

การจำลองและการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวของระบบกำลังไฟฟ้า

SIMULATION AND ANALYSIS OF ELECTRIC POWER SYSTEM

TRANSIENT STABILITY

15039472

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	
วันที่รับ.....	- 9 S.A. 2547
เลขทะเบียน.....	4700173
เลขเรียกหนังสือ.....	ร/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๕5271	

นางสาวจาริณี	ทองเกิด	รหัส 43362482
นายสมโภช	เอกอนันตไชย	รหัส 43362714
นายสิทธิกร	นันทไชย	รหัส 43362722

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร


ปีการศึกษา 2546




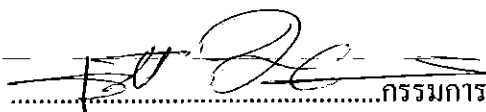
## ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การจำลองและการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวของระบบกำลังไฟฟ้า		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวชาริณี	ทองเกิด	รหัส 43362482
	นายสมโภช	เอกอนันต์ไชย	รหัส 43362714
	นายสิทธิกร	นันทไชย	รหัส 43362722
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิภา	ยังอยู่	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์แคทรียา	อัศสูงเนิน	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2546		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

  
.....ประธานกรรมการ  
(อ.สุพรรณนิภา ยังอยู่)

  
.....กรรมการ  
(ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

  
.....กรรมการ  
(ดร.ชนิต มาลากร)

หัวข้อโครงการ	การจำลองและการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวของระบบกำลังไฟฟ้า		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวชาริณี	ทองเกิด	รหัส 43362482
	นายสมโภช	เอกอนันตไชย	รหัส 43362714
	นายสิทธิกร	นันทไชย	รหัส 43362722
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิภา	ยังอยู่	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์แคทรียา	อัศสูงเนิน	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2546		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวของระบบกำลังไฟฟ้า ในระบบ 9 บัส ซึ่งได้ศึกษาในส่วนของ Rotor Angle Stability และใช้ Fourth – order Runge Kutta ในการแก้สมการอนุพันธ์

ผลที่ได้จากการจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวของระบบกำลังไฟฟ้าทำให้ทราบว่า การแกว่งไกวของ Rotor Angle จะมีความสัมพันธ์กับเวลาของการ Clear Fault และเวลาของการ Re-close Line

**Project Title**                      Simulation and Analysis of Electric Power System Transient  
Stability

**Name**                                  Miss Tarinee    Tonggoed            ID. 43362482  
Mr. Sompoth    Ekanantachai    ID. 43362714  
Mr. Sittikorn    Nanchai            ID. 43362722

**Project Advisor**                      Miss Supannika    Youngyoo

**Co – Project Advisor**                Miss Cattarceya    Adsoongneon

**Major**                                      Electrical Engineering

**Department**                              Electrical and Computer Engineering

**Academic Year**                            2003

### ABSTRACT

This project presents the simulation and analysis of Electric Power System Transient Stability in nine bus system. Rotor Angle Stability Study is chosen for this project and Fourth - order Runge Kutta Method is used for solving differential equation . The result of this project shows that the swing of rotor angle is related to clear fault time and Re-close Line time.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก อาจารย์สุพรรณ  
นิกา ยังอยู่ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ และ อาจารย์แคทรียา อัดสูงเนิน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา  
ความรู้ทางด้านนี้ให้แก่ผู้ดำเนินงาน จึงขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ โครงการขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทำเป็นกำลังใจ

ให้ผู้ทำโครงการอยู่เสมอมา

นางสาวธาริณี

ทองเกิด

นายสมโภช

เอกอนันตไชย

นายสิทธิกร

นันไชย

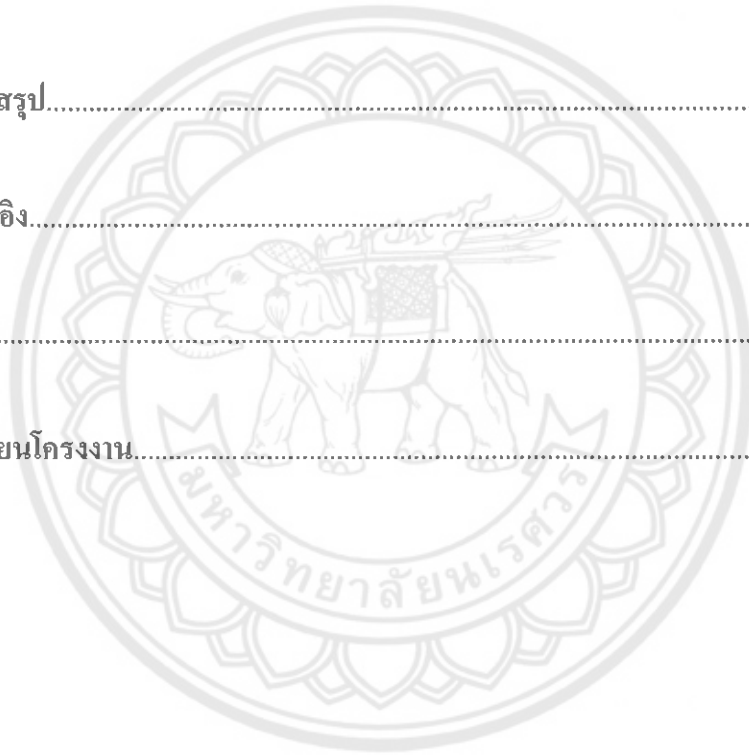


# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบข่ายของงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น</b>	
2.1 เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า (Power System Stability).....	4
2.2 การจำแนกชนิดของbusbars.....	4
2.3 การถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า (Load Flow).....	5
2.4 แบบจำลองของระบบ.....	14
2.5 แบบจำลองของโหลด.....	22
2.6 แบบจำลองสายส่ง.....	23
2.7 การคำนวณโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method).....	25

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 ข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า.....	26
3.2 ผลจากการคำนวณ โหลด โพลาร์.....	29
3.3 การคำนวณหาค่าเริ่มต้น (Initial Value).....	29
3.4 ขั้นตอนการนำ Runge Kutta method มาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลัง.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	38
บทที่ 5 บทสรุป.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก.....	48
ประวัติผู้เขียนโครงการ.....	98



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	1
3.1 Generator and AVR parameters.....	27
3.2 ข้อมูลสายส่ง.....	27

---

---





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบตัวอย่างที่ใช้คำนวณ Load Flow.....	11
2.2 การวิเคราะห์ Load Flow โดยวิธี Newton Raphson.....	13
2.3 Cross-section and Circuit model.....	16
2.4 Automatic Voltage Regulation.....	17
2.5 Impedance diagram.....	22
2.6 Reactance diagram.....	23
2.7 แบบจำลองของสายส่งสั้น.....	23
2.8 แบบจำลองของสายส่งยาวปานกลาง.....	24
2.9 แบบจำลองของสายส่งยาว.....	24
3.1 ข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	26
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	28
3.3 Solves Differential Equation.....	30
4.1 clear fault ที่เวลา 10.05 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที.....	39
4.2 clear fault ที่เวลา 10.05 วินาที reclose line ที่เวลา 15 วินาที.....	40
4.3 clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที.....	41
4.4 clear fault ที่เวลา 10.15 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที.....	42
4.5 clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที reclose line ที่เวลา 20 วินาที.....	43
4.6 clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที ไม่ reclose line.....	44
4.7 clear fault ที่เวลา 10.32 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที.....	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญและเข้าไปเกี่ยวข้องกับงานทางด้านต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าแทบทุกด้านเช่น โครงการก่อสร้างระบบส่ง โครงการขยายกำลังการผลิต การควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ความจำเป็นที่ต้องศึกษาเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าก็คือระบบกำลังไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกิจการ และมูลค่าในการลงทุนทางด้านโครงการต่าง ๆ ของระบบกำลังไฟฟ้ามีมูลค่าสูงเมื่อระบบกำลังไฟฟ้าดำเนินการอยู่ที่สภาวะปกติความถี่ของระบบและศักดาไฟฟ้าบ้จะอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่เมื่อเกิดความผิดปกติ ( Fault ) ขึ้นในระบบ ทำให้ความถี่และศักดาไฟฟ้าในระบบเบี่ยงเบนออกจากค่าปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการจำลองระบบเพื่อศึกษาเสถียรภาพภายใต้การรบกวนต่าง ๆ ที่ใส่เข้าไปในระบบเมื่อศึกษาเสถียรภาพของระบบแล้วหากพบว่าระบบไม่มีเสถียรภาพจะต้องหาวิธีการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียเสถียรภาพซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของระบบและการรบกวนที่เกิดขึ้นเช่น หลีกเลี่ยงการปลดสายส่งบางสายส่งปรับปรุงการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่ ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งหลักเป็นต้น เมื่อแก้ไขและปรับปรุงระบบจะต้องกลับมาสู่สภาวะปกติได้ซึ่งเรียกว่าระบบมีเสถียรภาพ

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ในสภาวะปกติและสภาวะเมื่อเกิดความผิดปกติ
2. เพื่อจำลองการทำงานของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า
3. เพื่อจำลองระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติและเมื่อความผิดปกติ
4. เพื่อหาแนวทางแก้ไขเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบให้ดำรงอยู่ได้

### 1.3 ขอบข่ายของโครงการงาน

1. ศึกษาและวิเคราะห์การถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) ของระบบทดสอบ 9 bus โดยใช้การคำนวณการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า โดยวิธี Newton – Raphson
2. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) สายส่ง (Transmission Line) และภาระทางไฟฟ้า (Load)
3. วิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข ( Numerical Method ) ซึ่งเลือกใช้ Fourth - order Runge – Kutta Method
4. เขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยโปรแกรม Matlab

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรมการดำเนินงาน	2545				2546							
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
ศึกษา Load flow	****											
ศึกษา Math Model ของระบบไฟฟ้ากำลัง	*****											
ศึกษา Numerical Method ในส่วน Rung – kutta Method			***									
ศึกษาการใช้งาน Matlab			*****									
เขียนโปรแกรมวิเคราะห์และจำลอง เสถียรภาพแบบชั่วคราวเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้า					*****							
ปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม									*****			
จัดทำรูปเล่มโครงการงาน											****	
เสนอโครงการงาน												****

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้า
2. ทำให้ทราบแนวทางในการรักษาเสถียรภาพในระบบกำลังไฟฟ้า
3. ทำให้ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Matlab

### 1.6 งบประมาณ

1. ค่าถ่ายเอกสาร
2. ค่าพิมพ์เอกสาร
3. กระดาษ
4. แผ่นดิสเก็ต
5. หนังสือประกอบการทำโครงการ

รวม 2,000 บาท ( สองพันบาทถ้วน )



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stability)

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้าที่ยังคงทำงานได้อย่างสมดุล ในขณะที่เกิดการรบกวนขึ้นในระบบไฟฟ้า

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง แบ่งออกได้ดังนี้

1. Rotor Angle Stability
2. Mid – Term Stability
3. Long – Term Stability
4. Voltage Stability

ซึ่งในโครงการนี้ จะศึกษาในส่วนของ Rotor Angle Stability แบบ Transient Stability โดยที่ Transient Stability เป็นความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับการตอบสนองของระบบไฟฟ้าต่อการรบกวนขนาดใหญ่ ( Large Disturbances ) ที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด เช่น ความผิดปกติ ( Fault ) ที่สายส่ง การสวิตช์ของสายส่งและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือการตัดวงจร 3 เฟส เป็นต้น

ดังนั้น การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของระบบจะต้องกระทำให้เสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาสั้นๆ เพราะหากไม่สามารถแก้ไขได้ทันเวลา ระบบจะเกิดความเสียหาย และไม่สามารถกลับคืนสู่สภาวะเดิมได้

#### 2.2 การจำแนกชนิดของ Busbars

การศึกษาคาร์โหลดของโหลดจะศึกษาระบบ 3 เฟสสมดุล และการคำนวณเป็นระบบเฟสเดียว ผลของการศึกษาที่สมบูรณ์มีความต้องการที่จะทราบถึงตัวแปร 4 ตัว ที่แต่ละบัสใดๆในระบบคือ

1. P ( Real Power )
2. Q ( Reactive Power )
3. V ( Voltage )
4.  $\delta$  ( Rotor Angle )

ก่อนการแก้ปัญหาจะต้องทราบค่าตัวแปรที่แต่ละบัส 2 ค่าก่อนและหลังจากได้แก้ปัญหาคาร์โหลดของโหลดจะมีผลทำให้ทราบค่าตัวแปร 2 ค่าที่เหลือ

ถ้าในระบบมีจำนวน Busbar อยู่  $n$  Bus ทำให้เขียนสมการได้  $2n$  สมการ ดังนั้น ที่แต่ละ Busbar จึงจะต้องกำหนดค่าตัวแปร 2 ตัวแปร และหาค่าตัวแปรที่เหลืออีก 2 ตัวแปร ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของ Busbar ตามลักษณะการกำหนดค่าของตัวแปรของ Busbar นั้น ๆ ได้ดังนี้

1. Slack Busbar หรือ Swing Busbar หรือ Reference Busbars ซึ่งกำหนดค่าขนาดและเฟสของแรงดัน และเหลือค่า Active Power และ Reactive Power เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าซึ่งต้องหาจากสมการของระบบ ในการศึกษา Load Flow ซึ่งจำเป็นจะต้องมี Slack Bus ซึ่งมีอยู่เพียง Busbar เดียวเท่านั้น เพื่อจ่ายกำลังชดเชยให้กับกำลังสูญเสียในระบบ และชดเชยความแตกต่างระหว่างกำลังผลิตกับ Loads ของระบบซึ่งในที่นี้รวมทั้ง Real Power และ Reactive Power โดยปกติแล้วเรามักจะให้เฟสของ Slack Busbar มีค่าเป็นศูนย์ เพื่อเป็นจุดอ้างอิงสำหรับแรงดันที่ Busbar อื่น ๆ

2. Generator Busbars จะกำหนด Active Power และขนาดของแรงดันของ Busbars และเหลือ Reactive Power และเฟสของแรงดันเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ในบางครั้งเราก็เรียก Busbars เหล่านี้ว่าเป็น Voltage Controlled Busbars การควบคุมขนาดของแรงดันนั้นทำได้โดยการเพิ่มหรือลดการผลิต Reactive Power ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือ Synchronous Condenser ที่ต่ออยู่กับ Busbar นั้น ๆ บ่อยครั้งที่ค่า Reactive power มากกว่าค่าสูงสุด หรือน้อยกว่าค่าต่ำสุดของ Capacity ของ Synchronous Machines ที่ต่ออยู่ ซึ่งทำให้เราต้องแทน Reactive Power ของ Bus นั้น ๆ ด้วยค่าต่ำสุด หรือค่าสูงสุดแล้วแต่กรณี และเปลี่ยนให้ขนาดของแรงดันเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า กรณีหลังนี้เราจะต้องเปลี่ยนชนิดของ Busbar จาก Generator busbar เป็น Load busbar

3. Load Busbars หรือ P-Q Bus เป็นบัสที่รับพลังงานของระบบ ซึ่งในบัสนี้จะทราบค่าของ Real Power และ Reactive Power และจะเหลือตัวแปรอีก 2 ตัวที่ไม่ทราบค่าคือ มุมเฟสของแรงดัน ( $\delta_i$ ) และขนาดของแรงดัน ( $|V_i|$ ) โดยที่เราจะสมมุติค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสที่ Load Busbars มีค่าเท่ากับ  $1\angle 0^\circ$  เสมอ

### 2.3 การถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า (Load Flow)

การศึกษากการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า (Load-Flow) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับการถ่ายเทของ Real Power และ Reactive Power ในส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยที่ระบบไฟฟ้ากำลังอยู่ใน Steady State

การศึกษาการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) มีความสำคัญเนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

1. การศึกษาดังกล่าวเป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนระบบไฟฟ้า
2. การศึกษาดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและการควบคุมระบบ
3. การศึกษาดังกล่าวให้ข้อมูลซึ่งเป็นสถานะเริ่มต้นของการศึกษาเกี่ยวกับการป้องกัน

ระบบและเสถียรภาพของระบบ

ถ้าพิจารณาระบบในทางวงจรไฟฟ้าแล้วจะปรากฏว่าจะสามารถทำการศึกษา Load Flow

ของระบบไฟฟ้าในระบบหนึ่ง โดยมีกรณีต่าง ๆ ได้มากมาเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

ต่าง ๆ อยู่ตลอดเช่น การเปลี่ยนของ Load การเปลี่ยนแปลงของการจัดสรรกำลังผลิต และการเปลี่ยนแปลงลักษณะการต่อเชื่อมโยงของระบบ

โดยปกติจะวิเคราะห์ Load Flow สำหรับกรณีสำคัญ ๆ ไม่กี่กรณีเท่านั้น ตัวอย่างคือ กรณี Peak Load และกรณี Base Load เมื่อได้ผลการวิเคราะห์สำหรับกรณีข้างต้นเป็นที่น่าพอใจ จะถือว่าผลการวิเคราะห์ของกรณีอื่น ๆ ที่มีความสำคัญลดลง เช่นกรณี Intermediate Load นั้น ย่อมเป็นที่น่าพอใจด้วยและ ในหลาย ๆ ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมีเพียงไม่กี่ผลลัพธ์เท่านั้นที่เป็นที่น่าพอใจ และเป็นผลลัพธ์ที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบ

ในการวางแผนระบบ ผู้วางแผนจะศึกษา Load Flow ของระบบที่มีการขยายตัวในหลาย ลักษณะและนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกัน เพื่อหารูปแบบการขยายตัวของระบบที่ดีที่สุด

ข้อที่ควรสังเกตในการพิจารณาผลการคำนวณ Load Flow ของระบบไฟฟ้าที่มีการ เชื่อมโยงเป็นปกติ และอยู่ในกรณี Peak Load คือ

1. ขนาดของแรงดันที่ Busbar ต่าง ๆ ในระบบควรมีค่าใกล้เคียงค่าปกติ
2. อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่ออยู่กับระบบควรทำงานไม่เกินค่า Rated Capacities
3. กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะสัมพันธ์กับต้นทุนการผลิต
4. การจ่าย Reactive Power ควรจัดสรรให้เหมาะสมที่ทำให้เกิดการสูญเสียของ Real

Power ในระบบน้อยที่สุด

ความต้องการเหล่านี้อาจเป็นสิ่งที่ขัดแย้งกัน การศึกษา Load Flow จะแสดงให้เห็น ขอบเขตของจุดทำงานที่ระบบจะสามารถตอบสนองได้ และแนวทางการแก้ไขปรับปรุงระบบ เพื่อให้มีการตอบสนองที่น่าพอใจยิ่งขึ้น

### 2.3.1 ปัญหาการแก้สมการของข่ายวงจรระบบไฟฟ้ากำลังในการศึกษา Load flow

ข้อยุ่งยากที่เกิดขึ้นในการคำนวณ Load Flow นั้นเป็นผลจากสิ่งต่อไปนี้

1. การใช้ Phasor ซึ่งเป็นเลขเชิงซ้อนในการวิเคราะห์ข่ายวงจรไฟฟ้าสลับใน Steady State
2. ธรรมชาติของข้อมูลที่มีอยู่และผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งทำให้ได้สมการของระบบแบบ Nonlinear
3. ข้อจำกัดในการใช้งานของอุปกรณ์ที่ประกอบกันเป็นระบบไฟฟ้า
4. ความซับซ้อนของตัวข่ายวงจรระบบไฟฟ้าเอง

การนำเอา Phasor มาช่วยคำนวณ Load Flow เป็นการหลีกเลี่ยงที่จะต้องแก้สมการ Differential ของข่ายวงจร และเปลี่ยนเป็นสมการพีชคณิตแทน อย่างไรก็ตาม จำนวนสมการพีชคณิตจะเป็นสองเท่าคือ สมการของเลขจริง และสมการของเลขจินตภาพ

ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยทั่วไป ตัวแปรหรือข้อมูลของวงจรจะเป็นแรงดันและกระแส แต่สำหรับการคำนวณ Load flow เราจะสนใจความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของ Busbar (ซึ่งแยกเป็นขนาดและเฟส) กับ Real power และ Reactive power ของ Busbar จากความต้องการอันนี้ ทำให้สมการ Load flow เป็น Nonlinear ถึงแม้ว่าข่ายวงจรของระบบไฟฟ้ากำลังจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์แรงดันและกระแสแบบเชิงเส้นก็ตาม

### 2.3.2 ข้อมูลในการศึกษา Load flow

ในการศึกษาเทคนิคที่ใช้แก้ปัญหา Load flow ในแต่ละวิธี ควรมีการทำความเข้าใจถึงพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณ และข้อมูลที่ต้องการจากการศึกษา Load Flow ซึ่งสามารถแยกรายละเอียดได้ดังนี้

#### 2.3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณแบ่งเป็น 2 ข้อใหญ่ๆ คือ ข้อมูลระบบและข้อมูลแสดงภาพการทำงานของระบบ

ข้อมูลระบบมีความจำเป็นต้องทราบเพื่อหา  $Y_{bus}$  หรือ  $Z_{bus}$  ของระบบ เพราะเมตริก  $Y_{bus}$  หรือ  $Z_{bus}$  มีความสำคัญในการศึกษาโหลด โฟลว์และการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในด้านอื่น ๆ ด้วย ข้อมูลของระบบเพื่อหา  $Y_{bus}$  หรือ  $Z_{bus}$  ประกอบด้วย

1. แผนผังเส้นเดียวที่แสดงการต่อวงจรของระบบไฟฟ้ากำลัง
2. ข้อมูลของสายส่ง
3. ข้อมูลของหม้อแปลงและเครื่องกำเนิด
4. ขนาดตัวเก็บประจุที่ใช้ในระบบ



2.3.2.2 ข้อมูลแสดงสภาพการทำงานของระบบ - ข้อมูลจะกล่าวถึงนี้หมายถึง

1. กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่เข้าไปในระบบสำหรับ P – Z บัส
2. กำลังไฟฟ้าจริงที่เข้าไปในระบบและขนาดศักดาไฟฟ้าสำหรับ P – V บัส
3. ขนาดศักดาไฟฟ้าของ Slack Bus

2.3.3 ข้อมูลที่ต้องการจากการศึกษา Load flow

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโหลดโฟลว์ที่อยู่มาจนขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์ของการศึกษาว่า ต้องการคำนวณค่าอะไรออกมา แต่ข้อมูลสำคัญที่ได้จากการศึกษา Load flow ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ประกอบด้วย ศักดาไฟฟ้าบัส กระแสบัส และกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ศักดาไฟฟ้าบัส ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลสำคัญอย่างมาก เพราะถ้าหากหาทั้งขนาด และมุมของศักดาไฟฟ้าบัสได้แล้ว ข้อมูลอื่นๆ ก็ สามารถคำนวณได้ง่าย เทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาลoad flow เน้นมาทางด้านนการหาศักดาไฟฟ้าบัสทั้งสิ้น

2.3.4 ความสำคัญของการศึกษา Load flow

1. การศึกษา Load flow เป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนระบบไฟฟ้า
2. การศึกษา Load flow เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง
3. การศึกษา Load flow ให้ข้อมูลซึ่งเป็นสถานะเริ่มต้นของการศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันระบบและเสถียรภาพของระบบ

2.3.5 สมการโหลดโฟลว์ (Load Flow Equation)

$$S_i = V_i I_i^* \tag{2.1}$$

$$S_i^* = V_i^* I_i \tag{2.2}$$

$$I_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} Y_{ij} V_j \tag{2.3}$$

$$S_i = V_i \sum_{j=1}^{n_{bus}} Y_{ij} V_j \tag{2.4}$$

$$P_i - jQ_i = V_i \sum_{j=1}^{n_{bus}} Y_{ij} V_j \tag{2.5}$$

โดยที่

$$Y_j = |Y_j| \angle \theta = |Y_j| \cos \theta_j + j|Y_j| \sin \theta_j$$

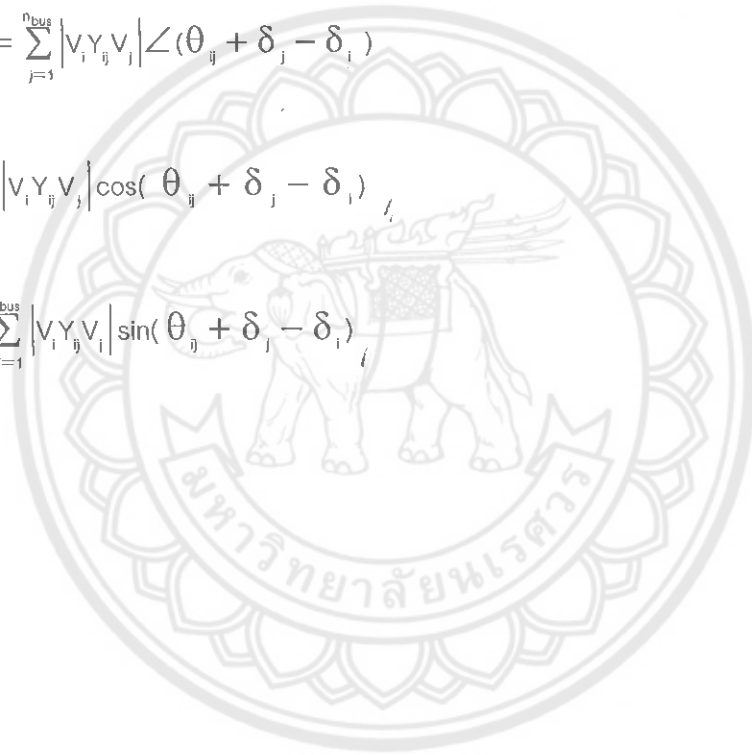
$$V_i = |V_i| \angle \delta_i = |V_i| \cos \delta_i + j|V_i| \sin \delta_i$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^{n_{bus}} y_{ij} V_j$$

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \angle (\theta_j + \delta_j - \delta_i)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \cos(\theta_j + \delta_j - \delta_i)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \sin(\theta_j + \delta_j - \delta_i)$$



### 2.3.6 ข้อจำกัดบนพิสัยของตัวแปร

ข้อจำกัดบนพิสัยของกำลังผลิต เป็นข้อจำกัดของกำลังผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ในรูป

$$P_{gi,min} < P_{gi} < P_{gi,max} \quad (2.6)$$

$$Q_{gi,min} < Q_{gi} < Q_{gi,max} \quad (2.7)$$

### 2.3.7 ข้อจำกัดบนพิสัยของขนาดของแรงดัน

$$V_{i,min} < V_i < V_{i,max} \quad (2.8)$$

### 2.3.8 การคำนวณโหลดโพลว์

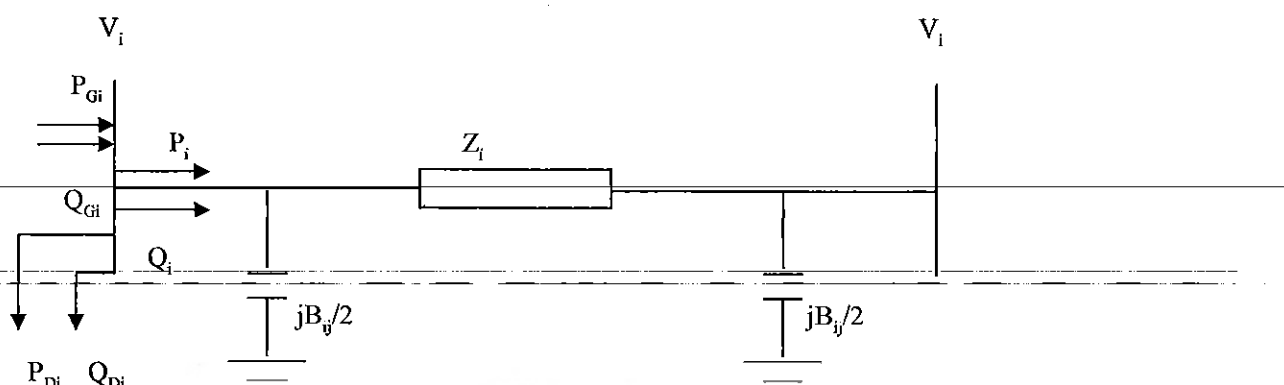
#### Initial condition

**Slack bus** : กำหนดเป็นบัสที่ 1, มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า ( $\delta$ ) มีค่าเป็น 0 และขนาดของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1

**Generator bus** : ขนาดของแรงดันไฟฟ้าถูกกำหนดเป็นค่าจำเพาะและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0

**Load bus** : ขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.0 p.u. และ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0

### 2.3.8.1 การคำนวณโหลดโพลีโดยวิธีของ Newton-raphson method



รูปที่ 2.1 ระบบตัวอย่างที่ใช้คำนวณ Load Flow

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.9)$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.10)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{22} & H_{23} & H_{24} & \dots & H_{2n} & N_{22} & N_{23} & N_{24} & \dots & N_{2n} \\ H_{32} & H_{33} & H_{34} & \dots & H_{3n} & N_{32} & N_{33} & N_{34} & \dots & N_{3n} \\ H_{42} & H_{43} & H_{44} & \dots & H_{4n} & N_{42} & N_{43} & N_{44} & \dots & N_{4n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ H_{n2} & H_{n3} & H_{n4} & \dots & H_{nn} & N_{n2} & N_{n3} & N_{n4} & \dots & N_{nn} \\ J_{22} & J_{23} & J_{24} & \dots & J_{2n} & L_{22} & L_{23} & L_{24} & \dots & L_{2n} \\ J_{32} & J_{33} & J_{34} & \dots & J_{3n} & L_{32} & L_{33} & L_{34} & \dots & L_{3n} \\ J_{42} & J_{43} & J_{44} & \dots & J_{4n} & L_{42} & L_{43} & L_{44} & \dots & L_{4n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ J_{n2} & J_{n3} & J_{n4} & \dots & J_{nn} & L_{n2} & L_{n3} & L_{n4} & \dots & L_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \delta \\ \Delta \delta \\ \vdots \\ \Delta \delta \\ \Delta V/V \\ \Delta V/V \\ \Delta V/V \\ \vdots \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

โดยที่

$$H_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} \quad J_{ik} = V_k \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k}$$

$$N_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial V_k} \quad L_{ik} = V_k \frac{\partial Q_i}{\partial V_k}$$

### 2.3.8.2 Element of Jacobian Matrix

1. off diagonal element  $i \neq k$

$$H_{ik} = L_{ik} = V_i Y_{ik} V_j \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.12)$$

$$N_{ik} = -J_{ik} = -V_i Y_{ik} V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.13)$$

2. Diagonal element  $i = k$

$$H_{ii} = -Q_{ii} + V^2 Y_{ii} \sin(-\theta_{ii}) \quad (2.14)$$

$$J_{ii} = P_{ii} + V^2 Y_{ii} \cos(-\theta_{ii}) \quad (2.15)$$

$$N_{ii} = P_{ii} + V^2 Y_{ii} \cos(-\theta_{ii}) \quad (2.16)$$

$$L_{ii} = -Q_{ii} + V^2 Y_{ii} \sin(-\theta_{ii}) \quad (2.17)$$

### 2.3.8.3 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโพลวโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

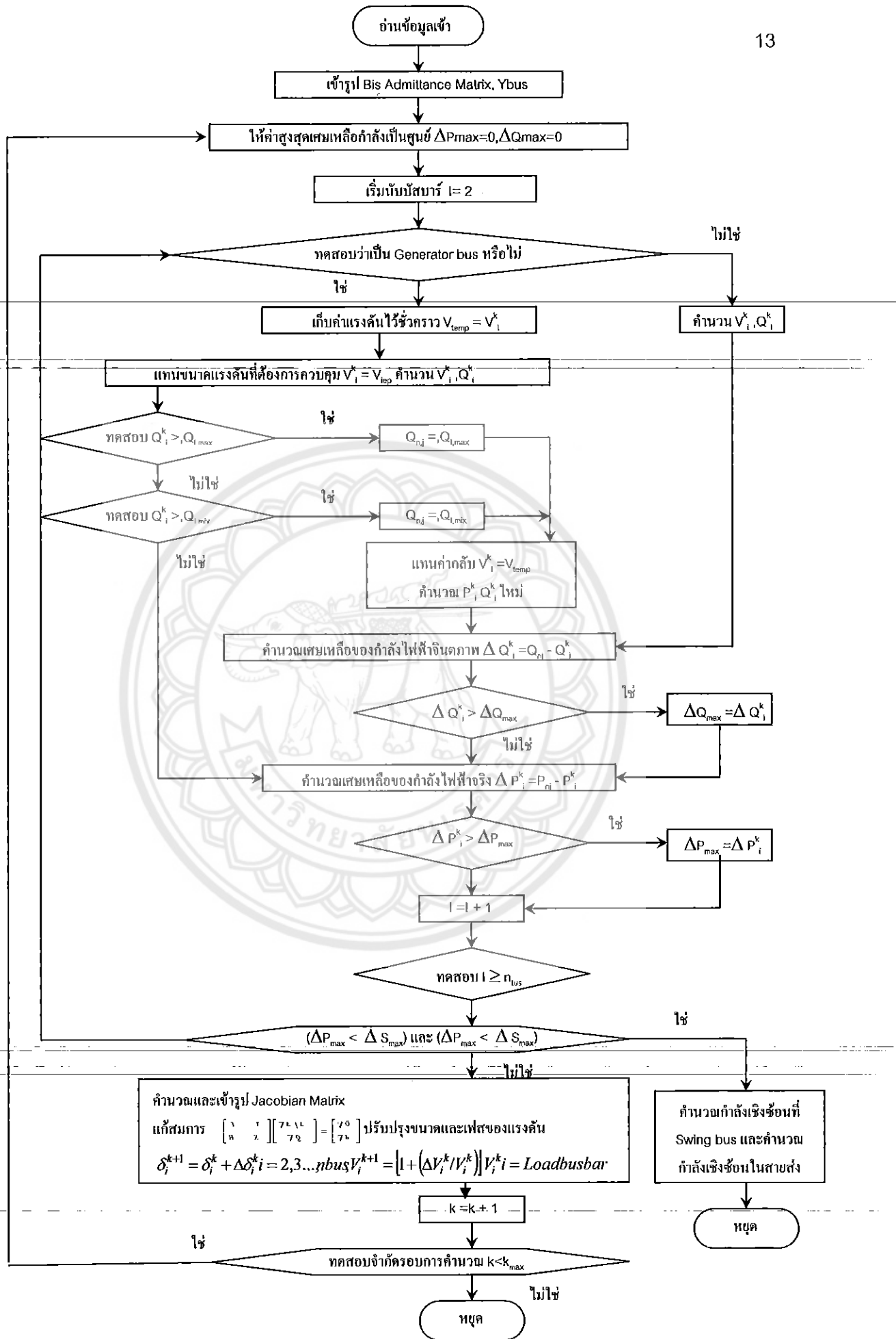
1. กำหนดแรงดันที่บัสต่างๆ ให้เป็น 1.0 p.u. และ มุมเฟสเป็น 0 องศา
2. คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนและผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆ
3. คำนวณ Jacobian matrix
4. แก้ระบบสมการเชิงเส้น

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

5. นำค่าการเปลี่ยนเฟสและขนาดแรงดันไปแก้ไขค่าเดิม

$$\delta_i^{k+1} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k, \quad i = 2, 3, \dots, n_{bus} \quad (2.19)$$

$$V_i^{k+1} = V_i^k \left[ 1 + \left( \frac{\Delta V}{V_i} \right)^k \right], \quad i = \text{load bus} \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.2 การวิเคราะห์ Load Flow โดยวิธี Newton Raphson

## 2.4 แบบจำลองของระบบ

### 2.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เราจะทำการ Model Generator (PU Unit) ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการดังต่อไปนี้  
Rotational Dynamics สามารถแทนด้วยสมการที่ ( 2.22 ) และ ( 2.23 )

#### ก) Rotation Dynamic

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_0(\omega + 1) \quad (2.21)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{2H} (T_m - T_e) \quad (2.22)$$

โดยที่

$\delta$  = Rotor angle (rad)

$\omega$  = Speed (rad/s)

$\omega_0$  = Synchronous speed (rad/s)

$T_m$  = Mechanical load torque (N-m)

$T_e$  = Electromagnetic torque (N-m)

$H$  = Inertia constant (MW.S / MVA)

**ข) The dynamics of field circuit**

$$\frac{d\lambda_{fd}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{fd}} \left( \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} - 1 \right) \lambda_{fd} - \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{fd}} L'_{afd} i_d + \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{afd}} \quad (2.23)$$

โดยที่

$\lambda_{fd}$  = Field circuit dynamic of flux linkage

$\omega_0$  = Synchronous speed (rad/s)

$R_{fd}$  = Field circuit dynamic of resistance

$L_{fd}$  = Field circuit dynamic inductance

$L'_{fd}$  = Field circuit dynamic inductance in transient

$R_a$  = Armature resistance

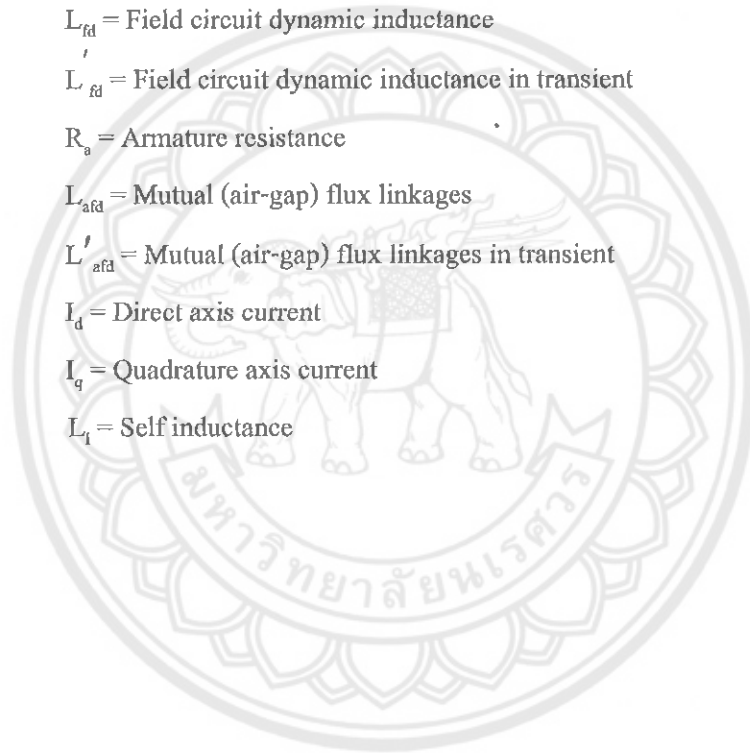
$L_{afd}$  = Mutual (air-gap) flux linkages

$L'_{afd}$  = Mutual (air-gap) flux linkages in transient

$I_d$  = Direct axis current

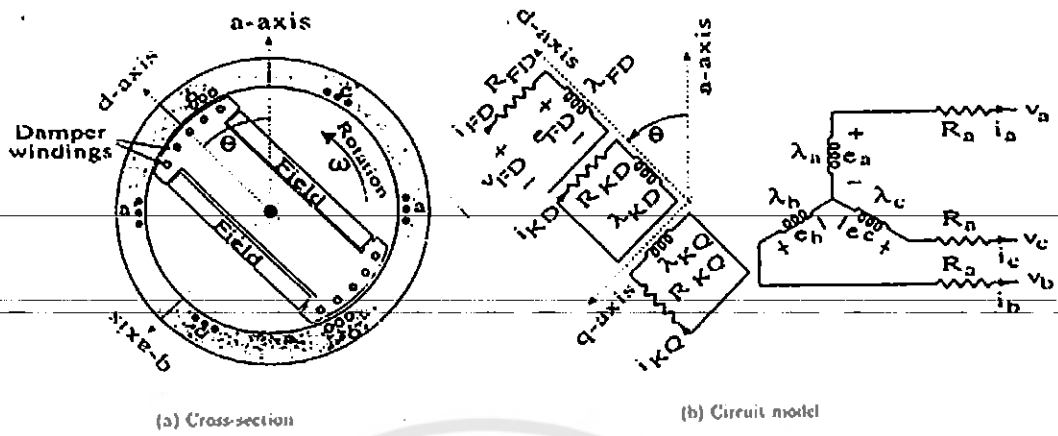
$I_q$  = Quadrature axis current

$L_l$  = Self inductance





f) The stator circuit equation



รูปที่ 2.3 a) Cross-section b) Circuit model

$$\begin{aligned}
 V_d &= -R_a i_d - \dot{\lambda}_q = -R_a i_d + L_1 \dot{i}_q - \dot{\lambda}_{aq} \\
 &= -R_a i_d + (L_1 + L_{aq}) \dot{i}_q
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

$$\begin{aligned}
 V_q &= -R_a i_q + \dot{\lambda}_d = -R_a i_q - L_1 \dot{i}_d + \dot{\lambda}_{afd} \\
 &= -R_a i_q - (L_1 + L'_{afd}) \dot{i}_d + \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \dot{\lambda}_{fd}
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

โดยที่

$V_d$  = Direct axis voltage

$V_q$  = Quadrature axis voltage

$R_a$  = Armature resistance

$I_d$  = Direct axis current

$I_q$  = Quadrature axis current

$L_1$  = Self inductance

$L_{akq}$  = Mutual inductance between stator and rotor winding

$L'_{aq}$  = Mutual inductance between stator and rotor winding in transient

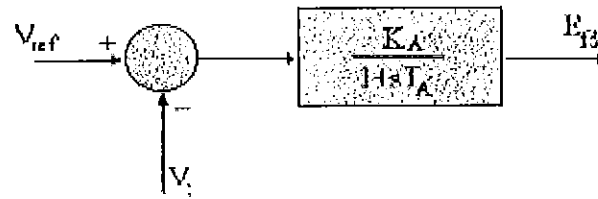
$\lambda_q$  = Quadrature axis flux linkage

$\lambda_{aq}$  = Mutual ( Air Gap ) flux linkage

$\lambda_d$  = Direct axis flux linkage

$\lambda_{fd}$  = Mutual flux linkage

### 3) The Automatic Voltage Regulation Equation :



รูปที่ 2.4 Automatic Voltage Regulation

$$\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_A} [K_A (V_{ref} - V_t) - E_{fd}] \quad (2.26)$$

โดยที่

$V_{ref}$  = Reference voltage

$V_t$  = Voltage feedback

$E_{fd}$  = Voltage field circuit dynamic

$K_A$  = Constant value

$T_A$  = Time constant

ดังนั้นเราสามารถจัดสมการใหม่เพื่อเขียน โปรแกรม simulation ได้ดังนี้

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_o(\omega - 1) \quad (2.27)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{(P_m - P_e)}{2H} \quad (2.28)$$

$$\frac{d\lambda_{fd}}{dt} = \frac{\omega_o R_{fd}}{L_{fd}} \left( \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} - 1 \right) \lambda_{fd} - \frac{\omega_o R_{fd}}{L_{fd}} L'_{afd} i_d + \frac{\omega_o R_{fd}}{L_{afd}} \quad (2.29)$$

$$\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_A} [K_A (V_{ref} - V_t) - E_{fd}] \quad (2.30)$$

$$V_d = -R_a i_a + (L_q + L_{alg}) i_q \quad (2.31)$$

$$V_q = -R_a i_a - (L_q + L'_{afg}) i_d + \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \lambda_{fd} \quad (2.32)$$

ชุดสมการที่ (2.28)–(2.31) เรามี generator 3 ตัว ก็ต้องมี 3 ชุดสมการ  
จากสมการที่ (2.32) และสมการที่ (2.33) เราสามารถจัดสมการให้อยู่ในรูปของกระแสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_a & L_a \\ -L_B & -R_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_q \\ V_d \end{bmatrix} - \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_d & L_A \\ -L_B & -R_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \lambda_{fd} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

โดยที่

$$C = R_a^2 + L_a L_B$$

$$L_B = L_1 + L_{alq}$$

$$L_A = L_1 + L'_{afd}$$

จากสมการของ Generator สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูปของกระแสในแนวแกน d-q Axis ได้ดังสมการที่กล่าวมาข้างต้น แต่เนื่องจากระบบที่จำลองขึ้นมาจะมีค่าต่างๆในระบบเป็นจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ ซึ่งอยู่ใน x-y Axis ดังนั้น จึงต้องทำการ Transform กระแสจากระบบ d-q Axis ให้อยู่ในรูป x-y Axis ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} - \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \lambda_{fd} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการแล้วจะได้กระแส  $i_x$  และ  $i_y$  ตามสมการข้างล่าง กระแสในระบบ x-y Axis นี้จะส่งออกไปในระบบที่อยู่ข้างนอก

$$\begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} \cos\delta & \sin\delta \\ \sin\delta & -\cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta & \sin\delta \\ \sin\delta & -\cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{c} \begin{bmatrix} \cos\delta & \sin\delta \\ \sin\delta & -\cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L'_{afd} \lambda_{fd} \\ L_{fd} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$\begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x(\delta, \lambda_{fd}) \\ y(\delta, \lambda_{fd}) \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \\ I_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_9 \end{bmatrix} = [Y_{bus}]_{9 \times 9} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_9 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

จากระบบ Nine Bus เมื่อเราหาค่า Admittance ของระบบ จะพบว่ามีความเป็นจำนวนเชิงซ้อน และกระแสในแต่ละ Bus ก็มีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อนเช่นกัน จึงต้องทำการแยกส่วนจริงกับส่วนจินตภาพ ทำให้เมตริกซ์มีขนาดดังสมการ

$$[I_{bus}]_{18 \times 1} = [Y_{bus}]_{18 \times 18} [V_{bus}]_{18 \times 1} \quad (2.38)$$

#### 2.4.2 วิธีการหาค่า $V_{bus}$ และ $I_{bus}$

จัดชุดสมการของระบบได้ดังนี้

$$[Y_{bus}]_{18 \times 18} [V_{bus}]_{18 \times 1} = \begin{bmatrix} I_{x1} \\ I_{y1} \\ I_{x2} \\ I_{y2} \\ I_{x3} \\ I_{y3} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

สามารถหาค่า  $V_{bus}$  ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix}
 Y_{x1-a1} & -Y_{y1-b1} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 Y_{y1-c1} & -Y_{x1-d1} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & Y_{x1-a1} & -Y_{y1-b1} & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & Y_{x1-a1} & -Y_{y1-b1} & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & Y_{x1-a1} & -Y_{y1-b1} & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & Y_{x1-a1} & -Y_{y1-b1} & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x1 \\
 y1 \\
 x2 \\
 y2 \\
 x3 \\
 y3 \\
 0 \\
 0 \\
 \vdots \\
 0
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 V_{bus} \\
 18 \times 1
 \end{bmatrix}
 \quad (2.40)$$

กระแสของ Generator แต่ละตัว  $I_{x1}, I_{y1}, I_{x2}, I_{y2}, I_{x3}, I_{y3}$  หาได้จากสมการกระแสในระบบ x-y Axis ส่วนค่ากระแสที่ bus อื่นๆ จะเท่ากับ 0 (Kirchhoff's Current Law) และหา  $I_{bus}$  ได้จากสมการดังนี้

$$[I_{bus}]_{9 \times 1} = [Y_{bus}]_{9 \times 9} [V_{bus}]_{9 \times 1} \quad (2.41)$$

ค่าตัวแปรต่างๆ สามารถหาได้ดังนี้

$$L_{ad} = L_d - L_l, \quad L_{aq} = L_q - L_l$$

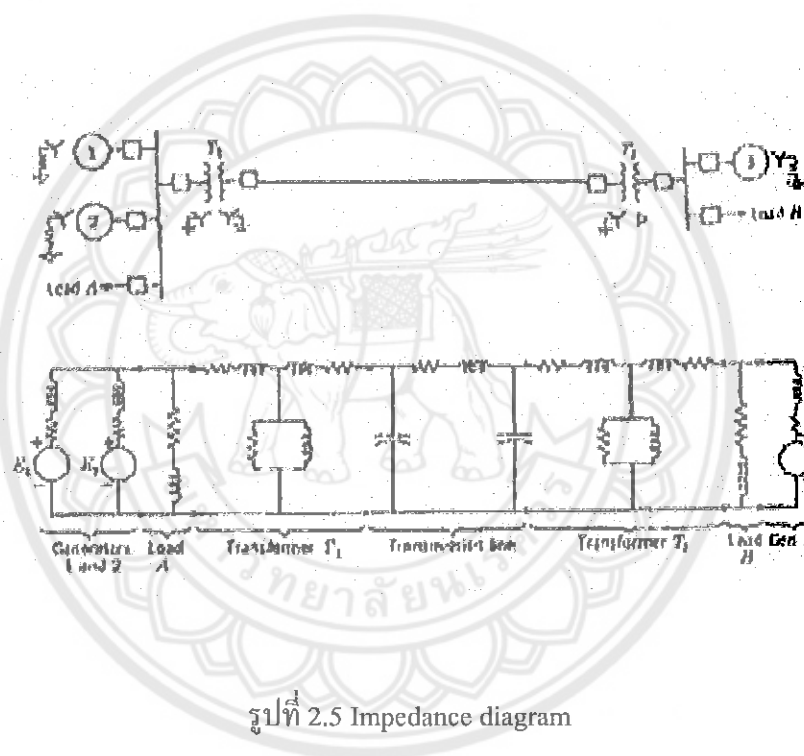
$$L'_d = L_l + \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}}, \quad T'_{do} = \frac{L_{ad} L_{fd}}{R_{fd}}$$

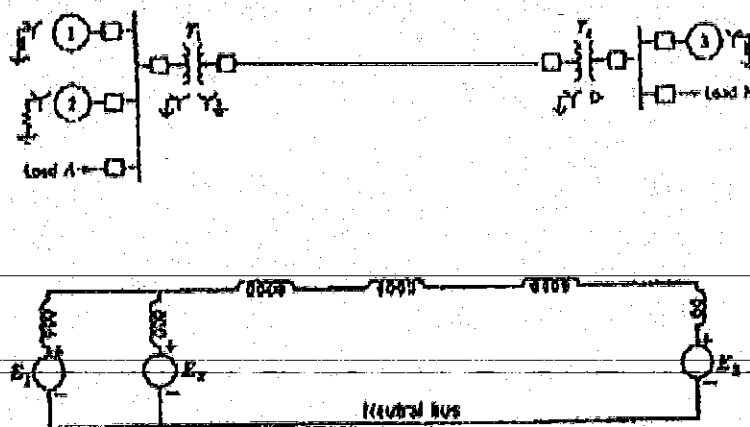
$$L'_{afd} = \frac{L_{fd} L_{afd}}{L_{fd} + L_{afd}}, \quad L_{afd} = L_{ad}, \quad L_{afd} = L_{aq}$$

## 2.5 แบบจำลองของโหลด

ปกติโหลดของระบบไฟฟ้ามักจะแทนด้วยค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพ แบบจำลองของโหลดถูกสร้างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

$$Z_{\text{Load}} = \frac{V_L^2}{P_L - jQ_L} \quad (2.42)$$



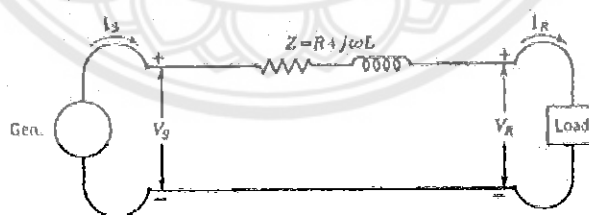


รูปที่ 2.6 Reactance diagram

### 2.6 แบบจำลองสายส่ง

ในโครงการนี้เราจะศึกษาสายส่งที่มีความยาวขนาดกลาง (ระหว่าง 80 – 240 กิโลเมตร) ซึ่งระยะความยาวของสายส่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. แบบจำลองของสายส่งสั้น (ไม่เกิน 80 กิโลเมตร)



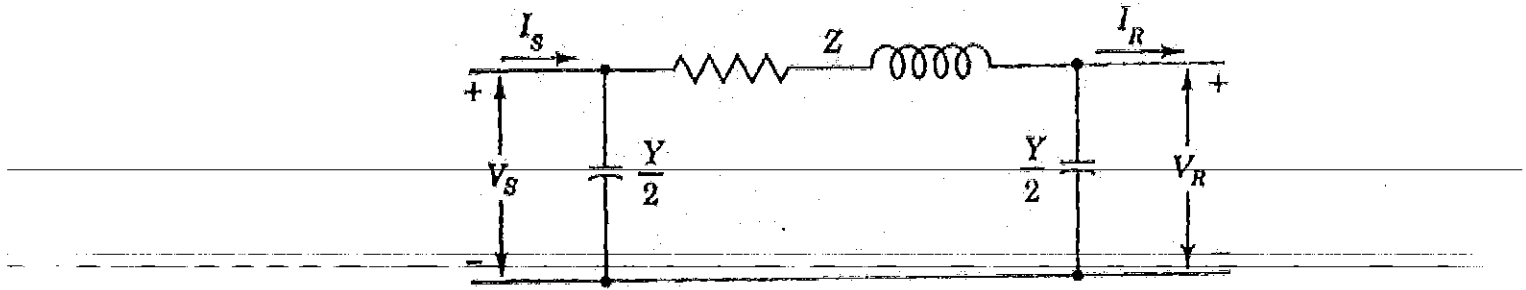
รูปที่ 2.7 แสดงแบบจำลองของสายส่งสั้น

$$I_S = I_R$$

$$V_S = V_R + I_R * Z$$

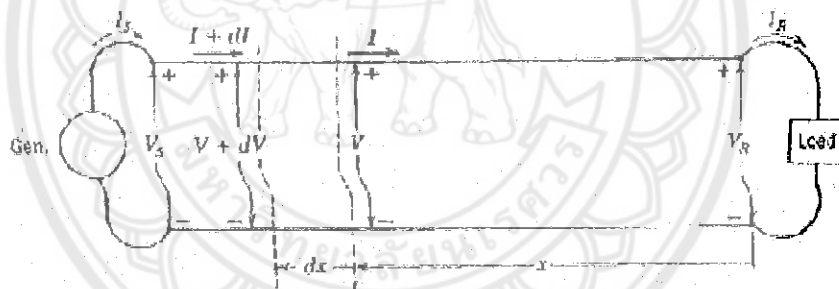


2. แบบจำลองของสายส่งยาวปานกลาง (ระหว่าง 80 กิโลเมตร – 240 กิโลเมตร)



รูปที่ 2.8 แบบจำลองของสายส่งยาวปานกลาง

3 แบบจำลองของสายส่งยาว (ยาวกว่า 240 กิโลเมตร)



รูปที่ 2.9 แบบจำลองของสายส่งยาว

2.7 การคำนวณโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข ( Numerical Method )

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบเราจะใช้ Fourth-order Runge – Kutta method ในการวิเคราะห์ เพราะเป็นวิธีที่สามารถใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับสมการ differential equation ได้

Fourth – Order Runge – Kutta Methods

เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมวิธีการหนึ่ง ซึ่งจะเป็นวิธีการที่ใช้ในการแก้สมการอนุพันธ์อันดับ

สอง มีสมการดังนี้

$$y_{i+1} = y_i + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) h / 6 \tag{2.43}$$

เมื่อ  $k_1 = f(x_i, y_i)$

$$k_2 = f(x_i + h, y_i / 2 + k_1 h)$$

$$k_3 = f(x_i + h, y_i / 2 + k_2 h)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3 h)$$

15039472

ร/ว.

85277

2546

จากสมการข้างต้น นำมาใช้กับการแก้ปัญหา และเขียนโปรแกรมสมการทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลของระบบ ได้ดังนี้

$$X(t + \Delta t) = X(t) + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \tag{2.44}$$

เมื่อ  $k_1 = f(x(t), V_{bus,1}, t) \Delta t$

$$I_{bus}(X(t) + K_1 / 2, V_{bus1}) = Y_{bus} V_{bus1}$$

$$K_2 = f(x(t) + K_1 / 2, V_{bus1}, t + \Delta t / 2) \Delta t$$

$$I_{bus}(X(t) + K_2 / 2, V_{bus2}) = Y_{bus} V_{bus2}$$

$$K_3 = f(x(t) + K_2 / 2, V_{bus2}, t + \Delta t / 2) \Delta t$$

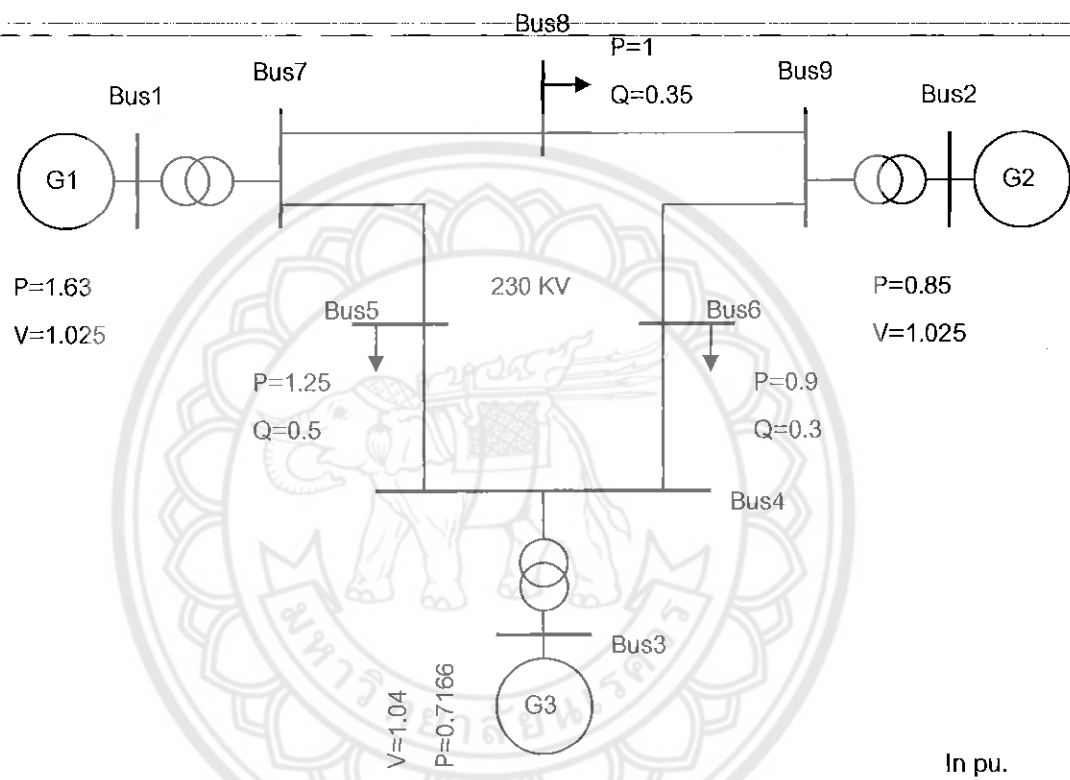
$$I_{bus}(X(t) + K_3, V_{bus3}) = Y_{bus} V_{bus3}$$

$$K_4 = f(x(t) + k_3 + V_{bus3}, t + \Delta t) \Delta t$$

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1. ข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง



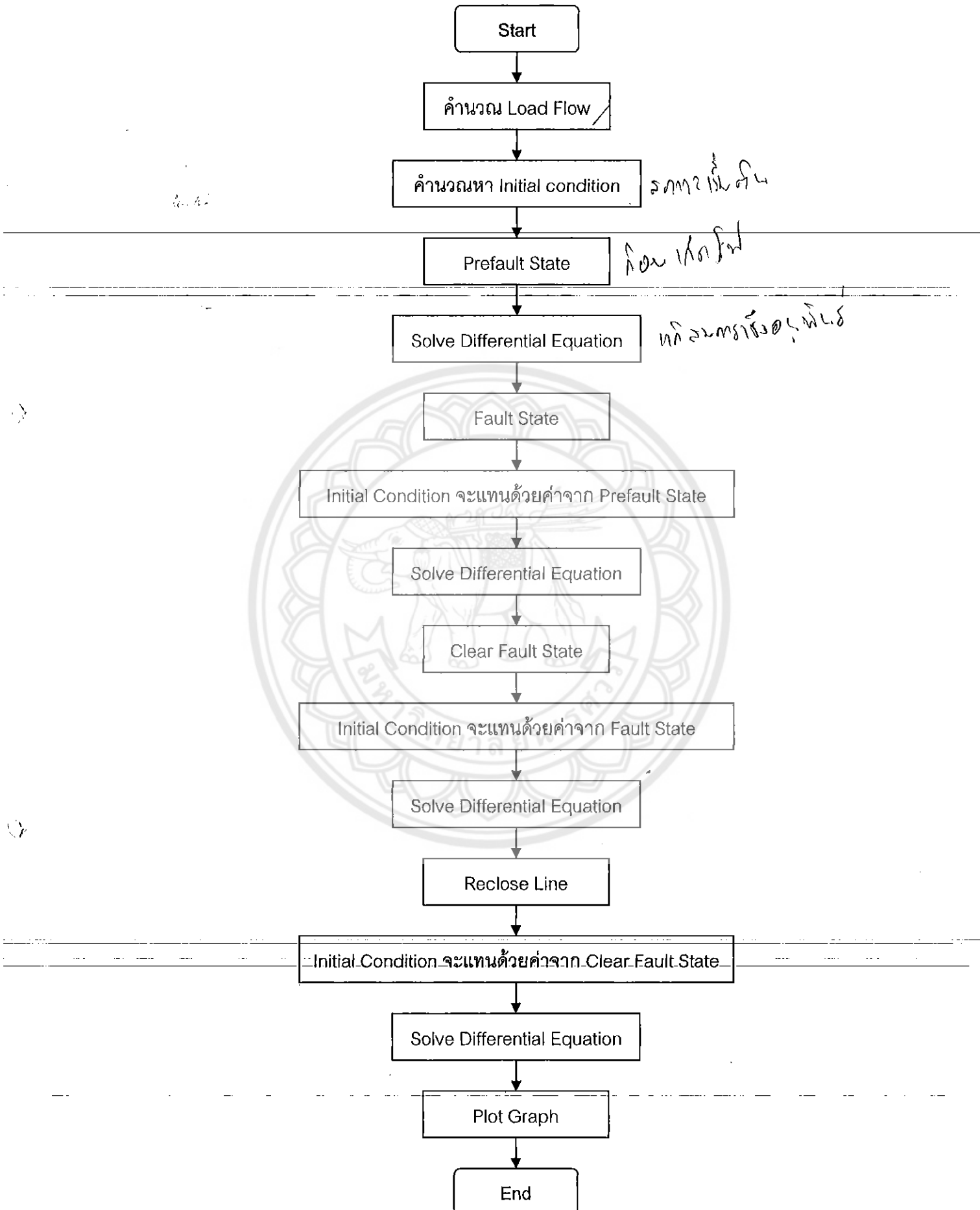
รูปที่ 3.1 ข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง

ตารางที่ 3.1 : Generator and AVR parameters

Unit	H	$x_d$	$x_q$	$x'_d$	$T'_{do}$	$K_e$	$T_e$
	(MJ/MVA)	(pu)	(pu)	(pu)	(pu)	(pu)	S
1	6.4	0.8958	0.8645	0.1198	5.9	25	0.5
2	3.01	1.3125	1.2578	0.1813	5.89	25	0.5
3	23.64	0.146	0.0969	0.0608	8.96	25	0.5

ตารางที่ 3.2 : ข้อมูลสายส่ง

No.	Sending	Receiving	Series Impedance	Shunt Susceptance	Tap
	End	end	(pu)	(pu)	
1	1	7	$j0.0625$		1
2	2	9	$j0.0586$		1
3	3	4	$j0.0576$		1
4	4	5	$0.01+j0.085$	0.176	
5	4	6	$0.017+j0.0920$	0.158	
6	6	9	$0.039+j0.1700$	0.358	
7	7	8	$0.0085+j0.072$	0.149	
8	7	5	$0.032+j0.16$	0.306	
9	8	9	$0.0119+j0.1008$	0.209	



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพ

### 3.2 ผลจากการคำนวณโพลีไฟลว์

$$V_1 = 1.025 \angle 9.2488^\circ, P_1 = 1.6300, Q_2 = 0.0662$$

$$V_2 = 1.025 \angle 4.6461^\circ, P_2 = 0.8500, Q_3 = -0.1087$$

$$V_3 = 1.04 \angle 0^\circ, P_3 = 0.7166, Q_1 = 0.2701$$

$$V_4 = 1.0258 \angle -2.2167^\circ$$

$$V_5 = 0.9957 \angle -3.9828^\circ$$

$$V_6 = 1.0127 \angle -3.6938^\circ$$

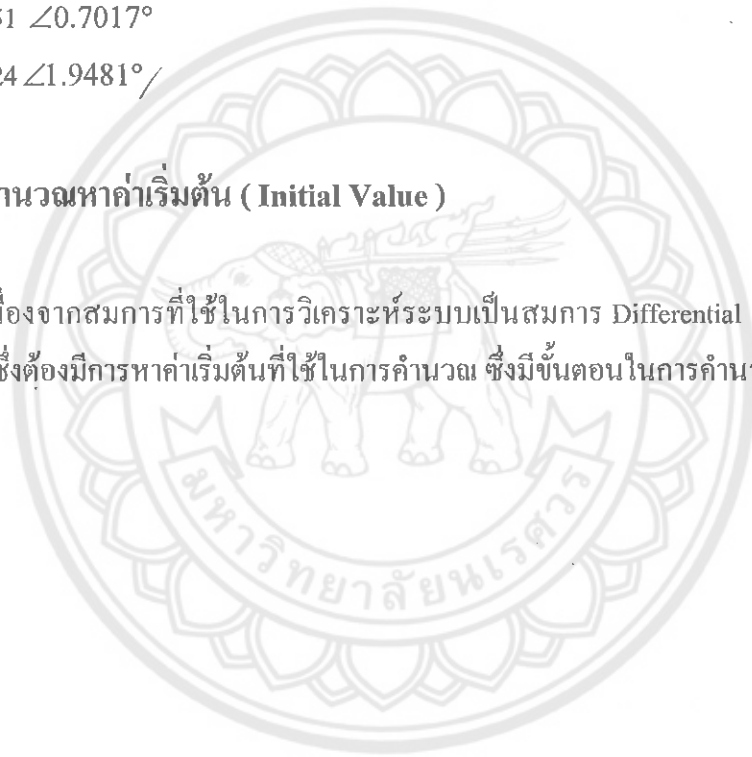
$$V_7 = 1.0258 \angle 3.6886^\circ$$

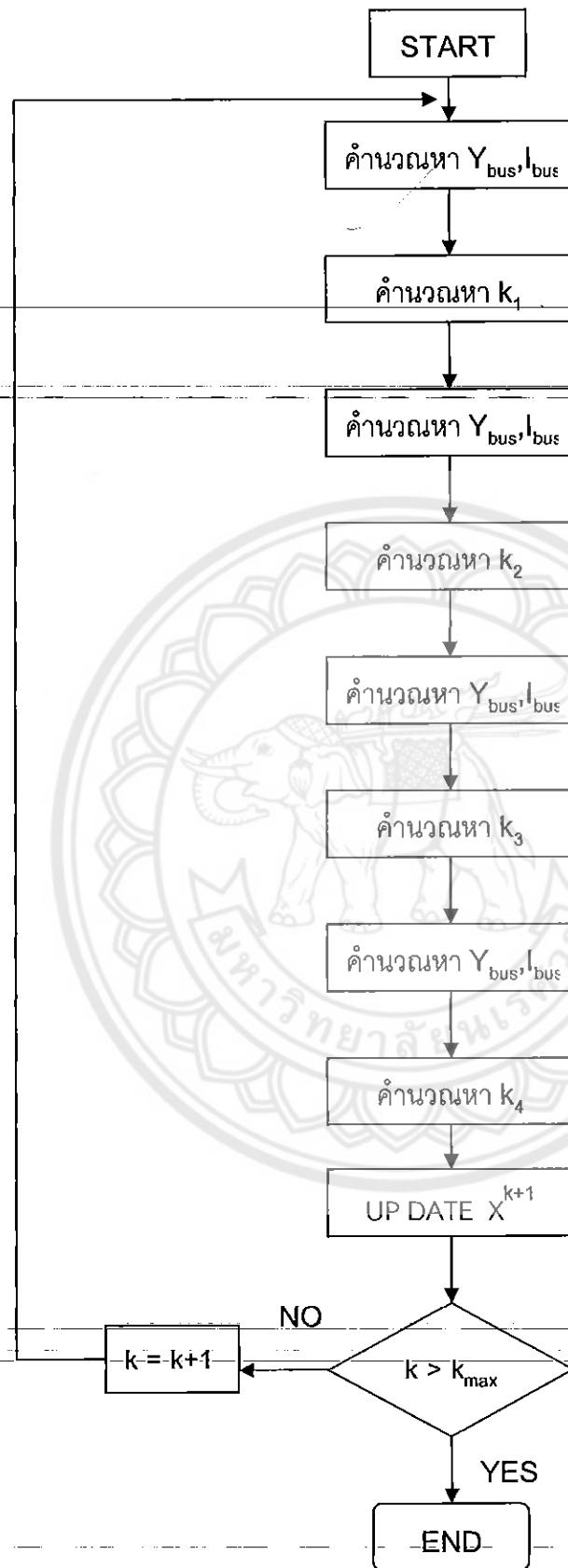
$$V_8 = 1.0151 \angle 0.7017^\circ$$

$$V_9 = 1.0324 \angle 1.9481^\circ$$

### 3.3 การคำนวณหาค่าเริ่มต้น (Initial Value)

เนื่องจากสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบเป็นสมการ Differential แบบ Initial Value Problem ซึ่งต้องมีการหาค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้





รูปที่ 3.3 Solve Differential Equation

ในที่นี้จะทำการแสดงการหาค่า initial สำหรับ Generators ตัวที่ 3 เพื่อเป็นตัวอย่าง ดังนี้

จาก ตารางที่ 3.1 : Generator and AVR paramiters

H	$x_d$	$x_q$	$x'_d$	$T'_{do}$	$K_e$	$t_e$
(MJ/MVA)	(pu)	(pu)	(pu)	(pu)	(pu)	(S)
23.64	0.1460	0.0969	0.0608	8.96	25.00	0.5

$$L_{ad} = L_d - L_\ell = 0.1406 - 0.0336 = 0.1124$$

$$L_{aq} = L_q - L_\ell = 0.0969 - 0.0336 = 0.0633$$

$$L'_d = L_\ell + \frac{L_{ad} \times L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}}$$

$$= 0.0336 + \frac{0.1124 L_{fd}}{0.1124 + L_{fd}}$$

$$\text{ได้ } L_{fd} = 0.03588$$

$$L_{afd} = \frac{L_{ad} \times L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}} = \frac{0.03588 \times 0.1124}{0.03588 + 0.1124} = 0.0272$$

$$T'_{do} = \frac{L_{ad} + L_{fd}}{R_{fd}}$$

$$8.96 \times 120 \pi = \frac{0.1124 + 0.03588}{R_{fd}}$$

$$\text{ได้ } R_{fd} = 0.0000439$$

และจากการคำนวณ Load Flow จะได้ข้อมูลของ Generator ตัวที่ 3 ดังนี้

$$P_3 = 0.7166$$

$$Q_3 = 0.2701$$

$$V_3 = 1.04 \angle 0^\circ$$

$$P_3 + j Q_3 = 0.7166 + j 0.2701$$

$$= 0.76581 \angle 20.65237^\circ$$

$$V_3 = 1.04 \angle 0^\circ = 1.04$$



$$I_3 = \frac{(P_3 + jQ_3)^*}{V_3^*} = \frac{(0.7166 + j0.2701)^*}{1.04}$$

$$= 0.68904 - j0.25971$$

$$E \angle \delta_3 = V_3 + j x_q I_3$$

$$= 1.04 + j(0.0969 * (0.68904 - j0.25971))$$

$$= 1.06726 \angle 3.58679^\circ$$

$$\delta_3 = 3.58679^\circ$$

จากชุดสมการ State สามารถหาค่า Initial ได้ดังนี้

$$\text{จาก } \frac{d\delta_3}{dt} = \omega_0(\omega_3 - 1)$$

$$\text{ให้ } \frac{d\delta_3}{dt} = 0$$

$$\text{จะได้ } \omega_0(\omega_3 - 1) = 0$$

$$\therefore \omega_3 = 1$$

$$\text{จาก } \frac{d\omega_3}{dt} = \frac{1}{2H} (P_{m3} - P_{e3})$$

$$\text{ให้ } \frac{d\omega_3}{dt} = 0$$

$$\text{จะได้ } P_{m3} - P_{e3} = 0$$

$$\therefore P_{m3} = P_{e3}$$

$$\text{จาก } V_{q3} = R_{a3} i_{q3} - (L_{\ell 3} + L_{af3}) i_{d3} + \frac{L_{af3}}{L_{fd3}} \lambda_{fd3}$$

$$1.03796 = -(0.0366 + 0.272)(0.30231) + \frac{0.0272}{0.03588} \lambda_{fd3}$$

$$\therefore \lambda_{fd3} = 1.39463$$

จากสมการ Transform กระแสจากระบบ d-q เป็น x-y

$$\begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix}$$

และการ Transform แรงดันจากระบบ d-q เป็น x-y

$$\begin{bmatrix} V_q \\ V_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}$$

ซึ่งจากผลการคำนวณ Load Flow จะได้กระแสและแรงดันที่อยู่ในระบบ x-y จึงนำค่าเหล่านั้นมา Transform ให้อยู่ในระบบ d-q เพื่อนำไปหาค่า Initial จากสมการ State ทั้ง 6 สมการ

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} i_{d3} \\ i_{q3} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos 3.58679^\circ & \sin 3.58679^\circ \\ \sin 3.58679^\circ & -\cos 3.58679^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.68904 \\ -0.25971 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.99804 & 0.06256 \\ 0.06256 & -0.99804 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.68904 \\ -0.25971 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.67144 \\ 0.30231 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_{q3} \\ V_{d3} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos 3.58679^\circ & \sin 3.58679^\circ \\ \sin 3.58679^\circ & -\cos 3.58679^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.04 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.99804 & 0.06256 \\ 0.06256 & -0.99804 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.04 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1.03796 \\ 0.06506 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

จาก  $\frac{d\lambda_{fd3}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{fd3}}{L_{fd1}} \left( \frac{L_{afd3} - 1}{L_{fd3}} \right) \lambda_{fd3} - \omega_0 \frac{R_{fd3}}{L_{fd3}} L_{afd3} i_{d3} + \omega_0 \frac{R_{fd3}}{L_{fd3}} E_{fd3}$

ให้  $\frac{d\lambda_{fd3}}{dt} = 0$

จะได้

$$\begin{aligned} 377 \frac{(0.0000439)}{0.03588} \left( \frac{0.0272 - 1}{0.03588} \right) 1.39463 - 377 \frac{(0.0000439)}{0.03588} (0.0272)(0.30231) \\ + 377 \frac{(0.0000439)}{0.1124} E_{fd3} = 0 \end{aligned}$$

$$\therefore E_{fd3} = 1.08267$$

จาก  $\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_A} [K_A (V_{ref} - V_t) - E_{fd}]$

โดยที่  $V_t$  คือ  $V_x$  จาก Load Flow

$$\text{ให้ } \frac{dE_{fd}}{dt} = 0$$

$$T_A = 0.5 \quad K_A = 25$$

$$\frac{1}{0.5} [25(V_{ref} - 1.04) - 1.08267] = 0$$

$$V_{ref} = 1.0833$$

ค่า Initial ของ Generator ตัวที่ 1

จาก Load flow  $P_1 = 1.63$

$$Q_1 = -0.0662$$

$$V_1 = 1.025 \angle 9.2488^\circ$$

จากการคำนวณโดยนำค่าจาก Load flow มาคิด

จะได้  $I_1 = 1.57996 + j0.19184$

$$E_1 = 1.74877 \angle 61.0748^\circ$$

$$\delta_1 = 61.0748^\circ$$

นำค่า  $I_1$ ,  $E_1$ ,  $\delta_1$  มาคำนวณหาค่า  $I_{d-q}$  และ  $V_{d-q}$  จากนั้นนำค่าต่างๆมาคำนวณหาค่า Initial จากชุด

สมการ State ได้ค่าต่างๆดังนี้

$$\omega_1 = 1$$

$$P_{m1} = P_{e1}$$

$$\lambda_{fd1} = 0.85685$$

$$E_{fd1} = 1.78955$$

$$V_{ref1} = 1.09658$$

ค่า Initial ของ Generator ตัวที่ 2

จาก Load Flow  $P_2 = 0.85$

$$Q_2 = -0.1087$$

$$V_2 = 1.025 \angle 4.6461^\circ$$

จากการคำนวณโดยนำค่าจาก Load Flow มาคิด

จะได้  $I_2 = 0.81795 + j0.17287$

$$E_2 = 1.37219 \angle 54.12197^\circ$$

$$\delta_2 = 54.12197^\circ$$

นำค่า  $I_2$ ,  $E_2$ ,  $\delta_2$  มาคำนวณหาค่า  $I_{d-q}$  และ  $V_{d-q}$  จากนั้นนำค่าต่างๆมาคำนวณหาค่า Initial จากชุด

สมการสเตทได้ค่าต่างๆดังนี้

$$\omega_2 = 1$$

$$P_{m2} = P_{e2}$$

$$\lambda_{fd2} = 0.84050$$

$$E_{fd2} = 1.40291$$

$$V_{ref2} = 1.081$$

### 3.4 ขั้นตอนการนำ Runge Kutta method มาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลัง

จากสมการ Runge Kutta

$$X(t + \Delta t) = X(t) + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $k_1 = f(X(t), V_{bus}, t) \Delta t$

$$I_{bus} \left( X(t) + \frac{k_1}{2}, V_{bus,1} \right) = Y_{bus} V_{bus,1}$$

$$k_2 = f \left( X(t) + \frac{k_1}{2}, V_{bus,1}, t + \frac{\Delta t}{2} \right) \Delta t$$

$$I_{bus} \left( X(t) + \frac{k_2}{2}, V_{bus,2} \right) = Y_{bus} V_{bus,2}$$

$$k_3 = f \left( X(t) + \frac{k_2}{2}, V_{bus,2}, t + \frac{\Delta t}{2} \right) \Delta t$$

$$I_{bus} \left( X(t) + k_3, V_{bus,3} \right) = Y_{bus} V_{bus,3}$$

$$k_4 = f \left( X(t) + k_3, V_{bus,3}, t + \frac{\Delta t}{2} \right) \Delta t$$

จากชุดสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีสมการที่เป็นสมการ Differential 4 สมการคือ

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_0 (\omega - 1)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{(P_m - P_e)}{2H}$$

$$\frac{d\lambda_{fd}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{fd}} \left( \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} - 1 \right) \lambda_{fd} - \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{fd}} L'_{afd} i_d + \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{afd}}$$

$$\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_A} \left[ K_A (V_{ref} - V_t) - E_{fd} \right]$$

เนื่องจากระบบ 9 Bus ที่นำมาศึกษานั้นมี Generator 3 ตัว ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังสมการข้างบน ซึ่งสมการทั้ง 4 เป็นสมการที่อยู่ในระบบแกน d-q แต่ระบบภายนอกเป็นระบบที่อยู่ในแกน x-y ดังนั้นต้องทำการ transfer แกน d-q มาอยู่ในแกน x-y ก่อนที่จะนำไปคำนวณโดยวิธี Runge Kutta

สมการที่อยู่ในรูปของกระแสดังนี้

$$\begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_a & L_a \\ -L_B & -R_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_q \\ V_d \end{bmatrix} - \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_d & L_A \\ -L_B & -R_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \lambda_{fd} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

---

โดยที่  $C = R_a^2 + L_a L_B$

$$L_B = L_l + L_{atq}$$

$$L_A = L_l + L'_{afd}$$

จากสมการของ Generator สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูปของกระแสในแนวแกน d-q Axis ได้ดังสมการที่กล่าวมาข้างต้น แต่เนื่องจากระบบที่จำลองขึ้นมาจะมีค่าต่างๆในระบบเป็นจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ ซึ่งอยู่ใน x-y Axis ดังนั้น จึงต้องทำการ Transform กระแสจากระบบ d-q Axis ให้อยู่ในรูป x-y Axis ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} - \frac{1}{C} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \lambda_{fd} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการแล้วจะได้กระแส  $i_x$  และ  $i_y$  ตามสมการข้างล่าง กระแสในระบบ x-y Axis นี้ จะส่งออกไปในระบบที่อยู่ข้างนอก

$$\begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} - \frac{1}{C} \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ \sin \delta & -\cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -R_a & L_A \\ -L_B & -R_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} \lambda_{fd} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x(\delta, \lambda_{td}) \\ y(\delta, \lambda_{td}) \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \\ I_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_9 \end{bmatrix} = [Ybus]_{9 \times 9} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_9 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

จากระบบ Nine Bus เมื่อเราหาค่า Admittance ของระบบ จะพบว่า มีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อน และค่าในแต่ละ Bus ก็มีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อนเช่นกัน จึงต้องทำการแยกส่วนจริงกับส่วนจินตภาพ ทำให้เมตริกซ์มีขนาดดังสมการ

$$[Ibus]_{18 \times 1} = [Ybus]_{18 \times 18} [Vbus]_{18 \times 1} \quad (3.6)$$

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การ Simulation เริ่มต้นที่ระบบ Nine Bus System เกิด Fault แบบ Single Line to Ground ที่สายส่ง 6-9 โกลด์ ๆ bus 6 ซึ่งลักษณะของ Fault แบบ Single Line to Ground คือ เมื่อเกิดขึ้นที่สายส่ง โกลด์ ๆ bus จะทำให้ค่าศักดาไฟฟ้าที่ bus นั้น มีค่าเป็น 0 แต่ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่ามาก จึงทำการ Clear-Fault โดยปลดสายส่งเส้นนั้น ออกจากระบบ และ Reclose-Line จึงได้จำลองสถานการณ์การเกิด Fault เพื่อแสดงการ Clear Fault และ Reclose Line ที่เวลาต่างๆ ดังนี้

เนื่องจากระบบ Nine Bus System ไม่มี Infinite Bus ดังนั้น จึงต้องเลือก generator ตัวใดตัวหนึ่งเป็น reference ควรเลือก generator ตัวที่มีค่า inertia ( H ) สูงที่สุด เนื่องจาก generator ที่มีค่า inertia สูง ๆ ค่ากำลังและ rotor angle จะเปลี่ยนแปลงช้ากว่า generator ที่มีค่า inertia ต่ำ

ดังนั้นจึงเลือก generator ตัวที่ 3 เป็นตัว reference โดยจะทำการเทียบ rotor angle ของ generator ตัวที่ 1 และ 2 กับตัวที่ 3 โดย

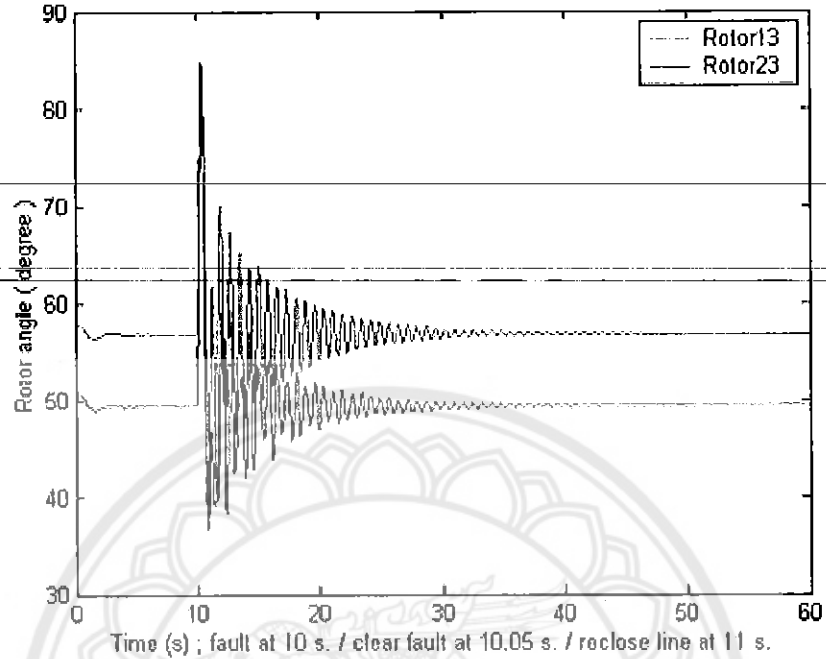
$$\text{กำหนด :Rotor13} = \text{Rotor1} - \text{Rotor3}$$

$$\text{:Rotor23} = \text{Rotor2} - \text{Rotor3}$$

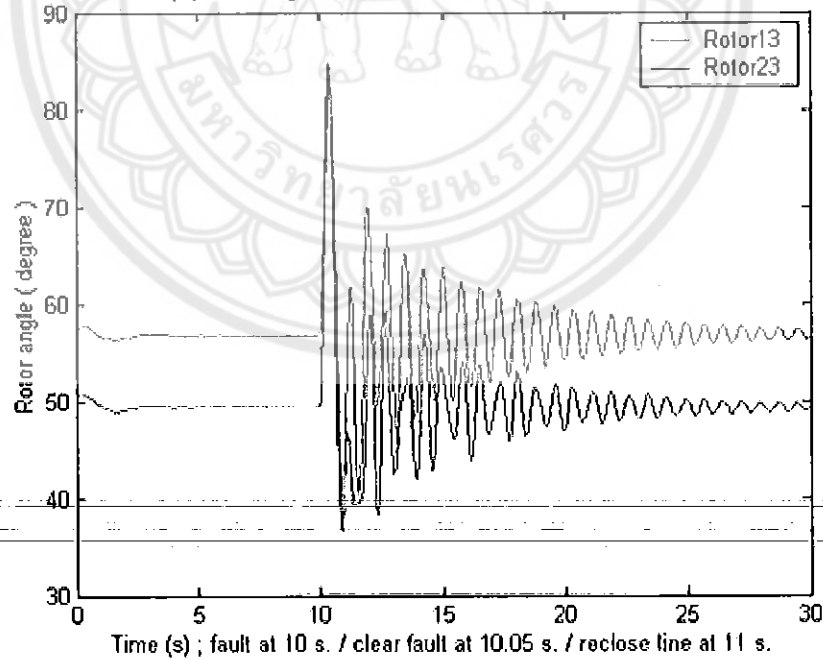
(Rotor แทน rotor angle)

1. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.05 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที

Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6



Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6

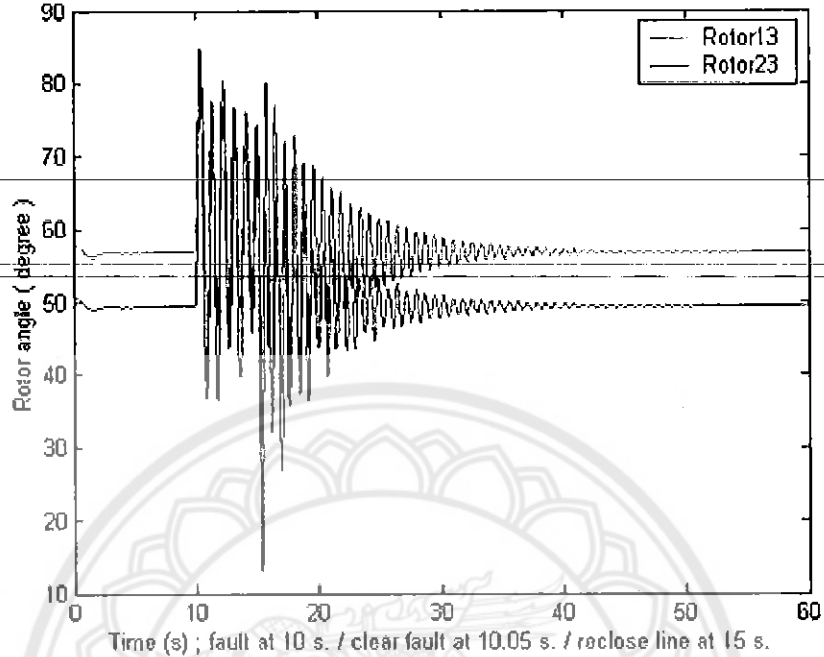


รูปที่ 4.1 clear fault ที่เวลา 10.05 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที

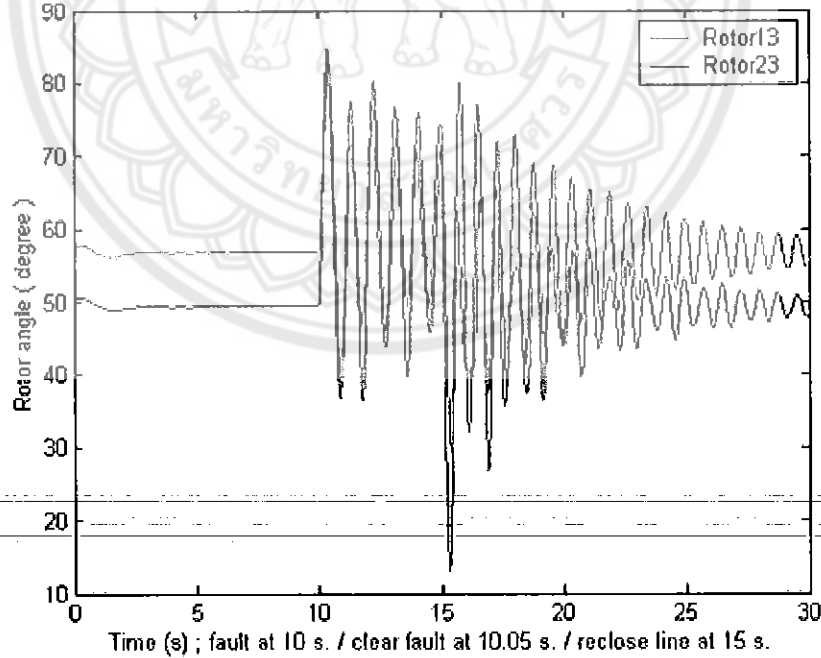


2. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.05 วินาที reclose line ที่เวลา 15 วินาที

Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6



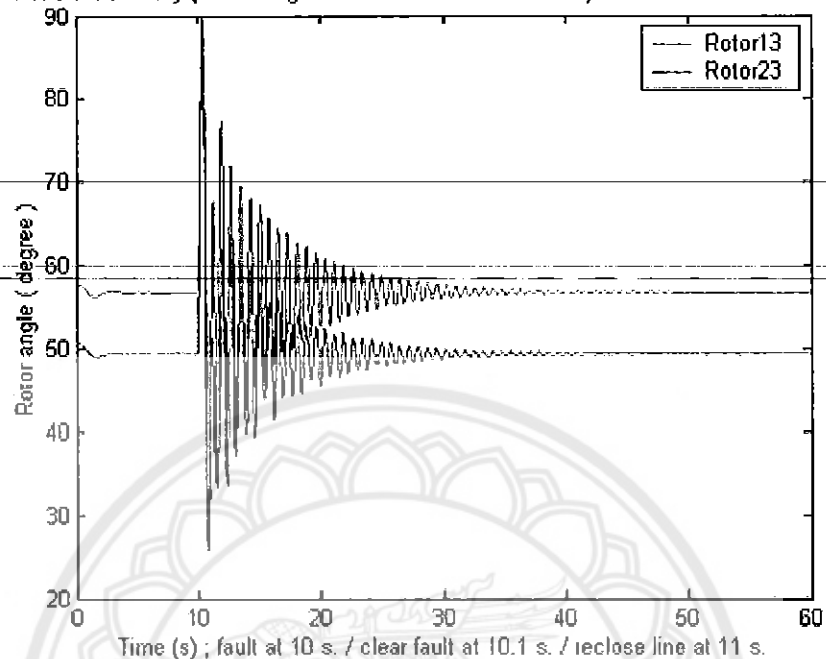
Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6



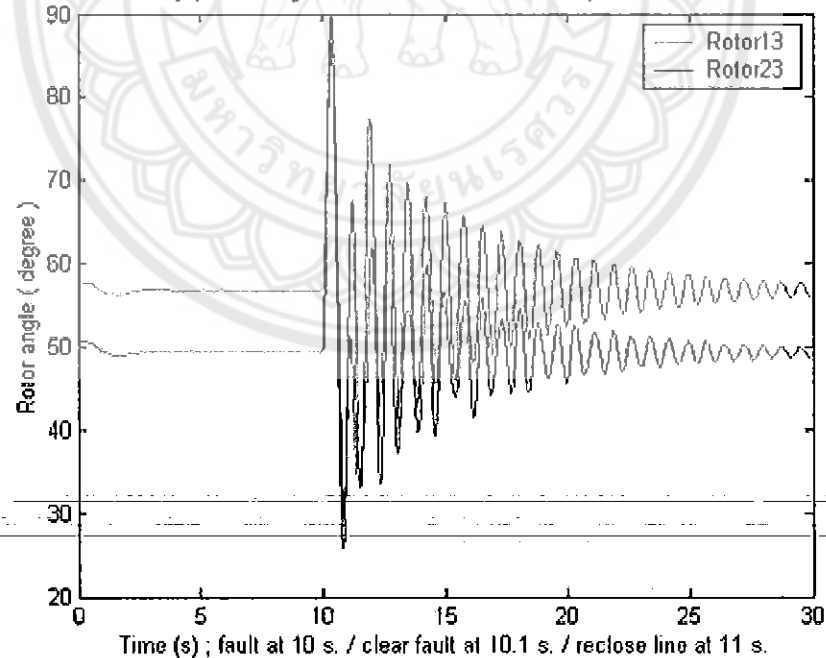
รูปที่ 4.2 clear fault ที่เวลา 10.05 วินาที reclose line ที่เวลา 15 วินาที

3. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที

Transient stability (Rotor angle reference with Generator 3) Fault at line 6-9 near bus 6

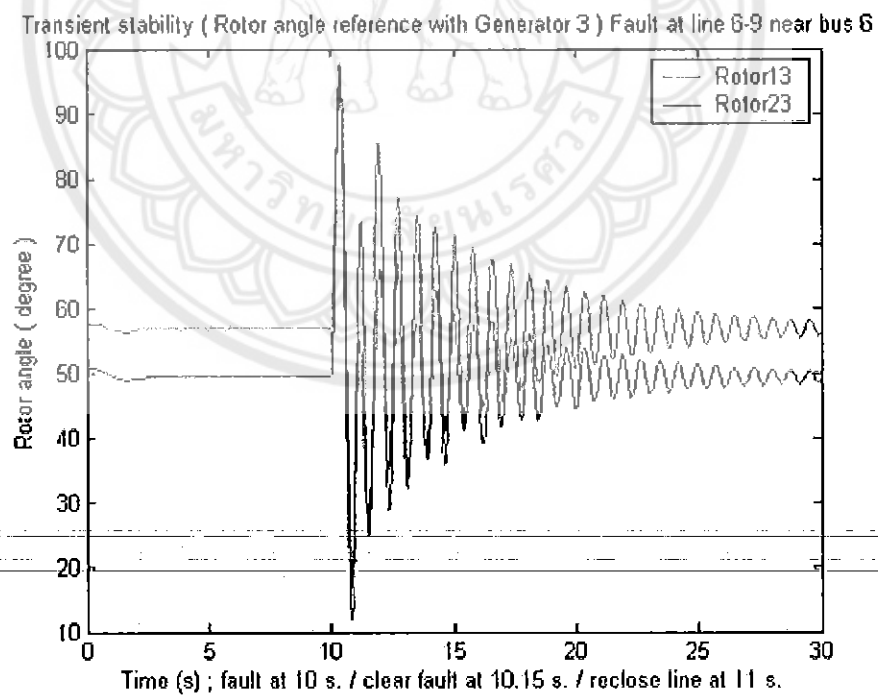
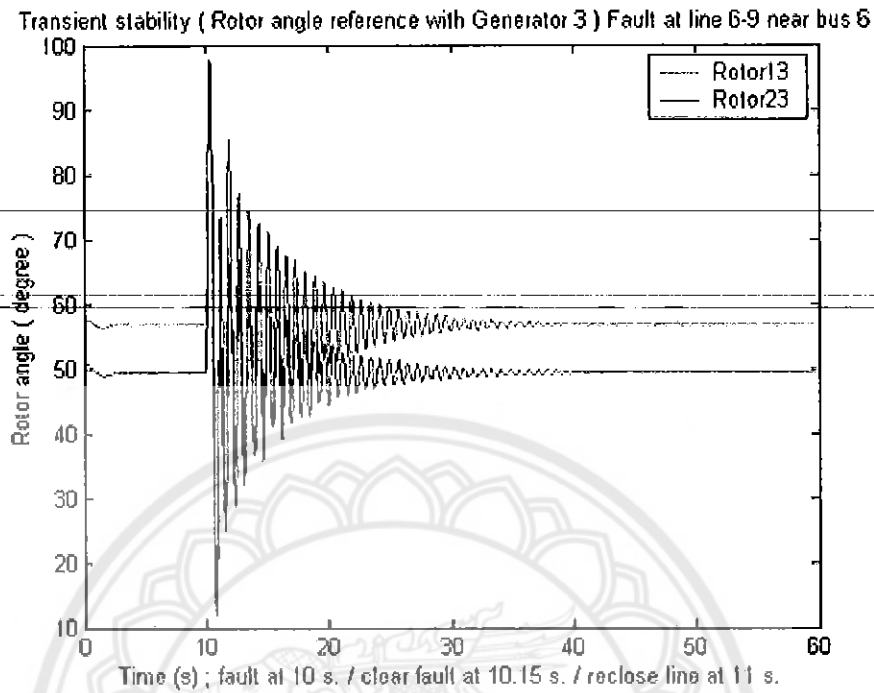


Transient stability (Rotor angle reference with Generator 3) Fault at line 6-9 near bus 6



รูปที่ 4.3 clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที

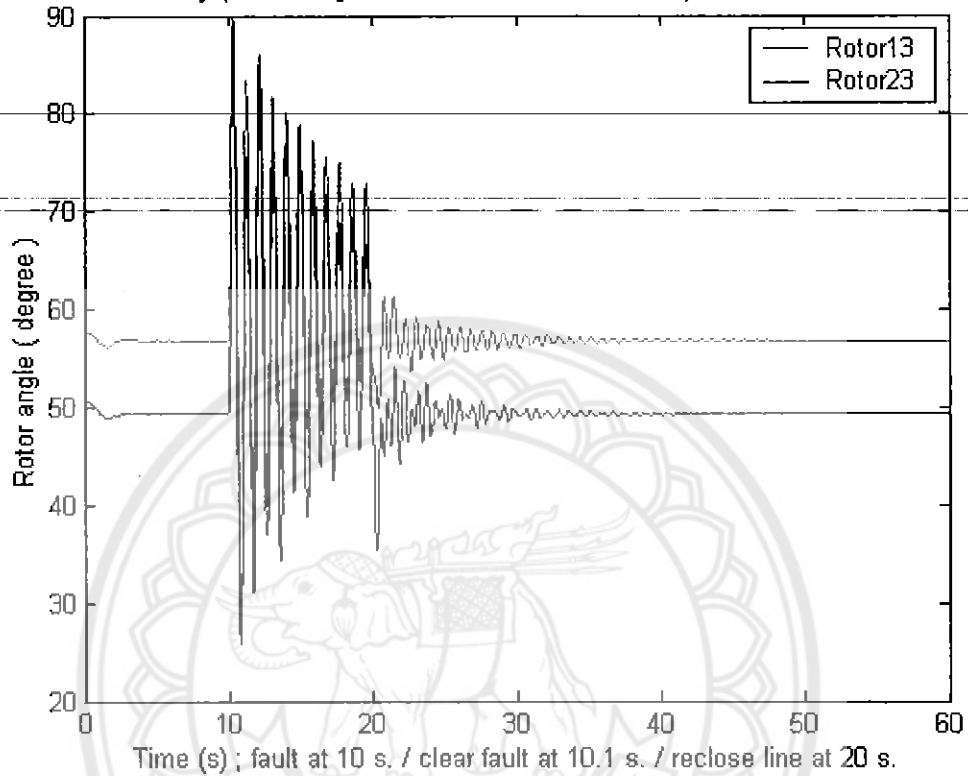
4. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.15 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที



รูปที่ 4.4 clear fault ที่เวลา 10.15 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที

5. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที reclose line ที่เวลา 20 วินาที

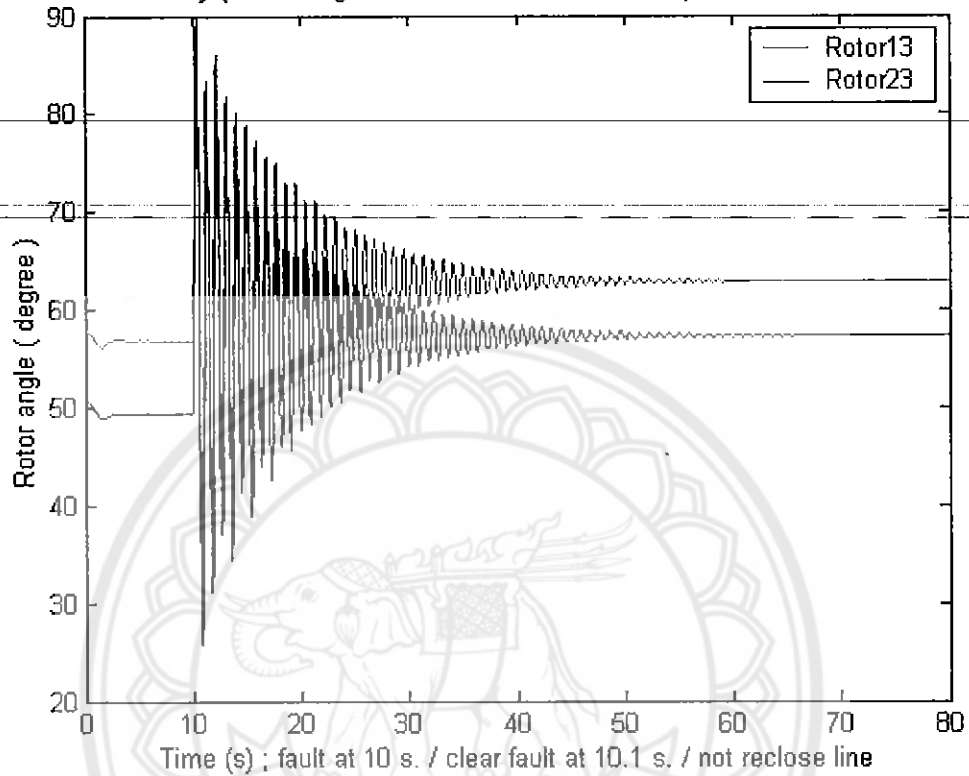
Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6



รูปที่ 4.5 clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที reclose line ที่เวลา 20 วินาที

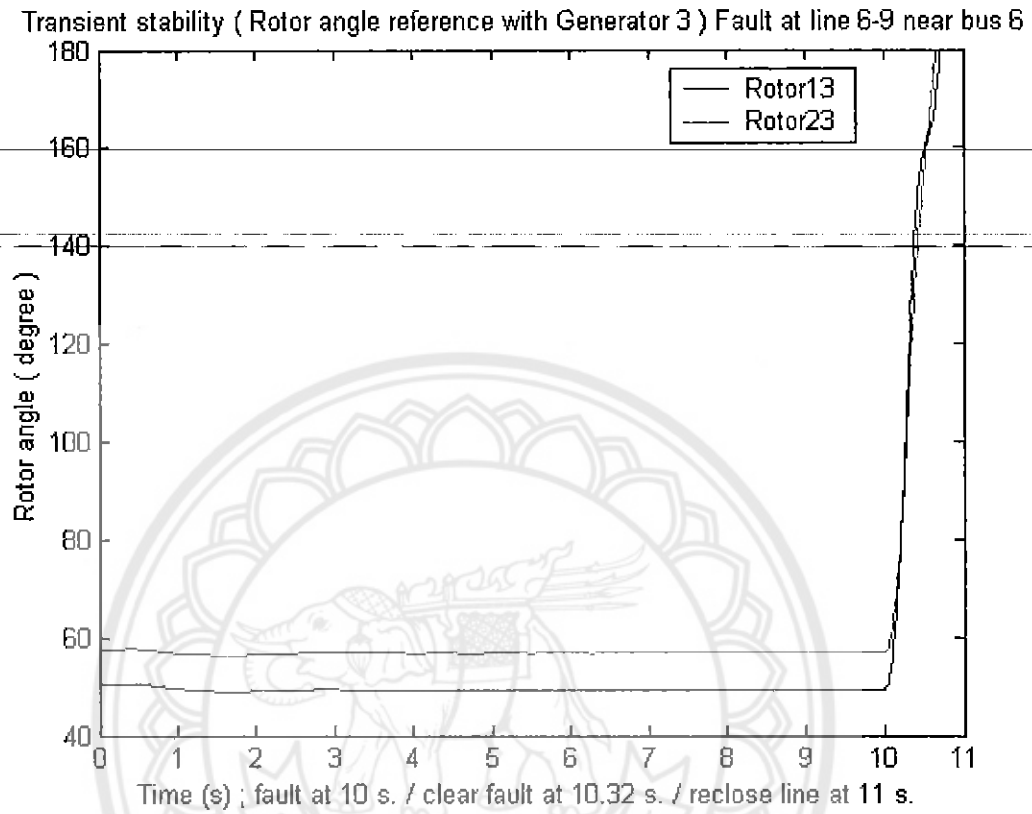
6. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที ไม่ reclose line

Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6



รูปที่ 4.6 clear fault ที่เวลา 10.1 วินาที ไม่ reclose line

7. เกิด fault ที่เวลา 10 วินาที clear fault ที่เวลา 10.32 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที



รูปที่ 4.7 clear fault ที่เวลา 10.32 วินาที reclose line ที่เวลา 11 วินาที

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากการจำลองระบบ nine bus โดยการ clear fault และ reclose line ในเวลาต่าง ๆ กันจะเห็นได้ว่า

1. ที่เวลา clear fault ต่างกัน กรณีที่ clear fault ช้ากว่า หรือช่วงเวลาของการเกิด fault นาน การ swing ของ rotor angle จะมี amplitude สูงกว่า และเข้าสู่สภาวะปกติได้ช้ากว่ากรณีที่ clear fault เร็ว
2. ที่เวลา reclose line ต่างกัน กรณีที่ reclose line ช้ากว่า จะเกิดการ swing ของ rotor angle ที่รุนแรงนานกว่า และเข้าสู่สภาวะปกติได้ช้ากว่ากรณีที่ reclose line เร็ว
3. กรณีที่ clear fault ช้าจนเกินไป rotor angle ของระบบจะสูญเสียเสถียรภาพ และไม่สามารถกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้ แม้จะมีการสั่งให้ reclose line แล้วก็ตาม
4. กรณีที่ clear fault ได้ทัน แต่ไม่มีการ reclose line ระบบก็ยังสามารถกลับสู่สภาวะปกติได้ แต่ rotor angle จะมีค่าต่างไปจากเดิม เนื่องจากค่า impedance ของระบบเปลี่ยนไป (สายส่งที่เกิด fault จะมี impedance เป็น 0 เนื่องจากปลดสายส่งเส้นนั้นออกไป)

จากการจำลองและวิเคราะห์เสถียรภาพแบบชั่วคราวของระบบกำลังไฟฟ้า 9 บัส สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระบบถูกรบกวน หรือเกิดความผิดพลาด rotor angle จะมีการแกว่งไกวและเบี่ยงเบนออกจากค่าปกติ ซึ่งการแกว่งไกวของ rotor angle นี้ ขนาดของมุมที่เปลี่ยนไป จะขึ้นอยู่กับเวลาของการ clear fault และเวลาของการ reclose line โดยที่ rotor angle มีความสัมพันธ์กับเวลา ดังสมการ

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_0(\omega - 1)$$

โครงการนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางที่จะใช้ในการวิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อนทางด้านองค์ประกอบอื่น ๆ ได้ โดยจะทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าควรจะทำอะไรกับระบบที่เกิดความผิดพลาดภายในระยะเวลาเท่าใด เพื่อที่ระบบจะไม่สูญเสียเสถียรภาพไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรชัย ลีมียิ่งเจริญ. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน่วยสารบรรณงานบริหาร และธุรการ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2534
- [2] A.A. Fouad. **Power System Control and Stability**. Iowa State University : IEEE PRESS. 1993
- [3] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr. , Stephen D. Umans. **Electric Machinery** : McGraw-Hill. 1990
- [4] Prabha Kundur . **Power System and Control** : McGraw Hill. 1994





## ภาคผนวก

### Swing Equation

สมการคงตัวของกำลังงาน

$$\frac{dW_{ki}}{dt} + P_{Di} = P_{Mi} - P_{Gi}$$

โดย  $W_{ki}$  = พลังงานจลน์ของ Rotor Generator ที่  $i$   
 $P_{Mi}$  = กำลังขับเคลื่อนกำลัง ถือว่า  $P_{Mi}$  คงที่  
 $P_{Gi}$  = กำลังที่กระจายออกจาก Generator ที่  $i$   
 $P_{Di}$  = กำลังสูญเสียทางกลและ ผลของ Damper

เขียนสมการ  $W_{ki}$   
 $W_{ki} = M_i \omega_i^2 / 2$   
 $M_i$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของ Rotor Generator  
 $\omega_i$  = ความเร็วเชิงมุมของ Rotor

จากสมการได้

$$M_i = \frac{2W_{ki}}{\omega_i^2}$$

$$\frac{dW_{ki}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{2W_{ki}}{\omega_i^2} \times \frac{\omega_i^2}{2} \right)$$

$$= \frac{W_{ki}}{\omega_i^2} (2\omega_i) \frac{d\omega_i}{dt} = \frac{2W_{ki}}{\omega_i} \frac{d\omega_i}{dt}$$

แทน  $\omega_i$  ที่เป็นตัวหาร ด้วย  $\omega_0$

$$\frac{dW_{ki}}{dt} = \frac{2W_{ki}}{\omega_0} \frac{d\omega_i}{dt}$$

จากความเร็วเชิงมุม Rotor ต่อ อัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของมุมของ Rotor

$$\omega_i = \frac{d\theta_i}{dt} = \omega_0 + \frac{d\delta}{dt} \quad (1)$$

$\theta$  = มุม Rotor เมื่อเทียบกับจุดหยุดนิ่ง

$\delta$  = มุม Rotor ที่เทียบกับจุดที่หมุนไปด้วยความเร็ว  $\omega_0$

Diff สมการ (1)

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{d\omega_0}{dt} + \frac{d^2\delta}{dt^2}$$

$$\frac{dW_{ki}}{dt} = \frac{2W_{ki}}{\omega_0} \frac{d^2\delta_i}{dt^2}$$

จาก  $P_{Di} = D_i \frac{d\delta_i}{dt}$

$D_i$  = สัมประสิทธิ์ความหน่วง

จากสมการแรกแทนที่ลงไป

$$\frac{2W_{ki}}{\omega_0} \frac{d^2\delta_i}{dt^2} + D_i \frac{d\delta_i}{dt} = P_{Mi} - P_{Gi}$$

หารด้วย Base MVA ได้

$$\frac{2H_i}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} + D_i \frac{d\delta}{dt} = P_{Mi} - P_{Gi}$$

$$H_i = W_{ki} / \text{Base MVA}$$

$H_i$  = Inertia constant

ถ้าไม่คิดความหนืดอากาศ

$$\frac{2H_i}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_{Mi} - P_{Gi}$$

จะได้ Swing Equation

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_i - \omega_0$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{\omega_0}{2H_i} (P_{Mi} - P_{Gi})$$

Field Circuit Dynamics Equation

สมการมีดังนี้

$$\frac{d\lambda_{fd}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{afd}} E_{fd} - \omega_0 R_{fd} i_{fd}$$

โดย  $E_{fd}$  = Out put voltage of Exciter

$$\begin{aligned} \lambda_d &= -(L_l + L_{ald})i_d + L_{afd}i_{fd} = -L_{ld} + L_{afd}(-i_d + i_{fd}) \\ &= -L_{ld} + \lambda_{afd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_q &= -(L_l + L_{alq})i_q = -L_{lq} + L_{alq}(-i_q) \\ &= -L_{lq} + \lambda_{alq} \end{aligned}$$

$$\lambda_{fd} = \lambda_{afd} + L_{fd} + i_{fd}$$

where  $\lambda_{afd}$  and  $\lambda_{alq}$  = mutual (air-gap) flux linkage

$L_{afd}$  and  $L_{alq}$  = mutual inductance

$$i_{fd} = 1/L_{fd} (\lambda_{fd} - \lambda_{afd})$$

$$\lambda_{afd} = L'_{afd} (-i_d + \lambda_{fd}/L_{fd})$$

$$\lambda_{alq} = -L_{alq} i_q$$

$$L'_{afd} = 1 / (1/L_{afd} + 1/L_{fd})$$

∴ dynamics of field circuit equation

$$\frac{d\lambda_{fd}}{dt} = \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{fd}} \left( \frac{L'_{afd}}{L_{fd}} - 1 \right) \lambda_{fd} - \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{fd}} L'_{afd} i_d + \frac{\omega_0 R_{fd}}{L_{afd}} E_{fd}$$

for q-axis

$$\lambda_{alq} = L'_{aq} \left( -i_q + \frac{\lambda_{lq}}{L_{lq}} \right)$$

where  $L'_d = L_1 + (L_{afd} L_{fd} / L_{afd} + L_{fd})$

$$L'_{aq} = L'_d - L_1$$

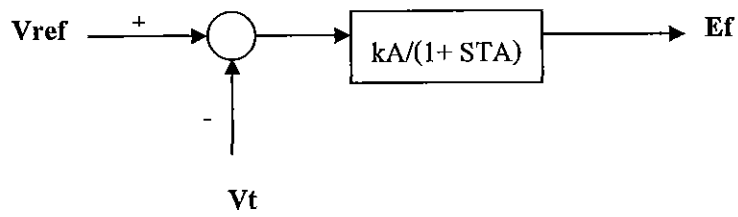
Stator Circuit Voltage Equation

d-axis

$$\begin{aligned} V_d &= -R_{aid} - \omega \lambda_q && \text{; where } \omega = 1 \\ &= -R_{aid} + L_{lq} - \lambda_{alq} \\ &= -R_{aid} + (L_1 + L_{alq}) i_q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_q &= -R_{aq} i_q + \omega \lambda_d \\ &= -R_{aq} i_q + L_1 i_d + \lambda_{afd} \\ &= -R_{aq} i_q - L_1 i_d + L'_{afd} \left( -i_d + \frac{\lambda_{fd}}{L_{fd}} \right) \\ &= -R_{aq} i_q - (L_1 + L'_{afd}) i_d + L'_{afd} \frac{\lambda_{fd}}{L_{fd}} \end{aligned}$$

### Automatic Voltage Regulation



$$(V_{\text{ref}} - V_t)(K_A / (1 + ST_A)) = E_{\text{fd}}$$

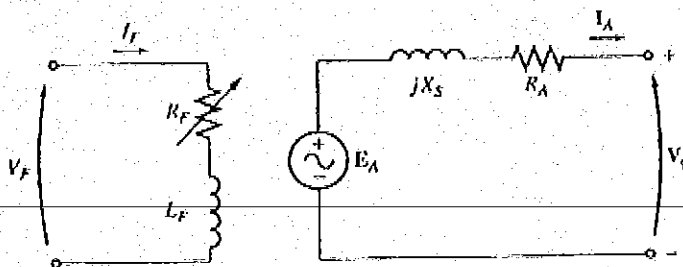
$$K_A (V_{\text{ref}} - V_t) = E_{\text{fd}} + ST_A E_{\text{fd}}$$

$$(1/T_A) [K_A (V_{\text{ref}} - V_t) - E_{\text{fd}}] = SE_{\text{fd}}$$

โดยที่ S คือ Laplace Operation ใน Time Domain ให้แทน d/dt



### Rotor Angle ( Classical Model )

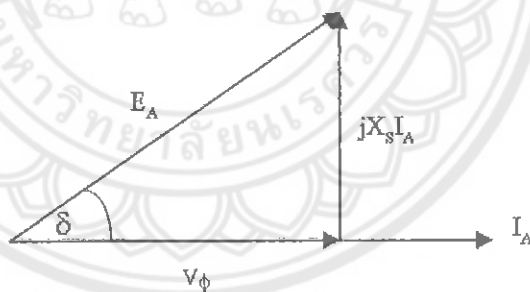


The per-phase equivalent circuit of a synchronous generator

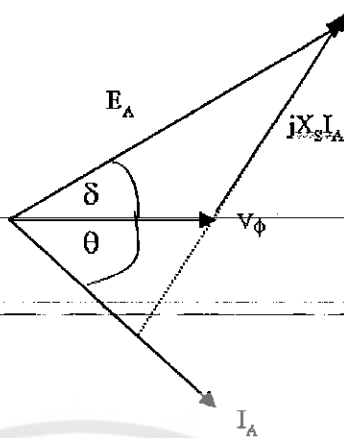
จากรูปวงจรสมมูลจะเขียนสมการได้ดังรูป (ไม่คิด  $R_A$  เนื่องจากผลกระทบของความต้านทานในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทางปฏิบัติมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่า (Reactance) )

$$V_\phi = E_A - jX_s I_A$$

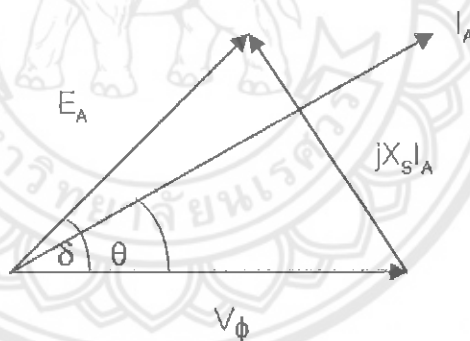
a.) กรณี Power Factor Unity



b.) กรณี Power Factor Lagging



c.) กรณี Power Factor Leading



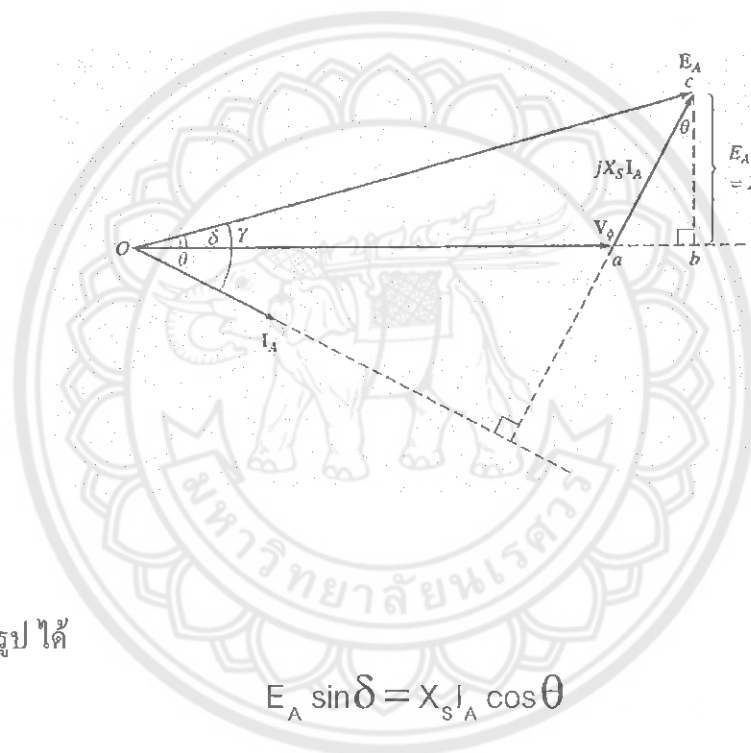
ซึ่งกำลังที่จ่ายให้โหลดมีดังนี้

$$P_L = V_\phi I_A \cos \theta$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสจะมีค่าดังนี้

$$P_L = 3V_\phi I_A \cos \theta$$

พิจารณา b.) เนื่องจาก Load ส่วนใหญ่เป็น Reactance P-F. lagging



จากรูป ได้

$$E_A \sin \delta = X_s I_A \cos \theta$$

$$\therefore I_A \cos \theta = \frac{E_A \sin \delta}{X_s}$$

$$\therefore P_L = \frac{3V_\phi E_A \sin \delta}{X_s}$$

ซึ่ง  $\delta$  คือ Rotor Angle นั่นก็คือ Rotor Angle เป็นมุมระหว่าง  $V_\phi$  และ  $E_A$  นั่นเอง



**Load Flow Program**

```
clc
z27=0.0625i;
z39=0.0586i;
z14=0.0576i;
z45=0.01+0.085i;
z46=0.017+0.092i;
z69=0.039+0.17i;
z78=0.0085+0.072i;
z75=0.032+0.16i;
z89=0.0119+0.1008i;
```

```
s45=0.1760i;
s46=0.1580i;
s69=0.3580i;
s78=0.1490i;
s75=0.3060i;
s89=0.2090i;
```

```
y27=1/z27;
y39=1/z39;
y14=1/z14;
y45=1/z45;
y46=1/z46;
y69=1/z69;
y78=1/z78;
y75=1/z75;
y89=1/z89;
```

```
Y = zeros(9,9);
Y(1,1)=y14;
Y(1,4)=-y14;
Y(2,2)=y27;
Y(2,7)=-y27;
Y(3,3)=y39;
Y(3,9)=-y39;
```



```

Y(4,1)=-y14;
Y(4,4)=y14+y45+y46+(s45+s46)/2;
Y(4,5)=-y45;
Y(4,6)=-y46;
Y(5,4)=-y45;
Y(5,7)=-y75;
Y(5,5)=y45+y75+((s45+s75)/2);

```

---

```

Y(6,4)=-y46;

```

---

```

Y(6,9)=-y69;

```

---

```

Y(6,6)=y69+y46+((s46+s69)/2);

```

```

Y(7,2)=-y27;

```

```

Y(7,5)=-y75;

```

```

Y(7,8)=-y78;

```

```

Y(7,7)=y27+y75+y78+(s75+s78)/2;

```

```

Y(8,7)=-y78;

```

```

Y(8,9)=-y89;

```

```

Y(8,8)=y78+y89+((s78+s89)/2);

```

```

Y(9,3)=-y39;

```

```

Y(9,6)=-y69;

```

```

Y(9,8)=-y89;

```

```

Y(9,9)=y39+y69+y89+(s69+s89)/2;

```

```

M=abs(Y);

```

```

A=angle(Y);

```

```

%magnitude of bus voltage

```

```

m1=1.04;

```

```

m2=1.025;

```

```

m3=1.025;

```

---

```

m4=1;

```

---

```

m5=1;

```

```

m6=1;

```

```

m7=1;

```

```

m8=1;

```

---

```

m9=1;

```

```

%the angle of bus voltage

```

```

a1=0;

```

a2=0;

a3=0;

a4=0;

a5=0;

a6=0;

a7=0;

a8=0;

a9=0;

p1sch=0.7166;

p2sch=1.63;

p3sch=0.85;

p4sch=0;

p5sch=-1.25;

p6sch=-0.9;

p7sch=0;

p8sch=-1.00;

p9sch=0;

q4sch=0;

q5sch=-0.5;

q6sch=-0.3;

q7sch=0;

q8sch=-0.35;

q9sch=0;

dP2=0.1;

dP3=0.1;

dP4=0.1;

dP5=0.1;

dP6=0.1;

dP7=0.1;

dP8=0.1;

dP9=0.1;

dQ=0.1;



dQ5=0.1;

dQ6=0.1;

dQ7=0.1;

dQ8=0.1;

dQ9=0.1;

c=[dP2 dP3 dP4 dP5 dP6 dP7 dP8 dP9 ];

d=[ dQ4 dQ5 dQ6 dQ7 dQ8 dQ9 ];

a=sort(c);

b=sort(d);

iter=0;

while abs(a(8))>0.000001 & abs(b(6))>0.000001 & iter<10

iter=iter+1

%to find real power at bus 2 iter1

P1=m1\*M(1,1)\*m1\*cos(a1-a1-A(1,1))+m1\*M(1,4)\*m4\*cos(a1-a4-A(1,4));

P2=m2\*M(2,2)\*m2\*cos(a2-a2-A(2,2))+m2\*M(2,7)\*m7\*cos(a2-a7-A(2,7));

P3=m3\*M(3,3)\*m3\*cos(a3-a3-A(3,3))+m3\*M(3,9)\*m9\*cos(a3-a9-A(3,9));

P4=m4\*M(4,4)\*m4\*cos(a4-a4-A(4,4))+m4\*M(4,5)\*m5\*cos(a4-a5-A(4,5))+m4\*M(4,1)\*m1\*cos(a4-a1-A(4,1))+m4\*M(4,6)\*m6\*cos(a4-a6-A(4,6));

P5=m5\*M(5,5)\*m5\*cos(a5-a5-A(5,5))+m5\*M(5,4)\*m4\*cos(a5-a4-A(5,4))+m5\*M(5,7)\*m7\*cos(a5-a7-A(5,7));

P6=m6\*M(6,6)\*m6\*cos(a6-a6-A(6,6))+m6\*M(6,4)\*m4\*cos(a6-a4-A(6,4))+m6\*M(6,9)\*m9\*cos(a6-a9-A(6,9));

P7=m7\*M(7,7)\*m7\*cos(a7-a7-A(7,7))+m7\*M(7,2)\*m2\*cos(a7-a2-A(7,2))+m7\*M(7,5)\*m5\*cos(a7-a5-A(7,5))+m7\*M(7,8)\*m8\*cos(a7-a8-A(7,8));

P8=m8\*M(8,8)\*m8\*cos(a8-a8-A(8,8))+m8\*M(8,7)\*m7\*cos(a8-a7-A(8,7))+m8\*M(8,9)\*m9\*cos(a8-a9-A(8,9));

P9=m9\*M(9,9)\*m9\*cos(a9-a9-A(9,9))+m9\*M(9,3)\*m3\*cos(a9-a3-A(9,3))+m9\*M(9,8)\*m8\*cos(a9-a8-A(9,8))+m9\*M(9,6)\*m6\*cos(a9-a6-A(9,6));

%to find reactive power at bus 2 iter1

Q1=m1\*M(1,1)\*m1\*sin(a1-a1-A(1,1))+m1\*M(1,4)\*m4\*sin(a1-a4-A(1,4));

Q2=m2\*M(2,2)\*m2\*sin(a2-a2-A(2,2))+m2\*M(2,7)\*m7\*sin(a2-a7-A(2,7));

Q3=m3\*M(3,3)\*m3\*sin(a3-a3-A(3,3))+m3\*M(3,9)\*m9\*sin(a3-a9-A(3,9));

$$Q4=m4*M(4,4)*m4*\sin(a4-a4-A(4,4))+m4*M(4,5)*m5*\sin(a4-a5-A(4,5))+m4*M(4,1)*m1*\sin(a4-a1-A(4,1))+m4*M(4,6)*m6*\sin(a4-a6-A(4,6));$$

$$Q5=m5*M(5,5)*m5*\sin(a5-a5-A(5,5))+m5*M(5,4)*m4*\sin(a5-a4-A(5,4))+m5*M(5,7)*m7*\sin(a5-a7-A(5,7));$$

$$Q6=m6*M(6,6)*m6*\sin(a6-a6-A(6,6))+m6*M(6,4)*m4*\sin(a6-a4-A(6,4))+m6*M(6,9)*m9*\sin(a6-a9-A(6,9));$$

$$Q7=m7*M(7,7)*m7*\sin(a7-a7-A(7,7))+m7*M(7,2)*m2*\sin(a7-a2-A(7,2))+m7*M(7,5)*m5*\sin(a7-a5-A(7,5))+m7*M(7,8)*m8*\sin(a7-a8-A(7,8));$$

$$Q8=m8*M(8,8)*m8*\sin(a8-a8-A(8,8))+m8*M(8,7)*m7*\sin(a8-a7-A(8,7))+m8*M(8,9)*m9*\sin(a8-a9-A(8,9));$$

$$Q9=m9*M(9,9)*m9*\sin(a9-a9-A(9,9))+m9*M(9,3)*m3*\sin(a9-a3-A(9,3))+m9*M(9,8)*m8*\sin(a9-a8-A(9,8))+m9*M(9,6)*m6*\sin(a9-a6-A(9,6));$$

$$H22=-Q2 + ((m2)^2)*M(2,2)*\sin(-A(2,2));$$

$$H33=-Q3 + ((m3)^2)*M(3,3)*\sin(-A(3,3));$$

$$H44=-Q4 + ((m4)^2)*M(4,4)*\sin(-A(4,4));$$

$$H55=-Q5 + ((m5)^2)*M(5,5)*\sin(-A(5,5));$$

$$H66=-Q6 + ((m6)^2)*M(6,6)*\sin(-A(6,6));$$

$$H77=-Q7 + ((m7)^2)*M(7,7)*\sin(-A(7,7));$$

$$H88=-Q8 + ((m8)^2)*M(8,8)*\sin(-A(8,8));$$

$$H99=-Q9 + ((m9)^2)*M(9,9)*\sin(-A(9,9));$$

$$H23=m2*m3*M(2,3)*\sin(a2-a3-A(2,3));$$

$$H24=m2*m4*M(2,4)*\sin(a2-a4-A(2,4));$$

$$H25=m2*m5*M(2,5)*\sin(a2-a5-A(2,5));$$

$$H26=m2*m6*M(2,6)*\sin(a2-a6-A(2,6));$$

$$H27=m2*m7*M(2,7)*\sin(a2-a7-A(2,7));$$

$$H28=m2*m8*M(2,8)*\sin(a2-a8-A(2,8));$$

$$H29=m2*m9*M(2,9)*\sin(a2-a9-A(2,9));$$

$$H32=m3*m2*M(3,2)*\sin(a3-a2-A(3,2));$$

$$H34=m3*m4*M(3,4)*\sin(a3-a4-A(3,4));$$

$$H35=m3*m5*M(3,5)*\sin(a3-a5-A(3,5));$$

$$H36=m3*m6*M(3,6)*\sin(a3-a6-A(3,6));$$

$$H37=m3*m7*M(3,7)*\sin(a3-a7-A(3,7));$$

$$H38=m3*m8*M(3,8)*\sin(a3-a8-A(3,8));$$

$$H39=m3*m9*M(3,9)*\sin(a3-a9-A(3,9));$$

$$\begin{aligned}
H42 &= m4 * m2 * M(4,2) * \sin(a4 - a2 - A(4,2)); \\
H43 &= m4 * m3 * M(4,3) * \sin(a4 - a3 - A(4,3)); \\
H45 &= m4 * m5 * M(4,5) * \sin(a4 - a5 - A(4,5)); \\
H46 &= m4 * m6 * M(4,6) * \sin(a4 - a6 - A(4,6)); \\
H47 &= m4 * m7 * M(4,7) * \sin(a4 - a7 - A(4,7)); \\
H48 &= m4 * m8 * M(4,8) * \sin(a4 - a8 - A(4,8)); \\
H49 &= m4 * m9 * M(4,9) * \sin(a4 - a9 - A(4,9));
\end{aligned}$$


---

$$\begin{aligned}
H52 &= m5 * m2 * M(5,2) * \sin(a5 - a2 - A(5,2)); \\
H53 &= m5 * m3 * M(5,3) * \sin(a5 - a3 - A(5,3)); \\
H54 &= m5 * m4 * M(5,4) * \sin(a5 - a4 - A(5,4)); \\
H56 &= m5 * m6 * M(5,6) * \sin(a5 - a6 - A(5,6)); \\
H57 &= m5 * m7 * M(5,7) * \sin(a5 - a7 - A(5,7)); \\
H58 &= m5 * m8 * M(5,8) * \sin(a5 - a8 - A(5,8)); \\
H59 &= m5 * m9 * M(5,9) * \sin(a5 - a9 - A(5,9));
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H62 &= m6 * m2 * M(6,2) * \sin(a6 - a2 - A(6,2)); \\
H63 &= m6 * m3 * M(6,3) * \sin(a6 - a3 - A(6,3)); \\
H64 &= m6 * m4 * M(6,4) * \sin(a6 - a4 - A(6,4)); \\
H65 &= m6 * m5 * M(6,5) * \sin(a6 - a5 - A(6,5)); \\
H67 &= m6 * m7 * M(6,7) * \sin(a6 - a7 - A(6,7)); \\
H68 &= m6 * m8 * M(6,8) * \sin(a6 - a8 - A(6,8)); \\
H69 &= m6 * m9 * M(6,9) * \sin(a6 - a9 - A(6,9));
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H72 &= m7 * m2 * M(7,2) * \sin(a7 - a2 - A(7,2)); \\
H73 &= m7 * m3 * M(7,3) * \sin(a7 - a3 - A(7,3)); \\
H74 &= m7 * m4 * M(7,4) * \sin(a7 - a4 - A(7,4)); \\
H75 &= m7 * m5 * M(7,5) * \sin(a7 - a5 - A(7,5));
\end{aligned}$$

$$H76 = m7 * m6 * M(7,6) * \sin(a7 - a6 - A(7,6));$$


---

$$H78 = m7 * m8 * M(7,8) * \sin(a7 - a8 - A(7,8));$$

$$H79 = m7 * m9 * M(7,9) * \sin(a7 - a9 - A(7,9));$$

$$H82 = m8 * m2 * M(8,2) * \sin(a8 - a2 - A(8,2));$$

$$H83 = m8 * m3 * M(8,3) * \sin(a8 - a3 - A(8,3));$$

$$H84 = m8 * m4 * M(8,4) * \sin(a8 - a4 - A(8,4));$$

$$H85 = m8 * m5 * M(8,5) * \sin(a8 - a5 - A(8,5));$$

$$H86 = m8 * m6 * M(8,6) * \sin(a8 - a6 - A(8,6));$$

$$H87=m8*m7*M(8,7)*\sin(a8-a7-A(8,7));$$

$$H89=m8*m9*M(8,9)*\sin(a8-a9-A(8,9));$$

$$H92=m9*m2*M(9,2)*\sin(a9-a2-A(9,2));$$

$$H93=m9*m3*M(9,3)*\sin(a9-a3-A(9,3));$$

$$H94=m9*m4*M(9,4)*\sin(a9-a4-A(9,4));$$

$$H95=m9*m5*M(9,5)*\sin(a9-a5-A(9,5));$$

$$H96=m9*m6*M(9,6)*\sin(a9-a6-A(9,6));$$

$$H97=m9*m7*M(9,7)*\sin(a9-a7-A(9,7));$$

$$H98=m9*m8*M(9,8)*\sin(a9-a8-A(9,8));$$

$$L44=Q4 + ((m4)^2)*M(4,4)*\sin(-A(4,4));$$

$$L55=Q5 + ((m5)^2)*M(5,5)*\sin(-A(5,5));$$

$$L66=Q6 + ((m6)^2)*M(6,6)*\sin(-A(6,6));$$

$$L77=Q7 + ((m7)^2)*M(7,7)*\sin(-A(7,7));$$

$$L88=Q8 + ((m8)^2)*M(8,8)*\sin(-A(8,8));$$

$$L99=Q9 + ((m9)^2)*M(9,9)*\sin(-A(9,9));$$

$$L45=m4*m5*M(4,5)*\sin(a4-a5-A(4,5));$$

$$L46=m4*m6*M(4,6)*\sin(a4-a6-A(4,6));$$

$$L47=m4*m7*M(4,7)*\sin(a4-a7-A(4,7));$$

$$L48=m4*m8*M(4,8)*\sin(a4-a8-A(4,8));$$

$$L49=m4*m9*M(4,9)*\sin(a4-a9-A(4,9));$$

$$L54=m5*m4*M(5,4)*\sin(a5-a4-A(5,4));$$

$$L56=m5*m6*M(5,6)*\sin(a5-a6-A(5,6));$$

$$L57=m5*m7*M(5,7)*\sin(a5-a7-A(5,7));$$

$$L58=m5*m8*M(5,8)*\sin(a5-a8-A(5,8));$$

$$L59=m5*m9*M(5,9)*\sin(a5-a9-A(5,9));$$

$$L64=m6*m4*M(6,4)*\sin(a6-a4-A(6,4));$$

$$L65=m6*m5*M(6,5)*\sin(a6-a5-A(6,5));$$

$$L67=m6*m7*M(6,7)*\sin(a6-a7-A(6,7));$$

$$L68=m6*m8*M(6,8)*\sin(a6-a8-A(6,8));$$

$$L69=m6*m9*M(6,9)*\sin(a6-a9-A(6,9));$$

$$L74=m7*m4*M(7,4)*\sin(a7-a4-A(7,4));$$

$$L75=m7*m5*M(7,5)*\sin(a7-a5-A(7,5));$$

$$L76=m7*m6*M(7,6)*\sin(a7-a6-A(7,6));$$

$$L78=m7*m8*M(7,8)*\sin(a7-a8-A(7,8));$$

$$L79=m7*m9*M(7,9)*\sin(a7-a9-A(7,9));$$

---


$$L84=m8*m4*M(8,4)*\sin(a8-a4-A(8,4));$$

$$L85=m8*m5*M(8,5)*\sin(a8-a5-A(8,5));$$

$$L86=m8*m6*M(8,6)*\sin(a8-a6-A(8,6));$$

$$L87=m8*m7*M(8,7)*\sin(a8-a7-A(8,7));$$

$$L89=m8*m9*M(8,9)*\sin(a8-a9-A(8,9));$$

$$L94=m9*m4*M(9,4)*\sin(a9-a4-A(9,4));$$

$$L95=m9*m5*M(9,5)*\sin(a9-a5-A(9,5));$$

$$L96=m9*m6*M(9,6)*\sin(a9-a6-A(9,6));$$

$$L97=m9*m7*M(9,7)*\sin(a9-a7-A(9,7));$$

$$L98=m9*m8*M(9,8)*\sin(a9-a8-A(9,8));$$

$$J44=P4 - ((m4)^2)*M(4,4)*\cos(-A(4,4));$$

$$J55=P5 - ((m5)^2)*M(5,5)*\cos(-A(5,5));$$

$$J66=P6 - ((m6)^2)*M(6,6)*\cos(-A(6,6));$$

$$J77=P7 - ((m7)^2)*M(7,7)*\cos(-A(7,7));$$

$$J88=P8 - ((m8)^2)*M(8,8)*\cos(-A(8,8));$$

$$J99=P9 - ((m9)^2)*M(9,9)*\cos(-A(9,9));$$

$$J42=-m4*m2*M(4,2)*\cos(a4-a2-A(4,2));$$

$$J43=-m4*m3*M(4,3)*\cos(a4-a3-A(4,3));$$

$$J45=-m4*m5*M(4,5)*\cos(a4-a5-A(4,5));$$

$$J46=-m4*m6*M(4,6)*\cos(a4-a6-A(4,6));$$

$$J47=-m4*m7*M(4,7)*\cos(a4-a7-A(4,7));$$

$$J48=-m4*m8*M(4,8)*\cos(a4-a8-A(4,8));$$

$$J49=-m4*m9*M(4,9)*\cos(a4-a9-A(4,9));$$

---


$$J52=-m5*m2*M(5,2)*\cos(a5-a2-A(5,2));$$

$$J53=-m5*m3*M(5,3)*\cos(a5-a3-A(5,3));$$

$$J54=-m5*m4*M(5,4)*\cos(a5-a4-A(5,4));$$



$$J56=-m5*m6*M(5,6)*\cos(a5-a6-A(5,6));$$

$$J57=-m5*m7*M(5,7)*\cos(a5-a7-A(5,7));$$

$$J58=-m5*m8*M(5,8)*\cos(a5-a8-A(5,8));$$

$$J59=-m5*m9*M(5,9)*\cos(a5-a9-A(5,9));$$

$$J62=-m6*m2*M(6,2)*\cos(a6-a2-A(6,2));$$

$$J63=-m6*m3*M(6,3)*\cos(a6-a3-A(6,3));$$

$$J64=-m6*m4*M(6,4)*\cos(a6-a4-A(6,4));$$

$$J65=-m6*m5*M(6,5)*\cos(a6-a5-A(6,5));$$

$$J67=-m6*m7*M(6,7)*\cos(a6-a7-A(6,7));$$

$$J68=-m6*m8*M(6,8)*\cos(a6-a8-A(6,8));$$

$$J69=-m6*m9*M(6,9)*\cos(a6-a9-A(6,9));$$

$$J72=-m7*m2*M(7,2)*\cos(a7-a2-A(7,2));$$

$$J73=-m7*m3*M(7,3)*\cos(a7-a3-A(7,3));$$

$$J74=-m7*m4*M(7,4)*\cos(a7-a4-A(7,4));$$

$$J75=-m7*m5*M(7,5)*\cos(a7-a5-A(7,5));$$

$$J76=-m7*m6*M(7,6)*\cos(a7-a6-A(7,6));$$

$$J78=-m7*m8*M(7,8)*\cos(a7-a8-A(7,8));$$

$$J79=-m7*m9*M(7,9)*\cos(a7-a9-A(7,9));$$

$$J82=-m8*m2*M(8,2)*\cos(a8-a2-A(8,2));$$

$$J83=-m8*m3*M(8,3)*\cos(a8-a3-A(8,3));$$

$$J84=-m8*m4*M(8,4)*\cos(a8-a4-A(8,4));$$

$$J85=-m8*m5*M(8,5)*\cos(a8-a5-A(8,5));$$

$$J86=-m8*m6*M(8,6)*\cos(a8-a6-A(8,6));$$

$$J87=-m8*m7*M(8,7)*\cos(a8-a7-A(8,7));$$

$$J89=-m8*m9*M(8,9)*\cos(a8-a9-A(8,9));$$

$$J92=-m9*m2*M(9,2)*\cos(a9-a2-A(9,2));$$

$$J93=-m9*m3*M(9,3)*\cos(a9-a3-A(9,3));$$

$$J94=-m9*m4*M(9,4)*\cos(a9-a4-A(9,4));$$

$$J95=-m9*m5*M(9,5)*\cos(a9-a5-A(9,5));$$

$$J96=-m9*m6*M(9,6)*\cos(a9-a6-A(9,6));$$

$$J97=-m9*m7*M(9,7)*\cos(a9-a7-A(9,7));$$

$$J98=-m9*m8*M(9,8)*\cos(a9-a8-A(9,8));$$

$$N44=P4 + ((m4)^2)*M(4,4)*\cos(-A(4,4));$$

$$N55=P5 + ((m5)^2)*M(5,5)*\cos(-A(5,5));$$

$$N66=P6 + ((m6)^2)*M(6,6)*\cos(-A(6,6));$$

$$N77=P7 + ((m7)^2)*M(7,7)*\cos(-A(7,7));$$

$$N88=P8 + ((m8)^2)*M(8,8)*\cos(A(8,8));$$

$$N99=P9 + ((m9)^2)*M(9,9)*\cos(-A(9,9));$$

$$N24=m2*m4*M(2,4)*\cos(a2-a4-A(2,4));$$

$$N25=m2*m5*M(2,5)*\cos(a2-a5-A(2,5));$$

$$N26=m2*m6*M(2,6)*\cos(a2-a6-A(2,6));$$

$$N27=m2*m7*M(2,7)*\cos(a2-a7-A(2,7));$$

$$N28=m2*m8*M(2,8)*\cos(a2-a8-A(2,8));$$

$$N29=m2*m9*M(2,9)*\cos(a2-a9-A(2,9));$$

$$N34=m3*m4*M(3,4)*\cos(a3-a4-A(3,4));$$

$$N35=m3*m5*M(3,5)*\cos(a3-a5-A(3,5));$$

$$N36=m3*m6*M(3,6)*\cos(a3-a6-A(3,6));$$

$$N37=m3*m7*M(3,7)*\cos(a3-a7-A(3,7));$$

$$N38=m3*m8*M(3,8)*\cos(a3-a8-A(3,8));$$

$$N39=m3*m9*M(3,9)*\cos(a3-a9-A(3,9));$$

$$N45=m4*m5*M(4,5)*\cos(a4-a5-A(4,5));$$

$$N46=m4*m6*M(4,6)*\cos(a4-a6-A(4,6));$$

$$N47=m4*m7*M(4,7)*\cos(a4-a7-A(4,7));$$

$$N48=m4*m8*M(4,8)*\cos(a4-a8-A(4,8));$$

$$N49=m4*m9*M(4,9)*\cos(a4-a9-A(4,9));$$

$$N54=m5*m4*M(5,4)*\cos(a5-a4-A(5,4));$$

$$N56=m5*m6*M(5,6)*\cos(a5-a6-A(5,6));$$

$$N57=m5*m7*M(5,7)*\cos(a5-a7-A(5,7));$$

$$N58=m5*m8*M(5,8)*\cos(a5-a8-A(5,8));$$

$$N59=m5*m9*M(5,9)*\cos(a5-a9-A(5,9));$$

$$N64=m6*m4*M(6,4)*\cos(a6-a4-A(6,4));$$

$$N65=m6*m5*M(6,5)*\cos(a6-a5-A(6,5));$$

$$N67=m6*m7*M(6,7)*\cos(a6-a7-A(6,7));$$

$$N68=m6*m8*M(6,8)*\cos(a6-a8-A(6,8));$$

$$N69=m6*m9*M(6,9)*\cos(a6-a9-A(6,9));$$

$$N74=m7*m4*M(7,4)*\cos(a7-a4-A(7,4));$$

$$N75=m7*m5*M(7,5)*\cos(a7-a5-A(7,5));$$

$$N76=m7*m6*M(7,6)*\cos(a7-a6-A(7,6));$$

$$N78=m7*m8*M(7,8)*\cos(a7-a8-A(7,8));$$

$$N79=m7*m9*M(7,9)*\cos(a7-a9-A(7,9));$$

$$N84=m8*m4*M(8,4)*\cos(a8-a4-A(8,4));$$

$$N85=m8*m5*M(8,5)*\cos(a8-a5-A(8,5));$$

$$N86=m8*m6*M(8,6)*\cos(a8-a6-A(8,6));$$

$$N87=m8*m7*M(8,7)*\cos(a8-a7-A(8,7));$$

$$N89=m8*m9*M(8,9)*\cos(a8-a9-A(8,9));$$

$$N94=m9*m4*M(9,4)*\cos(a9-a4-A(9,4));$$

$$N95=m9*m5*M(9,5)*\cos(a9-a5-A(9,5));$$

$$N96=m9*m6*M(9,6)*\cos(a9-a6-A(9,6));$$

$$N97=m9*m7*M(9,7)*\cos(a9-a7-A(9,7));$$

$$N98=m9*m8*M(9,8)*\cos(a9-a8-A(9,8));$$

$$JAC=[H22 H23 H24 H25 H26 H27 H28 H29 N24 N25 N26 N27 N28 N29;$$

$$H32 H33 H34 H35 H36 H37 H38 H39 N34 N35 N36 N37 N38 N39;$$

$$H42 H43 H44 H45 H46 H47 H48 H49 N44 N45 N46 N47 N48 N49;$$

$$H52 H53 H54 H55 H56 H57 H58 H59 N54 N55 N56 N57 N58 N59;$$

$$H62 H63 H64 H65 H66 H67 H68 H69 N64 N65 N66 N67 N68 N69;$$

$$H72 H73 H74 H75 H76 H77 H78 H79 N74 N75 N76 N77 N78 N79;$$

$$H82 H83 H84 H85 H86 H87 H88 H89 N84 N85 N86 N87 N88 N89;$$

$$H92 H93 H94 H95 H96 H97 H98 H99 N94 N95 N96 N97 N98 N99;$$

$$J42 J43 J44 J45 J46 J47 J48 J49 L44 L45 L46 L47 L48 L49;$$

$$J52 J53 J54 J55 J56 J57 J58 J59 L54 L55 L56 L57 L58 L59;$$

$$J62 J63 J64 J65 J66 J67 J68 J69 L64 L65 L66 L67 L68 L69;$$

$$J72 J73 J74 J75 J76 J77 J78 J79 L74 L75 L76 L77 L78 L79;$$

$$J82 J83 J84 J85 J86 J87 J88 J89 L84 L85 L86 L87 L88 L89;$$

$$J92 J93 J94 J95 J96 J97 J98 J99 L94 L95 L96 L97 L98 L99];$$

$$dP2=p2sch-P2;$$

$$dP3=p3sch-P3;$$

dP4=p4sch-P4;  
 dP5=p5sch-P5;  
 dP6=p6sch-P6;  
 dP7=p7sch-P7;  
 dP8=p8sch-P8;  
 dP9=p9sch-P9;

dQ4=q4sch-Q4;  
 dQ5=q5sch-Q5;  
 dQ6=q6sch-Q6;  
 dQ7=q7sch-Q7;  
 dQ8=q8sch-Q8;  
 dQ9=q9sch-Q9;

B= [dP2;dP3;dP4;dP5;dP6;dP7;dP8;dP9;dQ4;dQ5;dQ6;dQ7;dQ8;dQ9];

ANS=(inv(JAC))\*B;

a1=0;

a2 = a2+ANS(1)

a3 = a3+ANS(2)

a4 = a4+ANS(3)

a5 = a5+ANS(4)

a6 = a6+ANS(5)

a7 = a7+ANS(6)

a8 = a8+ANS(7)

a9 = a9+ANS(8)

%w refer to magnetude of v

m1=1.04;

m2=1.025;

m3=1.025;

m4 = m4\*(1+ANS(9));

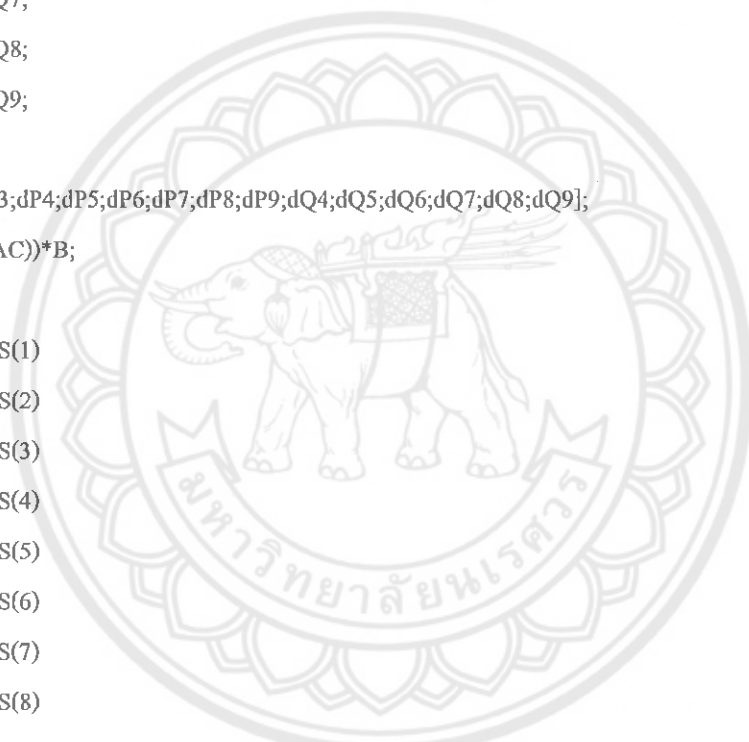
m5 = m5\*(1+ANS(10));

m6 = m6\*(1+ANS(11));

m7 = m7\*(1+ANS(12));

m8 = m8\*(1+ANS(13));

m9 = m9\*(1+ANS(14));



```
c=[dP2 dP3 dP4 dP5 dP6 dP7 dP8 dP9];
```

```
d=[ dQ4 dQ5 dQ6 dQ7 dQ8 dQ9];
```

```
a=sort(c);
```

```
b=sort(d);
```

```
end
```

```
Vol = [m1 m2 m3 m4 m5 m6 m7 m8 m9]
```

```
delta = 180*[a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8 a9]/pi
```

```
%P2=m2*M(2,2)*m2*cos(a2-a2-A(2,2))+m2*M(2,7)*m7*cos(a2-a7-A(2,7))
```

```
%P3=m3*M(3,3)*m3*cos(a3-a3-A(3,3))+m3*M(3,9)*m9*cos(a3-a9-A(3,9))
```

```
%P5=m5*M(5,5)*m5*cos(a5-a5-A(5,5))+m5*M(5,4)*m4*cos(a5-a4-A(5,4))+m5*M(5,7)*m7*cos(a5-a7-A(5,7))
```

```
%P6=m6*M(6,6)*m6*cos(a6-a6-A(6,6))+m6*M(6,4)*m4*cos(a6-a4-A(6,4))+m6*M(6,9)*m9*cos(a6-a9-A(6,9))
```

```
%P8=m3*M(8,8)*m8*cos(a8-a8-A(8,8))+m8*M(8,7)*m7*cos(a8-a7-A(8,7))+m8*M(8,9)*m9*cos(a8-a9-A(8,9))
```

```
%Q2=m2*M(2,2)*m2*sin(a2-a2-A(2,2))+m2*M(2,7)*m7*sin(a2-a7-A(2,7))
```

```
%Q3=m3*M(3,3)*m3*sin(a3-a3-A(3,3))+m3*M(3,9)*m9*sin(a3-a9-A(3,9))
```

```
%Q5=m5*M(5,5)*m5*sin(a5-a5-A(5,5))+m5*M(5,4)*m4*sin(a5-a4-A(5,4))+m5*M(5,7)*m7*sin(a5-a7-A(5,7))
```

```
%Q6=m6*M(6,6)*m6*sin(a6-a6-A(6,6))+m6*M(6,4)*m4*sin(a6-a4-A(6,4))+m6*M(6,9)*m9*sin(a6-a9-A(6,9))
```

```
%Q8=m3*M(8,8)*m8*sin(a8-a8-A(8,8))+m8*M(8,7)*m7*sin(a8-a7-A(8,7))+m8*M(8,9)*m9*sin(a8-a9-A(8,9))
```

**Initial Program****Initial of Generator1**

```

p=1.63;
q=0.0662;
m=1.025;
a=9.2488;
x=0.8645;
Ll=0.0521;
Lafd=0.0677;
Lfd=0.07361;
Rfd=0.0004124;
Lad=0.8437;
T=0.5;
K=25;
w=1;
s=p+q*j;
v=m*cos(a*pi/180)+m*sin(a*pi/180)*j;%angle in radian
i=conj(s)/conj(v);
e=v+(x*i*j);
d=angle(e);
cs=[cos(d) sin(d);sin(d) -cos(d)];
ixy=[real(i);imag(i)];
vxy=[real(v);imag(v)];
iqd=cs*ixy;
vqd=cs*vxy;
Ifd=(vqd(1)+((Ll+Lafd)*iqd(2)))*Lfd/Lafd
Efd=((w*Rfd/Lfd)*((Lafd*iqd(2))-(((Lafd/Lfd)-1)*Ifd)))*(Lad/(w*Rfd))
vref=(Efd/K)+abs(v)

```

**Initial of Generator2**

p=0.85;

q=-0.1087;

m=1.025;

a=4.6461;

x=1.2578;

Ll=0.0742;

Lafd=0.1071;

Lfd=0.11724;

Rfd=0.00061046;

Lad=1.2383;

T=0.5;

K=25;

w=1;

s=p+q\*j;

v=m\*cos(a\*pi/180)+m\*sin(a\*pi/180)\*j;%angle in radian

i=conj(s)/conj(v);

e=v+(x\*i\*j);

d=angle(e);

cs=[cos(d) sin(d);sin(d) -cos(d)];

ixy=[real(i);imag(i)];

vxy=[real(v);imag(v)];

iqd=cs\*ixy;

vqd=cs\*vxy;

lfd=(vqd(1)+((Ll+Lafd)\*iqd(2)))\*Lfd/Lafd

Efd=((w\*Rfd/Lfd)\*((Lafd\*iqd(2))-((Lafd/Lfd)-1)\*lfd))\*Lad/(w\*Rfd)

vref=(Efd/K)+abs(v)

**Initial of Generator3**

p=0.7164;

q=0.2701;

m=1.04;

a=0;

x=0.0969;

Ll=0.0336;

Lafd=0.0272;

Lfd=0.03588;

Rfd=0.0000439;

Lad=0.1124;

T=0.5;

K=25;

w=1;

s=p+q\*j;

v=m\*cos(a\*pi/180)+m\*sin(a\*pi/180)\*j;%angle in radian

i=conj(s)/conj(v);

e=v+(x\*i\*j);

d=angle(e);

cs=[cos(d) sin(d);sin(d) -cos(d)];

ixy=[real(i);imag(i)];

vxy=[real(v);imag(v)];

iqd=cs\*ixy;

vqd=cs\*vxy;

lfd=(vqd(1)+((Ll+Lafd)\*iqd(2)))\*Lfd/Lafd

Efd=((w\*Rfd/Lfd)\*((Lafd\*iqd(2))-((Lafd/Lfd)-1)\*lfd))\*(Lad/(w\*Rfd))

vref=(Efd/K)+abs(v)



**Main Program**

```

%Ninc Bus system
clc;
clear;
t1=input('Fault start=');
t2=input('Clear fault at =');
t3=input('Rcclose Line at =');

%stepsize= 10 msec
h=0.01;
%simulation time
t= 0:h:80;
ts=0;
%initial condition

%Gen#1
delt1= 61.0745*pi/180;
w1=1;
XFD1= 0.8569;
BFD1=1.7895;

%Gen#2
delt2=54.1220*pi/180;
w2=1;
XFD2=0.8405;
BFD2=1.4029;

%Gen#3
delt3=3.5858*pi/180;
w3=1;
XFD3=1.3934;
BFD3=1.0818;

%find initial values for Pe id and Vt
[Vbus,Ibus]=bsfn(delt1,XFD1,delt2,XFD2,delt3,XFD3);

```

```

[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(lbus(1),Vbus(1),delt1);
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(lbus(2),Vbus(2),delt2);
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(lbus(3),Vbus(3),delt3);
Pm1=Pe1;Pm2=Pe2;Pm3=Pe3;

```

```
count=0;
```

```
for i=1:length(t)-1
```

```
count=count+1;
```

```
if ts(i)<=t1-h
```

```
%Steady state
```

```
[Vbus,lbus]=bsfn(delt1(i),XFD1(i),delt2(i),XFD2(i),delt3(i),XFD3(i));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(lbus(1),Vbus(1),delt1(i));
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(lbus(2),Vbus(2),delt2(i));
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(lbus(3),Vbus(3),delt3(i));
```

```
%k1
```

```
k111=f1G1(w1(i))*h;
```

```
k121=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
k131=f3G1(XFD1(i),id1,EFD1(i))*h;
```

```
k141=f4G1(EFD1(i),Vt1)*h;
```

```
k112=f1G2(w2(i))*h;
```

```
k122=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
k132=f3G2(XFD2(i),id2,EFD2(i))*h;
```

```
k142=f4G2(EFD2(i),Vt2)*h;
```

```
k113=f1G3(w3(i))*h;
```

```
k123=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
k133=f3G3(XFD3(i),id3,EFD3(i))*h;
```

```
k143=f4G3(EFD3(i),Vt3)*h;
```

```
%call bus function 1
```

```
[Vbus,lbus]=bsfn(delt1(i)+(k111/2),XFD1(i)+(k131/2),delt2(i)+(k112/2),XFD2(i)+(k132/2),delt3(i)+(k113/2),XFD3(i)+(k133/2));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(lbus(1),Vbus(1),delt1(i)+k111/2);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(lbus(2),Vbus(2),delt2(i)+k112/2);
```

[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k113/2);

%k2

k211=f1G1(w1(i)+k121/2)\*h;

k221=f2G1(Pe1,Pm1)\*h;

k231=f3G1(XFD1(i)+k131/2,id1,EFD1(i)+k141/2)\*h;

k241=f4G1(EFD1(i)+k141/2,Vt1)\*h;

k212=f1G2(w2(i)+k122/2)\*h;

k222=f2G2(Pe2,Pm2)\*h;

k232=f3G2(XFD2(i)+k132/2,id2,EFD2(i)+k142/2)\*h;

k242=f4G2(EFD2(i)+k142/2,Vt2)\*h;

k213=f1G3(w3(i)+k123/2)\*h;

k223=f2G3(Pe3,Pm3)\*h;

k233=f3G3(XFD3(i)+k133/2,id3,EFD3(i)+k143/2)\*h;

k243=f4G3(EFD3(i)+k143/2,Vt3)\*h;

%call bus function 2

[Vbus,Ibus]=bsfn(delt1(i)+(k211/2),XFD1(i)+(k231/2),delt2(i)+(k212/2),XFD2(i)+(k232/2),delt3(i)+(k213/2),  
XFD3(i)+(k233/2));

[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k211/2);

[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k212/2);

[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k213/2);

%k3

k311=f1G1(w1(i)+k221/2)\*h;

k321=f2G1(Pe1,Pm1)\*h;

k331=f3G1(XFD1(i)+k231/2,id1,EFD1(i)+k241/2)\*h;

k341=f4G1(EFD1(i)+k241/2,Vt1)\*h;

k312=f1G2(w2(i)+k222/2)\*h;

k322=f2G2(Pe2,Pm2)\*h;

k332=f3G2(XFD2(i)+k232/2,id2,EFD2(i)+k242/2)\*h;

k342=f4G2(EFD2(i)+k242/2,Vt2)\*h;

k313=f1G3(w3(i)+k223/2)\*h;

```

k323=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
k333=f3G3(XFD3(i)+k233/2,id3,EFD3(i)+k243/2)*h;
k343=f4G3(EFD3(i)+k243/2,Vt3)*h;

```

```
%call bus function 3
```

```
[Vbus,Ibus]=bsfn(delt1(i)+(k311),XFD1(i)+(k331),delt2(i)+(k312),XFD2(i)+(k332),delt3(i)+(k313),XFD3(i)+(k333));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k311);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k312);
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k313);
```

```
%k4
```

```
k411=f1G1(w1(i)+k321)*h;
```

```
k421=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
k431=f3G1(XFD1(i)+k331,id1,EFD1(i)+k341)*h;
```

```
k441=f4G1(EFD1(i)+k341,Vt1)*h;
```

```
k412=f1G2(w2(i)+k322)*h;
```

```
k422=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
k432=f3G2(XFD2(i)+k332,id2,EFD2(i)+k342)*h;
```

```
k442=f4G2(EFD2(i)+k342,Vt2)*h;
```

```
k413=f1G3(w3(i)+k323)*h;
```

```
k423=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
k433=f3G2(XFD3(i)+k333,id3,EFD3(i)+k343)*h;
```

```
k443=f4G3(EFD3(i)+k343,Vt3)*h;
```

```
%rk-4
```

```
delt1(i+1)=delt1(i)+(1/6)*(k111+2*k211+2*k311+k411);
```

```
w1(i+1)=w1(i)+(1/6)*(k121+2*k221+2*k321+k421);
```

```
XFD1(i+1)=XFD1(i)+(1/6)*(k131+2*k231+2*k331+k431);
```

```
EFD1(i+1)=EFD1(i)+(1/6)*(k141+2*k241+2*k341+k441);
```

```
delt2(i+1)=delt2(i)+(1/6)*(k112+2*k212+2*k312+k412);
```

```
w2(i+1)=w2(i)+(1/6)*(k122+2*k222+2*k322+k422);
```

```
XFD2(i+1)=XFD2(i)+(1/6)*(k132+2*k232+2*k332+k432);
```

```
EFD2(i+1)=EFD2(i)+(1/6)*(k142+2*k242+2*k342+k442);
```

```
delt3(i+1)=delt3(i)+(1/6)*(k113+2*k213+2*k313+k413);
```

```
w3(i+1)=w3(i)+(1/6)*(k123+2*k223+2*k323+k423);
```

```
XFD3(i+1)=XFD3(i)+(1/6)*(k133+2*k233+2*k333+k433);
```

```
EFD3(i+1)=EFD3(i)+(1/6)*(k143+2*k243+2*k343+k443);
```

---

```
elseif ts(i)>t1-h & ts(i)<=t2-h
```

```
%fault state
```

```
[Vbus,Ibus]=bsfaut6(delt1(i),XFD1(i),delt2(i),XFD2(i),delt3(i),XFD3(i));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i));
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt1(i));
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt1(i));
```

```
%k1
```

```
    k111=f1G1(w1(i))*h;
```

```
    k121=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
    k131=f3G1(XFD1(i),id1,EFD1(i))*h;
```

```
k141=f4G1(EFD1(i),Vt1)*h;
```

```
k112=f1G2(w2(i))*h;
```

```
    k122=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
    k132=f3G2(XFD2(i),id2,EFD2(i))*h;
```

```
k142=f4G2(EFD2(i),Vt2)*h;
```

```
    k113=f1G3(w3(i))*h;
```

```
    k123=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
    k133=f3G3(XFD3(i),id3,EFD3(i))*h;
```

```
k143=f4G3(EFD3(i),Vt3)*h;
```

```
%call bus function 1
```

```
[Vbus,Ibus]=bsfaut6(delt1(i)+(k111/2),XFD1(i)+(k131/2),delt2(i)+(k112/2),XFD2(i)+(k132/2),delt3(i)+(k113/2),XFD3(i)+(k133/2));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k111/2);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k112/2);
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k113/2);
```

%k2

$$k211=f1G1(w1(i)+k121/2)*h;$$

$$k221=f2G1(Pe1,Pm1)*h;$$

$$k231=f3G1(XFD1(i)+k131/2,id1,EFD1(i)+k141/2)*h;$$

$$k241=f4G1(EFD1(i)+k141/2,Vt1)*h;$$

$$k212=f1G2(w2(i)+k122/2)*h;$$

$$k222=f2G2(Pe2,Pm2)*h;$$

$$k232=f3G2(XFD2(i)+k132/2,id2,EFD2(i)+k142/2)*h;$$

$$k242=f4G2(EFD2(i)+k142/2,Vt2)*h;$$

$$k213=f1G3(w3(i)+k123/2)*h;$$

$$k223=f2G3(Pe3,Pm3)*h;$$

$$k233=f3G3(XFD3(i)+k133/2,id3,EFD3(i)+k143/2)*h;$$

$$k243=f4G3(EFD3(i)+k143/2,Vt3)*h;$$

%call bus function 2

$$[Vbus,Ibus]=bsfaut6(delt1(i)+(k211/2),XFD1(i)+(k231/2),delt2(i)+(k212/2),XFD2(i)+(k232/2),delt3(i)+(k213/2),XFD3(i)+(k233/2));$$

$$[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k211/2);$$

$$[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k212/2);$$

$$[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k213/2);$$

%k3

$$k311=f1G1(w1(i)+k221/2)*h;$$

$$k321=f2G1(Pe1,Pm1)*h;$$

$$k331=f3G1(XFD1(i)+k231/2,id1,EFD1(i)+k241/2)*h;$$

$$k341=f4G1(EFD1(i)+k241/2,Vt1)*h;$$

$$k312=f1G2(w2(i)+k222/2)*h;$$

$$k322=f2G2(Pe2,Pm2)*h;$$

$$k332=f3G2(XFD2(i)+k232/2,id2,EFD2(i)+k242/2)*h;$$

$$k342=f4G2(EFD2(i)+k242/2,Vt2)*h;$$

$$k313=f1G3(w3(i)+k223/2)*h;$$

```

k323=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
k333=f3G3(XFD3(i)+k233/2,id3,EFD3(i)+k243/2)*h;
k343=f4G3(EFD3(i)+k243/2,Vt3)*h;

%call bus function 3
[Vbus,Ibus]=bsfaut6(delt1(i)+(k311/2),XFD1(i)+(k331/2),delt2(i)+(k312/2),XFD2(i)+(k332/2),delt3(i)+(k313/
2),XFD3(i)+(k333/2));
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k311/2);
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k312/2);
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k313/2);

%k4
k411=f1G1(w1(i)+k321/2)*h;
k421=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
k431=f3G1(XFD1(i)+k331/2,id1,EFD1(i)+k341/2)*h;
k441=f4G1(EFD1(i)+k341/2,Vt1)*h;

k412=f1G2(w2(i)+k322/2)*h;
k422=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
k432=f3G2(XFD2(i)+k332/2,id2,EFD2(i)+k342/2)*h;
k442=f4G2(EFD2(i)+k342/2,Vt2)*h;

k413=f1G3(w3(i)+k323/2)*h;
k423=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
k433=f3G3(XFD3(i)+k333/2,id3,EFD3(i)+k343/2)*h;
k443=f4G3(EFD3(i)+k343/2,Vt3)*h;

%rk-4
delt1(i+1)=delt1(i)+(1/6)*(k111+2*k211+2*k311+k411);
w1(i+1)=w1(i)+(1/6)*(k121+2*k221+2*k321+k421);
XFD1(i+1)=XFD1(i)+(1/6)*(k131+2*k231+2*k331+k431);
EFD1(i+1)=EFD1(i)+(1/6)*(k141+2*k241+2*k341+k441);

delt2(i+1)=delt2(i)+(1/6)*(k112+2*k212+2*k312+k412);
w2(i+1)=w2(i)+(1/6)*(k122+2*k222+2*k322+k422);

```

```
XFD2(i+1)=XFD2(i)+(1/6)*(k132+2*k232+2*k332+k432);
EFD2(i+1)=EFD2(i)+(1/6)*(k142+2*k242+2*k342+k442);
```

```
delt3(i+1)=delt3(i)+(1/6)*(k113+2*k213+2*k313+k413);
w3(i+1)=w3(i)+(1/6)*(k123+2*k223+2*k323+k423);
XFD3(i+1)=XFD3(i)+(1/6)*(k133+2*k233+2*k333+k433);
EFD3(i+1)=EFD3(i)+(1/6)*(k143+2*k243+2*k343+k443);
```

---

```
elseif ts(i)>t2-h & ts(i)<=t3-h
```

```
%Clear_fault
```

```
[Vbus,Ibus]=clearft6(delt1(i),XFD1(i),delt2(i),XFD2(i),delt3(i),XFD3(i));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(lbus(1),Vbus(1),delt1(i));
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(lbus(2),Vbus(2),delt1(i));
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(lbus(3),Vbus(3),delt1(i));
```

```
%k1
```

```
    k111=f1G1(w1(i))*h;
```

```
    k121=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
    k131=f3G1(XFD1(i),id1,EFD1(i))*h;
```

```
    k141=f4G1(EFD1(i),Vt1)*h;
```

```
    k112=f1G2(w2(i))*h;
```

```
    k122=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
    k132=f3G2(XFD2(i),id2,EFD2(i))*h;
```

```
    k142=f4G2(EFD2(i),Vt2)*h;
```

```
    k113=f1G3(w3(i))*h;
```

```
    k123=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
    k133=f3G3(XFD3(i),id3,EFD3(i))*h;
```

```
    k143=f4G3(EFD3(i),Vt3)*h;
```

```
%call bus function 1
```

```
[Vbus,Ibus]=clearft6(delt1(i)+(k111/2),XFD1(i)+(k131/2),delt2(i)+(k112/2),XFD2(i)+(k132/2),delt3(i)+(k113/2),XFD3(i)+(k133/2));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(lbus(1),Vbus(1),delt1(i)+k111/2);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(lbus(2),Vbus(2),delt2(i)+k112/2);
```



[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k113/2);

%k2

k211=f1G1(w1(i)+k121/2)\*h;

k221=f2G1(Pe1,Pm1)\*h;

k231=f3G1(XFD1(i)+k131/2,id1,EFD1(i)+k141/2)\*h;

k241=f4G1(EFD1(i)+k141/2,Vt1)\*h;

k212=f1G2(w2(i)+k122/2)\*h;

k222=f2G2(Pe2,Pm2)\*h;

k232=f3G2(XFD2(i)+k132/2,id2,EFD2(i)+k142/2)\*h;

k242=f4G2(EFD2(i)+k142/2,Vt2)\*h;

k213=f1G3(w3(i)+k123/2)\*h;

k223=f2G3(Pe3,Pm3)\*h;

k233=f3G3(XFD3(i)+k133/2,id3,EFD3(i)+k143/2)\*h;

k243=f4G3(EFD3(i)+k143/2,Vt3)\*h;

%call bus function 2

[Vbus,Ibus]=clearf6(delt1(i)+(k211/2),XFD1(i)+(k231/2),delt2(i)+(k212/2),XFD2(i)+(k232/2),delt3(i)+(k213/2),XFD3(i)+(k233/2));

[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k211/2);

[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k212/2);

[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k213/2);

%k3

k311=f1G1(w1(i)+k221/2)\*h;

k321=f2G1(Pe1,Pm1)\*h;

k331=f3G1(XFD1(i)+k231/2,id1,EFD1(i)+k241/2)\*h;

k341=f4G1(EFD1(i)+k241/2,Vt1)\*h;

k312=f1G2(w2(i)+k222/2)\*h;

k322=f2G2(Pe2,Pm2)\*h;

k332=f3G2(XFD2(i)+k232/2,id2,EFD2(i)+k242/2)\*h;

k342=f4G2(EFD2(i)+k242/2,Vt2)\*h;

```

k313=f1G3(w3(i)+k223/2)*h;
      k323=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
      k333=f3G3(XFD3(i)+k233/2,id3,EFD3(i)+k243/2)*h;
k343=f4G3(EFD3(i)+k243/2,Vt3)*h;

```

```
%call bus function 3
```

```
[Vbus,lbus]=clearft6(delt1(i)+(k311/2),XFD1(i)+(k331/2),delt2(i)+(k312/2),XFD2(i)+(k332/2),delt3(i)+(k313/2),XFD3(i)+(k333/2));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(lbus(1),Vbus(1),delt1(i)+k311/2);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(lbus(2),Vbus(2),delt2(i)+k312/2);
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(lbus(3),Vbus(3),delt3(i)+k313/2);
```

```
%k4
```

```
      k411=f1G1(w1(i)+k321/2)*h;
```

```
      k421=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
      k431=f3G1(XFD1(i)+k331/2,id1,EFD1(i)+k341/2)*h;
```

```
k441=f4G1(EFD1(i)+k341/2,Vt1)*h;
```

```
k412=f1G2(w2(i)+k322/2)*h;
```

```
      k422=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
      k432=f3G2(XFD2(i)+k332/2,id2,EFD2(i)+k342/2)*h;
```

```
k442=f4G2(EFD2(i)+k342/2,Vt2)*h;
```

```
k413=f1G3(w3(i)+k323/2)*h;
```

```
      k423=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
      k433=f3G3(XFD3(i)+k333/2,id3,EFD3(i)+k343/2)*h;
```

```
k443=f4G3(EFD3(i)+k343/2,Vt3)*h;
```

```
%rk-4
```

```
delt1(i+1)=delt1(i)+(1/6)*(k111+2*k211+2*k311+k411);
```

```
w1(i+1)=w1(i)+(1/6)*(k121+2*k221+2*k321+k421);
```

```
XFD1(i+1)=XFD1(i)+(1/6)*(k131+2*k231+2*k331+k431);
```

```
EFD1(i+1)=EFD1(i)+(1/6)*(k141+2*k241+2*k341+k441);
```

```
delt2(i+1)=delt2(i)+(1/6)*(k112+2*k212+2*k312+k412);
```

```

w2(i+1)=w2(i)+(1/6)*(k122+2*k222+2*k322+k422);
XFD2(i+1)=XFD2(i)+(1/6)*(k132+2*k232+2*k332+k432);
EFD2(i+1)=EFD2(i)+(1/6)*(k142+2*k242+2*k342+k442);

```

```

delt3(i+1)=delt3(i)+(1/6)*(k113+2*k213+2*k313+k413);
w3(i+1)=w3(i)+(1/6)*(k123+2*k223+2*k323+k423);
XFD3(i+1)=XFD3(i)+(1/6)*(k133+2*k233+2*k333+k433);
EFD3(i+1)=EFD3(i)+(1/6)*(k143+2*k243+2*k343+k443);

```

```

else

```

```

    % Reclose line

```

```

    [Vbus,Ibus]=bsfn(delt1(i),XFD1(i),delt2(i),XFD2(i),delt3(i),XFD3(i));

```

```

    [Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i));

```

```

    [Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i));

```

```

    [Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i));

```

```

    %k1

```

```

    k111=f1G1(w1(i))*h;

```

```

    k121=f2G1(Pe1,Pm1)*h;

```

```

    k131=f3G1(XFD1(i),id1,EFD1(i))*h;

```

```

    k141=f4G1(EFD1(i),Vt1)*h;

```

```

    k112=f1G2(w2(i))*h;

```

```

    k122=f2G2(Pe2,Pm2)*h;

```

```

    k132=f3G2(XFD2(i),id2,EFD2(i))*h;

```

```

    k142=f4G2(EFD2(i),Vt2)*h;

```

```

    k113=f1G3(w3(i))*h;

```

```

    k123=f2G3(Pe3,Pm3)*h;

```

```

    k133=f3G3(XFD3(i),id3,EFD3(i))*h;

```

```

    k143=f4G3(EFD3(i),Vt3)*h;

```

```

%call bus function 1

```

```

[Vbus,Ibus]=bsfn(delt1(i)+(k111/2),XFD1(i)+(k131/2),delt2(i)+(k112/2),XFD2(i)+(k132/2),delt3(i)+(k113/2),
XFD3(i)+(k133/2));

```

```

[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k111/2);

```

```

[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k112/2);

```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k113/2);
```

```
%k2
```

```
k211=f1G1(w1(i)+k121/2)*h;
```

```
k221=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
k231=f3G1(XFD1(i)+k131/2,id1,EFD1(i)+k141/2)*h;
```

```
k241=f4G1(EFD1(i)+k141/2,Vt1)*h;
```

```
k212=f1G2(w2(i)+k122/2)*h;
```

```
k222=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
k232=f3G2(XFD2(i)+k132/2,id2,EFD2(i)+k142/2)*h;
```

```
k242=f4G2(EFD2(i)+k142/2,Vt2)*h;
```

```
k213=f1G3(w3(i)+k123/2)*h;
```

```
k223=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
k233=f3G2(XFD3(i)+k133/2,id3,EFD3(i)+k143/2)*h;
```

```
k243=f4G3(EFD3(i)+k143/2,Vt3)*h;
```

```
%call bus function 2
```

```
[Vbus,Ibus]=bsfn(delt1(i)+(k211/2),XFD1(i)+(k231/2),delt2(i)+(k212/2),XFD2(i)+(k232/2),delt3(i)+(k213/2),  
XFD3(i)+(k233/2));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k211/2);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k212/2);
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k213/2);
```

```
%k3
```

```
k311=f1G1(w1(i)+k221/2)*h;
```

```
k321=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
k331=f3G1(XFD1(i)+k231/2,id1,EFD1(i)+k241/2)*h;
```

```
k341=f4G1(EFD1(i)+k241/2,Vt1)*h;
```

```
k312=f1G2(w2(i)+k222/2)*h;
```

```
k322=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
k332=f3G2(XFD2(i)+k232/2,id2,EFD2(i)+k242/2)*h;
```

```
k342=f4G2(EFD2(i)+k242/2,Vt2)*h;
```

```
k313=f1G3(w3(i)+k223/2)*h;
```

```

k323=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
k333=f3G3(XFD3(i)+k233/2,id3,EFD3(i)+k243/2)*h;
k343=f4G3(EFD3(i)+k243/2,Vt3)*h;

```

```
%call bus function 3
```

```
[Vbus,Ibus]=bsfn(delt1(i)+(k311),XFD1(i)+(k331),delt2(i)+(k312),XFD2(i)+(k332),delt3(i)+(k313),XFD3(i)+(k333));
```

```
[Pe1,id1,Vt1]=vipfn(Ibus(1),Vbus(1),delt1(i)+k311);
```

```
[Pe2,id2,Vt2]=vipfn(Ibus(2),Vbus(2),delt2(i)+k312);
```

```
[Pe3,id3,Vt3]=vipfn(Ibus(3),Vbus(3),delt3(i)+k313);
```

```
%k4
```

```
k411=f1G1(w1(i)+k321)*h;
```

```
k421=f2G1(Pe1,Pm1)*h;
```

```
k431=f3G1(XFD1(i)+k331,id1,EFD1(i)+k341)*h;
```

```
k441=f4G1(EFD1(i)+k341,Vt1)*h;
```

```
k412=f1G2(w2(i)+k322)*h;
```

```
k422=f2G2(Pe2,Pm2)*h;
```

```
k432=f3G2(XFD2(i)+k332,id2,EFD2(i)+k342)*h;
```

```
k442=f4G2(EFD2(i)+k342,Vt2)*h;
```

```
k413=f1G3(w3(i)+k323)*h;
```

```
k423=f2G3(Pe3,Pm3)*h;
```

```
k433=f3G2(XFD3(i)+k333,id3,EFD3(i)+k343)*h;
```

```
k443=f4G3(EFD3(i)+k343,Vt3)*h;
```

```
%rk-4
```

```
delt1(i+1)=delt1(i)+(1/6)*(k111+2*k211+2*k311+k411);
```

```
w1(i+1)=w1(i)+(1/6)*(k121+2*k221+2*k321+k421);
```

```
XFD1(i+1)=XFD1(i)+(1/6)*(k131+2*k231+2*k331+k431);
```

```
EFD1(i+1)=EFD1(i)+(1/6)*(k141+2*k241+2*k341+k441);
```

```
delt2(i+1)=delt2(i)+(1/6)*(k112+2*k212+2*k312+k412);
```

```
w2(i+1)=w2(i)+(1/6)*(k122+2*k222+2*k322+k422);
```

```
XFD2(i+1)=XFD2(i)+(1/6)*(k132+2*k232+2*k332+k432);
```

```
EFD2(i+1)=EFD2(i)+(1/6)*(k142+2*k242+2*k342+k442);
```

```
delt3(i+1)=delt3(i)+(1/6)*(k113+2*k213+2*k313+k413);
```

```
w3(i+1)=w3(i)+(1/6)*(k123+2*k223+2*k323+k423);
```

```
XFD3(i+1)=XFD3(i)+(1/6)*(k133+2*k233+2*k333+k433);
```

```
EFD3(i+1)=EFD3(i)+(1/6)*(k143+2*k243+2*k343+k443);
```

```
end
```

```
ts(i+1)=ts(i)+h;
```

```
end
```

```
D13=(delt1-delt3)*180/pi;
```

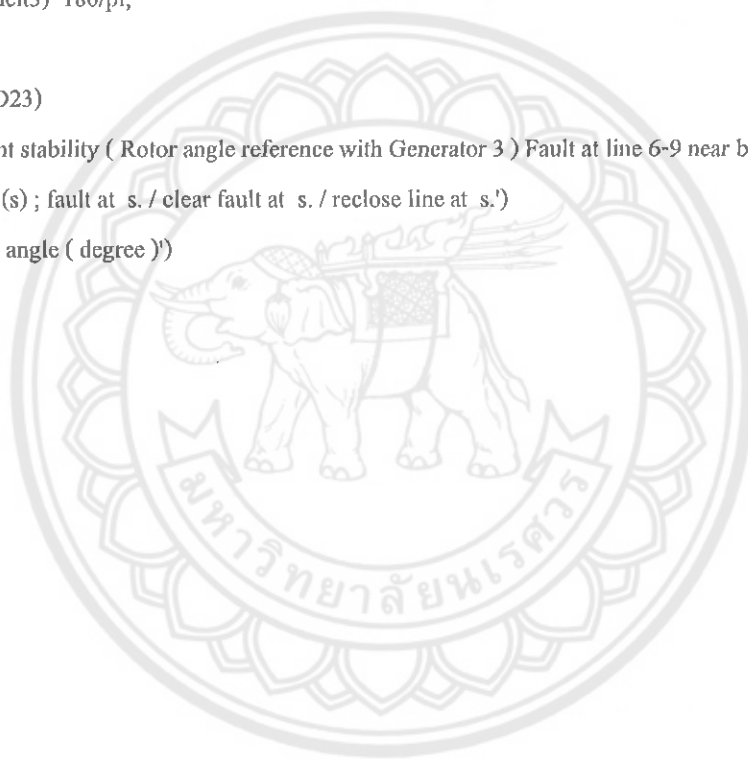
```
D23=(delt2-delt3)*180/pi;
```

```
plot(t,D13,t,D23)
```

```
title('Transient stability ( Rotor angle reference with Generator 3 ) Fault at line 6-9 near bus 6')
```

```
xlabel('Time (s) ; fault at s. / clear fault at s. / reclose line at s.')
```

```
ylabel('Rotor angle ( degree )')
```



## Function Vbus,Ibus

### Prefault

```
function [Vbus,Ibus] = bsfn(delt1,XFD1,delt2,XFD2,delt3,XFD3)
```

```
%Form Ybus
```

```
%original matrix 9*9
```

```
y(1,1)=-16i;y(1,2)=0;y(1,3)=0;y(1,4)=0;y(1,5)=0;y(1,6)=0;y(1,7)=16i;y(1,8)=0;y(1,9)=0;
y(2,1)=0;y(2,2)=-17.0648i;y(2,3)=0;y(2,4)=0;y(2,5)=0;y(2,6)=0;y(2,7)=0;y(2,8)=0;y(2,9)=17.0648i;
y(3,1)=0;y(3,2)=0;y(3,3)=-17.3611i;y(3,4)=17.3611i;y(3,5)=0;y(3,6)=0;y(3,7)=0;y(3,8)=0;y(3,9)=0;
y(4,1)=0;y(4,2)=0;y(4,3)=17.3611i;y(4,4)=-3.3074-39.3089i;y(4,5)=-1.3652+11.6041i;y(4,6)=-
1.9422+10.5107i;y(4,7)=0;y(4,8)=0;y(4,9)=0;
y(5,1)=0;y(5,2)=0;y(5,3)=0;y(5,4)=-1.3652+11.6041i;y(5,5)=3.8322-17.8788i;y(5,6)=0;y(5,7)=-
1.2019+6.0096i;y(5,8)=0;y(5,9)=0;
y(6,1)=0;y(6,2)=0;y(6,3)=0;y(6,4)=-1.9422+10.5107i;y(6,5)=0;y(6,6)=4.103-
16.1338i;y(6,7)=0;y(6,8)=0;y(6,9)=-1.282+5.5882i;
y(7,1)=16i;y(7,2)=0;y(7,3)=0;y(7,4)=0;y(7,5)=-1.2019+6.0096i;y(7,6)=0;y(7,7)=2.819-35.4801i;y(7,8)=-
1.6171+13.698i;y(7,9)=0;
y(8,1)=0;y(8,2)=0;y(8,3)=0;y(8,4)=0;y(8,5)=0;y(8,6)=0;y(8,7)=-1.6171+13.698i;y(8,8)=3.7410-
23.6423i;y(8,9)=-1.1551+9.7843i;
y(9,1)=0;y(9,2)=17.0648i;y(9,3)=0;y(9,4)=0;y(9,5)=0;y(9,6)=-1.2820+5.5882i;y(9,7)=0;y(9,8)=-
1.1551+9.7843i;y(9,9)=2.4371-32.1537i;
```

```
%Form Ybus new
```

```
%Extent matrix to ynew 18*18
```

```
m = 0;n = 0;
```

```
for r = 1:9;
```

```
    for c = 1:9;
```

```
        m = 2*r;
```

```
        n = 2*c;
```

```
        ynew(m-1,n-1) = real(y(r,c));
```

```
        ynew(m-1,n) = -imag(y(r,c));
```

```
        ynew(m,n-1) = imag(y(r,c));
```

```
        ynew(m,n) = real(y(r,c));
```

```
    end
```

```
end
```

```

Yo=ynew;
%Find I
%Gen#1
Ll=0.0521;La1Q=0.8124;L_aFD=0.0677;LFD=0.0736;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag1=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
Ybg1=(1/C)*(-LD*(cos(delt1)).^2-LQ*(sin(delt1)).^2);
Ycg1=(1/C)*(LD*(sin(delt1)).^2+LQ*(cos(delt1)).^2);
Ydg1=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
fx1=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*sin(delt1));
fy1=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*cos(delt1));
%Gen#2
Ll=0.0742;La1Q=1.1836;L_aFD=0.1081;LFD=0.1184;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag2=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
Ybg2=(1/C)*(-LD*(cos(delt2)).^2-LQ*(sin(delt2)).^2);
Ycg2=(1/C)*(LD*(sin(delt2)).^2+LQ*(cos(delt2)).^2);
Ydg2=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
fx2=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*sin(delt2));
fy2=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*cos(delt2));
%Gen#3
Ll=0.0336;La1Q=0.0633;L_aFD=0.0272;LFD=0.0359;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag3=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
Ybg3=(1/C)*(-LD*(cos(delt3)).^2-LQ*(sin(delt3)).^2);
Ycg3=(1/C)*(LD*(sin(delt3)).^2+LQ*(cos(delt3)).^2);
Ydg3=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
fx3=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*sin(delt3));
fy3=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*cos(delt3));

%YG generator's admittant
YG=zeros(18);
YG(1,1)=Yag1;   YG(1,2)=Ybg1;   YG(2,1)=Ycg1;   YG(2,2)=Ydg1;
YG(3,3)=Yag2;   YG(3,4)=Ybg2;   YG(4,3)=Ycg2;   YG(4,4)=Ydg2;
YG(5,5)=Yag3;   YG(5,6)=Ybg3;   YG(6,5)=Ycg3;   YG(6,6)=Ydg3;

```



```

%function fx fy
Fxy=[fx1;fy1;fx2;fy2;fx3;fy3;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
%Ynew
Yn=Yo-YG;
Vb=inv(Yn)*Fxy;
%reduce to 9*1
Vbus=[Vb(1)+Vb(2)*i;Vb(3)+Vb(4)*i;Vb(5)+Vb(6)*i;Vb(7)+Vb(8)*i;
Vb(9)+Vb(10)*i;Vb(11)+Vb(12)*i;Vb(13)+Vb(14)*i;
Vb(15)+Vb(16)*i;Vb(17)+Vb(18)*i];

```

```
Ibus=y*Vbus;
```

### Fault

```
function [Vbus,Ibus] = bsfaut6(delt1,XFD1,delt2,XFD2,delt3,XFD3)
```

```
%Form Ybus
```

```
%original matrix 9*9
```

```

y(1,1)=-16i;y(1,2)=0;y(1,3)=0;y(1,4)=0;y(1,5)=0;y(1,6)=0;y(1,7)=16i;y(1,8)=0;y(1,9)=0;
y(2,1)=0;y(2,2)=-17.0648i;y(2,3)=0;y(2,4)=0;y(2,5)=0;y(2,6)=0;y(2,7)=0;y(2,8)=0;y(2,9)=17.0648i;
y(3,1)=0;y(3,2)=0;y(3,3)=-17.3611i;y(3,4)=17.3611i;y(3,5)=0;y(3,6)=0;y(3,7)=0;y(3,8)=0;y(3,9)=0;
y(4,1)=0;y(4,2)=0;y(4,3)=17.3611i;y(4,4)=3.3074-39.3089i;y(4,5)=-
1.3652+11.6041i;y(4,6)=0;y(4,7)=0;y(4,8)=0;y(4,9)=0;
y(5,1)=0;y(5,2)=0;y(5,3)=0;y(5,4)=-1.3652+11.6041i;y(5,5)=3.8322-17.8788i;y(5,6)=0;y(5,7)=-
1.2019+6.0096i;y(5,8)=0;y(5,9)=0;
y(6,1)=0;y(6,2)=0;y(6,3)=0;y(6,4)=0;y(6,5)=0;y(6,6)=4.103-16.1338i;y(6,7)=0;y(6,8)=0;y(6,9)=0;
y(7,1)=16i;y(7,2)=0;y(7,3)=0;y(7,4)=0;y(7,5)=-1.2019+6.0096i;y(7,6)=0;y(7,7)=2.819-35.4801i;y(7,8)=-
1.6171+13.698i;y(7,9)=0;
y(8,1)=0;y(8,2)=0;y(8,3)=0;y(8,4)=0;y(8,5)=0;y(8,6)=0;y(8,7)=-1.6171+13.698i;y(8,8)=3.7410-
23.6423i;y(8,9)=-1.1551+9.7843i;
y(9,1)=0;y(9,2)=17.0648i;y(9,3)=0;y(9,4)=0;y(9,5)=0;y(9,6)=0;y(9,7)=0;y(9,8)=-
1.1551+9.7843i;y(9,9)=2.4371-32.1537i;

```

```
%Form Ybus new
```

```
%Extent matrix to ynew 18*18
```

```
m = 0;n = 0;
```

```
for r = 1:9;
```

```
for c = 1:9;
```

```

m = 2*r;
n = 2*c;
ynew(m-1,n-1) = real(y(r,c));
ynew(m-1,n) = -imag(y(r,c));
ynew(m,n-1) = imag(y(r,c));
ynew(m,n) = real(y(r,c));
end

end

Yo=ynew;

%Find I
%Gen#1
Ll=0.0521;La1Q=0.8124;L_aFD=0.0677;LFD=0.0736;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag1=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
Ybg1=(1/C)*(-LD*(cos(delt1)).^2-LQ*(sin(delt1)).^2);
Ycg1=(1/C)*(LD*(sin(delt1)).^2+LQ*(cos(delt1)).^2);
Ydg1=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
fx1=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*sin(delt1));
fy1=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*cos(delt1));
%Gen#2
Ll=0.0742;La1Q=1.1836;L_aFD=0.1081;LFD=0.1184;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag2=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
Ybg2=(1/C)*(-LD*(cos(delt2)).^2-LQ*(sin(delt2)).^2);
Ycg2=(1/C)*(LD*(sin(delt2)).^2+LQ*(cos(delt2)).^2);
Ydg2=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
fx2=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*sin(delt2));
fy2=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*cos(delt2));
%Gen#3
Ll=0.0336;La1Q=0.0633;L_aFD=0.0272;LFD=0.0359;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag3=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
Ybg3=(1/C)*(-LD*(cos(delt3)).^2-LQ*(sin(delt3)).^2);
Ycg3=(1/C)*(LD*(sin(delt3)).^2+LQ*(cos(delt3)).^2);
Ydg3=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
fx3=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*sin(delt3));

```

```
fy3=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*cos(delt3));
```

```
%YG genrator's admittant
```

```
YG=zeros(18);
```

```
YG(1,1)=Yag1; YG(1,2)=Ybg1; YG(2,1)=Ycg1; YG(2,2)=Ydg1;
```

```
YG(3,3)=Yag2; YG(3,4)=Ybg2; YG(4,3)=Ycg2; YG(4,4)=Ydg2;
```

```
YG(5,5)=Yag3; YG(5,6)=Ybg3; YG(6,5)=Ycg3; YG(6,6)=Ydg3;
```

```
%function fx fy
```

```
Fxy=[fx1;fy1;fx2;fy2;fx3;fy3;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
```

```
%Ynew
```

```
Yn=Yo-YG;
```

```
Vb=inv(Yn)*Fxy;
```

```
%reduce to 9*1
```

```
Vbus=[Vb(1)+Vb(2)*i;Vb(3)+Vb(4)*i;Vb(5)+Vb(6)*i;Vb(7)+Vb(8)*i;
```

```
Vb(9)+Vb(10)*i;Vb(11)+Vb(12)*i;Vb(13)+Vb(14)*i;
```

```
Vb(15)+Vb(16)*i;Vb(17)+Vb(18)*i];
```

```
Ibus=y*Vbus;
```

```
Clear Fault
```

```
%function call Vbus &Ibus
```

```
function [Vbus,Ibus]=clearft6(delt1,XFD1,delt2,XFD2,delt3,XFD3)
```

```
% matrix 9*9,cut line69 then cut impedance 69 และ shunt ออกจาก bus 66และ69ด้วย
```

```
y(1,1)=-16i;y(1,2)=0;y(1,3)=0;y(1,4)=0;y(1,5)=0;y(1,6)=0;y(1,7)=16i;y(1,8)=0;y(1,9)=0;
```

```
y(2,1)=0;y(2,2)=-17.0648i;y(2,3)=0;y(2,4)=0;y(2,5)=0;y(2,6)=0;y(2,7)=0;y(2,8)=0;y(2,9)=17.0648i;
```

```
y(3,1)=0;y(3,2)=0;y(3,3)=-17.3611i;y(3,4)=17.3611i;y(3,5)=0;y(3,6)=0;y(3,7)=0;y(3,8)=0;y(3,9)=0;
```

```
y(4,1)=0;y(4,2)=0;y(4,3)=17.3611i;y(4,4)=3.3074-39.3089i;y(4,5)=-1.3652+11.6041i;y(4,6)=
```

```
-1.9422+10.5107i;y(4,7)=0;y(4,8)=0;y(4,9)=0;
```

```
y(5,1)=0;y(5,2)=0;y(5,3)=0;y(5,4)=-1.3652+11.6041i;y(5,5)=3.8322-17.8788i;y(5,6)=0;y(5,7)=
```

```
1.2019+6.0096i;y(5,8)=0;y(5,9)=0;
```

```
y(6,1)=0;y(6,2)=0;y(6,3)=0;y(6,4)=-1.9422+10.5107i;y(6,5)=0;y(6,6)=-2.821-
```

```
10.7246i;y(6,7)=0;y(6,8)=0;y(6,9)=0;
```

```
y(7,1)=16i;y(7,2)=0;y(7,3)=0;y(7,4)=0;y(7,5)=-1.2019+6.0096i;y(7,6)=0;y(7,7)=2.819-35.4801i;y(7,8)=
```

```
1.6171+13.698i;y(7,9)=0;
```

```
y(8,1)=0;y(8,2)=0;y(8,3)=0;y(8,4)=0;y(8,5)=0;y(8,6)=0;y(8,7)=-1.6171+13.698i;y(8,8)=3.7410-
23.6423i;y(8,9)=-1.1551+9.7843i;
```

```
y(9,1)=0;y(9,2)=17.0648i;y(9,3)=0;y(9,4)=0;y(9,5)=0;y(9,6)=0;y(9,7)=0;y(9,8)=-
1.1551+9.7843i;y(9,9)=1.1551-26.7445i;
```

```
y(9,9)=y(9,9)+y(9,6)-(0.358*j/2);
```

```
y(6,6)=y(6,6)+y(6,9)-(0.358*j/2);
```

```
%extend matrix 18*18
```

```
m=0;
```

```
n=0;
```

```
for r=1:9
```

```
    for c=1:9
```

```
        m=2*r;
```

```
        n=2*c;
```

```
        ynew(m-1,n-1)=real(y(r,c));
```

```
        ynew(m-1,n)=-imag(y(r,c));
```

```
        ynew(m,n-1)=imag(y(r,c));
```

```
        ynew(m,n)=real(y(r,c));
```

```
    end
```

```
end
```

```
Yo=ynew;
```

```
%Find I
```

```
%Gen#1
```

```
Ll=0.0521;La1Q=0.8124;L_aFD=0.0677;LFD=0.0736;
```

```
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
```

```
Yag1=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
```

```
Ybg1=(1/C)*(-LD*(cos(delt1)).^2-LQ*(sin(delt1)).^2);
```

```
Ycg1=(1/C)*(LD*(sin(delt1)).^2+LQ*(cos(delt1)).^2);
```

```
Ydg1=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
```

```
fx1=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*sin(delt1));
```

```
fy1=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*cos(delt1));
```

```
%Gen#2
```

```
Ll=0.0742;La1Q=1.1836;L_aFD=0.1081;LFD=0.1184;
```

```
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
```

```
Yag2=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
```

```

Ybg2=(1/C)*(-LD*(cos(delt2)).^2-LQ*(sin(delt2)).^2);
Ycg2=(1/C)*(LD*(sin(delt2)).^2+LQ*(cos(delt2)).^2);
Ydg2=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
fx2=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*sin(delt2));
fy2=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*cos(delt2));
%Gen#3
Ll=0.0336;La1Q=0.0633;L_aFD=0.0272;LFD=0.0359;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag3=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
Ybg3=(1/C)*(-LD*(cos(delt3)).^2-LQ*(sin(delt3)).^2);
Ycg3=(1/C)*(LD*(sin(delt3)).^2+LQ*(cos(delt3)).^2);
Ydg3=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
fx3=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*sin(delt3));
fy3=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*cos(delt3));

%YG generator's admittant
YG=zeros(18);
YG(1,1)=Yag1;   YG(1,2)=Ybg1;   YG(2,1)=Ycg1;   YG(2,2)=Ydg1;
YG(3,3)=Yag2;   YG(3,4)=Ybg2;   YG(4,3)=Ycg2;   YG(4,4)=Ydg2;
YG(5,5)=Yag3;   YG(5,6)=Ybg3;   YG(6,5)=Ycg3;   YG(6,6)=Ydg3;

%function fx fy
Fxy=[fx1,fy1;fx2,fy2;fx3,fy3;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
%Ynew
Yn=Yo-YG;
Vb=inv(Yn)*Fxy;
%reduce to 9*1
Vbus=[Vb(1)+Vb(2)*i;Vb(3)+Vb(4)*i;Vb(5)+Vb(6)*i;Vb(7)+Vb(8)*i;
Vb(9)+Vb(10)*i;Vb(11)+Vb(12)*i;Vb(13)+Vb(14)*i;
Vb(15)+Vb(16)*i;Vb(17)+Vb(18)*i];
Ibus=y*Vbus;

```

**Reclose Line**

```
function [Vbus,lbus] = bsfn(delt1,XFD1,delt2,XFD2,delt3,XFD3)
```

```
%Form Ybus
```

```
%original matrix 9*9
```

```
y(1,1)=-16i;y(1,2)=0;y(1,3)=0;y(1,4)=0;y(1,5)=0;y(1,6)=0;y(1,7)=16i;y(1,8)=0;y(1,9)=0;
y(2,1)=0;y(2,2)=-17.0648i;y(2,3)=0;y(2,4)=0;y(2,5)=0;y(2,6)=0;y(2,7)=0;y(2,8)=0;y(2,9)=17.0648i;
y(3,1)=0;y(3,2)=0;y(3,3)=-17.3611i;y(3,4)=17.3611i;y(3,5)=0;y(3,6)=0;y(3,7)=0;y(3,8)=0;y(3,9)=0;
y(4,1)=0;y(4,2)=0;y(4,3)=17.3611i;y(4,4)=3.3074-39.3089i;y(4,5)=-1.3652+11.6041i;y(4,6)=-
1.9422+10.5107i;y(4,7)=0;y(4,8)=0;y(4,9)=0;
y(5,1)=0;y(5,2)=0;y(5,3)=0;y(5,4)=-1.3652+11.6041i;y(5,5)=3.8322-17.8788i;y(5,6)=0;y(5,7)=-
1.2019+6.0096i;y(5,8)=0;y(5,9)=0;
y(6,1)=0;y(6,2)=0;y(6,3)=0;y(6,4)=-1.9422+10.5107i;y(6,5)=0;y(6,6)=4.103-
16.1338i;y(6,7)=0;y(6,8)=0;y(6,9)=-1.282+5.5882i;
y(7,1)=16i;y(7,2)=0;y(7,3)=0;y(7,4)=0;y(7,5)=-1.2019+6.0096i;y(7,6)=0;y(7,7)=2.819-35.4801i;y(7,8)=-
1.6171+13.698i;y(7,9)=0;
y(8,1)=0;y(8,2)=0;y(8,3)=0;y(8,4)=0;y(8,5)=0;y(8,6)=0;y(8,7)=-1.6171+13.698i;y(8,8)=3.7410-
23.6423i;y(8,9)=-1.1551+9.7843i;
y(9,1)=0;y(9,2)=17.0648i;y(9,3)=0;y(9,4)=0;y(9,5)=0;y(9,6)=-1.2820+5.5882i;y(9,7)=0;y(9,8)=-
1.1551+9.7843i;y(9,9)=-2.4371-32.1537i;
```

```
%Form Ybus new
```

```
%Extent matrix to ynew 18*18
```

```
m = 0;n = 0;
```

```
for r = 1:9;
```

```
    for c = 1:9;
```

```
        m = 2*r;
```

```
        n = 2*c;
```

```
        ynew(m-1,n-1) = real(y(r,c));
```

```
        ynew(m-1,n) = -imag(y(r,c));
```

```
        ynew(m,n-1) = imag(y(r,c));
```

```
        ynew(m,n) = real(y(r,c));
```

```
    end
```

```
end
```

```
Yo=ynew;
```

```

%Find I
%Gen#1
Ll=0.0521;La1Q=0.8124;L_aFD=0.0677;LFD=0.0736;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag1=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
Ybg1=(1/C)*(-LD*(cos(delt1)).^2-LQ*(sin(delt1)).^2);
Ycg1=(1/C)*(LD*(sin(delt1)).^2+LQ*(cos(delt1)).^2);
Ydg1=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt1))*(cos(delt1));
fx1=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*sin(delt1));
fy1=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD1*cos(delt1));
%Gen#2
Ll=0.0742;La1Q=1.1836;L_aFD=0.1081;LFD=0.1184;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag2=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
Ybg2=(1/C)*(-LD*(cos(delt2)).^2-LQ*(sin(delt2)).^2);
Ycg2=(1/C)*(LD*(sin(delt2)).^2+LQ*(cos(delt2)).^2);
Ydg2=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt2))*(cos(delt2));
fx2=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*sin(delt2));
fy2=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD2*cos(delt2));
%Gen#3
Ll=0.0336;La1Q=0.0633;L_aFD=0.0272;LFD=0.0359;
LD=Ll+L_aFD;LQ=Ll+La1Q;C=LD*LQ;
Yag3=(1/C)*(LD-LQ)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
Ybg3=(1/C)*(-LD*(cos(delt3)).^2-LQ*(sin(delt3)).^2);
Ycg3=(1/C)*(LD*(sin(delt3)).^2+LQ*(cos(delt3)).^2);
Ydg3=(1/C)*(LQ-LD)*(sin(delt3))*(cos(delt3));
fx3=(1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*sin(delt3));
fy3=(-1/C)*(LQ*(L_aFD/LFD)*XFD3*cos(delt3));
%YG genrator's admittant
YG=zeros(18);
YG(1,1)=Yag1; YG(1,2)=Ybg1; YG(2,1)=Ycg1; YG(2,2)=Ydg1;
YG(3,3)=Yag2; YG(3,4)=Ybg2; YG(4,3)=Ycg2; YG(4,4)=Ydg2;
YG(5,5)=Yag3; YG(5,6)=Ybg3; YG(6,5)=Ycg3; YG(6,6)=Ydg3;
%function fx fy

```

```

Fxy=[fx1;fy1;fx2;fy2;fx3;fy3;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
%Ynew
Yn=Yo-YG;
Vb=inv(Yn)*Fxy;
%reduce to 9*1
Vbus=[Vb(1)+Vb(2)*i;Vb(3)+Vb(4)*i;Vb(5)+Vb(6)*i;Vb(7)+Vb(8)*i;
      Vb(9)+Vb(10)*i;Vb(11)+Vb(12)*i;Vb(13)+Vb(14)*i;
      Vb(15)+Vb(16)*i;Vb(17)+Vb(18)*i];
Ibus=y*Vbus;

```





**Function**

```
%call function f1G1
```

```
function delt1=f1G1(w1)
```

```
w0=377;
```

```
delt1=w0*(w1-1);
```

```
%call function f1G2
```

```
function delt2=f1G2(w2)
```

```
w0=377;
```

```
delt2=w0*(w2-1);
```

```
%call function f1G3
```

```
function delt3=f1G3(w3)
```

```
w0=377;
```

```
delt3=w0*(w3-1);
```

```
%call function f2G1
```

```
function w1=f2G1(Pe1,Pm1)
```

```
H1=6.40;
```

```
w1=(1/(2*H1))*(Pm1-Pe1);
```

```
%call function f2G2
```

```
function w2=f2G2(Pe2,Pm2)
```

```
H2=3.01;
```

```
w2=(1/(2*H2))*(Pm2-Pe2);
```

```
%call function f2G3
```

```
function w3=f2G3(Pe3,Pm3)
```

```
H3=23.64;
```

```
w3=(1/(2*H3))*(Pm3-Pe3);
```

```
%call function f3G1
```

```
function XFD1=f3G1(XFD1,id1,EFD1)
```

```
w0=377;RFD1=(0.1555/377);LFD1=0.0736;LaFD1=0.8437;L_aFD1=0.0677;
```

$$XFD1=(w0*RFD1/LFD1)*((L\_aFD1/LFD1-1)*XFD1-L\_aFD1*id1+(LFD1/LaFD1)*EFD1);$$

%call function f3G2

function XFD2=f3G2(XFD2,id2,EFD2)

w0=377;RFD2=(0.2301/377);LFD2=0.1184;LaFD2=1.2383;L\_aFD2=0.1081;

$$XFD2=(w0*RFD2/LFD2)*((L\_aFD2/LFD2-1)*XFD2-L\_aFD2*id2+(LFD2/LaFD2)*EFD2);$$

%call function f3G3

function XFD3=f3G3(XFD3,id3,EFD3)

w0=377;RFD3=(0.0166/377);LFD3=0.0359;LaFD3=0.1124;L\_aFD3=0.0272;

$$XFD3=(w0*RFD3/LFD3)*((L\_aFD3/LFD3-1)*XFD3-L\_aFD3*id3+(LFD3/LaFD3)*EFD3);$$

%call function f4G1

function EFD1=f4G1(EFD1,Vt1)

Ka1=25;Ta1=0.5;Vref1=1.09658195125832;

$$EFD1=(1/Ta1)*((Vref1-Vt1)*Ka1-EFD1);$$

%call function f4G2

function EFD2=f4G2(EFD2,Vt2)

Ka2=25;Ta2=0.5;Vref2=1.08111634719336;

$$EFD2=(1/Ta2)*((Vref2-Vt2)*Ka2-EFD2);$$

%call function f4G3

function EFD3=f4G3(EFD3,Vt3)

Ka3=25;Ta3=0.5;Vref3= 1.08327084672260;

$$EFD3=(1/Ta3)*((Vref3-Vt3)*Ka3-EFD3);$$

## ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นางสาวธาริณี ทองเกิด  
 ภูมิลำเนา 22/20 ม.2 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail : [tarince\\_tonggoed@hotmail.com](mailto:tarince_tonggoed@hotmail.com)



ชื่อ นายสมโภช เอกอนันตไชย  
 ภูมิลำเนา 44/1 ม.1 ต.วัดพริก อ.เมือง จ.พิษณุโลก  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail : [sompoth9@hotmail.com](mailto:sompoth9@hotmail.com)



ชื่อ นายสิทธิกร นันไชย  
 ภูมิลำเนา 163/198 ม.8 ต.ดอนแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail : [sittikorn\\_ee4@hotmail.com](mailto:sittikorn_ee4@hotmail.com)