

## บทที่ 4

### กระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพ่วงโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

จากหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของระบบผู้เชี่ยวชาญในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ฐานความรู้และส่วนควบคุมการอนุมาน ซึ่งในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงวิธีการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพ่วงบนเครือข่ายระบบส่งของประเทศไทย ด้วยข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพ่วงที่ถูกติดตั้งไว้ที่สถานีไฟฟ้าที่ละเหตุการณ์

โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพ่วง อธิบายในหัวข้อที่ 4.1 และส่วนประกอบของโครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ คือ ฐานความรู้และส่วนควบคุมการอนุมาน อธิบายในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

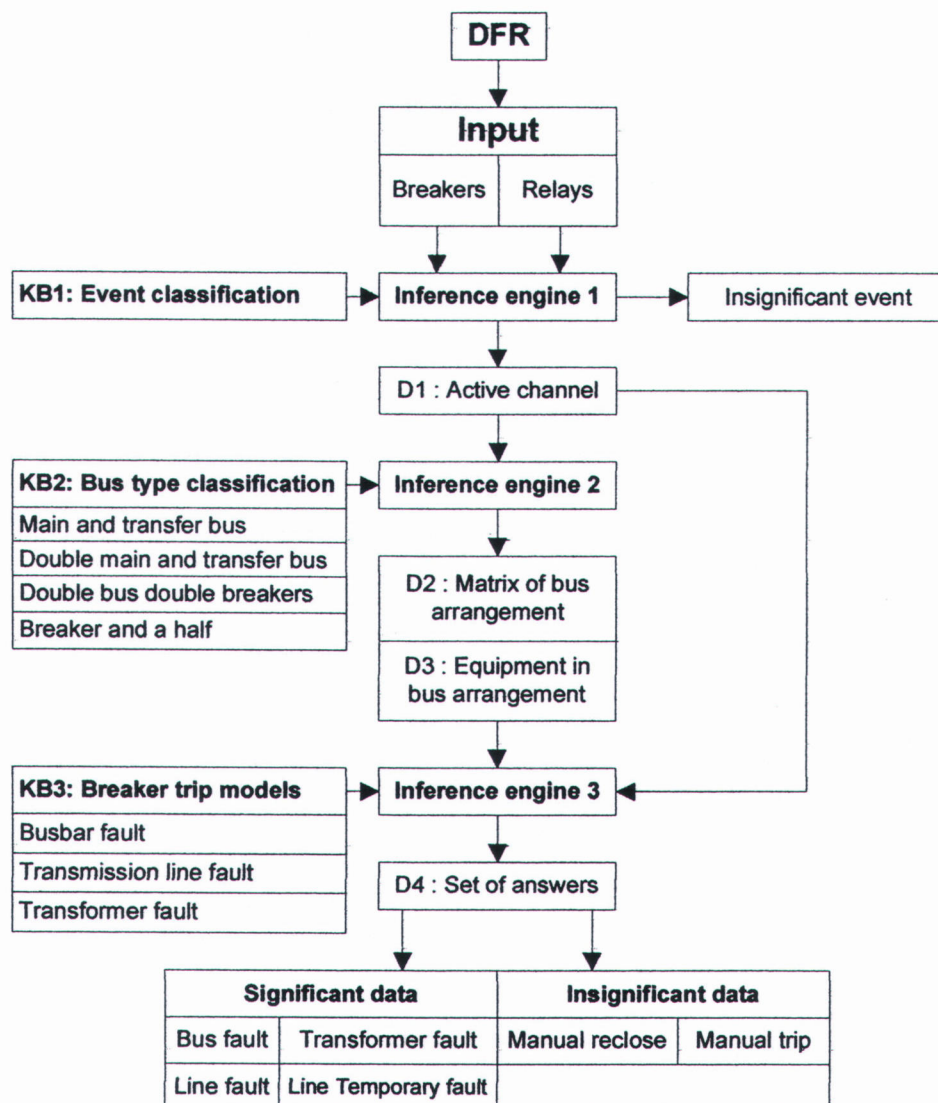
#### 4.1 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพ่วง

แนวคิดในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญนี้มาจากการต้องการลดขนาดของฐานข้อมูลและไม่จำเป็นต้องปรับปรุงฐานข้อมูลให้ทันสมัย โดยอาศัยการนำกฎการตั้งชื่อของตัวตัดวงจรมาใช้วิเคราะห์หาประเภทของการจัดเรียงบัส เพื่อทดแทนการสร้างฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ในการจัดเก็บโครงสร้างการจัดเรียงบัสของทุกสถานีไฟฟ้า

โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยกระบวนการอนุมานความรู้จากฐานความรู้ทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ การอนุมานเพื่อคัดกรองเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญ การอนุมานเพื่อหาลักษณะของการจัดเรียงบัส และการอนุมานเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของตัวตัดวงจร โดยกระบวนการอนุมานใช้ข้อมูลของรีเลย์และตัวตัดวงจรที่ถูกบันทึกจากเครื่องบันทึกความผิดพ่วงมาเป็นสัญญาณป้อนเข้า สำหรับผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ที่เป็นไปได้มีด้วยกันทั้งหมด 7 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 หลักการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นจากการรับสัญญาณป้อนเข้าผ่านกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง เพื่อตรวจสอบข้อมูลของเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ากับชื่อของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญในฐานความรู้ที่หนึ่ง ถ้าข้อมูลของเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีชื่อสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน จะตัดสินใจว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีนัยสำคัญ แต่ถ้าข้อมูลของเหตุการณ์ที่ป้อนเข้าไม่มีชื่อสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน จะตัดสินใจว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้าไม่มีนัยสำคัญ หลังจากตัดสินใจว่าเหตุการณ์มีนัยสำคัญก็จะนำหมายเลขของตัวตัดวงจรทั้งหมดที่

ได้รับจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งผ่านเข้ากระบวนการอนุมานที่สอง เพื่อตรวจสอบหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันกับกฎการจำแนกประเภทการจัดเรียงบัสในฐานความรู้ที่สอง ถ้าหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันเป็นไปตามกฎการจำแนกประเภทการจัดเรียงบัสจะตัดสินใจว่าในแต่ละระดับแรงดันมีการจัดเรียงบัสเหมือนกับส่วนตามของกฎ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและหาอุปกรณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส ขั้นตอนสุดท้ายจะนำเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและอุปกรณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในแต่ละระดับแรงดันมาผ่านกระบวนการอนุมานที่สาม เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของตัวตัดวงจรกับกฎการจำแนกรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร นอกจากนี้ในกระบวนการอนุมานที่สามนี้ได้มีการนำสัญญาณรีเลย์จากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาประกอบพิจารณาเพื่อช่วยหาคำตอบอีกด้วย



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดปกติ

## 4.2 การพัฒนาฐานความรู้

การพัฒนาฐานความรู้จะใช้วิธีการแทนค่าความรู้ในรูปของกฎ ความรู้ทั้งหมดได้มาจากส่วนจัดหาความรู้ ได้แก่ หนังสือ นิตยสารวิชาการ บทความวิชาการ งานวิจัยของท่านอื่น และประสบการณ์โดยตรงของผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น ฐานความรู้ที่สร้างขึ้นจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆตามแขนงความรู้

การพัฒนาฐานความรู้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 3 แขนงความรู้ คือ ฐานความรู้ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบส่ง ฐานความรู้ลักษณะการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท และฐานความรู้การทำงานของตัวตัดวงจร โดยจะอธิบายในหัวข้อ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ

### 4.2.1 ฐานความรู้ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบส่ง

ฐานความรู้ที่หนึ่งจัดเก็บกลุ่มชื่ออุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญในระบบส่งในรูปแบบของกฎจากตำแหน่งตัวอักษรที่ 11-14 ในชื่อของสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญ โดยกำหนดให้ตัวอักษรที่ 11-14 ในชื่อของสัญญาณจะใช้เป็นเงื่อนไขในส่วนนำ และให้ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันเป็นส่วนตาม

ตัวอักษรตำแหน่งที่ 11-14 ในชื่อของสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญมีดังนี้ คือ

- รีเลย์ป้องกันบัส

ประกอบด้วยรีเลย์หมายเลข : 87B, 86B

- รีเลย์ป้องกันหม้อแปลง

ประกอบด้วยรีเลย์หมายเลข : 87K, 86K, 86A

- รีเลย์ป้องกันสายส่ง

ประกอบด้วยรีเลย์หมายเลข : 21P, 21BU, 94P, 94BU

- ตัวตัดวงจร

ปกติปิด หมายเลขอุปกรณ์ : 52b

ปกติเปิด หมายเลขอุปกรณ์ : 52a

- รีเลย์ตรวจสอบตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

ประกอบด้วยรีเลย์ชื่อ : 86BF, 50BF



#### 4.2.2 ฐานความรู้ลักษณะการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท

ฐานความรู้ที่สื่องจัดเก็บกฎที่ใช้แบ่งแยกประเภทของการจัดเรียงบัส กฎที่สร้างขึ้นมีแนวคิดมาจากลักษณะเฉพาะของหมายเลขตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท โดยกำหนดให้กฎของการแบ่งแยกประเภทของการจัดเรียงบัสเป็นส่วนนำ และให้ประเภทของการจัดเรียงบัสเป็นส่วนตาม

กำหนดให้  $p_i$  = หมายเลขบนส่วนบอกตำแหน่งของตัวตัดวงจรตัวที่  $i$

$$A = \{a_i \mid a_i = \text{floor}(p_i / 10)\}$$

$$B = \{b_i \mid b_i = \text{mod}(p_i, 10)\}$$

$$N = \{\text{จำนวนตัวตัดวงจรทั้งหมด}\}$$

กฎที่ใช้ในการแบ่งประเภทการจัดเรียงบัสมีรายละเอียดดังนี้

- การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$\exists(b_i) > 3 \quad (4.1)$$

$$N \leq \max_i(10a_i + b_i) \quad (4.2)$$

- การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.3 4.4 และ 4.5

$$\forall(b_i) \leq 2 \quad (4.3)$$

$$\forall(a_i) \neq 0 \quad (4.4)$$

$$N \leq \max_i(a_i) \quad (4.5)$$

- การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.6, 4.7 และ 4.8

$$\forall(b_i) \leq 2 \quad (4.6)$$

$$\forall(a_i) \neq 0 \quad (4.7)$$



$$N > \max_i(a_i) \quad (4.8)$$

- การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครั้ง

กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.9, 4.10 และ 4.11

$$\exists(b_i) = 3 \quad (4.9)$$

$$\forall(a_i) \neq 0 \quad (4.10)$$

$$N > \max_i(a_i) \quad 4.11$$

#### 4.2.3 ฐานความรู้การทำงานของตัวตัดวงจร

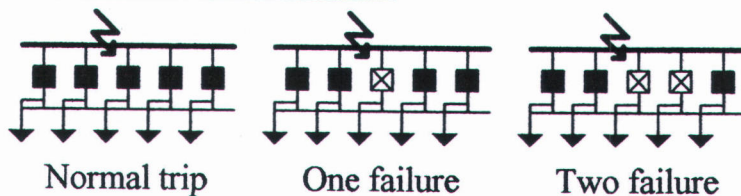
ฐานความรู้ที่สามจัดเก็บรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรสำหรับการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภทในรูปแบบของกฎ เมื่อเกิดความผิดปกติบนบัส สายส่ง หม้อแปลง หรือเจ้าหน้าที่สั่งตัวตัดวงจรให้ทำงาน โดยกำหนดให้กฎการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นส่วนนำ และให้คำตอบของการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นส่วนตาม

รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัสแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งและหม้อแปลงแสดงในรูปที่ 4.3 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรที่มีตัวตัดวงจรไม่ทำงานไม่เกินสองตัวพร้อมกันเมื่อเกิดความผิดปกติ เนื่องจากมีโอกาสที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงานพร้อมกันเกินกว่าสองตัวต่ำมาก

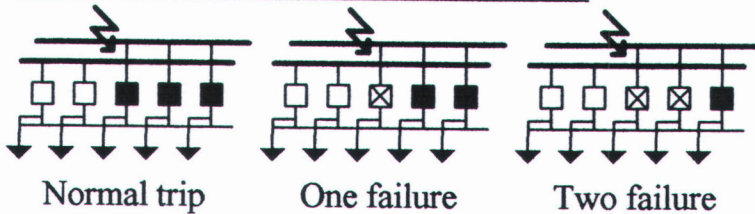
สำหรับหม้อแปลงที่ใช้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ หม้อแปลงจ่ายโหลด (Loading transformer) และหม้อแปลงระหว่างบัส (Tie transformer) โดยหม้อแปลงจ่ายโหลดทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันลงเพื่อใช้ในการซื้อขายไฟฟ้าหรือนำไฟฟ้ามาใช้ภายในสถานีไฟฟ้า หม้อแปลงประเภทนี้จะพบการทำงานของตัวตัดวงจรในระดับแรงดันเดียว และหม้อแปลงระหว่างบัสทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสภายในสถานี หม้อแปลงประเภทนี้จะพบการทำงานของตัวตัดวงจรในสองระดับแรงดัน

รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรทำงานเพียงตัวเดียว ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากการสั่งให้ตัวตัดวงจรกลับมาทำงานเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และการสั่งปลดตัวตัดวงจรออกกระบบโดยเจ้าหน้าที่เพื่อทดสอบหรือซ่อมบำรุงซ่อมแซมอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

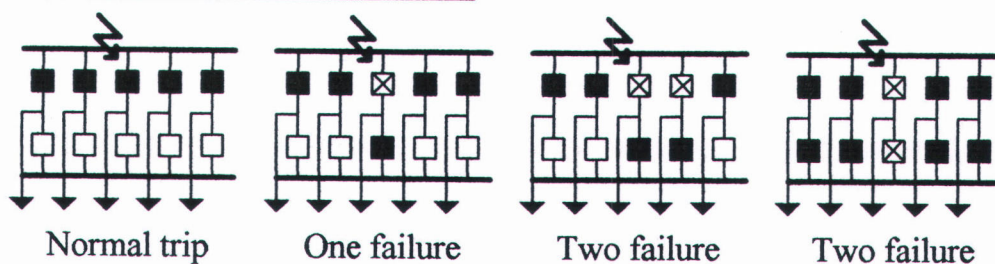
### Main and transfer bus



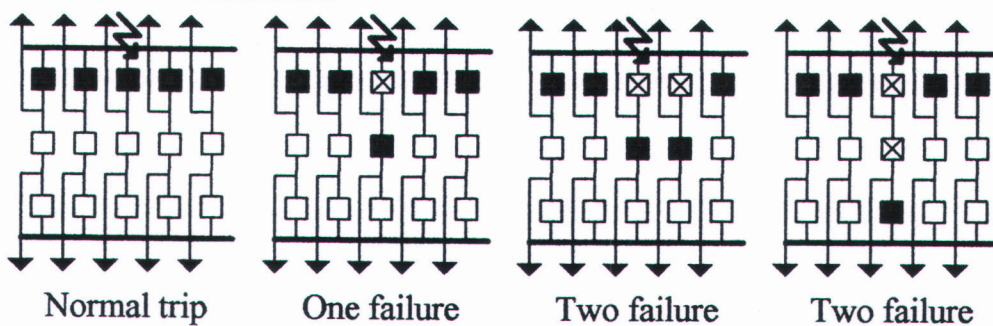
### Double main bus and transfer bus



### Double bus double breaker



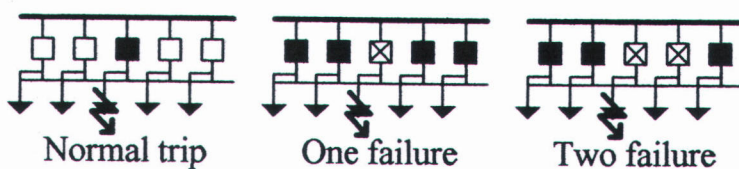
### Breaker and a half



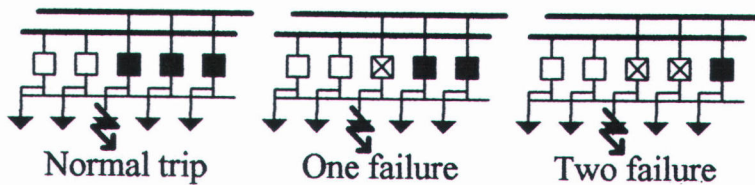
■ Breaker tripped      □ Breaker on      ☒ Breaker failure

รูปที่ 4.2 การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัส

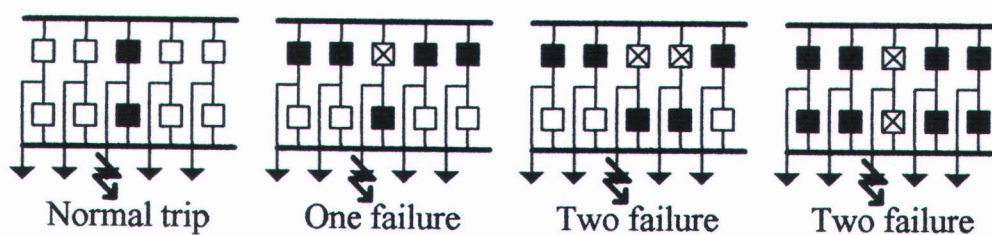
### Main and Transfer bus



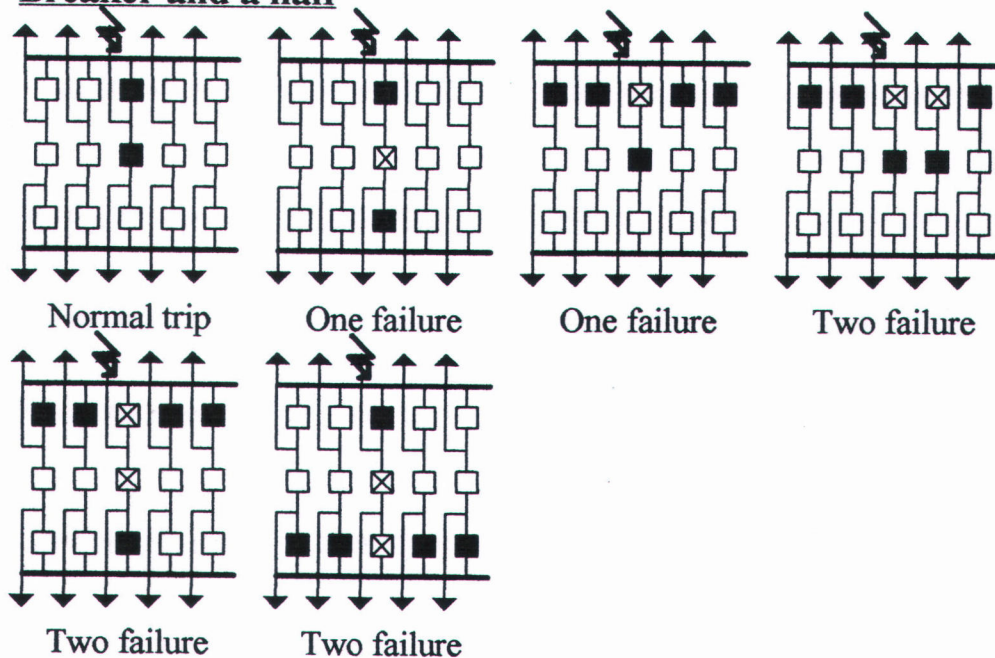
### Double main bus and transfer bus



### Double bus double breakers



### Breaker and a half

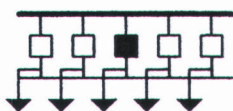


■ Breaker tripped      □ Breaker on      ⊠ Breaker failure

รูปที่ 4.3 การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งและหม้อแปลง

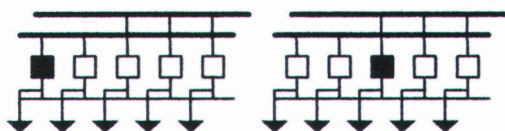


### Main and transfer bus



Manual reclose

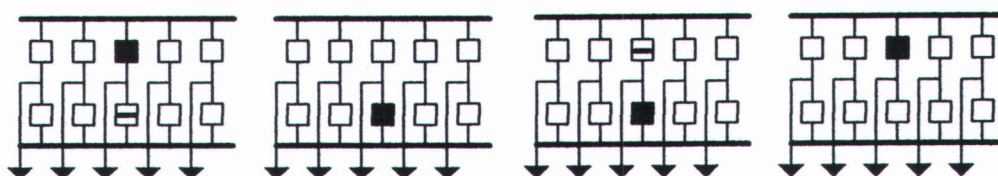
### Double main bus and transfer bus



Manual reclose

Manual reclose

### Double bus double breaker



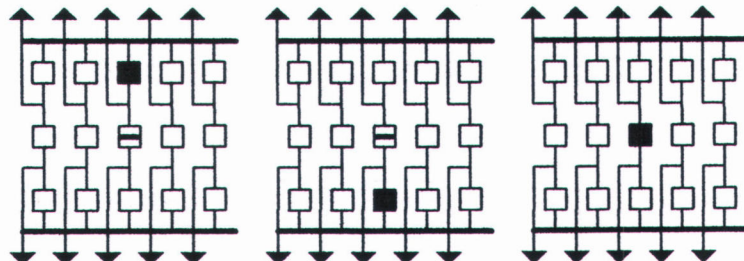
Manual reclose

Manual reclose

Manual reclose

Manual reclose

### Breaker and a half



Manual reclose

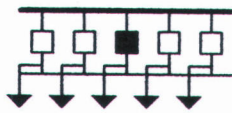
Manual reclose

Manual reclose

■ Breaker reclose      □ Breaker on      ☐ Breaker off

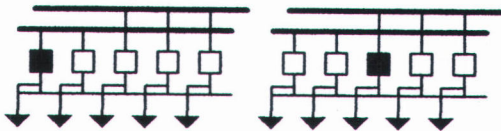
รูปที่ 4.4 การสั่งให้ตัวตัดวงจรกลับมาทำงานโดยเจ้าหน้าที่

### Main and transfer bus



Manual trip

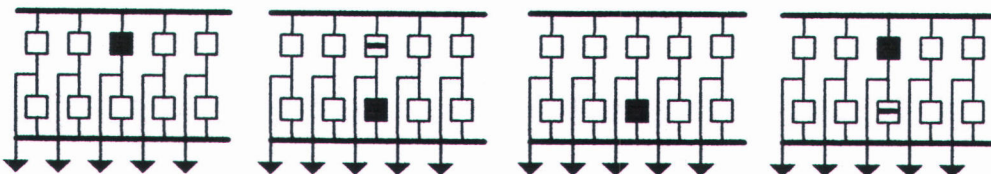
### Double main bus and transfer bus



Manual trip

Manual trip

### Double bus double breaker



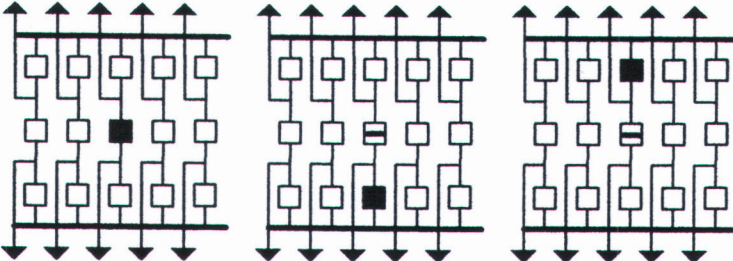
Manual trip

Manual trip

Manual trip

Manual trip

### Breaker and a half



Manual trip

Manual trip

Manual trip

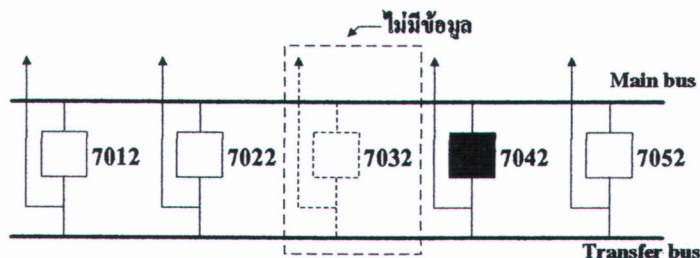
■ Breaker tripped      □ Breaker on      ☐ Breaker off

รูปที่ 4.5 การสั่งปลดตัวตัดวงจรระบบโดยเจ้าหน้าที่

จากรูปที่ 4.2 – 4.5 แสดงถึงรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรบนการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภท เมื่อเกิดความผิดปกติบนอุปกรณ์ในระบบส่ง หรือเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุมทำการสับตัวตัดวงจรเข้าและออก เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในรูปแบบของกฎ จึงได้นำเสนอวิธีการจำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์สามมิติ (x-y-z) โดยให้แกน x แทนตำแหน่งแถวของตัวตัดวงจรบนเมตริกซ์ แกน y แทนตำแหน่งคอลัมน์ของตัวตัดวงจรบนเมตริกซ์ และแกน z แทนข้อมูลของตัวตัดวงจรในตำแหน่งแถวที่ x คอลัมน์ที่ y สำหรับในแกน z นี้จะแบ่งชั้นออกเป็น 5 ชั้น คือ ค่าสถานะของตัวตัดวงจร ค่าสถานะของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน เวลาที่ตัวตัดวงจรเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ เวลาที่รีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานเริ่มทำงาน และรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร ตามลำดับ

สถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน ในแต่ละตำแหน่งบนการจัดเรียงบัสจะถูกแทนค่าด้วยตัวเลข 0, 1 และ 100 โดยตัวอย่างของการแทนค่าสถานะของตัวตัดวงจรแสดงในรูปที่ 4.6

- หมายเลข 0 แทนสถานะของตัวตัดวงจรที่ไม่ถูกสั่งปลด
- หมายเลข 1 แทนสถานะของตัวตัดวงจรที่ถูกสั่งปลด
- หมายเลข 100 แทนกรณีที่ไม่มีความข้อมูลของตัวตัดวงจร



(ก)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 100 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(ข)

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการจำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในรูปแบบเมตริกซ์

(ก) รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

(ข) เมตริกซ์ที่จำลองการทำงานของตัวตัดวงจร



จากรูปที่ 4.6 จะพบว่าอุปกรณ์ในเบย์ที่ 3 ไม่มีข้อมูล ดังนั้นจึงแทนค่าสถานะของตัวตัดวงจรในเมตริกซ์ด้วย 100 สำหรับรายละเอียดทั้งหมดของวิธีการจำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ จะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2

การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรบนการจัดเรียงบัสทั้งสี่ประเภท สามารถจำแนกรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรออกได้เป็น 6 รูปแบบ ตามสาเหตุของการทำงานของตัวตัดวงจร ดังนี้

1. รูปแบบการทำงานที่ตัวตัดวงจรทุกตัวทำงานตามปกติ
2. รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวติดกับบัสหลักไม่ทำงาน 1 ตัว
3. รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวไม่ติดกับบัสหลักไม่ทำงาน 1 ตัว
4. รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวติดกับบัสหลักและตัวไม่ติดกับบัสหลักไม่ทำงานพร้อมกัน 2 ตัว
5. รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวติดกับบัสหลักไม่ทำงาน 1 ตัว และตัวตัดวงจรของชุดที่ต้องทำงานแทนไม่ทำงาน 1 ตัว
6. รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวไม่ติดกับบัสหลักไม่ทำงาน 1 ตัว และตัวตัดวงจรของชุดที่ต้องทำงานแทนไม่ทำงาน 1 ตัว

วิธีการจำแนกรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรทั้ง 6 แบบ จะถูกนำมาสร้างเป็นกฎด้วยวิธีการคำนวณตัวเลขบนเมตริกซ์ที่จำลอง โดยกฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสประเภทต่างๆ มีดังนี้

กำหนดให้  $CB_{ij}$  = ค่าของตัวตัดวงจรบนเมตริกซ์จำลองในแถวที่  $i$  และคอลัมน์ที่  $j$

$BF_{ij}$  = ค่าของรีเลย์ตรวจจับบนเมตริกซ์จำลองในแถวที่  $i$  และคอลัมน์ที่  $j$

$bay$  = เบย์ที่มีอุปกรณ์

$B_k$  = บัสบาร์ที่  $k$

$L_{ij}$  = สายส่งหรือหม้อแปลงในแถวที่  $i$  และติดบัส  $j$

$N$  = จำนวนเบย์ที่มีอุปกรณ์เมตริกซ์

- การจัดเรียงแบบบัสนหลักและบัสดำยโอน

การจัดเรียงบัสนประเภทนี้ประกอบด้วยบัสนหลักหนึ่งบัสน และมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงหนึ่งแถว ในแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันเพียงหนึ่งตัว ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัสนบาร์ และกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลงประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, และ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 สำหรับการจัดเรียงบัสนประเภทนี้มีแถวของตัวตัดวงจรเพียงแถวเดียวจึงไม่มีรูปแบบที่ 3, 4 และ 6

ตารางที่ 4.1 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสนแบบบัสนหลักและบัสดำยโอน

| รูปแบบ | กฎการทำงานของตัวตัดวงจร                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัสนบาร์ <math>B_i</math></p> $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{1i}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{1i}) / 100)) = N$ <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(BF_{1i}), 100) = 0</math></p> <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลง <math>L_{1X}</math> โดยที่ X คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่</p> $CB_{1X} \neq 0 \text{ และ } BF_{1X} \neq 1$ <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{1i}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{1i}), 100) = 0</math></p> |
| 2      | <p>โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> $CB_{1X} \neq 1 \text{ และ } BF_{1X} \neq 0$ <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{1i}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{1i}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{1i}), 100) = 0</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 5      | <p>โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> $CB_{1X} \neq 1 \text{ และ } BF_{1X} \neq 0$ <p>และ <math>CB_{1Y} \neq 1 \text{ และ } BF_{1Y} \neq 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y}(CB_{1i}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y}(CB_{1i}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y}(BF_{1i}), 100) = 0</math></p>                                                                                                                                                                                                             |

จากตารางที่ 4.1 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน แต่ถ้าวัดตัวตัดวงจรที่ติดบัสทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลง

#### - การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักสองบัส โดยแต่ละบัสหลักจะมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงหนึ่งแถว และในแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันเพียงหนึ่งตัว กฎการทำงานของตัวตัดวงจรบนการจัดเรียงบัสประเภทนี้จะคล้ายคลึงกับการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน แต่มีการเพิ่มบัสเข้าไปอีกหนึ่งชุด ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, และ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

| รูปแบบ | กฎการทำงานของตัวตัดวงจร                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันบัสบาร์ <math>B_k</math> โดยที่ <math>k</math> คือลำดับของบัสหลัก</p> $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{ki}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{ki}) / 100)) = N$ <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(BF_{ki}), 100) = 0</math></p> <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลง <math>L_{kx}</math> โดยที่ <math>x</math> คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่</p> $CB_{kx} \neq 0 \text{ และ } BF_{kx} \neq 1$ <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq x}(CB_{ki}), 100) = 0</math></p> |



|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ki}), 100) = 0$                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2 | โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน<br>$CB_{kx} \neq 1$ และ $BF_{kx} \neq 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ki}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ki}) / 100)) = N$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ki}), 100) = 0$                                                          |
| 5 | โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน<br>$CB_{kx} \neq 1$ และ $BF_{kx} \neq 0$<br>และ $CB_{ky} \neq 1$ และ $BF_{ky} \neq 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ki}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ki}) / 100)) = N$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{ki}), 100) = 0$ |

จากตารางที่ 4.2 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน เช่นเดียวกับการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

#### - การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักสองบัส และมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงหนึ่งแถว โดยแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันสองตัว ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 สำหรับการจัดเรียงบัสประเภทนี้มีแถวของตัวตัดวงจรสองตัวต่อหนึ่งวงจรจึงทำให้มีรูปแบบการทำงานครบทั้ง 6 รูปแบบ

ตารางที่ 4.3 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

| รูปแบบ | กฎการทำงานของตัวตัดวงจร                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัสบาร์ <math>B_k</math><br/> โดยถ้า <math>k = 1</math> ให้ <math>m = 1, n = 2</math> หรือถ้า <math>k = 2</math> ให้ <math>m = 2, n = 1</math><br/> <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{mi}) / 100)) = N</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(BF_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(CB_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}}(BF_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลง <math>L_{mX}</math> โดยที่ X คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่<br/> <math>CB_{mX} \neq 0</math> และ <math>BF_{mX} \neq 1</math><br/> และ <math>CB_{nX} \neq 0</math> และ <math>BF_{nX} \neq 1</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{ni}), 100) = 0</math></p> |
| 2      | <p>โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน<br/> <math>CB_{mX} \neq 1</math> และ <math>BF_{mX} \neq 0</math><br/> และ <math>CB_{nX} \neq 0</math> และ <math>BF_{nX} \neq 1</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{mi}) / 100)) = N</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{ni}), 100) = 0</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3      | <p>โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน<br/> <math>CB_{mX} \neq 0</math> และ <math>BF_{mX} \neq 1</math><br/> และ <math>CB_{nX} \neq 1</math> และ <math>BF_{nX} \neq 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(CB_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X}(BF_{mi}), 100) = 0</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4 | <p>โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> <p><math>CB_{mX} \neq 1</math> และ <math>BF_{mX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{nX} \neq 1</math> และ <math>BF_{nX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p>                                                                                               |
| 5 | <p>โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> <p><math>CB_{mX} \neq 1</math> และ <math>BF_{mX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{nX} \neq 0</math> และ <math>BF_{nX} \neq 1</math></p> <p>และ <math>CB_{mY} \neq 1</math> และ <math>BF_{mY} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{nY} \neq 0</math> และ <math>BF_{nY} \neq 1</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{mi}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p> |
| 6 | <p>โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> <p><math>CB_{mX} \neq 0</math> และ <math>BF_{mX} \neq 1</math></p> <p>และ <math>CB_{nX} \neq 1</math> และ <math>BF_{nX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{mY} \neq 0</math> และ <math>BF_{mY} \neq 1</math></p> <p>และ <math>CB_{nY} \neq 1</math> และ <math>BF_{nY} \neq 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ni}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ni}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p> |



จากตารางที่ 4.3 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลง

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่สองไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 3 และ 6 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่สองทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่สองทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลง

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งและสองไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 4 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่งหรือหม้อแปลง

#### - การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครั้ง

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักสองบัส และมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงสองแถว โดยแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันสองตัว ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมบนบัสประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, 4 และ 5

สำหรับกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลง ประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรกเกอร์หนึ่งครั้ง

| รูปแบบ | กฎการทำงานของตัวตัดวงจร                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัสบาร์ <math>B_k</math><br/> โดยถ้า <math>k = 1</math> ให้ <math>m = 1, n = 2, o = 3</math> หรือถ้า <math>k = 2</math> ให้ <math>m = 3, n = 2, o = 1</math><br/> <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}} (CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}} (CB_{mi}) / 100)) = N</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}} (BF_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}} (CB_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}} (BF_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}} (CB_{oi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}} (BF_{oi}), 100) = 0</math></p> <p>กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลง <math>L_{mX}</math> โดยที่ <math>X</math> คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่<br/> <math>CB_{mX} \neq 0</math> และ <math>BF_{mX} \neq 1</math><br/> และ <math>CB_{nX} \neq 0</math> และ <math>BF_{nX} \neq 1</math><br/> และ <math>CB_{oX} \neq 1</math> และ <math>BF_{oX} \neq 1</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{mi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ni}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{oi}), 100) = 0</math><br/> และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{oi}), 100) = 0</math></p> |
| 2      | <p>โดยที่ <math>X</math> แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน<br/> <math>CB_{mX} \neq 1</math> และ <math>BF_{mX} \neq 0</math><br/> และ <math>CB_{nX} \neq 0</math> และ <math>BF_{nX} \neq 1</math><br/> และ <math>CB_{oX} \neq 1</math> และ <math>BF_{oX} \neq 1</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{oi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{oi}), 100) = 0</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3 | <p>โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> <p><math>CB_{mX} \neq 0</math> และ <math>BF_{mX} \neq 1</math></p> <p>และ <math>CB_{nX} \neq 1</math> และ <math>BF_{nX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{oX} \neq 0</math> และ <math>BF_{oX} \neq 1</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{oi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{oi}), 100) = 0</math></p>                                                                 |
| 4 | <p>โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</p> <p><math>CB_{mX} \neq 1</math> และ <math>BF_{mX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{nX} \neq 1</math> และ <math>BF_{nX} \neq 0</math></p> <p>และ <math>CB_{oX} \neq 0</math> และ <math>BF_{oX} \neq 1</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{mi}) / 100)) = N</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{mi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{ni}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (CB_{oi}), 100) = 0</math></p> <p>และ <math>\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X} (BF_{oi}), 100) = 0</math></p> |
| 5 | โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | $CB_{mX} \neq 1$ และ $BF_{mX} \neq 0$<br>และ $CB_{nX} \neq 0$ และ $BF_{nX} \neq 1$<br>และ $CB_{oX} \neq 1$ และ $BF_{oX} \neq 1$<br>และ $CB_{mY} \neq 1$ และ $BF_{mY} \neq 0$<br>และ $CB_{nY} \neq 0$ และ $BF_{nY} \neq 1$<br>และ $CB_{oY} \neq 1$ และ $BF_{oY} \neq 1$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{mi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{mi}) / 100)) = N$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{mi}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ni}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{ni}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{oi}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{oi}), 100) = 0$ |
| 6 | โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน<br>$CB_{mX} \neq 0$ และ $BF_{mX} \neq 1$<br>และ $CB_{nX} \neq 1$ และ $BF_{nX} \neq 0$<br>และ $CB_{oX} \neq 1$ และ $BF_{oX} \neq 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{mi}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{mi}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{ni}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{ni}), 100) = 0$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{oi}), 100) + (\text{floor}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (CB_{oi}) / 100)) = N$<br>และ $\text{mod}(\sum_{i=\text{bay}, i \neq X,Y} (BF_{oi}), 100) = 0$                                                                                            |

จากตารางที่ 4.4 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกัน และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับ

ตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานที่หลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลง

ตัวตัดวงจรที่ไม่ติดบัสหลักไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 3 และ 6 จะมีเฉพาะรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลงเท่านั้น เพราะว่าไม่มีตัวตัดวงจรที่ติดบัสไม่ทำงาน ส่งผลให้ไม่มีการปลดตัวตัดวงจรทุกตัวที่ติดบัส จึงไม่มีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัส

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักและไม่ติดบัสหลักไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 4 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานที่หลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลง

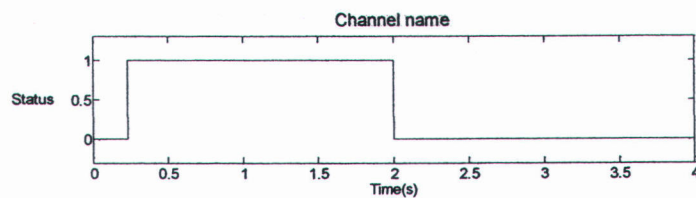
#### 4.3 กระบวนการอนุมานความรู้

กระบวนการอนุมานความรู้นี้จะใช้วิธีการอนุมานไปข้างหน้า และใช้วิธีการให้เหตุผลในระบบกระดานดำเป็นโครงสร้างของกระบวนการอนุมาน และแหล่งความรู้แต่ละแหล่งจะเรียกใช้ด้วยวิธีการให้เหตุผลในระบบโปรดักชัน

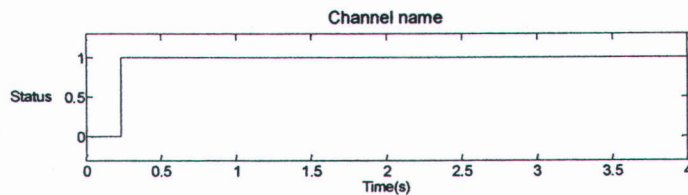
กระบวนการอนุมานความรู้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ กระบวนการอนุมานที่หนึ่ง กระบวนการอนุมานที่สอง และกระบวนการอนุมานที่สาม โดยจะอธิบายในหัวข้อ 4.3.1, 4.3.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ

##### 4.3.1 กระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

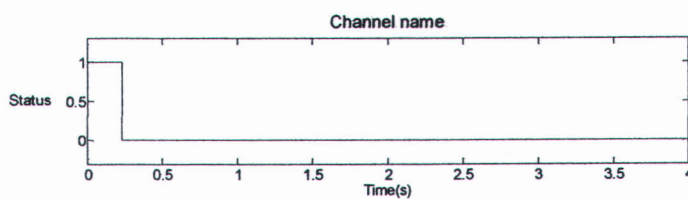
กระบวนการอนุมานที่หนึ่งมีหน้าที่ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานของรีเลย์ป้องกันที่สำคัญและตัวตัดวงจรในฐานความรู้ที่หนึ่ง โดยเริ่มต้นจากการนำชื่อสัญญาณดิจิทัลทุกช่องมาเปรียบเทียบกับส่วนเงื่อนไขของกฎในฐานความรู้ที่หนึ่ง ถ้ามีชื่อของช่องสัญญาณดิจิทัลใดเป็นไปตามกฎที่กำหนด ก็จะนำข้อมูลของช่องสัญญาณดิจิทัลนั้นมาหารูปแบบการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



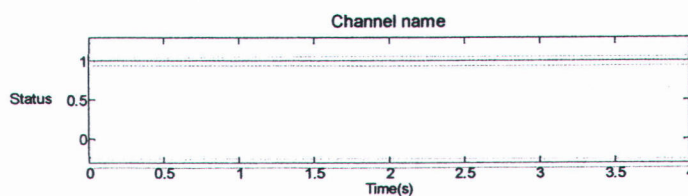
(ก)



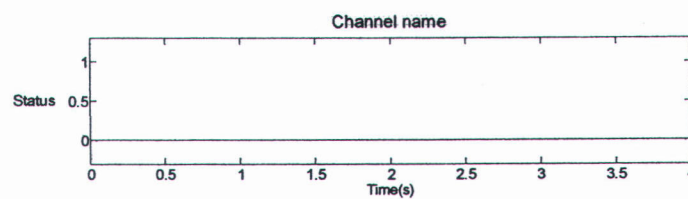
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

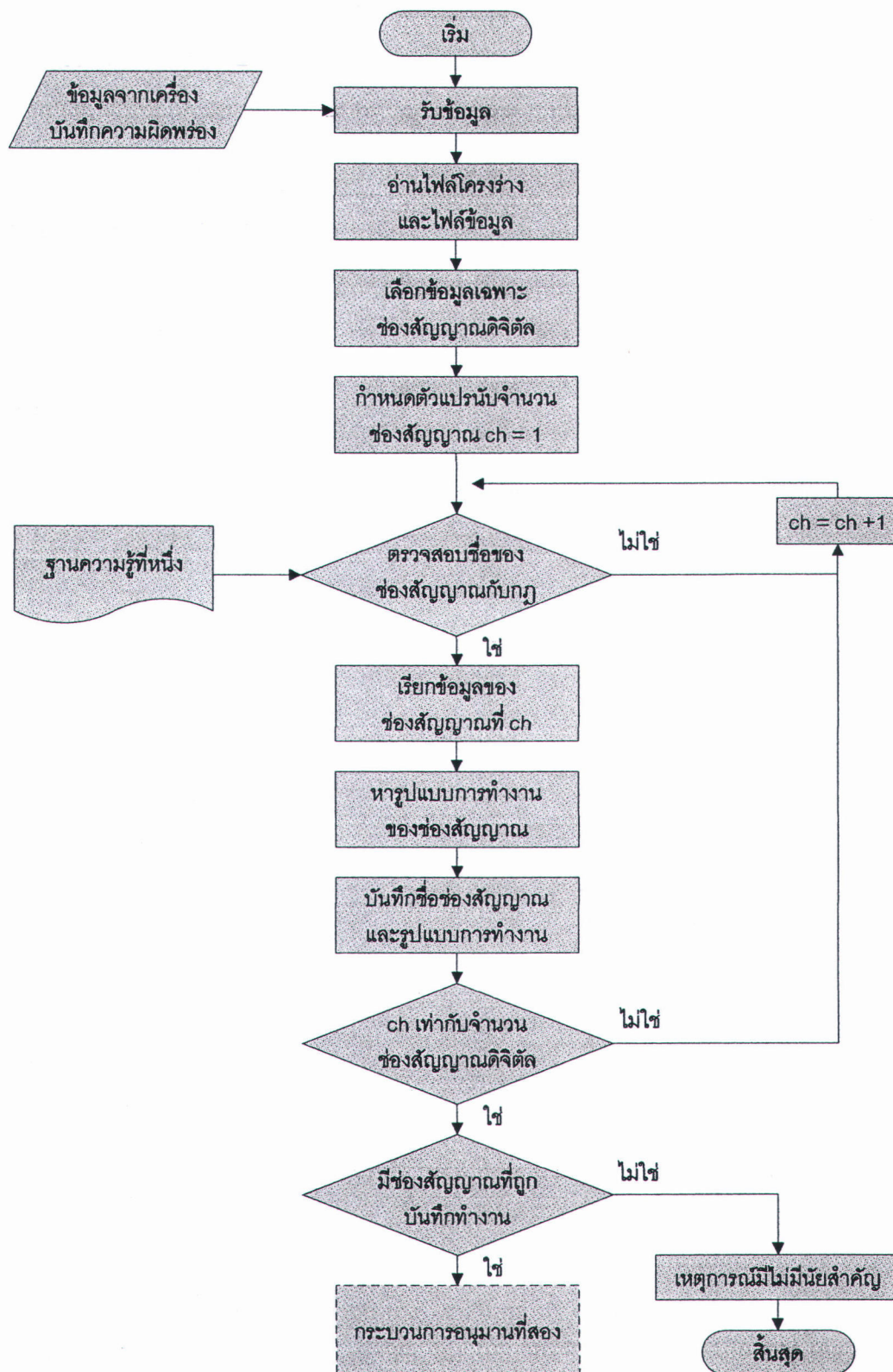
#### รูปที่ 4.7 รูปแบบการทำงานของช่องสัญญาณ

- (ก) รูปแบบที่ 1 อุปกรณ์ป้องกันมีการทำงาน และมีการสับกลับ
- (ข) รูปแบบที่ 2 อุปกรณ์ป้องกันมีการทำงาน แต่ไม่มีการสับกลับ
- (ค) รูปแบบที่ 3 อุปกรณ์ป้องกันถูกสับกลับ
- (ง) รูปแบบที่ 4 อุปกรณ์ป้องกันมีการทำงานมาก่อนการบันทึก
- (จ) รูปแบบที่ 5 อุปกรณ์ป้องกันไม่ทำงาน



ถ้าตรวจสอบทุกช่องสัญญาณแล้วพบว่ามียุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงานก็จะนำข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สอง ขั้นตอนของกระบวนการอนุมานที่หนึ่งแสดงในรูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8 กระบวนการอนุมานที่หนึ่งเริ่มด้วยการอ่านไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูลของเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกจากเครื่องบันทึกความผิดปกติแบบดิจิทัล เพื่อทำการคัดเลือกเฉพาะช่องสัญญาณดิจิทัลและตรวจสอบชื่อในแต่ละช่องสัญญาณกับส่วนเงื่อนไขในฐานความรู้ที่หนึ่ง ถ้าชื่อช่องสัญญาณไม่เป็นไปตามส่วนเงื่อนไข ก็จะเรียกช่องสัญญาณถัดไปมาตรวจสอบ แต่ถ้าชื่อช่องสัญญาณเป็นไปตามส่วนเงื่อนไข ก็จะเรียกข้อมูลของช่องสัญญาณมาทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการทำงานและเวลาที่ช่องสัญญาณเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนบันทึกชื่อและรูปแบบการทำงานของช่องสัญญาณ โดยที่จะทำการตรวจสอบจนกระทั่งช่องสัญญาณสุดท้าย ถ้าช่องสัญญาณอุปกรณ์ป้องกันที่บันทึกมีรูปแบบการทำงานที่ 1, 2, หรือ 3 จะนำข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันที่บันทึกมาทั้งหมดไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อในกระบวนการอนุมานที่สอง แต่ถ้าไม่มีรูปแบบการทำงานดังกล่าว ก็จะสิ้นสุดกระบวนการวิเคราะห์



รูปที่ 4.8 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

### 4.3.2 กระบวนการอนุมานที่สอง

กระบวนการอนุมานที่สองมีหน้าที่จำแนกประเภทของการจัดเรียงบัลในสถานีไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากรับข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันที่ถูกบันทึกในกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาป้อนเข้ากระบวนการอนุมานที่สอง เพื่อนำหมายเลขตัวตัดวงจรทุกตัวมาเปรียบเทียบกับส่วนเงื่อนไขของกฎในฐานความรู้ที่สอง หากพบว่าหมายเลขของตัวตัดวงจรของระดับแรงดันใดเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ จะตัดสินใจว่าในระดับแรงดันนั้นมีการจัดเรียงบัลเป็นแบบส่วนของกฎ หลังจากที่เราทราบประเภทของการจัดเรียงบัลในแต่ละระดับแรงดัน ก็จะนำข้อมูลหมายเลขของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานทุกตัวในแต่ละระดับแรงดันมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัล อย่างไรก็ตามถ้าพบว่าหมายเลขของตัวตัดวงจรของระดับแรงดันใดเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎใดในฐานความรู้ ก็จะทำอนุมานหมายเลขของตัวตัดวงจรในระดับแรงดันถัดไปจนครบทุกระดับแรงดัน

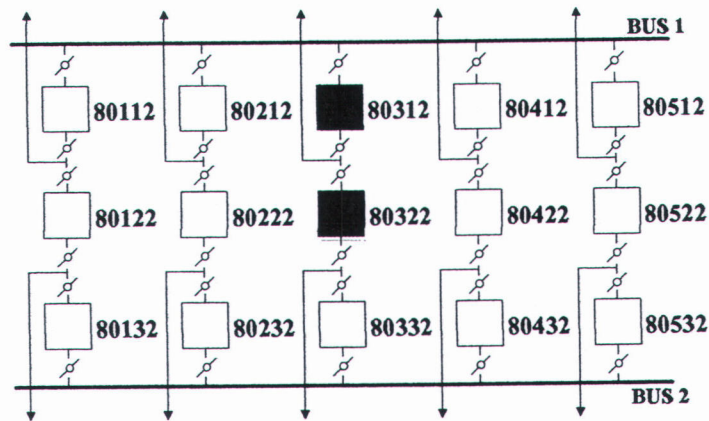
เมตริกซ์จำลองที่สร้างขึ้นเป็นเมตริกซ์สามมิติ (x-y-z) โดยให้แกน x แทนตำแหน่งแถวของตัวตัดวงจรบนเมตริกซ์ แกน y แทนตำแหน่งคอลัมน์ของตัวตัดวงจรบนเมตริกซ์ และแกน z แทนข้อมูลของตัวตัดวงจรในตำแหน่งแถวที่ x คอลัมน์ที่ y ซึ่งในแกน z นี้จะแบ่งชั้นออกเป็น 5 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9

จากรูปที่ 4.9 ระดับชั้นที่ 1 และ 2 ของเมตริกซ์จำลองแทนด้วยสถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงาน ถ้ามีสถานะทำงานจะแทนด้วย 1 ถ้ามีสถานะไม่ทำงานจะแทนด้วย 0 และถ้าไม่ทราบสถานะหรือไม่ข้อมูลจะแทนด้วย 100 สำหรับระดับชั้นที่ 3, 4 และ 5 ของเมตริกซ์จำลองแทนด้วยเวลาของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงานมีการเปลี่ยนแปลง และรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร ตามลำดับ

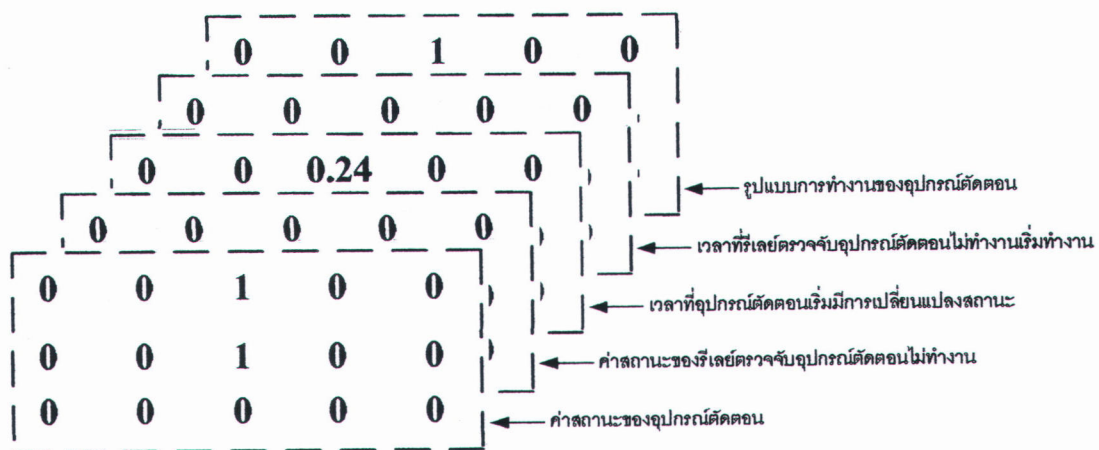
หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัล ได้แก่ บัลหลักและวงจรในเมตริกซ์ที่จำลองขึ้น โดยจำนวนบัลหลักทราบได้จากประเภทของการจัดเรียงบัล และจำนวนวงจรทราบได้จากจำนวนเบย์ที่มีอยู่ในการจัดเรียงบัล อย่างไรก็ตามผู้เชี่ยวชาญไม่อาจทราบได้ว่าเบย์ใดบ้างที่มีอยู่จริงในการจัดเรียงบัล ดังนั้นจึงใช้วิธีการตรวจสอบค่าสถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงาน ถ้าเบย์ใดมีค่าสถานะของตัวตัดวงจรหรือรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงาน จะตัดสินใจว่าเบย์นั้นมีอยู่จริงในการจัดเรียงบัล ดังแสดงในรูป 4.10

สุดท้ายจะนำเมตริกซ์จำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัลไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สาม ขั้นตอนของกระบวนการอนุมานที่สองแสดงในรูปที่ 4.11





(ก)

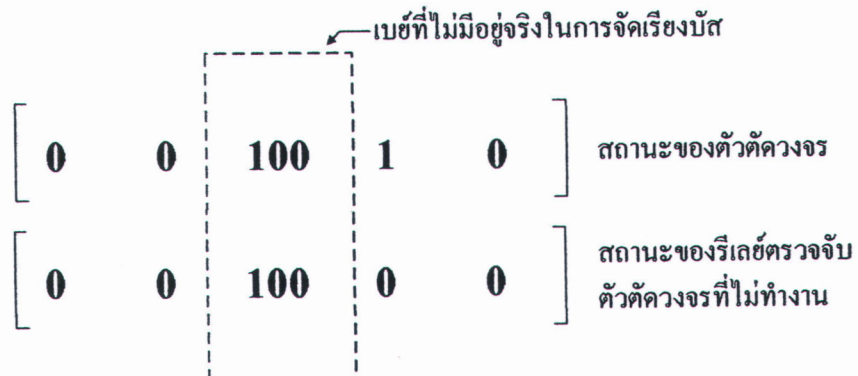


(ข)

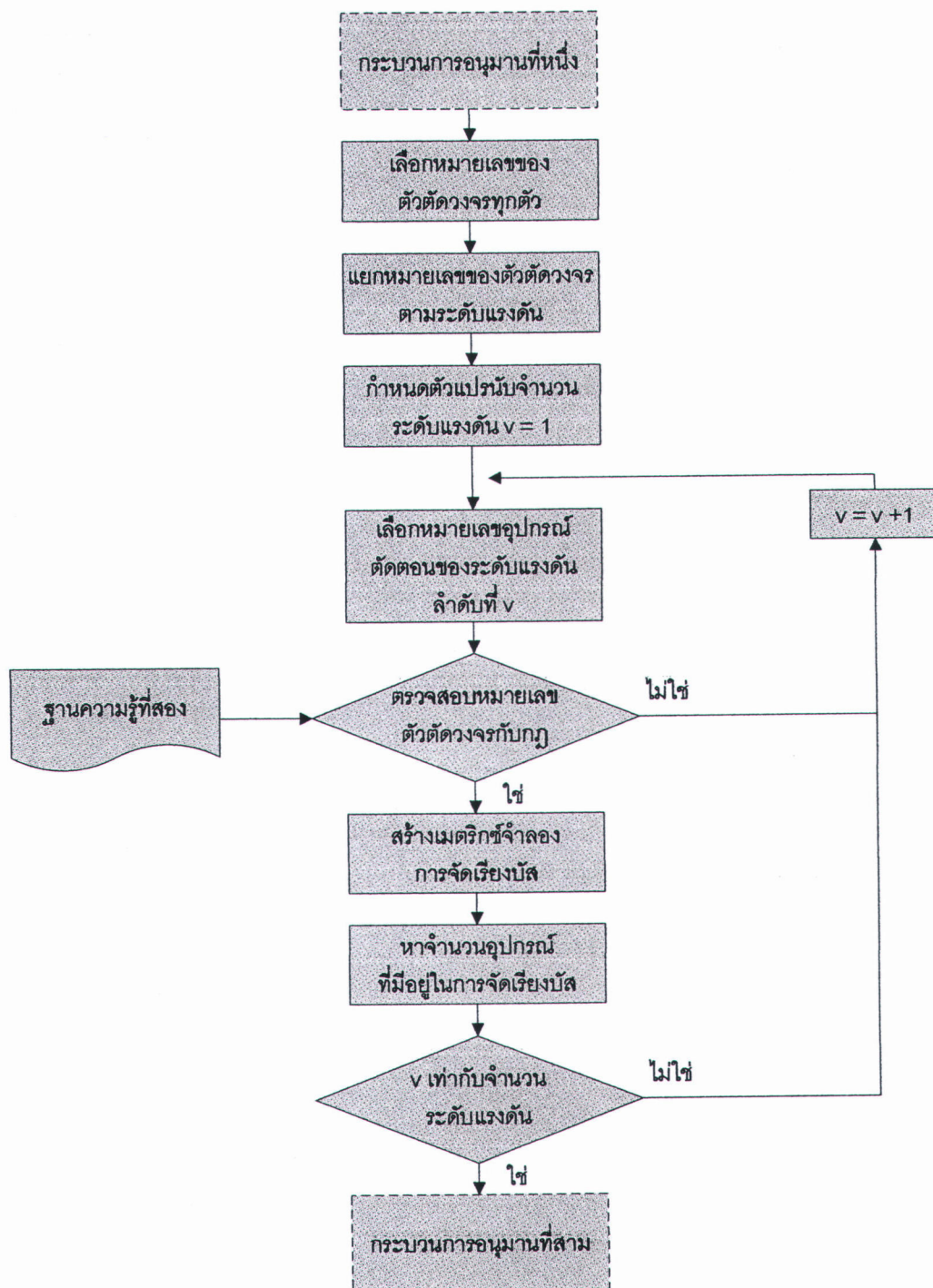
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการจำลองการจัดเรียงบัสในรูปแบบเมตริกซ์

(ก) รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

(ข) เมตริกซ์จำลองที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการหาเบย์ที่ไม่มีอยู่จริงในการจัดเรียงบัส



รูปที่ 4.11 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่สอง

จากรูปที่ 4.11 กระบวนการอนุมานที่สองเริ่มด้วยการเลือกหมายเลขของตัวตัดวงจรทุกตัวจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งและทำการแยกตัวตัดวงจรตามระดับแรงดันจากมากไปน้อย โดยอาศัยหมายเลขสองตัวหน้าที่ใช้แสดงระดับแรงดันมาใส่แยกระดับแรงดันของตัวตัดวงจร หลังจากนั้นก็ให้นำหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันมาทำการตรวจสอบกับส่วนเงื่อนไขใน

ฐานความรู้ที่สอง ถ้าหมายเลขของตัวตัดวงจรไม่เป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎใด ก็จะเรียกหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันถัดไปมาทำการตรวจสอบ ถ้าหมายเลขของตัวตัดวงจรเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ ก็จะเรียกข้อมูลของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานมาสร้างเมตริกซ์จำลอง รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส โดยที่จะทำการตรวจสอบจนครบทุกระดับแรงดันและนำเมตริกซ์จำลองและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สาม สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถหารูปแบบการจัดเรียงบัส ก็จะทำการส่งข้อมูลของตัวตัดวงจรที่มีสถานะทำงานไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สาม

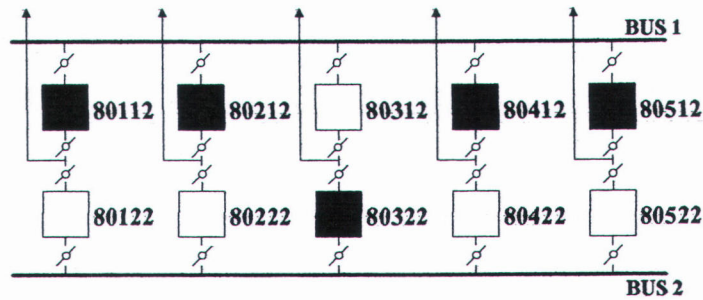
#### 4.3.3 กระบวนการอนุมานที่สาม

กระบวนการอนุมานที่สามมีหน้าที่หารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรตามประเภทของการจัดเรียงบัส โดยเริ่มต้นจากรับเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสจากกระบวนการอนุมานที่สองมาเปรียบเทียบกับส่วนเงื่อนไขของกฎในฐานความรู้ที่สาม เพื่อหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรที่ทำการป้องกันอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส หากพบว่าเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสที่สร้างขึ้นเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ จะตัดสินใจว่าตัวตัดวงจรได้ทำงานตามรูปแบบในส่วนตามของกฎ หลังจากที่ได้ทราบถึงรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร ก็จะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรตามรูปแบบการทำงานที่ได้จากส่วนตามของกฎมาใช้หาความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร สำหรับวิธีการหาความน่าจะเป็นจะใช้สถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานจากชั้นที่ 1 และ 2 ของเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ในกรณีที่ไม่มีทราบสถานะของตัวตัดวงจรหรือรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานใดในเมตริกซ์ ก็จะกำหนดค่าสถานะด้วยความน่าจะเป็นที่ตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะทำงานตามโอกาสการเกิดความผิดพลาดบนอุปกรณ์ในการจัดเรียงบัส ดังนี้

- ให้ 0.2 แทนความน่าจะเป็นจะเกิดความผิดพลาดบนบัส
- ให้ 0.8 แทนความน่าจะเป็นจะเกิดความผิดพลาดบนสายส่งและหม้อแปลง

ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดบนบัสมีค่าน้อยมาก เพราะบัสเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าจึงมีความปลอดภัยจากความผิดพลาดสูง จึงมีโอกาสดเกิดความผิดพลาดบนบัสต่ำกว่าโอกาสเกิดความผิดพลาดที่เกิดบนสายส่งมาก





(ก)

$$\begin{bmatrix} \boxed{100} & \boxed{1} & 0 & \boxed{1} & \boxed{1} \\ 0 & 0 & \boxed{1} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(ข)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \boxed{100} & 100 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(ค)

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการหาความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

(ก) รูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ตัดตอนที่ควรจะทำงานเพื่อตัดวงจร

(ข) เมตริกซ์จำลองสถานะของตัวตัดวงจร

(ค) เมตริกซ์จำลองสถานะของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

จากรูปที่ 4.12 เป็นรูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวติดบัสหลักหนึ่งไม่ทำงาน ถ้าลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรติดบัสหลักหนึ่งเริ่มทำงานก่อนตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักสอง จะตัดสินใจว่าเป็นรูปแบบการตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนบัสหลักหนึ่ง แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักหนึ่งเริ่มทำงานทีหลังตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักสอง จะตัดสินใจว่าเป็นรูปแบบการตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลงที่เบย์สาม ยกเว้นกรณีที่ไม่มีข้อมูลเวลาของตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักหนึ่งหรือบัสหลักสองเริ่มทำงาน ทำให้ไม่สามารถทราบลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ดังนั้นจะหาความน่าจะเป็นของทั้งสองรูปแบบการตัดวงจร

สำหรับความน่าจะเป็นสามารถคำนวณได้จากสถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน จากตัวอย่างในรูปที่ 4.12 สามารถคำนวณความน่าจะเป็นด้วยสถานะของตัวตัดวงจร 5 ตัวและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน 1 ตัว ดังนี้

- ตัวตัดวงจร 80112 : Prob. = 0.2 หรือ 0.8
- ตัวตัดวงจร 80212 : Prob. = 1
- ตัวตัดวงจร 80412 : Prob. = 1
- ตัวตัดวงจร 80512 : Prob. = 1
- ตัวตัดวงจร 80322 : Prob. = 1
- รีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน 80312 : Prob. = 0.2 หรือ 0.8

กรณีที่เกิดความผิดพลาดบนบัสหลักหนึ่งความน่าจะเป็น คือ  $0.2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.2 = 0.25$  และกรณีที่เกิดความผิดพลาดบนสายส่งหรือหม้อแปลงที่เบย์สาม คือ  $0.8 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.8 = 0.64$

วิธีการจัดเก็บค่าความน่าจะเป็นของอุปกรณ์ในแต่ละระดับแรงดันนั้นจะทำการจัดเก็บในรูปแบบของเมตริกซ์สองมิติ (x-y) โดยให้แกน x แทนรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรดังที่กล่าวในฐานความรู้ที่สาม และแกน y แทนอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส จากความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากตัวอย่างด้านบน สามารถจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13

|         |   | กรณีที่ตัวตัดวงจรทำงานแล้วสับกลับ |   |   |   |   |   |
|---------|---|-----------------------------------|---|---|---|---|---|
| รูปแบบ  | 1 | 2                                 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| อุปกรณ์ |   |                                   |   |   |   |   |   |
| BUS 1   | 0 | 0.25                              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BUS 2   | 0 | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NODE 1  | 0 | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NODE 2  | 0 | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NODE 3  | 0 | 0.64                              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NODE 4  | 0 | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NODE 5  | 0 | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการจัดเก็บค่าความน่าจะเป็นของแต่ละอุปกรณ์

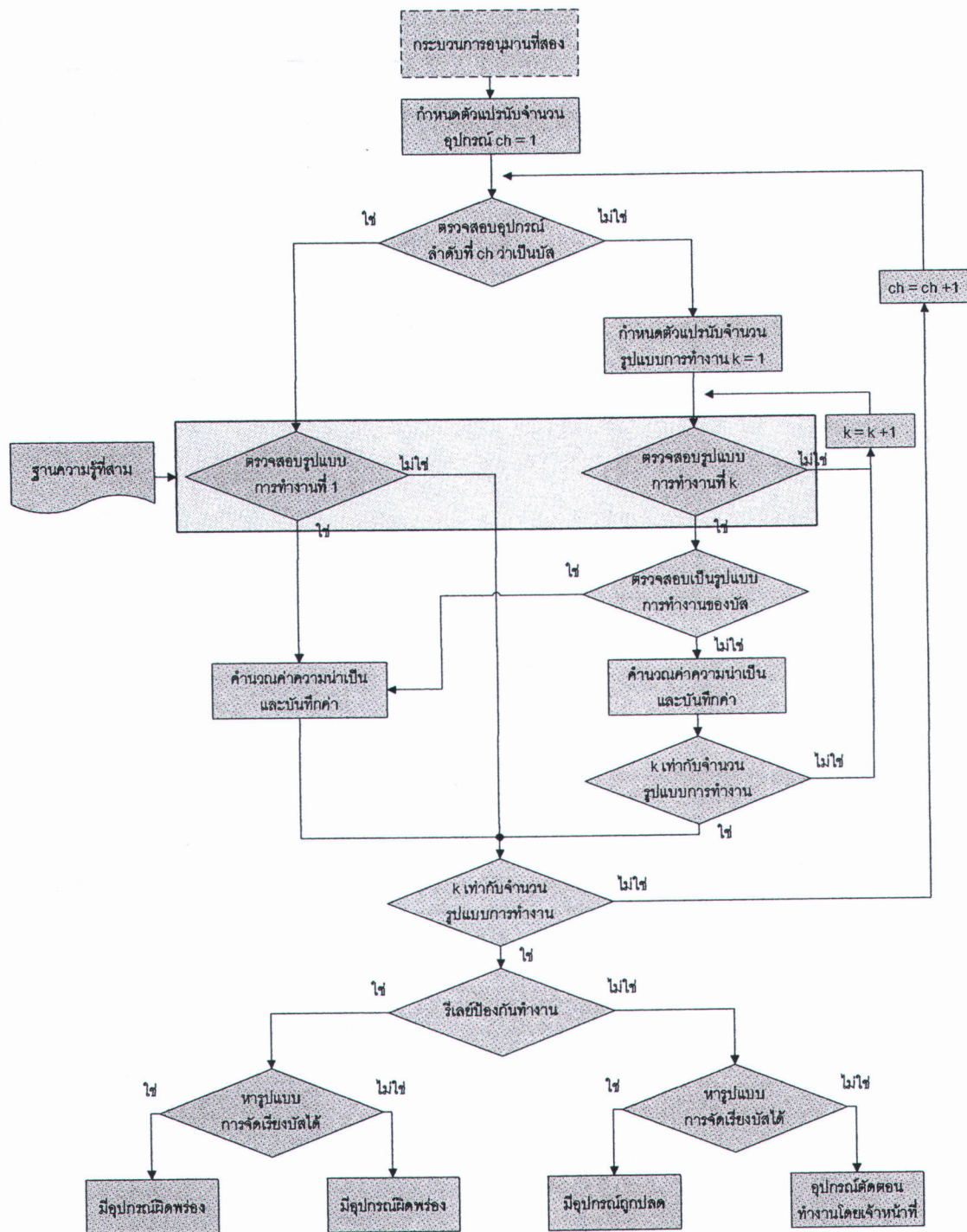
จากรูปที่ 4.13 แกน x แทนรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรประกอบด้วย 6 รูปแบบ และ แกน y แทนอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสประกอบด้วย บัสหลัก 2 บัสและวงจร 5 วงจร ความน่าจะเป็นที่คำนวณมาได้นั้นเป็นความน่าจะเป็นของบัสหลักหนึ่งและวงจรเบย์สามที่มีรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นแบบที่สอง สำหรับคอลัมน์ที่ 7 จะจัดเก็บค่าความน่าจะเป็นในกรณีที่ตัวตัดวงจรทำงานแล้วสับกลับ

เมื่อสามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ก็จะนำข้อมูลของรีเลย์ที่สำคัญจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาช่วยในการระบุอุปกรณ์ที่ผิดปกติ ซึ่งการวิเคราะห์ระหว่างรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรกับข้อมูลของรีเลย์ที่สำคัญประกอบด้วย 4 รูปแบบ คือ

1. มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานและสามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ก็ จะทำการจับคู่ระหว่างรีเลย์ป้องกันที่สำคัญกับรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร โดย จะจับคูรีเลย์ป้องกันบัสกับรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติของ บัส และจับคูรีเลย์ป้องกันสายส่งและหม้อแปลงกับรูปแบบการทำงานของตัวตัด วงจรเมื่อเกิดความผิดปกติของสายส่งและหม้อแปลง
2. มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานแต่ไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ จะตัดสินใจว่าเกิดความผิดปกติบนอุปกรณ์ตามที่รีเลย์ป้องกันทำงาน
3. ไม่มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานแต่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ สำหรับกรณีนี้จะมีอุปกรณ์ในการจัดเรียงบัสถูกตัดออก โดยไม่สามารถระบุได้ว่าตัว ตัดวงจรถูกสั่งงานโดยรีเลย์ป้องกันแต่ไม่นำสัญญาณรีเลย์เข้าเครื่องบันทึกความผิด พห่อง หรือสั่งงานโดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุม
4. ไม่มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานและไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร ได้ จะตัดสินใจว่าตัวตัดวงจรทำงานโดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุม

สุดท้ายเมื่อสามารถคัดเลือกคำตอบจากการวิเคราะห์ระหว่างรูปแบบการทำงานของตัว ตัดวงจรกับรีเลย์ป้องกันที่สำคัญ โดยจะให้ความสำคัญจากรูปแบบที่ 1 เป็นอันดับแรก และ รูปแบบที่ 4 เป็นอันดับสุดท้าย สำหรับกรณีที่มีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบภายในรูปแบบเดียวกัน จะใช้ความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นตัวตัดสิน ขั้นตอนของกระบวนการ อนุมานที่สามแสดงในรูปที่ 4.14





รูปที่ 4.14 แผนภาพกระบวนการอนุมัติสอง

จากรูปที่ 4.14 กระบวนการอนุมัติสองเริ่มด้วยการรับเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัล และอุปกรณ์ที่เป็นไปได้จากกระบวนการอนุมัติสอง รวมทั้งข้อมูลของรีเลย์ป้องกันที่สำคัญจากกระบวนการอนุมัติหนึ่ง หลังจากนั้นจะทำการแยกอุปกรณ์ประเภทบัลออกมา เพราะรูปแบบการทำงานของตัวตรวจจับเมื่อเกิดความผิดพลาดบนบัล และรูปแบบการทำงานของตัวตรวจจับเมื่อ

เกิดความผิดปกติบนสายส่งหรือหม้อแปลงจะแตกต่างกันเพียงรูปแบบที่ 1 ดังนั้นการหารูปแบบการทำงานของบัสเมื่อมีตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะใช้การตรวจสอบร่วมกันกับสายส่งหรือหม้อแปลง โดยที่รูปแบบการทำงานของบัสจะมีเวลาการทำงานของตัวตัดวงจรทุกตัวที่ติดบัสเร็วกว่าตัวตัดวงจรที่ไม่ติดบัส ในกรณีที่อุปกรณ์เป็นบัสจะทำการตรวจสอบรูปแบบการทำงานที่หนึ่งกับเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส ถ้าพบว่าเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ ก็ทำการหาความน่าจะเป็นของการทำงานและทำการบันทึกค่าความน่าจะเป็น ในกรณีที่อุปกรณ์เป็นวงจรจะทำการตรวจสอบรูปแบบการทำงานทุกรูปแบบ รวมทั้งหาลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน สุดท้ายจะทำการวิเคราะห์รีเลย์ป้องกันที่สำคัญจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งกับรูปแบบการทำงานจากที่หาได้ ซึ่งรูปแบบคำตอบที่ได้จะมี 4 รูปแบบ คือ มีอุปกรณ์ผิดปกติและทราบรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร มีอุปกรณ์ผิดปกติแต่ไม่ทราบรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร มีอุปกรณ์ถูกปลดออกจากการจัดเรียงบัส และมีตัวตัดวงจรถูกสั่งให้ทำงานโดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุม

รูปแบบที่หนึ่งจะให้คำตอบออกมาเป็น 4 ลักษณะคือ ความผิดปกติบนบัส ความผิดปกติบนสายส่ง ความผิดปกติบนสายส่งแบบชั่วคราว และความผิดปกติบนหม้อแปลง พร้อมทั้งสามารถระบุตำแหน่งและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสด้วย

รูปแบบที่สองจะให้คำตอบออกมาเป็น 3 ลักษณะคือ ความผิดปกติบนบัส ความผิดปกติบนสายส่ง และความผิดปกติบนหม้อแปลง โดยที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสด้วย

รูปแบบที่สามนั้นเป็นรูปแบบที่เจ้าหน้าที่ทำการสับและปลดอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าออกจากระบบ โดยการระบุว่าเป็นการสับเข้าหรือปลดออกนั้น จะพิจารณาจากรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

รูปแบบที่สี่นั้นเป็นรูปแบบที่เจ้าหน้าที่ทำการสับและปลดตัวตัดวงจร โดยการระบุว่าเป็นการสับเข้าหรือปลดออกนั้น จะพิจารณาจากรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร