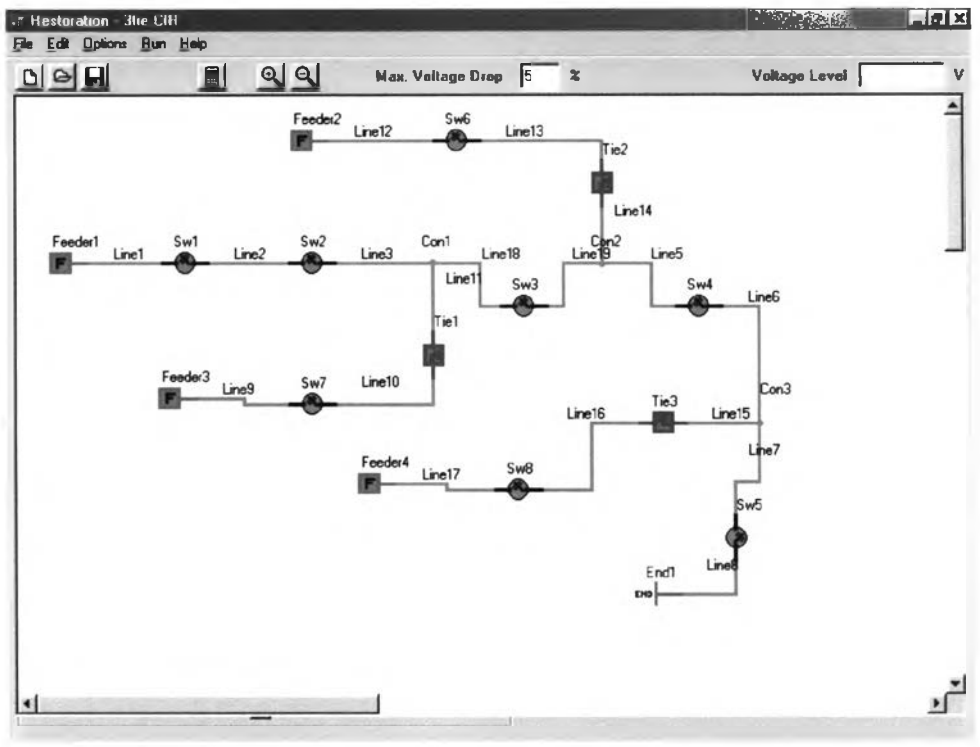
บทที่ 7
ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ ในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การทำงานของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ ในที่นี้ขอยกตัวอย่างวงจรซึ่งมี 4 สายป้อน และมี Tie-Switch 3 ตัว เชื่อมต่ออยู่ระหว่างสายป้อนเหล่านั้น วงจรนี้ประกอบด้วยสวิตช์ 8 ตัว จุดแยก 3 จุด และกิ่งของสายป้อน 18 ส่วน ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ Radial ที่ใช้เป็นตัวอย่าง

โดยค่าระดับแรงดันของสายป้อนต่างๆ รวมถึงโหลดของกิ่งของสายป้อนทั้งหมด ได้แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7.1 แสดงระดับแรงดันของสายป้อนต่างๆ

Name	Voltage Level (kV)
Feeder1	22
Feeder2	22
Feeder3	22
Feeder4	22

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายป้อนกิ่งต่างๆ

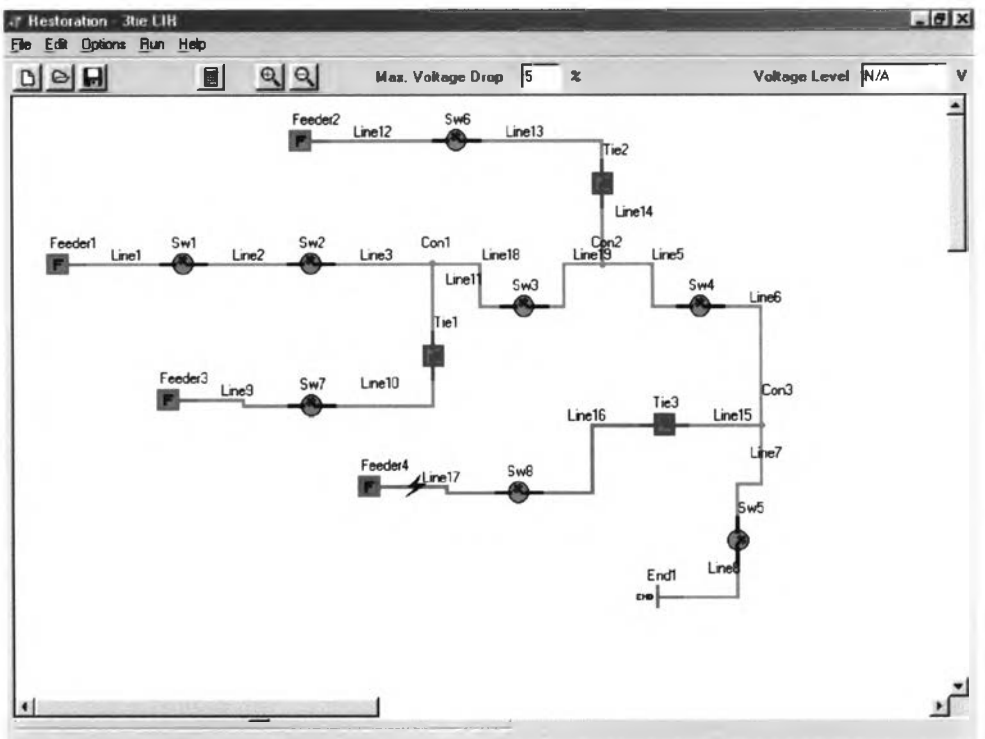
Name	R (Ohms per km)	X (Ohms per km)	Length (km)	Line Load (kVA)	Load P.F.	Load Type
Line1	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line2	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line3	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line5	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line6	1.2	0.95	0.5	500	0.85	Distributed
Line7	1.2	0.95	0.5	500	0.85	Distributed
Line8	1.2	0.95	0.5	500	0.85	Distributed
Line9	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line10	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line11	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line12	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line13	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line14	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line15	1.2	0.95	0.5	500	0.85	Distributed
Line16	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line17	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line18	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed
Line19	1.2	0.95	0.5	600	0.85	Distributed

จากการตรวจสอบค่าแรงดัน ณ จุดต่างๆของสายป้อนจะเห็นได้ว่า Line8 มีค่าแรงดันตกสูงสุด ถึง 4.97 % ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างความผิดพร่องที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆของสายป้อน 4 จุดด้วยกันคือ

ความผิดพร่องที่ Line17 ความผิดพร่องที่ Line5 ความผิดพร่องที่ Con1 และความผิดพร่องที่ Line2 โดยแต่ละจุดจะทำการเปรียบเทียบ และอธิบายความสามารถของโปรแกรมต่อไป

1. ความผิดพร่องที่ Line17

เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Line17 เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้นทางของ Feeder4 จะทำการเปิดวงจร ทำให้ไม่มีไฟฟ้าในสายป้อนนี้ ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Line17

หากตั้งค่า Max. Voltage Drop ไว้ที่ 5% หลังจากรันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

- No Switch Operation

นั่นคือจะเกิดบริเวณที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟ 2 บริเวณคือ Line16 และ Line17 แต่ถ้าหากตั้งค่า Max. Voltage Drop ไว้ที่ 6% หลังจากรันโปรแกรมจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์เปลี่ยนไปดังนี้

- Open Sw8
- Close Tie3

นั่นคือ Line16 ได้ถูกกู้คืนโดยแรงดันตก ณ ปลาย Line16 มีค่ามากที่สุดเป็น 5.73% และ โหลด

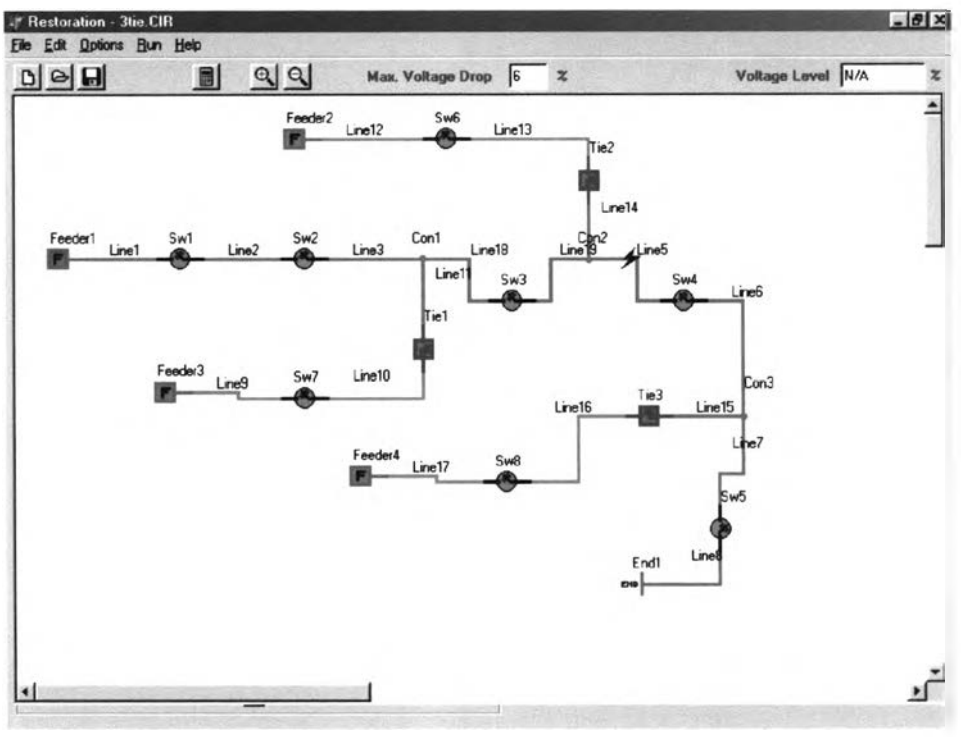
ถูกกู้คืน 600 kVA จากโหลดที่เกิดความผิดพร่อง 1200 kVA ซึ่งคิดเป็น 50% เนื่องจากโหลดของ Line16 มีค่าเป็น 600 kVA ในกรณีที่ตั้ง Max. Voltage Drop ไว้ที่ 6% และตั้งค่า Min. Load to be Restored เป็น 650 kVA จะได้ว่า

- No Switch Operation

นั่นคือไม่มีการกู้ส่วนที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟคืน เนื่องจากโหลดนั้นมีค่าน้อยกว่าที่ได้ตั้งไว้

2. ความผิดพร่องที่ Line 5

เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Line5 เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางของ Feeder1 จะทำการเปิดวงจร ทำให้ไม่มีไฟฟ้าในสายป้อนนี้ ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Line5

หากตั้ง Max. Voltage Drop ไว้ที่ 5% หลังจากรันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์เป็น

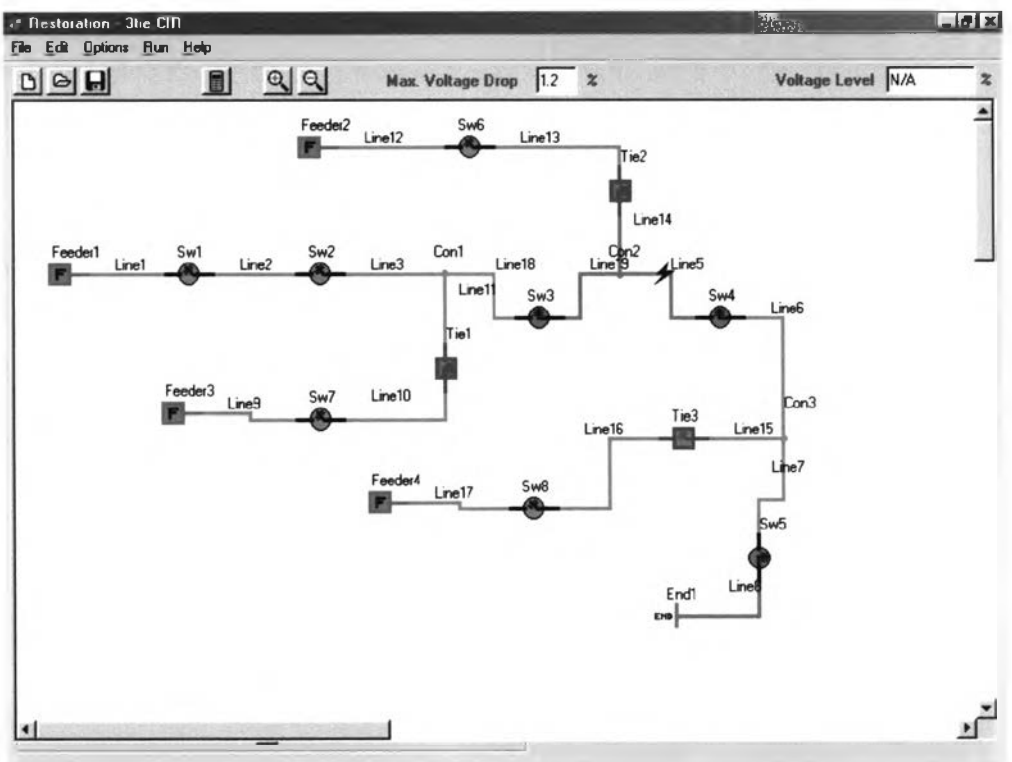
- Open Sw3
- Open Sw4
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Close Tie3

นั่นคือโหลดส่วนใหญ่ของ Feeder1 ได้ถูกกู้คืนเป็นปริมาณ 5000 kVA จากโหลดที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟเนื่องจากความผิดพร่องในครั้งแรก 6800 kVA ซึ่งคิดเป็น 73.53 %

หากตั้ง Max. Voltage Drop ไว้ที่ 1.2 % หลังจากรันโปรแกรมจะได้ว่า Feeder4 ไม่สามารถจ่ายไฟให้บริเวณที่เกิดไฟดับของ Feeder1 ได้ เนื่องจากแรงดันตกมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้เพื่อที่จะกู้โหลดบางส่วนใน Zone นี้ จำเป็นที่จะต้องตัดโหลดบางส่วนออก โดยกำหนดให้ตัดโหลดที่ Line8 ออก หลังจากกำหนดโหลดที่จะถูก Shed ใน Load Setting Menu แล้ว จะได้ผลการรันโปรแกรมเป็น

- Open Sw3
- Open Sw4
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Open Sw5 → Shed Line8
- Close Tie3

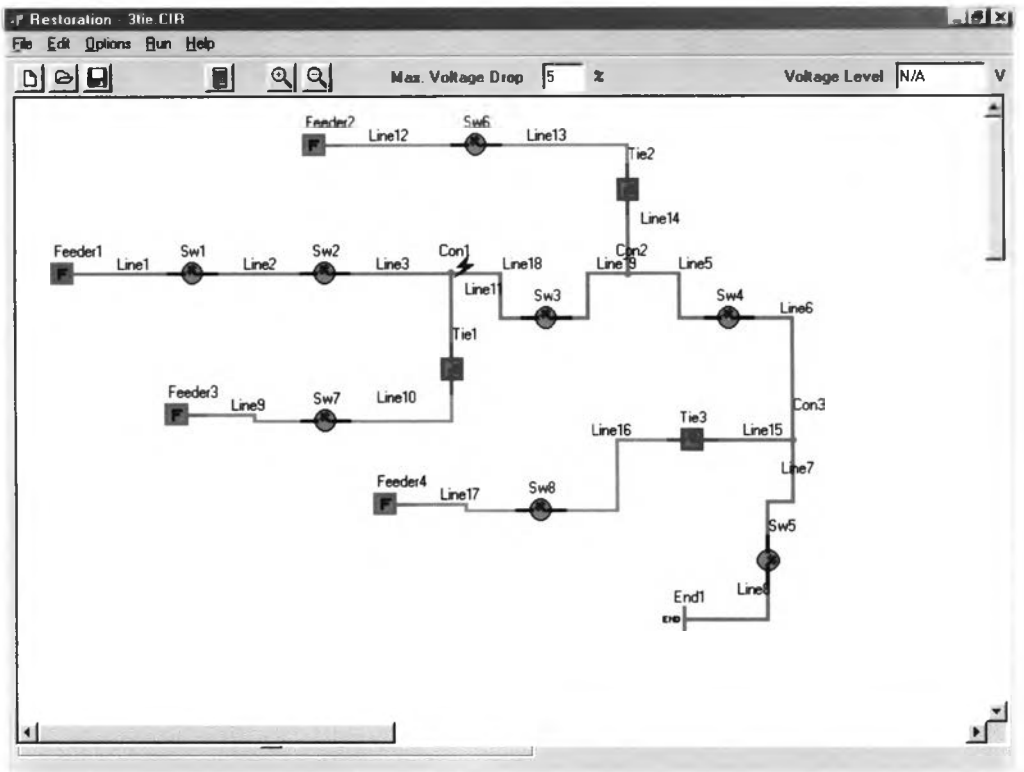
ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถกู้โหลดคืนได้ 4500 kVA จากโหลดที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟทั้งหมด 6800 kVA หรือคิดเป็น 66.18 % ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำ Load Shedding Line8

3. ความผิดพร่องที่ Con 1

เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Con1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางของ Feeder1 จะทำการเปิดวงจรทำให้ไม่มีไฟฟ้าในสายป้อนนี้ ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Con1

จะเห็นได้ว่ามี 2 Zones ที่ต้องกู้คืนนั่นคือ Zone of Sw2 และ Zone of Sw3 สำหรับ Zone of Sw2 นั้น ทำการกู้คืนได้โดยง่าย คือสั่งปิดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ของ Feeder1 แต่สำหรับ Zone of Sw3 นั้น จะเห็นได้ว่ามี Tie-Switch 2 ตัว อยู่ใน Zone นี้

หลังจากรันโปรแกรมจะสามารถแสดงข้อแตกต่างระหว่างการเลือกปิดวงจรสวิตช์ Tie2 และ Tie3 ได้ดังนี้

ตารางที่ 7.3 แสดงค่าแรงดันตกสูงสุดจากการเลือกปิดวงจร Tie-Switch ทั้ง 2 แบบ

Close Tie2 Max. Voltage Drop	Close Tie3 Max. Voltage Drop
2.79% at Line8	2.60% at Line14 & Line19

ซึ่งโปรแกรมจะทำการเลือกปิดวงจร Tie-Switch ตามข้อกำหนดต่อไปนี้

1. หาก Max. Voltage Drop ไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ทั้ง 2 กรณี ให้เลือกกรณีที่มีค่า Voltage Drop น้อยที่สุด

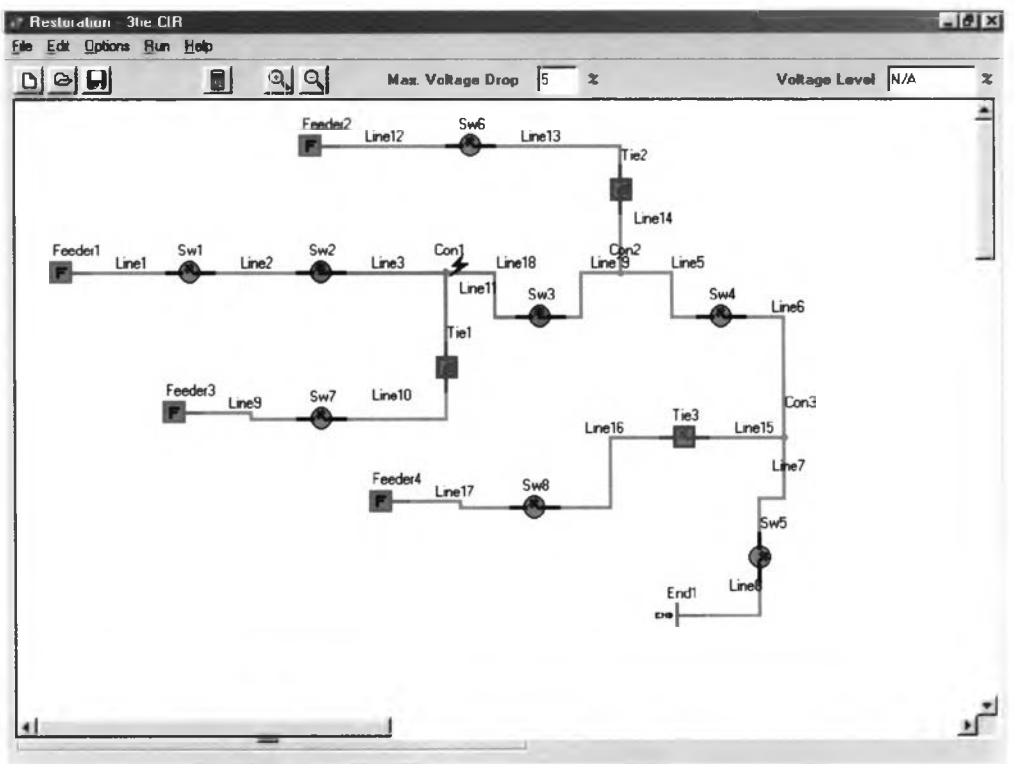
2. หากวิธีใดทำให้ Max. Voltage Drop มีค่าไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ ในขณะที่อีกวิธีทำให้ค่า Max. Voltage Drop มีค่าเกินที่ตั้งไว้ ให้เลือกทำตามวิธีนั้น

3. หากทั้ง 2 วิธี ไม่สามารถทำให้แรงดันตกมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้จำเป็นที่จะต้องทำ Multi-Grouping ต่อไป

ถ้ากำหนดให้ Max. Voltage Drop เป็น 5 % จะได้ผลการรันโปรแกรมเป็น

- Open Sw2
- Open Sw3
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Close Tie3

เนื่องจาก การเลือกปิดวงจร Tie3 ให้ค่าแรงดันตกสูงสุดต่ำกว่าการเลือกปิดวงจร Tie2 ดังนั้นจึงเลือกวิธีแรกในการกู้ Zone of Sw2 นี้ ดังรูปที่ 7.6

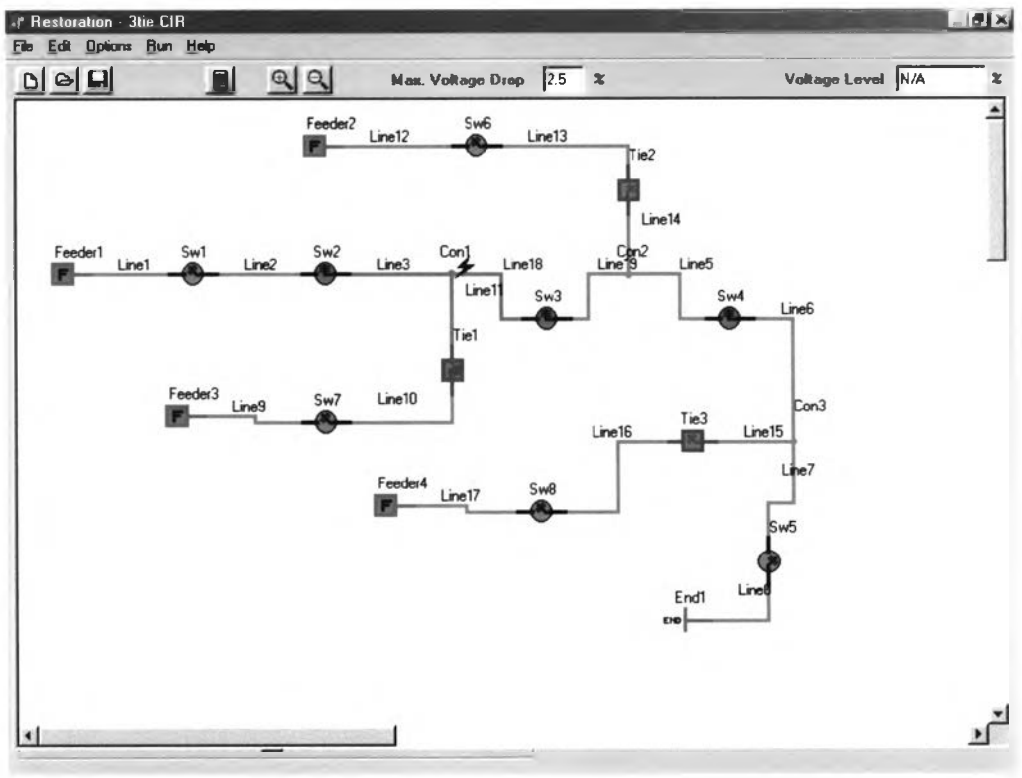


รูปที่ 7.6 แสดงการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังจากปิดวงจร Tie3

แต่ถ้ากำหนดให้ Max. Voltage Drop เป็น 2.5 % วิธีข้างต้นจะไม่สามารถกู้บริเวณที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟคืนได้ เนื่องจากแรงดันตก ณ ปลายสายป้อนจากการปิดวงจรสวิตช์ทั้ง 2 วิธีมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ จึงต้องใช้วิธี Multi-Grouping คือแบ่ง Zone นี้เป็น Zone ย่อย 2 Zones โดยทำการเปิดวงจร Sw4 และทำการปิดวงจร Tie-Switch ทั้ง 2 ซึ่งผลการรันโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

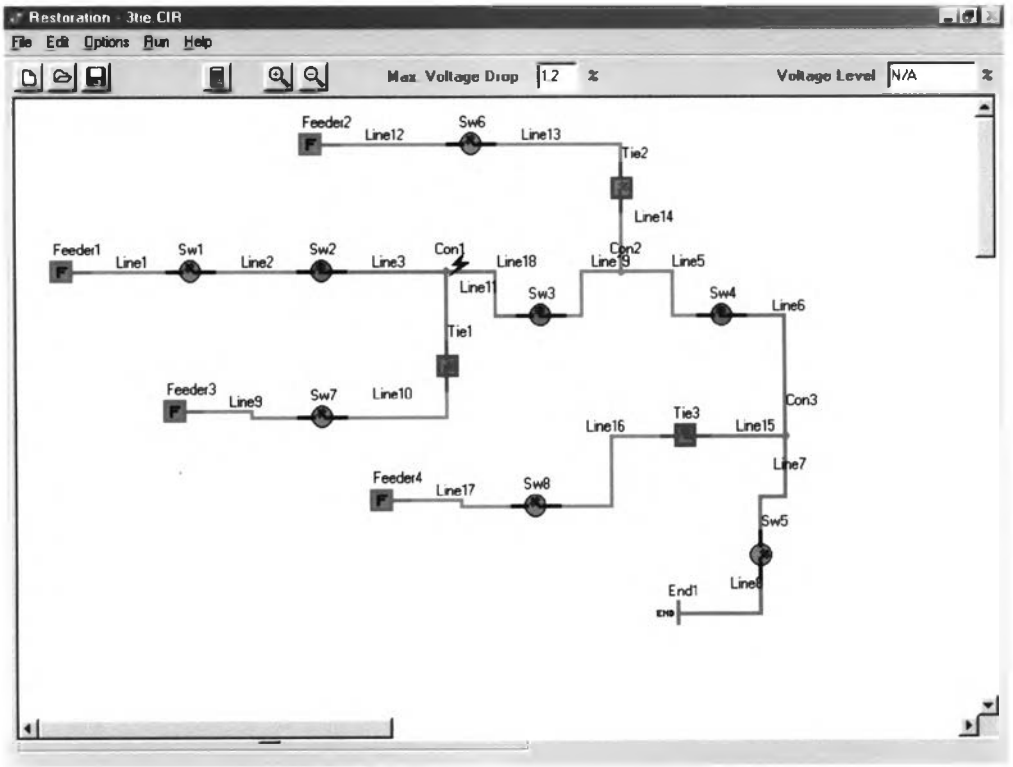
- Open Sw2
- Open Sw3
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Open Sw4
- Close Tie2
- Close Tie3

ดังแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 7.7



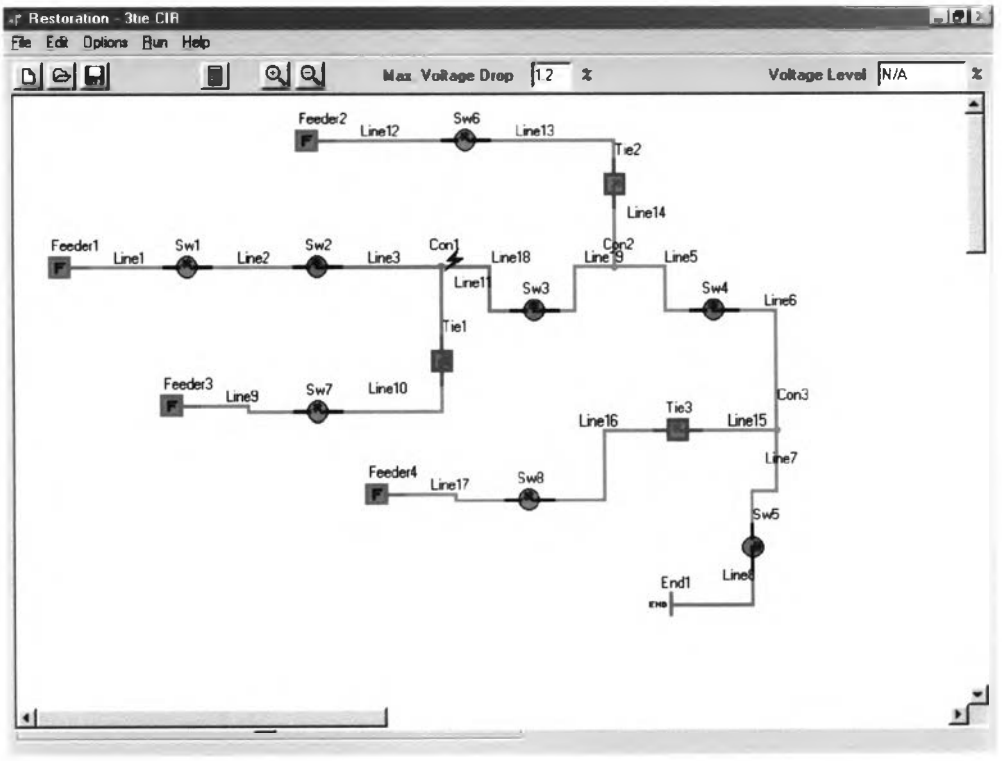
รูปที่ 7.7 แสดงการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังจากเปิดวงจร Sw4

และถ้ากำหนดให้ค่า Max. Voltage Drop เป็น 1.2 % จากวิธีข้างต้น Feeder4 จะไม่สามารถกู้โหลดได้ ทำให้เกิดไฟดับบริเวณปลายสายป้อนของ Feeder1 ดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 แสดงการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังจากลดค่า Max. Voltage Drop เป็น 1.2 %

ดังนั้นจึงควรกำหนดโหลดที่ต้องการ Shed ซึ่งในกรณีนี้จะทำการ Shed Line8 ออก โดยหลังจากการทำ Load Shedding จะได้ว่าโหลดที่ไม่สามารถกู้คืนได้ข้างต้น สามารถกู้คืนได้บางส่วน ดังรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.9 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำ Load Shedding Line8

โดยโปรแกรมจะเสนอวิธีการกู้ระบบคืนดังนี้

- Open Sw2
- Open Sw3
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Open Sw4
- Close Tie2
- Open Sw5
- Close Tie3

4. ความผิดพร่องที่ Line 2

สำหรับกรณีนี้ เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น จะทำให้ Feeder1 ไม่มีไฟ เนื่องจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ ต้นทางทำการเปิดวงจรเช่นเคย หลังจากทำการแยกส่วนความผิดพร่องออก โดยทำการเปิดวงจร Sw1 และ Sw2 แล้ว Zone of Sw1 สามารถกู้คืนได้โดยการ Reclose เซอร์กิตเบรกเกอร์ ของ Feeder1 สำหรับ Zone of Sw2 นั้นจะเห็นได้ว่ามี Tie-Switch ถึง 3 ตัว ซึ่งหากทำการทดลองปิดวงจร Tie-Switch ทีละตัว เพื่อจ่ายไฟให้บริเวณดังกล่าวจะได้ผล ดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 แสดงค่าแรงดันตกสูงสุดจากการเลือกปิดวงจร Tie-Switch ทั้ง 3 แบบ

Close Tie1 Max. Voltage Drop	Close Tie2 Max. Voltage Drop	Close Tie3 Max. Voltage Drop
4.97% at Line8	3.69% at Line8	4.71% at Line3 & Line11

หากตั้งค่า Max. Voltage Drop ไว้ที่ 5 % โปรแกรมจะทำการเลือกปิดวงจร Tie2 เนื่องจาก ให้ค่าแรงดันตกต่ำที่สุด หรือสามารถแสดงให้ดูเป็น Sequence ได้ดังนี้

- Open Sw1
- Open Sw2
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Close Tie2

ถ้าหากตั้งค่า Max. Voltage Drop ไว้ที่ 3 % จะเห็นได้ว่าไม่มีวิธีการปิดวงจร Tie-Switch ตัวใดที่สามารถกู้ Zone of Sw2 นี้ได้ จึงต้องทำ Multi-Grouping โดยทดลองเปิดวงจร Sw3 และ Sw4 เพื่อแบ่ง Zone of Sw2 ออกเป็น 2 Zones ย่อย ซึ่งจะได้ผล ดังตารางที่ 7.5 และ 7.6

ตารางที่ 7.5 วิธี Open Sw3

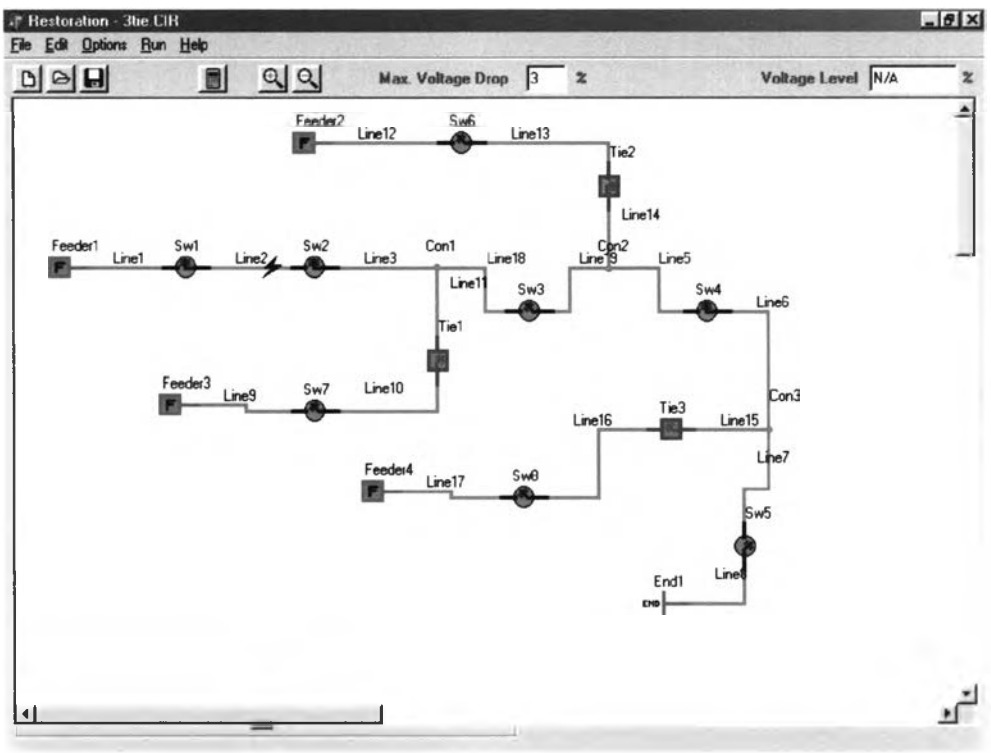
	Max. Voltage Drop
Close Tie1	1.05% at Line3 & Line18
Close Tie2	2.79% at Line8
Close Tie3	2.60% at Line14 & Line19

ตารางที่ 7.6 วิธี Open Sw4

	Max. Voltage Drop
Close Tie1	2.50% at Line3 & Line11
Close Tie2	2.50% at Line8 & Line14
Close Tie3	1.26% at Line8

โปรแกรมจะทำการเลือก Close Tie1 และ Close Tie3 ทั้ง 2 วิธี

จากนั้นโปรแกรมจะทำการเลือกวิธีที่แรงดันตกสูงสุดของแต่ละวิธีมีค่าต่ำสุด ซึ่งแรงดันตกสูงสุดของวิธี Open Sw3 คือ 2.79 % และ แรงดันตกสูงสุดของวิธี Open Sw4 มีค่าเป็น 2.50 % ดังนั้นโปรแกรมจะทำการเลือก Open Sw4 Close Tie1 และ Close Tie3 ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 7.10



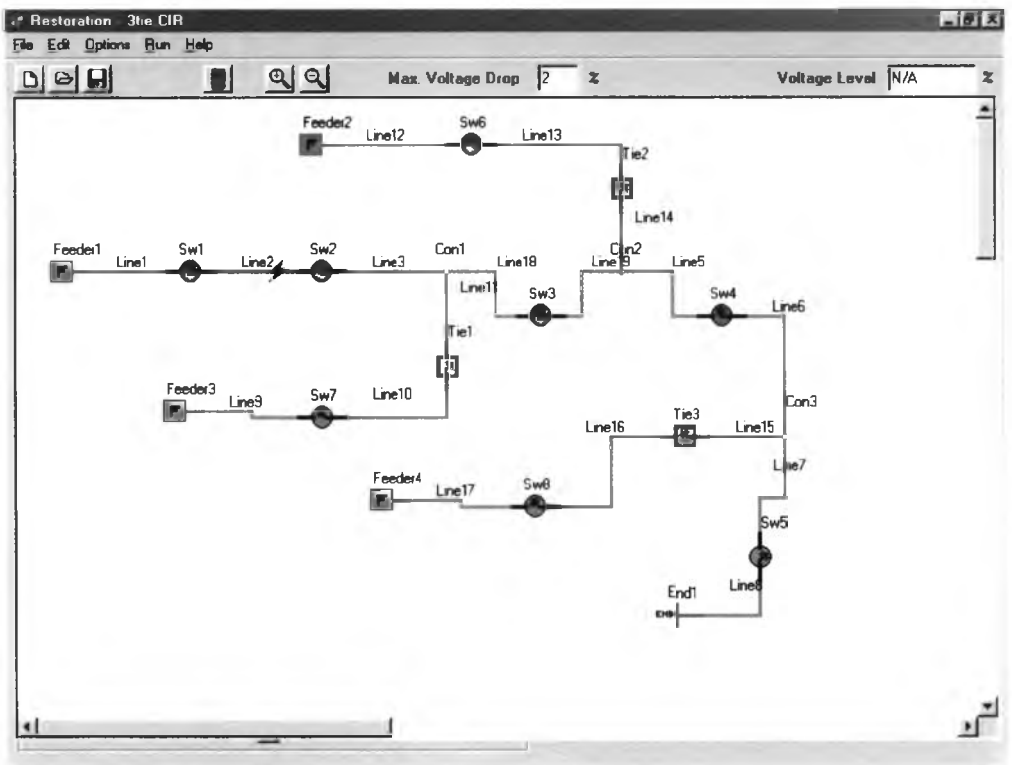
รูปที่ 7.10 แสดงการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำการเปิดวงจร Sw4

หากเปลี่ยนค่า Max. Voltage Drop เป็น 2 % วิธีข้างต้นจะไม่สามารถที่จะกู้ Zone of Sw2 คืนได้ จึงต้องทำการ Multi-Grouping อีกครั้ง โดยพิจารณาว่ามี Switch ใดที่สามารถเปิดวงจรเพื่อแบ่ง Zone of Sw2 เป็น Zone ที่ย่อยลงไปอีกได้บ้าง ซึ่งในที่นี้โปรแกรมจะทำการเปิดวงจร Sw4 เพื่อแบ่งให้ Tie2

และ Tie3 ช่วยกันจ่ายไฟแก่บริเวณที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟดังกล่าว หากแรงดันตก ณ ปลายสายป้อนต่างๆ ไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ วิธีนี้ถือว่าได้ผล โดยโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ดังนี้

- Open Sw1
- Open Sw2
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Open Sw4
- Close Tie3
- Open Sw3
- Close Tie1
- Close Tie2

ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 7.11

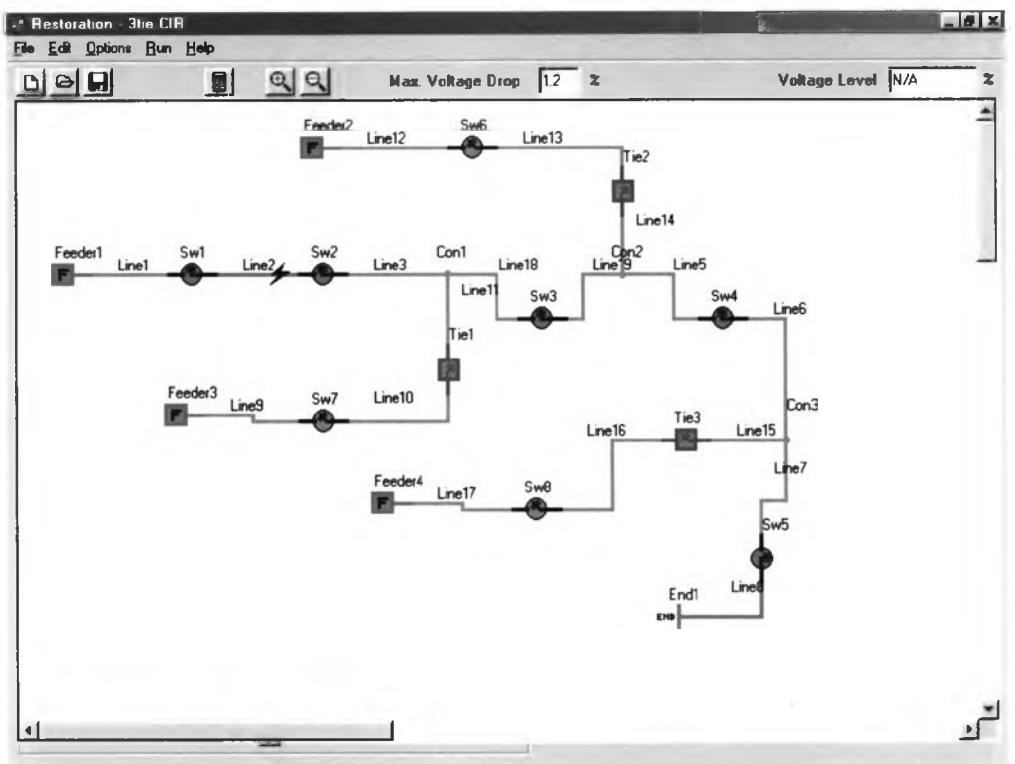


รูปที่ 7.11 แสดงการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำการเปิดวงจร Sw3 และ Sw4

แต่ถ้าหาก Max. Voltage Drop มีค่าเป็น 1.2 % Tie3 จะไม่สามารถจ่ายไฟให้บริเวณที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟทั้งหมดได้ จึงจำเป็นต้อง Shed โหลดบางส่วนออก ซึ่งในที่นี้ก็คือ Line8 โหลดของระบบนี้จึงสามารถถูกกู้คืนได้โดยส่วนมาก ซึ่งคิดเป็น 83.82 % ของ โหลดที่เกิดไฟดับทั้งหมดในครั้งแรก โดยโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์เป็น

- Open Sw1
- Open Sw2
- Reclose Circuit Breaker of Feeder1
- Open Sw3
- Close Tie1
- Open Sw4
- Close Tie2
- Open Sw5
- Close Tie3

ดังแสดงได้ดังรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 แสดงการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อทำการ Shed Line8 ออกจากระบบ