การวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

นายจิรายุทธ์ กิตติจันทร์รัตนา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FAULT EQUIPMENT ANALYSIS ON TRANSMISSION NETWORK USING AN EXPERT SYSTEM

Mr. Jirayuth Kittijanratana

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2010
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ
โดย	นายจิรายุทธ์ กิตติจันทร์รัตนา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรธรรม บุณยะกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จิรายุทธ์ กิตติจันทร์รัตนา : การวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ. (FAULT EQUIPMENT ANALYSIS ON TRANSMISSION NETWORK USING AN EXPERT SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. แนบบุญ หุนเจริญ, 72 หน้า.

งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องในระบบส่งโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ อย่างไรก็ดีวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยฐานข้อมูลขนาดใหญ่ในการจัดเก็บข้อมูลการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบส่ง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญช่วยในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่ง ด้วยข้อมูลสถานะและเวลาในการทำงานของรีเลย์และอุปกรณ์ตัดตอนที่ถูกบันทึกด้วยอุปกรณ์บันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล ระบบผู้เชี่ยวชาญจะคัดกรองเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกและนำเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญไปวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่อง ในการวิเคราะห์นี้สามารถทำได้โดยอาศัยกฎการตั้งชื่ออย่างเป็นระบบของช่องสัญญาณของอุปกรณ์บันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการจัดเรียงบัสในสถานีไฟฟ้า ช่วยลดความจำเป็นในการสร้างฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และขั้นตอนในการปรับปรุงให้ฐานข้อมูลเหล่านั้นทันสมัยอยู่เสมอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในสถานีไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องจะอาศัยวิธีคำนวณความน่าจะเป็นของสถานะการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดในสถานีไฟฟ้าสำหรับการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท ทำให้สามารถวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องได้อย่างถูกต้องแม้ในกรณีที่มีข้อมูลรีเลย์และอุปกรณ์ตัดตอนไม่ครบทุกตัว ผลการทดสอบกับข้อมูลจากเหตุการณ์จำลองและเหตุการณ์จริงให้ผลความถูกต้องเกินร้อยละ 90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต จิรายุทธ์ กิตติจันทร์รัตนา

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5270663121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : FAULT EQUIPMENT ANALYSIS/ EXPERT SYSTEM

JIRAYUTH KITTIJANRATANA : FAULT EQUIPMENT ANALYSIS ON TRANSMISSION NETWORK USING AN EXPERT SYSTEM. ADVISOR : ASST. PROF. NAEBBOON HOONCHAREON, Ph.D., 72 pp.

In previous researches, an expert system application to fault equipment analysis on transmission network requires large database for the details of network connection. This thesis presents an alternative expert system based fault equipment analysis on transmission network using status and operation time of relays and circuit breakers data recorded by a digital fault recorder (DFR). The proposed method is able to classify between insignificant and significant events, and able to locate the faulted equipment, respectively. Additionally, this algorithm deploys systematic naming of the DFR channels, hence, replacing the necessity for establishing large database of network connection as well as required updating process when the station configuration has been further modified. The analysis also employs the probability-base technique to help determine the status of missing relay and circuit breaker data, corresponding to the type of station bus ordering. Test results using data from both simulated and actual fault event reveal the obtained accuracy above 90 %.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Electrical Engineering Student's Signature จิรายุทธ์ กิตติจินดารัตนา

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องกราบขอบพระคุณสำหรับความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของ ผศ. ดร. แนบบุญ หุนเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ข้อคิด และประสบการณ์ในการดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ศ. ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล และ ผศ. ดร. ธีรธรรม บุณยะกุล ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ามาช่วยตรวจสอบและแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในวิชาเรียนที่เปิดสอน และให้ความช่วยเหลือ ข้อเสนอแนะ และเป็นกำลังใจในการวิจัย

ขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้คำปรึกษาด้านความรู้ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบพระคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนๆ ทั้งภายในและภายนอกห้องปฏิบัติการวิจัย ในการให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา ข้อแนะนำ และกำลังใจในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวของผู้วิจัย สำหรับกำลังใจและการสนับสนุนที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์..... 3

1.4 ขั้นตอนการศึกษา..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์..... 4

บทที่ 2 การป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....5

2.1 หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า..... 5

2.1.1 หลักการป้องกันบัส.....5

2.1.2 หลักการป้องกันสายส่ง.....6

2.1.3 หลักการป้องกันหม้อแปลง.....7

2.1.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน.....8

2.2 โครงสร้างการจัดเรียงบัส..... 8

2.2.1 การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน.....9

2.2.2 การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน.....10

หน้า

2.2.3 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ 10
2.2.4 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง 11
2.2.5 หลักการตั้งหมายเลขของตัวตัดวงจร 11
2.3 เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล 12
2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล 14
2.3.2 ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล 15
2.3.3 การอ่านชื่อช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล 17
บทที่ 3 ระบบผู้เชี่ยวชาญ 19
3.1 นิยามของระบบผู้เชี่ยวชาญ 19
3.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 19
3.2.1 ส่วนจัดหาความรู้ 20
3.2.2 ฐานความรู้ 20
3.2.3 ส่วนควบคุมการอนุมาน 22
3.2.4 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 24
บทที่ 4 กระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ 25
4.1 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่อง 25
4.2 การพัฒนาฐานความรู้ 27
4.2.1 ฐานความรู้ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบส่ง 27
4.2.2 ฐานความรู้ลักษณะการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท 28
4.2.3 ฐานความรู้การทำงานของตัวตัดวงจร 29
4.3 กระบวนการอนุมานความรู้ 45
4.3.1 กระบวนการอนุมานที่หนึ่ง 45
4.3.2 กระบวนการอนุมานที่สอง 49

หน้า

4.3.3 กระบวนการอนุมานที่สาม....52
บทที่ 5 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง....58
5.1 ตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบ....58
5.1.1 ตัวอย่างการทดสอบ....58
5.1.2 วิธีตรวจสอบผลการทดสอบ....60
5.2 ระบบทดสอบ....62
5.2.1 ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจำลอง....62
5.2.2 ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจริง....64
5.3 ผลการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ....64
5.3.1 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง....65
5.3.2 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง....65
5.3.3 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สาม....66
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและสิ่งที่จะดำเนินการต่อไป....68
6.1 สรุปผลการวิจัย....68
6.2 ข้อเสนอแนะ....69
รายการอ้างอิง....70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง.....17
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณดิจิตัลของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง.....18
ตารางที่ 4.1 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน.....36
ตารางที่ 4.2 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน 37
ตารางที่ 4.3 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่.....39
ตารางที่ 4.4 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง.....42
ตารางที่ 5.1 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง 65
ตารางที่ 5.2 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง.....65
ตารางที่ 5.3 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สาม 66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 หลักการป้องกันบัสในระบบส่งกำลังไฟฟ้า 6
รูปที่ 2.2 หลักการป้องกันสายส่งในระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....6
รูปที่ 2.3 หลักการป้องกันหม้อแปลงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....7
รูปที่ 2.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน.....8
รูปที่ 2.5 การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน 9
รูปที่ 2.6การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน.....10
รูปที่ 2.7 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่.....10
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง.....11
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างหมายเลขตัวตัดวงจรของการจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน.....11
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างหมายเลขตัวตัดวงจรของการจัดเรียงแบบแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่.....12
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับของบัสที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์.....13
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างช่องสัญญาณดิจิตัลของตัวตัดวงจร.....13
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของไฟล์โครงร่างของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง 16
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ.....20
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการแทนค่าความรู้ในรูปของกฎ 21
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของวิธีการให้เหตุผลแบบการให้เหตุผลในระบบกระดานดำ.....23
รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่อง.....26
รูปที่ 4.2 การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส.....30
รูปที่ 4.3 การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งและหม้อแปลง 31
รูปที่ 4.4 การสั่งให้ตัวตัดวงจรกลับมาทำงานโดยเจ้าหน้าที่ 32
รูปที่ 4.5 การสั่งปลดตัวตัดวงจรออกระบบโดยเจ้าหน้าที่ 33
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการจำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในรูปแบบเมตริกซ์.....34

หน้า

รูปที่ 4.7 รูปแบบการทำงานของช่องสัญญาณ 46
รูปที่ 4.8 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง.....48
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการจำลองการจัดเรียงบัสในรูปแบบเมตริกซ์.....50
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการหาเบย์ที่ไม่มีอยู่จริงในการจัดเรียงบัส 50
รูปที่ 4.11 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่สอง.....51
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการหาค่าความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร.....53
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการจัดเก็บค่าความน่าจะเป็นของแต่ละอุปกรณ์.....54
รูปที่ 4.14 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่สาม.....56
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง.....59
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่สอง 59
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่สาม.....60
รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการตรวจสอบผลการทดสอบ.....61
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน 62
รูปที่ 5.6 ตัวอย่างไฟล์โครงร่างและไฟล์จำลองของข้อมูลจำลอง 63
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งที่ไม่มีตัวตัดวงจรตัวกลาง 67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาศักยภาพด้านต่างๆของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้นการขนส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไปสู่ระบบจำหน่าย จึงต้องการความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพสูง เพราะหากเกิดปัญหาความผิดพร่องขึ้นบนระบบส่ง จะส่งผลให้การขนส่งกำลังไฟฟ้าสู่ระบบจำหน่ายต้องหยุดชะงัก

การเกิดความผิดพร่องในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพร่อง อาจจะส่งผลให้เกิดไฟฟ้าดับหรือทำให้เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต้องหยุดการทำงานชั่วคราว และเกิดความสูญเสียอย่างมากต่อภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับหรือขัดข้องบ่อยๆครั้ง เป็นการทำลายความน่าเชื่อถือต่อการเข้ามาลงทุนของต่างชาติอีกด้วย อย่างไรก็ดีผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพร่องสามารถทำให้ลดน้อยลงได้ โดยอาศัยการแก้ไขปัญหาความผิดพร่องที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

ระบบส่งกำลังไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีระบบป้องกันที่ช่วยในการตรวจจับและแก้ไขความผิดพร่องที่มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดเวลาและความรุนแรงของความสูญเสียจากความผิดพร่องที่เกิดขึ้น จึงได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยตรวจจับความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนระบบส่ง และทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบดิจิตัล เรียกว่า เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล (Digital Fault Recorder หรือ DFR) โดยเครื่องบันทึกนี้ติดตั้งไว้ภายในห้องควบคุมของสถานีไฟฟ้า

ปัจจุบันสถานีไฟฟ้าบนระบบส่งกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยได้มีการติดตั้งเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลไปแล้วจำนวนทั้งสิ้น 86 สถานีไฟฟ้า โดยทำการเลือกติดตั้งในสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญก่อน เครื่องบันทึกความผิดพร่องมีหน้าที่บันทึกค่าของสัญญาณแรงดัน สัญญาณกระแส สัญญาณรีเลย์ และสัญญาณตัวตัดวงจร เมื่อมีค่าของสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งเป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้ให้ทำงาน ซึ่งในแต่ละวันจะมีข้อมูลของเหตุการณ์ที่ถูกบันทึก และส่งเข้ามาที่ส่วนกลางของระบบส่งเป็นจำนวนมาก เหตุการณ์ที่ถูกบันทึกเหล่านี้ประกอบด้วยเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญในสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 80 [1] ตัวอย่างเช่น สถานีไฟฟ้าที่นำเซนเซอร์ตรวจจับ

ค่ากระแสเกินของเครื่องบันทึกมาใช้ตรวจจับค่ากระแสของอุปกรณ์หรือสายส่ง โดยเซนเซอร์นี้จะตั้งค่าในการตรวจจับไว้ไม่สูงมาก ทำให้เครื่องบันทึกสามารถตรวจจับและบันทึกการทำงานของเซนเซอร์ได้เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ดีเหตุการณ์ในลักษณะเช่นนี้ส่วนใหญ่จะมีเฉพาะช่องสัญญาณเซนเซอร์ตรวจจับค่ากระแสเกินเท่านั้นที่มีทำงาน โดยที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญของระบบส่งทำงาน และไม่มีอุปกรณ์ของระบบส่งถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งเหตุการณ์ที่มีกระแสเกินไม่สูงมากอาจมีสาเหตุมาจากความผิดพร่องที่เกิดขึ้นจากสถานีไฟฟ้าข้างเคียงหรือมีการเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม

การที่มีจำนวนของเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญถูกบันทึกมาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การตรวจสอบและวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของเจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลาจำนวนมาก จนในบางครั้งเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญไม่ได้รับการวิเคราะห์และเข้าไปแก้ไขอย่างทันท่วงที ก่อให้เกิดความสูญเสียจากความผิดพร่องเป็นจำนวนมาก

บทความวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการนำเสนอวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาอุปกรณ์ผิดพร่องในระบบส่งโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ จากสัญญาณตัวตัดวงจรเป็นหลักและใช้สัญญาณรีเลย์ประกอบการวิเคราะห์ [2-3] อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยฐานข้อมูลขนาดใหญ่ในการจัดเก็บข้อมูลการเชื่อมต่อของตัวตัดวงจรทั้งหมดในระบบส่ง นอกจากนี้ยังมีบทความที่นำเสนอถึงการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่อง ประเภทของความผิดพร่อง ตำแหน่งของความผิดพร่อง และสาเหตุของความผิดพร่อง [4-12] ที่ส่วนใหญ่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา โดยในการวิเคราะห์หาประเภท ตำแหน่ง และสาเหตุของความผิดพร่องบนสายส่งนี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธภาพของการวิเคราะห์ได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการประยุกต์แนวคิดของระบบผู้เชี่ยวชาญมาช่วยคัดกรองเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก และนำเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาอุปกรณ์ผิดพร่อง ในการวิเคราะห์นี้ไม่จำเป็นทราบการเชื่อมต่อของตัวตัดวงจรหรือการจัดเรียงบัสภายในสถานีไฟฟ้า โดยจะอาศัยการนำกฎการตั้งชื่อของตัวตัดวงจรมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาประเภทของการจัดเรียงบัสแทน ส่งผลให้ฐานข้อมูลของระบบผู้เชี่ยวชาญมีขนาดเล็กลง และช่วยลดขั้นตอนในการปรับปรุงฐานข้อมูลของโครงสร้างของการจัดเรียงบัสให้ทันสมัย เพราะข้อมูลการจัดเรียงบัสเหล่าจะปรับปรุงด้วยข้อมูลของรีเลย์และตัวตัดวงจรที่เพิ่มเข้าไปในเครื่องบันทึก หลักการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นมานี้ จะประมวลสัญญาณป้อนเข้าจากข้อมูลทีละเหตุการณ์ โดยไม่จำเป็นต้องประมวลข้อมูลขนาดใหญ่จากทั้งระบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาอัลกอริทึมโดยประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญในการแก้ปัญหาต่อไปนี้

1. คัดกรองเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก
2. ระบุอุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่งกำลังไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ขอบเขตในการทำวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. พิจารณาเฉพาะระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 500, 230 และ 115 กิโลโวลต์
2. ชื่อของตัวตัดวงจรเป็นไปตามมาตราฐานที่ใช้อยู่ในระบบส่งของประเทศไทย
3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องทีละเหตุการณ์
4. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลของช่องสัญญาณดิจิตัลเท่านั้น
5. ชื่อช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพร่องต้องเป็นไปตามมาตรฐานการตั้งชื่อ
6. พิจารณาเฉพาะการจัดเรียงบัส 4 ประเภทดังนี้ การจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน การจัดเรียงบัสแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน การจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ และการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง ที่เป็นรูปแบบมาตราฐาน
7. พิจารณาความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนบัส สายส่ง และหม้อแปลง
8. พิจารณาตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงานพร้อมกันได้สูงสุด 2 ตัว
9. ไม่พิจารณาผลของกรณีที่งานบัสถ่ายโอน
10. ไม่พิจารณาผลของกรณีที่เกิดความผิดพร่องมากกว่า 1 อุปกรณ์ในเวลาเดียวกัน
11. ไม่พิจารณาผลของกรณีที่มีตัวตัดวงจรไม่ทำงานแล้วกลับมาทำงานภายหลัง
12. ไม่พิจารณาหมายเลขของตัวตัดวงจรที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษร เช่น 70022A

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการทำการวิจัย มีขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับระบบผู้เชี่ยวชาญ
3. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของระบบป้องกันในระบบส่งกำลังไฟฟ้า
4. ศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง
5. พัฒนาวิธีการจำแนกโครงสร้างการจัดเรียงบัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. พัฒนากระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องจากสัญญาณรีเลย์และตัวตัดวงจร

7. ทำการทดสอบกับข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง

8. วิเคราะห์ผลการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรมการวิเคราะห์

9. สรุปผลงานวิจัย

10. เรียบเรียงงานวิจัยเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการทำวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อระบุอุปกรณ์ผิดพร่องแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลได้

2. สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ด้านอื่นๆได้ เช่น การระบุประเภทและตำแหน่งของการเกิดลัดวงจรบนสายส่ง การหาสาเหตุของการลัดวงจรบนสายส่ง และการระบุอุปกรณ์ป้องกันที่ควรได้รับการบำรุงรักษา เป็นต้น

3. สามารถลดจำนวนเจ้าหน้าที่และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องได้

1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอได้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมในแต่ละบทเป็นดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 การป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

บทที่ 3 ระบบผู้เชี่ยวชาญ

บทที่ 4 กระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

บทที่ 5 การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

บทที่ 6 นำเสนอบทสรุป และข้อเสนอแนะของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2

การป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า รายละเอียดของการจัดเรียงบัสประเภทต่างๆที่ใช้แพร่หลายในสถานีไฟฟ้าบนระบบส่งของประเทศไทย และเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ใช้บันทึกข้อมูลสัญญาณต่างๆภายในสถานีไฟฟ้า

หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โครงสร้างการจัดเรียงบัส และเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล อธิบายในหัวข้อที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

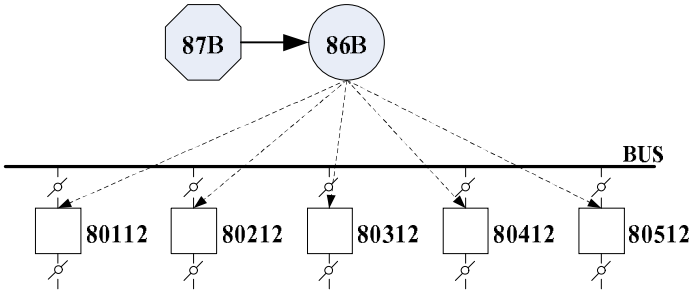
2.1 หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

หลักการป้องกันอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานทับซ้อนกันจากหลายอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อให้ระบบป้องกันยังคงสามารถทำงานต่อไปได้เมื่ออุปกรณ์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งไม่ทำงาน เพราะระบบป้องกันจำเป็นต้องตัดวงจรของอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบก่อนที่ความผิดพร่องจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆในระบบส่ง

ในหัวข้อย่อยต่อจากนี้จะกล่าวถึง หลักการป้องกันบัส หลักการป้องกันสายส่ง หลักการป้องกันหม้อแปลง และหลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน [13] อธิบายในหัวข้อที่ 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 และ 2.1.4 ตามลำดับ

2.1.1 หลักการป้องกันบัส

บัสเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นเส้นทางร่วมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าออกในสถานีไฟฟ้า โดยหลักการป้องกันบัสในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการป้องกันบัสในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

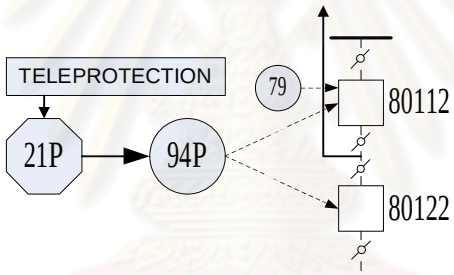
จากรูป 2.1 หลักการป้องกันบัสจะประกอบด้วยรีเลย์ 2 ตัว ดังนี้

- 87B คือ Bus Differential Relay
- 86B คือ Bus Differential Auxiliary Tripping and Lockout Relay

หลักการป้องกันบัสนี้จะใช้รีเลย์ 87 ตรวจจับผลต่างของค่าผลรวมกระแสที่ติดบัสจากทุกเบย์ ในสภาวะปกติค่าผลรวมของกระแสจะเป็นศูนย์ แต่ถ้ามีความผิดพร่องเกิดขึ้นบนบัสค่าผลรวมกระแสจะไม่เป็นศูนย์ ทำให้รีเลย์ 87 ทำงานและไปสั่งให้รีเลย์ 86 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรทุกตัวที่ติดบัสทำงาน

2.1.2 หลักการป้องกันสายส่ง

สายส่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแห่งหนึ่งไปยังสถานีไฟฟ้าอีกแห่งหนึ่ง โดยหลักการป้องกันสายส่งในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการป้องกันสายส่งในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

จากรูป 2.2 หลักการป้องกันสายส่งจะประกอบด้วยรีเลย์ 3 ตัว ดังนี้

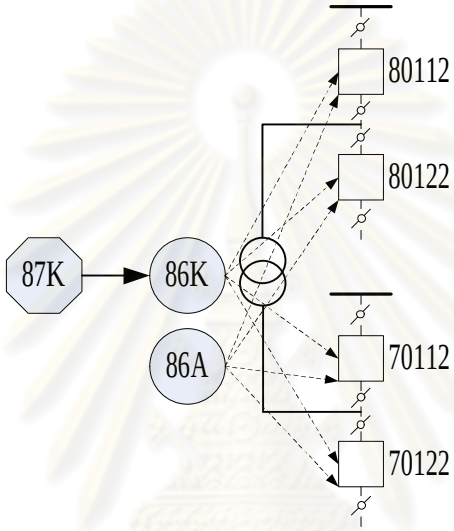
- 21P คือ Distance Relay, Primary Protection
- 94P คือ High Speed Auxiliary Tripping Relay, Primary Protection
- 79 คือ Auto Reclosing Relay

หลักการป้องกันสายส่งจะใช้รีเลย์ 21 ตรวจจับค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่คำนวณจากค่ากระแสและแรงดันของสายส่ง ถ้าค่าอิมพีแดนซ์มีค่าตามที่ตั้งไว้ให้ทำงานรีเลย์ 21 จะไปสั่งให้รีเลย์ 94 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรที่ป้องกันสายส่งทำงาน และรีเลย์ 79 ก็จะเริ่มนับเวลารอที่จะทำการสับตัวตัดวงจรกลับในกรณีที่ความผิดพร่องเกิดขึ้นแบบชั่วคราว ซึ่งค่าอิมพิแดนซ์ที่ตั้งให้รีเลย์ทำงานนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของสายส่งที่ใช้งาน นอกจากนี้ในระดับแรงดัน 230

และ 500 กิโลโวลต์จะประกอบด้วยรีเลย์ 21 อีกหนึ่งชุด เพื่อป้องกันในกรณีที่รีเลย์ 21 ชุดแรกไม่ทำงาน

2.1.3 หลักการป้องกันหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันให้สูงขึ้นเมื่อป้อนเข้าสู่ระบบส่งกำลังไฟฟ้า และแปลงแรงดันให้ต่ำลงเมื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยหลักการป้องกันหม้อแปลงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการป้องกันหม้อแปลงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

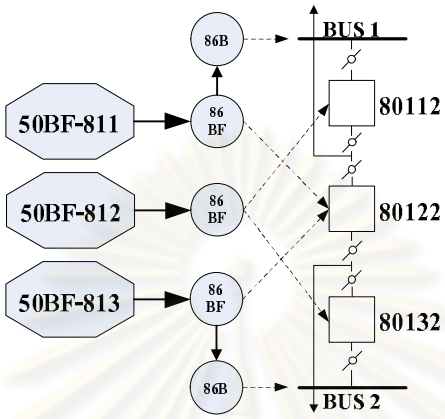
จากรูป 2.3 หลักการป้องกันหม้อแปลงจะประกอบด้วยรีเลย์ 3 ตัว ดังนี้

- 87K คือ Transformer Differential Relay
- 86K คือ Transformer Differential Auxiliary Tripping and Lockout Relay
- 86A คือ Transformer Tripping and Lockout Relay (self protection)

สำหรับการป้องกันหม้อแปลงนี้จะใช้รีเลย์ 87 ตรวจจับผลต่างของค่าผลรวมกระแสจากขดลวดทั้งสองด้านของหม้อแปลง ในสภาวะปกติค่าผลรวมของกระแสจะเป็นศูนย์ แต่ถ้ามีความผิดพร่องเกิดขึ้นบนหม้อแปลงค่าผลรวมกระแสจะไม่เป็นศูนย์และรีเลย์ 87 จะไปสั่งให้รีเลย์ 86 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรที่ป้องกันหม้อแปลงทำงาน นอกจากนี้ในตัวหม้อแปลงยังมีระบบป้องกันของตัวหม้อแปลงด้วย

2.1.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

รีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานมีหน้าที่ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงานเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบส่ง โดยหลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

จากรูป 2.4 หลักการป้องกันของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะประกอบด้วยรีเลย์ 3 ตัว ดังนี้

- 50BF คือ Current Detector Relay
- 86BF คือ Breaker Failure Relay
- 86B คือ Bus Differential Auxiliary Tripping and Lockout Relay

สำหรับการป้องกันเมื่อมีตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะใช้รีเลย์ 50 ตรวจจับค่ากระแสของความผิดพร่องว่ายังคงอยู่ในวงจรเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้ามีกระแสของความผิดพร่องอยู่ในวงจรแสดงว่าตัวตัดวงจรไม่ทำงานเพื่อตัดอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพร่องออก หลังจากนั้นรีเลย์ 50 สั่งให้รีเลย์ 86 ส่งสัญญาณให้ตัวตัดวงจรบริเวณข้างเคียงทำงานแทน เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดพร่องไปสร้างความเสียหายแก่อุปกรณ์อื่น

2.2 โครงสร้างการจัดเรียงบัส

โครงสร้างการจัดเรียงบัสของแต่ละสถานีไฟฟ้าอาจจะแตกต่างกันตามการออกแบบของแต่ละสถานีไฟฟ้า สำหรับวิธีการออกแบบโครงสร้างการจัดเรียงบัสจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของพื้นที่ งบประมาณ และความสำคัญของสถานีไฟฟ้า เป็นต้น โดยที่หมายเลขของตัวตัดวงจรในโครงสร้างการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไม่มากนัก เพราะการตั้ง

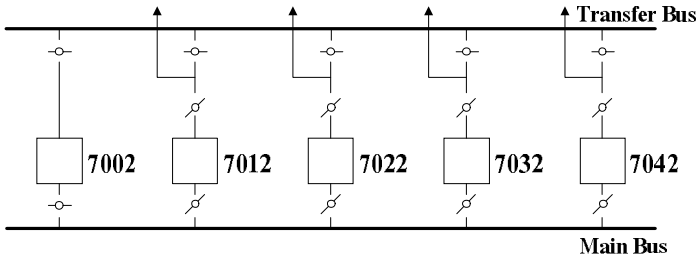
ชื่อของตัวตัดวงจรได้ถูกกำหนดกฎเกณฑ์ไว้เป็นมาตราฐาน และชื่อของตัวตัดวงจรจะอ้างอิงถึงตำแหน่งของตัวตัดวงจรบนบัส เพื่อความความสะดวกต่อการใช้งานและทำความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงาน [13-14]

การจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้านั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบที่ตั้งอยู่ภายนอกอาคาร หรือ AIS (Air Insulated Switchgear) และแบบที่ติดตั้งภายในอาคาร หรือ GIS (Gas Insulated Switchgear) โดยสถานีไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ตั้งอยู่ภายนอกอาคาร เพราะค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกกว่าแบบที่ติดตั้งภายในอาคาร อย่างไรก็ดี แบบที่ติดตั้งภายนอกอาคารจะใช้พื้นที่เพื่อวางอุปกรณ์มากกว่าติดตั้งภายในอาคาร เนื่องจากการวางอุปกรณ์ของแบบที่ติดตั้งภายนอกอาคาร จำเป็นต้องวางอุปกรณ์ให้ห่างกันตามมาตราฐานเพื่อป้องกันการอาร์คกันระหว่างอุปกรณ์

โครงสร้างการจัดเรียงบัสที่ใช้แผ่หลายในสถานีไฟฟ้าบนระบบส่งของปะเทศไทย มีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภท คือ การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน (Main and transfer bus) การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่าย (Double main bus and transfer bus) การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ (Double bus double breakers) และการจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง (Breaker and a half) โดยจะอธิบายในหัวข้อ 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 และ 2.2.4 ตามลำดับ สำหรับหลักการตั้งหมายเลขของตัวตัดวงจร จะอธิบายในหัวข้อ 2.2.5

2.2.1 การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

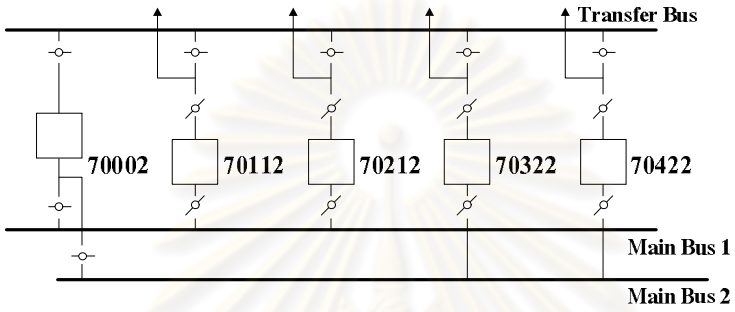
การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอนประกอบด้วย 2 บัสคือ บัสหลักและบัสถ่ายโอน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยบัสหลักจะเชื่อมต่อกับวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงเพื่อใช้ส่งกำลังไฟฟ้า และบัสถ่ายโอนจะใช้เมื่อมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ การโอนย้ายวงจรจากบัสหลักไปยังบัสถ่ายโอนจะใช้ตัวตัดวงจรเชื่อมต่อ (Tie Circuit Breaker) เป็นตัวเชื่อมต่อจนกว่าจะทำการบำรุงรักษาเสร็จ การจัดบัสบาร์แบบนี้เหมาะสมสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับปานกลาง ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

2.2.2 การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

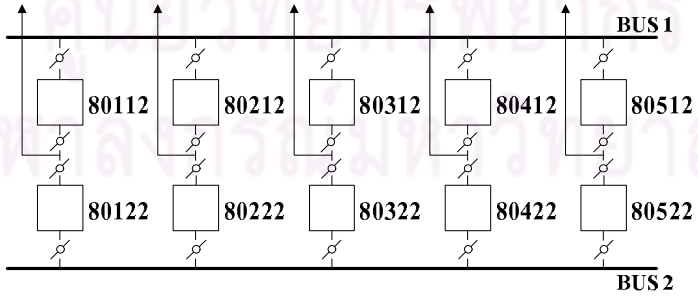
การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอนประกอบด้วย 3 บัสคือ บัสหลักสองชุดและบัสถ่ายโอน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การจัดเรียบัสประเภทนี้มีการจัดเรียงบัสเช่นเดียวกับแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน โดยเพิ่มบัสหลักเข้าไปอีกหนึ่งบัสและใช้บัสถ่ายโอนร่วมกัน เพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือมากขึ้นจากการจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน การจัดบัสบาร์แบบนี้เหมาะสมสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับปานกลาง ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.6การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

2.2.3 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

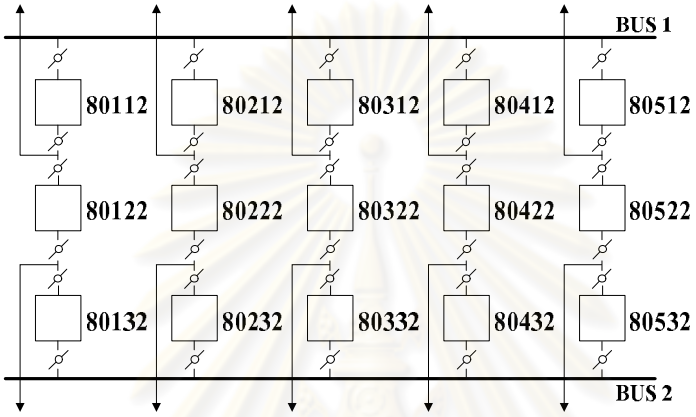
การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ประกอบด้วย 2 บัส คือ บัสหลักสองชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยการจัดเรียงบัสประเภทนี้จะใช้ตัวตัดวงจรจำนวนสองตัวต่อหนึ่งวงจรสายส่งหรือหม้อแปลง ทำให้การบำรุงรักษาตัวตัดวงจรในแต่ละวงจรได้โดยไม่จำเป็นต้องปลดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า การจัดบัสบาร์ลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับสูง ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

2.2.4 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง

การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งประกอบด้วย 2 บัส คือ บัสหลักสองชุด เช่นดียวกับการการจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ อย่างไรก็ดีการจัดเรียงบัสประเภทนี้ จะใช้ตัวตัดวงจรสามตัวต่อหนึ่งเบย์ โดยแต่ละวงจรจะถูกป้องกันด้วยตัวตัดวงจรสองตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การจัดบัสบาร์ลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าที่มีความสำคัญระดับสูงมาก ส่วนใหญ่จะใช้ในระดับแรงดัน 230 และ 500 กิโลโวลต์

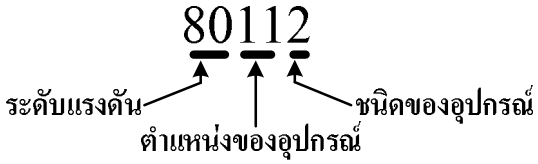


รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง

2.2.5 หลักการตั้งหมายเลขของตัวตัดวงจร

หมายเลขของตัวตัดวงจรถูกกำหนดขึ้นเพื่อความสะดวกในการสับเปลี่ยนวงจรของผู้ปฏิบัติงาน โดยหมายเลขตัวตัดวงจรประกอบด้วยตัวเลข 4-6 หลัก ขึ้นอยู่กับจำนวนคอลัมน์หรือเบย์และประเภทของการจัดเรียงบัส ซึ่งส่วนใหญ่การจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน จะประกอบด้วยตัวเลข 4 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สำหรับการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่ และการจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งจะมีประกอบด้วยตัวเลข 5 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างหมายเลขตัวตัดวงจรของการจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างหมายเลขตัวตัดวงจรของการจัดเรียงแบบแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.9 และ 2.10 หมายเลขตัวตัดวงจรจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้แสดงระดับแรงดัน ส่วนที่ใช้แสดงตำแหน่ง และส่วนที่ใช้บอกชนิดของอุปกรณ์ ดังนี้

หมายเลข 2 ตัวหน้า แสดงถึงระดับแรงดันของตัวตัดวงจร

- 90 แสดงถึงระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์
- 80 แสดงถึงระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์
- 70 แสดงถึงระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

หมายเลขตัวที่ 3 นับจากตัวเลขหลักซ้ายไปขวาแสดงถึงตำแหน่งคอลัมน์หรือเบย์ของอุปกรณ์นั้นในลานไก

หมายเลขตัวที่ 4 นับจากตัวเลขหลักซ้ายไปขวา แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

- กรณีหมายเลขตัวตัดวงจรมี 4 หลัก เลขตัวที่ 4 จะแสดงถึงชนิดของอุปกรณ์ โดยหมายเลข 2 แสดงว่าเป็นตัวตัดวงจร
- กรณีหมายเลขตัวตัดวงจรมี 5 หลัก เลขตัวที่ 4 จะแสดงถึงตำแหน่งแถวของอุปกรณ์นั้นในลานไก

หมายเลขตัวที่ 5 นับจากตัวเลขหลักซ้ายไปขวา แสดงถึงชนิดของอุปกรณ์

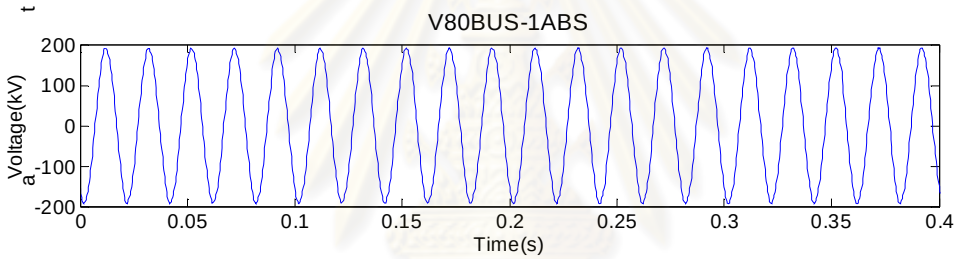
สำหรับในกรณีที่มีตัวตัดวงจรตั้งแต่ 10 เบย์ขึ้นไป เลขหลักที่ 3 และ 4 จะแสดงถึงตำแหน่งเบย์ของตัวตัดวงจร และจะเลื่อนตำแหน่งของตัวเลขที่เหลือออกไปอีกหนึ่งหลัก

2.3 เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

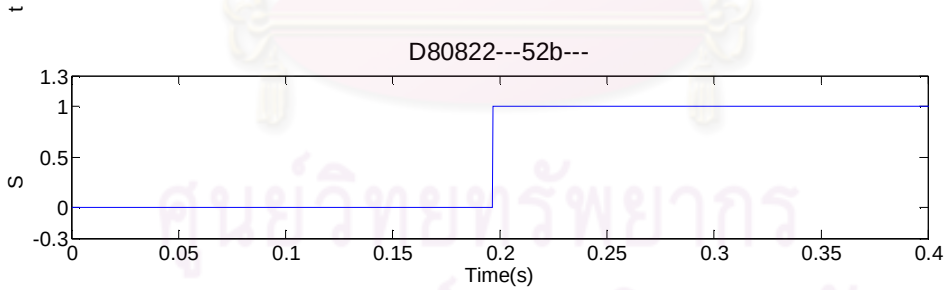
เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล หรือที่เรียกว่า Digital Fault Recorder (DFR) ได้ถูกติดตั้งไว้ที่สถานีไฟฟ้าที่สำคัญของระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับความผิดพร่องและบันทึกข้อมูลสัญญาณของอุปกรณ์ต่างๆที่เชื่อมต่อสัญญาณไว้กับเครื่องบันทึก ซึ่งตัวอย่างข้อมูลสัญญาณของอุปกรณ์ที่ถูกบันทึกมานั้น ได้แก่ แรงดันของบัส กระแสของสายส่ง สถานะหน้าสัมผัสรีเลย์ และสถานะหน้าสัมผัสของตัวตัดวงจร เป็นต้น

ข้อมูลของเครื่องบันทึกจะประกอบด้วยช่องสัญญาณ 2 ชนิด คือ ช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ (AC analog) และช่องสัญญาณดิจิตัล (Digital) โดยข้อมูลของช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับจะถูกจัดเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสุ่มค่าสัญญาณของสัญญาณอะนาล็อกตามอัตราการสุ่มที่กำหนดไว้และบันทึกค่าที่ได้จากการสุ่มในรูปแบบดิจิตัล ประเภทของสัญญาณที่ถูกบันทึกแบบสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับนี้ ได้แก่ แรงดันของบัส แรงดันของสายส่ง กระแสของสายส่ง และกระแสของขดลวดตติยภูมิของหม้อแปลง เป็นต้น สำหรับข้อมูลของสัญญาณดิจิตัลจะถูกจัดเก็บด้วยค่าสถานะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว และค่าของข้อมูลภายในช่องสัญญาณดิจิตัลนี้จะมีเพียงศูนย์และหนึ่ง ประเภทของสัญญาณที่ถูกบันทึกแบบสัญญาณดิจิตัลนี้ ได้แก่ สถานะหน้าสัมผัสของรีเลย์ป้องกัน สถานะหน้าสัมผัสของตัวตัดวงจร และสถานะของเซนเซอร์ในเครื่องบันทึก เป็นต้น

ตัวอย่างของการรูปสัญญาณของช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ และช่องสัญญาณดิจิตัล ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 ตามลำดับ



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับของบัสที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างช่องสัญญาณดิจิตัลของตัวตัดวงจร

ข้อมูลของเครื่องบันทึกความผิดพร่องเป็นข้อมูลที่สามารถเรียกดูได้แบบออนไลน์ ทำให้เจ้าหน้าที่ส่วนกลางสามารถเรียกดูข้อมูลของสัญญาณต่างๆที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกได้ตลอดเวลา นอกจากนี้เครื่องบันทึกของแต่ละผู้ผลิตจะมีโปรแกรมสำหรับใช้งานเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์อีกด้วย ตัวอย่างเช่น สามารถกำหนดสัญญาณที่ต้องการแสดงผลหลายๆสัญญาณไว้ในหน้าจอเดียวกัน ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถเปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณหลายสัญญาณในขณะที่ทำการวิเคราะห์ได้

จากที่ได้กล่าวถึงภาพรวมของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลไปแล้ว ในหัวข้อย่อยต่อจากนี้จะกล่าวถึง หลักการทำงานของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล ข้อมูลที่ถูกบันทึกจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง และการอ่านชื่อช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.3.1, 2.3.2 และ 2.3.3 ตามลำดับ

2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

เครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลจะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกเป็นไปตามเงื่อนไขของการทำงานที่กำหนดไว้ เครื่องบันทึกความผิดพร่องจะทำการบันทึกค่าสัญญาณของทุกช่องสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึก สำหรับกรณีที่ภายในสถานีไฟฟ้ามีการติดตั้งเครื่องบันทึกไว้มากกว่าหนึ่งเครื่อง เมื่อมีการตรวจพบสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งของเครื่องบันทึกตัวใดตัวหนึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ตั้งเอาไว้ เครื่องบันทึกทั้งหมดภายในสถานีไฟฟ้าจะทำการบันทึกค่าสัญญาณทุกช่องสัญญาณของแต่ละเครื่องบันทึกเอาไว้ทั้งหมด สำหรับการบันทึกช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับจะเลือกอัตราการสุ่มข้อมูลในการบันทึกอย่างน้อย 2000 เฮิร์ตหรือมากกว่า เพื่อให้ระยะห่างระหว่างข้อมูลมีความละเอียดมากพอที่สามารถนำไปใช้ได้ ทั้งนี้อัตราความถี่ของแต่ละผู้ผลิตจะมีค่าไม่เท่ากันตามแต่การกำหนดของผู้ผลิต

เงื่อนไขที่ทำให้เครื่องบันทึกความผิดพร่องเริ่มทำการบันทึกมีดังต่อไปนี้

- ค่าของช่องสัญญาณแรงดันมีค่าต่ำกว่า 85% ของค่าแรงดันพิกัด
- ค่าของช่องสัญญาณกระแสมีค่าสูงกว่า 120% ของค่าพิกัดวงจรนั้นๆ
- ช่องสัญญาณรีเลย์ ตัวตัดวงจร และเซนเซอร์ มีการเปลี่ยนสถานะหน้าสัมผัส

ระยะเวลาในการบันทึกค่าของเครื่องบันทึกจะใช้เวลาประมาณ 4 วินาที โดยระยะเวลาทั้งหมดของการบันทึก สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงเวลา คือ

