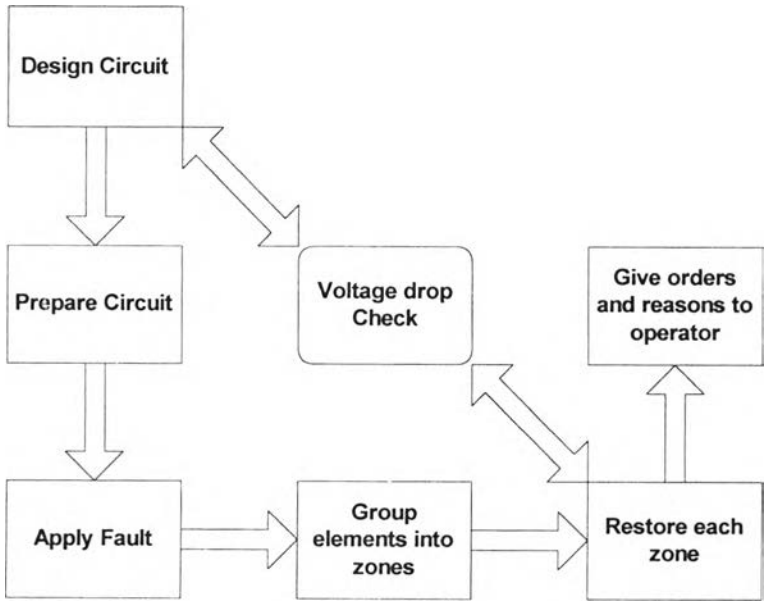
บทที่ 5
ระบบวินิจฉัย

ในการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น มีขั้นตอนที่สำคัญ คือ

ขั้นที่ 1 ทำการสร้างวงจร Single-Line Diagram ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ต้องการพิจารณา โดยมีการกำหนดแผนผังวงจร ค่าสถานะของอุปกรณ์ต่าง ๆ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อน ความยาวของสายป้อน โหลดของสายป้อน และพาวเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดเหล่านั้น โดยวงจรนี้จะต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของระบบ เช่น ค่าแรงดันตก ที่ปลายสายจะต้องไม่เกินค่าที่ตั้งไว้

ขั้นที่ 2 จากวงจรที่สร้างขึ้นเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบถาวรขึ้นบริเวณสายป้อนใด ๆ และทราบตำแหน่งของความผิดพร่องนั้นแล้ว โปรแกรมจะเริ่มทำการจัดวงจรออกเป็นกลุ่มของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยอุปกรณ์ที่อยู่บนสายป้อนเดียวกันจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถแยกสายป้อนต่าง ๆ ออกจากกันได้ จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มพิจารณาหาตำแหน่งของความผิดพร่องว่าเกิดขึ้น ณ บริเวณใด และทำการแยกส่วนบริเวณนั้นออกจากระบบ จากนั้นจึงทำการรวมกลุ่มบริเวณที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟเพื่อหาวิธีในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้บริเวณดังกล่าวต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดัง Flow Chart ต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดง Flow Chart ในการทำงานของระบบวินิจฉัย

Circuit Design

ในการออกแบบวงจรนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ถูกออกแบบมาให้สามารถเก็บคุณสมบัติ (Properties) และข้อมูลที่เกี่ยวข้องไว้ในฐานข้อมูล (Data Base) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขและดึงข้อมูลออกมาใช้ได้โดยง่าย ฐานข้อมูลนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Static Database และ Dynamic Database เพื่อใช้งานในกรณีที่ต่างกัน ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนออุปกรณ์หลัก ๆ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไว้ 6 ชนิดด้วยกัน คือ

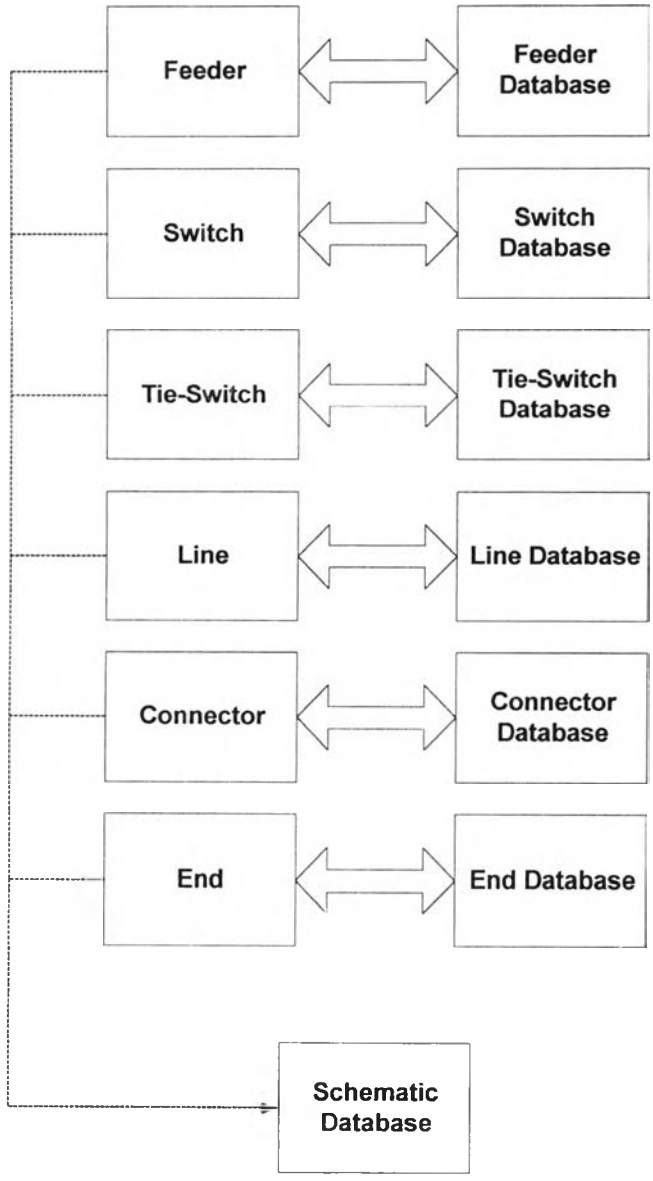
1. Feeder
2. Tie – Switch
3. Switch
4. Connector
5. Line
6. End

โดยแต่ละอุปกรณ์จะมีหน้าที่ต่างกัน ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงหน้าที่ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์	หน้าที่	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
Feeder	เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟโหลดต่าง ๆ	ระดับแรงดัน สถานะ การต่อเชื่อม และชื่ออุปกรณ์
Tie – Switch	เป็นสวิตช์ที่เชื่อมระหว่างสายป้อนโดยปกติจะเปิดวงจร	สถานะ การต่อเชื่อม และ ชื่ออุปกรณ์
Switch	เป็นสวิตช์ที่เชื่อมระหว่างกิ่งต่าง ๆ ของสายป้อน	สถานะ การต่อเชื่อม และ ชื่ออุปกรณ์
Connector	เป็นอุปกรณ์ช่วยในการแยกสายป้อนออกไปในทิศทางต่าง ๆ	สถานะ การต่อเชื่อม และ ชื่ออุปกรณ์
Line	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แทนสายป้อนซึ่งจะมี Load ต่ออยู่บน Line นี้	สถานะ การต่อเชื่อม ชื่ออุปกรณ์ ค่าอิมพีแดนซ์ ความยาวสาย และ ข้อมูลของโหลด
End	เป็นอุปกรณ์ที่บอกจุดสิ้นสุดของสายป้อน	สถานะ การต่อเชื่อม และ ชื่ออุปกรณ์

