การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

นายทรงวุฒิ ขันดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544
ISBN 974-03-0328-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RADIAL DISTRIBUTION PROTECTION COORDINATION ANALYSIS USING AN EXPERT SYSTEM

MR. CHONGWUT KHUNDEE

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001
ISBN 974-03-0328-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ
โดย	นายทรงวุฒิ ขันดี
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย)

..... กรรมการ
(นายณรงค์ ตันติฉายากร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

ทรงวุฒิ ขันดี : การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ. (RADIAL DISTRIBUTION PROTECTION COORDINATION ANALYSIS USING AN EXPERT SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์,165 หน้า. ISBN 974-03-0328-5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งในปัจจุบันเป็นแบบเรเดียล ส่วนอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายเป็นชนิด การป้องกันกระแสเกินเป็นหลัก การพัฒนาฐานข้อมูลและฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญในวิทยานิพนธ์นี้จึงอ้างอิงตาม ข้อกำหนด ข้อเท็จจริง และมาตรฐาน ของ กฟภ. นอกจากนั้นในส่วนของฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ยังประกอบด้วยความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยนำมาจาก ข้อมูล ข้อกำหนด วิธีการ รายละเอียดต่าง ๆ หนังสือ บทความ ความรู้และประสบการณ์ของวิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบการป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นภายในเขตป้องกันของอุปกรณ์นั้น ๆ ว่าทำงานผิดพลาดหรือไม่ ทำงานสัมพันธ์กับอุปกรณ์ป้องกันอื่นหรือไม่ และจะวิเคราะห์ความเหมาะสมของการกำหนดค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัว นอกจากนั้นยังได้มีการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกันด้วย เมื่อใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นนี้วิเคราะห์รายละเอียดดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญในงานวิจัยนี้จะสามารถให้รายงาน รวมทั้งแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันนั้นด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....-.....

AN ABSTRACT

4070545321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM / PROTECTION / EXPERT SYSTEM

CHONGWUT KHUNDEE : RADIAL DISTRIBUTION PROTECTION COORDINATION ANALYSIS USING AN EXPERT SYSTEM

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. BUNDHIT EUA-ARPORN ,Ph.D.,165 pp

ISBN 974-03-0328-5

This thesis presents a coordination analysis of radial electrical distribution system in Provincial Electricity Authority (PEA) system. The expert system is developed by using expert system shell and programming Language . The system will check setting , coordination , installation and operation of protective devices in PEA system by using PEA's standard , criteria and experience of PEA protection engineers.

Expert system reports the results of setting and coordination analysis. It will also provide the initial settings analysis. The report will give suggestion information for the change of parameters settings for coordination, installation, and operation of each protective device in distribution systems .

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Electrical Engineering Student's signature .....

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2001 Co-advisor's signature —

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างมากของท่านรองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีโดยตลอด รวมทั้งให้ความกรุณา และความช่วยเหลือในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบ แก้ไข หนังสือวิทยานิพนธ์นี้ และอื่น ๆ

นอกจากนี้ ยังต้องขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (ประธานกรรมการ ฯ) อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย และอาจารย์ณรงค์ ตันติฉายากร ที่ได้ให้ความกรุณาในการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอดเช่นกัน

เนื่องจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับทุนช่วยเหลือจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณผู้บริหารของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาบุคลากร มา ณ. โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อนทุก ๆ คนที่เอาใจช่วย และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ทรงวุฒิ ขันดี

กันยายน 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำทั่วไป
   - 1.1 วัตถุประสงค์ 2
   - 1.2 ระบบผู้เชี่ยวชาญ 2
   - 1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ 4
     - ภาษาโปรแกรมมิ่ง 4
     - เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ 4
   - 1.4 การจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า 5
   - 1.5 ฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า 5

2. การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า
   - 2.1 คุณสมบัติในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน 7
   - 2.2 ชนิดของระบบป้องกัน 8
     - ระบบป้องกันหลัก 8
     - ระบบป้องกันสำรอง 8
   - 2.3 การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกัน 9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ หน้า

2.3.1 ประโยชน์ของการจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกัน 9
2.3.2 ข้อมูลที่จำเป็นในการจัดความสัมพันธ์ 10
2.3.3 ขั้นตอนและวิธีการ 10
2.3.4 ข้อกำหนดกระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน 11
2.4 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ 11
2.4.1 วิธีคุณสมบัติ เวลา-กระแส 13
2.4.2 วิธีตารางการจัดความสัมพันธ์ 13
2.5 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – รีโคลสเซอร์ 19
2.5.1 ฟิวส์อยู่ทางด้านสถานีไฟฟ้า 19
2.5.2 ฟิวส์อยู่ทางด้านโหลด 19
2.6 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ 24
2.7 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ – ฟิวส์ 29
2.8 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ – รีโคลสเซอร์ 32
2.9 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ – รีเลย์ 40

3. ปัญญาประดิษฐ์และระบบผู้เชี่ยวชาญ
3.1 ปัญญาประดิษฐ์ 47
3.1.1 เทคนิคของปัญญาประดิษฐ์ 47
3.1.2 การประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ 49
3.2 ระบบผู้เชี่ยวชาญ 51
3.2.1 ความรู้พื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 51
3.2.2 การแสดงความรู้และการอนุมาน 62
3.2.3 การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ 69
3.2.4 แนวทางการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในอนาคต 72

สารบัญ

บทที่ หน้า

4. โปรแกรมช่วยในการออกแบบระบบป้องกัน (CAPE)

4.1 Database Editor Module 75

4.2 Short Circuit Module 77

4.3 One - Line Diagram Module 78

4.4 Coordination Graphics Module 79

4.5 Relay Setting Module 81

4.6 System Simulator Module 82

4.7 Relay Checking Module 84

4.8 Line Constants Module 85

5. ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

5.1 การวิเคราะห์อุปกรณ์ป้องกัน 90

5.1.1 การวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน 90

5.1.2 การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกัน 90

5.1.3 การวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน 91

5.1.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกัน 91

5.2 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ 92

5.3 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ 95

5.4 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ 101

5.5 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ 105

5.6 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ 109

5.7 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ 113

สารบัญ

บทที่ หน้า

5.8 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ 116
5.9 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – ฟิวส์ 120
5.10 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – ฟิวส์ 124
5.11 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – ฟิวส์ 128
5.12 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – ฟิวส์ 130
5.13 ระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ – ฟิวส์ 134
5.14 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ – ฟิวส์ 137

6. สรุปและข้อเสนอแนะ 140

รายการอ้างอิง 141

ภาคผนวก
..... ภาคผนวก ก รายละเอียดการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ..... 143
..... ภาคผนวก ข.ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า
ของระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ - รีโคลสเซอร์..... 152
..... ภาคผนวก ค.มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายของ
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 159

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 165

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ 18
2.2 แสดงตัวคูณของรีโคลสเซอร์ 20
3.1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการของโปรแกรมแบบเก่าและปัญญาประดิษฐ์..... 51
3.2 แสดงชนิดและวิธีการของการเรียนรู้..... 74
5.1 แสดงการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ 92
5.2 แสดงการกำหนดขนาดฟิวส์ 92
5.3 แสดงการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์..... 93
5.4 รายละเอียดค่ากำหนดเริ่มทำงานของรีเลย์ 101
5.5 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 102
5.6 แสดงผลวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ 103
5.7 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 103
5.8 รายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ขาออก 109
5.9 รายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ 109
5.10 แสดงผลสรุปการวิเคราะห์การทำงานและการจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ รีโคลสเซอร์ 110
5.11 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์..... 111
5.12 แสดงผลวิเคราะห์การทำงาน 114
5.13 รายละเอียดการกำหนดค่าการทำงานรีโคลสเซอร์..... 116
5.14 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 117
5.15 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ 118
5.16 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 118
5.17 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ 119
5.18 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 121
5.19 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์..... 124
5.20 แสดงรายละเอียดการกำหนดขนาดฟิวส์ 124
5.21 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 125
5.22 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ 126

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.23 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดขนาดของฟิวส์ 126
5.24 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ 126
5.25 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงาน 129
5.26 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ 130
5.27 แสดงรายละเอียดการกำหนดขนาดฟิวส์ 131
5.28 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 132
5.29 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ 132
5.30 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดขนาดฟิวส์ 132
5.31 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ 133
5.32 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 135
5.33 แสดงรายละเอียดขนาดฟิวส์ และกระแสลัดวงจร 136
5.34 รายละเอียดการกำหนดขนาดฟิวส์ 137
5.35 แสดงการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 138
5.36 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ 138
5.37 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดขนาดฟิวส์ 138
5.38 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ 139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างแสดงการแบ่งเขตการป้องกันระบบไฟฟ้า 7
2.2 แสดงฟิวส์ A และ ฟิวส์ B 13
2.3 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ และ กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของฟิวส์ 17
2.4 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์ กับ ฟิวส์ทางด้านโหลด 21
2.5 แสดงกราฟ เวลา – กระแสของรีโคลสเซอร์ - ฟิวส์ 23
2.6 แสดงผลการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์ – ฟิวส์ทางด้านโหลด 24
2.7 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์ กับ รีโคลสเซอร์ 27
2.8 แสดงกราฟเวลา – กระแส ของรีโคลสเซอร์ 28
2.9 แสดงตัวอย่างการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ – ฟิวส์ 31
2.10 กราฟเวลา – กระแส แสดงการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ – ฟิวส์ 32
2.11 แสดงกราฟเวลา – กระแส ระหว่างรีเลย์ – รีโคลสเซอร์ 35
2.12 แสดงตัวอย่างการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ – รีเลย์ 42
2.13 แสดงกราฟเวลา – กระแส ของรีเลย์ – รีเลย์ 43
3.1 วิวัฒนาการของปัญญาประดิษฐ์ 50
3.2 แสดงการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญระบบต่าง ๆ ที่สำคัญในระยะแรก 55
3.3 รายละเอียดของระบบผู้เชี่ยวชาญ 56
3.4 ระดับต่าง ๆ ของซอฟแวร์ในระบบผู้เชี่ยวชาญ 60
3.5 การแบ่งระดับของซอฟต์แวร์ในระบบผู้เชี่ยวชาญ 62
3.6 วงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็ก 70
3.7 วงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดใหญ่ 71
4.1 แสดงรายละเอียด CAPE Database Editor 77
4.2 แสดงรายละเอียด Short Circuit Module 78
4.3 แสดงรายละเอียด One – Line Diagram Module 80
4.4 แสดงรายละเอียด Coordination Graphics Module 81
4.5 แสดงรายละเอียด Relay Setting Module 82

รูปที่ หน้า

4.6 แสดงรายละเอียด System Simulator Module 83
4.7 แสดงรายละเอียด Relay Checking Module 84
4.8 แสดงรายละเอียด Line Constant Module 85
5.1 ลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 87
5.2 แสดงการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ 89
5.3 แสดง Single Line Diagram Feeder 1 ของสถานีไฟฟ้าเทิง 94
5.4 แสดงการจำลองการลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ 96
5.5 แสดงการการต่อรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำงานด้านเฟส
และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำงานด้านดิน 96
5.6 แสดงตำแหน่งรีเลย์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ 101
5.7 แสดงการจำลองการลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ 105
5.8 แสดงตำแหน่งรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ..... 110
5.9 แสดงการจำลองการลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ 113
5.10 แสดงตำแหน่งรีโคลสเซอร์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ..... 116
5.11 แสดงการจำลองการลัดวงจรระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ - ฟิวส์ 121
5.12 แสดงตำแหน่งรีเลย์ และฟิวส์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ 125
5.13 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญรีโคลสเซอร์ - ฟิวส์..... 128
5.14 แสดงตำแหน่งรีโคลสเซอร์ และฟิวส์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ 131
5.15 แสดงการจำลองการลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ - ฟิวส์..... 134
5.16 แสดงตำแหน่งฟิวส์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ 137

บทที่ 1

บทนำทั่วไป

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อชีวิตมนุษย์ เมื่อมนุษย์เริ่มพัฒนาความเป็นอยู่ให้ดีขึ้น ความต้องการใช้พลังงานต่าง ๆ ก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวัน และการพัฒนาของมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้านั้นเพิ่มมากขึ้นในอัตราค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ แล้วจะพบว่าพลังงานไฟฟ้ามีข้อดีกว่าพลังงานรูปแบบอื่นมาก เช่น เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่สร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สะดวกสำหรับการใช้งาน

ระบบไฟฟ้าประกอบด้วย ระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย ซึ่งต่างก็มีความสำคัญต่อความมั่นคง และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า การออกแบบระบบป้องกันของระบบไฟฟ้าที่ดีจะส่งผลต่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งการจัดอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานสัมพันธ์กัน (Coordination) เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อระบบป้องกันไฟฟ้า การจัดการทำงานให้สัมพันธ์กันของอุปกรณ์ป้องกันเป็นหน้าที่ของวิศวกรระบบป้องกัน (Protection Engineer) ที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านระบบป้องกัน เมื่อระบบป้องกันทำงานผิดผลาดหรือเกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดการทำงานให้สัมพันธ์กันของอุปกรณ์ป้องกัน วิศวกรระบบป้องกันจะต้องทำการวิเคราะห์หาวิธีการและแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น ซึ่งการวิเคราะห์ปัญหานั้นความรู้อย่างเดียวไม่สามารถแก้ไขได้ แต่จะต้องอาศัยประสบการณ์และความเชี่ยวชาญมาประกอบกันเพื่อวิเคราะห์ปัญหาด้วย

ปี ค.ศ. 1991 มีการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญกับระบบไฟฟ้ากำลัง และมีการค้นคว้าวิจัยระบบผู้เชี่ยวชาญทางด้านการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน [1] ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะทำหน้าที่ในการวินิจฉัยการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัว และจะแสดงคำแนะนำเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานผิดพลาด

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อการตรวจสอบ วินิจฉัยการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่เกิดขึ้นระหว่างเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า และจะให้คำแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการจัดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานสัมพันธ์

1.1 **วัตถุประสงค์**

- พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล
- เพื่อช่วยวิเคราะห์การทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกัน และเสนอแนวทางแก้ไข
- ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่สร้างขึ้น กับการออกแบบระบบป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

1.2 **ระบบผู้เชี่ยวชาญ** (Expert System)

ระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นจากภาษาคอมพิวเตอร์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI Language) เช่น ภาษา Prolog และ ภาษา LISP เป็นต้น โปรแกรมลักษณะนี้จะมีความสามารถในการแก้ไขปัญหาเฉพาะเรื่อง โดยใช้ความรู้และกระบวนการวินิจฉัยในการแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนในระดับที่ต้องใช้ความรู้ ประสบการณ์ และความชำนาญจากมนุษย์ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านนั้นโดยเฉพาะ [2-4] โดยจะถูกรวบรวมไว้ในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้

- **ฐานความรู้** (Knowledge Base)

ฐานความรู้เปรียบเทียบได้กับฐานข้อมูลของระบบผู้เชี่ยวชาญ แต่ฐานข้อมูลนี้จะเก็บความรู้สำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านใดด้านหนึ่ง ๆ เท่านั้น ฐานความรู้นี้จะประกอบด้วยข้อเท็จจริง (Facts) และกฎต่าง ๆ (Rules) ซึ่งได้จากการรวบรวมมาจาก เอกสาร ตำรา และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งความรู้ใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นจากการถาม - ตอบ ระหว่างระบบผู้เชี่ยวชาญและ ผู้ใช้ (User) เพื่อจะนำความรู้ต่าง ๆ เหล่านี้ในการวินิจฉัย (Inference) โดยกลไกวินิจฉัย

(Inference Engine) ความรู้ที่ได้จะถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสม เช่น การจัดความรู้แบบกฎ (Rules) การจัดความรู้แบบกรอบ (Frames) และความรู้อีกแบบหนึ่งได้แก่ ข้อเท็จจริง ซึ่งระบุถึงข้อมูลความจริงต่าง ๆ เป็นแบบประโยคบอกเล่า โปรแกรมจะแสดงอยู่ในรูปแบบของความสัมพันธ์ของวัตถุ ส่วนกฎต่าง ๆ จะเป็นความรู้ที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อเท็จจริงภายใต้เงื่อนไข และความเป็นเหตุผลซึ่งกันและกัน

- **กลไกวินิจฉัย** (Inference Engine)

กลไกวินิจฉัยทำหน้าที่วิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ข้อเท็จจริงและกฎต่าง ๆ จากฐานความรู้ เพื่อสรุปหาข้อวินิจฉัย ผลตอบ คำแนะนำในการแก้ไขปัญหา ระบบผู้เชี่ยวชาญมีกลไกวินิจฉัยอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

- กลไกวินิจฉัยแบบย้อนกลับ (Backward Chaining Method)
- กลไกวินิจฉัยแบบไปข้างหน้า (Forward Chaining Method)
- กลไกวินิจฉัยแบบกฎ - ค่าความสำคัญ (Rule - Value Method)

- **ส่วนแสวงหาความรู้** (Knowledge Acquisition)

การแสวงหาความรู้ทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความรู้ใหม่ที่เพิ่มเข้าสู่ระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นได้มาจาก หนังสือ บทความทางวิชาการ รายงานประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ฯลฯ วิศวกรความรู้ (Knowledge Engineer) จะนำความรู้ใหม่เข้าสู้ระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยจะออกแบบส่วนแสวงหาความรู้ และการแสดงความรู้ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **ส่วนติดต่อกับผู้ใช้** (User Interface)

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้จะช่วยให้ติดต่อกับระบบผู้เชี่ยวชาญได้สะดวก รวดเร็ว โดยทำหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างระบบผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้นี้จะแปลงข้อมูลที่ได้จากระบบผู้เชี่ยวชาญให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายต่อผู้ใช้ และทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบผู้เชี่ยวชาญให้อยู่ในรูปแบบที่ระบบผู้เชี่ยวชาญจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ประกอบด้วยส่วนรับข้อมูล (Data Input) และส่วนการแสดงผล (Reporting)

- **ส่วนอธิบาย** (Explanation Facility)

ส่วนอธิบายจะแสดงคำอธิบาย การให้เหตุผล และวิธีแก้ไขปัญหา เพื่อให้ผู้ใช้มีความมั่นใจและเข้าใจขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบผู้เชี่ยวชาญ การอธิบายเหตุผลและวิธีการแก้ปัญหาจะกำหนดในขอบเขตเฉพาะ และเป็นคำอธิบายสั้น ๆ

1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ

เครื่องมือที่ใช้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

- ภาษาโปรแกรม (Program Language)

ภาษาโปรแกรมที่เหมาะสมกับงานด้านการค้นคว้าและพัฒนาในสาขาปัญญาประดิษฐ์ [4,5] คือ LISP (List Processing) และ Prolog (Programming in Logic)

- เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System Shell)

เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยจะกำหนดกลไกวินิจฉัย และวิธีการแทนความรู้ไว้แล้ว แต่ฐานความรู้จะไม่มีข้อมูลอยู่ ดังนั้นการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญจึงเหลือแต่การรวบรวมความรู้ จัดระเบียบ และนำมาใส่ในฐานความรู้เท่านั้น [5]

1.4 การจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Coordination)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้บริโภค รวมทั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วย อุปกรณ์ป้องกันทำหน้าที่ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากสภาวะผิดพร่องของระบบ โดยอุปกรณ์ป้องกันจะทำงานป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่ตนเองรับผิดชอบอย่างเดียวไม่พอ แต่จะต้องทำงานให้สัมพันธ์กันกับอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ ด้วย การจัดการทำงานให้สัมพันธ์กันของอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญดังนี้ [7]

- ลดการเกิดไฟดับ เนื่องจากการเกิดลัดวงจรแบบชั่วคราว
- จำกัดจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ถูกกระทบเนื่องจากการดับไฟ
- ช่วยในการหาตำแหน่งการเกิดลัดวงจร และช่วยลดระยะเวลาการดับไฟ

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection) จากการลัดวงจร (Short Circuit) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- ฟิวส์ (Fuses)
- รีโคลสเซอร์ (Recloser)
- รีเลย์ (Relay)

1.5 ฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ฐานความรู้นี้จะเป็นส่วนที่เก็บข้อมูลของ ข้อเท็จจริง และกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการวินิจฉัย เพื่อหาข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกันในการทำงาน สามารถแยกออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้ [8-12]

- ฐานข้อมูลระบบไฟฟ้า
- ฐานข้อมูลการป้องกันของระบบไฟฟ้า
- ฐานข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน
- ฐานข้อมูลกฎเกณฑ์ต่าง ๆ

บทที่ 2

การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะมีหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยไปจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ เช่น ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีความเชื่อถือได้ และมีความมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้าสูง ดังนั้น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะต้องมีการจัดระบบการป้องกันที่ดีให้กับระบบไฟฟ้า เพื่อจำกัดการขัดข้องของระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ [7] และการออกแบบระบบป้องกันที่ดีจะช่วยในการค้นหาและซ่อมแซมส่วนของระบบจำหน่ายที่เกิดการขัดข้องเป็นไปได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะทำให้ระยะเวลาที่ไฟดับสั้นลงด้วย

ในการป้องกันระบบไฟฟ้านั้นอุปกรณ์ป้องกันแต่ละชุดจะไม่สามารถป้องกันทั้งระบบและการขัดข้องทุก ๆ แบบได้นอกจากนั้นในการป้องกันจะต้องมีการแยกชนิดและตำแหน่งของการขัดข้องที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการแบ่งเขตการป้องกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ [13]

- เขตป้องกัน รีเลย์ (Relay' s zone of protection)
- เขตป้องกัน รีโคลสเซอร์ (Recloser' s zone of protection)
- เขตป้องกัน ฟิวส์ (Fuse' s zone of protection)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแสดงการแบ่งเขตการป้องกันระบบไฟฟ้า

2.1 **คุณสมบัติในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน** [14]

ระบบป้องกันที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ความไว (Sensitivity) ต้องสามารถตรวจพบความขัดข้องที่เกิดขึ้นในเขตป้องกัน ไม่ว่าการขัดข้องที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กเพียงใดก็ตาม
- ความเร็ว (Speed) จะต้องตรวจพบและตัดวงจรได้เร็วตามต้องการเมื่อมีการขัดข้องเกิดขึ้นในเขตป้องกันและในสภาวะที่ต้องทำงาน
- ความสามารถในการเลือกสรร (Selectivity) ต้องสามารถแยกประเภทการขัดข้องที่เกิดขึ้นได้ และทำงานได้ถูกต้องตามการออกแบบ
- ความเชื่อถือได้ (Reliability) จะต้องเป็นที่เชื่อถือได้ในการทำงานว่าถูกต้องทุกประการและทำงานได้จริงเมื่อมีการขัดข้องเกิดขึ้นทุกครั้งและทุกเวลา สิ่งหนึ่งที่จะทำให้ระบบป้องกันมีคุณสมบัติข้อนี้อยู่เสมอคือ การบำรุงรักษาที่ดี และสม่ำเสมอ
- ความง่าย (Simplicity) ระบบป้องกันควรจะใช้อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน แข็งแรง ทนทาน ใช้วงจรประกอบที่ง่ายต่อการบำรุงรักษา
- ความประหยัด (Economy) ราคาของระบบควรจะต่ำที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ แต่ระบบจะต้องทำงานได้สมบูรณ์อย่างที่ออกแบบเอาไว้

คุณสมบัติทั้งหมดนี้เป็นลักษณะความต้องการของระบบป้องกันที่สมบูรณ์แบบ แต่ในการออกแบบและใช้งานจริงนั้น อาจทำไม่ได้ทุกข้อ ดังนั้นในการเลือกใช้ระบบป้องกันสำหรับแต่ละงานจึงต้องพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละชุดแยกกัน นอกจากนี้แล้วระบบป้องกันที่ติดตั้งไว้เป็นระยะเวลานาน อาจจะมีฝุ่นละออง ความชื้นเข้าไปอยู่ในส่วนต่าง ๆ อาจจะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันนั้นผิดพาดได้ การบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ

2.2 **ชนิดของระบบป้องกัน** [13,14]

- ระบบป้องกันหลัก (Primary protection system)

ระบบป้องกันหลักนี้จะทำหน้าที่ในการป้องกันระบบไฟฟ้าในเขตการป้องกันของตนเอง เมื่อเกิดการขัดข้องขึ้นภายในเขตป้องกัน ระบบป้องกันชุดนี้จะต้องตรวจพบและตัดเฉพาะส่วนที่เกิดการขัดข้องออกจากระบบไฟฟ้าก่อนที่ อุปกรณ์ป้องกันชุดอื่น ๆ จะทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดไฟดับเป็นพื้นที่กว้าง

- ระบบป้องกันสำรอง (Back up protection system)

เป็นระบบป้องกันที่ออกแบบให้ทำงานในกรณีที่ระบบป้องกันหลักไม่ทำงานซึ่งมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- กระแสหรือแรงดันที่จ่ายให้รีเลย์ป้องกันเกิดขัดข้อง
- รีเลย์ขัดข้อง
- วงจรสั่งอุปกรณ์ตัดตอนขัดข้อง
- อุปกรณ์ตัดตอนขัดข้อง
- ใช้ฟิวส์ขนาดใหญ่เกินไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกัน

การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะแยกออกเป็นการป้องกันในส่วนต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ จะต้องออกแบบระบบป้องกันให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อตัดส่วนที่เกิดการผิดพร่องออกจากระบบให้น้อยที่สุด และจะทำให้ทราบตำแหน่งของระบบที่เกิดการผิดพร่อง โดยจะมีส่วนช่วยให้การซ่อมแซมระบบทำได้รวดเร็ว ส่วนของผู้ใช้ไฟที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ก็จะน้อยลง และระยะเวลาที่ไฟดับก็จะสั้นลง

อุปกรณ์ป้องกันที่พิจารณาในการจัดความสัมพันธ์ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในระบบจำหน่าย ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกันดังนี้

1. รีเลย์ (Relay)
2. รีโคลสเซอร์ (Recloser)
3. ฟิวส์ (Fuse)

จากอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวสามารถนำมาจัดความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [15]

- ฟิวส์ – ฟิวส์ (Fuse to Fuse coordination)
- ฟิวส์ – รีโคลสเซอร์ (Fuse to Recloser coordination)
- รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ (Recloser to Recloser coordination)
- รีเลย์ – ฟิวส์ (Relay to Fuse coordination)
- รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ (Relay to Recloser coordination)
- รีเลย์ – รีเลย์ (Relay to Relay coordination)

2.3.1 ประโยชน์ของการจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกัน [7,15]

การจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ดีจะทำให้เกิดประโยชน์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. จำนวนครั้งและจำนวนชั่วโมงที่ไฟดับจะลดลง
2. ไฟดับเฉพาะส่วนน้อยที่สุดที่ผิดปกติ
3. แก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้องได้รวดเร็ว เนื่องจากทราบเขตป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันชุดที่ทำงานเปิดวงจร

4. ลดรายจ่าย
5. สร้างทัศนคติที่ดีแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า

2.3.2 **ข้อมูลที่จำเป็นในการจัดความสัมพันธ์** [15,16]

ข้อมูลที่จำเป็นในการจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แผนผังของระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่จะทำการป้องกัน แสดงตำแหน่ง ชนิด และขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตำแหน่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่สำคัญ
2. อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบที่จะป้องกัน เช่น สายไฟ หม้อแปลง และอื่น ๆ ซึ่งแสดงในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ หรือ โอห์ม
3. กระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุดที่จะไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันที่ตำแหน่งต่าง ๆ
4. กระแสโหลดสูงสุดที่จะไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกัน
5. คุณสมบัติและลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละชุดที่ใช้งานในระบบป้องกัน
6. ข้อมูลต่าง ๆ ในระบบจำหน่าย เช่น บริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น บริเวณที่เกิดฟ้าผ่าบ่อย หรือเป็นบริเวณที่มีความผิดพร่องแบบชั่วคราวเกิดขึ้นบ่อยครั้ง เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติม หรือกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้สอดคล้องกับชนิดของความผิดพร่องที่จะเกิดขึ้น

2.3.3 **ขั้นตอนและวิธีการ** [15]

1. จัดทำแผนผังของระบบไฟฟ้า
2. คำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่จุดติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และที่ปลายสายเขตป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันชุดนั้น ๆ
3. พิจารณาตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดตอนตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)
4. ทำการจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดในระบบไฟฟ้าที่ต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 **ข้อกำหนดกระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน** [15]

1. กระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจะต้องมีค่ามากกว่ากระแสโหลดสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันชุดนั้น และอุปกรณ์ป้องกันจะต้องไม่ทำงานเนื่องจาก Inrush current ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า หรืออาจกล่าวได้ว่าในการจ่ายโหลดปกติอุปกรณ์ป้องกันจะต้องไม่ทำงานแต่จะทำงานเมื่อเกิดความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันเท่านั้น
2. กระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ควรจะมีค่าน้อยกว่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดที่อาจจะเกิดขึ้นในเขตป้องกันของอุปกรณ์ชุดนั้น เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานทุกครั้งที่เกิดการลัดวงจร
3. ในระบบ Multigrounded system 3 phase 4 wire เช่น ในระบบจำหน่าย 33 kV ของ กฟภ. กระแสเริ่มทำงานทางด้านกราวด์ของอุปกรณ์ป้องกันจะต้องมีค่ามากกว่ากระแสโหลดไม่สมดุลย์ที่ไหลผ่านในสายกราวด์ และจะต้องมีค่ามากพอที่จะไม่ทำงานเนื่องจาก Inrush current ของกระแสที่ไม่สมดุลย์นี้ด้วย

2.4 **การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์** (Fuse to Fuse coordination)

ตามมาตรฐาน IEEE Std 100-1972 และ ANSI C42.100-1972 ได้ให้คำนิยามของฟิวส์ดังนี้ "อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ทำการเปิดวงจรโดยการใช้ความร้อนซึ่งเกิดจากกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์และหลอมละลายส่วนที่กำหนด (Fusible element)" จากคำนิยามพบว่าฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน เมื่อกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์มีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดของฟิวส์ ฟิวส์จะเริ่มหลอมละลายจนเปิดวงจรในที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสและคุณสมบัติทาง เวลา - กระแส ของฟิวส์ที่ทำหน้าที่ป้องกันนั้น ฟิวส์ได้ถูกจัดแบ่งชนิดตามคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น พิกัดแรงดัน พิกัดกระแส และอื่น ๆ ตามมาตรฐาน ANSI/UL 198-1982 ได้แบ่งฟิวส์ออกเป็น 2 ชนิด [17]

- ฟิวส์แรงดันต่ำ
  คือฟิวส์ซึ่งมีพิกัดแรงดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 V
- ฟิวส์แรงดันปานกลาง - แรงดันสูง
  คือฟิวส์ซึ่งมีพิกัดแรงดันอยู่ระหว่าง 2.3 -138 kV

ส่วนในระบบจำหน่าย อาจแบ่งชนิดของฟิวส์ออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 ชนิด [17]

- ฟิวส์ชนิดทำงานเร็ว (Type K)
- ฟิวส์ชนิดทำงานช้า (Type T)

ก่อนที่จะทำการเลือกฟิวส์เพื่อป้องกันส่วนต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายนั้น จะต้องพิจารณาข้อมูลของระบบจำหน่ายที่จะทำการป้องกัน ข้อมูลที่ต้องทราบมีดังนี้ [18]

1) ระดับแรงดันของระบบจำหน่าย และระดับของฉนวน
2) ชนิดของระบบจำหน่าย
3) ขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุด ณ. จุดที่พิจารณาติดตั้ง และอัตราส่วน X/R
4) กระแสโหลด

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถเลือกพิกัดของฟิวส์ที่จะใช้งานได้ดังนี้

1) พิกัดกระแสต่อเนื่อง
2) พิกัดแรงดัน
3) พิกัดกระลัดวงจร

เมื่อทราบข้อมูลของระบบจำหน่ายและข้อมูลของฟิวส์แล้ว ก็สามารถเริ่มจัดความสัมพันธ์ระหว่าง ฟิวส์ - ฟิวส์ ได้ โดยในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะแยกออกเป็น 2 แบบ คือ ฟิวส์ป้องกันหลัก (Protecting fuse) และฟิวส์ป้องกันสำรอง (Protected fuse) วิธีที่ใช้ในการจัดความสัมพันธ์มี 2 วิธีหลัก ๆ [19]

1) วิธีคุณสมบัติ เวลา - กระแส ของฟิวส์ (Time - Current Curves)
2) วิธีตารางการจัดความสัมพันธ์ (Coordination Table)

ในบางกรณีอาจจะใช้วิธี Rule of thumb แต่วิธีนี้ไม่ถูกแนะนำให้ใช้ [18]

2.4.1 **วิธีคุณสมบัติ เวลา-กระแส** (Time-Current Curves)

วิธีการใช้คุณสมบัติ เวลา-กระแส ในการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง ฟิวส์-ฟิวส์ นั้นมีข้อกำหนดดังนี้

- พิกัดกระแสต่อเนื่องของฟิวส์ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกระแสโหลด
- พิกัดตัดกระแสลัดวงจรของฟิวส์ต้องมากกว่า ขนาดกระแสลัดวงจร ณ. จุดที่พิจารณา
- อัตราส่วน CT/MT ต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับ 75% และ 92% สำหรับฟิวส์แบบตะกั่ว และแบบเงิน
- ถ้ากราฟ CT และ MT ของฟิวส์ทั้งสองตัดกัน กระแสทั้งสองจุดนั้นจะเป็นขีดจำกัดของการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ทั้งสองนั้น

- CT = Maximum clearing time of protecting fuse
- MT = Minimum melting time of protected fuse

2.4.2 **วิธีตารางการจัดความสัมพันธ์** (Coordination tables) [19]

บริษัทผู้ผลิตฟิวส์จะเป็นผู้สร้างตารางการจัดความสัมพันธ์นี้ขึ้นมา เพื่อช่วยในการจัดความสัมพันธ์ โดยตารางนี้จะประกอบด้วย ขนาดของฟิวส์ป้องกันหลัก ขนาดของฟิวส์ป้องกันสำรอง และขนาดของกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ฟิวส์แต่ละคู่จะสามารถจัดความสัมพันธ์ร่วมกันได้ เมื่อพิจารณาข้อมูลที่มีอยู่ในตารางการจัดความสัมพันธ์แล้วจะพบว่า ตารางนี้จะช่วยให้การจัดความสัมพันธ์ทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่า การใช้วิธีคุณสมบัติ เวลา-กระแส มาก

รูปที่ 2.2 แสดงฟิวส์ A และ ฟิวส์ B

การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ มีข้อกำหนดคือ เมื่อเกิดการผิดพร่องขึ้นในระบบจำหน่ายหลังฟิวส์ B (Protecting Fuse) ฟิวส์ B จะต้องขาดก่อนที่ฟิวส์ A (Protected Fuse) จะเริ่มหลอมละลาย ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดขนาดฟิวส์ A และ B ตามรูปที่ 2.2 ให้ทำงานสัมพันธ์กันดังนี้ [15]

1) ความคลาดเคลื่อนในเวลาทำงานของฟิวส์ (Tolerances)
2) ผลของอุณหภูมิต่อเวลาในการทำงานของฟิวส์ (Ambient temperature effect)
3) ผลของกระแสโหลดปกติก่อนเกิดความผิดพร่องต่อเวลาการทำงานของฟิวส์ (Pre loading effect)
4) ผลกระทบเนื่องจากกระแสเกินพิกัดก่อนถึงจุดเริ่มหลอมละลาย (Pre – damage effects)

การจัดฟิวส์ให้ทำงานได้สัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ จะต้องนำองค์ประกอบต่าง ๆ ข้างต้นที่มีต่อเวลาการทำงานของฟิวส์มาพิจารณาด้วยทุกครั้ง แต่ในทางปฏิบัติกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อครอบคลุมผลกระทบองค์ประกอบต่าง ๆ ข้างต้น ดังนี้คือ “เวลามากที่สุดที่ฟิวส์ B ขาดออกจากกัน จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 75% หรือ 92% ของ เวลาน้อยที่สุดที่ฟิวส์ A เริ่มหลอมละลาย สำหรับฟิวส์ชนิด ตะกั่ว และ เงิน ตามลำดับ “ หรือเขียนเป็นอัตราส่วนได้ดังนี้ [15,16]

$$\frac{\text{TOTAL CLEARING TIME OF FUSE B.}}{\text{MINIMUM MELTING TIME OF FUSE A.}} \leqslant 75\% \ , 92\%$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อเวลาการทำงานของฟิวส์ ดังนี้

ก) ความคลาดเคลื่อน (Tolerances)

ให้พิจารณากราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างกระแสและเวลา ตามมาตรฐาน EEI-NEMA ที่กำหนดไว้ดังนี้

- Minimum melting time curve จะมีความคลาดเคลื่อนทางด้านบวก
- Total clearing time curve จะมีความคลาดเคลื่อนทางด้านลบ
- เวลาน้อยที่สุดที่ฟิวส์จะทำงานได้ที่เวลามากกว่า 0.8 ไซเคิล

ข) ผลของอุณหภูมิ (Ambient temperature effects)

- กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างกระแสและเวลา ตามมาตรฐาน EEI-NEMA ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C

ถ้าอุณหภูมิโดยรอบขณะใช้งานปกติ มีค่าสูงกว่า 25 °C เมื่อเกิดกระแสเกินพิกัด Minimum melting time จะมีค่าลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C จะทำให้ Minimum melting time มีค่าเพิ่มขึ้นที่กระแสเกินพิกัดค่าเดียว เป็นการยากที่จะนำผลของอุณหภูมิมาพิจารณา เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบมีการเปลี่ยนแปลงตามวัน เวลา ฤดูกาลต่าง ๆ ดังนั้นจึงใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมาปรับค่ากราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างกระแสและเวลา

ค) ผลของกระแสโหลดปกติก่อนเกิดความผิดพร่อง (Pre – loading effects)

- กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างกระแสและเวลา ทั้ง Minimum melting time curve และ Total clearing time curve ได้จากการทอสอบโดยไม่มีกระแสไหลผ่านเลย ก่อนป้อนกระแสเกินพิกัดให้ทำงาน
- การที่มีกระแสโหลดไหลผ่านส่วนหลอมละลายของฟิวส์ ก่อนที่จะมีกระแสเกินพิกัดไหลผ่าน จะทำให้ส่วนหลอมละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เวลาที่ฟิวส์หลอมละลายลดลง

- เป็นการยากที่จะนำผลของกระแสโหลดปกติมาพิจารณา เนื่องจากกระแสโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงโหลดสูงสุดและต่ำสุดในรอบหนึ่งวัน โดยทั่วไปจะกำหนดค่าผลของโหลดปกติประมาณ 50 % ของโหลดสูงสุด

ง) ผลกระทบเนื่องจากกระแสเกินพิกัด (Pre – damage effects)

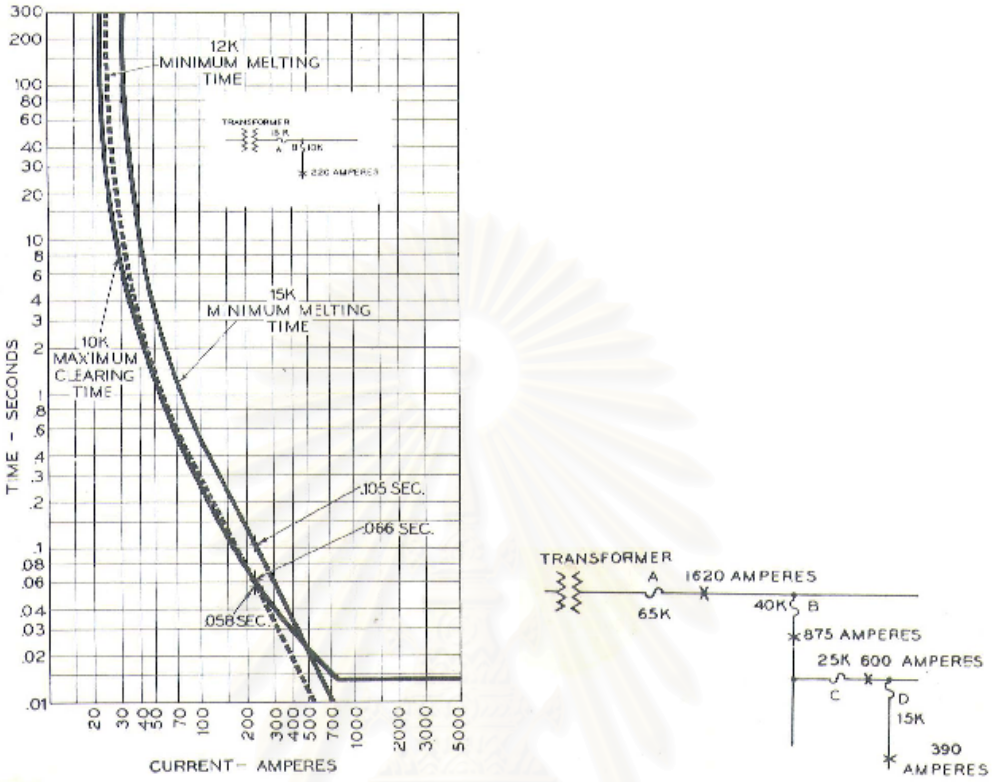
- เมื่อเกิดกระแสเกินพิกัดไหลผ่านฟิวส์ แต่ยังไม่ถึงเวลาหลอมละลายแล้วกระแสเกินพิกัดถูกตัดออกไป ต่อมาเมื่อมีกระแสเกินพิกัดไหลผ่านฟิวส์ชุดนี้อีกครั้งหนึ่งจะทำให้เวลาหลอมละลายของฟิวส์เร็วกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด
- จากการทดสอบฟิวส์ที่มีส่วนหลอมละลายทำด้วยดีบุกและเงิน ปรากฏว่าผลกระทบเนื่องจากกระแสเกินพิกัดต่อเวลาหลอมละลายของฟิวส์จะเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสเกินพิกัดไหลผ่านฟิวส์ที่มีส่วนหลอมละลายทำด้วยดีบุกและเงิน เป็นเวลานานกว่า 90 % และ 95% ของ Minimum melting time ตามลำดับ

จากหลักเกณฑ์ข้างต้นที่กำหนดให้ใช้ตัวประกอบ 75% ในการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ - ฟิวส์ ได้รวมองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อเวลาทำงานของฟิวส์ที่มีส่วนหลอมละลายทำด้วยดีบุก และเป็นฟิวส์ชนิด K ดังนี้

10 % สำหรับ Pre-damage และ Tolerances
9 % สำหรับ Pre-loading
5% สำหรับ Extra ordinary ambient

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ ซึ่งมีระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ และ กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของฟิวส์

ในการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ ใช้วิธีการจัดแบบใช้คุณสมบัติเวลาและกระแสของฟิวส์

- ฟิวส์ที่ตำแหน่ง B รับกระแสโหลด 10 A จึงกำหนดให้ใช้ฟิวส์ขนาด 10 K ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่จะใช้ได้ตามข้อกำหนด
- ที่ตำแหน่ง B กระแสลัดวงจรสูงสุดที่ 220 A ฟิวส์ B ใช้เวลามากที่สุดในการทำงาน 0.066 วินาที (maximum clearing time)
- พิจารณาเลือกฟิวส์ตำแหน่ง A ขนาด 12K จะพบว่าที่กระแสลัดวงจร 220 A เวลาน้อยที่สุดที่ฟิวส์ใช้ในการหลอมละลายคือ 0.058 วินาที ซึ่งพบว่าไม่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กับฟิวส์ที่ตำแหน่ง B ได้เนื่องจากอัตราส่วน CT/MT มากกว่า 75 % ถ้าเปลี่ยนขนาดฟิวส์เป็น 15K MT จะมีค่าเท่ากับ 0.105 วินาที อัตราส่วน CT/MT = 62.8% ซึ่งน้อยกว่า 75 %

ดังนั้น ฟิวส์ที่ตำแหน่ง A ควรจะมีขนาด 15K จึงจะทำงานได้สัมพันธ์กับ ฟิวส์ที่ตำแหน่ง B

ถ้ามีการติดตั้งฟิวส์ในระบบจำหน่ายซ้อนมากกว่า 3 ตำแหน่ง โอกาสที่จะจัดเลือกขนาดฟิวส์ให้ทำงานได้สัมพันธ์กันทุกค่าของกระแสลัดวงจรจะทำได้ยาก ดังนั้นในระบบจำหน่ายจึงไม่ควรติดตั้งฟิวส์ซ้อนกันหลายตำแหน่งมากเกินไป จากตัวอย่างนี้จะพบว่าการตรวจสอบขนาดฟิวส์ให้ทำงานได้สัมพันธ์กันจะต้องเสียเวลาในการเขียนกราฟ และใช้เวลาในการคำนวณ ซึ่งจะยุ่งยากและไม่สะดวกในการทำงาน ดังนั้นเพื่อให้การเลือกขนาดฟิวส์สามารถกระทำได้ง่ายและรวดเร็ว จึงจัดทำตารางแสดงค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด เมื่อเทียบอัตราส่วนระหว่าง CT และ MT แล้วเท่ากับ 75% ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กำหนดให้ฟิวส์ทั้งสองตำแหน่งทำงานได้สัมพันธ์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์ – ฟิวส์ [16]

B	A Protected Fuse								
Protecting									
Fuse	6k	10k	15k	25k	40k	65k	100k	140k	200k
6k		190	510	840	1340	2200	3650	5800	9200
10k			220	840	1340	2200	3650	5800	9200
15k				390	1304	2200	3650	5800	9200
25k					620	2200	3650	5800	9200
40k						900	3650	5800	9200
65k							1950	5800	9200
100k								2800	9200
140k									5100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>หมายเหตุ</u> - ค่ากระแสที่ปรากฏในตารางเป็นค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด (A) หลัง Protecting Fuse B ที่ทำให้ Total clearing time ของ Protecting Fuse B เท่ากับ 75% ของ Minimum melting time ของ Protected Fuse A

- ช่องว่างในตารางที่ไม่ปรากฏค่ากระแสลัดวงจรแสดงว่าไม่สามารถจัดให้ทำงานสัมพันธ์กันได้

2.5 **การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์-รีโคลสเซอร์** (Fuse-to-Recloser coordination)

การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์-รีโคลสเซอร์ [17,18] สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

- ฟิวส์อยู่ทางด้านสถานีไฟฟ้า
- ฟิวส์อยู่ทางด้านโหลด

2.5.1 **ฟิวส์อยู่ทางด้านสถานีไฟฟ้า**

กรณีนี้การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์-รีโคลสเซอร์ จะต้องเลือกให้รีโคลสเซอร์ทำงานสัมพันธ์กับฟิวส์ [18] ซึ่งฟิวส์จะทำหน้าที่ป้องกันหม้อแปลงและป้องกันบัสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ฟิวส์จะไม่ทำงานป้องกันสายจำหน่ายหลักที่อยู่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงหรือสายจำหน่ายด้านโหลดของรีโคลสเซอร์ หลักการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์-รีโคลสเซอร์คือการเลือกการทำงานของรีโคลสเซอร์ให้ทำงานเร็วกว่าฟิวส์เริ่มหลอมละลาย

กรณีฟิวส์อยู่ทางสถานีไฟฟ้าจะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากงานวิจัยจะมีขอบเขตพิจารณาการป้องกันตั้งแต่รีเลย์ขาออก (Outgoing Relay) ของระบบจำหน่ายเท่านั้น

2.5.2 **ฟิวส์อยู่ทางด้านโหลด**

กรณีนี้การจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์-รีโคลสเซอร์ จะต้องเลือกฟิวส์ให้ทำงานสัมพันธ์กันกับรีโคลสเซอร์ [17] ฟิวส์จะทำหน้าที่ป้องกันสายจำหน่ายแยกย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า หลักการจัดความสัมพันธ์มีดังนี้

1) เวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้หลอมละลายต้องมากกว่าเวลาของการทำงานเร็วที่สุดของรีโคลสเซอร์คูณด้วยตัวคูณตามตารางที่ 2.2
2) เวลามากที่สุดในการเปิดวงจรของฟิวส์ จะต้องน้อยกว่าเวลาการทำงานแบบหน่วงเวลาของรีโคลสเซอร์

ส่วนใหญ่จะกำหนดลำดับการทำงานของรีโคลสเซอร์เป็นแบบเร็ว 1 และหน่วง 2 ครั้ง เมื่อฟิวส์อยู่ทางด้านโหลด การทำงานแบบเร็วครั้งแรกของรีโคลสเซอร์ จะช่วยกำจัดการผิดพร่องแบบชั่วคราวของระบบจำหน่ายได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟิวส์จะทำงานก่อนที่รีโคลสเซอร์ทำงานแบบช้าครั้งที่ 2 ในการกำจัดการลัดวงจรแบบถาวร

ในทางปฏิบัติแล้วสามารถสรุปเป็นหลักการได้ดังต่อไปนี้

1) ทุกค่าของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นภายในเขตป้องกันของฟิวส์ Minimum melting time ของฟิวส์ จะต้องมีค่ามากกว่า Clearing time ของการทำงานแบบเร็วของรีโคลสเซอร์ที่ถูกคูณยกขึ้นด้วยตัวแปรค่าหนึ่ง ตามตารางที่ 2.2

ตัวคูณนี้ได้จากการทดลองที่คำนึงถึงผลกระทบต่อเวลาเริ่มหลอมละลายของฟิวส์ ซึ่งจะแปรค่าตามช่วงเวลาก่อนการปิดกลับวงจรของรีโคลสเซอร์ (Reclosing time) และจำนวนครั้งที่กำหนดให้ทำงานแบบเร็ว (Fast curve) จะมีค่าต่าง ๆ ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวคูณของรีโคลสเซอร์ [18]

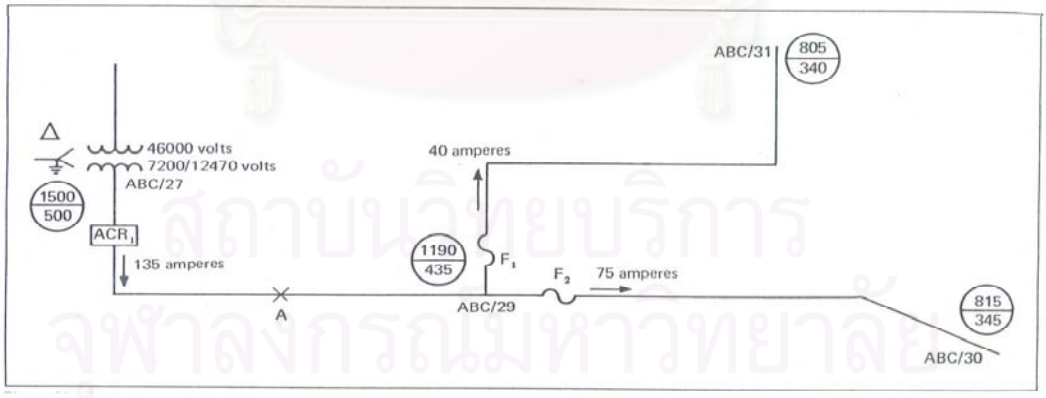
Reclosing time	จำนวนครั้งของการทำงานแบบเร็ว	
Cycles	1 ครั้ง (maximum)	2 ครั้ง (maximum)
25-30	1.2	1.8
60	1.2	1.35
90	1.2	1.35
120	1.2	1.35

จุดตัดของ Minimum melting time curve ของฟิวส์ กับ Fast curve ของรีโคลสเซอร์ที่ถูกยกขึ้นด้วยตัวคูณแล้ว จะเป็นจุดบอกค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่สามารถทำงานสัมพันธ์กัน (Maximum coordinating current) ซึ่งหมายความว่า ถ้าเกิดความผิดพร่องขึ้นหลังฟิวส์และมีค่ากระแสลัดวงจรต่ำกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดนี้ รีโคลสเซอร์จะทำงานด้วย Fast curve ก่อน โดยที่ฟิวส์จะยังไม่เริ่มหลอมละลาย ซึ่งในการทำงานในลักษณะนี้จะเป็นการกำจัดความผิดพร่องแบบชั่วคราวหลังฟิวส์

2) ทุกค่าของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นภายในเขตป้องกันของฟิวส์ Total clearing time ของฟิวส์จะต้องมีค่าน้อยกว่า Clearing time ของการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์

จุดตัดของ Total clearing time curve ของฟิวส์กับ Slow curve ของรีโคลสเซอร์จะเป็นจุดบอกค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดที่สามารถทำงานสัมพันธ์กัน (Minimum coordination current) ซึ่งหมายความว่าถ้าเกิดความผิดพร่องขึ้นหลังฟิวส์เป็นความผิดพร่องแบบถาวรแล้วมีค่ากระแสลัดวงจรสูงกว่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดนี้ ฟิวส์จะขาดก่อนที่รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Slow curve เป็นการกำจัดความผิดพร่องแบบถาวรหลังฟิวส์ โดยระบบจำหน่ายส่วนใหญ่ของรีโคลสเซอร์ยังจ่ายไฟได้ปกติ

ถ้า Total clearing time curve ของฟิวส์อยู่ต่ำกว่า Clearing time ของ Slow curve ตลอด คือไม่มีจุดตัดกันของ Curve ค่าต่ำสุดที่จะจัดความสัมพันธ์ได้คือ ค่ากระแสทำงานต่ำสุด (Minimum trip current) ของรีโคลสเซอร์



รูปที่ 2.4 การจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีโคลสเซอร์ กับ ฟิวส์ทางด้านโหลด [21]

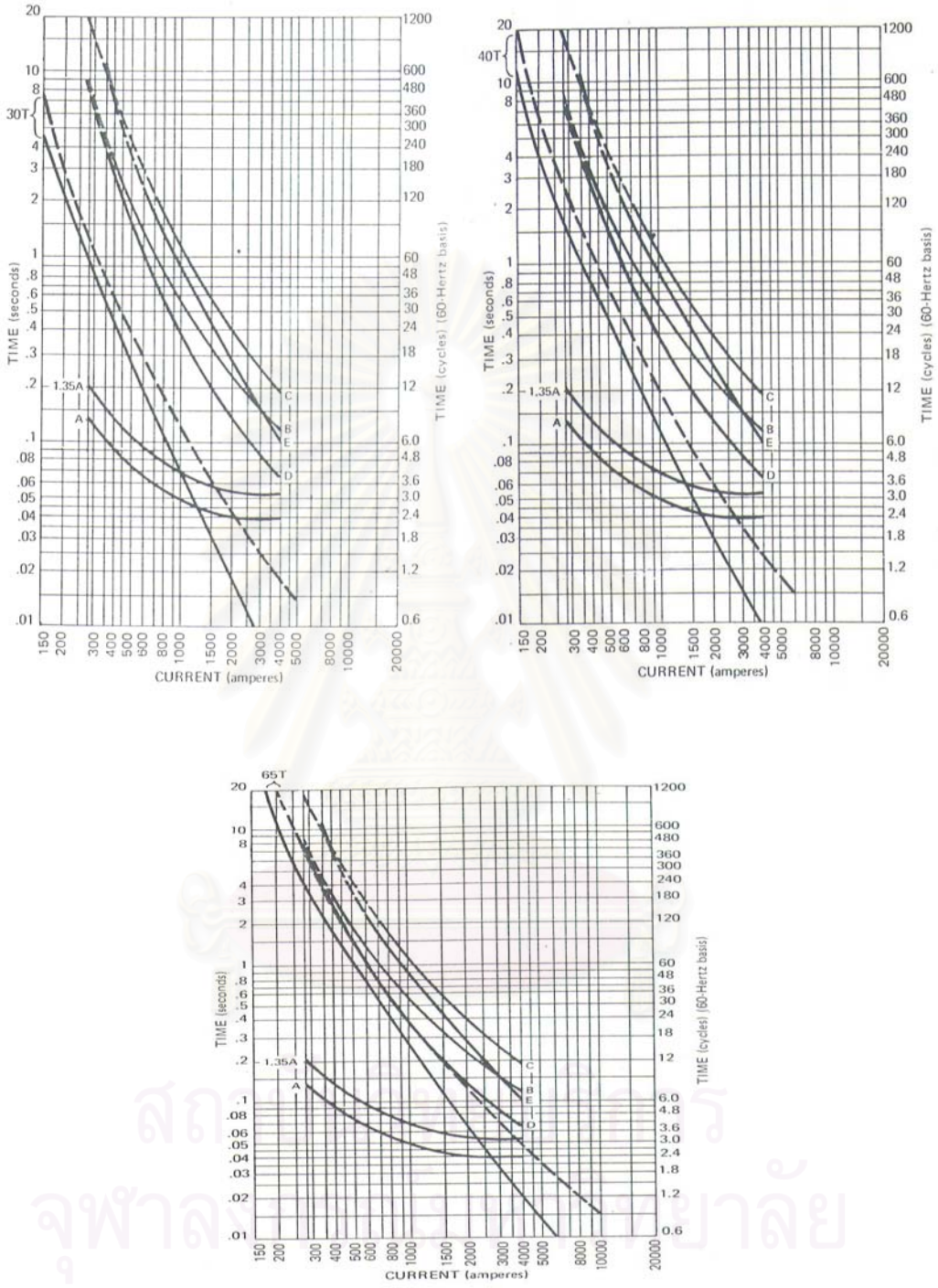
ตัวอย่าง ให้พิจารณาเลือกขนาดฟิวส์ที่จะทำงานได้สัมพันธ์กับรีโคลสเซอร์ดังรูป

กำหนดให้ค่าต่าง ๆ ของรีโคลสเซอร์ ดังนี้

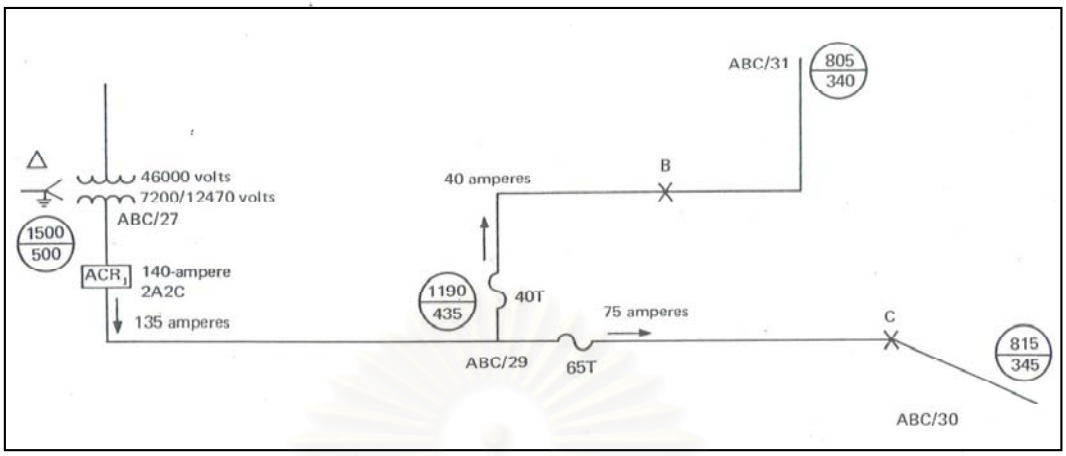
- Interrupting capacity = 4000 amps at 14.4 kV
  เป็นค่าที่เพียงพอสำหรับกระแสลัดวงจรสูงสุดที่สถานี 1500 A
- Continuous rating current = 140 A
  ซึ่งมีค่าสูงกว่ากระแสสูงสุดของโหลด 135 A
- Minimum Trip level = 280 A
  ซึ่งเป็นค่าที่ครอบคลุมกระแสลัดวงจรต่ำสุด 340 A
- กำหนดให้ทำงานแบบ 2 fast 2 slow reclosing time = 120 cycles
  จากตารางที่ 2.2 ใช้ค่า maximum ซึ่งมีตัวคูณยก curve เร็วเท่ากับ 1.35
  ความถี่ = 60 Hz

จากรูปที่ 2.5 จะพบว่า ฟิวส์ขนาด 30T ที่ตำแหน่ง F1 ไม่สามารถรับกระแสลัดวงจร 1190 A ได้ แต่ถ้าเป็นฟิวส์ขนาด 40T จะสามารถรับกระแสลัดวงจรสูงสุดได้ถึง 1420 A ดังนั้น ฟิวส์ที่ตำแหน่ง F1 จึงเลือกขนาด 40T เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับ รีโคลสเซอร์ทางด้านสถานีได้ ต่อไปจะพิจารณาฟิวส์ที่ตำแหน่ง F2 กำหนดให้เป็นขนาด 65T จะพบว่าสามารถรับกระแสลัดวงจรสูงสุดได้ 2400 A ดังนั้นฟิวส์ที่ตำแหน่ง F1 และ F2 มีขนาด 40T 60T ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟ เวลา - กระแสของ รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์ ตามตัวอย่างการจัดความสัมพันธ์



รูปที่ 2.6 แสดงผลการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์ – ฟิวส์ด้านโหลด

2.6 การจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีโคลสเซอร์-รีโคลสเซอร์ (Recloser-to-Recloser coordination)

Gonen (1986) [19] กำหนดคำนิยามของรีโคลสเซอร์ว่า "อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำหน้าที่เปิด-ปิดวงจรตามจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ เพื่อกำจัดการผิดพร่องของวงจรทั้งแบบชั่วคราวและแบบถาวร" จากการศึกษาของ McGraw-Edison power system division [18] พบว่า 80-95 เปอร์เซ็นต์ของการผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือศีรษะ เป็นการผิดพร่องแบบชั่วคราว การทำงานของรีโคลสเซอร์มีทั้งแบบทันทีทันใด และแบบหน่วงเวลา รวมทั้งสามารถกำหนดลำดับการทำงานเปิด-ปิดวงจรได้ และยังสามารถกำหนดระยะเวลาในการทำงานเปิดวงจรได้อีกด้วย การทำงานลักษณะนี้เหมาะสมกับการกำจัดการผิดพร่องแบบชั่วคราวของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นรีโคลสเซอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่จะติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อกำจัดการผิดพร่องแบบชั่วคราวนี้ โดยทั่วไปรีโคลสเซอร์จะติดตั้งอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังนี้

1) ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเพื่อป้องกันระบบสายจำหน่าย
2) ติดตั้งกลางสายจำหน่ายที่มีระยะทางไกลเพื่อแยกสายจำหน่ายออกเป็นส่วนย่อย และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดไฟดับเป็นพื้นที่กว้าง
3) ติดตั้งที่สายจำหน่ายย่อยที่มีความสำคัญ ซึ่งการผิดพร่องที่เกิดขึ้นที่สายจำหน่ายย่อยอาจส่งผลต่อสายจำหน่ายหลัก

รีโคลสเซอร์ที่ใช้งานในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหลายชนิด การแบ่งชนิดของรีโคลสเซอร์สามารถแบ่งได้หลายชนิดตามลักษณะต่าง ๆ ของรีโคลสเซอร์ดังนี้

การแยกชนิดของรีโคลสเซอร์ตามระบบไฟฟ้าที่จะใช้งานของรีโคลสเซอร์

- รีโคลสเซอร์แบบเฟสเดียว
- รีโคลสเซอร์แบบสามเฟส

การแยกชนิดของรีโคลสเซอร์ตามระบบควบคุมการทำงาน

- ไฮดรอลิครีโคลสเซอร์
- อิเล็กทรอนิกส์รีโคลสเซอร์

การแยกชนิดของรีโคลสเซอร์ตามตัวกลางในการกำจัดอาร์ค

- รีโคลสเซอร์แบบน้ำมัน
- รีโคลสเซอร์แบบสูญญากาศ

ก่อนที่จะพิจารณาติดตั้งรีโคลสเซอร์จะต้องทราบถึงข้อมูลต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายดังต่อไปนี้ [8]

1) ระดับแรงดันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2) กระแสลัดวงจรสูงสุด ณ จุดติดตั้งรีโคลสเซอร์
3) กระแสโหลดสูงสุด
4) กระแสลัดวงจรต่ำสุดภายในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์
5) การทำงานสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ
6) การตรวจจับการลัดวงจรลงดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์-รีโคลสเซอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) ทำงานสัมพันธ์กันที่ Lock Out หมายถึงการจัดความสัมพันธ์ให้รีโคลสเซอร์ชุดที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดการผิดพร่องแบบถาวรมากที่สุดทำงานจน Lock Out โดยที่รีโคลสเซอร์ชุดที่อยู่ต้นทางยังอยู่ในตำแหน่งปิดวงจรซึ่งรีโคลสเซอร์ทั้งสองชุดอาจทำงานด้วย Fast curve พร้อมกัน แต่จะทำงานสัมพันธ์กันที่ Slow curve
2) ทำงานสัมพันธ์กันที่การทำงาน (Trip coordination) หมายถึงการจัดให้รีโคลสเซอร์ชุดที่อยู่ใกล้ชุดที่อยู่ใกล้จุดเกิดความผิดพร่องมากที่สุดทำงานเพียงชุดเดียว โดย รีโคลสเซอร์ชุดที่อยู่ต้นทางไม่ทำงานเลย การจัดแบบนี้จะทำไม่ได้ ถ้าตั้งไฮดรอลิค รีโคลสเซอร์ชุดที่อยู่ต้นทางให้ทำงาน Fast curve ด้วย แต่จะทำได้สำหรับ อิเลคทรอนิครีโคลสเซอร์ชุดที่อยู่ต้นทาง ถึงแม้จะตั้งให้ทำงาน Fast curve ด้วย โดยใช้ Sequence coordination accessory ช่วยควบคุมการทำงาน

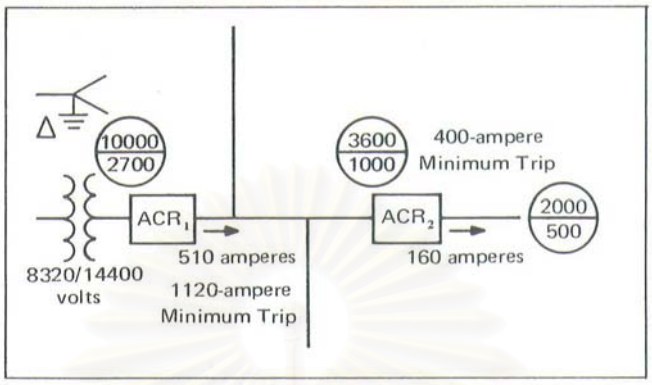
การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์-รีโคลสเซอร์ สามารถทำได้ 4 แบบคือ

1) เลือกกระแสทำงานต่ำสุดให้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด
2) เลือกลักษณะการทำงานให้แตกต่างกัน ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการตามแบบที่ 1 ได้
3) เลือกลำดับการทำงานให้แตกต่างกัน ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการตามแบบที่ 1 ได้
4) แบบผสม ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการตามแบบที่ 1 ได้

รีโคลสเซอร์จะไม่ทำงานพร้อมกัน เวลาทำงานของรีโคลสเซอร์ทั้งสองชุดจะต้องห่างกัน
อย่างน้อยที่สุด 0.2 วินาที สำหรับไฮดรอลิครีโคลสเซอร์ ส่วนอิเลคทรอนิครีโคลสเซอร์ให้เปรียบเทียบ Time current curve โดยชุดต้นทางใช้ Control response time curve ส่วนชุดปลายทางใช้ Clearing time curve

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง ให้จัดความสัมพันธ์ระหว่างอิเลคทรอนิครีโคลสเซอร์ [18]

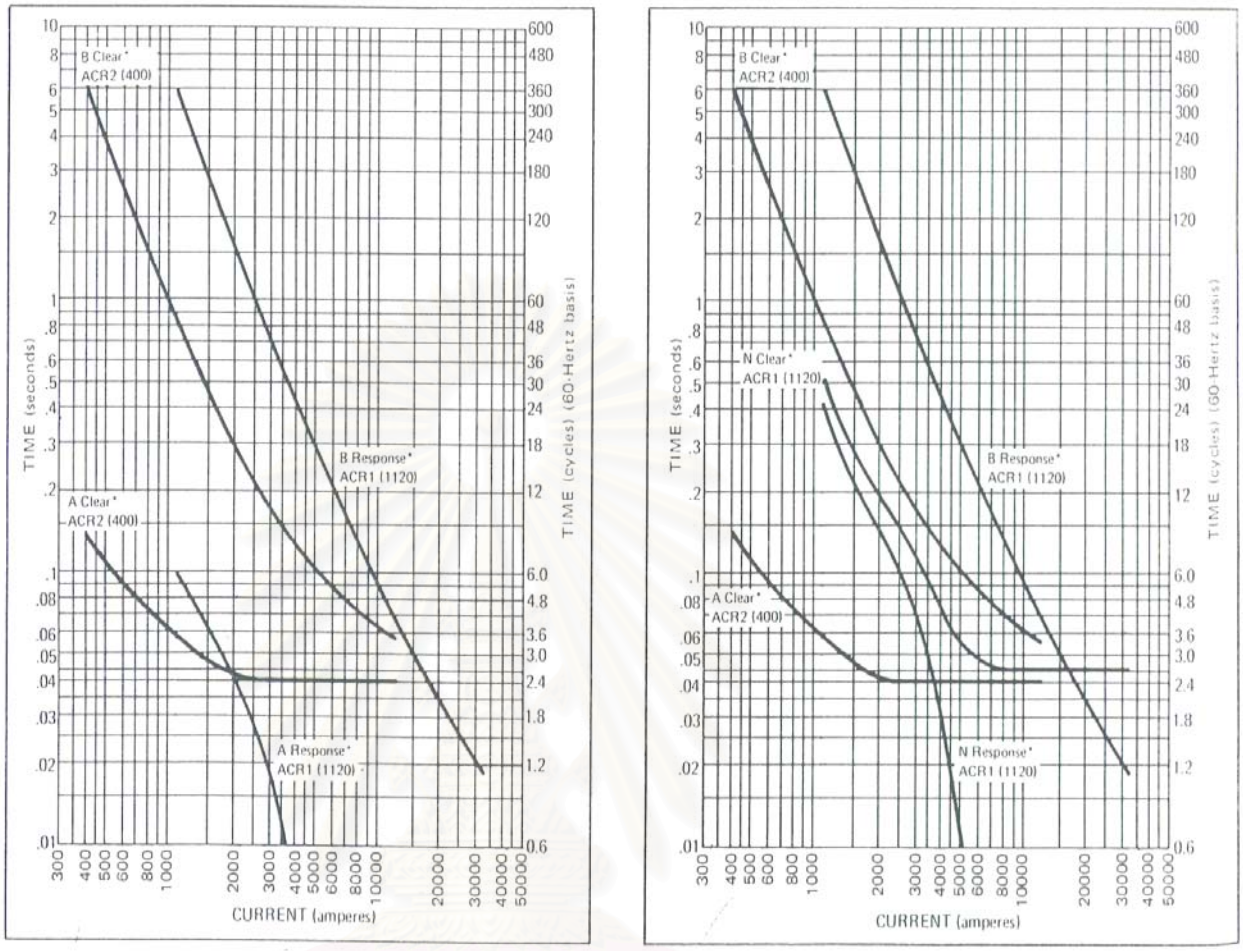


รูปที่ 2.7 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคลสเซอร์ กับ รีโคลสเซอร์

หลังจากที่กำหนดค่าต่าง ๆ ของรีโคลสเซอร์เช่น minimum trip, reclosing time voltage rating, interrupting capacity, operating sequence , type และอื่น ๆ แล้วต่อไปก็จะพิจารณา time – current curve. ของรีโคลสเซอร์ทั้งสอง

ในที่นี้จะเลือกชนิดของรีโคลสเซอร์ WE และ RE สำหรับรีโคลสเซอร์ที่สถานี และที่โหลด เนื่องจากข้อมูล กระแสโหลด และ กระแสลัดวงจร ตามรูปที่ 6 ทั้งนี้การเลือกชนิดของรีโคลสเซอร์ ก็จะขึ้นอยู่กับ ประสบการณ์ทำงาน และ เงื่อนไขต่าง ๆ เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าที่พิจารณาอยู่ ซึ่งจะไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการเลือกชนิดของรีโคลสเซอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข)

รูปที่ 2.8 แสดงกราฟเวลา – กระแส ของรีโคลสเซอร์

จากรูปพบว่ากราฟการทำงานแบบเร็ว (A) และการทำงานแบบช้า (B) ทั้งกราฟ response และ clear curve กำหนดให้ลำดับการทำงานของรีโคลสเซอร์ทั้งสองเป็นแบบ 2A2B

- รูปที่ 2.8 (ก) จะพบว่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่รีโคลสเซอร์ทั้งสองจะทำงานสัมพันธ์กันได้มีค่าอยู่ที่ 1900 A ซึ่งต่ำกว่า 2000 ดังนั้นที่กระแสลัดวงจรมากกว่า 1900 A จะทำให้รีโคลสเซอร์ทั้งสองทำงานด้วย fast curve พร้อมกัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นการจัดความสัมพันธ์ที่ไม่ดีเท่าที่ควร

- รูปที่ 2.8 (ข) เมื่อลองเปลี่ยน curve การทำงานของรีโคลสเซอร์ที่สถานีไฟฟ้าเป็นแบบ N (fast curve) พบว่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่รีโคลสเซอร์ทั้งสองจะสามารถทำงานสัมพันธ์กันได้ มีค่าเป็น 3700 A ซึ่งจะดีกว่า curve A ตามรูปที่ 2.8 (ก)

2.7 การจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีเลย์- ฟิวส์ (Relay-to-Fuse coordination)

การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์- ฟิวส์ นี้แบ่งออกเป็น 2 กรณี

1.) ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง

2.) ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง

หลักการจัดความสัมพันธ์ในกรณีที่ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง และรีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก ตาม Gonen (1986) [19] มีดังนี้

กราฟแสดงเวลาน้อยที่สุดในการหลอมละลายฟิวส์ ต้องมีค่าเท่ากับ 135 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงานของรีเลย์และรีเลย์รวมกัน

ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

หลักการจัดความสัมพันธ์ในกรณีที่ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก และ รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง ตาม Gonen (1986) [19] มีดังนี้

เวลาการทำงานของรีเลย์และรีเลย์รวมกัน จะต้องมีค่า 150 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมดที่ฟิวส์ใช้ในการขจัดความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะทำการจัดความสัมพันธ์แบบที่ฟิวส์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักเพียงอย่างเดียว สำหรับหลักการจัดความสัมพันธ์นี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

1. เมื่อเกิดความผิดพร่องหลังฟิวส์ จะต้องจัดให้ฟิวส์ขาดก่อนที่รีเลย์จะเริ่มทำงาน
2. เมื่อเกิดความผิดพร่องหลังฟิวส์ จะต้องให้รีเลย์ทำงานแบบทันทีทันใด (Instantaneous trip) ก่อนฟิวส์ขาดในครั้งแรก เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิวส์ขาดใน

กรณีเกิดความผิดพร่องแบบชั่วคราวหลังฟิวส์ ในการทำงานครั้งต่อไปให้ รีเลย์ทำงานแบบหน่วงเวลา (Delay time) โดยจัดให้ฟิวส์ขาดก่อนที่รีเลย์จะทำงาน ซึ่งมีลักษณะเหมือนการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์เพื่อกำจัดความผิดพร่องแบบถาวรหลังฟิวส์

เนื่องจากระบบจำหน่ายส่วนใหญ่จะมีระยะทางไกล และมีรีโคลสเซอร์ติดตั้งอยู่เป็นช่วง ๆ เพื่อจำกัดความผิดพร่องแบบชั่วคราว ดังนั้นในการกำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบทันทีทันใด จึงกำหนดแบบมีค่าสูง (High set) เพื่อให้รีเลย์ทำงานครั้งเดียวแล้ว Lock Out ไม่มีการปิดกลับวงจร เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นภายในลานไกของสถานีควบคุมการจ่ายไฟซึ่งกระแสลัดวงจรจะมีค่าสูง เป็นการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าใน ลานไกไม่ให้ชำรุดเสียหายมาก การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ - ฟิวส์ในระบบจำหน่ายของ กฟภ. จึงเป็นแบบวิธีที่ 1 ที่จัดให้ฟิวส์ขาดก่อนรีเลย์ทำงาน ส่วนวิธีที่ 2 เหมาะสำหรับระบบจำหน่ายที่มีระยะทางสั้นที่จ่ายในตัวเมือง เช่น ระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน) ที่ไม่มีรีโคลสเซอร์ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่ายเพื่อกำจัดความผิดพร่องแบบชั่วคราว จึงกำหนดการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบมีค่าต่ำ (Low set) ให้มองเห็นค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดในเขตป้องกันของฟิวส์ ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนรีโคลสเซอร์ในการกำจัดความผิดพร่องแบบชั่วคราวหลังฟิวส์

การหา Grading margin ระหว่างรีเลย์ – ฟิวส์ โดยทั่วไปการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ - ฟิวส์ควรมีค่า Grading margin ดังนี้

$$t' = 0.4t + 0.15 \quad \text{วินาที}$$

เมื่อ t = เวลาที่ฟิวส์ใช้ในการหลอมละลายขาดออกจากกัน

t' = Grading margin

เทอม 0.4t เป็นค่าที่แปรตามเวลาที่ฟิวส์ใช้ในการหลอมละลายขาดออกจากกันประกอบด้วย

1. ความคลาดเคลื่อนในการเวลาทำงานของฟิวส์ = 30%
2. ความคลาดเคลื่อนในเวลาทำงานของรีเลย์ = 10%

ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่เป็นตัวแปรทั้งหมด = 40% หรือ 0.4t

เทอม 0.15 วินาที เป็นค่าคงที่เนื่องจาก

1. Overshoot time ของรีเลย์ = 0.05 วินาที
2. Safty margin = 0.1 วินาที

รวม = 0.15 วินาที

<u>ตัวอย่าง</u> กระแสโหลดสูงสุดที่ไหลผ่านฟิวส์ 45 A จึงกำหนดให้ใช้ฟิวส์ขนาดนิยม 65K สมมุติรีเลย์ Type CDG 11(1.3 sec) CT ratio 400/5A Plug setting 100% จะต้องกำหนด Time multiplier เท่าใด จึงจะสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับฟิวส์ขนาด 65K ที่กระแสลัดวงจรสูงสุด 1000 A [15]

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีเลย์ - ฟิวส์

กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

CT RATIO	400/5	RELAY TYPE	CDG11 (1.3 SEC)
PICKUP SETTING	5 A	TIME DIAL	0.2

จากกราฟแสดงการจัดความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.10 ที่กระแสลัดวงสูงสุด 1000 A ฟิวส์ขนาด 65K จะหลอมละลายขาดออกจากกันที่เวลา 0.15 วินาที หา Grading margin

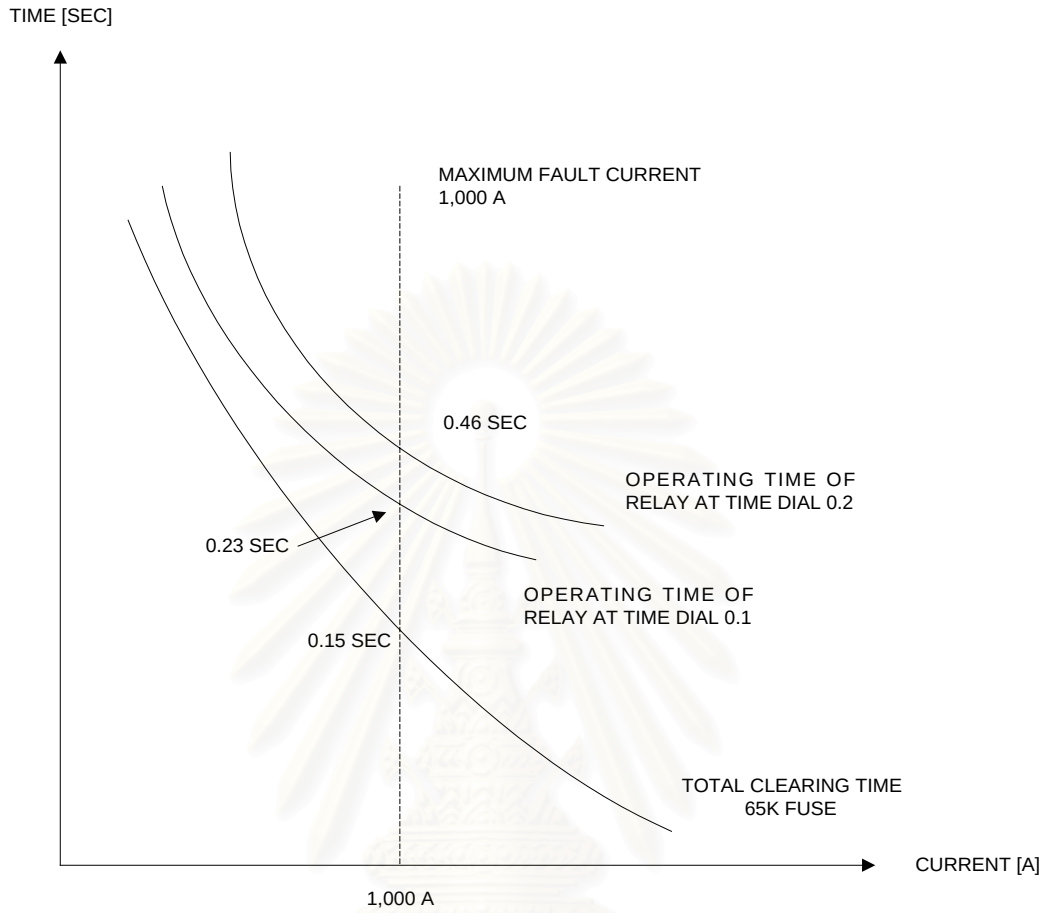
$$t' = 0.4t + 0.15$$
$$= 0.4 * 0.15 + 0.15$$
$$= 0.21$$

ดังนั้น เวลาที่จะกำหนดให้รีเลย์ทำงานต้องไม่น้อยกว่า 0.21+0.15 = 0.36 วินาที ที่กระแสลัดวงจรสูงสุด 1000 A Pickup Current ด้านรีเลย์มีค่าเป็น 1000/400 = 2.5 เท่า กระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ นำไปเลือก Time Dial ของรีเลย์ได้ ดังนี้

ที่ Time Dial 0.1 รีเลย์จะทำงานที่เวลา 0.23 วินาที

ที่ Time Dial 0.2 รีเลย์จะทำงานที่เวลา 0.46 วินาที

ดังนั้นจะต้องเลือก Time multiplier 0.2 รีเลย์จึงจะสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับฟิวส์ขนาด 65K



รูปที่ 2.10 กราฟเวลา – กระแส แสดงการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีเลย์ - ฟิวส์

2.8 การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์-รีโคลสเซอร์

(Relay-to-Recloser coordination)

โดยทั่วไปแล้วรีเลย์จะทำงานเป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง และติดตั้งอยู่ที่สถานีไฟฟ้า รีโคลสเซอร์จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักและติดตั้งอยู่ที่สถานีไฟฟ้าเช่นกัน หลักการที่จะต้องพิจารณาเมื่อทำการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีเลย์ - รีโคลสเซอร์ มีดังนี้

- รีเลย์จะใช้เวลาหลายไซเคิลในการทำงาน เปิด-ปิด วงจร หลังจากที่รีเลย์ทำงานสั่งทำงานแล้ว
- รีเลย์อาจจะทำการทำงานได้ โดยการรวมกันของเวลาที่รีเลย์คืนตัวไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการตั้งค่าการทำงานของรีโคลสเซอร์

Gonen (1986) [19] กล่าวว่า หลักการในการจัดการทำงานสัมพันธ์กันระหว่าง รีเลย์ รีโคลสเซอร์ คือการกำหนดเวลาในการทำงานของรีโคลสเซอร์ และเวลาคืนตัวของรีเลย์การกำหนดเวลาดังกล่าวต้องเหมาะสม ถ้าการกำหนดไม่เหมาะสมการคืนตัวของรีเลย์ขณะที่รีโคลสเซอร์ทำงานอาจจะไม่สมบูรณ์ทำให้รีเลย์สั่งทำงานวงจรได้ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญในการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ - รีโคลสเซอร์ คือการกำหนดเวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์ และ เวลาคืนตัวของรีเลย์

การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์ จะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุดที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์
2. เวลาที่รีโคลสเซอร์ใช้ในการปิดกลับวงจร (Reclosing time)
3. จำนวนครั้งที่กำหนดให้รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Fast curve และ Slow curve
4. เวลาที่รีเลย์ใช้ในการคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้น (Resetting time) และ Overshoot time ของรีเลย์

สำหรับรีเลย์กระแสเกินแบบสถิตย์ (Static overcurrent relay) จะไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่เหมือนอิเลคโตรเมคเนติครีเลย์ (Electromagnetic relay) จึงไม่มีค่า Overshoot time และเวลาคืนตัวจะเร็วมากจนไม่มีผลในการนำมาคิดเพื่อการจัดความสัมพันธ์ ดังนั้นในการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์กระแสเกินแบบสแตติคกับรีโคลสเซอร์ จึงทำได้ง่ายเพียงแต่กำหนดให้รีเลย์ทำงานช้ากว่ารีโคลสเซอร์ก็สามารถทำงานสัมพันธ์กันได้แล้ว

เนื่องจากการทำงานของอิเลคโตรเมคเนติครีเลย์และรีโคลสเซอร์จะต้องนำความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นมาพิจารณาในการจัดความสัมพันธ์ด้วย

1. ความคลาดเคลื่อนของรีเลย์แบบ Inverse time = ± 7.5 %
2. ความคลาดเคลื่อนของรีโคลสเซอร์ผลิตภัณฑ์ McGraw Edison

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลา (Time current characteristic curve)

2.1 ไฮดรอลิครีโคลสเซอร์ Type RV,WV

- เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วยเฟสทำงาน (Series trip coil)

Slow curve B,C,D,E มีความคลาดเคลื่อน ± 10 %

Fast curve A มีความคลาดเคลื่อนเฉพาะในทางลบ

- เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Electronic Ground Trip

2.2 อิเลคทรอนิคส์รีโคลสเซอร์ Type RVE,VWVE

Control response time curve มีความคลาดเคลื่อน ± 10 % หรือ 0.01 วินาที ซึ่งค่าไหนมากกว่าก็ใช้ค่านั้น

3. ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจาก Resetting time ของรีเลย์ และ time ของรีโคลสเซอร์คิดเป็นค่า Safety margin 0.1 วินาที เพิ่มเข้าไปในเวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์
4. Overshoot time ของรีเลย์ 0.05 วินาที

ตัวอย่าง การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์- รีโคลสเซอร์

PHASE RELAY TYPE CDG11 (3.0 SEC) CT RATIO 200/5

PICKUP CURRENT 5 A

TIME DIAL 0.2

GROUND RELAY TYPE CDG11 (1.3 SEC) CT RATIO 200/5

PICKUP CURRENT 1.5 A

TIME DIAL 0.7

PHASE RECLOSER TYPE RV

MINIMUM TRIP LEVEL 200 A

No. FAST OPERATION 2 CURVE A

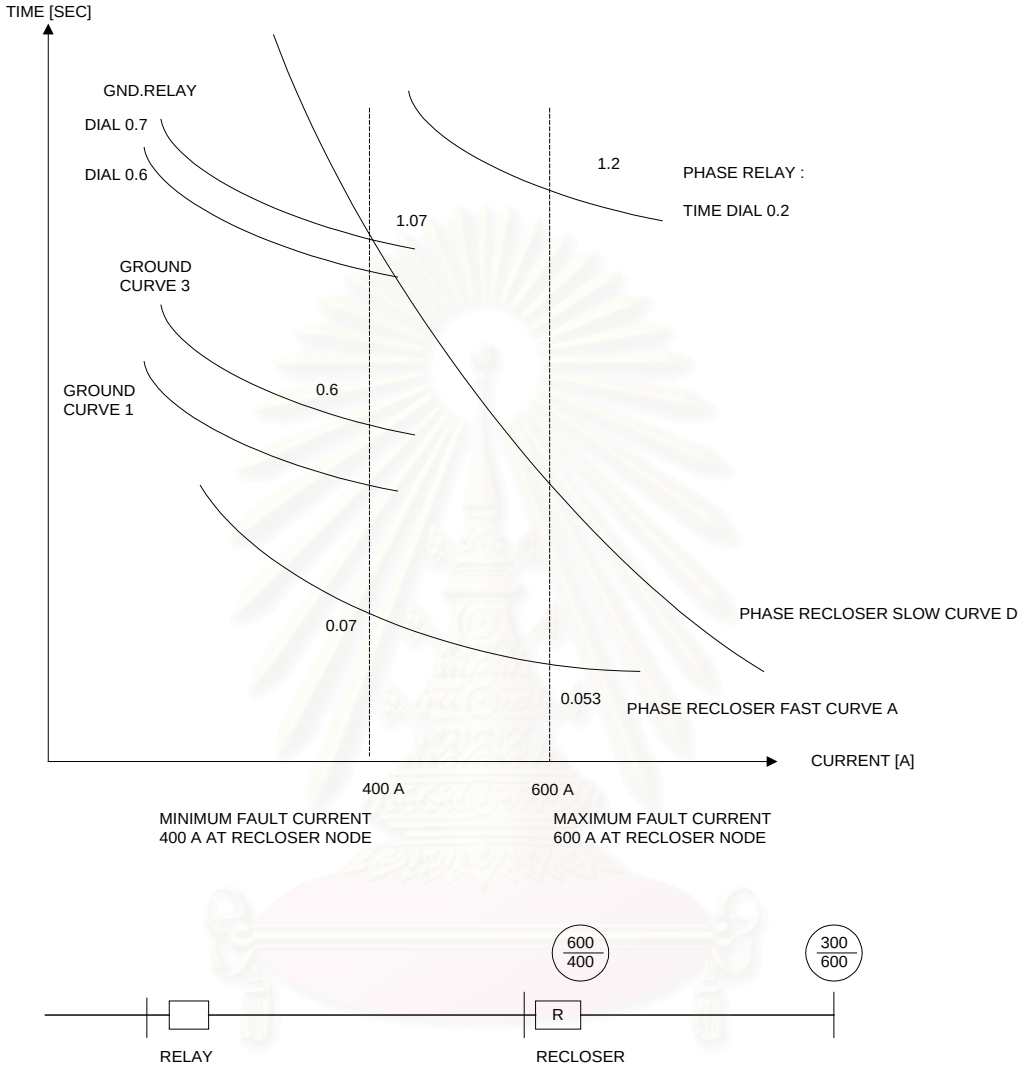
No. SLOW OPERATION 2 CURVE D

GROUND RECLOSER TYPE RV

MINIMUM TRIP LEVEL 35 A

No. FAST OPERATION 2 CURVE 1

No. SLOW OPERATION 2 CURVE 3



รูปที่ 2.11 แสดงกราฟเวลา – กระแส ระหว่าง รีเลย์ – รีโคลสเซอร์

พิจารณาการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง Phase overcurrent relay and Phase trip ของรีโคลสเซอร์ ตามรูปที่ 2.11 สมมติว่าเกิดความผิดพร่องแบบ 3 เฟส หลังรีโคลสเซอร์กำหนดให้รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Fast curve A 2 ครั้ง แล้วตามด้วย slow curve D 2 ครั้ง โดยแต่ละช่วงรีโคลสเซอร์ชนิด RV จะใช้เวลาในการปิดกลับวงจร (Reclosing time) 2 วินาที และ Relay type CDG 11 (3.0 วินาที) ใช้เวลาในการคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้น (Resetting time) 1.61 วินาที ที่ Time Dial 0.2 [15]

1. รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Fast curve A จากรูปที่ 2.11

ที่กระแสลัดวงจร 600 A รีโคลสเซอร์ใช้เวลาในการทำงานด้วย Curve A = 0.053 วินาที

Safety margin = 0.10 วินาที

เวลามากที่สุดที่รีโคลสเซอร์จะทำงาน(0.053+0.1) = 0.153 วินาที

ที่กระแสลัดวงจร 600 A รีเลย์ใช้เวลาในการทำงาน = 1.20 วินาที

ความคลาดเคลื่อนของรีเลย์ 7.5% = 0.09 วินาที

เวลาน้อยที่สุดที่รีเลย์จะทำงาน (1.20-0.09) = 1.11 วินาที

เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve A จานของรีเลย์จะเคลื่อนที่ไปได้มากที่สุด

เมื่อรวม Overshoot time ของรีเลย์ (0.153+0.05) = 0.203 วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซนต์ = (0.203/1.11)

= 18.29 %

รีเลย์จะคืนตัวในระหว่าง 2 วินาที ที่รีโคลสเซอร์เปิดวงจรเมื่อคิด

Overshoot time ของรีเลย์ = (2.0-0.05)/1.61

= 121.12%

ดังนั้นรีเลย์จะคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้นได้หมดก่อนที่รีโคลสเซอร์จะปิดกลับวงจรทำงานครั้งที่สองด้วย Curve A และในทำนองเดียวกันหลังจากรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve A ครั้งที่สองรีเลย์จะคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้นได้หมดก่อนที่รีโคลสเซอร์จะปิดกลับวงจรเริ่มทำงานครั้งที่สามด้วย Slow curve D

2. รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Slow curve D จากรูปที่ 2.11

ที่กระแสลัดวงจร 600 A รีโคลสเซอร์ใช้เวลาในการทำงานด้วย Curve D = 0.50 วินาที

ความคลาดเคลื่อนในการทำงานของรีโคลสเซอร์ 10% = 0.05 วินาที

Safety margin = 0.10 วินาที

เวลามากที่สุดที่รีโคลสเซอร์จะทำงาน(0.5+0.05+0.1) = 0.65 วินาที

ที่กระแสลัดวงจร 600 A รีเลย์ใช้เวลาในการทำงาน = 1.20 วินาที

ความคลาดเคลื่อนของรีเลย์ 7.5% = 0.09 วินาที

เวลาน้อยที่สุดที่รีเลย์จะทำงาน (1.20-0.09) = 1.11 วินาที

เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve D จานของรีเลย์จะเคลื่อนที่ไปได้มากที่สุด

เมื่อรวม Overshoot time ของรีเลย์ (0.65+0.05) = 0.70 วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = (0.70/1.11)

= 63.06 %

รีเลย์จะคืนตัวในระหว่าง 2 วินาที ที่รีโคลสเซอร์เปิดวงจรเมื่อคิด

Overshoot time ของรีเลย์ = 112.12%

ดังนั้นรีเลย์จะคืนตัวมาที่จุดเริ่มต้นได้หมดก่อนที่รีโคลสเซอร์จะปิดกลับวงจรทำงานครั้งที่สี่ด้วย Curve D อีกครั้งหนึ่ง และรีโคลสเซอร์ก็จะทำงานอีกครั้งหนึ่งด้วย Curve D อีกครั้งหนึ่ง แล้ว Lock Out ก่อนที่รีเลย์จะทำงาน

พิจารณาการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง Earth fault relay กับ Ground trip ของรีโคลสเซอร์ สมมติว่าเกิดความผิดพร่องแบบ 1 เฟส ลัดวงจรลงดินหลังรีโคลสเซอร์ กำหนดให้รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Ground curve No.1 2 ครั้ง แล้วตามด้วย Ground curve No. 3 2 ครั้ง โดยแต่ละช่วงรีโคลสเซอร์ชนิด RV จะใช้เวลาในการปิดกลับวงจร (Reclosing time) 2 วินาที และรีเลย์ Type CDG 11 (1.3 sec) ใช้เวลาในการคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้น (Resetting time) 3 วินาที ที่ Time multiplier 0.6

หมายเหตุ การทำงานของรีโคลสเซอร์ Type RV with electronic ground trip เมื่อเกิดความผิดพร่องแบบลัดวงจรลงดินและมีค่ามากกว่ากระแสทำงานต่ำสุดของ Series Trip Coil แล้ว รีโคลสเซอร์จะสามารถมองค่ากระแสลัดวงจรได้ทั้ง Ground fault sensing และ Phase fault sensing โดยรีโคลสเซอร์จะทำงานด้วย Ground fault sensing หรือ Phase fault sensing แล้วแต่ว่า Time current characteristic curve ของ Phase หรือ Ground เส้นใดอยู่ต่ำกว่าจะทำงานก่อน โดยจะนับการทำงานร่วมกันไม่ให้เกินจำนวนครั้งที่ตั้งให้ Lock Out ดังตัวอย่างใน รูปที่ 2.11 จะเห็นว่าที่กระแสลัดวงจรลงดิน 400 A Curve A ของเฟสทำงาน (Phase trip) จะอยู่ต่ำกว่า Curve No.1 ของกราวด์ทำงาน (Ground trip) ดังนั้นรีโคลสเซอร์จะทำงานด้วย Curve A จนครบ 2 ครั้ง แล้วข้ามไปทำงานแบบช้าด้วย Curve No.3 ของกราวด์ทำงาน ซึ่งอยู่ต่ำกว่า Curve D ของเฟสทำงาน อีก 2 ครั้งแล้ว Lock Out

1.รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Fast curve A จากรูปที่ 2.11

ที่กระแสลัดวงจร 400 A รีโคลสเซอร์ใช้เวลาในการทำงานด้วย Curve A = 0.070 วินาที

Safety margin = 0.10 วินาที

เวลามากที่สุดที่รีโคลสเซอร์จะทำงาน(0.070+0.1) = 0.170 วินาที

ที่กระแสลัดวงจร 400 A รีเลย์ใช้เวลาในการทำงาน = 0.90 วินาที

ความคลาดเคลื่อนของรีเลย์ 7.5% = 0.0675 วินาที

เวลาน้อยที่สุดที่รีเลย์จะทำงาน (0.9-0.0675) = 0.8325 วินาที

เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve A จานของรีเลย์จะเคลื่อนที่ไปได้มากที่สุด

เมื่อรวม Overshoot time ของรีเลย์ (0.170+0.05) = 0.220 วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = 0.22/0.8325)

= 26.43 %

รีเลย์จะคืนตัวในระหว่าง 2 วินาที ที่รีโคลสเซอร์เปิดวงจรเมื่อคิด

Overshoot time ของรีเลย์ = (2.0-0.05)/3

= 65%

ดังนั้นรีเลย์จะคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้นได้หมดก่อนที่รีโคลสเซอร์จะปิดกลับวงจรทำงานครั้งที่สองด้วย Curve A และในทำนองเดียวกันหลังจากรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve A ครั้งที่สอง รีเลย์ก็จะคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้นได้หมดก่อนที่รีโคลสเซอร์จะปิดกลับวงจรเริ่มทำงานครั้งที่สามด้วย Ground curve No.3

2.รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Ground curve No.3 จากรูปที่ 2.11

ที่กระแสลัดวงจร 400 A รีโคลสเซอร์ใช้เวลาในการทำงานด้วย Curve No.3 = 0.60 วินาที

Safety margin = 0.10 วินาที

เวลามากที่สุดที่รีโคลสเซอร์จะทำงาน(0.060+0.1) = 0.70 วินาที

ที่กระแสลัดวงจร 400 A รีเลย์ใช้เวลาในการทำงาน = 0.90 วินาที

ความคลาดเคลื่อนของรีเลย์ 7.5% = 0.0675 นาที

เวลาน้อยที่สุดที่รีเลย์จะทำงาน (0.9-0.0675) = 0.8325 วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve A จานของรีเลย์จะเคลื่อนที่ไปได้มากที่สุด

เมื่อรวม Overshoot time ของรีเลย์ (0.70+0.05) = 0.750 วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซนต์ = 0.75/0.8325)

= 90.09 %

รีเลย์จะคืนตัวในระหว่าง 2 วินาที ที่รีโคลสเซอร์เปิดวงจรเมื่อคิด

Overshoot time ของรีเลย์ = (2.0-0.05)/3

= 65%

ดังนั้นเมื่อรีโคลสเซอร์ปิดกลับวงจรอีก จานของรีเลย์จะเริ่มหมุนไปข้างหน้าที่ตำแหน่งห่างจากจุดเริ่มต้น (90.09-65) = 25.09 %

ถ้ารีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve No.3 อีกครั้ง Lock Out จานของรีเลย์จะต้องเคลื่อนที่ไปอีก 90.09% รวมกับของเก่าที่ห่างจากจุดเริ่มต้น 25.09 % เป็นเคลื่อนที่ไปทั้งหมด 115.18% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารีเลย์จะทำงานสั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงานก่อนที่รีโคลสเซอร์จะทำงานครั้งที่สี่ด้วย Curve No. 3 จึงไม่สามารถทำงานสัมพันธ์กันได้

ดังนั้นถ้าจะให้ทำงานสัมพันธ์กันได้จะต้องตั้งให้ Slow curve No.3 ของ Ground ทำงานเพียงครั้งเดียว หรือเพิ่ม Time multiplier ของรีเลย์ขึ้นเป็น 0.7 (Resetting time เพิ่มเป็น 3.2 วินาที) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เพื่อให้ Time margin ระหว่าง Earth fault relay กับรีโคลส-เซอร์เพิ่มขึ้น และจะทำงานสัมพันธ์กันได้ดังนี้

ที่กระแสลัดวงจร 400 A รีเลย์ใช้เวลาในการทำงาน = 1.07 วินาที

ความคลาดเคลื่อนของรีเลย์ 7.5% = 0.08 วินาที

เวลาน้อยที่สุดที่รีเลย์จะทำงาน (1.07-0.08) = 0.99 วินาที

เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve No.3 จานของรีเลย์จะเคลื่อนที่ไปได้มากที่สุด

เมื่อรวม Overshoot time ของรีเลย์ (0.70+0.05) = 0.750 วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซนต์ = (0.75/0.99)

= 75.76 %

รีเลย์จะคืนตัวในระหว่าง 2 วินาที ที่รีโคลสเซอร์เปิดวงจรเมื่อคิด

Overshoot time ของรีเลย์ = (2.0-0.05)/3.2

= 60.94%

ดังนั้นเมื่อรีโคลสเซอร์ปิดกลับวงจรอีก จานของรีเลย์จะเริ่มหมุนไปข้างหน้าที่ตำแหน่งห่างจากจุดเริ่มต้น (75.76-60.94) = 14.82%
เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Curve No.3 อีกครั้ง Lock Out จานของรีเลย์จะต้องเคลื่อนที่ไปอีก 75.76% รวมกับของเก่าที่ห่างจากจุดเริ่มต้น 14.82% เป็นเคลื่อนที่ไปทั้งหมด 90.58% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารีโคลสเซอร์จะ Lock Out ก่อนรีเลย์จะทำงาน

จากตัวอย่างดังได้แสดงมาแล้วนั้น จะพบว่าเวลาที่รีเลย์ใช้ในการคืนตัวกลับมาที่จุดเริ่มต้น (Resetting time) และจำนวนครั้งที่ตั้งให้รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Slow curve มีความสำคัญในการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์และรีโคลสเซอร์ เพราะถ้า Resetting time ของรีเลย์ยิ่งช้า time margin ระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์ก็จะต้องเพิ่มมากขึ้นด้วย ตามจำนวนครั้งที่ตั้งให้รีโคลสเซอร์ทำงานด้วย Slow curve เพราะจานของรีเลย์จะคืนตัวกลับได้น้อย

2.9 **การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ –รีเลย์** [15]
(Relay-to-Relay coordination)

หลักการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์ตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป ให้ทำงานสัมพันธ์กันนั้น ถ้าเป็นไปได้ในการออกแบบให้ใช้รีเลย์ที่มีการทำงาน (Time current characteristic curve) เหมือนกัน และจะต้องกำหนดให้รีเลย์ที่อยู่ด้านสถานีไฟฟ้ามีค่ากระแสเริ่มทำงานสูงกว่า หรือเท่ากับรีเลย์ชุดถัดไป เพื่อป้องกันการทำงานพร้อมกัน การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์-รีเลย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ

1. ใช้ความแตกต่างของเวลา

วิธีนี้เป็นการจัดเวลาการทำงานของรีเลย์ให้สัมพันธ์กัน โดยไม่คำนึงถึงขนาดกระแสเกินพิกัดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องมีลักษณะการทำงานของรีเลย์แบบ Definit time overcurrent relay แต่การจัดเวลาการทำงานของรีเลย์แบบนี้มีข้อเสียคือ รีเลย์ชุดที่อยู่ใกล้สถานีไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่งจะต้องควบคุมกระแสลัดวงจรสูงสุด แต่จะต้องกำหนดให้ทำงานตัดวงจรออกช้าที่สุด

2. ใช้ความแตกต่างของกระแส

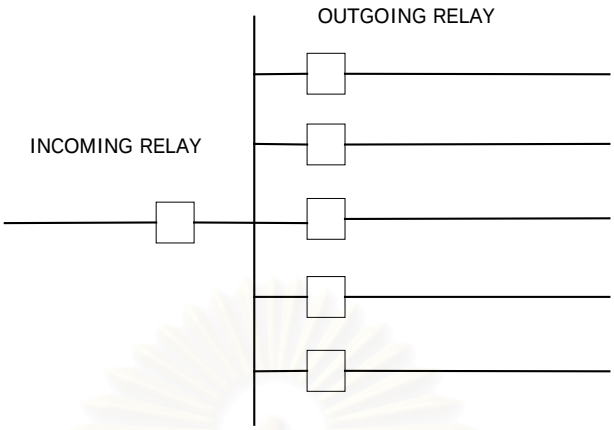
วิธีนี้เป็นการจัดการทำงานของรีเลย์ให้สัมพันธ์กันโดยใช้ขนาดกระแสเกินพิกัดที่ไหลผ่านรีเลย์ เนื่องจากกระแสลัดวงจรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร และลดลงไปตามขนาดความต้านทานและระยะทางที่เพิ่มขึ้น การจัดการทำงานของรีเลย์วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริงอาจจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากค่า Fault impedance ที่เพิ่มเข้าไปในวงจรขณะเกิดความผิดพร่อง ซึ่งจะส่งผลทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน

3. ใช้ความแตกต่างทั้งเวลาและกระแส

วิธีนี้เป็นการแก้ไขข้อเสียของสองวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยใช้ความแตกต่างทั้งเวลาและกระแสมาจัดให้รีเลย์ทำงานสัมพันธ์กัน ซึ่งจะต้องมีลักษณะการทำงานของรีเลย์แบบ Inverse time overcurrent relay การนำเอารีเลย์ชนิดนี้มาทำงานร่วมกันหลายชุดสามารถจัดการทำงานให้สัมพันธ์กันได้ง่ายกว่าสองวิธีแรก และยังทำให้รีเลย์สามารถตัดวงจรที่ผิดปกติได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งดีกว่า รีเลย์ แบบ Definit time overcurrent relay

<u>ตัวอย่าง</u> การจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์กับรีเลย์ที่มีค่า reset time ต่างกันซึ่งเป็นเวลาที่จานหรือคอนแทคเคลื่อนที่ของรีเลย์ใช้ในการเดินทางกลับมาถึงจุดเริ่มต้นพร้อมที่จะทำงานใหม่ รีเลย์แต่ละแบบ แต่ละผลิตภัณฑ์มีค่าเวลาคืนตัวต่างกัน ดังนั้นถ้ารีเลย์ชุดที่อยู่ทางด้านต้นกำลังหรือรีเลย์ขาเข้า มีเวลาคืนตัวช้ากว่ารีเลย์ที่อยู่ทางด้านโหลดหรือรีเลย์ขาออก แล้วออโต้รีโคลสรีเลย์สั่งปิดกลับวงจรเข้ามา ถ้าการผิดพร่องยังไม่หายไป การทำงานครั้งที่สองนี้รีเลย์ขาเข้าอาจจะทำงานนก่อนรีเลย์ขาออกได้ดังนี้ [15]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการจัดความสัมพันธ์ระหว่าง รีเลย์ – รีเลย์

Relay setting

Incoming CB CT 800/5A

Phase overcurrent relay type CO-8

Pickup 5A, Dial 3, Instantaneous ∞

Ground relay Type CO-8

Pickup 1.5A, Dial 7.5 ,Instantaneous ∞

Outgoing CB CT 400/5

Phase overcurrent relay type CDG 61 (1.3 sec)

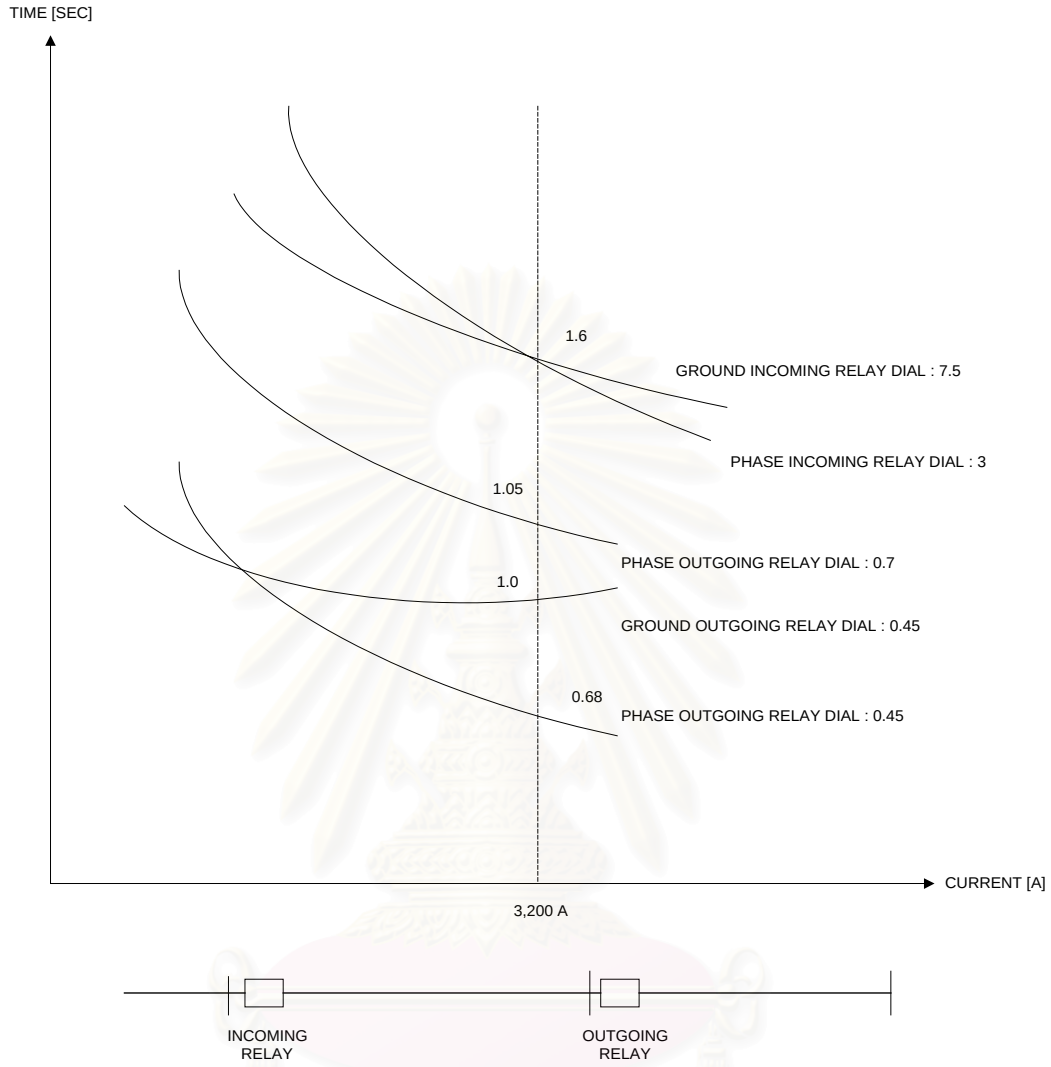
Pickup 6.25 A, Dial 0.7, Instantaneous 40A

Earth fault relay type CDG 21 (1.3 sec)

Pickup 1.5 A, Dial 1.0, Instantaneous 40A

Auto reclose relay type VAR 42

กำหนดให้ปิดกลับวงจรได้ 2 ครั้ง Dead time ครั้งแรก 0.3 วินาที ครั้งที่สอง 15 วินาที



รูปที่ 2.13 แสดงกราฟ เวลา – กระแส ของรีเลย์ – รีเลย์

จากกราฟแสดงรายละเอียดการจัดความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.13

1. Phase overcurrent relay

   ที่ค่ากระแสลัดวงจร 3200 A

   รีเลย์ขาเข้า (Incoming Relay) จะทำงานที่เวลา = 1.6 วินาที

   รีเลย์ขาออก (Outgoing Relay) จะทำงานที่เวลา = 1.05 วินาที

   เวลาคืนตัวของรีเลย์ขาเข้า type CO-8 ที่ Dial 3 = 17.04 วินาที

1.1 รีเลย์ขาออกทำงานครั้งแรก

Time margin = 1.6-1.05

= 0.55 วินาที

สำหรับ Inverse time overcurrent relay

Grading margin t' = 0.25t + 0.25

= 0.25*1.05 + 0.25

= 0.5125 น้อยกว่า

Grading margin

ดังนั้นในการทำงานครั้งแรกรีเลย์ขาออกจะทำงานสัมพันธ์กับรีเลย์ขาเข้า

รีเลย์ขาออกทำงานครั้งที่สอง

Dead time ครั้งแรกของการปิดกลับวงจรของรีเลย์ = 0.3 วินาที

รีเลย์ขาเข้าจะคืนตัวได้ในช่วง Dead time = (0.3/17.04) *1.6

= 0.028 วินาที

ดังนั้นรีเลย์ขาเข้าจะเริ่มต้นทำงานครั้งที่สองที่เวลา = 1.05-0.028

= 1.022 วินาที

รีเลย์ขาออกจะคืนตัวได้ในช่วง Dead time = (0.3/2.2)*1.05

= 0.143 วินาที

เมื่อรีเลย์ขาออกทำงานครั้งที่สอง จานของรีเลย์ขาเข้าจะหมุนไปถึงที่เวลา

= 1.022 + 0.143

= 1.165 วินาที

Time margin = 1.6 – 1.165

= 0.435 น้อยกว่า time margin

ดังนั้นในการทำงานครั้งที่สองรีเลย์ขาออกและรีเลย์ขาเข้า อาจจะทำงานพร้อมกันหรือชุดใดชุดหนึ่งทำงานก่อนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Earth fault relay

ที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด 3,200 A

รีเลย์ขาเข้าจะทำงานที่เวลา = 1.6 วินาที

รีเลย์ขาออกจะทำงานที่เวลา = 1.0 วินาที

reset time ของรีเลย์ขาเข้า type CO-8 ที่ Dial 7.5 = 50.18 วินาที

reset time ของรีเลย์ขาออก type CDG21 ที่เวลา Pickup 1.0 A

= 3.3 วินาที

2.1 รีเลย์ขาออกทำงานครั้งแรก

Time margin = 1.6 – 1.0

= 0.6 วินาที

Grading margin t' = 0.25t + 0.25

= 0.25*1 + 0.25

= 0.5 น้อยกว่า time margin

ดังนั้นในการทำงานครั้งแรกรีเลย์ขาออกจะทำงานได้สัมพันธ์กับรีเลย์ขาเข้า

รีเลย์ขาออกทำงานครั้งที่สอง

Dead time ครั้งแรกของออโต้รีโคลสรีเลย์ = 0.3 วินาที

รีเลย์ขาเข้าจะคืนตัวได้ในช่วง Dead time = (0.3/50.18) *1.6

= 0.01 วินาที

ดังนั้นรีเลย์ขาเข้าจะเริ่มต้นทำงานครั้งที่สองที่เวลา = 1 – 0.01

= 0.99 วินาที

รีเลย์ขาออกจะคืนตัวได้ในช่วง Dead time = (0.3/3.3)* 1

= 0.09 วินาที

เมื่อรีเลย์ขาออกทำงานครั้งที่สอง จานของรีเลย์ขาเข้าจะหมุนไปถึงที่เวลา

= 0.99 + 0.09

= 1.08 วินาที

Time margin = 1.6 – 1.08

= 0.52

มากกว่า Grading margin

ดังนั้นในการทำงานครั้งที่สองรีเลย์ขาออกจะทำงานได้สัมพันธ์กับรีเลย์ขาเข้า

2.2 รีเลย์ขาออกทำงานครั้งที่สาม

Dead time ครั้งที่สองของออโต้รีโคลสรีเลย์ = 15 วินาที

รีเลย์ขาเข้าจะคืนตัวได้ในช่วงเวลา Dead time = (15/50.18) * 1.6

= 0.478 วินาที

ดังนั้นรีเลย์ขาเข้าจะเริ่มต้นทำงานครั้งที่สามที่เวลา (1.08-0.478)

= 0.602 วินาที

รีเลย์ขาออกจะคืนตัวได้หมดภายในเวลา 3.3 วินาที น้อยกว่า Dead time เมื่อรีเลย์ขาออกทำงานครั้งที่สาม จานของรีเลย์ขาเข้าจะหมุนไปถึงที่เวลา

= 0.602 + 1.0

= 1.602 วินาที

Time margin = 1.60 – 1.602

= -0.002 น้อยกว่า Grading margin

ดังนั้นในการทำงานครั้งที่สามรีเลย์ขาออกและรีเลย์ขาเข้าอาจจะทำงานพร้อมกันหรือชุดใดชุดหนึ่งทำงานก่อนได้

จากการกำหนดรีเลย์ไว้เดิมข้างต้น ในการทำงานครั้งแรกจะสามารถทำงานสัมพันธ์กันได้ แต่เมื่อออโต้รีโคลสรีเลย์สั่งปิดกลับวงจรเข้ามาอีกหลังเวลา Dead time ที่กำหนดแล้ว รีเลย์จะทำงานไม่สัมพันธ์กันในการทำงานครั้งที่สอง ส่วน Earth fault relay จะไม่สัมพันธ์กันในการทำงานครั้งที่สาม ดังนั้นถ้าจะให้ทำงานสัมพันธ์กันได้ทุกครั้งโดยรีเลย์ขาออกทำงานจน Lock Out แต่รีเลย์ขาเข้ายังไม่ทำงานจะต้องดำเนินการแก้ไขดังนี้

1. เปลี่ยนรีเลย์ขาเข้าเป็นชนิดอื่น ที่มีค่า reset time เท่ากับหรือน้อยกว่ารีเลย์ขาออก หรือเปลี่ยนรีเลย์ขาออกเป็นชนิดอื่นที่มี reset time เท่ากับหรือช้ากว่ารีเลย์ขาเข้า แต่ถ้ารีเลย์ขาออกมี reset time ช้าจะจัดความสัมพันธ์กับรีโคลสเซอร์ในระบบจำหน่ายได้ยาก
2. เพิ่มค่า Time margin ระหว่างรีเลย์ให้มีค่ามากขึ้นโดยเพิ่ม Dial ของรีเลย์ขาเข้าหรือลด Time multiplier ของรีเลย์ขาออกลง
3. เพิ่มค่า Dead time ของออโต้รีโคลสรีเลย์ในแต่ละช่วง ให้มีเวลามากพอที่จานของรีเลย์ขาเข้าจะคืนตัวกลับมาได้หมด

บทที่ 3

ปัญญาประดิษฐ์และระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.1 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) [2]

ระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็นการนำเอาเทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งปัญญาประดิษฐ์เป็นแขนงวิชาที่มุ่งเน้นในด้านการทำความเข้าใจ เกี่ยวกับการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถแสดงความฉลาดออกมาได้ เช่น การคิด การหาเหตุผล การรับความรู้ หรือ การกระทำ เป็นต้น สถาบันที่ทำงานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในระยะแรกได้แก่ Massachusetts Institute of Technology มักจะทำวิจัยเกี่ยวกับเรื่องหุ่นยนต์ (robotics) การมองเห็น (vision sensing) การหาเหตุผล (reasoning) การเขียนโปรแกรม (programming) สถาปัตยกรรม (architecture) และการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system design) เป็นต้น เมื่อปี 2506 Newell ได้ทำการค้นคว้าเพื่อหาวิธีการออกแบบระบบแก้ปัญหา (problem solving system) สำหรับคอมพิวเตอร์หลังจากนั้นเทคนิคต่าง ๆ ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ถูกพัฒนาขึ้นมา ระบบผู้เชี่ยวชาญต้นแบบหลายตัวจึงถูกพัฒนาขึ้น

สิ่งที่เรียกได้ว่าเป็นความสำเร็จทางด้านปัญญาประดิษฐ์ คือการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณกลางทศวรรษ 1960 เมื่อนักวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์หันมาสนใจสร้างโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง และการแก้ปัญหาพิเศษเฉพาะด้าน โดยอาศัยความรู้ที่จะต้องรวบรวมจากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

3.1.1 เทคนิคของปัญญาประดิษฐ์ [2,3]

ในปี 2493 Alan Turing ได้เสนอวิธีการในการทดสอบสิ่งที่เรียกว่า ปัญญาประดิษฐ์ มีชื่อเรียกว่า Turing Test วิธีการนี้จะต้องอาศัยคน 2 คน และเครื่องมือทดสอบ โดยที่คนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นผู้ซักถาม และผู้ซักถามนี้จะถูกแยกออกจากอีกคนหนึ่งและเครื่องมือทดสอบ ผู้ซักถามจะต้องตั้งถามถามเครื่องหรือคนก็ได้โดยที่คนถามไม่ทราบเลยว่าอะไรคือเครื่องหรือคน อาจจะทราบเพียงว่าเป็น A กับ B เท่านั้น หน้าที่ของผู้ซักถามจะต้องถามทั้ง A และ B เพื่อจำแนกให้ได้

ว่า A และ B คือเครื่องหรือคน ถ้าเครื่องที่นำเข้ามาทำการทดสอบสามารถหลอกผู้ซักถามได้ว่าเป็นคน เครื่อง ๆ นั้นก็อาจจะพิจารณาได้ว่ามีความสามารถในการคิดหาเหตุผล

ถ้าพิจารณาถึงตัวระบบที่เป็นปัญญาประดิษฐ์จริง เช่น DENDRAL ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบชีวภาพ เมื่อมองจากระบบนี้แล้วจะเห็นว่ายากที่จะหาเครื่องวัดอะไรมาทำการทดสอบหาระดับของความใกล้เคียงระหว่างระบบและนักเคมี ผลของการวิเคราะห์ที่เกิดจาก DENDRAL ก็ได้รับการตีพิมพ์และยอมรับจากนักเคมีทั่วไป ซึ่งลักษณะนี้จะเรียกว่าเป็น *ปัญญาประดิษฐ์*

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมากว่า 20 ปี ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ได้ให้ข้อสรุปที่สำคัญไว้ว่า *"ความฉลาดได้มาจากความรู้ "* ดังนั้นเทคนิคเบื้องต้นในการทำให้เครื่องมือหนึ่งมีความฉลาดได้ก็คือ เทคนิคในการใช้ประโยชน์จากความรู้นั้นเอง ในการกำหนดรูปแบบของความรู้นั้นจะต้องมีลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความรู้นั้นจะต้องมีลักษณะทั่วไป หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือความรู้นั้นไม่ใช่อธิบายถึงแต่ลักษณะเฉพาะของเหตุการณ์หนึ่ง ๆ เท่านั้น แต่จะต้องครอบคลุมไปถึงความรู้อื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ด้วย ถ้ามิฉะนั้นแล้ว จะต้องมีหน่วยความจำจำนวนมหาศาลเพื่อมาเก็บความรู้
2. ความรู้จะต้องอยู่ในรูปแบบที่ผู้ให้ความรู้กับระบบ สามารถเข้าใจได้และง่ายต่อการทำงานของเครื่องด้วย
3. ความรู้นี้จะต้องง่ายต่อการแก้ไขปรับปรุง หรือเพิ่มเติมได้เมื่อต้องการ
4. ความรู้นี้จะต้องใช้ได้กับหลาย ๆ สถานการณ์
5. ความรู้นี้จะต้องอยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์การแก้ไขปัญหาเรื่องใดเรื่องหนึ่งได้ มิใช่ความรู้ใด ๆ ที่กระจัดกระจาย

แม้ว่าเทคนิคดังกล่าวมาแล้วเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็น แต่ในทางความเป็นจริงเทคนิคเหล่านี้ต้องมีขอบเขตของการใช้งาน ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่า ปัญหาของปัญญาประดิษฐ์บางปัญหาไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคนี้ และเช่นกัน เทคนิคนี้ก็สามารถที่จะนำไปแก้ปัญหาบางอย่างที่ไม่ใช่เรื่องของปัญญาประดิษฐ์ได้

3.1.2 การประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ [2,3,5]

ในเรื่องของปัญญาประดิษฐ์ การประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้านยังเป็นเรื่องหลักของการพัฒนา ซึ่งโดยปกติแล้วจะจำแนกออกเป็นได้หลายด้านมากมาย โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม เช่น การพัฒนาคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (Computer Aided Design :CAD) คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Aided Instruction:CAI) คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (Computer Intregrated Manufacturing :CIM) การทำความเข้าใจภาพ (Image Understanding) และระบบช่วยเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Programming Assistants) เป็นต้น

สำหรับเรื่องที่มีการประยุกต์ใช้งานกันมากที่สำคัญ 3 เรื่องได้แก่

- **การประมวลผลภาษาธรรมชาติ** (natural language processing)

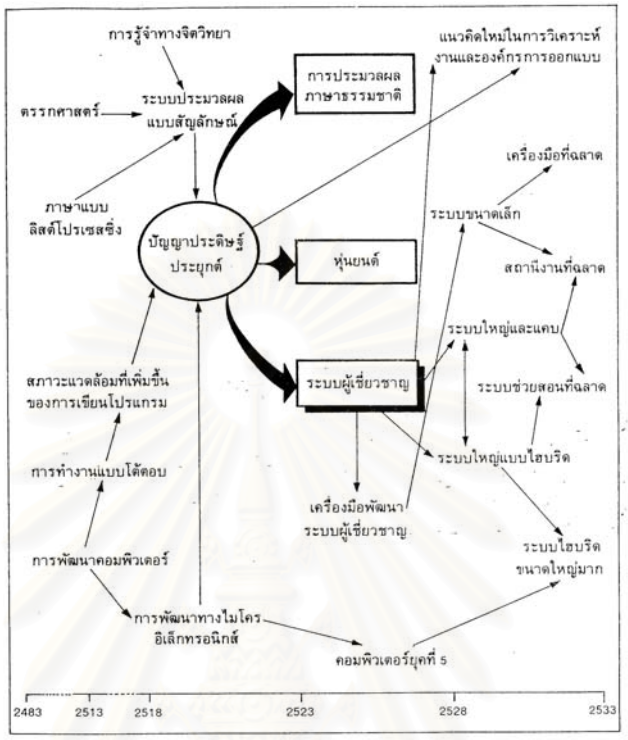
เป็นการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ที่สำคัญมากสาขาหนึ่ง ในสาขาปัญญาประดิษฐ์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจภาษามนุษย์โดยคอมพิวเตอร์ พื้นฐานของการวิจัยนี้เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ภาษาศาสตร์และคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยจะหาวิธีการที่ให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจความหมายของประโยค ในการทำเช่นนี้คอมพิวเตอร์จะต้องเข้าใจในเรื่องของคำและความหมายของคำ ไวยากรณ์ของประโยค และความหมายทั้งประโยค ผลของการวิจัยจะออกมาในหลายรูปแบบ เช่น การใช้สั่งให้เครื่องจักรทำงานโดยใช้ภาษาอังกฤษ การแปลภาษาด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

- **ระบบผู้เชี่ยวชาญ** (Expert system)

เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่ถูกออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ในการเป็นผู้เชี่ยวชาญและให้คำปรึกษากับมนุษย์ในเรื่องต่าง ๆ

- **หุ่นยนต์** (Robot)

เป็นการประยุกต์ใช้เพื่อสร้างหุ่นยนต์ทำหน้าที่ต่าง ๆ แทนมนุษย์ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตราย หรือมีสารเคมีที่ทำอันตรายต่อมนุษย์ได้



รูปที่ 3.1 วิวัฒนาการของปัญญาประดิษฐ์ [2]

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าปัญญาประดิษฐ์เป็นการก้าวกระโดดทางวิชาการครั้งใหม่ เพราะปัญญาประดิษฐ์เป็นวิวัฒนาการทางเครื่องมือที่ช่วยทุ่นแรงงานทางสมองของมนุษย์ ถ้าจะมองว่าการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้เปรียบเสมือนกับการวิวัฒนาการแล้ว ก็เทียบเคียงได้เช่นเดียวกับการคิดเครื่องมือทุ่นแรงงานกายในอดีต แต่เนื่องจากว่าการพัฒนาของปัญญาประดิษฐ์ยังอยู่ในระยะเริ่มต้น ความแพร่หลายของการเปลี่ยนแปลงยังเป็นเรื่องที่มองเห็นไม่ชัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการของโปรแกรมแบบเก่าและปัญญาประดิษฐ์

โปรแกรมแบบเดิม	ปัญญาประดิษฐ์
อัลกอริทึม	ฮิวริสติก
Numerically address	Symbolically structure
ฐานข้อมูล	ฐานความรู้
การประมวลผลทางคณิตศาสตร์	การประมวลผลทางสัญลักษณ์

การเกิดขึ้นของปัญญาประดิษฐ์อยู่ที่วิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์ เมื่อความไวในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์สูงขึ้น การสร้างโปรแกรมที่ซับซ้อนก็เป็นไปได้มากขึ้น และด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้เองที่ทำให้คอมพิวเตอร์มีความฉลาดเกิดขึ้นได้ แต่เนื่องจากปัญญาประดิษฐ์ได้มีการเปลี่ยนแปลงหลักการบางอย่างในการออกแบบโปรแกรม ดังตารางเปรียบเทียบในตารางที่ 3.1 ระบบดังกล่าวจึงกลายเป็นวิวัฒนาการครั้งใหม่

3.2 ระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.2.1 ความรู้พื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ [2,4]

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นสาขาใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้น ตามหลักการแล้วระบบผู้เชี่ยวชาญไม่ใช่เรื่องที่ยากมาก แต่เนื่องจากระบบผู้เชี่ยวชาญได้เปลี่ยนแนวคิดบางอย่างจากวิธีการเขียนโปรแกรมแบบเดิมจึงทำให้ดูเหมือนเป็นเรื่องยากและน่าอัศจรรย์

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะถูกใช้เพื่อทำงานที่ซับซ้อนมาก ๆ ซึ่งในอดีตงานประเภทนี้จะสามารถทำได้ก็ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์เท่านั้น ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้งานด้านปัญญาประดิษฐ์ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะรับเอาความรู้พื้นฐานซึ่งมนุษย์เป็นผู้ใส่ให้มาทำการประเมินผลเช่นเดียวกับการที่มนุษย์แก้ปัญหาที่ซับซ้อน

สิ่งที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุดของระบบผู้เชี่ยวชาญก็คือ การวินิจฉัยความรู้นั้นได้ดีกว่าคอมพิวเตอร์ธรรมดา ซึ่งก็คือการที่มันสามารถประมวลผลในเรื่องที่ใกล้เคียงกับความจริงซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องอาศัยมนุษย์เป็นผู้ตัดสินใจ

ระบบผู้เชี่ยวชาญได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการประยุกต์ใช้กับการวินิจฉัย การวางแผน การออกแบบ การแปล การควบคุม การบอกสถานะ การคาดการณ์ และการออกคำสั่ง วรรค ในอนาคตด้วยสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ของฮาร์ดแวร์ ซึ่งถูกพัฒนาให้ใช้ได้โดยตรงกับระบบผู้เชี่ยวชาญและเทคโนโลยีของปัญญาประดิษฐ์รวมเข้าด้วยกัน ความเป็นไปได้ที่ทำให้การพัฒนาระบบสามารถทำงานได้เหมือนกับมนุษย์มีมากยิ่งขึ้น

การพัฒนาระบบดังกล่าวจะสามารถทำให้เราไม่เพียงแต่มีระบบที่มีความสามารถมากขึ้นเท่านั้น แต่ยังจะทำให้เครื่องสามารถมีความเข้าใจเกิดขึ้นได้ด้วย

- **นิยามของระบบผู้เชี่ยวชาญ**

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ให้สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้เหมือนกับมนุษย์ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญ ในการทำเช่นนี้ได้ระบบคอมพิวเตอร์จะต้องจำลองกระบวนการหาเหตุผลของมนุษย์ โดยอาศัยความรู้และการวินิจฉัย

การใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญนั้น ตัวอย่างที่สามารถเปรียบเทียบได้ดี คือการที่เราไปพบแพทย์เมื่อไม่สบาย แพทย์จะตั้งคำถามแล้วให้คนไข้ตอบ และอาจจะมีการตรวจเช็คร่างกายบ้าง จากนั้นแพทย์ก็จะวินิจฉัยว่าคนไข้เป็นโรคอะไรได้ ในระบบผู้เชี่ยวชาญก็เช่นกัน การใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญก็คือ ระบบจะถามคำถามผู้ใช้และผู้ใช้จะตอบคำถาม เมื่อคำถามหมด ผลการวินิจฉัยจะออกมาเป็นคำตอบให้ผู้ใช้ได้ทราบ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะภายในของระบบแล้ว ระบบจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ๆ ดังต่อไปนี้ [2]

- ความรู้เฉพาะโดเมนที่สนใจ
- การประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาข้อมูล
- การวิเคราะห์ทางฮิวริสติกมาช่วยสนับสนุน
- ความสามารถในการประมวลผลเพื่อหาความรู้ใหม่จากความรู้เดิมที่มีอยู่แล้ว
- การประมวลผลสัญลักษณ์
- ความสามารถในการอธิบายวิธีการหาเหตุผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **ประวัติในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ**

เทคโนโลยีของระบบผู้เชี่ยวชาญที่เราใช้กันอยู่ในทุกวันนี้ ได้ถูกพัฒนามาจากเทคนิคของปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งได้มีการวินิจฉัยมาตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 1950 งานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องนี้ ขึ้นอยู่กับภาษาที่จะนำมาใช้ในการหาเหตุผลจากการประมวลผลสัญลักษณ์ ภาษา IPL เป็นภาษาแรกที่ทำการประมวลผลสัญลักษณ์ได้ และ LISP (List Processing Language) ซึ่งได้รับความนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันนี้ถูกพัฒนาโดย John McCarthy ในปี 2504

งานวิจัยที่มุ่งเน้นมาทางระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นเริ่มต้นเมื่อกลางทศวรรษที่ 1960 มีระบบหลายระบบได้ถูกพัฒนาในช่วงปี 2508 - 2513 โดยส่วนใหญ่แล้วระบบจะมีขอบเขตที่ค่อนข้างจำกัด และถูกพัฒนาเพื่อใช้กับเกมหรือวิชาการที่ค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นสิ่งที่ค่อนข้างใหม่ แต่ในปัจจุบันระบบผู้เชี่ยวชาญได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในหลายส่วนขององค์การต่าง ๆ

- **พัฒนาการของระบบผู้เชี่ยวชาญ** [2]

จุดเริ่มต้นของรายงานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์นั้น เริ่มมาจากความเชื่อที่ว่าด้วยกฎของการหาเหตุผลเพียง 2-3 ข้อ ผนวกเข้ากับความสามารถอันมหาศาลของคอมพิวเตอร์ก็จะสามารถทำให้เกิดการทำงานที่เป็นได้อย่างเดียวกับผู้เชี่ยวชาญได้ ในกลางทศวรรษที่ 1960 Newell และ Simon ได้ค้นพบจากประสบการณ์ทางการวิจัยของเขาเองว่า กลยุทธ์ของกระบวนการหาเหตุผลที่ต้องการให้มีลักษณะทั่วไปนั้น ยังมีข้อจำกัดอย่างมากในการนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ๆ จากการค้นพบครั้งนี้นี่เอง ทำให้งานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์หันมาสนใจปัญหาที่มีขอบเขตเล็ก ซึ่งส่งผลให้งานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าหากว่าขาดข้อสรุปของ Newell และ Simon แล้ว นักวิจัยหลายท่านก็ยังคงมุ่งประเด็นการวิจัยไปยังความรู้ครอบจักรวาล

ประมาณกลางทศวรรษที่ 1970 ได้เกิดระบบผู้เชี่ยวชาญขึ้นอย่างมากมาย ในขณะนั้นก็เริ่มมีนักวิจัยจำนวนหนึ่ง เช่น Minsky Brachman Szolovit Hawkinson Martin เริ่มมาให้ความสนใจกับงานทางด้านความรู้ (Knowledge) ในระบบเหล่านี้ พวกเขาได้ทุ่มเทความพยายามเป็น