1. ช่วงก่อนการเกิดความผิดพร่อง (Pre fault) ในช่วงเวลานี้จะเริ่มบันทึกตั้งแต่ 150 มิลลิวินาทีก่อนมีสัญญาณใดสัญญาณเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ตั้งไว้
2. ช่วงระหว่างการเกิดความผิดพร่อง (During fault) ในช่วงเวลานี้จะเริ่มบันทึกตั้งแต่มีสัญญาณใดสัญญาณเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ตั้งไว้ จนกระทั่งไม่มีสัญญาณใดเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานหรือความจุในการบันทึกแต่ละเหตุการณ์ของเครื่องบันทึกเต็ม

3. ช่วงหลังจากการเกิดความผิดพร่อง (Post fault) ในช่วงเวลานี้จะเริ่มตั้งแต่เวลาไม่มีสัญญาณใดเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงาน จนกระทั่งถึงเวลาที่กำหนดไว้หรือความจุในการบันทึกแต่ละเหตุการณ์ของเครื่องบันทึกเต็ม

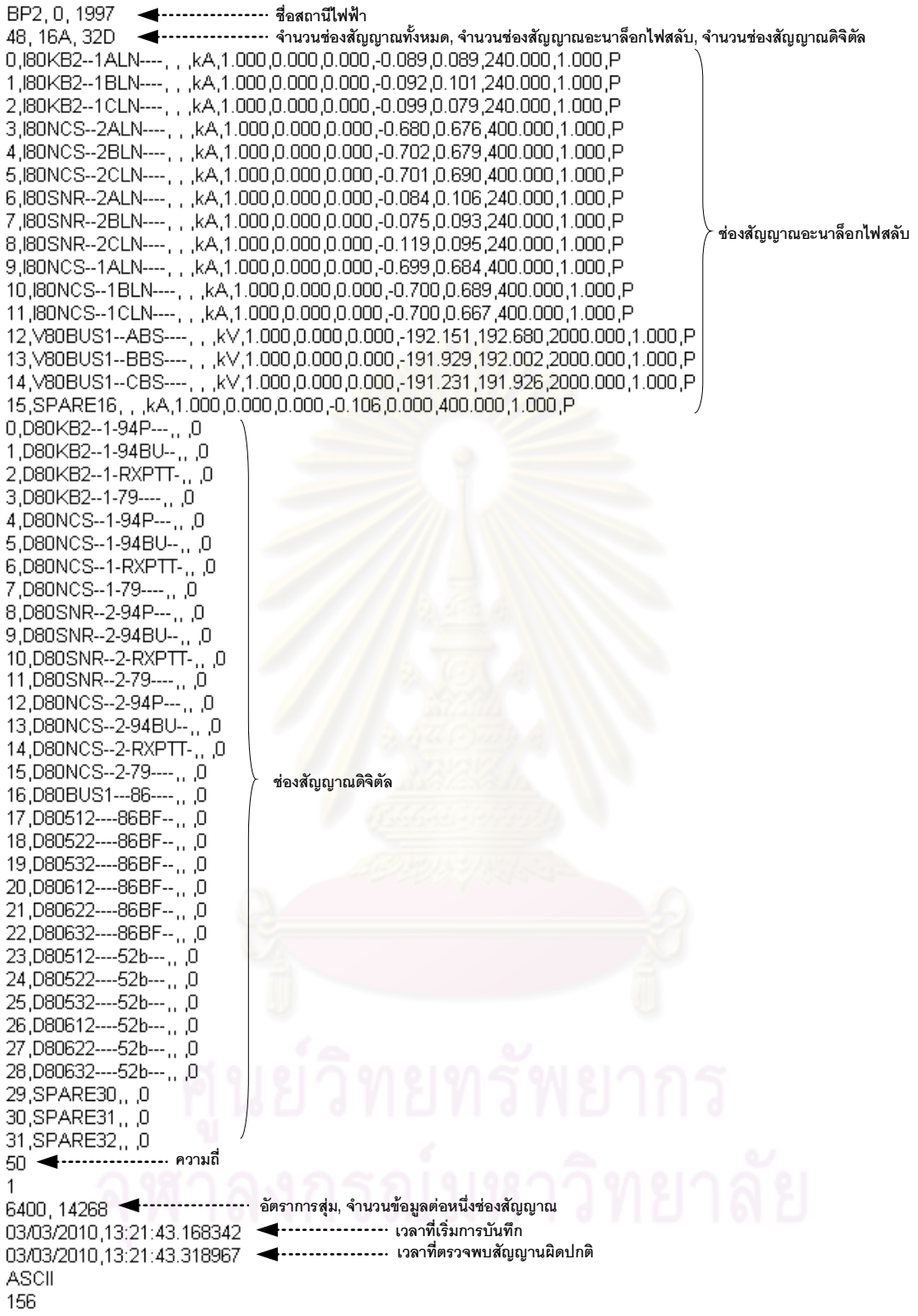
2.3.2 ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลจะมีมาตรฐานในการจัดเก็บไฟล์ข้อมูลที่เรียกว่า common format for transient data exchange (COMTRADE IEEE C37.111.1999) [15] ในการบันทึกข้อมูลแต่ละเหตุการณ์ของเครื่องบันทึกจะประกอบด้วยไฟล์ทั้งหมด 4 ประเภท คือ ไฟล์หัว (Header file) ไฟล์โครงร่าง (Config file) ไฟล์ข้อมูล (Data file) และไฟล์รายละเอียด (Information file) อย่างไรก็ตามเครื่องบันทึกของบางผู้ผลิตจะทำการจัดเก็บไฟล์มาเพียง 2 ประเภท คือ ไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูล

ไฟล์จากเครื่องบันทึกที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาอุปกรณ์ผิดพร่อง คือ ไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูล โดยไฟล์โครงร่างนี้จะทำหน้าที่จัดเก็บรายละเอียดของช่องสัญญาณต่างๆของไฟล์ข้อมูล เช่น ชื่อของสถานีไฟฟ้า จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด จำนวนช่องสัญญาณอะนาล็อก ไฟสลับ จำนวนช่องสัญญาณดิจิตัล ชื่อสัญญาณของแต่ละช่องสัญญาณในไฟล์ข้อมูล และเวลาที่ทำการบันทึก เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3 สำหรับไฟล์ข้อมูลจะทำหน้าเก็บค่าของสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณในเครื่องบันทึก

จากรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของไฟล์โครงร่างที่ถูกบันทึกจากสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง โดยมีช่องสัญญาณทั้งหมด 48 ช่อง เป็นสัญญาณอะแนล็อกไฟสลับ 16 ช่อง และสัญญาณดิจิตัล 32 ช่อง มีอัตราการสุ่มค่า 6400 จุดต่อวินาที และมีจำนวนข้อมูล 14268 จุดต่อช่องสัญญาณ คิดเป็นเวลาในการบันทึกทั้งสิ้น 2.23 วินาที สำหรับวิธีอ่านชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับและช่องสัญญาณดิจิตัลของไฟล์โครงร่าง จะอธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของไฟล์โครงร่างของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 การอ่านชื่อช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล

เครื่องบันทึกความผิดพร่องดิจิตัลสามารถกำหนดชื่อของแต่ละช่องสัญญาณได้เองตามความสะดวกของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ดีการกำหนดชื่อของช่องสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณให้เป็นมาตราฐานเดียวกัน จะช่วยให้ผู้ใช้งานหรือผู้วิเคราะห์สามารถทำความเข้าใจและตีความหมายจากชื่อช่องสัญญาณได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การกำหนดชื่อช่องสัญญาณให้เป็นมาตารฐานเดียวกันจะทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถอ่านหรือค้นหาชื่อช่องสัญญาณในการวิเคราะห์และประมวลผลได้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยชื่อช่องสัญญาณที่ใช้จะประกอบด้วยทั้งหมด 16 ตัวอักษร [14] ตัวอย่างของชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับและช่องสัญญาณดิจิตัล จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง

ชนิดของสัญญาณ	ระดับแรงดัน	ชื่ออุปกรณ์	ลำดับที่	เฟส	ชนิดของอุปกรณ์
V	80	BUS1-	-	A	BUS
V	80	BUS1-	-	B	BUS
V	80	BUS1-	-	C	BUS
I	80	NCS--	1	A	LINE
I	80	NCS--	1	B	LINE
I	80	NCS--	1	C	LINE
I	80	NCS--	2	A	LINE
I	80	NCS--	2	B	LINE
I	80	NCS--	2	C	LINE
I	80	KB2--	1	A	LINE
I	80	KB2--	1	B	LINE
I	80	KB2--	1	C	LINE

จากตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ สำหรับคอลัมน์ที่หนึ่งแสดงชนิดของช่องสัญญาณ โดยใช้ตัวอักษร V แทนช่องสัญญาณของแรงดัน และตัวอักษร I แทนช่องสัญญาณกระแส คอลัมน์ที่สองแสดงระดับแรงดัน โดยใช้ตัวเลข 90 แทนระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์ ตัวเลข 80 แทนระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์ และตัวเลข 70 แทนระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ คอลัมน์ที่สามแสดงชื่ออุปกรณ์หรือสถานีไฟฟ้าปลายทางในกรณีที่อุปกรณ์เป็นสายส่ง

คอลัมน์ที่สี่แสดงลำดับวงจรของสายส่ง คอลัมน์ที่ห้าแสดงเฟสของช่องสัญญาณ และคอลัมน์ที่หกแสดงชนิดอุปกรณ์ของช่องสัญญาณ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณดิจิตัลของสถานีไฟฟ้าบ้านโป่งสอง

ชนิดของสัญญาณ	ระดับแรงดัน	ชื่ออุปกรณ์	ลำดับที่	เฟส	ชนิดของอุปกรณ์
D	80	BUS1-	-	-	RELAY 86
D	80	NCS--	1	-	RELAY 94P
D	80	NCS--	1	-	RELAY 94BU
D	80	NCS--	1	-	RELAY 79
D	80	NCS--	2	-	RELAY 94P
D	80	NCS--	2	-	RELAY 94BU
D	80	NCS--	2	-	RELAY 79
D	80	KB2--	1	-	RELAY 94P
D	80	KB2--	1	-	RELAY 94BU
D	80	KB2--	1	-	RELAY 79
D	80	512--	-	-	RELAY 86BF
D	80	512--	-	-	BREAKER 52

จากตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างชื่อช่องสัญญาณดิจิตัล สำหรับคอลัมน์ที่หนึ่งใช้ตัวอักษร D แทนช่องสัญญาณดิจิตัล คอลัมน์ที่สองแสดงระดับแรงดัน คอลัมน์ที่สามแสดงชื่ออุปกรณ์ที่รีเลย์เกี่ยวข้องและตำแหน่งของตัวตัดวงจร และตั้งแต่คอลัมน์ที่สี่ถึงคอลัมน์ที่หกจะใช้หลักเกณฑ์เดียวกันกับการอ่านชื่อของช่องสัญญาณอะนาล็อกไฟสลับ อย่างไรก็ดีถ้าจำนวนของตัวอักษรไม่ครบตามโครงสร้างที่กำหนด จะใช้เครื่องหมายขีดกลาง (Hyphen) แทนตามจำนวนตัวอักษรในส่วนดังกล่าว และในกรณีของคอลัมน์ที่ห้าใช้แสดงเฟสของช่องสัญญาณ ถ้าหากช่องสัญญาณนั้นใช้งานทั้งสามเฟสจะใช้เครื่องหมายขีดกลางแทนตัวอักษรเฟส

บทที่ 3

ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นระบบที่ช่วยในการแก้ปัญหาเฉพาะทางที่มีความยุ่งยาก โดยเลียนแบบวิธีการแก้ปัญหาของมนุษย์ที่ใช้ความชำนาญเฉพาะทางมาช่วยแก้ไขปัญหาเฉพาะทางที่มีความยุ่งยาก ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญจะใช้การอนุมานความรู้ที่ถูกจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งความรู้เหล่านั้นจะได้มาจากการศึกษาค้นคว้าหรือสอบถามประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญด้านนั้นโดยตรง และคำตอบที่ได้จากระบบผู้เชี่ยวชาญอาจจะมีได้หลายคำตอบขึ้นอยู่กับสภาพของปัญหาและข้อมูลที่ป้อนเข้า [16-17]

นิยามของระบบผู้เชี่ยวชาญ และโครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ ในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

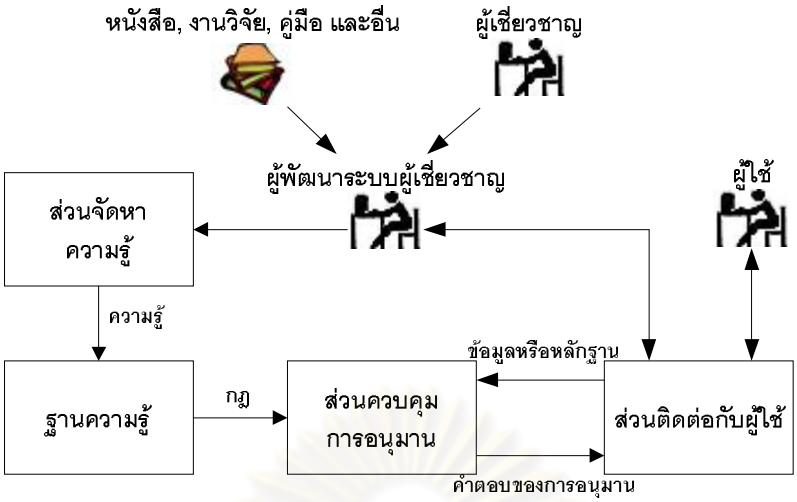
3.1 นิยามของระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือระบบสารสนเทศที่ได้จำลองถึงวิธีการแก้ปัญหาของมนุษย์ที่ใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญพิเศษในการแก้ปัญหา ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีความยุ่งยากในระดับที่ต้องใช้ประสบการณ์ ความรู้ และความเชี่ยวชาญของมนุษย์ในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้ปัญหาได้รับการแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีรูปแบบคล้ายกับรูปแบบกระบวนการแก้ปัญหาของมนุษย์ โดยทั่วไปโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญเประกอบด้วย 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อย่างไรก็ตามโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับงานได้ ตัวอย่างเช่น งานทางด้านการแพทย์ต้องการฐานความรู้ที่มีข้อมูลที่สมบูรณ์ จึงเหมาะสำหรับการแทนความรู้แบบกรอบ เพราะสามารถสร้างฐานความรู้ให้สมบูรณ์ครบถ้วนได้ง่าย

โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญจะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักดังนี้คือ ส่วนจัดหาความรู้ (Acquisition module), ฐานความรู้ (Knowledge base), ส่วนควบคุมการอนุมาน (Inference engine) และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User interface module)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.2.1 ส่วนจัดหาความรู้

ส่วนการจัดหาความรู้นี้มีหน้าที่จัดหาความรู้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น ผู้เชี่ยวชาญ บทความ งานวิจัย และหนังสือ เป็นต้น โดยความรู้ที่จัดหามาจะถูกนำไปแทนให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายต่อการนำไปใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยวิธีการแทนค่าความรู้จะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.2

องค์ความรู้ที่จัดหามานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- ความรู้ที่อยู่ในตัวบุคคล (Tacit knowledge) หรือเรียกว่าความรู้แบบนามธรรม เป็นความรู้ที่ได้จากประสบการณ์หรือความสามารถในการทำความเข้าใจในสิ่งต่างๆของแต่ละบุคคล ตัวอย่างเช่น การคิดเชิงในวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหา ทักษะความชำนาญ และความสมารถของการทำงาน เป็นต้น โดยที่ในแต่ละตัวบุคคลจะมีไม่เท่ากัน อย่างไรก็ดีผู้เชี่ยวชาญบางคนอาจจะไม่ยอมเปิดเผยข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการแก้ปัญหา
- ความรู้ที่ชัดแจ้ง (Explicit knowledge) หรือเรียกว่าความรู้แบบรูปธรรม เป็นความรู้ที่ได้จากหนังสือ บทความหรือคู่มือต่างๆ ที่ได้รวบรวมและทำการบันทึกไว้เป็นลายลักษณ์อักษร

3.2.2 ฐานความรู้

ส่วนของฐานความรู้นี้เปรียบเสมือนส่วนความจำถาวรของสมอง มีหน้าที่เก็บองค์ความรู้ที่ได้รวบรวมมาจากส่วนจัดหาความรู้ โดยความรู้จากส่วนจัดหาความรู้จะถูกแทนค่าให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายและจัดเก็บไว้ในฐานความรู้ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการแทนค่าความรู้จึงควรพิจารณา

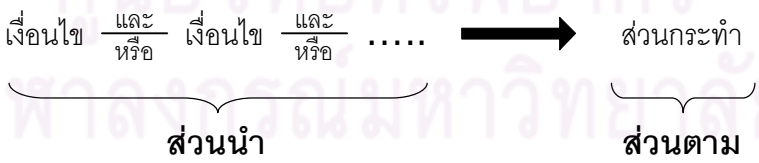
ให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ใช้ให้มากที่สุด ซึ่งในบางครั้งโครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญอาจจะใช้วิธีการแทนค่าความรู้มากกว่า 1 วิธีก็เป็นได้

วิธีการแทนค่าความรู้ในฐานความรู้สามารถแบ่งออกได้หลายดังนี้

- การแทนค่าความรู้ในรูปของกฎ (Rule)
- การแทนค่าความรู้โดยใช้กรอบ (Frame)
- การแทนค่าความรู้โดยใช้ข่ายความหมาย (Semantic network)
- การแทนค่าความรู้โดยใช้ Object-Attribute-Value triplet (O-A-V triplet) หรือ Attribute-Value pair (A-V pair)
- การแทนค่าความรู้โดยใช้ตรรกวิทยา (Logical expression)

การพัฒนาฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธีการแทนค่าความรู้ในรูปของกฎ ระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้การแทนค่าความรู้ในรูปของกฎนี้จะเรียกว่า ระบบฐานกฎ (rule-based system) ฐานความรู้ที่สร้างขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้งานโดยส่วนควบคุมการอนุมานหรือจักรกลวินิจฉัย โดยวิธีการการควบคุมการอนุมานจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.3

ความรู้ที่ได้จัดหาและรวบรวมมาทั้งหมดจากส่วนจัดหาความรู้ จะถูกแทนค่าลงในรูปแบบของกฎและจัดเก็บไว้ในฐานความรู้ โดยกฎประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนนำ (antecedent) และส่วนตาม (consequent) ดังรูปแสดงในรูปที่ 3.2 โดยส่วนนำจะอยู่ในรูปของประโยคเงื่อนไข ซึ่งในบางครั้งส่วนนำอาจจะมีหลายๆประโยคเงื่อนไขประกอบกันด้วยตรรกะและ (AND) หรือตรรกะหรือ (OR) สำหรับส่วนตามหรือส่วนกระทำจะถูกนำมาใช้ประมวลผลก็ต่อเมื่อข้อมูลที่ป้อนเข้ามาเป็นไปตามเงื่อนไขของส่วนนำ ในระบบผู้เชี่ยวชาญที่มีระบบกฎขนาดใหญ่หรือมีกฎจำนวนมากนั้น จะมีการจัดกลุ่มของกฎออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำให้โครงสร้างของระบบกฎเป็นแบบระดับชั้น และสะดวกต่อการเรียกใช้งาน



รูปที่ 3.2 โครงสร้างการแทนค่าความรู้ในรูปของกฎ

โดยทั่วไปในการเขียนโปรแกรมจะใช้คำสั่ง IF-THEN ในการเชื่อมโยงระหว่างส่วนนำและส่วนตาม ซึ่งส่วนนำหรือประโยคเงื่อนไขทั้งหมดจะถูกวางไว้ในส่วน IF และส่วนตามหรือส่วนกระทำจะถูกวางไว้ในส่วน THEN

3.2.3 ส่วนควบคุมการอนุมาน

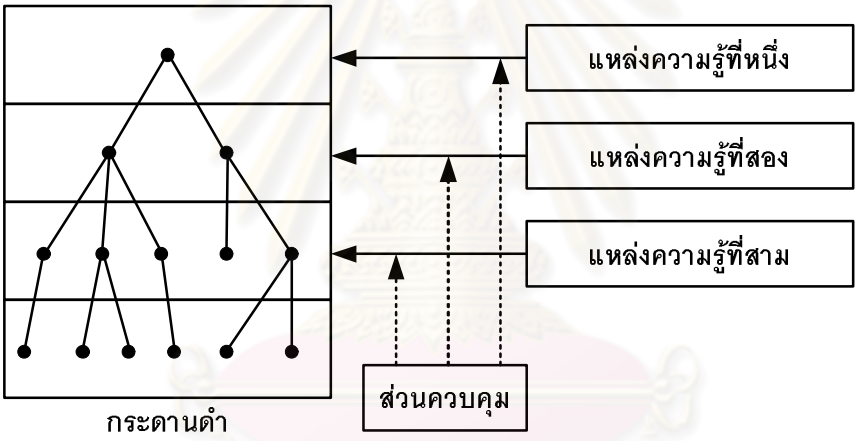
ส่วนควบคุมการอนุมานเปรียบเสมือนส่วนคิดวิเคราะห์และหาเหตุผลของสมอง ทำหน้าที่นำความรู้จากฐานความรู้ไปใช้แก้ปัญหา ซึ่งความสามารถและประสิทธิภาพของระบบผู้เชี่ยวชาญจะขึ้นอยู่กับส่วนควบคุมการอนุมานนี้ การทำงานของส่วนควบคุมการอนุมานประกอบด้วยงานหลักที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. การควบคุมการทำงาน (control) เป็นตัวกำหนดลำดับและทิศทางของการอนุมาน ประกอบด้วย 3 แบบ คือ การอนุมานแบบไปข้างหน้า การอนุมานแบบย้อนหลัง และการอนุมานแบบผสมระหว่างไปข้างหน้าและย้อนหลัง
2. วิธีการให้เหตุผล (method of reasoning) เป็นตัวกำหนดวิธีการให้เหตุผลของการอนุมาน ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ตัวอย่างเช่น การให้เหตุผลในระบบโพรดักชัน การทำโปรแกรมเชิงวัตถุ ระบบกระดานดำ ระบบอุปนัย และการให้เหตุผลแบบไม่แน่นอน เป็นต้น
3. กลวิธีไกล่เกลี่ยความขัดแย้ง (Conflict resolution strategy) เป็นวิธีการคัดเลือกกฎที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ประมวณผลกับสภาพการณ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีอยู่หลายกฎเกณฑ์ด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การใช้ลำดับของการใส่กฎแต่ละกฎเข้าไปในฐานความรู้เป็นเกณฑ์ การใช้กรณีพิเศษเป็นเกณฑ์ การใช้ระยะเวลาที่ข้อมูลแต่ละตัวถูกใส่เข้าไปในหน่วยความจำที่เก็บสภาพการณ์ของระบบเป็นเกณฑ์ การใช้ประวัติของการนำกฎแต่ละกฎมาทำการประมวลผลเป็นเกณฑ์ การใช้ลำดับความสำคัญของกฎแต่ละกฎเป็นเกณฑ์ และการใช้ความซับซ้อนของกฎแต่ละกฎเป็นเกณฑ์ เป็นต้น

วิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้การควบคุมการทำงานแบบการอนุมานแบบไปข้างหน้า ใช้วิธีการให้เหตุผลในระบบกระดานดำเป็นโครงสร้างหลักโดยมีวิธีการให้เหตุผลในระบบโพรดักชันเป็นตัวช่วย และใช้กลวิธีไกล่เกลี่ยความขัดแย้งแบบคัดเลือกกฎโดยใช้ลำดับความสำคัญของแต่ละกฎเป็นเกณฑ์ ดังนี้

วิธีการอนุมานแบบไปข้างหน้านี้จะเหมาะกับปัญหาที่ไม่สามารถทราบคำตอบล่วงหน้าได้ว่ามีอะไรบ้าง โดยการทำงานจะเริ่มจากการป้อนกลุ่มของหลักฐานหรือข้อมูลเข้าไปในระบบผู้เชี่ยวชาญ ข้อมูลป้อนเข้าจะถูกนำไปทำการจับคู่กับส่วนเงื่อนไขของกฎ เพื่อนำส่วนตามของกฎมาเรียกใช้กระบวนการทำงานหรือนำไปจับคู่กับกฎอื่นๆต่อไป สำหรับการอนุมานแบบไปข้างหน้านี้จะกระทำกระบวนการเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ผลที่ต้องการหรือไม่มีกฎใดในระบบที่สามารถจับคู่กับสภาพการณ์ปัจจุบันได้แล้ว

วิธีการให้เหตุผลในระบบกระดานดำเป็นวิธีที่เหมาะกับปัญหาที่มีลักษณะซับซ้อน ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่ประกอบด้วยหลายๆปัญหาย่อยมารวมกัน และวิธีการแก้ปัญหาลักษณะเช่นนี้จำเป็นต้องใช้ความรู้จากหลายๆแขนง สำหรับวิธีการให้เหตุผลในระบบกระดานดำนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ กระดานดำ (blackboard) แหล่งความรู้ (knowledge source) และส่วนควบคุม (control) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ในส่วนของกระดานดำนี้จะทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำชั่วคราวที่ใช้เก็บสภาพการณ์ของระบบ โดยแบ่งออกเป็นระดับชั้นต่างๆตามสภาพการณ์ของแต่ละแหล่งความรู้และสามารถเชื่อมโยงระหว่างกันได้กับระดับชั้นที่ติดกัน ในส่วนของแหล่งความรู้ก็จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆเช่นเดียวกันตามความรู้ในแต่ละแขนงที่ถูกนำไปใช้กับสภาพการณ์ของระบบ ซึ่งแหล่งความรู้แต่ละแหล่งจะถูกแบ่งแยกออกจากกันอย่างอิสระ สำหรับในส่วนสุดท้ายหรือส่วนควมคุมจะทำหน้าที่คอยติดตามการทำงานของกระดานดำและแหล่งความรู้ เพื่อหาว่าแหล่งความรู้ไหนควรจะถูกใช้หรือกระดานดำในระดับชั้นใดควรได้รับการเปลี่ยนแปลงแก้ไข



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของวิธีการให้เหตุผลแบบการให้เหตุผลในระบบกระดานดำ

วิธีการให้เหตุผลในระบบโพรดักชันเป็นวิธีที่เหมาะกับการแทนค่าความรู้ในรูปของกฎที่มีจำนวนไม่เกิน 1000 กฎ ซึ่งวิธีการให้เหตุผลในระบบโพรดักชันนี้จะประกอบด้วยสองส่วน คือ หน่วยความจำโพรดักชัน (production memory) และหน่วยความจำชั่วคราว (working memory) โดยหน่วยความจำโพรดักชันจะจัดเก็บความรู้ที่อยู่ในรูปของกฎทั้งหมดของระบบ และในส่วนของหน่วยความจำชั่วคราวจะจัดเก็บข้อมูลหรือสภาพการณ์ของระบบในแต่ละขณะไว้ ซึ่งหลักการพื้นฐานของระบบนี้คือ การจับคู่กันระหว่างข้อมูลหรือสภาพการณ์ในหน่วยความจำชั่วคราวกับกฎในหน่วยความจำโพรดักชัน เมื่อได้คู่ที่เหมาะสมส่วนตามหรือส่วนกระทำของกฎที่ถูกจับคู่ก็จะถูกนำมาประมวลผลและเปลี่ยนสภาพการณ์ในหน่วยความจำชั่วคราว สำหรับวิธีการให้เหตุผลใน

ระบบโพรดักชันในวิทยานิพนธ์นี้ จะถูกนำมาช่วยในการอนุมานระหว่างแต่ละแหล่งความรู้กับกระดานดำ

วิธีไกล่เกลี่ยความขัดแย้งแบบคัดเลือกกฎโดยใช้ลำดับความสำคัญของแต่ละกฎเป็นเกณฑ์ ซึ่งกฎแต่ละกฎจะถูกจัดเก็บและถูกเรียกใช้ตามลำดับความสำคัญของกฎ การไกล่เกลี่ยความขัดแย้งวิธีนี้จะสะดวกต่อเพิ่มกฎใหม่เข้าไปในฐานความรู้ เพราะไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งของกฎ อย่างไรก็ดีต้องกำหนดลำดับความสำคัญให้ถูกต้องเท่านั้น

3.2.4 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้มีหน้าที่เชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้กับส่วนควบคุมการอนุมาน เพื่อแสดงคำตอบหรือคำปรึกษาของการอนุมานแก่ผู้ใช้งาน นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถป้อนข้อมูลเพิ่มเติมเข้าสู่กระบวนการอนุมานผ่านทางส่วนติดต่อกับผู้ใช้นี้ได้อีกด้วย เพื่อทำให้กระบวนการอนุมานมีข้อมูลหรือหลักฐานไปใช้ในการอนุมานมีมากขึ้น เพราะในบางครั้งการอนุมานอาจจะมีคำตอบที่เป็นไปได้หลายคำตอบ ดังนั้นส่วนควบคุมการอนุมานจึงต้องการข้อมูลเพิ่มเติมในการหาคำตอบของปัญหาที่เป็นไปได้มากที่สุดของปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

กระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

จากหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของระบบผู้เชี่ยวชาญในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ฐานความรู้และส่วนควบคุมการอนุมาน ซึ่งในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงวิธีการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่งของประเทศไทย ด้วยข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องที่ถูกติดตั้งไว้ที่สถานีไฟฟ้าทีละเหตุการณ์

โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่อง อธิบายในหัวข้อที่ 4.1 และส่วนประกอบของโครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ คือ ฐานความรู้และส่วนควบคุมการอนุมาน อธิบายในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

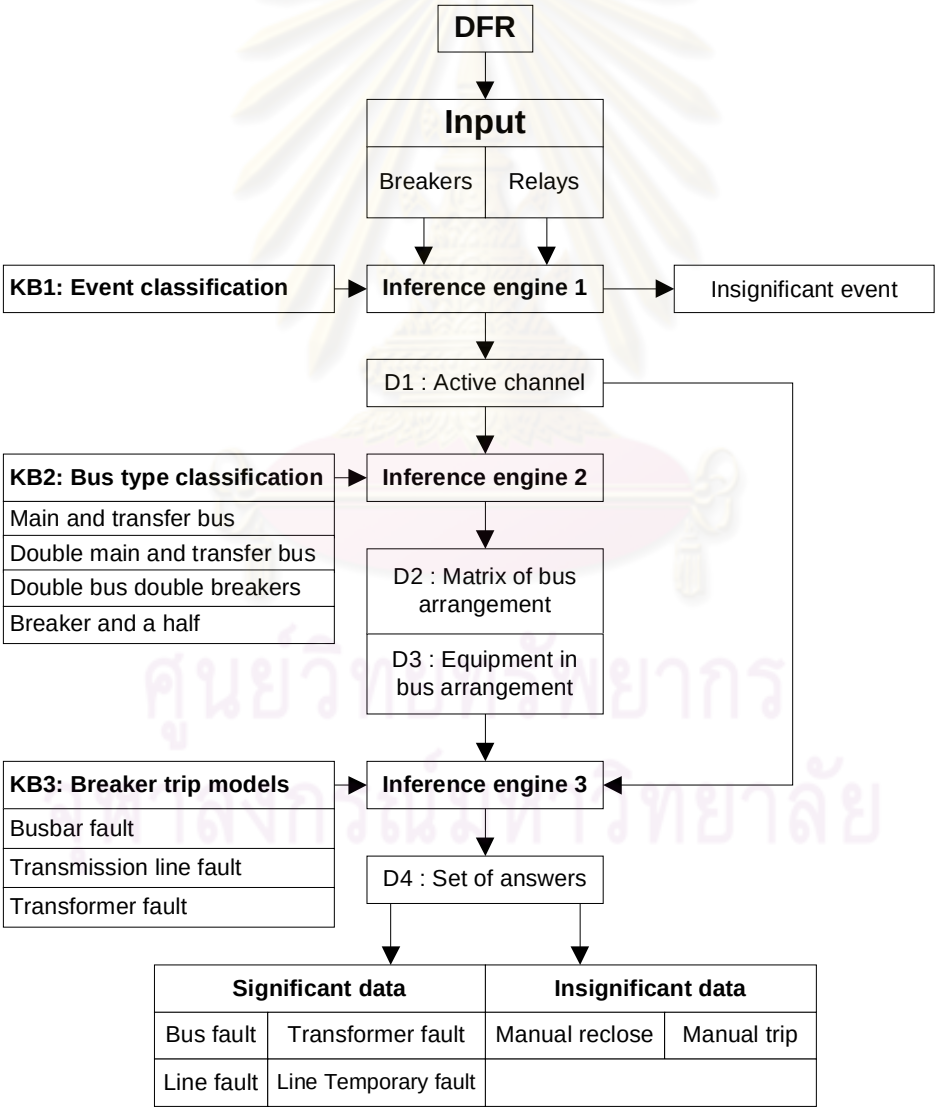
4.1 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่อง

แนวคิดในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญนี้มาจากความต้องการลดขนาดของฐานข้อมูลและไม่จำเป็นต้องปรับปรุงฐานข้อมูลให้ทันสมัย โดยอาศัยการนำกฎการตั้งชื่อของตัวตัดวงจรมาใช้วิเคราะห์หาประเภทของการจัดเรียงบัส เพื่อทดแทนการสร้างฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ในการจัดเก็บโครงสร้างการจัดเรียงบัสของทุกสถานีไฟฟ้า

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

จากรูปที่ 4.1 หลักการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นจากการรับสัญญาณป้อนเข้าผ่านกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง เพื่อตรวจสอบข้อมูลของเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ากับชื่อของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญในฐานความรู้ที่หนึ่ง ถ้าข้อมูลของเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน จะตัดสินว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีนัยสำคัญ แต่ถ้าข้อมูลของเหตุการณ์ที่ป้อนเข้าไม่มีช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน จะตัดสินว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้าไม่มีนัยสำคัญ หลังจากตัดสินว่าเหตุการณ์มีนัยสำคัญก็จะนำหมายเลขของตัวตัดวงจรทั้งหมดที่

ได้รับจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งผ่านเข้ากระบวนการอนุมานที่สอง เพื่อตรวจสอบหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันกับกฎการจำแนกประเภทการจัดเรียงบัสในฐานความรู้ที่สอง ถ้าหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันเป็นไปตามกฎการจำแนกประเภทการจัดเรียงบัส จะตัดสินว่าในแต่ละระดับแรงดันมีการจัดเรียงบัสเหมือนกับส่วนตามของกฎ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและหาอุปกรณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส ขั้นตอนสุดท้ายจะนำเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและอุปกรณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในแต่ละระดับแรงดันมาผ่านกระบวนการอนุมานที่สาม เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของตัวตัดวงจรกับกฎการจำแนกรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร นอกจากนี้ในกระบวนการอนุมานที่สามนี้ได้มีการนำสัญญาณรีเลย์จากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อช่วยหาคำตอบอีกด้วย



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่อง

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

ฐานความรู้ที่หนึ่งจัดเก็บกลุ่มชื่ออุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญบนระบบส่งในรูปแบบของกฎ จากตำแหน่งตัวอักษรที่ 11-14 ในชื่อช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญ โดยกำหนดให้ตัวอักษรที่ 11-14 ในชื่อช่องสัญญาณจะใช้เป็นเงื่อนไขในส่วนนำ และให้ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันเป็นส่วนตาม

ตัวอักษรตำแหน่งที่ 11-14 ในชื่อช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญมีดังนี้ คือ

- <u>รีเลย์ป้องกันบัส</u>

  ประกอบด้วยรีเลย์หมายเลข : 87B, 86B

- <u>รีเลย์ป้องกันหม้อแปลง</u>

  ประกอบด้วยรีเลย์หมายเลข : 87K, 86K, 86A

- <u>รีเลย์ป้องกันสายส่ง</u>

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

- <u>ตัวตัดวงจร</u>

  ปกติปิด หมายเลขอุปกรณ์ : 52b

  ปกติเปิด หมายเลขอุปกรณ์ : 52a

- <u>รีเลย์ตรวจสอบตัวตัดวงจรไม่ทำงาน</u>

  ประกอบด้วยรีเลย์ชื่อ : 86BF, 50BF

4.2.2 ฐานความรู้ลักษณะการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท

ฐานความรู้ที่สองจัดเก็บกฎที่ใช้แบ่งแยกประเภทของการจัดเรียงบัส กฎที่สร้างขึ้นมีแนวคิดมาจากลักษณะเฉพาะของหมายเลขตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแต่ละประเภท โดยกำหนดให้กฎของการแบ่งแยกประเภทของการจัดเรียงบัสเป็นส่วนนำ และให้ประเภทของการจัดเรียงบัสเป็นส่วนตาม

กำหนดให้ p_i = หมายเลขบนส่วนบอกตำแหน่งของตัวตัดวงจรตัวที่ i

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

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

$N = \{$จำนวนตัวตัดวงจรทั้งหมด$\}$

กฎที่ใช้ในการแบ่งประเภทการจัดเรียงบัสมีรายละเอียดดังนี้

- <u>การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน</u>

  กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$\exists(b_i) > 3 \tag{4.1}$$

$$N \leq \max_i(10a_i + b_i) \tag{4.2}$$

- <u>การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน</u>

  กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.3 4.4 และ 4.5

$$\forall(b_i) \leq 2 \tag{4.3}$$

$$\forall(a_i) \neq 0 \tag{4.4}$$

$$N \leq \max_i(a_i) \tag{4.5}$$

- <u>การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่</u>

  กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.6, 4.7 และ 4.8

$$\forall(b_i) \leq 2 \tag{4.6}$$

$$\forall(a_i) \neq 0 \tag{4.7}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

- <u>การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง</u>

กฎของการจัดเรียงบัสประเภทนี้มี 2 ข้อ ดังแสดงในสมการที่ 4.9, 4.10 และ 4.11

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

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

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

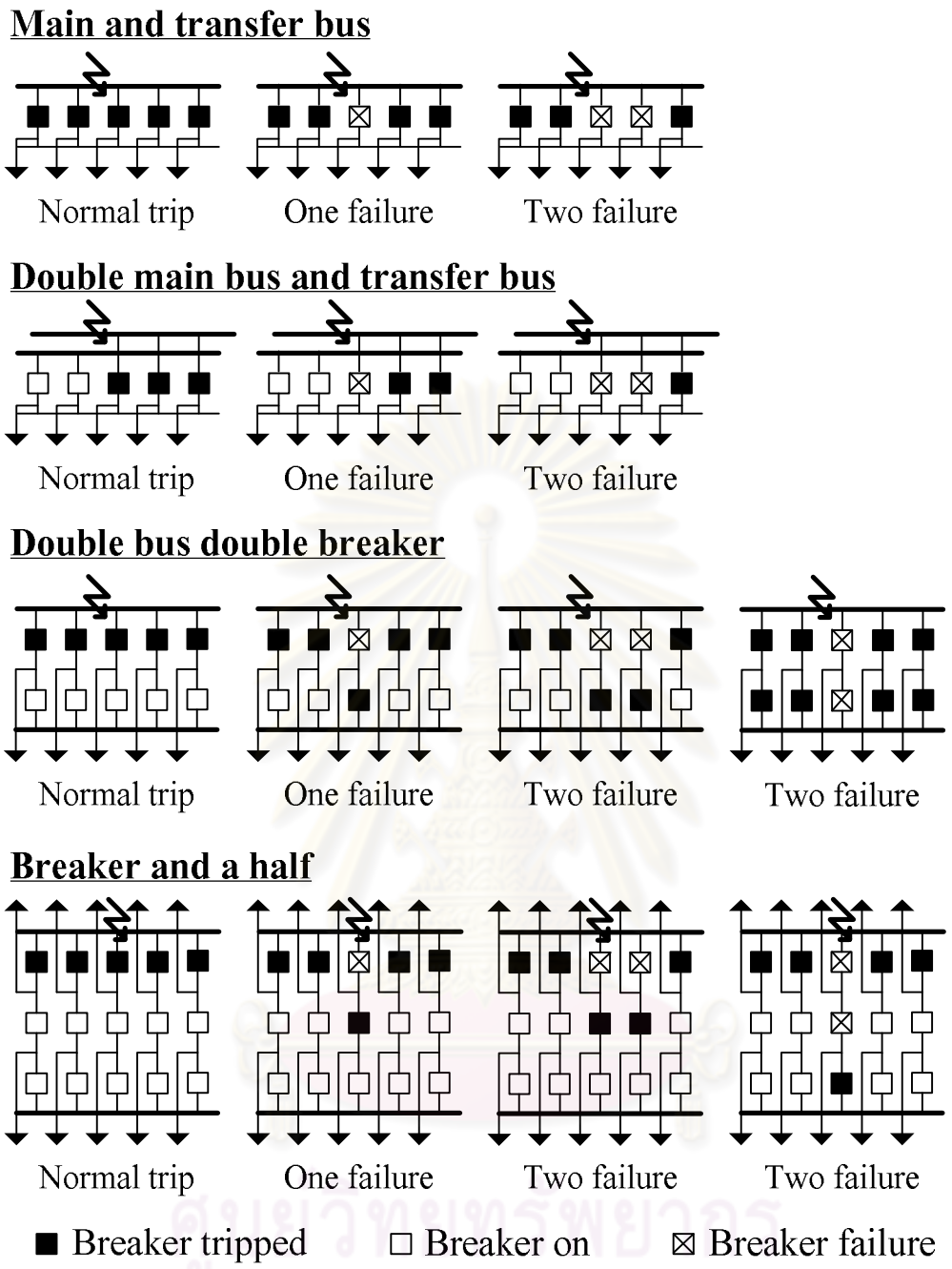
4.2.3 ฐานความรู้การทำงานของตัวตัดวงจร

ฐานความรู้ที่สามจัดเก็บรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรสำหรับการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภทในรูปแบบของกฎ เมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส สายส่ง หม้อแปลง หรือเจ้าหน้าที่สั่งตัวตัดวงจรให้ทำงาน โดยกำหนดให้กฎการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นส่วนนำ และให้คำตอบของการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นส่วนตาม

รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งและหม้อแปลงแสดงในรูปที่ 4.3 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรที่มีตัวตัดวงจรไม่ทำงานไม่เกินสองตัวพร้อมกันเมื่อเกิดความผิดพร่อง เนื่องจากมีโอกาสที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงานพร้อมกันเกินกว่าสองตัวต่ำมาก

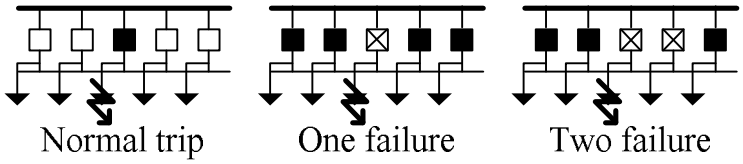
สำหรับหม้อแปลงที่ใช้บนระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ หม้อแปลงจ่ายโหลด (Loading transformer) และหม้อแปลงระหว่างบัส (Tie transformer) โดยหม้อแปลงจ่ายโหลดทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันลงเพื่อใช้ในการซื้อขายไฟฟ้าหรือนำไฟฟ้ามาใช้ภายในสถานีไฟฟ้า หม้อแปลงประเภทนี้จะพบการทำงานของตัวตัดวงจรในระดับแรงดันดียว และหม้อแปลงระหว่างบัสทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสภายในสถานี หม้อแปลงประเภทนี้จะพบการทำงานของตัวตัดวงจรในสองระดับแรงดัน

รูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรทำงานเพียงตัวเดียว ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากการสั่งให้ตัวตัดวงจรกลับมาทำงานเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และการสั่งปลดตัวตัดวงจรออกระบบโดยเจ้าหน้าที่เพื่อทดสอบหรือซ่อมบำรุงซ่อมแซมอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

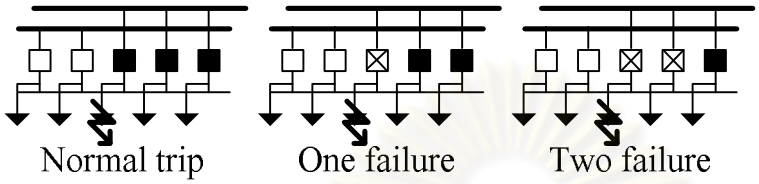


รูปที่ 4.2 การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส

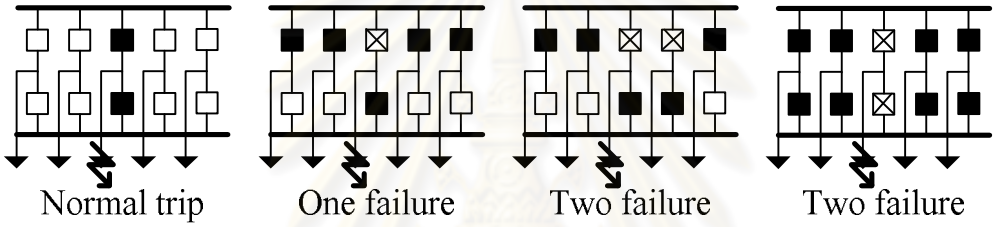
Main and Transfer bus



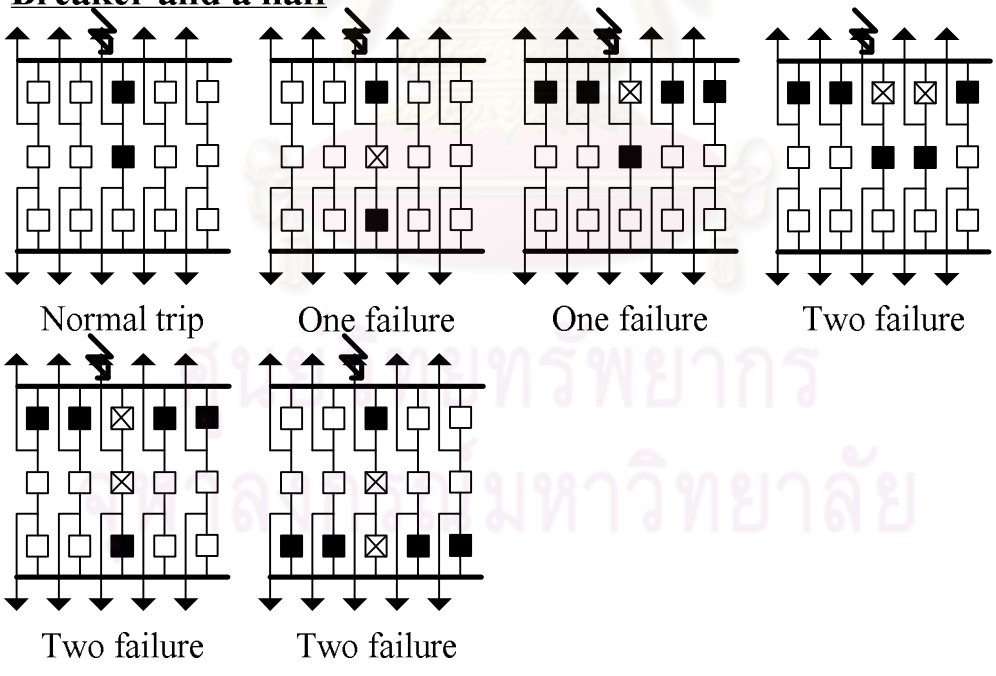
Double main bus and transfer bus



Double bus double breakers

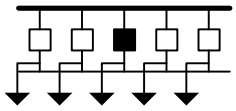


Breaker and a half



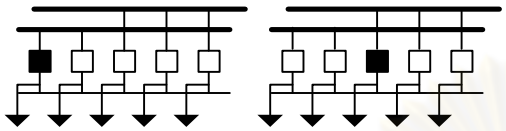
รูปที่ 4.3 การตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งและหม้อแปลง

Main and transfer bus



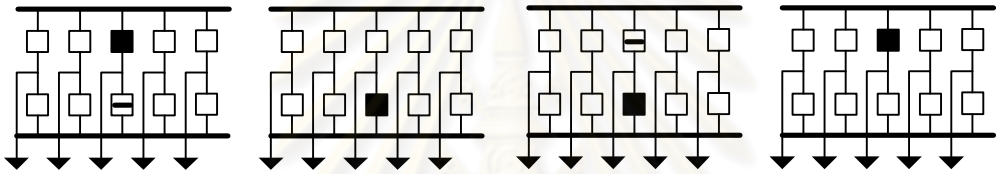
Manual reclose

Double main bus and transfer bus



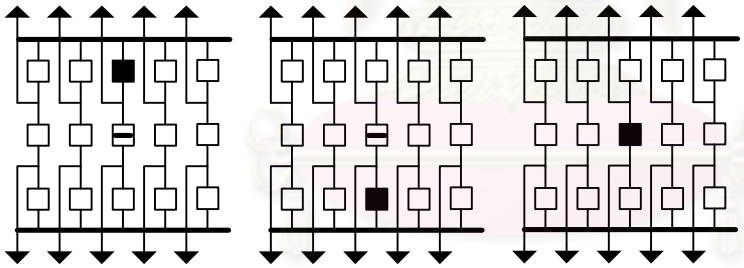
Manual reclose Manual reclose

Double bus double breaker



Manual reclose Manual reclose Manual reclose Manual reclose

Breaker and a half

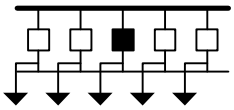


Manual reclose Manual reclose Manual reclose

■ Breaker reclose □ Breaker on ⊟ Breaker off

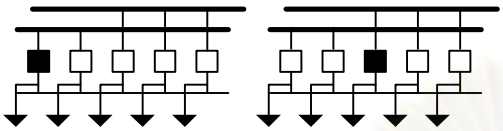
รูปที่ 4.4 การสั่งให้ตัวตัดวงจรกลับมาทำงานโดยเจ้าหน้าที่

Main and transfer bus



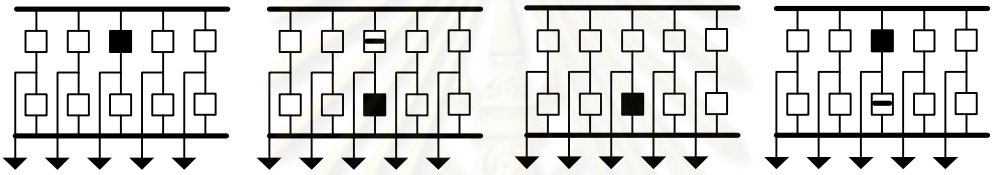
Manual trip

Double main bus and transfer bus



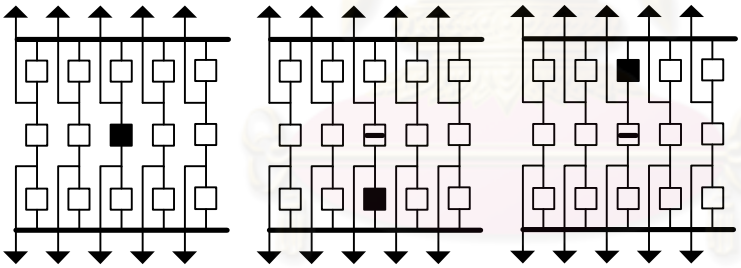
Manual trip Manual trip

Double bus double breaker



Manual trip Manual trip Manual trip Manual trip

Breaker and a half



Manual trip Manual trip Manual trip

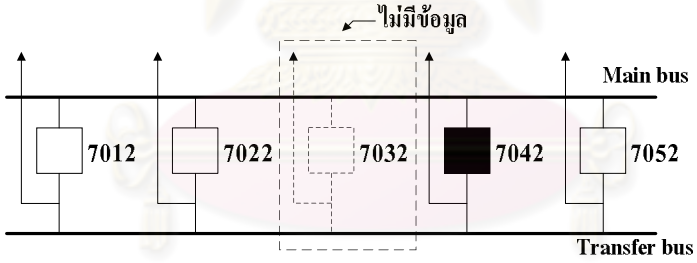
■ Breaker tripped □ Breaker on ⊟ Breaker off

รูปที่ 4.5 การสั่งปลดตัวตัดวงจรออกระบบโดยเจ้าหน้าที่

จากรูปที่ 4.2 – 4.5 แสดงถึงรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรบนการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภท เมื่อเกิดความผิดพร่องบนอุปกรณ์ในระบบส่ง หรือเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุมทำการสับตัวตัดวงจรเข้าและออก เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในรูปของกฎ จึงได้นำเสนอวิธีการจำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์สามมิติ (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 แทนกรณีที่ไม่มีข้อมูลของตัวตัดวงจร



(ก)

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

(ข)

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการจำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในรูปแบบเมตริกซ์

(ก) รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

(ข) เมตริกซ์ที่จำลองการทำงานของตัวตัดวงจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

- <u>การจัดเรียงแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน</u>

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักหนึ่งบัส และมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงหนึ่งแถว ในแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันเพียงหนึ่งตัว ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสบาร์ และกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, และ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 สำหรับการจัดเรียงบัสประเภทนี้มีแถวของตัวตัดวงจรเพียงแถวเดียวจึงมีไม่มีรูปแบบที่ 3, 4 และ 6

ตารางที่ 4.1 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

รูปแบบ	กฎการทำงานของตัวตัดวงจร
1	กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสบาร์ B_1 $\text{mod}(\Sigma_{i=bay}(CB_{1i}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i=bay}(CB_{1i}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay}(BF_{1i}),100) = 0$ กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง L_{1X} โดยที่ X คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่ $CB_{1X} \neq 0$ และ $BF_{1X} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X}(CB_{1i}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X}(BF_{1i}),100) = 0$
2	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{1X} \neq 1$ และ $BF_{1X} \neq 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X}(CB_{1i}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X}(CB_{1i}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X}(BF_{1i}),100) = 0$
5	โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{1X} \neq 1$ และ $BF_{1X} \neq 0$ และ $CB_{1Y} \neq 1$ และ $BF_{1Y} \neq 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X,Y}(CB_{1i}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X,Y}(CB_{1i}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i\neq X,Y}(BF_{1i}),100) = 0$

จากตารางที่ 4.1 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส แต่ถ้าถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง

- <u>การจัดเรียงแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน</u>

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักสองบัส โดยแต่ละบัสหลักจะมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงหนึ่งแถว และในแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันเพียงหนึ่งตัว กฎการทำงานของตัวตัดวงจรบนการจัดเรียงบัสประเภทนี้จะคล้ายคลึงกับการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน แต่มีการเพิ่มบัสเข้าไปอีกหนึ่งชุด ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, และ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน

รูปแบบ	กฎการทำงานของตัวตัดวงจร
1	กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสบาร์ B_k โดยที่ k คือลำดับของบัสหลัก $\text{mod}(\Sigma_{i=bay}(CB_{ki}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i=bay}(CB_{ki}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay}(BF_{ki}),100) = 0$ กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง L_{kX} โดยที่ X คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่ $CB_{kX} \neq 0$ และ $BF_{kX} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i=bay,\, i \neq X}(CB_{ki}),100) = 0$

	และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\ i \neq X} (BF_{ki}),100) = 0$
2	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{kX} \neq 1$ และ $BF_{kX} \neq 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\ i \neq X}(CB_{ki}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = bay,\ i \neq X} (CB_{ki}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\ i \neq X} (BF_{ki}),100) = 0$
5	โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{kx} \neq 1$ และ $BF_{kx} \neq 0$ และ $CB_{kY} \neq 1$ และ $BF_{kY} \neq 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\ i \neq X,Y}(CB_{ki}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = \text{bay},\ i \neq X,Y} (CB_{ki}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\ i \neq X,Y} (BF_{ki}),100) = 0$

จากตารางที่ 4.2 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน เช่นเดียวกับการจัดเรียงบัสแบบบัสหลักและบัสถ่ายโอน

- <u>การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่</u>

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักสองบัส และมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงหนึ่งแถว โดยแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันสองตัว ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 สำหรับการจัดเรียงบัสประเภทนี้มีแถวของตัวตัดวงจรสองตัวต่อหนึ่งวงจรจึงทำให้มีรูปแบบการทำงานครบทั้ง 6 รูปแบบ

ตารางที่ 4.3 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์คู่

รูปแบบ	กฎการทำงานของตัวตัดวงจร
1	กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสบาร์ B_k โดยถ้า $k = 1$ ให้ $m = 1, n = 2$ หรือถ้า $k = 2$ ให้ $m = 2, n = 1$ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(CB_{mi}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = bay}(CB_{mi}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(BF_{ni}),100) = 0$ กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง L_{mX} โดยที่ X คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่ $CB_{mX} \neq 0$ และ $BF_{mX} \neq 1$ และ $CB_{nX} \neq 0$ และ $BF_{nX} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{ni}),100) = 0$
2	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{mX} \neq 1$ และ $BF_{mX} \neq 0$ และ $CB_{nX} \neq 0$ และ $BF_{nX} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{ni}),100) = 0$
3	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{mX} \neq 0$ และ $BF_{mX} \neq 1$ และ $CB_{nX} \neq 1$ และ $BF_{nX} \neq 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$

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

จากตารางที่ 4.3 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่สองไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 3 และ 6 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่สองทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่สองทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งและสองไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 4 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง

- <u>การจัดเรียงแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง</u>

การจัดเรียงบัสประเภทนี้ประกอบด้วยบัสหลักสองบัส และมีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงสองแถว โดยแต่ละวงจรจะมีตัวตัดวงจรป้องกันสองตัว ซึ่งกฎการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสประกอบด้วยรูปแบบการตัดวงจรที่ 1, 2, 4 และ 5

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

ตารางที่ 4.4 กฎการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง

รูปแบบ	กฎการทำงานของตัวตัดวงจร
1	กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสบาร์ B_k โดยถ้า $k = 1$ ให้ $m = 1, n = 2, o = 3$ หรือถ้า $k = 2$ ให้ $m = 3, n = 2, o = 1$ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(CB_{mi}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = bay}(CB_{mi}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(BF_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(CB_{oi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay}(BF_{oi}),100) = 0$ กรณีการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง L_{mX} โดยที่ X คือคอลัมน์หรือเบย์ที่พิจารณาอยู่ $CB_{mX} \neq 0$ และ $BF_{mX} \neq 1$ และ $CB_{nX} \neq 0$ และ $BF_{nX} \neq 1$ และ $CB_{oX} \neq 1$ และ $BF_{oX} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{oi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{oi}),100) = 0$
2	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{mX} \neq 1$ และ $BF_{mX} \neq 0$ และ $CB_{nX} \neq 0$ และ $BF_{nX} \neq 1$ และ $CB_{oX} \neq 1$ และ $BF_{oX} \neq 1$

	และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{oi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{oi}),100) = 0$
3	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{mX} \neq 0$ และ $BF_{mX} \neq 1$ และ $CB_{nX} \neq 1$ และ $BF_{nX} \neq 0$ และ $CB_{oX} \neq 0$ และ $BF_{oX} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{oi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{oi}),100) = 0$
4	โดยที่ X แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน $CB_{mX} \neq 1$ และ $BF_{mX} \neq 0$ และ $CB_{nX} \neq 1$ และ $BF_{nX} \neq 0$ และ $CB_{oX} \neq 0$ และ $BF_{oX} \neq 1$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}),100) + (\text{floor}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{mi}) / 100)) = N$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{mi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{ni}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(CB_{oi}),100) = 0$ และ $\text{mod}(\Sigma_{i = bay,\, i \neq X}(BF_{oi}),100) = 0$
5	โดยที่ X และ Y แทนคอลัมน์ที่ตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

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

จากตารางที่ 4.4 พบว่ารูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงแตกต่างกัน

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 2 และ 5 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับ

ตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง

ตัวตัดวงจรที่ไม่ติดบัสหลักไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 3 และ 6 จะมีเฉพาะรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเท่านั้น เพราะว่าไม่มีตัวตัดวงจรที่ติดบัสไม่ทำงาน ส่งผลให้ไม่มีการปลดตัวตัดวงจรทุกตัวที่ติดบัส จึงไม่มีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส

ตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักและไม่ติดบัสหลักไม่ทำงาน คือ รูปแบบที่ 4 จะมีรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงเหมือนกัน แต่ลำดับในการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานแตกต่างกัน ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานก่อนรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักที่หนึ่งหรือสองทำงานทีหลังรีเลย์ตรวจจับ แสดงว่าเป็นการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลง

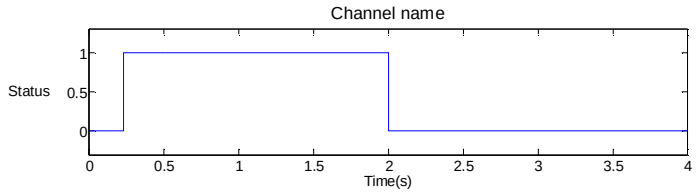
4.3 กระบวนการอนุมานความรู้

กระบวนการอนุมานความรู้นี้จะใช้วิธีการอนุมานไปข้างหน้า และใช้วิธีการให้เหตุผลในระบบกระดานดำเป็นโครงสร้างของกระบวนการอนุมาน และแหล่งความรู้แต่ละแหล่งจะเรียกใช้ด้วยวิธีการให้เหตุผลในระบบโพรดักชัน

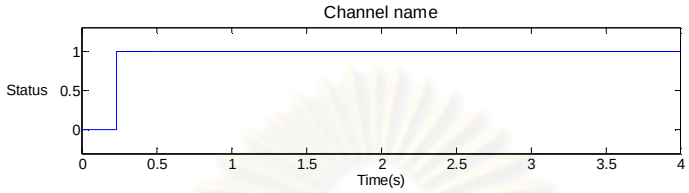
กระบวนการอนุมานความรู้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ กระบวนการอนุมานที่หนึ่ง กระบวนการอนุมานที่สอง และกระบวนการอนุมานที่สาม โดยจะอธิบายในหัวข้อ 4.3.1, 4.3.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ

4.3.1 กระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

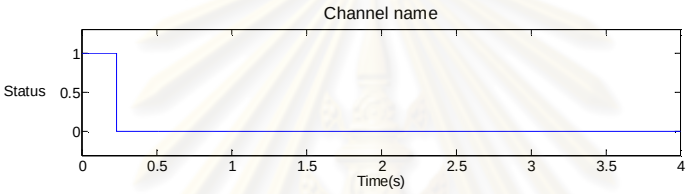
กระบวนการอนุมานที่หนึ่งมีหน้าที่ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานของรีเลย์ป้องกันที่สำคัญและตัวตัดวงจรในฐานความรู้ที่หนึ่ง โดยเริ่มต้นจากการนำชื่อสัญญาณดิจิตัลทุกช่องมาเปรียบเทียบกับส่วนเงื่อนไขของกฎในฐานความรู้ที่หนึ่ง ถ้ามีชื่อของช่องสัญญาณดิจิตัลใดเป็นไปตามกฎที่กำหนด ก็จะนำข้อมูลของช่องสัญญาณดิจิตัลนั้นมาหารูปแบบการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



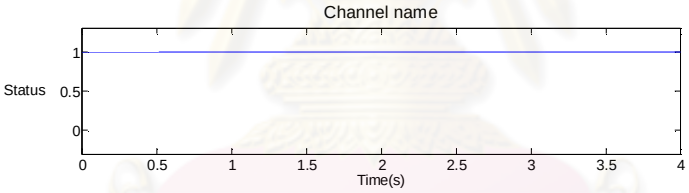
(ก)



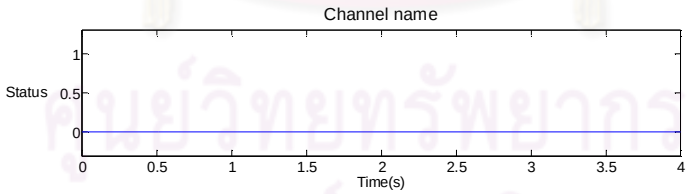
(ข)



(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

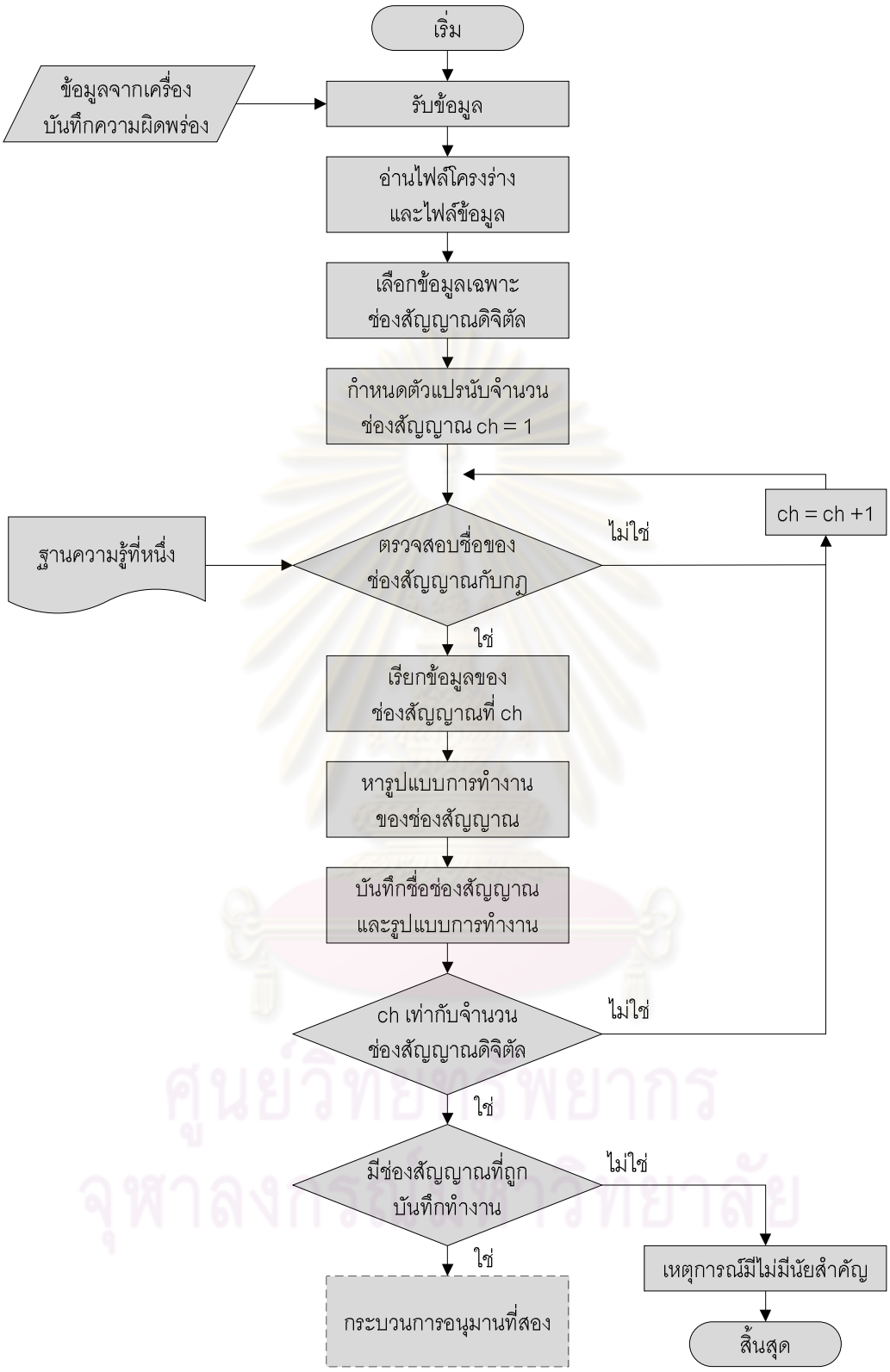
(จ) รูปแบบที่ 5 อุปกรณ์ป้องกันไม่ทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าตรวจสอบทุกช่องสัญญาณแล้วพบว่ามีอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงานก็จะนำข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สอง ขั้นตอนของกระบวนการอนุมานที่หนึ่งแสดงในรูปที่ 4.8

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

4.3.2 กระบวนการอนุมานที่สอง

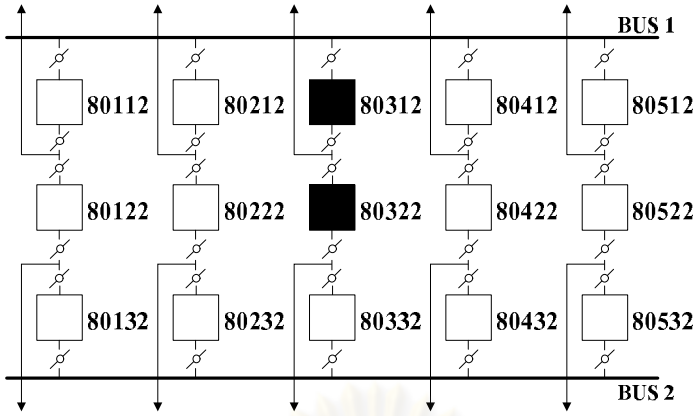
กระบวนการอนุมานที่สองมีหน้าที่จำแนกประเภทของการจัดเรียงบัสในสถานีไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากรับข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันที่ถูกบันทึกในกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาป้อนเข้ากระบวนการอนุมานที่สอง เพื่อนำหมายเลขตัวตัดวงจรทุกตัวมาเปรียบเทียบกับส่วนเงื่อนไขของกฎในฐานความรู้ที่สอง หากพบว่าหมายเลขของตัวตัดวงจรของระดับแรงดันใดเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ จะตัดสินว่าในระดับแรงดันนั้นมีการจัดเรียงบัสเป็นแบบส่วนตามของกฎ หลังจากที่ทราบประเภทของการจัดเรียงบัสในแต่ละระดับแรงดัน ก็จะนำข้อมูลหมายเลขของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานทุกตัวในแต่ละระดับแรงดันมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส อย่างไรก็ดีถ้าพบว่าหมายเลขของตัวตัดวงจรของระดับแรงดันใดเป็นไม่ไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎใดในฐานความรู้ 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

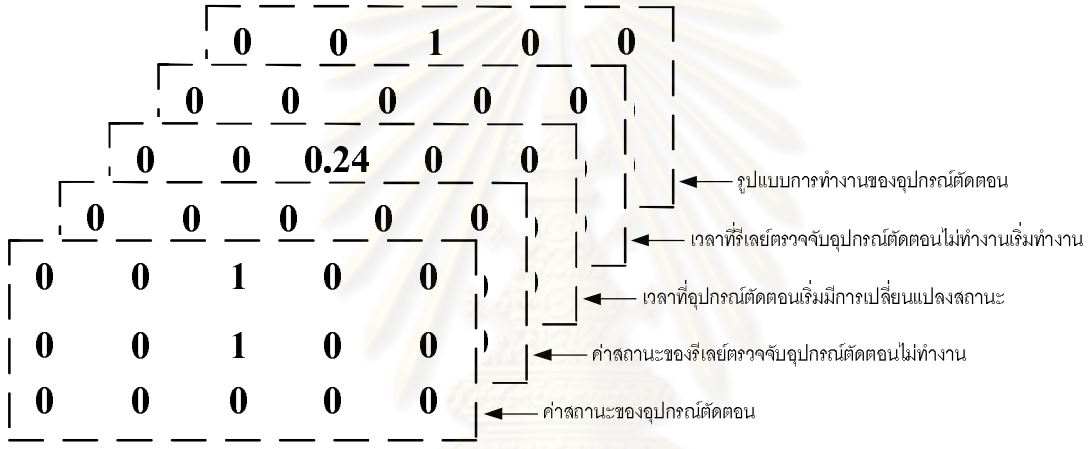
จากรูปที่ 4.9 ระดับชั้นที่ 1 และ 2 ของเมตริกซ์จำลองแทนด้วยสถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงาน ถ้ามีสถานะทำงานจะแทนด้วย 1 ถ้ามีสถานะไม่ทำงานจะแทนด้วย 0 และถ้าไม่ทราบสถานะหรือไม่มีข้อมูลจะแทนด้วย 100 สำหรับระดับชั้นที่ 3, 4 และ 5 ของเมตริกซ์จำลองแทนด้วยเวลาของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงานมีการเปลี่ยนแปลง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

หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส ได้แก่ บัสหลักและวงจรในเมตริกซ์ที่จำลองขึ้น โดยจำนวนบัสหลักทราบได้จากประเภทของการจัดเรียงบัส และจำนวนวงจรทราบได้จากจำนวนเบย์ที่มีอยู่ในการจัดเรียงบัส อย่างไรก็ดีระบบผู้เชี่ยวชาญไม่อาจทราบได้ว่าเบย์ใดบ้างที่มีอยู่จริงในการจัดเรียงบัส ดังนั้นจึงใช้วิธีการตรวจสอบค่าสถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงาน ถ้าเบย์ใดมีค่าสถานะของตัวตัดวงจรหรือรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรที่ไม่ทำงาน จะตัดสินว่าเบย์นั้นมีอยู่จริงในการจัดเรียงบัส ดังแสดงในรูป 4.10

สุดท้ายจะนำเมตริกซ์จำลองรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สาม ขั้นตอนของกระบวนการอนุมานที่สองแสดงในรูปที่ 4.11

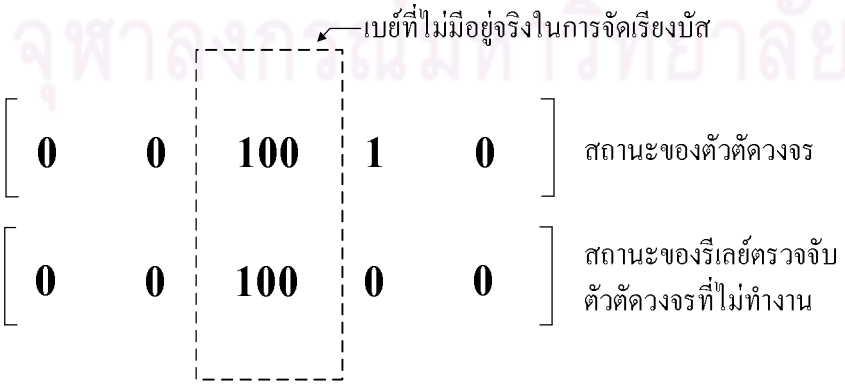


(ก)

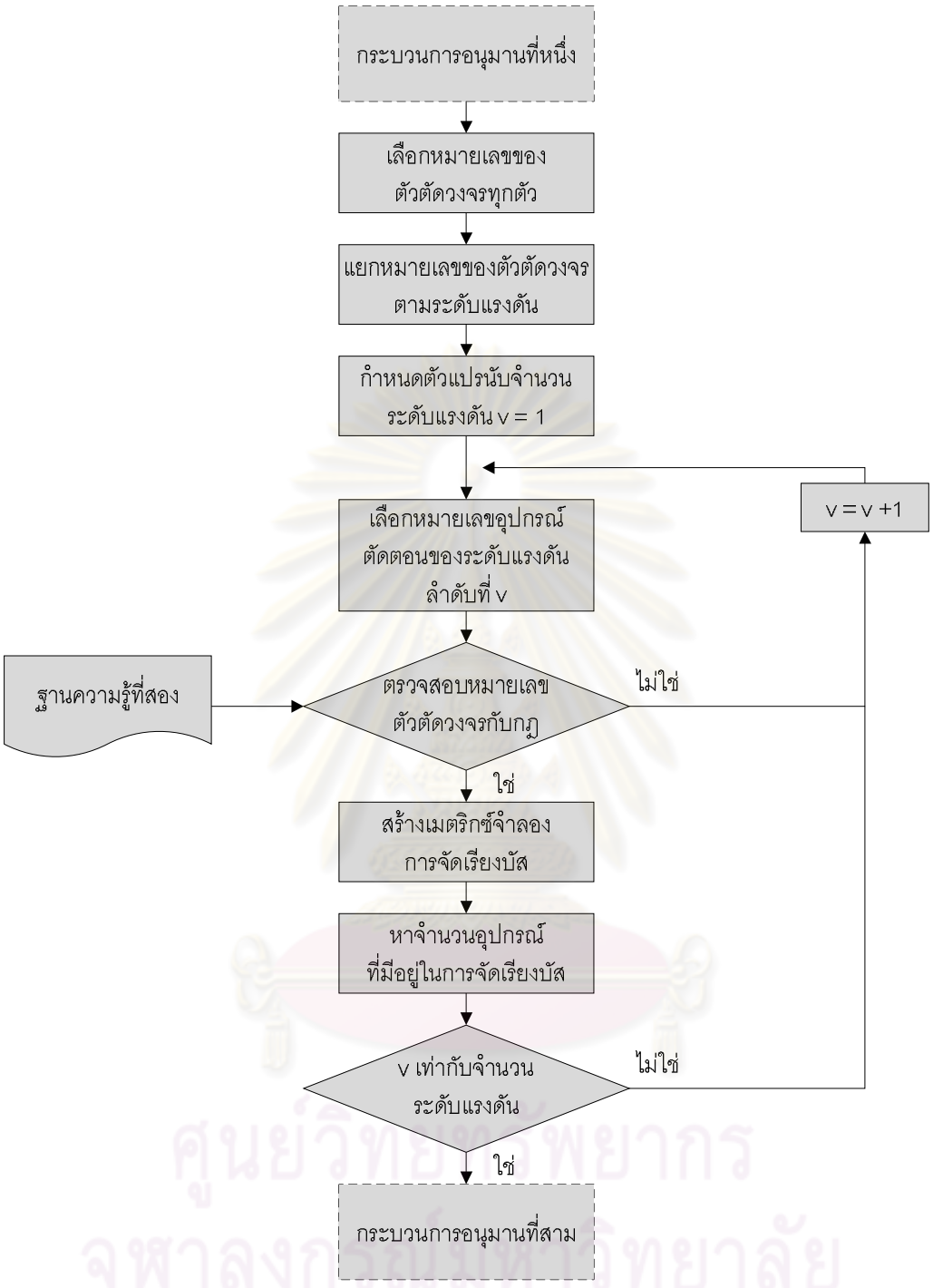


(ข)

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการจำลองการจัดเรียงบัสในรูปแบบเมตริกซ์
(ก) รูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร
(ข) เมตริกซ์จำลองที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการหาเบย์ที่ไม่มีอยู่จริงในการจัดเรียงบัส



รูปที่ 4.11 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่สอง

จากรูปที่ 4.11 กระบวนการอนุมานที่สองเริ่มด้วยการเลือกหมายเลขของตัวตัดวงจรทุกตัวจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งและทำการแยกตัวตัดวงจรตามระดับแรงดันจากมากไปน้อย โดยอาศัยหมายเลขสองตัวหน้าที่ใช้แสดงระดับแรงดันมาใช้แยกระดับแรงดันของตัวตัดวงจร หลังจากนั้นก็จะนำหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันมาทำการตรวจสอบกับส่วนเงื่อนไขใน

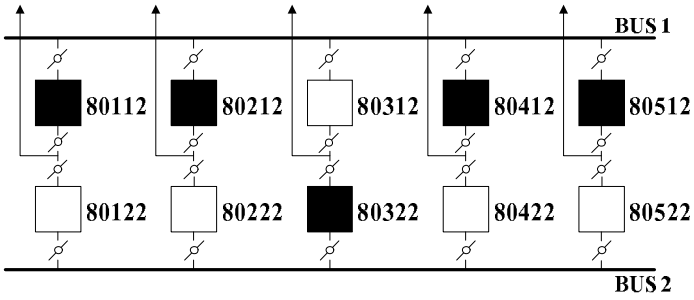
ฐานความรู้ที่สอง ถ้าหมายเลขของตัวตัดวงจรไม่เป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎใด ก็จะเรียกหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันถัดไปมาทำการตรวจสอบ ถ้าหมายเลขของตัวตัดวงจรเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ ก็จะเรียกข้อมูลของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานมาสร้างเมตริกซ์จำลอง รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส โดยที่จะทำการตรวจสอบจนครบทุกระดับแรงดันและนำเมตริกซ์จำลองและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สาม สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถหารูปแบบการจัดเรียงบัส ก็จะทำการส่งข้อมูลของตัวตัดวงจรที่มีสถานะทำงานไปใช้ในกระบวนการอนุมานที่สาม

4.3.3 กระบวนการอนุมานที่สาม

กระบวนการอนุมานที่สามมีหน้าที่หารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรตามประเภทของการจัดเรียงบัส โดยเริ่มต้นจากรับเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสจากกระบวนการอนุมานที่สองมาเปรียบเทียบกับส่วนเงื่อนไขของกฎในฐานความรู้ที่สาม เพื่อหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรที่ทำการป้องกันอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส หากพบว่าเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสที่สร้างขึ้นเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ จะตัดสินว่าตัวตัดวงจรได้ทำงานตามรูปแบบในส่วนตามของกฎ หลังจากที่ทราบถึงรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร ก็จะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรตามรูปแบบการทำงานที่ได้จากส่วนตามของกฎมาใช้หาความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร สำหรับวิธีการหาความน่าจะเป็นจะใช้สถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานจากชั้นที่ 1 และ 2 ของเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ในกรณีที่ไม่ทราบสถานะของตัวตัดวงจรหรือรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานใดในเมตริกซ์ ก็จะกำหนดค่าสถานะด้วยความน่าจะเป็นที่ตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะทำงานตามโอกาสการเกิดความผิดพร่องบนอุปกรณ์ในการจัดเรียงบัส ดังนี้

- ให้ 0.2 แทนความน่าจะเป็นจะเกิดความผิดพร่องบนบัส
- ให้ 0.8 แทนความน่าจะเป็นจะเกิดความผิดพร่องบนสายส่งและหม้อแปลง

ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพร่องบนบัสมีค่าน้อยมาก เพราะบัสเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าจึงมีความปลอดภัยจากความผิดพร่องสูง จึงมีโอกาสเกิดความผิดพร่องบนบัสต่ำกว่าโอกาสเกิดความผิดพร่องที่เกิดบนสายส่งมาก



(ก)

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

(ข)

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

(ค)

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการหาค่าความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

(ก) รูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ตัดตอนที่ควรจะทำงานเพื่อตัดวงจร

(ข) เมตริกซ์จำลองสถานะของตัวตัดวงจร

(ค) เมตริกซ์จำลองสถานะของรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน

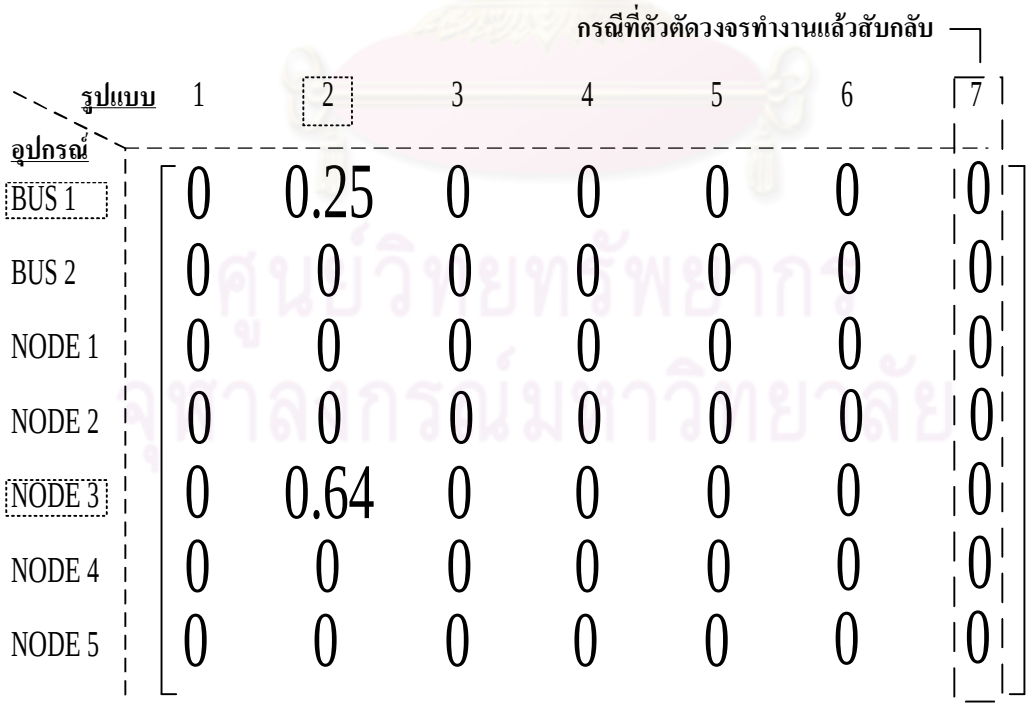
จากรูปที่ 4.12 เป็นรูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรตัวติดบัสหลักหนึ่งไม่ทำงาน ถ้าลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรติดบัสหลักหนึ่งเริ่มทำงานก่อนตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักสอง จะตัดสินว่าเป็นรูปแบบการตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัสหลักหนึ่ง แต่ถ้าตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักหนึ่งเริ่มทำงานทีหลังตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักสอง จะตัดสินว่าเป็นรูปแบบการตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงที่เบย์สาม ยกเว้นกรณีที่ไม่มีข้อมูลเวลาของตัวตัดวงจรที่ติดบัสหลักหนึ่งหรือบัสหลักสองเริ่มทำงาน ทำให้ไม่สามารถทราบลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ดังนั้นจะหาความน่าจะเป็นของทั้งสองรูปแบบการตัดวงจร

สำหรับความน่าจะเป็นสามารถคำนวณได้จากสถานะของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน จากตัวอย่างในรูปที่ 4.12 สามารถคำนวณความน่าจะเป็นด้วยสถานะของตัวตัดวงจร 5ตัวและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน 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

กรณีที่เกิดความผิดพร่องบนบัสหลักหนึ่งความน่าจะเป็น คือ 0.2x1x1x1x1x0.2 = 0.25 และกรณีที่เกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงที่เบย์สาม คือ 0.8x1x1x1x1x0.8 = 0.64

วิธีการจัดเก็บค่าความน่าเป็นของอุปกรณ์ในแต่ละระดับแรงดันนั้นจะทำการจัดเก็บในรูปของเมตริกซ์สองมิติ (x-y) โดยให้แกน x แทนรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรดังที่กล่าวในฐานความรู้ที่สาม และแกน y แทนอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส จากความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากตัวอย่างด้านบน สามารถจัดเก็บให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



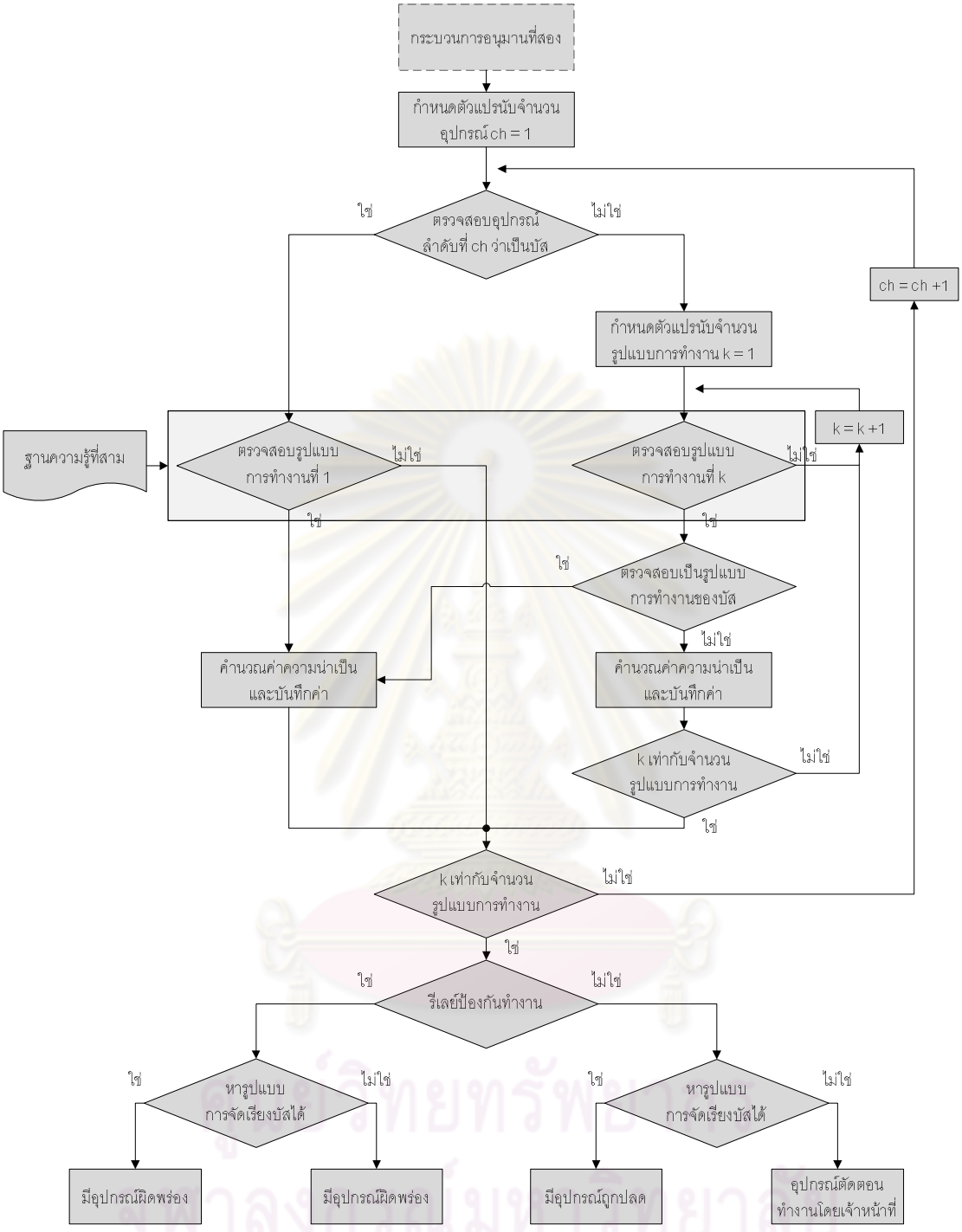
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการจัดเก็บค่าความน่าจะเป็นของแต่ละอุปกรณ์

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

เมื่อสามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ก็จะนำข้อมูลของรีเลย์ที่สำคัญจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาช่วยในการระบุอุปกรณ์ที่ผิดพร่อง ซึ่งการวิเคราะห์ระหว่างรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรกับข้อมูลของรีเลย์ที่สำคัญประกอบด้วย 4 รูปแบบ คือ

1. มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานและสามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ก็จะทำการจับคู่ระหว่างรีเลย์ป้องกันที่สำคัญกับรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร โดยจะจับคูรีเลย์ป้องกันบัสกับรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และจับคูรีเลย์ป้องกันสายส่งและหม้อแปลงกับรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายส่งและหม้อแปลง
2. มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานแต่ไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ จะตัดสินว่าเกิดความผิดพร่องบนอุปกรณ์ตามที่รีเลย์ป้องกันทำงาน
3. ไม่มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานแต่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ สำหรับกรณีนี้จะมีอุปกรณ์ในการจัดเรียงบัสถูกตัดออก โดยไม่สามารถระบุได้ว่าตัวตัดวงจรถูกสั่งงานโดยรีเลย์ป้องกันแต่ไม่นำสัญญาณรีเลย์เข้าเครื่องบันทึกความผิดพร่อง หรือสั่งงานโดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุม
4. ไม่มีรีเลย์ป้องกันที่สำคัญทำงานและไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ จะตัดสินว่าตัวตัดวงจรทำงานโดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุม

สุดท้ายเมื่อสามารถคัดเลือกคำตอบจากการวิเคราะห์ระหว่างรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรกับรีเลย์ป้องกันที่สำคัญ โดยจะให้ความสำคัญจากรูปแบบที่ 1 เป็นอันดับแรก และรูปแบบที่ 4 เป็นอันดับสุดท้าย สำหรับกรณีที่มีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบภายในรูปแบบเดียวกันจะใช้ความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเป็นตัวตัดสิน ขั้นตอนของกระบวนการอนุมานที่สามแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แผนภาพกระบวนการอนุมานที่สาม

จากรูปที่ 4.14 กระบวนการอนุมานที่สามเริ่มด้วยการรับเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้จากกระบวนการอนุมานที่สอง รวมทั้งข้อมูลของรีเลย์ป้องกันที่สำคัญจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง หลังจากนั้นจะทำการแยกอุปกรณ์ประเภทบัสออกมา เพราะรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องบนบัส และรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อ

เกิดความผิดพร่องบนสายส่งหรือหม้อแปลงจะแตกต่างกันเพียงรูปแบบที่ 1 ดังนั้นการหารูปแบบการทำงานของบัสเมื่อมีตัวตัดวงจรไม่ทำงานจะใช้การตรวจสอบร่วมกันกับสายส่งหรือหม้อแปลง โดยที่รูปแบบการทำงานของบัสจะมีเวลาการทำงานของตัวตัดวงจรทุกตัวที่ติดบัสเร็วกว่าตัวตัดวงจรที่ไม่ติดบัส ในกรณีที่อุปกรณ์เป็นบัสจะทำการตรวจสอบรูปแบบการทำงานที่หนึ่งกับเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส ถ้าพบว่าเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของกฎ ก็จะทำการหาความน่าจะเป็นของการทำงานและทำการบันทึกค่าความน่าจะเป็น ในกรณีที่อุปกรณ์เป็นวงจรจะทำการตรวจสอบรูปแบบการทำงานทุกรูปแบบ รวมทั้งหาลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงาน สุดท้ายจะทำการวิเคราะห์รีเลย์ป้องกันที่สำคัญจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งกับรูปแบบการทำงานจากที่หาได้ ซึ่งรูปแบบคำตอบที่ได้จะมี 4 รูปแบบ คือ มีอุปกรณ์ผิดพร่องและทราบรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร มีอุปกรณ์ผิดพร่องแต่ไม่ทราบรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร มีอุปกรณ์ถูกปลดออกจากการจัดเรียงบัส และมีตัวตัดวงจรถูสั่งให้ทำงานโดยเจ้าหน้าที่จากศูนย์ควบคุม

รูปแบบที่หนึ่งจะให้คำตอบออกมาเป็น 4 ลักษณะคือ ความผิดพร่องบนบัส ความผิดพร่องบนสายส่ง ความผิดพร่องบนสายส่งแบบชั่วคราว และความผิดพร่องบนหม้อแปลง พร้อมทั้งสามารถระบุตำแหน่งและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสด้วย

รูปแบบที่สองจะให้คำตอบออกมาเป็น 3 ลักษณะคือ ความผิดพร่องบนบัส ความผิดพร่องบนสายส่ง และความผิดพร่องบนหม้อแปลง โดยที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในการจัดเรียงบัสด้วย

รูปแบบที่สามนั้นเป็นรูปแบบที่เจ้าหน้าที่ทำการสับและปลดอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าออกจากระบบ โดยการระบุว่าเป็นการสับเข้าหรือปลดออกนั้น จะพิจารณาจากรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

รูปแบบที่สี่นั้นเป็นรูปแบบที่เจ้าหน้าที่ทำการสับและปลดตัวตัดวงจร โดยการระบุว่าเป็นการสับเข้าหรือปลดออกนั้น จะพิจารณาจากรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญในบทที่ 4 ได้ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพกับข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล โดยใช้การพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันและรายงานการเกิดความผิดพร่องของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตมาตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์

ตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.1 สำหรับระบบทดสอบและการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ

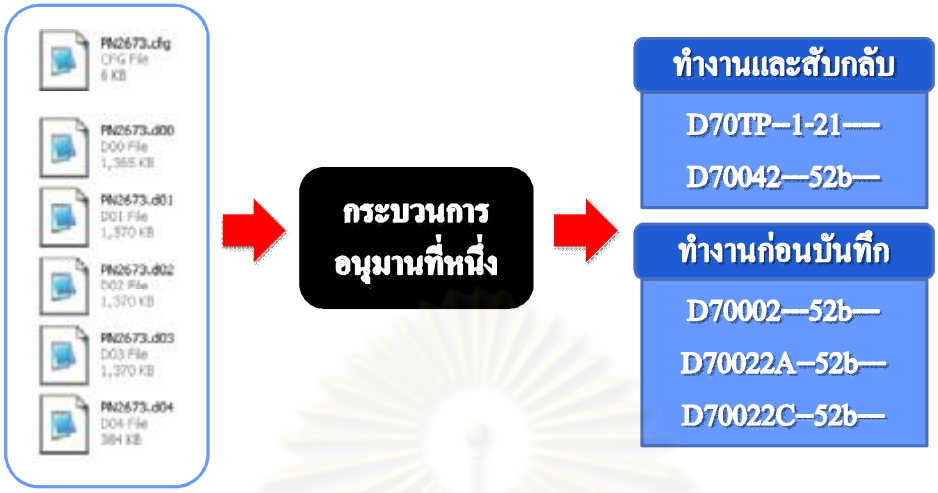
5.1 ตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญตั้งแต่รับสัญญาณป้อนเข้าจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลจนกระทั่งได้ผลลัพธ์จากระบบผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งวิธีตรวจสอบที่ใช้การพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน โดยรายละเอียดของตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบจะอยู่ในหัวข้อที่ 5.1.1 และ 5.1.2 ตามลำดับ

5.1.1 ตัวอย่างการทดสอบ

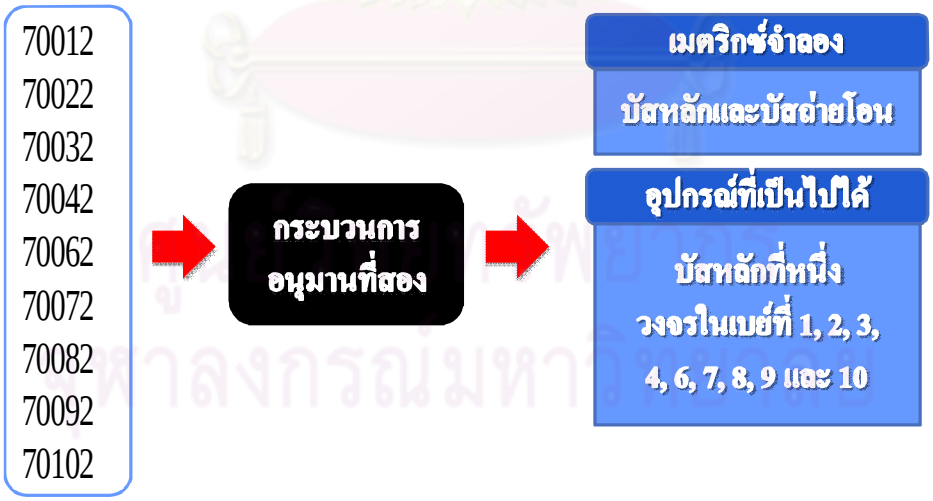
ตัวอย่างการทดสอบนี้จะใช้ข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลมาอธิบายหลักการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยข้อมูลของสัญญาณป้อนเข้าเป็นข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้าพังงา ในวันเสาร์ที่ 10 ตุลาคม 2552 เวลา 23:49 น. สำหรับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญเริ่มจากนำไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูลป้อนเข้ากระบวนการอนุมานที่หนึ่ง เพื่อตรวจสอบรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญตามฐานความรู้ที่หนึ่ง หลังจากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลและรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันทุกตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.1

จากรูปที่ 5.1 พบว่ามีอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน คือ รีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่าและตัวตัดวงจรของเบย์ที่ 4 ดังนั้นจึงตัดสินว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้านี่มีนัยสำคัญ สำหรับอุปกรณ์ป้องกันที่เหลือมีรูปแบบการทำงานที่ไม่ทำงานหรือทำงานก่อนบันทึก อย่างไรก็ดีอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานก่อนบันทึกเป็นตัวตัดวงจรที่มีหมายเลขต่อท้ายด้วยตัวอักษร และตัวตัดวงจรเชื่อมต่อบัส ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่พิจารณา



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

เมื่อพบว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีนัยสำคัญจะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรทั้งหมดจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาป้อนเข้าสู่กระบวนการอนุมานที่สองเพื่อหาประเภทการจัดเรียงบัส หลังจากนั้นกระบวนการอนุมานที่สองก็จะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่สอง

จากรูปที่ 5.2 พบว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีเพียงระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยมีการจัดเรียงประเภทบัสหลักและบัสถ่ายโอน หลักจากนั้นจะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรมาสร้างเมตริกซ์

จำลองตามการจัดเรียงบัสประเภทบัสหลักและบัสถ่ายโอน รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสประกอบด้วย บัสหลักที่หนึ่ง และวงจรในเบย์ที่ 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10

เมื่อได้เมตริกซ์จำลองและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้จากกระบวนการอนุมานที่สอง ก็จะนำเมตริกซ์จำลองและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ รวมทั้งข้อมูลของรีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่ามาป้อนเข้าสู่กระบวนการอนุมานที่สาม เพื่อหาอุปกรณ์ผิดพร่องและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในเชิงความน่าจะเป็น ดังแสดงในรูปที่ 5.3

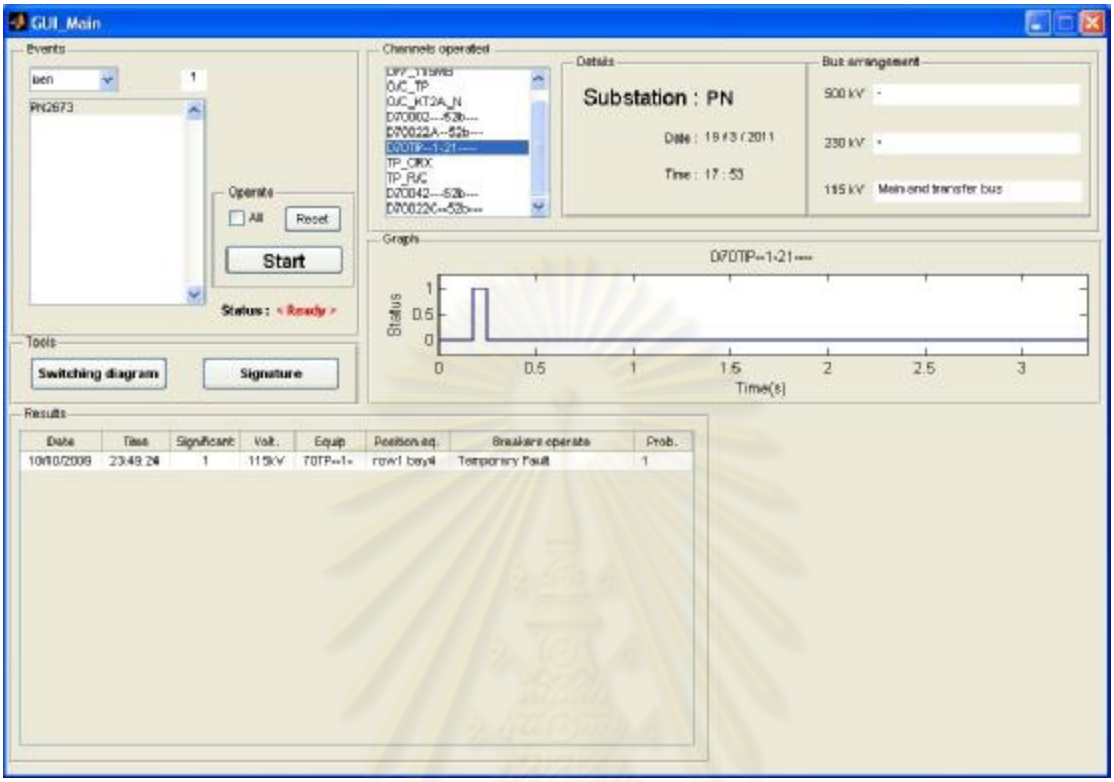
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่สาม

จากรูปที่ 5.3 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการอนุมานที่สาม เกิดความผิดพร่องบนสายส่งตะกั่วป่า โดยที่ตัวตัดวงจรเบย์ที่ 4 ทำงานปกติและความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเพื่อตัดวงจรในเบย์ที่ 4 เท่ากับ 1

5.1.2 วิธีตรวจสอบผลการทดสอบ

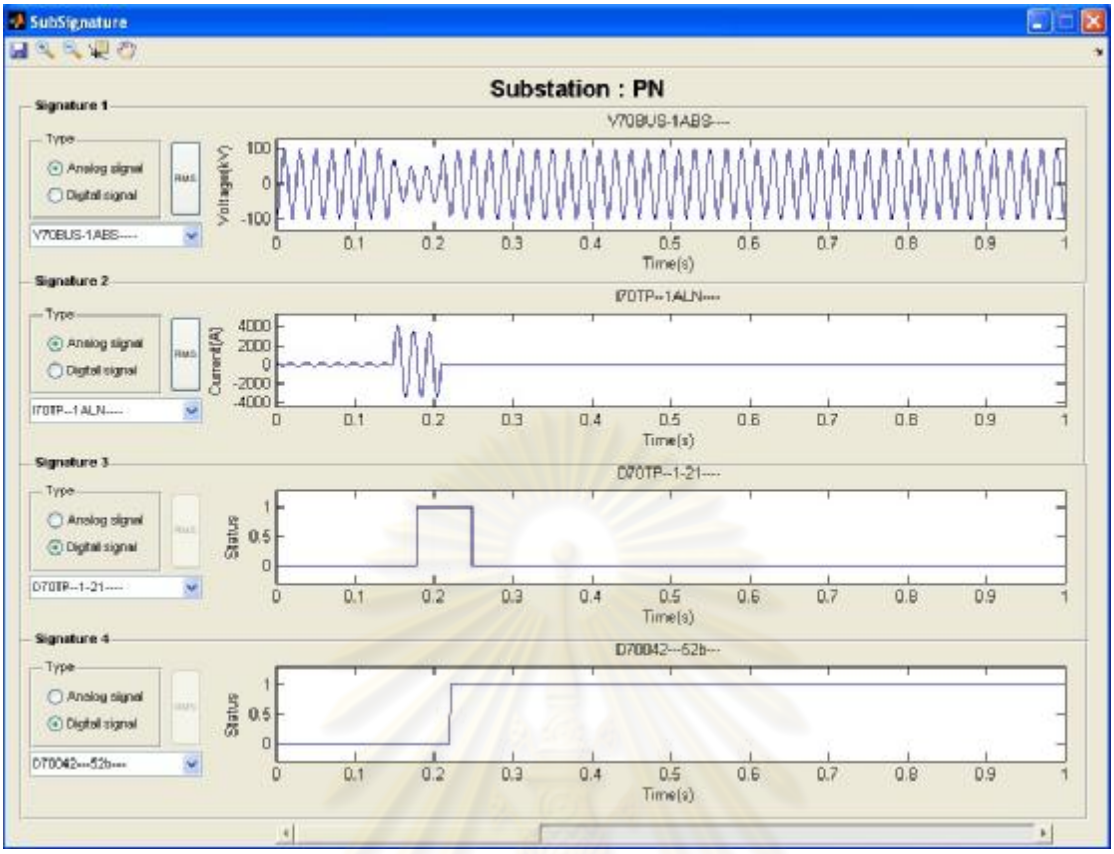
การตรวจสอบผลลัพธ์จากระบบผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยอาศัยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย Matlab ในรูปแบบของ Graphical User Interface (GUI) ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะแสดงผลทุกช่องสัญญาณที่มีการทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ถูกบันทึกจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลในกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง ในส่วนของการตรวจสอบรูปแบบการจัดเรียงบัสในแต่ละระดับแรงดันจะตรวจสอบ

ด้วยข้อมูลการจัดเรียงบัสจริง และในส่วนของการตรวจสอบอุปกรณ์ผิดพร่องจะอ้างอิงจากรายงานการเกิดความผิดพร่องร่วมกับการพิจารณารูปแบบทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการตรวจสอบผลการทดสอบ

จากรูปที่ 5.4 การตรวจสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่งจะพิจารณาสัญญาณที่ทำงานและสามารถดูรูปคลื่นของช่องสัญญาณ ได้แก่ รีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่าและตัวตัดวงจรของเบย์ที่ 4 ในการตรวจสอบกระบวนการอนุมานที่สองจะพิจารณารูปแบบการจัดเรียงบัสกับรูปแบบการจัดเรียงบัสจริงด้วยปุ่ม Switching diagram และในการตรวจสอบกระบวนการอนุมานที่สามจะพิจารณาจากรายงานการเกิดความผิดพร่องร่วมกับรูปแบบทำงานของอุปกรณ์ป้องกันด้วยปุ่ม Signature ที่สามารถเรียกดูสัญญาณได้ทุกช่องสัญญาณได้พร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยความผิดพร่องเกิดขึ้นบนสายส่งตะกั่วป่าที่เฟส A ส่งผลให้ค่าแรงดันของบัสลดลง ค่ากระแสของสายส่งตะกั่วป่าสูงขึ้น รีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่าทำงานและตัวตัดวงจรในเบย์ที่ 4 ทำงาน



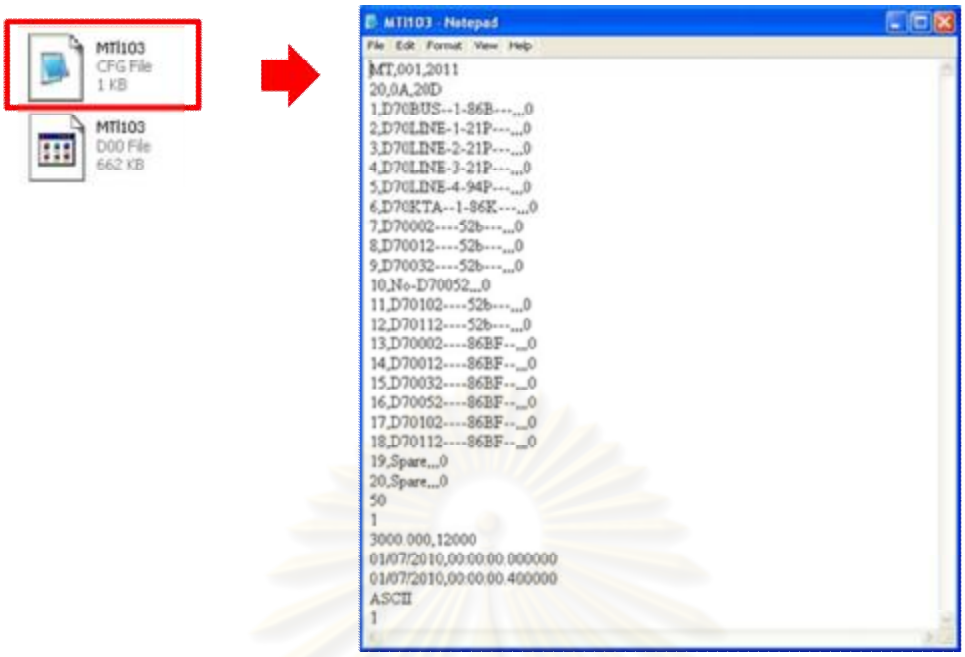
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

5.2 ระบบทดสอบ

ในการทดสอบจะแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจำลอง และข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจริง โดยรายละเอียดของแต่ละระบบจะอยู่ในหัวข้อที่ 5.2.1 และ 5.2.2 ตามลำดับ

5.2.1 ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจำลอง

ข้อมูลจำลองที่สร้างขึ้นจะจำลองสัญญาณดิจิตัลทุกช่องสัญญาณให้คล้ายคลึงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงด้วยโปรแกรม Matlab ซึ่งข้อมูลจำลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.6 สำหรับข้อมูลจำลองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามจำนวนของกระบวนการอนุมาน เพื่อเป็นตรวจสอบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการอนุมาน



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างไฟล์โครงร่างและไฟล์จำลองของข้อมูลจำลอง

ข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่หนึ่งประกอบด้วยเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญ 40 เหตุการณ์ด้วยข้อมูลที่ไม่มีช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน และไม่มีนัยสำคัญ 60 เหตุการณ์ด้วยข้อมูลที่มีช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน โดยเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญจะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพร่องบนบัสจำนวน 11 เหตุการณ์ บนสายส่งจำนวน 24 เหตุการณ์ และบนหม้อแปลงจำนวน 5 เหตุการณ์

ข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สองประกอบด้วยการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภทดังที่กล่าวไว้ในฐานความรู้ที่สอง โดยในแต่ละประเภทการจัดเรียงบัสจะจำลองเหตุการณ์ที่มีตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานครบทุกตัว และเหตุการณ์ที่สุ่มเอาตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานบางตัวออก ซึ่งรวมเหตุการณ์ทั้งสิ้นประเภทการจัดเรียงบัสละ 10 เหตุการณ์

ข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สามประกอบด้วยรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องในการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภท ดังที่กล่าวไว้ในฐานความรู้ที่สาม รวมทั้งรูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรเพียงตัวเดียวทำงาน โดยในแต่ละประเภทการจัดเรียงบัสจะจำลองเหตุการณ์ที่มีตัวตัดวงจรครบและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานครบ สำหรับข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สามจะมีการใส่ลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ป้องกันและอุปกรณ์ป้องกันให้เหมือนกับการเกิดความผิดพร่องจริง ซึ่งเหตุการณ์ที่จำลองความผิดพร่องบนบัส 23 เหตุการณ์ บนสายส่งจำนวน 33

เหตุการณ์ บนหม้อแปลงจำนวน 27 เหตุการณ์ ตัวตัดวงจรถูกสั่งปลด 5 เหตุการณ์ และตัวตัดวงจรถูกสับกลับ 5 เหตุการณ์

5.2.2 ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจริง

ข้อมูลจริงเป็นข้อมูลเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล เมื่อช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งในเครื่องบันทึกความผิดพร่องมีสถานะเป็นไปตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ส่วนใหญ่ข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องจะมีเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญถูกบันทึกมาเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ดีในความเป็นจริงการที่เกิดความผิดพร่องบนระบบส่งน้อยถือเป็นเรื่องดี เพราะการเกิดความผิดพร่องในแต่ละครั้งจะส่งผลกระทบต่อการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสู่ระบบจำหน่าย สำหรับข้อมูลที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนของกระบวนการอนุมาน เช่นเดียวกับการทดสอบด้วยข้อมูลจำลอง

ข้อมูลจริงที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่หนึ่งประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกในวันเสาร์ที่ 10 ตุลาคม 2552 ทั้งหมด 46 เหตุการณ์ จากสถานีไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องบันทึกความผิดพร่อง 16 สถานีไฟฟ้า โดยมีเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญ 14 เหตุการณ์ และเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญ 32 เหตุการณ์

ข้อมูลจริงที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สองประกอบด้วยข้อมูลการจัดเรียงบัสของสถานีไฟฟ้าจำนวน 26 สถานีไฟฟ้า ได้แก่สถานีไฟฟ้า อ่าวไผ่ อ่างทอง2 บางประอิน2 บ้านค่าย บางพลี บางสะพาน2 บ่อวิน ชุมพร เชียงราย จันทบุรี หาดใหญ่2 กระบี่ แก่งคอย คลองใหม่ ลำพูน2 หนองจอก นครราชสีมา1 นครสวรรค์ ปลวกแดง ประจวบคีรีขันธ์ พังงา ร้อยเอ็ด รังสิต สระบุรี2 ท่าวุ้ง อุตรดิตถ์ เป็นต้น

ข้อมูลจริงที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สามประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกตั้งแต่วันที่ 10 ตุลาคม 2552 จนถึงวันที่ 16 พฤศจิกายน 2553 ทั้งหมด 71 เหตุการณ์ โดยมีเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพร่องบนบัสจำนวน 1 เหตุการณ์ บนสายส่งจำนวน 58 เหตุการณ์ บนหม้อแปลงจำนวน 6 เหตุการณ์ มีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงถูกปลด 2 เหตุการณ์ ตัวตัดวงจรถูกสั่งปลด 2 เหตุการณ์ และตัวตัดวงจรถูกสับกลับ 2 เหตุการณ์

5.3 ผลการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะถูกแบ่งการทดสอบประสิทธิภาพออกเป็นออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนของกระบวนการอนุมาน เพื่อเป็นตรวจสอบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการอนุมาน โดยผล

การทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง และผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.3.1, 5.3.2 และ 5.3.3 ตามลำดับ

5.3.1 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่งของระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

	ข้อมูลจำลอง		ข้อมูลจริง	
	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)
เหตุการที่มีนัยสำคัญ	40	100	14	100
เหตุการที่ไม่มีนัยสำคัญ	60	100	32	100

จากตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่งของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอให้คำตอบจากการทดสอบข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง เป็นที่น่าพึงพอใจสำหรับการคัดกรองเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญและเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญ

5.3.2 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง

ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สองของระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง

	ข้อมูลจำลอง		ข้อมูลจริง	
	จำนวนการจัดเรียงบัส	ความถูกต้อง(%)	จำนวนการจัดเรียงบัส	ความถูกต้อง(%)
บัสหลักและบัสถ่ายโอน	10	100	7	100
บัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน	10	100	3	100
บัสคู่เบรคเกอร์คู่	10	100	3	100
บัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง	10	100	29	96.5

จากตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สองของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอให้คำตอบจากการทดสอบข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง โดยวิเคราะห์ประเภทการจัดเรียงบัสผิดจำนวน 1 การจัดเรียงบัส และไม่สามารถระบุประเภทการจัดเรียงบัสจำนวน 2 การจัดเรียงบัส

การวิเคราะห์ประเภทการจัดเรียงบัสผิดทั้ง 1 การจัดเรียงบัส คือ สถานีไฟฟ้าหาดใหญ่ที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพราะมีการจัดเรียงบัสประเภทสามบัสหลักและสองบัสถ่ายโอน ซึ่งกระบวนการอนุมานที่สองให้คำตอบเป็นการจัดเรียงบัสประเภทบัสหลักและสองบัสถ่ายโอน

กรณีที่ไม่สามารถระบุประเภทการจัดเรียงบัสจำนวน 2 การจัดเรียงบัส คือ สถานีไฟฟ้าบางพลีที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพราะมีการตั้งชื่อหมายเลขของตัวตัดวงจรสองประเภทการจัดเรียงบัสในระดับเดียว คือ การจัดเรียงบัสประเภทบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งร่วมกับการจัดเรียงบัสประเภทบัสหลักและบัสถ่ายโอน และสถานีไฟฟ้าหนองจอกที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มีหมายเลขของตัวตัดวงจรเพียงตัวเดียว เพราะเป็นการจัดเรียงบัสประเภทบัสเดียว

5.3.3 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สาม

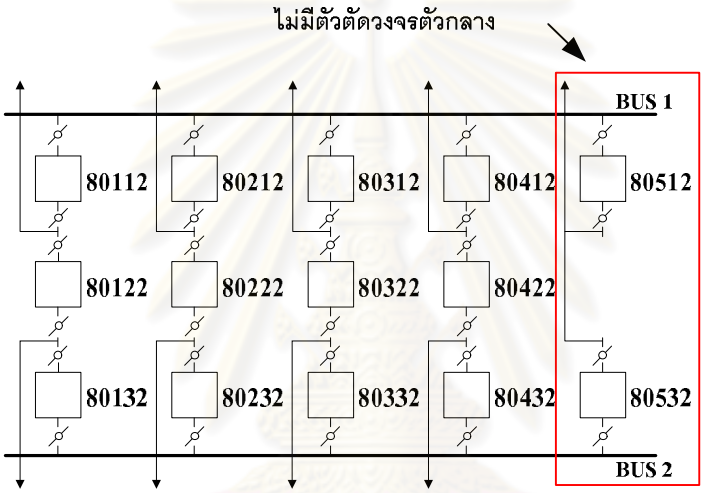
ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สามของระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สาม

	ข้อมูลจำลอง		ข้อมูลจริง	
	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)
ความผิดพร่องบนบัส	23	100	1	100
ความผิดพร่องบนสายส่ง	27	100	35	97.2
ความผิดพร่องชั่วคราวบนสายส่ง	6	100	23	100
ความผิดพร่องบนหม้อแปลง	27	100	6	100
ตัวตัดวงจรถูกสั่งปลด	5	100	2	100
ตัวตัดวงจรถูกสับกลับ	5	100	2	100
มีวงจรถูกปลดออกจากระบบ	-	-	2	100

จากตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สามของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอให้คำตอบจากการทดสอบข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง เป็นที่น่าพึงพอใจสำหรับการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่ง อย่างไรก็ดีในกรณีที่มีรีเลย์ป้องกันทำงานแต่ไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรมีสาเหตุดังนี้

1. ระบุประเภทการจัดเรียงบัสไม่ถูกต้อง
2. รูปแบบการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งที่ไม่มีตัวตัดวงจรตัวกลาง และมีวงจรออกจากเบย์เพียงหนึ่งวงจร ดังแสดงในรูปที่ 5.7
3. หมายเลขของตัวตัดวงจรที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษร เช่น 70022A



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งที่ไม่มีตัวตัดวงจรตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและสิ่งที่จะดำเนินการต่อไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการทดสอบการหาอุปกรณ์ผิดพร่องด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญกับข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ติดตั้งไว้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระบบผู้เชี่ยวชาญที่นำเสนอนี้ช่วยคัดกรองเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก และนำเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญมาวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องในระบบส่งโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยฐานข้อมูลขนาดใหญ่ของการจัดเรียงอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า นอกจากนี้ในการวิเคราะห์หารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องกับอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า จะนำลำดับการทำงานของตัวตัดวงจรและการแทนค่าความน่าจะเป็นที่ตัวตัดวงจรจะทำงานในกรณีที่ไม่มีข้อมูลของตัวตัดวงจรครบ ทำให้ระบบเชี่ยวชาญที่นำเสนอสามารถวิเคราะห์หารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อมีข้อมูลของตัวตัดวงจรไม่ครบ อย่างไรก็ดีในกรณีที่มีสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันไม่ครบความแม่นยำในการวิเคราะห์จะลดลงตามจำนวนข้อมูลที่ขาดไป โดยระบบผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยกระบวนการอนุมานความรู้จากฐานความรู้ทั้งหมด 3 การอนุมาน และคำตอบจากการวิเคราะห์ที่เป็นไปได้มีทั้งหมด 7 แบบ

กระบวนการอนุมานที่หนึ่งมีหน้าที่คัดกรองเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก โดยเริ่มจากการรับข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลมาคัดเลือกเฉพาะช่องสัญญาณดิจิตัล เพื่อตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญกับฐานความรู้ที่หนึ่ง ถ้าไม่พบสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงานก็จะตัดสินว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้าไม่มีนัยสำคัญ แต้ถ้าพบสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงานก็จะตัดสินว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีนัยสำคัญ และนำข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันไปใช้ต่อในกระบวนการอนุมานที่สอง

กระบวนการอนุมานที่สองมีหน้าที่หาประเภทการจัดเรียงบัสในแต่ละระดับแรงดัน โดยเริ่มจากนำหมายเลขของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันทุกตัวมาตรวจสอบกับฐานความรู้ที่สอง ถ้าไม่พบประเภทการจัดเรียงบัสในแต่ละระดับแรงดันก็จะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรไปใช้ต่อในกระบวนการอนุมานที่สาม แต่ถ้าพบประเภทการจัดเรียงบัสในแต่ละระดับแรงดันก็จะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ เพื่อนำไปใช้ต่อในกระบวนการอนุมานที่สาม

กระบวนการอนุมานที่สามมีหน้าที่หาอุปกรณ์ผิดพร่องและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจร โดยเริ่มจากนำเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัสและหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้มาตรวจสอบกับฐานความรู้ที่สาม หลังจากนั้นก็จะนำรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลของรีเลย์ป้องกันที่สำคัญจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง ประกอบด้วย 4 รูปแบบ คือ มีรีเลย์ป้องกันทำงานและสามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ มีรีเลย์ป้องกันทำงานแต่ไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ไม่มีรีเลย์ป้องกันทำงานแต่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ไม่มีรีเลย์ป้องกันทำงานไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรได้ ในกรณีที่วิเคราะห์ได้หลายคำตอบจะเรียงลำดับความสำคัญตามกรณีที่มีมีรีเลย์ป้องกันทำงานก่อน

จากระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอนี้ ได้ถูกนำมาทดสอบกับข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล ผลการทดสอบกับระบบผู้เชี่ยวชาญให้ความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ สามารถหาอุปกรณ์ผิดพร่องได้ถูกต้องตามที่ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ไว้

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาการหาอุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่งโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญมีดังนี้

1. ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องทีละเหตุการณ์ ทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญที่นำเสนอนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ความผิดพร่องในกรณีที่รีเลย์ป้องกันทำงานในโซนที่ 2 และโซนที่ 3 ได้ ดังนั้นในการพัฒนาขั้นต่อไปจะนำผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ของสถานีไฟฟ้าใกล้เคียงมาใช้ในการวิเคราะห์เพิ่ม อย่างไรก็ดีในปัจจุบันเวลาของเครื่องบันทึกความผิดพร่องของแตละสถานีไฟฟ้าไม่ตรงกัน จึงไม่สามารถนำนำผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ของสถานีไฟฟ้าใกล้เคียงมาใช้วิเคราะห์ได้
2. ในการหาประเภทการจัดเรียงบัสของบางสถานีไฟฟ้าที่มีลักษณะไม่เป็นไปตาม 4 รูปแบบดังที่กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์ อาจจะทำให้การวิเคราะห์ประเภทการจัดเรียงบัสผิดไปจากความเป็นจริง โดยสถานีไฟฟ้าเหล่านี้จะมีจำนวนไม่มาก ดังนั้นในการพัฒนาขั้นต่อไปจะทำการจัดเก็บรูปแบบการจัดเรียงบัสเฉพาะสถานีไฟฟ้าที่ไม่อยู่ในฐานความรู้ที่สอง เพิ่มเข้าไปในฐานความรู้ที่สอง

รายการอ้างอิง

[1] Sawatpipat, P. and Tayjasanant, T., Fault classification for Thailand's transmission lines based on wavelet transform, ECTI_CON, 2010.

[2] Fukui, C. and Kawakami, J., An expert system for fault section estimation using information from protective relay and circuit breaker, IEEE Transactions on Power Delivery, 1, 4 (October 1986) : 83-91.

[3] Yongli, Z., Yang, Y. H., Hogg, B. W., Zhang, W. Q. and Gao, S., An expert system for power system fault analysis, IEEE Transactions on Power Systems, 9, 1 (February 1994) : 503-509.

[4] Girgis, A. A. and Johns, M. B., A hybrid expert system for faulted section identification, fault type classification and selection of fault location algorithms, IEEE Transactions on Power Delivery, 4, 2 (April 1989) : 978-985.

[5] Kumano, S., Ito, H., Goda, T., Uekubo, Y., Kyomoto, S., Kourogi, H. and Ariura, Y. Development of expert system for operation at substation, IEEE Transactions on Power Delivery, 8, 1(January 1993) : 56-65.

[6] Kezunovic, M., Practical applications of automated fault analysis, International Conference on Power System Technology, 2, (2000) : 819-824.

[7] McArthur, S. D. J., McDonald, J. R., Bell, S. C. and Burt, G. M., Expert systems and model based reasoning for protection performance analysis, IEE Colloguium on Artificial Intelligence Applications in Power Systems, pp. 1/1-1/4, 1995.

[8] Luo, X., and Kezunovic, M., Automated analysis of digital relay data based on expert system, IEEE Russia Power Tech, pp. 1-6, 2005.

[9] Kimura, T., Nishimatsu, S., Ueki, Y. and Fukuyama, Y., Development of an expert system for estimating fault section in control center based on protective system simulation, IEEE Transactions on Power Delivery, 7, 1 (January 1992) : 167-172.

[10] Dongyuan, S., Xinghua, W. and Xianzhong, D. X., Road to the integrated protective relaying fault information system, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 1, (2003).

[11] Styvaktakis, E., Bollen, M. H. J. and Gu, I. Y. H., Expert system for classification and analysis of power system events, IEEE Transactions on Power Delivery, 17, 2 (April 2002) : 423-428.

[12] Zin, A. A. M. and Karim, S. P. A., The application of fault signature analysis in Tenaga Nasional Berhad Malaysia, IEEE Transactions on Power Delivery, 22, 4 (October 2007) : 2047-2056.

[13] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, มาตรฐานแบบระบบควบคุมและป้องกันสถานีไฟฟ้าแรงสูง, มีนาคม, 2550

[14] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, คู่มือมาตรฐานการกำหนด Switching Number, กุมภาพันธ์, 2551

[15] IEEE Std C37.111-1999 IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power, March. 1999

[16] นารถลดา จันทโรจวงศ์, การพัฒนาแนวทางสำหรับการเลือกใช้หรือโครงระบบผู้เชี่ยวชาญ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533

[17] วิลาศ วูวงศ์ และ บุญเอี่ยม ศิริเนาวกุล, ระบบผู้เชี่ยวชาญ, ศูนย์เทคโนโลยีอีเลคทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิรายุทธ์ กิตติจันทร์รัตนา เกิดวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 ต่อจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ Kittijanratana, J. and Hooncharuen N., “Fault Equipment Analysis on Transmission Network Using an Expert System,” in the 33th Electrical Engineering Conferrence (EECON-33), Chiang Mai, Thailand, Dec 1 – 3, 2010.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย