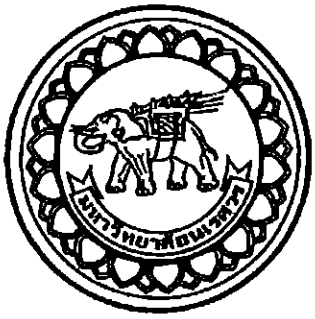


การตรวจสอบและการป้องกันการเกิดการลัดวงจร ในสายส่งของระบบไฟฟ้ากำลัง

Fault Detection and Protection In Transmission System

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 29 S.A. 2547
เลขทะเบียน 1700171
เลขเรียกหนังสือ
มหาวิทยาลัยนเรศวร
150 39514
วร.
ว 6537 ก
2546

นายพิเชษฐ์ เมฆพัฒน์ รหัส 43362607
นายศิระ เอกบุตร รหัส 43362672
นายเชิดพงษ์ กระบวนศรี รหัส 43362821

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2546

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	การตรวจสอบและการป้องกันการเกิดการลัดวงจรในสายส่งของระบบไฟฟ้ากำลัง		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายพิเชษฐ์	เมฆพัฒน์	รหัส 43362607
	นายศิระ	เอกบุตร	รหัส 43362672
	นายเชิดพงษ์	กระบวนศรี	รหัส 43362821
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิกา	ยังอยู่	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์แคทรียา	อัดสูงเนิน	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2546		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่)

.....กรรมการ
(ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ
(ดร.ธนิต มาลากร)

หัวข้อโครงงาน	การตรวจสอบและการป้องกันการเกิดการลัดวงจรในสายส่งของระบบไฟฟ้ากำลัง
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายพิเชษฐ์ เมฆพัฒน์ รหัส 43362607
	นายศิระ เอกบุตร รหัส 43362672
	นายเชิดพงษ์ กระบวนศรี รหัส 43362821
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์แคทรียา อัดสูงเนิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2546

.....

.

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการนำเสนอโปรแกรมการค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรมนี้จะนำข้อมูลขณะที่เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบมาประมวลผล เพื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์และชนิดของฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจำลองขนาด 14 บัสตามมาตรฐาน IEEE โดยนำค่ากระแสและแรงดันที่ได้มาออกแบบระบบป้องกันฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยเลือกใช้รีเลย์เป็นตัวป้องกันในระบบจำลอง

ผลที่ได้จากการทำโครงงานนี้ คือ ได้โปรแกรมที่สามารถค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นและสามารถออกแบบระบบรีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังตามแบบมาตรฐาน IEEE ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

Project Title	Fault Detection and Protection In Transmission System				
Name	Mr.	Pichet	Mekkapat	ID.	43362607
	Mr.	Sira	Aekkabut	ID.	43362672
	Mr.	Cherdpong	Krabuansri	ID.	43362821
Project Advisor	Miss	Supannika	Youngyou		
Co-Project Advisor	Miss	Cattriya	Audsungneun		
Major	Electrical Engineering				
Department	Electrical and Computer Engineering				
Academic Year	2003				

ABSTRACT

This project presents a detection and protection of fault that occurrs in a transmission system. The system of IEEE 14 bus is used for this project. Symmetrical fault and Single line to ground fault are chosen to be a case study.

The results of this project are a MATLAB fault specific program for a IEEE 14 bus system and the ability to create protective relay system according to IEEE standard.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์แคทรียา อัดสูงเนิน อาจารย์ประทับ แสนอินตา และคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ครูช่าง ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ทั้งคำปรึกษา สถานที่และอุปกรณ์ในการทำงาน และนาย ณัฐพล ผลบุญ ที่มาช่วยในการทำแบบจำลองให้ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ชาวไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายพิเชษฐ์ เมฆพัฒน์

นายศิระ เอกบุตร

นายเชิดพงษ์ กระบวนศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 หลักการและเหตุผล	1
1.3 ขอบข่ายงาน	1
1.4 กิจกรรมดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ประเภทของฟอลต์	4
2.1(1) ฟอลต์แบบสมมาตร	6
2.1(2) ฟอลต์แบบไม่สมมาตร	9
2.1(2a) ฟอลต์เนื่องจากสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวน์	9
2.1(2b) ฟอลต์เนื่องจากสาย 2 เส้นสัมผัสถึงกัน	12
2.1(2c) ฟอลต์เนื่องจากสาย 2 เส้นต่อลงกราวน์	14
2.2 การคำนวณกระแสลัดวงจรโดยใช้บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์	18
2.3 การป้องกันระบบไฟฟ้า	27
2.3(1) Protective Relay	27
2.3(2) Trip Circuit and Batteries	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3(3) Circuit Transformer and Voltage Transformer	29
2.4 คุณสมบัติของระบบป้องกัน	29
2.5 การป้องกันสายส่ง	31
2.5(1) การป้องกันสายส่งแบบ radial โดย overcurrent relay	31
2.5(2) การป้องกันสายส่งโดยใช้ distance relay	34
2.5(3) การตั้งค่าการทำงานของ distance relay	36
บทที่ 3 การค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง	
3.1 ระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 14 BUS	38
3.2 การหาค่า Bus Admittance matrix	39
3.3 การคำนวณ Load flow และ Power flow	40
3.4 การวิเคราะห์ฟอลต์แบบสมมาตรและแบบสายเส้นเดียวลงกราวน์	42
3.5 โปรแกรมการค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์	43
3.6 การออกแบบ Hardware	44
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์โปรแกรม	
4.1 ผลการคำนวณหาค่า Load flow	46
4.2 แสดงผลของการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์	47
บทที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์ผล	
5.1 สรุปผลการทำงาน	51
5.2 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ	51
5.3 แนวทางการพัฒนาระบบ	51
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ประวัติผู้เขียนโครงงาน	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
4.1 ผลการคำนวณหาค่า Load flow	46
4.2 ผลของการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์	47
4.3 ผลการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันฟอลต์กับข้อมูลชุดที่15	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 แสดง Zone การป้องกันของ Distance relay แบบ Mho	36
2.23 แสดง Zone การป้องกันของ Distance relay แบบ time step zone	37
3.1 แสดงแผนผังเส้นเดียวของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS	38
3.2 แสดงแผนภาพการคำนวณหา Bus admittance matrix	39
3.3 แสดงแผนภาพการคำนวณหา Load flow โดยวิธีของ Newton-Raphson	41
3.4 แสดงแผนภาพการวิเคราะห์ฟอลต์แบบสมมาตรและแบบสายเส้นเดียวลงกราวด์	42
3.5 แสดงแผนภาพการค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์โดยใช้ impedance matrix	43
3.6(a) แสดงภาพแบบจำลองสถานีไฟฟ้า	44
3.6(b) แสดงภาพแบบระบบป้องกันโดยแบ่งเป็นโซนการป้องกันแต่ละสถานี	44
3.6(c) แสดงภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบไฟฟ้าแต่ละสถานี	45
3.6(d) แสดงภาพแบบจำลองเหตุการณ์การเกิดฟอลต์	45
3.6(e) แสดงภาพระบบป้องกันตัดวงจรที่เกิดฟอลต์	45
4.1 แสดงภาพเปรียบเทียบก่อนการเกิดฟอลต์และขณะเกิดฟอลต์แบบ symmetrical	48
4.2 แสดงภาพเปรียบเทียบก่อนการเกิดฟอลต์และขณะเกิดฟอลต์เส้นเดียวลงกราวด์	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการดำเนินชีวิตและการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการพัฒนาอุตสาหกรรม เมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าขยายตัวมากยิ่งขึ้น ในขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าย่อมเกิดผลเสียหายต่อระบบการผลิตอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อระบบไฟฟ้าใหญ่ขึ้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลขณะลัดวงจรจะสูงมากเพื่อที่ จะป้องกันระบบไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมี ประสิทธิภาพและลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นแก่ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีระบบผิดปกติ นอกจากนี้ระบบการป้องกันยังต้องมีความเชื่อถือได้ดีสำหรับความผิดปกติของระบบไฟฟ้า

โดยการออกแบบระบบการป้องกันที่ดีที่สุดนั้นจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และการพิจารณาผลของค่ากระแสลัดวงจรในระบบที่ทำให้กระแสในวงจรเพิ่มขึ้นการ ตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ป้องกันได้แก่ ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อทำการแยกตำแหน่งที่เกิดฟอลต์โดยปลอดภัยนอกจากนี้อุปกรณ์อื่นๆเช่น เคเบิล สวิตซ์เกียร์ บัสบาร์ สวิตซ์ปลดวงจร จะต้องมีความสามารถคงทนต่อแรงกลและความร้อน ในขณะที่กระแสฟอลต์ไหลสูงสุดได้

ดังนั้นการศึกษาระบบป้องกันไฟฟ้ากำลังและหาแนวทางการป้องกันระบบไฟฟ้าเพื่อมิให้เกิดความสูญเสียต่อระบบไฟฟ้าและมิก่อให้เกิดความเสียหายต่อผู้บริโภคพลังงานไฟฟ้าทั้งในส่วนภูมิภาค และประเทศชาติ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเกิดการลัดวงจรในสายส่ง (Fault)แต่ละประเภทของระบบไฟฟ้ากำลัง
2. เพื่อศึกษาการตรวจสอบและป้องกันระบบสายส่งที่มีอยู่ขณะเกิดการลัดวงจร
3. เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองตัวอย่างของการเกิดฟอลต์ในระบบสายส่ง
4. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมตรวจสอบและแก้ไขการเกิดฟอลต์ในแบบจำลอง
5. เพื่อวิเคราะห์และแก้ปัญหาการเกิดฟอลต์ในแบบจำลอง

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1. ศึกษาการเกิดการลัดวงจรของระบบทดสอบ IEEE 14 Bus
2. ศึกษาการทำงานของรีเลย์ป้องกันที่เกี่ยวข้อง

3. ศึกษาการป้องกันระบบสายส่งที่มีอยู่ขณะเกิดการลัดวงจรเพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสีย
4. สร้างแบบจำลองเพื่อใช้แสดงการเกิดการลัดวงจรในระบบสายส่ง
5. เขียนโปรแกรมเพื่อตรวจวิเคราะห์และแก้ปัญหาการเกิดการลัดวงจร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	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.
1. ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับเรื่องฟอลต์อย่างละเอียด	←	→										
2. ทำการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันการ เกิดฟอลต์ในสายส่ง		←	→									
3. ทำการศึกษาโปรแกรม MATLAB		←	→									
4. ศึกษาการประยุกต์ใช้ MATLABกับการเขียนโปรแกรมตรวจสอบฟอลต์ในสายส่ง					←	→						
5. ทำการศึกษางานนอกสถานที่							↔					
6. เขียนโปรแกรมในการแก้ปัญหา							←	→				
7. ทดสอบโปรแกรมกับกลุ่มตัวอย่างข้อมูล									↔			
8. สร้างแบบจำลองเพื่อใช้แสดงการเกิดการลัดวงจรในระบบสายส่ง										↔		
9. แก้ไขและปรับปรุงข้อผิดพลาดของโปรแกรมและแบบจำลอง										↔		
10. สรุปและรวบรวมเพื่อเสนอผลงาน											↔	

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถรู้จักการเกิดการฟอลต์แต่ละประเภทในระบบไฟฟ้ากำลัง
2. สามารถรู้จักการตรวจสอบการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทในระบบไฟฟ้ากำลัง
3. สามารถรู้จักอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง
4. สามารถเขียนโปรแกรมอย่างง่ายในการตรวจสอบการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง
5. สามารถรู้จักการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังเบื้องต้น
6. สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาการเกิดฟ่อลต์ในลักษณะต่างๆได้

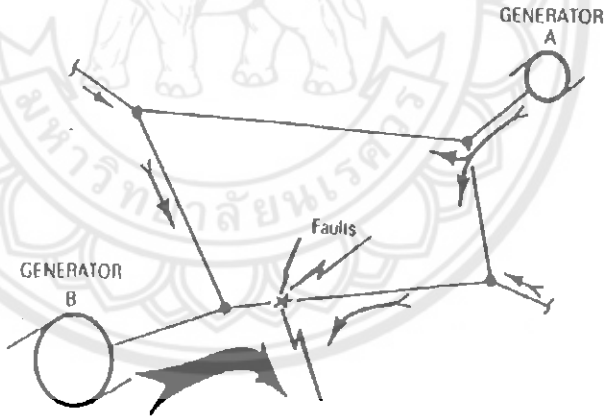
1.6 งบประมาณที่ใช้

1. ค่าเอกสาร 1,000 บาท
2. ค่าศึกษางานนอกสถานที่ 1,500 บาท
3. ค่าวัสดุอุปกรณ์ 1,000 บาท
4. อื่นๆ 1,000 บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

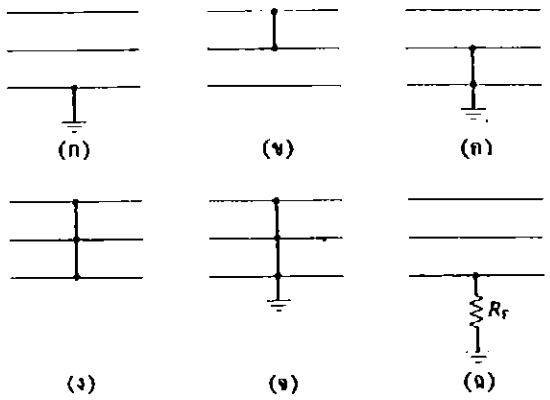
2.1 ประเภทของฟอลต์ (Fault)

โดยทั่วไประบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานกันอยู่จะเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามเฟสสมดุล ซึ่งสิ่งหนึ่งที่ไม่ปรารถนาให้เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลังแต่ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้คือการลัดวงจร (ฟอลต์ : Fault) เป็นความผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น การลัดวงจร หรือ การเปิดวงจรที่สายส่ง สำหรับสาเหตุของการเกิดขึ้นกับระบบยังมีอีกหลายสาเหตุ เช่น ฟ้าผ่าลงสายตัวนำ แรงลมพัดให้ตัวนำเปลือยสัมผัสกัน ต้นไม้พาดลงสายตัวนำ รถยนต์ชนเสาไฟฟ้า เป็นต้น โดยที่เมื่อมีการเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังจะทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังนั้นผิดไปจากสภาวะปกติ ฟอลต์จะนำไปสู่สภาวะการปฏิบัติการที่ไม่ปกติดังเช่น กระแสไฟฟ้าและแรงดันมักมีมากเกินไป ณ จุดบางจุดที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.1 แสดงการลัดวงจรที่สายส่ง

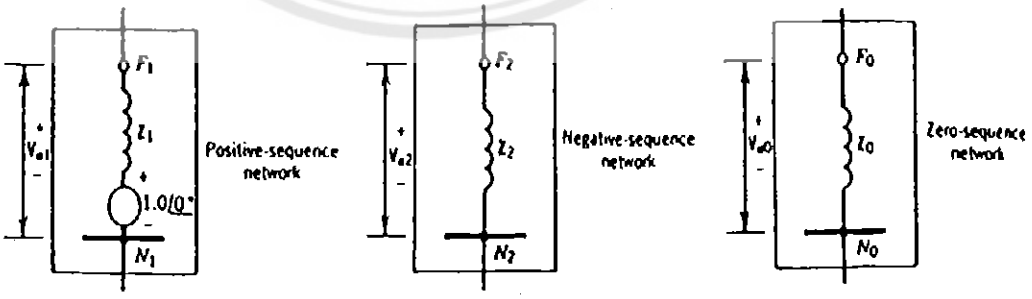
แบบชนิดต่างๆของฟอลต์สามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบในสายส่งดังแสดงวงจรเทียบเคียงอย่างง่ายดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรเทียบเคียงอย่างง่ายของการเกิดฟอลต์ชนิดต่างๆ

ความบ่อยครั้งของการเกิดฟอลต์นั้นจะลดลงจากกรณีชนิดของฟอลต์ของ (ก) ถึง (ฉ) ถึงแม้ว่าชนิดของฟอลต์ในรูปที่ 2.2 (ง) ค่อนข้างที่จะเกิดขึ้นไม่บ่อยนักแต่ฟอลต์ชนิดนี้จะเป็นฟอลต์ชนิดที่ร้ายแรงที่สุด และด้วยเหตุนี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อป้องกันระบบในการศึกษาเรื่องฟอลต์นั้นจะทำการแบ่งฟอลต์เป็น 2 ประเภท คือ ฟอลต์แบบสมมาตรและฟอลต์แบบไม่สมมาตร

การหาแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์ทั้ง 2 ประเภทที่ส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลังทำได้โดยใช้หลักการขององค์ประกอบที่สมมาตรมาพิจารณาที่มีการเรียงลำดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรการเรียงลำดับ

ในสภาพปกติจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระบบไฟฟ้าทุกส่วนเพื่อจ่ายไปยังโหลด แต่เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง กระแสไฟฟ้าจะไหลมายังตำแหน่งดังกล่าวเปรียบเหมือนกับ

ส่วนอื่นๆของระบบไฟฟ้ากำลัง (ซึ่งไม่ใช่ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์) กลายเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

ดังนั้นส่วนประกอบของวงจรที่มีการเรียงลำดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์จึงมีลักษณะคล้ายกับวงจรที่มีการเรียงลำดับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูปที่ 2.3

สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับขององค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟอลต์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

ค่า E_a ในสมการมักกำหนดให้เป็น $1.0\angle 0^\circ$ pu

จากสมการข้างต้นทำให้ทราบว่าการหาแรงดันไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับนั้นต้องทราบค่ากระแสไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับ (I_{a0} , I_{a1} , I_{a2}) เสียก่อน (อิมพีแดนซ์ที่มีการเรียงลำดับมักเป็นค่าที่กำหนดให้) แต่กระแสไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับของฟอลต์แต่ละประเภทจะมีค่าไม่เท่ากัน

สมมติเมื่อทราบค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับแล้ว ให้นำไปแทนค่าในสมการดังนี้

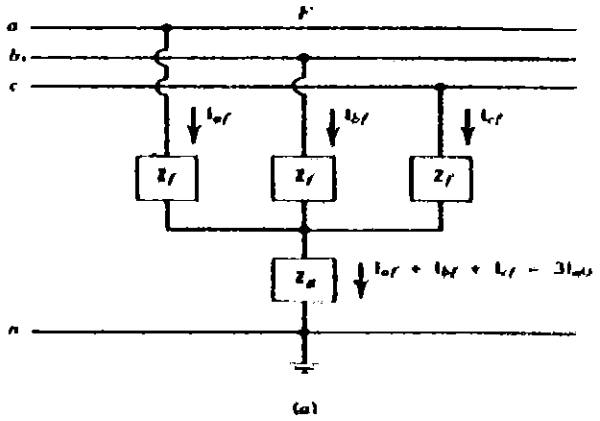
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \qquad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \qquad (2.3)$$

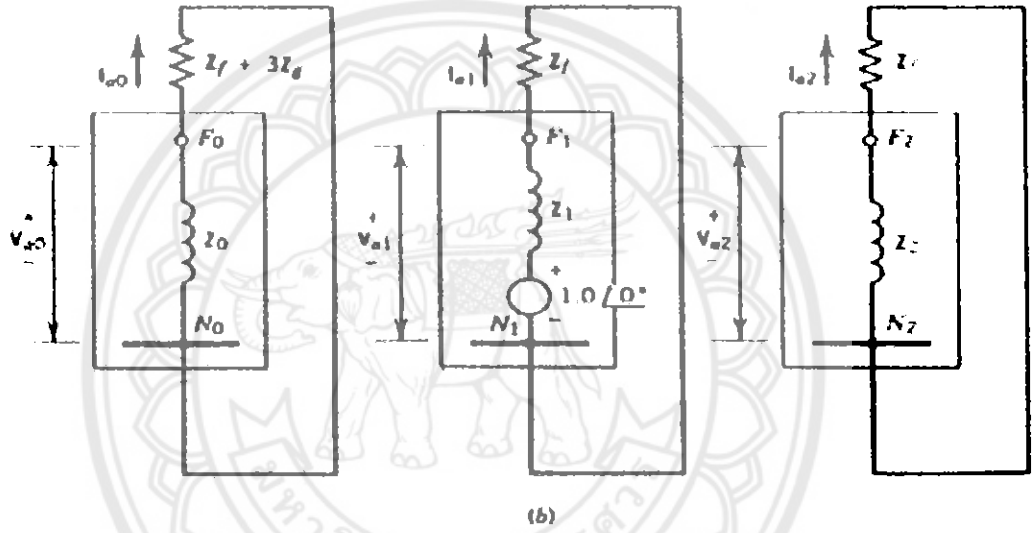
โดยค่า $a = 1\angle 120^\circ$

จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะที่เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบนั้น

2.1 (1) ฟอลต์แบบสมมาตร ได้แก่ ฟอลต์ชนิดสามเฟสสมมาตรเกิดขึ้นเมื่อสายตัวนำทั้ง 3 เส้นตกลงพื้นหรือสายตัวนำ 3 เส้นต่อกับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสที่มีการต่อลงกราวด์



(a)



(b)

รูปที่ 2.4 (a) แสดงวงจรอย่างง่ายของการเกิดฟอลต์สามเฟสแบบสมมาตร
(b) แสดงวงจรที่มีการเรียงลำดับของการเกิดฟอลต์สามเฟสแบบสมมาตร

รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดฟอลต์แบบสามเฟสเนื่องจากฟอลต์ประเภทนี้เป็น**ฟอลต์แบบสมมาตร วงจรที่มีการเรียงลำดับจึงเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 2.4(b) และเมื่อสังเกตจะเห็นว่าวงจรที่มีการเรียงลำดับแบบบวกเท่านั้นที่มีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าดังนั้น**

$$V_{a0} = 0 \; ; \; V_{a2} = 0 \; ; \; I_{a0} = 0 \; ; \; I_{a2} = 0 \; ; \tag{2.4}$$

ถ้าไม่คิดค่าอิมพีแดนซ์ของสายกราวด์ (Zg)

$$I_{a1} = \frac{1.0\angle 0^{\circ}}{Z_1 + Z_f} \tag{2.5}$$

และค่าอิมพีแดนซ์ขณะเกิดฟอลต์ Z_f=0

$$I_{a1} = \frac{1.0\angle 0^\circ}{Z_1} \tag{2.6}$$

แทนสมการที่ 2.4,2.5,2.6 ลงในสมการที่ 2.3 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{a1} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.7}$$

$$I_{a0} = I_{a1} = \frac{1.0\angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f} \tag{2.8}$$

$$I_{a1} = a^2 I_{a1} = \frac{1.0\angle 240^\circ}{Z_1 + Z_f} \tag{2.9}$$

$$I_{a2} = aI_{a1} = \frac{1.0\angle 120^\circ}{Z_1 + Z_f} \tag{2.10}$$

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.4(b) จะพบว่าขณะเกิดฟอลต์ประเภทนี้ อิมพีแดนซ์ที่มีการเรียงลำดับ (Z_0,Z_1 และ Z_2) จะถูกลัดวงจรดังนั้น

$$V_{a0} = 0 \tag{2.11}$$

$$V_{a1} = Z_f I_{a1} \tag{2.12}$$

$$V_{a2} = 0 \tag{2.13}$$

แทนสมการที่ 2.11,2.12,2.13 ลงในสมการที่ 2.2

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

$$V_a = a V_{a1} = Z_f I_{a1} \angle 120^\circ \quad (2.15)$$

$$V_a = V_{a1} = Z_f I_{a1} \quad (2.16)$$

$$V_a = a^2 V_{a1} = Z_f I_{a1} \angle 240^\circ \quad (2.17)$$

หาค่าแรงดันที่สายขณะเกิดฟอลต์ได้ดังนี้

$$V_{ab} = V_a - V_b = V_{a1}(1 - a^2)$$

$$V_{ab} = \sqrt{3} Z_f I_{a1} \angle 0^\circ \quad (2.18)$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = V_{a1}(a^2 - a)$$

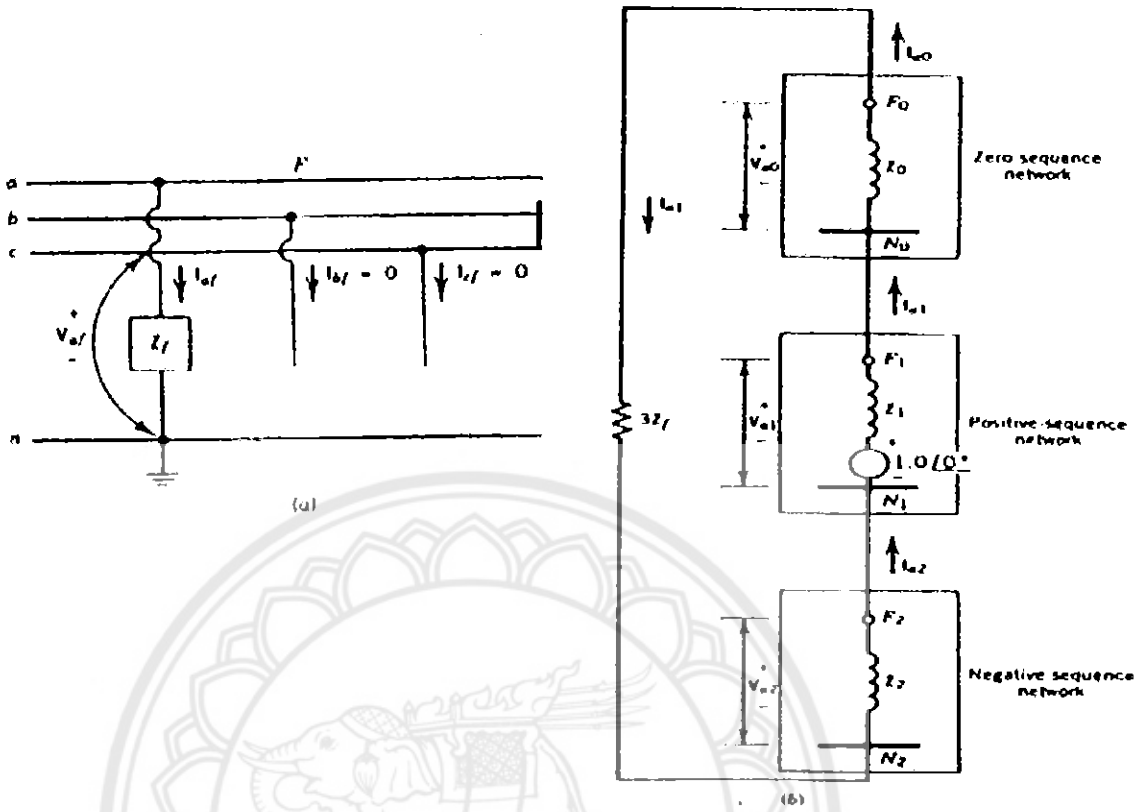
$$V_{bc} = \sqrt{3} Z_f I_{a1} \angle -90^\circ \quad (2.19)$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = V_{a1}(a - 1)$$

$$V_{ca} = \sqrt{3} Z_f I_{a1} \angle 150^\circ \quad (2.20)$$

2.1 (2) ฟอลต์แบบไม่สมมาตร หมายถึงการลัดวงจรในระบบแล้วกระแสในสามเฟสมีขนาดไม่เท่ากันและ/หรือมุมของกระแสไม่ห่างกัน 120 องศา (ซึ่งเกิดบ่อยครั้งมากกว่าฟอลต์ชนิดสามเฟสสมมาตร) ดังนั้นการคำนวณกระแสลัดวงจรจึงไม่สามารถคำนวณจากวงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้จึงต้องใช้วิธีการขององค์ประกอบสมมาตรมาช่วยแปลงระบบลัดวงจรไม่สมมาตรดังกล่าวให้เป็นระบบลัดวงจรสมมาตรจึงสามารถคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้ง่ายซึ่งฟอลต์แบบไม่สมมาตรได้แก่ ฟอลต์เนื่องจากสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์ ฟอลต์เนื่องจากสาย 2 เส้นสัมผัสถึงกันและฟอลต์เนื่องจากสายสองเส้นต่อลงกราวด์

2.1 (2a) ฟอลต์เนื่องจากสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์ (Single Line to Ground Fault ; SLG) ฟอลต์แบบ SLG เกิดขึ้นเมื่อสายตัวนำเส้นหนึ่งตกลงบนพื้น หรือสายตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับสายนิวทรัลหรือลงกราวด์



รูปที่ 2.5 (a) แสดงวงจรอย่างง่ายของการเกิด Single line to ground Fault

(b) แสดงวงจรที่มีการเรียงลำดับของการเกิด Single line to ground Fault

จากรูปที่ 2.5(a) แสดงวงจรเทียบเคียงของสายส่งขณะเกิดฟอลต์เนื่องจากสายตัวนำเฟส a ต่อกราวด์ที่จุด F เขียนวงจรไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับได้ดังรูปที่ 2.5b ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขณะเกิดฟอลต์ประเภทนี้

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} \tag{2.21}$$

ถ้ากำหนดให้ Z_f เป็นอิมพีแดนซ์ขณะเกิดฟอลต์ (Fault Impedance) และแรงดันไฟฟ้า Ea ในสมการ 2.1 มีค่าเท่ากับ 1.0 /0 pu ทำให้กระแสไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับขณะเกิดฟอลต์มีค่าดังนี้คือ

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1.0\angle 0^\circ}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \tag{2.22}$$

จากสมการที่ 2.2 และ จากรูปที่ 2.5 ทำให้ทราบค่า ขณะเกิดฟอลต์ $I_{bf} = I_{cf} = 0$ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่เฟส a ขณะเกิดฟอลต์ (I_{af}) หาค่าได้ดังนี้

$$I_{af} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \tag{2.23}$$

จากสมการที่ 2.21

$$I_{af} = 3I_{a0} = 3I_{a1} = 3I_{a2} \tag{2.24}$$

จากรูปที่ 2.5(a) ทำให้ทราบว่าแรงดันไฟฟ้าที่เฟส a ขณะเกิดฟอลต์ (V_{af}) มีค่าเป็น

$$V_{af} = Z_f I_{af} \tag{2.25}$$

แทนสมการที่ 2.24 ลงในสมการที่ 2.25

$$V_{af} = 3 Z_f I_{a1} \tag{2.26}$$

หรือ

$$V_{af} = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \tag{2.27}$$

$$V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = Z_f I_{a1} \tag{2.28}$$

เมื่อ E_a ในสมการ F มีค่าเท่ากับ $1.0 \angle 0$ pu

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.0\angle 0^\circ \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \tag{2.29}$$

ทำให้ทราบว่าขณะเกิดฟอลต์ชนิดนี้

$$V_{a0} = -Z_0 I_{a0} \tag{2.30}$$

$$V_{a1} = 1 - Z_1 I_{a1} \tag{2.31}$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} \tag{2.32}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟส b และ c ขณะเกิดฟอลต์ จะหาได้จากสมการ

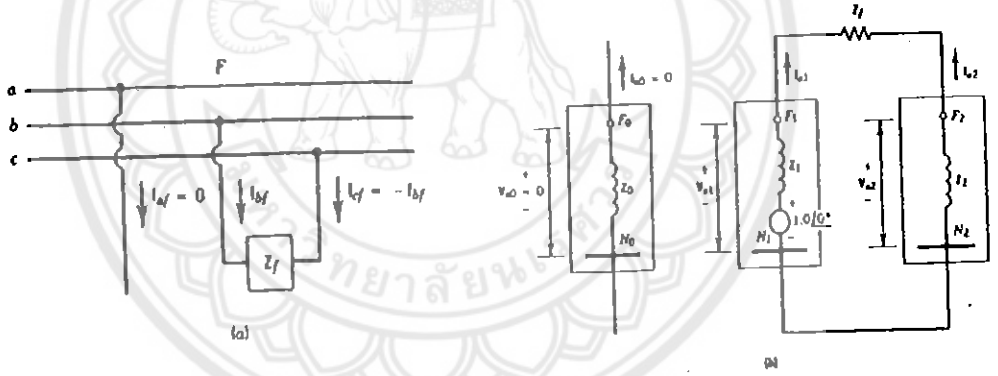
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \tag{2.33}$$

$$V_{bf} = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \tag{2.34}$$

$$V_{cf} = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \tag{2.35}$$

2.1 (2b) ฟอลต์เนื่องจากสาย 2 เส้นสัมผัสถึงกัน (Line to Line Fault ; L-L)

ฟอลต์แบบ L-L เกิดขึ้นเมื่อสายส่ง 2 เส้นสัมผัสถึงกัน ทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น



รูปที่ 2.6 (a) แสดงวงจรอย่างง่ายของการเกิด line to line Fault

(b) แสดงวงจรที่มีการเรียงลำดับของการเกิด line to line Fault

รูปที่ 2.6(a) **แสดงการเกิดฟอลต์แบบ** L-L **ที่ตำแหน่ง** F **โดยเฟส** a **และ** b **สัมผัสถึงกันซึ่งเขียนวงจรไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับได้ดังรูปที่** 2.6(b)

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.6(a) **จะพบว่าขณะเกิดฟอลต์ชนิดนี้**

$$I_{af} = 0 \tag{2.36}$$

$$I_{bf} = -I_{cf} \tag{2.37}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = Z_f I_{af} \tag{2.38}$$

จากรูปที่ 2.6(b) หาค่ากระแสไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับดังนี้

$$I_{a0} = 0 \tag{2.39}$$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{1.0\angle 0^\circ}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \tag{2.40}$$

ถ้า $Z_f = 0$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{1.0\angle 0^\circ}{Z_1 + Z_2} \tag{2.41}$$

แทนสมการที่ 2.39,2.40 ลงในสมการที่ 2.2 จะได้

$$I_{bf} = -I_{cf} = \sqrt{3} I_{a1} \angle -90^\circ \tag{2.42}$$

ในทำนองเดียวกันหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับได้จากการแทนสมการที่ 2.39,2.40ลงใน

สมการที่ 2.29 จะได้

$$V_{a0} = 0 \tag{2.43}$$

$$V_{a1} = 1.0 - Z_1 I_{a1} \tag{2.44}$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} = Z_2 I_{a1} \tag{2.45}$$

แทนสมการที่ 2.43,2.44,2.45 ลงในสมการที่ 2.33 จะได้

$$V_{af} = V_{a1} + V_{a2} \tag{2.46}$$

$$V_{bf} = a^2 V_{a1} + a V_{a2} \tag{2.47}$$

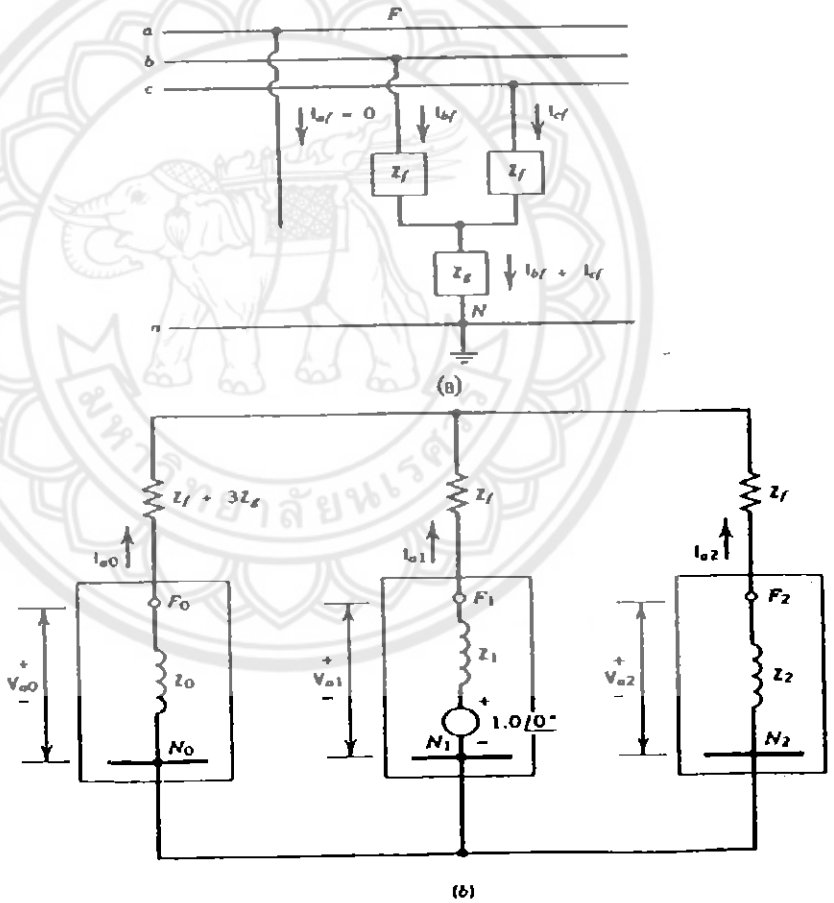
$$V_{a1} = 1.0 + I_{a1}(Z_2 - Z_1) \quad (2.48)$$

$$V_{a1} = a^2 + I_{a1}(aZ_2 - a^2 Z_1) \quad (2.49)$$

$$V_{a1} = 1.0 + I_{a1}(Z_2 + Z_1) \quad (2.50)$$

$$V_{a1} = a + I_{a1}(a^2 Z_2 - aZ_1) \quad (2.51)$$

2.1 (2c) ฟอลต์เนื่องจากสายสองเส้นต่อลงกราวด์ (Double Line to Ground Fault ; DLG) ฟอลต์แบบ DLG เกิดขึ้นเมื่อสายตัวนำ 2 เส้นตกลงบนพื้น หรือสายตัวนำ 2 เส้นต่อกับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้าสามเฟสที่มีการต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.7 (a) แสดงวงจรอย่างง่ายของการเกิด Double line to ground Fault

(b) แสดงวงจรที่มีการเรียงลำดับของการเกิด Double line to ground Fault

รูปที่ 2.7 (a) แสดงการเกิดฟอลต์แบบ DLG ที่ตำแหน่ง F โดยสาย b และc ต่อกราวด์ Z_f เป็นอิมพีแดนซ์ขณะเกิดฟอลต์ และ Z_g เป็นอิมพีแดนซ์จากสายไปยังกราวด์ ส่วนรูปที่ 2.7(b) เป็นวงจรที่มีการเรียงลำดับที่ใช้ในการคำนวณ

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.7 (a) จะพบว่าขณะเกิดฟอลต์ชนิดนี้

$$I_{af} = 0 \tag{2.52}$$

$$V_{bf} = (Z_f + Z_g)I_{bf} + Z_g I_{cf} \tag{2.53}$$

$$V_{cf} = (Z_f + Z_g)I_{cf} + Z_g I_{bf} \tag{2.54}$$

จากรูปที่ 2.7 (b)

$$I_{a1} = \frac{1.0\angle 0^\circ}{(Z_1 + Z_g) + \dfrac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g}} \tag{2.55}$$

จากกฎการแบ่งกระแสไฟฟ้า

$$I_{a2} = -\left\{\frac{(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)}\right\} I_{a1} \tag{2.56}$$

$$I_{a0} = -\left\{\frac{(Z_2 + Z_f)}{(Z_2 + Z_f) + (3Z_g + Z_0 + Z_f)}\right\} I_{a1} \tag{2.57}$$

หรือใช้วิธีย้ายค่าดังนี้

$$I_{af} = 0 = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \tag{2.58}$$

ถ้าทราบค่า I_{a1} และ I_{a2} จะได้

$$I_{a0} = -(I_{a1} + I_{a2}) \tag{2.59}$$

ในกรณี $Z_f = 0$ และ $Z_g = 0$ จะหาค่ากระแสไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับได้จาก

$$I_{a1} = \frac{1.0\angle 0^{\circ}}{Z_1 + (Z_0 \times Z_2)/(Z_0 + Z_2)} \tag{2.60}$$

$$I_{a2} = -\left(\frac{Z_0}{Z_0 + Z_2}\right) I_{a1} \tag{2.61}$$

$$I_{a0} = -\left(\frac{Z_2}{Z_0 + Z_2}\right) I_{a1} \tag{2.62}$$

หาค่ากระแสไฟฟ้าที่เฟส b และ c ขณะเกิดฟอลต์โดยการแทนสมการที่ 2.55,2.56,2.57 ลงในสมการที่ 2.3 จะได้

$$I_{bf} = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \tag{2.63}$$

$$I_{cf} = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \tag{2.64}$$

จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้ารวมที่ไหลในสายนิวทรัลขณะเกิดฟอลต์ คือ

$$I_n = I_{bf} + I_{cf} = 3I_{a0} \tag{2.65}$$

หาค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับโดยแทนสมการที่ 2.55,2.56, 2.57 ลงในสมการที่ 2.29 จะได้

$$V_{a0} = -Z_0 I_{a0} \tag{2.66}$$

$$V_{a1} = 1.0 - Z_1 I_{a0} \tag{2.67}$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} \tag{2.68}$$

จากสมการที่ 2.33

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \tag{2.69}$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + aV_{a2} \tag{2.70}$$

$$V_c = V_{a0} + aV_{a1} + a^2 V_{a2} \tag{2.71}$$

หรืออีกวิธีหนึ่งคือ หาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เฟส b และ c ขณะเกิดฟอลต์ (V_{bf} และ V_{cf}) จากสมการ ที่ 2.53 และสมการที่ 2.54 ซึ่งทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สายขณะเกิดฟอลต์ได้ดังนี้

$$V_{caf} = V_{cf} - V_{af} \tag{2.72}$$

$$V_{bcf} = V_{bf} - V_{cf} \tag{2.73}$$

$$V_{caf} = V_{cf} - V_{af} \tag{2.74}$$

กรณี $Z_f = 0$ และ $Z_g = 0$ แรงดันไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับจะมีค่าเป็น

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = 1.0 - Z_1 I_{a1} \tag{2.75}$$

เราหาค่า I_{a1} จากสมการที่ 2.60 ส่วน I_{a2} และ I_{a0} จะหาค่าได้ก็ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีการเรียงลำดับ จากสมการที่ 2.75

$$I_{a2} = -\frac{V_{a2}}{Z_2} \tag{2.76}$$

$$I_{a0} = -\frac{V_{a0}}{Z_0} \tag{2.77}$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.75 แรงดันไฟฟ้าที่เฟสขณะเกิดฟอลต์ที่แสดงในสมการที่ 2.69,2.70,2.71 จึงมีค่าเป็น

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 3V_{a1} \tag{2.78}$$

$$V_{kf} = V_{nf} = 0 \tag{2.79}$$

ดังนั้นจึงหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่สายขณะเกิดฟอลต์ได้ดังนี้

$$V_{abf} = V_{af} - V_{bf} = V_{af} \tag{2.80}$$

$$V_{bcf} = V_{bcf} - V_{cf} = 0 \tag{2.81}$$

$$V_{caf} = V_{cf} - V_{af} = -V_{af} \tag{2.82}$$

2.2 การคำนวณแรงดันและกระแสลัดวงจรโดยใช้บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบที่มีขนาดใหญ่จะค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนเนื่องจากวงจรที่มีการต่อเชื่อมกันมากมายและมีแหล่งจ่ายหลายแหล่งดังนั้นจะเป็นการง่ายกว่าที่จะแทนวงจรด้วยบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ บัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์เป็นเมตริกซ์โครงข่ายชนิดหนึ่งซึ่งแสดงการต่อกันของวงจรระหว่างบัสต่างๆและยังแสดงค่าอิมพิแดนซ์ในส่วนต่างๆของวงจรอีกด้วย พิจารณาวงจรที่ประกอบด้วย n Nodes

จากกฎของเคอร์ชอฟต์เราสามารถเขียนแรงดันที่ Node ใดๆในรูปของกระแสที่ออกจาก Node นั้นๆได้ดังสมการ

$$V = Z_{bus} I \tag{2.83}$$

โดย V เป็น Column Vectors ของแรงดันที่บัสต่างๆ

I เป็น Columnn Vector ของกระแสที่ออกจากบัสต่างๆ จากแหล่งจ่ายกระแส

สมการข้างต้นสามารถเขียนได้ในรูป

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ . \\ . \\ . \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ . & . & . & \\ . & . & . & \\ . & . & . & \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ . \\ . \\ . \\ I_n \end{bmatrix} \tag{2.84}$$

จัดรูปได้เป็น

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \ldots + Z_{1n}I_n \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \ldots + Z_{2n}I_n \\ &\vdots \\ V_n &= Z_{n1} + Z_{n2}I_2 + \ldots + Z_{nn}I_n \end{aligned} \qquad (2.85)$$

จากสมการทั้งสองจะได้ว่า

$$Z_{bus} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} \qquad (2.86)$$

โดย Z_{bus} คือ Bus Impedance Matrix

วิธีการ From Z_{bus} สามารถทำได้หลายวิธี อาธิเช่น

1. การหา Z_{bus} โดยการเปลี่ยนแปลงจาก Inverse Admittance Matrix (Y_{bus})
2. การ From Z_{bus} โดยใช้การทำทีละหนึ่งขั้นตอนแยกออกเป็น
   - -การเพิ่ม Branch
   - -การเพิ่ม link

การคำนวณกระแส Short Circuit สำหรับวงจร 3 Phase ที่สมดุลโดยใช้ Z_{bus}

1. Balance 3 Phase fault

สูตรในการคำนวณกระแส Fault เมื่อเกิด Fault ที่ Bus n ใดๆ แสดงได้ดังนี้

$$I_{n-1} = \frac{V_F}{Z_{nn-1}} \qquad (2.87)$$

$$I_{n-0} = I_{n-2} = 0$$

และ แรงดันที่ Bus k ใดๆ เมื่อเกิด Fault ที่ Bus n หาได้ดังนี้

$$V_i = V_F\left(1-\frac{Z_{in}}{Z_{nn}}\right) \tag{2.88}$$

2. Single line to Ground Fault

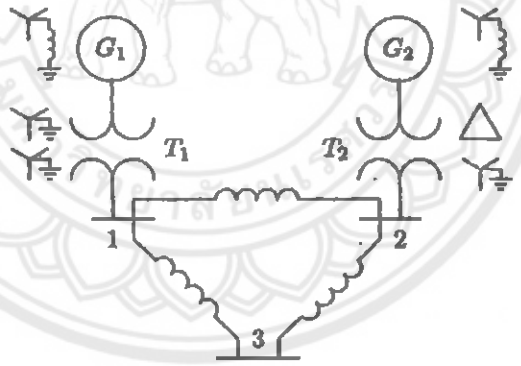
สูตรในการคำนวณกระแส fualt เมื่อเกิด Fault ที่ Bus n ใดๆ แสดงได้ดังนี้

$$I_{n0} = I_{n1} = I_{n2} = \frac{V_F}{Z_{nn0} + Z_{nn1} + Z_{nn0} + 3Z_F} \tag{2.89}$$

และ แรงดันที่ Bus k ใดๆ เมื่อเกิด Fault ที่ Bus n หาได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_{k0} \\ V_{k1} \\ V_{k2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_k \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{kn0} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{kn1} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{kn0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{n0} \\ I_{n1} \\ I_{n2} \end{bmatrix} \tag{2.90}$$

ตัวอย่างแสดงการคำนวณเมื่อเกิดฟอลต์แต่ละชนิด



รูปที่ 2.8 รูปตัวอย่าง แสดงการคำนวณเมื่อเกิดฟอลต์แต่ละชนิด

โจทย์ จาก one-line diagram แสดงดังรูป 2.8 generator ถูกต่อลง ground โดยมีกระแสจำกัดที่ 0.25/3 per unit บนเบส 100-MVA และgenerator ไม่จ่ายโหลด โดยค่าต่างๆของระบบแสดงในตาราง

หากระแสไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์แบบต่างๆ

a) เกิดฟอลต์แบบสามเฟสที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=j0.1 pu

b) เกิดฟอลต์แบบ single line-to-ground ที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=j0.10 pu

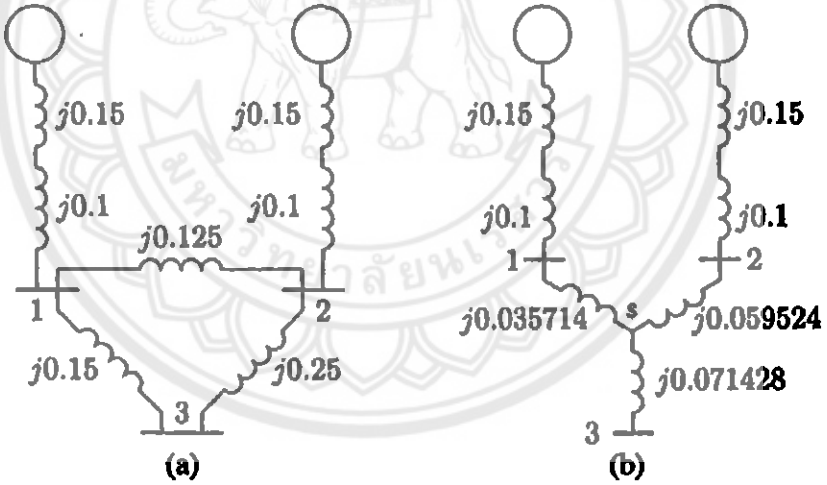
c) เกิดฟอลต์แบบ line-to-line ที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=j0.1 pu

d) เกิดฟอลต์แบบ double line-to-ground fault ที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=j0.1 pu

Item	Base MVA	Voltage Rating	X^1	X^2	X^0
G_1	100	20kV	0.15	0.15	0.05
G_2	100	20kV	0.15	0.15	0.05
T_1	100	20/220kV	0.10	0.10	0.10
T_2	100	20/220kV	0.10	0.10	0.10
L_{12}	100	220kV	0.125	0.125	0.30
L_{13}	100	220kV	0.15	0.15	0.35
L_{23}	100	220kV	0.25	0.25	0.71

ตารางที่ 2.1 ค่าต่างๆของระบบตัวอย่าง

เขียนวงจรแสดงลำดับบวกได้ดังรูป



รูปที่ 2.9 เขียนวงจรแสดงลำดับบวก

หา Thevenin impedance viewed จากฟอลต์ bus (bus 3), เราสามารถแปลงวงจร delta จาก buses 1,2,3 เป็น วงจร Y ดังแสดงในรูปตัวอย่างที่ 2.9

$$Z_{1s} = \frac{(j0.125)(j0.15)}{j0.525} = j0.0357143$$

$$Z_{2s} = \frac{(j0.125)(j0.25)}{j0.525} = j0.0595238$$

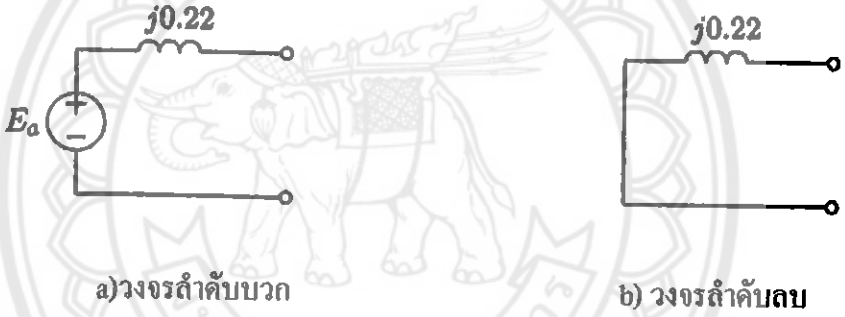
$$Z_{,,} = \frac{(j0.15)(j0.25)}{j0.525} = j0.0714286$$

จะได้ Thevenin impedance ของลำดับบวก

$$Z'_{,,} = \frac{(j0.2857143)(j0.3095238)}{j0.7339449} + j0.0714286$$

$$= j0.1485714 + j0.0714286$$

$$= j0.22$$



a)วงจรลำดับบวก b) วงจรลำดับลบ

รูปที่ 2.10 Thevenin impedance ของลำดับบวก

impedance ของลำดับลบ เหมือนกับ impedance ของลำดับบวกจะได้

$$Z^2_{,,} = Z'_{,,} = j0.22$$

หา Thevenin impedance จากฟอลต์ bus (bus 3), เราสามารถแปลงวงจร delta จาก buses 1,2,3 เป็น วงจร Y ดังแสดงในรูปตัวอย่างที่ 2.11

$$Z_{,,} = \frac{(j0.30)(j0.35)}{j1.3625} = j0.0770642$$

$$Z_{,,} = \frac{(j0.30)(j0.7125)}{j1.3625} = j0.1568807$$

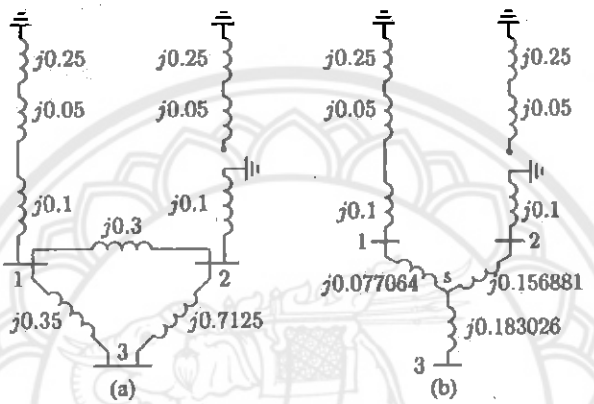
จะได้ Thevenin impedanceของลำดับศูนย์

$$Z_{11} = \frac{(j0.35)(j0.7125)}{j1.3625} = j0.1830257$$

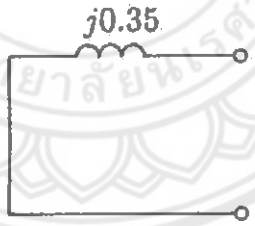
$$Z^{*}_{33} = \frac{(j0.4770642)(j0.2568807)}{j0.7339449} + j0.1830275$$

$$= j0.1669725 + j0.1830275$$

$$= j0.35$$



รูปที่ 2.11 Thevenin impedance ของลำดับศูนย์



รูปที่ 2.12 impedance ของลำดับศูนย์

a) เกิดฟอลต์แบบสามเฟสที่ bus 3

สมมติว่า generater ไม่จ่ายโหลด $Z_f = 1.0$ pu , กระแสขณะเกิดฟอลต์คือ

$$I_3^{*}(F) = \frac{V_{3(0)}^{*}}{Z_{33}^{1} + Z_f} = \frac{1.0}{j0.22 + j0.1} = -j3.125 \text{ pu}$$

$$= 820.1 \angle -90^{\circ} \text{ A}$$

b) เกิดฟอลต์แบบ single line-to-ground ที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=j0.10 pu

หากระแสได้

$$I_3^0 = I_3^1 = I_3^2 = \frac{V_3^f(0)}{Z_{33}^1 + Z_{33}^2 + Z_{33}^0 + 3Z_f}$$

$$= \frac{1.0}{j0.22 + j0.22 + j0.35 + 3(j0.1)}$$

$$= -j0.9174 \quad pu$$

กระแสไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์

$$\begin{bmatrix} I_3^a \\ I_3^b \\ I_3^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_3^0 \\ I_3^0 \\ I_3^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3I_3^0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j2.7523 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

c) เกิดฟอลต์แบบ line-to-line ที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=j0.1 pu

จากวงจรลำดับศูนย์

$$I_3^0 = 0$$

จะได้

$$I_3^1 = -I_3^2 = \frac{V_3^f(0)}{Z_{33}^1 + Z_{33}^2 + Z_f}$$

$$= \frac{1.0}{j0.22 + j0.22 + j0.1}$$

$$= -j1.8519 \quad pu$$

กระแสไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์

$$\begin{bmatrix} I_3^a \\ I_3^b \\ I_3^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j1.8519 \\ -j1.8519 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -3.2075 \\ 3.2075 \end{bmatrix}$$

ส 9 S.A. 2547 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ 4700171

d) เกิดฟอลต์แบบ double line-to-ground fault ที่ bus 3 โดยที่ fault impedance Z_f=jo.1 pu

กระแสไฟฟ้าของลำดับบวก

$$I_3^1 = -I_3^2 = \frac{V_3^*(0)}{Z_{33}^1 + \dfrac{Z_{33}^2(Z_{33}^0 + 3Z_f)}{Z_{33}^2 + Z_{33}^0 + 3Z_f}}$$

$$= \frac{1.0}{j0.22 + \dfrac{j0.22\,(j0.35 + j0.3)}{j0.22 + j0.35 + j0.3}}$$

$$= -j2.6017 \quad pu$$

กระแสไฟฟ้าของลำดับลบ

$$I_3^2 = \frac{V_3^*(0) - Z_{33}^1 I_3^1}{Z_{33}^2}$$

$$= \frac{1 - (j0.22)(-j2.6017)}{j0.22}$$

$$= j1.9438 \quad pu$$

กระแสไฟฟ้าของลำดับศูนย์

$$I_3^0 = -\frac{V_3^*(0) - Z_{33}^1 I_3^1}{Z_{33}^2 + 3Z_f}$$

$$= \frac{1 - (j0.22)(-j2.6017)}{j0.22}$$

$$= j1.9438 \quad pu$$

และหากระแสไฟฟ้าของเฟสจาก

$$\begin{bmatrix} I_3^a \\ I_3^b \\ I_3^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j0.6579 \\ -j2.607 \\ j1.9438 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -4.058\angle 165.93^\circ \\ 4.058\angle 14.07^\circ \end{bmatrix}$$

กระแสไฟฟ้าขณะฟอลต์

$$I_3(F) = I_3' + I_3'' = 1.9732 \angle 90^\circ A$$

จากตัวอย่างข้างต้นพอที่จะสรุปกระแสฟอลต์และแรงดันขณะเกิดฟอลต์

กำหนดให้

I_1 คือ กระแสฟอลต์ที่เกิดจากฟอลต์แบบสมมาตร

I_2 คือ กระแสฟอลต์ที่เกิดจากฟอลต์แบบสายเส้นเดียวลงกราวด์

I_3 คือ กระแสฟอลต์ที่เกิดจากฟอลต์แบบสายสองสายชนกัน

I_4 คือ กระแสฟอลต์ที่เกิดจากฟอลต์แบบสายสองเส้นลงกราวด์

V_1 คือ แรงดันที่เกิดจากฟอลต์แบบสมมาตร

V_2 คือ แรงดันที่เกิดจากฟอลต์แบบสายเส้นเดียวลงกราวด์

V_3 คือ แรงดันที่เกิดจากฟอลต์แบบสายสองสายชนกัน

V_4 คือ แรงดันที่เกิดจากฟอลต์แบบสายสองเส้นลงกราวด์

สามารถสรุปได้ดังนี้

$$I_1 > I_3 > I_4 > I_2$$

$$V_2 > V_4 > V_3 > V_1$$

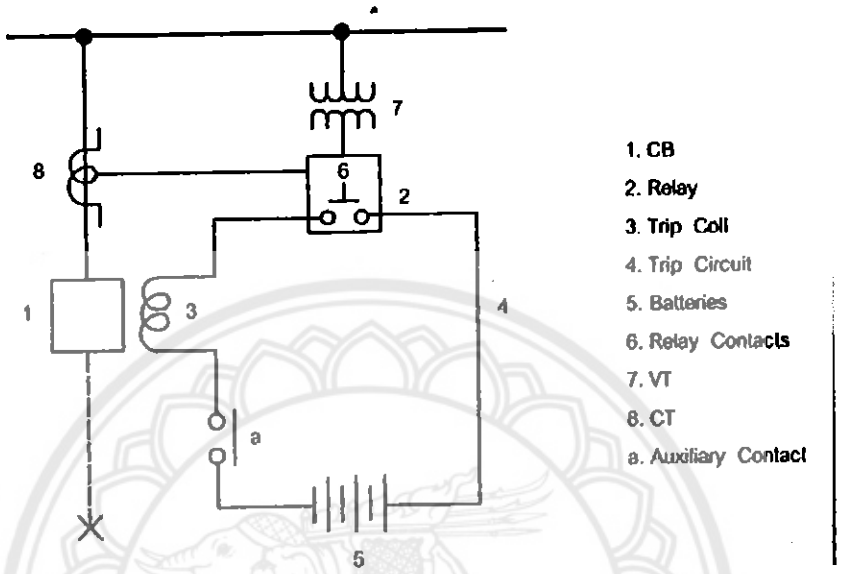
ดังนั้นเมื่อเราทราบถึงฟอลต์ในลักษณะต่างๆ และทราบถึงพื้นฐานของการคำนวณกระแส และโวลต์ในขณะที่มีการเกิดฟอลต์ขึ้นแล้วเราจะนำพื้นฐานเหล่านี้ไปศึกษาระบบป้องกันไฟฟ้ากำลังและการหาแนวทางป้องกันระบบไฟฟ้าได้

การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังมีความจำเป็นอย่างมากทั้งนี้ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการที่หนึ่งป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในระบบ และประการที่สองคือ ตัดตอนส่วนของระบบที่มีปัญหาออกจากระบบใหญ่เพื่อยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ผู้ใช้ส่วนใหญ่ได้

การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังมีตั้งแต่การป้องกันแบบง่ายๆ เช่น การใช้อุปกรณ์ฟิวส์ หรือ เบรกเกอร์ที่สั่งงานด้วยกระแสรีเลย์แบบกระแสเกินไปจนถึงการป้องกันที่ยุ่งยากที่ต้องใช้ระบบอิเล็กโทรนิคส์เข้ามาช่วย

2.3 การป้องกันระบบไฟฟ้า

ระบบป้องกันประกอบด้วยอุปกรณ์หลายอย่างดังแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบของระบบป้องกัน

ตัวอย่างของระบบป้องกันแสดงดังรูปที่ 2.13 จะประกอบด้วย Circuit breaker(1) อักษร x แทน วงจรที่ต้องการป้องกันซึ่งในรูปเป็นเส้นประ เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในวงจรที่ต้องการป้องกัน Relay (2) ซึ่งรับสัญญาณมาจาก VT (7) และ CT (8) แล้ว Contact ของ Relay (6) จะเคลื่อนที่ปิดเข้าหากัน เมื่อ Contact ปิดจะมีกระแสไหลจากแบตเตอรี่ (5) ในวงจรทริพ (4) เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด ทริพ ของ Circuit breaker (3) Circuit Breaker จะเปิดวงจรเพื่อตัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า

ระบบป้องกันโดยทั่วไป จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

Circuit Breaker,CB

Protective Relay

Trip Circuit

Current Transformer:CT,Voltage Transformer;VT

2.3 (1) Protective Relay

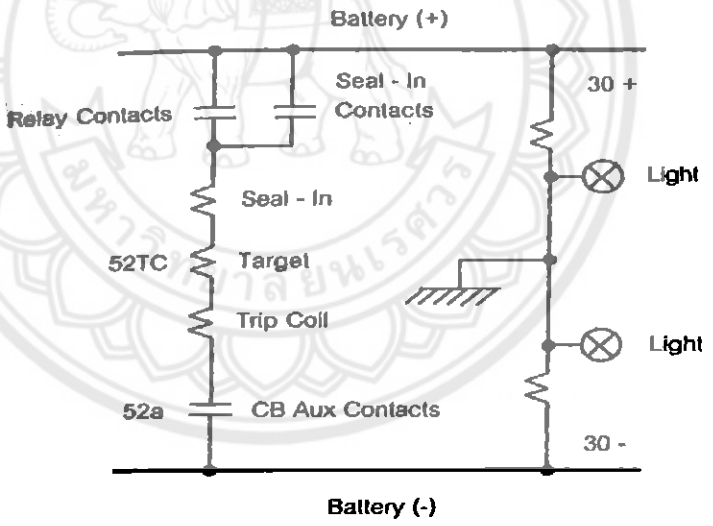
คืออุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรับการกระตุ้น จากสัญญาณที่แปลงมาจากระบบไฟฟ้า ผ่านทางหม้อแปลงกระแสและ/หรือหม้อแปลงแรงดัน Relay จะตรวจจับภาวะผิดปกติ โดย

ทำการวัดปริมาณทางไฟฟ้าตลอดเวลาค่าที่วัดได้ในภาวะปกติและภาวะผิดปกติจะแตกต่างกัน ปริมาณทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดภาวะผิดปกติ ได้แก่ แรงดันกระแส ความถี่ มุมทางไฟฟ้า Relay อาจจะมีสัญญาณเข้าหนึ่งอย่าง หรือมากกว่าหนึ่งอย่างก็ได้ ขึ้นกับชนิดของ Relay เมื่อขนาดของสัญญาณมีค่าถึงขนาดที่กำหนดให้ Relay ทำงาน หน้าสัมผัสของRelay จะปิดทำให้วงจรทริพครบวงจรทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดทำงานของ CB ทำให้แยกหน้าสัมผัสออกจากกัน

2.3 (2) Trip Circuit และ Batteries

วงจรทริพจะประกอบด้วยสายไฟและแบตเตอรี่ ซึ่งป้อนกระแสเข้าสู่ขดลวดของ Circuit Breaker นอกจากนี้ยังอาจมี Relay อื่นๆประกอบด้วย Time Delay หรือ Auxiliary Relay เป็นต้น จากรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงวงจรควบคุมการทริพอย่างง่าย สามารถอธิบายดังนี้

เมื่อ CB อยู่ในสถานะ ON ,Contact 52a จะ Close หากเกิดฟอลต์ในบริเวณที่ป้องกัน Relay ที่ทำหน้าที่ป้องกันจะเห็นฟอลต์ และส่งสัญญาณให้ Relay contact ในวงจรทริพ ทำการ Close ซึ่งจะเห็นได้ว่าครบวงจร ดังนั้นจึงมีกระแสไหลผ่าน TripCoil ของ CB ทำให้ CB เปิดวงจร



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทริพ

จากรูปจะเห็นว่าได้ว่าเมื่อ Relay Contact อยู่ในสถานะ Close จะทำให้มีกระแสไหลผ่าน Seal-In Coil ซึ่งทำให้ Seal-In Coil ทำการ Close โดยประโยชน์ของส่วน Seal-In นี้คือ จะช่วยแบ่งกระแสที่ไหลผ่าน Relay Contact ทำให้ช่วยยืดอายุการใช้งานของ Relay Contact ได้

ในส่วนของวงจร Target ในรูปจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ เช่น Flag ซึ่งเตือนให้ Opertor

ทราบว่าเกิดฟอลต์ขึ้นและจากรูปจะเห็นได้ว่า หลอดไฟ (Light) ซึ่งมีอยู่ 2 ดวง จะเป็นตัวตรวจสอบว่ามีการเกิด Ground Fault ในส่วนของวงจร Trip Circuit หรือไม่ กล่าวคือ ถ้าดวงไฟยังสว่าง 2 ดวง วงจรก็ยังทำงานเป็นปกติ แต่ถ้ามีดวงไฟดวงหนึ่งดับไป แสดงว่าเกิดGround Fault ขึ้น

โดยทั่วไป Trip Circuit จะใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ การที่จะทำให้ Relay มีคำสั่งไป Trip Circuit Breaker โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจากสถานีส่งจ่ายกำลังนั้น เป็นเรื่องที่ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง เพราะ ในกรณี Fault บางกรณีเช่น Tree Phase Fault จะไม่มีแรงดันในสถานีไฟฟ้าเลย ซึ่งทำให้ไม่มีแหล่งพลังงานไฟฟ้าไปให้ Equipment ต่างๆในสถานีทำงาน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายพลังงาน ซึ่งแบตเตอรี่จะต่อถาวรกับตัว Charger และตัว Charger นี้จะคอย Charge ให้แบตเตอรี่มีแรงดันทำงานคงที่อยู่ตลอดเวลา แต่ในกรณีที่ไฟดับ แบตเตอรี่ควรจ่ายไฟได้อย่างน้อย 8-10 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง และในระบบ EHV จะมีการแยกแบตเตอรี่และ Charger ของ Equipment เป็นชุดๆไป และเป็นที่ทราบกันดีว่าElectromechanical Relay นั้นจะทำให้เกิด Transients ขึ้นในระบบ ซึ่งบางครั้งจะมีผลรบกวนทำให้ Relay ทำงานผิดพลาด จะเป็นการดีถ้าจะมีการแยกชุดแบตเตอรี่ เป็น 2 ชุด เมื่อใช้กับ Electromechanical Relay และ Solid State Relay โดยไม่ใช้ ร่วมกัน

2.3 (3) Current Transformer ; CT, Voltage Transformer ; VT

หม้อแปลงกระแส (Current Transformer ,CT) และหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer ,VT) ทำหน้าที่แปลงกระแสและแรงดันที่มีแรงดันที่มีปริมาณมากๆที่แรงดันสูงให้เป็นกระแสและแรงดันที่มีปริมาณน้อยๆ ที่แรงดันต่ำเพื่อให้สามารถป้อนเข้าสู่ Relay ได้ โดยทั่วไปกระแสจะมีขนาดมาตรฐานที่ 1A หรือ 5A สำหรับหม้อแปลงกระแส และแรงดันที่ 110V หรือ 120V สำหรับหม้อแปลงแรงดัน

2.4 คุณสมบัติของระบบป้องกัน

ตอนนี้เราทราบถึงประโยชน์ของ Relay ในการที่จะช่วยกำจัดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบและรูปแบบมาตรฐาน ในขณะที่เราจะออกแบบระบบป้องกันไฟฟ้านั้น มีลักษณะคุณสมบัติที่เราพึงหวังจากอุปกรณ์ Relay ซึ่งผู้ใช้งานต้องทำความเข้าใจ เพื่อที่จะสามารถออกแบบใช้งานได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ระบบป้องกันที่ดีควรมีลักษณะที่ดีดังนี้

- Reliarbility,Dependability,Security
- Selectivity
- Speed
- Simplicity
- Economics

Reliability หมายถึง ความเชื่อถือได้ในความแน่นอนของ Relay ในขณะทำงานว่ามันสามารถทำงานได้จริง ซึ่งเมื่อกล่างถึง Reliarbility ต้องพูดถึงอีก 2 อย่างคือ

Dependability หมายถึง การที่ระบบป้องกันต้องทำงานถูกต้องทุกครั้งที่เกิด Fault และ ต้องทำงานถูกต้องสำหรับ Fault ทุกแบบด้วย และต้องทำงานได้ในขณะที่ต้องการให้ทำงาน เช่น อาจต้องทำงานซ้ำๆกัน หลายๆครั้งในช่วงเวลาที่สั้นหรืออาจจะต้องทำงาน แม้ว่าจะไม่ได้ทำงานมาเป็นระยะเวลานานแล้วก็ตาม

Security หมายถึง ระบบป้องกันต้องไม่ทำงาน เมื่อไม้ต้องการให้ทำงาน เช่น จะต้องไม่ทำงานในภาวะโหลดปกติ หรือเกิดภาวะ transiens ชั่วขณะ หรือ เมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตการป้องกันการตัดวงจรโดยไม่จำเป็นจะส่งผลให้เกิดความเสียหายทางเศรษกิจ

หากมองระบบไฟฟ้าแล้ว ทุกระบบพยายามที่จะทำให้มี Dependability สูง ซึ่งจะส่งผลให้ความสัมพันธ์ของ Security น้อยลง ซึ่งก็มาจากความเป็นจริงที่ว่า ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันที่มี ความเป็น Network หรือ Ring main มากขึ้น ซึ่งพลังงานไฟฟ้ามีไว้หลายทาง ในระบบความต้องการที่จะClear fault ให้ถูกต้องโดยให้ Path ที่ไม่เกี่ยวข้องกับฟอลต์ยังคงใช้งานได้อยู่นั้น มีความสัมพันธ์มาเป็นอันดับแรก และการที่จะ Clear Fault ให้ได้โดยไม่สนใจว่า มีกี่ Path ที่ต้องดับไปด้วยนั้น เป็นความสำคัญที่รองลงมา ซึ่งปรัชญานี้ยังใช้ได้ดี

Selectivity หมายถึง Security ซึ่งจะเป็นแบบจำกัด(Close) หรือไม่จำกัด (Open) ก็ได้ หรืออาจกล่าวอีกแบบได้ว่า Selectivity ก็คือ การที่ใช้ Relay ทำงานใน Zone ที่ออกแบบให้ทำงานนั้นเอง ซึ่งโดยมาก ขอบเขตของ Zone นี้ จะมี 2 Equipment ที่สำคัญอุปกรณ์ตัดตอน ซึ่งมักหมายถึง Circuit Breaker และ Transmitter ซึ่งมักหมายถึง CT (Current Transformer) และขอบเขตของ Zone จะถูกจำกัดโดยบริเวณที่ติดตั้ง CT นั่นเองซึ่งการทำงานภายใน Zone ก็คือมี CT เป็นตัวรับสัญญาณ Faults มาแล้วมี CB เป็นตัวตัดตอนแยก Faults ออกจากระบบ

Speed ระบบป้องกันจะต้องสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วพอที่อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบยัง ไม่เสียหาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วยิ่งทำงานเร็วเท่าไหร่อุปกรณ์ก็จะได้รับความปลอดภัย แต่ในบางครั้งเพื่อให้มีการทำงานประสานกันอาจจะต้องมีการหน่วงเวลาบ้างพอสมควร

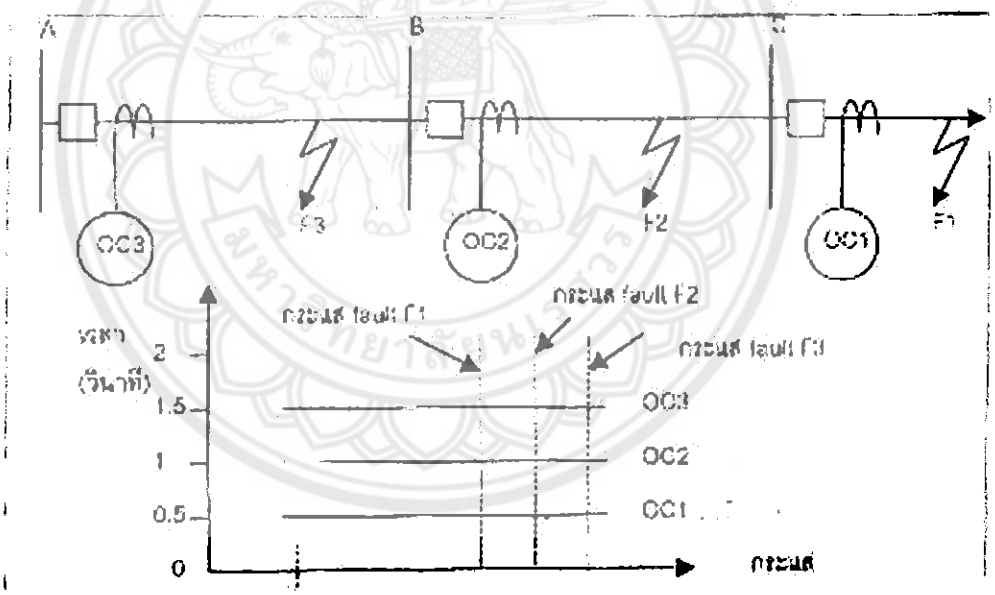
รีเลย์ที่นิยมใช้ รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay)[50,51,50/51,51V] รีเลย์กระแสเกินเป็นรีเลย์ที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในการป้องกันกระแสเกินที่เกิดจากการลัดวงจรในกระแสไฟฟ้ากำลังในสถานประกอบการทุกแบบ เช่น สถานีไฟฟ้าย่อย อาคารขนาดใหญ่ และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยมีทั้งชนิด Electromechanical Relay และ Static Relay รีเลย์ชนิดนี้จะทำงานเมื่อมีกระแสเกินค่าที่กำหนดไว้ คือค่า Pick up โดยในเวลาการทำงานอาจจะทำงานทันทีในเวลา 10ms-40ms เรียกว่า แบบ Instantaneous Overcurrent Relay (50) หรือมีการทำงานหน่วงเวลา เรียกว่า Time Delay Overcurrent Relay (51)

2.5 การป้องกันสายส่ง (Transmission line Protection)

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดในสายส่งและเกิดมากที่สุดในบรรดาอุปกรณ์ต่างๆ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นชั่วคราว ธรรมชาติของ ฟอลต์ ที่เกิดขึ้นแรงดันที่วัดได้จาก รีเลย์จะตกลงค่าปกติ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิด ฟอลต์ ยิ่งจุดที่เกิดฟอลต์ ค่าแรงดันตกเป็นศูนย์ ส่วนกระแสจะสูงขึ้นมากกว่าปกติ ทั้งแรงดันและกระแสที่เกิด ฟอลต์ จะเป็นสัดส่วนกับอิมพิแดนซ์ในสายส่งที่วัดได้ กล่าวคือ กระแสจะสูงขึ้นเมื่อฟอลต์เกิดใกล้กับรีเลย์ และ กระแสฟอลต์จะน้อยลงเมื่อฟอลต์เกิดห่างจากรีเลย์สำหรับแรงดันจะมีค่ามากเมื่อห่างจากจุดฟอลต์

ระบบป้องกันสายส่งมีหลายระดับ ที่นิยมใช้คือ distance relay จะใช้กับระบบจ่ายไฟที่ต้องการความเชื่อถือสูง รองลงมาเป็นการใช้ overcurrent relay หรือ recloser ที่มีระบบป้องกัน overcurrent ภายในสำหรับระบบจ่าย และใช้ฟิวส์ และใช้ ฟิวส์ระบบแรงต่ำทั่วไป

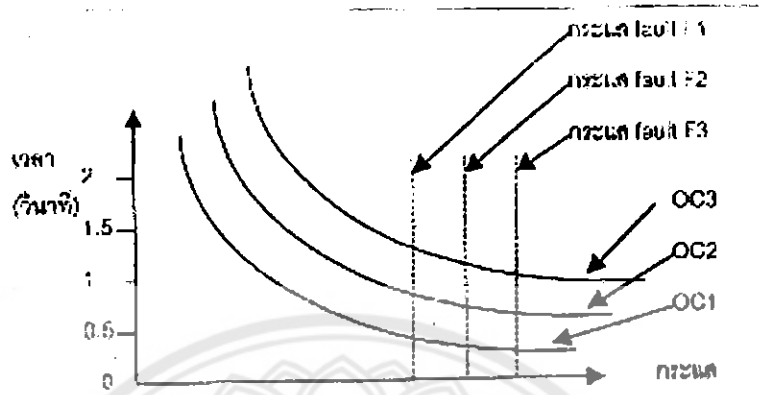
2.5 (1) การป้องกันสายส่งแบบ radial โดยใช้ overcurrent relay



รูป 2.15 แสดงการใช้ overcurrent relay แบบ fixed time กับ radial line

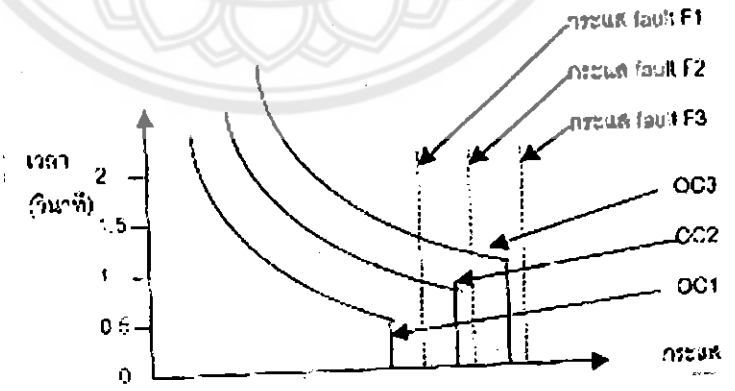
รูปที่ 2.15 แสดงการใช้ overcurrent relay แบบ fixed time delay oc1 oc2 oc3 โดยมีการ co-ordinate กันจากโหลดไปหา source ในที่นี้ปลายทางโหลดไปที่ C ดังนั้นเราใช้จุด fault F1 ในการจัดลำดับการทำงาน ของรีเลย์ดังนี้ OC1ตั้งเวลา 0.5 วินาที OC2 ตั้งเวลา 1.0 วินาที OC3 ตั้งเวลา 1.5 วินาที จะเห็นว่าเมื่อเกิด fault F3 รีเลย์ OC3 จะทำงานด้วยเวลามากที่สุด หรือที่ใกล้ sourse relay จะทำงานช้าที่สุด

เรามีการปรับปรุงในส่วนที่มีการทำงานช้าเมื่อเกิดฟอลต์ในสายส่งที่ตัวรีเลย์ป้องกัน โดยการใช้ overcurrent relay curve inverse time ในรูปที่ 9 แทนแบบ fixed time และมีการ co-ordinate กัน ตามรูปที่ 2.16



รูปที่2.16 แสดงการ co-ordinate ของ Oc1,2,3 โดยใช้ curve แบบ inverse time

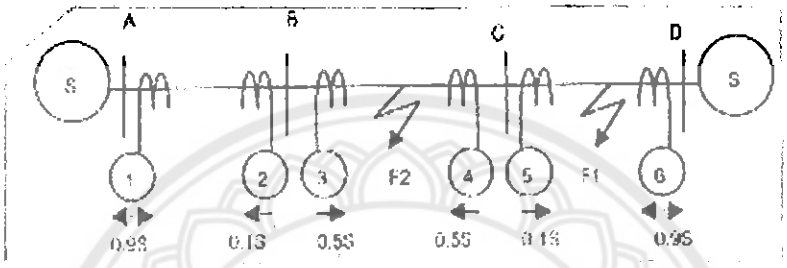
จะเห็นว่าเวลาการทำงานจะมีลำดับก่อน เมื่อเกิด fault F1 OC1 ทำงานก่อน ถ้า OC1 ไม่ทำงาน OC2 จะทำงานแทน ในทำนองเดียวกัน ถ้า OC2 ไม่ทำงาน OC3จะทำงานแทน ซึ่งจะเห็นว่าเวลาจะน้อยกว่าแบบใช้ fixed time delay สำหรับการป้องกันสายส่งที่ตัว overcurrent relay ป้องกัน เราสามารถที่จะลดเวลาการทำงานของรีเลย์ลงได้ โดยการติดตั้ง Instantaneous overcurrent relay เพิ่มเพื่อให้รีเลย์มีการทำงานอย่างทันทีทันใด เมื่อเกิดฟอลต์ภายในสายส่งที่ป้องกัน ตามรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงการ co-ordinate ของ OC1,2,3 โดยใช้ curve แบบ inverse time และ instantaneous

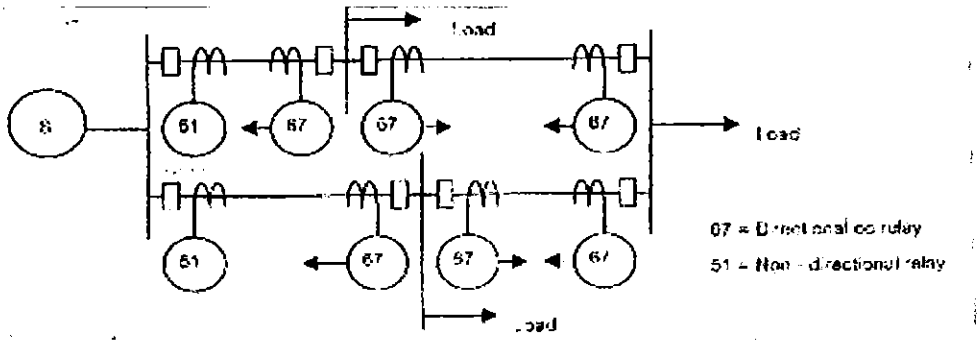
จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าถ้าเกิดฟอลต์ภายในสายส่งที่ OC ป้องกันเช่น F3 OC3 จะทำงานอย่างทันที ทันใด หรือ F2 OC2 ก็จะทำงานอย่างทันทีทันใด แต่ถ้า OC2 ไม่ทำงาน OC3 จะทำงานแทน แต่จะทำงานด้วยเวลาตาม curve inverse

การป้องกันสายส่งแบบ loop line นั้นจะมี sourse อยู่ทั้งสองด้าน ทำให้เกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งจะมีการ feed fault มาจากทั้งสองสถานีไฟฟ้า ทำให้ต้องมีการใช้ Directional overcurrent relayมาเพื่อป้องกันสายส่งให้ทำงานเฉพาะสายส่งที่รีเลย์ป้องกัน เราใช้ Directional overcurrent relayกับการจ่ายไฟแบบ parallel feeder หรือ ring



รูปที่ 2.18 แสดงการใช้ Directional oc ป้องกันสายส่ง โดยมีลูกศรแสดงทิศทางการทำงาน

จากรูปที่ 2.18 แสดงสถานีไฟฟ้า A,B,C,D มีรีเลย์ Directional overcurrent relay ซึ่งมีการตั้งเวลาให้ co-ordinate กันที่เวลา 0.1 sec 0.5sec 0.9 sec ถ้าเกิด fault ที่ F1และใช้รีเลย์ overcurrent relay แบบไม่มีทิศทาง รีเลย์ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 จะเห็นฟอลต์หมด ทำให้รีเลย์ 1, 2, 3, 4 อาจจะทำงานผิดพลาดได้ แต่เมื่อเราใช้ Directional overcurrent relay ที่มีการระบุทิศทางตามรูป เราสามารถกำหนดเวลาการ co-ordinate ในการทำงานของรีเลย์ โดยเมื่อมี Fault F1 รีเลย์ที่เห็น fault คือ รีเลย์ 5, 6,3,1 การทำงาน รีเลย์ 5,6 จะทำการปลดสาย clear fault ออกไปด้วยเวลา 0.1 s และ 0.9 s ตามลำดับแต่ถ้ารีเลย์ 3 จะทำงานแทนด้วยเวลา 0.5 sec และถ้า รีเลย์ 3 จะทำงานด้วยสาย 0.5 sec และ ถ้า รีเลย์ 3 ไม่ทำงานรีเลย์1จะทำงานแทนด้วยเวลา 0.9 sec



รูปที่2.19 แสดงการใช้ Directional overcurrent relay ป้องกันสายส่งป้องกันสายส่งแบบวงแหวน

รูปที่2.19 แสดงการใช้ Directional overcurrent relay ป้องกันสายส่งป้องกันสายไฟแบบ ring เมื่อมีฟอลต์ในส่วนสายส่งใด สายส่งนั้นจะ trip ออกไปและสามารถที่จะลำดับการทำงานได้

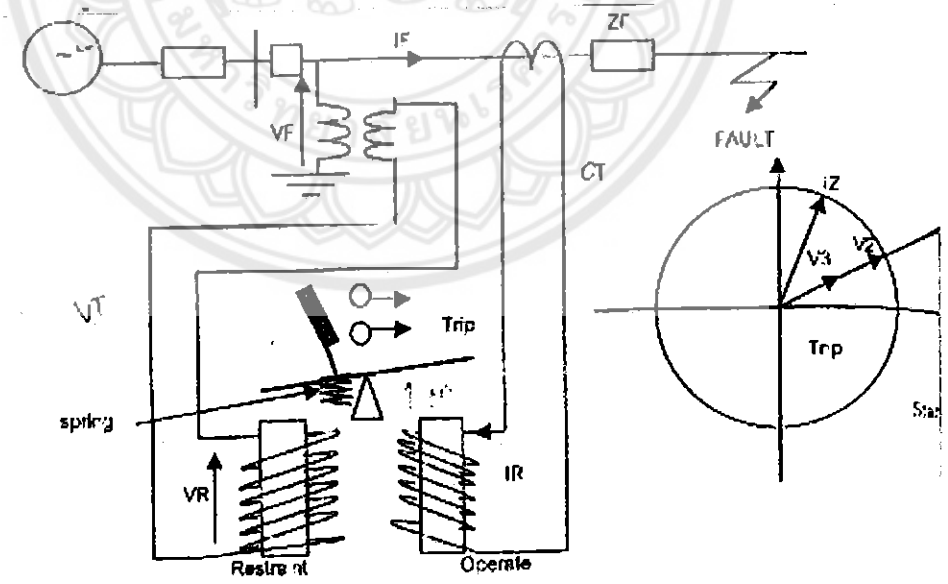
2.5 (2) การป้องกันสายส่งโดยใช้ Distance relay

ดังได้กล่าวแล้วว่าเมื่อเกิดฟอลต์ และแรงดันที่เปลี่ยนแปลง โดยกระแสจะเพิ่มขึ้นส่วนแรงดันจะลดลง และจุดฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่างกันทำให้กระแสมีค่าไม่คงที่ ทำให้การตั้งค่า setting ของ overcurrent relay ไม่สามารถที่จะครอบคุมการจ่ายไฟได้ทุกกรณี ดังนั้นจึงมีการใช้ Distance relay ซึ่งมีการใช้กระแสและแรงดันที่รีเลย์วัดได้มาเป็นหลักในการทำงาน โดยจะทำงานด้วย impedance ที่วัดได้

$$Z = V/I$$

ค่าอิมพิแดนซ์จะมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับจุดที่เกิดฟอลต์ ที่เกิดขึ้นห่างจากรีเลย์เท่าไร ถ้าห่างมากค่าอิมพิแดนซ์ก็จะมาก ถ้าเกิดฟอลต์ใกล้รีเลย์ค่าอิมพิแดนซ์ก็จะน้อย จะเห็นว่าค่าอิมพิแดนซ์จะแปรผันโดยตรงกับระยะทาง ดังนั้นเราอาจเรียก Impedance relay ว่า distance relay ก็ได้

รูปแบบการทำงานของ Impedance relay อย่างง่ายแบบ balance beam ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดง balance beam impedance relay และ impedance characteristic

VR = Vrestraint = VF

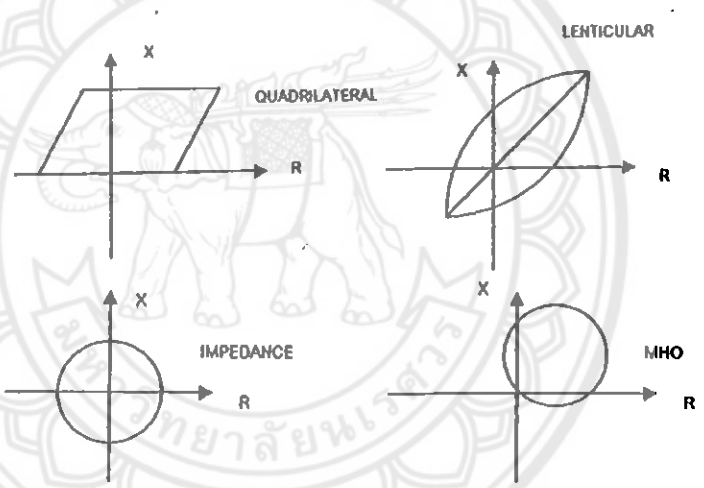
IR = Ioperate= IF

เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นที่จุดขอบนอกจะได้

FR = FO

K = VR/UR = Zsetting

Distance relay ที่ใช้งานมีรูปลักษะต่างกัน ตามที่ผู้ผลิต ผลิตขึ้น คือ Impedance ,Mho Quadrilateral, lenticular หรือเป็นรูปร่างต่างๆเป็นต้น(ดูรูปที่ 2.16) เพื่อให้ผู้ใช้เลือกให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งาน



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของ distance relay แบบต่างๆ

การตั้งค่าการทำงานของ distance relay ใช้การวัดกระแส และแรงดันมาจากระบบ ซึ่งกระแสและแรงดันได้มาจาก Currnt transformer (CT) และ Voltag transformer (PT) ค่าที่วัดได้จึงเป็นด้านที่ค่าด้าน secondary ดังนั้นค่าอิมพิแดนซ์ ในด้านสายส่งจึงต้องแปลงเป็นด้าน secondary ดังนี้

Vsecondary = Vprimary/PT ratio

Isecondary = Iprimary/CT ratio

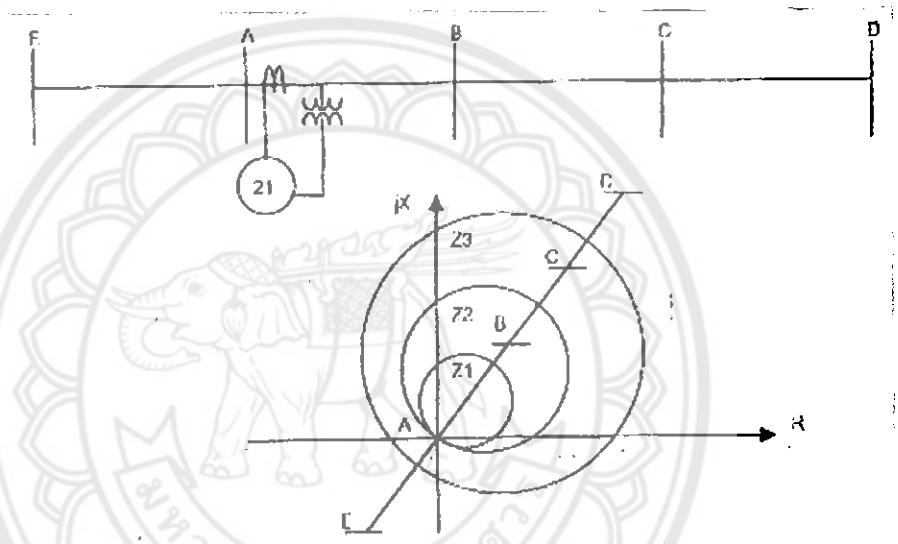
$$Z_{secondary} = Z_{primary}.\frac{CT\ ratio}{PT\ ratio}$$

2.5 (3) การตั้งค่าการทำงานของdistance relay

Distance relay ที่ป้องกันสายส่งจะมีการตั้งค่าการทำงาน โดยจัดเป็น Zone ในการป้องกัน คือ Zone1, Zone2, Zone3 หรืออาจมีมากกว่าZone3 ทั้งนี้เพื่อให้มีการ back up ในสายส่งที่ป้องกัน และ สายส่งถัดไป

Zone ที่ทำการ setting มีการตั้งค่าการทำงานคือ

ZONE1 จะตังค่าให้รีเลย์ทำงานครอบคุมสายส่งประมาณ 80% ของสายส่งที่ป้องกัน และทำงาน trip แบบทันทีทันใด ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดง zone การป้องกันของ distance relay แบบ Mho

สาเหตุที่ไม่ตั้งค่า setting zone 1 คลุม 100% ของสายส่ง เพราะกลัวว่ารีเลย์ทำงาน trip ผิดเมื่อเกิด fault นอกสายส่ง หรืออาจเรียกว่ารีเลย์เกิด overreach คือมองเกินค่า setting ที่ตั้งไว้ สาเหตที่รีเลย์เกิด overreach มาจาก

1. CT ERROR
2. PT ERROR
3. ERROR จากค่า impedance ที่ได้ข้อมูลและการคำนวณ
4. ERROR จาก relay

ZONE2 จะตั้งค่าไว้ประมาณ 120% ของสายส่งที่ป้องกัน และมี time delay ประมาณ 0.35-0.5 วินาที Delay time เนื่องจากต้องให้โซน1 ทำงานก่อนทั้งที่สายส่งที่ป้องกัน และสายส่งถัดไปรวมทั้งรอให้ breaker ทำงาน trip ออกไป

ZONE 3 จะตั้งค่าไว้ประมาณ 100% ของสายส่งที่ป้องกัน บวกกับ 120% ของสายส่งถัดไปที่ยาวที่สุด และมี delay time ประมาณ 1 วินาที ทั้งนี้เพื่อให้โซนสองทำงานก่อน และรอเวลาให้ breaker trip อนึ่งถ้าโซน 3 สามารถ set offset ได้จะมีการตั้งค่าทั้ง

ZONE 3 forward reach = 100% สายส่งที่ป้องกัน + 120% line ถัดไป

ZONE 3 reverse reach = 25% สายส่งด้านหลัง

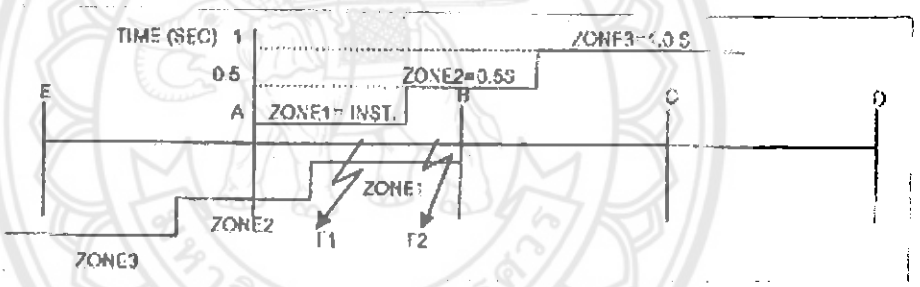
ตัวอย่างของการ set distance relay ตามรูปที่ 2.23 ดังนี้

ZONE1 = 80% LINE AB

ZONE2 = 120% LINE AB

ZONE3 forward = 100% LINE AB+120% LINE BC

ZONE3 reverse = 25 % LINE AE



รูปที่ 2.23 แสดงโซนป้องกัน distance relay เป็น time step zone

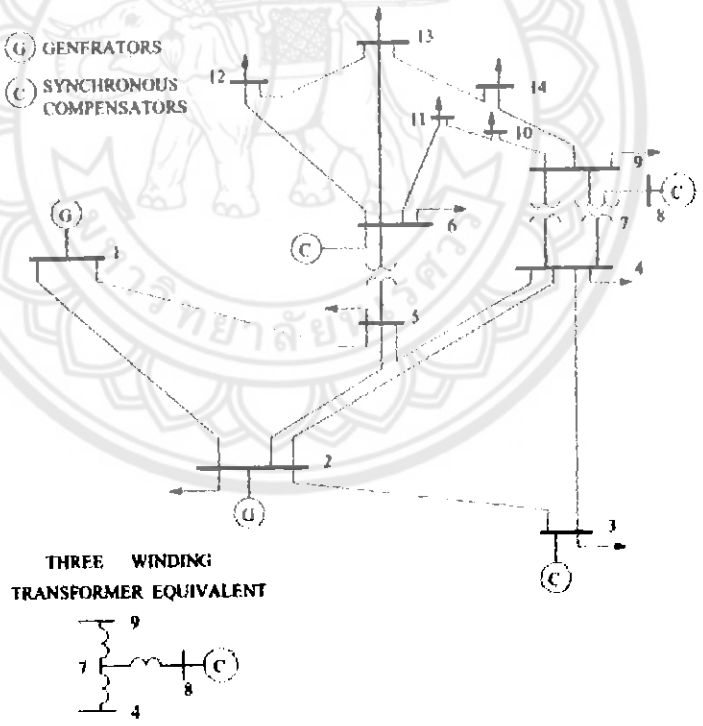
จากรูปมีสถานีไฟฟ้า A B C D E โดยที่ A ,B จะมี distance relay ตั้งค่า zone1 trip ทันทีทันใด zone2 trip ผ่าน time 0.5 s และ zone3 trip ผ่าน time 1 s ถ้าเกิดฟอลต์ F1 กลางสายส่ง relay A B จะเห็นฟอลต์ F1 ทั้งคู่ และจะtrip breaker ออกไปหัวท้ายสายส่ง แต่เมื่อเกิดฟอลต์ F2 ปลายสายส่ง AB ในช่วง 20 %ของสายส่ง AB รีเลย์ B จะเห็นฟอลต์ในโซน F1 และจะ trip breaker ออกไปทันทีทันใด ส่วนรีเลย์ A จะเห็นฟอลต์ในโซน 2 ทำงาน trip ออกไปด้วย time relay 0.5 s จะเห็นว่า relay A จะ trip ช้า ในช่วงที่เกิดฟอลต์ 20% สายส่ง ดังนั้นเพื่อให้มีการป้องกันสายส่ง 100% เมื่อมี fault จะให้ trip อย่างทันทีทันใด จะอาศัย Scheme พิเศษ เพื่อช่วยให้มีการเคลียร์ฟอลต์อย่างทันทีทันใดตลอดสายส่ง

บทที่ 3

การค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 14 BUS

3.1 ระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 14 BUS

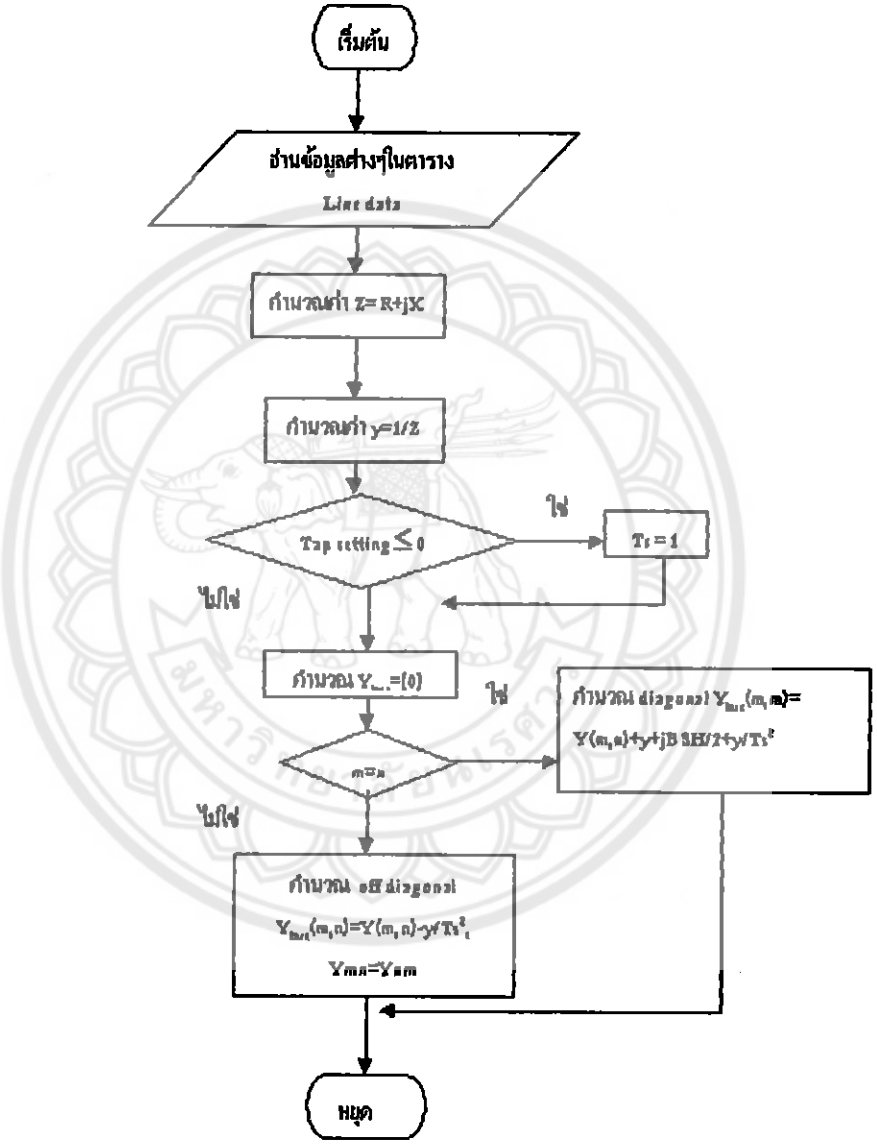
ระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 14 BUS แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าจะได้รับข้อมูลขนาดแรงดัน และกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแรงสูง จำนวน 14 บัส โดยใช้ค่าวัดที่ได้คือขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลผ่านสายส่ง ซึ่งในแต่ละบัสเราจะทราบค่าที่แท้จริงของไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง และขนาดแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส



รูปที่ 3.1 แผนผังเส้นเดียว (Single- line diagram) ของระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 14 BUS

3.2 การหาค่า Bus Admittance matrix ในระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS จากข้อมูล(Line data)

ในระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS สามารถคำนวณหาค่า Bus admittance matrix (Y_{BUS}) ตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.2



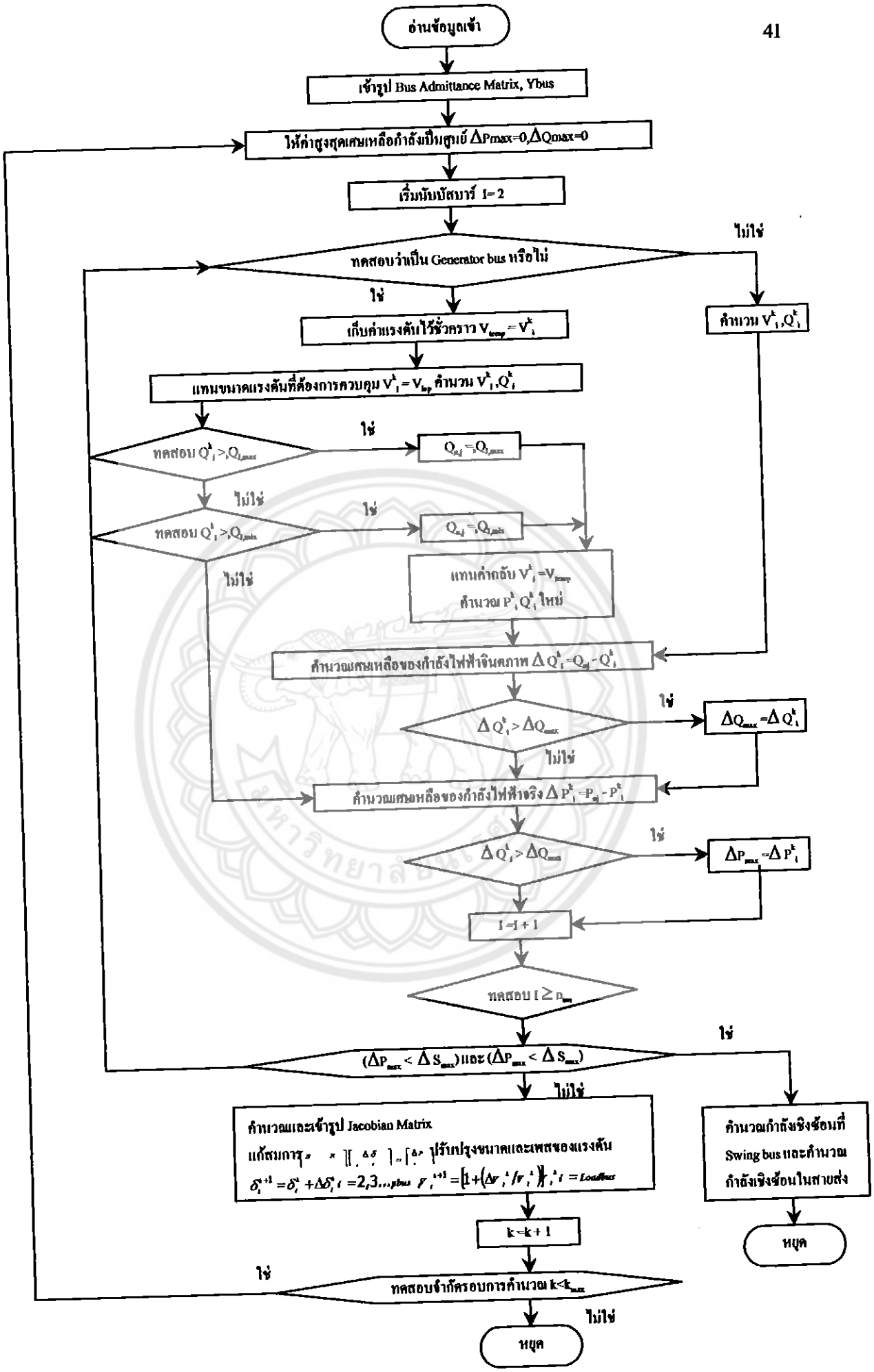
รูปที่ 3.2 แผนภาพการคำนวณหาค่า Bus admittance matrix (Y_{BUS})

จากรูป เมื่ออ่านข้อมูล (Line data) ก็จะทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในแต่ละบัส แล้วคำนวณหาค่า Bus admittance matrix (Y_{BUS}) = Y = 1/Z โดยการบวกค่า Shunt supstance (B_{sh}) สำหรับ diagonal matrix ของ Y_{BUS}

3.3 การคำนวณ Load flow และ Power flow โดยวิธีของ Newton-Raphson ในระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS

เราสามารถคำนวณ Load flow โดยการกระจายสมการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าจินตภาพ ซึ่งเป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Equation) ที่มีตัวแปร V_i และ δ_i เป็นตัวแปรไม่ทราบค่า และการแก้สมการต้องอาศัยการคำนวณเชิงเลข (Numerical Method) โดยการคำนวณแบบซ้ำรอบ (Iterative Technique) ซึ่งคำนวณโดยใช้วิธี Newton-Raphson เมื่อให้ n เป็นจำนวน Busbars ทั้งหมดของระบบ และเมื่อให้ Busbars หมายเลขที่หนึ่งคือ Slack bus จะทำให้ไม่มีการเบี่ยงเบนของกำลังเชิงซ้อนและแรงดันที่ Busbar หมายเลขที่หนึ่ง สมการที่ได้จะมีค่าเฉพาะค่าเบี่ยงเบนของกำลังและแรงดันตั้งแต่ Busbars หมายเลขที่สองขึ้นไป

สำหรับ Load Busbars จะคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพได้ต้องคำนวณ Jacobian elements สำหรับใช้ในการแก้สมการ Matrix เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมเฟสของแรงดันของ Busbar การคำนวณ Load flow ทำได้โดยสมมุติแรงดันที่ Busbars ต่างๆ ปกติจะให้เป็น 1.0 p.u. และมุมเฟสเป็น 0 องศา จากนั้นคำนวณค่า Complex power ที่ Busbars ต่างๆ ตามด้วยการคำนวณเข้ารูป Jacobian Matrix และแก้ระบบสมการเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการหาค่า Load flow โดยวิธี Newton-Raphson ได้ดังรูปที่ 3.3



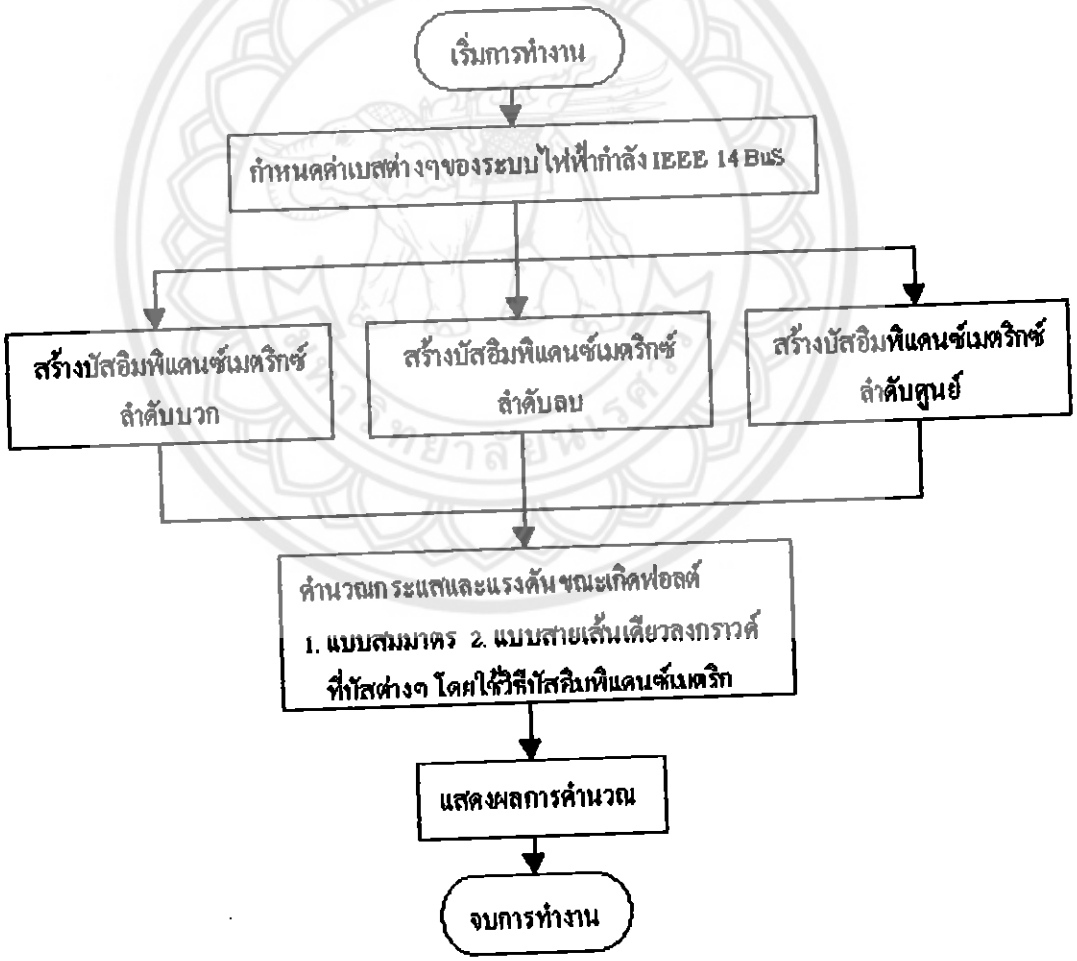
รูปที่ 3.3 แผนภาพการคำนวณหาค่า Load flow โดยวิธีของ Newton-Raphson

3.4 การวิเคราะห์กระแสและแรงดันแบบสมมาตรและแบบสายเส้นเดียวลงกราวด์

การกำหนดเบสของระบบไฟฟ้า เป็นการกำนดเบสอ้างอิงให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 Bus ได้แก่ เบสของกำลังไฟฟ้า เบสแรงดันไฟฟ้า เบสกระแสไฟฟ้าและอิมพิแดนซ์ที่บัสต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 Bus เพื่อให้การวิเคราะของระบบไฟฟ้านั้นสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น

การหาค่าบัสอิมพิแดนซ์ได้แก่ อิมพิแดนซ์ของลำดับบวก อิมพิแดนซ์ของลำดับศูนย์ และอิมพิแดนซ์ของลำดับลบ เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณค่ากระแสและแรงดันขณะเกิดฟอลต์ คำนวณโดยใช้วิธีบัสอิมพิแดนซ์เมตริก

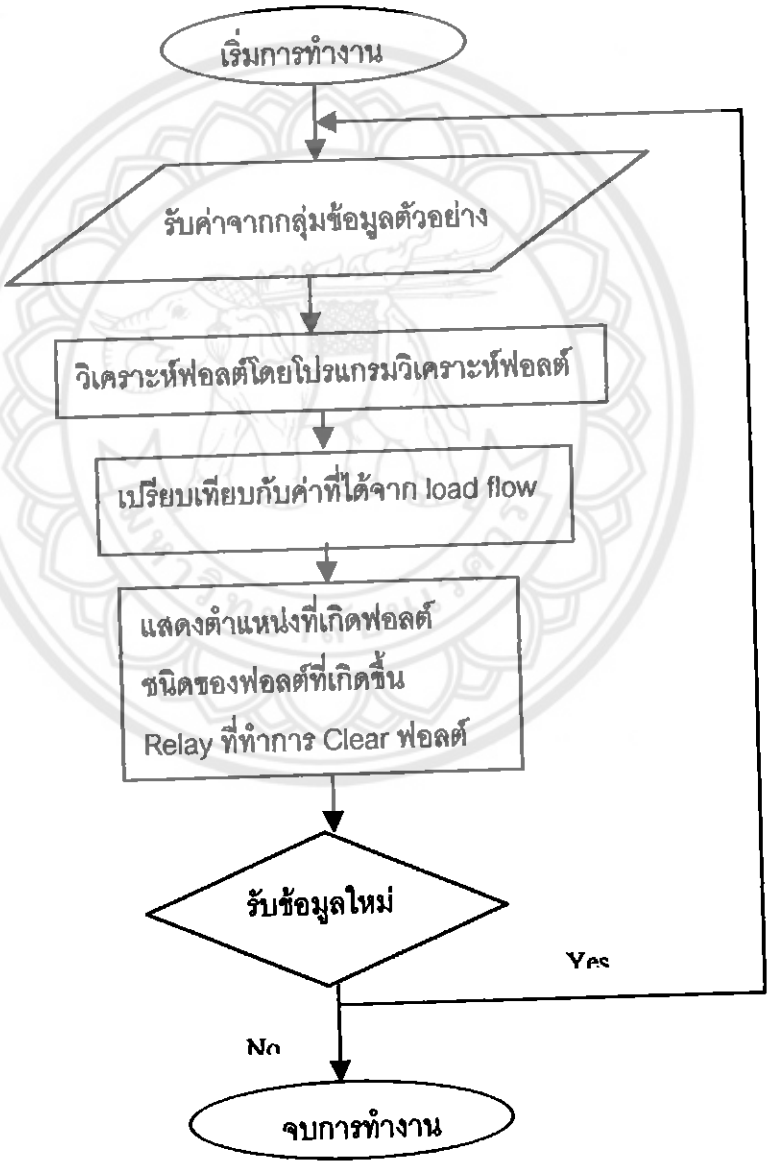
เมื่อคำนวณโดยใช้วิธีบัสอิมพิแดนซ์เมตริกจะแสดงค่าต่างๆขณะเกิดฟอลต์ได้แก่ กระแสฟอลต์ แรงดันเปลี่นแปลงในแต่ละบัส และแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ



รูปที่ 3.4 แผนภาพการวิเคราะห์ฟอลต์แบบสมมาตรและแบบสายเส้นเดียวลงกราวด์

3.5 โปรแกรมการค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์

โปรแกรมการค้นหาและการป้องกันการเกิดฟอลต์นี้ จะทำการรับค่าจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าแรงดันในแต่ละบัสที่มีการเกิดฟอลต์ขึ้น นำค่าดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ฟอลต์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ฟอลต์ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ฟอลต์ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกการคำนวณใน load flow เพื่อที่จะให้โปรแกรมค้นหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ชนิดของฟอลต์ที่เกิดขึ้น และ Relay ที่จะ Clear ฟอลต์ออกจากระบบ



รูปที่ 3.5 แผนภาพการค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์โดยใช้อิมพิแดนซ์เมตริก

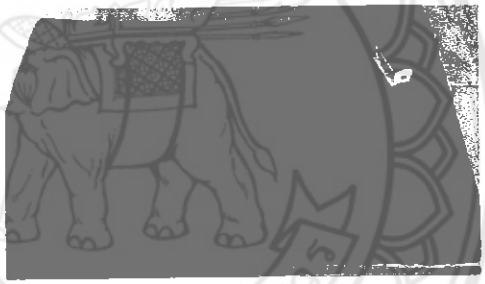
3.6 การออกแบบ HARDWARE

จากที่เราศึกษาการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้าและการป้องกันเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น เพื่อที่จะทำให้เห็นภาพของการทำงานของโปรแกรมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการจัดสร้างแบบจำลองของระบบไฟฟ้าขึ้น ซึ่งมีแนวคิดตามแบบจำลองสถานีไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยนเรศวรและสถานีไฟฟ้าตรงวัดจุฬามณี

โดยจะทำการทดลองสถานีไฟฟ้าขึ้นมา 3 สถานี และทำการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลต์ และจำลองเหตุการณ์การเกิดฟอลต์ขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้แต่ละสถานีใช้รีเลย์ ซึ่งในสถานีจะสั่งทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อที่จะตัดตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบโดยรวดเร็วและปลอดภัยที่สุด

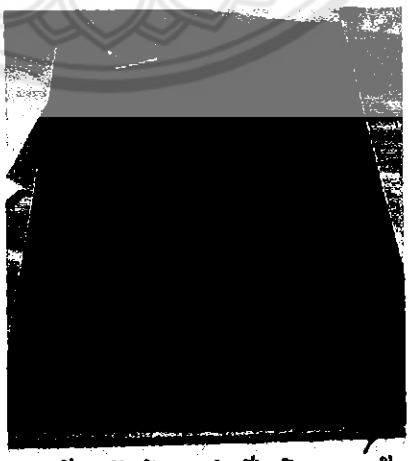
ขั้นตอนการทำงาน

1. ออกแบบจำลองสถานีไฟฟ้า 3 สถานี



3.6(a) แบบจำลองสถานีไฟฟ้า

2. ออกแบบระบบป้องกันโดยแบ่งเป็นโซนการป้องกันของแต่ละสถานี

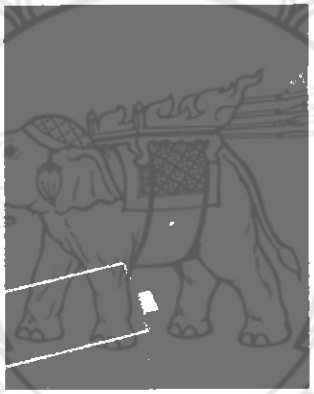


รูปที่3.6(b) แบบระบบป้องกันโดยแบ่งเป็นโซนการป้องกันของแต่ละสถานี

3. ทำการต่อเชื่อมอุปกรณ์เข้ากับระบบไฟฟ้าแต่ละสถานี

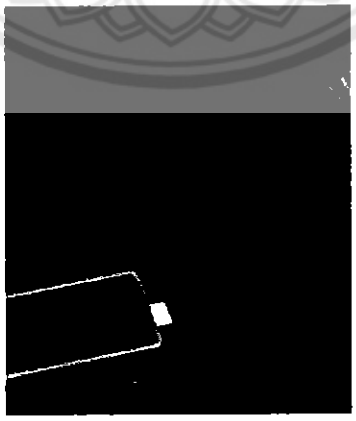
รูปที่3.6(c) การต่อเชื่อมอุปกรณ์เข้ากับระบบไฟฟ้าแต่ละสถานี

4. จำลองเหตุการณ์ของการเกิดฟอลต์ขึ้น



รูปที่3.6(d) จำลองเหตุการณ์ของการเกิดฟอลต์ขึ้น

5. สถานีไฟฟ้าสามารถตัดวงจรตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ขึ้นได้โดยรวดเร็ว



รูปที่3.6(e) ระบบป้องกันตัดวงจรตำแหน่งที่เกิดฟอลต์

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการคำนวณหาค่า Load flow ในระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS โดยวิธี Newton-Raphson

เมื่อทำการคำนวณหาค่า Load flow ในระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS โดยวิธี Newton-Raphson จะได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.1 ที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นค่าที่แท้จริงของขนาดแรงดัน (V) มุมเฟสของแรงดัน (delta) ไหลผ่านสายส่งของระบบ ซึ่งใช้ค่าเหล่านี้เป็นค่าอ้างอิง เพื่อใช้ในการค้นหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS

Bus	V (p.u)	delta
1	1.0600	0.0000
2	1.0450	-0.0870
3	1.0100	-0.2223
4	1.0155	-0.1794
5	1.0184	-0.1527
6	1.0700	-0.2477
7	1.0608	-0.2327
8	1.0900	-0.2327
9	1.0556	-0.2602
10	1.0507	-0.2630
11	1.0567	-0.2576
12	1.0581	-0.2634
13	1.0557	-0.2667
14	1.0368	-0.2801

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณหาค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า (kV) และมุมเฟสของแรงดัน ในระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 BUS

4.2 แสดงผลของการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันการเกิดฟอลต์

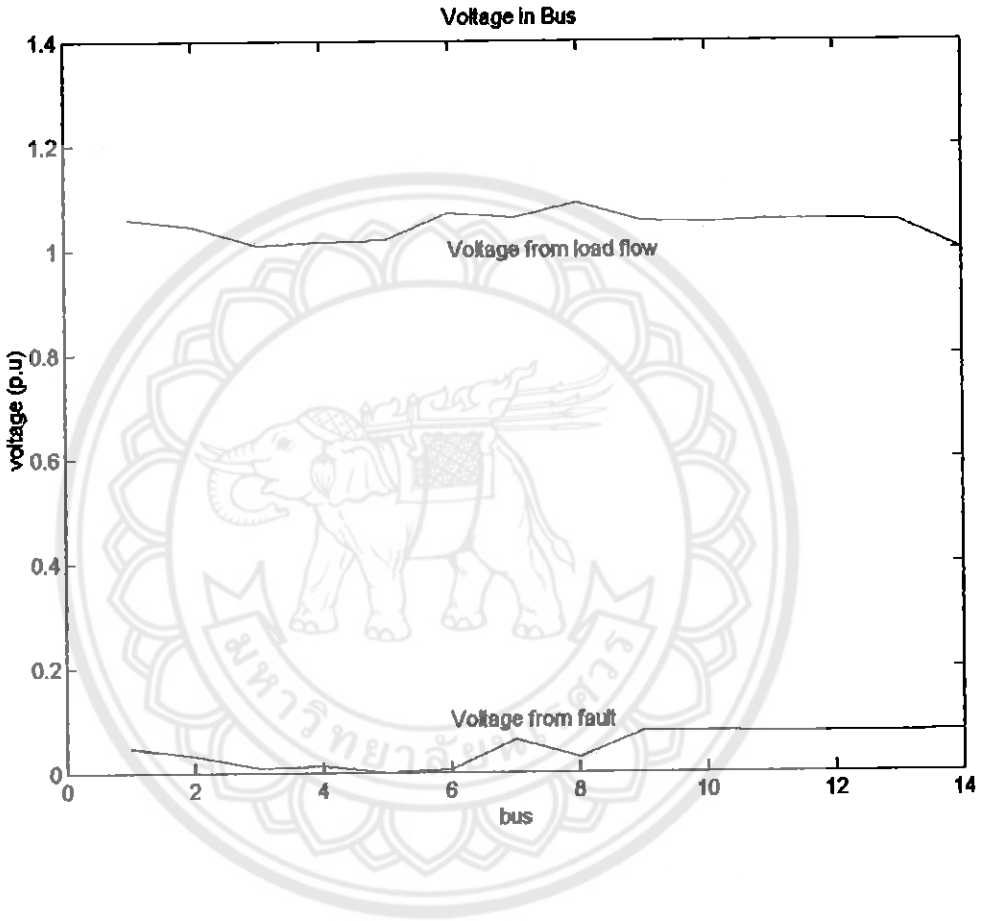
เมื่อทำการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันฟอลต์โดยเราทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 5 แสดงผลดังตาราง4.2 จะเห็นว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่บัส 5 เป็นฟอลต์ชนิด Symmetrical มีกระแสฟอลต์ 0.478012 p.u. รีเลย์ที่บัส 5 Trip breaker เพื่อทำการ clear fault ออกจากระบบ ส่วนแรงดันที่ บัส 5 นั้นจะเป็น 0 p.u.

TYPE OF FAULT	CURRENT FAULT(p.u.)	Relay trip breaker at Bus	
Symmetrical	0.478012	5	

Voltage when have fault			
Bus	V (p.u.)	I V I (p.u.)	Delta I V I
1	0.0467 + 0.0039i	0.0468	-1.508
2	0.0312 + 0.0043i	0.0315	2.9668
3	-0.0064 + 0.0052i	0.0083	3.0273
4	-0.0119 + 0.0036i	0.0124	3.0252
5	0 + 0.0000i	0	3.0401
6	-0.0054 + 0.0009i	0.0055	3.0364
7	-0.0628 + 0.0033i	0.0629	3.0667
8	0.0272 + 0.0033i	0.0274	2.9618
9	-0.0777 + 0.0031i	0.0778	3.0742
10	-0.0773 + 0.0028i	0.0773	3.0751
11	-0.0763 + 0.0019i	0.0764	3.0773
12	-0.0756 + 0.0010i	0.0756	3.0792
13	-0.0758 + 0.0011i	0.0758	3.0788
14	-0.0768 + 0.0023i	0.0769	3.0762

ตารางที่ 4.2 ผลการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันฟอลต์กับข้อมูลชุดที่5

รูปแสดงผลการเปรียบเทียบของแรงดันก่อนการเกิดฟอลต์ที่มาจากการคำนวณ load flow กับแรงดันที่เกิดฟอลต์ขึ้นจะเห็นว่าแรงดันของทุกๆบัสจะตกลงไป



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบแรงดันก่อนการเกิดฟอลต์และขณะเกิดฟอลต์แบบ Symmetrical

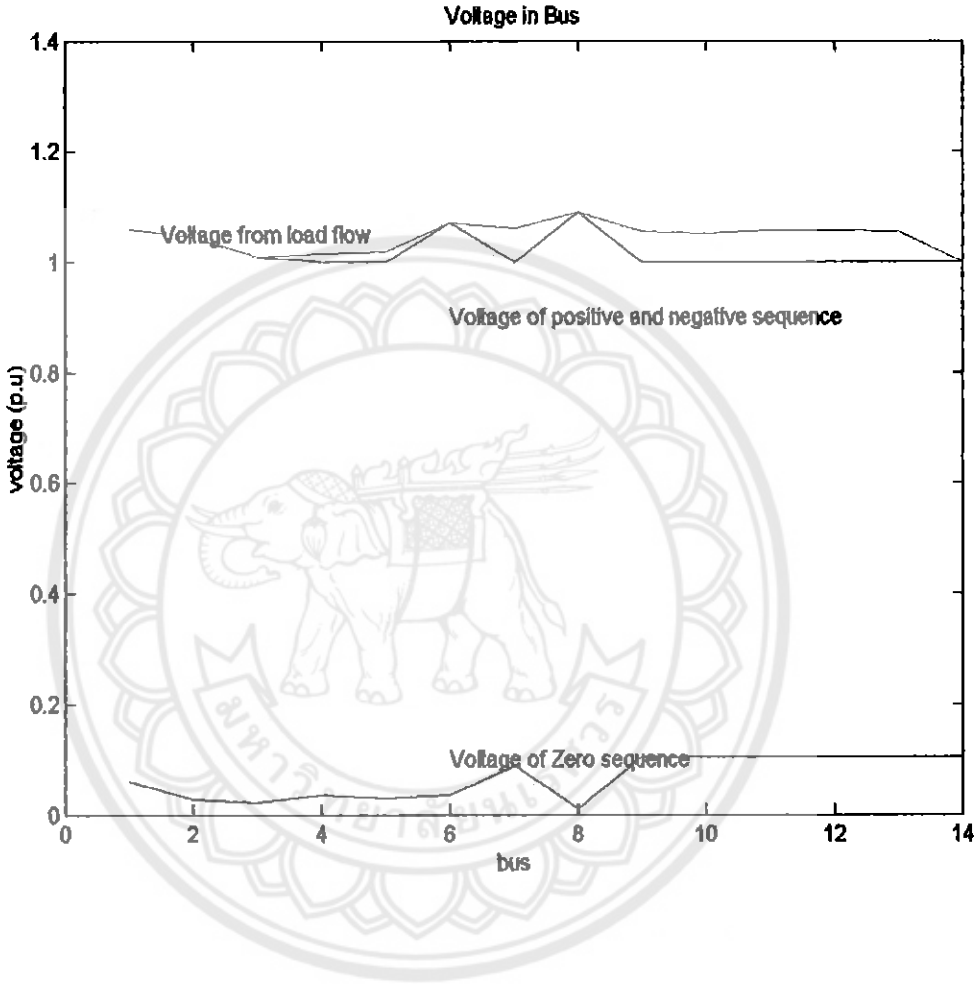
สุ่มตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 15 จะแสดงผลดังตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่บัส 1 เป็นฟอลต์ชนิด single line to ground มีกระแสฟอลต์ 0.48523 p.u. รีเลย์ที่บัส 1 Trip breaker เพื่อทำการ clear fault ออกจากระบบ ส่วนแรงดันที่บัส 1 โดยแสดงค่าแรงดันของ Zero sequence , Negative sequence , Positive sequence ของทุกบัส

TYPE OF FAULT	CURRENT FAULT	Relay trip breaker at Bus
SINGLE LINE TO GROUND	0.485293	1

Bus	Voltage when have fault		
	V(p.u) (Zero sequence)	V(p.u) (negative sequence)	V(p.u) (positive sequence)
1	0.0600	1.0600	1.0600
2	0.0276	1.0450	1.0450
3	0.0225	1.0100	1.0100
4	0.0363	1.0000	1.0000
5	0.0300	1.0000	1.0000
6	0.0354	1.0700	1.0700
7	0.0887	1.0000	1.0000
8	0.0110	1.0900	1.0900
9	0.1044	1.0000	1.0000
10	0.1044	1.0000	1.0000
11	0.1044	1.0000	1.0000
12	0.1045	1.0000	1.0000
13	0.1045	1.0000	1.0000
14	0.1045	1.0000	1.0000

ตารางที่ 4.3 ผลการใช้โปรแกรมค้นหาและป้องกันฟอลต์กับข้อมูลชุดที่15

รูปแสดงผลการเปรียบเทียบแรงดันก่อนการเกิดฟอลต์ที่มาจาก loadflow กับแรงดันขณะเกิดฟอลต์ของ Zero sequence , Negative sequence , Positive sequence



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบแรงดันก่อนการเกิดฟอลต์และขณะเกิดฟอลต์

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการทำงาน

จากการดำเนินการศึกษาค้นหาและป้องกันฟอลต์ของโครงงานนี้ ได้ผลสรุปว่า ฟอลต์ที่เกิดขึ้นสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถแสดงได้ว่าเป็นฟอลต์ชนิดใด พร้อมทั้งแสดงผลค่า กระแส มุมเฟส และแรงดันออกมาเป็นตารางและกราฟได้ทั้งหมด 14 บัส และได้ทำการติดตั้งระบบป้องกันโดยใช้รีเลย์เป็นตัวป้องกันสายส่งแต่ละสาย

5.2 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมการค้นหาและป้องกันฟอลต์ที่ทำขึ้นยังไม่สามารถใช้ค้นหาและป้องกันฟอลต์ได้ทุกชนิด
2. ลักษณะโปรแกรมยังเป็นแบบ Manual อยู่ยังต้องรอการพัฒนาต่อไป
3. โปรแกรมที่จัดทำขึ้นนี้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาสู่ระบบไฟฟ้าแรงสูงทั่วไป
4. การออกแบบระบบป้องกันที่ใช้ในโครงงานนี้ยังเป็นแบบพื้นฐาน ข้อมูลในการศึกษาส่วนใหญ่จะมุ่งจะเป็นเพียงพื้นฐานง่ายๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อน
5. โครงงานยังสามารถพัฒนาต่อได้อีกในระดับการศึกษาที่สูงขึ้น
6. ผู้จัดทำยังมีความรู้ไม่เพียงพอกับระบบการป้องกันที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูงทั่วไป

5.3 แนวทางการพัฒนาระบบ

1. นำส่วนที่เป็น Software มาใช้สั่งงานในส่วนที่เป็น Hardware โดยอาศัยโปรแกรม Microprocessor
2. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้ได้กับทุกระบบไฟฟ้ากำลัง
3. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถค้นหาและป้องกันฟอลต์ได้ทุกชนิด

เอกสารอ้างอิง

[1] โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพมหานคร. ซีเอ็ดยูเคชั่น: 2543

[2] ชนบูรณ์ ศศิภานุเดช. การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพมหานคร. ซีเอ็ดยูเคชั่น: 2544

[3] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. การป้องกันระบบไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร. เอ็มแอนด์อีซ: 2545

[4] มงคล ทองสงคราม.การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง: 2545

[5] วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: อินโฟเพรส 2543

[6] Hadi Saadat. Power system Analysis . Singapore:McGraw-Hill 1999

ภาคผนวก

โปรแกรมการค้นหาและป้องกันฟอลต์

```
clear;
clc;
loadflow;
symfault;
%value When fault begin
%Vmm;
fprintf ('choose Data of fault  ')
n=input('\n\nchoose Data for 1 to 28 \n  ');
H=1:1:14;
if n==1
   if R(1,n)==max(R(:,n))
   fprintf('now have fault at bus 1  ')
   %fprintf('\nfault is symmetrical fault  ')
   If = abs( I1);
   disp('-------------------------------------------------------------')
   fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
   fprintf('\n\n\n      symmetrical          %5f                 1       \n\n\n',If)
   disp('-------------------------------------------------------------')
   figure(1)
   plot(H,X1,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(6,1.0,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage from fault')
  disp('  Voltage from fault');
  disp('----------------------');
  disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
  disp('-------------------------------');
  fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f   \n',XX1)
  disp('----------------------');
  end
  elseif n==2
     if R(2,n)==max(R(:,n))
     else fprintf('now have fault at bus 2  ')
```

```
   %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
   If = abs(I2);
   fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)     relay  trip breaker at Bus  ')
   fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                2      \n\n\n',If)
   figure(2)
   plot(H,X2,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(6,1.0,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-------------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
disp('-------------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f   \n',XX2)
disp('-------------------------------------');
end
elseif  n==3
   if R(3,n)==max(R(:,n))
   else fprintf('now have fault at bus 3  ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
   If=abs(I3);
   fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)     relay  trip breaker at Bus  ')
   fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                3   \n\n\n    ',If)
   figure(3)
   plot(H,X3,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(6,1.0,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault---');
disp('-------------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
disp('-------------------------------------');
```

```
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f   \n',XX3)
disp('-----------------------------------');
end
elseif n==4
   if R(4,n)==max(R(:,n))
   else fprintf('now have fault at bus 4  ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault   ')
   If=abs(I4);
   fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
   fprintf('\n\n\n      symmetrical          %5f                  4    \n\n\n    ',If)
   figure(4)
   plot(H,X4,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(6,1.0,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-----------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
disp('-----------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f   \n',XX4)
disp('-----------------------------------');

end
elseif  n==5
   if R(5,n)==max(R(:,n))
   else fprintf('now have fault at bus 5  ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault   ')
    If = abs(I5);
    fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
    fprintf('\n\n\n      symmetrical          %5f                  5    \n\n\n    ',If)
    figure(5)
    plot(H,X5,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
```

```
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
   Table1=[bl'; Vm ;delta];
disp('-Voltage from fault-----');
disp('-----------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V| ')
disp('-----------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f  \n',XX5)
disp('-----------------------------------');

 end
elseif n==6
   if R(6,n)==max(R(:,n))
    fprintf('now have fault at bus 6  ')
    %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
    If = abs(I6);
    fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
    fprintf('\n\n\n      symmetrical          %5f                6   \n\n\n   ',If)
    figure(6)
    plot(H,X6,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('-Voltage from fault---');
disp('-----------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V| ')
disp('-----------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f  \n',XX6)
disp('-----------------------------------');
end
elseif  n==7
  if R(7,n)==max(R(:,n))
   fprintf('now have fault at bus 7 ')
```

```
    %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
    If= abs(I7) ;
    fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
    fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                 7   \n\n\n   ',If)
    figure(7)
    plot(H,X7,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-------------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
disp('-------------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f   \n',XX7)
disp('-------------------------------------');
end
elseif  n==8
   if R(8,n)==max(R(:,n))
    fprintf('now have fault at bus 8  ')
    %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
    If=abs(I8);
    fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
    fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                 8   \n\n\n   ',If)
    figure(8)
    plot(H,X8,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-------------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
disp('-------------------------------------');
```

```
fprintf('%2.0f %2.4f %2.4f \n',XX1)
disp('-----------------------------------');
end
elseif n==9
   if R(9,n)==max(R(:,n))
   fprintf('now have fault at bus 9 ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault ')
   If= abs(I9);
   fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)     relay trip breaker at Bus ')
   fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                9 \n\n\n    ',If)
   figure(9)
   plot(H,X9,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(6,1.0,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-----------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V| ')
disp('-----------------------------');
fprintf('%2.0f %2.4f %2.4f \n',XX9)
disp('-----------------------------------');
 end
elseif n==10
  if R(10,n)==max(R(:,n))
   fprintf('now have fault at bus 10 ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault ')
   fprintf('Show fault at bus 10')
   If= abs(I10);
   fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)     relay trip breaker at Bus ')
   fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                10 \n\n\n    ',If)
   figure(10)
   plot(H,X10,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
```

```
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-----------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V| ')
disp('-----------------------------------');
fprintf('%2.0f %2.4f %2.4f  \n',XX10)
disp('-----------------------------------');
end
elseif  n==11
  if R(11,n)==max(R(:,n))
   fprintf('now have fault at bus 11  ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
   If= abs(I11);
   fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT(p.u)      relay  trip breaker at Bus  ')
   fprintf('\n\n\n      symmetrical          %5f                11       \n\n\n',If)
   figure(11)
   plot(H,X11,H,Vt)
   title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(6,1.0,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-----------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V| ')
disp('-----------------------------------');
fprintf('%2.0f %2.4f %2.4f  \n',XX11)
disp('-----------------------------------');
end
elseif  n==12
  if R(12,n)==max(R(:,n))
   fprintf('now have fault at bus 12  ')
   %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
   If= abs(I12);
```

```
    fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT     relay  trip breaker at Bus  ')
    fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                12  \n\n\n    ',If)
    figure(12)
    plot(H,X12,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-----------------------------------');
disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
disp('-----------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f  \n',XX12)
disp('-----------------------------------');
end
elseif  n==13
   if R(13,n)==max(R(:,n))
   else fprintf('now have fault at bus 13  ')
    %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
    If=abs(113);
    fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT     relay  trip breaker at Bus  ')
    fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                13  \n\n\n    ',If)
    figure(13)
    plot(H,X13,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
 disp('--Voltage from fault-----');
 disp('-----------------------------------');
 disp('BUS  V(pu)  delta|V|  ')
 disp('-----------------------------------');
 fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f  \n',XX13)
 disp('-----------------------------------');
```

```
end
elseif  n==14
   if R(14,n)==max(R(:,n))
   else fprintf('now have fault at bus 14 ')
    %fprintf('fault is symmetrical fault  ')
    If = abs(114);
    fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus ')
    fprintf('\n\n\n     symmetrical          %5f                4  \n\n\n    ',If)
    figure(14)
    plot(H,X14,H,Vt)
    title('Voltage in Bus')
    xlabel('bus')
    ylabel('voltage (p.u)')
    text(6,1.0,'Voltage from load flow')
    text(6,0.1,'Voltage from fault')
 disp('--Voltage from fault-----');
 disp('-------------------------------');
 disp('BUS  V(pu)  delta|V| ')
 disp('-------------------------------');
 fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f  \n',XX14)
 disp('-------------------------------');
  end
elseif n==15
   you3
elseif n==16
   you4
elseif n==17
   you5
elseif n==18
   you6
elseif n==19
   you7
elseif n==20
   you8
elseif n==21
   you9
```

```
elseif n==22
   you10
elseif n==23
   you11
elseif n==24
   you12
elseif n==25
   you13
elseif n==26
   you14
elseif n==27
   you15
else n==28
   you16
end
```

โปรแกรมวิเคราะห์ฟอลต์

```
clear;
clc;
loadflow;
Zbus=inv(Ybus);
%Z=0.16*j;
V =[1.0600 ;1.0450 ;1.0100 ;1.0 ;1.0 ;1.0700 ;1.0 ;1.0900 ;1.0 ;1.0 ;1.0 ;1.0 ;1.0 ;1.0];
V1=V(:,1) ;I1=V(1,1)/(Zbus(1,1)) ;I2=V(2,1)/(Zbus(2,2)); I3=V(3,1)/(Zbus(3,3)); I4=V(4,1)/(Zbus(4,4));
I5=V(5,1)/(Zbus(5,5)); I6=V(6,1)/(Zbus(6,6)); I7=V(7,1)/(Zbus(7,7)); I8=V(8,1)/(Zbus(8,8));
I9=V(9,1)/(Zbus(9,9)); I10=V(10,1)/(Zbus(10,10)); I11=V(11,1)/(Zbus(11,11));
I12=V(12,1)/(Zbus(12,12));I13=V(13,1)/(Zbus(13,13));I14=V(14,1)/(Zbus(14,14));
%when faults at bus
Vf1=V1-Zbus(:,1)*I1;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus1')
      I12f=(Vf1(1,1)-Vf1(2,1))/Zbus(1,2);
      I15f=(Vf1(1,1)-Vf1(5,1))/Zbus(1,5);
Vf2=V1-Zbus(:,2)*I2;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus2')
      I21f=(Vf2(2,1)-Vf2(1,1))/Zbus(2,1);
      I23f=(Vf2(2,1)-Vf2(3,1))/Zbus(2,3);
```

```
I24f=(Vf2(2,1)-Vf2(4,1))/Zbus(2,4);
I25f=(Vf2(2,1)-Vf2(5,1))/Zbus(2,5);
Vf3=V1-Zbus(:,3)*I3;
%fprintf('    Bus Current during the fault at bus3')
I32f=(Vf3(3,1)-Vf3(2,1))/Zbus(3,2);
I34f=(Vf3(3,1)-Vf3(4,1))/Zbus(3,5);
Vf4=V1-Zbus(:,4)*I4;
%fprintf('    Bus Current during the fault at bus4')
I42f=(Vf4(4,1)-Vf4(2,1))/Zbus(4,2);
I43f=(Vf4(4,1)-Vf4(3,1))/Zbus(4,3);
I45f=(Vf4(4,1)-Vf4(5,1))/Zbus(4,5);
I47f=(Vf4(4,1)-Vf4(7,1))/Zbus(4,7);
I49f=(Vf4(4,1)-Vf4(9,1))/Zbus(4,9);
Vf5=V1-Zbus(:,5)*I5;
%fprintf('    Bus Current during the fault at bus5')
I51f=(Vf5(5,1)-Vf5(1,1))/Zbus(5,1);
abs(I51f);
I52f=(Vf5(5,1)-Vf5(2,1))/Zbus(5,2);
abs(I52f);
I54f=(Vf5(5,1)-Vf5(4,1))/Zbus(5,4);
I56f=(Vf5(5,1)-Vf5(6,1))/Zbus(5,6);
Vf6=V1-Zbus(:,6)*I6;
%fprintf('    Bus Current during the fault at bus6')
I65f=(Vf6(6,1)-Vf6(5,1))/Zbus(6,5);
I611f=(Vf6(6,1)-Vf6(11,1))/Zbus(6,11);
I612f=(Vf6(6,1)-Vf6(12,1))/Zbus(6,12);
I613f=(Vf6(6,1)-Vf6(13,1))/Zbus(6,13);
Vf7=V1-Zbus(:,7)*I7;
%fprintf('    Bus Current during the fault at bus7')
I74f=(Vf7(7,1)-Vf7(4,1))/Zbus(7,4);
I78f=(Vf7(7,1)-Vf7(8,1))/Zbus(7,8);
I79f=(Vf7(7,1)-Vf7(9,1))/Zbus(7,9);
Vf8=V1-Zbus(:,8)*I8;
%fprintf('    Bus Current during the fault at bus8')
I87f=(Vf8(8,1)-Vf8(7,1))/Zbus(8,7);
I89f=(Vf8(8,1)-Vf8(9,1))/Zbus(8,9);
```

```
Vf9=V1-Zbus(:,9)*I9;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus9')
     I94f=(Vf9(9,1)-Vf4(4,1))/Zbus(9,4);
     I97f=(Vf9(9,1)-Vf4(7,1))/Zbus(9,7);
     I910f=(Vf9(9,1)-Vf4(10,1))/Zbus(9,10);
     I914f=(Vf9(9,1)-Vf4(14,1))/Zbus(9,14);
Vf10=V1-Zbus(:,10)*I10;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus10')
     I109f=(Vf10(10,1)-Vf10(9,1))/Zbus(10,9);
     I1011f=(Vf10(10,1)-Vf10(11,1))/Zbus(10,11);
Vf11=V1-Zbus(:,11)*I11;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus11')
     I116f=(Vf11(11,1)-Vf11(6,1))/Zbus(11,6);
     I1110f=(Vf11(11,1)-Vf11(10,1))/Zbus(11,10);
 Vf12=V1-Zbus(:,12)*I12;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus12')
     I126f=(Vf12(12,1)-Vf12(6,1))/Zbus(12,6);
     I1213f=(Vf12(12,1)-Vf12(13,1))/Zbus(12,13);
Vf13=V1-Zbus(:,13)*I13;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus13')
     I136f=(Vf13(13,1)-Vf13(6,1))/Zbus(13,6);
     I1312f=(Vf13(13,1)-Vf13(12,1))/Zbus(13,12);
     I1314f=(Vf13(13,1)-Vf13(13,1))/Zbus(13,14);

Vf14=V1-Zbus(:,14)*I14;
%fprintf('     Bus Current during the fault at bus14')
     I149f=(Vf14(14,1)-Vf14(9,1))/Zbus(14,9);
     I1413f=(Vf14(14,1)-Vf14(13,1))/Zbus(14,13);
W=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 ];
X1=[abs(Vf1(:,1))];
X1_1=[angle(Vf1(:,1))];
XX1=[W;reshape(X1,1,14);reshape(X1_1,1,14)];
X2=[abs(Vf2(:,1))];
X2_2=[angle(Vf1(:,1))];
XX2=[W;reshape(X2,1,14);reshape(X2_2,1,14)];
X3=[abs(Vf3(:,1))];
```

```
X3_3=[angle(Vf1(:,1))];
XX3=[W;reshape(X2,1,14);reshape(X3_3,1,14)];
X4=[abs(Vf4(:,1))];
X4_4=[angle(Vf1(:,1))];
XX1=[W;reshape(X4,1,14);reshape(X4_4,1,14)];
X5=[abs(Vf5(:,1))];
X5_5=[angle(Vf1(:,1))];
XX5=[W;reshape(X5,1,14);reshape(X5_5,1,14)];
X6=[abs(Vf6(:,1))];
X6_6=[angle(Vf1(:,1))];
XX6=[W;reshape(X6,1,14);reshape(X6_6,1,14)];
X7=[abs(Vf7(:,1))];
X7_7=[angle(Vf1(:,1))];
XX7=[W;reshape(X7,1,14);reshape(X7_7,1,14)];
X8=[abs(Vf8(:,1))];
X8_8=[angle(Vf1(:,1))];
XX8=[W;reshape(X8,1,14);reshape(X8_8,1,14)];
X9=[abs(Vf9(:,1))];
X9_9=[angle(Vf1(:,1))];
XX9=[W;reshape(X9,1,14);reshape(X9_9,1,14)];
X10=[abs(Vf10(:,1))];
X10_10=[angle(Vf1(:,1))];
XX10=[W;reshape(X10,1,14);reshape(X10_10,1,14)];
X11=[abs(Vf11(:,1))];
X11_11=[angle(Vf1(:,1))];
XX11=[W;reshape(X11,1,14);reshape(X11_11,1,14)];
X12=[abs(Vf12(:,1))];
X12_12=[angle(Vf1(:,1))];
XX12=[W;reshape(X12,1,14);reshape(X12_12,1,14)];
X13=[abs(Vf13(:,1))];
X13_13=[angle(Vf1(:,1))];
XX13=[W;reshape(X13,1,14);reshape(X13_13,1,14)];
X14=[abs(Vf14(:,1))];
X14_14=[angle(Vf1(:,1))];
XX14=[W;reshape(X14,1,14);reshape(X14_14,1,14)];
H=1:1:14;
```

```
Vt =[1.0600 ;1.0450 ;1.0100 ;1.0155 ;1.0184 ;1.0700 ;1.0608 ;1.0900  ;1.0556 ;1.0507 ;1.0567
   ;1.0581 ;1.0557 ;1.0];
R=[Vmm-X1 Vmm-X2 Vmm-X3 Vmm-X4 Vmm-X5 Vmm-X6 Vmm-X7 Vmm-X8 Vmm-X9 Vmm-X10
Vmm-X11 Vmm-X12 Vmm-X13 Vmm-X14];
```

โปรแกรมการหา loadflow

```
clc;clear;
%Line data
%       Bus   Bus   R       X       1/2 B     Transformer data
%       nl    nr    pu      pu      pu        Tap setting
linedata=[ 1    2    0.01938  0.05917  0.0264      1
           1    5    0.05403  0.22304  0.0246      1
           2    3    0.04699  0.19797  0.0219      1
           2    4    0.05811  0.17632  0.0187      1
           2    5    0.05695  0.17388  0.0170      1
           3    4    0.06701  0.17103  0.0173      1
           4    5    0.01355  0.04211  0.0064      1
           4    7    0        0.20912  0         0.978
           4    9    0        0.55618  0         0.969
           5    6    0        0.25202  0         0.932
           6   11    0.09498  0.19890  0           1
           6   12    0.12291  0.25581  0           1
           6   13    0.01655  0.13027  0           1
           7    8    0        0.17615  0           1
           7    9    0        0.11001  0           1
           9   10    0.03181  0.08450  0           1
           9   14    0.12711  0.27038  0           1
          10   11    0.08205  0.19207  0           1
          12   13    0.22092  0.19988  0           1
          13   14    0.17093  0.34802  0           1   ];
nl=linedata(:,1);nr=linedata(:,2);R=linedata(:,3);X=linedata(:,4);BSH=linedata(:,5);
TS=linedata(:,6);nbr=length(nl);nbus=max(max(nl),max(nr));

 Z = R + j*X; y= ones(nbr,1)./Z;      %branch admittance
for n = 1:nbr
if TS(n) <= 0
```

```
  TS(n) = 1;
end
Ybus=zeros(nbus,nbus);    % initialize Ybus to zero
        % formation of the off diagonal elements
      for k=1:nbr;
      Ybus(nl(k),nr(k))=Ybus(nl(k),nr(k))-y(k)/TS(k);
      Ybus(nr(k),nl(k))=Ybus(nl(k),nr(k));
      end
      end
% formation of the diagonal element
      for  n=1:nbus
      for k=1:nbr
      if nl(k)==n
      Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k)/(TS(k)^2) + BSH(k)*i;
      elseif nr(k)==n
      Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k) +BSH(k)*i;
      else, end
      end
      end
Ybus(9,9)=Ybus(9,9)+0.19*i;
Ybus; Zbus=inv(Ybus); Yb=abs(Ybus); Ang=angle(Ybus); real(Ybus); imag(Ybus);
G=real(Ybus); B=imag(Ybus);basemva=100; accuracy=0.001; accel=1.8; maxiter=100;
% Initial bus voltages and scheduled bus power
%              Voltage     Demand          Generation      QG limits     Injection
%bus type p.u.|V| deg  p.u.PD  p.u.QD  p.u.PG  p.u.QG   min   max   Mvar
busdata=[
    1   1  1.06  0.0     0.00    0.00    0.00    0.00     0.0    0.0   0 %NPO-CC
    2   2  1.045 0.0     21.70   12.7    40.0    0.00     999    999   0 %CLBH
    3   2  1.01  0.0     94.2    19.0    0.00    0.00     -999   999   0 %NPH
    4   0  1.00  0.0     47.8    3.90    0.00    0.00     0.0    0.0   0 %SRDH
    5   0  1.00  0.0     7.60    1.80    0.00    0.00     0.0    0.0   0 %PMNH
    6   2  1.07  0.0     11.2    7.50    0.00    0.00     -999   999   0
    7   0  1.0   0.0     0.00    0.00    0.00    0.00     0.0    0.0   0
    8   2  1.09  0.0     0.00    0.00    0.00    0.00     -999   999   0
    9   0  1.0   0.0     29.5    16.6    0.00    0.00     0.0    0.0   0
   10   0  1.0   0.0     9.00    5.80    0.00    0.00     0.0    0.0   0
```

```
11  0  1.0  0.0   3.50   1.80   0.00   0.00   0.0   0.0   0 %LS
12  0  1.0  0.0   6.10   1.60   0.00   0.00   0.0   0.0   0 %SR2
13  0  1.0  0.0   13.5   5.80   0.00   0.00   0.0   0.0   0 %TTK
14  0  1.0  0.0   14.9   5.60   0.00   0.00   0.0   0.0   0 %NPO2]ns=0;
ng=0; Vm=0; delta=0; yload=0; deltad=0; nbus = length(busdata(:,1));
bl=busdata(:,1);
for k=1:nbus
n=busdata(k,1);
kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k, 4);
Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7); Qg(n) = busdata(k,8);
Qmin(n)=busdata(k, 9); Qmax(n)=busdata(k, 10);
Qsh(n)=busdata(k, 11);
      if Vm(n) <= 0  Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
      else delta(n) = pi/180*delta(n);
      V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
      P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva;
      Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva;
      S(n) = P(n) + j*Q(n);
      end
      end
      for k=1:nbus
if kb(k) == 1, ns = ns+1; else, end
if kb(k) == 2 ng = ng+1; else, end
ngs(k) = ng; nss(k) = ns;
end
Ym=abs(Ybus); t = angle(Ybus);
m=2*nbus-ng-2*ns;
maxerror = 1; converge=1;
iter = 0;
% Start of iterations
clear A  DC  J  DX
while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter % Test for max. power mismatch
for i=1:m
for k=1:m
  A(i,k)=0;    %Initializing Jacobian matrix
end, end
```

```
iter = iter+1;
for n=1:nbus
nn=n-nss(n); lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns; J11=0; J22=0; J33=0; J44=0;
    for i=1:nbr
    if nl(i) == n | nr(i) == n
    if nl(i) == n,  l = nr(i); end
    if nr(i) == n,  l = nl(i); end
    J11=J11+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
    J33=J33+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
    if kb(n)~=1
    J22=J22+ Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
    J44=J44+ Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
    else, end
    if kb(n) ~= 1  & kb(l) ~=1
    lk = nbus+l-ngs(l)-nss(l)-ns;
    ll = l -nss(l);
    % off diagonalelements of J1
    A(nn, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
      if kb(l) == 0  % off diagonal elements of J2
      A(nn, lk) =Vm(n)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));end
      if kb(n) == 0  % off diagonal elements of J3
      A(lm, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n)+delta(l)); end
      if kb(n) == 0 & kb(l) == 0  % off diagonal elements of  J4
      A(lm, lk) =-Vm(n)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));end
    else end
    else , end
    end
  Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;
  Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;
    if kb(n) == 1 P(n)=Pk; Q(n) = Qk; end   % Swing bus P
    if kb(n) == 2  Q(n)=Qk;
    if Qmax(n) ~= 0
    Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
    if iter <= 7              % Between the 2th & 6th iterations
    if iter > 2               % the Mvar of generator buses are
    if Qgc  < Qmin(n),        % tested. If not within limits Vm(n)
```

```
    Vm(n) = Vm(n) + 0.01;    % is changed in steps of 0.01 pu to
    elseif Qgc  > Qmax(n),   % bring the generator Mvar within
    Vm(n) = Vm(n) - 0.01;end % the specified limits.
else, end
else,end
else,end
end
if kb(n) ~= 1
A(nn,nn) = J11;  %diagonal elements of J1
DC(nn) = P(n)-Pk;
end
if kb(n) == 0
A(nn,lm) = 2*Vm(n)*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J22;  %diagonal elements of J2
A(lm,nn)= J33;       %diagonal elements of J3
A(lm,lm) =-2*Vm(n)*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J44;  %diagonal of elements of J4
DC(lm) = Q(n)-Qk;
end
end
DX=A\DC';
for n=1:nbus
nn=n-nss(n);
lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
if kb(n) ~= 1
delta(n) = delta(n)+DX(nn);
end
if kb(n) == 0
Vm(n)=Vm(n)+DX(lm);
end
end

Vm;  delta;
maxerror=max(abs(DC));
if iter == maxiter & maxerror > accuracy
fprintf('\nWARNING: Iterative solution did not converged after ')
fprintf('%g', iter), fprintf(' iterations.\n\n')
fprintf('Press Enter to terminate the iterations and print the results \n')
```

```
converge = 0; pause, else, end
end
if converge ~= 1
tech= ('ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE'); else,
tech=('Power Flow Solution by Newton-Raphson Method');
end
Table1=[bl'; Vm ;delta];
disp('--voltage from loadflow--')
disp('-------------------------------');
disp('nBUS  V(pu)  delta|V|   ')
disp('-------------------------------');
fprintf('%2.0f  %2.4f  %2.4f   \n',Table1)
disp('-------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยโปรแกรมการคันหาและป้องกันฟอลต์

โปรแกรมช่วยที่ 1

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I1_0f=1.0/(Zbus1(1,1)+Zbus2(1,1)+Zbus0(1,1)+3*Zf);
B1=[I1_0f;I1_0f;I1_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I1_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,1)*I1_0f;V(1,1)-Zbus1(1,1)*I1_0f;0-Zbus2(1,1)*I1_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,1)*I1_0f;V(2,1)-Zbus1(2,1)*I8_0f;0-Zbus2(2,1)*I1_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,1)*I1_0f;V(3,1)-Zbus1(3,1)*I8_0f;0-Zbus2(3,1)*I1_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,1)*I1_0f;V(4,1)-Zbus1(4,1)*I8_0f;0-Zbus2(4,1)*I1_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,1)*I1_0f;V(5,1)-Zbus1(5,1)*I8_0f;0-Zbus2(5,1)*I1_0f];
```

```
V6f=[0-Zbus0(6,1)*I1_0f;V(6,1)-Zbus1(6,1)*I8_0f;0-Zbus2(6,1)*I1_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,1)*I1_0f;V(7,1)-Zbus1(7,1)*I8_0f;0-Zbus2(7,1)*I1_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,1)*I1_0f;V(8,1)-Zbus1(8,1)*I8_0f;0-Zbus2(8,1)*I1_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,1)*I1_0f;V(9,1)-Zbus1(9,1)*I8_0f;0-Zbus2(9,1)*I1_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,1)*I1_0f;V(10,1)-Zbus1(10,1)*I1_0f;0-Zbus2(10,1)*I1_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,1)*I1_0f;V(11,1)-Zbus1(11,1)*I1_0f;0-Zbus2(11,1)*I1_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,1)*I1_0f;V(12,1)-Zbus1(12,1)*I1_0f;0-Zbus2(12,1)*I1_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,1)*I1_0f;V(13,1)-Zbus1(13,1)*I1_0f;0-Zbus2(13,1)*I1_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,1)*I1_0f;V(14,1)-Zbus1(14,1)*I1_0f;0-Zbus2(14,1)*I1_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n     LINE TO GROUND      %5f            8  \n\n\n   ',Ia)
 H=1:1:14;

Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));       abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
 disp('--Voltage from fault-----');
 disp('-------------------------------------------');
 disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)     ');
 disp('         Zero       negative   positive  ');
```

```
disp('       sequence    equence     sequence    ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf('  %2.0f    %2.4f     %2.4f       %2.4f \n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 2

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I2_0f=1.0/(Zbus1(2,2)+Zbus2(2,2)+Zbus0(2,2)+3*Zf);
B2=[I2_0f;I2_0f;I2_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I2_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,2)*I2_0f;V(1,1)-Zbus1(1,2)*I2_0f;0-Zbus2(1,2)*I2_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,2)*I2_0f;V(2,1)-Zbus1(2,)*I2_0f;0-Zbus2(2,2)*I2_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,2)*I2_0f;V(3,1)-Zbus1(3,2)*I2_0f;0-Zbus2(3,2)*I2_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,2)*I2_0f;V(4,1)-Zbus1(4,2)*I2_0f;0-Zbus2(4,2)*I2_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,2)*I2_0f;V(5,1)-Zbus1(5,2)*I2_0f;0-Zbus2(5,2)*I2_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,2)*I2_0f;V(6,1)-Zbus1(6,2)*I2_0f;0-Zbus2(6,2)*I2_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,2)*I2_0f;V(7,1)-Zbus1(7,2)*I2_0f;0-Zbus2(7,2)*I2_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,2)*I2_0f;V(8,1)-Zbus1(8,2)*I2_0f;0-Zbus2(8,2)*I2_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,2)*I2_0f;V(9,1)-Zbus1(9,2)*I2_0f;0-Zbus2(9,2)*I2_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,2)*I2_0f;V(10,1)-Zbus1(10,2)*I2_0f;0-Zbus2(10,2)*I2_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,2)*I2_0f;V(11,1)-Zbus1(11,2)*I2_0f;0-Zbus2(11,2)*I2_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,2)*I2_0f;V(12,1)-Zbus1(12,2)*I2_0f;0-Zbus2(12,2)*I2_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,2)*I2_0f;V(13,1)-Zbus1(13,2)*I2_0f;0-Zbus2(13,2)*I2_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,2)*I2_0f;V(14,1)-Zbus1(14,2)*I2_0f;0-Zbus2(14,2)*I2_0f];
  V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND       %5f              8  \n\n\n   ',Ia)
 H=1:1:14;
```

```
Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
     abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
     abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
Xb=[ abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
     abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
     abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
Xc=[ abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));    abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
title('Voltage in Bus')
  xlabel('bus')
  ylabel('voltage (p.u)')
  text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
  text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
  text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
   p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault---');
disp('-------------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)     V(pu)     V(pu)    ');
disp('       Zero     negative   positive  ');
disp('       sequence  equence   sequence  ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf(' %2.0f   %2.4f    %2.4f     %2.4f \n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 3

```
clear; clc; loadflow; symfault;
  fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
  a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I3_0f=1.0/(Zbus1(3,3)+Zbus2(3,3)+Zbus0(3,3)+3*Zf);
B3=[I3_0f;I3_0f;I3_0f];
%fprintf('the fault current is')
```

```
Ia=abs(3*I8_0f);
%symmetrical compUnents of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,3)*I3_0f;V(1,1)-Zbus1(1,3)*I3_0f;0-Zbus2(1,3)*I3_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,3)*I3_0f;V(2,1)-Zbus1(2,3)*I3_0f;0-Zbus2(2,3)*I3_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,3)*I3_0f;V(3,1)-Zbus1(3,3)*I3_0f;0-Zbus2(3,3)*I3_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,3)*I3_0f;V(4,1)-Zbus1(4,3)*I3_0f;0-Zbus2(4,3)*I3_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,3)*I3_0f;V(5,1)-Zbus1(5,3)*I3_0f;0-Zbus2(5,3)*I3_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,3)*I3_0f;V(6,1)-Zbus1(6,3)*I3_0f;0-Zbus2(6,3)*I3_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,3)*I3_0f;V(7,1)-Zbus1(7,3)*I3_0f;0-Zbus2(7,3)*I3_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,3)*I3_0f;V(8,1)-Zbus1(8,3)*I3_0f;0-Zbus2(8,3)*I3_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,3)*I3_0f;V(9,1)-Zbus1(9,3)*I3_0f;0-Zbus2(9,3)*I3_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,3)*I3_0f;V(10,1)-Zbus1(10,3)*I3_0f;0-Zbus2(10,3)*I3_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,3)*I3_0f;V(11,1)-Zbus1(11,3)*I3_0f;0-Zbus2(11,3)*I3_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,3)*I3_0f;V(12,1)-Zbus1(12,3)*I3_0f;0-Zbus2(12,3)*I3_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,3)*I3_0f;V(13,1)-Zbus1(13,3)*I3_0f;0-Zbus2(13,3)*I3_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,3)*I3_0f;V(14,1)-Zbus1(14,3)*I3_0f;0-Zbus2(14,3)*I3_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n     LINE TO GROUND      %5f              8  \n\n\n   ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
```

```
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('–Voltage from fault----');
disp('-------------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)     V(pu)     V(pu)    ');
disp('       Zero     negative   positive  ');
disp('       sequence  equence   sequence  ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf(' %2.0f   %2.4f    %2.4f     %2.4f\n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 4

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I4_0f=1.0/(Zbus1(4,4)+Zbus2(4,4)+Zbus0(4,4)+3*Zf);
B4=[I4_0f;I4_0f;I4_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I4_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,4)*I4_0f;V(1,1)-Zbus1(1,4)*I4_0f;0-Zbus2(1,4)*I4_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,4)*I4_0f;V(2,1)-Zbus1(2,4)*I4_0f;0-Zbus2(2,4)*I4_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,4)*I4_0f;V(3,1)-Zbus1(3,4)*I4_0f;0-Zbus2(3,4)*I4_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,4)*I4_0f;V(4,1)-Zbus1(4,4)*I4_0f;0-Zbus2(4,4)*I4_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,4)*I4_0f;V(5,1)-Zbus1(5,4)*I4_0f;0-Zbus2(5,4)*I4_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,4)*I4_0f;V(6,1)-Zbus1(6,4)*I4_0f;0-Zbus2(6,4)*I4_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,4)*I4_0f;V(7,1)-Zbus1(7,4)*I4_0f;0-Zbus2(7,4)*I4_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,4)*I4_0f;V(8,1)-Zbus1(8,4)*I4_0f;0-Zbus2(8,47)*I4_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,4)*I4_0f;V(9,1)-Zbus1(9,4)*I4_0f;0-Zbus2(9,4)*I1_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,4)*I4_0f;V10,1)-Zbus1(10,4)*I4_0f;0-Zbus2(10,4)*I4_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,4)*I4_0f;V(11,1)-Zbus1(11,4)*I4_0f;0-Zbus2(11,4)*I4_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,4)*I4_0f;V(12,1)-Zbus1(12,4)*I4_0f;0-Zbus2(12,4)*I4_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,4)*I4_0f;V(13,1)-Zbus1(13,4)*I4_0f;0-Zbus2(13,4)*I4_0f];
```

```
V14f=[0-Zbus0(14,4)*I4_0f;V(14,1)-Zbus1(14,4)*I4_0f;0-Zbus2(14,4)*I4_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus ')
 fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND       %5f                8  \n\n\n   ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
disp('---------------------------------------');
disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)     ');
disp('         Zero       negative   positive  ');
disp('         sequence   equence    sequence  ');
disp('---------------------------------------');
fprintf('  %2.0f    %2.4f     %2.4f      %2.4f\n\n',p);
disp('---------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 5

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
```

```
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I5_0f=1.0/(Zbus1(5,5)+Zbus2(5,5)+Zbus0(5,5)+3*Zf);
B5=[I5_0f;5_0f;I5_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I5_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,5)*I8_0f;V(1,1)-Zbus1(1,8)*I8_0f;0-Zbus2(1,8)*I8_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,5)*I8_0f;V(2,1)-Zbus1(2,8)*I8_0f;0-Zbus2(2,8)*I8_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,5)*I5_0f;V(3,1)-Zbus1(3,5)*I5_0f;0-Zbus2(3,5)*I5_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,5)*I5_0f;V(4,1)-Zbus1(4,5)*I5_0f;0-Zbus2(4,5)*I5_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,5)*I5_0f;V(5,1)-Zbus1(5,5)*I5_0f;0-Zbus2(5,5)*I5_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,5)*I5_0f;V(6,1)-Zbus1(6,5)*I5_0f;0-Zbus2(6,5)*I5_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,5)*I5_0f;V(7,1)-Zbus1(7,5)*I5_0f;0-Zbus2(7,5)*I5_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,5)*I5_0f;V(8,1)-Zbus1(8,5)*I5_0f;0-Zbus2(8,5)*I5_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,5)*I5_0f;V(9,1)-Zbus1(9,5)*I5_0f;0-Zbus2(9,5)*I5_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,5)*I5_0f;V(10,1)-Zbus1(10,6)*I5_0f;0-Zbus2(10,5)*I5_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,5)*I5_0f;V(11,1)-Zbus1(11,5)*I5_0f;0-Zbus2(11,5)*I5_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,5)*I5_0f;V(12,1)-Zbus1(12,5)*I5_0f;0-Zbus2(12,5)*I5_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,5)*I5_0f;V(13,1)-Zbus1(13,4)*I5_0f;0-Zbus2(13,5)*I5_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,5)*I5_0f;V(14,1)-Zbus1(14,5)*I5_0f;0-Zbus2(14,5)*I5_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus ')
 fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND      %5f              8  \n\n\n   ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));       abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
```

```
plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
title('Voltage in Bus')
  xlabel('bus')
  ylabel('voltage (p.u)')
  text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
  text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
  text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
   p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
disp('-------------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)     V(pu)     V(pu)    ');
disp('       Zero     negative   positive  ');
disp('       sequence  equence    sequence  ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf(' %2.0f   %2.4f    %2.4f     %2.4f\n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 6

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I6_0f=1.0/(Zbus1(6,6)+Zbus2(6,6)+Zbus0(6,6)+3*Zf);
B6=[I6_0f;I6_0f;I6_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I6_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,6)*I6_0f;V(1,1)-Zbus1(1,5)*I5_0f;0-Zbus2(1,5)*I5_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,6)*I6_0f;V(2,1)-Zbus1(2,5)*I5_0f;0-Zbus2(2,5)*I5_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,6)*I6_0f;V(3,1)-Zbus1(3,5)*I5_0f;0-Zbus2(3,5)*I5_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,6)*I6_0f;V(4,1)-Zbus1(4,5)*I5_0f;0-Zbus2(4,5)*I5_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,6)*I6_0f;V(5,1)-Zbus1(5,5)*I5_0f;0-Zbus2(5,5)*I5_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,6)*I6_0f;V(6,1)-Zbus1(6,6)*I5_0f;0-Zbus2(6,5)*I5_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,6)*I6_0f;V(7,1)-Zbus1(7,6)*I5_0f;0-Zbus2(7,5)*I5_0f];
```

```
V8f=[0-Zbus0(8,6)*I6_0f;V(8,1)-Zbus1(8,6)*I5_0f;0-Zbus2(8,5)*I5_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,6)*I6_0f;V(9,1)-Zbus1(9,6)*I5_0f;0-Zbus2(9,5)*I5_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,6)*I6_0f;V(10,1)-Zbus1(10,6)*I5_0f;0-Zbus2(10,5)*I5_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,6)*I6_0f;V(11,1)-Zbus1(11,6)*I5_0f;0-Zbus2(11,5)*I5_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,6)*I6_0f;V(12,1)-Zbus1(12,6)*I5_0f;0-Zbus2(12,5)*I5_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,6)*I6_0f;V(13,1)-Zbus1(13,6)*I5_0f;0-Zbus2(13,5)*I5_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,8)*I8_0f;V(14,1)-Zbus1(14,6)*I5_0f;0-Zbus2(14,5)*I5_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND       %5f              8  \n\n\n    ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));       abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
disp('-------------------------------------------');
disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)     ');
disp('          Zero      negative    positive   ');
disp('        sequence    equence     sequence   ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf('  %2.0f    %2.4f     %2.4f      %2.4f \n\n',p);
```

```
disp('-----------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 7

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I7_0f=1.0/(Zbus1(7,7)+Zbus2(7,7)+Zbus0(7,7)+3*Zf);
B7=[I7_0f;I7_0f;I7_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I7_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,7)*I7_0f;V(1,1)-Zbus1(1,7)*I7_0f;0-Zbus2(1,7)*I7_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,7)*I7_0f;V(2,1)-Zbus1(2,7)*I7_0f;0-Zbus2(2,7)*I7_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,7)*I7_0f;V(3,1)-Zbus1(3,7)*I7_0f;0-Zbus2(3,7)*I7_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,7)*I7_0f;V(4,1)-Zbus1(4,7)*I7_0f;0-Zbus2(4,7)*I7_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,7)*I7_0f;V(5,1)-Zbus1(5,7)*I7_0f;0-Zbus2(5,7)*I7_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,7)*I7_0f;V(6,1)-Zbus1(6,7)*I7_0f;0-Zbus2(6,7)*I7_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,7)*I7_0f;V(7,1)-Zbus1(7,7)*I7_0f;0-Zbus2(7,7)*I7_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,7)*I7_0f;V(8,1)-Zbus1(8,7)*I7_0f;0-Zbus2(8,7)*I7_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,7)*I7_0f;V(9,1)-Zbus1(9,7)*I7_0f;0-Zbus2(9,7)*I7_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,7)*I7_0f;V(10,1)-Zbus1(1,7)*I7_0f;0-Zbus2(10,7)*I7_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,7)*I7_0f;V(11,1)-Zbus1(11,7)*I7_0f;0-Zbus2(11,7)*I7_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,7)*I7_0f;V(12,1)-Zbus1(12,7)*I7_0f;0-Zbus2(12,7)*I7_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,7)*I7_0f;V(13,1)-Zbus1(13,7)*I7_0f;0-Zbus2(13,7)*I7_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,7)*I7_0f;V(14,1)-Zbus1(14,7)*I7_0f;0-Zbus2(14,7)*I7_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND       %5f                8   \n\n\n    ',Ia)
H=1:1:14;
Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
```

```
Xb=[ abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
     abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
     abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
Xc=[ abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));  abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
title('Voltage in Bus')
  xlabel('bus')
  ylabel('voltage (p.u)')
  text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
  text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
  text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
   p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
disp('-----------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)    V(pu)    V(pu)   ');
disp('       Zero     negative  positive  ');
disp('       sequence  equence   sequence  ');
disp('-----------------------------------------');
fprintf(' %2.0f   %2.4f    %2.4f     %2.4f\n\n',p);
disp('-----------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 8

```
clear; clc; loadflow; symfault;
  fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
  a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I8_0f=1.0/(Zbus1(8,8)+Zbus2(8,8)+Zbus0(8,8)+3*Zf);
B8=[I8_0f;I8_0f;I8_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I8_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,8)*I8_0f;V(1,1)-Zbus1(1,8)*I8_0f;0-Zbus2(1,8)*I8_0f];
```

```
V2f=[0-Zbus0(2,8)*I8_0f;V(2,1)-Zbus1(2,8)*I8_0f;0-Zbus2(2,8)*I8_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,8)*I8_0f;V(3,1)-Zbus1(3,8)*I8_0f;0-Zbus2(3,8)*I8_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,8)*I8_0f;V(4,1)-Zbus1(4,8)*I8_0f;0-Zbus2(4,8)*I8_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,8)*I8_0f;V(5,1)-Zbus1(5,8)*I8_0f;0-Zbus2(5,8)*I8_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,8)*I8_0f;V(6,1)-Zbus1(6,8)*I8_0f;0-Zbus2(6,8)*I8_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,8)*I8_0f;V(7,1)-Zbus1(7,8)*I8_0f;0-Zbus2(7,8)*I8_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,8)*I8_0f;V(8,1)-Zbus1(8,8)*I8_0f;0-Zbus2(8,8)*I8_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,8)*I8_0f;V(9,1)-Zbus1(9,8)*I8_0f;0-Zbus2(9,8)*I8_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,8)*I8_0f;V(10,1)-Zbus1(10,8)*I8_0f;0-Zbus2(10,8)*I8_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,8)*I8_0f;V(11,1)-Zbus1(11,8)*I8_0f;0-Zbus2(11,8)*I8_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,8)*I8_0f;V(12,1)-Zbus1(12,8)*I8_0f;0-Zbus2(12,8)*I8_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,8)*I8_0f;V(13,1)-Zbus1(13,8)*I8_0f;0-Zbus2(13,8)*I8_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,8)*I8_0f;V(14,1)-Zbus1(14,8)*I8_0f;0-Zbus2(14,8)*I8_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND      %5f              8  \n\n\n    ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1));abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
```

```
disp('-----------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)     V(pu)     V(pu)    ');
disp('        Zero     negative  positive  ');
disp('       sequence  equence   sequence  ');
disp('-----------------------------------------');
fprintf(' %2.0f   %2.4f    %2.4f     %2.4f \n\n',p);
disp('-----------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 9

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I9_0f=1.0/(Zbus1(9,9)+Zbus2(9,9)+Zbus0(9,9)+3*Zf);
B9=[I9_0f;I9_0f;I9_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I9_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,9)*I9_0f;V(1,1)-Zbus1(1,9)*I9_0f;0-Zbus2(1,9)*I9_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,9)*I9_0f;V(2,1)-Zbus1(2,9)*I9_0f;0-Zbus2(2,9)*I9_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,9)*I9_0f;V(3,1)-Zbus1(3,9)*I9_0f;0-Zbus2(3,9)*I9_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,9)*I9_0f;V(4,1)-Zbus1(4,9)*I9_0f;0-Zbus2(4,9)*I9_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,9)*I8_0f;V(5,1)-Zbus1(5,9)*I9_0f;0-Zbus2(5,9)*I9_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,9)*I9_0f;V(6,1)-Zbus1(6,9)*I9_0f;0-Zbus2(6,9)*I9_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,9)*I9_0f;V(7,1)-Zbus1(7,9)*I9_0f;0-Zbus2(7,9)*I9_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,9)*I9_0f;V(8,1)-Zbus1(8,9)*I9_0f;0-Zbus2(8,9)*I9_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,9)*I9_0f;V(9,1)-Zbus1(9,9)*I9_0f;0-Zbus2(9,9)*I9_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,9)*I9_0f;V(10,1)-Zbus1(10,9)*I9_0f;0-Zbus2(10,9)*I9_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,9)*I9_0f;V(11,1)-Zbus1(11,9)*I9_0f;0-Zbus2(11,9)*I9_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,9)*I9_0f;V(12,1)-Zbus1(12,9)*I9_0f;0-Zbus2(12,9)*I9_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,9)*I9_0f;V(13,1)-Zbus1(13,9)*I9_0f;0-Zbus2(13,9)*I9_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,9)*I9_0f;V(14,1)-Zbus1(14,9)*I9_0f;0-Zbus2(14,9)*I9_0f];
  V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
```

```
%line 78
 I7_8_012=[(V7f(1,1)-V8f(1,1))/Zbus(7,8);(V7f(2,1)-V8f(2,1))/Zbus(7,8); (V7f(3,1)-V8f(3,1))/Zbus(7,8)];
 I7_8_abc= A*I7_8_012 ;I_f1=abs(I7_8_abc); Delta=angle(I7_8_abc);
%line 98
 I9_8_012=[(V9f(1,1)-V8f(1,1))/Zbus(9,8); (V9f(2,1)-V8f(2,1))/Zbus(9,8);(V9f(3,1)-V8f(3,1))/Zbus(9,8)];
 I9_8_abc= A*I9_8_012 ;If1_1=abs(I9_8_abc);Delta_1=angle(I9_8_abc);
fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND       %5f                 8  \n\n\n    ',Ia)
H=1:1:14;
Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));       abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
disp('-------------------------------------------');
disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)     ');
disp('          Zero       negative    positive   ');
disp('         sequence    equence     sequence   ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf('  %2.0f    %2.4f     %2.4f       %2.4f\n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 10

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I10_0f=1.0/(Zbus1(10,10)+Zbus2(10,10)+Zbus0(10,10)+3*Zf);
B0=[I10_0f;I10_0f;I10_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I10_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,10)*I10_0f;V(1,1)-Zbus1(1,10)*I10_0f;0-Zbus2(1,10)*I10_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,10)*I10_0f;V(2,1)-Zbus1(2,10)*I10_0f;0-Zbus2(2,10)*I10_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,10)*I10_0f;V(3,1)-Zbus1(3,10)*I10_0f;0-Zbus2(3,10)*I10_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,10)*I10_0f;V(4,1)-Zbus1(4,10)*I10_0f;0-Zbus2(4,10)*I10_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,10)*I10_0f;V(5,1)-Zbus1(5,10)*I10_0f;0-Zbus2(5,10)*I10_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,10)*I10_0f;V(6,1)-Zbus1(6,10)*I10_0f;0-Zbus2(6,10)*I10_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,10)*I10_0f;V(7,1)-Zbus1(7,10)*I10_0f;0-Zbus2(7,10)*I10_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,10)*I10_0f;V(8,1)-Zbus1(8,10)*I10_0f;0-Zbus2(8,10)*I10_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,10)*I10_0f;V(9,1)-Zbus1(9,10)*I10_0f;0-Zbus2(9,10)*I10_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,10)*I10_0f;V(10,1)-Zbus1(10,10)*I10_0f;0-Zbus2(10,10)*I10_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,10)*I10_0f;V(11,1)-Zbus1(11,10)*I10_0f;0-Zbus2(11,10)*I10_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,10)*I10_0f;V(12,1)-Zbus1(12,10)*I10_0f;0-Zbus2(12,10)*I10_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,10)*I10_0f;V(13,1)-Zbus1(13,10)*I10_0f;0-Zbus2(13,10)*I10_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,10)*I10_0f;V(14,1)-Zbus1(14,10)*I10_0f;0-Zbus2(14,10)*I10_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND       %5f                8  \n\n\n   ',Ia)
H=1:1:14;
Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
      abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
      abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
      abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
```

```
        abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[ abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
        abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
        abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[ abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault----');
disp('-------------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)      V(pu)      V(pu)    ');
disp('       Zero      negative   positive  ');
disp('      sequence   equence    sequence  ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf(' %2.0f    %2.4f     %2.4f      %2.4f\n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 11

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I11_0f=1.0/(Zbus1(11,11)+Zbus2(11,11)+Zbus0(11,11)+3*Zf);
B11=[I11_0f;I11_0f;I11_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I11_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
```

```
V1f=[0-Zbus0(1,11)*I11_0f;V(1,1)-Zbus1(1,11)*I11_0f;0-Zbus2(1,11)*I11_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,11)*I11_0f;V(2,1)-Zbus1(2,11)*I11_0f;0-Zbus2(2,11)*I11_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,11)*I11_0f;V(3,1)-Zbus1(3,11)*I11_0f;0-Zbus2(3,11)*I11_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,11)*I11_0f;V(4,1)-Zbus1(4,11)*I11_0f;0-Zbus2(4,11)*I11_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,11)*I11_0f;V(5,1)-Zbus1(5,11)*I11_0f;0-Zbus2(5,11)*I11_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,11)*I11_0f;V(6,1)-Zbus1(6,11)*I11_0f;0-Zbus2(6,11)*I11_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,11)*I11_0f;V(7,1)-Zbus1(7,11)*I11_0f;0-Zbus2(7,11)*I11_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,11)*I11_0f;V(8,1)-Zbus1(8,11)*I11_0f;0-Zbus2(8,11)*I11_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,11)*I11_0f;V(9,1)-Zbus1(9,11)*I11_0f;0-Zbus2(9,11)*I11_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,8)*I8_0f;V(10,1)-Zbus1(10,11)*I11_0f;0-Zbus2(10,11)*I11_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,8)*I8_0f;V(11,1)-Zbus1(11,11)*I11_0f;0-Zbus2(11,11)*I11_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,8)*I8_0f;V(12,1)-Zbus1(12,11)*I11_0f;0-Zbus2(12,11)*I11_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,8)*I8_0f;V(13,1)-Zbus1(13,11)*I11_0f;0-Zbus2(13,11)*I11_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,8)*I8_0f;V(14,1)-Zbus1(14,11)*I11_0f;0-Zbus2(14,11)*I11_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus ')
fprintf('\n\n\n     LINE TO GROUND      %5f              8  \n\n\n   ',Ia)
H=1:1:14;
Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
      abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
      abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
      abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
      abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
title('Voltage in Bus')
  xlabel('bus')
  ylabel('voltage (p.u)')
  text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
  text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
  text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
   p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
```

```
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-------------------------------------------');
disp(' BUS   V(pu)     V(pu)     V(pu)   ');
disp('       Zero     negative   positive  ');
disp('       sequence  equence   sequence  ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf(' %2.0f   %2.4f    %2.4f     %2.4f \n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 12

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I12_0f=1.0/(Zbus1(12,12)+Zbus2(12,12)+Zbus0(12,12)+3*Zf);
B12=[I12_0f;I12_0f;I12_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I12_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,12)*I12_0f;V(1,1)-Zbus1(1,12)*I12_0f;0-Zbus2(1,12)*I12_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,12)*I12_0f;V(2,1)-Zbus1(2,12)*I12_0f;0-Zbus2(2,12)*I12_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,12)*I12_0f;V(3,1)-Zbus1(3,12)*I12_0f;0-Zbus2(3,12)*I12_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,12)*I12_0f;V(4,1)-Zbus1(4,12)*I12_0f;0-Zbus2(4,12)*I12_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,12)*I12_0f;V(5,1)-Zbus1(5,12)*I12_0f;0-Zbus2(5,12)*I12_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,12)*I12_0f;V(6,1)-Zbus1(6,12)*I12_0f;0-Zbus2(6,12)*I12_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,12)*I12_0f;V(7,1)-Zbus1(7,12)*I12_0f;0-Zbus2(7,12)*I12_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,12)*I12_0f;V(8,1)-Zbus1(8,12)*I12_0f;0-Zbus2(8,12)*I12_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,12)*I12_0f;V(9,1)-Zbus1(9,12)*I12_0f;0-Zbus2(9,12)*I12_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,12)*I12_0f;V(10,1)-Zbus1(10,12)*I12_0f;0-Zbus2(10,12)*I12_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,12)*I12_0f;V(11,1)-Zbus1(11,12)*I12_0f;0-Zbus2(11,12)*I12_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,12)*I12_0f;V(12,1)-Zbus1(12,12)*I12_0f;0-Zbus2(12,12)*I12_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,12)*I12_0f;V(13,1)-Zbus1(13,12)*I12_0f;0-Zbus2(13,12)*I12_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,12)*I12_0f;V(14,1)-Zbus1(14,12)*I12_0f;0-Zbus2(14,12)*I12_0f];
  V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
```

```
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n     LINE TO GROUND      %5f                8  \n\n\n   ',[a)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
 disp('--Voltage from fault----');
 disp('-------------------------------------');
 disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)    ');
 disp('         Zero      negative    positive  ');
 disp('        sequence    equence     sequence  ');
 disp('-------------------------------------');
 fprintf('   %2.0f     %2.4f     %2.4f      %2.4f \n\n',p);
 disp('-------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่ 13

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
```

```
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I13_0f=1.0/(Zbus1(13,13)+Zbus2(13,13)+Zbus0(13,31)+3*Zf);
B13=[I13_0f;I13_0f;I13_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(13*I8_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,13)*I13_0f;V(1,1)-Zbus1(1,13)*I13_0f;0-Zbus2(1,13)*I13_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,13)*I13_0f;V(2,1)-Zbus1(2,13)*I13_0f;0-Zbus2(2,13)*I13_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,13)*I13_0f;V(3,1)-Zbus1(3,13)*I13_0f;0-Zbus2(3,13)*I13_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,13)*I13_0f;V(4,1)-Zbus1(4,13)*I13_0f;0-Zbus2(4,13)*I13_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,13)*I13_0f;V(5,1)-Zbus1(5,13)*I13_0f;0-Zbus2(5,13)*I13_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,13)*I13_0f;V(6,1)-Zbus1(6,13)*I13_0f;0-Zbus2(6,13)*I13_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,13)*I13_0f;V(7,1)-Zbus1(7,13)*I13_0f;0-Zbus2(7,13)*I13_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,13)*I13_0f;V(8,1)-Zbus1(8,13)*I13_0f;0-Zbus2(8,13)*I13_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,13)*I13_0f;V(9,1)-Zbus1(9,13)*I13_0f;0-Zbus2(9,13)*I13_0f];
V10f=[0-Zbus0(10,13)*I13_0f;V(10,1)-Zbus1(10,13)*I13_0f;0-Zbus2(10,13)*I13_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,13)*I13_0f;V(11,1)-Zbus1(11,13)*I13_0f;0-Zbus2(11,13)*I13_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,13)*I13_0f;V(12,1)-Zbus1(12,13)*I13_0f;0-Zbus2(12,13)*I13_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,13)*I13_0f;V(13,1)-Zbus1(13,13)*I13_0f;0-Zbus2(13,13)*I13_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,13)*I13_0f;V(14,1)-Zbus1(14,13)*I13_0f;0-Zbus2(14,13)*I13_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
 fprintf('\n\n     TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT     relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n     LINE TO GROUND     %5f              8  \n\n\n  ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
      abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
      abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
      abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
      abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[  abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));      abs(V7F
(3,1));abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
```

```
xlabel('bus')
ylabel('voltage (p.u)')
text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
  p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
disp('--Voltage from fault-----');
disp('-------------------------------------------');
disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)    ');
disp('          Zero      negative   positive  ');
disp('         sequence   equence    sequence  ');
disp('-------------------------------------------');
fprintf('  %2.0f    %2.4f     %2.4f      %2.4f \n\n',p);
disp('-------------------------------------------');
```

โปรแกรมช่วยที่14

```
clear; clc; loadflow; symfault;
   fprintf('Unbalance fault') ; Zf=0; Zbus0=Zbus; Zbus1=Zbus; Zbus2=Zbus;
   a=cos(120*pi/180)+j*sin(120*pi/180);
A=[1  1   1;1  a^2 a;1  a   a^2];
% single line to ground fault at bus 8 phase
%fprintf('single line to ground fault at bus 8 phase')
I14_0f=1.0/(Zbus1(14,14)+Zbus2(14,14)+Zbus0(14,14)+3*Zf);
B8=[I14_0f;I14_0f;I14_0f];
%fprintf('the fault current is')
Ia=abs(3*I14_0f);
%symmetrical components of bus voltage during fault
V1f=[0-Zbus0(1,14)*I14_0f;V(1,1)-Zbus1(1,14)*I14_0f;0-Zbus2(1,14)*I14_0f];
V2f=[0-Zbus0(2,14)*I14_0f;V(2,1)-Zbus1(2,14)*I14_0f;0-Zbus2(2,14)*I14_0f];
V3f=[0-Zbus0(3,14)*I14_0f;V(3,1)-Zbus1(3,14)*I14_0f;0-Zbus2(3,14)*I14_0f];
V4f=[0-Zbus0(4,14)*I14_0f;V(4,1)-Zbus1(4,14)*I14_0f;0-Zbus2(4,14)*I14_0f];
V5f=[0-Zbus0(5,14)*I14_0f;V(5,1)-Zbus1(5,14)*I14_0f;0-Zbus2(5,14)*I14_0f];
V6f=[0-Zbus0(6,14)*I14_0f;V(6,1)-Zbus1(6,14)*I14_0f;0-Zbus2(6,14)*I14_0f];
V7f=[0-Zbus0(7,14)*I14_0f;V(7,1)-Zbus1(7,14)*I14_0f;0-Zbus2(7,14)*I14_0f];
V8f=[0-Zbus0(8,14)*I14_0f;V(8,1)-Zbus1(8,14)*I14_0f;0-Zbus2(8,14)*I14_0f];
V9f=[0-Zbus0(9,14)*I14_0f;V(9,1)-Zbus1(9,14)*I14_0f;0-Zbus2(9,14)*I14_0f];
```

```
V10f=[0-Zbus0(10,14)*I14_0f;V(10,1)-Zbus1(10,14)*I14_0f;0-Zbus2(10,14)*I14_0f];
V11f=[0-Zbus0(11,14)*I14_0f;V(11,1)-Zbus1(11,14)*I14_0f;0-Zbus2(11,14)*I14_0f];
V12f=[0-Zbus0(12,14)*I14_0f;V(12,1)-Zbus1(12,14)*I14_0f;0-Zbus2(12,14)*I14_0f];
V13f=[0-Zbus0(13,14)*I14_0f;V(13,1)-Zbus1(13,14)*I14_0f;0-Zbus2(13,14)*I14_0f];
V14f=[0-Zbus0(14,14)*I14_0f;V(14,1)-Zbus1(14,14)*I14_0f;0-Zbus2(14,14)*I14_0f];
 V1F=A*V1f; V2F=A*V2f; V3F=A*V3f;V4F=A*V4f ;V5F=A*V5f;V6F=A*V6f;V7F=A*V7f;
V8F=A*V8f ;V9F=A*V9f;V10F=A*V10f;V11F=A*V11f;V12F=A*V12f ;V13F=A*V13f;V14F=A*V14f;
fprintf('\n\n      TYPE OF FAULT     CURRENT FAULT      relay  trip breaker at Bus  ')
 fprintf('\n\n\n      LINE TO GROUND      %5f                8  \n\n\n    ',Ia)
 H=1:1:14;
 Xa=[ abs(V1F(1,1));abs(V2F(1,1));abs(V3F(1,1));abs(V4F(1,1));abs(V5F(1,1));abs(V6F(1,1))
       abs(V7F(1,1));abs(V8F(1,1));abs(V9F(1,1));abs(V10F(1,1));abs(V11F(1,1));abs(V12F(1,1))
       abs(V13F(1,1));abs(V14F(1,1))];
 Xb=[  abs(V1F(2,1));abs(V2F(2,1));abs(V3F(2,1));abs(V4F(2,1));abs(V5F(2,1));abs(V6F(2,1))
       abs(V7F(2,1));abs(V8F(2,1));abs(V9F(2,1));abs(V10F(2,1));abs(V11F(2,1));abs(V12F(2,1))
       abs(V13F(2,1));abs(V14F(2,1))];
 Xc=[ abs(V1F(3,1));abs(V2F(3,1));abs(V3F(3,1));abs(V4F(3,1));abs(V5F(3,1));abs(V6F(3,1));       abs(V7F
(3,1);abs(V8F(3,1));abs(V9F(3,1)); abs(V10F(3,1));abs(V11F(3,1));abs(V12F(3,1))
abs(V13F(3,1)); abs(V14F(3,1))];
 plot(H,Xa,H,Xb,H,Xc,H,Vt)
 title('Voltage in Bus')
   xlabel('bus')
   ylabel('voltage (p.u)')
   text(1.5,1.05,'Voltage from load flow')
   text(6,0.1,'Voltage of Zero sequence')
   text(6,0.9,'Voltage of positive and negative sequence')
    p=[W;reshape(Xa,1,14);reshape(Xb,1,14);reshape(Xc,1,14)]
 disp('--Voltage from fault----');
 disp('-----------------------------------------');
 disp('  BUS    V(pu)      V(pu)      V(pu)     ');
 disp('          Zero      negative    positive  ');
 disp('        sequence    equence     sequence  ');
 disp('-----------------------------------------');
 fprintf('  %2.0f    %2.4f     %2.4f      %2.4f\n\n',p);
 disp('-----------------------------------------');
```

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นามสกุล นายพิเชษฐ์ เมฆพัฒน์

ภูมิลำเนา 46/3 หมู่ 3 ต.คลองตาล อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสำโรงชนูปถัมภ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail : pichet_electrical@hotmail.com

ชื่อ นามสกุล นายศิระ เอกบุตร

ภูมิลำเนา 269 หมู่ 4 ต.ตะเบาะ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเพชรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail : joe_ekkabutr@hotmail.com

ชื่อ นามสกุล นายเชิดพงษ์ กระบวนศรี

ภูมิลำเนา 354/1 หมู่ 1 ต.นิคมฯ อ.เมือง จ.กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail : kraweepong@hotmail.com