CALL SUBROUTINE FOR PRINT OUT LOAD-FLOW SOLUTION
    CALL OUTPUT(IB,NL,ERRPR,NTERR,BASE,PGEN,QGEN,PLQD,QLOAD,
    1 PBUS,QBUS,BSSHUNT,VBUS,GG,BB,BS,P,Q,TAP,SLACKB,NBUS,
    2 NLINE,NTRANS,QCR,EMAG,ANGLE,NCASE,ITAP,NPRINT)
    RETURN
    END

```

```

79
801
802
803
804
805
806
807
808
809

```



```
700 22 CONTINUE  
00001138  
00001139  
00001160  
00001161  
00001162  
00001163  
00001164  
00001165  
00001166  
00001167  
00001168  
00001169  
00001170  
00001171  
00001172  
00001173  
00001174  
00001175  
00001176  
00001177  
00001178  
00001179
```

22 CONTINUE
PQBUS=CMPLX(PBUS(I),QBUS(I))*CBASE
SUM=SUM+CBASE
IF (YSUB.EQ.0.0) GO TO 4
AMIS=PQBUS*(CMPLX(0.0,YSUB))-SUM
GO TO 5
4 AMIS=PQBUS-SUM
5 AMIS=CABS(AMIS)
IF (MAXHIS.GE.AMIS) GO TO 21
MAXHIS=AMIS
MAXI=I
WRITE(6,5000) AMIS
21 CONTINUE
11 FORMAT(2,12,T10,F8.4,T19,F8.4,T30,F7.2,T39,F7.2,T49,F7.2,T59,
3000 F7.2,T69,F8.4,T79,F8.4,T89,F8.4,T99,F8.4,T109,F8.4,T119,F8.4,T129,
4000 F7.2,T139,F8.4,T149,F8.4,T159,F8.4,T169,F8.4,T179,F8.4,T189,F8.4,T199,
5000 F7.2,T209,F8.4,T219,F8.4,T229,F8.4,T239,F8.4,T249,F8.4,T259,F8.4,T269,
6000 F7.2,T279,F8.4,T289,F8.4,T299,F8.4,T309,F8.4,T319,F8.4,T329,F8.4,T339,
114) RETURN
END
100


```

158      CALL LFLOW(KITER,EMAX)
159      CALL LTIME(N1)
160      N1TIME=(N1-N1)/1000.0
161      WRITE(6,100) N1TIME
162      1000 FORMAT(100,'//10, TIME FOR CALCULATION OF LOAD=FLOW',SX,I6,SX,
163      164      165      IF(EMAX.GT.10.0) GO TO 5
166      IF(KITER.GT.100) GO TO 5
167      C*****
168      C3 CALL OUT(KITER,NCODE)
169      C*****
170      C4 CALL FAULT
171      C*****
172      GO TO 1
173      5 WRITE(6,7100)
174      7100 FORMAT(1H1,'//104, SOLUTION OF LOAD=FLOW DIVERGE',//)
175      10 CONTINUE
176      STOP
177      END

```

```

00152
00153
0000154
0000155
0000156
0000157
0000158
0000159
0000160
0000161
0000162
0000163
0000164
0000165
0000166
0000167
0000168
0000169
0000170
0000171
0000172
0000173
0000174
0000175
0000176
0000177

```

[illegible]

```
150 1 CONTINUE 4X,F10.5,T86,I2/)
160 21 NLINE=NLINE+1
161 IF(NBARS.NE.0) GO TO 300
162 28 BRANCH=BRANCH+1
163 BL1=BL1/2.0
164 28 BRNCH(BRANCH)=CMPLX(1.0,0.0)/ZL1.
165 END=2*BRANCH-1
166 CALL ADDEND(BUS,END)
167 PAR(END)=BUSB
168 YEND(END)=CMPLX(0.0,BL1)
169 YSELF(BUSA)=YSELF(BUSA)+YBRNCH(BRANCH)+YEND(END)
170 C
171 END=2*BRANCH
172 CALL ADDEND(BUSR,END)
173 PAR(END)=BUSB
174 YEND(END)=CMPLX(0.0,BL1)
175 YSELF(BUSB)=YSELF(BUSB)+YBRNCH(BRANCH)+YEND(END)
176 C
177 GO TO 20
178 30 CONTINUE
179 GO TO 303
180 NUMP=NUMP+1
181 300 IF(PPAR(BRANCH).NE.0) GO TO 302
182 301 XPAR(BRANCH)=XPAR(BRANCH)+1
183 302 XPARR(BRANCH)=NUMP
184 BL1=BL1/2.0
185 YEND(NUMP)=CMPLX(0.0,BL1)
186 YBRA(NUMP)=CMPLX(1.0,0.0)/ZL1
187 END=2*BRANCH-1
188 YSELF(BUSA)=YSELF(BUSA)+YBRA(NUMP)+CMPLX(0.0,BL1)
189 YEND(END)=YEND(END)+YEND(NUMP)
190 YSELF(BUSB)=YSELF(BUSB)+YBRA(NUMP)
191 END=2*BRANCH
192 YEND(END)=YEND(END)+YEND(NUMP)
193 YSELF(BUSB)=YSELF(BUSB)+YBRA(NUMP)+CMPLX(0.0,BL1)
194 YBRNCH(BRANCH)=YBRNCH(BRANCH)+YBRA(NUMP)
195 GO TO 20
196 C
197 *****
198 C
199 WRITE HEADING FOR PRINTOUT OF TRANSFORMER-DATA
200 *****
201 303 CONTINUE
202 READ(5,3030) (NCODE(I),I=1,2)
203 3030 FORMAT(I2)
204 C
205 IF(NCODE(1).NE.0) GO TO 34
206 WRITE(6,6080)
207 6080 FORMAT(1,/,/,/,T28,'TRANSFORMER - DATA',/,1H0,102(-,))
208 6090 WRITE(6,6090)
209 6090 FORMAT(1,/,/,/,T28,'BUS',T12,'NAME',T24,'BUS',T32,'NAME',
210 T32,'RESISTANCE',T24,'REACTANCE',T24,'TAP',T5X,'CODE',6X,
211 T32,'MAXTAP',T3X,'MINTAP',T32,'RATIO',T102(-,))
212 C
213 *****
214 2 READ IN THE SYSTEM TRANSFORMER-DATA
215 LOP HERE FOR READING AND CONSTRUCTING NETWORK
216 C
217 31 READ(5,3100)BUSA,BUSB,ZL,RATIO,TYPE,IFIX,MAXTAP,MINTAP
218 3100 FORMAT(I3,2F10.5,2F6.4,2I2,2F6.4)
219 C
220 CHECK FOR LAST TRANSFORMER-DATA
221 C
222 IF(RUSA.EQ.0) GO TO 34
223 IF(NPRINT(3).EQ.1) GO TO 29
224 WRITE(6,6100) BUSA,NAME1(BUSA),NAME2(BUSA),BUSB,NAME1(BUSB),
225 1 NAME2(BUSB),ZL1,RATIO,TYPE,
226 IFIX,MAXTAP,MINTAP
227 6100 FORMAT(1,/,3X,I3,10,4,4,2,2,4,3,T30,4,4,T42,F10.5,F10.5,
228 3X,F6.4,3X,I2,2X,I2,5X,F6.4,3X,F6.4)
229 CONTINUE
230 NTRAN=NTRAN+1
231 C
232 ARRANGE THE BUSES SUCH THAT RATIO IS BUSA TURNS OVER BUSB TURNS
233 IF TYPE IS ONE SWAP BUSES
234 IF TYPE IS ZERO LEAVE BUSES
235 C
236 IF(TYPE.NE.1) GO TO 32
237 NTEMP=BUSA
238 BUSA=BUSB
239 BUSB=NTEMP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
159 C      TEST LAST BRANCH OF ADJACENT-BUS TO PBUS
160 C      IF(NEXT(END)).EQ.0) GO TO 20
161 C      END=NEXT(FND)
162 C      GO TO 15
163 C      CONTINUE
164
165 C      *****
166 C      EREAL = 0.0
167 C      EIMAG = 0.0
168
169 C      EREAL=REAL(ETEMP)
170 C      EIMAG=AIMAG(ETEMP)
171 C      QDET=EIMAG*DENAM3-EREAL*DENAM4
172 C      QG(PBUS)=QDET*QL(PBUS)
173
174 C      IF(QG(PBUS).LT.OMIN(PBUS)) GO TO 21
175 C      IF(QG(PBUS).GT.OMAX(PBUS)) GO TO 22
176 C      REACTIVE OF GENERATION IS IN ALLOWABLE-LIMITED RANGE
177 C      THEREFOR PUT MAGNITUDE OF E(PBUS) EQUAL THAT PRECALC
178 C      E(PBUS)=ETEMP
179 C      GO TO 24
180 C      OMIN(PBUS)=OMIN(PBUS)
181 C      GO TO 24
182 C      OMAX(PBUS)=OMAX(PBUS)
183 C      GO TO 24
184 C      CONTINUE
185
186 C      PGLB=PG(PBUS)*QL(PBUS)
187 C      OGLD=OG(PBUS)*QL(PBUS)
188 C      S(PBUS)=CMPLX(PGLB,OGLD)
189 C      ESAVE(PBUS)=E(PBUS)
190 C      CONTINUE
191
192 C      *****
193 C      CALCULATE CURRENT CHANGE ON PBUS
194 C      STEMP = 0.0
195 C      EREAL = 0.0
196 C      EIMAG = 0.0
197 C      DENAM1 = 0.0
198 C      DENAM2 = 0.0
199 C      DENAM3 = 0.0
200 C      DENAM4 = 0.0
201 C      PGLB = 0.0
202 C      OGLD = 0.0
203 C      E(PBUS)=E(PBUS)
204 C      STEMP=S(PBUS)
205 C      EREAL=REAL(ESTEMP)
206 C      EIMAG=AIMAG(ESTEMP)
207 C      PGLB=REAL(ESTEMP)*QL(PBUS)
208 C      OGLD=AIMAG(ESTEMP)*QL(PBUS)
209 C      DENAM1=DENAM1+EREAL*DENAM3-EIMAG*DENAM4
210 C      DENAM2=DENAM2+EREAL*DENAM4+EIMAG*DENAM3
211 C      DENAM3=DENAM3+PGLB*EREAL
212 C      DENAM4=DENAM4+PGLB*EIMAG
213 C      CONTINUE
214
215 C      DENAM3=REAL(YSSELF(PBUS))
216 C      DENAM4=AIMAG(YSSELF(PBUS))
217 C      PGLB=DENAM3*EREAL-DENAM4*EIMAG
218 C      OGLD=DENAM4*EREAL+DENAM3*EIMAG
219 C      DENAM1=DENAM1-PGLB
220 C      DENAM2=DENAM2-OGLD
221 C      *****
222 C      CONSEQUENT PROCEDURE OF CALC FUNCTIONS ARE:
223 C      DENAM1 = REAL(S(PBUS))/EOLD - YSELF(PBUS)*EOLD
224 C      DENAM2 = IMAG(S(PBUS))/EOLD - YSELF(PBUS)*EOLD
225 C      *****
226 C      EREAL = 0.0
227 C      EIMAG = 0.0
228 C      PGLB = 0.0
229 C      OGLD = 0.0
230 C      DENAM1 = 0.0
231 C      DENAM2 = 0.0
232 C      DENAM3 = 0.0
233 C      DENAM4 = 0.0
```

```
26 QBUS=EAR(END)
   BRANCH=(END+1)/2
   EREAL=REAL(ELORBUS)
   EIMAG=AIMAG(ELORBUS)
   STEMP=GRNCH(BRANCH)
   DENAM3=REAL(STEMP)
   DENAM4=AIMAG(STEMP)
   PGLB=DENAM3*EREAL-DENAM4*EIMAG
   OGLOB=DENAM4*EREAL+DENAM3*EIMAG
   DENAM1=DENAM1+PGLB
   DENAM2=DENAM2+OGLOB
   IF(MEAT(END).EQ.0) GO TO 30
   GO TO 26
   END=NEXT(END)
   GO TO 26
   CONTINUE
30 DOING PRIMARY ADJUSTMENT
   CALCULATE NEW VOLTAGE ON PBUS
   E(PBUS)=EOLD+CDIFF/YEFF(PBUS)
   EREAL=0.0
   EIMAG=0.0
   DENAM3=0.0
   DENAM4=0.0
   PGLB=0.0
   OGLOB=0.0
   DENAM1=REAL(YEFF(PBUS))
   DENAM2=AIMAG(YEFF(PBUS))
   EREAL=REAL(EOOLD)
   EIMAG=AIMAG(EOOLD)
   PGLB=DENAM1*DENAM3+DENAM2*DENAM4
   OGLOB=DENAM2*DENAM3-DENAM1*DENAM4
   EREAL=EREAL+OGLOB/PGLB
   EIMAG=EIMAG+OGLOB/PGLB
   CONTINUE
   ACCELERATE NEW ESTIMATED VOLTAGE ON PBUS
   E(PBUS)=E(PBUS)+ALPHA*DELTA(E)
   DENAM1=0.0
   DENAM2=0.0
   DENAM3=0.0
   DENAM4=0.0
   DENAM1=REAL(ESAVE(PBUS))
   DENAM2=AIMAG(ESAVE(PBUS))
   DENAM3=ALPHA*EREAL-ALPHA*DENAM1
   DENAM4=ALPHA*EIMAG-ALPHA*DENAM2
   DENAM1=DENAM1+DENAM3
   DENAM2=DENAM2+DENAM4
   E(PBUS)=CMPLX(DENAM1,DENAM2)
   CONTINUE
   SPREAD THE CHARGE ON PBUS TO ADJACENT-BUS BY
   SECONDARY ADJUSTMENT
   EDIFF = CMPLX(0.0,0.0)
   EREAL = 0.0
   EIMAG = 0.0
   DENAM1 = 0.0
   DENAM2 = 0.0
   DENAM3 = 0.0
   DENAM4 = 0.0
   PGLB = 0.0
   OGLOB = 0.0
   EDIFF = E(PBUS)-EOLD
   EREAL=REAL(EDIFF)
   EIMAG=AIMAG(EDIFF)
   ENDELIST(PBUS)
   QBUS=FBAR(EN)
   BRANCH=(EN+1)/2
   IF(TAG(QBUS).EQ.1) GO TO 32
   CALCULATE BUS BY BUS SEPARATELY WITH
   E(QBUS)=E(QBUS)+YBRNCH(BRANCH)/YEFF(QBUS)*EDIFF
```

```
117 STEMP=BRNCH(BRANCH)
118 DENAM1=REAL(STEMP)
119 DENAM2=AIMAG(STEMP)
120 STEMP=SELF(QBUS)
121 DENAM3=REAL(STEMP)
122 DENAM4=AIMAG(STEMP)
123
124 PGLB=DENAM2+DENAM4*EREAL+DENAM3*EIMAG+
125 DENAM1+DENAM3*EREAL+DENAM2*EIMAG
126 T=PGLB
127
128 1 PGLB=DENAM2+DENAM4*EREAL+DENAM3*EIMAG+
129 DENAM1+DENAM3*EREAL+DENAM2*EIMAG
130 DENAM3=PGLB/DENAM1
131 DENAM4=PGLB/DENAM1
132
133 STEMP=(0.0,0.0)
134 DENAM1=0.0
135 DENAM2=0.0
136 PGLB=0.0
137
138 STEMP=SELF(QBUS)
139 DENAM1=REAL(STEMP)
140 DENAM2=AIMAG(STEMP)
141 PGLB=DENAM2+DENAM4*EREAL+DENAM3*EIMAG
142 E(QBUS)=CMPLX(PGLB,PGLB)
143
144 IF(NEXT(END)) GO TO 35
145 END=NEXT(END)
146 GO TO 31
147 CONTINUE
148
149 CALCULATE TOTAL ITERATION DIFFERENCE
150
151 EDITTE(PBUS,ESAVE(PBUS))
152 ESAVE(PBUS)=ESAVE(PBUS)
153 IF(CABS(EDITTE(PBUS))>EMAX) GO TO 60
154 EMAX=CABS(EDITTE(PBUS))
155 MBUS=PBUS
156
157 CONTINUE
158 WRITE(6,6010) KITER,MBUS,EMAX
159 FORMAT(T22,I5,T40,I3,T58,F11.5)
160
161 CHECK IF SOLUTION HAS CONVERGED
162 IF(EMAX.LT.ERB) GO TO 140
163
164 CHECK IF SOLUTION DIVERGED
165 IF(EMAX.GT.10.0) GO TO 140
166 KITER=KITER+1
167 IF(KITER.LT.MAXIT) GO TO 13
168 CONTINUE
169 RETURN
170 END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
158 6060 FORMAT(1H,T85,I3,T91,A4,A4,F10.4,F10.4)
159 IF(NCODE(1).NE.0) GO TO 22
160 C 21 IF(NCODE(2).NE.0) GO TO 22
161 C 23 DO 31 J=1,NTRAN
162 IF(K=BUSTACJ)
163 CONTINUE
164 GO TO 22
165 C 31 IF(K.EQ.PBUS) GO TO 32
166 GO TO 22
167 C 32 DO 33 J=1,NTRAN
168 IF(K=BUSTB(J))
169 CONTINUE
170 GO TO 22
171 C 33 IF(K.EQ.QBUS) GO TO 35
172 CONTINUE
173 GO TO 22
174 C 35 CLASS = ITRATIO(4)
175 WRITE(6,6065) CLASS
176 6065 FORMAT(1H,T19,F9.4)
177 C *****
178 C 22 CONTINUE
179 IF(NEXT(END).EQ.0) GO TO 25
180 ENDOF(NEXT(END))
181 GO TO 20
182 CONTINUE
183 C 25 MISMA=SQRT(PMISS*PMISS*QMISS*QMISS)
184 IF(MISMA<LT.MISMAX) GO TO 30
185 MBUS=PBUS
186 MISMAX=MISMA
187 CONTINUE
188 C 30 IF(NPRINT(6).EQ.0) GO TO 40
189 WRITE(6,6070) PMISS,QMISS
190 6070 FORMAT(1H,T85,MISMATCH',T100,F10.4,F10.4)
191 C 40 CONTINUE
192 C 50 CONTINUE
193 C
194 C
195 C
196 C
197 C
198 C
199 C
200 C
201 C
202 C
203 C
204 C
205 C
206 C
207 C
208 C
209 C
210 C
211 C
212 C
213 C
214 C
215 C
216 C
217 C
218 C
219 C
220 C
221 C
222 C
223 C
224 C
225 C
226 C
227 C
228 C
229 C
230 C
231 C
232 C
233 C
234 C
235 C
236 C
237 C
238 C
239 C
240 C
241 C
242 C
243 C
244 C
245 C
246 C
247 C
248 C
249 C
250 C
251 C
252 C
253 C
254 C
255 C
256 C
257 C
258 C
259 C
260 C
261 C
262 C
263 C
264 C
265 C
266 C
267 C
268 C
269 C
270 C
271 C
272 C
273 C
274 C
275 C
276 C
277 C
278 C
279 C
280 C
281 C
282 C
283 C
284 C
285 C
286 C
287 C
288 C
289 C
290 C
291 C
292 C
293 C
294 C
295 C
296 C
297 C
298 C
299 C
300 C
301 C
302 C
303 C
304 C
305 C
306 C
307 C
308 C
309 C
310 C
311 C
312 C
313 C
314 C
315 C
316 C
317 C
318 C
319 C
320 C
321 C
322 C
323 C
324 C
325 C
326 C
327 C
328 C
329 C
330 C
331 C
332 C
333 C
334 C
335 C
336 C
337 C
338 C
339 C
340 C
341 C
342 C
343 C
344 C
345 C
346 C
347 C
348 C
349 C
350 C
351 C
352 C
353 C
354 C
355 C
356 C
357 C
358 C
359 C
360 C
361 C
362 C
363 C
364 C
365 C
366 C
367 C
368 C
369 C
370 C
371 C
372 C
373 C
374 C
375 C
376 C
377 C
378 C
379 C
380 C
381 C
382 C
383 C
384 C
385 C
386 C
387 C
388 C
389 C
390 C
391 C
392 C
393 C
394 C
395 C
396 C
397 C
398 C
399 C
400 C
401 C
402 C
403 C
404 C
405 C
406 C
407 C
408 C
409 C
410 C
411 C
412 C
413 C
414 C
415 C
416 C
417 C
418 C
419 C
420 C
421 C
422 C
423 C
424 C
425 C
426 C
427 C
428 C
429 C
430 C
431 C
432 C
433 C
434 C
435 C
436 C
437 C
438 C
439 C
440 C
441 C
442 C
443 C
444 C
445 C
446 C
447 C
448 C
449 C
450 C
451 C
452 C
453 C
454 C
455 C
456 C
457 C
458 C
459 C
460 C
461 C
462 C
463 C
464 C
465 C
466 C
467 C
468 C
469 C
470 C
471 C
472 C
473 C
474 C
475 C
476 C
477 C
478 C
479 C
480 C
481 C
482 C
483 C
484 C
485 C
486 C
487 C
488 C
489 C
490 C
491 C
492 C
493 C
494 C
495 C
496 C
497 C
498 C
499 C
500 C
501 C
502 C
503 C
504 C
505 C
506 C
507 C
508 C
509 C
510 C
511 C
512 C
513 C
514 C
515 C
516 C
517 C
518 C
519 C
520 C
521 C
522 C
523 C
524 C
525 C
526 C
527 C
528 C
529 C
530 C
531 C
532 C
533 C
534 C
535 C
536 C
537 C
538 C
539 C
540 C
541 C
542 C
543 C
544 C
545 C
546 C
547 C
548 C
549 C
550 C
551 C
552 C
553 C
554 C
555 C
556 C
557 C
558 C
559 C
560 C
561 C
562 C
563 C
564 C
565 C
566 C
567 C
568 C
569 C
570 C
571 C
572 C
573 C
574 C
575 C
576 C
577 C
578 C
579 C
580 C
581 C
582 C
583 C
584 C
585 C
586 C
587 C
588 C
589 C
590 C
591 C
592 C
593 C
594 C
595 C
596 C
597 C
598 C
599 C
600 C
601 C
602 C
603 C
604 C
605 C
606 C
607 C
608 C
609 C
610 C
611 C
612 C
613 C
614 C
615 C
616 C
617 C
618 C
619 C
620 C
621 C
622 C
623 C
624 C
625 C
626 C
627 C
628 C
629 C
630 C
631 C
632 C
633 C
634 C
635 C
636 C
637 C
638 C
639 C
640 C
641 C
642 C
643 C
644 C
645 C
646 C
647 C
648 C
649 C
650 C
651 C
652 C
653 C
654 C
655 C
656 C
657 C
658 C
659 C
660 C
661 C
662 C
663 C
664 C
665 C
666 C
667 C
668 C
669 C
670 C
671 C
672 C
673 C
674 C
675 C
676 C
677 C
678 C
679 C
680 C
681 C
682 C
683 C
684 C
685 C
686 C
687 C
688 C
689 C
690 C
691 C
692 C
693 C
694 C
695 C
696 C
697 C
698 C
699 C
700 C
701 C
702 C
703 C
704 C
705 C
706 C
707 C
708 C
709 C
710 C
711 C
712 C
713 C
714 C
715 C
716 C
717 C
718 C
719 C
720 C
721 C
722 C
723 C
724 C
725 C
726 C
727 C
728 C
729 C
730 C
731 C
732 C
733 C
734 C
735 C
736 C
737 C
738 C
739 C
740 C
741 C
742 C
743 C
744 C
745 C
746 C
747 C
748 C
749 C
750 C
751 C
752 C
753 C
754 C
755 C
756 C
757 C
758 C
759 C
760 C
761 C
762 C
763 C
764 C
765 C
766 C
767 C
768 C
769 C
770 C
771 C
772 C
773 C
774 C
775 C
776 C
777 C
778 C
779 C
780 C
781 C
782 C
783 C
784 C
785 C
786 C
787 C
788 C
789 C
790 C
791 C
792 C
793 C
794 C
795 C
796 C
797 C
798 C
799 C
800 C
801 C
802 C
803 C
804 C
805 C
806 C
807 C
808 C
809 C
810 C
811 C
812 C
813 C
814 C
815 C
816 C
817 C
818 C
819 C
820 C
821 C
822 C
823 C
824 C
825 C
826 C
827 C
828 C
829 C
830 C
831 C
832 C
833 C
834 C
835 C
836 C
837 C
838 C
839 C
840 C
841 C
842 C
843 C
844 C
845 C
846 C
847 C
848 C
849 C
850 C
851 C
852 C
853 C
854 C
855 C
856 C
857 C
858 C
859 C
860 C
861 C
862 C
863 C
864 C
865 C
866 C
867 C
868 C
869 C
870 C
871 C
872 C
873 C
874 C
875 C
876 C
877 C
878 C
879 C
880 C
881 C
882 C
883 C
884 C
885 C
886 C
887 C
888 C
889 C
890 C
891 C
892 C
893 C
894 C
895 C
896 C
897 C
898 C
899 C
900 C
901 C
902 C
903 C
904 C
905 C
906 C
907 C
908 C
909 C
910 C
911 C
912 C
913 C
914 C
915 C
916 C
917 C
918 C
919 C
920 C
921 C
922 C
923 C
924 C
925 C
926 C
927 C
928 C
929 C
930 C
931 C
932 C
933 C
934 C
935 C
936 C
937 C
938 C
939 C
940 C
941 C
942 C
943 C
944 C
945 C
946 C
947 C
948 C
949 C
950 C
951 C
952 C
953 C
954 C
955 C
956 C
957 C
958 C
959 C
960 C
961 C
962 C
963 C
964 C
965 C
966 C
967 C
968 C
969 C
970 C
971 C
972 C
973 C
974 C
975 C
976 C
977 C
978 C
979 C
980 C
981 C
982 C
983 C
984 C
985 C
986 C
987 C
988 C
989 C
990 C
991 C
992 C
993 C
994 C
995 C
996 C
997 C
998 C
999 C
1000 C
```

```
23380 YSHUNT=YSELF(PBUS)=CMPLX(0.0,DENAM3)
23381 ENDO=LIST(PBUS)
23382 BRUS=FAR(ENDD+1)/2
23383 BRANCH=E(PBUS)-E(QBUS)
23384 ETEMP=E(PBUS)-E2*61,61
23385 IF(CLOS=CLOS+ETEMP*CONJG(YBRNCH(BRANCH)*ETEMP)
23386 YSHUNT=YSHUNT+YBRNCH(BRANCH)
23387 IF(NEXT(ENDD).EQ.0) GO TO 65
23388 ENDO=NEXT(ENDD)
23389 GO TO 60
23390 CLOS=CLOS+E(PBUS)*CONJG(YSHUNT+E(PBUS))
23391 CONTINUE
23392 DENAM3=REAL(CLOS)
23393 DENAM4=AIMAG(CLOS)
23394 PMISS=FGEN*PLOAD-DENAM3
23395 OMIS2=OGEN*QSHUNT-DENAM4
23396 WRITE(6,6200) PLOAD,OMIS2,PMISS,QSHUNT
23397 C 6200 FORMAT(1H0,T1,9F10.3)
23398 RETURN
23399 END
```

01060
01061
01062
01063
01064
01065
01066
01067
01068
01069
01070
01071
01072
01073
01074
01075
01076
01077
01078
01079
01080
01081
01082

```
1  SUBROUTINE ADDEND(BUSA,ENDA)  
2  COMMON/BLOCK1/ LIST, NEXT, FAR  
3  INTEGER  
4  IF (LIST(BUSA) .NE. 0) GO TO 21  
5  LIST(BUSA) = ENDA  
6  GO TO 200  
7  END = LIST(BUSA)  
8  IF (NEXT(ENDA) .EQ. 0) GO TO 23  
9  END = NEXT(ENDA)  
10 GO TO 22  
11 NEXT(ENDA) = ENDA  
12 CONTINUE  
13 RETURN  
14 END  
15
```

21
22
23
200

01083
01084
01085
01086
01087
01088
01089
01090
01091
01092
01093
01094
01095
01096
01097

```
C*****
C***** SUBROUTINE FAULT *****
C*****
C***** THIS SUBROUTINE IS OPERATED BY RECEIVING DATA FROM LOADFLOW
C***** BUS ADMITTANCES, NETWORK LINK INFORMATION, AND SYSTEM VOLTAGE
C***** OF A LINE-TO-GROUND UNBALANCE. USEFULNESS OF THESE IS FOR -
C***** CALCULATION OF GENERAL UNBALANCE FAULT ANALYSIS.
C***** INTERNAL-CO-SUBROUTINE SUBPROGRAMS ARE AS FOLLOWS:
C***** REAL MATRIX INVERSION OF SMALL DIMENSION MATRIX.
C***** SUBNETWORK OF PARTITIONED NODES.
C***** BACKSUBSTITUTION OF VOLTAGE IN ELIMINATED NODES.
C***** PHASE COMPONENT VECTOR TO SEQUENCE VECTOR TRANSFORMATION.
C***** OUTPUT SOLUTIONS OF FAULT VOLTAGE AND CURRENT.
C*****
C***** THE SIGNIFICANT INPUTS FOR THE PROGRAM ARE: LINE DATA SUBMATRIX,
C***** ZB1,ZB0 FOR POSITIVE AND ZERO SEQUENCE PAIR IN UNBALANCE SUBMATRIX,
C***** NFAULT FOR NO. OF NODE-TO-NODE PAIR IN UNBALANCE SUBMATRIX.
C*****
C***** SUBROUTINE FAULT *****
C*****
C***** COMMON/ BLOCK47/ LIST, NEXT, FAR, YSELF0, YSELF1
C***** COMMON/ BLOCK47/ YMOD, YMM1, YSS0, YSS1
C***** COMMON/ BLOCK47/ ZB0, ER1, ER2, IRO, IRI, IR2
C***** COMMON/ BLOCK47/ ZFAULT, YBRNCH, YEND
C***** COMMON/ BLOCK47/ YSELF, YBRNCH, YSAVE
C***** COMMON/ BLOCK47/ Y0, Y1
C***** COMMON/ BLOCK47/ NSTATE, YSAVE, WSAVE
C***** COMMON/ BLOCK47/ NORDER, NRELIM, PHASEX, PHASEY
C***** COMMON/ BLOCK47/ BUSX, BUSY, NBRAN, NPRINT
C***** COMMON/ BLOCK47/ NAME1, NAME2, NAME3, NAME4
C***** COMMON/ BLOCK47/ ADDRAN, NWNET1, NWNET2
C***** COMMON/ BLOCK47/ EBUS0, EBUS1, EBUS2
C***** COMMON/ BLOCK47/ MANA3, MANA4, NWRT1, LOCKOP
C***** COMMON/ BLOCK47/ ACUR, BCUR0, BCUR1, BCUR2, CONVR
C*****
C***** COMPLEX *****
C*****
C***** 1 2 3 4 *****
C***** 1 YMOD(80), YMOD1(80), YSELF0(50), YSELF1(50),
C***** 2 YMOD1(10), Y1(10), Y10(10), YSS0(50), YSS1(50),
C***** 3 YRO(13), Y13(13), ZB0, YMM0(80), YMM1(80),
C***** 4 YRO2(2), YB1, CONVR, MANA3, MANA4,
C***** 5 NAME1(50), NAME2(50)
C*****
C***** REAL *****
C*****
C***** 1 2 3 4 *****
C***** 1 YMOD1(80), YMOD1(80), YSELF0(50), YSELF1(50),
C***** 2 YMOD1(10), Y1(10), Y10(10), YSS0(50), YSS1(50),
C***** 3 YRO(13), Y13(13), ZB0, YMM0(80), YMM1(80),
C***** 4 YRO2(2), YB1, CONVR, MANA3, MANA4,
C***** 5 NAME1(50), NAME2(50)
C*****
C***** INTEGER *****
C*****
C***** 1 2 3 4 5 6 7 *****
C***** 1 LIST(50), NEXT(150), FAR(150), NBRAN, UNODE,
C***** 2 BUSXD(15), BUSY(15), NSAVE, NSTATE(50), NFAULT, NORDER(15),
C***** 3 PHASEY(15), NSAVE, NSTATE(50), NFAULT, NORDER(15),
C***** 4 NRELIM, YSAVE(10), J, NODE1, NODE2, ENDI, MUTUAL,
C***** 5 NPRINT(6), NODEM, LAST, NCONN(50), NBRUS,
C***** 6 N1, N2, NELTIM, K, LPAR, NM, NFCS, N,
C***** 7 ADDRAN, NWNET1(50), NWNET2(50),
C***** 8 NWRT1(3), LOCKOP, KLOOP, NEWCS
C*****
C***** CLEAR THE Y-MATRIX *****
C*****
C***** 1 2 3 4 *****
C***** 1 KCONV = 180.0/3.1459265
C***** 2 KLOOP = 15991(NWRT1(1), I=1,3)
C***** 3 READ(5,5991) (NWRT1(I), I=1,3)
C***** 4 5999 FORMAT(3I2)
C***** 5 IF(NWRT1(3).NE.0) KLOOP = KLOOP+1
C***** 6 LOCKOP = 0
C***** 7 CONTINUE
C*****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
158 333 MUTUAL = (ENDI+1)/2
159 YMUO(MUTUAL) = YMUO(MUTUAL)-YBO
160 YMMO(MUTUAL) = YMMO(MUTUAL)-YBO
161 GO TO 17
162 23 GO TO (333,19),KLOOP
163 19 N = NPAP
164 DO 21 I = 1,N
165 21 ENDI = NEXT(ENDI)
166 CONTINUE
167 GO TO 22
168 22 CONTINUE
169 30 LOOP HERE FOR RECEIVING DATA FROM POSITIVE SEQUENCE ADMITTANCE.
170 *****
171 WRITE(6,6002)
172 6002 FORMAT(1H0,8(1)T35,'DATA FOR POSITIVE SEQUENCE',1)
173 1 ADMITTANCE DATA, 2X,18(1)T12,'X',1T12,'X',7(1)T13,
174 2X,ACTUAL,18(1)T13,'X',17(1)T13,'CONVERTED',
175 2X,18(1)T13,'X',1T13,'BUS',4X,T30,'X(PCT)',T46,
176 2X(PU),T64,'B(PU)',T79,'PARALLEL',)
177 READ(5,3000) NODE1,NODEJ,ZBO,NPAR
178 IF(NODE1.EQ.0) GO TO 888
179 YDI = ZBO/DB.O.
180 YBO = 1.0/ZBO
181 WRITE(6,5001) NODE1,NODEJ,YDI,ZBO,YBO,NPAR
182 IF(NODE1.EQ.0) GO TO 887
183 ENDI = LIST(NODE1)
184 NNODE = LIST(NODEJ)
185 IF(NPAR.NE.0) GO TO 679
186 IF(NPAR.EQ.0) GO TO 576
187 MUTUAL = (ENDI+1)/2
188 YMU1(MUTUAL) = YMU1(MUTUAL)
189 YSS1(NODEJ) = YSS1(NODEJ)+YBO
190 YSS1(NODE1) = YSS1(NODE1)+YBO
191 YSELF1(NODE1) = YSELF1(NODE1)+YBO
192 YSELF1(NODEJ) = YSELF1(NODEJ)+YBO
193 GO TO 674
194 674 ENDI = NEXT(ENDI)
195 GO TO 676
196 676 CONTINUE
197 GO TO 777
198 887 YSELF1(NODEJ) = YSELF1(NODEJ)+YBO
199 YSS1(NODEJ) = YSS1(NODEJ)+YBO
200 GO TO 777
201 678 MUTUAL = (ENDI+1)/2
202 YMU1(MUTUAL) = YMU1(MUTUAL)-YBO
203 YMU1(MUTUAL) = YMU1(MUTUAL)-YBO
204 GO TO 675
205 675 N = NPAP
206 GO TO 625
207 625 DO 578 I = 1,N
208 578 ENDI = NEXT(ENDI)
209 CONTINUE
210 GO TO 579
211 579 CONTINUE
212 888 NSAVE = J
213 *****
214 ALL BRANCHS HAVE BEEN READ IN AND FORMED IN LINKNET.
215 *****
216 666 LAST = 'BRAN'
217 *****
218 READ IN FAULT DATA
219 *****
220 READ(5,3010) NFAULT,NANA3,NANA4
221 FORMAT(15,A4,A4)
222 IF(LOCKP.NE.0) GO TO 43
223 43 FAULT(6050) = NFAULT
224 6050 FORMAT(1H1,11T13,'NUMBER OF FAULT',T30,T15,T42,'POINT',11T11)
225 *****
226 WRITE HEADING FOR PRINTOUT OF INPUT FAULT CONDITION.
227 *****
228 6055 WRITE(6,6055)
229 6055 FORMAT(1H1,11T13,'T29, OCCURING OF FAULT',T47,T11,T47,T11)
```

```
1 WRITE(6,6060) 'T61','PHASE OF FAULT'
6060 FORMAT(1X,'T14','FAULT=NO.',T39,'BUSX',1X,T70 'BUSY',T60,'BUSX',
43 DO 45 I=1,NFAULT
3020 READ(5,T020) BUSXD(I),BUSYD(I),PHASEX(I),PHASEY(I)
IF(LOCKOP.NE.0) GO TO 45
WRITE(6,6100) BUSXD(I),BUSYD(I),PHASEX(I),PHASEY(I)
6100 FORMAT(1X,T15,'FAULT DATA',T15,T27,T15,5X,T58,T15,5X,T5)
41 IF(BUSXD(I).EQ.0) GO TO 42
4065 WRITE(6,6065)
FORMAT(1X,T77,'SERIAL',I)
GO TO 45
42 WRITE(6,6070)
6070 FORMAT(1X,T77,'SHUNT',I)
45 CONTINUE
C *****
C SET UP THE BUS TO BE SAVED IN NSTATE(I)
C *****
DO 50 I=1,NFAULT
IF(BUSXD(I).EQ.0) GO TO 48
J = BUSXD(I)
NSTATE(J) = 1
CONTINUE
48 NSTATE(J) = 1
J = BUSYD(I)
50 CONTINUE
C *****
C SET UP BUSES TO BE SAVED IN SAVE(I)
C *****
J=0
DO 55 I=1,NBUS
IF(NSTATE(I).NE.1) GO TO 55
J=J+1
SAVE(J) = I
CONTINUE
55 NSAVE = J
C *****
C *****
C IF(LOCKOP.NE.0) GO TO 60
WRITE(6,6110) 'FAULT IMPEDANCE MATRIX OF NODES',I,I)
6110 FORMAT(1X,I10)
C *****
C READ IN FAULT IMPEDANCE MATRIX.
60 READ(5,T040) I,J,Z
3040 FORMAT(2I5,F10.5)
IF(I.EQ.0) GO TO 61
IF(LOCKOP.NE.0) GO TO 62
WRITE(6,6150) I,J,Z
6150 FORMAT(1X,T60,'FAULT IMPEDANCE',T20,T25,T50,T10.5Y
ZFAULT(I,J) = Z
ZFAULT(J,I) = Z
GO TO 60
61 CONTINUE
C *****
C WRITE OUT FAULT MATRIX.
WRITE(6,6200)
6200 FORMAT(1X,I10)
6220 WRITE(6,6220) ((ZFAULT(I,J),J=1,10),I=1,10)
C *****
C ENTERING TO FAULT NETWORK PERFORMANCE.
C *****
C FIRST IS TO EVALUATE THE BALANCE EQUIVALENT MATRIX
C LOOKING BY NODE-TO-NODE OF FAULT.
C *****
N1 = 0
N2 = 0
NELLTIM = 0
CALL KROUCLAST(NCONN)
CALL ELTIME(N1)
CALL KROUCLAST(NCONN)
CALL ELTIME(N2)
NELLTIM = N2-N1
IF(LOCKOP.NE.0) GO TO 64
6230 WRITE(6,6230) NELLTIM
FORMAT(1X,T60,T10,T75,'MILIT-SECONDS',I)

```

[The page contains faint, illegible markings and noise.]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[illegible]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C ***** IF FAULT IS SERIES, SO CHECK FOR TRANSFORMING NODE-NODE. *****
C *****
DO 139 M=1,NORD
  REINEN(M)=XELIP(M)
  XEINEN(M)=XELIP(M)
  DO 139 N=1,NORD
    ZPNEW(M,N)=ZP(M,N)
  END DO
END DO

C *****
DO 150 IX=1,NFAULT
  I=NFAULT-IX+1
  IF (BUSY(I).EQ.0) GO TO 150
  M=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
  N=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
  DO 140 K=1,NORD
    ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)
  END DO
  DO 141 K=1,NORD
    ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)+ZPNEW(M,K)
  END DO
  REINEN(M)=REINEN(M)+XEINEN(M)
  XEINEN(M)=XEINEN(M)+REINEN(M)
  CONTINUE
  DO 150 I=1,NFAULT
    I=NFAULT-IX+1
    M=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
    N=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
    DO 140 K=1,NORD
      ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)
    END DO
    DO 141 K=1,NORD
      ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)+ZPNEW(M,K)
    END DO
    REINEN(M)=REINEN(M)+XEINEN(M)
    XEINEN(M)=XEINEN(M)+REINEN(M)
  END DO
CONTINUE

C ***** SUBTRACT THE MATRIX OF FAULT IMPEDANCE DUE TO CONNECTION *****
C ***** BALANCE AND UNBALANCE EQUIVALENT NETWORK. *****
C *****
DO 160 I=1,NFAULT
  DO 160 J=1,NFAULT
    ZPSUB(I,J)=ZPSUB(I,J)
  END DO
  INVERTING FAULT-BUS Z-MATRIX
  NN=2*NFAULT
  CALL MINV(ZPSUB,NFAULT,NN)
  CALL MINV(ZPSUB,NFAULT,NN)
  MULTIPLY ZPSUB=ZPSUB*IPNEW TO FORM SHORT-PHASE CURRENTS.
  CONTINUE
  DO 161 I=1,NORD
    XIRNEW(M)=0.0
  END DO
  DO 161 I=1,NORD
    XIRNEW(M)=0.0
  END DO
  CONTINUE
  DO 165 I=1,NFAULT
    PHASEY(I)
    DO 165 J=1,NFAULT
      PHASEY(J)
    END DO
    N=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
    XIRNEW(M)=XIRNEW(M)+ZPSUB(I,J)*XEINEN(N)
    XIRNEW(M)=XIRNEW(M)+ZPSUB(I,J)*XEINEN(N)
  END DO
CONTINUE

C ***** TRANSFORM CURRENTS TO PHASE-TO-GROUND AXIS. *****
C *****
DO 170 M=1,NORD
  DENAM1=XIRNEW(M)
  DENAM2=XIRNEW(M)
  IRP(M)=CMPLX(DENAM1,DENAM2)
END DO

C *****
DO 175 I=1,NFAULT
  IF (BUSY(I).EQ.0) GO TO 175
  M=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
  N=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
  DO 175 K=1,NORD
    ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)
  END DO
  DO 175 K=1,NORD
    ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)+ZPNEW(M,K)
  END DO
  REINEN(M)=REINEN(M)+XEINEN(M)
  XEINEN(M)=XEINEN(M)+REINEN(M)
  CONTINUE
  DO 175 I=1,NFAULT
    I=NFAULT-IX+1
    M=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
    N=(BUSY(I)-1)*3+PHASEY(I)
    DO 175 K=1,NORD
      ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)
    END DO
    DO 175 K=1,NORD
      ZPNEW(M,K)=ZPNEW(M,K)+ZPNEW(M,K)
    END DO
    REINEN(M)=REINEN(M)+XEINEN(M)
    XEINEN(M)=XEINEN(M)+REINEN(M)
  END DO
CONTINUE

C ***** CALCULATE PHASE-TO-GROUND VOLTAGES AT FAULT. *****
C ***** WE RECALL ZP(I,J) OF PHASE-IMPEDANCE TO USED. *****
C *****
EREAL=0.0
EIMAG=0.0
XXX=CMPLX(0.0,0.0)
DENAM1=0.0
DENAM2=0.0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ภายใต้การดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
190 NMAX=NCONM(NODEI)
181 NODEI=NODEI
182 CONTINUE
183 C*****
184 C*****CHECK IF ALL REQUIRED TO ELIMINATE NODES BEEN SUCCEED.
185 C*****
186 C*****IF(NODEM.EQ.0) GO TO 60
187 C*****
188 C*****NORGER(NELIM)=NODEM
189 C*****
190 C*****NORGER(NELIM)=NODEM
191 C*****
192 C*****NORGER(I)=VARIABLE USED HERE FOR RECORDING ELIMINATION POINTS
193 C*****
194 C*****BACK-PERFORMANCE OF NORDER BE USED IN BACK-SUBSTITUTION
195 C*****
196 C*****NORDER IS THE MINIMUM BRANCH-CONNECTED NODE TO THE UNELIMINATED
197 C*****
198 C*****NODES PERFORMED KRON-REDUCTION ALGORITHM ON NODEM
199 C*****
200 C*****CONSEQUENTLY FORMING TABLE OF NODES CONNECTED TO NODEM WHICH
201 C*****
202 C*****HAVE NOT BEEN ELIMINATED
203 C*****
204 C*****I=0
205 C*****
206 C*****ENDM=LIST(NODEM)
207 C*****
208 C*****ENDM=FAR(CENDM)
209 C*****
210 C*****CHECK IF NODEM HAS BEEN ELIMINATED
211 C*****
212 C*****IF(INSTATED(CENDM).EQ.-1) GO TO 23
213 C*****
214 C*****I=1
215 C*****
216 C*****IF(I.LE.200) GO TO 21
217 C*****
218 C*****WRITE(6,3010) DIMENSIONS OF TABLE IN TRIANGULATION-REDUCTION.
219 C*****
220 C*****FORMAT(1, ' EXCESSIVE ')
221 C*****
222 C*****RETURN
223 C*****
224 C*****CONTINUE
225 C*****
226 C*****MUTAB(I)=NODEM+1
227 C*****
228 C*****MUTUAL(C)=ENDM+1
229 C*****
230 C*****YTAB(I)=YHUTAB(MUTUAL)
231 C*****
232 C*****IF(CNEXT(CENDM).EQ.0) GO TO 25
233 C*****
234 C*****ENDM=EXT(CENDM)
235 C*****
236 C*****GO TO 20
237 C*****
238 C*****CONTINUE
239 C*****
240 C*****NMUT=1
241 C*****
242 C*****TEMPQ=1.0/YSEC(CQ(NODEM))
243 C*****
244 C*****TEMP1=1.0/YSELF1(NODEM)
245 C*****
246 C*****DO 50 I=1,NMUT
247 C*****
248 C*****K=I
249 C*****
250 C*****DO 50 J=K,NMUT
251 C*****
252 C*****NODEI=MUTAB(I)
253 C*****
254 C*****NODEJ=MUTAB(J)
255 C*****
256 C*****YDIFFC=YTAB(I)+TEMPQ*YTAB(J)
257 C*****
258 C*****YDIFFI=YTAB(I)+TEMP1*YTAB(J)
259 C*****
260 C*****YDIFFJ=YTAB(J)+TEMPQ*YTAB(I)
261 C*****
262 C*****YDIFFI=YTAB(I)+TEMP1*YTAB(J)
263 C*****
264 C*****CHECK WHETHER A SELF OF MUTUAL ADMITTANCE IS TO BE CHANGED
265 C*****
266 C*****IF(NODEI.EQ.NODEJ) GO TO 26
267 C*****
268 C*****CHANGE SELF-ADMITTANCE OF NODEI
269 C*****
270 C*****YSELFQ(NODEI)=YSELFQ(NODEI)+YDIFFC
271 C*****
272 C*****YSELF1(NODEI)=YSELFQ(NODEI)+YDIFFI
273 C*****
274 C*****YSELFJ(NODEJ)=YSELFQ(NODEJ)+YDIFFJ
275 C*****
276 C*****GO TO 49
277 C*****
278 C*****CHANGE THE MUTUAL-ADMITTANCE BETWEEN NODEI AND NODEJ
279 C*****
280 C*****YDIFFC=YTAB(I)+TEMPQ*YTAB(J)
281 C*****
282 C*****YDIFFI=YTAB(I)+TEMP1*YTAB(J)
283 C*****
284 C*****YDIFFJ=YTAB(J)+TEMPQ*YTAB(I)
285 C*****
286 C*****YDIFFI=YTAB(I)+TEMP1*YTAB(J)
287 C*****
288 C*****CHECK IF A MUTUAL TERM ALREADY EXISTS BETWEEN NODEI AND NODEJ.
289 C*****
290 C*****IF(LIST(NODEI).EQ.NODEJ) GO TO 30
291 C*****
292 C*****IF(CNEXT(CENDM).EQ.0) GO TO 32
293 C*****
294 C*****ENDM=EXT(CENDM)
295 C*****
296 C*****GO TO 20
297 C*****
298 C*****MUTUAL TERM ALREADY EXISTS? THEREFOR CHANGE THE EXISTING TERM.
299 C*****
300 C*****MUTUAL=(CENDM+1)/2
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C*****
C***** SUBROUTINE TO TRANSFORM SYSTEM-PHASE-VOLTAGE AT
C***** EACH BUS TO BE SEQUENCE-VOLTAGE.
C*****
C***** THIS SUBROUTINE USED ONLY WITH CONNECTION-SUBPROGRAM.
C*****
C***** SUBROUTINE PTOS(VP,V0,V1,V2,NNN,MNN)
C*****
C***** COMMON/BLOCK6/ VP,V0,V1,V2,MNN
C*****
C***** COMPLEX A1,A2
C***** DATA A1,A2/(-0.5,0.866)/
C***** VP(MNN),V0(MNN),V1(MNN),V2(MNN)
C***** MDUM,NNN,NA,MB,MC,MNM
C***** INTEGER
C***** DO 30 MDUM=1,MNN
C***** NA=2*(MDUM-1)+1
C***** MB=NA+1
C***** MC=MB+1
C***** VO(MDUM)=(VP(MA)+VP(MB)+VP(MC))/CMPLX(1.732,0.0)
C***** V1(MDUM)=(VP(MA)+A2*VP(MB)+A1*VP(MC))/CMPLX(1.732,0.0)
C***** V2(MDUM)=(VP(MA)+A1*VP(MB)+A2*VP(MC))/CMPLX(1.732,0.0)
C***** CONTINUE
C*****
C***** RETURN
C***** END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่กำกรณิใครทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 2 3 4 5 6 7 8 9

```
FUNCTION DOT(J1,J2,A,X,C,INDEX,NM)  
  REAL  
  DOT = C  
  IF (J1.GT.J2) RETURN  
  DO 10 I=1,INDEX  
    DOT = DOT-A(INDEX,I)*X(I)  
  CONTINUE  
  RETURN  
END
```

10

54
55
56
57
58
59
60
61
62

```

1 SUBROUTINE MINVU(A,N,NDIM)
2 REAL
3 INTEGER
4 DO 1 I=1,N
5   TEMP = A(I,I)
6   DO 2 J=1,N
7     A(I,J) = A(I,J)/TEMP
8   IF(K-1) 3,1,3-
9   TEMP = A(K,I)
10  A(K,I) = 0.0
11  DO 4 J=1,N
12    A(K,J) = A(K,J)-TEMP*A(I,J)
13  CONTINUE
14  RETURN
15 END

```

34567890123456789
 6666666777777777
 333333333333333333
 222222222222222222
 000000000000000000

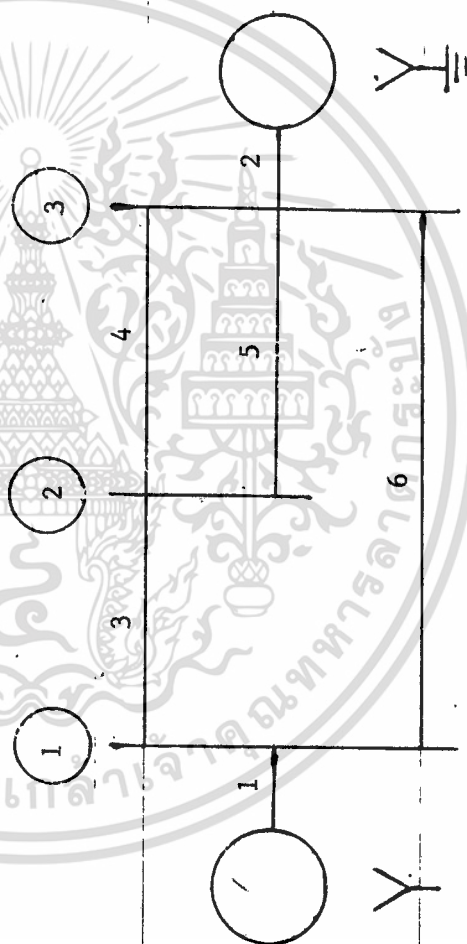


APPENDIX II



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMBER OF BUSES	3
NUMBER OF LINES	4
NUMBER OF TRANSFORMERS	0
VOLTAGE TOLERANCE	0.0001
SLACKS BUSES ON BUS	1



BUS	NAME	TYPE	VOLTS	MW	B U S - D A T A MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	SUSCEPTANCE	MVAR
1	BUS 1	1	1.0300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	BUS 2	0	0.0000	50.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	BUS 3	1	1.0200	80.000	40.000	0.000	0.000	70.000	0.000	0.000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUS	NAME	RUS	LINE - D A T A	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED	
1	BUS 1						0.00000	0
2	BUS 2	2	0.00000	0.08000	0.00000	0.00000	0.00000	0
3	BUS 3	3	0.00000	0.06000	0.00000	0.00000	0.00000	0
4	BUS 4	4	0.00000	0.06000	0.00000	0.00000	0.00000	0
5	BUS 5	5	0.00000	0.13000	0.00000	0.00000	0.00000	0



DATA FOR POSITIVE SEQUENCE

BUS	NAME	BUS	L I N E - D A T A	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED		
BUS 1	BUS 1	BUS 1	BUS 1	0.00000	0.20000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 2	BUS 2	BUS 2	BUS 2	0.00000	0.16000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 3	BUS 3	BUS 3	BUS 3	0.00000	0.08000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 4	BUS 4	BUS 4	BUS 4	0.00000	0.06000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 5	BUS 5	BUS 5	BUS 5	0.00000	0.05000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 6	BUS 6	BUS 6	BUS 6	0.00000	0.13000	0.00000	0.00000	0000000	0000000

DATA FOR ZERO SEQUENCE

BUS	NAME	BUS	L I N E - D A T A	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED		
BUS 1	BUS 1	BUS 1	BUS 1	0.00000	0.02000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 2	BUS 2	BUS 2	BUS 2	0.00000	0.14000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 3	BUS 3	BUS 3	BUS 3	0.00000	0.10000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 4	BUS 4	BUS 4	BUS 4	0.00000	0.12000	0.00000	0.00000	0000000	0000000
BUS 5	BUS 5	BUS 5	BUS 5	0.00000	0.17000	0.00000	0.00000	0000000	0000000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD-FLOW SOLUTION CASE 0
SOLUTION CONVERGED IN 9 ITERATIONS

B U S - D A T A				L I N E A N D T R A N S F O R M E R D A T A			
BUS	VOLTS	ANGLE	GENERATION MW	LOAD MW	MVAR	CAP/REAC MVAR	
1	1.0300	0.0000	29.82	20.91	0.00	0.00	
2	1.0193	-0.9782	0.00	0.00	20.00	0.00	
3	1.0213	-0.5254	-100.00	80.00	40.00	0.00	

B U S				L I N E A N D T R A N S F O R M E R D A T A			
BUS	MW	MVAR	TAP	BUS	MW	MVAR	TAP
2	22.4035	13.9607		2	22.4035	13.9607	
MISMATCH	7.4198	-6.9470		MISMATCH	7.4198	-6.9470	
	0.0000	-0.0008			0.0000	-0.0008	
1	22.4035	-13.4353		1	22.4035	-13.4353	
MISMATCH	13.7099	-3.3919		MISMATCH	13.7099	-3.3919	
	-0.1767	0.0190			-0.1767	0.0190	
2	13.7099	3.4067		2	13.7099	3.4067	
MISMATCH	7.4198	-6.8204		MISMATCH	7.4198	-6.8204	
	0.0000	0.0071			0.0000	0.0071	

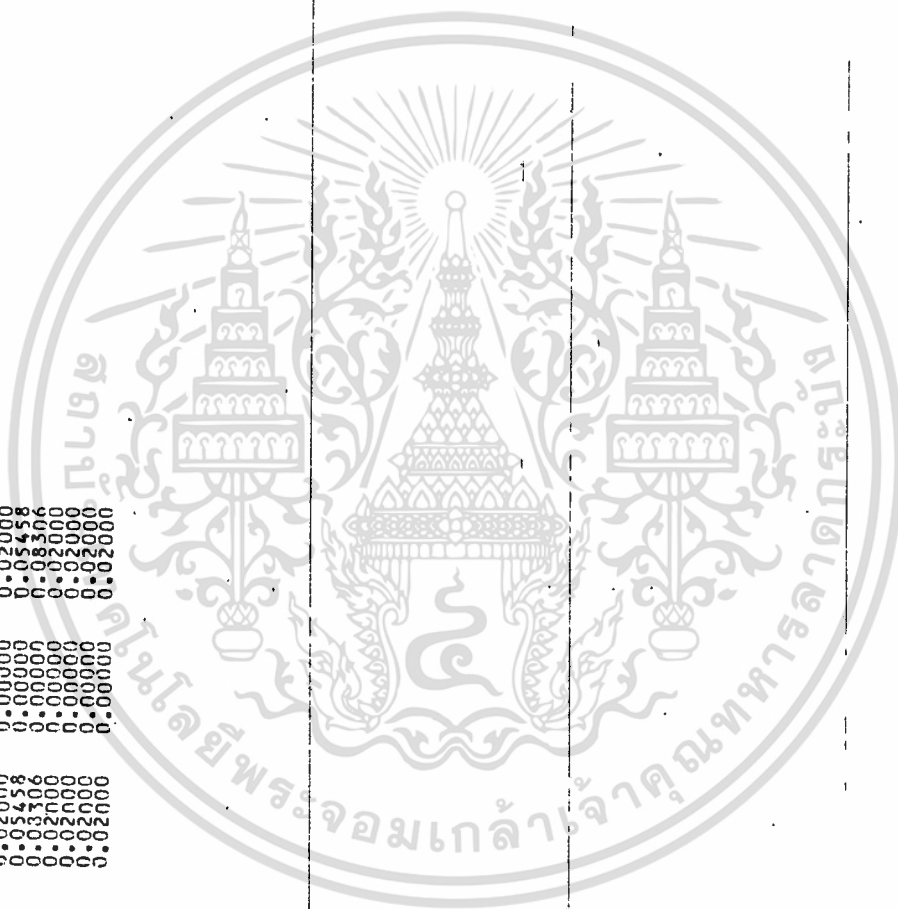
THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.17770 MVA ON BUS 2

[illegible]

Figure 1 displays a sequence of 16 binary images arranged in a 4x4 grid, illustrating the evolution of a pattern. The images are labeled 1 through 16 in the right margin. The patterns transition from a noisy state in the top-left to a structured state in the bottom-right.



EXISTING	2	123456789	R	X	Y
1	1	1	0.00000	0.11574	0.00000
2	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
3	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
4	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
5	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
6	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
7	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
8	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
9	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
10	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
11	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
12	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
13	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
14	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
15	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
16	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
17	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
18	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
19	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
20	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
21	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
22	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
23	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
24	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
25	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
26	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
27	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
28	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
29	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
30	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
31	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
32	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
33	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
34	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
35	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
36	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
37	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
38	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
39	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
40	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
41	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
42	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
43	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
44	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
45	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
46	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
47	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
48	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
49	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
50	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
51	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
52	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
53	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
54	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
55	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
56	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
57	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
58	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
59	1	1	0.00000	0.05428	0.00000
60	1	1			



—

F A U L T - S T U D Y

CASE STUDY FOR FAULT ANALYSIS OF POWER SYSTEM

- 1 SINGLE LINE TO GROUND FAULT
- 2 DOUBLE LINE FAULT
- 3 DOUBLE LINE TO GROUND FAULT

CODE DESCRIPTION

- 0 FOR ZERO SEQUENCE COMPONENT
- 1 FOR POSITIVE SEQUENCE COMPONENT
- 2 FOR NEGATIVE SEQUENCE COMPONENT
- T FOR TOTAL SUM OF SEQUENCE COMPONENT



NUMBER OF BUSES

NUMBER OF LINES

NUMBER OF TRANSFORMERS

VOLTAGE TOLERANCE

SLACK BUSBARS ON BUS

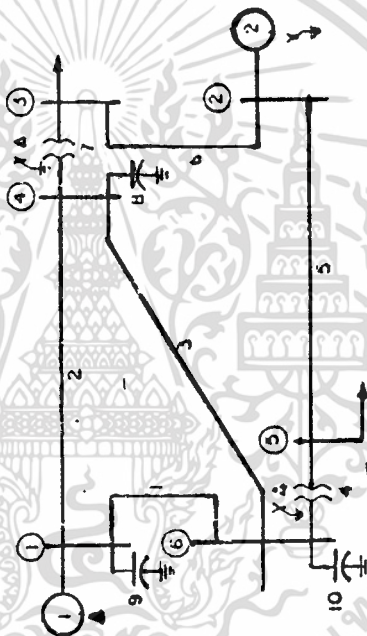
6

7

2

0.0001

1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUS - DATA

BUS	NAME	TYPE	VOLTS	MW	LOAD MW	MVAR	GENERATION MW	MVAR	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SHUNT SUSCEPTANCE
1	GAUSS1	1	1.05000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	NEWTON	1	1.10000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	0.0000	-0.1250	0.1250	0.0000
3	LOEB 1	0	1.00000	0.2750	0.0650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	MAXWEL	0	1.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	FOURIER	0	1.00000	0.1500	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	FORTES	0	1.00000	0.2500	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

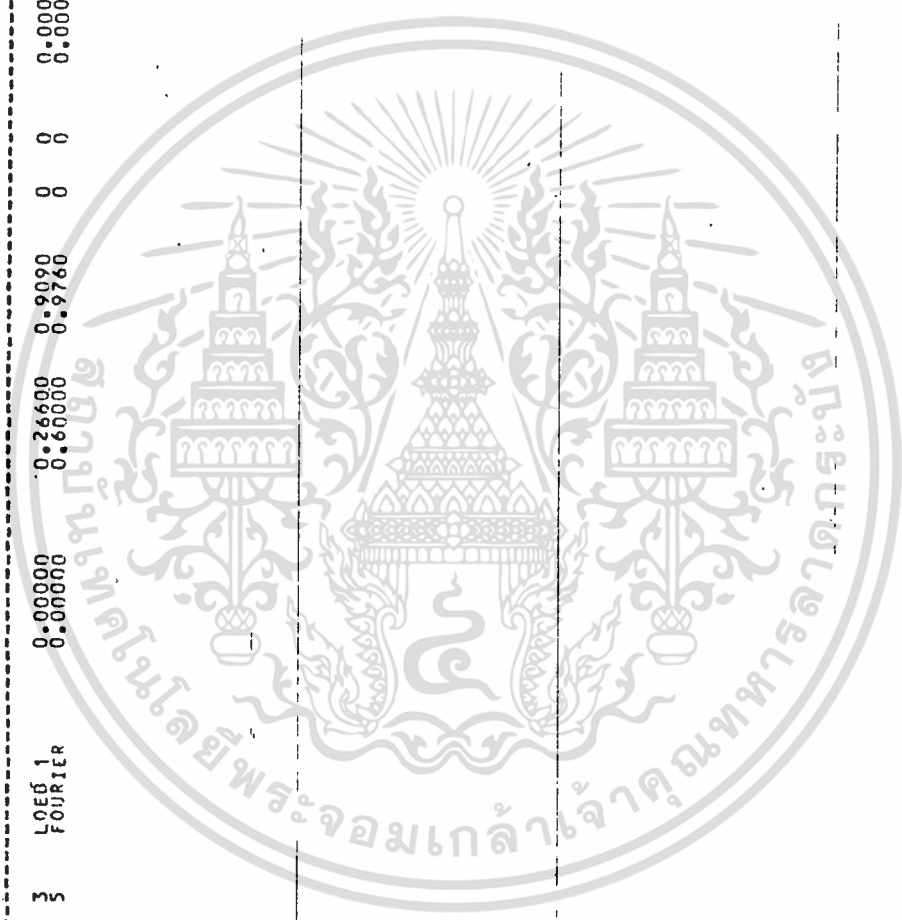


LINE - DATA

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	PARALLEL
1	GAUSS1	4	MAXWEL	0.16000	0.74000	0.01400	0
1	GAUSS1	6	FORTES	0.24600	1.03600	0.01980	0
2	NEWTON	3	LOEB 1	1.44600	2.10000	0.00000	0
2	NEWTON	5	FOURIER	0.56400	1.28000	0.00000	0
4	MAXWEL	6	FORTES	0.19400	0.81400	0.01520	0

TRANSFORMER - DATA

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	TAP	CODE	MAXTAP	MINTAP
4	MAXWEL	3	LOE 1	0.00000	0.26600	0.9090	0	0.0000	0.0000
6	FORTES	5	FOURIER	0.00000	0.60000	0.9760	0	0.0000	0.0000



DATA FOR ZERO SEQUENCE						
BUS	ACTUAL BUS	LINE X(PCT)	IMPEDANCE X(PU)	ADMITTANCE X(PU)	DATA CONVERTED B(PU)	PARALLEL
0	1	3.2000	0.0320	-31.2500	0.00000000	0
1	2	208.6000	2.0860	-0.45798	0.00000000	0
2	3	187.0000	1.8700	-0.2604	0.00000000	0
3	4	236.0000	2.3600	-0.4851	0.00000000	0
4	5	266.0000	2.6600	-1.6667	0.00000000	0
5	6	26.6000	0.2660	-3.7594	0.00000000	0

DATA FOR POSITIVE SEQUENCE						
BUS	ACTUAL BUS	LINE X(PCT)	IMPEDANCE X(PU)	ADMITTANCE X(PU)	DATA CONVERTED B(PU)	PARALLEL
1	1	74.0000	0.7400	1.3514	0.00000000	0
2	2	103.6000	1.0360	0.9723	0.00000000	0
3	3	128.0000	1.2800	0.7813	0.00000000	0
4	4	187.0000	1.8700	0.5394	0.00000000	0
5	5	236.0000	2.3600	0.4285	0.00000000	0
6	6	266.0000	2.6600	0.3759	0.00000000	0
7	7	26.6000	0.2660	3.7594	0.00000000	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD-FLOW SOLUTION CASE 0
SOLUTION CONVERGED IN 32 ITERATIONS

B U S - D A T A									
BUS	VOLTS	ANGLE	GENERATION MW	LOAD MW	MVAR	CAP/REAC MVAR	LINE AND TRANSFORMER DATA		
							BUS	MW	MVAR TAP
1	1.0500	0.0000	47.58	0.00	21.76	0.00	4	25.4396	12.7386
							6	22.1425	9.0254
							MISMATCH	0.0000	-0.0001
2	1.1000	-3.3443	25.00	0.00	9.28	0.00	3	8.5860	-0.0051
							MISMATCH	-0.0051	0.0028
3	1.0007	-12.7759	0.00	27.50	0.00	6.50	2	17.7049	1.2846
							MISMATCH	-0.0143	0.909
4	0.9297	-9.8290	0.00	0.00	0.00	0.00	1	26.2355	-8.5663
							MISMATCH	-0.0037	0.909
5	0.9191	-12.3265	0.00	15.00	-0.00	9.00	2	14.7613	-3.5163
							MISMATCH	-0.0045	0.976
6	0.9192	-12.2335	0.00	25.00	0.00	2.50	1	20.8201	-5.3844
							MISMATCH	-0.0003	0.976

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.01655 ON BUS 3

F A U L T - S T U D Y

CASE STUDY FOR FAULT ANALYSIS OF POWER SYSTEM

1. SINGLE LINE TO GROUND FAULT
2. DOUBLE LINE FAULT
3. DOUBLE LINE TO GROUND FAULT

CODE DESCRIPTION

- 0 FOR ZERO SEQUENCE COMPONENT
- 1 FOR POSITIVE SEQUENCE COMPONENT
- 2 FOR NEGATIVE SEQUENCE COMPONENT
- T FOR TOTAL SUM OF SEQUENCE COMPONENT

ZERO SEQUENCE IMPEDANCE MATRIX

EXISTING 2	R	X
1	1.48167	1.052556
2	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000
4	0.00000	0.00000
5	0.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000
7	0.00000	0.00000
8	0.00000	0.00000
9	0.00000	0.00000
10	0.00000	0.00000
11	0.00000	0.00000
12	0.00000	0.00000
13	0.00000	0.00000
14	0.00000	0.00000
15	0.00000	0.00000
16	0.00000	0.00000
17	0.00000	0.00000
18	0.00000	0.00000
19	0.00000	0.00000
20	0.00000	0.00000
21	0.00000	0.00000
22	0.00000	0.00000
23	0.00000	0.00000
24	0.00000	0.00000
25	0.00000	0.00000
26	0.00000	0.00000
27	0.00000	0.00000
28	0.00000	0.00000
29	0.00000	0.00000
30	0.00000	0.00000
31	0.00000	0.00000
32	0.00000	0.00000
33	0.00000	0.00000
34	0.00000	0.00000
35	0.00000	0.00000
36	0.00000	0.00000
37	0.00000	0.00000
38	0.00000	0.00000
39	0.00000	0.00000
40	0.00000	0.00000
41	0.00000	0.00000
42	0.00000	0.00000
43	0.00000	0.00000
44	0.00000	0.00000
45	0.00000	0.00000
46	0.00000	0.00000
47	0.00000	0.00000
48	0.00000	0.00000
49	0.00000	0.00000
50	0.00000	0.00000
51	0.00000	0.00000
52	0.00000	0.00000
53	0.00000	0.00000
54	0.00000	0.00000
55	0.00000	0.00000
56	0.00000	0.00000
57	0.00000	0.00000
58	0.00000	0.00000
59	0.00000	0.00000
60	0.00000	0.00000
61	0.00000	0.00000
62	0.00000	0.00000
63	0.00000	0.00000
64	0.00000	0.00000
65	0.00000	0.00000
66	0.00000	0.00000
67	0.00000	0.00000
68	0.00000	0.00000
69	0.00000	0.00000
70	0.00000	0.00000
71	0.00000	0.00000
72	0.00000	0.00000
73	0.00000	0.00000
74	0.00000	0.00000
75	0.00000	0.00000
76	0.00000	0.00000
77	0.00000	0.00000
78	0.00000	0.00000
79	0.00000	0.00000
80	0.00000	0.00000
81	0.00000	0.00000
82	0.00000	0.00000
83	0.00000	0.00000
84	0.00000	0.00000
85	0.00000	0.00000
86	0.00000	0.00000
87	0.00000	0.00000
88	0.00000	0.00000
89	0.00000	0.00000
90	0.00000	0.00000
91	0.00000	0.00000
92	0.00000	0.00000
93	0.00000	0.00000
94	0.00000	0.00000
95	0.00000	0.00000
96	0.00000	0.00000
97	0.00000	0.00000
98	0.00000	0.00000
99	0.00000	0.00000
100	0.00000	0.00000

BUS DATA			LINE DATA		
BUS NAME	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES	BUS NO.	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES
1 BUS 1	0.7357 175.0 0.8670 -2.1 0.1374 -166.4	1.907 -70.4 0.636 -70.4 0.636 -70.4	0-0	0.0000 0.0 0.0000 0.0 0.0000 0.0	1.141 -71.7 0.000 -71.7 0.571 -71.7
2 BUS 2	0.0401 -173.6 0.5199 0.2 0.4801 179.7	3.756 -83.6 1.253 -83.6 1.223 -83.6	6-0	0.0939 -176.2 0.8983 -166.8 0.1047 -166.8	0.340 -69.4 0.279 -69.4 0.031 -69.8
3 BUS 3	0.8214 175.7 0.9101 171.9 0.0956 -161.2	0.3129 -58.8 0.126 -58.8 0.126 -58.8	3-0	0.0401 -173.6 0.8078 -167.9 0.1977 -167.9	0.200 -64.1 0.000 -64.1 0.114 -64.1
4 BUS 4	0.1634 -171.2 0.1610 -171.2 0.4193 178.4	2.125 -78.7 0.708 -78.7 0.708 -78.7	4-0	0.0401 -173.6 0.2794 -171.9 0.2794 -171.9	0.297 -77.8 0.000 -77.8 0.149 -77.8
			2-0	0.0040 -148.8 0.9841 -143.0 0.0199 -143.0	0.185 -53.8 0.126 -53.8 0.030 -53.8
			4-0	0.0040 -148.8 0.9332 -143.8 0.0698 -143.8	0.323 -62.0 0.038 -62.0 0.098 -64.1
			0-0	0.0000 0.0 0.0000 0.0 0.0000 0.0	0.614 -81.7 0.614 -81.7 0.000 0.0
			3-0	0.0000 0.0 0.6099 2.4 0.3914 176.3	0.237 -64.9 0.000 -64.9 0.119 -64.9
			1-0	0.1443 -163.7 0.8770 -70.5 0.1233 -176.1	0.793 -82.0 0.302 -108.6 0.392 -81.7
			6-0	0.0602 -149.9 0.5492 0.0 0.2308 -179.9	0.423 -79.6 0.043 -80.8 0.203 -80.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S BUS 5	0.7572	173.8	2-0	0.0951	-150.1	0.295	1012	50.182
	0.8774	-161.7		0.9022	-148.3	0.158		-2.282
	0.1302			0.0353		0.069		-5.172
6 BUS 6	0.2530	-177.2	0-0	0.0951	-150.1	0.298	1012	50.182
	0.3534	179.9		0.9260	-166.0	0.090		-5.172
	0.3534			0.0765		0.090		-5.172
			1-0	0.0883	175.4	0.382	1012	70.066
				0.9018	-175.3	0.259		-2.282
				0.0986		0.194		-7.786
			4-0	0.0883	-150.2	0.479	1012	70.066
				0.7883	179.9	0.093		-2.282
				0.2117		0.145		-7.786
			5-0	0.0883	-150.2	0.382	1012	70.066
				0.7121	175.2	0.093		-2.282
				0.2864		0.145		-7.786

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUS DATA			LINE DATA		
BUS NAME	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES	BUS NO.	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES
1 BUS 1	0.0000 0.5000 0.5000	0.000 0.000 2.313	0.0	0.0000 1.0000 0.0000	0.000 0.000 2.076
2 BUS 2	0.0000 0.5000 0.5000	0.000 0.000 1.304	6.0	0.0000 0.6189 0.3811	0.000 0.000 0.112
3 BUS 3	0.0000 0.5000 0.5000	0.000 0.000 0.661	3.0	0.0000 0.8001 0.2059	0.000 0.000 0.119
4 BUS 4	0.0000 0.5000 0.5000	0.000 0.000 0.845	4.0	0.0000 0.0015 0.1043	0.000 0.000 0.158
5 BUS 5	0.0000 0.5000 0.5000	0.000 0.000 0.807	6.0	0.0000 0.5339 0.4671	0.000 0.000 0.467

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SOLUTIONS ARE WRITTEN IN ZERO-POSITIVE-NEGATIVE SEQUENCE RESPECTIVELY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

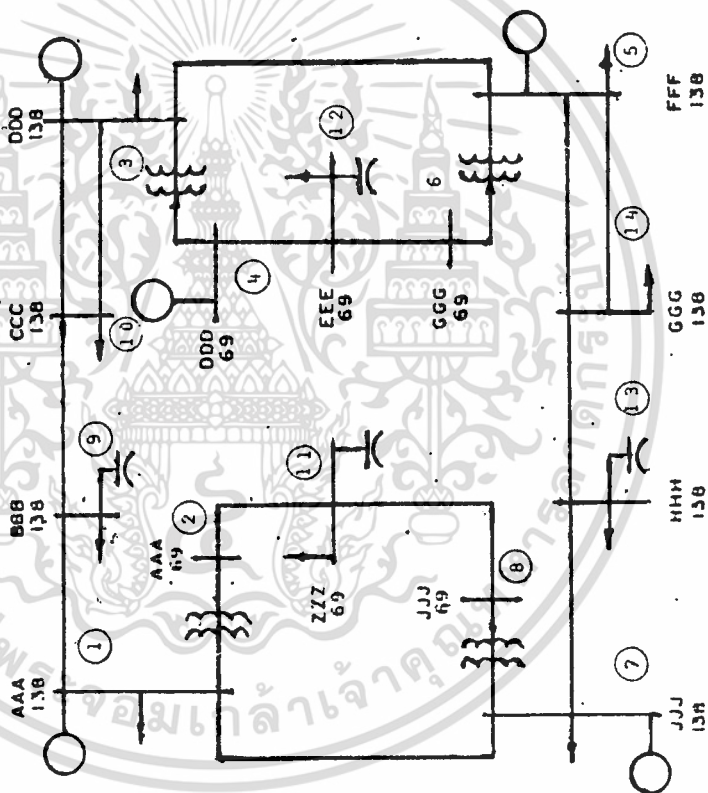
0:3480	167:3296	0:3394	-103:0984
0:2028	167:3296	0:0985	-103:0984
0:1472	167:3296	0:1808	-103:0984
0:427	167:3296	0:0000	0:0000
0:0806	167:3296	0:1343	-103:0984

4. MAXUEL

5. FOURIER



NUMBER OF BUSES 14
 NUMBER OF LINES 18
 NUMBER OF TRANSFORMERS 4
 VOLTAGE TOLERANCE 0.0001
 SLACKB BUSBARS ON BUS 7



BUS - DATA

BUS	NAME	TYPE	VOLTS	LOAD MW	LOAD MVAR	GENERATION MW	GENERATION MVAR	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SHUNT SUSCEPTANCE
1	AAA 138	1	1.02000	1.0000	0.5000	2.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	AAA 069	0	1.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	DDD 138	0	1.00000	1.0000	0.5000	2.0000	0.5620	0.0000	0.0000	0.0000
4	DDD 069	1	1.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
5	FFF 138	1	1.02000	1.0000	0.5000	2.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
6	FFF 069	0	1.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	JJJ 138	1	1.04000	1.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	JJJ 069	0	1.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	BBB 001	0	1.00000	0.5000	0.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2000
10	CCC 001	0	1.00000	0.5000	0.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	ZZZ 001	0	1.00000	0.2500	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
12	EEE 001	0	1.00000	0.2500	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
13	HHH 001	0	1.00000	0.5000	0.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2000
14	GGG 001	0	1.00000	0.5000	0.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINE - DATA

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	PARALLEL
1	AAA 138	7	JJJ 138	0.06700	0.20000	0.04200	0
1	AAA 138	9	BBB 001	0.06700	0.20000	0.04200	0
2	AAA 069	11	ZZZ 001	0.35000	0.42000	0.00700	0
3	DDD 138	5	FFF 138	0.06700	0.20000	0.04200	0
3	DDD 138	10	CCC 001	0.06700	0.20000	0.04200	0
3	DDD 138	10	CCC 001	0.06700	0.20000	0.04200	1
4	DDD 069	12	EEE 001	0.35000	0.42000	0.00700	0
5	FFF 138	14	GGG 001	0.06700	0.20000	0.04200	0
5	FFF 138	14	GGG 001	0.06700	0.20000	0.04200	1
6	FFF 069	12	EEE 001	0.35000	0.42000	0.00700	0
7	JJJ 138	13	HHH 001	0.06700	0.20000	0.04200	0
8	JJJ 069	11	ZZZ 001	0.35000	0.42000	0.00700	0
9	BBB 001	10	CCC 001	0.03400	0.10000	0.02100	0
13	HHH 001	14	GGG 001	0.03400	0.10000	0.02100	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSFORMER - DATA

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	TAP	CODE	MAXTAP	MINTAP
2	AAA 069	1	AAA 138	0.00000	0.12000	0.9900	0	0.0000	0.0000
4	DDD 069	3	DDD 138	0.00000	0.12000	0.9900	0	0.0000	0.0000
6	FFF 069	5	FFF 138	0.00000	0.12000	0.9880	0	0.0000	0.0000
8	JJJ 069	7	JJJ 138	0.00000	0.12000	0.9730	0	0.0000	0.0000



[illegible]

DATA FOR POSITIVE SEQUENCE					
BUS	ACTUAL BUS	LINE X(PCT)	IMPEDANCE X(PU)	ADMITTANCE B(PU)	DATA CONVERTED B(PU)
00000	1	1.0000	0.0100	-100.0000	000000000000000000000000
1	2	1.0000	0.0100	-100.0000	000000000000000000000000
2	3	1.0000	0.0100	-100.0000	000000000000000000000000
3	4	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
4	5	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
5	6	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
6	7	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
7	8	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
8	9	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
9	10	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
10	11	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
11	12	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
12	13	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
13	14	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
14	15	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
15	16	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
16	17	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
17	18	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
18	19	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
19	20	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
20	21	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
21	22	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
22	23	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
23	24	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
24	25	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
25	26	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
26	27	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
27	28	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
28	29	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
29	30	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
30	31	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
31	32	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
32	33	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
33	34	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
34	35	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
35	36	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
36	37	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
37	38	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
38	39	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
39	40	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
40	41	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
41	42	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
42	43	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
43	44	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
44	45	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
45	46	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
46	47	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
47	48	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
48	49	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
49	50	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
50	51	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
51	52	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
52	53	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
53	54	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
54	55	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
55	56	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
56	57	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
57	58	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
58	59	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
59	60	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
60	61	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
61	62	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
62	63	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
63	64	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
64	65	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
65	66	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
66	67	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
67	68	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
68	69	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
69	70	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
70	71	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
71	72	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
72	73	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
73	74	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
74	75	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
75	76	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
76	77	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
77	78	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
78	79	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
79	80	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
80	81	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
81	82	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
82	83	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
83	84	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
84	85	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
85	86	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
86	87	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
87	88	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
88	89	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
89	90	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
90	91	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
91	92	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
92	93	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
93	94	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
94	95	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
95	96	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
96	97	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
97	98	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
98	99	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
99	100	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
100	101	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
101	102	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
102	103	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
103	104	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
104	105	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
105	106	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
106	107	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
107	108	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
108	109	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
109	110	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
110	111	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
111	112	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
112	113	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
113	114	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
114	115	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
115	116	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
116	117	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
117	118	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
118	119	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
119	120	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
120	121	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
121	122	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
122	123	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
123	124	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
124	125	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
125	126	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
126	127	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
127	128	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
128	129	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
129	130	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
130	131	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
131	132	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
132	133	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
133	134	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
134	135	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
135	136	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
136	137	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
137	138	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
138	139	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
139	140	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
140	141	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
141	142	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
142	143	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
143	144	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
144	145	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
145	146	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
146	147	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
147	148	1.0000	0.0200	-50.0000	000000000000000000000000
148	149	1.0000	0.0120	-83.3333	000000000000000000000000
149	150	1.0000	0.0420	-23.8095	000000000000000000000000
150	151	1.0000	0.0200	-50.0000	

TRANSFORMER - DATA

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	TAP	CODE	MAXTAP	MINTAP
2	AAA 069	1	AAA 138	0.00000	0.12000	0.9900	0	0.0000	0.0000
4	DDD 069	3	DDD 138	0.00000	0.12000	0.9900	0	0.0000	0.0000
6	FFF 069	5	FFF 138	0.00000	0.12000	0.9880	0	0.0000	0.0000
8	JJJ 069	7	JJJ 138	0.00000	0.12000	0.9730	0	0.0000	0.0000





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD-FLOW SOLUTION CASE 0
SOLUTION CONVERGED IN 59 ITERATIONS

BUS - DATA

LINE AND TRANSFORMER DATA

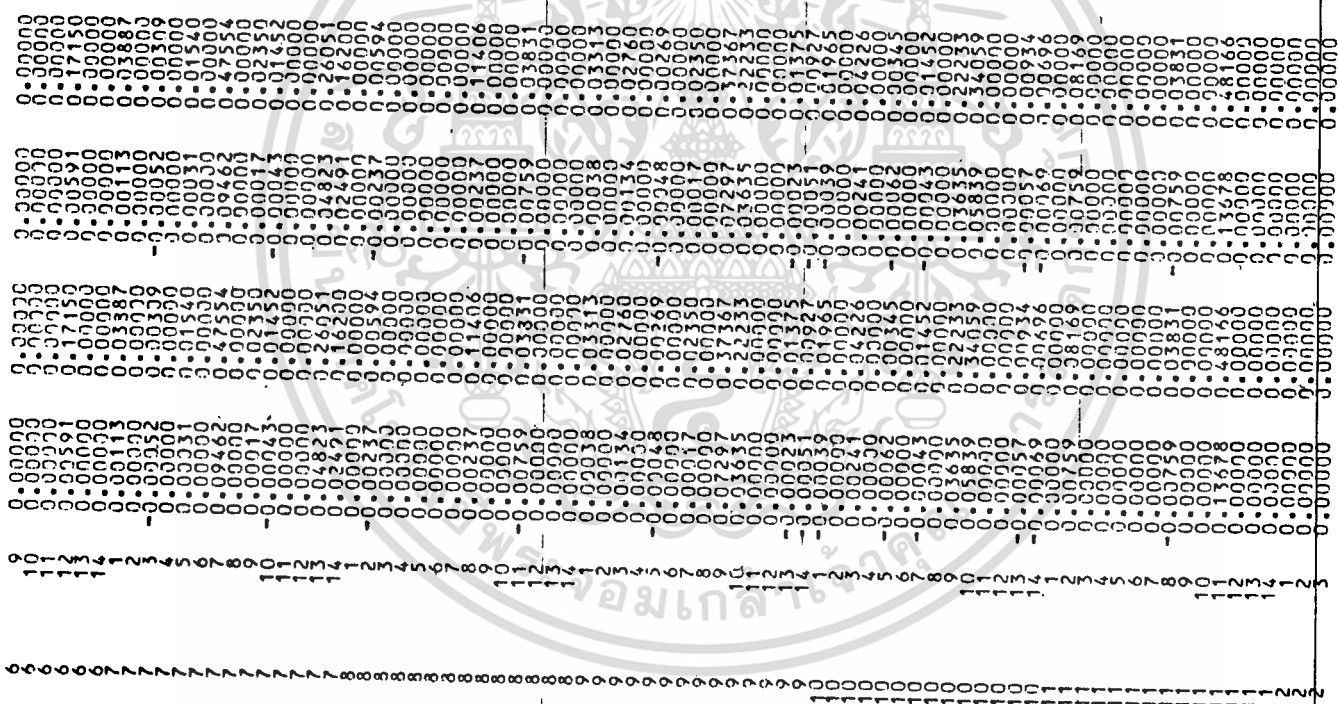
BUS	VOLTS	ANGLE	GENERATION MW	GENERATION MVAR	LOAD MW	LOAD MVAR	CAP/REAC MVAR	BUS	MW	MVAR	TAP
1	1.0354	6.1529	200.00	50.00	100.00	50.00	0.00	7	52.0986	-18.9905	
								9	26.7320	13.6357	
								2	21.0355	3.3678	0.990
									MISMATCH	-0.0130	
2	1.0215	4.7990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	-21.0354	-2.8612	0.990
								11	21.0326	2.8622	
									MISMATCH	-0.0027	
3	1.0154	9.6290	200.00	56.20	100.00	50.00	0.00	5	9.1613	-7.4468	
								10	38.0609	4.5335	
								10	38.0609	4.5335	
								4	14.5160	4.6244	0.990
									MISMATCH	-0.0447	
4	1.0000	8.6559	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13	-14.5161	-4.3544	0.990
								12	14.5037	5.0345	
									MISMATCH	-0.0124	
5	1.0200	8.4196	200.00	66.31	100.00	50.00	0.00	13	9.0887	3.3135	
								14	48.8595	2.9660	
								14	48.8595	2.9660	
								6	12.0331	7.0944	0.988
									MISMATCH	-0.0316	
6	0.9996	7.6177	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12	-12.0351	-6.8697	0.988
								12	12.0231	6.8792	
									MISMATCH	-0.0120	
7	1.0400	0.0000	63.13	102.16	100.00	50.00	0.00	11	-50.2281	20.0547	
								8	7.5077	22.4889	
								8	5.9497	9.6200	0.973
									MISMATCH	-0.0004	
8	1.0011	-0.3823	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17	-5.9497	-9.4755	0.973
								11	5.9472	9.4811	
									MISMATCH	-0.0015	
9	0.9843	3.8128	0.00	0.00	50.00	25.00	19.10	1	-26.1501	-17.9849	
								10	-23.3219	12.1093	
									MISMATCH	-0.0720	
10	0.9797	5.4996	0.00	0.00	50.00	25.00	0.00	3	-37.0905	-5.8174	
								3	-37.0905	-5.8174	
								9	24.1832	-13.3658	
									MISMATCH	-0.0022	
11	0.9391	0.1926	0.00	0.00	25.00	20.70	8.70	2	-19.5137	-1.7134	
								8	-5.6862	-9.5833	
									MISMATCH	-0.0001	
12	0.9275	6.0685	0.00	0.00	25.00	20.00	8.60	4	-13.9652	-4.6995	
								6	-11.3337	-6.7058	
									MISMATCH	-0.0011	
13	0.9876	0.0990	0.00	0.00	50.00	25.00	19.50	7	-6.9939	-25.5335	

[illegible][illegible]

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	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	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	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526
---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

[illegible][illegible]





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F A U L T - S T U D Y

CASE STUDY FOR FAULT ANALYSIS OF POWER SYSTEM

- 1 SINGLE LINE TO GROUND FAULT
- 2 DOUBLE LINE FAULT
- 3 DOUBLE LINE TO GROUND FAULT

CODE DESCRIPTION

- 0 FOR ZERO SEQUENCE COMPONENT
- 1 FOR POSITIVE SEQUENCE COMPONENT
- 2 FOR NEGATIVE SEQUENCE COMPONENT
- T FOR TOTAL SUM OF SEQUENCE COMPONENT

BUS S-DATA			LINE-DATA		
BUS NAME	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES	BUS NO.	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES
1 AAA138	0.7486 179.8 0.8743 -0.1 0.1257 -179.5	39.933 13.311 13.311 13.311	0-0	0.0000 0.0 1.0000 0.0 0.0000 0.0	37.613 12.476 12.569 12.569
			7-0	0.5176 179.8 0.8115 -0.5 0.0593 -168.3	1.177 0.348 0.715 0.413
			9-0	0.4410 -179.2 0.9338 -0.1 0.0642 -179.2	1.081 0.501 0.291
			2-0	0.4410 -179.2 0.8315 0.2 0.1185 -178.7	0.632 0.501 0.068
2 AAA69	0.3233 -178.7 0.6612 179.4 0.3384 179.4	8.501 22.834 22.834	0-0	0.0000 0.0 0.0000 0.0 0.0000 0.0	2.694 23.000 23.000
			1-0	0.0000 0.0 0.9458 179.7 0.0632 179.7	3.220 0.000 2.610
			11-0	0.2325 177.1 0.8070 -0.8 0.1934 -176.7	0.684 0.151 0.267
3 DDD138	0.7657 179.7 0.8829 -0.1 0.1172 -179.1	31.665 11.555 15.555	0-0	0.0000 0.0 1.0000 0.0 0.0000 0.0	34.370 10.938 11.716
			5-0	0.0644 -166.8 0.9443 -0.1 0.0060 -159.8	3.196 0.140 0.529
			10-0	0.5314 179.0 0.9115 -0.1 0.0885 -179.0	0.527 0.257 0.136
			10-1	0.5314 179.0 0.9115 -0.1 0.0885 -179.0	0.599 0.328 0.136
			4-0	0.5314 179.0 0.9115 -0.1 0.1005 178.6	0.494 0.328 0.087
4 DDD69	0.5375 179.9 0.7687 -0.1	5.847 1.947 1.947	5-0	0.5314 179.0 0.9115 -0.1 0.0885 -179.0	0.494 0.328 0.087

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 JJJ69	0.2636	-176.0	6.931	-84.8	1.0	0.6415	-179.7	0.545	-78.5	0
	0.6315	0.0	2.310	-84.8	2	0.9510	-0.1	0.223	-69.9	2
	0.3687	178.8	3.310	-84.8	2	0.0491	-177.8	0.223	-69.9	2
						8-0				
						0.6415	-179.7	0.9	-78.5	0
						0.9110	0.1	0.001	-58.1	2
						0.0890	179.0	0.001	-58.1	2
9 BBB						0.0000	0.0	2.197	-89.0	0
						0.0000	0.0	2.197	-89.0	0
						0.0000	0.0	0.000	0.0	2
						7-0				
						0.0000	0.0	4.100	-89.0	0
						0.8775	0.0	0.050	-89.0	2
						0.1234	173.5	2.050	-89.0	2
						11-0				
						0.0902	-163.6	0.720	-7.0	0
						0.7988	-178.1	0.104	-58.8	2
						0.2033		0.304	-58.8	2
10 CCC						5.001	-76.5	1.0	-76.5	0
						1.667	-76.5	2	-76.5	2
						1.667	-76.5	2	-76.5	2
						1-0				
						0.0522	-167.1	2.044	-75.0	0
						0.9920	-167.1	0.834	-76.5	2
						0.0000		0.000	-76.5	2
						10-0				
						0.3755	-175.8	2.390	-76.2	0
						0.9047	0.4	0.853	-76.4	2
						0.0945	176.5	0.853	-76.4	2
						5.836	-77.8	1.0	-77.8	0
						1.945	-77.8	2	-77.8	2
						1.945	-77.8	2	-77.8	2
						3-0				
						0.0823	-171.0	2.089	-78.9	0
						0.9895	-169.0	0.947	-78.0	2
						0.0137		0.720	-78.0	2
						3-1				
						0.0823	-171.0	2.264	-77.4	0
						0.9895	-169.0	0.825	-78.0	2
						0.0137		0.720	-78.0	2
						9-0				
						0.4382	-177.1	1.664	-76.4	0
						0.8890	0.6	0.652	-75.5	0
						0.1114	175.2	0.506	-77.0	2
11 ZZZ						2.573	-65.1	1.0	-65.1	0
						0.8558	-65.1	2	-65.1	2
						0.8558	-65.1	2	-65.1	2
						2-0				
						0.0704	-180.4	1.472	-66.7	0
						0.8768	-154.2	0.386	-70.4	2
						0.0583		0.444	-64.3	2
						8-0				
						0.0335	-143.9	1.102	-62.9	0
						0.5302	-1.7	0.279	-53.0	0
						0.0755	-158.4	0.414	-66.0	2
12 EEE						2.003	-61.3	1.0	-61.3	0
						0.6688	-61.3	2	-61.3	2
						0.6688	-61.3	2	-61.3	2
						0.2138	176.2			

BUS NAME	BUS DATA			LINE DATA		
	BUS NO.	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES	BUS NO.	VOLTS DEGREES	AMPS DEGREES
1 AAA138	0.0000	0.0	0.000	0.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	0.000	1.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	52.952	2.0	0.0000	0.000
			52.952			
2 AAA69	0.0000	0.0	0.000	7.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	0.000	8.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	4.187	9.0	0.0000	0.000
			4.187			
3 ODD138	0.0000	0.0	0.000	1.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	0.000	2.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	52.952	3.0	0.0000	0.000
			52.952			
4 ODD69	0.0000	0.0	0.000	10.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	0.000	11.0	0.0000	0.000
	0.5000	0.0	4.209	12.0	0.0000	0.000
			4.209			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	fff138	0:4536 0:4536 0:4536	-0:1 -0:1 -0:1	0:000 9:918 58:500	-92:110 -88:222 91:122	12-0	0:0000 0:0794 0:2248	0:0 -1:6 3:2	0:000 0:146 0:491	-68:210 127:510 -54:112
6	fff69	0:4212 0:4212 0:4212	-0:3 -0:3 -0:3	0:000 1:323 7:343	-82:810 -89:912 93:112	5-0	0:0000 0:0378 0:0307	0:0 0:0 -1:1	0:000 1:172 0:000	-90:310 90:310 89:310
7	jjj138	0:4720 0:4720 0:4720	-0:1 -0:1 -0:1	0:000 0:923 9:183	-90:110 -81:012 98:112	12-0	0:0000 0:0847 0:2301	0:0 -1:6 3:1	0:000 0:132 0:483	-66:810 127:401 125:412
8	jjj69	0:2946 0:2946 0:2946	2:2 2:2 2:2	0:000 0:000 0:000	95:410 95:410 95:410	7-0	0:0000 0:0000 0:0000	0:0 0:0 0:0	0:000 0:000 0:000	-85:510 91:610 91:610

Primary-Secoundary Adjusment and Piecewise Admittance
Matrix Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NORMAL LOAD-FLOW SOLUTION OF 14 BUSES
NUMBER OF ITERATIONS 32

X-----		BUS DATA				-----X-----				LINE AND TRANSFORMER DATA					
BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	GENERATION MW	GENERATION MVAR	LOAD MW	LOAD MVAR	SHUNT MW	SHUNT MVAR	BUS	NAME	MW	MVAR	TAP	
1	AAA 138	1.020	6.581	2.000	0.381	1.000	0.500	0.000		7	JJJ 138	0.5264	-0.2652		
										9	BBB 001	0.2671	-0.1239		
2	AAA 069	1.008	5.212	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		2	AAA 069	0.2068	-0.0221		
										MISMATCH					
										11	ZZZ 001	0.2068	-0.0171	0.9900	
3	DDD 138	1.013	9.807	2.000	0.562	1.000	0.500	0.000		1	AAA 138	-0.2068	-0.0171	0.9900	
										MISMATCH					
										5	FFF 138	0.0934	-0.0878		
4	DDD 069	1.000	8.328	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000		10	CCC 001	0.7612	-0.1255		
										14	DDD 069	0.1457	-0.0244		
										MISMATCH					
5	FFF 138	1.020	8.524	2.000	0.677	1.000	0.500	0.000		12	EEE 001	0.1458	-0.0500	0.9900	
										13	DDD 138	-0.1457	-0.0002		
										MISMATCH					
6	FFF 069	1.000	7.727	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		3	DDD 138	0.0926	-0.0470		
										14	GGG 001	0.9734	-0.0589		
										6	FFF 069	0.1195	-0.0715		
										MISMATCH					
										12	EEE 001	0.1195	-0.0693	0.9880	
										MISMATCH					
7	JJJ 138	1.040	0.000	0.629	1.122	1.000	0.500	0.000		1	AAA 138	0.5047	-0.2853		
										13	HHH 001	0.0639	-0.1608		
										MISMATCH					
8	JJJ 069	1.000	-0.411	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		11	ZZZ 001	0.0639	-0.1080	0.9730	
										MISMATCH					
9	BBB 001	0.975	4.065	0.000	0.000	0.500	0.250	0.190		1	AAA 138	-0.2611	-0.1479		
										10	CCC 001	0.2389	-0.0379		
										MISMATCH					
10	CCC 001	0.974	5.708	0.000	0.500	0.500	0.250	0.000		3	DDD 138	-0.7413	-0.1491		
										9	BBB 001	0.2412	-0.1008		
										MISMATCH					
11	ZZZ 001	0.930	0.340	0.000	0.000	0.250	0.200	0.087		2	AAA 069	-0.1919	-0.0058		
										8	JJJ 069	-0.0581	-0.1076		
										MISMATCH					
12	EEE 001	0.927	6.200	0.000	0.000	0.250	0.200	0.086		4	DDD 069	-0.1374	-0.0464		
										6	FFF 069	-0.1126	-0.0874		
										MISMATCH					
13	HHH 001	0.988	0.152	0.000	0.000	0.500	0.250	0.195		7	JJJ 138	-0.0657	-0.2374		
										14	GGG 001	-0.4343	-0.2025		
										MISMATCH					
14	GGG 001	0.982	3.146	0.000	0.000	0.500	0.250	0.000		5	FFF 138	-0.9425	-0.0510		
										13	HHH 001	-0.4425	-0.1989		
										MISMATCH					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.000326 ON BUS 5
 THE SLACK BUS GENERATION IS 0.62907 1.12176

SYSTEM TOTAL					
LOAD MW	HVAR	GENERATION MW	LOSSES MW	MISMATCH MW	SHUNT MVAR
6.500	3.400	6.629	0.130	-0.001	0.000
		2.770	-0.072		0.538



~~THE SOLUTIONS ARE WRITTEN IN ZERO-POSITIVE-NEGATIVE SEQUENCE RESPECTIVELY.~~

Power System Fault Analysis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SOLUTIONS ARE WRITTEN IN: ZERO-POSITIVE-NEGATIVE SEQUENCE RESPECTIVELY.

X-----X		BUS		DATA		X-----X		X-----X		X-----X		X-----X		X-----X		X-----X		X-----X		X-----X	
BUS NAME		VOLTS		DEGREES		AMPS		DEGREES		AMPS		DEGREES		AMPS		DEGREES		AMPS		DEGREES	
1	AAA 138	0.000 0.511 0.509	0.000 6.572 54.202	0.000 -83.304 96.448	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	7 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	9 HHH 001	0.000 0.2488 0.2488	0.000 1.2329 1.2331	0.000 -83.3039 96.4482	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4482	
2	AAA 069	0.000 0.504 0.504	0.000 4.369 54.202	0.000 -84.647 95.081	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	11 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	13 AAA 138	0.000 0.4659 0.4659	0.000 3.8817 3.8821	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -84.6470 95.0806	
3	DDD 138	0.000 0.506 0.506	0.000 9.793 54.717	0.000 -80.083 99.669	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	15 CCC 001	0.000 0.1236 0.1236	0.000 1.2336 1.2336	0.000 -80.0827 99.6692	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	17 DDD 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
4	DDD 069	0.000 0.500 0.500	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	19 DDD 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	21 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4484	
5	FFF 138	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	23 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	25 FFF 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
6	FFF 069	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	27 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	29 FFF 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -81.0605 98.6915	
7	AAA 138	0.000 0.511 0.509	0.000 6.572 54.202	0.000 -83.304 96.448	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	31 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	33 HHH 001	0.000 0.2488 0.2488	0.000 1.2329 1.2331	0.000 -83.3039 96.4482	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4482	
8	AAA 069	0.000 0.504 0.504	0.000 4.369 54.202	0.000 -84.647 95.081	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	35 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	37 AAA 138	0.000 0.4659 0.4659	0.000 3.8817 3.8821	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -84.6470 95.0806	
9	DDD 138	0.000 0.506 0.506	0.000 9.793 54.717	0.000 -80.083 99.669	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	39 CCC 001	0.000 0.1236 0.1236	0.000 1.2336 1.2336	0.000 -80.0827 99.6692	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	41 DDD 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
10	DDD 069	0.000 0.500 0.500	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	43 DDD 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	45 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4484	
11	FFF 138	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	47 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	49 FFF 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
12	FFF 069	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	51 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	53 FFF 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -81.0605 98.6915	
13	AAA 138	0.000 0.511 0.509	0.000 6.572 54.202	0.000 -83.304 96.448	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	55 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	57 HHH 001	0.000 0.2488 0.2488	0.000 1.2329 1.2331	0.000 -83.3039 96.4482	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4482	
14	AAA 069	0.000 0.504 0.504	0.000 4.369 54.202	0.000 -84.647 95.081	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	59 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	61 AAA 138	0.000 0.4659 0.4659	0.000 3.8817 3.8821	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -84.6470 95.0806	
15	DDD 138	0.000 0.506 0.506	0.000 9.793 54.717	0.000 -80.083 99.669	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	63 CCC 001	0.000 0.1236 0.1236	0.000 1.2336 1.2336	0.000 -80.0827 99.6692	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	65 DDD 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
16	DDD 069	0.000 0.500 0.500	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	67 DDD 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	69 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4484	
17	FFF 138	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	71 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	73 FFF 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
18	FFF 069	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	75 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	77 FFF 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -81.0605 98.6915	
19	AAA 138	0.000 0.511 0.509	0.000 6.572 54.202	0.000 -83.304 96.448	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	79 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	81 HHH 001	0.000 0.2488 0.2488	0.000 1.2329 1.2331	0.000 -83.3039 96.4482	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4482	
20	AAA 069	0.000 0.504 0.504	0.000 4.369 54.202	0.000 -84.647 95.081	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	83 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	85 AAA 138	0.000 0.4659 0.4659	0.000 3.8817 3.8821	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -84.6470 95.0806	
21	DDD 138	0.000 0.506 0.506	0.000 9.793 54.717	0.000 -80.083 99.669	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	87 CCC 001	0.000 0.1236 0.1236	0.000 1.2336 1.2336	0.000 -80.0827 99.6692	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	89 DDD 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
22	DDD 069	0.000 0.500 0.500	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	91 DDD 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	93 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039 96.4484	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -83.3039 96.4484	
23	FFF 138	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	95 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	97 FFF 069	0.000 0.0532 0.0532	0.000 0.4431 0.4431	0.000 -80.0826 99.6693	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -80.0826 99.6693	
24	FFF 069	0.000 0.510 0.510	0.000 8.815 54.717	0.000 -81.060 98.691	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	99 TTT 001	0.000 0.2035 0.2035	0.000 0.4843 0.4843	0.000 -84.6470 95.0806	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	101 FFF 138	0.000 0.4638 0.4638	0.000 3.8642 3.8642	0.000 -81.0605 98.6915	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	0.000 0.000 0.000	0.000 -81.0605 98.6915	
25	AAA 138	0.000 0.511 0.509	0.000 6.572 54.202	0.000 -83.304 96.448	0.000 0.000 0.000	0.000 -173.1796 6.5723	103 JJJ 138	0.000 0.3448 0.3448	0.000 1.7740 1.7742	0.000 -83.3039											

PROBLEM FROM MEC-300 ATOS-2 ASSEMBLER

REPORT OF FAULT CALCULATION

THE SOLUTIONS ARE LISTED IN ZERO POSITIVE NEGATIVE SOURCE RESPECTIVELY

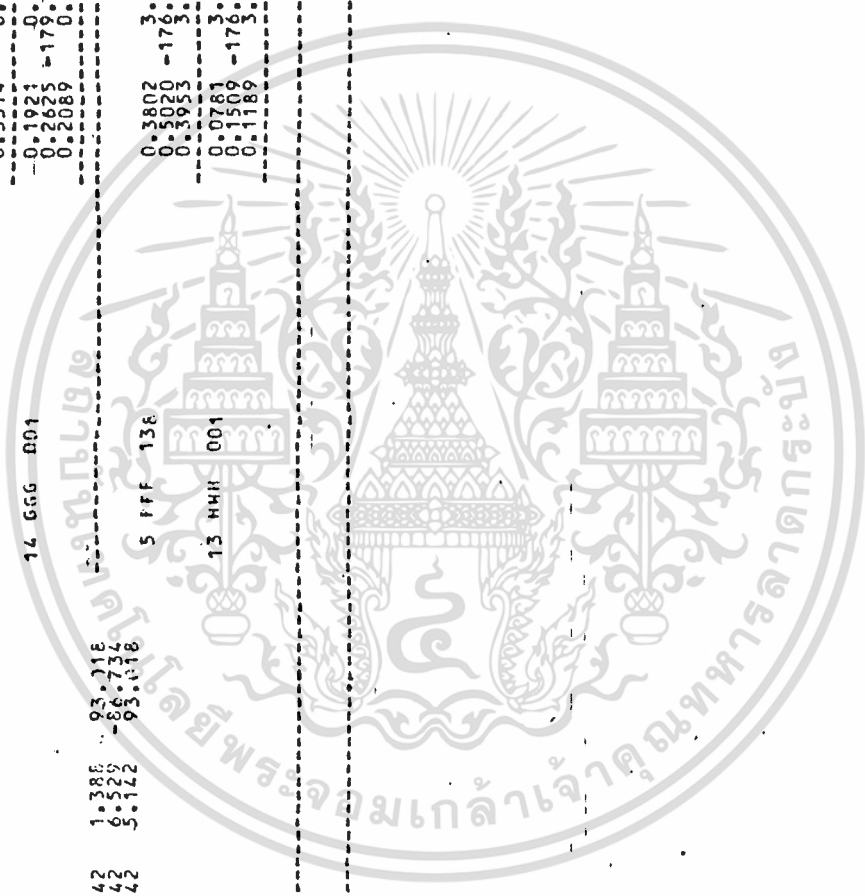
X-----		BUS		DATA		X-----		X-----		LINE		DATA		X-----		X-----	
BUS	NAME	VOLTS	DEGREES	AMPS	DEGREES	BUS	NAME	VOLTS	DEGREES	AMPS	DEGREES	BUS	NAME	VOLTS	DEGREES	AMPS	DEGREES
1	AAA 138	0.470	6.572	8.421	96.448												
		0.470	6.572	58.469	-83.302												
		0.470	6.572	50.084	96.448												
7 JJJ 138																	
								0.132	-173	6.5723	0.2357	96.4483					
								0.3186	6.5723	1.930	96.4484						
								0.2066	6.5723	0.443	96.4483						
								0.2883	-173	6.5723	1.4115	-83.3036					
								0.2297	6.5723	1.1485	96.4484						
								0.4705	6.5723	0.0000	0.0000	0.0000					
								0.0413	-173	6.5723	0.446	-83.3036					
								0.0334	6.5723	0.2950	96.4484						
2	AAA 069	0.334	5.205	2.950	95.081												
		0.334	5.205	2.862	-81.631												
		0.334	5.205	2.892	95.081												
11 ZZZ 001																	
								0.1016	-174	5.2045	0.1694	95.0806					
								0.2722	5.2046	0.6481	-81.6713						
								0.1338	5.2046	0.3209	95.0806						
								0.3336	5.2045	0.0000	0.0000	0.0000					
								0.6231	-174	5.2046	2.1769	-81.6713					
								0.3083	5.2046	2.1769	95.0806						
3	DDD 138	0.470	9.793	7.790	96.639												
		0.470	9.793	58.606	-80.083												
		0.470	9.793	50.822	96.639												
5 FFF 138																	
								0.4346	-168	9.7931	0.7243	96.6391					
								0.5145	9.7932	2.5530	-80.0838						
								0.2445	9.7932	2.5530	96.6393						
								0.1209	9.7931	0.7243	96.6391						
								0.1348	-168	9.7932	1.2337	-80.0838					
								0.1148	9.7932	1.2337	96.6393						
								0.4704	9.7931	0.0000	0.0000	0.0000					
								0.0370	-168	9.7932	0.746	-80.0827					
								0.0194	9.7932	0.4116	96.6393						
4	DDD 069	0.413	8.815	1.526	96.631												
		0.413	8.815	1.141	-81.660												
		0.413	8.815	3.616	96.631												
12 EEE 001																	
								0.1802	8.8154	0.1501	98.6315						
								0.2333	-170	9.805	0.6036	-81.0605					
								0.1783	8.8155	0.4245	98.6315						
								0.4129	8.8154	0.0000	0.0000	0.0000					
								0.5445	-170	9.805	4.5378	-81.0605					
								0.3829	8.8155	3.1910	98.6315						
5	FFF 138	0.463	8.512	10.180	96.388												
		0.463	8.512	60.041	-81.364												
		0.463	8.512	29.268	96.388												
3 DDD 138																	
								0.5160	-171	8.5121	0.6333	98.3682					
								0.4374	8.5122	2.1870	-81.3683						
								0.0777	8.5121	0.2304	98.3682						
								0.1200	-171	8.5128	0.2000	-81.3683					
								0.0997	8.5122	0.9967	98.3682						
6 FFF 069																	
								0.6828	-171	8.5121	0.0000	0.0000	0.0000				
								0.0486	8.5122	0.4876	-81.3683						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	fff	009	0.423	7.717	1.303	97.593	72	eee	001	0.1876	-172.718	0.1593	97.593
			0.423	7.717	1.303	-82.159				0.1876	-172.718	0.1593	-82.159
			0.423	7.717	1.303	97.593				0.1876	-172.718	0.1593	97.593
7	jjj	138	0.491	0.000	1.060	89.876				0.4507	-0.0001	0.6934	89.876
			0.491	0.000	1.060	-89.876				0.4507	-0.0001	0.6934	-89.876
			0.491	0.000	1.060	89.876				0.4507	-0.0001	0.6934	89.876
8	jjj	069	0.300	-0.411	2.642	89.465				0.2400	-0.0001	0.3663	89.465
			0.300	-0.411	2.642	-89.465				0.2400	-0.0001	0.3663	-89.465
			0.300	-0.411	2.642	89.465				0.2400	-0.0001	0.3663	89.465
9	hbb	001	0.425	4.038	1.271	93.935				0.1901	-0.4108	0.1521	93.935
			0.425	4.038	1.271	-93.935				0.1901	-0.4108	0.1521	-93.935
			0.425	4.038	1.271	93.935				0.1901	-0.4108	0.1521	93.935
10	ccc	001	0.428	5.700	1.459	95.576				0.2996	-0.4108	0.0000	95.576
			0.428	5.700	1.459	-95.576				0.2996	-0.4108	0.0000	-95.576
			0.428	5.700	1.459	95.576				0.2996	-0.4108	0.0000	95.576
11	zzz	001	0.357	0.339	0.755	90.215				0.2013	-0.4107	1.6776	90.215
			0.357	0.339	0.755	-90.215				0.2013	-0.4107	1.6776	-90.215
			0.357	0.339	0.755	90.215				0.2013	-0.4107	1.6776	90.215
12	eee	001	0.393	6.101	5.515	96.067				0.1946	-0.0594	0.5561	96.067
			0.393	6.101	5.515	-96.067				0.1946	-0.0594	0.5561	-96.067
			0.393	6.101	5.515	96.067				0.1946	-0.0594	0.5561	96.067
13	aaa	069	0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.3623	-5.7004	1.0352	90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	-90.2152				0.3623	-5.7004	1.0352	-90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.3623	-5.7004	1.0352	90.2152
14	jjj	069	0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.4985	-172.0515	4.9852	90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	-90.2152				0.4985	-172.0515	4.9852	-90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.4985	-172.0515	4.9852	90.2152
15	ddd	069	0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.1484	-5.7004	0.4241	90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	-90.2152				0.1484	-5.7004	0.4241	-90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.1484	-5.7004	0.4241	90.2152
16	fff	069	0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.1382	-5.7005	1.3816	90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	-90.2152				0.1382	-5.7005	1.3816	-90.2152
			0.2971	-0.4127	0.3392	90.2152				0.1382	-5.7005	1.3816	90.2152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	MMH	001	0.438 0.438 0.438	0.152 0.152 0.152	0.661 -66.724 3.746	90.028 -89.724 90.028	7	JJJ	138	0.2103 0.4164 0.3314	-179.5221 0.1522	0.1521 0.1522	0.2221 2.0821 1.8571	90.0281 -89.7228 90.0282
14	GGG	001	0.433 0.433 0.433	3.142 3.142 3.142	1.388 6.529 5.122	93.718 -89.734 93.018	14	GGG	001	-0.1921 0.2625 0.2089	-179.5998 0.1522	0.1521 0.1522	0.6402 2.6251 2.0893	90.0281 -89.7236 90.0282
							5	FFF	138	0.3802 0.5020 0.3953	-179.6100 3.1420	3.1419 3.1420	1.1281 3.0200 3.0931	93.0179 -89.7340 93.0180
							13	MMH	001	0.0781 0.1509 0.1189	-179.6100 3.1420	3.1419 3.1420	0.2602 1.5093 1.1883	93.0179 -89.7340 93.0180



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