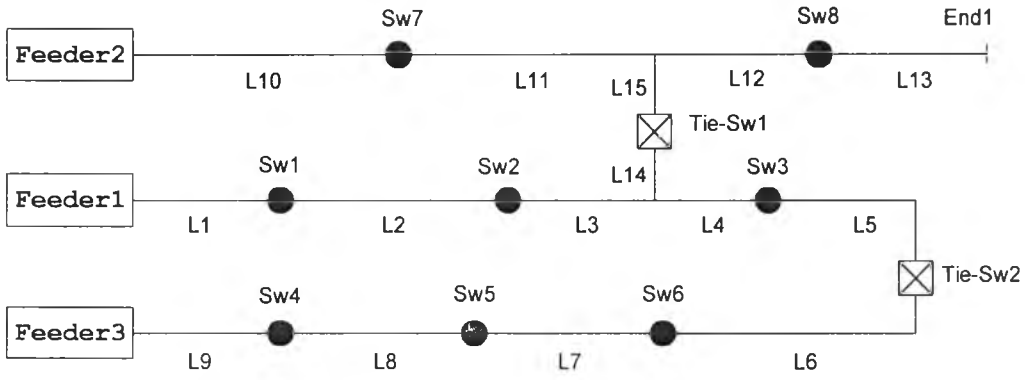
จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ มีข้อมูลที่สำคัญอยู่หลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Line เป็นอุปกรณ์ที่มีข้อมูลมากที่สุด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ เป็นข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นคุณสมบัติของวงจรหนึ่ง ๆ หลังจากออกแบบแล้วข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกเก็บใน Database ของแต่ละอุปกรณ์ ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดง Database ของอุปกรณ์ต่างๆ

นอกจากนี้ยังมี Draw Circuit Database ทำหน้าที่เก็บคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแสดงผล การ Save และการ Load แผนผังวงจรอีกด้วย

เมื่อมีการ Load ผังวงจรที่ได้ออกแบบไว้ขึ้นมาบน Interface โปรแกรมจะทำการเตรียมวงจรให้พร้อมในการทำงานขั้นต่อไป โดยการรวมอุปกรณ์ของแต่ละสายป้อนไว้เป็นกลุ่มเดียวกัน ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงวงจร 3 สายป้อนที่มีสวิตช์ต่อเชื่อมระหว่างวงจร

Feeder 1 = { Feeder1, L1, Sw1, L2, Sw2, L3, Con1, L4, Sw3, L5, Tie2, L14, Tie1 }

Feeder 2 = { Feeder2, L10, Sw7, L11, Con2, L12, Sw8, L13, End1, L15, Tie1 }

Feeder 3 = { Feeder3, L9, Sw4, L8, Sw5, L7, Sw6, L6, Tie2 }

โดย Sw แทน Switch

End แทน End

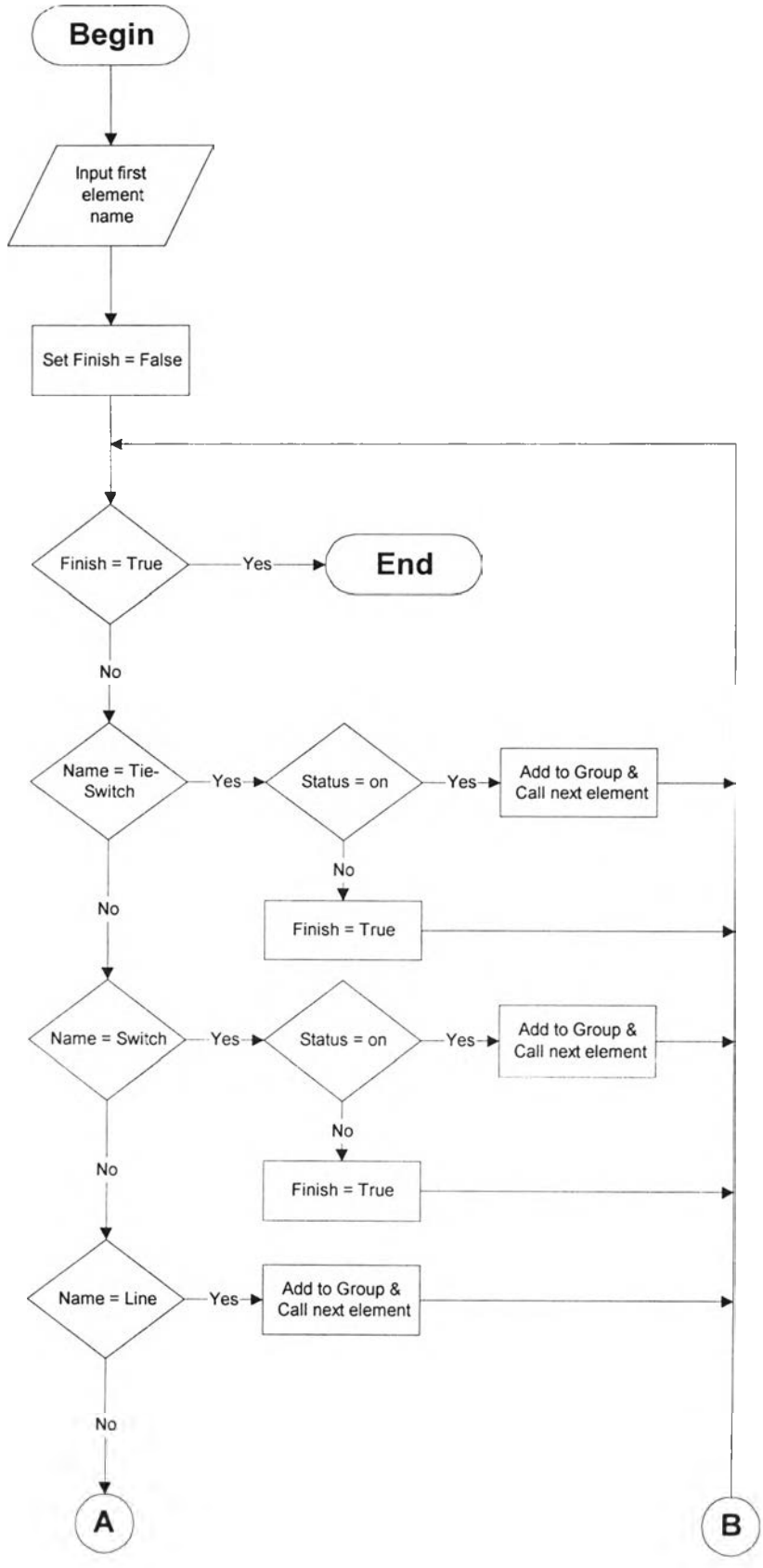
Con แทน Connector

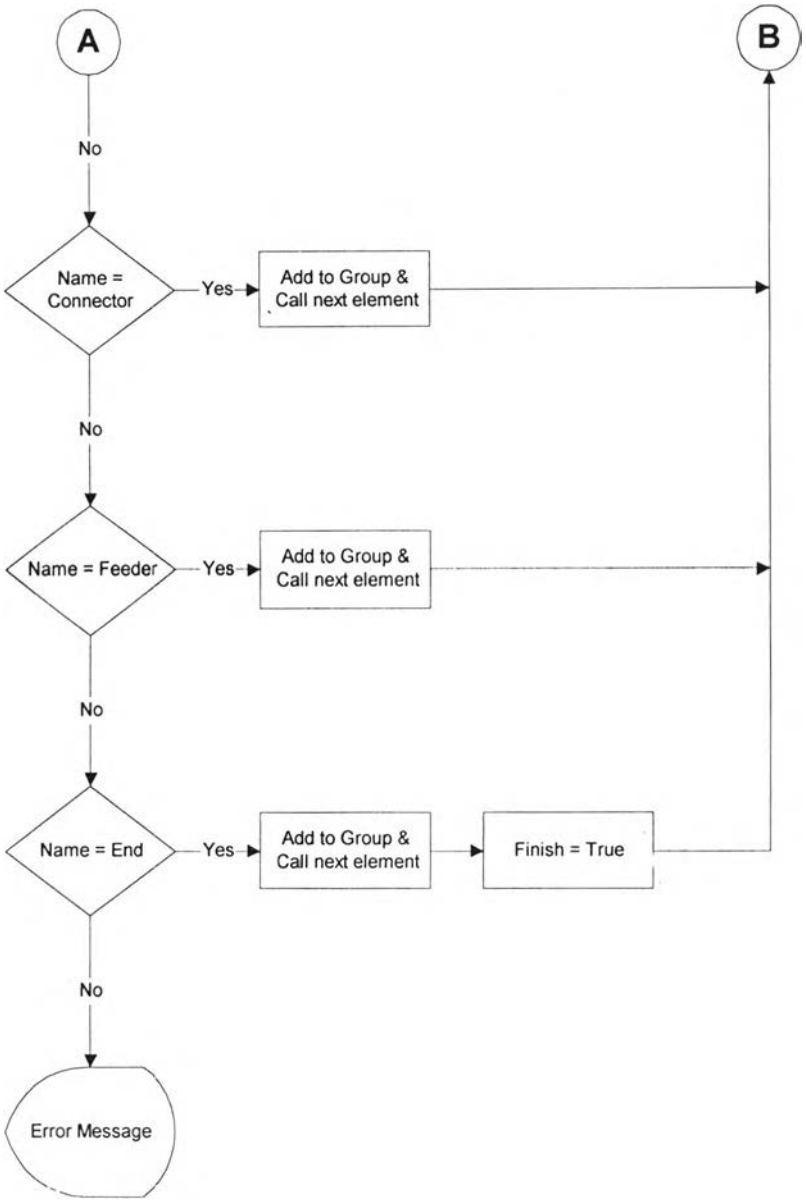
L แทน Line

Tie แทน Tie – Switch

Feeder แทน Circuit Breaker ของ Feeder นั้น

จะเห็นได้ว่าในสายป้อนหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ Feeder, Line, Switch, Connector, End และ Tie-Switch โดย Tie-Switch ซึ่งเป็นจุดต่อเชื่อม เป็นอุปกรณ์ที่สายป้อนคู่หนึ่งๆ ใช้ร่วมกันจึงจำเป็นต้องรวมกลุ่มไว้ในทั้ง 2 สายป้อน โดย Procedure ที่ทำการรวมกลุ่มถูกออกแบบให้เรียกตัวเองซ้ำ (Recursive) โดยไม่มีข้อจำกัดของขนาดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 5.4


Begin
Input first element name
Set Finish = False
Finish = True
Yes
End
No
Name = Tie-Switch
Yes
Status = on
Yes
Add to Group & Call next element
No
Finish = True
No
Name = Switch
Yes
Status = on
Yes
Add to Group & Call next element
No
Finish = True
No
Name = Line
Yes
Add to Group & Call next element
No
A
B



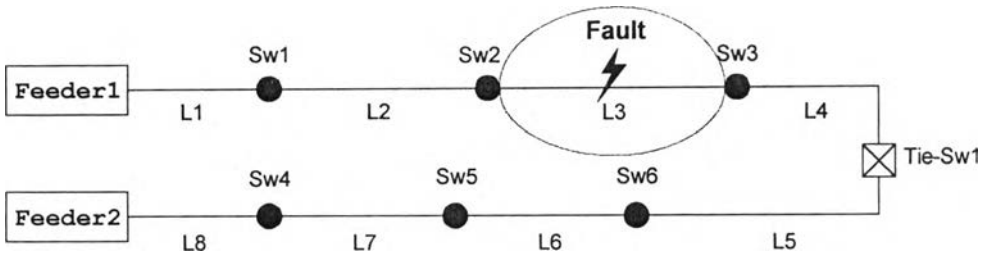
รูปที่ 5.4 แสดง Flow Chart ของการรวมกลุ่มอุปกรณ์ของแต่ละสายป้อน

ในการรวมกลุ่มอุปกรณ์ในแต่ละสายป้อน จะกำหนดให้ First Element เป็น Feeder 1, Feeder 2, และ Feeder 3 ตามลำดับ โดยจุดที่ต้องระมัดระวัง คือ Connector เนื่องจากเป็นการต่อเชื่อม 3 ทาง เมื่อรวมกลุ่มอุปกรณ์ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จนถึงจุดสิ้นสุด End แล้ว โปรแกรมจะต้องกลับมาทำการรวมกลุ่มอุปกรณ์ในเส้นทางที่เหลืออีกให้เสร็จสมบูรณ์

เมื่อทำการเตรียมผังวงจรโดยการรวมกลุ่มอุปกรณ์เสร็จสิ้นแล้ว ขั้นต่อไปจะทำการรับตำแหน่งของความผิดพร่องแบบถาวรที่เกิดขึ้น จากนั้นจะทำการแยกส่วนที่เกิดความผิดพร่องขึ้นออกจากสายป้อน

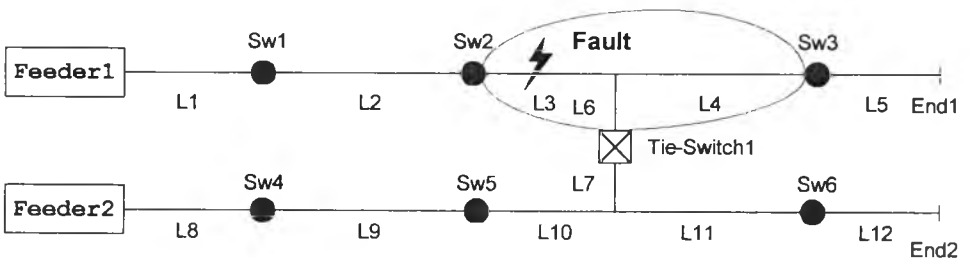
ดังนี้

1. กรณีความผิดพร่องเกิดบนสายป้อน



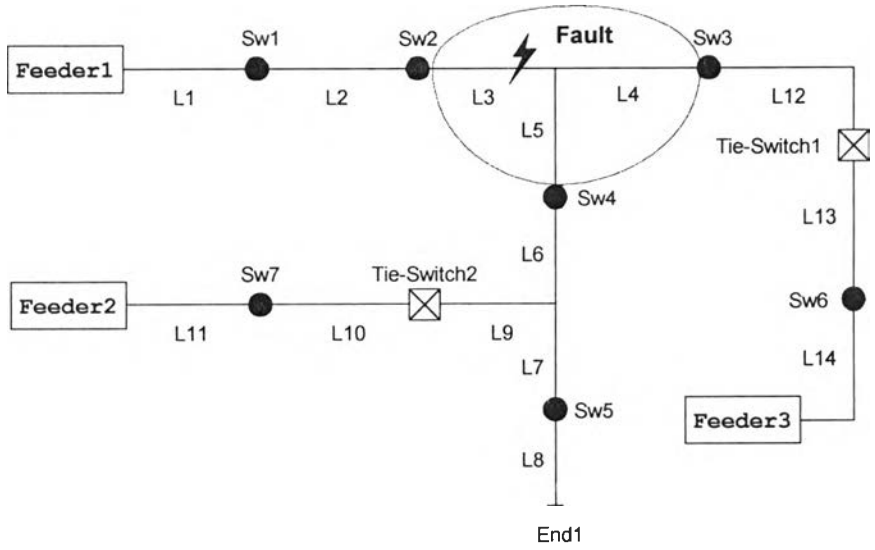
รูปที่ 5.5 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนสายป้อน

จากรูปที่ 5.5 เกิดความผิดพร่องที่ L3 ของ Feeder 1 ดังนั้นต้องทำการแยก L3 ออกจาก Feeder 1 โดยเปิดวงจร Sw2 และ Sw3



รูปที่ 5.6 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนสายป้อนใกล้จุดที่มีทางแยก

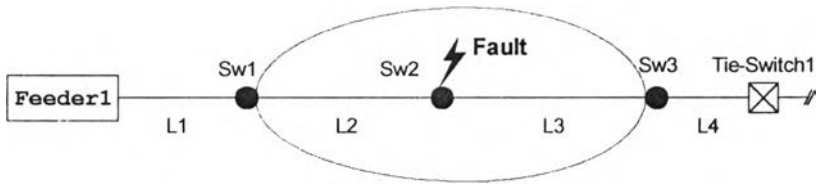
จากรูปที่ 5.6 เกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L3 ของ Feeder1 กรณีนี้ก็ใช้วิธีเปิดวงจร Sw2 เพื่อแยกความผิดพร่องออกจาก Feeder 1 โดย Sw3 ไม่จำเป็นต้องเปิดวงจรเพราะ Zone ด้าน Sw3 ไม่สามารถกู้โหลดคืนได้ และ Tie1 ไม่จำเป็นต้องเปิดวงจร เนื่องจากปกติจะทำการเปิดวงจรอยู่แล้ว



รูปที่ 5.7 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนสายป้อนใกล้จุดที่มีทางแยก ของวงจรที่ซับซ้อนขึ้น

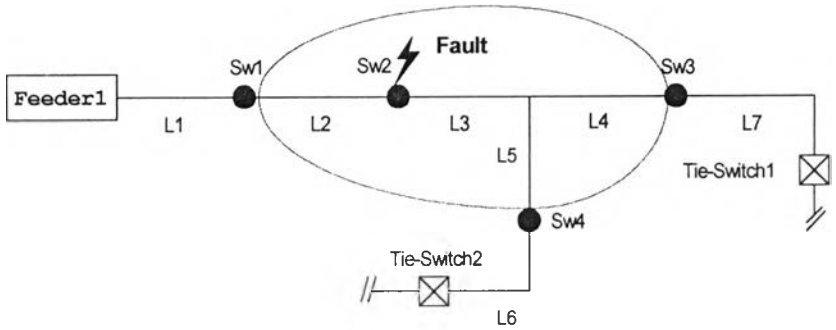
จากรูปที่ 5.7 เกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L3 ของ Feeder 1 กรณีนี้จะต้องทำการเปิดวงจร Sw2, Sw3 และ Sw4 เพื่อแยกความผิดพร่องออกจากระบบ

2. กรณีความผิดพร่องเกิดบน Switch



รูปที่ 5.8 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนสวิตช์

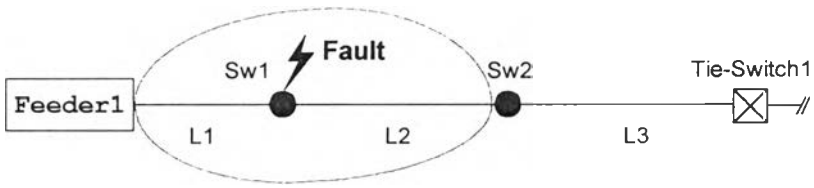
จากรูปที่ 5.8 เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Sw2 ของ Feeder1 จะต้องทำการเปิดวงจร Sw1 และ Sw3 เพื่อแยก Zone ที่เกิดความผิดพร่องนี้ออกจากระบบ



รูปที่ 5.9 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนสวิตช์ ในวงจรที่ซับซ้อนขึ้น

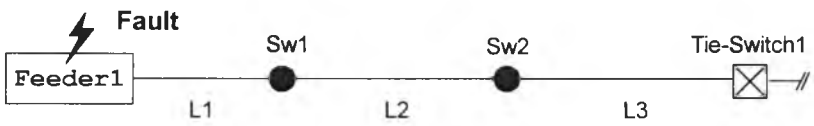
จากรูปที่ 5.9 เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ Sw2 ของ Feeder1 จะต้องทำการเปิดวงจร Sw1, Sw3 และ Sw4 เพื่อทำการแยก Zone ที่เกิดความผิดพร่องนี้ออกจากระบบ

จะเห็นได้ว่าวิธีทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นนี้ อาจมีบางกรณีที่ไม่จำเป็นต้องเปิดวงจรสวิตช์บางตัว เนื่องจากไม่สามารถกู้โหลดบริเวณนั้นคืนได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 5.10 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนสวิตช์ ใกล้ Circuit Breaker ต้นทาง

จากรูปที่ 5.10 หากเกิดความผิดพร่องที่ Sw1 ของ Feeder1 ให้ทำการเปิดวงจร Sw2 เท่านั้น เพื่อแยก Zone ที่ผิดพร่องนี้ออกจากระบบ

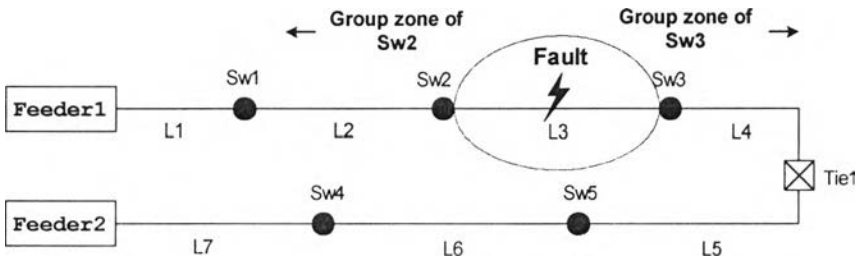


รูปที่ 5.11 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบน Circuit Breaker ต้นทาง

จากรูปที่ 5.11 หากเกิดความผิดพร่องภายใน Substation หรือเกิดบน Circuit Breaker ต้นทางของ Feeder1 ให้ทำการเปิดวงจร Sw1 เพื่อแยกส่วนที่ผิดพร่องออกจากระบบ

จะเห็นได้ว่าในการกำจัดความผิดพร่องออกจากระบบนี้ ความผิดพร่องที่เกิดบนสายป้อนทำให้เกิดความเสียหายในวงแคบกว่าความผิดพร่องที่เกิดบนสวิตช์ โดยการกำจัดความผิดพร่องจะใช้วิธีเปิดวงจรสวิตช์ที่เป็นจุดแบ่งระหว่างบริเวณที่เกิดความผิดพร่องกับบริเวณปกติ แต่บางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องเปิดสวิตช์บางตัว หากบริเวณที่แบ่งแยกออกไปไม่สามารถกู้คืนได้

เมื่อทำการแยกส่วนที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการรวมกลุ่มอุปกรณ์ใน Zone ที่สามารถกู้ระบบคืนจากภาวะผิดพร่องได้ โดยใช้โปรแกรมที่มีหลักการคล้ายกับหลักการที่แสดงในรูปที่ 5.4 เพียงแต่ดัดแปลงเล็กน้อย โดยเริ่มต้นรวมกลุ่มอุปกรณ์จากสวิตช์ที่ทำการเปิดวงจรเพื่อกำจัดความผิดพร่อง ไล่ไปตามผังวงจร จนไปสิ้นสุดที่ Feeder End และ TieSw ดังรูปที่ 5.12



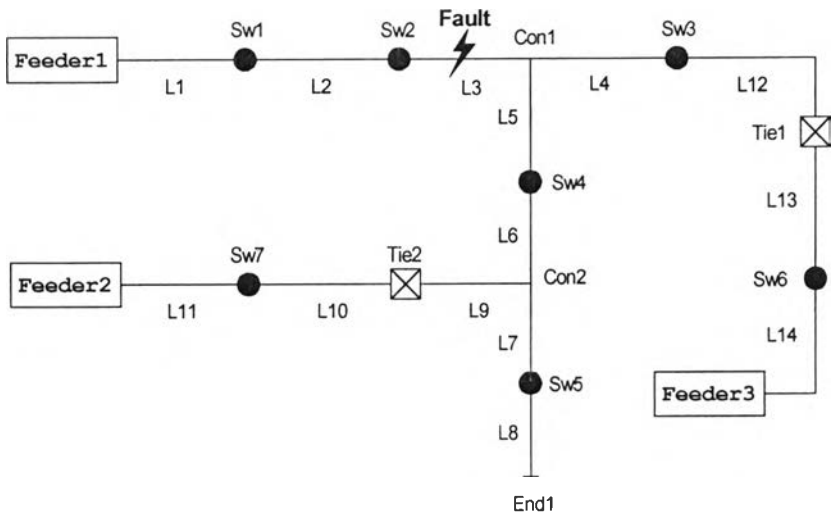
รูปที่ 5.12 แสดงการรวมกลุ่มอุปกรณ์ ทั้ง 2 ด้านของความผิดพร่อง

จากรูปที่ 5.12 เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L3 ของ Feeder1 หลังจาก Sw2 และ Sw3 ทำการเปิดวงจรเพื่อกำจัดความผิดพร่องแล้ว จะทำการรวมกลุ่มอุปกรณ์เป็น Zone ที่สามารถกู้ระบบไฟฟ้าได้

Zone of Sw2 = { Sw2, L2, Sw1, L1, Feeder1 }

Zone of Sw3 = { Sw3, L4, Tie1 }

หรือในกรณีที่วงจรซับซ้อนขึ้น ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 แสดงการรวมกลุ่มอุปกรณ์ ทั้ง 3 ด้านของความผิดพร่อง

จากรูปที่ 5.13 หากเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L3 ของ Feeder1 หลังจากที่ทำการเปิดวงจร Sw2, Sw3 และ Sw4 เพื่อกำจัดความผิดพร่องแล้วจะทำการรวมกลุ่มอุปกรณ์เป็น Zone ดังนี้

Zone of Sw2 = { Sw2, L2, Sw1, L1, Feeder1 }

Zone of Sw3 = { Sw3, L12, Tie1 }

Zone of Sw4 = { Sw4, L6, Con2, L7, Sw5, L8, End1, L9, Tie2 }

จะเห็นได้ว่าการรวมกลุ่มอุปกรณ์เป็น Zone นี้ มีได้ทั้งแบบ 2 Zones และ 3 Zones ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของความผิดพร่อง ที่สำคัญหากบริเวณใดไม่มี Tie–Switch หรือ Feeder อยู่ ไม่จำเป็นต้องรวมกลุ่มเป็น Zone เนื่องจากไม่สามารถที่จะทำการกู้ระบบไฟฟ้าคืนได้

ดังนั้น สามารถสรุปเป็นกฎเกณฑ์ขั้นต้นได้ดังนี้

If (Fault occurs on line) **and** (Line is not close to connector)

Then - Open switch of both ends of the line

- Group zone to be restored of each switch

If { (Fault occurs on line) **and** (Line is close to connector) } **or** (Fault on conector)

Then - Open switch at the ends of lines connected to connector

- Group zone to be restored of each switch

If (Fault occurs on switch)

Then - Open next switch at the end of lines connected to faulted switch

- Group zone to be restored of each switch

เมื่อทำตามขั้นตอนที่กล่าวมาเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนสำคัญของการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า นั่นคือการพยายามกู้โหลดใน Zone ที่เกิดไฟดับ หลังจากแยกความผิดพร่องออกไปแล้ว โดยเริ่มต้น จาก

1. วิธี Single-Grouping

จากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 5.13 ความผิดพร่องเกิดขึ้นที่ L3 ของ Feeder 1 Circuit Breaker ของ Feeder1 จะทำการเปิดวงจร ทำให้ Feeder นี้ไม่มีไฟฟ้า หลังจากเปิดวงจร Sw2, Sw3 และ Sw4 เพื่อกำจัดความผิดพร่องแล้วสามารถรวมกลุ่มอุปกรณ์ได้เป็น Zone ดังนี้

Zone of Sw2 = { Sw2, L2, Sw1, L1, Feeder1 }

เนื่องจาก Zone นี้มี Feeder 1 อยู่ใน Zone จึงทำการปิดวงจร Circuit Breaker ของ Feeder1 ซ้ำอีกครั้ง เพื่อทำการกู้ Zone นี้

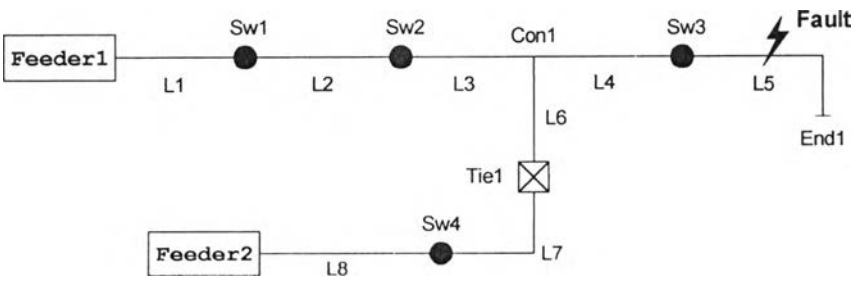
Zone of Sw3 = { Sw3, L12, Tie1 }

ใน Zone นี้มี Tie–Switch ซึ่งก็คือ Tie1 รวมอยู่ด้วย หากทำการปิดวงจร Tie1 จะทำให้ Zone นี้ได้รับไฟฟ้าจาก Feeder 3 ทั้งนี้ต้องนำไปตรวจสอบแรงดันตกจากโปรแกรมในส่วนคำนวณแรงดันตกว่าเมื่อปิดวงจร Tie1 แล้วทำให้แรงดันตก ณ ปลายกิ่งของสายป้อน L12 เกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ (เนื่องจาก Feeder3 จะต้องจ่ายไฟ ให้ L12 เพิ่มจาก L13 และ L14 ที่มีอยู่เดิม)

หากแรงดันตกไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ วิธีนี้ถือว่าใช้การได้ และจะถูกส่งไปแสดงผลที่ Interface หากแรงดันตกเกินค่าที่กำหนดไว้ Zone นี้จะเป็น Zone ที่ยังไม่สามารถกู้ได้ (Unrestored Zone) และสำหรับ

Zone of Sw4 = { Sw4, L6, Con2, L7, Sw5, L8, End1, L9, Tie2 }

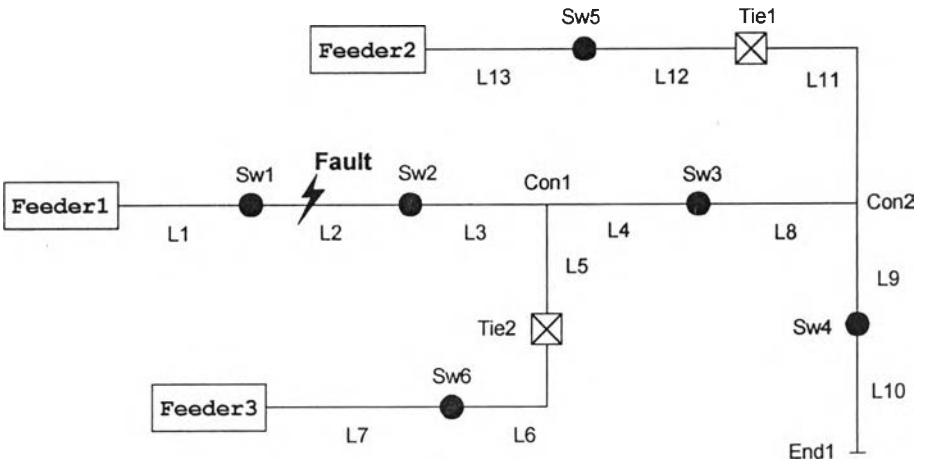
ใน Zone นี้มี Tie-Switch อยู่เพียง 1 ตัว คือ Tie2 จึงทำการทดลองปิดวงจร Tie2 แล้วทดสอบแรงดันตก ณ ปลายสายต่าง ๆ ของ Feeder 2 ว่าเกินจากที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยแรงดันตกสูงสุด อาจเกิดขึ้นที่ปลายกิ่งของสายป้อน L6 หรือ L8 ก็ย่อมได้ หากแรงดันตกมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ก็จะถูกส่งไปแสดงผลที่ Interface และหากแรงดันตกเกินค่าที่กำหนดไว้ Zone นี้จะถือว่ายังไม่สามารถกู้ได้



รูปที่ 5.14 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบน L5

จากรูปที่ 5.14 หากเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L5 ของ Feeder1 จะทำให้ Circuit Breaker ต้นทางของ Feeder1 ทำการเปิดวงจรทำให้ Feeder1 ไม่มีไฟ หลังจากทำการเปิดวงจร Sw3 เพื่อกำจัดส่วนที่ผิดพร่องแล้วบริเวณ Zone of Sw3 ซึ่งประกอบด้วย { Sw3, L4, Con1, L3, Sw2, L2, Sw1, L1, Feeder1, L6, Tie1 } จะต้องถูกกู้คืน

ปรากฏว่ามีทั้ง Feeder และ Tie-Switch อยู่ใน Zone นี้ แต่ให้เลือกปิดวงจร Circuit Breaker ของ Feeder1 เนื่องจากในภาวะปกติ Feeder1 เป็นตัวที่จ่ายไฟให้สายป้อนที่เกิดความผิดพร่องนี้ทั้งสาย ดังนั้นย่อมจ่ายไฟให้ Load ที่น้อยลงได้



รูปที่ 5.15 แสดงความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบน L2

จากรูปที่ 5.15 หากเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L2 ของ Feeder1 จะทำให้ Circuit Breaker ต้นทางของ Feeder1 ทำการเปิดวงจร ทำให้ Feeder1 ไม่มีไฟ จากนั้นจะทำการเปิดวงจรสวิตช์ Sw1 และ Sw2 เพื่อแยกความผิดพร่องออก จะเห็นได้ว่า Zone of Sw1 มี Feeder อยู่ จึงเลือกปิดวงจร Circuit Breaker ของ Feeder1 ส่วน Zone of Sw2 มี Tie-Switch 2 ตัว จึงทดลองปิดวงจร Tie-Switch ทีละตัว หากพบว่าการปิดวงจร Tie-Switch ตัวใดที่ทำให้เกิดแรงดันตก ณ ปลายสายป้อนน้อยที่สุดจะเลือกปิดวงจร Tie-Switch ตัวนั้น

สรุป วิธีการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากความผิดพร่องด้วยวิธี Single-Grouping นี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ Zone ที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟนั้นมี Tie-Switch หรือ Feeder รวมอยู่ด้วยเท่านั้น และหากมี Feeder และ Tie-Switch รวมอยู่ด้วยกันจะให้ Priority กับ Feeder ก่อน เนื่องจากเป็นต้นทางที่จ่ายไฟให้สายป้อนที่เกิดความผิดพร่องนี้ ตั้งแต่ครั้งแรก และหากมี Tie-Switch มากกว่า 1 ตัว ใน Zone นั้น จะใช้วิธีหา Tie-Switch ตัวที่ปิดวงจรแล้วทำให้แรงดันตก ณ ปลายสายป้อน ของ Feeder ที่มาช่วยจ่ายไฟ มีค่าต่ำที่สุด ดังกฎเกณฑ์ที่แสดงต่อไปนี้

Single-Grouping (Each Zone)

If There is feeder in zone

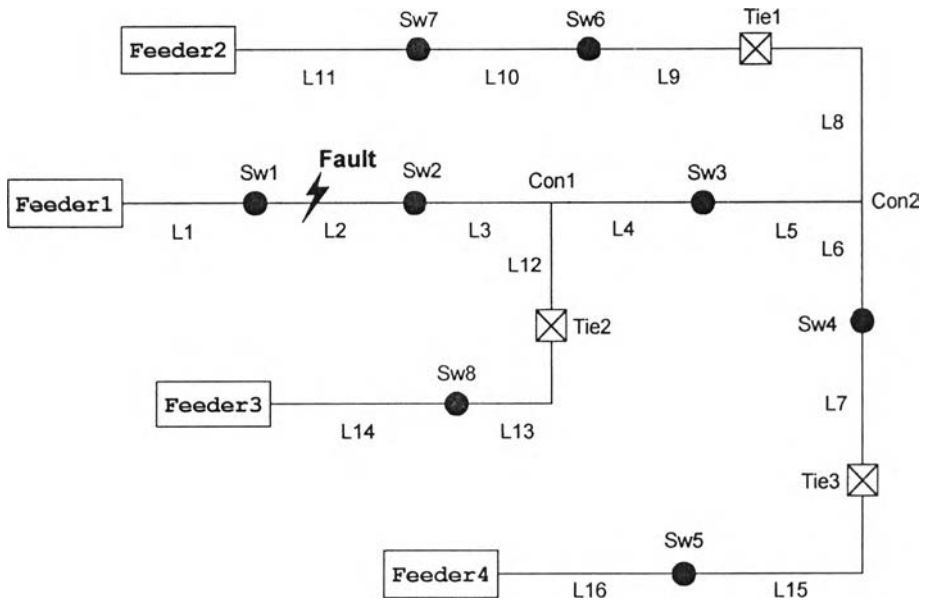
Then Reclose feeder

If (there is no feeder in zone) **and** (There is tie-switch in zone)

Then Try closing tie-switch which causes minimum voltage drop

2. วิธี Multi-Grouping

หากวิธีการ Single-Grouping ไม่ได้ผล และถ้าหาก Zone นั้นมี Tie-Switch มากกว่า 1 ตัวแล้ว จะใช้วิธีการที่เรียกว่า Multi-Grouping ในการช่วยกู้ระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 แสดงวงจรที่ต้องทำ Multi-Grouping เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นบน L2

จากรูปที่ 5.16 เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L2 ของ Feeder1 จะส่งผลให้ Circuit Breaker ต้นทางของ Feeder1 เปิดวงจร ทำให้ Feeder1 ไม่มีไฟ หลังจากทำการเปิดวงจร Sw1 และ Sw2 เพื่อแยกส่วนผิดพร่องออกจากระบบแล้ว จะได้ Zone ที่พร้อมจะทำการกู้คืน 2 Zones ด้วยกัน คือ Zone of Sw1 และ Zone of Sw2 ในส่วนของ Zone of Sw1 นั้นมี Feeder1 เป็นส่วนหนึ่งของ Zone จึงทำการปิดวงจร Circuit Breaker ของ Feeder1 นั้นเพื่อทำการกู้ Zone of Sw1 ส่วน Zone of Sw2 จะเห็นได้ว่ามี Tie-Switch อยู่ถึง 3 ตัวด้วยกัน ในเบื้องต้นจะทำ Single-Grouping Zone นี้ โดยเลือกปิดวงจรTie-Switch ทีละตัว และตรวจสอบว่า การปิดวงจร Tie-Switch ตัวใดที่ทำให้เกิดแรงดันตกปลายสายป้อนที่ต่ำสุด และแรงดันตกนี้ไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ แต่หากไม่มี Tie-Switch ที่สามารถทำการปิดวงจรเพื่อกู้ Zone นี้ได้ ตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ให้ใช้วิธี Multi-Grouping ซึ่งจะทำการแบ่ง Zone of Sw2 นี้เป็น 2 Zones ย่อยใด ๆ โดยทำการเปิดวงจรสวิตช์ที่อยู่ระหว่าง Tie-Switch คู่ใด ๆ ในรูปที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสวิตช์ที่เป็นจุดแบ่ง Zone ในการจ่ายไฟของ Tie-Switch อยู่ 2 ตัวด้วยกัน คือ Sw3 และ Sw4 ในการเปิดวงจร Sw3

จะทำให้เกิด Zone ย่อยขึ้น 2 Zones ด้วยกัน คือ Zone ที่ประกอบด้วย Tie1 กับ Zone ที่ประกอบด้วย Tie2 และ Tie3 ดังนี้

{ Sw2, L3, Con1, L12, Tie1, L4 } และ { L5, Con2, L8, Tie2, L6, Sw4, L7, Tie3 }

ใน Zone ที่มี Tie-Switch เพียงตัวเดียวนั้นก็จะทดลองปิดวงจร Tie-Switch นั้น และคำนวณหาค่าแรงดันตก ณ ปลายสายป้อนที่จ่ายไฟฟ้าผ่าน Tie-Switch นั้น เช่น ในกรณีนี้ หลังจากทดลองเปิดวงจร Sw3 จากนั้นคำนวณหาค่าแรงดันตก ณ ปลายสายป้อนของ Feeder2 และเก็บค่านี้ไว้ จากนั้นจะทำการลองกู้ระบบในอีก Zone ที่เหลือ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามี Tie-Switch อยู่ถึง 2 ตัวด้วยกัน โปรแกรมจะทำการเลือกปิดวงจร Tie-Switch ตัวที่ทำให้แรงดันตก ณ ปลายสายป้อนมีค่าต่ำที่สุด โดยในที่นี้อาจเลือก Tie2 หากการปิดวงจร Tie2 ทำให้แรงดันตก ณ ปลายสายป้อนของ Feeder3 ต่ำกว่า แรงดันตก ณ ปลายสายป้อน ของ Feeder4 ในกรณีที่ปิดวงจร Tie3 และเก็บค่านี้ไว้ ทำเช่นเดียวกันในการทดลองเปิดวงจร Sw4 ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบวิธี Multi-Grouping ที่เลือกเปิดวงจร Switch ต่างกัน

Switch to be open	Tie-Switch to be closed	Min. Voltage Drop	kVA Restored
Sw3	Tie 1	4.0 %	1,000
	Tie 2	4.6 %	2,200
Sw4	Tie 1	6.0 %	2,000
	Tie 3	4.2 %	1,200

หมายเหตุ ตารางข้างต้นเป็นการสมมุติ

จากนั้น ส่วนวินิจฉัยของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะทำการเลือกกรณีที่แรงดันตกมีค่าไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ทั้ง 2 วิธีของการปิดวงจร Tie-Switch เช่น

กรณีที่ 1 ถ้าหากค่าแรงดันตกที่ตั้งไว้มีค่า 6.5 % จะเห็นได้ว่าวิธีเปิดวงจร Sw3 และวิธีเปิดวงจร Sw4 สามารถกู้ระบบคืนได้ทั้ง 2 วิธี เนื่องจากโปรแกรมได้ถูกออกแบบมาให้ทำการเลือกกรณีที่มี Safety Margin สูงที่สุด จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า วิธีแรก คือวิธีเปิดวงจร Sw3 นั้น การปิดวงจร Tie 2 ทำให้เกิดแรงดันตกสูงสุดคือ 4.6 % และสำหรับวิธีเปิดวงจร Sw4 นั้น การปิดวงจร Tie1 ทำให้เกิดแรงดัน

ตกสูงสุด คือ 6 % ดังนั้น โปแกรมจะเลือกวิธีการเปิดวงจร Sw3 ปิดวงจร Tie 1 และ Tie 2 เป็นวิธีในการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้

กรณีที่ 2 ถ้ากำหนดค่าแรงดันตกสูงสุดที่ยอมรับได้เป็น 5% จะต้องเลือกวิธีเปิดวงจร Sw3 ปิดวงจร Tie 1 และ Tie 2 ในการกู้ระบบที่เกิดความผิดพร่องที่ L2 เนื่องจากแรงดันตกจากการปิดวงจร Tie-Switch ทั้งสองไม่เกินค่าแรงดันตกที่ตั้งไว้ (4% และ 4.6%)

กรณีที่ 3 ถ้าค่าแรงดันตกสูงสุดที่ยอมรับได้เป็น 4.5% จะเห็นได้ว่าทั้งวิธีการเปิดวงจร Sw3 และ Sw4 ไม่มีวิธีใดเลยที่จะทำให้การกู้ระบบจำหน่ายนี้สำเร็จได้ในครั้งเดียว ดังนั้นโปรแกรมจะถูกสั่งให้ทำการเลือกกู้บริเวณที่แรงดันตกมีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ และมีปริมาณโหลดที่จะทำการกู้คืนได้สูงที่สุด ซึ่งจากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าโปรแกรมจะทำการเลือกการเปิดวงจร Sw4 และปิดวงจร Tie 3 เนื่องจากแรงดันตกมีค่า 4.2 % ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ ขณะที่ปริมาณโหลดที่กู้ได้เป็น 1,200 kVA ซึ่งมากกว่ากรณีการเปิดวงจร Sw3 และปิดวงจร Tie 1 ซึ่งกู้โหลดคืนได้เพียง 1,000 kVA เท่านั้น

จากการทำ Multi-Grouping ในกรณีที่ 3 นี้จะเห็นได้ว่า หลังจากทำการแบ่ง Zone ที่จะทำการกู้ออกเป็น 2 Zones ย่อย ๆ แล้ว จะสามารถทำการกู้ระบบคืนได้เพียง Zone ที่เหลือ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

3.1 ทำ Multi-Grouping ซ้ำอีกครั้ง

3.2 ทำ Load Shedding

การทำ Multi-Grouping ซ้ำอีกครั้งจะใช้ในกรณีที่ Zone ที่เหลือมี Tie-Switch ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปเท่านั้น เช่น จากตัวอย่างในกรณีที่ 3 แรงดันตกสูงสุดที่ยอมรับได้เป็น 4.5 % จะทำการเลือกเปิดวงจร Sw4 และปิดวงจร Tie 3 ซึ่งทำให้มี Zone ที่ยังไม่ได้รับการกู้เป็น

{ Sw2, L3, Con1, L12, Tie1, L4, Sw3, L5, Con2, L8, Tie2, L6 }

จะเห็นได้ว่า Zone ดังกล่าวมี Tie-Switch 2 ตัว คือ Tie 1 และ Tie 2 ซึ่งสามารถทำ Multi-Grouping ซ้ำอีกครั้งได้ ให้สังเกตว่า Zone ดังกล่าวไม่จำเป็นต้องทำ Single-Grouping เพราะถ้าทำได้จะสามารถกู้ระบบคืนได้ตั้งแต่การทำ Multi-Grouping ในครั้งแรกแล้ว

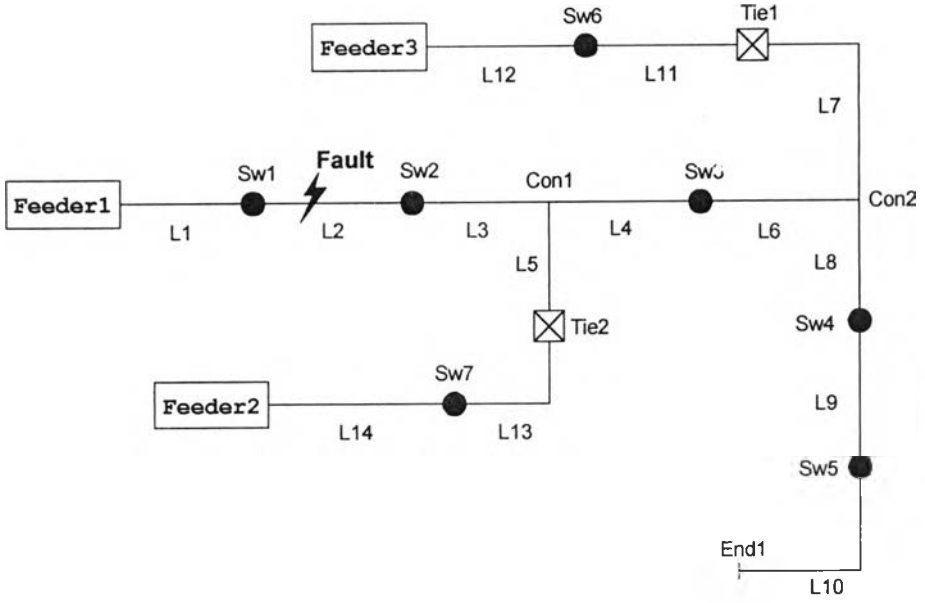
ในการทำ Multi-Grouping ของ Zone นี้ทำได้กรณีเดียว คือ เปิดวงจร Sw3 และปิดวงจร Tie 1 กับ Tie 2 ถ้าแรงดันตก ณ ปลายสายป้อนของ Feeder2 และ Feeder3 ที่ทำการกู้ Zone นี้ผ่าน Tie1 และ Tie2 มีค่าไม่เกินค่าแรงดันตกสูงสุดที่ยอมรับได้ จะทำให้ Zone นี้สามารถกู้คืนได้ แต่ถ้าหากไม่สามารถกู้คืนได้ทั้ง 2 Zones หรือกู้คืนได้เพียง Zone เดียว จะต้องทำ Load Shedding กับ Zone ที่ไม่สามารถกู้คืนได้นั้นต่อไป

การทำ Load Shedding นี้จะใช้เมื่อ Zone ที่ต้องการกู้คืนมีลักษณะดังนี้

1. เป็น Zone ที่มี Tie-Switch เพียงตัวเดียว และไม่สามารถทำ Single-Grouping ได้
2. เป็น Zone ที่มี Tie-Switch มากกว่า 1 ตัว และทำ Multi-Grouping ไม่สำเร็จทั้ง 2 Zones ย่อย (เนื่องจากการทำ Multi-Grouping จะทำให้เกิด 2 Zones ย่อยใด ๆ)
3. เป็น Zone ที่เกิดจากการทำ Multi-Grouping ไม่สำเร็จบางส่วน โดยอาจเกิดจากการทำ Multi-Grouping ซ้ำ ก็เป็นได้

การทำ Load Shedding นี้ เป็นการตัดกิ่งที่มีความสำคัญน้อยออกไปจากสายป้อน เพื่อทำให้ Zone ที่จะทำการกู้นั้นมีปริมาณโหลดน้อยลง โดยลำดับการตัดโหลดออกนั้นผู้ใช้โปรแกรมจะต้องเป็นผู้กำหนดลำดับโหลดที่จะทำการตัดด้วย ซึ่งการทำ Load Shedding นี้ไม่สามารถทำได้ทุกกรณี แต่จะสามารถทำได้เฉพาะบางกิ่งที่เมื่อถูกตัดออกแล้ว ไม่ส่งผลกระทบต่อการกู้โหลดบริเวณนั้น เช่น กิ่งที่อยู่บริเวณปลายสายป้อน และไม่มี Tie-Switch อยู่บริเวณนั้น เป็นต้น

หลังจากทำ Load Shedding แล้ว บริเวณที่จะทำการกู้ระบบคืนจะมีปริมาณโหลดน้อยลงทำให้มีโอกาสที่จะถูกกู้คืนด้วยวิธีเดิมได้มากขึ้น ดังนั้นหลังจากทำ Load Shedding แล้วจะทำ Single-Grouping Zone นั้น และถ้าหากทำ Single-Grouping ไม่สำเร็จ ก็จะทำ Multi-Grouping ต่อ และถ้าไม่สำเร็จอีก Load Shedding จะทำการเลือกตัดกิ่งต่อไป ซึ่งทำให้ปริมาณโหลดในบริเวณที่จะกู้คืนลดน้อยลงไปอีก ดังรูปที่ 5.17

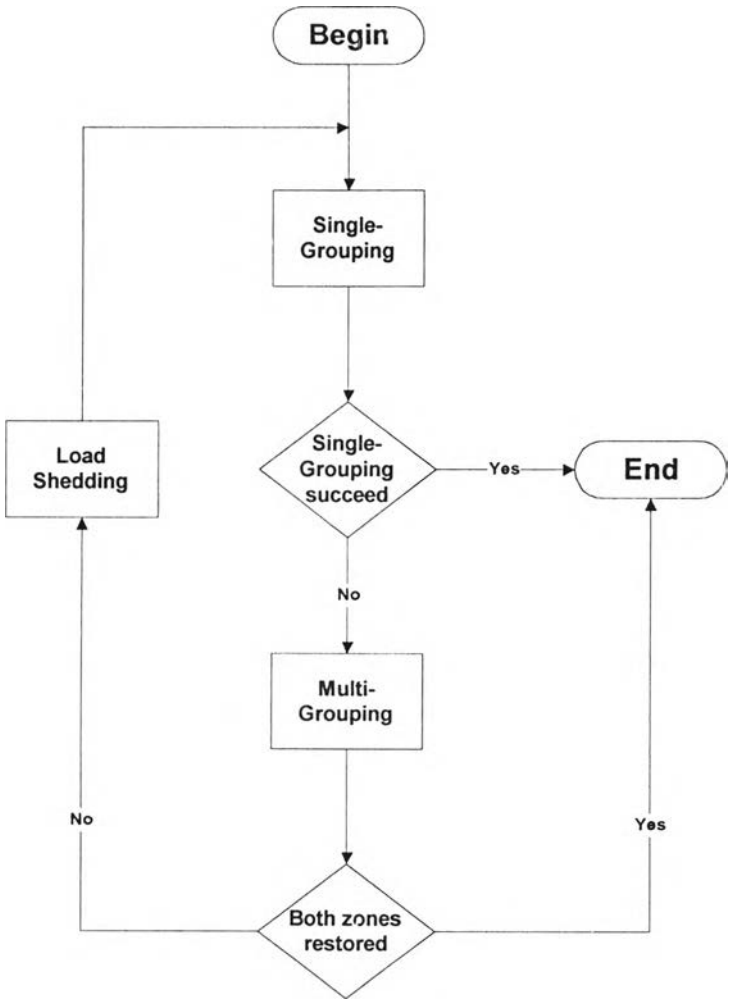


รูปที่ 5.17 แสดงวงจรที่ต้องทำ Load Shedding เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นบน L2

จากรูปที่ 5.17 หากเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ L2 จะเกิด Zone ขึ้น 2 Zones (หลังจากทำการเปิดวงจร Sw1 และ Sw2 เพื่อกำจัดความผิดพร่องแล้ว) ซึ่งก็คือ Zone of Sw1 และ Zone of Sw2 ในส่วนของ Zone of Sw1 จะทำการปิดวงจรซ้ำ Circuit Breaker ของ Feeder1 ในขณะที่ส่วนของ Zone of Sw2 จะทำการทดลองทำ Single-Grouping หากไม่สำเร็จก็จะทำ Multi-Grouping ซึ่งมีได้กรณีเดียวคือ เปิดวงจร Sw3 และปิดวงจร Tie1 กับ Tie2

หากวิธีนี้ไม่สามารถกู้ Zone of Sw2 นี้คืนได้ โดยอาจเกิดจากการกู้ได้เพียงส่วนเดียว หรือกู้ไม่ได้เลยแม้แต่ส่วนเดียว ไม่ว่ากรณีไหนจะต้องทำ Load Shedding โดยการกำหนดกิ่งที่จะทำการตัดออก จากรูปจะกำหนดให้ L10 และ L9 ถูกตัดออกทีละกิ่งตามลำดับ หากการตัด L10 ออกทำให้สามารถกู้ระบบคืนได้โปรแกรมจะหยุดเพียงแค่นั้น แต่ถ้าหากยังไม่สามารถกู้ระบบคืนได้จะทำการตัดโหลด L9 ออกเป็นลำดับถัดไป และถ้าหากยังไม่สามารถกู้ระบบคืนได้ Zone ดังกล่าวก็จะไม่สามารถกู้คืนได้ โดยให้สังเกตว่าการทำ Load Shedding นี้จะกำหนดกิ่งที่จะตัดออกกี่กิ่งก็ได้ แต่จะต้องเป็นกิ่งที่ตัดออกแล้วไม่กระทบกระเทือนต่อการกู้ระบบคืน (เช่น หากกำหนดให้ตัด L8 ออก จะทำให้ Tie 2 ไม่สามารถจ่ายไฟแก่บริเวณที่เกิดไฟดับได้ จึงไม่กำหนดให้ตัด L8 แต่ L9 และ L10 เป็นโหลดที่ปลายสาย เมื่อตัดทิ้งแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อการกู้โหลดส่วนอื่น จึงสามารถตัดทิ้งได้)

จากวิธีที่กล่าวมาทั้งหมด ทั้ง Single-Grouping และ Multi-Grouping และ Load Shedding นั้นเป็นวิธีที่มีความสัมพันธ์กัน โดยโปรแกรมจะเริ่มพิจารณาวิธีที่ง่ายที่สุด คือ Single-Grouping ซึ่งมีการสับสวิตช์น้อยครั้งที่สุดในการกู้โหลดให้ได้ทั้งหมด ถ้าไม่สำเร็จ ก็จะทำการใช้วิธีที่ซับซ้อนขึ้นกว่าเดิมคือ ใช้วิธี Multi-Grouping ซึ่งมีการสับสวิตช์มากขึ้น เพื่อที่จะพยายามกู้โหลดให้ได้มากที่สุด แต่ถ้ายังไม่สำเร็จอีก นั่นหมายความว่า โหลดไม่สามารถถูกกู้ได้ทั้งหมด จำเป็นต้องตัดโหลดบางส่วนออกอีกด้วยวิธี Load Shedding เมื่อโหลดมีปริมาณน้อยลงแล้ว ก็จะสามารถกู้โหลดบริเวณดังกล่าวด้วย 2 วิธีแรกได้อีกครั้ง ดัง Diagram ต่อไปนี้



รูปที่ 5.18 แสดง Diagram การทำงานของระบบวินิจฉัย