อย่างมากในการพัฒนาทฤษฎีของการแสดงความรู้ (Knowledge representation) และพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการแสดงความรู้

รูปที่ 3.2 แสดงถึงระบบผู้เชี่ยวชาญหลาย ๆ ชนิดที่เกิดขึ้นในยุคต่าง ๆ ตามกลุ่มของการพัฒนา กลุ่มที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดก็คือกลุ่มของ MYCIN ลักษณะพิเศษของระบบผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มนี้ก็คือ การแก้ปัญหาที่มีลักษณะของการวินิจฉัย (diagnosing) และให้ข้อเสนอแนะด้วยการอาศัยฐานความรู้ MYCIN ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกเพื่อใช้ในการวินิจฉัย และแนะนำเกี่ยวกับการตรวจรักษาโรคติดเชื้อในเลือดที่มีกฎอยู่ประมาณ 400 ข้อ สำหรับวิธีในการหาเหตุผลนั้น จะอาศัยวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลจากตารางและข้อมูลที่ได้รับจากผู้ใช้ (หรือหมอที่ขอคำปรึกษา) แล้วนำมาอนุมานหาความจริงจากกฎที่มีอยู่ในฐานความรู้ ระบบผู้เชี่ยวชาญในกลุ่ม MYCIN ได้มีการพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ และได้กลายเป็นต้นแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญในยุคต่อมา สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มอื่น ๆ เช่น โครงการ DENDRAL ก็เป็นอีกโครงการหนึ่งที่มีชื่อเสียงมาก โครงการนี้เริ่มที่มหาวิทยาลัยแสตนฟอร์ด (Standford university) ในปี 2508 มีนักวิจัยที่มีชื่อเสียงมากที่เข้าร่วมโครงการหลายคน เช่น Buchanan Feigenbaum Lindsay ต่อมาโครงการ DENDRAL ก็ได้ขยายโครงการเป็น META-DENDRAL

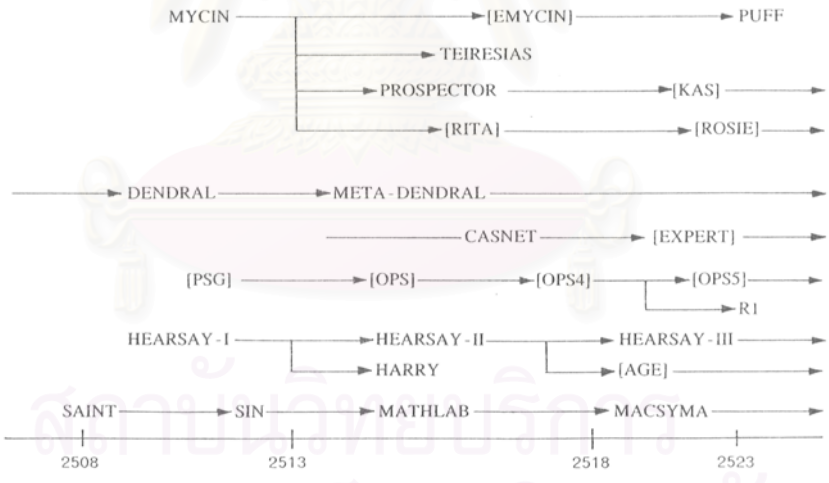
DENDRAL เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญระบบหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ mass spectrographic , neuclear magnetic resonance และข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่ออนุมานหาโครงสร้างที่เป็นไปได้ของสารประกอบที่ไม่รู้จัก วิธีการของ DENDRAL จะอาศัยหลักการหาเหตุผลของ generate-and-test มาแก้ไขปัญหา โดยการให้คะแนนความเป็นไปได้ของโครงสร้าง ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ระบบสร้าง (generator) สร้างขึ้น และจากคะแนนนี้ก็จะหาโครงสร้างที่เป็นไปได้มากที่สุดได้ สำหรับ META-DENDRAL ได้เพิ่มเติมหน่วยความรู้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีให้กับระบบเพื่อเป็นตัวช่วยเสริมในการเลือกโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสม

SAINT โครงการนี้เกิดขึ้นโดยการค้นคว้าของ Slagle ในปี 2504 ซึ่งเป็นอีกแนวหนึ่งของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ และอีก 10 ปีถัดมาระบบนี้กลายเป็น MACSYMA ซึ่งเป็นโครงการที่พัฒนาโดย Massachusetts Institute of Technology เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับดิฟเฟอเรนทิเอตและอินทิเกรต

EXPERT เป็นภาษาที่ใช้สำหรับสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ ที่พัฒนามาจาก CASNET ระบบนี้ใช้สำหรับสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวินิจฉัยและรักษาโรคกลูโคมา (Glaucoma)

R1 เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญ ที่ใช้สำหรับจัดวางระบบคอมพิวเตอร์ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ VAX ซึ่ง R1 เป็นสิ่งที่เรียกได้ว่าประสบความสำเร็จที่สุดของ OPS5

HEARSAY-II เป็นระบบที่ถูกพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยคาร์เนกีเมลลอน (Carnegie Mellon University) ระบบนี้ใช้ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการสนทนาในวงคำศัพท์ประมาณ 1000 คำ ถึงแม้ว่าระบบนี้ยังไม่ถือว่าประสบความสำเร็จอย่างสูงที่สุดก็ตาม แต่ด้วยวิทยาการของการสร้างระบบนี้นักวิจัยหลายคน เช่น Erman Nii Feigenbaum เห็นว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากในอนาคต

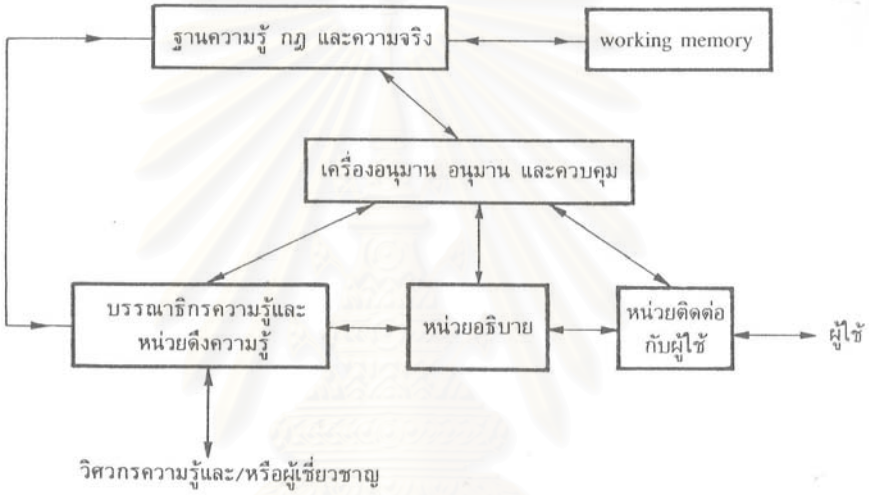


หมายเหตุ : ส่วนที่อยู่ใน [ ] หมายถึงเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างระบบ

รูปที่ 3.2 แสดงการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญระบบต่าง ๆ ที่สำคัญในระยะแรก

- **องค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ** [2-5]

การพยายามที่จะออกแบบการคิด การจำ การประมวลผลของมันสมองของมนุษย์ จึงมีการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญที่แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นการแสดงองค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ และเส้นที่โยงถึงกันด้วยลูกศรจะแสดงถึงหน่วยที่ติดต่อกันจากส่วนต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 รายละเอียดของระบบผู้เชี่ยวชาญ [2]

1. **ฐานความรู้** (Knowledge)

คือส่วนของความรู้ที่จะประกอบไปด้วยความจริงและกฎต่างๆ ซึ่งความจริงและกฎต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกจัดไว้ให้มีลักษณะที่เป็นฮิวริสติก และมีลักษณะในการแก้ปัญหาเฉพาะปัญหาใดปัญหาหนึ่ง เช่นระบบผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวกับการรักษาโรคหัวใจ ในฐานความรู้ก็จะประกอบด้วยกฎและความจริงที่เกี่ยวกับเรื่องของการรักษาโรคหัวใจ ซึ่งกฎและความจริงเหล่านี้จะถูกจัดวางไว้ในลักษณะฮิวริสติก โดยปกติแล้วระบบผู้เชี่ยวชาญที่ดีมักจะสร้างให้ฐานความรู้เป็นส่วนที่ว่างเปล่าที่ผู้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญจะใส่ความรู้อะไรก็ได้หรือเปลี่ยนเป็นความรู้อะไรก็ได้

การให้ความรู้กับระบบผู้เชี่ยวชาญเรียกว่าการแสดงความรู้ (knowledge representation)

เนื่องจากว่า การแสดงความรู้จะต้องอาศัยผู้ที่มีความสามารถในการนำความรู้ในด้านนั้น ๆ มาจัดให้อยู่ในรูปของความจริงและกฎตามลักษณะการอนุมานของระบบผู้เชี่ยวชาญ ในการแสดงความรู้นี้มิใช่ เรื่องง่ายที่ใคร ๆ ก็สามารถทำได้ การแสดงความรู้เป็นศาสตร์ที่วิศวกรความรู้จะต้องศึกษาวิธีการทางฮิวริสติกต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา ซึ่งต่างจากการเขียนโปรแกรมธรรมดา บุคคลที่ทำหน้าที่ในการใส่ความรู้เรียกว่า *วิศวกรความรู้ (knowledge engineer)*

2. **กลไกวินิจฉัยหรือเครื่องอนุมาน** (inference engine)

คือส่วนที่ทำหน้าที่ในการอนุมานความรู้ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในฐานความรู้ เพื่อที่จะทำหน้าที่ในการหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จากการที่ระบบได้รับข้อมูลจากผู้ใช้ ในระบบผู้เชี่ยวชาญ เครื่องอนุมานจะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ อย่างแรกเครื่องจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบความจริงและกฎที่มีอยู่แล้วและเพิ่มความจริงอันใหม่เข้าไปเมื่อจำเป็น และอย่างที่สองเครื่องจะทำการตัดสิน-ใจเกี่ยวกับลำดับก่อนหลังของการอนุมาน ในการที่จะทำเช่นนี้ได้ เครื่องจะต้องทำการติดต่อและขอคำปรึกษากับผู้ใช้ องค์ประกอบของเครื่องอนุมานนั้น ประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกี่ยวกับการอนุมาน (inference) ในการหาความรู้ใหม่จากความจริงและกฎที่มีอยู่แล้ว และส่วนที่เกี่ยวกับการควบคุม (control) จะทำหน้าที่ในการควบคุมและจัดลำดับของการอนุมาน

การอนุมาน

ในการอนุมาน เครื่องอนุมานจะอาศัยหลักการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

MODUS PONENS คือยุทธศาสตร์ในการอนุมาน หลักการของ MODUS PONENS มีวิธีการง่าย ๆ คือ ถ้าหากรู้ว่า A ถูก และเมื่อมีกฎที่ว่า 'If A then B' เราจะสามารถสรุปได้ว่า B จะถูกด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เมื่อพบว่า permises(A) ของกฎถูกต้องก็สามารถเชื่อได้ว่า conclusion (B) ถูกต้องด้วย ในการใช้ MODUS PONENS กับระบบผู้เชี่ยวชาญนั้น จะสามารถพิจารณาได้ 2 นัย กล่าวคือ เนื่องจากว่ากฎที่จะนำมาใช้สามารถเข้าใจได้ง่าย และในการหาเหตุ-ผลก็เป็นเรื่องที่สามารถเข้าใจได้ง่ายด้วย และอีกประการหนึ่งคือ MODUS PONENS นี้ไม่สามารถสรุปในเชิงย้อนกลับได้ เช่น ถ้าเรากล่าวว่า "ถ้าหากรู้ว่า B ถูก และเมื่อมีกฎที่ว่า IF A then B เราจะไม่สามารถสรุปได้ว่า A ถูกด้วย และในระบบผู้เชี่ยวชาญโดยส่วนใหญ่จะทำเช่นนี้ไม่ได้"

การควบคุม

หน่วยควบคุมในเครื่องอนุมานจะทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ

- ควบคุมการเริ่มต้นการอนุมานว่าจะเริ่มจากจุดใดในฐานความรู้
- ควบคุมการตัดสินใจว่าจะเลือกกฎข้อใดในการอนุมานต่อไปในการหาเหตุผลเพื่อหาคำตอบ หน่วยควบคุมจะกำหนดวิธีการเลือกกฎหรือความจริงเพื่อจะได้คำตอบที่ถูกต้องจากหน้าที่ของหน่วยควบคุมดังกล่าว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะอาศัยวิธีการดังต่อไปนี้ในการ ควบคุม

การอนุมานแบบเดินหน้าและย้อนหลัง (Forward and Backward chaining)

เป็นวิธีการที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของการอนุมานว่าจะเป็นแบบเดินหน้าหรือแบบย้อนหลัง โดยปกติแล้วระบบผู้เชี่ยวชาญที่ถูกสร้างขึ้นจะมีวิธีการแบบใดแบบหนึ่งหรือผสมกันในการกำหนดทิศทางสำหรับการอนุมาน

การอนุมานแบบเดินหน้าเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นของการอนุมานให้เป็นแบบการอนุมานจากเหตุไปสู่เป้าหมาย สำหรับการอนุมานแบบย้อนหลังเป็นการอนุมานจากเป้าหมายเพื่อไปสู่เหตุ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

- *การค้นหาแบบ Depth-first กับแบบ Breadth-first*

เป็นกระบวนการของการค้นหาข้อมูลบนฐานความรู้ ในระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้กันโดยส่วนใหญ่ ในการจะจำแนกชนิดของระบบผู้เชี่ยวชาญว่าจะเป็นแบบเดินหน้าหรือแบบย้อนหลัง บางครั้งเราจะต้องดูกระบวนการของการค้นหาข้อมูลประกอบไปด้วย ในกรณีของ Depth-first เครื่องอนุมานจะสร้างเป้าหมายย่อยให้แตกออกไปตามกิ่งทีละกิ่งเรื่อย ๆ ในระหว่างการสร้างเป้าหมายย่อยอยู่นี้การอนุมานแบบย้อนหลังจะทำการค้นหารายละเอียด ในกรณีของ Breadth-first เครื่องจะทำการสร้างเป้าหมายย่อยออกมาทีละระดับ (level) ไปก่อนที่จะลงไปหารายละเอียด

ระบบผู้เชี่ยวชาญโดยส่วนมากจะให้วิธีการค้นหาข้อมูลแบบ Depth-first และในระหว่างการค้นหาเพื่อลงไปสู่รายละเอียดเครื่องจะทำการตั้งคำถามเพื่อติดต่อกับผู้ใช้

- *การหาเหตุผลแบบโมโนโทนิกกับนอนโมโนโทนิก*

ลักษณะเฉพาะอีกอย่างหนึ่งในเรื่องของเครื่องอนุมานที่จะต้องพิจารณา คือ เครื่องอนุมานนั้นเป็นแบบโมโนโทนิกหรือนอนโมโนโทนิก สำหรับการหาเหตุผลแบบโมโนโทนิกคือความจริงใดที่ถูกตรวจสอบแล้วว่าเป็นจริง ความจริงนั้นจะดำรงอยู่ตลอดไปจนกว่าการให้คำปรึกษาจะสิ้นสุด ส่วนการหาเหตุผลแบบนอนโมโนโทนิกก็คือความเป็นจริงใดที่ถูกตรวจสอบแล้วว่าเป็นจริง ความเป็นจริงนั้นยังสามารถจะเปลี่ยนแปลงต่อไปในภายหลังได้ ตัวอย่างของความรู้ที่ต้องอาศัยการอนุมานแบบนี้คือ การวางแผน ในการวางแผนช่วงแรก ๆ มีความเป็นไปได้ที่ว่าจะต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งไปก่อน แต่หลังจากที่ได้รับข้อมูลใหม่ ๆ เข้ามาในภายหลังแล้วการตัดสินใจอาจจะเปลี่ยนแปลงได้

3. **หน่วยดึงความรู้** (knowledge acquisition unit)

เป็นหน่วยที่จะรับความรู้จากผู้เชี่ยวชาญหรือวิศวกรความรู้เมื่อวิศวกรแสดงความรู้ หน่วยดึงความรู้จะเป็นผู้ที่ดึงความรู้นำเข้าสู่ฐานความรู้

4. **หน่วยอธิบาย** (explanation unit)

คือหน่วยที่คอยอธิบายและให้เหตุผลในการอนุมาน ระหว่างที่ผู้ใช้เครื่องกำลังสนทนาอยู่กับระบบผู้เชี่ยวชาญ ผู้ใช้สามารถถามหาเหตุผลได้ว่าทำไมถึงตั้งคำถามแบบนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. **ผู้ใช้** (user)

คือผู้ที่ต้องการขอคำปรึกษากับระบบผู้เชี่ยวชาญ

- **ภาษาและเครื่องมือ**

ในระบบผู้เชี่ยวชาญมีแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องภาษาและเครื่องมือที่แตกต่างจากแนวคิดเก่า ๆ หลายประการ ภาษา (language) ในระบบผู้เชี่ยวชาญจะหมายถึงภาษาขั้นสูง (high level language) ที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ เช่น LISP , PROLOG และ Tools หมายถึงเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงความความรู้ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ เช่น EMYCIN และ M.1 เป็นต้น นั่นคือภาษาเป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือ (tools) ถ้าจะแสดงระดับของซอฟต์แวร์ออกมาเป็นขั้น ๆ จะได้ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ระดับต่าง ๆ ของซอฟต์แวร์ในระบบผู้เชี่ยวชาญ [2]

ระบบซอฟต์แวร์ที่มีระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ M.1 จะเห็นได้ว่าภาษาขั้นสูงที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือสำหรับเครื่องมือ M.1 ใช้ภาษา C ในการสร้าง และความรู้ก็ใช้เครื่องมือ M.1 ในการแสดง ดังนั้นในระบบผู้เชี่ยวชาญหนึ่ง ๆ จะเห็นว่าภาษาขั้นสูง เช่น LISP ,PROLOG เป็นตัวที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือเช่น EMYCIN และ M.1 จากนั้นก็ใช้เครื่องมือในการแสดงความรู้ ผู้ที่ใช้ภาษาขั้นสูงในการสร้างเครื่องมือไม่มีชื่อเรียกพิเศษอะไร แต่สำหรับผู้ที่ใช้เครื่องมือในการแสดงความรู้มีชื่อเรียกพิเศษว่า *วิศวกรความรู้ (knowledge engineer)*

การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญในยุคแรกสุด มิได้มีการแยกเครื่องมือออกมาจากตัวระบบ MYCIN เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญระบบแรกที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยคณะของนักวิชาการมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด เป็นโปรแกรมที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการรักษาโรคหัวใจกับแพทย์ ที่ถูกสร้างขึ้นภายใต้ภาษา LISP เนื่องจาก MYCIN สามารถทำงานได้เฉพาะกับการรักษาโรคหัวใจเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดมากในการใช้งาน MYCIN จึงพัฒนาต่อมาอีกโดยการเอาความรู้เกี่ยวกับโรคหัวใจออกแล้วทำให้ผู้ใช้สามารถใส่ความรู้อะไรก็ได้ MYCIN จึงกลายเป็นซอฟต์แวร์ตัวใหม่ที่เรียกว่า EMYCIN ซึ่งย่อมาจาก Empty EMYCIN หรือ MYCIN ที่ว่างเปล่า EMYCIN จึงกลายเป็นเครื่องมือของระบบผู้เชี่ยวชาญตัวแรก หลักจากการพัฒนาของ EMYCIN แล้ว เครื่องมือที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ EMYCIN จึงได้เกิดขึ้นอย่างมากมาย ตัวอย่างของเครื่องมือในปัจจุบันได้แก่

EMYCIN

M.1

PC = Personal Consultant

OPS5

S1

ART

KEE

LOOPS EXPERT เป็นต้น

เมื่อกล่าวถึงภาษาและเครื่องมือกับระดับต่าง ๆ ของซอฟต์แวร์เหล่านั้นแล้ว บางครั้งการจำแนกระดับของสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะมีความสับสนพอสมควร มีซอฟต์แวร์บางชนิดที่ไม่ได้เป็นภาษาชั้นสูง ซึ่งใช้งานทางด้านโปรแกรมมิ่งเท่านั้น แต่ก็ไม่ใช่เครื่องมือที่จะสามารถแสดงความรู้ได้อย่างดีเช่นเดียวกับ M.1 หรือ EMYCIN เพื่อความสะดวกซอฟต์แวร์เหล่านี้จึงถูกเรียกว่าเป็นสิ่งแวดล้อม (environment) ซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะเป็นสิ่งแวดล้อมได้แก่ OPS5

ถ้าพิจารณากันให้ละเอียดขึ้นไปอีกเมื่อเปรียบเทียบ LISP และ PROLOG แล้ว โปรล็อกเป็นภาษาชั้นสูงที่สามารถนำมาสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญได้ง่ายกว่าลิสป์ กล่าวคือโปรล็อกสามารถแสดงความรู้แบบง่าย ๆ ได้ ในขณะที่ลิสป์เป็นเพียงภาษาโปรแกรมมิ่งธรรมดา ดังนั้นโปรล็อกจะ

มีลักษณะใกล้สิ่งแวดล้อมมากกว่าลิสป์ รูปด้านล่างแสดงถึงซอฟต์แวร์ระดับต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างภาษาชั้นสูงกับเครื่องมือ

รูปที่ 3.5 การแบ่งระดับของซอฟต์แวร์ในระบบผู้เชี่ยวชาญ [2]

ในการเลือกซอฟต์แวร์นี้เพื่อสร้างเครื่องมือให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นยังมีการถกเถียงกันอยู่อย่างมากว่าจะเลือกซอฟต์แวร์ที่เป็นสิ่งแวดล้อมหรือใกล้สิ่งแวดล้อม เช่น PROLOG ,OPS5 หรือเลือกภาษาชั้นสูง เช่น LISP หรือจะเลือกซอฟต์แวร์ที่ใกล้เครื่องมือ เช่น KEE, LOOPS แต่มีสิ่งที่น่าสังเกตในการพิจารณาอย่างหนึ่งคือ ซอฟต์แวร์ที่เข้าใกล้ภาษาชั้นสูงจะทำให้สามารถสร้างเครื่องมือที่มีความคล่องตัวสูงกว่าซอฟต์แวร์ที่เข้าใกล้เครื่องมือ แต่ซอฟต์แวร์ที่เข้าใกล้เครื่องมือจะสร้างได้ง่ายกว่าซอฟต์แวร์ที่เข้าใกล้ภาษาชั้นสูง

3.2.2 **การแสดงความรู้และการอนุมาน**

ระบบผู้เชี่ยวชาญมีองค์ประกอบที่สำคัญคือเครื่องอนุมานและฐานความรู้ ในระบบผู้เชี่ยวชาญโดยทั่วไปจะถูกออกแบบมาให้เป็นระบบที่มีเฉพาะส่วนที่เป็นเครื่องอนุมาน โดยที่เว้นฐานความรู้เอาไว้ให้ผู้ใช้สามารถพัฒนาต่อเอง ระบบผู้เชี่ยวชาญที่มีลักษณะแบบนี้จะเรียกว่า *เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system shell)* ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นสามารถใช้งานได้หลายอย่าง ตามแต่วิศวกรความรู้จะใส่ความรู้อะไรเข้าไป ถ้าสมมติว่าต้องการให้ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ เป็นระบบที่มีความสามารถในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการถ่ายรูป วิศวกรความรู้จะต้องใส่ความรู้เกี่ยวกับการถ่ายรูปเข้าไป ระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นจึงจะมีความสามารถในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการถ่ายรูปได้

ในการใส่ความรู้ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญนั้น วิศวกรความรู้จะเป็นผู้ที่นำความรู้จากผู้เชี่ยว-ชาญมาแสดงลงในฐานความรู้ ซึ่งเราเรียกว่าการแสดงความรู้ (knowledge representation) การแสดงความรู้เป็นศาสตร์อย่างหนึ่งที่นักวิชาการทางด้านคอมพิวเตอร์พยายามคิดค้น เพื่อทำให้คอมพิวเตอร์นี้มีความรู้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการแสดงความรู้เป็นศาสตร์อย่างหนึ่ง นั่นคือการแสดงความรู้และการอนุมานเป็นสิ่งที่เกี่ยวพันกัน การอนุมานจะต้องสอดคล้องกับการแสดงความรู้ เช่น การแสดงความรู้ด้วยกฎ ก็ต้องอาศัยเครื่องอนุมานที่ใช้กับกฎ เป็นต้น

- **การแสดงความรู้โดยใช้กฎเกณฑ์**

การแสดงความรู้โดยกฎเกณฑ์ (rule-base representation) ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Newell และ Simon เมื่อปี 2510 และมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบการผลิต ซึ่งมีหลักเกณฑ์พื้นฐานง่าย ๆ คืออาศัยรูปประโยคของ if…then….ประโยคที่ตามหลัง if คือ การแสดงเงื่อนไข ประโยคที่ตามหลัง then คือการแสดงผลสรุป เช่น ในการถ่าย-รูปถ้าหากว่าเงื่อนไขของแสงแดดมืดเราต้องใช้แฟลช การแสดงความรู้ด้วยกฎนั้นจะสามารถแสดงได้ดังนี้

If แสงแดดมืด
Then ใช้แฟลช

จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าแสงแดดมืดเป็นเงื่อนไข และการใช้แฟลชเป็นข้อสรุป วิธีที่แสดงอาจจะเขียนได้อีกแบบหนึ่งเป็น

If เงื่อนไขของแสง = มืด
Then ใช้แฟลช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้ประโยคหลัง IF ในที่นี้เงื่อนไขของแสง = มืด เป็นการแสดงเงื่อนไขและใช้แฟลช เป็นการสรุป ถ้าพิจารณาแล้วจะเห็นว่าตัวอย่างแรกและตัวอย่างที่ 2 นั้นมีส่วนเหมือนกันโดย ตัวอย่างแรกจะมีความหมายเช่นเดียวกับ

If แสงแดดมืด = ใช่
Then ใช้แฟลช

ในการทำงานที่เป็นรูปธรรมของระบบผู้เชี่ยวชาญ การแสดงเงื่อนไขจะต้องมี = หรือ is เป็นตัวกำหนดเสมอ แต่ในบางกรณีจะละเครื่องหมาย = เอาไว้ เพื่อให้สะดวกต่อการแสดงความรู้ สำหรับกรณีที่จะละเครื่องหมาย = ได้นั้น ประโยคเงื่อนไขจะต้องมีความหมาย = yes เท่านั้น เช่น

if สัตว์ จะหมายความว่า if สัตว์ = ใช่ (yes)

การใช้ประโยคหลัง Then ในส่วนของประโยคสรุปที่อยู่ตามหลัง Then ก็มีความหมายเช่นเดียวกับประโยคตามหลัง if คือ Then ใช้แฟลช จะมีความหมายว่า Then ใช้แฟลช = ใช่ (yes) การใช้ is known และ is unknown ก็เช่นเดียวกันกับการใช้ประโยคหลัง if

- **โครงสร้างของระบบการผลิต**

ระบบการผลิตประกอบด้วยระบบใหญ่ 3 ส่วนคือ

- production memory เป็นส่วนที่เก็บฐานความรู้
- interpreter เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกฎ
- working memory เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเก็บความจริงที่ได้มีการอนุมานแล้ว

สามส่วนนี้มีหน้าที่คือ production memory ทำหน้าที่เก็บฐานความรู้และมีหน่วยแปลความหมาย เป็นส่วนที่นำเอากฎจาก production memory มาเปรียบเทียบกับความรู้ที่อยู่ในส่วนของ working memory ซึ่ง working memory นี้จะเป็นส่วนที่เก็บความจริงที่ได้จากการสรุปมาก่อนหน้านี้

การเปรียบเทียบของหน่วยแปลความหมายนี้จะทำตามลำดับขั้นดังนี้

- pattern matching เป็นการทำการเปรียบเทียบ
- conflict resolution เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเลือกกฎ
- execution เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตามการสั่งการของกฎข้อที่ได้เลือกมาแล้ว

ลักษณะของการแปลความหมายนี้เริ่มด้วยการเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นชุดข้อมูลใน working memory กับฐานความรู้ที่อยู่ใน production memory ในกรณีนี้จะเป็นไปได้ที่มีกฎหลายข้อที่เมื่อเปรียบเทียบแล้วตรงกัน ในกรณีเช่นนี้ส่วนของ conflict resolution จะทำหน้าที่เลือกกฎข้อที่ถูกต้อง การเลือกกฎจะใช้วิธีการอนุมาน แบบเดินหน้า หรือรหาเหตุผลจากความจริงไปหาเป้าหมาย และการอนุมานแบบย้อนกลับ คือการหาเหตุผลจากเป้าหมายไปสู่ความจริง เมื่อได้กฎข้อที่ต้องการแล้วก็จะประมวลผล

เมื่อประมวลผลเสร็จแล้ว จะวนกลับไปทำ pattern matching ใหม่และจะวนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่แท้จริง ซึ่งกระบวนการดังที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เรียกว่า การอนุมาน (inference)

- **การอนุมาน**

การอนุมานคือกระบวนการในการค้นหาความจริงจากความจริงที่มีอยู่แล้ว [2] ในฐานความรู้หรือความจริงที่สามารถหาได้จากผู้ใช้ ในการอนุมานของระบบผู้เชี่ยวชาญจะใช้เครื่องอนุมาน ซึ่งเป็นส่วนของโปรแกรมในระบบผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนั้นเครื่องอนุมานยังทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญอีกด้วย เครื่องอนุมานจะมีหน้าที่หลัก คือการกำหนดทิศทางในการหาเหตุผล และการหาเหตุผลโดยมีหน่วยควบคุมเป็นผู้ที่ทำหน้าที่โดยตรง

การหาเหตุผลของเครื่องอนุมานสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 2 แบบคือ

- การอนุมานแบบย้อนหลัง (backward chaining)
- การอนุมานแบบเดินหน้า (forward chaining)

การอนุมานแบบย้อนหลัง

การอนุมานแบบย้อนหลังคือการอนุมานที่เริ่มจากเป้าหมาย(goal) แล้วหาผลของเป้าหมายนั้นในบางครั้งเรียกการอนุมานชนิดนี้ว่า goal-directed ขอให้พิจารณาการทำงานแบบย้อนกลับหลังของฐานความรู้ที่เกี่ยวกับการถ่ายรูปดังต่อไปนี้

```
        goal = advice.
1       asa  = 200
2       light-condition      =  bright – sun
3       if light – condition  =  bright – sun and
                        asa      = 100
           then advice       =  'Aperture = f11  speed = 125 '.
4       if light – condition     =  soft – shadow and
                          asa   =  100
        then advice              =  'Aperture = f8   speed = 125'.
5       if light – condition     =  bright – sun and
                          asa   =  200
        then advice              =  'Aperture = f11  speed = 250'.
6       if light – condition     =  soft – shadow and
                          asa   =  200
        then  advice             =  'Aperture = f8   speed = 250'.
```

ลักษณะของฐานความรู้ที่ได้แสดงนี้ เป็นฐานความรู้ที่แสดงในรูปของกฎ สิ่งที่แสดงในบรรทัดแรกเป็น goal = advice เป็นสิ่งที่กำหนดว่าเป้าหมายของการค้นหาครั้งนี้คือ ค่าของ advice สำหรับบรรทัดที่มี label1: และ 2: กำกับอยู่เป็นการกล่าวถึงความจริงของฐานความรู้นี้ โดยระบุว่าสำหรับฐานความรู้นี้แล้ว ค่าของ asa จะเป็น 200 และ light – condition จะเท่ากับ bright – sun เสมอ สรุปเกี่ยวกับฐานความรู้นี้ได้ว่า เป็นฐานความรู้ที่เขียนเกี่ยวกับเรื่องการ-ถ่ายรูป ที่มีเป้าหมายของการให้คำตอบเป็นค่าของ advice ซึ่งค่าของ advice จะเป็นอะไรขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของ light – condition และ asa สำหรับฐานความรู้นี้แล้ว ค่าของ light – condition

และ asa มีค่าเท่ากับ bright – sun และ 200 ตามลำดับ โดยที่มีความจริงข้อที่ 1: และข้อที่ 2: ระบุเอาไว้

สำหรับการอนุมาน เครื่องอนุมานจะมองดูที่เป้าหมาย เมื่อพบ goal = advice เครื่องอนุมานจะพยายามหาค่าของ advice ว่าคืออะไร จากนั้นก็จะมองว่าค่าความจริงมีอะไรบ้างจากฐานความรู้ดังกล่าว 1: และ 2: คือความจริงในฐานความรู้ ดังนั้นค่าของ asa = 200 และ light – condition = bright – sun จะถูกนำไปเก็บไว้ในคลังความรู้ (cache)

เมื่อเครื่องอนุมานมาดูที่เป้าหมายแล้วหาค่าของ advice นั้นในระหว่างการหาค่าของ advice เครื่องอนุมานจะสำรวจกฎจากข้อแรกไปสู่ข้อสุดท้าย เพื่อดูว่า หลัง then ของกฎข้อใดที่มีการบอกค่าของ advice อยู่บ้าง ในที่นี้กฎข้อแรกที่จะพบคือ 3: และจากกฎข้อนี้ ในส่วนของหลัง if ได้สร้างเงื่อนไขไว้สำหรับ advice คือ เครื่องอนุมานจะต้องรู้ค่าของ light – condition และ asa ก่อน

เมื่อถามหาค่าของ asa เครื่องอนุมานจะดูที่คลังความรู้ ซึ่งจะได้ค่า asa = 200 และค่าของ light-condition = bright-sun เมื่อพบค่า asa และ light-condition แล้ว เครื่องอนุมานจะกลับไปสำรวจกฎข้อต่าง ๆ ว่ากฎข้อไหนเหมาะสม ในที่นี้กฎข้อ 5: จะเป็นกฎที่สอดคล้องกับความจริงที่มีอยู่ในคลังความรู้ และเครื่องจะได้ค่าของ

advice = ‘Aperture = f11 speed = 250

ค่านี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในคลังความรู้ และแสดงออกมาเป็นคำตอบที่หน้าจอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การอนุมานแบบเดินหน้า

เป็นการอนุมานจากความจริงที่มีอยู่เพื่อที่จะหาค่าสิ่งที่ต้องการ ถ้าพิจารณาจากฐานความรู้ดังต่อไปนี้

1 light-condition = soft-shadow

2 asa = 200

3 if light – condition = bright – sun and
asa = 100
then advice = ‘Aperture = f11 speed = 125 ‘.

4 if light – condition = soft – shadow and
asa = 100
then advice = ‘Aperture = f8 speed = 125’.

5 if light – condition = bright – sun and
asa = 200
then advice = ‘Aperture = f11 speed = 250’.

6 if light – condition = soft – shadow and
asa = 200
then advice = ‘Aperture = f8 speed = 250’.

เมื่อเครื่องอนุมานพบความจริงในข้อ 1: และ 2: ความจริงนี้จะถูกนำเข้าไปเก็บไว้ในคลังความรู้และเครื่องอนุมานจะทำการเปรียบเทียบค่าของนิพจน์ต่าง ๆ ตามลำดับที่เรียงไว้ในฐานความรู้ ในที่นี้จะเริ่มด้วยการเปรียบเทียบนิพจน์ light-condition กับกฎข้อต่าง ๆ ในที่นี้กฎข้อ 4: และ 6 จะมีค่าตามความจริงที่มีอยู่ เมื่อได้ค่าของ light-condition แล้วเครื่องจะเปรียบเทียบค่าของ asa จากความจริง (asa = 200) กับกฎข้อ 4: และ 6: ตอนนี้ปรากฏว่ากฎที่ใช้ได้คือ ข้อ 6: ดังนั้นจะได้ค่าของ advice = ‘Aperture = f8 speed = 250’ ค่านี้จะถูกนำไปเก็บในคลังความรู้และแสดงผลออกทางหน้าจอ

3.2.3 **การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ** [2-5]

การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ สิ่งหนึ่งที่จะต้องเข้าใจไว้ตลอดเวลาคือ เรากำลังพยายามพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถให้คำปรึกษาได้เช่นเดียวกับผู้เชี่ยวชาญ ระบบซอฟต์แวร์นี้จะต้องมีความรู้ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่วิศวกรความรู้จะต้องเก็บความรู้เข้าไปให้กับระบบผู้เชี่ยว-ชาญ วิธีการที่วิศวกรความรู้เก็บความรู้ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ เราเรียกว่า การแสดงความรู้ (knowledge representation) ระบบผู้เชี่ยวชาญที่เรากล่าวถึงคือ ระบบผู้เชี่ยวชาญที่สามารถให้คำปรึกษาได้เฉพาะเรื่อง มันจะเป็นการยากมากที่จะพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำปรึกษาในหลาย ๆ เรื่องภายในฐานความรู้อันเดียวกัน

ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญดังที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะกล่าวถึงลักษณะการพัฒนาใน 2 ลักษณะ คือการพัฒนาระบบที่มีขนาดเล็ก และการพัฒนาระบบที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีลักษณะของปัญหาเป็นการวินิจฉัยมากกว่าการสังเคราะห์

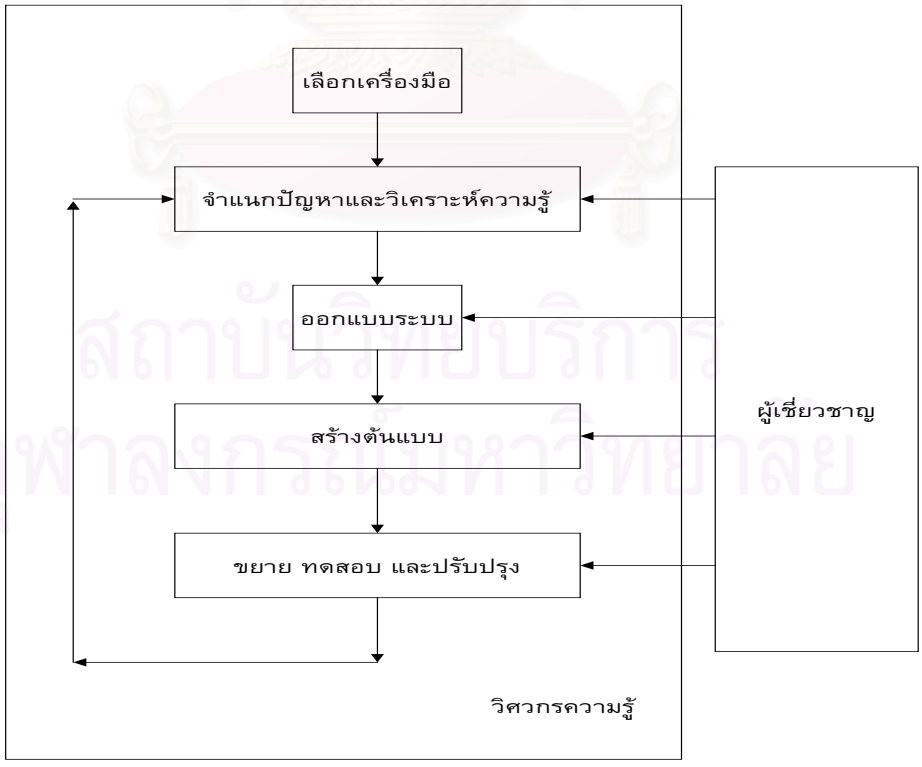
ระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็กหมายถึงระบบที่มีกฎ (ในกรณีที่เป็น rule base) ไม่ควรเกิน 350 ข้อ ถ้าจะแสดงความรู้ในรูปของกฎหรือขนาดความรู้ที่ประมาณกันเมื่อแสดงความรู้โดยวิธีการอื่น การตั้งกฎเกณฑ์ว่าระบบขนาดเล็กควรมีกฎกี่ข้อนี้ยังไม่ใช่กฎตายตัว แต่โดยหลักใหญ่แล้วควรคำนึงถึงขนาดของฐานความรู้และความซับซ้อนของความรู้ด้วย อย่างไรก็ตามกฎ 350 ข้อที่กล่าวมาก็เพื่อจะเป็นตัวเลขประมาณในการอ้างอิงเบื้องต้นสำหรับผู้ที่เริ่มสนใจทางด้านระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก และสำหรับผู้ที่จะพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยตนเอง กฎเกณฑ์ง่าย ๆ ที่พอจะทำความเข้าใจได้ในตอนนี้ก็คือ ระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดก็คือในแง่ของการลงทุนสร้าง

โดยหลักการแล้ว การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญทุกขนาดจะมีหลักการเดียวกัน จะมีความแตกต่างกับบ้างก็ในแง่ของวงจรการพัฒนาและรายละเอียดบางอย่างเท่านั้น เนื่องจากว่าการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็ก ระดับความซับซ้อนจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบขนาดใหญ่ ดังนั้นขั้นตอนบางอย่างในการพัฒนาระบบจึงไม่มีความจำเป็น สำหรับการพัฒนาระบบผู้เชี่ยว-ชาญขนาดใหญ่ วงจรการพัฒนาจะต่างกับระบบที่มีขนาดเล็กมาก เนื่องจากขนาดของระบบที่ใหญ่ขึ้น ความซับซ้อนของระบบก็จะต้องมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน และความผิดพลาดที่อาจจะเกิด

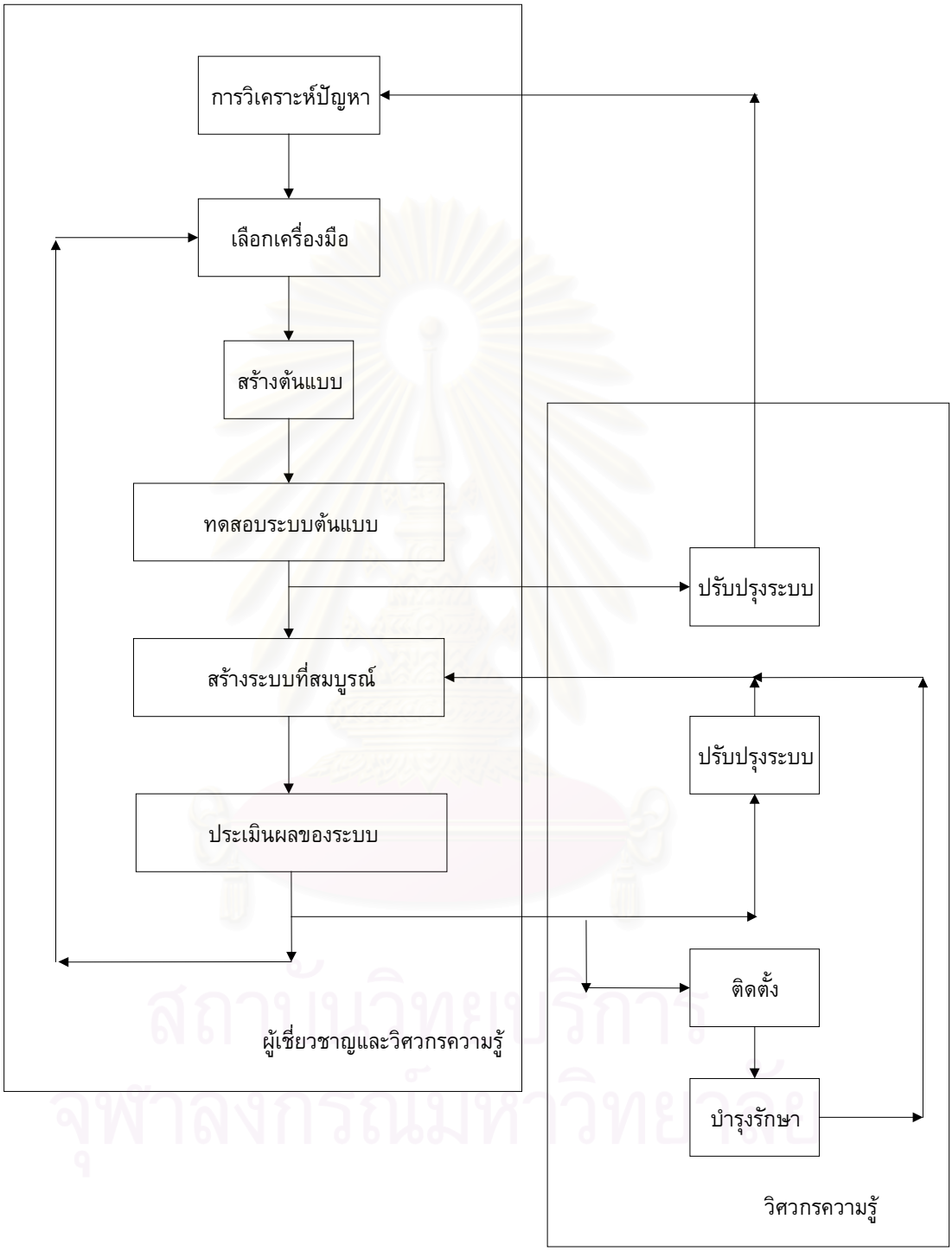
ขึ้นจะหมายถึงเวลาและการลงทุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดใหญ่จึงต้องมีการวางแผนงานที่ระมัดระวังเพื่อที่จะลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด

จากรูปที่ 3.6 และ 3.7 เป็นการแสดงวงจรของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการพัฒนาระบบทั้งสอง การเข้าร่วมของผู้เชี่ยวชาญในการพัฒนาระบบจะแตกต่างกัน สำหรับระบบขนาดเล็กการเข้าร่วมการพัฒนาระบบของผู้เชี่ยวชาญจะน้อยกว่าในระบบใหญ่ ผู้ที่ทำงานอยู่อย่างเป็นหลักก็คือ วิศวกรความรู้ สำหรับการพัฒนาระบบใหญ่ผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีส่วนร่วมในการพัฒนาอย่างมาก ผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีเวลาอย่างมากเพื่ออุทิศให้กับการพัฒนาระบบ และจะต้องเข้าร่วมในการพัฒนาอย่างใกล้ชิด

การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็ก จะเริ่มต้นด้วยการเลือกเครื่องมือและทำความเข้าใจปัญหาเกี่ยวกับลักษณะการให้คำปรึกษา จากนั้นก็ทำการจำแนกปัญหาและวิเคราะห์ความรู้ที่จะใส่ในฐานความรู้ แล้วออกแบบและสร้างต้นแบบโดยการจำกัดโดเมนของความรู้ให้เล็กลงแล้วขยาย ทดสอบและปรับปรุงระบบจนกว่าจะใช้งานได้ ถ้าหากว่ามีปัญหาเกิดขึ้นเราก็จะย้อนกลับไปที่การจำแนกปัญหาและวิเคราะห์ความรู้ใหม่ จนกว่าระบบจะเป็นไปตามที่เราต้องการ



รูปที่ 3.6 วงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดเล็ก [2]



รูปที่ 3.7 วงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดใหญ่ [2]

จากแผนผังของวงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดใหญ่ จะเห็นว่าผู้ที่จะมีบทบาทในการพัฒนาระบบก็คือ วิศวกรความรู้และผู้เชี่ยวชาญ และการพัฒนาระบบโดยส่วนใหญ่จะต้องอาศัยการประสานงานของวิศวกรความรู้และผู้เชี่ยวชาญ สำหรับวงจรการพัฒนาจะเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ปัญหา เลือกเครื่องมือ จากนั้นก็จะเป็นการสร้างระบบต้นแบบ แล้วก็จะทำการทดสอบ ถ้าหากว่าระบบต้นแบบที่ได้ยังไม่ถูกต้องก็จะต้องวนกลับไปปรับปรุงระบบใหม่ โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปัญหา ปรับปรุงระบบต้นแบบ และทดสอบใหม่จนกระทั่งได้ต้นแบบที่ถูกต้อง

เมื่อได้ต้นแบบที่ถูกต้องแล้ว จึงจะทำการขยายระบบให้เป็นระบบที่สมบูรณ์ แล้วจึงประเมินผล ถ้าระบบที่ขยายขึ้นมามีอะไรต้องแก้ไข ก็จะต้องกลับไปสร้างระบบที่สมบูรณ์ใหม่แล้วทำการประเมินผลใหม่ จนกระทั่งได้ผลเป็นที่พอใจ เมื่อได้ระบบที่พอใจแล้ว ก็ติดตั้งระบบและวางแผนการบำรุงรักษาเพื่อทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญมีความรู้ที่ทันสมัยเสมอ

3.2.4 **แนวทางการพัฒนาของระบบผู้เชี่ยวชาญในอนาคต** [2,4,5]

ทุกวันนี้ความสำเร็จของระบบผู้เชี่ยวชาญ และปัญญาประดิษฐ์เรียกได้ว่าอยู่ในระดับที่สูงมาก การเติบโตของการพัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อมองมาถึงปัญหาภายในตัวระบบเองจะเห็นว่าในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญหรือปัญญาประดิษฐ์หนึ่ง ๆ มีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยขั้นตอนที่สำคัญคือ

1. การสร้างหรือการหาเครื่องมือ ที่ช่วยในการพัฒนาเป็นกระบวนการแรกสุดของการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์เพื่อที่จะนำมาใช้กับระบบ โดยที่จะต้องให้เทคโนโลยีที่ได้เหมาะสมกับปัญหาที่กำลังสนใจ
2. การถอดความรู้จากแหล่งความรู้ (knowledge extraction) เช่น จากผู้เชี่ยวชาญและหรือจากหนังสือ เป็นต้น
3. การแสดงความรู้และ/หรือการเปลี่ยนความรู้จากที่ได้มาให้อยู่ในรูปที่สามารถประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้
4. การบริหารความรู้ในฐานความรู้ และการตรวจสอบความถูกต้องของความรู้

ในกระบวนการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด จะเห็นว่าเป็นบทบาทของวิศวกรความรู้โดยตรง และหลายอย่างเป็นเรื่องที่จะต้องอาศัยมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องมาก เพื่อที่จะทำให้ระบบมีความฉลาดมากขึ้น ในปัจจุบันจึงมีการทำให้กระบวนการในการถอดความรู้ การแสดงความรู้และการบริหารความรู้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ ในการทำเช่นนี้ได้ โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะต้องมีการปรับปรุงในส่วนของการดึงความรู้ (knowledge acquisition) คือการทำให้กระบวนการนี้สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง หรือที่เรียกว่าการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (machine learning)

หลักการเรียนรู้นั้นจะต้องอาศัยกระบวนการที่สำคัญ 2 อย่างคือ กระบวนการในการดึง-ความรู้ (acquire knowledge) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา และกระบวนการในการแก้ไขความรู้ (refine knowledge) เพื่อการทำงานที่ดีขึ้น ในการเรียนรู้นั้นสามารถจำแนกวิธีการที่สำคัญได้ 3 แบบคือ

1. Inductive Learning ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่ได้จากตัวอย่างการสังเกตและการเรียนรู้ที่เกิดจากการปรับโครงสร้างภายในตัวเอง (self organization) ของ Neural Network
2. Deductive Learning เป็นการเรียนรู้ที่ได้จากคำสั่ง การอธิบายและการเรียบเรียงใหม่
3. Heuristic Learning เป็นการค้นพบที่เกิดจากการสังเกต การทดลองและเรียนรู้โดยการวิเคราะห์

สำหรับแบบจำลองของการเรียนรู้ที่สำคัญมี 3 แบบคือ

- SBL : Similarity Based Learning การเรียนรู้จากความเหมือน
- EBL : Explanation Based Learning การเรียนรู้จากการอธิบาย
- CBR : Case Based Reasoning การเรียนรู้จากกรณีศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งสามแบบจำลองสามารถประยุกต์ใช้งานได้ตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงชนิดและวิธีการของการเรียนรู้

ชนิดของการเรียนรู้	**วิธีการที่ใช้สำหรับการเรียนรู้**	**แบบจำลอง**
การดึงความรู้จากแหล่งความรู้	การสัมภาษณ์	KE
การดึงความรู้จากตัวอย่าง	การเรียนรู้จากความเหมือน	SBL
การปรับแต่งฐานความรู้โดยอาศัยความรู้ด้านลึก	Knowledge Compilation Chunking	EBL
การปรับแต่งฐานความรู้โดยอาศัยเป้าหมาย 2 ตัวอย่าง	การเรียนรู้จากการอธิบาย	EBL
การนำกรณีการแก้ปัญหาเดิมมาใช้ใหม่	การหาเหตุผลจากกรณีศึกษา	CBR

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

โปรแกรมช่วยการออกแบบระบบป้องกัน CAPE

โปรแกรมสำเร็จรูป CAPE (Computer–Aide Protection Engineer) ถูกออกแบบเพื่อให้เป็นอุปกรณ์ของวิศวกรระบบป้องกัน ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย CAPE เป็นโปรแกรมที่ออกแบบโดยบริษัท Electrocon โปรแกรมนี้จะประกอบด้วยความสามารถทางด้านการวิเคราะห์และการรายงานผล ซึ่งถูกเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของ CAPE

โปรแกรม CAPE ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ [20]

- Database Editor Module
- Short Circuit Module
- One-Line Diagram Module
- Coordination Graphics Module
- Relay Setting Module
- System Simulator Module
- Relay Checking Module
- Line Constants Module

4.1 Database Editor Module [20]

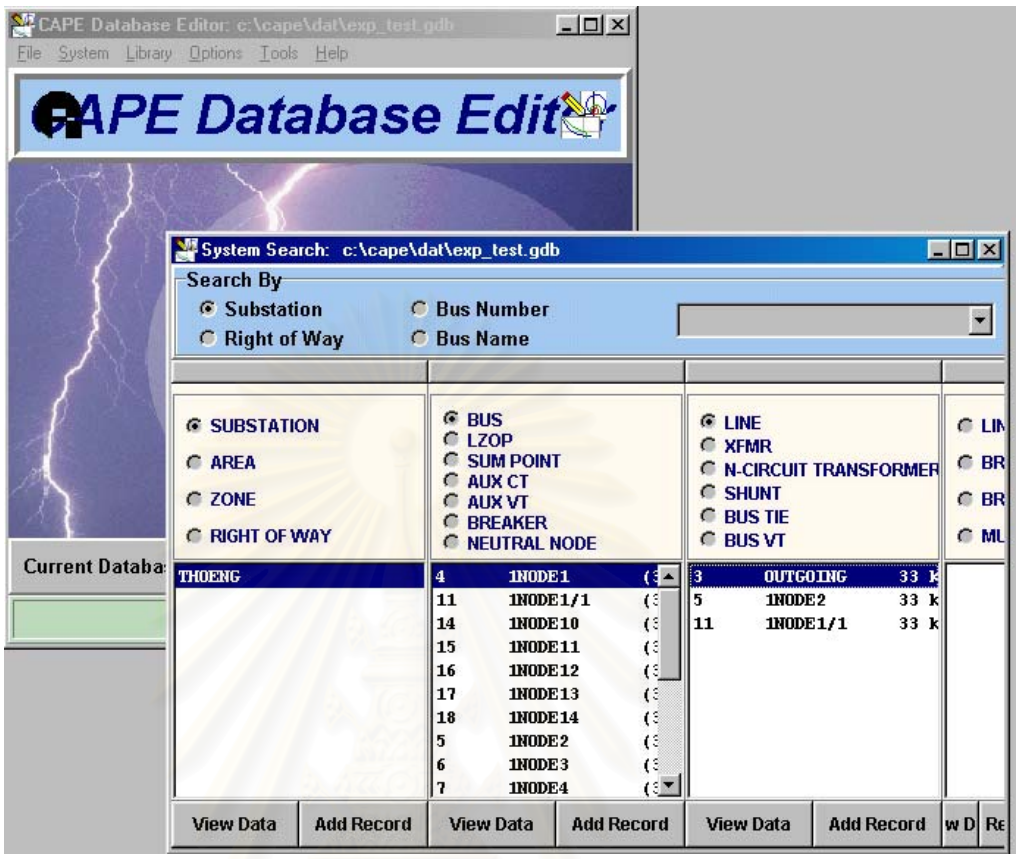
ระบบฐานข้อมูลของโปรแกรม CAPE ถูกออกแบบเพื่อใช้กับระบบโปรแกรม CAPE และออกแบบให้กับกลุ่มของวิศวกรที่ใช้งานอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโปรแกรมฐานข้อมูลที่เป็นที่นิยมทั่วไปเช่น Access, Paradox และ

Dbase หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นใช้เอง ระบบฐานข้อมูลนี้ออกแบบให้เป็นระบบเปิด ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลง และพัฒนาให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ Database Editor ของโปรแกรม CAPE มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการใช้งาน และออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างชัดเจน และเป็นหมวดหมู่

คุณสมบัติ:

- สามารถค้นหาข้อมูลด้วยการใช้ Mouse อย่างรวดเร็ว
- มีแบบฟอร์มที่สะดวกในการใช้งานรวมเป็นแบบฟอร์มเดียว
- สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลได้จากส่วน One-Line Diagram
- มีระบบที่สนับสนุนขนาดของฐานข้อมูลไม่จำกัด สามารถกำหนดชนิดของแฟ้มข้อมูลเองได้ พร้อมมาตรฐาน SQL และสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโปรแกรมอื่นได้
- รวมเข้ากับระบบ จำลองเครือข่าย เพื่อทำระบบเสมือนจริงในการทดสอบ ลัดวงจรและการดูทิศทางของโหลด
- ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมข้อมูลของ รีเลย์ หม้อแปลง ตัวนำ และระบบเสาส่งได้
- สามารถตรวจสอบเทียบระหว่างข้อมูลที่นำเข้าใหม่กับข้อมูลที่พึ่งบันทึกใหม่ได้ทันที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงรายละเอียด CAPE Database Editor

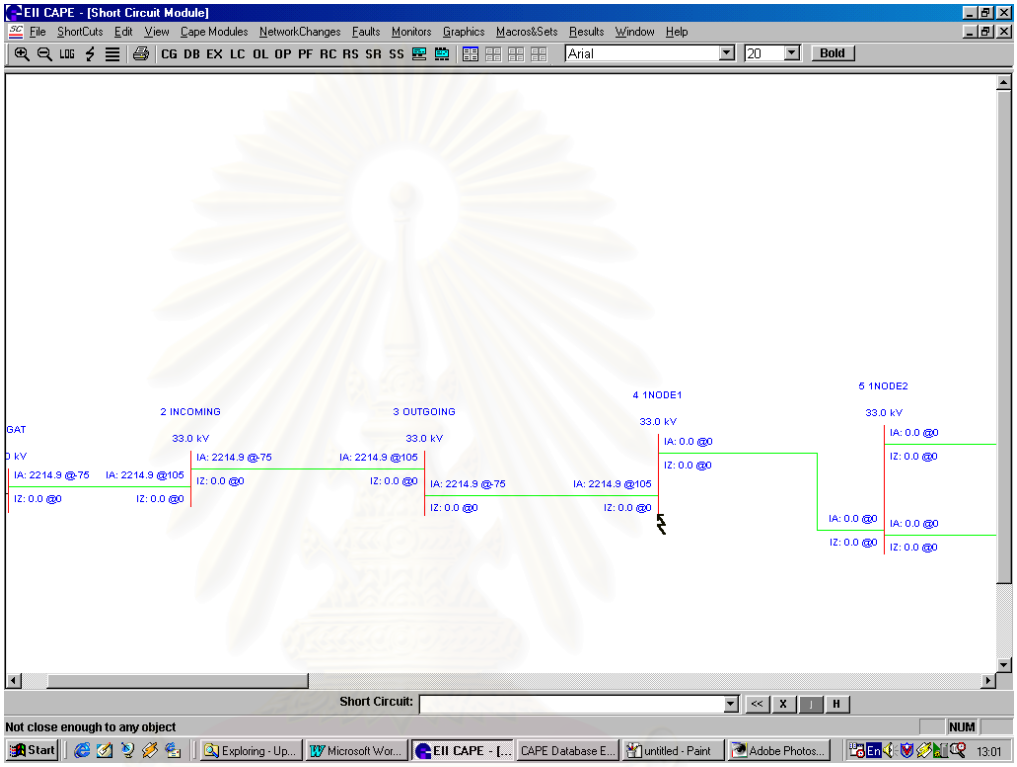
4.2 Short Circuit Module [20]

โปรแกรม CAPE ใช้ระบบวิเคราะห์การลัดวงจรแบบใหม่ ซึ่งออกแบบโดยบริษัท Electrocon ซึ่งมีความสามารถในการใช้งานสูง

คุณสมบัติ:

- ใช้งานกับแผนภาพเส้นเดี่ยวเพื่อความรวดเร็วและสะดวกในการใช้งาน
- มีเมนูช่วยเหลือจากการคลิก Mouse และสามารถใช้ แป้นพิมพ์ในการทำงานได้สะดวก
- แยกหน้าจอระหว่างส่วนรูปภาพและส่วน ตัวหนังสือ
- มีรูปแบบการวิเคราห์การลัดวงจรที่ก้าวหน้าที่สุด
- ผู้ใช้สามารถกำหนดชนิดของการลัดวงจรได้ไม่จำกัด

- มีข้อมูลของวงจรที่ละเอียดและแม่นยำ
- เมื่อเชื่อมโยงกับระบบ Power Flow สามารถจำลองกระแสโหลดได้ทันที
- สามารถแปลงข้อมูลข้ามระบบได้



รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียด Short Circuit Module

4.3 One-Line Diagram Module [20]

ระบบแผนภาพเส้นเดียวของ โปรแกรม CAPE สามารถสร้างความชัดเจนและสะดวกในการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม ส่วนแสดงผลจะทำงานแบบสองทาง คือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ในวงจรเช่นการเปลี่ยนอุปกรณ์ เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ หรือการสร้างการลัดวงจรขึ้น และเมื่อแสดงผลของวงจร ทั้งหมด การออกแบบทั้งหมดเพื่อให้มีความสมบูรณ์ของวงจรขนาดใหญ่ในขณะที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก

คุณสมบัติ:

- สามารถใช้งานเบรคเกอร์และสร้างการลัดวงจรจากรูปภาพได้ทันที
- สามารถเลือกให้แสดงข้อมูลต่างๆ จากรูปแบบที่กำหนดไว้ให้แล้ว
- สามารถเข้าถึงระบบฐานข้อมูลจากรูปภาพ
- สามารถสร้างส่วนประกอบต่างๆ ได้โดยการกดและลาก
- สามารถควบคุม สี ลักษณะของเส้น และระดับของแรงดันที่แสดงผลได้

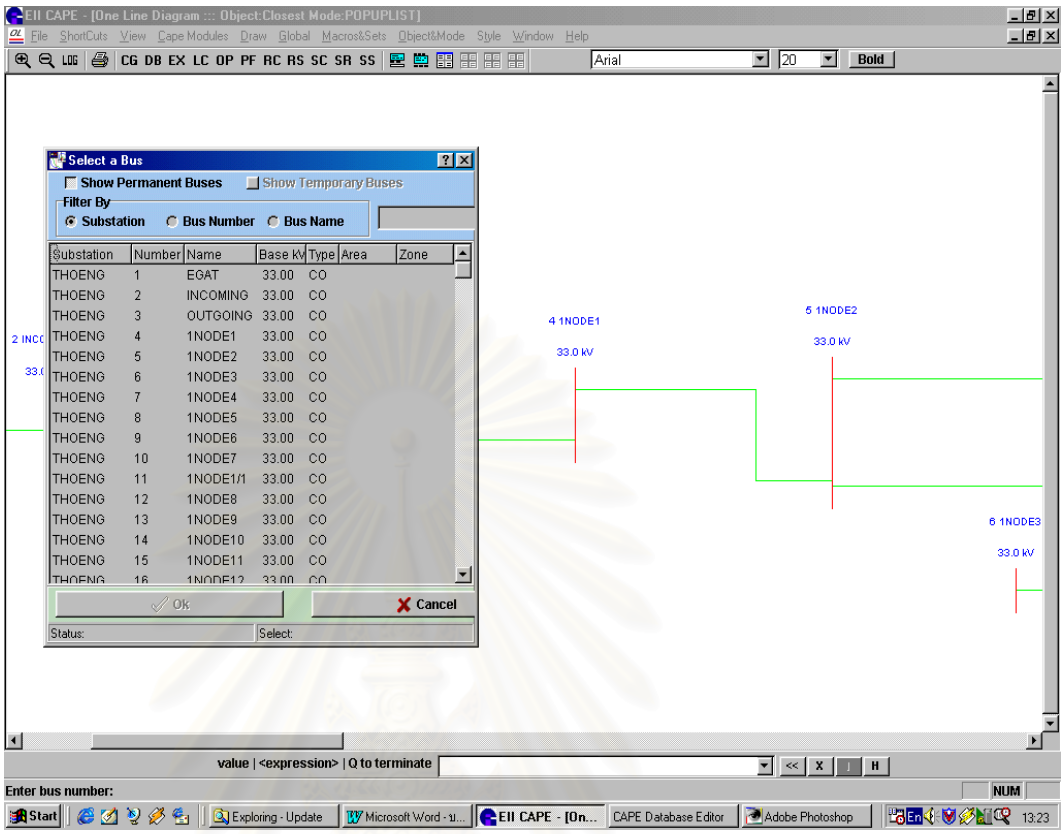
4.4 Coordination Graphics Module [20]

ระบบการทำงานร่วมกันนี้สามารถ ตั้งอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานร่วมกัน เปลี่ยนแปลงค่ากำหนดเริ่มทำงานของอุปกรณ์ หรืออุปกรณ์ แสดงผลการเปลี่ยนแปลง และสามารถเก็บข้อมูลการตั้งค่าต่าง ๆ ลงในระบบฐานข้อมูลได้

คุณสมบัติ:

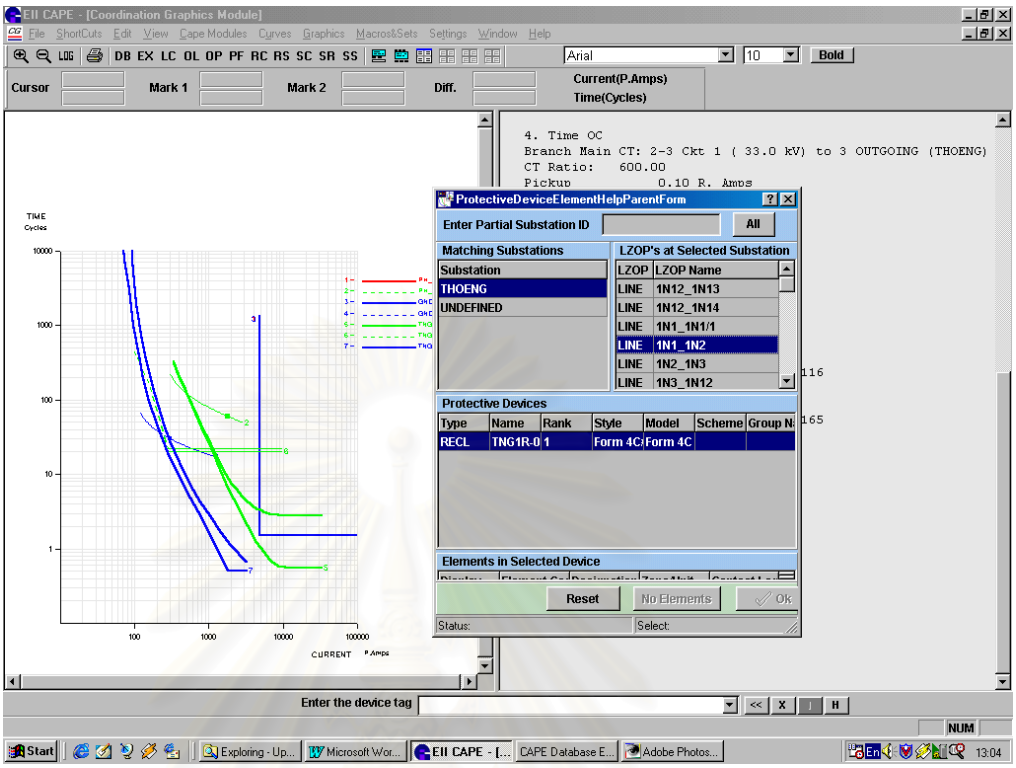
- สามารถใช้ Mouse ในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันจากฐานข้อมูล
- สามารถแสดง Overcurrent หรือ Distant Curve ได้ 30 ข้อมูลพร้อมกัน
- แสดงการตอบสนองของอุปกรณ์ป้องกัน ต่อการลัดวงจรแต่ละชนิด
- สามารถแก้ไขค่ากำหนดต่างๆ ได้
- สามารถบันทึกค่าที่แก้ไขต่างๆ ลงในฐานข้อมูลได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงรายละเอียด One – Line Diagram Module

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงรายละเอียด Coordination Graphics Module

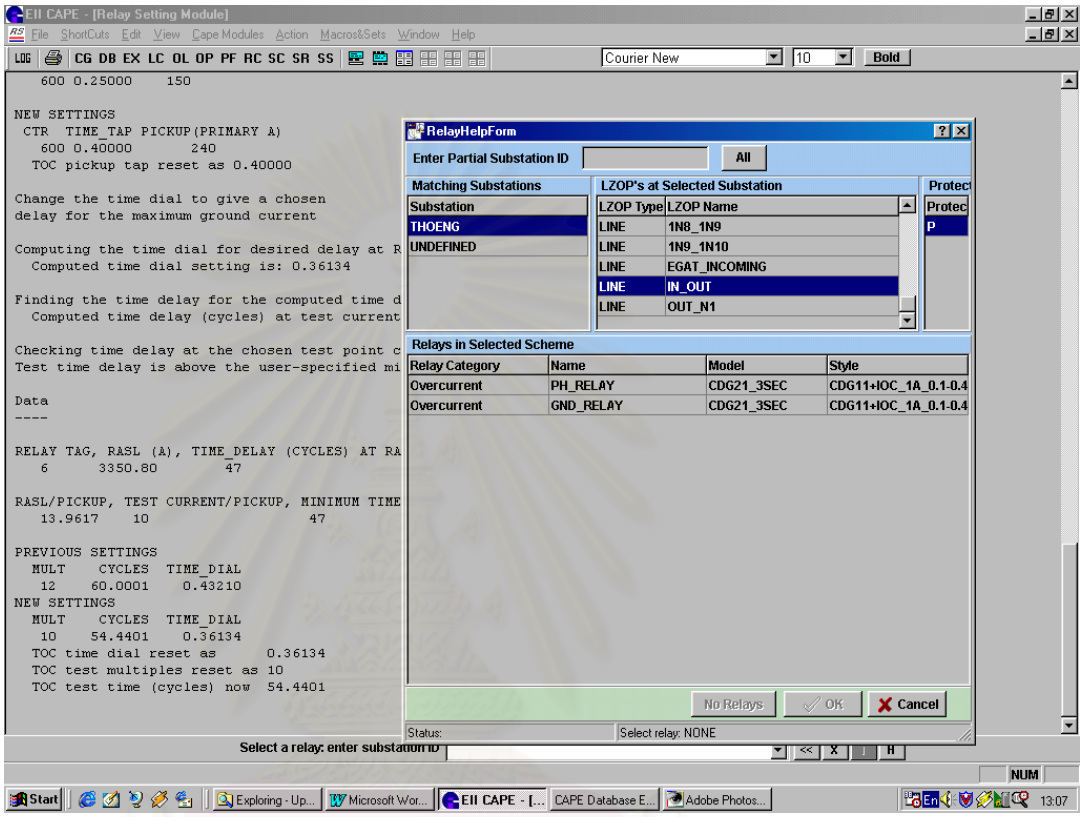
4.5 Relay Setting Module [20]

ส่วนประกอบของโปรแกรมนี้มีความสามารถกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์นี้ เป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้จริงที่มีความสามารถในการตั้งค่ารีเลย์โดยมีความเที่ยงตรง และทำงานที่เป็นขั้นตอนและงานที่ต้องทำซ้ำหลายครั้งแทนคนได้อย่างดี ซึ่งจะทำให้ลดเวลาในการทำงานเป็นอย่างมาก คอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณค่าต่างๆ โดยผ่านขั้นตอนกรรมวิธีการตัดสินใจ จากนั้นวิศวกรจะเป็นผู้วิเคราห์ว่าผลสรุปใดที่เป็นไปได้บ้าง

คุณสมบัติ:

- ผู้ใช้สามารถกำหนดขั้นตอนการตั้งค่าเองได้
- สามารถค้นหาข้อมูลของรีเลย์โดยใช้ Mouse ได้
- มีการตอบสนองต่อผู้ใช้ในการควบคุม
- วิเคราะห์การลัดวงจรโดยอัตโนมัติ

- มีรูปแบบของการตั้งค่าไว้พร้อมเรียกใช้อยู่แล้วหลายรูปแบบ
- วิธีการเลือกรีเลย์ไม่เหมือนกันโปรแกรมอื่นๆ



รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียด Relay Setting Module

4.6 System Simulator Module [20]

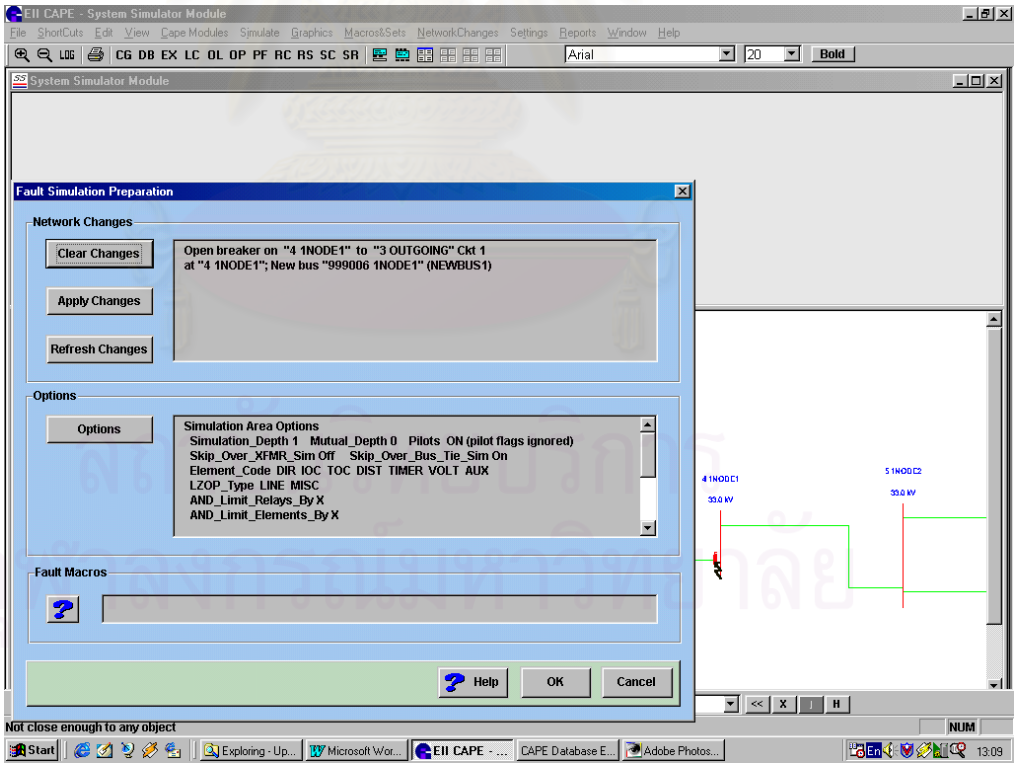
วิศวกรการป้องกันนั้นมีหลายครั้งที่ต้องคาดคะเนถึง การจัดการและตรวจสอบระบบที่ทำงานผิดพลาด การทำงานในวงจรที่มีความหนาแน่นและซับซ้อนสูง หรืออาจต้องตรวจสอบระบบลัดวงจรที่ทางบริษัทกำหนดให้ การที่มีเครื่องมือที่ดีในการใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์เหตุการณ์เหล่านี้ จะทำให้มีเวลาเหลือทำงานอย่างอื่นอีกไม่น้อย

โปรแกรม CAPE มีความสามารถในการทำงานร่วมกับส่วนการตรวจสอบรีเลย์ในการจำลองการเกิดการลัดวงจรในเวลาตั้งแต่การเกิดการลัดวงจร จนการลัดวงจรนั้นสิ้นสุดลง โดยสามารถสั่งงานได้ด้วยการคลิกเมาส์ และสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ

ในอุปกรณ์ได้ถึง 2000 ตัว โดยประกอบด้วย รีเลย์ อุปกรณ์หม้อแปลง ซึ่งสามารถตรวจสอบการลัดวงจรได้ทุกรูปแบบ พร้อมการหยุดการทำงานชั่วขณะเพื่อตรวจดูสภาวะของอุปกรณ์ต่าง ๆ ขณะเกิดการลัดวงจรได้ และสามารถจะดูซ้ำกี่ครั้งก็ได้ เพื่อเปรียบเทียบจนกว่าการลัดวงจรนั้นจะสิ้นสุดลง

คุณสมบัติ:

- ระบบจำลองเป็นแบบขั้น และอัตโนมัติ
- สามารถตั้งค่าเริ่มต้นได้โดยง่าย
- สามารถทำงานพร้อมกันทั้ง การป้องกันระยะทาง กระแสเกิน แรงดันเกิน
- มีอุปกรณ์เสมือนจริงได้แก่ อุปกรณ์หม้อแปลง รูปแบบการต่อหน้าสัมผัส และการทำงานของเบรคเกอร์
- มีรายงานข้อมูลที่คุณต้องการได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถสร้างการลัดวงจรที่มีความซับซ้อนได้



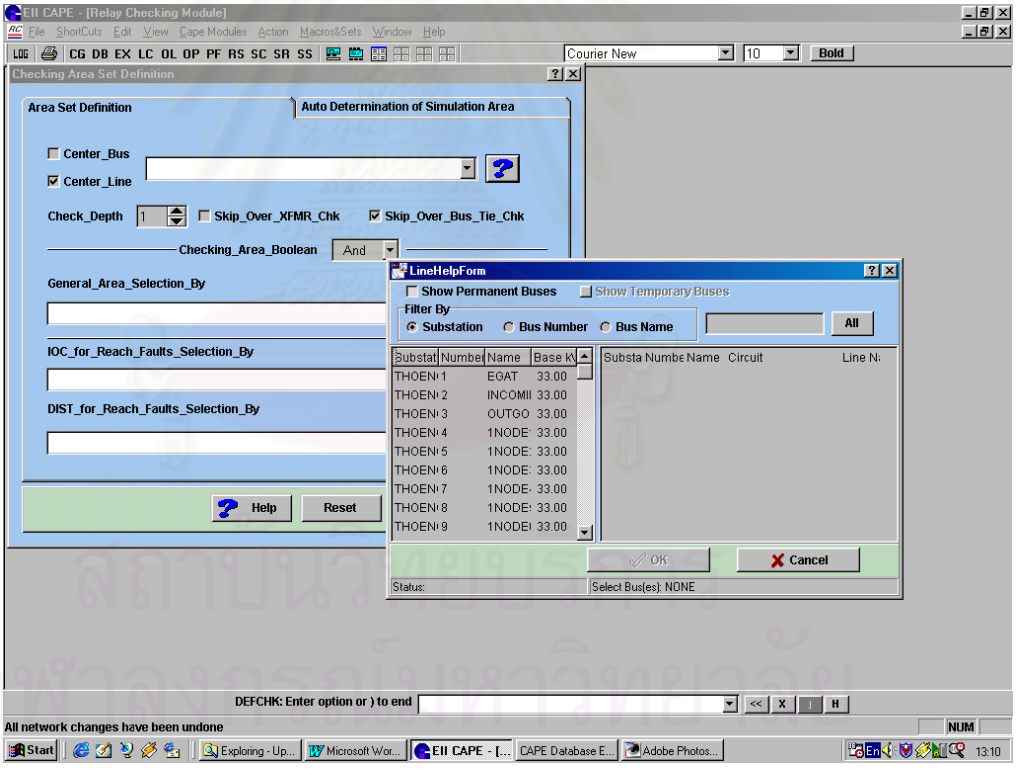
รูปที่ 4.6 แสดงรายละเอียด System Simulator Module

4.7 Relay Checking Module [20]

โปรแกรม CAPE ได้รับการออกแบบให้แสดงคุณลักษณะการทำงานของ รีเลย์ และอุปกรณ์หม้อแปลง เพื่อตรวจหาการทำงานที่ไม่สัมพันธ์กัน เพื่อจะได้เป็นข้อมูลประกอบในการหาทางแก้ไขต่อไป

คุณสมบัติ:

- ผู้ใช้สามารถกำหนดบริเวณที่ต้องการตรวจสอบได้
- หน้าจอสามารถเลื่อนอย่างอัตโนมัติไปยังส่วนที่เกี่ยวข้องกัน
- อุปกรณ์ต่างๆ มีการจำลองแบบเสมือนจริง
- สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างเป็นขั้นตอน
- สามารถทำรายงาน แบบหลายชั้นของการทำงานที่ไม่เข้ากันได้



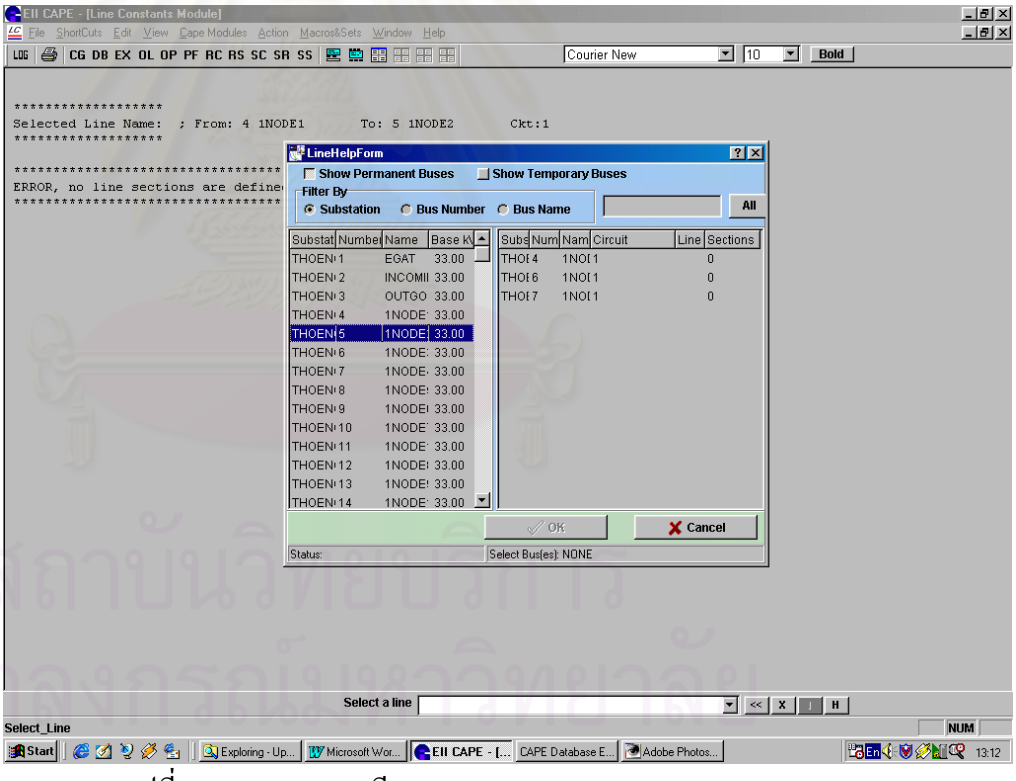
รูปที่ 4.7 แสดงรายละเอียด Relay Checking Module

4.8 Line Constant Module [20]

โปรแกรม CAPE มีความเหมาะสมเพื่อใช้ทำงานที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงระบบสายส่ง ที่ต้องการความมั่นคง เพราะสามารถหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายได้ ซึ่งใช้ ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล มีการทำงานแบบรูปภาพเพื่อแสดงผลต่างๆ อย่างชัดเจน

คุณสมบัติ:

- มีจำนวนวงจรไม่จำกัด
- มีข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยตรง
- แสดงข้อมูลแบบรูปภาพ
- มีข้อมูลของตัวนำชนิดต่างๆ อยู่เป็นจำนวนมาก
- มีข้อมูลของเสาส่งของบริษัทต่างๆ
- สามารถจัดทำรายงานได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.8 แสดงรายละเอียด Line Constant Module

บทที่ 5

ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์ การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

งานวิจัยนี้จะสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งระบบจำหน่ายในปัจจุบันจะเป็นแบบ เรเดียล และอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายเป็นชนิด การป้องกันกระแสเกิน ดังนั้นฐานข้อมูล และฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ จึงประกอบด้วย ข้อกำหนด ข้อเท็จจริง มาตรฐาน ของ กฟภ.เป็นส่วนใหญ่ และฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ยังประกอบด้วยความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าอีกด้วย ข้อมูล ข้อกำหนด วิธีการ รายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะนำมาจาก หนังสือ บทความ ความรู้และประสบการณ์ของวิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบการป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เครื่องที่ใช้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญของงานวิจัยนี้เลือกใช้ ภาษา CUPL (CAPE User Programming Language) ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมมิ่ง (Programming Language) ชนิดหนึ่งร่วมกับเปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ CAPE (Computer Aides Protection Engineer)

การรวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะเริ่มต้นการวิเคราะห์จากรีเลย์ป้องกันที่สถานีไฟฟ้า รีเลย์ขาเข้า (Incoming Relay) กับรีเลย์ขาออก (Outgoing Relay) เมื่อระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์เสร็จแล้ว จะรายงานผลการวิเคราะห์ของรีเลย์ดังกล่าวออกมา และจะดำเนินการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันในสายจำหน่ายหลัก (Main Feeder) ซึ่งได้แก่ คู่อุปกรณ์ป้องกัน รีเลย์ขาออก กับ รีโคลสเซอร์ , รีโคลสเซอร์ กับ รีโคลสเซอร์ หลังจากนั้นจะวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันในสายจำหน่ายหลัก กับ สายจำหน่ายแยก (Branch Line) ซึ่งได้แก่ รีเลย์ กับ ฟิวส์ , รีโคลสเซอร์ กับ ฟิวส์ และสุดท้ายระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์

อุปกรณ์ป้องกันในสายจำหน่ายแยก กับ สายจำหน่ายย่อย (Sub – Branch Line) ซึ่งได้แก่ ฟิวส์ กับ ฟิวส์

รูปที่ 5.1 ลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญดังที่กล่าวมานั้น การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น จะแยกการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญออกเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญย่อย ๆ เพื่อทำการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งสามารถแยกเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญย่อยดังนี้

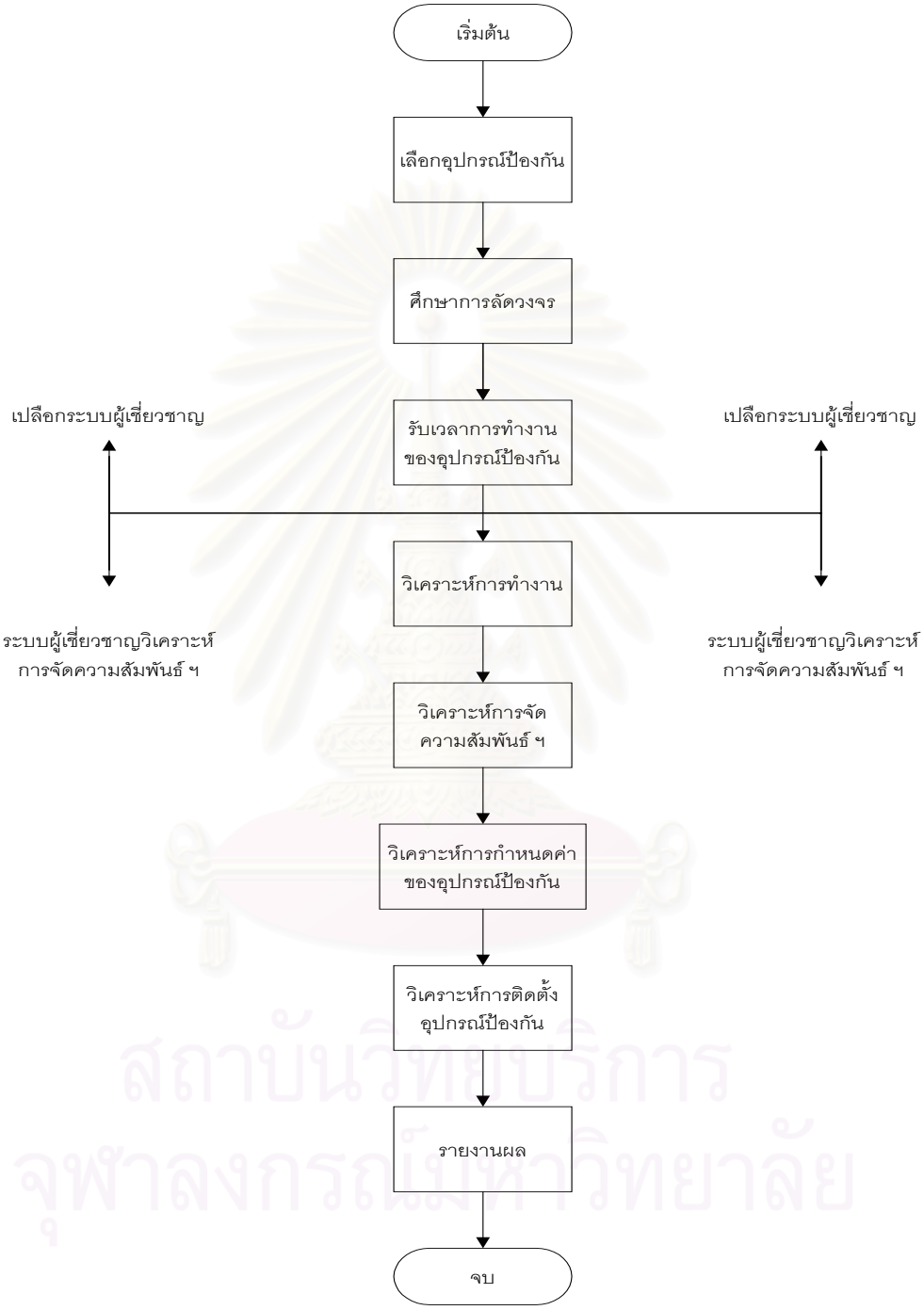
- ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์
- ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์
- ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – ฟิวส์
- ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์
- ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – ฟิวส์
- ระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ – ฟิวส์

การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญข้างต้นมีการขั้นตอนการทำงานเหมือนกันดังนี้

- รับข้อมูลของระบบไฟฟ้า
- รับข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน
- ศึกษาการลัดวงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- หาเวลาที่อุปกรณ์ป้องกัน
- วิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (operation analysis)
- วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ (coordination analysis)
- วิเคราะห์ค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (setting analysis)
- วิเคราะห์ตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกัน (Installation analysis)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากขั้นตอนการทำงานดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้



รูปที่ 5.2 แสดงการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 **การวิเคราะห์อุปกรณ์ป้องกัน** (Protective Device Analysis)

5.1.1 **การวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน** (Operation Analysis)

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่เกี่ยวข้องกับการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยจะพิจารณาจากเวลาทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่รับรู้กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุด จะตัดวงจรหรือสั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน แล้วระบบผู้เชี่ยวชาญจะตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันนั้น ว่าควรจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานตัดวงจร หรือไม่ และจะเปรียบเทียบเวลาการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานตั้งแต่เริ่มต้น จนตัดวงจรเพื่อกำจัดการลัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า กับเวลาที่อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายสามารถทนได้ กับกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นได้ จากรายละเอียดดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ดังนี้

- หาอุปกรณ์ที่ตัดวงจร เพื่อกำจัดการลัดวงจร
- ตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน
- เปรียบเทียบเวลาที่ตัดวงจร กับเวลาที่อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถทนกระแสลัดวงจรนั้นได้

5.1.2 **การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกัน**

ระบบผู้เชี่ยวชาญเมื่อได้รับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดที่เกี่ยวข้องแล้ว และเมื่อได้ผลจากการวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะหาผลต่างของเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันด้านปฐมภูมิ กับอุปกรณ์ป้องกันด้านทุติยภูมิ แล้วนำมาตรวจสอบกับ เงื่อนไข ข้อกำหนด ข้อเท็จจริง จากฐานความรู้ และแสดงผลการตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันที่กำหนดค่าการเริ่มทำงานปัจจุบันนั้น สามารถทำงานได้สัมพันธ์กับอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ หรือไม่ ถ้าไม่ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะให้ข้อแนะนำสำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นทำงาน เพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานป้องกันระบบไฟฟ้าได้สัมพันธ์กับอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ ในระบบจำหน่าย

5.1.3 การวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Setting Analysis)

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะตรวจสอบค่าเริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันทางด้านปฐมภูมิ โดยที่กำหนดให้ค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันทางด้านทุติยภูมิคงที่ หลังจากนั้นจะตรวจสอบข้อกำหนด เงื่อนไข สูตรการคำนวณ จากฐานความรู้ ของระบบผู้เชี่ยวชาญ และคำนวณหาค่าเริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันด้านปฐมภูมิ ค่าใหม่ที่เหมาะสม ซึ่งจะสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับ อุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ

5.1.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกัน (Installation Analysis)

สำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ป้องกันนี้ ระบบผู้เชี่ยวชาญนำข้อกำหนดของ กฟภ. ใส่ในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะมีรายละเอียดข้อกำหนดการติดตั้ง ฟิวส์ รีโคลสเซอร์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบผู้เชี่ยวชาญจะตรวจสอบข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งปัจจุบัน กับฐานความรู้ และจะให้ผลการตรวจสอบ และคำแนะนำสำหรับการแก้ไขความผิดพลาดการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันและ Single Line Diagram ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์

DISTRIBUTION PROTECTION SETTING
OVERCURRENT PROTECTION

DATA FROM : THOENG SUBSTATION FEEDER No. 1
FILE : EXP TEST .GDB

RELAY SETTINGS

RELAY NAME	RELAY STYLE	CT RATIO	TIME DELAY SETTING		INSTANTANEOUSE SETTING		NOTE
			PICKUP (A)	DIAL	PICKUP (A)	OPERATING TIME (cycles)	
EGAT_PHASE	MCG22	240/1	1.00	0.7			OFF INST..
EGAT_GND	MCG22	240/1	0.50	0.425			OFF INST..
IN_PHASE	CDG21	600/1	0.25	0.432	8	1.5	
IN_GND	CDG21	600/1	0.10	0.1464	8	1.5	
OUT_PHASE	CDG21	120/1	1.50	0.332	30	1.5	
OUT_GND	CDG21	120/1	0.50	0.443	30	1.5	

ตารางที่ 5.2 แสดงการกำหนดขนาดฟิวส์

FUSE SETTINGS

NAME	TYPE	SIZE
TNG1F-01	K	40
TNG1F-02	K	40
TNG1F-03	K	25
TNG1F-04	K	15
TNG1F-05	K	25
TNG1F-06	K	40
TNG1F-07	K	20
TNG1F-08	K	25

ตารางที่ 5.3 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นทำงานของรีโคลสเซอร์

DISTRIBUTION PROTECTION SETTING

OVERCURRENT PROTECTION

DATA FROM : THOENG SUBSTATION FEEDER No. 1

FILE : EXP TEST .GDB

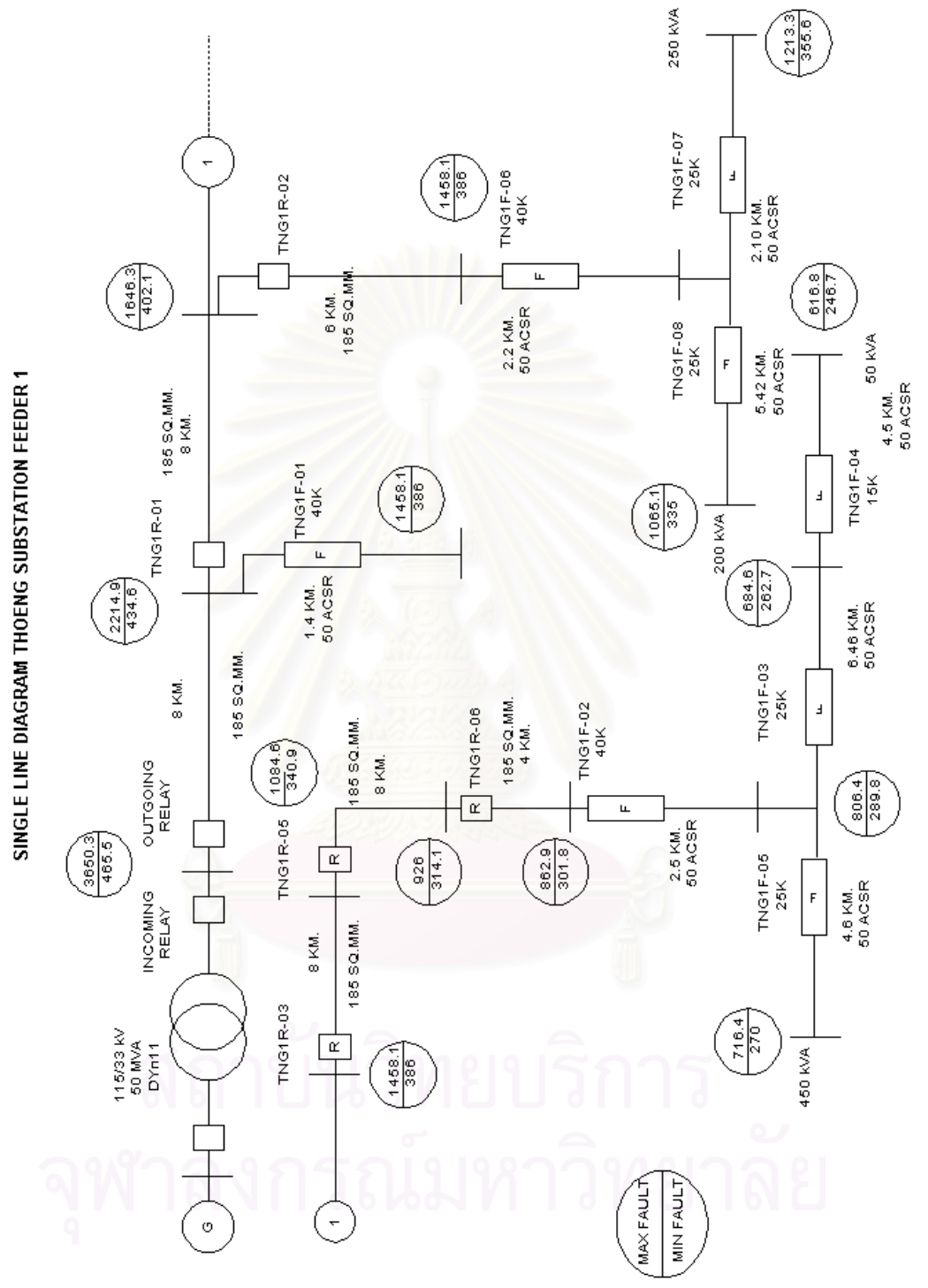
RECLOSER PHASE SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	PHASE			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
	OF RECLOSER	[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	340	A	116	5	15	180
TNG1R-02	VWVE	4C	200	101	116	5	15	120
TNG1R-03	VWVE	3A	280	A	116	5	15	120
TNG1R-05	VWVE	4C	200	105	116	5	15	120
TNG1R-06	VWVE	4C	50	105	116	5	15	120

RECLOSER GROUND SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	GROUND			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
	OF RECLOSER	[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	100	A	165	5	15	180
TNG1R-02	VWVE	4C	50	102	165	5	15	120
TNG1R-03	VWVE	3A	70	A	165	5	15	120
TNG1R-05	VWVE	4C	50	111	165	5	15	120
TNG1R-06	VWVE	4C	50	111	165	5	15	120

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 แสดง Single Line diagram Feeder 1 ของสถานีไฟฟ้าเทิง

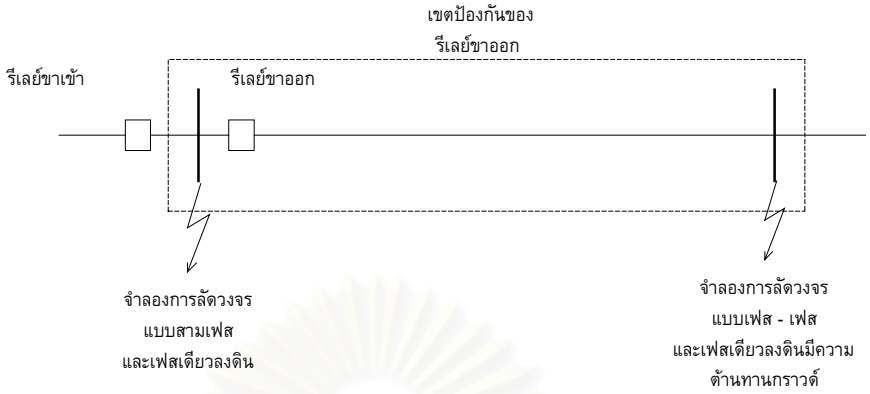
5.3 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์

ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ จะทำหน้าที่วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินที่สถานีไฟฟ้าซึ่งได้แก่ รีเลย์ป้องกันกระแสเกินขาเข้า (Incoming Relay) และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินขาออก (Outgoing Relay) การทำงานเริ่มตั้งแต่เลือกรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่ บัสขาเข้า และบัสขาออก ทั้งรีเลย์ป้องกันด้านเฟส และรีเลย์ป้องกันทางด้านดิน ซึ่งถูกกำหนดค่าต่าง ๆ สำหรับการป้องกัน เช่น กระแสเริ่มทำงาน (Pickup Current) ขนาดหม้อแปลงกระแส (CT ratio) Time dial เมื่อได้ข้อมูลรีเลย์ทั้งคู่แล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะเริ่มต้นวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ ซึ่งมีลำดับการทำงานดังนี้

- เลือกรีเลย์ขาเข้า
- เลือกรีเลย์ขาออก
- ศึกษาการลัดวงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- รับเวลาการทำงานของรีเลย์ขาเข้า และรีเลย์ขาออก

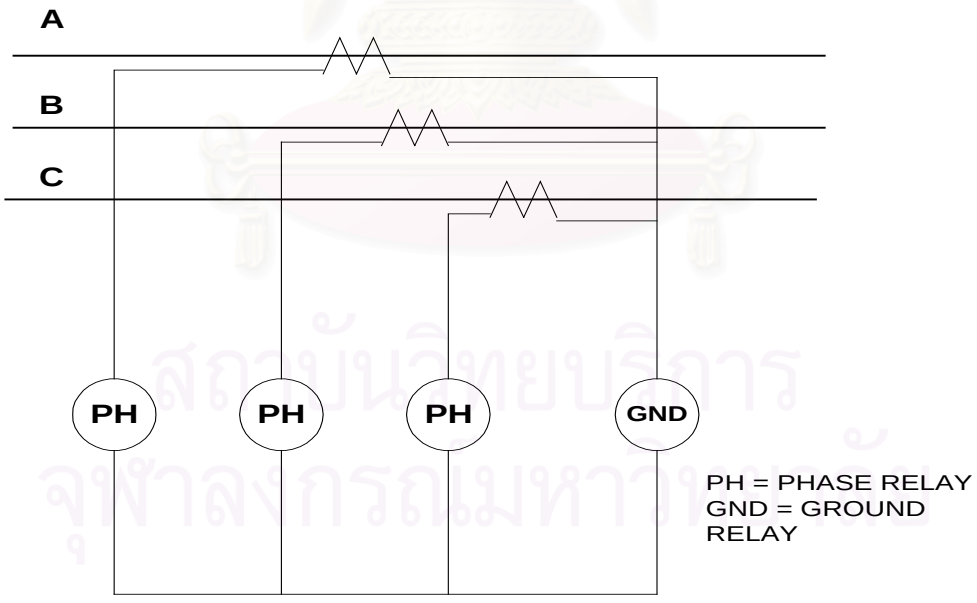
ระบบผู้เชี่ยวชาญจะจำลองการลัดวงจร แบบสามเฟส (Three Phase) เฟสเดียวลงดิน (Single Line to Ground) ที่ตำแหน่งรีเลย์ขาออก เพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และจำลองการลัดวงจรแบบ เฟส – เฟส (Line to Line) และ เฟสเดียวลงดิน (Single Line to Ground with Resistant) โดยมีความต้านทานต่ออยู่ด้วยที่ปลายของเขตป้องกันของรีเลย์ขาออกเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุด ซึ่งจะแสดงรายละเอียดการศึกษาการลัดวงจรตามรูปที่ 5.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - รีเลย์

บัสขาเข้า (Incoming Bus) และบัสขาออก (Outgoing Bus) จะประกอบด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้านเฟส และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้านดินต่อร่วมกันอยู่ เพื่อป้องกันการลัดวงจรด้านเฟส และกราวด์ ซึ่งรีเลย์นั้นจะประกอบด้วยการทำงานแบบหน่วงเวลา (TOC Element) และการทำงานแบบทันที (IOC Element)



รูปที่ 5.5 แสดงการต่อรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำงานด้านเฟส (Phase Reay) และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำงานด้านดิน (Ground Relay)

จาการศึกษาการลัดวงจรนี้จะนำค่ากระแสลัดวงจรของการลัดวงจรชนิดต่าง ๆ มาหาเวลาทำงานของรีเลย์ และระบบผู้เชี่ยวชาญจะนำเวลาทำงานนี้ตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบการป้องกัน และการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์

5.3.1 **การวิเคราะห์การทำงานของรีเลย์**

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาอุปกรณ์ของรีเลย์ที่ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน และจะตรวจสอบกับเงื่อนไขการทำงานที่ถูกต้องของฐานข้อมูล ซึ่งมีเงื่อนไขการทำงานที่ถูกต้องดังนี้ “ รีเลย์ขาเข้าจะต้องไม่ทำงานแต่รีเลย์ขาออกจะต้องทำงานส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน “ ถ้ารีเลย์ไม่ทำงานตามเงื่อนไขนี้ จะแสดงถึงการออกแบบการป้องกันที่ผิดพลาด

5.3.2 **การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของรีเลย์ - รีเลย์**

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์เวลาการทำงานของรีเลย์ขาเข้า และรีเลย์ขาออก จากนั้นจะหาค่าความแตกต่างของเวลาทั้งสอง นำค่าความแตกต่างนี้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับฐานความรู้

ฐานความรู้การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ – รีเลย์ ประกอบด้วยข้อกำหนดการจัดความสัมพันธ์ รีเลย์ - รีเลย์ ดังนี้

- **ฐานความรู้ 1** สูตรการคำนวณ Grading Margin [15]

T	=	0.25*t + 0.25	อุปกรณ์ทำงานแบบหน่วงเวลา
T	=	0.20*t + 0.25	อุปกรณ์ทำงานแบบทันทีทันใด

T คือความแตกต่างอย่างน้อยของเวลาการทำงานของรีเลย์ขาเข้า กับ รีเลย์ขาออก

t คือเวลาการทำงานของรีเลย์ขาออก

- **ฐานความรู้** 2 กำหนดให้ Grading Margin มีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับ 0.3 วินาที [13]

Grading Margin / 0.3 วินาที

- **ฐานความรู้** 3 กำหนด Grading Margin มีค่ามากกว่า 0.3 วินาที แต่น้อยกว่า 0.5 วินาที [17]

Grading Margin > 0.3 วินาที

และ

Grading Margin ≤ 0.5 วินาที

ระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ – รีเลย์ นี้จะเน้นการประยุกต์กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ รีเลย์ – รีเลย์ จะใช้ฐานความรู้ 1 วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์

5.3.3 การวิเคราะห์ค่าเริ่มต้นทำงานของรีเลย์ (Relay Setting)

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์ค่าเริ่มทำงานของรีเลย์จากฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจความถูกต้องในการกำหนดค่าเริ่มทำงาน ค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ประกอบด้วยค่าเริ่มต้นทำงานดังนี้

- กระแสเริ่มทำงานของการทำงานแบบหน่วง (TOC Pickup Current)
- กระแสเริ่มทำงานของการทำงานแบบทันที (IOC Pickup Current)
- Time Dial

หมายเหตุ : - การวิเคราะห์นี้จะใช้ค่าอัตราส่วนหม้อแปลงกระแสเดิม
- ค่าเริ่มการทำงานข้างต้น จะแยกออกเป็นของเฟสรีเลย์ และกราวด์รีเลย์

ฐานความรู้การวิเคราะห์ค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ประกอบด้วย

- **ฐานความรู้** 1 กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีเลย์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 150 – 200 % ของกระแสโหลดสูงสุด [17]

- **ฐานความรู้** 2 กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีเลย์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 30 % ของกระแสโหลดสูงสุด [17]

- **ฐานความรู้** 3 กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีเลย์จะมีค่าเท่ากับ หนึ่งในสามของกระแสลัดวงจรแบบเฟสต่ำที่สุดของเขตการป้องกันของรีเลย์ [13]

- **ฐานความรู้** 4 กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีเลย์จะมีค่าเท่ากับ หนึ่งในสามของกระแสลัดวงจรแบบกราวด์ต่ำที่สุดของเขตการป้องกันของรีเลย์ [13]

- **ฐานความรู้** 5 กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีเลย์จะมีค่ามากกว่ากระแสโหลดสูงที่สุดที่ผ่านรีเลย์ป้องกันนี้ แต่จะต้องน้อยกว่ากระแสลัดวงจรแบบเฟสของเขตป้องกัน [15]

- **ฐานความรู้** 6 กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีเลย์มีค่าเท่ากับ 20-30 % ของค่ากระแสเริ่มทำงานของเฟสรีเลย์ [15]

- **ฐานความรู้** 7 กำหนดค่าเวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้ตัดวงจร มีค่าเท่ากับ 2-8 ไซเคิล หรือ 0.04 – 0.16 วินาที สำหรับระบบไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz [20]

- **ฐานความรู้** 8 เวลาที่รีเลย์ใช้สั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงานที่ค่ากระแสลัดวงจรสูงที่สุดที่ผ่านรีเลย์ป้องกันนี้ จะต้องน้อยกว่า 1 วินาที [15]

- **ฐานความรู้** 9 เวลาน้อยที่สุดที่รีเลย์ใช้สั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงานจะต้องน้อยกว่า 1 วินาที [15]

- **ฐานความรู้ 10** กระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ทำงานแบบทันที (IOC Element) มีค่าเท่ากับ 600-1000 % ของค่ากระแสสูงสุดที่สายไฟฟ้าจะไม่เสียหาย [17]

- **ฐานความรู้ 11** กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีเลย์ทำงานแบบทันที (IOC Element) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 50 % ของค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดแบบเฟส ของเขตป้องกัน [17]

- **ฐานความรู้ 12** กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีเลย์ทำงานแบบทันที (IOC Element) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 125 % ของค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดแบบเฟสที่ด้านปลายเขตป้องกันของรีเลย์ [17]

- **ฐานความรู้ 13** กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีเลย์ทำงานแบบทันที (IOC Element) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 50 % ของค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดแบบกราวด์ ของเขตป้องกัน [17]

- **ฐานความรู้ 14** กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีเลย์ทำงานแบบทันที (IOC Element) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 125 % ของค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดแบบกราวด์ที่ด้านปลายเขตป้องกันของรีเลย์ [17]

- **ฐานความรู้ 15** กำหนดแทปต่ำที่สุดของรีเลย์เท่ากับ 0.6 [20]

ระบบผู้เชียวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ นี้จะไม่มีการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของรีเลย์ เนื่องจากรีเลย์จะถูกกำหนดให้ติดตั้งอยู่ที่สถานีไฟฟ้าเท่านั้น

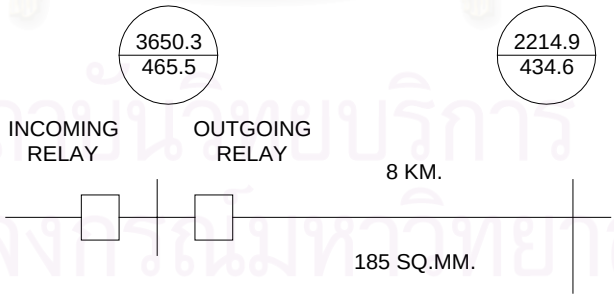
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - รีเลย์

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญศึกษาได้จากภาคผนวก ก. ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์ต่าง ๆ สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 5.5 การกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดค่ากำหนดเริ่มทำงานของรีเลย์

RELAY NAME	RELAY STYLE	CT RATIO	TIME DELAY SETTING		INSTANTANEOUSE SETTING	
			PICKUP (A)	DIAL	PICKUP (A)	TIME (cycles)
IN_PHASE	CDG21	600/1	0.25	0.432	8	1.5
IN_GND	CDG21	600/1	0.10	0.1464	8	1.5
OUT_PHASE	CDG21	120/1	1.50	0.332	30	1.5
OUT_GND	CDG21	120/1	0.50	0.443	30	1.5



รูปที่ 5.6 แสดงรีเลย์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รายละเอียดทั้งหมดแสดงในรูปที่ 5.3

ผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - รีเลย์

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีเลย์ ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้สามารถศึกษาได้จากภาคผนวก ก. รูปแสดงความสัมพันธ์เวลา – กระแสของรีเลย์ด้านขาเข้า และขาออก แสดงตามรูปที่ ก-1 และรูปที่ ก-2 ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 5.5 – 5.7

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

EXPERT RELAY - RELAY COORDINATION

OPERATION ANALYSIS

FAULT	OPERATING TIME (SECONDS)		TRIP PATH	MALOPERATION
[AMPS]	SOURCE SIDE	LOAD SIDE		
MAX PHASE [3350.80]	0.976	0.248	LOAD SIDE RELAY	NO
MIN PHASE [1918.15]	1.166	0.292	LOAD SIDE RELAY	NO
MAX GROUND [3650.25]	0.34	0.03	LOAD SIDE RELAY	NO
MIN GROUND [434.626]	0.504	0.664	LOAD SIDE RELAY	YES

จากตารางที่ 5.5 แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์การทำงานของ รีเลย์ด้านสถานีไฟฟ้า (Source Side) และรีเลย์ด้านโหลด (Load Side) เมื่อระบบผู้เชี่ยวชาญจำลองการลัดวงจรชนิดต่าง ๆ เพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด ของการลัดวงจรชนิดเฟส (MAX PHASE . MIN PHASE) และเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด ของการลัดวงจรชนิดกราวด์ (MAX GROUND , MIN GROUND) และระบบผู้เชี่ยวชาญจะหาเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสลัดวงจรดังกล่าว พร้อมทั้งจะแสดงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สั่งอุปกรณ์ตัดตอนให้ทำงานด้วย (LOAD SIDE OR SOURCE SIDE) แล้วจะตรวจสอบการทำงานของรีเลย์ทั้งคู่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของรีเลย์

ในกรณีที่ระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ เมื่อจำลองการลัดวงจรและได้กระแสลัดวงจรแบบเฟสสูงสุด พบว่า รีเลย์ด้านสถานีมีเวลาทำงาน 0.976 วินาที และรีเลย์ด้านโหลดใช้เวลาทำงาน 0.292 วินาที รีเลย์ด้านโหลดทำงานสั่งอุปกรณ์ตัดตอน ให้ทำงานกำจัดการลัดวงจร และระบบผู้เชี่ยวชาญจะสรุปการทำงานของคูรีเลย์ว่าทำงานถูกต้อง (NO

maloperation) ซึ่งหมายถึงรีเลย์ด้านโหลดสั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงานแต่ที่กระแสลัดวงจรต่ำสุดแบบลัดวงจรลงดินจะทำงานไม่ถูกต้อง คือรีเลย์ด้านขาเข้าจะทำงาน

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

COORDINATION ANALYSIS

FAULT	TIME MARGIN [SECONDS]	GRADING MARGIN [SECONDS]	MISCOORDINATION
MAX PHASE [3350.80]	0.728	0.312	NO
MIN PHASE [1918.15]	0.874	0.323	NO
MAX GROUND [3650.25]	0.31	0.2575	NO
MIN GROUND [434.626]	-0.16	0.416	YES

จากตารางที่ 5.6 พบว่ารีเลย์ทั้งสองทำงานได้สัมพันธ์กัน ทุกค่ากระแสลัดวงจรภายในเขตป้องกันของรีเลย์ด้านโหลด ยกเว้นการลัดวงจรที่ให้ค่ากระแสลัดวงจรลงดินต่ำที่สุด ซึ่งจะไม่สามารถทำงานสัมพันธ์กันได้ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแนะนำให้เปลี่ยนค่า Time Dial ของรีเลย์ที่ทำงานด้านป้องกันการลัดวงจรลงดินของด้านขาเข้าให้มีค่าสูงขึ้น และให้เปลี่ยนค่า Time Dial ของรีเลย์ที่ทำงานด้านป้องกันการลัดวงจรลงดินของด้านขาออกให้มีค่าต่ำลง

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

SETTING ANALYSIS

ELEMENT		PRVIOUSE SETTING		NEW SETTING	
	CT RATIO	PICKUP [A]	DIAL	PICKUP [A]	DIAL
PH TOC	120 : 1	1.5	0.1	4	0.31185
PH IOC	120 : 1	30	…	23.0717	…
GND TOC	120 : 1	0.5	0.1	2	0.31185
GND IOC	120 : 1	30	…	17.4279	…

ตารางที่ 5.7 จะเปรียบเทียบค่าเริ่มทำงานเดิม กับค่าเริ่มทำงานใหม่ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยยังคงใช้อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส (CT) เหมือนเดิม รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถศึกษาได้จากภาคผนวก ก.

จากการวิเคราะห์การป้องกันของรีเลย์ขาเข้า และรีเลย์ขาออก สรุปผลได้ว่า ที่กระแสลัดวงจรแบบลงดินที่ให้ค่ากระแสลัดวงจรต่ำที่สุด รีเลย์ทั้งสองไม่สามารถทำงานได้ถูกต้อง สาเหตุเกิดจากระบบผู้เชี่ยวชาญใช้ค่ากระแสลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน โดยมีความต้านทานดิน 40 โอห์ม ต่อร่วมอยู่ด้วยเป็นค่ากระแสต่ำสุดมาวิเคราะห์การป้องกัน แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เกิดการลัดวงจรแบบนี้มากนัก จึงไม่มีการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรชนิดนี้ และจะวิเคราะห์การป้องกันเฉพาะค่ากระแสลัดวงจรสูงที่สุดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จึงเป็นไปได้ที่รีเลย์ทั้งสองจะไม่ทำงานสัมพันธ์กันที่กระแสลัดวงจรต่ำที่สุดในเขตการป้องกันของรีเลย์ขาออก ส่วนการลัดวงจรแบบอื่น ๆ รีเลย์ทั้งสองสามารถทำงานได้สัมพันธ์

สำหรับการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานนั้น เพื่อหาค่ามากที่สุดของเวลาที่รีเลย์ขาออกจะกำหนดได้ และยังสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับรีเลย์ทางด้านขาเข้า ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดระหว่าง กฟภ. และ กฟผ.ในการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ที่สถานีไฟฟ้า ดังนั้นค่าที่ระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์และแสดงผลออกมานั้นจึงไม่สอดคล้องกับค่าปัจจุบัน

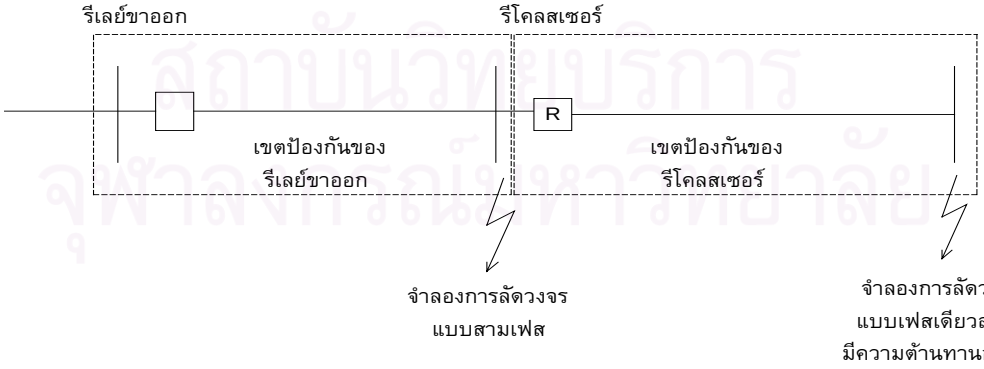
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์

ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ จะวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินที่สถานีไฟฟ้าซึ่งได้แก่รีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่บัสขาออก (Outgoing Relay) และ รีโคลสเซอร์ การทำงานเริ่มตั้งแต่เลือกรีเลย์ป้องกันกระแสเกินบัสขาออก ทั้งรีเลย์ด้านเฟส รีเลย์ทางด้านกราวด์ และรีโคลสเซอร์ ซึ่งถูกกำหนดค่าต่างๆ สำหรับการป้องกันไว้แล้ว เช่น กระแสเริ่มทำงาน (Pickup Current, Minimum Trip Level) ขนาดหม้อแปลงกระแส (CT ratio) กราฟการทำงาน และอื่น ๆ ไว้แล้ว เมื่อได้ข้อมูลรีเลย์ และ รีโคลสเซอร์แล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะเริ่มต้นวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ตามลำดับการทำงานดังนี้

- เลือกรีเลย์
- เลือกรีโคลสเซอร์
- ศึกษาการลัดวงจรเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงที่สุด และต่ำที่สุดภายในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันทางด้านปฐมภูมิ
- รับเวลาการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะจำลองการลัดวงจร แบบสามเฟส (Three Phase) ที่ตำแหน่งติดตั้งรีโคลสเซอร์ และ เฟสเดียวลงดิน (Single Line to Ground with Resistant) โดยมีความต้านทานดินอยู่ ที่ปลายของเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์



รูปที่ 5.7 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - รีโคลสเซอร์

ตำแหน่งรีเลย์ขาออก จะประกอบด้วยรีเลย์ทำงานด้านเฟส และกราวด์ ต่อร่วมกันอยู่ เพื่อป้องกันการลัดวงจรทั้งด้านเฟส และกราวด์ โดยที่เฟส และกราวด์ จะประกอบด้วยการทำงานแบบหน่วงเวลา (TOC element) การทำงานแบบทันทีทันใด (IOC element) รีโคลสเซอร์ จะประกอบด้วยอุปกรณ์ทำงานทางด้านเฟส และด้านกราวด์ เช่นเดียวกับรีเลย์

จากการศึกษาการลัดวงจรนี้ จะได้ค่ากระแสลัดวงจรออกมาเพื่อหาเวลาที่รีเลย์ทำงานสั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน และจะนำเวลาการทำงานนี้ส่งต่อให้กับ ส่วนวิเคราะห์การป้องกันเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบการป้องกัน และการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ต่อไป โดยค่าเริ่มต้นทำงานของรีเลย์กำหนดให้คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นสมมุติฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ ที่กำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันทางด้านสถานีไฟฟ้ามีการกำหนดค่าเริ่มทำงานที่ถูกต้อง และสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับอุปกรณ์ตัวอื่นทางด้านสถานีไฟฟ้า ณ.ตำแหน่งของตัวเองได้ถูกต้อง

5.5.1 การวิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ - รีโคลสเซอร์

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาว่ารีเลย์ หรือรีโคลสเซอร์ สั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน กรณีการลัดวงจรแบบสามเฟส (กระแสสูงสุด) และการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงกราวด์โดยผ่านความต้านทางดิน (กระแสต่ำสุด) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน ซึ่งการทำงานที่ถูกต้องนั้น รีเลย์ทางด้านขาออกจะต้องไม่ทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการลัดวงจรชนิดใดก็ตาม แต่รีโคลสเซอร์ต้องทำงาน ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้แสดงว่าการออกแบบการป้องกันนี้ผิดพลาด ผลการวิเคราะห์การทำงานนี้ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงอยู่ในรูปแบบดังนี้

5.5.2 การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของรีเลย์ - รีโคลสเซอร์

จากเวลาการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ที่รับข้อมูลเข้ามา ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาเวลาน้อยที่สุดของอุปกรณ์ ทั้งรีเลย์ด้านขาออก และรีโคลสเซอร์หลังจากนั้นจะหาค่าความแตกต่างของเวลาทั้งสอง นำค่าความแตกต่างนี้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับฐานความรู้ ซึ่งได้แก่เงื่อนไขการวิเคราะห์ ดังนี้ เวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์ ที่การลัดวงจรทุกกรณี รีโคลสเซอร์จะต้องทำงาน ในกรณีที่ รีเลย์ด้านขาออกเป็นรีเลย์แบบสถิตย์(Static Relay)

5.5.3 การวิเคราะห์ค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์

จากสมมุติฐานที่ว่า กำหนดให้ค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ขาออกคงที่ เนื่องจากผ่านการวิเคราะห์โดยระบบผู้เชี่ยวชาญมาแล้ว ดังนั้นการวิเคราะห์ในครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะรีโคลสเซอร์อย่างเดียว ซึ่งมีค่าเริ่มทำงานที่กำหนดตั้งแต่แรกนั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์กับฐานความรู้ เพื่อตรวจความถูกต้องในการกำหนดค่าเริ่มทำงาน ซึ่งค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้

- กระแสเริ่มทำงานทางด้านเฟส (Phase minimum trip level)
- กระแสเริ่มทำงานทางด้านกราวด์ (Ground minimum trip level)
- คุณสมบัติการทำงาน (Curve Number)

หมายเหตุ : - การวิเคราะห์นี้จะใช้กระแสเริ่มทำงาน เป็นแบบขั้น ตามรีโคลสเซอร์ฟอร์ม 3A
- ค่าเริ่มการทำงานด้านเฟส 50,100,140,200,280,300,340
- ค่าเริ่มการทำงานด้านกราวด์ 15,25,35,50,70,100

ฐานความรู้การวิเคราะห์ค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ประกอบด้วย

- **ฐานความรู้** 1 กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีโคลสเซอร์จะมีค่ามากกว่า 120 % ของกระแสโหลดสูงสุด [17]

- **ฐานความรู้** 2 กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีโคลสเซอร์จะมีค่าเท่ากับ 25 % ของกระแสเริ่มทำงานของเฟสรีโคลสเซอร์ [17]

- **ฐานความรู้** 3 กระแสเริ่มทำงานของเฟสรีโคลสเซอร์จะมีค่าดังนี้ 50,100,140,200,280,300,340 [17]

- **ฐานความรู้** 4 กระแสเริ่มทำงานของกราวด์รีโคลสเซอร์จะมีค่าดังนี้
15,25,35,50,70,100 [17]

5.5.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งติดตั้งรีโคลสเซอร์

จากข้อกำหนดการติดตั้งรีโคลสเซอร์ของ กฟภ. นั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญได้นำข้อกำหนดดังกล่าว กับการติดตั้งรีโคลสเซอร์ในฐานข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน และตรวจสอบความถูกต้อง โดยฐานความรู้ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

- **ฐานความรู้** 1 รีโคลสเซอร์ตัวแรกจะมีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้ามากกว่า 10 กม.

- **ฐานความรู้** 2 ถ้าไม่ใช่รีโคลสเซอร์ตัวแรก จะติดตั้งได้ในสายแยก (Branch) ที่มีโหลดสำคัญ เช่น อำเภอ หมู่บ้านขนาดกลาง – ใหญ่

- **ฐานความรู้** 3 ถ้าไม่ใช่รีโคลสเซอร์ตัวแรก จะติดตั้งได้ในสายแยก (Branch) ที่มีการลัดวงจรบ่อยครั้ง และส่งผลกระทบต่อระบบจ่ายไฟฟ้าของสายหลัก

- **ฐานความรู้** 4 ถ้าเป็นรีโคลสเซอร์ตัวแรก และมีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าน้อยกว่า 10 กม. จะติดตั้งได้ กรณีที่เป็น สายแยกเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - รีโคลสเซอร์

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ด้านขาออก และรีโคลสเซอร์ ตามตารางที่ 5.8 – 5.9 ดังนี้

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ขาออก

RELAY SETTINGS

RELAY NAME	RELAY	CT	TIME DELAY SETTING		INSTANTANEOUSE SETTING	
		RATIO	PICKUP (A)	DIAL	PICKUP (A)	TIME (cycles)
OUT_PHASE	CDG21	120/1	1.50	0.332	30	1.5
OUT_GND	CDG21	120/1	0.50	0.443	30	1.5

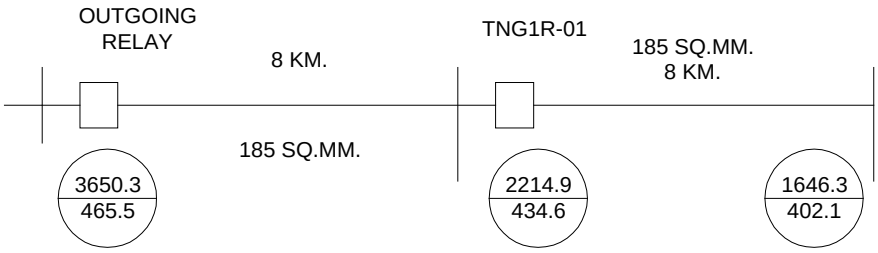
ตารางที่ 5.9 รายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์

RECLOSER PHASE SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	PHASE			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
		[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	340	A	116	5	15	180

RECLOSER GROUND SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	GROUND			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
		[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	100	A	165	5	15	180



รูปที่ 5.8 แสดงตำแหน่งรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - รีโคลสเซอร์

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น จะสรุปผลการวิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 5.10 – 5.11

ตารางที่ 5.10 แสดงผลสรุปการวิเคราะห์การทำงานและการจัดความสัมพันธ์
ของระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ - รีโคลสเซอร์

OPERATION AND COORDINATION ANALYSIS

FAULT	OPERATING TIME (SEC)		TRIP PATH	OPERATION & COORDINATION
	RELAY	RECLOSER		
MAX FAULT [2214.88]	1.3849	0.1352	RECLOSER	YES
MIN FAULT [402.08]	NO OPERATE	0.445	RECLOSER	YES

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.10 จะผลสรุปการวิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ด้านสถานีไฟฟ้า (Source Side) และรีโคลสเซอร์ด้านโหลด (Load Side) เมื่อระบบผู้เชี่ยวชาญจำลองการลัดวงจรชนิดต่าง ๆ เพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด (MAX FAULT , MIN FAULT) และระบบ ผู้เชียวชาญจะหาเวลาการทำงานของ รีเลย์ และรีโคลสเซอร์ที่กระแสลัดวงจร ดังกล่าวพร้อมทั้งจะแสดงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สั่งอุปกรณ์ตัดตอนให้ทำงานด้วย แล้วจะตรวจสอบการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์

ในกรณีนี้ระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ เมื่อจำลองการลัดวงจรและได้กระแสลัดวงจรสูงสุด พบว่า รีเลย์ด้านสถานีมีเวลาทำงาน 1.3846 วินาที และรีโคลสเซอร์ด้านโหลดใช้เวลาทำงาน 0.1352 วินาที รีโคลสเซอร์ทำงานแบบช้าทำงานสั่งอุปกรณ์ตัดตอนให้ทำงานกำจัดการลัดวงจร และระบบผู้เชี่ยวชาญจะสรุปการทำงานว่าทำงานถูกต้อง ซึ่งหมายถึงรีโคลสเซอร์สั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงานทุกค่ากระแสลัดวงจรภายในเขตป้องกันของตัวเอง และสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับรีเลย์ที่อยู่ที่สถานีไฟฟ้าด้วย

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์

SETTING ANALYSIS

ELEMENT	MIN TRIP LEVEL (A)	FAST CURVE	SLOW CURVE
PREVIOUS SETTING			
PHASE ELEMENT	340	A	116
GROUND ELEMENT	100	A	165
NEW SETTING			
PHASE ELEMENT	113.636	A	116
GROUND ELEMENT	28.4091	A	165

ตารางที่ 5.11 จะแสดงการเปรียบเทียบค่าเริ่มทำงานเดิม กับค่าเริ่มทำงานใหม่ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ขึ้นอยู่กับการป้อนข้อมูลโหลดที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์ในตำแหน่งนั้น ๆ

การวิเคราะห์ตำแหน่งติดตั้งของรีโคลสเซอร์นั้น ข้อมูลที่ระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องถามผู้ใช้งาน ก่อนที่จะสรุปว่าการติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่ตำแหน่งนี้ถูกต้องหรือไม่คือ เป็นรีโคลสเซอร์ในสายจำหน่ายหลักตัวแรกหรือไม่ และจะถามระยะทาง และจะให้ข้อสรุปการติดตั้งซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้จากภาคผนวก ก.

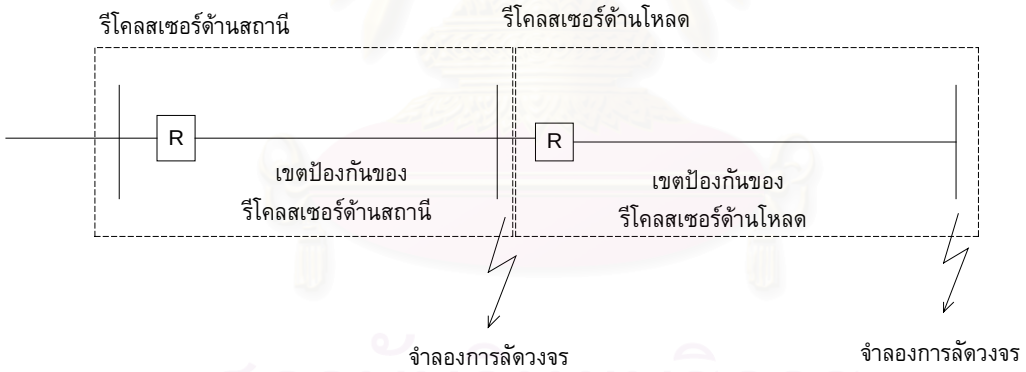
จากการวิเคราะห์การป้องกันของรีเลย์ขาออก และรีโคลสเซอร์ สรุปผลได้ว่ารีเลย์ และรีโคลสเซอร์ สามารถทำงานได้ถูกต้องทุกชนิดการลัดวงจร รวมทั้งสามารถทำงานได้สัมพันธ์กันทุก ๆ ชนิดของการลัดวงจรภายในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการจัดความสัมพันธ์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นระบบใช้งานจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.7 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์

ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ จะทำหน้าที่วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์คู่ของรีโคลสเซอร์ในสายจำหน่ายหลัก การทำงานเริ่มตั้งแต่เลือกรีโคลสเซอร์ด้านสถานีไฟฟ้า และด้านโหลด ซึ่งถูกกำหนดค่าต่างสำหรับการป้องกัน เช่น กระแสเริ่มทำงาน (Minimum Trip Level) กราฟการทำงาน (Time dial) และอื่น ๆ เมื่อได้ข้อมูลรีโคลสเซอร์ทั้งคู่ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะเริ่มต้นวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ตามลำดับการทำงานดังนี้

- เลือกรีโคลสเซอร์ด้านสถานีไฟฟ้า
- เลือกรีโคลสเซอร์ด้านโหลด
- ศึกษาการลัดวงจรทั้งแบบ เฟส และกราวด์
- รับเวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์



รูปที่ 5.9 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์- รีโคลสเซอร์

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะจำลองการลัดวงจร แบบสามเฟส (Three Phase) และ เฟสเดียวลงดิน (Single Line to Ground) ที่ตำแหน่งติดตั้งรีโคลสเซอร์ด้านโหลด และจำลองการลัดวงจร แบบ เฟส – เฟส (Line to Line) และ เฟสเดียวลงดิน (Single Line to Ground with Resistant) โดยมีความต้านทานกราวด์อยู่ด้วย ที่ปลายของเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์ด้านโหลด

5.7.1 การวิเคราะห์การทำงานของรีโคลสเซอร์ - รีโคลสเซอร์

ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะวิเคราะห์หาว่ารีโคลสเซอร์ใดทำงานตัดตอนวงจร กรณีการลัดวงจรแบบเฟส และการลัดวงจรแบบกราวด์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน ซึ่งการทำงานที่ถูกต้องนั้น รีโคลสเซอร์ทางด้านสถานีไฟฟ้าจะต้องไม่ทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการลัดวงจรชนิดใดก็ตาม แต่รีโคลสเซอร์ด้านโหลดจะต้องทำงาน ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ แสดงการออกแบบการป้องกันนี้ผิดพลาด ผลการวิเคราะห์การทำงานนี้ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงอยู่ในรูปแบบดังนี้

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงาน

Trip Path 1st operate	อุปกรณ์ที่ทำงานตัดวงจรครั้งแรก
Operating Time 1st operate	เวลาการทำงานตัดวงจรครั้งแรก
Correct Operation or Mis-operation 1st operate	ความถูกต้องของการทำงานครั้งแรก
Trip Path 2nd operate	อุปกรณ์ที่ทำงานตัดวงจรครั้งที่สอง
Operating Time 2nd operate	เวลาการทำงานตัดวงจรครั้งที่สอง
Correct Operation or Mis-operation 2nd operate	ความถูกต้องของการทำงานครั้งที่สอง
Trip Path 3rd operate	อุปกรณ์ที่ทำงานตัดวงจรครั้งที่สาม
Operating Time 3rd operate	เวลาการทำงานตัดวงจรครั้งที่สาม
Correct Operation or Mis-operation 3rd operate	ความถูกต้องของการทำงานครั้งที่สาม

5.7.2 การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของรีโคลสเซอร์ - รีโคลสเซอร์

จากเวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์ที่รับข้อมูลเข้ามา ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาเวลาน้อยที่สุดของอุปกรณ์ (Element) ของรีโคลสเซอร์หลังจากนั้นจะหาค่าความแตกต่างของเวลาทั้งสอง นำค่าความแตกต่างนี้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับฐานความรู้ ซึ่งได้แก่เงื่อนไขการวิเคราะห์ดังนี้ เวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์ด้านโหลดที่การลัดวงจรทุกกรณี รีโคลสเซอร์ด้านสถานีไฟฟ้าจะต้องไม่ทำงาน โดยเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของรีโคลสเซอร์ด้านโหลด

ต้องมีค่าน้อยกว่ารีโคลสเซอร์ด้านสถานีไฟฟ้า ซึ่งผลต่างของเวลาทั้งสองจะมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของรีโคลสเซอร์ (ไฮดรอลิค หรือ อิเลคทรอนิกส์) ในการวิเคราะห์นี้จะใช้ฐานความรู้ดังต่อไปนี้วิเคราะห์

- **ฐานความรู้** 1 รีโคลสเซอร์ชนิดไฮดรอลิค ผลต่างของเวลาการทำงานน้อยกว่า 2 ไซเคิล รีโคลสเซอร์จะทำงานพร้อมกัน [17,21]

- **ฐานความรู้** 2 รีโคลสเซอร์ชนิดไฮดรอลิค ผลต่างของเวลาการทำงานอยู่ระหว่าง 2-12 ไซเคิล รีโคลสเซอร์อาจจะทำงานพร้อมกัน [17,21]

- **ฐานความรู้** 3 รีโคลสเซอร์ชนิดไฮดรอลิค ผลต่างของเวลาการทำงานมากกว่า 12 ไซเคิล รีโคลสเซอร์จะไม่ทำงานพร้อมกัน [17,21]

- **ฐานความรู้** 4 รีโคลสเซอร์ชนิดอิเลคทรอนิกส์ ผลต่างของเวลาการทำงานมากกว่า 0 ไซเคิล รีโคลสเซอร์จะไม่ทำงานพร้อมกัน [17,21]

การวิเคราะห์การติดตั้ง และการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มจะเป็นวิธีการเดียวกันกับระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ และใช้ฐานความรู้เดียวกัน

การวิเคราะห์การติดตั้ง และการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มจะเป็นวิธีการเดียวกันกับระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – รีโคลสเซอร์ และใช้ฐานความรู้เดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.8 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ - รีโคลสเซอร์

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ดังนี้

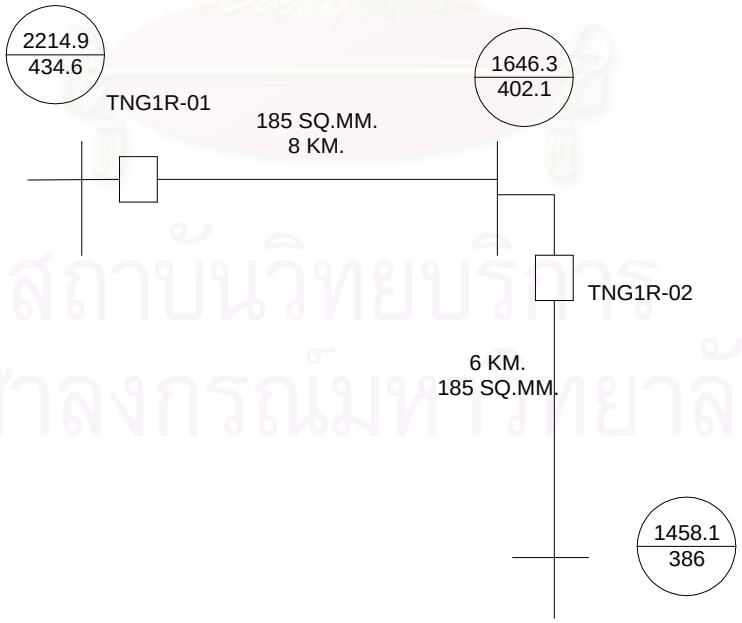
ตารางที่ 5.13 รายละเอียดการกำหนดค่าการทำงานของรีโคลสเซอร์

RECLOSER PHASE SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	PHASE			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
			MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	340	A	116	5	15	180
TNG1R-02	VWVE	4C	200	101	116	5	15	120

RECLOSER GROUND SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	GROUND			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
			MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	100	A	165	5	15	180
TNG1R-02	VWVE	4C	50	102	165	5	15	120



รูปที่ 5.10 แสดงตำแหน่งรีโคลสเซอร์ ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ - รีโคลสเซอร์

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – รีโคลสเซอร์ ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น จะสรุปผลการวิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 5.14 – 5.17

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

OPERATION ANALYSIS

FAULT [A]	MALOPERATION
MAX PHASE [1646.33]	1ST
MIN PHASE [1262.71]	1ST
MAX GROUND [1083.33]	1ST
MIN GROUND [386]	1ST

1ST = MALOPERATE ON 1ST TRIP
2ND = MALOPERATE ON 2ND TRIF
3RD = MALOPERATE ON 3RD TRIF

ระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์การทำงานของรีโคลสเซอร์ เพื่อจำลองการลัดวงจรแบบต่าง ๆ พบรีโคลสเซอร์ด้านสถานีไฟฟ้าจะทำงานแบบเร็ว 1 ครั้ง (1^{st}) หลังจากนั้นรีโคลสเซอร์ด้านโหลดจะทำงานแบบช้าสั่งอุปกรณ์ตัดตอนให้ทำงานกำจัดการลัดวงจร และระบบผู้เชี่ยวชาญจะสรุปการทำงานว่าทำงานไม่ถูกต้อง (NO maloperation) ในการทำงานตัดวงจรครั้งใดบ้าง สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ เป็นแบบที่กำหนดให้รีโคลสเซอร์จะทำงานทั้งหมด 3 ครั้ง คือทำงานแบบเร็ว 1 ครั้ง และทำงานแบบช้า 2 ครั้ง แล้วจึงตัดวงจรแบบถาวร (Lock Out)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

COORDINATION ANALYSIS

FAULT	TIME MARGIN [SEC]	MISCOORDINATION
MAX PHASE [1646.33]	>0	NO
MIN PHASE [1262.72]	>0	NO
MAX GROUND [1083.28]	>0	NO
MIN GROUND [386.041]	>0	NO

จากตารางที่ 5.15 พบว่ารีโคลสเซอร์ทั้งสองทำงานได้สัมพันธ์กัน ทุกค่ากระแสลัดวงจรภายในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์ด้านโหลด สำหรับอิเลคทรอนิครีโคลสเซอร์

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

SETTING ANALYSIS

ELEMENT	MIN TRIP LEVEL (A)	FAST CURVE	SLOW CURVE
PREVIOUS SETTING			
PHASE ELEMENT	340	A	116
GROUND ELEMENT	100	A	165
NEW SETTING			
PHASE ELEMENT	113.636	A	116
GROUND ELEMENT	28.4091	A	165

ตารางที่ 5.16 จะเปรียบเทียบค่าเริ่มทำงานเดิม กับค่าเริ่มทำงานใหม่ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ค่าที่ได้นี้ความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับค่าโหลดสูงสุดที่ผู้ใช้ป้อนเข้าไป

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ

INSTALLATION ANALYSIS

FIRST RECL	LENGTH > 10 KM	IN BRANCH	INSTALLATION
YES	YES	NO	OK

จากตารางที่ 5.17 จะแสดงข้อสรุป และข้อมูลที่ระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องถามผู้ใช้งานก่อนที่จะสรุปว่าการติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่ตำแหน่งนี้ถูกต้องหรือไม่ FIRST RECL หมายถึงว่าเป็นรีโคลสเซอร์ตัวแรกหรือไม่ LENGTH ถามระยะทาง IN BRANCH หมายถึงเป็นรีโคลสเซอร์อยู่ในสายแยกหรือไม่ INSTALLATION เป็นข้อสรุปการติดตั้ง ซึ่งการติดตั้งรีโคลสเซอร์ในที่นี้ถูกต้องตามข้อกำหนดของ กฟภ.

จากการวิเคราะห์การป้องกันของรีโคลสเซอร์ สรุปผลได้ว่า รีโคลสเซอร์ทั้งคู่ สามารถทำงานได้ถูกต้องทุกชนิดการลัดวงจร ถึงแม้จะมีการทำงานแบบเร็วบ้างครั้งที่ผิดพลาด แต่ในที่สุดรีโคลสเซอร์ด้านโหลดจะกำจัดการลัดวงจรซึ่งเป็นการทำงานที่ถูกต้องยอมรับได้ รวมทั้งสามารถทำงานได้สัมพันธ์กันทุก ๆ ชนิดของการลัดวงจรภายในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์ รายละเอียดส่วนที่จำเป็นสามารถศึกษาได้จากภาคผนวก ก.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

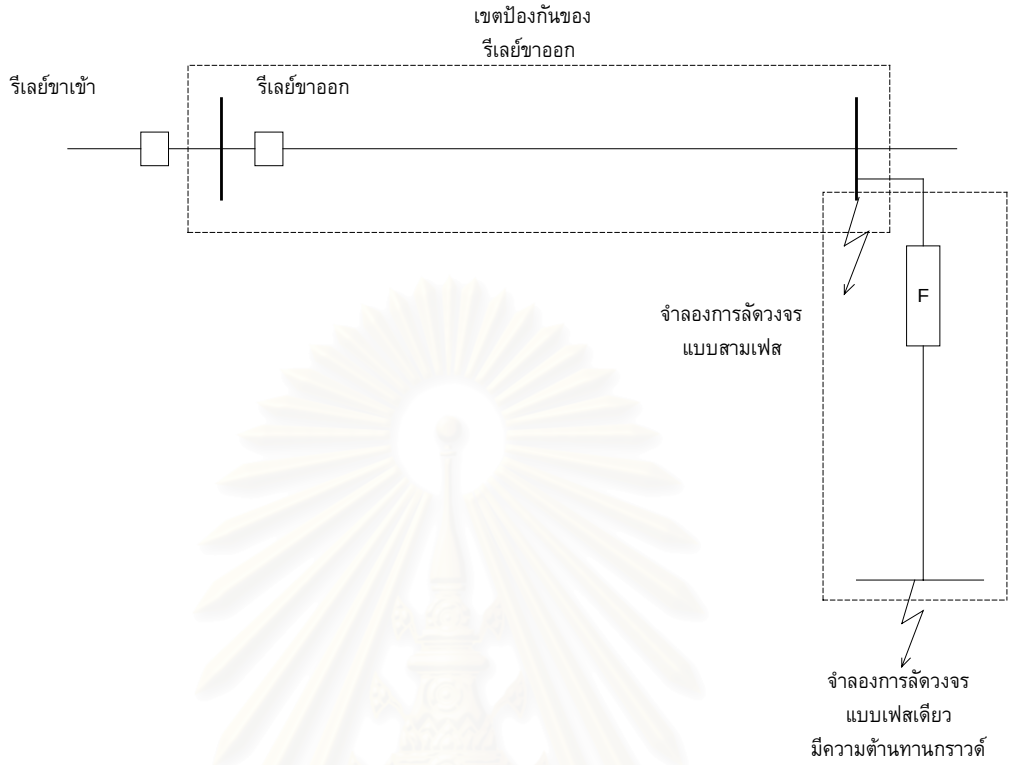
5.9 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - ฟิวส์

ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – ฟิวส์ จะทำหน้าที่วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินที่สถานีไฟฟ้าซึ่งได้แก่ รีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่บัสขาออก (Outgoing Relay) กับ ฟิวส์ การทำงานเริ่มตั้งแต่เลือกรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่บัสขาออก ทั้งรีเลย์ด้านเฟส และรีเลย์ทางด้านกราวด์ และเลือกฟิวส์ ซึ่งถูกกำหนดค่าต่างสำหรับการป้องกัน เช่น กระแสเริ่มทำงาน (Pickup Current) ขนาดหม้อแปลงกระแส (CT ratio) กราฟการทำงาน (Time dial) ขนาดของฟิวส์ และอื่น ๆ เมื่อได้ข้อมูลรีเลย์ และฟิวส์แล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะเริ่มต้นวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ ซึ่งมีลำดับการทำงานดังนี้

- เลือกรีเลย์เฟส และกราวด์ ทางด้านขาออก
- เลือกฟิวส์
- ศึกษาการลัดวงจรเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุดในเขตป้องกันของฟิวส์
- รับเวลาการทำงานของรีเลย์ขาออก และ ฟิวส์

รีเลย์ตำแหน่งบัสขาเข้า จะประกอบด้วยรีเลย์ทำงานด้านเฟส และกราวด์ ต่อร่วมกันอยู่ เพื่อป้องกันการลัดวงจรทั้งด้านเฟส และกราวด์ โดยที่เฟส และกราวด์ จะประกอบด้วยการทำงานแบบหน่วงเวลา (TOC element) การทำงานแบบทันทีทันใด (IOC element) ส่วนฟิวส์จะทำงานทั้งเฟส และกราวด์ในตัวเดียว

จากการศึกษาการลัดวงจรนี้ จะได้ค่ากระแสลัดวงจรของชนิดการลัดวงจรแบบต่าง ๆ ออกมาเพื่อหาเวลาที่รีเลย์ทำงานสั่งให้ อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน และเวลาที่ฟิวส์ทำงาน แล้วจะนำเวลาการทำงานนี้ส่งต่อให้กับ ส่วนวิเคราะห์การป้องกันเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบการป้องกัน และการกำหนดขนาดของฟิวส์ต่อไป



รูปที่ .5.11 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - ฟิวส์

5.9.1 การวิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ และ ฟิวส์

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์หาอุปกรณ์ (Element) ของรีเลย์ใดสั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน กรณีการลัดวงจรแบบสามเฟสอุปกรณ์ที่ทำงาน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน ซึ่งการทำงานที่ถูกต้องนั้น รีเลย์ทางด้านออกจะต้องไม่ทำงานเลย ไม่ว่าจะเป็นการลัดวงจรชนิดใดก็ตาม แต่ฟิวส์จะต้องทำงาน ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ แสดงการออกแบบการป้องกันนี้ ผิดพลาด ผลการวิเคราะห์การทำงานนี้ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงอยู่ในรูปแบบดังนี้

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

Trip Path	อุปกรณ์ที่ทำงาน
Operating Time	เวลาการทำงาน
Correct Operation or Mis-operation	ความถูกต้องของการทำงาน

5.9.2 การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของรีเลย์ - ฟิวส์

จากเวลาการทำงานของรีเลย์ และฟิวส์ที่รับข้อมูลเข้ามาระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาเวลาน้อยที่สุดของอุปกรณ์ (Element) ของรีเลย์ด้านขาออก และฟิวส์ หลังจากนั้นจะหาค่าความแตกต่างของเวลาทั้งสอง และนำค่าความแตกต่างนี้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับฐานความรู้เพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ต่อไป

ฐานความรู้ในส่วนนี้จะประกอบด้วย ข้อกำหนดของการจัดความสัมพันธ์ รีเลย์ - ฟิวส์ ดังนี้

- **ฐานความรู้** สูตรการคำนวณ Grading Margin [15]

$$T = 0.40*t + 0.25$$

T คือความแตกต่างอย่างน้อยของเวลาการทำงานของรีเลย์ขาออก กับ ฟิวส์

t คือเวลาการทำงานของฟิวส์

5.9.3 การวิเคราะห์ค่าเริ่มทำงานของฟิวส์

จากค่าเริ่มทำงานของฟิวส์ที่กำหนดตั้งแต่แรกนั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์กับฐานความรู้ เพื่อตรวจความถูกต้องในการกำหนดค่าเริ่มทำงาน ซึ่งค่าเริ่มทำงานของฟิวส์ประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้

ฐานความรู้การวิเคราะห์ค่าเริ่มทำงานของฟิวส์ประกอบด้วย

- **ฐานความรู้** 1 ขนาดของฟิวส์จะมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับค่าของกระแสโหลดสูงสุด [17]

- **ฐานความรู้** 2 ฟิวส์ตัวสุดท้ายของระบบจำหน่ายจะต้องทำงานเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในกรณีที่เป็นการลัดวงจรที่มีค่ากระแสสูงสุด [17]

5.9.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งฟิวส์

จากข้อกำหนดการติดตั้งฟิวส์ของ กฟภ. นั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญได้นำข้อกำหนดดังกล่าวเปรียบเทียบกับการติดตั้งฟิวส์ในฐานข้อมูล โดยฐานความรู้ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

- **ฐานความรู้** 1 ฟิวส์จะต้องไม่ติดตั้งในสายจำหน่ายหลัก (Feeder)

.

- **ฐานความรู้** 2 ฟิวส์จะติดตั้งในสายจำหน่ายแยก (Branch) ได้ถ้าสายจำหน่ายแยกนั้นมีระยะทางมากกว่า 1 กม.

- **ฐานความรู้** 3 ฟิวส์จะติดตั้งในสายจำหน่ายแยก (Branch) ได้ถ้าสายจำหน่ายแยกนั้นมีระยะทางน้อยกว่า 1 กม. แต่ในสายจำหน่ายแยกนั้น มีการลัดวงจรเกิดขึ้นบ่อย หรือเป็นบริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น

- **ฐานความรู้** 4 ฟิวส์จะติดตั้งในสายจำหน่ายย่อย (Sub - Branch) ได้ถ้าสายจำหน่ายย่อยนั้นมีระยะทางมากกว่า 5 กม.

- **ฐานความรู้** 5 ฟิวส์จะติดตั้งในสายจำหน่ายย่อย (Sub - Branch) ได้ถ้าสายจำหน่ายย่อยนั้นมีระยะทางน้อยกว่า 5 กม. แต่ในสายจำหน่ายย่อยนั้น มีการลัดวงจรเกิดขึ้นบ่อย หรือเป็นบริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.10 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - ฟิวส์

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ และ ฟิวส์ ดังนี้

ตารางที่ 5.19 รายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีเลย์

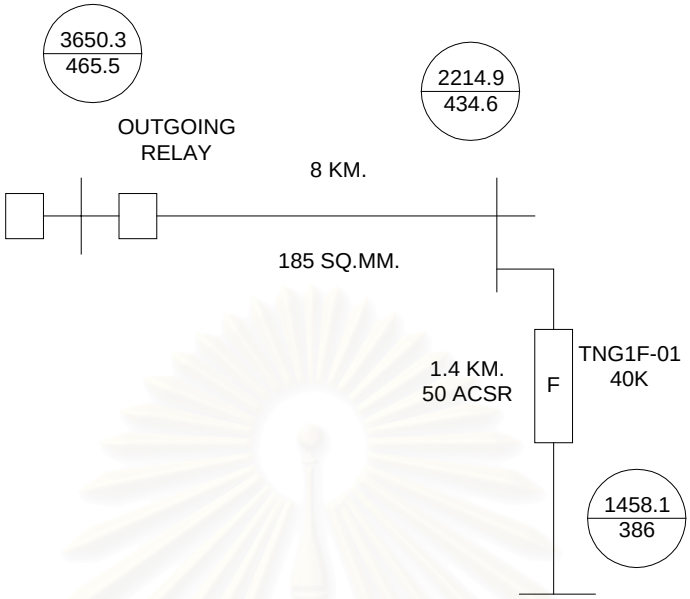
RELAY SETTING

RELAY NAME	RELAY STYLE	CT	TIME DELAY SETTING		INSTANTANEOUSE SETTING		NOTE
		RATIO	PICKUP (A)	DIAL	PICKUP (A)	TIME (sec)	
EGAT_PHASE	MCG22	240:1	1.00	0.7			OFF INST..
EGAT_GND	MCG22	240:1	0.50	0.425			OFF INST..
IN_PHASE	CDG21	600:1	0.25	0.432	8	0.03	
IN_GND	CDG21	600:1	0.10	0.1464	8	0.03	
OUT_PHASE	CDG21	120:1	1.50	0.332	30	0.03	
OUT_GND	CDG21	120:1	0.50	0.443	30	0.03	

ตารางที่ 5.20 รายละเอียดการกำหนดขนาดฟิวส์

FUSE SIZE SETTING

NAME	TYPE	SIZE
TNG1F-01	K	40
TNG1F-02	K	40
TNG1F-03	K	25
TNG1F-04	K	15
TNG1F-05	K	25
TNG1F-06	K	40
TNG1F-07	K	20
TNG1F-08	K	25



รูปที่ 5.12 แสดงตำแหน่งรีเลย์ และฟิวส์ ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - ฟิวส์

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ – ฟิวส์ ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น จะสรุปผลการวิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 5.21 – 5.24

ตารางที่ 5.21 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

OPERATION ANALYSIS

FAULT	OPERATING TIME (sec)		TRIP PATH	MALOPERATION
	RELAY	FUSE		
MAX FAULT [2214.9]	1.3234	0.02	FUSE	NO
MIN FAULT [386]	NO OPERATE	0.2626	FUSE	NO

จากตารางที่ 5.21 จะแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์การทำงานของ รีเลย์ด้านสถานีไฟฟ้า (Source Side) และฟิวส์ด้านโหลด (Load Side) เมื่อระบบผู้เชี่ยวชาญจำลองการลัดวงจรชนิดต่าง ๆ เพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด ระบบผู้เชียวชาญจะหาเวลาการทำงานของ รีเลย์ และฟิวส์ ที่กระแสลัดวงจรดังกล่าว พร้อมทั้งจะแสดงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สั่ง

อุปกรณ์ตัดตอนให้ทำงานด้วย (TOC , IOC ,FUSE) แล้วจะตรวจสอบการทำงาน ซึ่งปรากฏว่าทั้งรีเลย์ และฟิวส์ทำงานได้ถูกต้อง

ตารางที่ 5.22 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

COORDINATION ANALYSIS

FAULT	OPERATING TIME (sec)		TRIP PATH	MIS COORDINATION
	RELAY	FUSE		
MAX FAULT [2214.9]	1.3234	0.02	FUSE	NO
MIN FAULT [386]	NO OPERATE	0.2626	FUSE	NO

จากตารางจะพบว่ารีเลย์ และ ฟิวส์ ทั้งสองทำงานได้สัมพันธ์กัน ทุกค่ากระแสลัดวงจรภายในเขตป้องกันของฟิวส์

ตารางที่ 5.23 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดขนาดของฟิวส์

SETTING ANALYSIS

PREVIOUS SIZE	40K
NEW SIZE	8K

ตารางจะเปรียบเทียบขนาดฟิวส์เดิม ขนาดฟิวส์ใหม่ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 5.24 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ

INSTALLATION ANALYSIS

IN BRANCH	IN SUB-BRANCH	LENGTH	INSTALLATION
YES	NO	YES	OK

จากตารางที่ 5.24 จะแสดงข้อสรุป และข้อมูลที่ระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องถามผู้ใช้งานก่อนที่จะสรุปว่าการติดตั้งฟิวส์ที่ตำแหน่งนี้ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งสรุปได้ว่าการติดตั้งฟิวส์ในตำแหน่งนี้ถูกต้อง

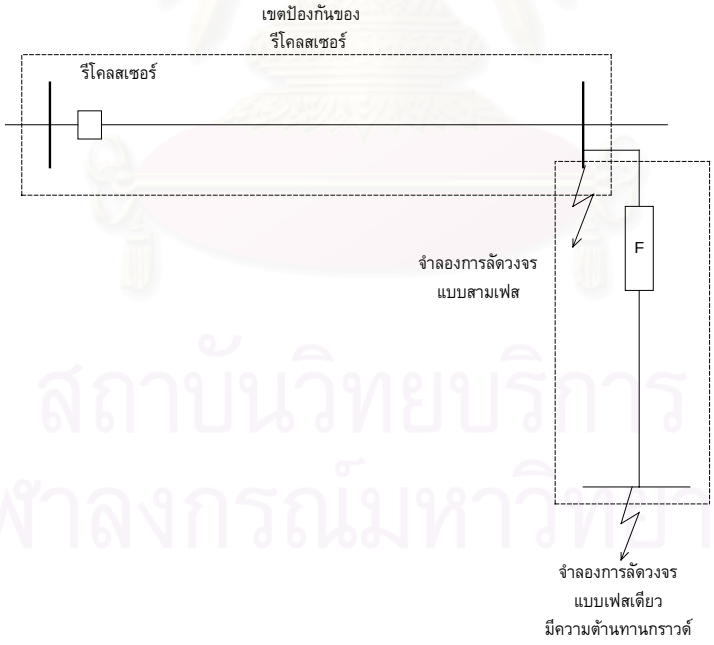
จากการวิเคราะห์การป้องกันของรีเลย์ที่บัสขาออก กับฟิวส์ในสายจำหน่ายแยกนั้น สรุปผลได้ว่า รีเลย์และฟิวส์ทั้งสองสามารถทำงานได้ถูกต้องทุกชนิดการลัดวงจร รวมทั้งสามารถทำงานได้สัมพันธ์กันทุก ๆ ชนิดของการลัดวงจรภายในเขตป้องกันของฟิวส์ ซึ่งหมายถึงว่าการป้องกันระบบจำหน่าย ฟีดเดอร์ 1 ของสถานีไฟฟ้าเทิงมีการทำงานที่สัมพันธ์กัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.11 ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์

ระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – ฟิวส์ จะทำหน้าที่วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์คู่ของรีโคลสเซอร์ในสายจำหน่ายหลัก และฟิวส์ในสายจำหน่ายแยก การทำงานเริ่มตั้งแต่เลือกรีโคลสเซอร์ในสายจำหน่ายหลัก และฟิวส์ในสายจำหน่ายแยก ซึ่งถูกกำหนดค่าต่างสำหรับการป้องกัน เช่น กระแสเริ่มทำงาน (Minimum Trip Level) ขนาดของฟิวส์ เมื่อได้ข้อมูลรีโคลสเซอร์ และฟิวส์แล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะเริ่มต้นวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ตามลำดับการทำงานดังนี้

- เลือกรีโคลสเซอร์ด้านสถานีไฟฟ้า
- เลือกฟิวส์ด้านโหลด
- ศึกษาการลัดวงจรเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด
- รับเวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์ และ ฟิวส์



รูปที่ 5.13 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์

5.11.1 การวิเคราะห์การทำงานของรีโคลสเซอร์ - ฟิวส์

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์หาว่าอุปกรณ์ใด (Element) ของรีโคลสเซอร์ สั่งให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน และ ฟิวส์ทำงานหรือไม่ กรณีการลัดวงจรสูงสุด และการลัดวงจรต่ำสุด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน ซึ่งการทำงานที่ถูกต้องนั้น รีโคลสเซอร์จะต้องทำงานแบบเร็ว 1 ครั้ง ไม่ว่าจะเป็นการลัดวงจรชนิดใดก็ตาม เพื่อกำจัดการลัดวงจรแบบชั่วคราว แต่ถ้าเป็นการลัดวงจรแบบถาวรฟิวส์จะต้องทำงานตัดวงจร ก่อนที่รีโคลสเซอร์จะทำงานแบบช้า ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ แสดงการออกแบบการป้องกันนี้ผิดพลาด ผลการวิเคราะห์การทำงานนี้ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงอยู่ในรูปแบบดังนี้

ตารางที่ 5.25 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงาน

Trip Path	อุปกรณ์ที่ทำงาน
Operating Time	เวลาการทำงาน
Correct Operation or Mis-operation	ความถูกต้องของการทำงาน

5.11.2 การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของรีโคลสเซอร์ - ฟิวส์

จากเวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์ และฟิวส์ที่รับข้อมูลเข้ามา ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาเวลาน้อยที่สุดของอุปกรณ์ (Element) ของรีโคลสเซอร์ และฟิวส์ หลังจากนั้นจะหาค่าความแตกต่างของเวลาทั้งสอง นำค่าความแตกต่างนี้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับฐานความรู้

ฐานความรู้ในส่วนนี้จะประกอบด้วย ข้อกำหนดของการจัดความสัมพันธ์ รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์ ดังนี้

- **ฐานความรู้ 1** เมื่อเกิดลัดวงจรที่ทำให้กระแสลัดวงจรสูงสุด เวลาที่ใช้ในการเริ่มหลอมละลายของฟิวส์จะมีค่ามากกว่า หรือเท่าเวลาการทำงานแบบเร็วของรีโคลสเซอร์ [17]

- **ฐานความรู้** 2 เมื่อเกิดลัดวงจรที่ทำให้กระแสลัดวงจรต่ำสุด เวลาที่ใช้ในการหลอมละลายของฟิวส์จนตัดวงจรจะมีค่าน้อยกว่า เวลาการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์ [17]

การวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของฟิวส์ และการวิเคราะห์การกำหนดขนาดของฟิวส์จะเหมือนกับระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - ฟิวส์

5.12 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์และฟิวส์ ดังนี้

ตารางที่ 5.26 รายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์

RECLOSER PHASE SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	PHASE			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
	OF RECLOSER	[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	340	A	116	5	15	180
TNG1R-02	VWVE	4C	200	101	116	5	15	120
TNG1R-03	VWVE	3A	280	A	116	5	15	120
TNG1R-05	VWVE	4C	200	105	116	5	15	120
TNG1R-06	VWVE	4C	50	105	116	5	15	120

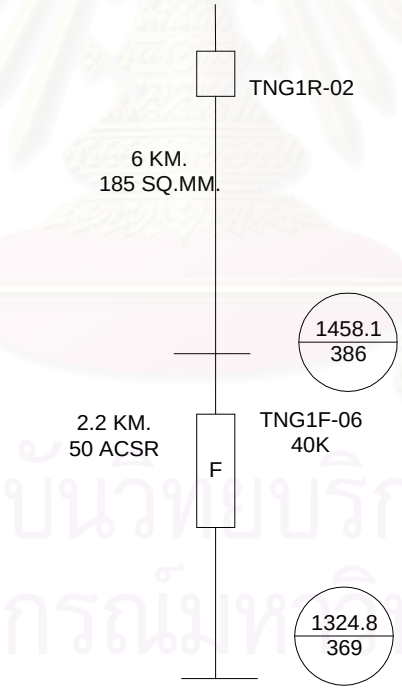
RECLOSER GROUND SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	GROUND			DEAD TIME [SEC]		RESET TIME
	OF RECLOSER	[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	# 1	# 2	[SEC]
TNG1R-01	VWVE	3A	100	A	165	5	15	180
TNG1R-02	VWVE	4C	50	102	165	5	15	120
TNG1R-03	VWVE	3A	70	A	165	5	15	120
TNG1R-05	VWVE	4C	50	111	165	5	15	120
TNG1R-06	VWVE	4C	50	111	165	5	15	120

ตารางที่ 5.27 รายละเอียดการกำหนดขนาดฟิวส์

FUSE SIZE SETTING

NAME	TYPE	SIZE
TNG1F-01	K	40
TNG1F-02	K	40
TNG1F-03	K	25
TNG1F-04	K	15
TNG1F-05	K	25
TNG1F-06	K	40
TNG1F-07	K	20
TNG1F-08	K	25



รูปที่ 5.14 แสดงตำแหน่งรีโคลสเซอร์ และฟิวส์ ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ - ฟิวส์

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ รีโคลสเซอร์ – ฟิวส์ ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น จะสรุปผลการวิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 5.28 – 5.31

ตารางที่ 5.28 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

OPERATION ANALYSIS

FAULT	OPERATING TIME (sec)		TRIP PATH	MALOPERATION
	RECL	FUSE		
MAX FAULT [1458.1]	0.04	0.0158	FUSE	YES
MIN FAULT [368]	0.481	0.3516	FUSE	NO

ตารางที่ 5.29 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

COORDINATION ANALYSIS

FAULT	TIME MARGIN sec	GRADING MARGIN sec	MISCOORDINATION
MAX FAULT	-0.0242	>0	YES
MIN FAULT	0.1294	>0	NO

ตารางที่ 5.30 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดขนาดของฟิวส์

SETTING ANALYSIS

PREVIOUS SIZE	40K
NEW SIZE	20K

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.31 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ

INSTALLATION ANALYSIS

IN BRANCH	IN SUB-BRANCH	LENGTH	INSTALLATION
YES	NO	YES	OK

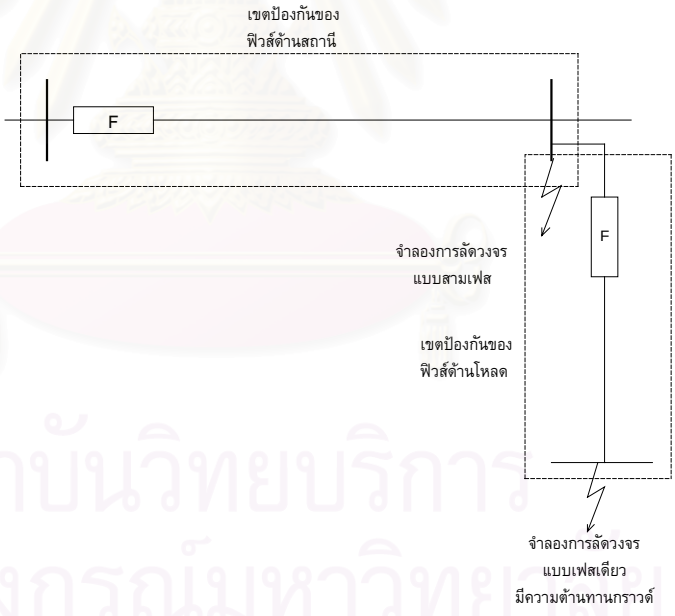
จากการวิเคราะห์การป้องกันของรีโคลสเซอร์ กับฟิวส์ในสายจำหน่ายแยกนั้น สรุปได้ว่า รีโคลสเซอร์และฟิวส์สามารถทำงานได้ถูกต้องสำหรับการลัดวงจรที่กระแสสูงสุดเท่านั้น ดังนั้นระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาขนาดของฟิวส์ที่เหมาะสมกับการจัดความสัมพันธ์การป้องกัน เพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.13 ระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ – ฟิวส์

ระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ – ฟิวส์ ทำหน้าที่วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์คู่ของฟิวส์การทำงานเริ่มตั้งแต่เลือกฟิวส์ทางด้านสถานี และฟิวส์ด้านโหลด ซึ่งถูกกำหนดค่าต่างสำหรับการป้องกัน เมื่อได้ข้อมูลฟิวส์แล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญจะเริ่มต้นวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ตามลำดับการทำงานดังนี้

- เลือกฟิวส์ด้านสถานีไฟฟ้า
- เลือกฟิวส์ด้านโหลด
- ศึกษาการลัดวงจรเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด
- รับเวลาการทำงานของฟิวส์



รูปที่ 5.15 แสดงการจำลองลัดวงจรของระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ - ฟิวส์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.13.1 การวิเคราะห์การทำงานของฟิวส์ - ฟิวส์

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์หาว่าฟิวส์ใดจะทำงาน ทั้งกรณีการลัดวงจรสูงสุด และการลัดวงจรต่ำสุด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงาน ซึ่งการทำงานที่ถูกต้องนั้น ฟิวส์ทางด้านโหลดจะต้องทำงาน โดยที่ฟิวส์ทางด้านสถานีไฟฟ้ายังไม่เริ่มหลอมละลาย ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ แสดงการออกแบบการป้องกันนี้ผิดพลาด ผลการวิเคราะห์การทำงานนี้ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงอยู่ในรูปแบบดังนี้

ตารางที่ 5.32 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงาน

Trip Path	อุปกรณ์ที่ทำงาน
Operating Time	เวลาการทำงาน
Correct Operation or Mis-operation	ความถูกต้องของการทำงาน

5.13.2 การวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของฟิวส์ - ฟิวส์

จากเวลาการทำงานของฟิวส์ที่รับข้อมูลเข้ามา ระบบผู้เชี่ยวชาญจะวิเคราะห์หาอัตราส่วนของเวลาทั้งหมดของฟิวส์ด้านโหลดหลอมละลายจนตัดวงจร กับ เวลาที่ใช้ในการหลอมละลายของฟิวส์ด้านสถานี หลังจากนั้นจะหาค่าอัตราส่วนนี้เปรียบเทียบกับ เงื่อนไขการจัดความสัมพันธ์ในฐานความรู้

ฐานความรู้ในส่วนนี้จะประกอบด้วย ข้อกำหนดของการจัดความสัมพันธ์ ฟิวส์ - ฟิวส์ ดังนี้

- **ฐานความรู้** 1 อัตราส่วนของเวลาทั้งหมดในการทำงานของฟิวส์ด้านโหลด ต่อเวลาที่ใช้หลอมละลายฟิวส์ด้านสถานี จะต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับ 75 % [17,21]

- **ฐานความรู้ 2** ข้อเท็จจริงของการเลือกขนาดฟิวส์ ตามตาราง 5.7 [17,21]

ตารางที่ 5.33 แสดงรายละเอียดขนาดฟิวส์ และ กระแสลัดวงจร

B	A Protected Fuse								
Protecting									
Fuse	6k	10k	15k	25k	40k	65k	100k	140k	200k
6k		190	510	840	1340	2200	3650	5800	9200
10k			220	840	1340	2200	3650	5800	9200
15k				390	1304	2200	3650	5800	9200
25k					620	2200	3650	5800	9200
40k						900	3650	5800	9200
65k							1950	5800	9200
100k								2800	9200
140k									5100

หมายเหตุ - ค่ากระแสที่ปรากฏในตารางเป็นค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด (A) หลัง Protecting Fuse B ที่ทำให้ Total clearing time ของ Protecting Fuse B เท่ากับ 75% ของ Minimum melting time ของ Protected Fuse A

- ช่องว่างในตารางที่ไม่ปรากฏค่ากระแสลัดวงจรแสดงว่าไม่สามารถจัดให้ทำงานให้สัมพันธ์กันได้

การวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของฟิวส์ และการวิเคราะห์การกำหนดขนาดของฟิวส์จะเหมือนกับระบบผู้เชี่ยวชาญ รีเลย์ - ฟิวส์

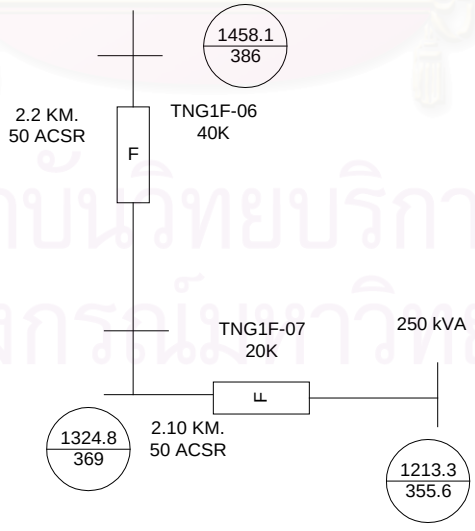
5.14 การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ - ฟิวส์

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นระบบทดสอบจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเทิง จังหวัดเชียงราย ฟีดเดอร์ที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าเริ่มทำงานของฟิวส์ ดังนี้

ตารางที่ 5.34 รายละเอียดการกำหนดขนาดฟิวส์

FUSE SIZE SETTING

NAME	TYPE	SIZE
TNG1F-01	K	40
TNG1F-02	K	40
TNG1F-03	K	25
TNG1F-04	K	15
TNG1F-05	K	25
TNG1F-06	K	40
TNG1F-07	K	20
TNG1F-08	K	25



รูปที่ 5.16 แสดงตำแหน่งฟิวส์ที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ - ฟิวส์

จากลำดับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ ฟิวส์ – ฟิวส์ ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น จะสรุปผลการวิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 5.35 – 5.38

ตารางที่ 5.35 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

OPERATION ANALYSIS

FAULT	OPERATING TIME (sec)		MALOPERATION
	SOURCE SIDE	LOAD SIDE	
MAX FAULT [1324.7]	0.0384	0.0164	NO
MIN FAULT [355.6]	0.385	0.01018	NO

ตารางที่ 5.36 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

COORDINATION ANALYSIS

FAULT	MARGIN FACTOR (%)	GRADING FACTOR (%)	MISCOORDINATION
MAX FAULT [1324.7]	85.42	75	YES
MIN FAULT [355.6]	15.5	75	NO

ตารางที่ 5.37 แสดงผลการวิเคราะห์การกำหนดขนาดของฟิวส์

SETTING ANALYSIS

PREVIOUS SIZE	20K
NEW SIZE	8K

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.38 แสดงผลการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของระบบผู้เชี่ยวชาญ

INSTALLATION ANALYSIS

IN BRANCH	IN SUB-BRANCH	LENGTH	INSTALLATION
NO	YES	YES	OK

จากการวิเคราะห์การป้องกันของฟิวส์ กับฟิวส์ในสายจำหน่ายแยกนั้น สรุปผลได้ว่า ฟิวส์ทั้งสองสามารถทำงานได้ถูกต้อง และทำงานได้สัมพันธ์กัน ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้น การออกแบบระบบป้องกันของสายจำหน่ายย่อย จึงเป็นการออกแบบที่ถูกต้อง

รายละเอียดประกอบการวิเคราะห์ และข้อมูลต่าง ๆ นั้นสามารถหาได้จาก ภาคผนวก ซึ่งจะแสดง กราฟ เวลา – กระแส ของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบระบบผู้เชี่ยวจากการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญจะพบว่า การจัดความสัมพันธ์ของระบบทดสอบ จะไม่ทำงานได้สัมพันธ์กันที่กระแสลัดวงจรต่ำสุด อาจเป็นเพราะว่า การจัดความสัมพันธ์ของ กฟภ. มีข้อมูลจำกัดไม่สามารถวิเคราะห์โดยละเอียดได้จึงเป็นการประมาณโดยใช้เฉพาะค่ากระแสลัดวงจรมากำหนดค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งระบบจำหน่ายในปัจจุบันจะเป็นแบบเรเดียล และอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายเป็นชนิด การป้องกันกระแสเกิน ดังนั้นฐานข้อมูล และฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ จึงประกอบด้วย ข้อกำหนด ข้อเท็จจริง มาตรฐาน ของ กฟภ.เป็นส่วนใหญ่ และฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ยังประกอบด้วยความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการ จัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยนำมาจาก ข้อมูล ข้อกำหนด วิธีการ รายละเอียดต่าง ๆ หนังสือ บทความ ความรู้และประสบการณ์ของวิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบการป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การรวิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ วิเคราะห์การจัดความสัมพันธ์ วิเคราะห์การกำหนดค่าเริ่มทำงาน วิเคราะห์การติดตั้ง และจะรายงานผลการวิเคราะห์ พร้อมทั้งแนวทางสำหรับแก้ไขปัญหาที่พบจากการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

เมื่อพิจารณาจากฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญในวิทยานิพนธ์นี้ จะพบว่าเป็นฐานความรู้เฉพาะด้าน โดยจะนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดความสัมพันธ์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จึงไม่สามารถประยุกต์ให้ใช้งานกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปได้ดีนัก

จากข้อจำกัดข้างต้น จะพบว่าแนวทางในการพัฒนาวิทยานิพนธ์นี้คือ การเพิ่มฐานความรู้ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับระบบจำหน่ายทั่วไปได้ อีกทั้งระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะใช้ได้เฉพาะ ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลเท่านั้น ดังนั้นการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญให้ทำงานได้กับระบบจำหน่ายแบบเครือข่าย จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนา

รายการอ้างอิง

(1) Hong,H Wayne , Sun,Chuen-Tsai , Mesa,V.M. and Ng,Steven."Protective device coordination expert system" IEEE Transaction on Power Delivery.6,1 (January 1991) : 359-362.

(2) ก่อเกียรติ เก่งสกุล และบุญเจริญ ศิริเนาวกุล. ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์และระบบผู้เชี่ยวชาญ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521.

(3) ทรงวุฒิ อสุวพงษ์พัฒนา . การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับระบบการปรับอากาศ. กรุงเทพฯ:วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2532.

(4) วริทธ์ อึ้งภากรณ์. เทอร์โบโปรล็อกและระบบผู้เชี่ยวชาญ.กรุงเทพ ฯ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์,2531

(5) นารถลดา จันทโรจวงศ์ การพัฒนาแนวทางสำหรับการเลือกใช้หรือสร้างโครงระบบผู้-เชี่ยวชาญ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาคคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2533

(6) บัณฑิต เอื้ออาภรณ์. การศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจเนื่องจากไฟฟ้าดับ.สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539.

(7) Campbell,H.E and Schultz,N.R.. Power distribution systems course,New York,Gerneral electric company schenectaly,1982

(8) Sherwali,H and Crossley,P. "An expert system to evaluate the operating Response of the distance relays during a fault" Conference Publication No. 434 IEE,1997 : 361-364.

(9) Chang,C.S. , Chen,J.M. , Srinivasan,D , Wen,F.S. and Liew,A.C. "Fuzzy logic approach in power system fault section identification" IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. 144,5 (September 1997) : 406-414.

(10) Monsef,H. , Ranjbar,A.M. and Jadid,S."Fuzzy rule-based expert system for power system fault diagnosis" IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. 144,2(March 1997) : 186-192.

(11) Zimmermann,H.J. Fuzzy set theory and its applications.2nd.ed. London : Kluwer Academic Publishers,1991.

(12) Schulte,R.P. , Larsen,S.L. , Sheble,G.B. and Wrubel,J.N. “Artificial Intelligence Solutions to power system operating problem” IEEE Transactions on Power Systems.2,4 (1987) : 920-926.

(13) William D. Stevenson, Jr. Elements Of Power System Analysis. 4th ed. Singapore : McGraw-Hill , (N.D)

(14) Blackburn, J Lewis. Protective Relaying Principles and Applications. New York : Marcel Dekker, 1987.

(15) กองวิจัย. การจัดอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานสัมพันธ์กัน. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, (ม.ป.ป.)

(16) Technical Editing, Department. Distribution System Protection and Apparatus Co-ordination. Milwaukee, Wisconsin : Line Material, (N.D)

(17) Ger,Juan M. and Holmes, Edward J. Protection of Electricity Distribution Network. England: Short Run, 1998

(18) Power System, Division, Distribution System Protection Manual. Pennsylvania, McGraw – Edison : (N.D)

(19) Gonen, Turan. Electric Power Distribution System Engineering. United States of America, McGraw – Hill, 1996

(20) Electrocon International, Inc. Computer Aids Protection Engineer (CAPE) [Computer Program]. Ann Arbor : Michigan, Atlanta : Georgia . Electrocon International, Inc., 1999.

(21) Cooper Power System. Electric Distribution System Protection. United States of America,(N.D)

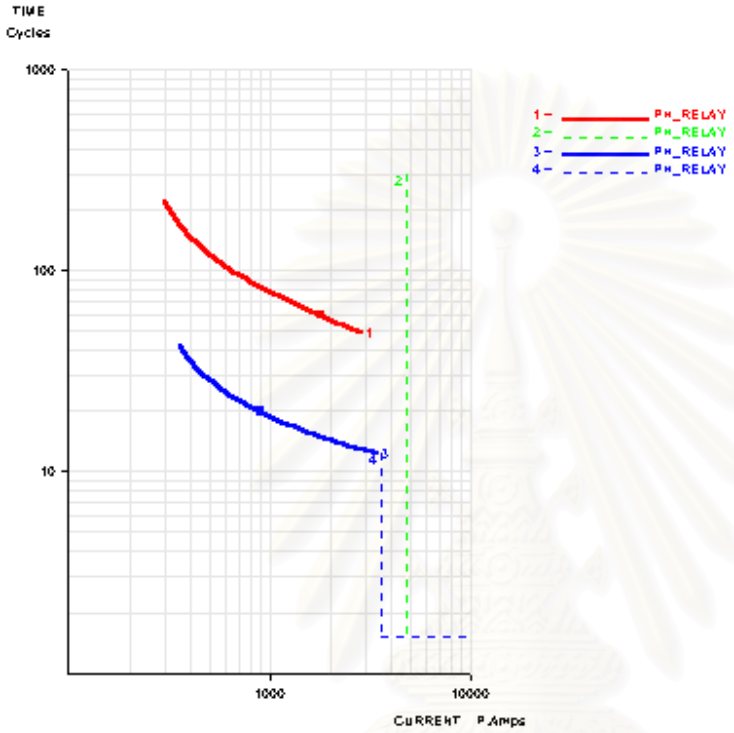
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเวลา – กระแสของรีเลย์ด้านขาเข้า และ รีเลย์ด้านขาออกที่ทำงานด้านกระแสเฟส



กราฟเส้นที่ 1 แสดงกราฟการทำงานแบบหน่วงเวลา ของเฟสรีเลย์ด้านขาเข้า

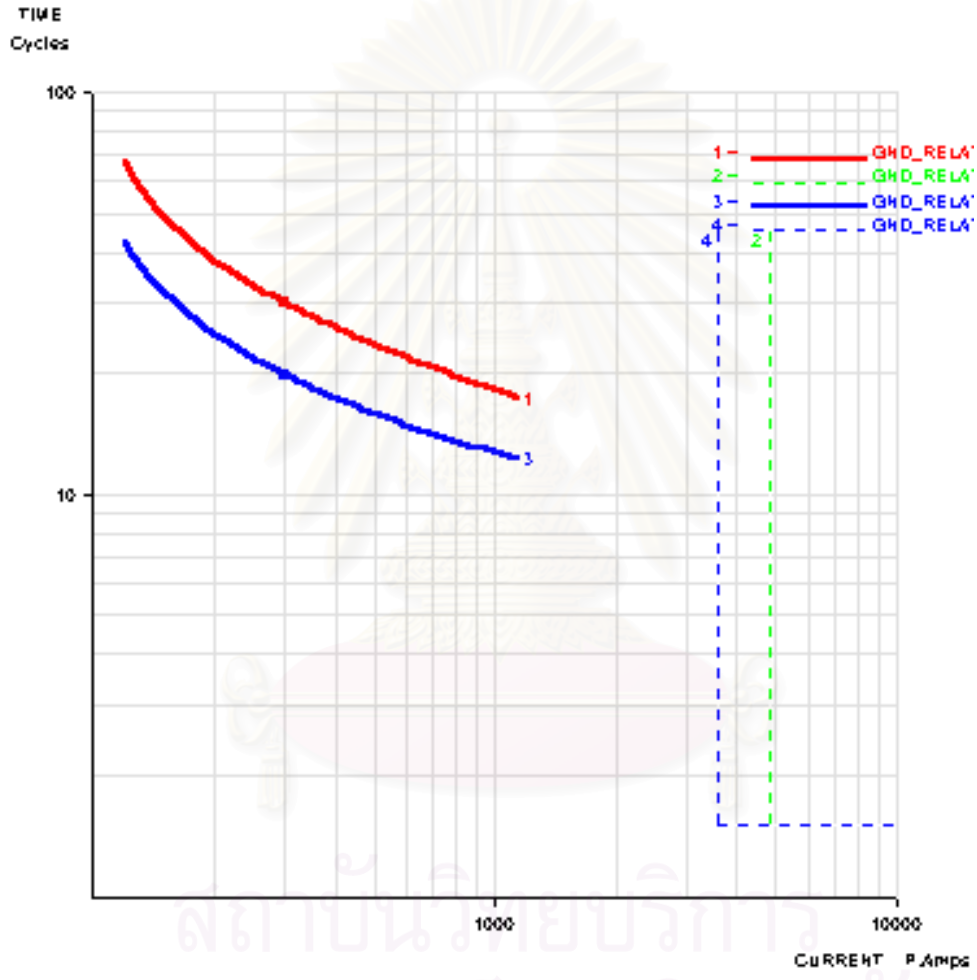
กราฟเส้นที่ 2 แสดงกราฟการทำงานแบบทันทีทันใด ของเฟสรีเลย์ด้านขาเข้า

กราฟเส้นที่ 3 แสดงกราฟการทำงานแบบหน่วงเวลา ของเฟสรีเลย์ด้านขาออก

กราฟเส้นที่ 4 แสดงกราฟการทำงานแบบทันทีทันใด ของเฟสรีเลย์ด้านขาออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเวลา – กระแสของรีเลย์ด้านขาเข้า และ รีเลย์ด้านขาออกซึ่งทำงานด้านกระแสลัดวงจรลงดิน



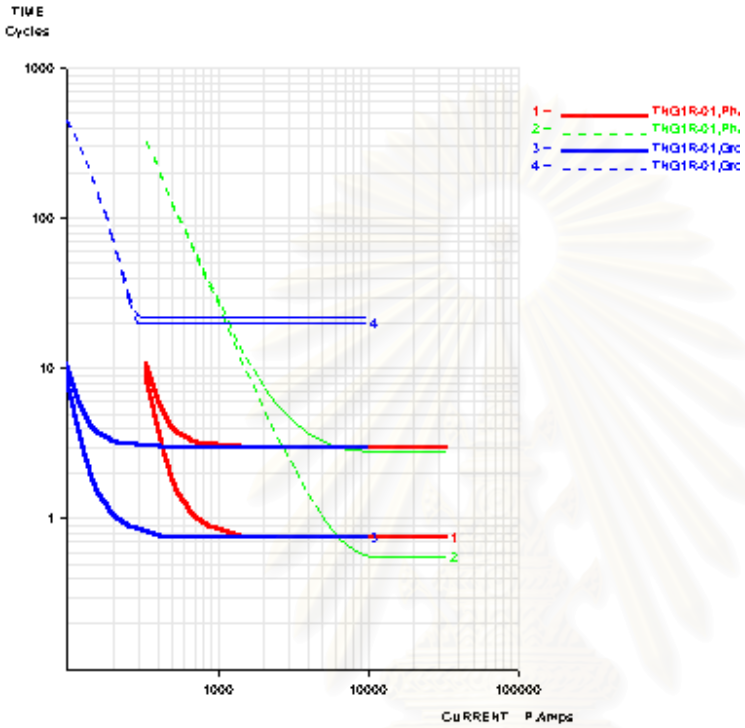
กราฟเส้นที่ 1 แสดงกราฟการทำงานแบบหน่วงเวลา ของกราวด์รีเลย์ด้านขาเข้า

กราฟเส้นที่ 2 แสดงกราฟการทำงานแบบทันทีทันใด ของกราวด์รีเลย์ด้านขาเข้า

กราฟเส้นที่ 3 แสดงกราฟการทำงานแบบหน่วงเวลา ของกราวด์รีเลย์ด้านขาออก

กราฟเส้นที่ 4 แสดงกราฟการทำงานแบบทันทีทันใด ของกราวด์รีเลย์ด้านขาออก

กราฟเวลา – กระแสของรีโคลสเซอร์ TNG1R-01



กราฟเส้นที่ 1 แสดงกราฟการทำงานแบบเร็ว ของเฟสรีโคลสเซอร์

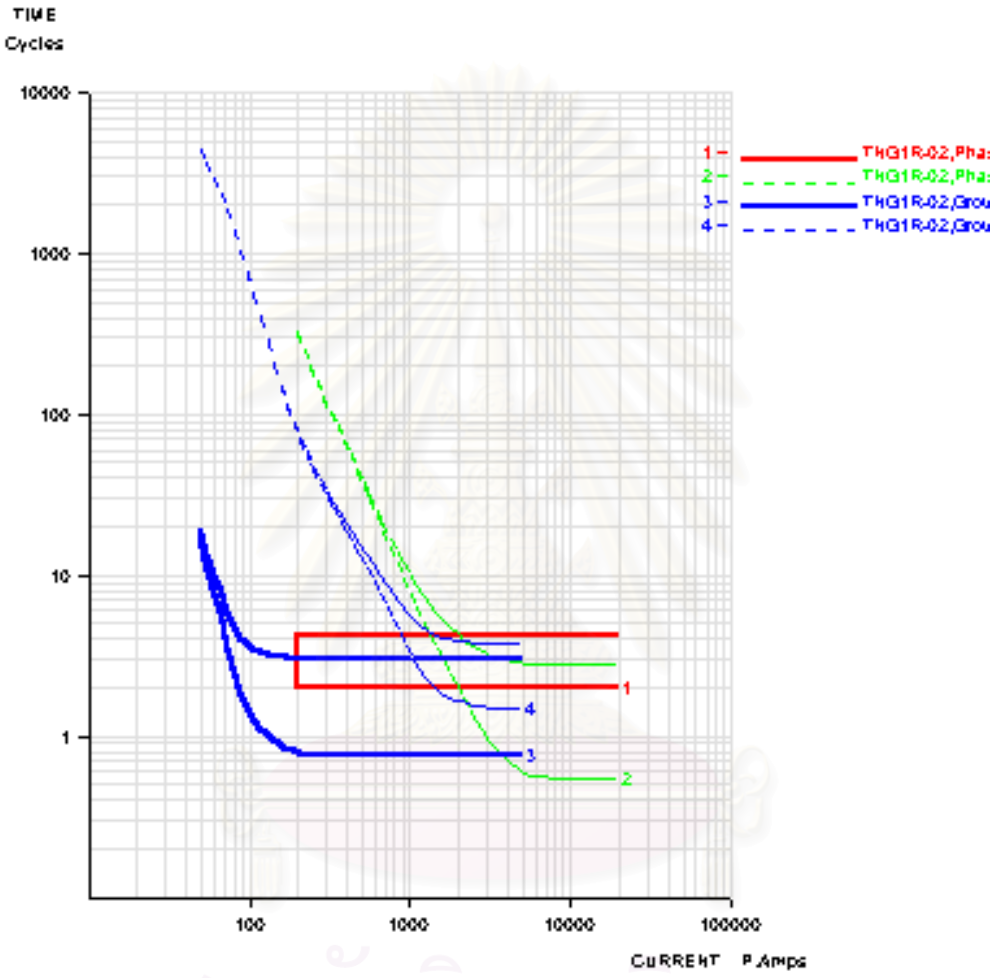
กราฟเส้นที่ 2 แสดงกราฟการทำงานแบบช้า ของเฟสรีโคลสเซอร์

กราฟเส้นที่ 3 แสดงกราฟการทำงานแบบเร็ว ของกราวด์รีโคลสเซอร์

กราฟเส้นที่ 4 แสดงกราฟการทำงานแบบช้า ของกราวด์รีโคลสเซอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเวลา – กระแสของรีโคลสเซอร์ TNG1R-02



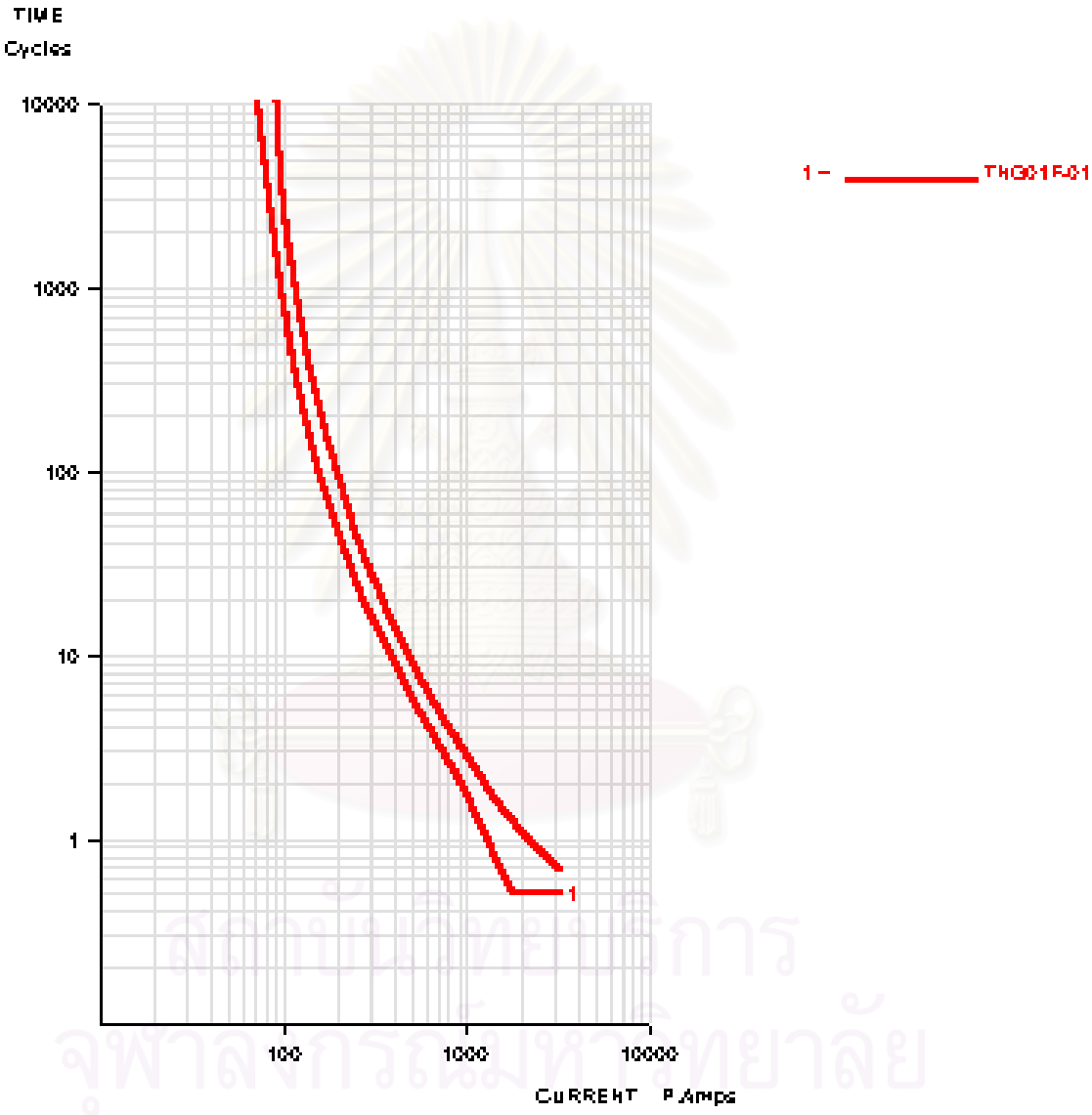
กราฟเส้นที่ 1 แสดงกราฟการทำงานแบบเร็ว ของเฟสรีโคลสเซอร์

กราฟเส้นที่ 2 แสดงกราฟการทำงานแบบช้า ของเฟสรีโคลสเซอร์

กราฟเส้นที่ 3 แสดงกราฟการทำงานแบบเร็ว ของกราวด์รีโคลสเซอร์

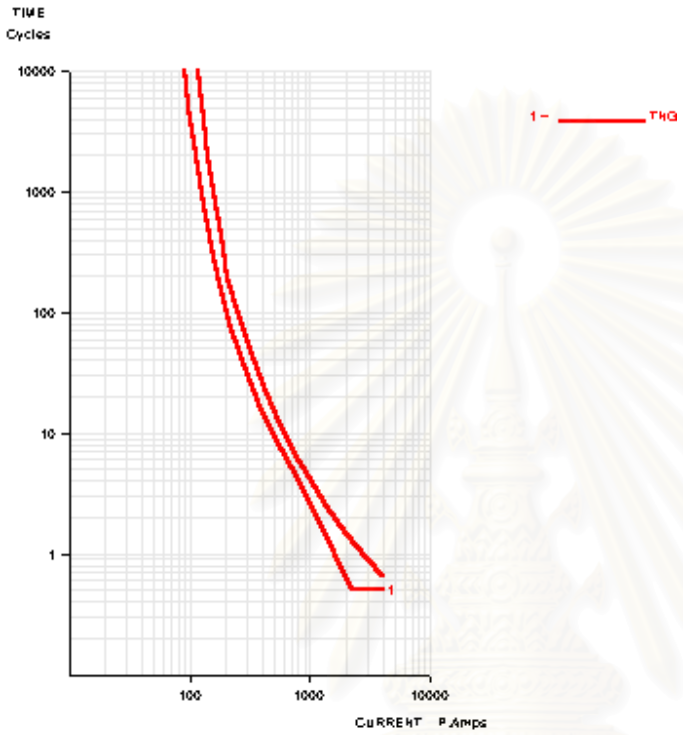
กราฟเส้นที่ 4 แสดงกราฟการทำงานแบบช้า ของกราวด์รีโคลสเซอร์

กราฟเวลา – กระแสของฟิวส์ TNG1F-01



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเวลา – กระแสของฟิวส์ TNG1F-06



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงค่าเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายที่ใช้ทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

DISTRIBUTION PROTECTION SETTING

OVERCURRENT PROTECTION

DATA FROM : THOENG SUBSTATION FEEDER No. 1

FILE : EXP TEST .GDB

RELAY SETTINGS

RELAY NAME	RELAY STYLE	CT RATIO	TIME DELAY SETTING		INSTANTANEOUSE SETTING		NOTE
			PICKUP (A)	DIAL	PICKUP (A)	OPERATING TIME (cycles)	
EGAT_PHASE	MCG22	240/1	1.00	0.7			OFF INST..
EGAT_GND	MCG22	240/1	0.50	0.425			OFF INST..
IN_PHASE	CDG21	600/1	0.25	0.432	8	1.5	
IN_GND	CDG21	600/1	0.10	0.1464	8	1.5	
OUT_PHASE	CDG21	120/1	1.50	0.332	30	1.5	
OUT_GND	CDG21	120/1	0.50	0.443	30	1.5	

RECLOSER SETTINGS

NAME	TYPE	FORM	PHASE			GROUND		
	OF RECLOSER	[CONTROL]	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW	MIN TRIP (A)	CURVE FAST	CURVE SLOW
TNG1R-01	VWVE	3A	340	A	116	100	A	165
TNG1R-02	VWVE	4C	200	101	116	50	102	165
TNG1R-03	VWVE	3A	280	A	116	70	A	165
TNG1R-05	VWVE	4C	200	105	116	50	111	165
TNG1R-06	VWVE	4C	50	105	116	50	111	165

FUSE SETTINGS

NAME	TYPE	SIZE
TNG1F-01	K	40
TNG1F-02	K	40
TNG1F-03	K	25
TNG1F-04	K	15
TNG1F-05	K	25
TNG1F-06	K	40
TNG1F-07	K	20
TNG1F-08	K	25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงค่าความต้านทานของสายตัวนำขนาดต่าง ๆ ต่อระยะทาง 1 กม.

TYPE	OHM			
	R1	X1	R0	X0
185A(S)	0.175713	0.334439	0.323713	1.561251
120A(S)	0.266432	0.348692	0.414432	1.575505
95ACSR(S)	0.343081	0.347499	0.491081	1.574312
50ACSR(S)	0.666683	0.376216	0.814683	1.60303

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของระบบผู้เชี่ยวชาญรีเลย์ - รีโคลสเซอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

****

EXPERT SYSTEM

RELAY TO RECLOSER COORDINATION ANALYSIS

****

SUBSTATION ID :THOENG
SOURCE SIDE PHASE RELAY DATA
NAME :PH_RELAY
MANUFACTURER :ENGLISH ELECTRIC
TYPE :CDG
STYLE :CDG11+IOC_5A_1-4

SOURCE SIDE GROUND RELAY DATA
NAME :GND_RELAY
MANUFACTURER :ENGLISH ELECTRIC
TYPE :CDG
STYLE :CDG11+IOC_5A_0.5-2

LOAD SIDE RECLOSER DATA
NAME :TNG1R-01
MANUFACTURER :Cooper
TYPE :Form 4C
STYLE :Form 4C#KME4C1111-1

LOCAL ZONE PROTECTION OF LOAD SIDE RECLOSER :
FROM BUS : 4
TO BUS : 5
CIRCUIT : 1

MAXIMUM FAULT CURRENT : 2214.88 AMPS
PHASE RELAY OPERATING TIME :
IS : 69.2300 CYCLES 1.38460 SECONDS

LOAD SIDE RECLOSER OPERATING TIME :
FAST MR TIME 0.75000 CYCLES
FAST TC TIME 3 CYCLES
SLOW MR TIME 4.50000 CYCLES
SLOW TC TIME 6.76000 CYCLES

MINIMUM FAULT CURRENT : 402.080 AMPS

RELAY GROUND OPERATION TIME
GROUND RELAY OPERATING TIME :
IS : 99999 CYCLES 1999.98 SECONDS

LOAD SIDE RECLOSER OPERATING TIME :
FAST MR TIME 0.79000 CYCLES
FAST TC TIME 3.04000 CYCLES
SLOW MR TIME 20 CYCLES
SLOW TC TIME 22.2500 CYCLES

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

*** OPERATION AND COORDINATION ANALYSIS ***

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ANALYZE OPERATING TIME OF SOURCE SIDE RELAY
AND LOAD SIDE RECLOSER. AT MAXIMUM AND MINIMUM
FAULT IN LOCAL ZONE OF PROTECTION (LZOP)OF LOAD
SIDE RECLOSER : RELAY SHALL NOT OPERATE TO CLEARING
FAULT ON LZOP OF RECLOSER .

** REGULATION FOR COORDINATION ANALYSIS
AT ANY FAULT ON ZONE OF RECLOSER PROTECTION
RELAY ON SOURCE SIDE NOT OPERATE
RECLOSER OPERATE FOR CLEAR FAULT
TOTAL CLEARING TIME OF RECLOSER LIES ON LOWER.
SIDE OF RELAY CURVE , TOC AND IOC CURVE.

ASSUMPTION :
RECLOSER IN PEA SYSTEM IS ELECTRONIC RECLOSER .
SO ANALYSIS WILL DIVIDED BY TYPE OF RELAY : STATIC AND
ELECTROMAGNETIC RELAY

IN CASE OF STATIC RELAY AND
ELECTRONIC RECLOSER .
IF RECLOSER TRIP FASTER THAN
RELAY TRIP TIME .

COORDINATION ANALYSIS RESULT :
AT MAXIMUM FAULT
PHASE RELAY OPERATING TIME :
IS : 69.2300 CYCLES 1.38460 SECONDS
RECLOSER PHASE TRIP ON SLOW : 6.76000 CYCLES 0.13520 SECONDS

*** OK - COORDINATION ***

AT MINIMUM FAULT
GROUND RELAY OPERATING TIME :
IS : 99999 CYCLES 1999.98 SECONDS
RECLOSER GROUND TRIP ON SLOW : 22.2500 CYCLES 0.44500 SECONDS

*** OK - COORDINATION ***

IN CASE OF ECLECTROMAGNETIC RELAY
AND ELECTRONIC RECLOSER .

COORDINATION ANALYSIS RESULT :
AT MAXIMUM FAULT
PHASE RELAY MINIMUM OPERATING TIME :
IS : 64.0378 CYCLES 1.28076 SECONDS
RECLOSER OPERATE ON FAST CURVE : 1ST
MAXIMUM OPERATING TIME :
IS : 8.50000 CYCLES 0.17000 SECONDS

** OPERATION - OK **

ROTATING DISK OF RELAY MOVE FORWARD DURING
RECLOSER OPERATE 1ST TRIP IN : 17.1774 %

ROTATING DISK OF RELAY MOVE BACKWARD DURING
RECLOSER OPERATE OPEN CIRCUIT : 309.375 %

RELAY COMPLETE RESET
RECLOSER OPERATE ON SLOW CURVE : 2ND
MAXIMUM OPERATING TIME :
IS : 12.4360 CYCLES 0.24872 SECONDS

** OPERATION - OK **

ROTATING DISK OF RELAY MOVE FORWARD DURING
RECLOSER OPERATE 1ST TRIP IN : 23.3237 %

ROTATING DISK OF RELAY MOVE BACKWARD DURING
RECLOSER OPERATE OPEN CIRCUIT : 309.375 %

RELAY COMPLETE RESET
RECLOSER OPERATE ON SLOW CURVE : 3RD
MAXIMUM OPERATING TIME :
IS : 12.4360 CYCLES 0.24872 SECONDS

** OPERATION - OK **

ROTATING DISK OF RELAY MOVE FORWARD DURING
RECLOSER OPERATE 1ST TRIP IN : 23.3237 %

ROTATING DISK OF RELAY MOVE BACKWARD DURING
RECLOSER OPERATE OPEN CIRCUIT : 309.375 %

RELAY COMPLETE RESET

** COORDINATION - OK **

COORDINATION ANALYSIS RESULT :
AT MINIMUM FAULT
GROUND RELAY MINIMUM OPERATING TIME :
IS : 92499.1 CYCLES 1849.98 SECONDS
RECLOSER OPERATE ON FAST CURVE : 1ST
MAXIMUM OPERATING TIME :
IS : 8.54000 CYCLES 0.17080 SECONDS

** OPERATION - OK **

ROTATING DISK OF RELAY MOVE FORWARD DURING
RECLOSER OPERATE 1ST TRIP IN : 0.01194 %

ROTATING DISK OF RELAY MOVE BACKWARD DURING
RECLOSER OPERATE OPEN CIRCUIT : 309.375 %

RELAY COMPLETE RESET
RECLOSER OPERATE ON SLOW CURVE : 2ND
MAXIMUM OPERATING TIME :
IS : 29.4750 CYCLES 0.58950 SECONDS

** OPERATION - OK **

ROTATING DISK OF RELAY MOVE FORWARD DURING
RECLOSER OPERATE 1ST TRIP IN : 0.03457 %

ROTATING DISK OF RELAY MOVE BACKWARD DURING
RECLOSER OPERATE OPEN CIRCUIT : 309.375 %

RELAY COMPLETE RESET
RECLOSER OPERATE ON SLOW CURVE : 3RD
MAXIMUM OPERATING TIME :
IS : 29.4750 CYCLES 0.58950 SECONDS

** OPERATION - OK **

ROTATING DISK OF RELAY MOVE FORWARD DURING
RECLOSER OPERATE 1ST TRIP IN : 0.03457 %

ROTATING DISK OF RELAY MOVE BACKWARD DURING
RECLOSER OPERATE OPEN CIRCUIT : 309.375 %

RELAY COMPLETE RESET

** COORDINATION - OK **

%%

*** SETTING ANALYSIS ***

%%

** REGULATION FOR SETTING ANALYSIS [PEA]

SELECTION RECLOSER MINIMUM TRIP LEVEL :
1. PHASE MINIMUM TRIP LEVEL = 125 % OF MAXIMUM LOAD IN BRANCH
2. GROUND MINIMUM TRIP LEVEL = 25 % OF PHASE MINIMUM TRIP LEVEL

%%%%
NOTE : ONLY MINIMUM TRIP LEVEL BE SETTED .
%%%%

NEW MINIMUM TRIP LEVEL SETTING
PHASE MINIMUM TRIP LEVEL : 113.636
GROUND MINIMUM TRIP LEVEL : 28.4091

%%

*** INSTALLATION ANALYSIS ***

%%

THIS EXPERT SYSTEM CREATED FOR APPLIE TO PROVINCIAL
ELECTRICITY AUTHORITY [PEA] RECLOSER INSTALL FOR PROTEC
RADIAL DISTRIBUTION NETWORK . RELAY WILL INSTALL AT
SUBSTATION SO NOT ANALYSIS

** REGULATIONS FOR INSTALL RECLOSER BY PEA

1. INSTALLED IN THE DISTRIBUTION SYSTEM WHICH IS SUBJECTED TO MANY
TEMPORARY FAULTS.
2. INSTALLED ON MAIN FEEDERS OR BRANCH LINES WHICH EXCEED 10 KM.
FROM SUBSTATION. EXCEPT THAT THERE ARE MANY TROUBLES OF TEMPORAR
FAULTS ON MAIN LINES OR BRANCH LINES AND THAT THEY ARE ESSENTIAL L
INES.
IN THAT CASE, IT MAY BE CONSIDERED TO INSTALL RECLOSERES AS NECESS
AY.
3. RECLOSERS MAY BE USED AT SUBSTATION AS PROTECTIVE EQUIPMENT
INSTEAD OF CIRCUIT BREAKERS.

RECLOSER INSTALLATION ANALYSIS RESULT :

RECLOSER INSTALLATION OK !

REPORT FILE TO C:\MY DOCUMENTS\EXPERT RELAY - RECLOSER COORDINATION PORT.TXT

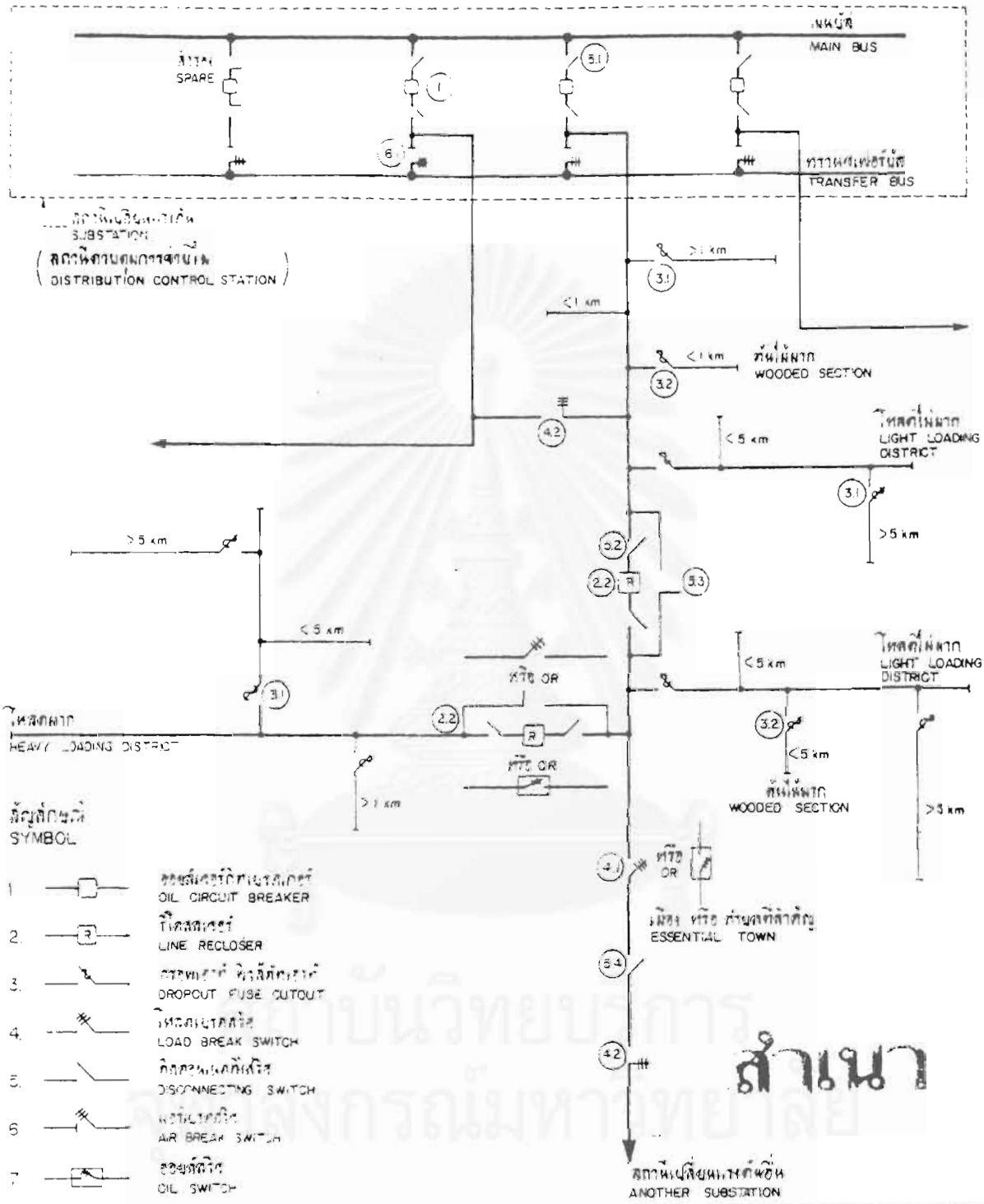
ภาคผนวก ค.

มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่าย ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประกอบเสาที่ ASSEMBLY NO 9801

DIAGRAM OF PROTECTIVE AND SWITCHING EQUIPMENTS INSTALLATION IN H.T. DISTRIBUTION SYSTEM



สำเนา

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ I 50-015/130072 ฉบับแก้ไขใหม่แบบ เลิกแบบวันที่ 10 ก.ย. 20 มิถุนายน มรดรายส่วน
ผู้จัดทำ ผู้สำรวจ วิศวกร หัวหน้าแผนก หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการฝ่าย ของผู้ว่าการฝ่ายเทคนิค	ผู้ว่าการ 16 พ.ย. 20	มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแรงสูง
	STANDARD OF PROTECTIVE AND SWITCHING EQUIPMENTS INSTALLATION IN H.T. DISTRIBUTION SYSTEM	แบบเลขที่ SAI -015/20026 แผ่นที่ 1 จำนวน 5 แผ่น

การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO 9801

หลักเกณฑ์การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแรงสูง

Regulations on Installation of H.T. Protective and Switching Equipment

๑. เซอร์กิตเบรคเกอร์ —□—
ใช้ติดตั้งที่สถานีเปลี่ยนแรงดัน เป็นอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถทำงานปิดกลับโดยอัตโนมัติได้ไม่น้อยกว่าสองครั้ง

1. Circuit Breakers
Installed at substation as protective equipment which can be operated automatically by reclosing at least two shots

๒. รีโคลสเซอร์ —R—

๒.๑ ใช้ติดตั้งในระบบจำหน่ายที่มีปัญหาเกิดฟอลท์แบบชั่วคราวบ่อยครั้ง

2. Automatic Circuit Reclosers

2.1 Installed in the distribution system which is subjected to many temporary faults.

๒.๒ ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกที่อยู่ห่างจากสถานีเปลี่ยนแรงดัน ตั้งแต่ ๑๐ กม. ขึ้นไป และในสายเมนหรือสายแยกใดที่มีปัญหาเกิดฟอลท์แบบชั่วคราวบ่อยครั้ง หรือเป็นสายจำหน่ายที่มีความสำคัญ ก็อาจพิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

2.2 Installed on main feeders or branch lines which exceed 10km. from substation. Except that there are many troubles of temporary faults on main lines or branch lines and that they are essential lines. In that case, it may be considered to install reclosers as necessary.

๒.๓ อาจพิจารณาติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่สถานีเปลี่ยนแรงดันได้ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแทนเซอร์กิตเบรคเกอร์

2.3 Reclosers may be used at substation as protective equipment instead of circuit breakers.

ร่าง

ถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ 150-015/130072 ลงนามวิศวกรแบบ เขียนเมื่อวันที่ 10 พ.ย. 20 แก้แบบวันที่ มิติเป็น มาตราส่วน
ผู้เขียน ผู้ตรวจ วิศวกร หัวหน้าแผนก หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการฝ่าย	ผู้อำนวยการ 16 พ.ย. 20	
รองผู้ว่าการฝ่ายเทคนิค	มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแรงสูง STANDARD OF PROTECTIVE AND SWITCHING EQUIPMENTS INSTALLATION IN H.T. DISTRIBUTION SYSTEM	แบบมาตรฐานที่ SAI-015/20026 แผ่นที่ 2 จำนวน 5 แผ่น

๒.๔ ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ต้องพิจารณาให้สะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงานและบำรุงรักษา และค่ากระแสฟอลท์ซึ่งอาจเกิดขึ้น ณ จุดนี้ จะต้องมีค่าไม่มากกว่าพิกัดการตัดกระแสของรีโคลสเซอร์

2.4 The location of reclosers installation should be convenient for maintenance and operation; the fault current at that point should not be greater than the maximum interrupting capacity of the reclosers.

๓. ดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์

๓.๑ ติดตั้งในสายแยกที่มีระยะทางเกินกว่า ๑ กม. และในสายย่อยที่มีระยะทางเกินกว่า ๕ กม.

๓.๒ กรณีสายแยกที่มีระยะทางไม่เกิน ๑ กม. และสายย่อยที่มีระยะทางไม่เกิน ๕ กม. อาจติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ได้ ถ้าพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมเพียงพอ เช่น มีต้นไม้อยู่ในแนวสายไฟฟ้ามาก

๓.๓ ในสายเมนไม่ควรติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ หรือถ้าจะติดตั้งก็ควรมีน้อยที่สุดโดยพิจารณาแล้วเห็นว่ามีความจำเป็นจริง ๆ

๓.๔ ต้องไม่ติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ในสายเมนทางด้านหน้าของรีโคลสเซอร์

๓.๕ ดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ที่ติดตั้งจะต้องสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับเซอร์กิตเบรกเกอร์, รีโคลสเซอร์หรือดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ด้วยกันได้

3. Dropout Fuse Cutouts

3.1 Installed on branch lines for a distance exceeding 1 km. and on sub-branch lines for a distance exceeding 5 km.

3.2 In case of branch lines not exceeding 1 km. and sub-branch lines not exceeding 5 km., dropout fuse cutouts may be installed if necessary such as there are many trees near the lines.

3.3 Dropout fuse cutouts should not be installed on main lines but if necessary, it should be installed at least possible.

3.4 Dropout fuse cutouts shall not be installed on main feeders before reclosers.

3.5 Dropout fuse cutouts installed shall be coordinated with circuit breakers, reclosers or other dropout fuse cutouts.

สำเนา

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ 150-015/130072 ถูกแทนที่โดยแบบ เปลี่ยนแปลงครั้งที่ 10 พ.ย. 20 แก้แบบครั้งที่ มิถีเป็น มาตราส่วน
ผู้เขียน ผู้สำรวจ วิศวกร หัวหน้าแผนก หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการฝ่าย	ผู้ว่าการ 16 พ.ย. 20 มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่าย	
รองผู้ว่าการฝ่ายเทคนิค	STANDARD OF PROTECTIVE AND SWITCHING EQUIPMENTS INSTALLATION IN H.T. DISTRIBUTION SYSTEM	แบบเลขที่ SAI-015/20026 แผ่นที่ 3 ของจำนวน 5 แผ่น

การประกอบเลขที่ 63 9801
ASSEMBLY NO

๔. โหลดเบรคสวิชและออยล์สวิช

๔.๑ ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนเข้าเมืองที่สำคัญ

๔.๒ ติดตั้งในสายเชื่อมโยง ตำแหน่งที่จะมีการเชื่อมโยงระหว่างฟีดเดอร์หรือระหว่างสถานีเปลี่ยนแรงดัน

๔.๓ กรณีสายแยกใดที่มีโหลดมากและต้องการติดตั้งสวิชตัดตอน ก็ให้พิจารณาติดตั้งโหลดเบรคสวิชหรือออยล์สวิชได้ตามความเหมาะสม

๔.๔ อาจติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกทุก ๆ ๒๐ กม.ก็ได้ ถ้าไม่มีการติดตั้งตามข้อ ๔.๑

4. Load Break Switches and Oil Switches

4.1 Installed on the incoming of the main or branch lines to the essential town.

4.2 Installed on tie-lines in the location of interconnecting between feeders or substations.

4.3 When needed to install disconnecting switches on branch lines with heavy load, load break switches or oil switches may be considered to install as necessary.

4.4 If there is no installation according to 4.1, they may be installed on main lines or branch lines in every 20 km.

๕. ดิสคอนเนคติ้งสวิช

๕.๑ ติดตั้งเป็นสวิชตัดตอนที่สถานีเปลี่ยนแรงดัน และก่อนเข้าสายเคเบิลแรงสูง

๕.๒ ติดตั้งเป็นสวิชตัดตอนก่อนเข้าและออกจากรีโคลสเซอร์และโวลท์เตจเรกูเลเตอร์

๕.๓ ติดตั้งเป็นสวิชบายพาสที่รีโคลสเซอร์

5. Disconnecting Switches

5.1 Installed as switching equipment in substation on the incoming of the H.T. underground cable

5.2 Installed as switching equipment both on incoming and outgoing of the reclosers and voltage regulators.

5.3 Installed as bypass switches at recloser.

ตัวอย่าง

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ 150-015/130072 ถูกแทนที่โดยแบบ เรียนเสร็จวันที่ 10 พ.ย. 20 แก้แบบวันที่ ลิขสิทธิ์ มาตราส่วน
ผู้ตรวจ ผู้ตรวจ หัวหน้าแผนก หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการฝ่าย	สำหรับการ มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแรงสูง	
รองผู้ว่าการฝ่ายเทคนิค	STANDARD OF PROTECTIVE AND SWITCHING EQUIPMENTS INSTALLATION IN H.T. DISTRIBUTION SYSTEM	แบบเลขที่ SAI-015/20026 แผ่นที่ 4 รวมจำนวน 5 แผ่น

๕.๔ ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนออกจากเมืองที่สำคัญ

5.4 Installed on the outgoing of the main or branch lines from the essential town.

๖. แอร์เบรคสวิช

๖.๑ ติดตั้งที่สถานีเปลี่ยนแรงดัน เพื่อเป็นสวิชสำหรับทำบายพาส

๖.๒ ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกแทนตำแหน่งของดิสคอนเนคติ้งสวิช เมื่อต้องการปิดหรือเปิดวงจรขณะที่มีโหลด แต่ทั้งนี้กระแสโหลดขณะปิดหรือเปิดวงจร ต้องมีค่าไม่เกิน ๑๐ แอมแปร์ สำหรับระบบจำหน่ายที่มีแรงดันไม่เกิน ๓๓ เควี หรือไม่เกินพิกัดกระแสที่ระบุไว้ (Breaking Current)

6. Air Break Switches

6.1 Installed as bypass switches in substation

6.2 Installed on main lines or branch lines instead of disconnecting switches to interrupt current not more than 10 amperes for a system up to 33 kV or Breaking Current specified on their nameplates.

หมายเหตุ

ในการพิจารณาติดตั้งรีคลอสเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ ให้พิจารณาสายจำหน่ายที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ ออยล์สวิช หรือโหลดเบรคสวิช ถือเป็นสายเมน

NOTE

The line on which recloser, oil switch or load break switch has been installed is the main line for considering to install dropout fuse cutout.

สำเนา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	รหัสมาตรฐาน 150-015/130072 กฟภ.
ผู้เขียน ผู้ตรวจ วิศวกร หัวหน้าแผนก หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการฝ่าย	ผู้อนุมัติ 16 พ.ค. 29	เริ่มใช้ครั้งนี้ 10 พ.ย. 20 แก้ไขครั้งที่ ยกเลิก มาตรฐานเดิม
รองผู้ช่วยการฝ่ายเทคนิค	มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแรงสูง STANDARD OF PROTECTIVE AND SWITCHING EQUIPMENTS INSTALLATION IN H.T. DISTRIBUTION SYSTEM	แบบแสดงที่ SAI-015/20026 แผ่นที่ 5 จากจำนวน 5 แผ่น

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทรงวุฒิ ขันดี เกิดเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2517 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ.2539 แล้วเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพลังงานไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย