



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การวิเคราะห์ตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
เชิงสัมพันธ์แบบสองทางและระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี
โดย นายระดมบุญ ทักษณา

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตยวัฒน์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธีรธรรม บุญยะกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อนวัช แสงสว่าง)

การวิเคราะห์ตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
เชิงสัมพันธ์แบบสองทางและระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่

นายระดมบุญ ทักษณา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายระคมบุญ ทักษณา
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงข่าย
ประสาทเทียมเชิงสัมพันธ์แบบสองทางและระบบผู้เชี่ยวชาญบนความ
สัมพันธ์แบบฟัซซี่
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญนุกุล
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

ฟอลต์ที่ทำให้เกิดการตัดโหนดในระบบไฟฟ้ากำลัง ต้องถูกระบุตำแหน่งให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อที่จะทำให้ได้คืนมาซึ่งการจ่ายไฟตามปกติ และ ทำให้ระยะเวลาไฟฟ้าดับน้อยที่สุด การวิเคราะห์ฟอลต์ในระบบส่งไฟฟ้าคือขั้นตอนการระบุอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์โดยใช้สถานะหลังการเกิดฟอลต์ของรีเลย์ป้องกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ อย่างไรก็ตามการระบุหาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ไม่่ง่ายเสมอไปและอาจจะใช้เวลานานเพราะว่าผู้ควบคุมระบบต้องวิเคราะห์ข้อมูลเดือนจำนวนมากที่ถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุมอย่างรวดเร็ว เพื่อที่จะหาข้อสรุปสำหรับการปฏิบัติที่เหมาะสมในการนำระบบกลับคืน ข้อมูลดังกล่าวอาจจะไม่แม่นยำ และ ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการสื่อสารที่ผิดพลาด หรือ การทำงานที่ผิดพลาดของระบบป้องกัน ดังนั้นผู้ควบคุมระบบต้องการเครื่องมือการวิเคราะห์เพื่อช่วยเหลือในการตีความหมายข้อมูลดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอ 2 เทคนิคเพื่อใช้แก้ปัญหาการระบุตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่ใดก็ได้ในระบบส่งไฟฟ้า

เทคนิคแรกอ้างอิงกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง (BAM) ซึ่งใช้สำหรับเก็บและคืนลำดับของรูปแบบระหว่าง สถานะของอุปกรณ์ป้องกัน และ ตำแหน่งฟอลต์ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการฝึกสอน BAM คำนวณจาก Quick Learning for BAM (QLBAM) วิธีนี้ได้รับการพัฒนาและทดสอบกับระบบส่งที่ประกอบไปด้วย 7 บัส 8 สายส่ง 2 หม้อแปลง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ากับข้อมูลที่ไม่แน่นอน และ ไม่สมบูรณ์ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ยังคงสามารถถูกระบุได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณ สำหรับระบบที่ซับซ้อนและในบางกรณีมันอาจจะถูเข้าหาคำตอบที่ผิดเนื่องจากชุดข้อมูลการฝึกสอนที่คล้ายกัน

เพื่อที่จะกำจัดข้อด้อยดังกล่าว เทคนิคที่ 2 ถูกนำเสนอโดยอ้างอิงกับ 1) ระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ที่ใช้ประโยชน์ข้อมูลลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน และ 2) แผนผังต้นไม้ที่สามารถจัดการกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงานล้มเหลว

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีนี้ได้นำมาประยุกต์กับ 7 บัสข้างต้น และ ระบบซึ่งประกอบด้วย 6 บัส และ 7 สายส่ง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่านอกจากอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์จะสามารถถูกระงับได้อย่างแม่นยำแล้ว ยังแก้ปัญหาข้อมูลเตือนสูญหายได้อีก ดังนั้นเป็นการเพิ่มทางเลือกสำหรับผู้ควบคุมระบบในการตอบสนองอย่างรวดเร็วในสถานการณ์ฉุกเฉิน

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 103 หน้า)

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ฟอลต์, การประมวลผลข้อมูลเตือน, ระบบผู้เชี่ยวชาญ, ความสัมพันธ์แบบฟัซซี่, แผนผังต้นไม้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Radomboon Taksana
Thesis Title : Fault Location Diagnosis in Transmission Networks by Bidirectional
: Associative Memories and an Expert System with Fuzzy Relation
Major Field : Electrical Engineering
: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Dr.Somporn Sirisumrannukul
Academic Year : 2006

Abstract

Faults causing load disconnections in a power system have to be located as soon as possible to restore normal energy supply and to keep the interruption duration at minimum. Fault diagnosis in a transmission system is a process to identify faulted components using the postfault statuses of the protective relays and circuit breakers. However, the identification of the fault location is not always easy and would be time-consuming because the system operator has to quickly analyze a large number of alarm messages transmitted to the control center to draw a conclusion for which a proper action can be taken to restore the system. Such information may be imprecise and incomplete owing to miscommunication or malfunction in the protection system. Therefore, the system operator needs analysis tools to provide assistance in interpreting the data. This thesis presents two techniques to solve the problem of locating faults that occur anywhere in transmission systems.

This first technique is based on Bidirectional Associative Memories (BAM), which is used for storing and recalling pattern pair between protective equipment statuses and fault location. The weight required for training BAM is calculated by Quick Learning for BAM (QLBAM) . The method is developed and tested on a transmission network with 7 buses, 8 transmission lines and 2 transformers. The study results indicate that with imprecise and incomplete data, faulted components are still correctly identified. Nevertheless, it is computationally expensive for a complicated system, and in some cases, it may converge to a wrong solution due to similar training data sets.

To eliminate these disadvantages, the second technique is proposed based on i) expert system with fuzzy relation that utilizes information on operating time sequences of the actuated

relays and tripped circuit breakers, and ii) fault tree that can efficiently handle circuit breaker failure. The method is versatile in that uncertainties, such as protective relay failure, circuit breaker failure are taken into consideration. The method is applied to the above 7-bus system and a system with 6 buses and 7 transmission lines. The results show that not only can a faulted component be precisely identified but also the problem of loss of alarm data in relays can be solved, thus adding an alternative for the system operator to respond quickly in emergency situations.

(Total 103 pages)

Keywords : Fault diagnosis, Alarm Processing, Expert systems, Fuzzy relation, Fault tree analysis.

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

ทุกสิ่งทุกอย่างที่เกิดขึ้นในวันนี้จะเป็นไปไม่ได้เลย ถ้าอาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของกระผมไม่มีความเชื่อมั่นในตัวกระผม ท่านได้มอบโอกาสให้ผมได้ทำงานวิจัยชิ้นนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหามาในทุกระเบิด จนกระผมพูดได้อย่างเต็มปากว่าท่านคือแบบอย่างของคุณครูที่นักเรียนฝันถึง ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี ที่แนะนำเดือนสิ่งต่างๆที่นักวิจัยที่ดีควรมี และให้ความกรุณาช่วยเหลือในทุกด้าน ขอขอบคุณพี่สมชายที่ให้ผมลอกการบ้านบ่อยๆ ขอขอบคุณกรวิทย์ ในการแนะนำเรื่องโปรแกรมต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆร่วมรุ่น ในห้องวิจัยทุกคนที่คอยสนับสนุน ห่วงใย ให้กำลังใจ และช่วยเหลือในทุกๆด้าน ขอขอบคุณสถาบันอันเป็นที่รักตั้งแต่ โรงเรียนสมาคมสตรีไทย โรงเรียนราชวินิตมัธยม จนถึงสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำหรับทุกๆความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ของผู้วิจัย

คำขอบคุณสุดท้ายขอมอบแด่พ่อที่เป็นแบบอย่างให้กระผมอยากจะเป็น ขอขอบคุณมืออ่อนๆของแม่ที่ทอดเวลาผมเหนื่อย พี่ชายผมก็ทำหน้าที่ได้สมคุณค่าของพี่ชาย และท้ายสุดขอบคุณสาทิสรณ์ซึ่งเป็นภรรยาของกระผมที่อดทนอยู่อย่างเดียวดายในช่วงเวลาที่ผ่านมา โดยสิ่งหนึ่งที่ผมได้ยื่นเสมอจากปากเธอคือให้พักผ่อนเยอะๆ บุคคลคนนี้เป็นคนที่คอยเตือนผมให้ก้าวไปข้างหน้า อย่าท้อถอย กระผมจะขอเก็บประสบการณ์ดีๆในช่วง 3 ปีบนโต๊ะเล็กๆในห้องวิจัยแห่งนี้และการทำวิทยานิพนธ์นี้ที่แสนยากลำบากนี้ในหัวใจและกระแสน้ำของกระผมตลอดไป

ระดมบุญ ทักขณา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	3
1.3 โครงสร้างภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	5
1.5 วิธีการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	6
บทที่ 2 ระบบป้องกัน และการหาตำแหน่งฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง	7
2.1 ส่วนประกอบของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า	8
2.2 ระบบป้องกัน	11
2.3 ศูนย์ควบคุม และ ระบบควบคุมทางไกล	21
2.4 การวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่ผิดปกติในระบบไฟฟ้า	22
2.5 สรุป	24
บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง	25
3.1 วรรณกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์	25
3.2 คุณสมบัติและความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม	27
3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง	28
3.4 โครงสร้างของ BAM	31
3.5 ขั้นตอนการหาค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธี QL BAM	33
3.6 กระบวนการแพร่ของ BAM	35
3.7 ขั้นตอนการคืนค่าข้อมูลของ BAM	35
3.8 การประยุกต์ใช้งาน BAM กับการวิเคราะห์ฟอลต์ระบบไฟฟ้า	38
3.9 สรุป	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี	47
4.1 ส่วนประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ	47
4.2 การใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญกับการวิเคราะห์ฟอลต์	48
4.3 ปัญหาการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญกับการวิเคราะห์ฟอลต์	49
4.4 ฟัซซีลอจิก	50
4.5 แผนภาพแชกจิตอลและความสัมพันธ์แบบฟัซซี	52
4.6 ตัวดำเนินการทางฟัซซีเซต	62
4.7 การวิเคราะห์ฟอลต์ด้วยวิธีความสัมพันธ์แบบฟัซซีและแผนภาพแชกจิตอล	63
4.8 การตรวจสอบข้อมูลความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน	66
4.9 สรุป	70
บทที่ 5 การวิเคราะห์แบบแผนผังต้นไม้	71
5.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ	71
5.2 วิธีแผนผังต้นไม้	71
5.3 ส่วนประกอบของแผนผังต้นไม้	73
5.4 การวิเคราะห์กรณีระบบป้องกันทำงานล้มเหลวด้วยวิธีแผนผังต้นไม้	75
5.5 พิชคณิตบูลีน	79
5.6 การคำนวณตรรกศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลแผนผังต้นไม้	80
5.7 สรุป	82
บทที่ 6 กรณศึกษา	83
6.1 การวิเคราะห์ฟอลต์กับระบบทดสอบ 3 สายส่ง 1 บัส	83
6.2 การวิเคราะห์ฟอลต์กับระบบทดสอบ 7 สายส่ง 6 บัส	85
6.3 สรุปผลการทดสอบ	96
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	99
7.1 สรุปผลการวิจัย	99
7.2 ข้อเสนอแนะ	100
เอกสารอ้างอิง	101
ประวัติผู้วิจัย	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ความหมายของรีเลย์ป้องกันตามมาตรฐาน ANSI	14
2-2 ค่าปรับตั้งของรีเลย์ระยะทางในเขตป้องกันสายส่ง	15
2-3 ความสัมพันธ์การทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ เหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆ	23
2-4 ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ กับ เหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆ	24
2-5 ความสัมพันธ์ของ การทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์	24
3-1 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 ของ A^{ii}	40
3-2 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 ของ B^{ii}	40
3-3 ผลการทดสอบการคืนค่าสำหรับข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1	41
3-4 วิเคราะห์ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1	41
3-5 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 ของ A^{ii}	42
3-6 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 ของ B^{ii}	42
3-7 ผลการทดสอบการคืนค่าสำหรับข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 เมื่อเกิดข้อมูลผิดพลาดที่ A^{ii}	43
3-8 วิเคราะห์ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1	43
3-9 ตัวอย่างข้อมูลฝึกสอนบางส่วน สำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 3-14	44
3-10 ผลลัพธ์การคืนค่ากรณี เกิดข้อมูลสูญหาย และ ข้อมูลแปลกปลอมเพิ่มเข้ามา	45
4-1 ตัวอย่างข้อมูล ฐานความรู้ และ เครื่องอนุมาน สำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-2	49
4-2 เงื่อนไขที่ใช้สร้างกฎถ้า-แล้ว สำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9	57
4-3 ค่าความเป็นสมาชิก ของแผนภาพแซกจิตอลสำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9	58
4-4 ตัวอย่างการใช้งานตัวดำเนินการแบบฟัซซี	63
4-5 จำนวนเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมดจากตัวอย่างเหตุการณ์ฟอลต์	63
4-6 ผลการคำนวณฟัซซี อินเตอร์เซกชันจากเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมด	65
4-7 ผลการคำนวณฟัซซี ยูเนียน และ ฟัซซี อินเตอร์เซกชัน ในเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมด	66
5-1 ค่าสถานะความหมายของ จริง และ เท็จ ในหลายๆความหมาย	79
5-2 ตารางความจริงของ A, B สำหรับตัวดำเนินการในพีชคณิตแบบบูลีนแบบต่างๆ	79
5-3 การแปลงตัวดำเนินการในพีชคณิตแบบบูลีนเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์	79
6-1 ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกันสำหรับระบบไฟฟ้าภาพที่ 4-9	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6-2 ผลลัพธ์จากโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟuzzy	85
6-3 รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าสำหรับภาพที่ 4-9 และ ภาพที่ 6-2	86
6-4 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 1, 2	88
6-5 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 3, 4	89
6-6 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 5, 6	90
6-7 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 7, 8	91
6-8 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 9, 10	92
6-9 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 11, 12	93
6-10 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 13, 14	94
6-11 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 15, 16	95

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 สาเหตุการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า	1
1-2 หน้าที่ของศูนย์ควบคุมกำลังไฟฟ้า	2
2-1 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน	10
2-2 การแบ่งเขตป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง	12
2-3 รีเลย์ป้องกันหลัก และสำรองสำหรับสายส่ง B-C วงจร 1 ของ CB1	13
2-4 หลักการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	15
2-5 โซนป้องกันต่างๆในการป้องกันสายส่งระหว่างบัส A, บัส B	16
2-6 การปรับตั้งค่าสำหรับรีเลย์ระยะทาง และการหน่วงเวลาในแต่ละโซน	16
2-7 การติดตั้งรีเลย์ป้องกันผลต่างสำหรับหม้อแปลง	17
2-8 (ก) เกิดฟอลต์ภายนอกเขตป้องกัน และ (ข) เกิดฟอลต์ภายในเขตป้องกัน	17
2-9 รีเลย์ป้องกันหลัก และ รีเลย์ป้องกันสำรอง สำหรับหม้อแปลง	18
2-10 ตำแหน่งการติดตั้ง CT. สำหรับระบบป้องกันสำหรับบัส	18
2-11 รีเลย์ป้องกันหลัก และ รีเลย์ป้องกันสำรอง สำหรับ บัส	19
2-12 ระบบไฟฟ้าขนาด 3 บัส 4 สายส่ง	20
2-13 (ก) ระบบป้องกันสำรองที่ 1 (ข) ระบบป้องกันสำรองที่ 2 เมื่อ CB1 ไม่ทำงาน	20
2-14 ระบบป้องกัน หลัก และ สำรอง ขณะระบบป้องกันสายส่งทำงานล้มเหลว	20
2-15 ข้อมูลที่ส่งระหว่าง สถานีไฟฟ้า กับ ศูนย์ควบคุม	22
2-16 ความสัมพันธ์การทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์	23
3-1 โครงข่ายประสาทดัดเทียมอย่างง่าย	26
3-2 โครงข่ายประสาทดัดเทียมขนาด 3 อินพุต 1 เอาท์พุต	28
3-3 โครงสร้างของ BAM	29
3-4 ตัวอย่างการคืนค่าในข้อมูลแบบรูปภาพเมื่อข้อมูลอินพุตไม่สมบูรณ์	30
3-5 ลำดับการคืนค่าในข้อมูลแบบรูปภาพ	30
3-6 ตัวอย่างข้อมูลคู่ลำดับความสัมพันธ์ของ 3 ชุดข้อมูลฝึกสอน	31
3-7 ผลลัพธ์การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีการการเรียนรู้ของ เฮอเบียล	32
3-8 ผังกระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี PRLAB	34
3-9 กระบวนการแพร่แบบไปข้างหน้าและย้อนกลับของการคืนค่า X^q	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-10 กระบวนการ কিনค่าของ $X^{q(1)}$ และ $Y^{q(1)}$	36
3-11 การแปลงข้อมูลไบนารีเป็นข้อมูลไบโพลาร์	36
3-12 กระบวนการแพร่ข้อมูลแบบไปข้างหน้า	37
3-13 กระบวนการแพร่ข้อมูลแบบย้อนกลับ	38
3-14 กระบวนการวิเคราะห์ฟอลต์ด้วยวิธี BAM	39
3-15 ระบบไฟฟ้าทดสอบ ขนาด 7 บัส 8 สายส่ง	45
4-1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ	48
4-2 ตัวอย่างเหตุการณ์เกิดฟอลต์ขึ้นใน 3 อุปกรณ์พร้อมกัน	49
4-3 ตัวอย่างเหตุการณ์เกิดฟอลต์ขึ้นใน 3 อุปกรณ์พร้อมกัน และเกิดข้อมูลสูญหาย	50
4-4 โครงสร้างของพีชชีลอจิก	51
4-5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่มีน้ำหนักมาก	52
4-6 ส่วนประกอบของแผนภาพแซกจิตอลสำหรับการวิเคราะห์ L1	54
4-7 แผนภาพแซกจิตอลชั้นที่ 1 กับ 2	55
4-8 การเชื่อมโยงระหว่างชั้นที่ 2 กับ 3 ของแผนภาพแซกจิตอล	56
4-9 ระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 3 สายส่ง 1 บัส	57
4-10 แผนภาพแซกจิตอลระหว่าง ชั้นอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า กับ ชั้นรีเลย์ป้องกัน ของ L1	59
4-11 แผนภาพแซกจิตอลระหว่าง ชั้นรีเลย์ป้องกัน กับ ชั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์ ของ L1	59
4-12 แผนภาพแซกจิตอลวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับ L1	60
4-13 แผนภาพแซกจิตอลวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับ L2	60
4-14 แผนภาพแซกจิตอลวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับ L3	61
4-15 แผนภาพแซกจิตอลวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับบัส C	61
4-16 ตัวดำเนินการทางพีชชีแบบ ยูเนียน และ อินเตอร์เซกชัน	62
4-17 แผนภาพแซกจิตอลทั้งหมด หลังใส่ข้อมูลเตือน	64
4-18 ความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันทั้งหมดที่สั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงาน	67
4-19 ความสัมพันธ์ของการทำงานของระบบป้องกัน เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นตัวสั่งการ	68
4-20 ความสัมพันธ์ของการทำงานของระบบป้องกัน เมื่อรีเลย์ป้องกันเป็นตัวสั่งการ	69
5-1 แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุของปัญหา	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

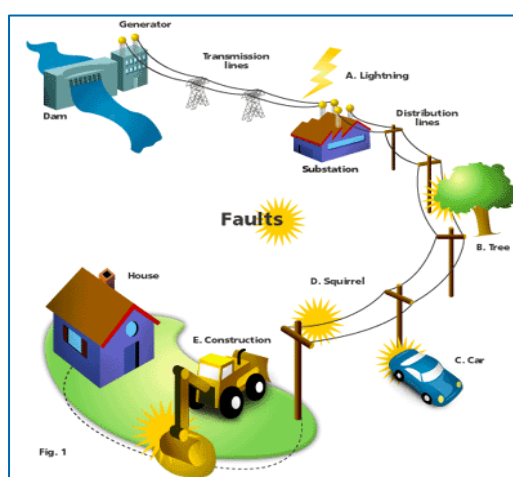
ภาพที่	หน้า
5-2 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์งานปัญหา สนับสนุนนักกีฬาให้ติดทีมชาติไทย	72
5-3 แผนผังต้นไม้สำหรับการตัดสินใจเดินทางไปเชียงใหม่	72
5-4 ลำดับการสร้างแผนผังต้นไม้	74
5-5 กรณีเกิดฟอลต์ที่ L1 และเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ไม่ทำงาน	76
5-6 กรณีเกิดฟอลต์ที่ L1 และระบบป้องกันทำงานถูกต้องสมบูรณ์	77
5-7 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์	77
5-8 ระบบป้องกันทำงานเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงานล้มเหลว	78
5-9 ระบบป้องกัน ทำงานล้มเหลวที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ขณะเกิดฟอลต์ที่บัส B2	78
5-10 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 02 ทำงานล้มเหลว	81
6-1 ระบบทดสอบทั้งหมดในการวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	83
6-2 ระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส 7 สายส่ง	86
6-3 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 1 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 2	88
6-4 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 3 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 4	89
6-5 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 5 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 6	90
6-6 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 7 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 8	91
6-7 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 9 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 10	92
6-8 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 11 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 12	93
6-9 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 13 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 14	94
6-10 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 15 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 16	95

บทที่ 1

บทนำ

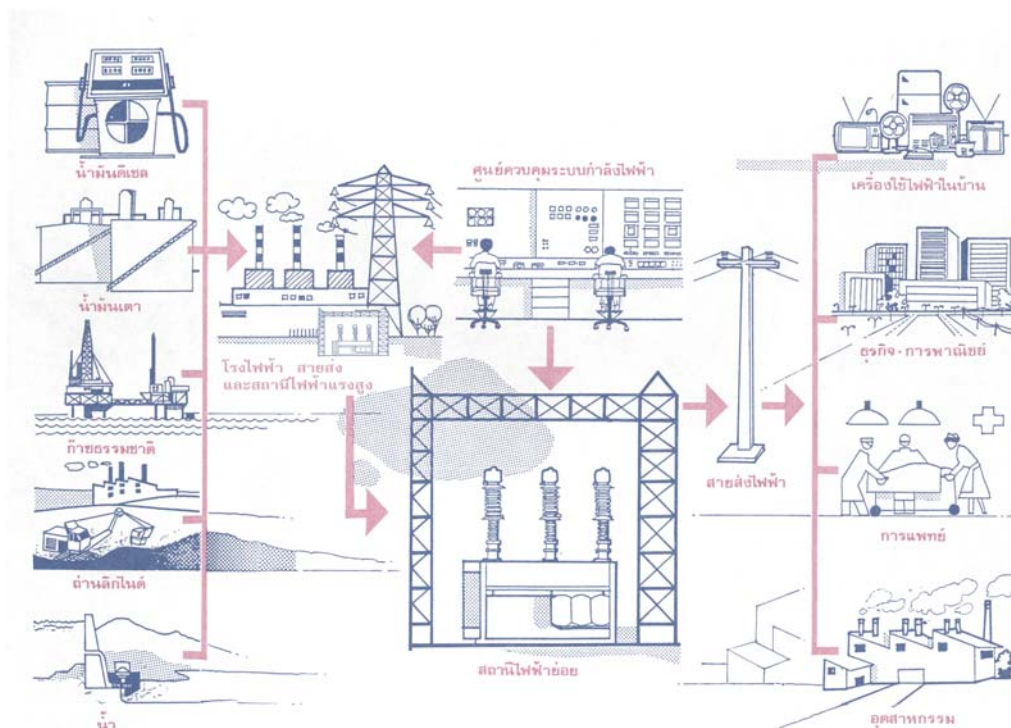
1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power System) เป็นระบบที่ทำหน้าที่รับส่งพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้ไฟ โดยกระบวนการจ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นเริ่มจากระบบผลิต (Generation System) ส่งผ่านระบบส่ง (Transmission System) ไปยังระบบจำหน่าย (Distribution System) เพื่อส่งไปยังผู้ใช้ไฟต่อไป ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า (Control Center) เป็นหน่วยงานหลักที่มีหน้าที่ดูแลและควบคุมอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบส่งไฟฟ้า เช่น สายส่งไฟฟ้า หม้อแปลง หรือ อุปกรณ์อื่นๆ เช่น คาปาซิเตอร์ และ ชั๊นท์รีแอคเตอร์ โดยอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้จะต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มี รีเลย์ป้องกัน ที่ตรวจสอบสิ่งผิดปกติ และเมื่อพบก็จะสั่งปลดอุปกรณ์เหล่านี้ ออกจากระบบไฟฟ้า สิ่งผิดปกติ หรือ ฟอลต์ ที่เกิดขึ้นเป็นเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าเกิดเมื่อไร หรือเกิดขึ้นที่ใด ซึ่งสาเหตุอาจมาจาก เกิดฟ้าผ่าบนสายส่ง, อุบัติเหตุจากทั้งจาก คน หรือ สัตว์ และ ความผิดพลาดของมนุษย์เอง เป็นต้น ตัวอย่างสาเหตุฟอลต์แสดงในภาพที่ 1-1 ผลกระทบที่ตามมาหลังเกิดฟอลต์ คือ การหยุดจ่ายไฟฟ้าชั่วคราว หรือ เกิดไฟฟ้าดับ (Interruption) ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 1-1 สาเหตุการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า

ทุกครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้า [1] มีหน้าที่วิเคราะห์หาคำตอบว่า เกิดอะไรขึ้นที่ไหน เพื่อที่จะแยกอุปกรณ์ที่เกิดผิดปกติ หรือ เสียหาย นั้นออกจากระบบไฟฟ้าหลัก ป้องกันลูกถามเสียหายที่มากขึ้น และหลังจากผู้ควบคุมระบบวิเคราะห์แล้วพบว่าเกิดอะไรขึ้นแล้วจึงนำอุปกรณ์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกลับเข้าจ่ายไฟในระบบไฟฟ้าตามเดิมให้เร็วที่สุด เพื่อลดเวลาที่ไฟดับให้สั้นที่สุดด้วย ภาพที่ 1-2 [1] แสดงการลำเลียงพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตประเภทต่างๆไปยังผู้ใช้ไฟ



ภาพที่ 1-2 หน้าที่ของศูนย์ควบคุมกำลังไฟฟ้า

วิธีการวิเคราะห์ว่าอุปกรณ์ใดเกิดฟอลต์นั้น โดยทั่วไปอาจอาศัยประสบการณ์ของแต่ละบุคคลในการพิจารณาหาสาเหตุ แต่การที่พนักงานศูนย์ควบคุมจะสามารถวินิจฉัยหาสาเหตุที่แท้จริงของเหตุการณ์ต่างๆได้ จากข้อมูลเตือน (Alarm) ต่างๆที่ถูกส่งเข้ามาที่ศูนย์ควบคุมนั้นถือเป็นเรื่องยาก เนื่องจากมีสาเหตุต่างๆ เช่น

- 1.1.1 ประสบการณ์ของพนักงานศูนย์ควบคุมที่มีมากน้อยไม่เท่ากัน
- 1.1.2 ในบางกรณีข้อมูลเตือนที่ถูกส่งเข้ามาเมื่อเกิดเหตุการณ์ฟอลต์มีจำนวนเยอะมาก
- 1.1.3 ระบบป้องกันหลักทำงานผิดพลาด
- 1.1.4 การขัดข้องของระบบสื่อสารทำให้ข้อมูลเตือนที่ถูกส่งเข้ามาเกิดไม่สมบูรณ์
- 1.1.5 เกิดฟอลต์ขึ้นที่อุปกรณ์หลายตัวในเวลาเดียวกัน

เหตุผลข้างต้นเหล่านี้เป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการนำระบบเข้าจ่ายไฟหลังเกิดเหตุการณ์ฟอลต์สำหรับพนักงานศูนย์ควบคุม

1.2 วัตถุประสงค์และประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จุดมุ่งหมายหลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือหา วิธีการ หรือ เครื่องมือตัวหนึ่งตัวใด สำหรับผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในการแยกแยะใช้งานในขณะเกิดฟอลต์ขึ้น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานหรือ ข้อมูลเตือนที่ประกอบด้วย สถานะของรีเลย์ป้องกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งข้อมูลเตือนต่างๆเหล่านี้จะถูกส่งเข้ามาที่ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าภายหลังการเกิดฟอลต์ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) เป็นวิธีที่ผู้วิจัยใช้สำหรับแก้ปัญหาข้างต้น ปัญญาประดิษฐ์เป็นวิธีการที่เลียนแบบปัญญาของมนุษย์สำหรับการแก้ปัญหาหนึ่งๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีโครงข่ายประสาทเทียม, ระบบผู้เชี่ยวชาญ, ความสัมพันธ์แบบฟัซซี และ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อแก้ปัญหาของการวิเคราะห์ฟอลต์ ท้ายสุดเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า โปรแกรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะช่วยพนักงานศูนย์ควบคุมในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์จากข้อมูลเตือนต่างๆที่ส่งเข้ามาที่ศูนย์ควบคุม ซึ่งจะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ใดเกิดผิดปกติได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งจะช่วยลดเวลาที่ไฟฟ้าดับลง และ ลดความผิดพลาดในการประเมินสถานการณ์ไฟฟ้าดับของพนักงานศูนย์ควบคุมได้

1.3 โครงสร้างภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 7 บท แต่ละบทสามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

1.3.1 บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึง ที่มาของปัญหา, ความคาดหวัง, โครงสร้างทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.3.2 บทที่ 2 ระบบป้องกัน และการหาตำแหน่งฟอลต์ในระบบไฟฟ้า จะกล่าวถึงส่วนประกอบของระบบส่งไฟฟ้า การทำงานของระบบป้องกันสำหรับอุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้า เช่น ระบบป้องกันในสายส่ง, ระบบป้องกันสำหรับหม้อแปลง หรือระบบป้องกันบัส อีกทั้งอธิบายหน้าที่ของศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ท้ายสุดจะกล่าวถึงการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์จากสถานะการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน

1.3.3 บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง มีรายละเอียดภายในบทประกอบด้วย ความหมายของโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง โดยทั่วไปถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหา การเรียกคืนของข้อมูล เช่น ข้อมูลรูปภาพ หรือ ข้อความตัวอักษร วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์นำมาใช้สำหรับค้นหาคู่ลำดับความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน กับอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ โดยข้อดีอย่างหนึ่งของวิธีการนี้คือสามารถแก้ไขปัญหาคือข้อมูลอินพุตเกิดไม่สมบูรณ์ได้ และ ตอบสนองต่อข้อมูลที่อยู่นอกเหนือข้อมูลที่ฝึกสอนได้ โดยในงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความ

ทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง (Bidirectional Associative Memories; BAM) และใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณด้วยวิธี Quick Learning for BAM (QLBAM)

1.3.4 บทที่ 4 กล่าวถึงระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ที่อาศัยกฎการเรียนรู้ (Rule base) ในการรวบรวมสาเหตุกับผลที่ตามมารวบรวมเก็บไว้ในฐานความรู้ จากนั้นเมื่อมีปัญหาเข้ามาในระบบผู้เชี่ยวชาญจะค้นหาข้อมูลผ่านกฎการเรียนรู้ ถ้าพบว่าสาเหตุมีในฐานความรู้ก็จะแสดงผลที่เกิดจากสาเหตุนั้นออกมา แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของระบบผู้เชี่ยวชาญ คือ กรณีข้อมูลที่วิเคราะห์เกิดไม่สมบูรณ์ หรือ ข้อมูลไม่อยู่ในฐานความรู้ จะทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถหาคำตอบได้ ผู้วิจัยจึงใช้ข้อดีของฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) มาแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของข้อมูล หรือแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลเกิดผิดเพี้ยน โดยการประมวลผลจะยอมให้คำตอบมีค่าดีกรีของความถูกต้อง แทนคำตอบแค่ ถูกกับผิด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แผนภาพแซกจิตอล (Sagittal Diagram) รวบรวมฐานความรู้ ซึ่งคือข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ งานวิจัยนี้ยังใช้วิธีตรวจสอบความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ระบบป้องกันเพื่อสืบหาอุปกรณ์ป้องกันที่เกิดข้อมูลสูญหาย

1.3.5 บทที่ 5 กล่าวถึง แผนผังต้นไม้ (Fault Tree Analysis) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งที่เพิ่มเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์เหตุการณ์ฟอลต์ โดยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานวิเคราะห์เหตุการณ์ฟอลต์กรณีมีอุปกรณ์ระบบป้องกันบางตัวทำงานล้มเหลว โดยวิธีดังกล่าวนี้เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจรูปแบบหนึ่ง แผนผังต้นไม้เป็นวิธีการจัดการวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนมากๆ ทำให้อยู่ในรูปแบบที่กระชับขึ้น ซึ่งท้ายสุดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์ได้เป็นอย่างดี

1.3.6 บทที่ 6 จะนำเสนอกรณีศึกษา และ ผลการทดสอบโปรแกรม โดยจะทดสอบกับ 2 ระบบไฟฟ้า ด้วยโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี, โปรแกรมตรวจสอบความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ระบบป้องกัน และ แผนผังต้นไม้ โดยผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น แสดงผลลัพธ์เป็นอุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้มากที่สุด ซึ่งมีข้อดีคือความรวดเร็วในการประมวลผล และสามารถหาคำตอบในกรณีที่ข้อมูลเกิดไม่สมบูรณ์ได้

1.3.7 บทที่ 7 จะกล่าวสรุปงานวิจัยที่ทำทั้งหมด

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.4.1 ใช้ข้อมูลสถานะของการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกันเป็นข้อมูลอินพุต โดยข้อมูลเอาท์พุตคืออุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ สำหรับวิธี BAM และ ระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี

1.4.2 การวิเคราะห์ฟอลต์ด้วยวิธีแผนผังต้นไม้ ในกรณีระบบป้องกันทำงานล้มเหลว จะพิจารณาเฉพาะกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงาน หลังจากได้รับคำสั่งจากรีเลย์ป้องกัน และ เกิดขึ้นในกรณีข้อมูลเตือนมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดการสูญหาย เท่านั้น

1.4.3 ความหมายของ ข้อมูลเตือนไม่สมบูรณ์ จะหมายถึง ข้อมูลเตือนมีการสูญหาย หรือ ไม่แสดงผล

1.5 วิธีการวิจัย

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ โครงข่ายประสาทเทียม, ระบบผู้เชี่ยวชาญ, ความสัมพันธ์แบบฟัซซี และ แผนผังต้นไม้

1.5.2 ศึกษาการวิเคราะห์ปัญหาการหาตำแหน่งฟอลต์ในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยสถานะการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน

1.5.3 ศึกษาวิธีโครงข่ายประสาทเทียม แบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง ที่มีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธีการที่ต่าง ๆ กัน ดังนี้

1.5.3.1 กฎการเรียนรู้ของ เฮอร์เบียน (Hebbian Learning Algorithm)

1.5.3.2 Pseudo-Relaxation Learning Algorithm

1.5.3.3 Quick Learning for BAM

1.5.4 ศึกษาระบบผู้เชี่ยวชาญ

1.5.4.1 ศึกษาการเขียน กฎถ้า-แล้ว ด้วยแผนภาพแซกจิตอล

1.5.4.2 ศึกษาการประยุกต์ใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี ในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์

1.5.4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์ ระหว่างใช้วิธี BAM ที่มีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธี QLBAM กับวิธีระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี

1.5.5 ศึกษาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ด้วย วิธีแผนผังต้นไม้

1.5.6 ออกแบบ และ สร้างโปรแกรมวิเคราะห์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้า ด้วยวิธีระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี

1.5.7 ทดสอบโปรแกรมกับระบบไฟฟ้าดังต่อไปนี้

1.5.7.1 โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม แบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง ทดสอบกับ ระบบไฟฟ้าขนาด 7 บัส 8 สายส่ง 2 หม้อแปลง

1.5.7.2 โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี ทดสอบกับ ระบบไฟฟ้าขนาด 1 บัส 3 สายส่ง และ ระบบไฟฟ้า 6 บัส 7 สายส่ง

1.5.8 ปรับปรุงโปรแกรม, ประเมินผล และ สรุปผลการวิจัย

1.5.9 จัดทำเอกสารการวิจัย

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัยนี้

1.6.1 ช่วยพัฒนาโปรแกรมสำหรับพนักงานศูนย์ควบคุมสำหรับการวิเคราะห์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ได้ถูกต้องในเวลาที่ยำกัก อีกทั้งเป็นการช่วยลดเวลาที่ไฟดับลง โดยอาศัยสถานะการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน

1.6.2 สามารถพัฒนาโปรแกรมใช้กับระบบไฟฟ้าอื่นได้

บทที่ 2

ระบบป้องกัน และ การหาตำแหน่งฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เป็นปัจจัยต่อการดำรงชีวิตประจำวัน ถึงกับมีผู้ใช้ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวชี้วัดบอกถึงระดับความเจริญของชาติ ประกอบกับ ความจำเป็นในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราสูงอย่างต่อเนื่อง หน้าที่ของผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าก็ต้องจัดหาและผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอ อีกทั้งยังต้องสามารถจัดส่งให้ถึงผู้ใช้ไฟฟ้าได้ทุกราย โดยปกติแล้วแหล่งผลิตไฟฟ้าหรือโรงไฟฟ้ามักอยู่ห่างไกลจากผู้ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากที่ตั้งของโรงไฟฟ้าถูกกำหนดด้วยต้นพลังงานที่จะนำมาใช้ในการสร้างพลังขับเคลื่อนทางกล เช่น มาจากพลังงานจากน้ำ อาทิ สร้างจะเขื่อนกั้นน้ำตามหุบเขาซึ่งโดยมากจะอยู่ทางเหนือ น้ำมันเตา หรือ แก๊สธรรมชาติ ก็ต้องสร้างโรงไฟฟ้าใกล้ริมฝั่งทะเลเพราะสะดวกต่อการลำเลียงเชื้อเพลิง ซึ่งจากเหตุผลต่างๆเหล่านี้เองทำให้ต้องมีการลำเลียงพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า (Control Center) มีหน้าที่ดูแลและควบคุม อุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า เช่น สายส่งไฟฟ้า หม้อแปลง หรือ อุปกรณ์อื่นๆในสถานีไฟฟ้า อาทิ คาปาซิเตอร์ ชั้นท์รีแอกเตอร์ โดยควบคุมผ่านระบบควบคุมทางไกล ที่เรียกว่า SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) เมื่อเกิดฟอลต์ (Fault) ขึ้นที่อุปกรณ์ต่างๆในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า รีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) จะสั่งทริป (Trip) หรือ ปลด เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) ที่ต่ออุปกรณ์นั้นกับระบบส่งจ่ายไฟฟ้าออก เมื่ออุปกรณ์เหล่านี้ถูกปลดออกจากระบบแล้ว ผลที่ตามมาคือเกิดการหยุดส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าขึ้นชั่วคราว และในทุกครั้งที่เกิดฟอลต์ ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ามีหน้าที่หาคำตอบว่า เกิดอะไร และเกิดที่ไหน เพื่อจะได้สามารถแยกอุปกรณ์ที่เกิดผิดปกติขึ้นออกจากระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อป้องกันความเสียหายไม่ให้ลุกลามออกไป พร้อมทั้งนำอุปกรณ์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกลับมาจ่ายไฟตามเดิมให้เร็วที่สุด

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงองค์ประกอบของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า และ หน้าที่ระบบป้องกันที่คอยตรวจสอบระวังป้องกันของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า นอกจากนี้จะอธิบายถึงระบบ SCADA ที่ใช้ในศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า และการวิเคราะห์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าสำหรับระบบ SCADA โดยอาศัยข้อมูลสถานะการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกันที่ทำงานในขณะเกิดฟอลต์

2.1 ส่วนประกอบของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

2.1.1 สถานีจ่ายไฟฟ้า หรือ สถานีไฟฟ้าแรงสูง (Substations)

การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ระบบแรงดันสูง เช่น 115 kV, 230 kV หรือ 500 kV เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการช่วยลดพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง ซึ่งระดับแรงดันสูงที่ใช้ในการส่งจ่ายไฟฟ้านั้นสูงกว่าขีดความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถสร้างขึ้นได้ เนื่องจากขีดจำกัดในเรื่องการฉนวนและการระบายความร้อน ฉะนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลง แปลงแรงดันให้สูงขึ้น (Step-up Transformer) เพื่อแปลงแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าประมาณ 13.8 kV ให้สูงเป็น 115 kV หรือ 230 kV สำหรับส่งจ่ายในสายส่ง และเมื่อไปถึงผู้ใช้งานที่อยู่ปลายทางก็ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการทำหน้าที่แปลงแรงดันให้ต่ำลง (Step-down Transformer) จาก 115 หรือ 230 kV แปลงสู่ระบบจำหน่าย 12 หรือ 24 kV ต่อไป สถานีไฟฟ้าแรงสูงยังเป็นสถานที่ซึ่งรวบรวมอุปกรณ์สำหรับการต่อเชื่อมของระบบไฟฟ้ากำลัง หรือต่อเชื่อมระหว่าง สายส่งไฟฟ้ากับอุปกรณ์อื่นๆ อาทิ หม้อแปลงไฟฟ้า คาปาซิเตอร์ อีกทั้งเป็นจุดรับ-ส่ง พลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้ไฟ จึงพบเห็นสถานีไฟฟ้ามักจะตั้งอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของโหลดหรือจุดที่มีโหลดหนาแน่นเพื่อลดความสูญเสียในสายส่งไฟฟ้า และที่สำคัญสถานีไฟฟ้ายังเป็นที่ตั้งของอุปกรณ์ระบบป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนต่างๆ

2.1.1.1 การจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง [1] มีอยู่หลายแบบ เช่น

2.1.1.1.1 Single Bus Scheme

2.1.1.1.2 Main and Transfer Bus Scheme

2.1.1.1.3 Double Main Bus and Transfer Bus Scheme

2.1.1.1.4 Double Bus Double breaker Scheme

2.1.1.1.5 Breaker and a Half Scheme

การจัดวางรูปแบบอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้ามีรูปแบบที่แตกต่างกัน เนื่องจาก ขนาดพื้นที่ของที่ตั้งสถานีไฟฟ้าแรงสูง, จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในสถานีไฟฟ้า หรือ ปัจจัยด้านเศรษฐกิจภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูงยังประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญ ภาพที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง [1]

2.1.1.2 อุปกรณ์พื้นฐานภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง ประกอบด้วย

2.1.1.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Transformer) ทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากระดับแรงดันหนึ่งไปสู่อีกระดับแรงดันหนึ่ง ซึ่งมีทั้งการเพิ่ม หรือ ลด ระดับแรงดันไฟฟ้า หม้อแปลงที่ใช้ในงานในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีพิกัดขนาดเท่ากับ 25, 50, 200, 350 MVA เป็นต้น

2.1.1.2.2 เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กลไกเคลื่อนที่ (Mechanical Switching Device) เพื่อ เปิด (OFF) หรือ ปิด (ON) วงจรไฟฟ้าในสภาวะปกติ และ ทริป (Trip) โดยอัตโนมัติในขณะที่ระบบไฟฟ้าเกิดสิ่งผิดปกติโดยรับคำสั่งจากอุปกรณ์ตรวจจับสิ่งผิดปกติ คือ รีเลย์ป้องกัน กรณีเมื่อเกิดฟอลต์ หรือ เกิดการลัดวงจรขึ้น เซอร์คิตเบรกเกอร์ยังต้องสามารถทนต่อกระแสขณะสับเข้า และ ดัดกระแสลัดวงจรได้ การที่เซอร์คิตเบรกเกอร์สามารถตัดวงจรขณะมีไฟได้นั้น เนื่องจากมีฉนวนตัวกลางช่วยในการตัดวงจร หรือ ช่วยดับ อาร์ค (Arc) ดังนั้นจึงเรียกชนิดของเซอร์คิตเบรกเกอร์ตามฉนวนที่ใช้ เช่น Air Circuit Breakers จะใช้อากาศดับอาร์ค หรือ Oil Circuit Breakers จะใช้น้ำมันในการดับอาร์ค เป็นต้น ดังนั้นคุณสมบัติของเซอร์คิตเบรกเกอร์จึงสรุปได้ดังนี้

ก) เซอร์คิตเบรกเกอร์ ต้องสามารถนำกระแสเต็มพิกัดได้เป็นระยะเวลายาวนาน

ข) ในสภาวะปกติสามารถตัดกระแสโหลดหรือกระแสเกินพิกัดเล็กน้อยได้

ค) สามารถตัดกระแสลัดวงจรสูง ๆ ออกจากระบบได้อย่างรวดเร็วขณะเกิดฟอลต์

ง) สามารถปิดวงจรขณะที่ระบบไฟฟ้าเกิดฟอลต์อยู่ได้ และเปิดวงจรหรือปลดออกเพื่อกำจัดฟอลต์ได้ในทันทีทันใด

2.1.1.2.3 สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch) ทำหน้าที่เหมือนเซอร์คิตเบรกเกอร์แต่จะตัดวงจรไฟฟ้าได้เมื่อไม่มีโหลด หรือ ไม่มีกระแสไหลเท่านั้น ส่วนใหญ่ตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนจะอยู่หัวท้ายของเซอร์คิตเบรกเกอร์ ดังนั้นมันจึงมีหน้าที่เพื่อปลดเซอร์คิตเบรกเกอร์ออกจากระบบเพื่อซ่อมบำรุง

2.1.1.2.4 รีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) เป็นอุปกรณ์ที่วัด หรือ ตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อพบเหตุการณ์ผิดปกติ รีเลย์ป้องกันจะไปสั่งการควบคุม เซอร์คิตเบรกเกอร์ เพื่อแยกส่วนที่ผิดปกตินั้นออกจากระบบไฟฟ้า ถ้าผลลัพธ์การประมวลผลตรงกับเงื่อนไขก็จะส่งคำสั่งไปปลดเซอร์คิตเบรกเกอร์หัวท้ายเพื่อปลดสายส่งออกจากระบบ

2.1.1.2.5 หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer) มี 2 แบบคือ หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer หรือ PT.) และ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer หรือ CT.) หน้าที่ของหม้อแปลงเครื่องมือวัด คือ ลดแรงดัน หรือ กระแสในระบบไฟฟ้ากำลังลงให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในรีเลย์ป้องกัน โดยรีเลย์ป้องกันจะรับสัญญาณจากหม้อแปลง

เครื่องมือวัด แล้วนำมาพิจารณาสัญญาณว่าเกิดฟอลต์หรือไม่ และมีความรุนแรงแค่ไหน จากนั้นจะส่งสัญญาณสั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าต่อไป

2.1.1.2.6 คาปาซิเตอร์ (Capacitor) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งในสถานไฟฟ้าเพื่อแก้ไข Inductive Load ซึ่งเป็นโหลดส่วนใหญ่ในระบบไฟฟ้า ดังนั้นคาปาซิเตอร์จึงมีหน้าที่จ่าย Reactive Power (กำลังไฟฟ้าเสมือน) ให้กับระบบไฟฟ้า เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) ในระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น

2.1.2 สายส่งไฟฟ้าแรงสูง (Transmission Line)

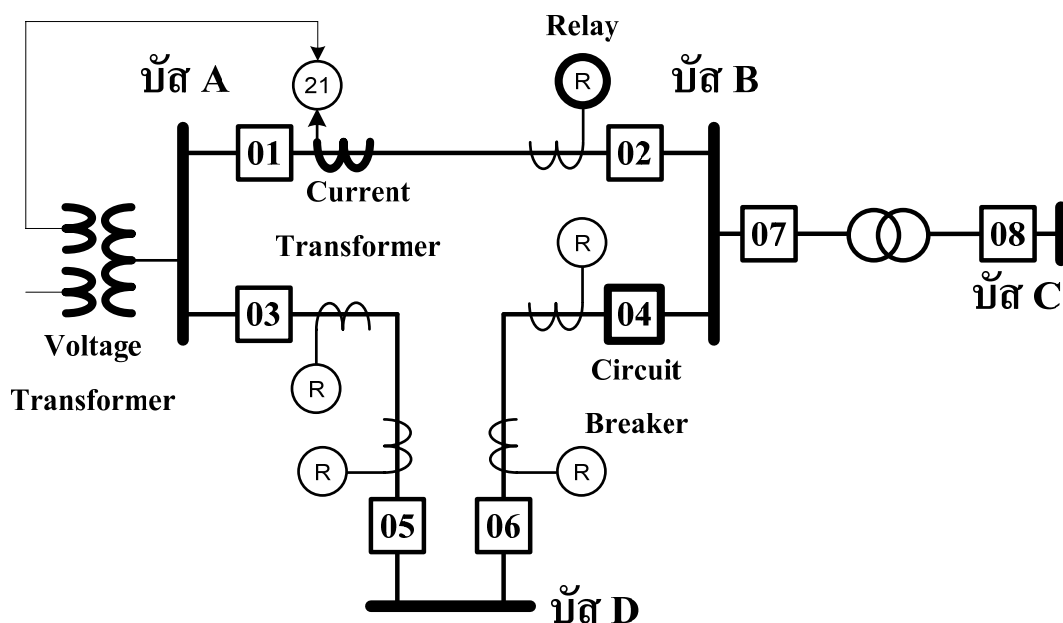
สายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) มีอยู่ 3 แบบ คือ

2.1.2.1 สายไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม ดีเกิลียวเปลือย เสริมแกนเหล็ก (Aluminum Conductor Steel Reinforced; ACSR.)

2.1.2.2 สายไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม ดีเกิลียวเปลือย (All Aluminum Conductor; AAC.)

2.1.2.3 สายไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม ผสม ดีเกิลียวเปลือย (All Aluminum Alloy Conductor; AAAC.)

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า สายไฟฟ้ามีหน้าที่เป็นตัวลำเลียงพลังงานไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้าทั้งหมดจะเป็นสายตัวนำที่ไม่มีฉนวนหุ้ม ด้วยเหตุผลเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และสายแบบดีเกิลียวมีน้ำหนักเบากว่าสายแบบฉนวน อีกทั้งไม่หักง่าย



ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน

2.2 ระบบป้องกัน

อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าส่วนมากจะมีราคาสูง และถ้าอุปกรณ์เหล่านี้เกิดชำรุดต้องใช้เวลาในการซ่อมแซมนาน แนนอนเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นก็ต้องเกิดไฟดับตามมา และทุกครั้งที่เกิดไฟฟ้ายดับนั้นขึ้น จะเกิด แรงดันตก หรือ แรงดันเกินชั่วขณะ ในบางพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีป้องกันเหตุการณ์ที่กล่าวข้างต้น เพื่อถ้าเกิดไฟดับขึ้นแล้วต้องให้เกิดไฟดับน้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีระบบป้องกัน ซึ่งก็คือ รีเลย์ป้องกันนั่นเอง โดยรีเลย์ป้องกันจะเป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณที่จับได้จากหม้อแปลงเครื่องวัด แล้วส่งสัญญาณไปสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดเฉพาะส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบเท่านั้น

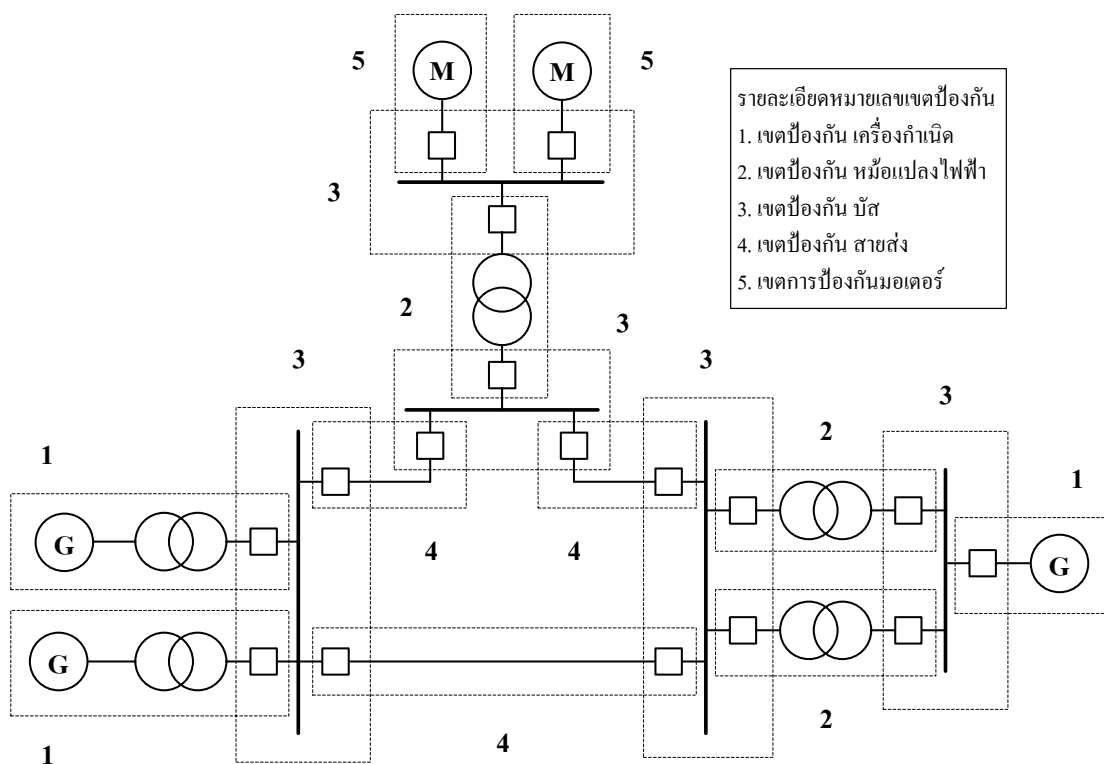
2.2.1 เขตการป้องกัน [1]

เพื่อให้สามารถตัดอุปกรณ์เฉพาะที่ชำรุดเท่านั้น จึงมีการแบ่งพื้นที่การรับผิดชอบของรีเลย์ป้องกันออกเป็นส่วนๆ หรือ แบ่งเป็นเขตป้องกัน ตามอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า เพื่อให้รีเลย์ป้องกันสามารถป้องกัน และ แยกแยะส่วนที่เกิดฟอลต์ได้อย่างชัดเจน โดยจะใช้ตำแหน่งการติดตั้งของ CT. เป็นจุดกำหนดขอบเขตของแต่ละเขตการป้องกัน การทำงานของรีเลย์ป้องกันจะทำงานปกป้องอุปกรณ์ที่ตนเองดูแลอยู่ หรือดูแลเฉพาะเขตป้องกันของตนเอง เพราะรีเลย์ป้องกันชนิดหนึ่งต้องดูแลอุปกรณ์เพียง 1 ตัวเท่านั้น จากภาพที่ 2-2 แสดงการแบ่งเขตการป้องกันออกเป็นเขตต่างๆ ตัวอย่างเช่น เขตป้องกันหมายเลข 3 หมายถึง เขตป้องกันบัส เพื่อให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าทุกตัวได้รับการป้องกันจึงต้องมีการออกแบบระบบป้องกันให้มีเขตป้องกันซ้อนทับกัน (Overlap) การออกแบบในลักษณะนี้ทำให้เรามั่นใจได้ว่าอุปกรณ์ทุกตัวจะมีระบบป้องกันดูแลอยู่ แต่การออกแบบลักษณะนี้ก็มีข้อจำกัดคือ เมื่อเกิดฟอลต์ที่อุปกรณ์หนึ่งแล้วอาจจะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานพร้อมกันหลายๆตัว แต่เราจะออกแบบให้เขตป้องกันไม่ให้มีการซ้อนทับกันไม่ได้ เนื่องจากอาจจะมียูนิฟิเคชันไฟฟ้าบางตัวไม่ได้รับการป้องกัน เช่น เขตป้องกันที่ 3 จะซ้อนทับ เขตป้องกันที่ 1 คือ เขตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ เขตป้องกันที่ 4 คือ สายส่ง ดังนั้นถ้าไม่มีเขตป้องกันที่ 3 จะไม่มีระบบป้องกันใดเลยคอยป้องกัน บัส เป็นต้น

เหตุการณ์รีเลย์ป้องกันทำงานล้มเหลว เป็นเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก แต่ถ้าไม่มีการป้องกันแล้วผลกระทบจะขยายเป็นวงกว้างออกไป ดังนั้นจึงมีการติดตั้งรีเลย์ป้องกัน 2 ประเภทในการป้องกันอุปกรณ์หนึ่งๆ เพื่อคอยช่วยเหลือกันได้แก่

2.2.1.1 รีเลย์ป้องกันหลัก (Primary Relay) เป็นรีเลย์ป้องกันตัวหลักที่ทำหน้าที่ดูแลอุปกรณ์ในเขตการป้องกัน หรือ โดยจะเป็น รีเลย์ป้องกันที่ทำงานโดยไม่มีการหน่วงเวลาทำงาน คือ ส่งสัญญาณไปปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ทันทีที่ตรวจจับสิ่งผิดปกติได้ รีเลย์ป้องกันหลักจะต้องทำงานสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อปลดอุปกรณ์ในเขตป้องกันตนเองออกเท่านั้น

2.2.1.2 รีเลย์ป้องกันสำรอง (Backup Relay) จะทำงานเมื่อรีเลย์ป้องกันหลักไม่ทำงาน และจะทำงานด้วยเวลาที่ช้ากว่า หมายความว่า รีเลย์ป้องกันสำรองจะพบสิ่งผิดปกติเวลาเดียวกับ รีเลย์ป้องกันหลักแต่จะหน่วงเวลาไว้เวลาหนึ่ง หลังจากนั้นถึงค่อยสั่งการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ รีเลย์ป้องกันสำรองอาจติดตั้งไว้ในพื้นที่เดียวกันกับรีเลย์ป้องกันหลัก หรือคนละพื้นที่ก็ได้ ในภาพที่ 2-3 ถ้าพิจารณาว่าเกิดฟอลต์ที่สายส่ง B-C รีเลย์ระยะทางจะเป็นรีเลย์ป้องกันหลัก และมีรีเลย์ผลต่าง ป้องกันบัสเป็นรีเลย์ป้องกันสำรอง ดังนั้นเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ จะต้องถูกตรวจจับได้ไม่ว่าจะด้วยรีเลย์ป้องกันหลัก หรือ รีเลย์ป้องกันสำรอง

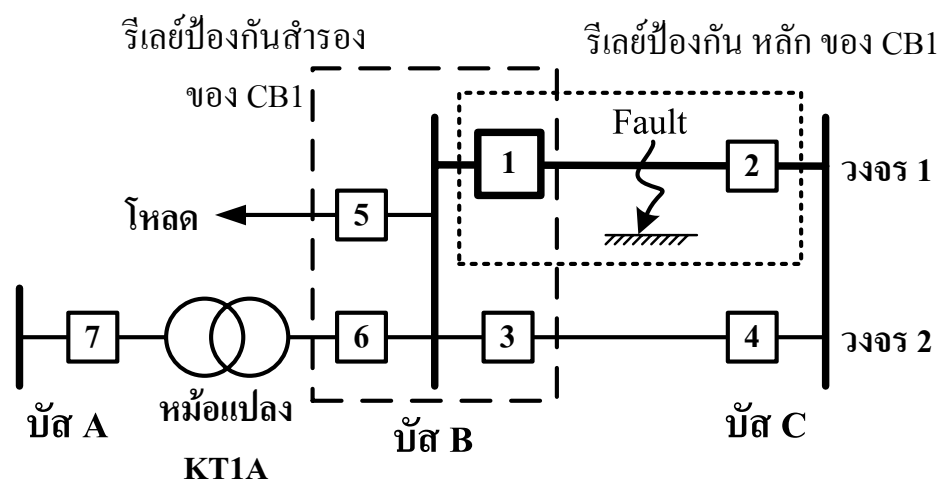


ภาพที่ 2-2 การแบ่งเขตป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.2.2 คุณสมบัติของระบบป้องกัน

2.2.2.1 ความแน่นอน หรือ ความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) หมายถึง ตลอดเวลาที่มีรีเลย์ ป้องกันติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า รีเลย์ป้องกันต้องทำงานได้ปกติ

2.2.2.2 ความสามารถแยกแยะ (Selectivity) หมายถึง รีเลย์ป้องกันต้องมีความสามารถ แยกแยะว่าสถานะใด เกิด หรือ ไม่เกิด ฟอลต์ และต้องทำงานตามเวลาที่ปรับตั้งไว้ได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 2-3 รีเลย์ป้องกันหลัก และสำรองสำหรับสายส่ง B-C วงจร 1 ของ CB1

2.2.2.3 ความเร็ว (Speed) หมายถึง รีเลย์ป้องกันต้องมีความเร็วในการสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน หรือ ปลดสิ่งผิดปกติออกจากระบบให้เร็วที่สุดเพื่อลดความเสียหายให้มีเวลาน้อยที่สุด

2.2.2.4 ความไว (Sensitivity) หมายถึง รีเลย์ป้องกันจะต้องมีความไวพอที่จะรู้สึกถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ แม้ความผิดปกตินี้จะมีค่าน้อย

2.2.2.5 ความง่าย (Simplicity) หมายถึง รีเลย์ป้องกันต้องมีโครงสร้างที่ง่าย มีความแข็งแรง เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากความซับซ้อน

2.2.2.6 เสถียรภาพ (Stability) หมายถึง รีเลย์ป้องกันจะต้องไม่ทำงานภายนอกพื้นที่ที่ตนเองป้องกันอยู่ แม้จะมีเหตุผิดปกติที่เกิดขึ้นภายนอกพื้นที่ป้องกันของตนเองจะมีความรุนแรงมากก็ตาม

เพื่อความสะดวกในการใช้งาน หรือการเรียกชื่อจึงมักจะเรียก ชื่อย่อ หรือ หมายเลข ของรีเลย์ป้องกันแทนการใช้ชื่อเต็ม ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างหมายเลขรีเลย์ป้องกันที่แทนชื่อเต็มของรีเลย์ป้องกันต่างๆ ตามมาตรฐาน ANSI โดยแสดงใน ตารางที่ 2-1

2.2.3 ชนิดของรีเลย์ระบบป้องกัน [2]

2.2.3.1 ระบบป้องกันสำหรับสายส่ง (Transmission Line Protection)

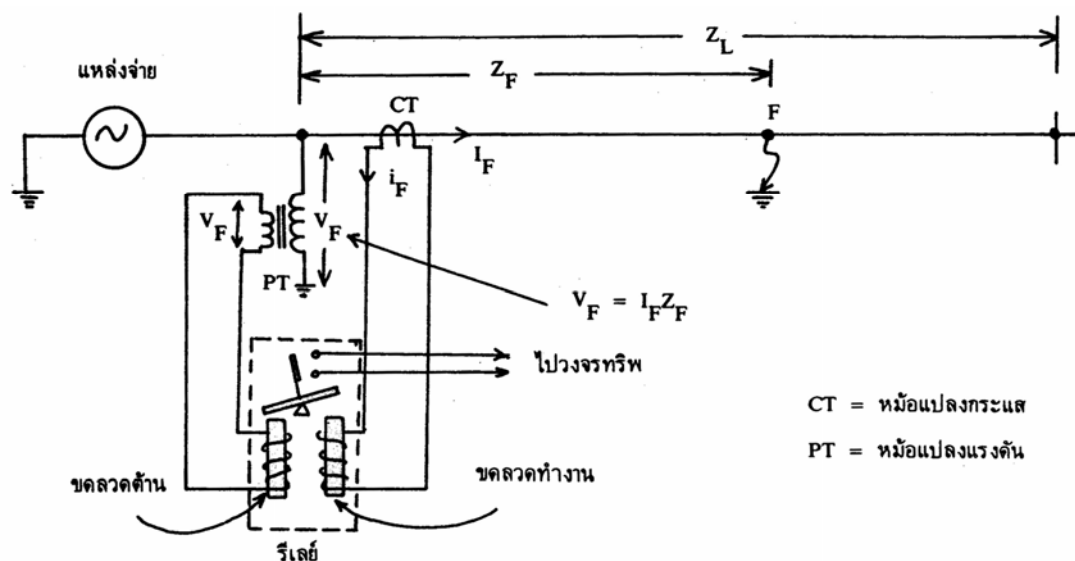
ในทางกายภาพแล้วสายส่งมีระยะทางยาว แนวสาย หรือ แนวการวางสายส่ง ส่วนมากจะอยู่ในที่โล่งแจ้ง หรือผ่านป่าเขาต้นไม้ทึบ โอกาสการเกิดสิ่งผิดปกติจากสภาพอากาศ เช่น อาจมีลมพัด เศษกิ่งไม้ หรือสิ่งของมาติดบนสายส่งหรือฝนตกฟ้าผ่า จึงมีโอกาสสูง โดยพอลต์ประเภทที่พบมาก

บนสายส่งคือ ฟอลต์ลงดิน (Single Line to Ground Fault หรือเรียกย่อว่า SLG) รองมาคือ เฟสฟอลต์ (Phase to Phase Fault)

ตารางที่ 2-1 ความหมายของรีเลย์ป้องกันตามมาตรฐาน ANSI

หมายเลขของรีเลย์ป้องกัน	ความหมาย
21	Distance Relay
25	Synchronizing or Synchronism-Check Device
27	Undervoltage Relay
50	Instantaneous Overcurrent Relay
51	AC Time Overcurrent Relay
59	Overvoltage Relay
60	Voltage or Current Balance Relay
79	AC Reclosing Relay
81	Frequency Relay
86	Lock-out Relay
87	Differential Protective Relay

ระบบป้องกันสำหรับสายส่ง จะใช้รีเลย์ระยะทางเป็นรีเลย์หลักในการป้องกัน ซึ่งรีเลย์ป้องกันนี้จะทำงานหรือไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของแรงดันและกระแส ซึ่งค่าปริมาณทั้งสองนี้จะไปจ่ายไฟขดลวด 2 ชุด ได้แก่ ขดลวดทรีป และ ขดลวดต้านทรีป ในภาวะปกติแรงดันในขดลวดต้านจะมากกว่า ซึ่งค่าที่รีเลย์ป้องกันทำงานมาจากอัตราส่วนของ แรงดันต่อกระแส ขณะที่เกิดฟอลต์ในสายส่งจะมีกระแสฟอลต์ไหลปริมาณสูง ในขณะเดียวกันแรงดันที่จุดฟอลต์จะต่ำ ทำให้อัตราส่วนแรงดันต่อกระแสต่ำกว่าค่าปรับตั้งไว้ก่อนหน้านี้ (Relay Setting) จึงทำให้รีเลย์ระยะทางทำงานส่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออก ซึ่งรีเลย์ป้องกันจะทำงานหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแรงดันต่อกระแส หรือ คือค่าอิมพีแดนซ์ในขณะเกิดฟอลต์นั่นเอง จากภาพที่ 2-4 ในสภาวะปกติค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้ที่รีเลย์ระยะทางจะมีค่าสูงเกินค่า Z_L ทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน แต่ขณะเกิดฟอลต์แรงดันจะต่ำและกระแสจะสูงทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้มีค่าต่ำลง ซึ่งจะน้อยกว่าค่า Z_L ค่านี้เราจะเรียกว่า ค่า Z_F ดังนั้นเมื่อใดที่ค่าอิมพีแดนซ์ต่ำกว่าค่า Z_L แสดงว่าเกิดฟอลต์ในสายส่งเส้นนี้

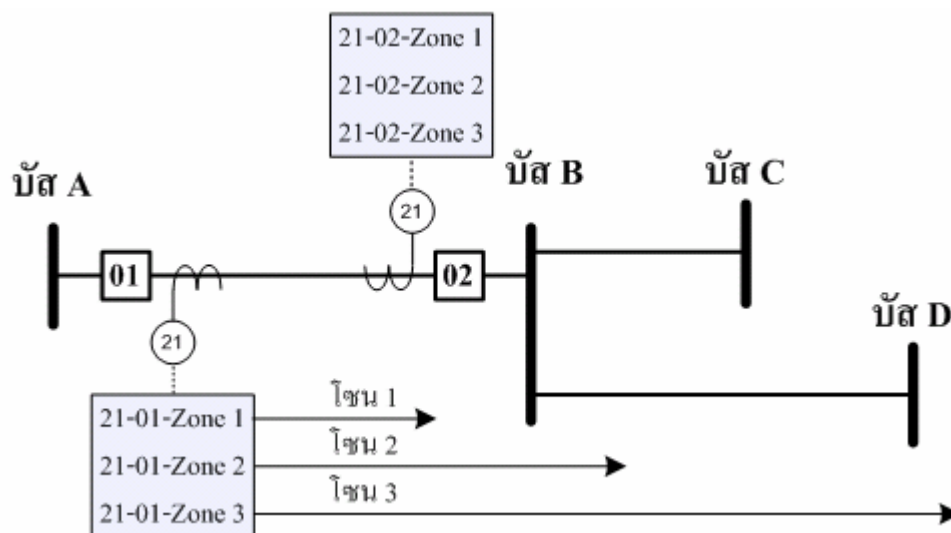


ภาพที่ 2-4 หลักการทำงานของรีเลย์ระยะทาง

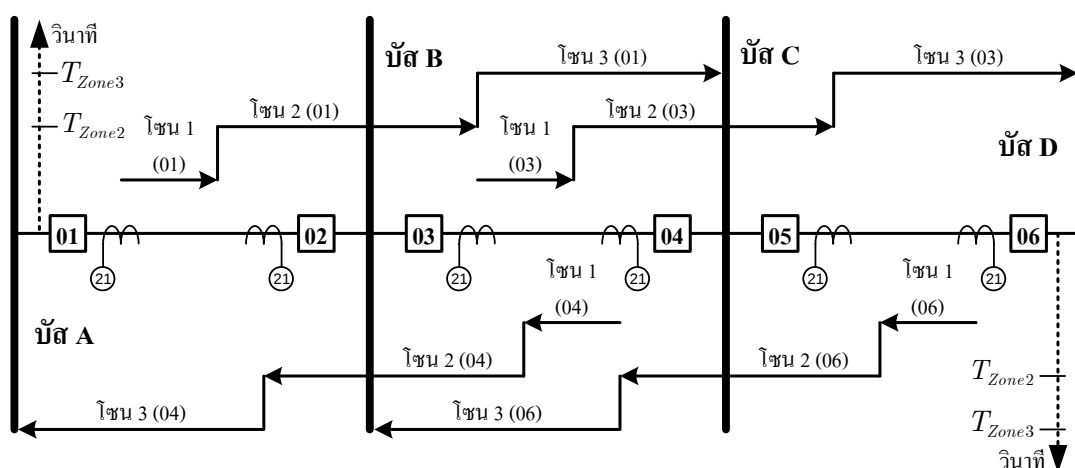
สาเหตุที่ไม่สามารถตั้งค่า Z_L ให้เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ต้องการป้องกัน เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์วัดค่าได้ซึ่งเป็นตัวกำหนดการทำงานของรีเลย์ อาจวัดและคำนวณค่าได้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากสาเหตุ ความคลาดเคลื่อนในตัว CT. และ PT. หรือความคลาดเคลื่อนในตัวรีเลย์ป้องกันเอง ดังนั้นจึงกำหนดให้ในเขตป้องกันสายส่งมีค่าปรับตั้ง Z_L ที่ต่างกันหลายๆค่ารวมกับการพิจารณาการหน่วงเวลาด้วย หรือในเขตป้องกันสายส่งจะประกอบด้วย โซนป้องกันที่ 1 หรือ Z1, โซนป้องกันที่ 2 หรือ Z2 และโซนป้องกันที่ 3 หรือ Z3 ซึ่งแสดงในภาพที่ 2-5 และ ภาพที่ 2-6 โดยค่าปรับตั้งของอิมพีแดนซ์ Z_L ในแต่ละโซนป้องกันแสดงในตารางที่ 2-2 [1]

ตารางที่ 2-2 ค่าปรับตั้งของรีเลย์ระยะทางในเขตป้องกันสายส่ง

โซนป้องกัน	ค่าปรับตั้ง	ค่าหน่วงเวลา
โซนที่ 1 (Z1)	80-90 % ของค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ป้องกัน	ไม่มี
โซนที่ 2 (Z2)	100 % ของค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ป้องกัน + 50 % ของค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่สั้นที่สุดที่อยู่	Tzone2 หรือ 0.35 วินาที
โซนที่ 3 (Z3)	120 % ของ (ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ป้องกัน + ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ยาวที่สุดที่อยู่)	Tzone3 หรือ 1 วินาที



ภาพที่ 2-5 โซนป้องกันต่างๆในการป้องกันสายส่งระหว่างบัส A, บัส B

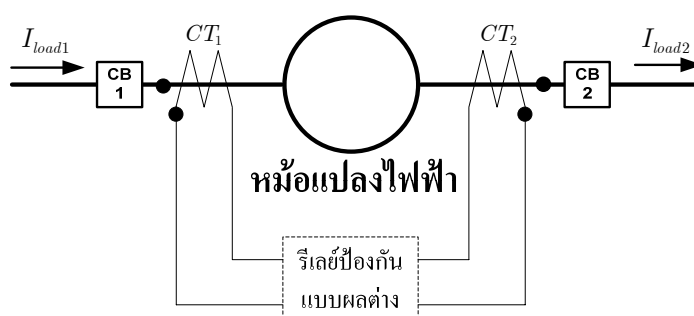


ภาพที่ 2-6 การปรับตั้งค่าสำหรับรีเลย์ระยะทาง และการหน่วงเวลาในแต่ละโซน

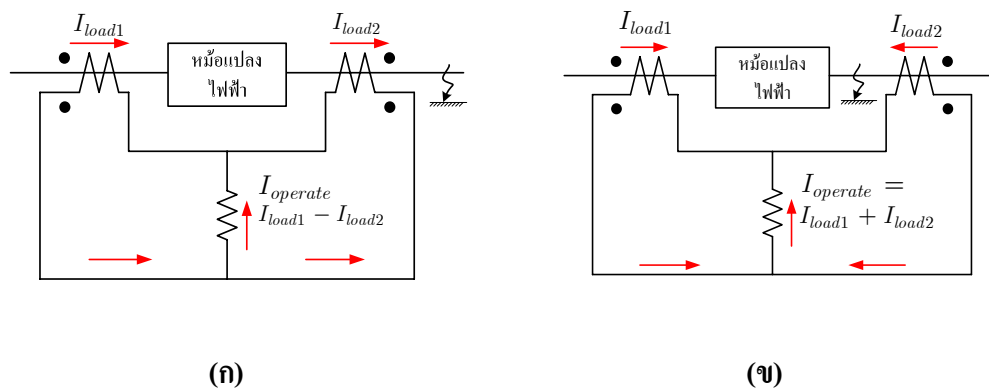
2.2.3.2 ระบบป้องกันสำหรับหม้อแปลง (Transformer Protection)

ระบบป้องกันสำหรับหม้อแปลง จะใช้รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง แสดงในภาพที่ 2-7 เนื่องจากมีข้อดีคือจะทำงานเฉพาะเขตการป้องกันของตนเองเท่านั้น ซึ่งถูกกำหนดด้วยตำแหน่งการติดตั้งของ CT, ต้นทาง และปลายทาง หลักการทำงานจะอาศัยการเปรียบเทียบกระแสเข้าหม้อแปลง หรือ I_{load1} กับ กระแสที่ออกจากหม้อแปลง I_{load2} ถ้ามีความแตกต่างมากกว่าค่าปรับตั้งรีเลย์ก็จะทำงานสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 1, 2 เพื่อปลดหม้อแปลงออกจากระบบ ในสภาวะการจ่ายโหลดปกติ หรือ

เกิดฟอลต์นอกเขตป้องกัน จะไม่มีผลต่างระหว่างกระแสทั้ง 2 ตัวนี้ ในภาพที่ 2-8 (ก) จะแสดงทิศทางการไหลของ I_{load1} และ I_{load2} กรณีเกิดฟอลต์ภายนอกเขตป้องกัน แต่เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นภายในเขตป้องกันหม้อแปลงจะทำให้เกิดผลต่างของกระแสมากกว่าค่าปรับตั้ง ซึ่งส่งผลให้รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างทำงาน ซึ่งแสดงใน ภาพที่ 2-8 (ข) โดยปกติระบบป้องกันสำรองของหม้อแปลงจะใช้รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างสำหรับบัส ซึ่งแสดงในภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-7 การติดตั้งรีเลย์ป้องกันผลต่างสำหรับหม้อแปลง

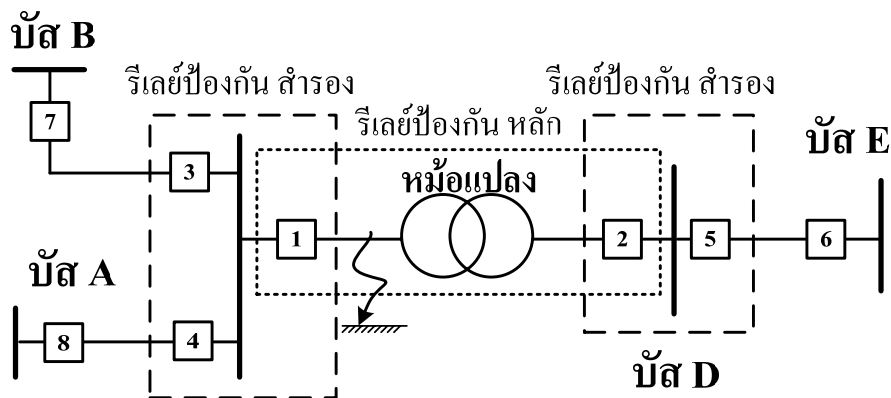


ภาพที่ 2-8 (ก) เกิดฟอลต์ภายนอกเขตป้องกัน และ (ข) เกิดฟอลต์ภายในเขตป้องกัน

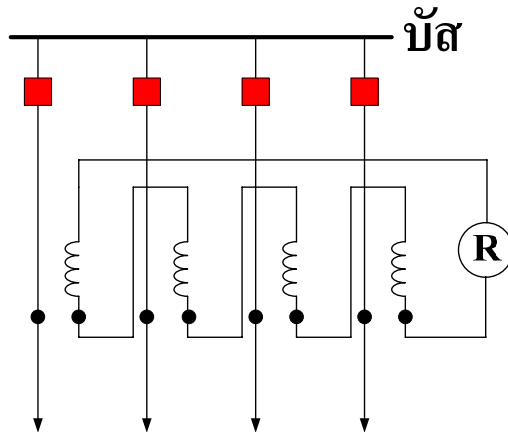
2.2.3.3 ระบบป้องกันสำหรับบัส (Bus Protection)

สำหรับการป้องกันบัส จะใช้รีเลย์ป้องกันผลต่างเหมือนกับที่ใช้ในการป้องกันหม้อแปลง แต่ต่างกันที่จะมีการติดตั้ง CT. ในทุกกิ่ง (Branch) ที่ต่อเข้ากับบัสนั้นทั้งหมด ข้อมูลอินพุตของรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างจึงเป็นค่ากระแสที่ไหลเข้า และ ออกจากบัสนั้นทั้งหมด แสดงใน ภาพที่ 2-9 โดยรีเลย์ป้องกันแบบนี้จะอาศัยหลักการพิจารณาผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าบัสกับกระแสที่ไหลออกจากบัส เมื่อผลรวมของกระแสเข้า ไม่เท่ากับผลรวมของกระแสออก รีเลย์ผลต่างจะทำงานสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวปลดออก เช่น จากภาพที่ 2-11 ถ้าเกิดฟอลต์ที่ บัส A รีเลย์ผลต่างป้องกัน

บัส ซึ่งเป็นรีเลย์ป้องกันหลักจะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 1, 2, 3, 4 ปลดออก ในกรณีที่รีเลย์ป้องกันหลักไม่ทำงาน รีเลย์ระยะทางที่ บัส B และ บัส C ซึ่งเป็นรีเลย์ป้องกันสำรองจะทำงานด้วยโซนป้องกันที่ 2 หรือ 3 สั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 5, 6 ตามลำดับ



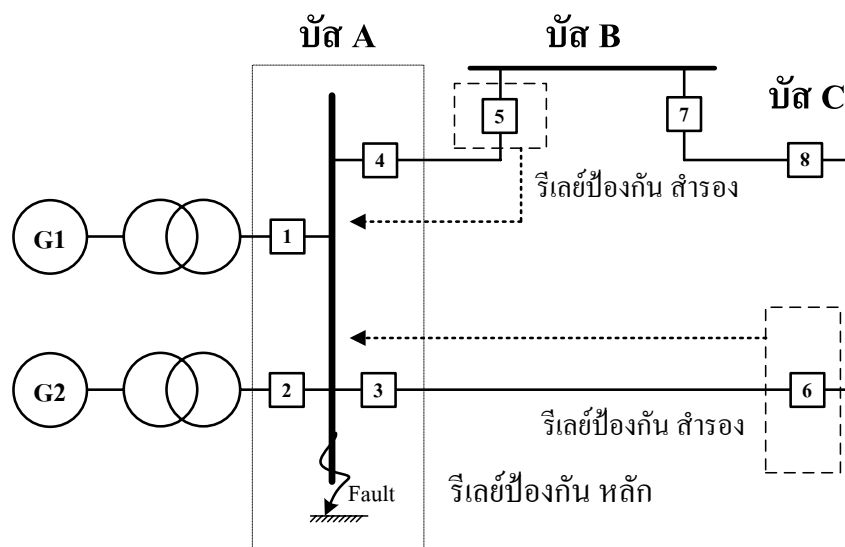
ภาพที่ 2-9 รีเลย์ป้องกันหลัก และ รีเลย์ป้องกันสำรอง สำหรับหม้อแปลง



ภาพที่ 2-10 ตำแหน่งการติดตั้ง CT. สำหรับระบบป้องกันสำหรับบัส

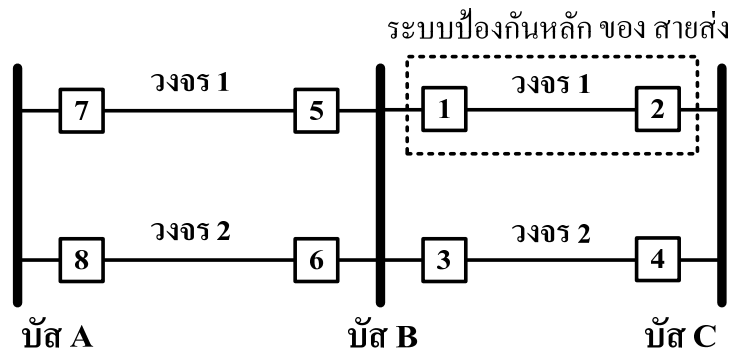
2.2.3.4 ระบบป้องกันกรณีระบบป้องกันทำงานล้มเหลว (Breaker Failure Protection)

แม้จะมีโอกาสน้อยที่จะเกิดเหตุการณ์ฟอลต์แล้วอุปกรณ์ระบบป้องกันจะทำงานล้มเหลว เช่น รีเลย์ป้องกันไม่สามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงานตามที่รีเลย์ป้องกันสั่งการให้ปลด แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้แล้วจะส่งผลกระทบกับระบบไฟฟ้าหลักรุนแรงเนื่องจากสิ่งผิดปกติยังไม่ได้ถูกแยกออกจากระบบไฟฟ้าหลัก

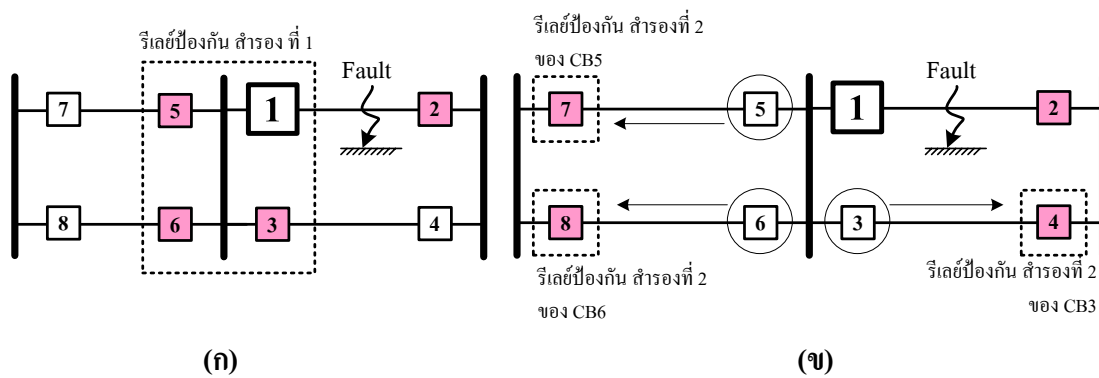


ภาพที่ 2-11 รีเลย์ป้องกันหลัก และ รีเลย์ป้องกันสำรอง สำหรับ บัส

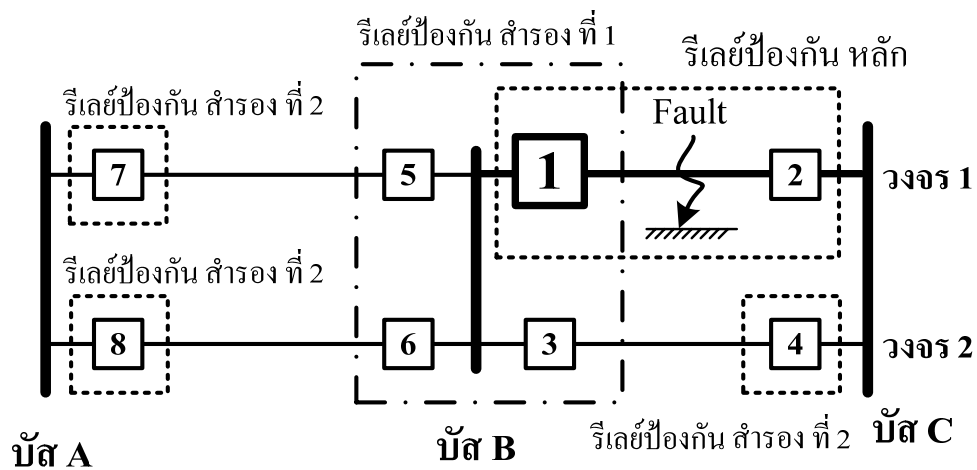
โดยปกติเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นจะมีกระแสปริมาณสูงมากไหลมาที่จุดฟอลต์ ซึ่งรีเลย์ป้องกันจะตรวจจับสิ่งผิดปกตินี้ได้ และสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออก เมื่อระบบป้องกันทำงานถูกต้อง เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดอุปกรณ์ที่ผิดปกติออก ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์นี้ ดังนั้นการจะตรวจสอบว่าระบบป้องกันทำงานถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่นั้น ทำได้โดยนับเวลาตั้งแต่รีเลย์ป้องกันตรวจจับผิดปกตินี้ได้ ถ้าเวลานี้มีค่ามากและต่อเนื่องนานกว่าค่าปรับตั้งไว้ก็แสดงว่าจุดฟอลต์ยังไม่ได้ถูกปลดออกจากระบบไฟฟ้า ซึ่งแสดงว่าเกิดเหตุการณ์ระบบป้องกันทำงานล้มเหลว ดังนั้นเมื่อระบบป้องกันหลักไม่ทำงานระบบป้องกันสำรองก็จะทำงานแทนแต่จะทำงานด้วยเวลาที่ช้ากว่าระบบป้องกันหลักเพื่อให้แน่ใจว่าระบบป้องกันหลักไม่ทำงานจริง จากภาพที่ 2-12 แสดงระบบไฟฟ้าตัวอย่าง 3 บัส 4 และ มีเหตุการณ์เกิดฟอลต์ในสายส่งระหว่างบัส B กับ บัส C วงจร 1 แต่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ 1 ไม่สามารถปลดออกได้ รีเลย์ป้องกันสำรองที่ 1 จึงทำงานปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวที่ บัส B ออก โดยแสดงได้ตามภาพที่ 2-13 (ก) และถ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ 3, 5 หรือ 6 ไม่สามารถปลดตัวเองออกได้ด้วยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง รีเลย์ป้องกันสำรองที่ 2 จะปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวอื่นแทน เช่น ถ้าปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 4 ถ้าปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 3 ไม่สำเร็จ หรือ จะปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 8 ถ้าปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 6 ไม่สำเร็จ ซึ่งแสดงได้ในภาพที่ 2-13 (ข) จึงสามารถสรุปรีเลย์ป้องกัน หลัก และ สำรอง ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 1 เมื่อเกิดฟอลต์ในสายส่งระหว่างบัส B กับ บัส C วงจร 1 ตามภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-12 ระบบไฟฟ้าขนาด 3 บัส 4 สายส่ง



ภาพที่ 2-13 (ก) ระบบป้องกันสายส่งที่ 1 (ข) ระบบป้องกันสายส่งที่ 2 เมื่อ CB1 ไม่ทำงาน



ภาพที่ 2-14 ระบบป้องกัน หลัก และ สำรอง ขณะระบบป้องกันสายส่งทำงานล้มเหลว

2.3 ศูนย์ควบคุม และ ระบบควบคุมทางไกล

2.3.1 หน้าที่ของศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า [3]

2.3.1.1 ควบคุมดูแลการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าต่างๆให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และเพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ของระบบไฟฟ้า

2.3.1.2 เมื่อเกิดเหตุผิดปกติขึ้นแล้ว ต้องปฏิบัติการนำระบบไฟฟ้ากลับคืนสู่สภาพปกติโดยเร็ว โดยไม่ทำให้อุปกรณ์อื่นเสียหาย ด้วยระบบควบคุมทางไกล

2.3.1.3 ควบคุมดูแลการส่งกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง เช่น ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งไฟฟ้าให้อยู่ในพิสัย

2.3.1.4 จัดการปลดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกจากระบบอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อบำรุงรักษาตามวาระ หรือซ่อมแซมฉุกเฉินกรณีชำรุด โดยต้องทำให้เกิดความปลอดภัยทั้งทรัพย์สินและบุคลากรผู้ทำการซ่อมบำรุง

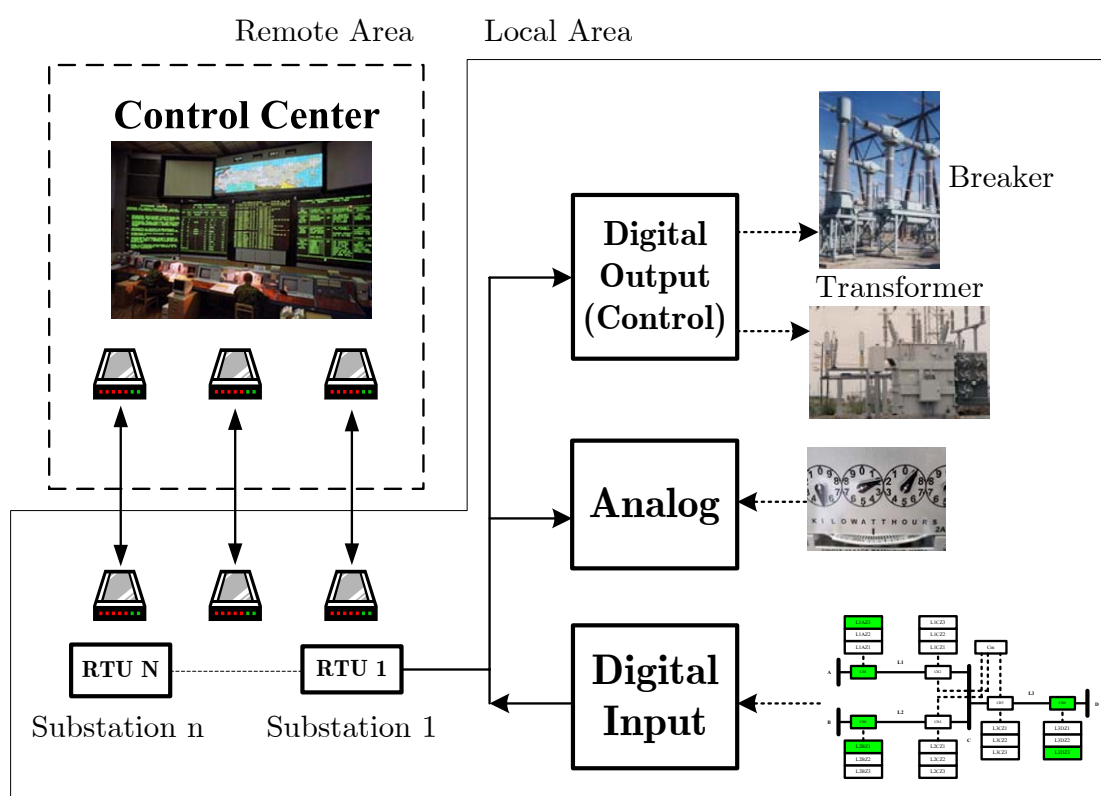
2.3.1.5 ควบคุมดูแลสภาพแรงดันในระบบไฟฟ้า ให้มีคุณภาพ และได้มาตรฐานตามความต้องการของลูกค้า

2.3.2 ระบบควบคุมทางไกล SCADA [4]

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) คือ เป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเวลาจริง (Real-Time) ซึ่งใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสถานะอุปกรณ์ อีกทั้งยังเป็นระบบควบคุมเชิงสั่งการที่เก็บบันทึกข้อมูลการทำงาน เพื่อวิเคราะห์การทำงานในภายหลังได้ด้วยระบบ SCADA มีใช้อย่างกว้างขวางเกี่ยวกับงานควบคุมในภาคอุตสาหกรรม หรือ งานด้านวิศวกรรมต่างๆ เช่น ด้านโทรคมนาคมสื่อสาร การประปา อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ หรือ การควบคุมกระบวนการผลิตในโรงไฟฟ้าต่างๆ SCADA เป็นระบบควบคุมระยะไกลที่มีความสามารถในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์ และ รายงานผลการเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์ต่างๆให้ศูนย์ควบคุมทราบทางจอภาพ

โครงสร้างของ SCADA ประกอบด้วยส่วนหลักๆคือ ส่วนศูนย์ควบคุม (Control Center) อุปกรณ์รับส่งข้อมูลทางไกล (Remote Terminal Units: RTUs) และ ระบบสื่อสาร ระบบ SCADA ที่ใช้งานในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand; EGAT) ถูกใช้สำหรับงานควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง (Local Control) และ งานควบคุมทางไกลคือในศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟตามพื้นที่ต่างๆ (Control Center) และใช้ในการดูแลและควบคุมสถานีไฟฟ้าต่างๆ ใ้รับข้อมูล เช่น รับค่า กระแส, แรงดันไฟฟ้า ของ พลังงานไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งไฟฟ้า, หม้อแปลง หรือ สถานะของอุปกรณ์ระบบป้องกัน ซึ่งแสดงในภาพที่ 2-15 อีกทั้งยังใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆคือ ปลดหรือสับ เซอร์กิตเบรกเกอร์ คาปาซิเตอร์

ควบคุมแท๊ป (Tap) หม้อแปลง และการเฝ้าระวังข้อความเตือน (Alarm and Event) เช่น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นข้อมูลสถานะการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกันจะถูกส่งไปแสดงให้ผู้ดูแลระบบที่ศูนย์ควบคุมพิจารณาว่าเกิดอะไรขึ้น



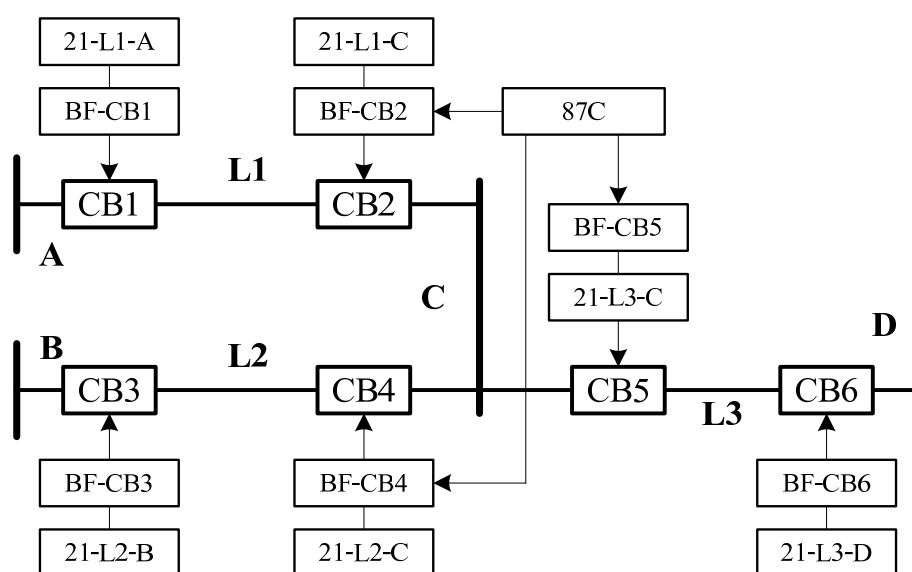
ภาพที่ 2-15 ข้อมูลที่ส่งระหว่าง สถานีไฟฟ้า กับ ศูนย์ควบคุม

2.4 การวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่ผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ทุกครั้งที่เกิดฟอลต์ขึ้นจะต้องมีข้อมูลเตือนซึ่งได้แก่ รีเลย์ป้องกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงาน ข้อมูลเตือนเหล่านี้จะถูกส่งจากสถานีไฟฟ้าต่างๆที่เกิดเหตุการณ์มาที่ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ดังนั้นหากพนักงานศูนย์ควบคุมสามารถวิเคราะห์ว่าเกิดอะไรขึ้น และเกิดที่ใดจากข้อมูลเตือนเหล่านี้ก็จะเป็นการช่วยลดเวลาไฟดับลงได้ เราสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลเตือนซึ่งได้แก่ สถานะการทำงานของ รีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อจะระบุอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ได้ [5]

ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กในภาพที่ 2-16 ประกอบด้วยสายส่ง 3 วงจร ซึ่งป้องกันด้วย รีเลย์ระยะทาง และ 1 บัสที่ป้องกันด้วยรีเลย์ผลต่างสำหรับบัส เราได้สมมุติเหตุการณ์ฟอลต์ 3 เหตุการณ์

ซึ่งเราสามารถจัดทำข้อมูลต่างๆให้อยู่ในรูปแบบไบนารี โดยกำหนดให้ $A^{(ii)}$ แทนข้อมูลสถานะการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกัน กับ $B^{(ii)}$ แทนข้อมูลอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟอลต์จำนวน 3 เหตุการณ์จึงได้ $\{(A^1, B^1), (A^2, B^2), (A^3, B^3)\}$ เป็นคู่ลำดับความสัมพันธ์ในตารางที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเหตุการณ์ฟอลต์ และได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์กับเหตุการณ์ฟอลต์ในตารางที่ 2-4 และได้สรุปเหตุการณ์ฟอลต์, ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน และ ข้อมูลอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ แสดงรวมกันได้ตามตารางที่ 2-5 ซึ่งในบทถัดไปจะกล่าวถึงการนำข้อมูลไบนารีเหล่านี้ไปใช้งาน



ภาพที่ 2-16 ความสัมพันธ์การทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 2-3 ความสัมพันธ์การทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ เหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆ

เหตุการณ์ฟอลต์	รีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ในระบบไฟฟ้า																		
	21-L1-A	21-L1-C	21-L2-B	21-L2-C	21-L3-C	21-L3-D	BF_CB1	BF_CB2	BF_CB3	BF_CB4	BF_CB5	BF_CB6	87C	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0

ตารางที่ 2-4 ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ กับ เหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆ

เหตุการณ์ฟอลต์	อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า						
	L1	L2	L3	A	B	C	D
1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0
3	1	1	0	0	0	0	0

ตารางที่ 2-5 ความสัมพันธ์ของ การทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์

เหตุการณ์	ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน	ข้อมูลอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์
เหตุการณ์ที่1	$A^1 = (1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0)$	$B^1 = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$
เหตุการณ์ที่2	$A^2 = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0)$	$B^2 = (0, 0, 0, 0, 0, 1, 0)$
เหตุการณ์ที่3	$A^3 = (1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0)$	$B^3 = (1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

2.5 สรุป

สำหรับเนื้อหาในบทที่ 2 กล่าวถึงส่วนประกอบของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า โดยสายส่งเป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้บ่อยที่สุด ระบบป้องกันสายส่งยังจำแนกเป็นโซนป้องกันต่างๆ เพื่อรองรับฟอลต์ที่เกิดกับสายส่ง ด้วยระบบป้องกันสายส่งที่มีมาก ส่งผลให้ในแต่ละเหตุการณ์ฟอลต์จะมีอุปกรณ์ระบบป้องกันที่ต้องทำงานมากไปด้วย ท้ายบทยังได้กล่าวถึงการประยุกต์นำข้อมูลสถานะการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน มาเพื่อวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ ซึ่งเป็นหน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า โดยวิธีการวิเคราะห์เหตุการณ์ฟอลต์จะกล่าวในบทถัดไป

บทที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เกิดขึ้นจากแนวความคิดที่ต้องการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะกระทำการผ่านกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งกระบวนการเรียนรู้จะทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรอิสระ หรือ ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดผลลัพธ์ตามต้องการ โครงข่ายประสาทเทียมจึงเหมือนกล่องดำที่สนใจแค่ข้อมูลอินพุตกับข้อมูลเอาต์พุต อัลกอริทึมจึงมีแนวคิดว่าจะทำอย่างไรให้เกิดเอาต์พุตเมื่อมีอินพุตค่าหนึ่งเข้ามา ซึ่งทำได้โดยปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักภายในตัวของโครงข่ายประสาทเอง โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยหน่วยประมวลผลขนาดเล็กหลายๆตัว ซึ่งถูกนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นโครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นจะนำไปผ่านกระบวนการการสอนซึ่งกระทำกับข้อมูลฝึกสอน เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานต่อไป

3.1 วิวัฒนาการโครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์

3.1.1 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด แม็กคูลลัน-พิต

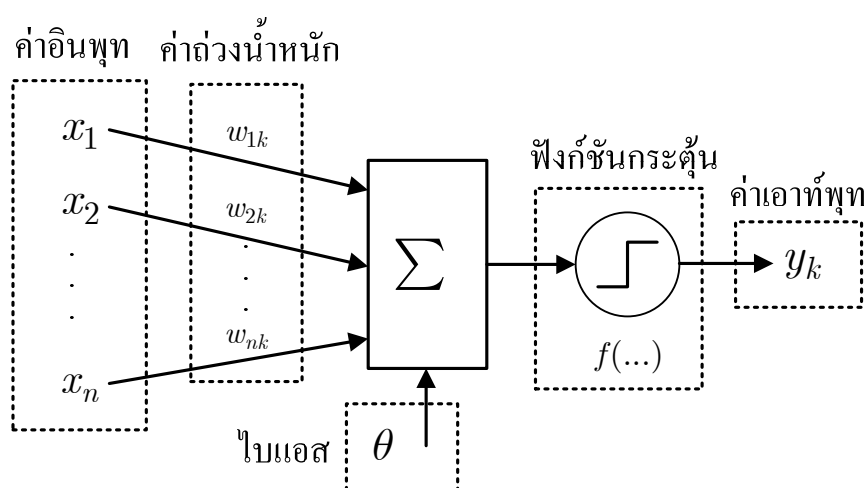
ปี ค.ศ. 1943 นักประสาทวิทยาชื่อ วอร์เรน แม็กคูลลัน (Warren McCulloch) และ นักคณิตศาสตร์ชื่อ วอร์เตอร์ พิต (Walter Pitts) ได้ออกแบบนิวรอน (Neural) ขึ้น โดยที่ผู้วิจัยมีแนวคิดที่ว่าโครงข่ายประสาทเทียมนั้นอาจจะรวมเอานิวรอนหลายๆตัว ที่ไม่ซับซ้อนประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณสิ่งต่างๆ โดยค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ แม็กคูลลัน-พิต นั้นเริ่มแรกได้กำหนดให้มีค่าคงที่ ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดลักษณะนี้จึงใช้ได้กับฟังก์ชันตรรกศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก นิวรอนสามารถจัดวางเข้าไปในโครงข่ายเพื่อประมวลผลเอาต์พุตใดๆ ที่สามารถแสดงถึงการรวมของฟังก์ชันตรรกศาสตร์ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ แม็กคูลลัน-พิต ประกอบด้วยชั้นของนิวรอนจำนวน 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งชั้นอินพุตจะเชื่อมโยงไปยังชั้นเอาต์พุตโดยผ่านค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และได้ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) หรือ ฟังก์ชันการถ่วงน้ำหนักเข้ามา ที่มีความหมายว่า ถ้าผลลัพธ์ที่ผ่านจากชั้นอินพุตมีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัด จะให้เอาต์พุตออกมาค่าหนึ่ง ฟังก์ชันการถ่วงน้ำหนักเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งของ โครงข่ายประสาทเทียม แบบแม็กคูลลัน ซึ่งแนวคิดนี้ได้ถูกนำมาพัฒนาต่อมาในอนาคต

3.1.2 กฎการเรียนรู้ของ เฮบบ์

ปี ค.ศ. 1949 นายดาเนียล เฮบบ์ (Donald Hebb) นักจิตวิทยาของมหาวิทยาลัย เม็กกิล (McGill) ได้ออกแบบกฎการเรียนรู้ชนิดแรกสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม กฎการเรียนรู้นี้ ก็คือ ถ้าสองนิวรอนถูกกระตุ้นพร้อมกันแล้ว ความแข็งแรงของการเชื่อมโยงระหว่างพวกมันควรจะเพิ่มขึ้น และได้แต่งหนังสือชื่อ The Organization of Behavior ซึ่งกล่าวถึงการเชื่อมโยงกันของจิตวิทยาและ สรีรศาสตร์

3.1.3 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด เพอร์เซปตรอน

ปี ค.ศ. 1957 นาย แฟรงค์ โรเซนบรัส (Frank Rosenblatt) ได้เริ่มศึกษาและพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมประเภทใหม่เรียกว่า เพอร์เซปตรอน (Perceptron) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สำคัญรูปแบบหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียม โดยสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ แสดงในภาพที่ 3-1 จะประกอบด้วย ชั้นอินพุตเชื่อมโยงผ่านด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อเป็นตัวเชื่อมโยงนิวรอนระหว่างชั้นอินพุตกับเอาต์พุต ในการทำงานของโครงข่ายอาจจะมี อินพุต หลายตัวที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดเอาต์พุต โดยในแต่ละอินพุต จะมีอิทธิพลต่อเอาต์พุตที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักนั่นเอง กฎการเรียนรู้ เพอร์เซปตรอน จะปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักซ้ำๆ กัน โดยในตอนท้ายสุดจะผ่านฟังก์ชันกระตุ้น การเรียนรู้ของ เพอร์เซปตรอน จะมีประสิทธิภาพดีกว่ากฎของ เฮบบ์ โดยการเรียนรู้ของ เพอร์เซปตรอน สามารถแสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าของคำตอบที่ดีกว่า ด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกต้องในปี ค.ศ. 1962 งานของนาย แฟรงค์ ได้อธิบาย เพอร์เซปตรอน หลายๆ ชนิดว่า เหมือนนิวรอนได้ถูกพัฒนาจาก แม็กคอลลัน-พิต และ จาก เฮบบ์



ภาพที่ 3-1 โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย

3.1.4 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด โคโคโนเนน

ปี ค.ศ. 1972 ทราโว โคโคโนเนน (Teuvo Kohonen) ซึ่งเป็นวิศวกรไฟฟ้าชาวฟินแลนด์ได้คิดจัดการนำโครงข่ายประสาทเทียมมารวมแก้ปัญหาเพิ่มความสามารถในการจดจำ และ ต่อมาได้พัฒนากลายเป็น Self Organizing Map ขึ้นมา ซึ่งสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้จะประกอบด้วยชั้นเพียง 2 ชั้น คือ ชั้นอินพุต และ ชั้นเอาต์พุต ที่มีการเชื่อมโยงที่ชั้นอินพุตไปยังนิวรอนที่ชั้นเอาต์พุตนั้นจะต่อผ่านค่าถ่วงน้ำหนัก ข้อแตกต่างจากโครงข่ายอื่นๆ คือ กระบวนการเรียนรู้สามารถจัดการแก้ไข หรือ ปรับเปลี่ยนกลุ่มข้อมูลอินพุตได้ด้วยตัวของมันเอง และ เรียกการเรียนรู้ว่า การเรียนรู้แบบคอมแพทิทิฟ (Competitive Learning) โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ถูกนำไปใช้เกี่ยวกับการจดจำคำพูด (Speech Recognition) หรือ ใช้แก้ปัญหาเรื่องการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) เป็นต้น

3.1.5 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด ฮอปฟีลด์

ในปี ค.ศ. 1982 จอห์น ฮอปฟีลด์ (John Hopfield) ซึ่งทำงานในสถาบันเทคโนโลยีรัฐแคลิฟอร์เนีย พร้อมกับ เดวิด แทงส์ (David Tank) นักวิจัยที่ AT&T Hopfield ได้ร่วมกันพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นเป็นผลสำเร็จในชื่อว่า โครงข่ายประสาทเทียมชนิด ฮอปฟีลด์ ส่งผลให้จอห์น ฮอปฟีลด์ ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ โดยโครงข่ายประสาทเทียมเหล่านี้ใช้ประโยชน์ในด้านการแก้ปัญหาการจดจำ และ นำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาการบีบบังคับความพอใจ และ เริ่มนำไปแก้ปัญหา การใช้โครงข่ายประสาทในการทำนายส่วนที่ขาดหายไปของข้อมูล หรือ รูปภาพ และ ถือเป็นบทเริ่มต้นสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบทรงจำแบบสองทาง

3.2 คุณสมบัติและความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม

3.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมไม่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ แต่จะใช้การเรียนรู้จากตัวอย่าง ข้อมูลฝึกสอน และ ปรับค่าคงที่ภายในโครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายประสาทเทียมไม่ต้องการเข้าใจวิธีการแก้ปัญหา แต่ต้องการให้ปัญหาได้รับการแก้ไขเท่านั้น

3.2.2 มีความยืดหยุ่นในการแก้ปัญหาโจทย์สูง จนสามารถจำลองกระบวนการของปัญหาที่ยากๆ ได้หลากหลาย

3.2.3 มีความสามารถในการจดจำชุดของคู่ข้อมูลอินพุต และ เอาต์พุตที่มีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำได้

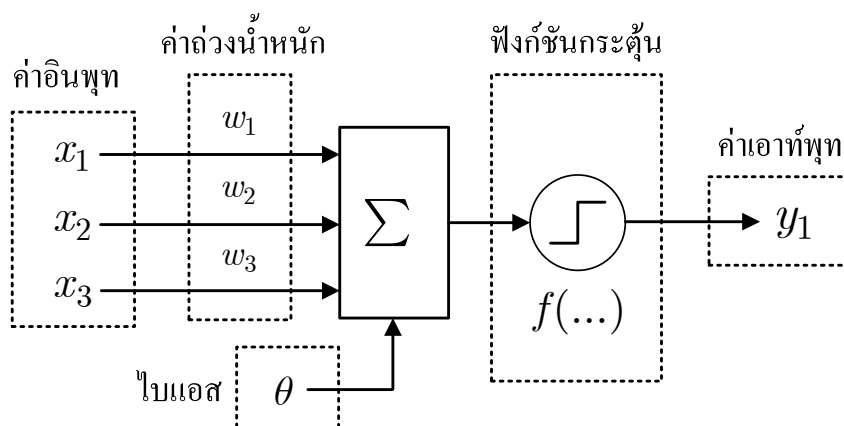
3.2.4 สามารถจำลองปัญหาในรูปแบบความน่าจะเป็นได้

3.2.5 มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล เช่น เมื่อข้อมูลอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

3.2.6 มีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลที่ไม่เคยเห็น หรือ ไม่อยู่ในข้อมูลฝึกสอน

การแยกประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมว่าอยู่ในประเภทไหน สามารถพิจารณาได้จากข้อมูลที่สามส่วน ซึ่งได้แก่ ส่วนแรก คือ รูปแบบการเชื่อมโยงระหว่างนิวรอน หรือ การเชื่อมโยงตั้งแต่ชั้นอินพุตจนถึงชั้นเอาต์พุต ส่วนที่สอง คือ การกำหนดค่าของการเชื่อมโยงซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า ฟังก์ชันการฝึกสอนหรือกระบวนการเรียนรู้ ส่วนสุดท้าย คือ ส่วนกำหนดข้อมูลเอาต์พุตโดยฟังก์ชันกระตุ้น

ยกตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายแสดงในภาพที่ 3-2 จะเรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายอินพุต โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตในรูปแบบคณิตศาสตร์ตาม สมการที่ (3-1)



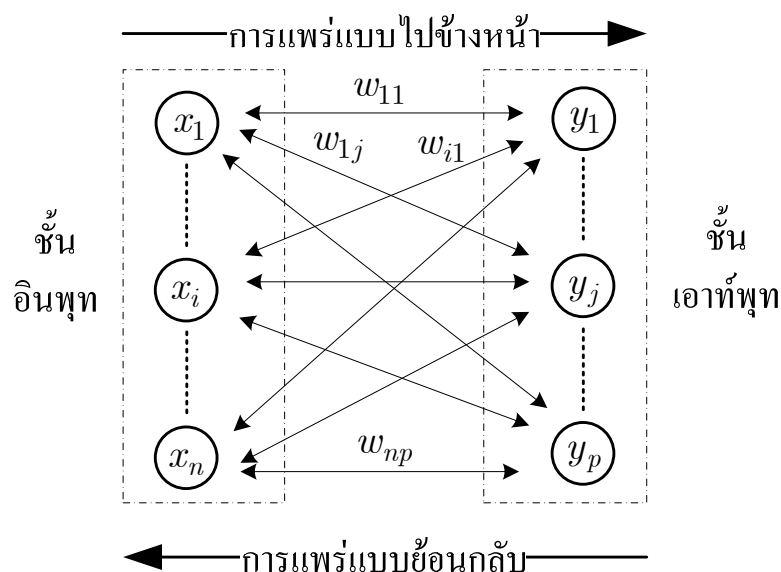
ภาพที่ 3-2 โครงข่ายประสาทเทียมขนาด 3 อินพุต 1 เอาต์พุต

$$y_1 = f(x_1w_1 + x_2w_2 + x_3w_3 + \theta) \quad (3-1)$$

3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง

โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง (Bidirectional Associative Memories) หรือ BAM ถูกคิดค้นโดย นาย ครอสโก (Kosko) ในปี ค.ศ. 1986 ซึ่งได้คิดค้นเพิ่มเติมมาจากโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Hopfield Associative Memories (HAMs) เป็นรูปแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งใช้ประโยชน์เพื่อเก็บ หรือ ค้นหาข้อมูลของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งของ 2 อย่าง BAM เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยชั้นข้อมูล

เพียง 2 ชั้น คือชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต ทำให้มีความรวดเร็วในการประมวลผลกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่นที่มีหลายชั้น ภาพที่ 3-3 แสดงนิวรอน (ปมประสาท) ในชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุตซึ่งในแต่ละปมประสาทจะมีค่าเพียง 1 หรือ -1 (เลขฐานไบโพลาร์) และปมประสาทในชั้นอินพุตจะเชื่อมต่อกับทุกปมประสาทในชั้นเอาต์พุต และทุกปมประสาทในชั้นเอาต์พุตจะเชื่อมต่อไปยังชั้นอินพุตในลักษณะเดียวกัน แต่ในชั้นเดียวกันจะไม่มีเชื่อมต่อถึงกัน

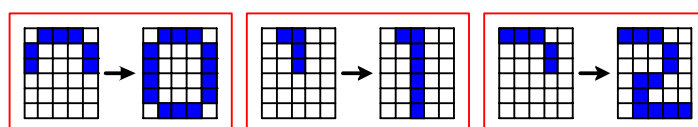


ภาพที่ 3-3 โครงสร้างของ BAM

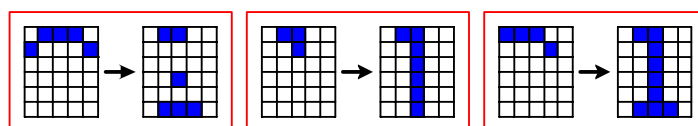
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน BAM กับการค้นหาคู่ลำดับ เช่น มีฐานข้อมูลผู้ใช้โทรศัพท์มือถือในประเทศไทยจำนวน 10,000,000 หมายเลข โดยในฐานข้อมูลผู้ใช้นี้ไม่มีชื่อผู้ให้บริการ และเบอร์โทรศัพท์ซ้ำกันเลย เช่น (0893122571, Saha), (0816314739, Rooney)... (X^{ii}, Y^{ii}) หรือเรียกว่าเป็นรูปแบบ ข้อมูลคู่ลำดับความสัมพันธ์ (เบอร์โทรศัพท์มือถือ, ชื่อผู้ให้บริการ) ในกรณีที่เราต้องการหาว่าเบอร์ 0816314739 เจ้าของชื่ออะไร วิธีทั่วไปเราจะทำการค้นหาเบอร์โทรศัพท์ที่ตรงกับโจทย์ หลังจากนั้นเมื่อพบเบอร์ตรงกับที่ต้องการก็จะคืนค่าชื่อผู้ให้บริการ จะเห็นว่าใส่ค่าเบอร์โทรศัพท์เป็นข้อมูลอินพุตในการค้นหา และได้ข้อมูลเอาต์พุตเป็นชื่อผู้ให้บริการ และ เบอร์โทรศัพท์ของผู้นั้นออกมาด้วย สำหรับ กรณีที่ข้อมูลอินพุตไม่สมบูรณ์ หรือ มีข้อมูลแปลกปลอมเพิ่มเข้ามา เช่น ต้องการค้นหาเบอร์ 08*63147*9 (ซึ่งเบอร์โทรศัพท์นี้มีตำแหน่งที่ 3 กับตำแหน่งที่ 9 นับจากซ้ายเกิดข้อมูลผิดพลาด คือ อ่านค่าไม่ได้) เป็นเบอร์ใคร ถ้าเราค้นหาเบอร์นี้โดยวิธีข้างต้นจะหาไม่พบ

เพราะเบอร์ที่ค้นหาไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล จากปัญหานี้เป็นปัญหาอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล

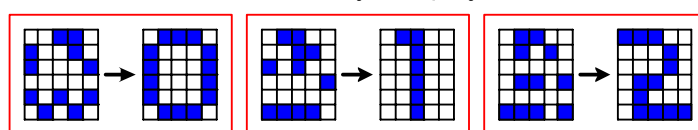
สำหรับภาพที่ 3-4 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งในการนำ BAM มาใช้ในการเรียกคืนค่า [6] ซึ่งในที่นี้เป็นการเรียกคืนข้อมูลประเภทรูปภาพ โดยจะทำการเรียกคืนค่าเมื่อมีข้อมูลอินพุตมีความเสียหาย 50%, 67% หรือ กรณีมีข้อมูลอื่นปะปนเข้ามาในข้อมูลอินพุตให้กลับมาสมบูรณ์ตามเดิม ในภาพที่ 3-5 แสดงลำดับการคืนค่าของข้อมูลรูปภาพจากไม่สมบูรณ์จนสมบูรณ์



การเรียกคืนค่าเมื่อข้อมูลอินพุตสูญหาย 50 %

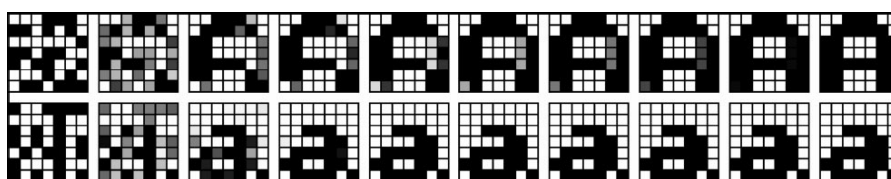


การเรียกคืนค่าเมื่อข้อมูลอินพุตสูญหาย 70 %



การเรียกคืนค่าเมื่อข้อมูลอินพุตมีข้อมูลอื่นปะปนอยู่

ภาพที่ 3-4 ตัวอย่างการคืนค่าในข้อมูลแบบรูปภาพเมื่อข้อมูลอินพุตไม่สมบูรณ์



ภาพที่ 3-5 ลำดับการคืนค่าในข้อมูลแบบรูปภาพ

จากตัวอย่างที่กล่าวมาบอกได้ถึงประโยชน์ของ BAM อัลกอริทึม ที่ต่างจากวิธีการค้นหาทั่วไป คือ สามารถค้นหาและคืนค่าข้อมูลเอาต์พุตและในเวลาเดียวกันถ้าข้อมูลอินพุตไม่สมบูรณ์ก็แก้ไขส่วนที่ไม่สมบูรณ์ให้คืนค่าที่ถูกต้องออกมา จึงเรียก BAM ว่าเป็นการประมวลผลแบบขนาน คือแสดงผลทั้งค่าข้อมูลอินพุต และ ข้อมูลเอาต์พุตในเวลาเดียวกันเมื่อสิ้นสุดอัลกอริทึม

3.4 โครงสร้างของ BAM

3.4.1 ชั้นอินพุต ประกอบด้วย ปมประสาท จำนวน n ปมประสาท

3.4.2 ชั้นเอาต์พุต ประกอบด้วย ปมประสาท จำนวน m ปมประสาท

ปมประสาทในชั้นอินพุต และ ชั้นเอาต์พุต จะมีข้อมูลแบบไบโพลาร์ ซึ่งข้อมูลแบบไบโพลาร์ หมายถึง ข้อมูลที่มีเพียง 2 ค่าคือ 1, -1 บรรจุอยู่ สำหรับ BAM จะมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ จำนวนปมประสาทในชั้นอินพุตอาจจะไม่เท่ากับในชั้นเอาต์พุตก็ได้ ทำให้สามารถแก้ปัญหาการจับคู่ (Mapping) ข้อมูลที่ไม่เหมือนกันได้ สำหรับข้อมูลแบบไบโพลาร์ อาจแทนสถานะ “ON” หรือ อุปกรณ์ทำงาน ด้วย “1” และ สถานะ “OFF” หรือ อุปกรณ์ไม่ทำงาน ด้วย “-1” ดังนั้นข้อมูลฝึกสอน หรือ ฐานข้อมูลทั้งหมดจะประกอบด้วย $\{(X^{(ii)}, Y^{(ii)}), (X^{(2)}, Y^{(2)}) \dots (X^{(k)}, Y^{(k)})\}$ เมื่อ $ii = 1 \dots, k$ หรือ k เท่ากับจำนวนชุดของข้อมูลฝึกสอน

3.4.3 ค่าถ่วงน้ำหนัก จะเป็นค่าที่อยู่บนทุกทางเชื่อมโยงระหว่างปมประสาทในชั้นอินพุต กับ ชั้นเอาต์พุต สามารถคำนวณได้หลายวิธีสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะถึง 2 วิธี

3.4.3.1 อัลกอริทึมการเรียนรู้ของ เฮบเบียน (Hebbian Learning) [7] แสดงได้ในสมการที่ (3-2)

$$W_{ij} = \sum_{ii=1}^k X^{(ii)T} Y^{(ii)} \quad (3-2)$$

เมื่อ ข้อมูลอินพุต คือ $(X^{ii} : x_1^{ii}, x_2^{ii} \dots, x_n^{ii})$, ข้อมูลเอาต์พุต คือ $(Y^{ii} : y_1^{ii}, y_2^{ii} \dots, y_m^{ii})$ และ ii คือ จำนวนข้อมูลฝึกสอนจำนวน k ชุดข้อมูล

ตัวอย่างการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี กฎการเรียนรู้ของ เฮบเบียน สำหรับ 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ $\{(X^1, Y^1), (X^2, Y^2), (X^3, Y^3)\}$ แสดงในภาพที่ 3-6 และผลลัพธ์แสดงในภาพที่ 3-7

$$\begin{aligned} X^1 &= \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \\ Y^1 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \\ X^2 &= \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ Y^2 &= \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \\ X^3 &= \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ Y^3 &= \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

ภาพที่ 3-6 ตัวอย่างข้อมูลคู่ลำดับความสัมพันธ์ของ 3 ชุดข้อมูลฝึกสอน

จากสมการที่ (3-2) จะได้ $W_{ij} = X^{1T} Y^1 + X^{2T} Y^2 + X^{3T} Y^3$

$$[W] = \begin{bmatrix} -1 & 3 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -3 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -3 & 1 & -1 & -1 & 1 & -3 & 3 \\ 3 & -1 & 1 & -3 & -1 & -1 & -3 & 1 & -1 \\ -1 & 3 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 3 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -3 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -3 & 1 & -1 & -1 & 1 & -3 & 3 \\ -1 & -1 & -3 & 1 & -1 & -1 & 1 & -3 & 3 \end{bmatrix}$$

ภาพที่ 3-7 ผลลัพธ์การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีการเรียนรู้ของ เฮอเปิล

3.4.3.2 Quick Learning for BAM (QLBAM) เป็นวิธีการที่พัฒนาอัลกอริทึมของ Adapted Pseudo-relaxation Method Iteratively in Learning for BAM (PRLAB) [8] ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มแรกจะได้มาจากการใช้วิธีการเรียนรู้ของ เฮอเปิล ในการหา โดย QLBAM [9] นั้นมีข้อดีคือมันจะเพิ่มประสิทธิภาพการค้นค่าให้มีโอกาสสำเร็จมากขึ้น หรือ ในการแพร่ข้อมูลจะมีโอกาสสูงคำตอบที่ได้เกิดการลู่เข้าสู่ค่าคงที่ (Stable State) ทุกครั้ง ข้อดีอีกข้อหนึ่งคือวิธี QLBAM สามารถหาค่าถ่วงน้ำหนักได้รวดเร็วกว่าวิธี PRLAB ซึ่งใช้วิธีการสุ่มค่า ในการหา โดยวิธีการคำนวณจะกล่าวในหัวข้อถัดไป QLBAM มีแนวคิดว่า การค้นค่าจะสำเร็จทุกครั้ง ก็ต่อเมื่อสามารถหาค่า W_{ij} , $[\theta_{X_i}]$, $[\theta_{Y_j}]$, λ และ ξ ที่ทำให้สมการที่ (3-3) และ สมการที่ (3-4) เป็นจริง

$$\left(\sum_{i=1}^n W_{ij} X^{(ii)} - \theta_{Y_j} \right) * Y^{(ii)} - \xi \geq 0 \quad (3-3)$$

$$\left(\sum_{j=1}^m W_{ij} Y^{(ii)} - \theta_{X_i} \right) * X^{(ii)} - \xi \geq 0 \quad (3-4)$$

กำหนดให้ λ เป็นจำนวนบวก และ ξ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2

3.5 ขั้นตอนการหาค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธี QLBAM

3.5.1 หาค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นด้วยกฎการเรียนรู้ของ เฮอเบิล และ กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ $[\theta_{X_i}], [\theta_{Y_j}], \lambda$ และ ξ

3.5.2 เริ่มด้วยข้อมูลฝึกสอนชุดที่ 1 หรือ $ii = 1$

3.5.3 ตรวจสอบสมการที่ (3-3) เป็นจริงหรือไม่ ถ้าไม่จริงให้ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ตามสมการที่ (3-5), (3-6) และปรับค่าไบแอส ตามสมการที่ (3-7), (3-8)

$$\Delta W_{ij} = -\frac{\lambda}{1+n} \left\{ \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} X^{(ii)} - \theta_{Y_j} \right) - \xi Y^{(ii)} \right\} * X^{(ii)} \quad (3-5)$$

$$W_{ij}^{new} = W_{ij}^{old} + \Delta W_{ij} \quad (3-6)$$

$$\Delta \theta_{Y_j} = +\frac{\lambda}{1+n} \left\{ \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} X^{(ii)} - \theta_{Y_j} \right) - \xi Y^{(ii)} \right\} \quad (3-7)$$

$$\Delta \theta_{Y_j}^{new} = \Delta \theta_{Y_j}^{old} + \Delta \theta_{Y_j} \quad (3-8)$$

3.5.4 ตรวจสอบสมการที่ (3-4) เป็นจริงหรือไม่ ถ้าไม่จริงให้ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ตามสมการที่ (3-9), (3-10) และปรับค่าไบแอส ตามสมการที่ (3-11), (3-12)

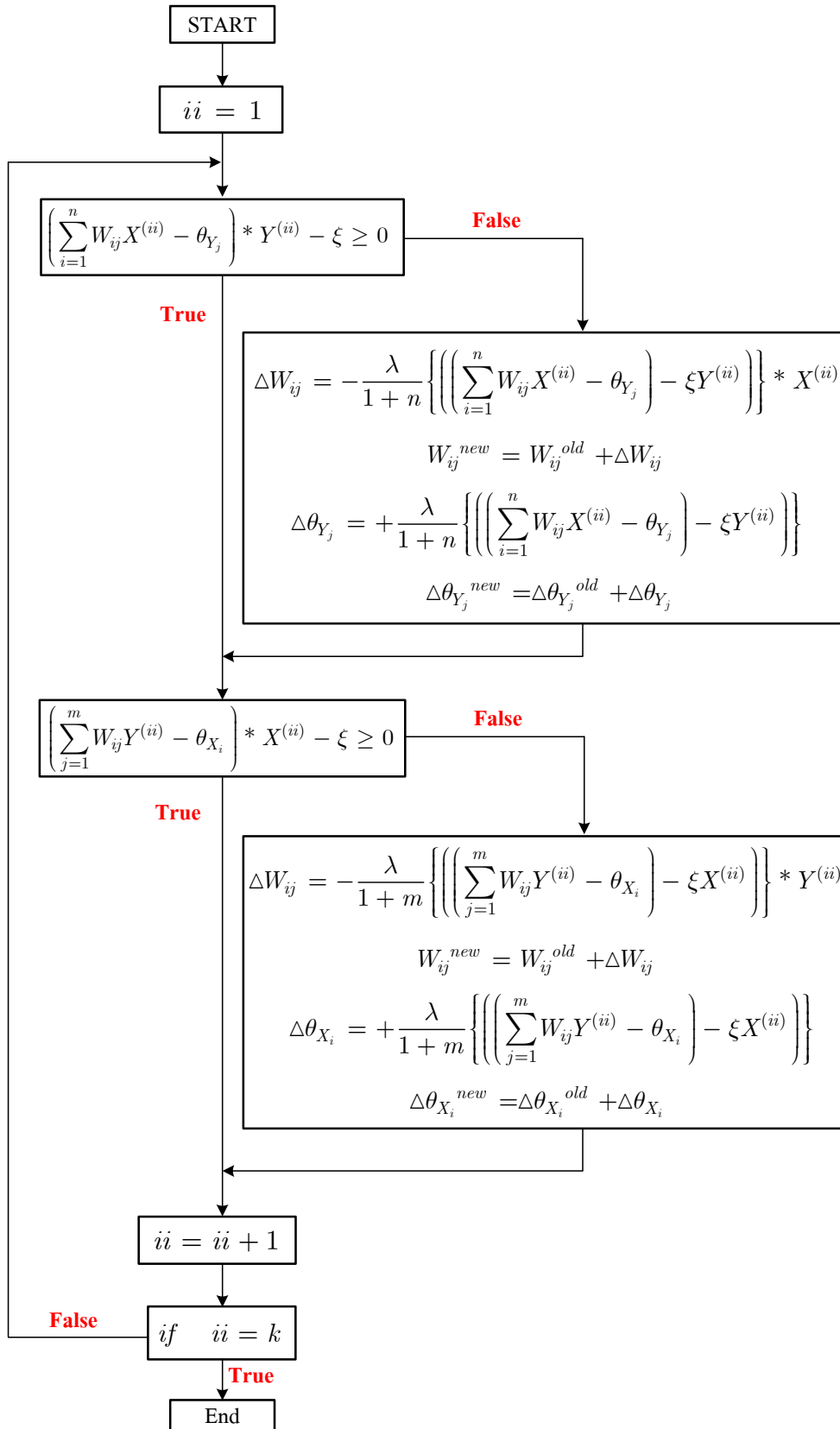
$$\Delta W_{ij} = -\frac{\lambda}{1+m} \left\{ \left(\sum_{j=1}^m W_{ij} Y^{(ii)} - \theta_{X_i} \right) - \xi X^{(ii)} \right\} * Y^{(ii)} \quad (3-9)$$

$$W_{ij}^{new} = W_{ij}^{old} + \Delta W_{ij} \quad (3-10)$$

$$\Delta \theta_{X_i} = +\frac{\lambda}{1+m} \left\{ \left(\sum_{j=1}^m W_{ij} Y^{(ii)} - \theta_{X_i} \right) - \xi X^{(ii)} \right\} \quad (3-11)$$

$$\Delta \theta_{X_i}^{new} = \Delta \theta_{X_i}^{old} + \Delta \theta_{X_i} \quad (3-12)$$

ภาพที่ 3-8 แสดงกระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก, ค่าไบแอส ต่างๆ เมื่อกระบวนการปรับค่าเสร็จสมบูรณ์ ค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบแอส จะทำให้ สมการที่ (3-4) และ สมการที่ (3-5) เป็นจริง



ภาพที่ 3-8 ผังกระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี PRLAB

3.5.5 เปลี่ยนข้อมูลฝึกสอนเป็นชุดที่ 2 หรือ $ii = 2$

3.5.6 ทำหัวข้อ 3.5.3, 3.5.4 ซ้ำอีกจนกระทั่งครบทุกข้อมูลฝึกสอน หรือ $ii = k$ ก็เป็นอันสิ้นสุดการหาค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี QLBA โดยแสดงกระบวนการทั้งหมดในภาพที่ 3-8

3.6 กระบวนการแพร่ของ BAM

การเรียนรู้หรือการคืนค่าใน BAM ซึ่งแสดงในภาพที่ 3-9 เริ่มด้วยการใส่ค่าอินพุต $X^{q(1)}$ ซึ่งเป็นข้อมูลโจทย์เข้าไป BAM อัลกอริทึม จะคำนวณหาค่า $Y^{q(1)}$ โดยวิธีการแพร่แบบไปข้างหน้า ซึ่งกระบวนการแพร่แบบต่างๆจะกล่าวในหัวข้อถัดไป เราก็จะได้ข้อมูลคู่ลำดับ $(X^{q(1)}, Y^{q(1)})$ ซึ่งเป็นสถานะแรกของการคืนค่า ต่อมา BAM อัลกอริทึม จะหาค่าในสถานะถัดไป คือ BAM อัลกอริทึม จะคำนวณหาค่า $X^{q(2)}$ โดยวิธีการแพร่แบบย้อนกลับ BAM จะทำการปรับเปลี่ยนค่าในแต่ละบิตของ $X^{q(state)}$ และ $Y^{q(state)}$ เป็นสถานะใหม่ โดยกระทำการกับค่าถ่วงน้ำหนัก กระบวนการปรับค่าใน BAM จะกระทำไปเรื่อยๆ จนถึงจุดๆหนึ่งที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างข้อมูลสถานะปัจจุบัน คือ $(X^{q(h)}, Y^{q(h)})$ กับข้อมูลสถานะก่อนหน้านี้ $(X^{q(h-1)}, Y^{q(h-1)})$ และจะเรียก $(X^{q(h)}, Y^{q(h)})$ ซึ่งแสดงในภาพที่ 3-10 ว่าเป็นคำตอบสุดท้ายของการคืนค่า ซึ่งจะพบว่ามันเป็นข้อมูลหนึ่งอยู่ในข้อมูลฝึกสอน

ในบางกรณีข้อมูล X^q บางตัว เมื่อผ่านกระบวนการคืนค่าของ BAM แล้วไม่เกิดการหยุดเปลี่ยนค่าของ X^q และ Y^q หรือ ไม่เกิดการลู่เข้าสู่ค่าคงที่ [8] ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหานี้ได้มีการศึกษา และ แก้ไขโดยพบว่าจะมีที่เหมาะสมของค่าถ่วงน้ำหนักค่าหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบได้ โดยวิธีการหาค่าถ่วงน้ำหนักอาจจะใช้ PRLAB หรือ QLBA เป็นต้น

3.7 ขั้นตอนการคืนค่าข้อมูลของ BAM

กำหนดข้อมูลฝึกสอน A^{ii} กับ B^{ii} และ X^{ii} กับ Y^{ii} มีความหมายดังนี้

$(A^{ii} : a_1^{ii}, a_2^{ii}, \dots, a_n^{ii})$ เป็นข้อมูลฐานไบนารี และ ประกอบด้วยข้อมูล n ตำแหน่ง

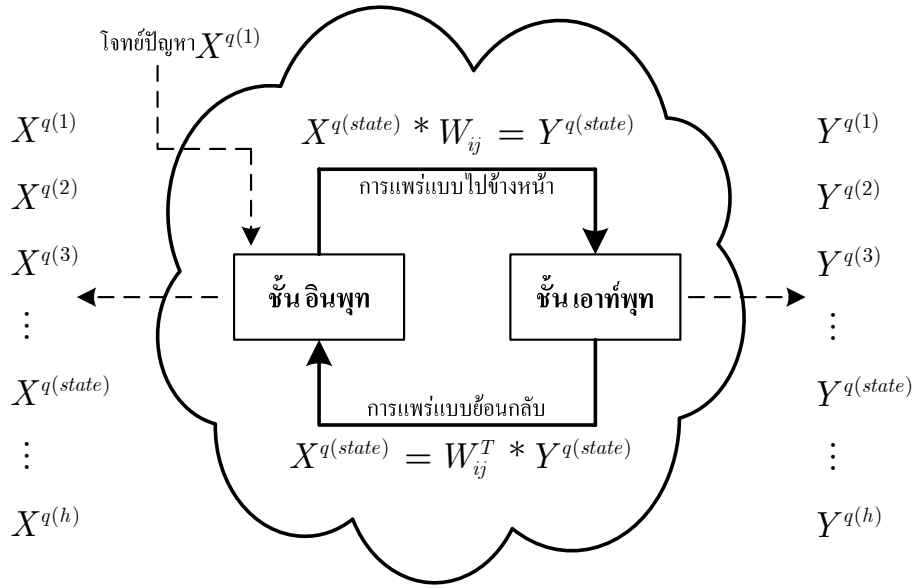
$(B^{ii} : b_1^{ii}, b_2^{ii}, \dots, b_m^{ii})$ เป็นข้อมูลฐานไบนารี ประกอบด้วยข้อมูล m ตำแหน่ง

$(X^{ii} : x_1^{ii}, x_2^{ii}, \dots, x_n^{ii})$ เป็นข้อมูลฐานไบโพลาร์ ประกอบด้วยข้อมูล n ตำแหน่ง

$(Y^{ii} : y_1^{ii}, y_2^{ii}, \dots, y_m^{ii})$ เป็นข้อมูลฐานไบโพลาร์ ประกอบด้วยข้อมูล m ตำแหน่ง

$\{(A^{ii}, B^{ii}), (A^2, B^2), \dots, (A^k, B^k)\}$ โดย k คือจำนวนชุดของข้อมูลฝึกสอน

3.7.1 ขั้นตอนที่ 1 แปลงโจทย์ข้อมูลอินพุตที่ต้องการคืนค่า คือ $(A^{q(1)}, B^{q(1)})$ จากฐาน ไบนารี (Binary Mode) ที่มีค่า 0 หรือ 1 เป็น $(X^{q(1)}, Y^{q(1)})$ เป็นฐานไบโพลาร์ (Bipolar Mode) ที่มีสมาชิกคือ -1 หรือ 1 ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนข้อมูลในแต่ละบิตที่มีค่า 0 เป็น -1 ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-9 กระบวนการแพร่แบบไปข้างหน้าและย้อนกลับของการคั่นค่า X^q

$$\begin{array}{llll}
 X^{q(1)} & \rightarrow & W_{ij} & \rightarrow & Y^{q(1)} & \Rightarrow & (X^{q(1)}, Y^{q(1)}) \\
 X^{q(2)} & \leftarrow & W_{ij}^T & \leftarrow & Y^{q(1)} & & \\
 X^{q(2)} & \rightarrow & W_{ij} & \rightarrow & Y^{q(2)} & \Rightarrow & (X^{q(2)}, Y^{q(2)}) \\
 X^{q(3)} & \leftarrow & W_{ij}^T & \leftarrow & Y^{q(2)} & & \\
 & & \vdots & & & \Rightarrow & (X^{q(state)}, Y^{q(state)}) \\
 & & \vdots & & & & \\
 X^{q(h-1)} & \rightarrow & W_{ij} & \rightarrow & Y^{q(h-1)} & \Rightarrow & (X^{q(h-1)}, Y^{q(h-1)}) \\
 X^{q(h)} & \leftarrow & W_{ij}^T & \leftarrow & Y^{q(h-1)} & & \\
 X^{q(h)} & \rightarrow & W_{ij} & \rightarrow & Y^{q(h)} & \Rightarrow & (X^{q(h)}, Y^{q(h)})
 \end{array}$$

ภาพที่ 3-10 กระบวนการคั่นค่าของ $X^{q(1)}$ และ $Y^{q(1)}$

$$\left\{ \begin{array}{l} A^{q(1)} \in \{0,1\}^n = (a_1^{q(1)}, \dots, a_n^{q(1)}) \\ B^{q(1)} \in \{0,1\}^m = (b_1^{q(1)}, \dots, b_m^{q(1)}) \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X^{q(1)} \in \{-1,1\}^n = (x_1^{q(1)}, \dots, x_n^{q(1)}) \\ Y^{q(1)} \in \{-1,1\}^m = (y_1^{q(1)}, \dots, y_m^{q(1)}) \end{array} \right\}$$

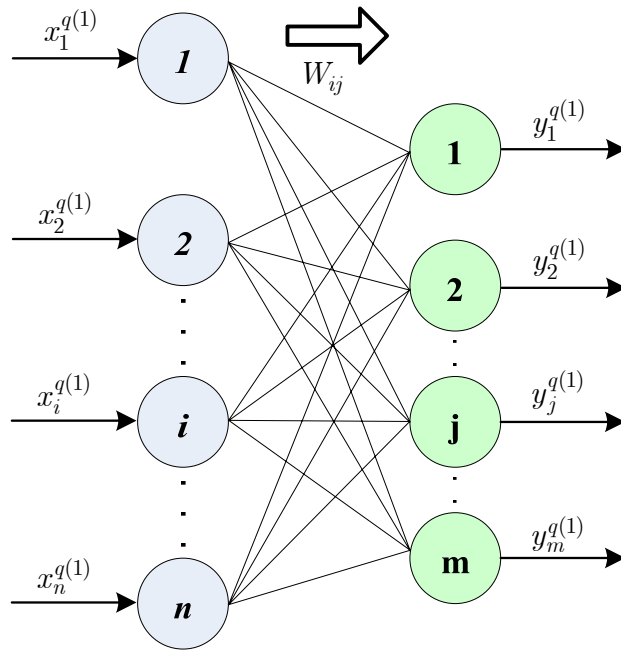
ฐานไบนารี ฐานไบโพลาร์

ภาพที่ 3-11 การแปลงข้อมูลไบนารีเป็นข้อมูลไบโพลาร์

3.7.2 ขั้นตอนที่ 2 คือ คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักจากข้อมูลฝึกสอน สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้การหาค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij} ด้วยวิธี QLBAM เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ที่ทำให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบได้ดีที่สุด

3.7.3 ขั้นตอนที่ 3 คือ ทำการแพร่ข้อมูล ทั้งแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับ ดังนี้

3.7.3.1 กระบวนการแพร่แบบไปข้างหน้า (Forward Direction) คือ การใส่ข้อมูลอินพุต คือ X^p แล้วดำเนินการกับค่าถ่วงน้ำหนักจนเกิดค่า ข้อมูลเอาต์พุต คือ Y^p แสดงในภาพที่ 3-12 และ สมการที่ (3-13), (3-14)



ภาพที่ 3-12 กระบวนการแพร่ข้อมูลแบบไปข้างหน้า

$$Y^q(t) = \text{sgn}(X^q(t) * W_{ij} - \theta_x) \quad (3-13)$$

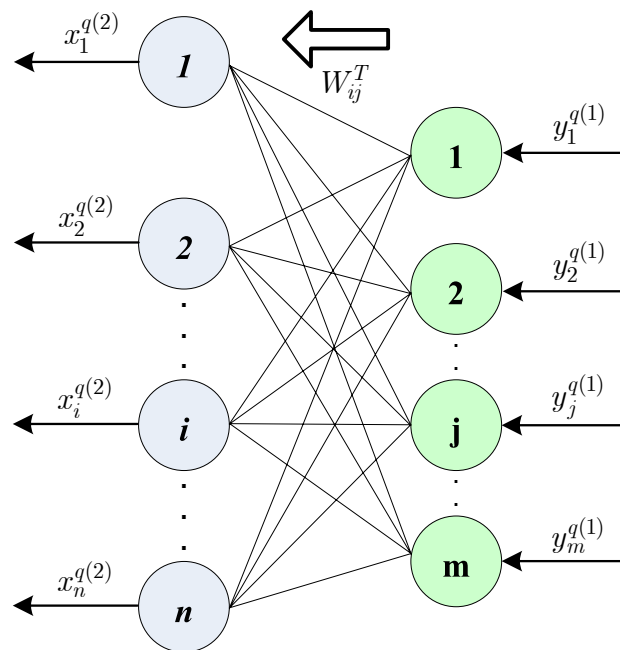
$$\text{sgn}(u) = \begin{cases} +1 & ; u > 1 \\ u & ; u = 0 \\ -1 & ; u < 1 \end{cases} \quad (3-14)$$

เมื่อ θ_x คือค่า ไบแอส ที่มีขนาดเท่ากับ n ตัว

3.7.3.2 กระบวนการแพร่แบบย้อนกลับ (Backward Direction) คือ เหมือนกับการแพร่ไปข้างหน้า แต่ต่างที่การใส่ค่าเพื่อคำนวณ คือ การใส่ข้อมูลอินพุตเป็น Y^p แล้วดำเนินการกับค่าถ่วงน้ำหนักจนเกิดค่าข้อมูลเอาต์พุตได้เป็น X^p หรือแสดงได้ในสมการที่ (3-15) และแสดงในภาพที่ 3-13

$$X^q(t) = \text{sgn}(Y^q(t) * W_{ij}^T - \theta_y) \quad (3-15)$$

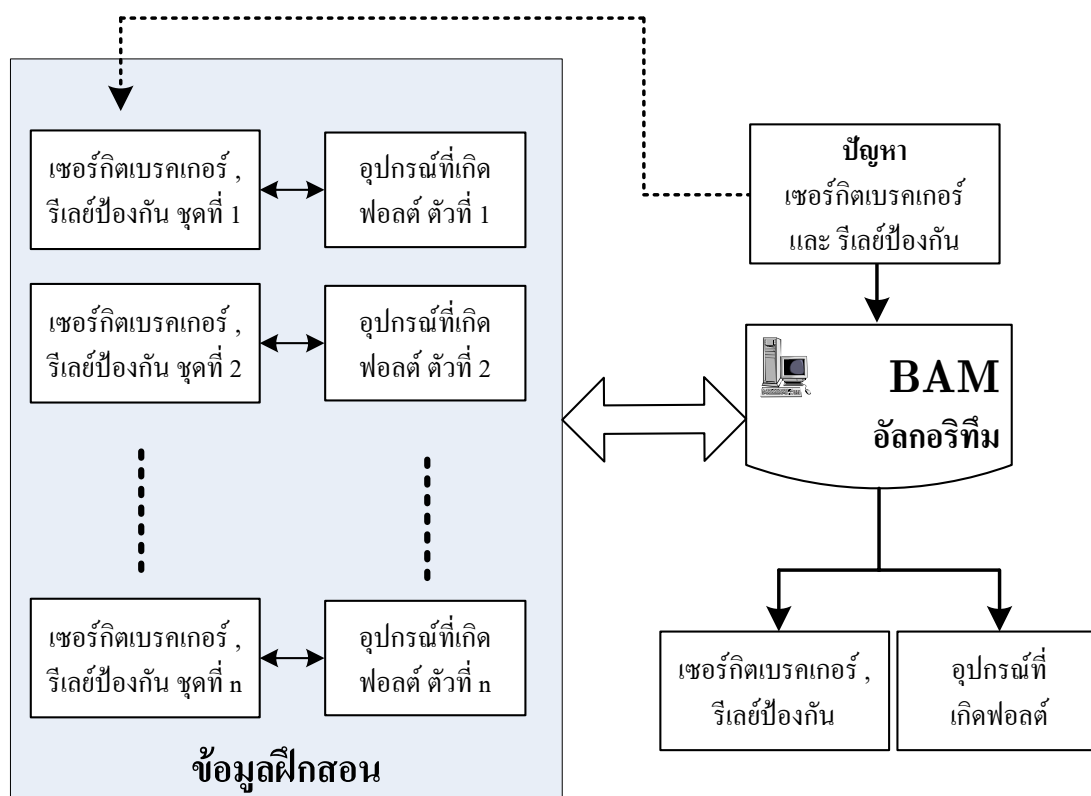
เมื่อ θ_y คือค่า ไบแอส ที่มีขนาดเท่ากับ m ตัว



ภาพที่ 3-13 กระบวนการแพร่ข้อมูลแบบย้อนกลับ

3.8 การประยุกต์ใช้งาน BAM กับการวิเคราะห์ฟอลต์ระบบไฟฟ้า

เราสามารถรวบรวมคู่ลำดับความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน ได้ดังภาพที่ 3-14 ดังนั้นเมื่อมีข้อมูลอินพุตคือสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน เข้ามาใน BAM อัลกอริทึม มันจะทำการค้นหาในฐานข้อมูลฝึกสอนเพื่อคืนค่าที่ถูกต้องของสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์



ภาพที่ 3-14 กระบวนการวิเคราะห์ฟอลต์ด้วยวิธี BAM

ทดสอบกับข้อมูลฝึกสอนจำนวน 3 กลุ่มข้อมูล โดย กลุ่มข้อมูล 2 กลุ่มแรกเป็นข้อมูลทั่วไปที่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สุ่มขึ้นมา ส่วนกลุ่มข้อมูลที่ 3 เป็นการทดสอบกับข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์เหตุการณ์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.8.1 กลุ่มข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย $\{A^{ii}, B^{ii}\}$ จำนวน 6 ชุดข้อมูลฝึกสอน โดยข้อมูล A^{ii} ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 29 บิต หรือ $\{a_1^{ii}, a_2^{ii}, \dots, a_{29}^{ii}\}$ แสดงในตารางที่ 3-1 และข้อมูล B^{ii} ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 25 บิต หรือ $\{b_1^{ii}, b_2^{ii}, \dots, b_{25}^{ii}\}$ ซึ่งแสดงในตารางที่ 3-2

สำหรับตารางที่ 3-3 จะนำเสนอตัวอย่างการคืนค่าสำหรับข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 จำนวน 12 ปัญหา โดยในแต่ละปัญหามีข้อมูลบางตำแหน่งบิตที่เกิดการผิดพลาด ค่าในวงเล็บจะแสดงถึงจำนวนบิตที่ข้อมูลมีการผิดพลาด ส่วนตารางที่ 3-14 จะนำเสนอการวิเคราะห์จำนวนข้อมูลที่มีค่าเท่ากับ 1 และ 0 ของชุดข้อมูลที่ 1 ถึง 6

วิธีการทดลองคืนค่าที่เราทำได้ โดยนำข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลมาเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละบิต เช่น ในตารางที่ 3-3 ตัวอย่างปัญหาที่ 3 เราเปลี่ยนชุดข้อมูลที่ 2 บิตที่ 27 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 และบิตที่ 11, 16 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 และให้โปรแกรมคืนค่าซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่า หรือ ค่าเกิด

ผิดพลาด จำนวน 3 ตำแหน่ง ผลปรากฏว่าคันท่าได้สมบูรณ์ และโปรแกรมใช้เวลาทั้งสิ้นในการคันท่า ตัวอย่างปัญหาละประมาณ 1 ถึง 1.30 วินาที

3.8.2 กลุ่มข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 จะมีขนาดของข้อมูลเหมือนกับ กลุ่มข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 แต่จะต่างกันที่ข้อมูลภายใน กลุ่มข้อมูลฝึกสอนกลุ่มที่ 2 นี้ประกอบด้วย $\{A^{ii}, B^{ii}\}$ จำนวน 6 ชุด ข้อมูลฝึกสอน โดยข้อมูล A^{ii} ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 29 บิต ซึ่งแสดงในตารางที่ 3-5 หรือ $\{a_1^{ii}, a_2^{ii}, \dots, a_{29}^{ii}\}$ และโดยข้อมูล B^{ii} ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 25 บิต แสดงในตารางที่ 3-6 หรือ $\{b_1^{ii}, b_2^{ii}, \dots, b_{25}^{ii}\}$

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 ของ A^{ii}

ลำดับ บิต ชุด \ ข้อมูล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
4	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
6	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 ของ B^{ii}

ลำดับ บิต ชุด \ ข้อมูล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
5	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
6	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1

ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบการคืนค่าสำหรับข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1

ตัวอย่าง ปัญหา	ข้อมูลต้นแบบ	ตำแหน่งบิตที่เปลี่ยนค่า จาก 1 เป็น 0 (จำนวนตำแหน่งเปลี่ยน)	ตำแหน่งบิตที่เปลี่ยนค่า จาก 0 เป็น 1 (จำนวนตำแหน่งเปลี่ยน)	ผลการคืนค่า เปรียบเทียบกับ ข้อมูลต้นแบบ
1	ชุดข้อมูลที่ 1	11, 17 (2)	4, 8 (2)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
2	ชุดข้อมูลที่ 1	1, 5 (2)	ไม่มี (0)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
3	ชุดข้อมูลที่ 2	27 (1)	11, 16 (2)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
4	ชุดข้อมูลที่ 2	15 (1)	3, 7, 25 (3)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
5	ชุดข้อมูลที่ 3	28 (1)	8, 16 (2)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
6	ชุดข้อมูลที่ 3	ไม่มี (0)	9, 13 (2)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
7	ชุดข้อมูลที่ 3	1 (1)	9, 13 (2)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
8	ชุดข้อมูลที่ 4	ไม่มี (0)	7, 8, 18 (3)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
9	ชุดข้อมูลที่ 4	15, 16 (2)	ไม่มี (0)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
10	ชุดข้อมูลที่ 5	15, 29 (2)	5, 14, 26 (3)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
11	ชุดข้อมูลที่ 6	10, 11 (2)	ไม่มี (0)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
12	ชุดข้อมูลที่ 6	3, 7 (2)	12, 24 (2)	เหมือนข้อมูลต้นแบบ

ตารางที่ 3-4 วิเคราะห์ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1

ชุดข้อมูล (ii)	$a^{ii} = 1$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด	$a^{ii} = 0$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด	$b^{ii} = 1$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด	$b^{ii} = 0$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด
ชุดข้อมูลที่ 1	34.48	65.51	40	60
ชุดข้อมูลที่ 2	27.58	72.41	20	80
ชุดข้อมูลที่ 3	31.03	69.96	24	76
ชุดข้อมูลที่ 4	37.93	62.06	40	60
ชุดข้อมูลที่ 5	31.03	68.96	32	68
ชุดข้อมูลที่ 6	48.27	51.72	32	68

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 ของ A^{ii}

ลำดับ บิต ชุด \ ข้อมูล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 ของ B^{ii}

ลำดับ บิต ชุด \ ข้อมูล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

วิธีการทดลองคืบค่าเราทำเช่นเดิมแต่เปลี่ยนข้อมูลฝึกสอนใหม่ จากตารางที่ 3-8 พบว่าข้อมูลมีความแตกต่างจาก ตารางที่ 3-4 อยู่พอสมควร คือ ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 มี จำนวนข้อมูลที่เท่ากับ 1 อยู่ประมาณ 24 % (ค่าเฉลี่ยที่คิดจากทั้ง 6 ชุดข้อมูล ซึ่งอยู่ในคอลัมน์ที่ 2 ของ ตารางที่ 3-8) จากข้อมูลนี้ส่งผลให้ ตารางที่ 3-7 มีความสำเร็จในการคืบค่า 5 ใน 12 การทดลอง ซึ่งจากผลตรงนี้เองทำให้เมื่อนำ BAM อัลกอริทึม มาใช้กับข้อมูลที่มีความแตกต่างของ 1 กับ 0 มากจะทำให้การคืบค่าไม่ถูกต้อง

ตารางที่ 3-7 ผลการทดสอบการคืนค่าสำหรับข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2 เมื่อเกิดข้อมูลผิดพลาดที่ A^{ii}

ตัวอย่าง ปัญหา	ข้อมูลต้นแบบ	ตำแหน่งบิตที่เปลี่ยนค่า จาก 1 เป็น 0 (จำนวนตำแหน่งเปลี่ยน)	ตำแหน่งบิตที่เปลี่ยนค่า จาก 0 เป็น 1 (จำนวนตำแหน่งเปลี่ยน)	ผลการคืนค่า เปรียบเทียบกับ ข้อมูลต้นแบบ
1	ชุดข้อมูลที่ 1	11	8	A ผิดพลาด 6 ค่า B ผิดพลาด 5 ค่า
2	ชุดข้อมูลที่ 1	1, 5	ไม่มี	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
3	ชุดข้อมูลที่ 2	27	11, 16	A ผิดพลาด 7 ค่า B ผิดพลาด 4 ค่า
4	ชุดข้อมูลที่ 2	27	16	A ผิดพลาด 7 ค่า B ผิดพลาด 4 ค่า
5	ชุดข้อมูลที่ 3	ไม่มี	8, 16	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
6	ชุดข้อมูลที่ 3	7	8, 16	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
7	ชุดข้อมูลที่ 3	20, 29	19, 20	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
8	ชุดข้อมูลที่ 4	1, 10, 22	ไม่มี	A ผิดพลาด 9 ค่า B ผิดพลาด 6 ค่า
9	ชุดข้อมูลที่ 4	1	ไม่มี	A ผิดพลาด 9 ค่า B ผิดพลาด 6 ค่า
10	ชุดข้อมูลที่ 5	ไม่มี	24, 26	เหมือนข้อมูลต้นแบบ
11	ชุดข้อมูลที่ 6	14, 20, 26	ไม่มี	A ผิดพลาด 9 ค่า B ผิดพลาด 6 ค่า
12	ชุดข้อมูลที่ 6	14	5	A ผิดพลาด 9 ค่า B ผิดพลาด 6 ค่า

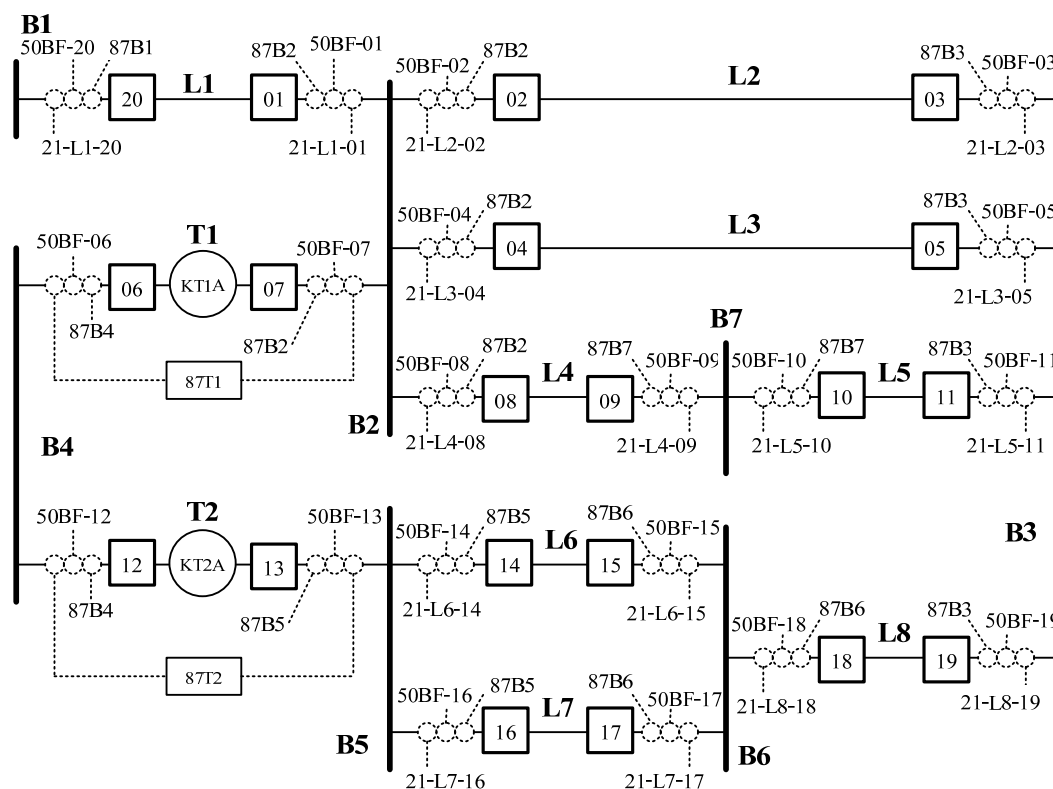
ตารางที่ 3-8 วิเคราะห์ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 2

ชุดข้อมูล (ii)	$a^{ii} = 1$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด	$a^{ii} = 0$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด	$b^{ii} = 1$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด	$b^{ii} = 0$ หรือ คิดเป็น % ของทั้งหมด
ชุดข้อมูลที่ 1	24.13	75.86	20	80
ชุดข้อมูลที่ 2	20.68	79.31	16	84
ชุดข้อมูลที่ 3	13.79	86.20	8	92
ชุดข้อมูลที่ 4	27.58	72.41	24	76
ชุดข้อมูลที่ 5	20.68	79.31	16	84
ชุดข้อมูลที่ 6	34.48	65.51	20	80

3.8.3 กลุ่มข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 3 นำข้อมูลมาจากระบบไฟฟ้าในภาพที่ 3-15 ซึ่งระบบไฟฟ้านี้ มี 17 อุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ประกอบด้วย 7 บัส 8 สายส่ง 2 หม้อแปลง และอุปกรณ์ระบบป้องกัน ได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ รีเลย์ป้องกัน รวม 65 ตัว โดยได้ปรับปรุงระบบไฟฟ้านี้มาจากระบบ 3 บัส [10] โดยเพิ่มจำนวน บัส สายส่ง และ รีเลย์ป้องกัน ให้มีความซับซ้อนกว่าเดิม สำหรับข้อมูลฝึกสอน หรือ $\{A^{ii}, B^{ii}\}$ มีทั้งหมด 17 ชุดข้อมูลฝึกสอน หรือ $ii = 1, 2, \dots, 17$ ซึ่งเท่ากับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้าทดสอบ และ ข้อมูลอินพุต หรือ A^{ii} ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 65 บิต หรือ $\{a_1^{ii}, a_2^{ii}, \dots, a_{65}^{ii}\}$ ซึ่งมาจากจำนวน รีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทั้งหมดในระบบไฟฟ้า ส่วนข้อมูลเอาต์พุต คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ ข้อมูล B^{ii} ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 37 บิต หรือ $\{b_1^{ii}, b_2^{ii}, \dots, b_{37}^{ii}\}$ ซึ่งข้อมูลทั้ง 37 บิต ประกอบด้วย แทนข้อมูลเหตุการณ์อุปกรณ์เกิดฟอลต์ 17 บิต และข้อมูลเหตุการณ์อุปกรณ์เกิดฟอลต์และเกิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวอีก 20 บิต ใน ตารางที่ 3-9 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลฝึกสอนบางส่วน หรือ คัดมาแค่บางตัวอย่าง โดยเหตุการณ์ ฟอลต์ยังรวมกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวด้วย และ ตารางที่ 3-10 แสดงผลลัพธ์การคืนค่า

ตารางที่ 3-9 ตัวอย่างข้อมูลฝึกสอนบางส่วน สำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 3-14

อุปกรณ์ฟอลต์	อุปกรณ์ทำงานล้มเหลว	เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน
L1	ไม่เกิด	01, 20, 21-L1-01, 21-L1-20
L3	ไม่เกิด	04, 05, 21-L3-04, 21-L3-05
L4	ไม่เกิด	08, 09, 21-L4-08, 21-L4-09
B4	ไม่เกิด	06, 12, 87B4
B6	ไม่เกิด	15, 17, 18, 87B6
B7	ไม่เกิด	09, 10, 87B7
L1	01	02, 04, 07, 08, 20, 21-L1-01, 21-L1-20, 87B2, 50BF-01
L3	04	01, 02, 05, 07, 08, 21-L3-04, 21-L3-05, 87B2, 50BF-04
L5	10	09, 11, 04, 07, 08, 21-L5-10, 21-L5-11, 87B7, 50BF-10
L7	17	15, 16, 18, 07, 08, 21-L7-16, 21-L7-17, 87B6, 50BF-17



ภาพที่ 3-15 ระบบไฟฟ้าทดสอบ ขนาด 7 บัส 8 สายส่ง

ตารางที่ 3-10 ผลลัพธ์การค้นค่ากรณี เกิดข้อมูลสูญหาย และ ข้อมูลแปลกปลอมเพิ่มเข้ามา

อุปกรณ์ ฟอลต์	อุปกรณ์ที่ ทำงานล้มเหลว	เซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์ ป้องกัน ที่ทำงานทั้งหมด	ข้อมูล สูญหาย	ข้อมูล แปลกปลอม	ผลการหา อุปกรณ์ฟอลต์
L1	ไม่เกิด	01, 20, 21-L1-01, 21-L1-20	20	21-L6-15	ถูกต้อง
L3	ไม่เกิด	04, 05, 21-L3-04, 21-L3-05	21-L3-05	07, 09	ถูกต้อง
L4	ไม่เกิด	08, 09, 21-L4-08, 21-L4-09	09	20	ไม่ถูกต้อง
B4	ไม่เกิด	06, 12, 87B4	87B4	ไม่เกิด	ไม่ถูกต้อง
B6	ไม่เกิด	15, 17, 18, 87B6	ไม่เกิด	87B2	ถูกต้อง
B7	ไม่เกิด	09, 10, 87B7	87B7	87B6	ไม่ถูกต้อง
L1	01	02, 04, 07, 08, 20, 21-L1-01, 21-L1-20, 87B2, 50BF-01	04, 50BF-01	ไม่เกิด	ถูกต้อง
L3	04	01, 02, 05, 07, 08, 21-L3-04, 21-L3-05, 87B2, 50BF-04	50BF-04	ไม่เกิด	ถูกต้อง
L5	10	09, 11, 04, 07, 08, 21-L5-10, 21-L5-11, 87B7, 50BF-10	87B7	01	ถูกต้อง
L7	17	15, 16, 18, 07, 08, 21-L7-16, 21-L7-17, 87B6, 50BF-17	87B6, 50BF-17	ไม่เกิด	ไม่ถูกต้อง

3.9 สรุป

3.9.1 ข้อดีของการวิเคราะห์ฟอลต์ด้วย BAM สามารถสรุปได้ ดังนี้

3.9.1.1 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการคืบคลาน BAM อัลกอริทึม จะสามารถคืบคลานค่าอุปกรณ์ฟอลต์, สถานะการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงานถูกต้องได้

3.9.1.2 BAM อัลกอริทึม สามารถวิเคราะห์อุปกรณ์ฟอลต์ได้ถูกต้องแม้ข้อมูลอินพุตคือ สถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ รีเลย์ป้องกัน จะสูญหายบางส่วนได้

3.9.1.3 BAM อัลกอริทึม ดีกว่าวิธีการสืบค้นแบบอื่น เพราะว่าเมื่อพบข้อมูลผิดพลาดจะ แก้ไขข้อมูลอินพุตพร้อมทั้งแสดงข้อมูลเอาต์พุตออกมาในเวลาเดียวกัน

3.9.2 ข้อด้อยของการวิเคราะห์ฟอลต์ด้วย BAM สามารถสรุปได้ ดังนี้

การนำวิธี BAM มาแก้ปัญหาวิเคราะห์ฟอลต์แม้ผู้ทำวิจัยจะนำวิธี QLBAM มาใช้ในการหาค่า ถ่วงน้ำหนักเพื่อให้แน่ใจว่าทุกชุดข้อมูลอินพุตเมื่อผ่านกระบวนการคืบคลานแล้วจะพบจุดคงที่แต่ทาง ผู้ทำวิจัยก็ยังคงพบปัญหาอื่นอีก คือ จากผลลัพธ์จากตารางที่ 3-10 แสดงให้เห็นว่า ในบางกรณี ข้อมูลสูญหายโปรแกรมไม่สามารถคืบคลานค่าที่ถูกต้องได้ อีกทั้งพบปัญหาอื่นอีก ดังนี้

3.9.2.1 เมื่อระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกันจะมี มากขึ้นด้วย ทำให้ขนาดเมตริกซ์ ในการคำนวณมีขนาดใหญ่ตาม ผลที่ตามมาคือการคำนวณจะใช้ เวลามากขึ้น จากตัวอย่างในตารางที่ 3-10 ในแต่ละโจทย์ข้อมูลจะใช้เวลาประมาณ 8-9 วินาที

3.9.2.2 เมื่อข้อมูลที่สำคัญเกิดการสูญหาย โปรแกรม BAM ก็ไม่สามารถคืบคลานค่าที่ถูกต้อง ได้ เช่น ในตารางที่ 3-10 ตัวอย่างการเกิดฟอลต์ที่ B4 และ ข้อมูล 87B4 เกิดสูญหาย การคืบคลานค่าก็ไม่สามารถคืบคลานค่าที่ถูกต้องได้

3.9.2.3 เมื่อเกิดการสูญหายของข้อมูล หรือ มีข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ รีเลย์ป้องกัน ที่ ทำงานบางตัวสูญหายไป มากกว่า 3 ค่า จะเป็นผลทำให้โปรแกรม BAM ไม่สามารถคืบคลานค่าที่ถูกต้อง ได้ สาเหตุมาจากสัดส่วนของข้อมูล 1 กับ 0 ของข้อมูลฝึกสอนสำหรับการวิเคราะห์ฟอลต์ในระบบ ไฟฟ้ามีค่าต่างกันมาก เป็นเหตุผลเดียวกับการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มที่ 2

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้ทบทวนหาวิธีการใหม่เพื่อตอบสนองต่อปัญหาการขาดหายไปของข้อมูล อินพุตบางส่วน ซึ่งวิธีการอื่นจะกล่าวในบทถัดไป

บทที่ 4

ระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี

จากบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง ในการตรวจสอบอุปกรณ์ฟอลต์จากฐานข้อมูลฝึกสอน หรือ ข้อมูลการทำงานของรีเลย์ป้องกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงานเมื่อเกิดฟอลต์ที่อุปกรณ์ต่างๆ BAM มีข้อดีที่สามารถจะคืนค่าข้อมูลอินพุตให้ถูกต้องจะเกิดข้อมูลผิดพลาดและจะคืนค่าข้อมูลเอาต์พุตออกมาด้วย แต่ BAM ก็มีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้งานกับระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยรีเลย์ป้องกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์จำนวนมาก ผลก็คือทำให้ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งอาจคืนค่าคำตอบที่ผิดได้ แม้จะใช้เทคนิคการหาค่าถ่วงน้ำหนักแบบต่างๆก็ตาม

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้หาอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ และเสนอวิธีการสร้างฐานความรู้ที่เก็บรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกัน กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ โดยใช้แผนภาพแซกจิตอล และนำเสนอการนำความสัมพันธ์แบบฟัซซีร่วมกับวิธีระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อแก้วิเคราะห์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้า

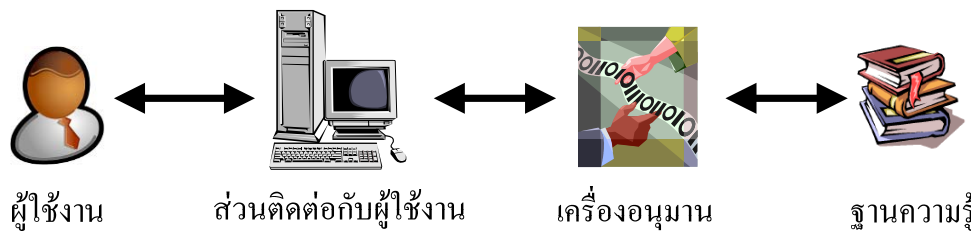
ระบบผู้เชี่ยวชาญ คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความฉลาด ที่คอยแนะนำผู้ใช้งานในเรื่องที่ตนเองมีความรู้เฉพาะอยู่ ระบบผู้เชี่ยวชาญอาศัยการใช้ความรู้และกลไกการอนุมานในการแก้ปัญหาต่างๆที่ยุ่งยากโดยอาศัยฐานข้อมูลความรู้ที่ได้รวบรวมเก็บไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งความรู้ต่างๆมาจากประสบการณ์ความรู้ และความชำนาญที่ผ่านมาของผู้สร้างโปรแกรม ตัวอย่างการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญที่พบเห็น เช่น การจำแนกประเภทของผู้ป่วยโรคต่างๆ หรือการสืบค้นหาสิ่งผิดปกติในเครื่องจักร เป็นต้น โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญแสดงในภาพที่ 4-1

4.1 ส่วนประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.1.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) เป็นตัวกลางที่ติดต่อระหว่างระบบผู้เชี่ยวชาญกับผู้ใช้งาน เช่น ใช้ตั้งคำถามจากผู้ใช้งาน และ แสดงคำตอบหรือคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น

4.1.2 เครื่องอนุมาน (Inference Engine) หรือ ตัวค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับฐานความรู้ เครื่องอนุมานจะบรรจุตามที่ถูกพัฒนาโปรแกรมจัดทำไว้ เครื่องอนุมานมีหน้าที่ เป็นส่วนที่ควบคุมการใช้ความรู้เกี่ยวกับฐานความรู้

4.1.3 ฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นที่เก็บรวบรวมความรู้สำหรับอธิบายเหตุการณ์ต่างๆที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นฐานความรู้หนึ่งๆจึงใช้ได้กับระบบๆหนึ่งเท่านั้น โดยความรู้ต่างๆเหล่านี้ถูกระดมมาจากประสบการณ์ทำงานของพนักงานศูนย์ควบคุม โดยเป็นความรู้เกี่ยวกับเหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆที่เคยเกิดขึ้นในอดีต มารวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกัน กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ โดยส่วนมาก กฎถ้า-แล้ว (If-Then Rule) ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีในการสร้างข้อมูลความรู้บรรจุในฐานความรู้



ภาพที่ 4-1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.2 การใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญกับการวิเคราะห์ฟอลต์

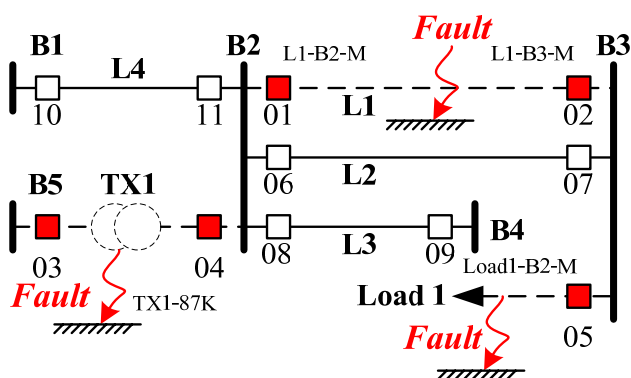
การใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ฟอลต์ ทำได้โดยสร้างฐานความรู้เกี่ยวกับสถานะการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกันกับอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า ถ้าอุปกรณ์หนึ่งอุปกรณ์ใดเกิดฟอลต์แล้วต้องมีรีเลย์ป้องกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์บางตัวทำงาน เช่นในภาพที่ 5 แสดงเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่ 3 อุปกรณ์ และในตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างกฎถ้า-แล้วต่างๆไปสำหรับหาว่าอุปกรณ์ใดเกิดฟอลต์จากภาพที่ 4-2 เช่น ถ้าพบข้อมูลเตือน CBs05 และ Load1-B2-M ทำงานแล้วแสดงว่าเกิดฟอลต์ที่ Load1 ดังนั้นถ้าเราสามารถสร้างกฎถ้า-แล้วที่ครอบคลุมทุกเหตุการณ์ฟอลต์ที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดได้เมื่อมีข้อมูลเตือนต่างๆเข้ามาเราก็สามารถจะหาว่าอุปกรณ์ใดในระบบไฟฟ้าเกิดฟอลต์ขึ้นได้เช่นกัน สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญหนึ่งๆฐานความรู้จะถูกเขียนขึ้นจากเงื่อนไขของผู้ออกแบบโปรแกรมเองโดยในบทความนี้ใช้ตารางที่ 2 เป็นเงื่อนไขในการสร้างฐานความรู้ ขอยกตัวอย่างการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาใช้วิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้าในเหตุการณ์หนึ่งๆ ดังนี้

4.2.1 จากตัวอย่างในภาพที่ 4-2 เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า จะมีข้อความเตือนต่างๆส่งมาแสดงที่ศูนย์ควบคุม ซึ่งข้อความเหล่านั้นประกอบด้วย 01, 02, 03, 04, 05, L1-B2-M, L1-B3-M, TX1-87K, Load1-B2-M

4.2.2 พนักงานศูนย์ควบคุมจะนำค่าข้อมูลเตือนต่างๆที่ได้รับนี้ กรอกใส่ใน ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยทำตามขั้นตอนที่ผู้พัฒนาโปรแกรมจัดทำ

4.2.3 เมื่อระบบผู้เชี่ยวชาญได้รับข้อมูลเตือนแล้ว จะทำการค้นหาข้อมูลอินพุต กับฐานความรู้ผ่านเครื่องอนุมาน โดยฐานความรู้นั้นได้ถูกสร้างไว้แล้วก่อนหน้านี้อยู่แล้ว กฎถ้า-แล้ว เป็นอีกวิธีหนึ่งในการสร้างฐานความรู้โดยได้แสดงตัวอย่างฐานความรู้ในตารางที่ 4-1

4.2.4 เมื่อเครื่องอนุมานตรวจพบข้อมูลอุปกรณ์ฟอลต์ ที่เป็นไปตามกฎถ้า-แล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญ นำเสนอคำตอบ ผ่าน ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน



ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างเหตุการณ์เกิดฟอลต์ขึ้นใน 3 อุปกรณ์พร้อมกัน

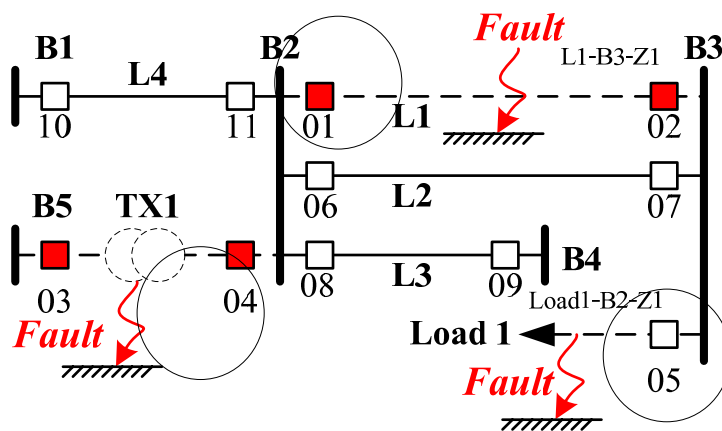
ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างข้อมูล ฐานความรู้ และ เครื่องอนุมาน สำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-2

เครื่องมือ	กฎถ้า-แล้ว	รายละเอียด
 ฐานความรู้	กฎถ้า-แล้วกฎที่ 1	ถ้า L1-B2-M & L1-B3-M & 01 & 02 ทำงานแล้ว → เกิดฟอลต์ที่สายส่ง L1
	กฎถ้า-แล้วกฎที่ 2	ถ้า L2-B2-M & L2-B3-M & 01 & 02 ทำงานแล้ว → เกิดฟอลต์ที่สายส่ง L2
	กฎถ้า-แล้วกฎที่ 3	ถ้า TX1-87K & 03 & 04 ทำงานแล้ว → เกิดฟอลต์ที่หม้อแปลง TX1
	กฎถ้า-แล้วกฎที่ 4	ถ้า Load1-B2-M & 05 ทำงานแล้ว → เกิดฟอลต์ที่โหลด Load1

4.3 ปัญหาการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญกับการวิเคราะห์ฟอลต์

4.3.1 ในขั้นตอนหัวข้อ 4.2.2 การนำข้อมูลเตือนไปใส่ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ จะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละผู้ใช้งาน ดังนั้นการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานให้ผู้ใช้ใช้งานทั่วไปเข้าใจและใช้งานง่ายถือเป็นเรื่องยาก อีกทั้งผู้พัฒนาโปรแกรม ระบบผู้เชี่ยวชาญมักจะออกแบบโปรแกรมโดยสื่อความหมายกฎต่างๆคนละอย่างกับผู้ใช้งาน ดังนั้นทำให้ผู้ใช้งานทั่วไปใช้งานโปรแกรมยาก

4.3.2 ถ้าข้อมูลเตือนที่มาปรากฏที่ศูนย์ควบคุมเกิดไม่สมบูรณ์ หรือ มาไม่ครบ เช่นมีข้อมูลเตือนข้อมูลหนึ่งข้อมูลใดเกิดสูญหายไป เช่น ภาพที่ 4-3 เกิดกรณีข้อมูลเตือน L1-B2-M, TX1-87K และ 05 ซึ่งแสดงวงกลมไว้ได้หายไป หรือ ไม่มาปรากฏที่ศูนย์ควบคุม ดังนั้นเมื่อพิจารณาในขั้นตอนที่ 4.2.3 พบว่า ตามกฎ ถ้า-แล้วใน กฎข้อที่ 1 พบข้อความ L1-B2-M หายไป หรือ กฎข้อที่ 2 พบข้อความ TX1-87K และ กฎข้อที่ 3 พบข้อความ CB05 หายไป จะพบว่าเครื่องอนุมานจะหาคำตอบไม่ได้ว่าเกิดฟอลต์ที่ L1, TX1 และ Load 1 เพราะจากข้อมูลเตือนที่ได้รับไม่เป็นไปตาม กฎ ถ้า-แล้ว ใน ก, ข, ค



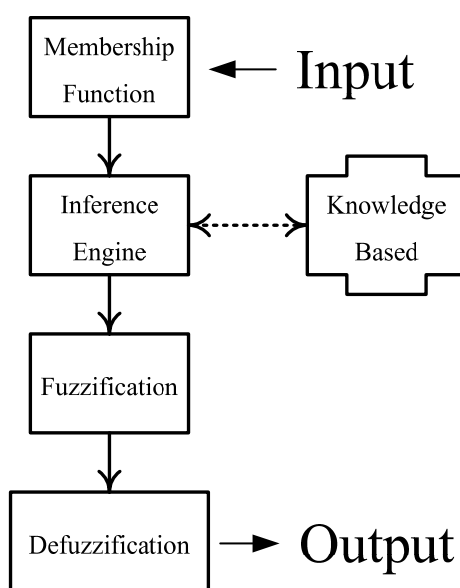
ภาพที่ 4-3 ตัวอย่างเหตุการณ์เกิดฟอลต์ขึ้นใน 3 อุปกรณ์พร้อมกัน และเกิดข้อมูลสูญหาย

4.3.3 ในส่วนของฐานความรู้ ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ส่วนใหญ่เกิดจากการรวบรวมความรู้ ซึ่งบ่อยครั้งผู้ออกแบบโปรแกรมเจอกับข้อมูลที่มีความคลุมเครือ ไม่ชัดเจน ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์คำตอบจากผู้ออกแบบโปรแกรมให้คำตอบที่ไม่ถูกต้องทั้งหมด หรือในเรื่องที่ผู้เชี่ยวชาญต่างๆที่เราไปรวบรวมความรู้มามีความรู้ที่ไม่เท่ากันแต่ละบุคคลอาจมีมากบ้างน้อยบ้าง จนทำให้ตอบโจทย์คำถามไม่ครอบคลุมทุกคำถาม เหตุผลเหล่านี้เป็นอุปสรรคในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.4 ความสัมพันธ์แบบพีซี

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้า เนื่องจากไม่ยุ่งยาก หรือ ซับซ้อน สามารถสร้างฐานความรู้ครอบคลุมเหตุการณ์ฟอลต์ได้ทั้งหมด แต่ระบบผู้เชี่ยวชาญยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาคือข้อมูลเตือนบางตัวสูญหาย ทางผู้วิจัยจึงนำวิธีพีซีลอจิก มาแก้ปัญหานี้

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ผู้วิจัยศึกษา และนำมาแก้ไขปัญหาก็กล่าวด้านบน ฟัซซีลอจิกจะจำลองกระบวนการคิดของมนุษย์ในการตอบแบบหนึ่ง หรือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีการตัดสินใจแบบแยกส่วน ไม่เหมือนกับ ตรรกศาสตร์แบบเดิม (Boolean Logic) ที่มีสมาชิก 2 ค่าคือ “1” หรือ True และ “0” หรือ False เพียง 2 สถานะ เปลี่ยนให้เป็นดีกรีความถูก หรือ ความผิด กล่าวได้ว่า ใหม่ว่า สมาชิกมีได้หลายค่าตั้งแต่ “0” ถึง “1” โครงสร้างกระบวนการของฟัซซีลอจิกแสดงได้ในภาพที่ 4-4

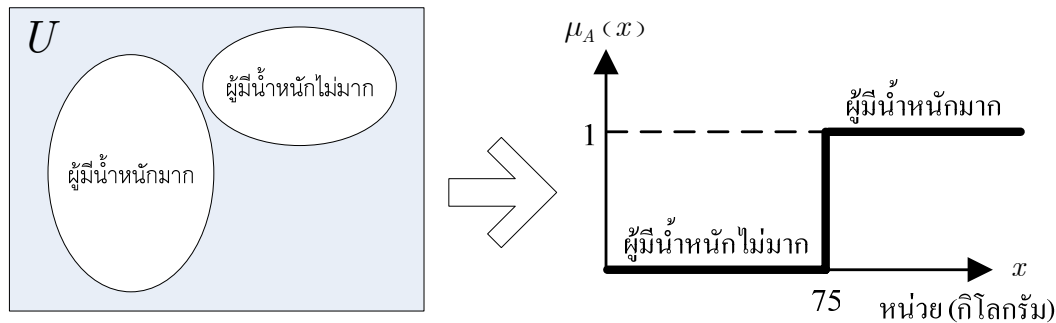


ภาพที่ 4-4 โครงสร้างของฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิกเป็นแนวคิดที่ต่อขยายมาจากตรรกศาสตร์แบบเดิม โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร มากกว่า ปริมาณของตัวแปร ยกตัวอย่าง การหาความหมายของคำว่า “คนที่สูง” ซึ่งในแต่ละคนจะมีเกณฑ์การตัดสินใจว่าใครคนหนึ่งจะเป็น “คนที่สูง” แตกต่างกัน เช่น นาย A บอกว่า ถ้าใครมีความสูงมากกว่า 1.85 เมตรแล้วเป็น “คนที่สูง” แต่นาย B บอกว่า ถ้าใครมีความสูงมากกว่า 1.75 เมตรแล้วเป็น “คนที่สูง” พบว่าทั้งนาย A และนาย B ต่างก็ให้เหตุผลการตัดสินใจไม่เหมือนกัน โดยจะพยายามยึดเหตุผลของตนเองเป็นหลักสำคัญ ดังนั้นถ้าเรากำหนดว่า คนที่มีส่วนสูงมากกว่า 1.85 เป็น “คนที่สูง” แล้วถามนาย A และ นาย B ว่า ถ้านาย C มีความสูงเท่ากับ 1.84 เมตร จัดเป็น “คนที่สูง” หรือไม่คำตอบที่ได้จะเป็น ใช่ หรือ ไม่ใช่ เท่านั้นแต่ถ้าคิดบนพื้นฐานฟัซซีลอจิก อาจจะตอบว่านาย C เป็นคนที่ค่อนข้างสูง

ในภาพที่ 4-5 จะแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่มีน้ำหนักมาก กับ กฎถ้า-แล้ว ที่กล่าวว่า ถ้าผู้ใดมีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัมแล้วจะเป็นผู้ที่มีน้ำหนักมาก กำหนดให้ x แทน

น้ำหนักหน่วยเป็นกิโลกรัม และ $\mu_A(x)$ แสดงค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่มีน้ำหนักมาก ถ้าเท่ากับ 1 แสดงว่ามีน้ำหนักมาก หรือเท่ากับ 0 จะแสดงว่ามีน้ำหนักไม่มาก ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะแยกกันอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4-5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่มีน้ำหนักมาก

4.5 แผนภาพแซกจิตอลและความสัมพันธ์แบบฟัซซี

แผนภาพแซกจิตอล (Sagittal Diagram) [11] เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ผู้วิจัยนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างฐานความรู้ เพื่อให้มีการครอบคลุมทุกเหตุการณ์ ซึ่งแต่เดิมนั้นจะเขียนฐานความรู้เกี่ยวกับเหตุการณ์แบบสุ่มจนครบทุกเหตุการณ์ ซึ่งบางครั้งอาจจะลืมเขียนเหตุการณ์บางเหตุการณ์ และผลที่ตามมาคือ ฐานความรู้จะไม่ครอบคลุมเหตุการณ์ทั้งหมด หรือ ระบบผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถตอบคำถามได้ทั้งหมด โดยทั่วไปแผนภาพแซกจิตอลเป็นแผนภาพชนิดหนึ่งที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของสาเหตุนั้น แผนภาพแซกจิตอลมีข้อดี คือ อ่านแล้วเข้าใจง่ายเนื่องจากอธิบายเป็นรูปภาพ วิเคราะห์ข้อมูลได้ละเอียดลึกซึ้งครอบคลุมทุกปัญหา และนำไปเขียนเป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณได้ง่าย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำแผนภาพแซกจิตอลมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ 2 ความสัมพันธ์ เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์แรก คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ กับ ข้อมูลการทำงานของรีเลย์ป้องกัน และ ความสัมพันธ์ที่สอง คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลการทำงานของรีเลย์ป้องกัน กับ ข้อมูลการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

4.5.1 โครงสร้างของแผนภาพแซกจิตอล

ทุกครั้งที่เกิดเหตุผิดปกติขึ้นที่อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าตัวหนึ่ง รีเลย์ป้องกัน จะตรวจจับสิ่งผิดปกตินั้นได้ และส่งสัญญาณไปปลด เซอร์กิตเบรกเกอร์ เราจึงสามารถเขียนลำดับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆเมื่อเกิดฟอลต์ได้คือ อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ $\Rightarrow$ รีเลย์ป้องกัน $\Rightarrow$ เซอร์กิต

เบรกเกอร์ ดังนั้นในเหตุการณ์ฟอลต์หนึ่งๆถ้ามีข้อมูล รีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานครบทั้ง 2 ส่วนก็แสดงว่าอุปกรณ์นั้นเกิดฟอลต์ แผนภาพแซกจิตอล 1 แผนภาพจะใช้สำหรับการวิเคราะห์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า 1 อุปกรณ์เท่านั้น โครงสร้างและส่วนประกอบของแผนภาพแซกจิตอลแสดงได้ในภาพที่ 4-6 เป็นแผนภาพแซกจิตอลสำหรับการวิเคราะห์อุปกรณ์ L1 สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แผนภาพแซกจิตอลจะประกอบด้วย ชั้นข้อมูล (Layer) จำนวน 3 ชั้นตามเหตุผลข้างต้น ภายในชั้นจะประกอบด้วยโนด (Node) หลายๆตัว โดยจะมีการเชื่อมโยงระหว่างชั้น (Link) ถึงกันทั้ง 3 ชั้น ได้แก่ จากชั้นที่ 1 ไปยัง ชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 2 ไปยัง ชั้นที่ 3 และ ในทุกการเชื่อมโยงนี้จะมีค่าถ่วงน้ำหนัก หรือ เรียกว่า ค่าความเป็นสมาชิก กำกับอยู่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ค่าความเป็นสมาชิกมีความหมาย คือสถิติของโอกาสการเกิดเหตุและผลของเหตุนั้น ตัวอย่างเช่น $L1AM \xrightarrow{0.8} L1$ คือ ถ้า L1AM ทำงานแล้วมีโอกาสถึง 0.80 ที่จะเกิดฟอลต์ที่ L1 หรือ $CB1 \xrightarrow{0.9} L1AM$ มีความหมายว่า ถ้า CB1 ทำงานแล้วมีโอกาส 0.90 ที่เป็นผลมาจาก L1AM โดยค่าถ่วงน้ำหนักนี้ได้จากการเก็บสถิติการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกันในเหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆที่ผ่านมา หรือ กำหนดโดยผู้จัดทำโปรแกรม แผนภาพแซกจิตอลจะบรรจุข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละชั้น ได้แก่

4.5.1.1 ชั้นที่ 1 จะประกอบด้วยโนดซึ่งแทน อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า

4.5.1.2 ชั้นที่ 2 จะประกอบด้วยโนดซึ่งแทน รีเลย์ป้องกัน

4.5.1.3 ชั้นที่ 3 จะประกอบด้วยโนดซึ่งแทน เซอร์กิตเบรกเกอร์

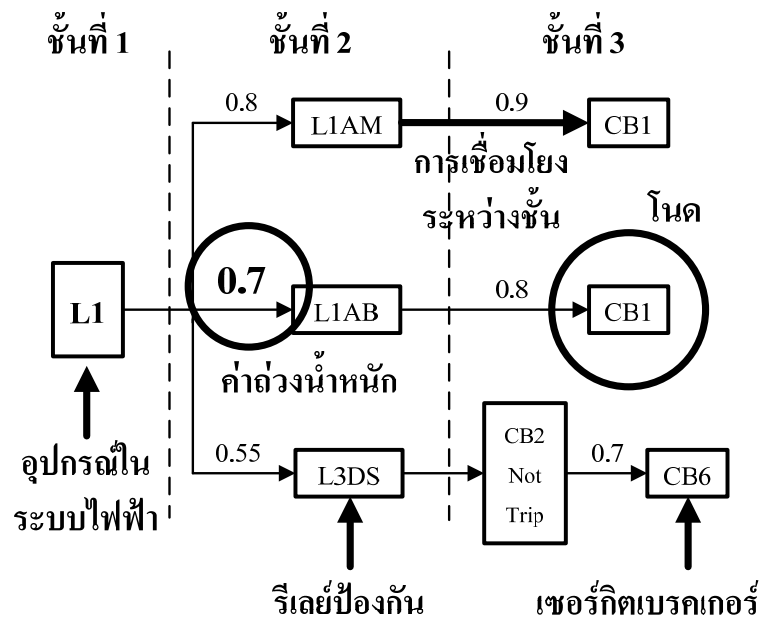
ยกตัวอย่าง โหนดในชั้นที่ 2 ชื่อ L1AB จะหมายถึง รีเลย์ป้องกันที่ชื่อว่า L1AB ดังนั้นถ้าโนดอยู่ในชั้นใดก็จะมีคามหมายตามความหมายของชั้นนั้น

4.5.2 การสร้างแผนภาพแซกจิตอลสำหรับวิเคราะห์อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์

อย่างที่กล่าวข้างต้นแผนภาพแซกจิตอลถูกนำมาใช้สำหรับสร้างฐานความรู้ ที่เกี่ยวกับเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดกับอุปกรณ์ตัวหนึ่งๆ ดังนั้นจึงมีแนวคิดการสร้างแผนภาพ ว่า ถ้าเกิดฟอลต์ที่อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งจะมีรีเลย์ป้องกันตัวใดทำงานบ้าง และ ถ้ามีรีเลย์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งทำงานจะส่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดบ้าง ดังแสดงในภาพที่ 4-7

4.5.2.1 การสร้างข้อมูลในชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2

การสร้างข้อมูลในทั้ง 2 ชั้นนี้จะใช้แนวคิดที่ว่า ถ้าเกิดฟอลต์ที่อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งแล้วจะมีรีเลย์ป้องกันตัวใดบ้างที่ทำงาน เมื่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าคือโนดในชั้นที่ 1 และ รีเลย์ป้องกันที่ทำงานคือ โหนดในชั้นที่ 2 ซึ่งโนดในชั้นที่ 1 จะมีเพียง 1 โหนดเท่านั้น อาจกล่าวได้ว่าข้อมูลในชั้นที่ 1 คือ เหตุที่เกิดผลลัพธ์ และ ข้อมูลในชั้นที่ 2 คือ ผลลัพธ์ หรืออาจเขียนในรูปกฎถ้า-แล้ว ได้ว่า ถ้าเกิดเหตุการณ์ในโนดที่ 1 แล้วจะเกิดเหตุการณ์ในโนดที่ 2

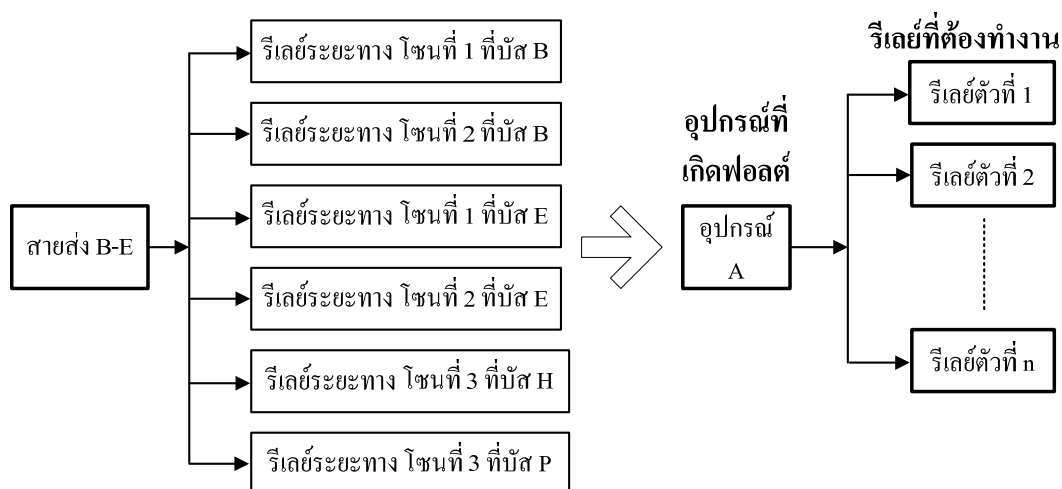


ภาพที่ 4-6 ส่วนประกอบของแผนภาพแซกจิตอลสำหรับการวิเคราะห์ L1

เมื่อได้โนดครบทุกตัวในชั้นที่ 1, 2 แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการสร้างการเชื่อมโยงระหว่างชั้นที่ 1 ไปยังชั้นที่ 2 โดยโนดในชั้นที่ 1 จะเชื่อมโยงไปยัง โหนดในชั้นที่ 2 ทุกตัว แสดงได้ในภาพที่ 4-7 ยกตัวอย่าง อุปกรณ์ A เกิดฟอลต์ ซึ่งโนดในชั้นที่ 1 จะหมายถึง อุปกรณ์ A แล้วพิจารณาต่อไปว่า ต่อมาหาว่ามีรีเลย์ใดบ้างที่ทำงานเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่อุปกรณ์ A ก็จะได้โนดในชั้นที่ 2 สำหรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นที่ 1 ไปชั้นที่ 2 จะพิจารณาว่า เมื่อ รีเลย์ป้องกัน ทำงานแล้วมีโอกาสเท่าไรที่จะเกิดฟอลต์ที่อุปกรณ์ในชั้นที่ 1 ซึ่งเมื่อค่าถ่วงน้ำหนักนี้มีค่ามากจะแสดงว่าโอกาสการเกิดก็จะมากด้วย ตัวอย่างเช่นภาพที่ 4-6 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของ $L1 \rightarrow L1AB$ เท่ากับ 0.8 หมายความว่า ถ้า รีเลย์ป้องกัน L1AB ทำงานแล้วโอกาสที่จะเกิดฟอลต์ในสายส่ง L1 เท่ากับ 0.8 หรือ 80%

4.5.2.2 การสร้างข้อมูลในชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3

การสร้างการเชื่อมโยงระหว่างชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 จะเป็นการสร้างการเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลรีเลย์ป้องกันที่ทำงาน กับ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงาน โดยใช้แนวคิดว่าจะมีเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดทำงานบ้างสำหรับรีเลย์ป้องกันตัวหนึ่งๆที่ทำงาน โดยแสดงในภาพที่ 4-8 วิธีการหาโนดในชั้นที่ 2 และ 3 ทำได้โดย เริ่มจากนำโนด 2 ที่ได้จากการสร้างในชั้น 4.5.2.1 มาพิจารณาทั้งหมด ส่วนโนดในชั้นที่ 3 เกิดจาก ถ้ารีเลย์ป้องกันใน โหนด 2 ทำงานแล้วจะสั่งให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ใดทำงาน โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็คือ โหนดในชั้นที่ 3

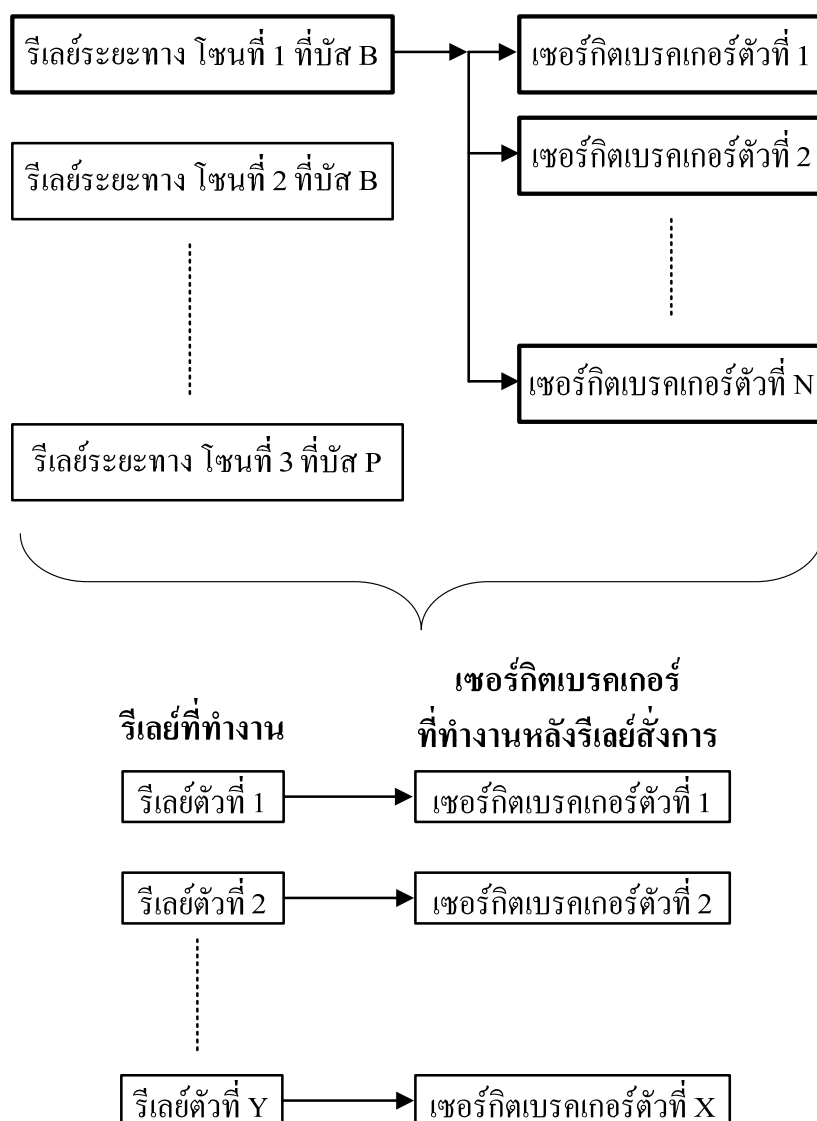


ภาพที่ 4-7 แผนภาพเชิงจิตตอลชั้นที่ 1 กับ 2

ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นที่ 2 ไปชั้นที่ 3 จะมีค่าและการคำนวณเหมือนระหว่างชั้นที่ 1 กับชั้นที่ 2 แต่จะมีการพิจารณาความหมายที่แตกต่างคือ เมื่อ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานแล้วมีโอกาสเท่าไรที่เป็นผลมาจากการสั่งการของ รีเลย์ป้องกัน ตัวอย่างเช่นจากภาพที่ 4-6 ค่าถ่วงน้ำหนักของ $L1AB \rightarrow CB1$ เท่ากับ 0.8 หมายความว่า ถ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ CB1 ทำงานแล้วมีโอกาสที่จะเกิดจากการสั่งการของรีเลย์ป้องกัน L1AB เท่ากับ 0.8

อย่างไรก็ตามค่าถ่วงน้ำหนักบนการเชื่อมโยงชั้นที่ 1 ไปยัง ชั้นที่ 2 จะมีค่าน้อยกว่า ชั้นที่ 2 ไปยัง ชั้นที่ 3 เนื่องจากความน่าเชื่อถือได้จากการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีมากกว่าการทำงานของรีเลย์ป้องกัน เพราะ รีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าที่เดียวกัน กล่าวคือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะติดตั้งอยู่ในลานไก และ รีเลย์ป้องกันจะติดตั้งในห้องควบคุม (Control Room) ซึ่งทั้ง 2 ที่นี้ห่างกันไม่เกิน 10 เมตร ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจากการที่รีเลย์ป้องกันสั่งการผิดจึงมีโอกาสน้อย

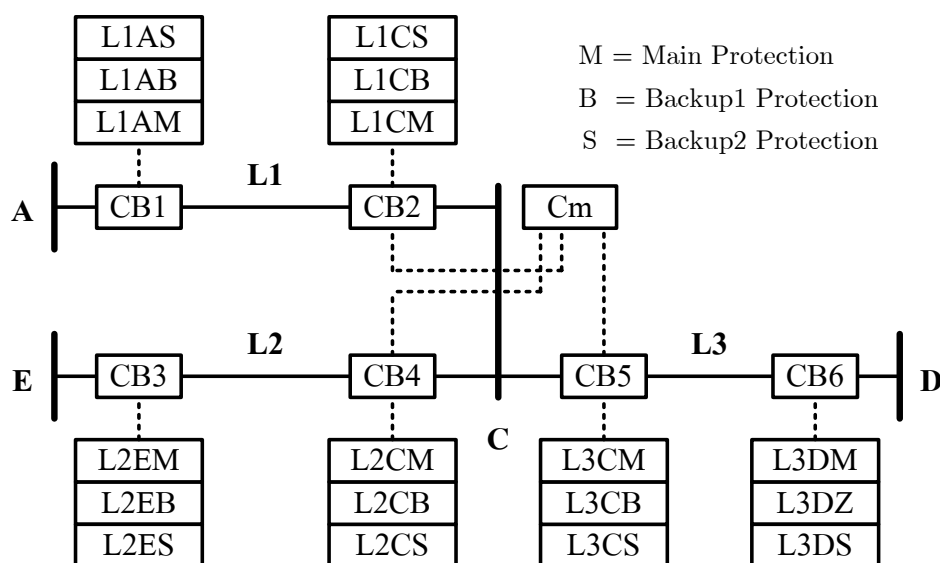
สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญจะให้ค่าถ่วงน้ำหนักบนทางเชื่อมโยงระหว่างชั้น มีค่าเท่ากับ 1 เสมอ แต่เมื่อนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาใช้ร่วมกับฟัซซีลอจิก เราจะยอมให้ค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลคลุมเครือ คือ กรณีเกิดข้อมูลไม่สมบูรณ์ หรือข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่า



ภาพที่ 4-8 การเชื่อมโยงระหว่างชั้นที่ 2 กับ 3 ของแผนภาพแซกจิตอล

4.5.3 ตัวอย่างการสร้างแผนภาพแซกจิตอล

ระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9 ปรับปรุงเพิ่มเติมจากระบบไฟฟ้าในภาพที่ 2-15 โดยได้เพิ่มรีเลย์ระยะทางโชนที่ 2 และ 3 ในทุกสายส่ง ซึ่งทำให้ข้อมูลรีเลย์ป้องกันที่นำมาพิจารณามีมากขึ้นด้วย เราอาศัยตารางที่ 4-2 ในการสร้างกฎการทำงานเกี่ยวกับรีเลย์ป้องกัน และใช้ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแผนภาพแซกจิตอลโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4-3 [11] โดยยกตัวอย่างการสร้างแผนภาพแซกจิตอลเพื่อวิเคราะห์ฟอลต์ที่ L1



ภาพที่ 4-9 ระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 3 สายส่ง 1 บัส

ตารางที่ 4-2 เงื่อนไขที่ใช้สร้างกฎถ้า-แล้ว สำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9

เงื่อนไข	กฎการทำงานเกี่ยวกับรีเลย์ป้องกัน
1	เมื่อ Main Protection ไม่ทำงาน Backup1 Protection จะทำงานแทน เช่น เมื่อ L1AM ไม่ทำงาน L1AB จะทำงานแทน
2	เมื่อ Main Protection และ Backup1 Protection ไม่ทำงาน Backup2 Protection ของสายส่งอื่นที่ต่อกับสายส่งที่เกิดฟอลต์ จะทำงานแทน เช่น เมื่อ L1AM, L1AB ไม่ทำงาน L2ES, L3DS จะทำงานแทน หรือ เมื่อ L2EM, L2EB ไม่ทำงาน L1AS, L3DS จะทำงานแทน

4.5.3.1 แผนภาพแซกจิตอลทั้งหมดสำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9 จะมีทั้งหมด 4 แผนภาพแซกจิตอล ได้แก่ แผนภาพแซกจิตอลของ L1, L2, L3 และ บัส C แต่จากที่กล่าวด้านบนว่าจะเลือกแสดงวิธีการสร้างเฉพาะ L1 จึงได้โนดในชั้นอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าคือ L1

4.5.3.2 สร้างโนดในชั้นที่ 2 หรือ โหนดที่บรรจุข้อมูลรีเลย์ป้องกัน โดยหาจาก ถ้าเกิดฟอลต์ใน L1 จะมีรีเลย์ป้องกันตัวใดทำงานบ้าง รีเลย์ป้องกันเหล่านี้คือโนดในชั้นที่ 2 โดยให้เรียงโนดตามโซนป้องกันด้วย จากบนลงล่างคือ รีเลย์ป้องกันของโซนป้องกันที่ 1, 2 และ 3 ทำการใส่โนดในชั้นที่ 2 จนครบทุกโซนป้องกัน เมื่อเขียนเสร็จจะแสดงได้ในภาพที่ 4-10

ตารางที่ 4-3 ค่าความเป็นสมาชิก ของแผนภาพแซกจิตอลสำหรับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9

ประเภทอุปกรณ์	ระบบป้องกัน	ค่าความเป็นสมาชิก ระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้า กับ รีเลย์ป้องกัน	ค่าความเป็นสมาชิก ระหว่างรีเลย์ป้องกัน กับ เบรกเกอร์
สายส่ง	Main Protection	0.80	0.90
	Backup1 Protection	0.70	0.80
	Backup2 Protection	0.55	0.70
บัส	Main Protection	0.70	0.90
	Backup1 Protection	0.55	0.70

4.5.3.3 สร้างโนดในชั้นที่ 3 หรือ โหนดที่บรรจุข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยหาจากตรวจสอบรีเลย์ป้องกันในโนดที่ 2 ทำงานจะมีเซอร์กิตเบรกเกอร์ใดบ้างทำงาน เซอร์กิตเบรกเกอร์เหล่านี้จะเป็นโนดในชั้นที่ 3 แสดงในภาพ 4-11

สำหรับรีเลย์ป้องกันโซนที่ 3 ได้แก่ L1AS, L2ES, L3DS จากภาพที่ 4-9 จะทำงานก็ต่อเมื่อระบบป้องกันหลัก ของสายส่งไม่ทำงาน หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันหลักไม่ทำงาน ยกตัวอย่างเช่น เกิดฟอลต์ในสายส่ง L3 รีเลย์ป้องกัน L2ES จะทำงานสั่งปลด CB3 และ L1AS จะทำงานสั่งปลด CB1 ก็ต่อเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ CB5 ซึ่งเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันหลักของสายส่ง L3 ไม่ทำงานปลดตัวเองออก

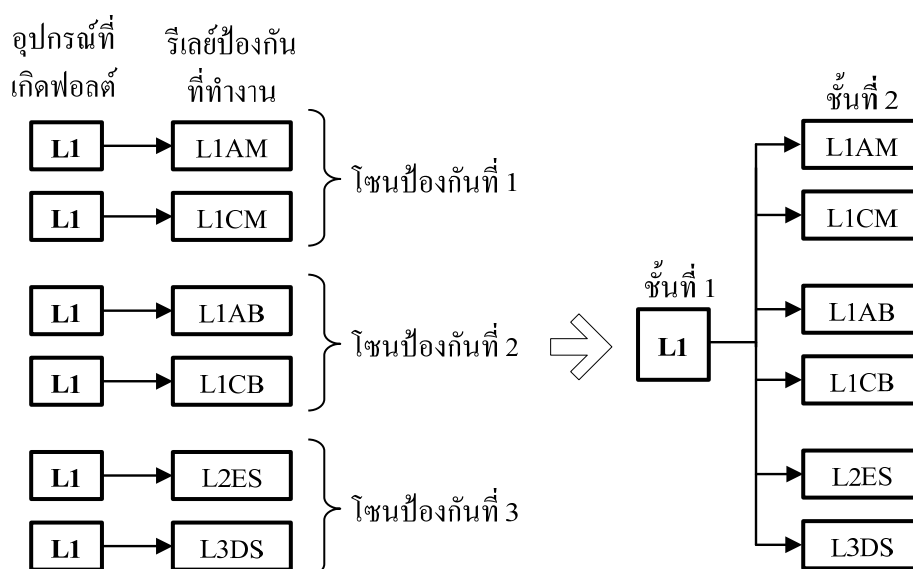
4.5.3.4 รวมการเชื่อมโยงระหว่างชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3 เข้าด้วยกัน และ ใส่ค่าถ่วงน้ำหนักในทุกการเชื่อมโยง โดยใช้ค่าจากตารางที่ 4-1 เขียนได้เป็นภาพที่ 4-12

รวบรวมแผนภาพแซกจิตอลสำหรับการวิเคราะห์ฟอลต์ของอุปกรณ์ L2, L3 และ บัส C แสดงได้ในภาพที่ 4-13, 4-14 และ 4-15 ตามลำดับ

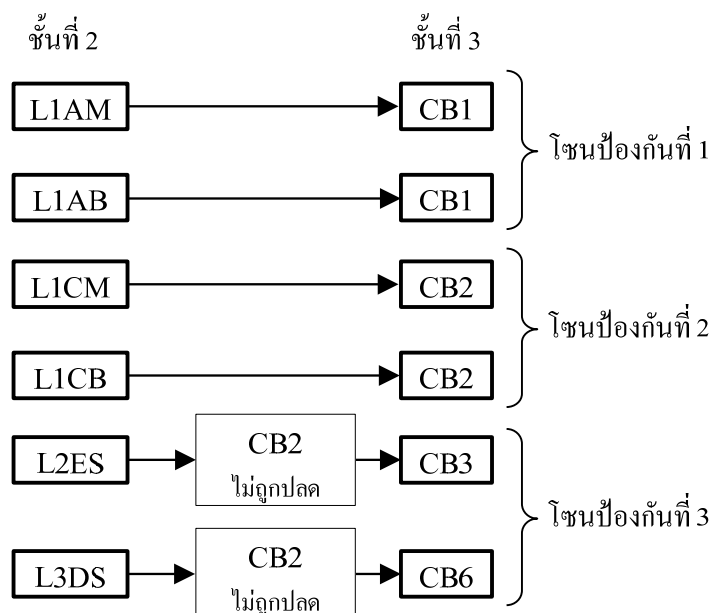
4.5.4 ความสัมพันธ์แบบฟัซซี

เป็นการนำเทคนิคฟัซซีลอจิกมาใช้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างของ 2 อย่าง ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง การทำงานของ เซอร์กิต เบรกเกอร์ กับ รีเลย์ป้องกัน และอีกความสัมพันธ์หนึ่งคือ ความสัมพันธ์ระหว่าง การทำงานของรีเลย์ป้องกัน กับ อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า โดยเราจะนำความสัมพันธ์แบบฟัซซีมาจัดการประมวลผลกับความสัมพันธ์หลายๆความสัมพันธ์เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ค่าเดียว เช่นจากภาพที่ 4-3 เราสามารถประยุกต์กฎถ้า-แล้วของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบเดิม {CBs05 & Load1-B2-M $\rightarrow$ Load1} เป็นความสัมพันธ์ของ 2 ข้อมูลคือ ข้อมูลที่ 1 คือ {CBs05 $\rightarrow$ Load1-B2-M} และ ข้อมูลที่ 2 คือ {Load1-B2-M $\rightarrow$ Load1} ซึ่งทั้ง 2 ข้อมูลนี้จะบ่งบอกได้ว่าการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกันบอกได้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าใด

เกิดฟอลต์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำความสัมพันธ์แบบพีชชี มาทำการเชื่อมระหว่างกฎถ้า-แล้ว 2 กฎที่มีความสัมพันธ์

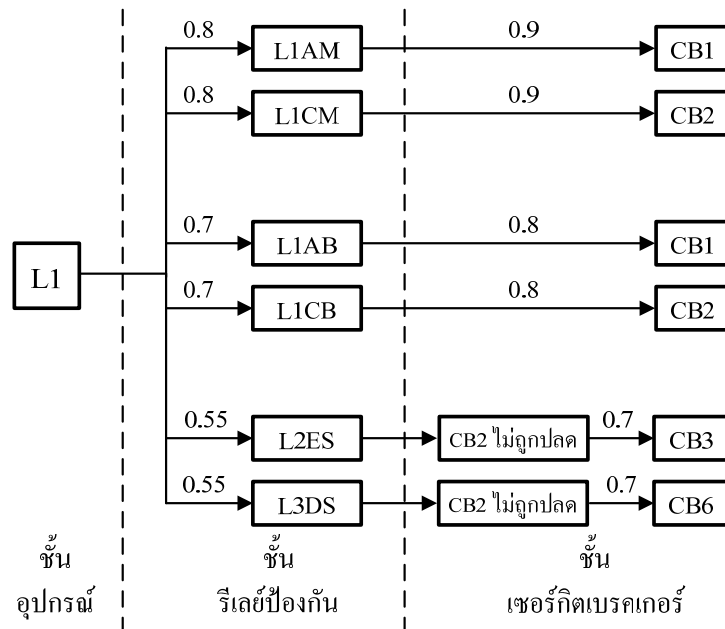


ภาพที่ 4-10 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง ชั้นอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า กับ ชั้นรีเลย์ป้องกัน ของ L1

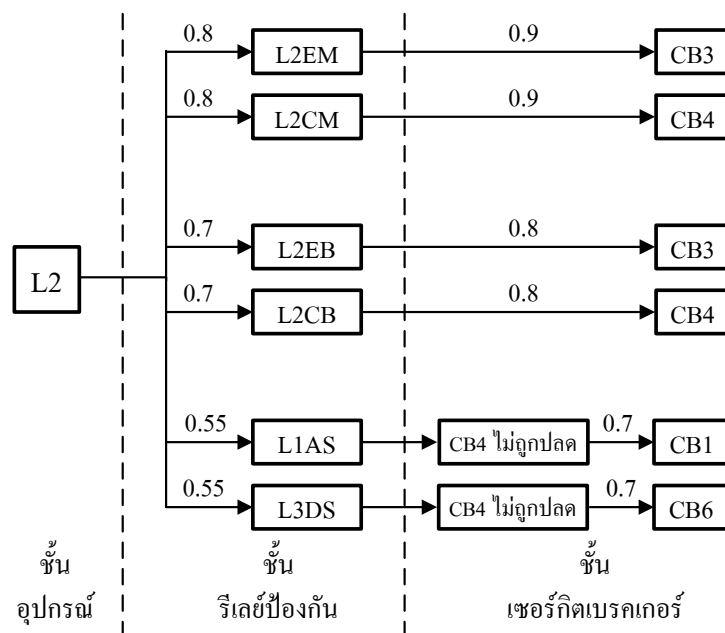


ภาพที่ 4-11 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง ชั้นรีเลย์ป้องกัน กับ ชั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์ ของ L1

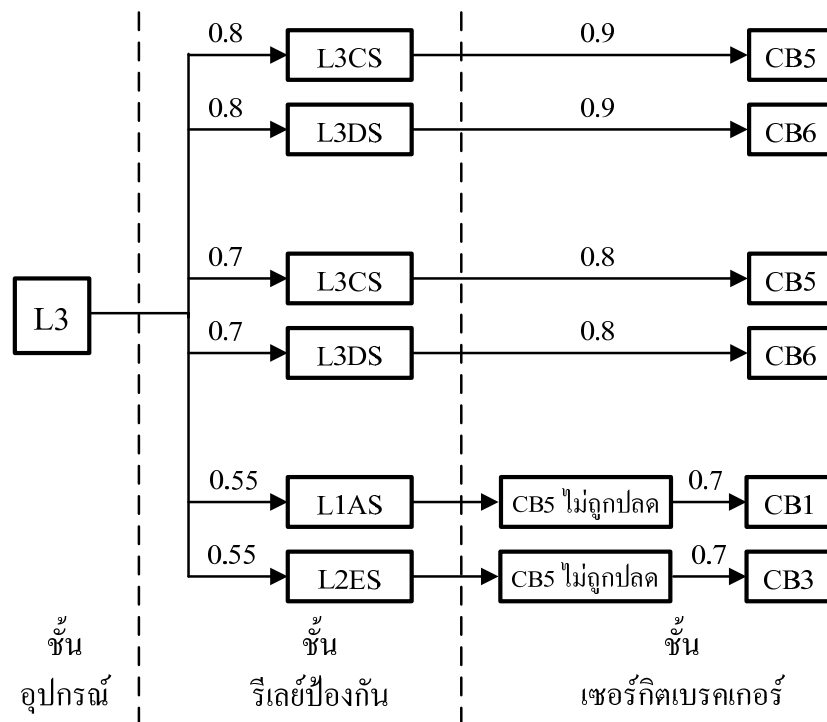
ซึ่งเราสามารถรวมภาพที่ 4-10 และ 4-11 เพื่อให้เป็น ภาพที่ 4-12 คือแผนภาพแซกจิตอลสำหรับการวิเคราะห์ฟอลต์ของอุปกรณ์ L1



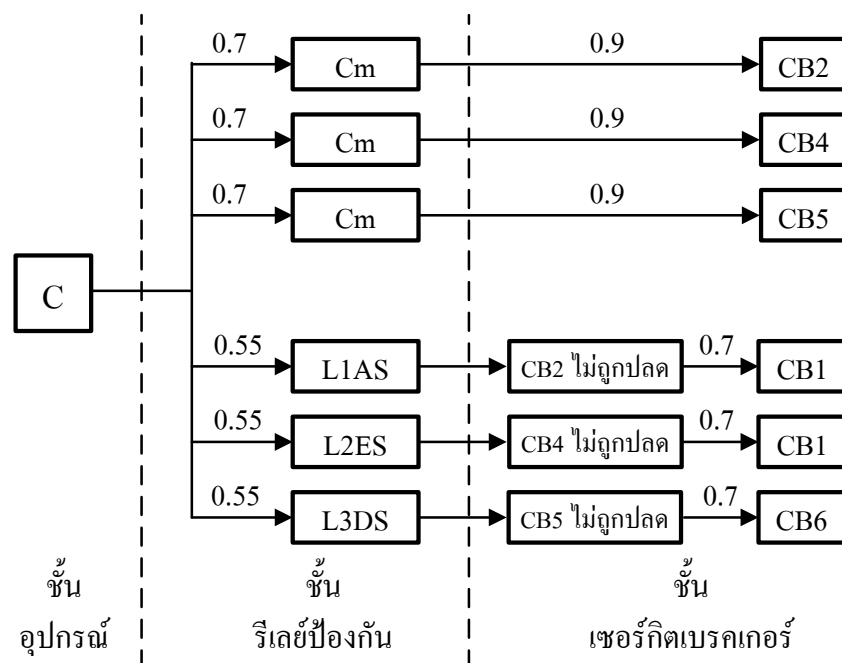
ภาพที่ 4-12 แผนภาพแซกจิตอลวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับ L1



ภาพที่ 4-13 แผนภาพแซกจิตอลวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับ L2



ภาพที่ 4-14 แผนภาพเชิงตรรกะสำหรับ L3



ภาพที่ 4-15 แผนภาพเชิงตรรกะสำหรับบัส C

4.6 ตัวดำเนินการทางฟัซซีเซต

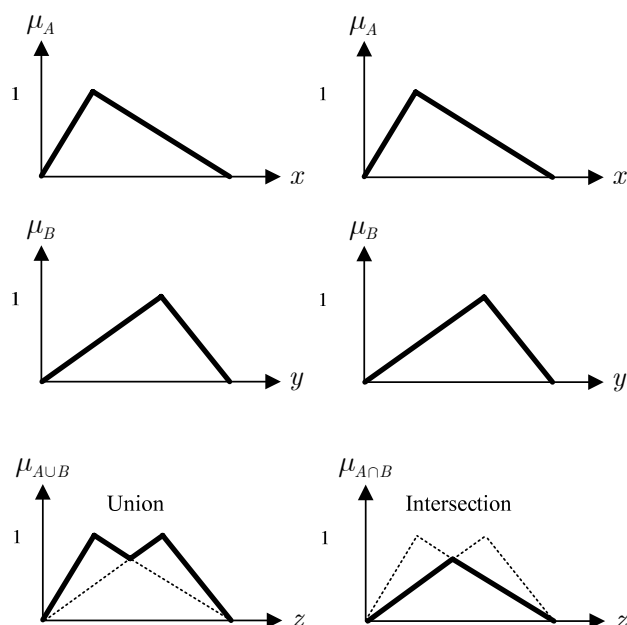
ตัวดำเนินการทางฟัซซี ใช้สำหรับกระทำการระหว่าง ฟัซซีเซตใดๆ 2 ฟัซซีเซต เช่น ฟัซซีเซต A กระทำกับ ฟัซซีเซต B ตัวดำเนินการทางฟัซซีจะอยู่ใน ส่วนวิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) ตัวดำเนินการของฟัซซีส่วนใหญ่จะเหมือนกับตัวดำเนินการคณิตศาสตร์แบบทั่วไป หรือ เหมือนกับเซตธรรมดา เช่น ยูเนียน (Union) แสดงในสมการที่ (4-1), สมการที่ (4-2) ส่วน อินเตอร์เซกชัน (Intersection) แสดงในสมการที่ (4-3), สมการที่ (4-4) ดังนั้นถ้าเรากำหนดว่า ยูเนียนของ ฟัซซีเซต A กับ ฟัซซีเซต B ให้ผลเป็น ฟัซซีเซต C โดยพื้นฐานจะใช้หลักการหาค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด ในการหาค่าแบบ ยูเนียน และ อินเตอร์เซกชัน เป็นดังภาพที่ 4-9

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A \cup \mu_B \quad (4-1)$$

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B) \quad (4-2)$$

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A \cap \mu_B \quad (4-3)$$

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B) \quad (4-4)$$



ภาพที่ 4-16 ตัวดำเนินการทางฟัซซีแบบ ยูเนียน และ อินเตอร์เซกชัน

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้วิธี ยูเนียน และ อินเตอร์เซกชัน ของ การดำเนินการแบบ ยาเจอร์ (Yager's Family of Operators) [12] ซึ่งแสดงในสมการที่ (4-5) และแสดงในสมการที่ (4-6)

และ สรุปตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4-4 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ค่าคงที่ของยาเจอร์ หรือ w เท่ากับ 3 [12]

$$\mu_{\text{intersection}}(a,b) = 1 - ((1-a)^w + (1-b)^w)^{\frac{1}{w}} \quad (4-5)$$

$$\mu_{\text{union}}(a,b) = (a^w + b^w)^{\frac{1}{w}} \quad (4-6)$$

ตาราง ที่ 4-4 ตัวอย่างการใช้งานตัวดำเนินการแบบฟัซซี่

ข้อมูล กฎถ้า-แล้ว ชุดที่ 1	ข้อมูล กฎถ้า-แล้ว ชุดที่ 2	ตัวดำเนินการ อินเตอร์เซกชัน	ตัวดำเนินการ ยูเนียน
CBs1 $\xrightarrow{b}$ Relay1	Relay1 $\xrightarrow{a}$ L1	$\mu_{\text{intersection}}(a,b)$	$\mu_{\text{union}}(\mu_{\text{intersection}}(a,b), \mu_{\text{intersection}}(c,d))$
CBs2 $\xrightarrow{c}$ Relay2	Relay2 $\xrightarrow{d}$ L1	$\mu_{\text{intersection}}(c,d)$	

4.7 การวิเคราะห์ฟอลต์ด้วยวิธีความสัมพันธ์แบบฟัซซี่และแผนภาพแซกจิตอล

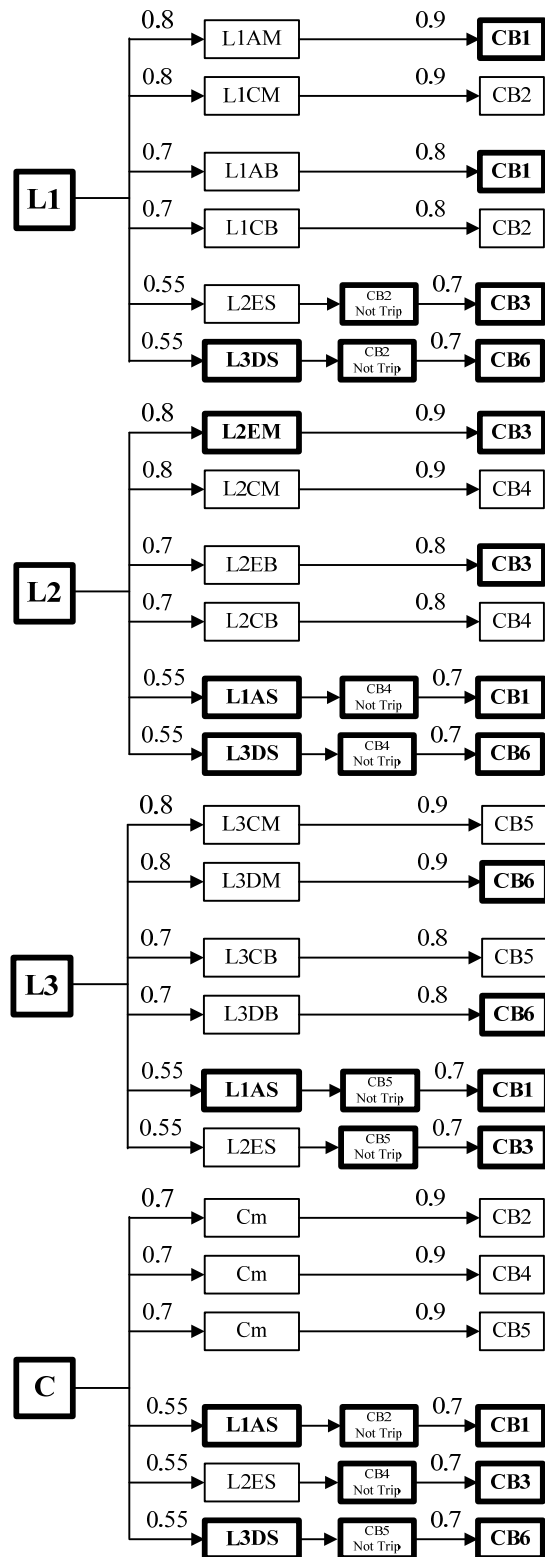
ขอยกตัวอย่าง การวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์ จากระบบในภาพที่ 4-9 เหตุการณ์หนึ่งซึ่งมีข้อมูลเตือนที่ประกอบด้วย L1AS, L2EM, L3DS, CB1, CB3, CB6 ดังนี้

4.7.1 นำข้อมูลเตือนทั้งหมด ใส่ในโนดทั้ง 3 ชั้นและใส่ในทุกแผนภาพแซกจิตอล ผลลัพธ์แสดงในภาพที่ 4-19 ซึ่งจากระบบในภาพที่ 4-9 จะมีแผนภาพแซกจิตอลทั้งหมด 4 แผนภาพ

4.7.2 ตรวจสอบในแต่ละแผนภาพแซกจิตอล เพื่อหา เส้นทางวิเคราะห์ โดยเส้นทางวิเคราะห์มีความหมาย คือ เส้นทางที่มีการเชื่อมโยงจาก ชั้น 1 $\rightarrow$ ชั้น 2 $\rightarrow$ ชั้น 3 หรือเส้นทางที่เชื่อมระหว่างโนดที่ถูกเลือก คือ โหนด อุปกรณ์ระบบไฟฟ้า $\rightarrow$ รีเลย์ป้องกัน $\rightarrow$ เซอร์กิตเบรกเกอร์ จากนั้นเก็บค่าเส้นทางวิเคราะห์ไว้ ตารางที่ 4-4 จะแสดงเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมด

ตาราง ที่ 4-5 จำนวนเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมดจากตัวอย่างเหตุการณ์ฟอลต์

เส้นทางวิเคราะห์	อุปกรณ์	รายละเอียด
1	L1	L1 $\rightarrow$ L3DS $\rightarrow$ {CB2-Not-Trip & CB6}
2	L2	L2 $\rightarrow$ L2EM $\rightarrow$ CB3
3	L2	L2 $\rightarrow$ L1AS $\rightarrow$ {CB4-Not-Trip & CB1}
4	L2	L2 $\rightarrow$ L3DS $\rightarrow$ {CB4-Not-Trip & CB6}
5	L3	L3 $\rightarrow$ L1AS $\rightarrow$ {CB5-Not-Trip & CB1}
6	C	C $\rightarrow$ L1AS $\rightarrow$ {CB2-Not-Trip & CB1}
7	C	C $\rightarrow$ L3DS $\rightarrow$ {CB5-Not-Trip & CB6}



ภาพที่ 4-17 แผนภาพแซกจิตอลทั้งหมด หลังใส่ข้อมูลเตือน

4.7.3 ตรวจสอบทุกเส้นทางวิเคราะห์ เพื่อคำนวณหา ฟัชชี อินเตอร์เซคชัน ระหว่าง ค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นอุปกรณ์ – ชั้นรีเลย์ป้องกัน กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นรีเลย์ป้องกัน – ชั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยใช้สมการที่ (4-5) เช่น เส้นทางวิเคราะห์ที่ 2 คำนวณฟัชชี อินเตอร์เซคชัน ระหว่างค่าถ่วงน้ำหนัก $L2 \xrightarrow{0.8} L2EM$ กับ $L2EM \xrightarrow{0.9} CB3$ แสดงได้ตามสมการที่ (4-7)

$$\mu_{\text{intersection}} (0.8, 0.9) = 1 - ((1 - 0.8)^3 + (1 - 0.9)^3)^{\frac{1}{3}} = 0.791992 \quad (4-7)$$

4.7.4 ตรวจสอบทุก เส้นทางวิเคราะห์ แสดงได้ในตารางที่ 4-5 ว่าในแต่ละอุปกรณ์ว่า อุปกรณ์ใดมีเส้นทางวิเคราะห์มากกว่า 1 เส้นทาง ถ้าพบว่ามีมากกว่าให้นำมาคำนวณหา ฟัชชี ยูเนียน ซึ่งจากตัวอย่างเราพบว่าเส้นทางวิเคราะห์ที่ 2, 3, และ 4 เกิดในอุปกรณ์เดียวกันคือ L2 ดังนั้นจึงต้องคำนวณหา ฟัชชี ยูเนียน ระหว่างเส้นทางวิเคราะห์ 2 เส้นทาง โดยใช้สมการที่ (4-6) ได้ดังนี้

ฟัชชี ยูเนียน(เส้นทางวิเคราะห์ที่ 2, เส้นทางวิเคราะห์ที่ 3) เท่ากับ 0.856769

ฟัชชี ยูเนียน(เส้นทางวิเคราะห์ที่ 2, เส้นทางวิเคราะห์ที่ 4) เท่ากับ 0.856769

ฟัชชี ยูเนียน(เส้นทางวิเคราะห์ที่ 3, เส้นทางวิเคราะห์ที่ 4) เท่ากับ 0.641728

พิจารณาจาก 3 ค่าฟัชชี ยูเนียนเลือกค่า มากที่สุด เท่ากับ 0.856769

ตาราง ที่ 4-6 ผลการคำนวณฟัชชี อินเตอร์เซคชันจากเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมด

เส้นทางวิเคราะห์	อุปกรณ์	ฟัชชี อินเตอร์เซคชัน
1	L1	0.509340
2	L2	0.791992
3	L2	0.509340
4	L2	0.509340
5	L3	0.509340
6	C	0.509340
7	C	0.509340

4.7.5 หาค่าความเป็นสมาชิกของการเกิดฟอลต์ ในแต่ละอุปกรณ์ อุปกรณ์ใดมีค่าที่ได้จาก ฟัชชี ยูเนียน ให้เอาค่านั้นเป็นค่าความเป็นสมาชิกของการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์นั้น แต่อุปกรณ์ใดไม่ค่าฟัชชี ยูเนียน ให้เอาค่า ฟัชชี อินเตอร์เซคชัน เป็นค่าความเป็นสมาชิกของการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์นั้น โดยจะแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-7 ผลการคำนวณฟิชชี ยูเนียน และ ฟิชชี อินเตอร์เซกชัน ในเส้นทางวิเคราะห์ทั้งหมด

เส้นทางวิเคราะห์	อุปกรณ์	ฟิชชี อินเตอร์เซกชัน	ฟิชชี ยูเนียน	ค่าความเป็นสมาชิกของ การเกิดฟอลต์
1	L1	0.509340	ไม่มี	0.509340
2	L2	0.791992	0.856769	0.856769
3	L2	0.509340		
4	L2	0.509340		
5	L3	0.509340	ไม่มี	0.509340
6	C	0.509340	ไม่มี	0.509340
7	C	0.509340	ไม่มี	0.509340

4.7.6 เลือกค่าความเป็นสมาชิกของการเกิดฟอลต์มากที่สุด เป็นอุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์มากที่สุดด้วย ในที่นี้คือ L2

4.8 การตรวจสอบข้อมูลความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน

อย่างที่เคยได้กล่าวมา อุปกรณ์ระบบป้องกันจะทำงานสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน รีเลย์ป้องกันมีหน้าที่ในการตรวจจับสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น เมื่อพบแล้วจะส่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออก ดังนั้นจึงไม่มีอุปกรณ์หนึ่งอุปกรณ์ใดทำงานโดยลำพังเพียงอย่างเดียว ในภาพที่ 4-18 เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับคำสั่งจากรีเลย์จากรีเลย์ระยะทาง หรือ ไม่ก็รีเลย์ผลต่างป้องกันบัส และในทางกลับกันจะเป็นไปไม่ได้ถ้ามีรีเลย์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งทำงานแล้วเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ไม่ทำงาน จึงกล่าวได้ว่าถ้ามีข้อมูลเตือนปรากฏเพียงแค่ตัวใดตัวหนึ่งไม่ได้ เช่น มีข้อมูลรีเลย์ป้องกันทำงาน แต่ไม่มีข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน หรือ มีข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน แต่ไม่มีข้อมูลรีเลย์ป้องกันทำงาน ย่อมแสดงว่าเกิดเหตุการณ์ข้อมูลอุปกรณ์ระบบป้องกันบางส่วนหายไป ดังนั้นเราจึงอาศัยความสัมพันธ์นี้ มาตรวจสอบข้อมูลระบบป้องกันว่ามีสัญญาณหรือไม่ การตรวจสอบโดยอาศัยความสัมพันธ์ในการทำงาน คือ ตรวจสอบว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวหนึ่ง จะทำงานได้จาก รีเลย์ป้องกัน ตัวใดทำงานบ้าง เช่น แสดงในภาพที่ 4-18 เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 จะถูกปลดเมื่อได้รับคำสั่งจากรีเลย์ป้องกันซึ่งได้แก่ L1-B2-M, L1-B2-B, L1-B2-S และ 87B2 รวม 4 ตัวเท่านั้น ดังนั้นถ้าข้อมูลเตือนมีสถานะเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 แต่ไม่มีสถานะของรีเลย์ป้องกันทั้ง 4 ตัวด้านบนนี้ ก็แสดงว่ามีข้อมูลรีเลย์ป้องกันตัวใดตัวหนึ่งสูญหายไป หรือ ถ้ามีข้อมูลรีเลย์ป้องกันตัวใด

ตัวหนึ่งใน 4 ตัวนี้ทำงาน แต่ไม่มีข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ถูกปลด ก็แสดงว่าข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ผิดพลาด

4.8.1 สร้างข้อมูลเสมือนของอุปกรณ์ระบบป้องกัน

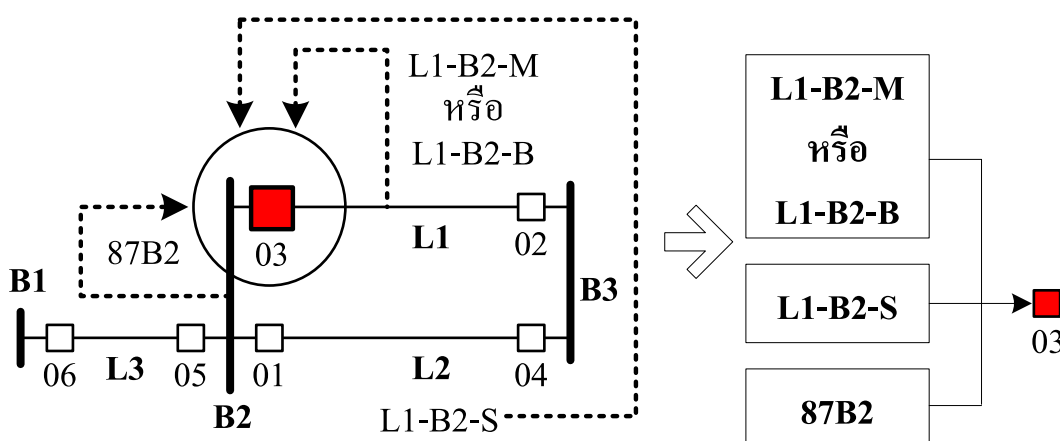
การสร้างข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันเสมือนเป็นอัลกอริทึมที่ผู้วิจัยเลือกใช้ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

4.8.1.1 แยกข้อมูลเตือนเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ ข้อมูลรีเลย์ป้องกัน

4.8.1.2 พิจารณาข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นหลักก่อน แล้วตรวจสอบในข้อมูลความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ระบบป้องกัน ในภาพที่ 4-19 และเก็บข้อมูลว่ามีรีเลย์ป้องกันตัวใดทำงานบ้างถึงทำให้ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน จากนั้นนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลเสมือนรีเลย์ระบบป้องกัน หรือเรียกอีกอย่างว่าข้อมูลรีเลย์ป้องกันที่มีโอกาสที่จะทำงาน

4.8.1.3 พิจารณาข้อมูลรีเลย์ป้องกันเป็นหลัก แล้วตรวจสอบในข้อมูลความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ระบบป้องกัน ในภาพที่ 4-20 และเก็บข้อมูลว่ามีเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดทำงานบ้าง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลเสมือนเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือเรียกอีกอย่างว่าข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีโอกาสที่จะทำงาน

4.8.1.4 เปรียบเทียบ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ ฐานข้อมูลเสมือนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยถ้าพบว่าแยกข้อมูลเตือนเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ ข้อมูลรีเลย์ป้องกัน



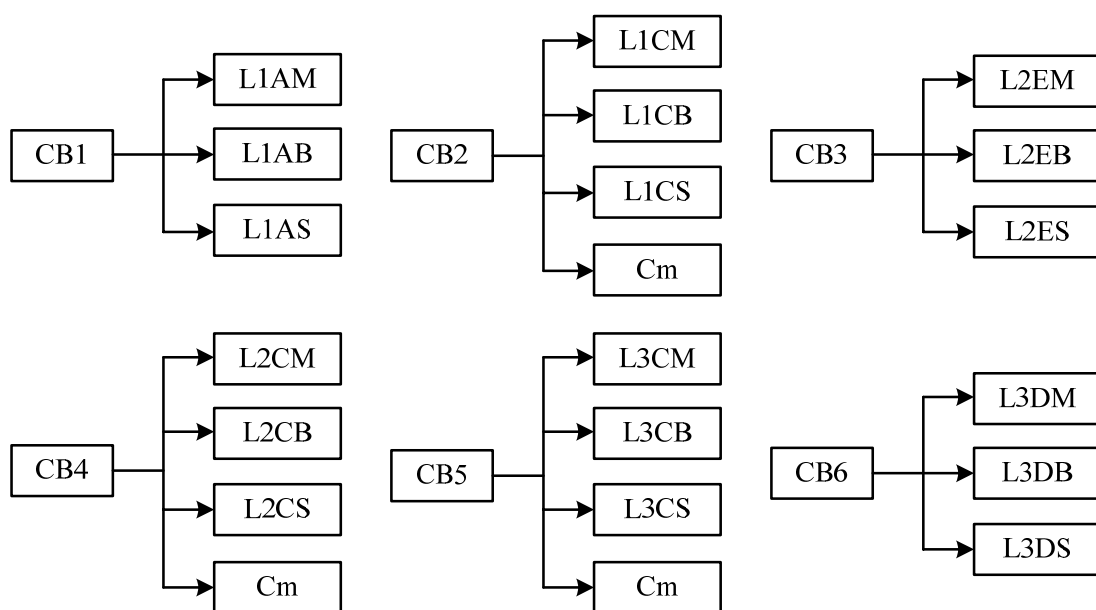
ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันทั้งหมดที่สั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงาน

4.8.2 ขั้นตอนเปรียบเทียบข้อมูลอุปกรณ์ระบบป้องกัน

จากตัวอย่างระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4-9 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานทั้งหมดระหว่าง เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ รีเลย์ป้องกัน ได้ในภาพที่ 4-19 และใช้วิธีการหาข้อมูลเสมือนตามข้อ 4.8.1 โดยยกตัวอย่างข้อมูลเดือนที่ได้รับ คือ CB3, L2EM และ L2CB ซึ่งสามารถแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

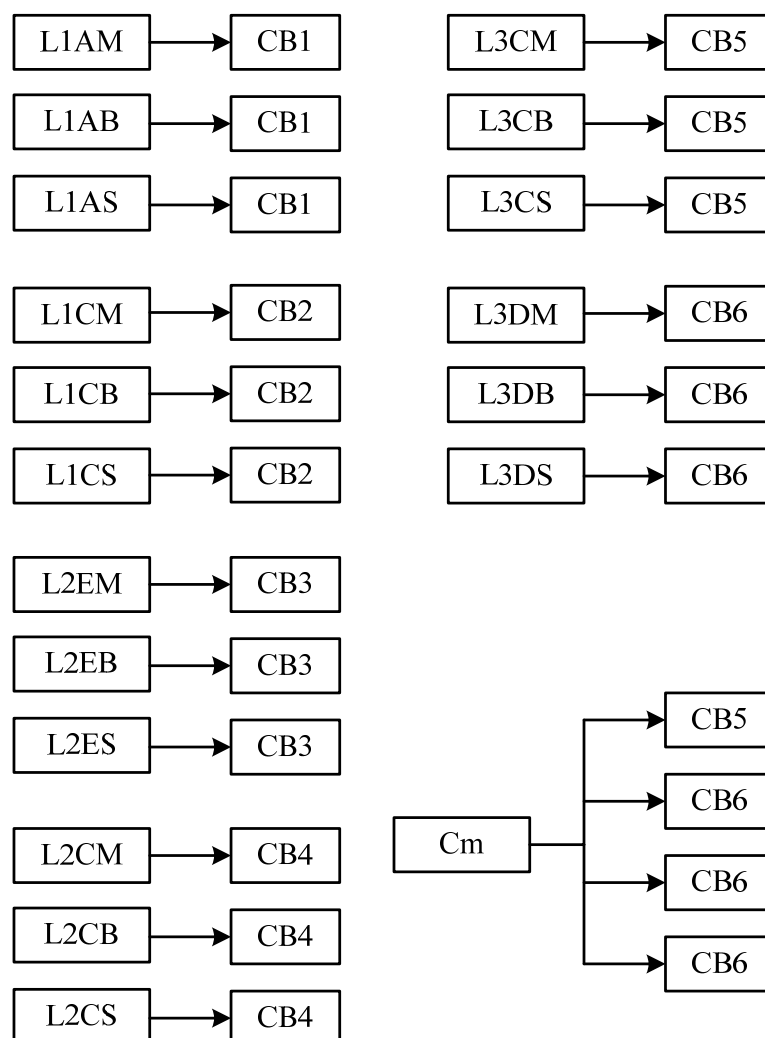
4.8.2.1 แยกข้อมูลเดือนออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ และ ข้อมูลรีเลย์ป้องกัน ซึ่งจากตัวอย่างจะได้ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ CB3 และ ข้อมูลรีเลย์ป้องกัน คือ L2EM และ L2CB

4.8.2.2 สร้างข้อมูลเสมือนรีเลย์ป้องกัน จากข้อมูลเดือนหลักที่เป็นข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยใช้ภาพที่ 4-19 ซึ่งทำได้โดยเริ่มจากข้อมูลหลัก หรือ ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทีละตัว จากตัวอย่าง CB3 จะถูกปลดด้วยรีเลย์ป้องกันใดบ้าง ดังนั้นเราจะได้ข้อมูลเสมือนซึ่งเป็นข้อมูลรีเลย์ คือ CB3 → (ถูกปลดด้วย) L2EM, L2EB, L2ES



ภาพที่ 4-19 ความสัมพันธ์ของการทำงานของระบบป้องกัน เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นตัวสั่งการ

4.8.2.3 สร้างข้อมูลเสมือนเซอร์กิตเบรกเกอร์ จากข้อมูลเดือนหลักที่เป็นข้อมูลรีเลย์ป้องกัน โดยใช้ภาพที่ 4-20 โดยการหาทำเหมือนข้อ 4.8.2.2 แต่จะต่างกันตรงจะใช้ข้อมูลรีเลย์ในการหาข้อมูลเสมือน จากตัวอย่าง L2EM และ L2CB จะสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ใดบ้าง ในที่นี้จะได้ L2EM → (จะสั่งปลด) CB3 และ L2CB → (จะสั่งปลด) CB4



ภาพที่ 4-20 ความสัมพันธ์ของการทำงานของระบบป้องกัน เมื่อรีเลย์ป้องกันเป็นตัวสั่งการ

4.8.2.4 ตรวจสอบและเปรียบเทียบค่าอุปกรณ์ระบบป้องกันที่ทำงานไม่ถูกต้อง หรือไม่ทำงาน

4.8.2.4.1 เปรียบเทียบ ข้อมูลเตือนของ รีเลย์ป้องกัน กับ ข้อมูลเสมือนรีเลย์ป้องกัน โดยพิจารณาว่าข้อมูลเตือนที่เป็นรีเลย์ป้องกัน มีในข้อมูลเสมือนรีเลย์ป้องกันหรือไม่ ถ้าไม่มีเลยแสดงว่ามีข้อมูลรีเลย์ป้องกันเกิดสูญหายแล้ว เช่น (ข้อมูลเตือน) L2EM →(ข้อมูลเสมือน) L2EM, L2EB, L2ES พบว่า L2EM มีอยู่ในข้อมูลเสมือนแสดงว่าปกติ และ (ข้อมูลเตือน) L2CB →(ข้อมูลเสมือน) L2EM, L2EB, L2ES พบว่า L2CB ไม่มีอยู่ในข้อมูลเสมือนแสดงว่า ผิดปกติ หรือ L2CB ทำงานแต่ไม่มีการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งสรุปต่อไปได้อีก CB4 เกิดสูญหาย เพราะ L2CB เมื่อทำงานแล้วจะปลด CB4

4.8.2.4.2 เปรียบเทียบ ข้อมูลเตือนของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ ข้อมูลเสมือน เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำในลักษณะเดียวกับข้อ 4.8.2.4.1 เช่น (ข้อมูลเตือน) CB3 → (ข้อมูลเสมือน) CB3, CB4 ซึ่งพบว่า CB3 มีอยู่ในข้อมูลเสมือนแสดงว่าปกติ ดังนั้นสำหรับตัวอย่างด้านบนนี้พบว่ามีข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์เกิดสัญญาณ ก็คือ CB4

4.9 สรุป

สำหรับบทที่ 4 ได้กล่าวถึงที่มาของระบบผู้เชี่ยวชาญในการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ ฟอลต์ ข้อดีที่ได้รับจากระบบผู้เชี่ยวชาญคือสามารถนำความรู้ในอดีตมาแก้ปัญหาเหตุการณ์ปัจจุบัน ได้ อีกทั้งยังแก้ปัญหาคความยุ่งยากเมื่อต้องวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละครั้งที่มากๆ ได้ โดยโปรแกรมจะ รับข้อมูลอินพุตคือ สถานะการทำงานของอุปกรณ์ และให้ข้อมูลเอาต์พุตคืออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้มากที่สุด ซึ่งทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถวิเคราะห์เหตุการณ์ที่มีความซับซ้อน ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ดังนั้นเมื่อใช้ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานวิเคราะห์อาจจะเป็นเรื่องยาก เนื่องจากพบอุปกรณ์ที่ไฟดับเป็นจำนวนมากอาจจะสับสนได้ ระบบวิธีการตรวจสอบข้อมูล ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน หรือ การตรวจสอบความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกัน กับ เซอร์กิต เบรกเกอร์ สามารถจะบอกพนักงานควบคุมระบบได้ว่า มีข้อมูลการทำงานของระบบป้องกันใดบ้าง ที่สัญญาณ หรือ เกิดมีข้อมูลแปลกปลอมอื่นเพิ่มเข้ามา ซึ่งจะช่วยให้เสริมการทำงานโปรแกรมระบบ ผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบพีซีเพียงลำพัง ซึ่งการทดสอบโปรแกรมจะทำในบทที่ 6

บทที่ 5

การวิเคราะห์แบบแผนผังต้นไม้

เหตุการณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้วจะมีไฟดับเป็นจำนวนมาก เนื่องจากระบบป้องกันสำรองต้องปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวข้างเคียงออกแทน ดังนั้นการวิเคราะห์เหตุการณ์นี้จึงมีความยากลำบากเพราะ มีข้อมูลเดือนจำนวนมากถูกส่งเข้ามา, เกิดพื้นที่ไฟดับเป็นพื้นที่ที่กว้างมาก แม้ระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบพีชชีจะมีประโยชน์อย่างมากในการช่วยพนักงานศูนย์ควบคุม ในการจัดลำดับว่าอุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้มากที่สุด เมื่อมีข้อมูลเดือนต่างๆเข้ามาที่ศูนย์ควบคุม แต่เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลเดือนเมื่อเกิดเหตุการณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว แผนภูมิต้นไม้ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จึงได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเนื่องจากมีข้อดีในการจัดระเบียบข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดี ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการนำแผนผังต้นไม้มาช่วยการตัดสินใจ ประมวลผลข้อมูลเดือนสำหรับการวิเคราะห์ว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดทำงานล้มเหลว

5.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems; DSS) เป็นระบบสารสนเทศที่สามารถตอบโต้กับผู้ใช้ โดยที่ระบบนี้จะรวบรวมข้อมูลและแบบจำลองในการตัดสินใจที่สำคัญเพื่อช่วยผู้ใช้งานในการตัดสินใจแก้ปัญหาที่สนใจ โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จะไม่ตัดสินใจแทนผู้ใช้งานแต่จะนำเสนอข้อมูลที่เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจ แต่การจะเลือกกระทำการตัดสินใจยังคงต้องใช้สติปัญญา เหตุผล ประสิทธิภาพ และความคิดของผู้ใช้งานเป็นหลัก คุณสมบัติของระบบสนับสนุนการตัดสินใจประกอบด้วย

5.1.1 ง่ายต่อการเรียนรู้ และใช้งาน จึงมีความยืดหยุ่นที่จะสนองความต้องการของผู้ใช้

5.1.2 สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

5.2 วิธีแผนผังต้นไม้

วิธีแผนผังต้นไม้ (Fault Tree Analysis หรือ FTA) ถูกใช้ครั้งแรกในห้องประลองทางโทรศัพท์ของ บริษัท เบล เมื่อปี 1962 และถูกใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ โดยแผนผังต้นไม้มีรายละเอียดที่น่าสนใจต่างๆได้แก่

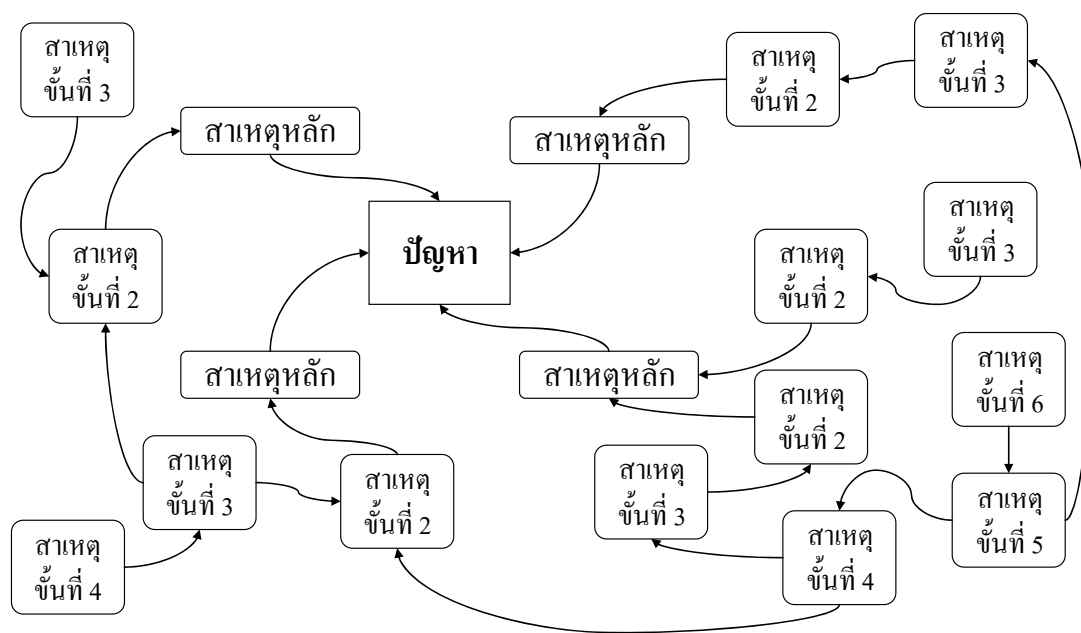
5.2.1 ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาในเหตุการณ์ต่างๆ เพราะ วิธีแผนผังต้นไม้ ถูกเขียนขึ้นมาจากความสัมพันธ์ของปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด และการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปัญหาถูกแสดงเป็นทางเลือกอย่างชัดเจน โดยอาศัยรูปภาพเป็นตัวอธิบาย

5.2.2 มีโครงสร้างที่สามารถบอกถึงผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นจากการคัดเลือกทางเลือกต่างๆสำหรับการตัดสินใจได้

5.2.3 ช่วยจัดการกับสถานการณ์ปัญหาที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่กระชับขึ้น
หรือง่ายขึ้น ทำให้สามารถเห็นภาพของปัญหาทั้งหมดได้ชัดเจนขึ้น

5.2.4 มีแนวคิดแบบ ทดย้อนกลับ (Back Looking) หรืออีกนัยหนึ่งว่าโจทย์ของ วิธีแผนผัง ต้นไม้ คือปัญหา โดยวิธีแผนผังต้นไม้จะประมวลผลคิดไปหา ผลลัพธ์ของวิธีแผนผังต้นไม้ ซึ่งก็คือ สาเหตุของปัญหา

ปัญหาหนึ่งๆอาจมีความซับซ้อนมากเนื่องจากอาจมีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหานั้น ซึ่งแสดงในภาพที่ 5-1 ดังนั้นการวิเคราะห์ตัดสินใจเพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหาเหล่านี้จึงเป็นเรื่องยากไปด้วย วิธีแผนผังต้นไม้จะพยายามจัดรูปแบบปัญหา กับ สาเหตุของปัญหาให้ดูง่าย และกระชับขึ้น และ ทำการแสดงปัญหากับสาเหตุเป็นชั้นๆ ปัญหาในภาพที่ 5-2 แสดง ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาสนับสนุนนักกีฬาให้ติดทีมชาติไทย ที่วิเคราะห์ด้วยแผนผังต้นไม้ ซึ่งพบว่าง่ายต่อการใช้งาน และการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

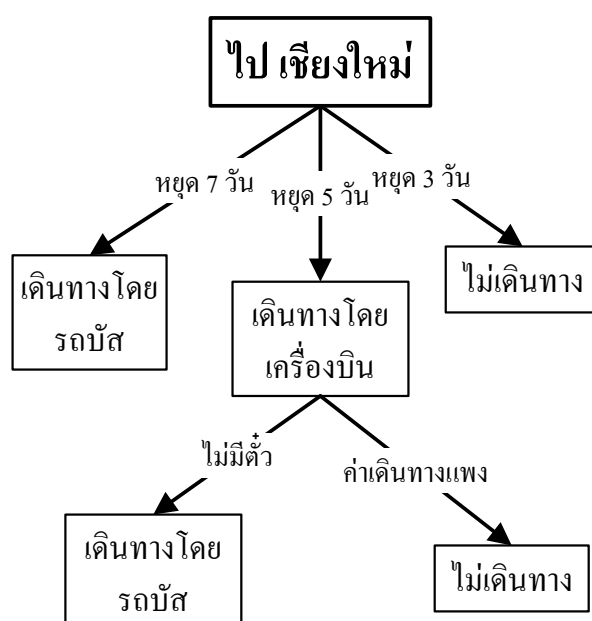


ภาพที่ 5-1 แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุของปัญหา



ภาพที่ 5-2 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์งานปัญหา สนับสนุนนักกีฬาให้ติดทีมชาติไทย

ตัวอย่างการใช้แผนผังต้นไม้ในการเดินทางไปเชียงใหม่ ซึ่งแสดงในภาพที่ 5-3 ปัญหาคือ ต้องการหาคำตอบว่า จะเดินทางไปเชียงใหม่อย่างไร



ภาพที่ 5-3 แผนผังต้นไม้สำหรับการตัดสินใจเดินทางไปเชียงใหม่

การตัดสินใจแบบวิธีแผนผังต้นไม้ เป็นการจำแนกข้อมูล (Classification) รูปแบบหนึ่ง วิธีแผนผังต้นไม้มีใช้กันกว้างขวาง เช่น ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงในวงการต่างๆ เพราะมีข้อดี คือ ใช้เวลาในการพัฒนาไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ สามารถแปลความหมายของโมเดล (Model) หรือโจทย์ปัญหาได้ง่าย และมีความสามารถในการคัดแยกข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดี โดยการจำแนกข้อมูลจะทำเหมือนโครงสร้างกิ่งก้านของต้นไม้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำวิธีแผนผังต้นไม้มาวิเคราะห์เหตุการณ์ระบบป้องกันทำงานล้มเหลว โดยมีสมมุติฐานว่าข้อมูลเดือนมีความสมบูรณ์

5.3 ส่วนประกอบของแผนผังต้นไม้

แผนผังต้นไม้จะประกอบด้วยโนดหลายๆตัว ประกอบเข้าด้วยกันเป็นชั้นๆ โดยชั้นบนสุดคือปัญหา และ ชั้นสุดท้ายของแต่ละกิ่งจะเป็นต้นตอของปัญหานั้นๆ แสดงในภาพที่ 5-4

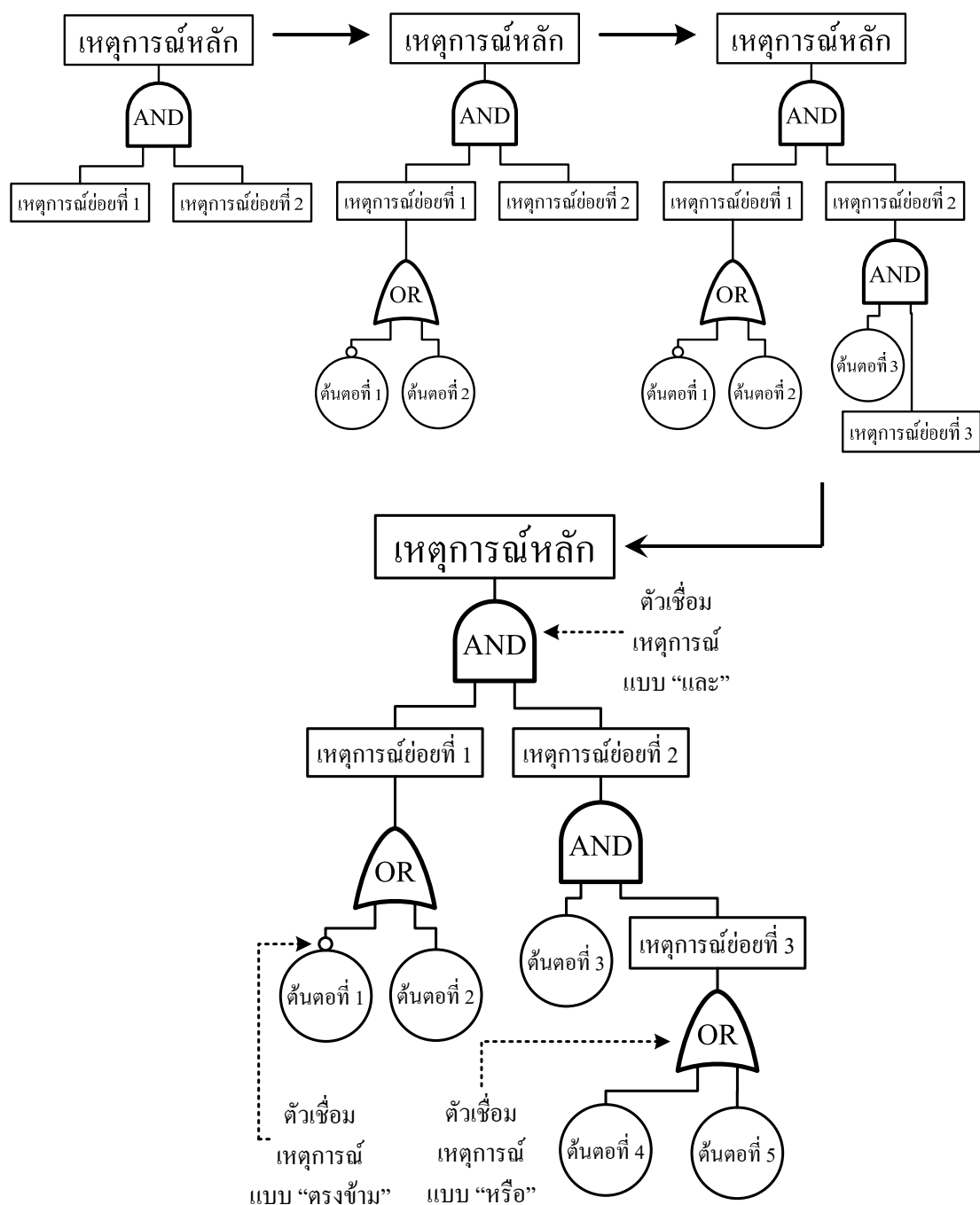
5.3.1 เหตุการณ์หลัก (Top Event) คือ โหนดตัวแรกของแผนผังต้นไม้ ซึ่งเราบรรจุปัญหาที่เราสนใจ หรือ ปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์หาทางแก้ไข ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์คือ  และสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาหนึ่งด้วยวิธีแผนผังต้นไม้ จะมีเหตุการณ์หลักเพียง 1 เหตุการณ์เท่านั้น

5.3.2 เหตุการณ์ย่อย (Intermediate Event) คือ โหนดที่ภายในบรรจุสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์หลัก ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ในเหตุการณ์ในลำดับก่อนหน้า จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์คือ  เหมือนกับเหตุการณ์หลัก

5.3.3 เหตุการณ์ต้นตอ (Basic Event) หรือ ต้นตอ จะเหมือนกับ เหตุการณ์ย่อย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์คือ  โดยสิ่งที่แตกต่างจากเหตุการณ์ย่อย คือ เหตุการณ์ต้นตอจะเป็นเหตุการณ์ที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปได้อีก หรือ อาจเรียกเหตุการณ์ต้นตอว่า ต้นเหตุของปัญหานั้นเอง

5.3.4 ตัวเชื่อมโยงระหว่างเหตุการณ์ย่อย หรือ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีอยู่ 3 ตัวเชื่อม ได้แก่ ตัวเชื่อม “และ”, “หรือ” กับ “ตรงข้าม” โดยจะใช้ตัวเชื่อมก็ต่อเมื่อเหตุการณ์ย่อยเหตุการณ์หนึ่งเกิดจากสาเหตุมากกว่า 1 สาเหตุ หรืออาจพิจารณาว่าถ้าพบเหตุการณ์ใดมีหลายสาเหตุที่เป็นไปได้ก็จะใช้ตัวเชื่อมนั้นๆในการเชื่อมโยงสาเหตุหลายๆสาเหตุนั้น การเชื่อมโยง “และ” หรือเปรียบเทียบ “AND Gate” จะแทนด้วย  มีความหมายว่า เหตุการณ์หลักจะเกิดขึ้นได้เมื่อเหตุการณ์ย่อยทั้งหมดเกิดขึ้น และใช้ “OR Gate” ซึ่งแทนด้วย  มีความหมายว่า เหตุการณ์หลักจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีเหตุการณ์ย่อยบางเหตุการณ์เกิดขึ้น การเชื่อมโยงสุดท้ายคือ การเชื่อมโยงแบบ “ตรงข้าม” หรือใช้ “NOT Gate” ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์เป็นวงกลม จะใช้สำหรับการคืนค่าตรงข้าม ระหว่าง อินพุต และ เอาท์พุต

เมื่อเขียนแผนผังต้นไม้แล้วเสร็จพบว่าแผนผังต้นไม้จะสร้างแนวทางเดิน ซึ่งมีต้นทาง คือ ปัญหา หรือ ขั้นตอนสุดของแผนผังต้นไม้ และ สุตทางเดิน คือ ต้นตอสาเหตุต่างๆ ซึ่ง อาจจะมีได้ หลายต้นตอสาเหตุก็ได้ สำหรับการใช้งานก็เพียงเลิกเดินตามเส้นทาง



ภาพที่ 5-4 ลำดับการสร้างแผนผังต้นไม้

การสร้างแผนผังต้นไม้ พิจารณา ภาพที่ 5-4 ประกอบด้วย โดยการสร้างจะเริ่มด้วยการวิเคราะห์ปัญหาหลัก หรือ เหตุการณ์หลัก ก่อนว่าเกิดจากสาเหตุอะไรได้บ้าง ในที่นี้ เหตุการณ์หลักเกิดจากสาเหตุที่ 1 และ สาเหตุที่ 2 ซึ่งสาเหตุในแต่ละชั้นจะกลายเป็นเหตุการณ์ย่อยได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่าสาเหตุนั้นๆสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุย่อยต่อไปได้อีกหรือไม่ ถ้าวิเคราะห์ได้สาเหตุที่ 1 ก็จะกลายเป็น เหตุการณ์ย่อยที่ 1 และพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ย่อยที่ 1 มี 2 สาเหตุ ซึ่ง 2 สาเหตุนี้ไม่สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ สาเหตุทั้ง 2 นี้จะกลายเป็น ต้นต่อที่ 1 และต้นต่อที่ 2 และทำการวิเคราะห์ได้ทำอย่างนี้ในทุกเหตุการณ์ย่อยจนปลายทางของทุกเส้นทางเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถวิเคราะห์ต่อไปได้อีก จากภาพที่ 5-4 สามารถสรุปได้ว่าเหตุการณ์หลักเกิดได้จากต้นต่อ 5 สาเหตุ

5.4 การวิเคราะห์กรณีระบบป้องกันทำงานล้มเหลวด้วยวิธีแผนผังต้นไม้

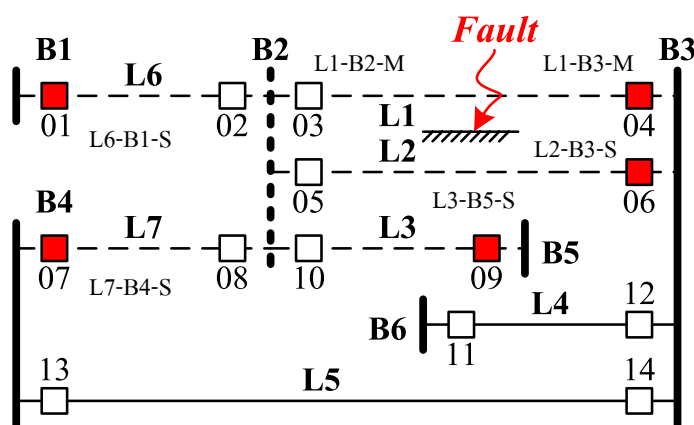
เหตุการณ์ระบบป้องกันทำงานล้มเหลวเมื่อเกิดขึ้นจะเป็นเรื่องยากในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง เนื่องจากการมีระบบป้องกันสำรองอื่นทำงาน จะเป็นผลให้มีอุปกรณ์อื่นที่ไม่เกิดฟอลต์ถูกปลดออกไปด้วย ทำให้เกิดไฟดับเป็นบริเวณกว้าง เหตุการณ์ระบบป้องกันทำงานล้มเหลวเกิดขึ้นกับรีเลย์ป้องกัน หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็ได้ ในกรณีเกิดจากรีเลย์ป้องกันทำงานล้มเหลว เช่น ไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันของตนเองได้ ยกตัวอย่าง เกิดฟ้าผ่าลงบนลูกถ้วยรองรับสายส่งจนลูกถ้วยแตกทำให้สายส่งขาดพาดลงพื้นเกิดเป็นฟอลต์ลงดิน แต่ถ้าระบบป้องกันทำงานถูกต้อง รีเลย์ระยะทาง ทั้ง 2 ด้านของสายส่งจะตรวจจับสิ่งผิดปกติได้ และจะสั่งปลด เซอร์กิตเบรกเกอร์ออกทั้ง 2 ด้าน แต่ถ้ารีเลย์ระยะทางที่ด้านใดด้านหนึ่งของสายส่งไม่ทำงาน หรือ รีเลย์ระยะทางพบสิ่งผิดปกติแล้วสั่งให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานแต่ไม่ทำงาน จะทำให้รีเลย์ระยะทางตัวถัดไกล ซึ่งเป็นระบบป้องกันสำรอง ออกไปจะทำงานด้วยการหน่วงเวลา เวลาหนึ่ง การวิเคราะห์แบบแผนผังต้นไม้ ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อวิเคราะห์หาว่าในแต่ละเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดบ้างที่ทำงานล้มเหลว เนื่องจากขณะเกิดเหตุการณ์ฟอลต์ลักษณะนี้จะมีข้อความเตือนที่ประกอบด้วย เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน จำนวนมากมาย แสดงในภาพที่ 5-5 กว่าเหตุการณ์ฟอลต์กรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานถูกต้อง ซึ่งแสดงในภาพที่ 5-6 ข้อความเตือนจำนวนมากเหล่านี้จะปรากฏที่ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า โดยถ้าให้พนักงานศูนย์ควบคุมพิจารณาข้อความเตือนทีละตัวจะต้องใช้เวลานานมาก สับสน ยุ่งยาก ซึ่งอาจทำให้การวิเคราะห์อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ผิดพลาด หรือ ไม่สามารถระบุได้ ดังนั้นแนวคิดการนำแผนผังต้นไม้มาวิเคราะห์ เพื่อจัดระเบียบข้อมูลที่ยุ่งยาก และ ประเมินผลผ่านตรรกะทางคณิตศาสตร์ที่อ้างอิงจากแผนผังต้นไม้แบบอัตโนมัติ ทำให้การตรวจสอบเหตุการณ์ระบบป้องกันทำงานล้มเหลว ทำได้ง่าย

และสะดวก โดยใช้สถานะของรีเลย์ป้องกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ถูกส่งเข้ามาวิเคราะห์ ซึ่ง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาเฉพาะกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวเท่านั้น

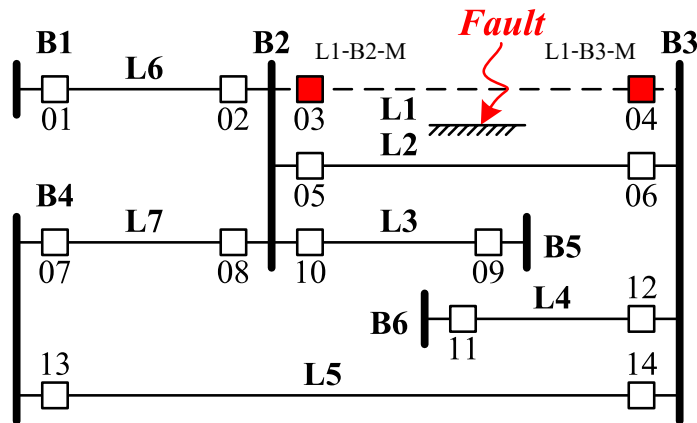
ในภาพที่ 5-6 แสดงระบบป้องกันทำงานถูกต้อง เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่สายส่ง L1 พบว่าระบบ ป้องกันจะทำงานปลดเฉพาะสายส่ง L1 ที่เกิดฟอลต์ออกเท่านั้น แต่ในภาพที่ 5-5 เมื่อมีระบบ ป้องกันบางตัวทำงานล้มเหลว ในที่นี้คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำให้ระบบป้องกันสำรอง คือ รีเลย์ ผลต่างสำหรับป้องกันบัส B2 ทำงานสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งหมดบนบัส B2 ผลที่ตามมาคือ จะมีอุปกรณ์ L1, L2, L3, L6, L7, B2 ที่ถูกปลดออกจากระบบ ทั้งที่อุปกรณ์ L2, L3, L6, L7, B2 ไม่ได้เกิดฟอลต์แต่ถูกปลดออกด้วยระบบป้องกันสำรอง ดังนั้นจากเหตุการณ์นี้ถ้าเราไม่นำเซอร์กิต เบรกเกอร์ 03 และสายส่ง L1 เข้าใช้งาน เราก็สามารถจ่ายไฟอุปกรณ์ที่ไม่เกิดฟอลต์คือ L2, L3, L6, L7, B2 ได้ ดังนั้นถ้าพนักงานศูนย์ควบคุมสามารถแยกแยะได้ว่าอุปกรณ์ที่ไฟดับตัวใดเกิดจากฟอลต์ หรือเกิดจากระบบป้องกันสำรองทำงานก็จะสามารถจ่ายไฟในอุปกรณ์ที่ไม่เกิดฟอลต์ได้เร็วที่สุด

5.4.1 การจำแนกอุปกรณ์ระบบป้องกันทำงานล้มเหลว

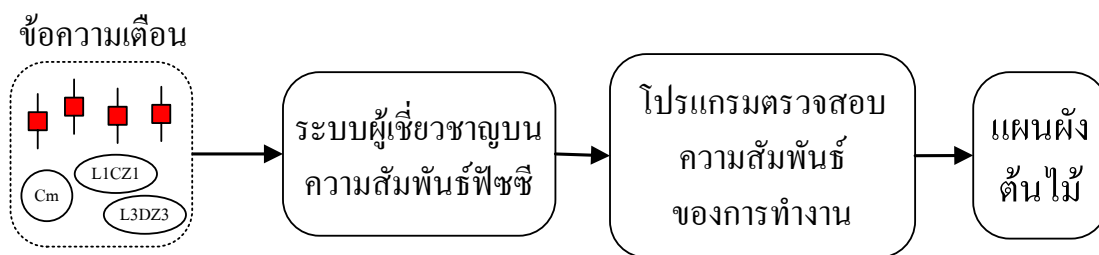
สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ เครื่องมือและขั้นตอนในการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์ตาม ภาพที่ 5-7 ซึ่งจะนำ แผนผังต้นไม้ มาวิเคราะห์ข้อมูลเดือนหลังจากข้อมูลเดือนได้ถูกวิเคราะห์ด้วย ระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ และ ระบบตรวจสอบอาศัยความสัมพันธ์ของการ ทำงาน แล้ว



ภาพที่ 5-5 กรณีเกิดฟอลต์ที่ L1 และเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ไม่ทำงาน



ภาพที่ 5-6 กรณีเกิดฟอลต์ที่ L1 และระบบป้องกันทำงานถูกต้องสมบูรณ์



ภาพที่ 5-7 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์

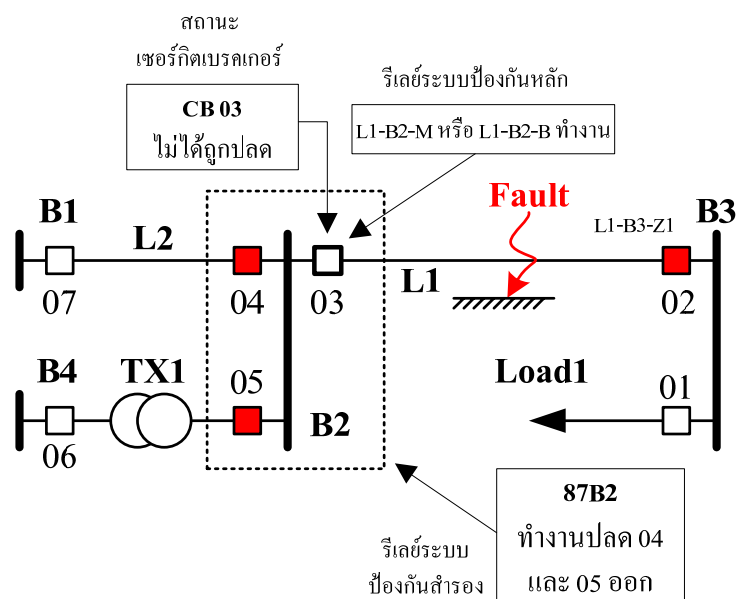
5.4.2 องค์ประกอบในเหตุการณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว

กรณีระบบป้องกันทำงานล้มเหลว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะให้ความหมาย ว่าเป็นผลจาก เซอร์กิตเบรกเกอร์ ไม่ทำงานตามคำสั่งของรีเลย์ป้องกัน หรือ เรียกว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว ดังนั้นจะกล่าวว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว ได้ก็ต่อเมื่อมีเหตุการณ์ย่อยต่างๆ เหล่านี้เกิดขึ้น ได้แก่

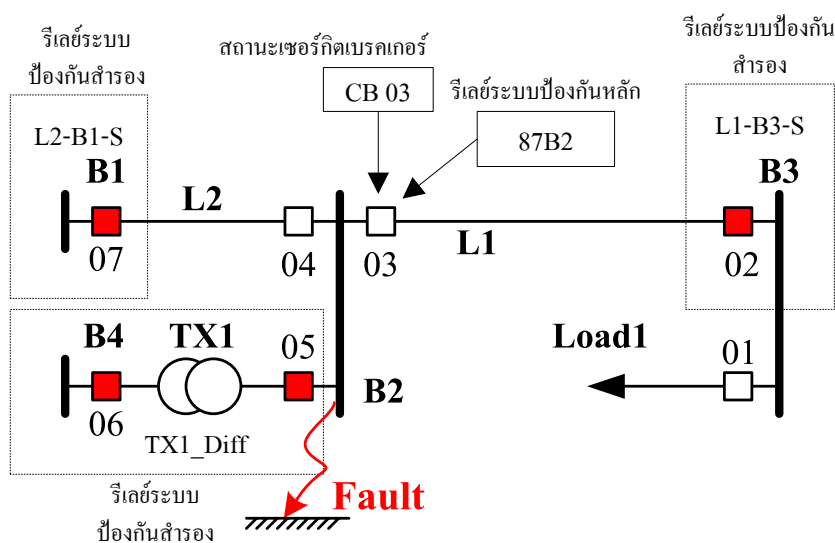
- 5.4.2.1 ข้อมูลเตือนมีความถูกต้องสมบูรณ์ ไม่เกิดกรณีข้อมูลสูญหาย
- 5.4.2.2 มีรีเลย์ระบบป้องกันหลักของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่วิเคราะห์ทำงาน
- 5.4.2.3 สถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่จะวิเคราะห์ยังคง “สับ” จ่ายไฟปกติอยู่
- 5.4.2.4 ระบบป้องกันสำรองของอุปกรณ์อื่นที่ต่อเชื่อมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่วิเคราะห์ ต้อง ทำงานทั้งหมด

ยกตัวอย่างการพิจารณา เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงานล้มเหลว เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำหน้าที่เชื่อมต่อ สายส่ง L1 และบัส B2 เข้ากับระบบไฟฟ้า ดังนั้นเหตุการณ์ที่จะทำให้รีเลย์ป้องกันที่จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ปลดออกได้ คือเกิดเหตุการณ์ฟอลต์ที่ L1 แสดงในภาพที่ 5-8 และเกิด

เหตุการณ์ฟอลต์ที่ B2 แสดงในภาพที่ 5-9 จะขออธิบายกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงานล้มเหลว เนื่องจากเกิดฟอลต์ที่ สายส่ง L1 คือ มีรีเลย์ป้องกัน L1-B2-M หรือ L1-B2-B ทำงาน และ ไม่มีข้อมูลสถานะเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ว่าปลดออก และรีเลย์ผลต่างป้องกันบัส B2 ต้องทำงาน ปลด เซอร์กิตเบรกเกอร์ 04, 05 ออก



ภาพที่ 5-8 ระบบป้องกันทำงานเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงานล้มเหลว



ภาพที่ 5-9 ระบบป้องกัน ทำงานล้มเหลวที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ขณะเกิดฟอลต์ที่บัส B2

5.5 พีชคณิตบูลีน

พีชคณิตบูลีน ถูกนำมาใช้กับค่าสมาชิก เช่น 0 กับ 1 หรือค่าสถานะอื่นๆ แสดงในตารางที่ 5-1 ตัวดำเนินการในพีชคณิตแบบบูลีนก็มีหลายแบบ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เฉพาะ AND, OR และ NOT และตารางที่ 5-2 จะแสดงค่าความจริงเมื่อผ่านตัวดำเนินการต่างๆ

ตารางที่ 5-1 ค่าสถานะความหมายของ จริง และ เท็จ ในหลายๆความหมาย

1	จริง	ถูก	เปิด	ON	สูง	ใช่
0	เท็จ	ผิด	ปิด	OFF	ต่ำ	ไม่

ตารางที่ 5-2 ตารางความจริงของ A, B สำหรับตัวดำเนินการในพีชคณิตแบบบูลีนแบบต่างๆ

A	B	$\neg A$ (Not A)	$\neg B$ (Not B)	$A \cap B$ (A AND B)	$A \cup B$ (A OR B)
0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	1

เราสามารถแปลงเหตุการณ์การเชื่อมโยงต่างๆภายในแผนผังต้นไม้ ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ การบวก หรือ การคูณ ได้ตามตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-3 การแปลงตัวดำเนินการในพีชคณิตแบบบูลีนเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

ชื่อ	ภาพสัญลักษณ์	ฟังก์ชัน
AND		$F = A \cap B = A * B$
OR		$F = A \cup B = A + B$
NOT		$F = A'$

5.6 การคำนวณตรรกศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลแผนผังต้นไม้

เราสามารถนำพีชคณิตบูลีนในการวิเคราะห์เหตุการณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว โดยอาศัยข้อมูลจากแผนผังต้นไม้ สำหรับแนวคิดในการหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวจะใช้แนวคิดที่ว่า ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวหนึ่งทำงานล้มเหลวต้องประกอบด้วยเหตุการณ์ต้นตอใดบ้าง ซึ่งเราวิเคราะห์โดยสร้างแผนผังต้นไม้ 1 ต้นสำหรับการวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวหนึ่งตัว จากภาพที่ 5-10 จะแสดงตัวอย่างแผนผังต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 02 ทำงานล้มเหลว หรือเรียกว่า แผนผังต้นไม้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 02 จะประกอบด้วยนิพจน์เหตุการณ์ต่างๆซึ่งแสดง ในสมการ (5-1) ถึง สมการที่ (5-8)

$$\text{ระบบป้องกัน Z1 หรือ Z2 ของ L2} = ((L2BZ1+L2BZ2)*CB3)*((L2CZ1+L2CZ2)*CB4) \quad (5-1)$$

$$\text{ระบบป้องกัน Z3 ของ L2} = L2BZ3*CB3 \quad (5-2)$$

$$\begin{aligned} \text{ระบบป้องกัน Z1 หรือ Z2 ของ L3} = \\ \{(L3CZ1+L3CZ2)*CB5)*((L3DZ1+L3DZ2)*CB6)\} \end{aligned} \quad (5-3)$$

$$\text{ระบบป้องกัน Z3 ของ L3} = L2DZ3*CB6 \quad (5-4)$$

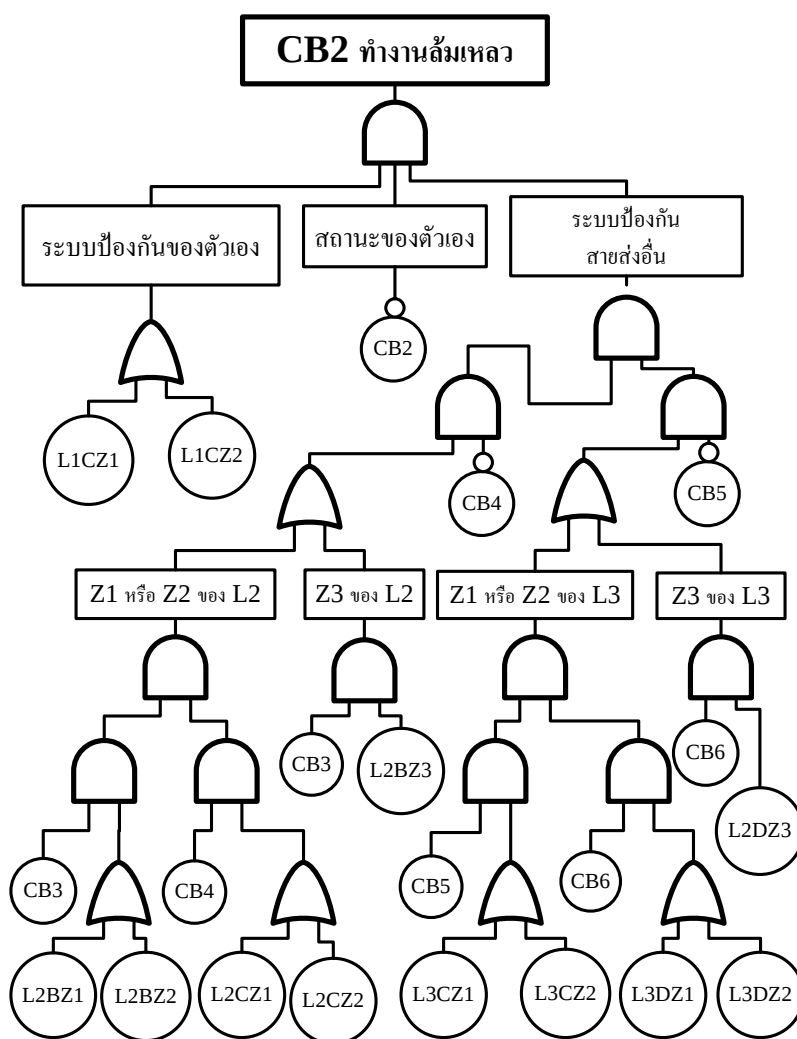
$$\begin{aligned} \text{ระบบป้องกันสายส่งอื่น} = \\ \{(\text{ระบบป้องกัน Z1, Z2 ของ L2} + \text{ระบบป้องกัน Z3 ของ L2})*CB4'\} * \\ \{(\text{ระบบป้องกัน Z1, Z2 ของ L3} + \text{ระบบป้องกัน Z3 ของ L3})*CB5'\} \end{aligned} \quad (5-5)$$

$$\text{สถานะของตัวเอง} = CB2' \quad (5-6)$$

$$\text{ระบบป้องกันของตัวเอง} = L1CZ1+L1CZ2 \quad (5-7)$$

$$\begin{aligned} \text{CB2 ทำงานล้มเหลว} = \\ \text{ระบบป้องกันของตัวเอง} * \text{สถานะของตัวเอง} * \text{ระบบป้องกันสายส่งอื่น} \end{aligned} \quad (5-8)$$

หลังจากเราได้รับข้อมูลต่างๆที่ส่งมา เราจะให้ค่าข้อมูลเตือนเหล่านั้นเป็น 1 และทำการแทนค่าลงในแผนผังต้นไม้ทุกต้น ถ้าแผนผังต้นไม้ใดให้ค่าเหตุการณ์หลัก เท่ากับ 1 แสดงว่า เหตุการณ์หลักนั้นเกิดขึ้นจริง หรือ เกิดเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นทำงานล้มเหลว



ภาพที่ 5-10 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 02 ทำงานล้มเหลว

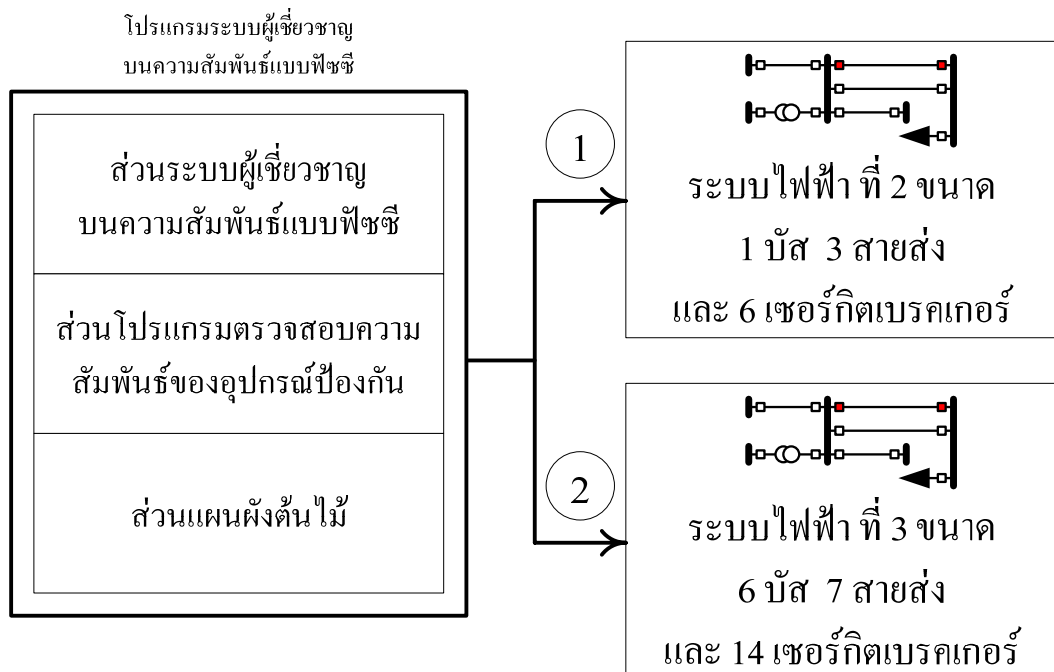
5.7 สรุป

จากภาพที่ 5-10 พบว่าการที่จะชี้ชัดได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดทำงานล้มเหลว ต้องวิเคราะห์เหตุการณ์ต้นตอถึง 21 เหตุการณ์ (เหตุการณ์ต้นตอจะแทนด้วยสัญลักษณ์วงกลม) ถึงจะบอกได้ และในกรณีที่ระบบไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์สายส่ง หรือ หม้อแปลงมากกว่านี้ จำนวนเหตุการณ์ต้นตอก็จะมากไปด้วยทำให้ผู้ควบคุมระบบวิเคราะห์ปัญหาได้ยาก และใช้เวลานาน ดังนั้นถ้าเรานำแผนผังต้นไม้มาจำลองเหตุการณ์กรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานล้มเหลวเตรียมไว้ก่อนแล้วและมีข้อความเตือนต่างๆเข้ามาเราก็ให้โปรแกรมทำการคำนวณพีชคณิตบูลีนหาว่ามีเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดบ้างที่ทำงานล้มเหลว โดยตัวอย่างการคำนวณจะแสดงในบทที่ 6 ซึ่งเมื่อเราใช้แผนผังต้นไม้มาประกอบการหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว จะทำให้ผู้ควบคุมระบบลดเวลาวิเคราะห์ปัญหา และสามารถหาคำตอบที่ถูกต้องได้ในเหตุการณ์ฟอลต์หนึ่งๆ

บทที่ 6

กรณีศึกษา

สำหรับบทนี้จะนำเสนอการนำโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี มาแก้ปัญหาการวิเคราะห์อุปกรณ์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้า ใน 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งแสดงในภาพที่ 6-1



ภาพที่ 6-1 ระบบทดสอบทั้งหมดในการวิเคราะห์ฟอลต์สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

6.1 การวิเคราะห์ฟอลต์กับระบบทดสอบ 3 สายส่ง 1 บัส

ระบบไฟฟ้านี้แสดงในภาพที่ 4-9 จะประกอบด้วย สายส่ง 3 วงจร คือ สายส่ง L1, L2 และ L3 บัส 1 บัส คือ บัส C มี 2 แบบคือ ระบบป้องกันสายส่ง และ ระบบป้องกันบัส โดยมีรีเลย์ป้องกันระยะทาง 3 ตัว ได้แก่ Main Protection Relay, Backup1 Protection และ Backup2 Protection ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับรีเลย์ระบบป้องกันใช้กฎการทำงานตามตารางที่ 4-1 และ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแผนภาพแซกจิตอลใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4-2

ตารางที่ 6-1 แสดงตัวอย่างการแก้ปัญหาการวิเคราะห์ฟอลต์จากเหตุการณ์ 10 เหตุการณ์ เมื่อเหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆเกิดจากการจำลองของผู้วิจัยเอง โดยจำลองว่าเกิดฟอลต์ที่อุปกรณ์ต่างๆกัน ข้อมูลอินพุทของแต่ละเหตุการณ์คือสถานะของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงานหลังเกิดเหตุการณ์ฟอลต์ขึ้น ตารางที่ 6-2 แสดงผลลัพธ์หลังการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 5, 7 และ 9 ผู้วิจัยได้จำลองเหตุการณ์เมื่ออุปกรณ์ระบบป้องกันหลักไม่ทำงาน และ เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 8, 10 ได้จำลองเหตุการณ์โดยทำข้อมูล เซอร์กิตเบรกเกอร์ สูญหาย

ตารางที่ 6-1 ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ระบบป้องกันสำหรับระบบไฟฟ้าภาพที่ 4-9

เหตุการณ์ฟอลต์	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน
1	03, 04	L2BZ1, L2CZ1
2	01, 02	L1AZ2, L1CZ2
3	02, 04, 05	Cm
4	05, 06	L3CZ1, L3DZ2
5	01, 03, 06	L1AZ1, L2BZ3, L3DZ3
6	01, 02, 03, 04	L1AZ1, L1CZ1, L2BZ1, L2CZ1
7	01, 04, 05	Cm, L1AZ3
8	01	L1AZ2, L1CZ2
9	03, 01, 06	L2BZ1, L2CZ1, L1AZ3, L3DZ3
10	02, 05	Cm

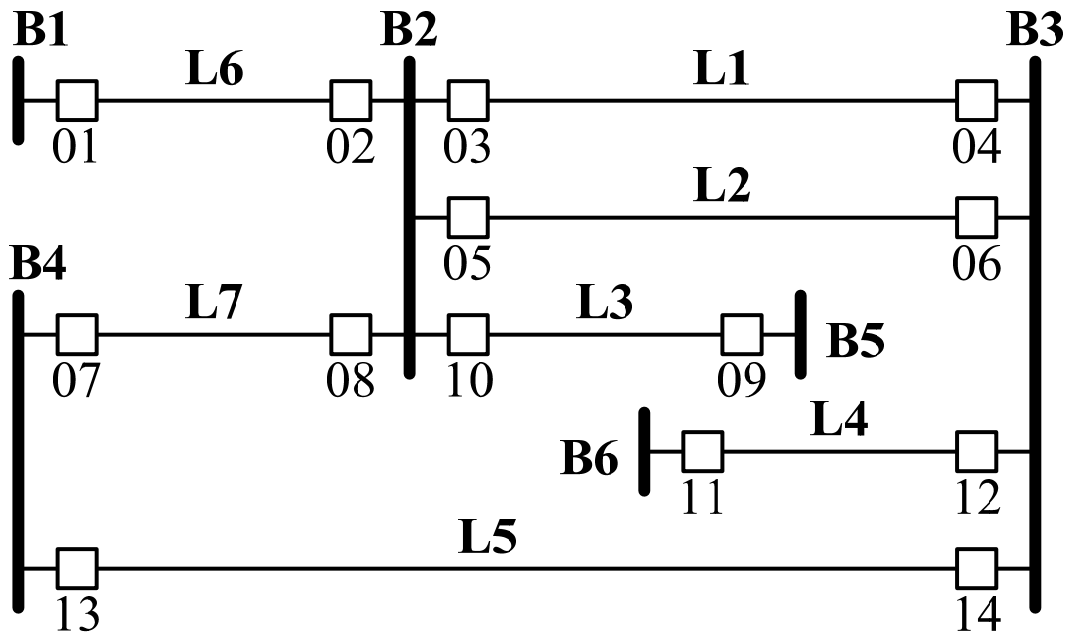
จากตัวอย่างทั้ง 10 เหตุการณ์ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซีสามารถค้นหาอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ได้ถูกต้องทั้งหมด กรณีมีระบบป้องกันหลักบางตัวไม่ทำงาน หรือ เหตุการณ์ที่ 5, 7, 9 และ กรณีข้อมูลระบบป้องกันบางตัวสูญหาย หรือ เหตุการณ์ที่ 8, 10 โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี จะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็น ค่าความเป็นสมาชิกของการเกิดฟอลต์ ซึ่งสื่อความหมายว่าอุปกรณ์หนึ่งๆมีโอกาสเกิดฟอลต์ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานวิเคราะห์เหตุการณ์ได้ละเอียดขึ้น

ตารางที่ 6-2 ผลลัพธ์จากโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่

เหตุการณ์ ฟอลต์	ค่าความเป็นสมาชิก ของการเกิดฟอลต์	อุปกรณ์ที่มีโอกาส เกิดฟอลต์ได้มากที่สุด	วิเคราะห์คำตอบ
1	$L2 = 0.9978$	L2	เกิดฟอลต์ที่ L2
2	$L1 = 0.8477$	L1	เกิดฟอลต์ที่ L1
3	$C = 0.8773$	C	เกิดฟอลต์ที่ บัส C
4	$L3 = 0.9288$	L3	เกิดฟอลต์ที่ L3
5	$L1 = 0.8567$ $C = 0.6417$ $L2 = 0.5093$ $L3 = 0.5093$	L1 (C, L2, L3)	มีระบบป้องกันบางตัวไม่ทำงาน โดย อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้แก่ L1, C, L2, L3 และ อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิด ฟอลต์ได้มากที่สุดคือ L1
6	$L1 = 0.9978$ $L2 = 0.9978$	L1, L2	เกิดฟอลต์ที่ L1, L2 หรือ เกิดฟอลต์ใน 2 จุดพร้อมกัน
7	$C = 0.8773$ $L2 = 0.5093$ $L3 = 0.5093$	C (L2, L3)	มีระบบป้องกันบางตัวไม่ทำงาน โดย อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้แก่ C, L2, L3 และ อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ ได้มากที่สุดคือ C
8	$L1 = 0.8628$	L1	เกิดฟอลต์ที่ L1
9	$L2 = 0.8567$ $C = 0.6417$ $L1 = 0.5093$ $L3 = 0.5093$	L2 (C, L1, L3)	มีระบบป้องกันบางตัวไม่ทำงาน โดย อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้แก่ C, L1, L2, L3 และ อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิด ฟอลต์ได้มากที่สุดคือ L2
10	$C = 0.8773$	C	เกิดฟอลต์ที่ บัส C

6.2 การวิเคราะห์ฟอลต์กับระบบทดสอบ 7 สายส่ง 6 บัส

ระบบไฟฟ้านี้ซึ่งแสดงในภาพที่ 6-2 เกิดจากการปรับปรุง และ เพิ่มอุปกรณ์ไฟฟ้า อาทิ สายส่ง หรือ บัส เข้าไปในระบบทดสอบในภาพที่ 4-9 เพื่อให้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ระบบไฟฟ้าในภาพที่ 6-2 จึงประกอบด้วย สายส่ง 7 วงจร และ บัสจำนวน 6 บัส ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 6-3 รีเลย์ป้องกันของระบบนี้เหมือนกับระบบในภาพที่ 4-9 ข้อมูลฐานความรู้เกี่ยวกับรีเลย์ระบบป้องกันใช้กฎการทำงานตามตารางที่ 4-1 และ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแผนภาพแซกจิตอลใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4-2



ภาพที่ 6-2 ระบบไฟฟ้าทดสอบขนาด 6 บัส 7 สายส่ง

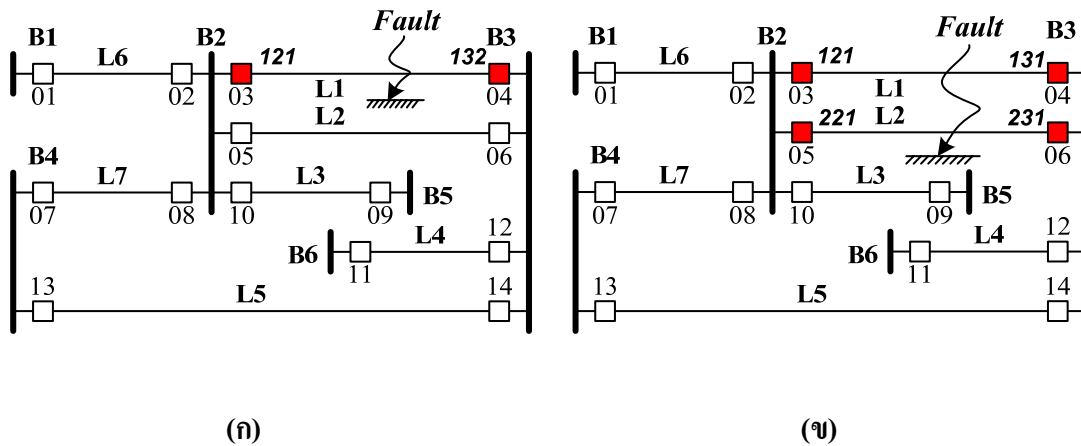
ตารางที่ 6-3 รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าสำหรับภาพที่ 4-9 และ ภาพที่ 6-2

ระบบไฟฟ้า	ประเภทอุปกรณ์	จำนวน
ระบบไฟฟ้า ในภาพที่ 4-9	สายส่ง	3
	บัส	1
	รีเลย์ป้องกัน	19
	เซอร์กิตเบรกเกอร์	6
ระบบไฟฟ้า ในภาพที่ 6-2	สายส่ง	7
	บัส	6
	รีเลย์ป้องกัน	45
	เซอร์กิตเบรกเกอร์	14

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการทดสอบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟuzzy กับ เหตุการณ์ที่ฟอลต์ต่างๆที่ซับซ้อนจำนวน 16 เหตุการณ์ ซึ่งเหตุการณ์ฟอลต์ต่างๆได้มาจากการ

จำลองจากผู้พัฒนาโปรแกรม เหตุการณ์ฟอลต์จะจำลองให้เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัชชีจะใช้โปรแกรมย่อยซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน โปรแกรมย่อย คือ ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัชชี, ส่วนตรวจสอบความสัมพันธ์ของการทำงาน และ ส่วนแผนผังต้นไม้ เหตุการณ์ฟอลต์จะประกอบด้วย เกิดฟอลต์ขึ้นในหลายอุปกรณ์พร้อมกัน, ข้อมูลการทำงานของรีเลย์ป้องกันสูญหาย, เกิดฟอลต์แล้วเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว หรือ มีข้อมูลรีเลย์ป้องกันแปลกปลอมปนเพิ่มเข้ามา โดยแต่ละเหตุการณ์ฟอลต์จะแสดงในภาพที่ 6-3 ถึง 6-10 และรายละเอียดข้อมูลเดือน คือ รีเลย์ป้องกัน และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ในแต่ละเหตุการณ์ฟอลต์ และ ผลลัพธ์จากโปรแกรมวิเคราะห์จะแสดงใน ตารางที่ 6-4 ถึง 6-11 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัชชี จะแสดงค่าออกมาเป็นค่าความเป็นสมาชิกของการเกิดฟอลต์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นถ้าค่านี้มีค่ามากก็ย่อมแสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมีโอกาสเกิดฟอลต์ได้มากด้วย

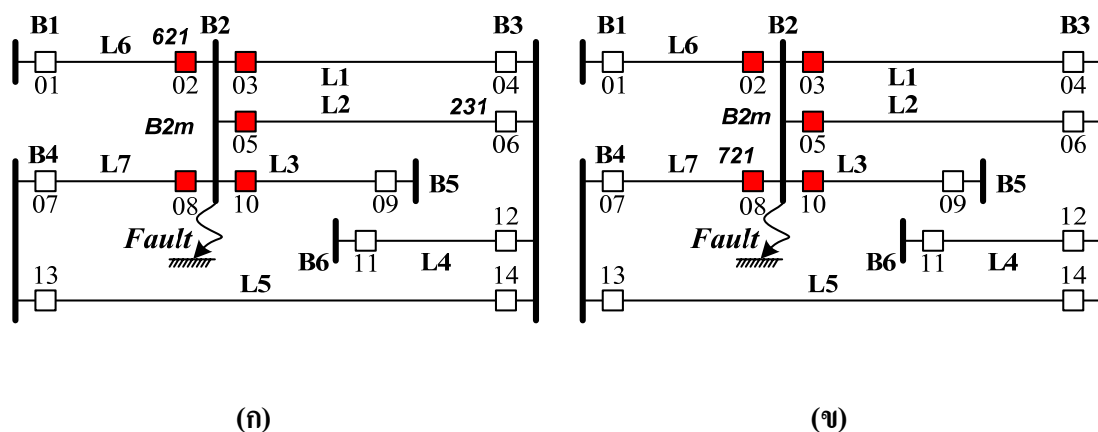
เนื่องจากรีเลย์ป้องกันในภาพที่ 6-2 มีมาก อย่างที่กล่าวในตอนต้น อาทิ รีเลย์ป้องกันระยะทางมีจำนวน 42 ตัว เช่น ในสายส่งสำหรับสถานีไฟฟ้าด้านหนึ่งจะประกอบด้วย รีเลย์ระยะทาง 3 ตัว ดังนั้นเพื่อให้ทราบว่า รีเลย์ป้องกันตัวหนึ่ง ทำหน้าที่ป้องกันสายส่งอะไร, รีเลย์ป้องกันตัวนี้ติดตั้งไว้ที่ใด หรือ รีเลย์ป้องกันตัวนี้เป็นรีเลย์ป้องกันแบบใด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ใช้ตัวอักษรย่อในการแทนความหมาย ซึ่งจะป้องกันความสับสนในการเรียกชื่อ สำหรับ รีเลย์ระยะทาง สามารถเขียนตัวอักษรย่อได้ 3 พจน์ประกอบด้วย เช่น 1-2-1 จะมีความหมายว่า เป็นรีเลย์ป้องกันระยะทางที่ป้องกันสายส่ง L1 ติดตั้งหน้า บัส 2 และเป็นรีเลย์ป้องกันหลัก ความหมายของตัวอักษรย่ออธิบายได้ดังนี้ พจน์แรกหมายถึง ชื่อสายส่ง ในที่นี้คือ L1 พจน์ถัดมาคือพจน์ที่ 2 หมายถึง บัสที่ใกล้ที่สุดที่อยู่ติดกับรีเลย์ระยะทางตัวนี้ ในที่นี้คือ บัส 2 พจน์สุดท้ายหมายถึง ประเภทของรีเลย์ระยะทาง คือ 1 หมายถึง Main Protection, 2 หมายถึง Backup1 Protection และ 3 หมายถึง Backup2 Protection ในที่นี้จะหมายถึง สำหรับรีเลย์ป้องกันผลต่างสำหรับบัส ตัวอักษรตัวกลางจะหมายถึงชื่อบัส เช่น B3m จะหมายถึง รีเลย์ป้องกัน ผลต่างสำหรับบัส 3 เป็นต้น



ภาพที่ 6-3 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 1 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 2

ตารางที่ 6-4 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 1, 2

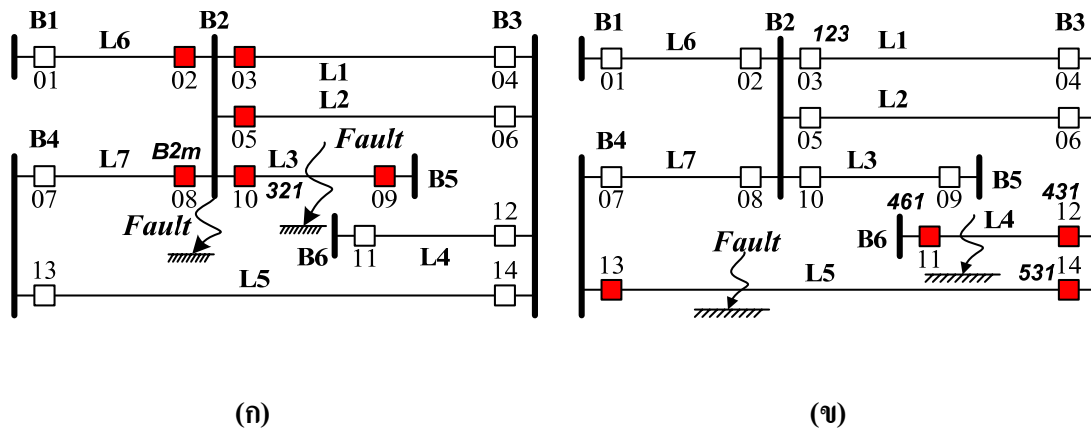
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 1	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	03, 04
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	121, 132
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่	$L1 = 0.9070$
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	ไม่พบ
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 2	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	03, 04, 05, 06
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	121, 131, 221, 231
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่	$L1 = 0.9978$ $L2 = 0.9978$
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	ไม่พบ
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ



ภาพที่ 6-4 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 3 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 4

ตารางที่ 6-5 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 3, 4

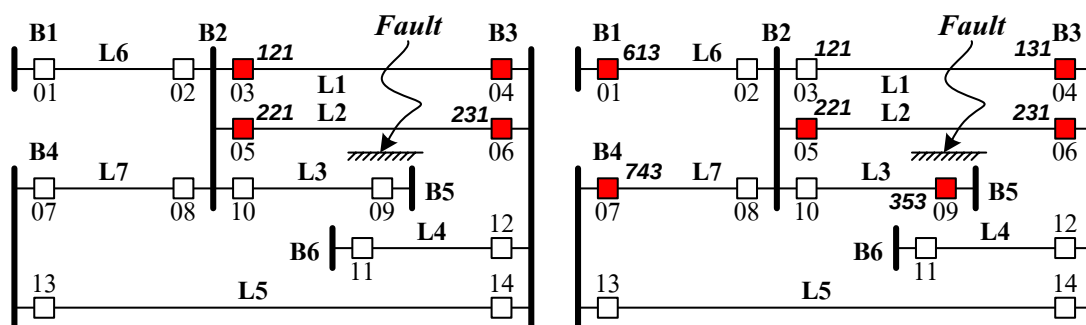
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 3	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	02, 03, 05, 08, 10
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	B2m, 231, 621
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	บัส 2 = 0.8773 L6 = 0.7919
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	1) พบ 231 เป็นข้อมูลผิดพลาดที่เพิ่มเข้ามา 2) รีเลย์ 611, 612 ไม่ทำงาน
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 4	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	02, 03, 05, 08, 10
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	B2m, 721
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	บัส 2 = 0.8773 L7 = 0.7919
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	รีเลย์ 741, 742 ไม่ทำงาน
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ



ภาพที่ 6-5 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 5 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 6

ตารางที่ 6-6 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 5, 6

เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 5	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	09, 10, 02, 03, 05, 08
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	321, B2m
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	บัส 2 = 0.8773 L3 = 0.7919
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	เกิดข้อมูลสูญหายที่รีเลย์ 351, 352
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 6	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	11, 12, 13, 14
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	123, 461, 431, 531
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	L4 = 0.9978 L5 = 0.7919
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	เกิดข้อมูลสูญหายที่รีเลย์ 541, 542
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ



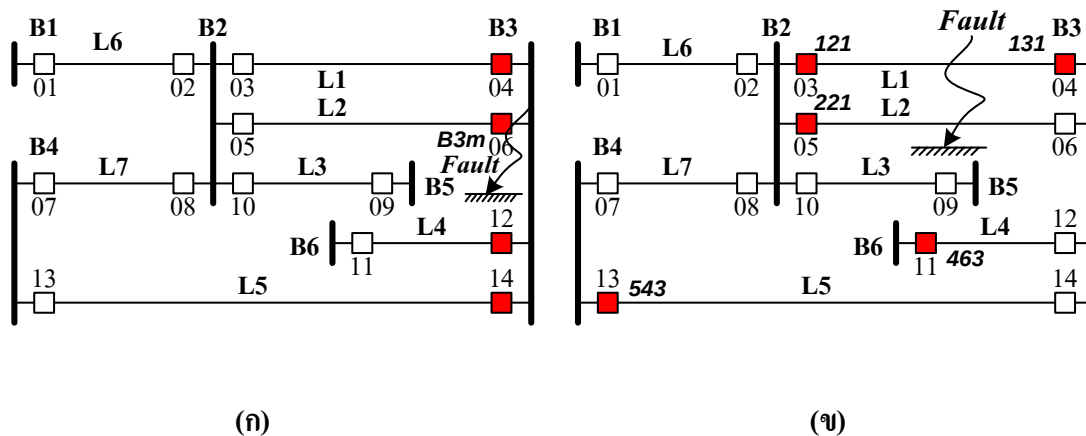
(ก)

(ข)

ภาพที่ 6-6 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 7 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 8

ตารางที่ 6-7 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 7, 8

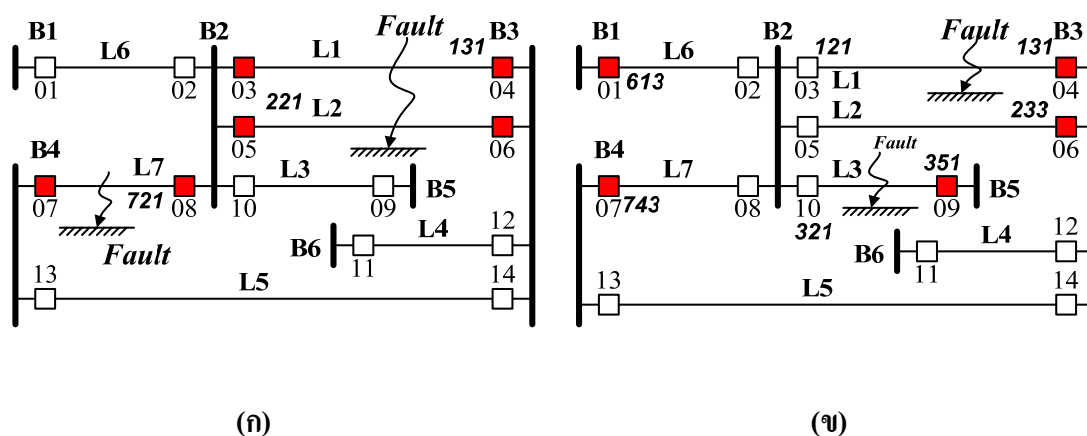
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 7	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	03, 04, 05, 06
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	121, 221, 231
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	$L2 = 0.9978$ $L1 = 0.7919$
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	เกิดข้อมูลสูญหายที่รีเลย์ 131, 132
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 8	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	01, 04, 05, 06, 07, 09
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	121, 131, 221, 231, 353, 613, 743
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	$L2 = 0.9978$, $L1 = 0.8300$ $L3 = 0.5313$, $L6 = 0.5313$ $L7 = 0.5313$, บัส 2 = 0.5313
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	พบรีเลย์ 121 ทำงานแล้วแต่ 03 ทำงานล้มเหลว
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	พบ 03 ทำงานล้มเหลวหลังจากได้รับคำสั่งจาก 121



ภาพที่ 6-7 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 9 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 10

ตารางที่ 6-8 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 9, 10

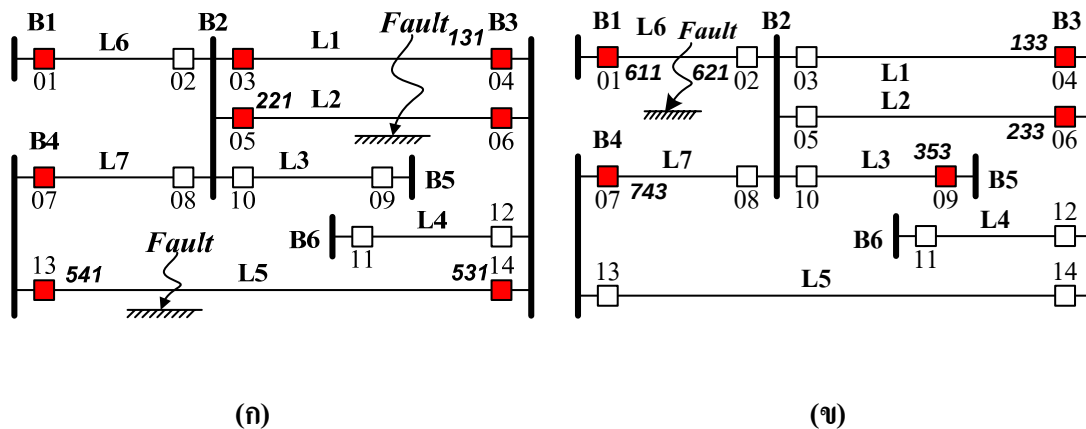
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 9	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	04, 06, 12, 14
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	B3m
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	บัส 3 = 0.8773
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	ปกติ
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 10	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	03, 04, 05, 11, 13
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	121, 131, 221, 463, 543
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	L1 = 0.9978, L2 = 0.8300 บัส 3 = 0.5313, L4 = 0.5313 L5 = 0.5313
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	รีเลย์ป้องกัน 231, 232 ไม่ทำงาน
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้ม เหลวเพราะรีเลย์ป้องกันไม่ทำงาน



ภาพที่ 6-8 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 11 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 12

ตารางที่ 6-9 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 11, 12

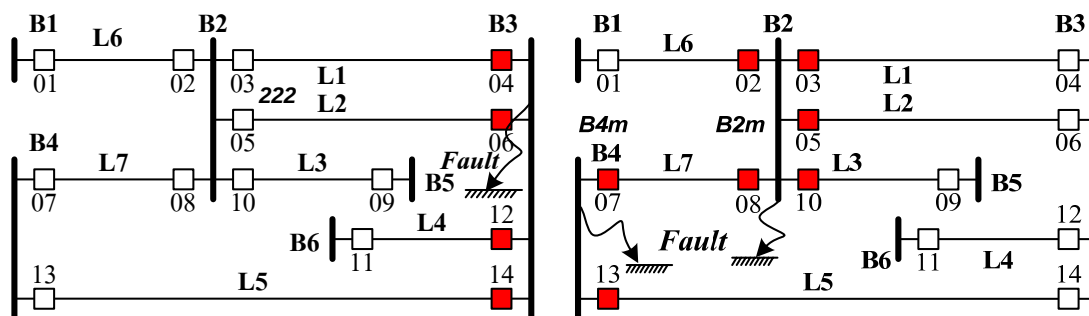
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 11	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	03, 04, 05, 06, 07, 08
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	131, 221, 721
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	$L1 = 0.7919$, $L2 = 0.7919$ $L7 = 0.7919$
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	เกิดข้อมูลสูญหาย ที่ 121, 122, 231, 232, 741, 742
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 12	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	01, 04, 06, 07, 09
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	121, 131, 233, 321, 351, 613, 743
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	$L1 = 0.8300$, $L3 = 0.8300$ $L2 = 0.5313$, $L7 = 0.5313$ บัส 2 = 0.5313, $L6 = 0.4217$
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	รีเลย์ป้องกัน ทำงาน 121 แต่ 03 ไม่ ทำงานและ 321 ทำงานแต่ 10 ไม่ทำงาน
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	พบ เซอร์กิตเบรกเกอร์ 03, 10 ทำงานล้มเหลว



ภาพที่ 6-9 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 13 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 14

ตารางที่ 6-10 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 13, 14

เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 13	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	01, 03, 04, 05, 06, 07, 13, 14
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	131, 221, 531, 541
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	$L5 = 0.9978$, $L1 = 0.7919$ $L3 = 0.7919$
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	ข้อมูลรีเลย์สูญหายคือ 121, 122, 231, 232 และ มีเซอร์กิตเบรกเกอร์ผิดเพี้ยนเพิ่มเข้ามาคือ 01, 07
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 14	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	01, 04, 06, 07, 09
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	133, 233, 353, 611, 621, 743
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	$L6 = 0.8300$, $L1 = 0.5313$ $L2 = 0.5313$, $L3 = 0.5313$ $L7 = 0.5313$, บัส 2 = 0.5313
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	เกิด รีเลย์ป้องกัน 621 ทำงาน แต่ 02 ไม่มีทำงาน
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	พบ เซอร์กิตเบรกเกอร์ 02 ทำงานล้มเหลว



(ก)

(ข)

ภาพที่ 6-10 (ก) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 15 และ (ข) เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 16

ตารางที่ 6-11 ข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 15, 16

เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 15	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	04, 06, 12, 14
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	-
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	ไม่สามารถคำนวณได้
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	เกิดข้อมูลสูญหายที่ รีเลย์ป้องกัน B2m
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ
เหตุการณ์ฟอลต์ ที่ 16	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ทำงาน	02, 03, 05, 07, 08, 10, 13
	รีเลย์ป้องกัน ที่ทำงาน	B2m, B4m
	ผลลัพธ์จากส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ บนความสัมพันธ์แบบฟิชชี	บัส 2 = 0.8773 บัส 4 = 0.8773
	ผลลัพธ์จากส่วนโปรแกรม ตรวจสอบความสัมพันธ์ของ อุปกรณ์ระบบป้องกัน	ไม่พบ
	ผลวิเคราะห์จากส่วนแผนผังต้นไม้	ไม่พบ

6.3 สรุปผลการทดสอบ

ผลลัพธ์ในตารางที่ 6-4 ถึง 6-11 สามารถนำมาวิเคราะห์แสดงเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

6.3.1 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 1 เป็นฟอลต์จุดเดียวที่เกิดขึ้นที่สายส่ง L1 แต่รีเลย์ป้องกันหลักของ 04 ไม่ทำงาน ทำให้รีเลย์สำรองทำงานแทน ซึ่งโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ได้

6.3.2 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 2 เป็นฟอลต์หลายจุดเกิดขึ้นพร้อมกัน ค่าแต่รีเลย์ป้องกันหลักของ 04 ไม่ทำงาน ทำให้รีเลย์สำรองทำงานแทน ซึ่งโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ได้

6.3.3 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 3 โปรแกรมแสดงผลพบว่าเกิดฟอลต์ที่ บัส 2 และ L6 และข้อมูลเดือน 231, 621 โปรแกรมวิเคราะห์ว่า 231 เป็นข้อมูลแปลกปลอมเพิ่มเข้ามา ส่วน 621 โปรแกรมแสดงว่าเกิดฟอลต์ใน L6 แล้วรีเลย์ป้องกัน 611, 612 ไม่ทำงาน

6.3.4 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 4 ผลวิเคราะห์แยกได้ 2 กรณีคือ

6.3.4.1 เกิดฟอลต์ที่ บัส 2 และมีข้อมูล 721 เป็นข้อมูลแปลกปลอมเพิ่มเข้ามา

6.3.4.2 เป็นฟอลต์ที่เกิด 2 จุดพร้อมกันคือ บัส 2 และ L7 โดยโปรแกรมวิเคราะห์ว่า 07, 741 หรือ 742 เกิดข้อมูลสูญหาย

6.3.5 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 5 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ที่ บัส 2 และ L3 โดยเกิดข้อมูลสูญหาย คือ 351 หรือ 352

6.3.6 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 6 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ที่ L4 และ L5 โดยเกิดข้อมูลสูญหาย คือ 541 หรือ 542

6.3.7 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 7 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ที่ L1 และ L2 โดยเกิดข้อมูลสูญหาย คือ 131 หรือ 132

6.3.8 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 8 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ 03 ทำงานล้มเหลว

6.3.9 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 9 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ที่ บัส 3

6.3.10 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 10 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดรีเลย์ 231 และ 232 ไม่ทำงาน ในเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 10 นี้โปรแกรมส่วนแผนผังต้นไม้จะตรวจพบไม่เจอ เพราะแผนผังต้นไม้ค้นหาเฉพาะเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวเท่านั้น

6.3.11 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 11 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ 3 จุดพร้อมกันคือเกิดที่ L1, L2 และ L7 โดยใน 3 จุดฟอลต์นี้โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดข้อมูลรีเลย์สูญหายด้วยในทุกจุดฟอลต์คือที่ 121, 122, 231, 232, 741, 742

6.3.12 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 12 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานล้มเหลว 2 ตัวพร้อมกัน คือ 03, 10

6.3.13 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 13 เป็นเหตุการณ์ฟอลต์ที่มีข้อมูลการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ผิดเพี้ยนเพิ่มเข้ามา คือ 01, 07 และเกิดข้อมูลรีเลย์สูญหายคือ 121, 122, 231, 232 โดยโปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ที่ L5, L1 และ L3

6.3.14 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 14 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานล้มเหลว คือ 02

6.3.15 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 15 โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากมีข้อมูล B2m สูญหาย จึงทำให้เหตุการณ์ฟอลต์นี้ไม่มีรีเลย์สั่งการทำงาน แต่ส่วนโปรแกรมตรวจสอบความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ระบบป้องกันจะตรวจพบว่า B2m เกิดสูญหาย

6.3.16 เหตุการณ์ฟอลต์ที่ 16 โปรแกรมวิเคราะห์ว่าเกิดฟอลต์ที่ บัส 2 และ บัส 4 ในเวลาเดียวกัน

เหตุการณ์ทั้ง 16 เหตุการณ์โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่สามารถจะหาผลลัพธ์ออกมาได้ถูกต้องทั้งหมด โดยใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 1-2 วินาที ซึ่งน้อยกว่าวิธี BAM และโปรแกรมหากล่าวนี้สามารถแก้ปัญหาข้อมูลระบบป้องกันเกิดสูญหายบางส่วนได้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาอย่างหนึ่งของผู้ดูแลระบบไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อระบบไฟฟ้าหลังเกิดฟอลต์ขึ้น ก็จะทำอย่างไรให้จ่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่เกิดไฟดับคืนมาเร็วที่สุดและเกิดความปลอดภัยสูงสุดด้วย ปัจจุบันผู้ดูแลระบบใช้ประสบการณ์ของแต่ละบุคคลในการตัดสินใจอุปกรณ์ใดเป็นต้นเหตุของฟอลต์ เพื่อจะได้จ่ายไฟในอุปกรณ์อื่นที่ไม่เกิดฟอลต์เข้าในระบบ แต่ก็เป็นเรื่องยากที่ประสบการณ์ของแต่ละบุคคลจะสามารถแก้ปัญหาต่างๆ ได้ทั้งหมด และ ในกรณีเกิดข้อมูลที่จะวิเคราะห์มีความผิดพลาดก็จะทำให้การประเมินหาสาเหตุยากลำบากยิ่งขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำปัญญาประดิษฐ์มาจัดการกับปัญหาเหล่านี้ เพื่อประโยชน์ในการลดเวลาการตัดสินใจของผู้ดูแลระบบลงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้ทดลองนำหลายวิธีการมาใช้แก้ปัญหาเหล่านี้

7.1.1 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง ใช้สำหรับการเรียกคืนค่าข้อมูลคู่ลำดับความสัมพันธ์ต่างๆ โดยผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์คืนค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน และ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ โดยข้อมูลฝึกสอนทั้งหมดได้จากการรวบรวมรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ที่ทำงานขณะเกิดฟอลต์ ซึ่งได้ทดลองเรียกคืนกับชุดข้อมูลคู่ลำดับที่มีขนาดเมตริกซ์ขนาดเล็ก (ข้อมูลฝึกสอน กลุ่มที่ 1 ในตารางที่ 3-1) พบว่าผลการเรียกคืนค่าเป็นที่น่าสนใจ คือ สามารถคืนค่าข้อมูลเอาต์พุตได้ถูกต้องทั้งหมด แม้ข้อมูลอินพุตจะเกิดความผิดพลาด อีกทั้งยังแก้ไขค่าอินพุตที่ผิดพลาดให้ถูกต้องด้วยในเวลาเดียวกัน ซึ่งเหมาะกับการแก้ปัญหาข้อมูลบางส่วนเกิดการสูญหายและผิดพลาด แต่เมื่อนำไปใช้วิเคราะห์ปัญหาเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ หรือข้อมูลในตารางที่ 3-9 กลับพบว่าให้ผลการคืนค่าไม่เป็นที่น่าพอใจ คือ คืนค่าถูกต้องได้ไม่ครบทุกปัญหา แม้จะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม ซึ่งหาได้ด้วยวิธี QLBAW ก็ตามโดยวิธีนี้เป็นวิธีการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่มีประสิทธิภาพสูงในการเรียกคืนค่า แต่ผลลัพธ์กลับไม่ดีขึ้น ซึ่งผู้ทำวิจัยวิเคราะห์ปัญหาน่าจะมาจากข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ไม่มีการกระจายกันของข้อมูลระหว่าง 1 กับ 0 ซึ่งแสดงผลการคืนค่าในตารางที่ 3-7 และเมื่อทดสอบกับข้อมูลฟอลต์ในระบบไฟฟ้าในตารางที่ 3-10 ก็พบว่าผลการคืนค่ายังไม่สามารถคืนค่าได้ทั้งหมด

7.1.2 วิธีระบบผู้เชี่ยวชาญ ได้ถูกนำมาแก้ปัญหา โดยได้นำความสัมพันธ์แบบฟัซซีมาประมวลผลระหว่าง กฎถ้าแล้วการทำงานของ รีเลย์ป้องกัน กับ อุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ และ กฎถ้าแล้ว

การทำงานของ รีเลย์ป้องกัน กับ การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยวิธีนี้สามารถจัดการกับข้อมูลในกรณีข้อมูลอินพุตบางตัวสูญหายไป หรือ แก้ปัญหาที่โครงข่ายประสาทดัดแปลงแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทางยังแก้ไขได้ไม่ดีพอ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ ได้แสดงถึงประสิทธิภาพการวิเคราะห์ฟอลต์ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยแสดงผลในบทที่ 6 เช่น กรณีเกิดฟอลต์ขึ้นในหลายอุปกรณ์พร้อมกัน แสดงในเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 2,11 หรือ ข้อมูลการทำงานของรีเลย์ป้องกันบางตัวสูญหาย แสดงในเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 4 โดยจะใช้ส่วนโปรแกรมตรวจสอบความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันช่วยวิเคราะห์ด้วย และกรณีเกิดฟอลต์แล้ว เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลวเมื่อรีเลย์ป้องกันตรวจจับฟอลต์ได้ สำหรับปัญหานี้จะมีความซับซ้อนมากที่สุด ซึ่งจะอาศัยเทคนิคของแผนผังต้นไม้ในการวิเคราะห์ แสดงในเหตุการณ์ฟอลต์ที่ 8,12 หรือแม้แต่ปัญหามีข้อมูลรีเลย์ป้องกันแปลกปลอมปนเพิ่มเข้ามา ก็ยังได้รับวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์ได้อย่างถูกต้อง แต่ข้อจำกัดสำหรับโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ ก็ยังมี คือ การสร้างฐานความรู้ที่ดีพอที่จะครอบคลุมเหตุการณ์ฟอลต์ได้ทุกกรณี ดังนั้นจึงต้องอาศัยการรวบรวมความรู้ที่ดีพอ

ดังนั้นหลังจากเครื่องมือวิเคราะห์หาอุปกรณ์ฟอลต์นี้แล้วเสร็จ ทางผู้วิจัยคาดหวังว่าจะช่วยผู้ดูแลระบบ ในการที่จะกรั่นกรองข้อมูลเตือนหรือชี้ถึงต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งดีกว่าการคาดเดาโดยอาศัยประสบการณ์ของแต่ละบุคคลเอง ที่มีผิดบ้างถูกบ้าง เพราะการที่ไฟดับเป็นเวลานานส่งผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และ กระทบต่อเศรษฐกิจโดยตรง

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง ซึ่งอาจพัฒนาและแก้ไขในอนาคตได้แก่

7.2.1 จัดทำเพิ่มเติมในส่วนติดต่อระหว่าง พนักงานศูนย์ควบคุม กับ โปรแกรมใช้งาน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Graphic User Interfaces; GUI

7.2.2 ปรับค่าถ่วงน้ำหนักของแผนภาพแซกจิตอล ระหว่างชั้นอุปกรณ์ไฟฟ้ากับรีเลย์ป้องกัน และ ระหว่างรีเลย์ป้องกันกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้าของ EGAT

7.2.3 เพิ่มเติมรีเลย์ระบบป้องกันจากเดิม เช่น รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างสำหรับหม้อแปลง, รีเลย์ป้องกันแบบกระแสเกิน และ รีเลย์ป้องกันสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานล้มเหลว เป็นต้น และปรับปรุงโปรแกรมส่วนแผนผังต้นไม้ให้สามารถวิเคราะห์กรณี รีเลย์ป้องกัน ทำงานล้มเหลว

เอกสารอ้างอิง

1. IEEE Std C37 113-1999. IEEE guide for protective relay applications to transmission lines. September 1999.
2. วาสนา ศรีบาง. การรู้จำสาเหตุของเหตุขัดข้องในระบบส่งกำลังของ กฟผ. โดยใช้โครงข่ายสมองเทียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2542.
3. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เอกสารประกอบการบรรยายระบบรีเลย์ป้องกันสายส่งและบัส. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2538.
4. ภาณุภูมิ รัตนวิวัฒน์พงศ์. การออกแบบและพัฒนาคลังความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการความรู้ผ่านระบบอินทราเน็ต กรณีศึกษา ฝ่ายปฏิบัติการเขตนครหลวง, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
5. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. คู่มือการใช้งานระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2539.
6. A.P. Alves da Silva, A.H.F. Insfran. "Neural Network for Fault Location in Substations." IEEE Transactions on Power Deliver. Vol. 11. No.1. January 1996 : 234-239.
7. C. M. Bishop. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford : Oxford University, 1995.
8. B. Kosko. "Bidirectional Associative Memories." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybern. Vol. SMC-18. No.1. January/February 1988 : 49-60.
9. H. Oh and Suresh C. Kothari. "Adaptation of the Relaxation Method for Learning in Bidirectional Associative Memory." IEEE Transactions on Neural Networks. Vol. 5. No.4. July 1994 : 576-583
10. Shengzhi Du, Zengqiang Chen, Zhuzhi Yuan and Xinghui Zhang. "Sensitivity to noise in bidirectional associative memory (BAM)." Neural Networks IEEE Transactions on Vol. 16. Issue 4. July 2005 : 887-898.

11. Hyun-Joon Cho, Jong-Keun Park. "An Expert System for Fault Section Diagnosis of Power Systems using Fuzzy Relations." IEEE Transactions on Power System. Vol. 12. No.1. February 1997 : 342-348.
12. C. Fukui, J. Kawakami. "An Expert System for Fault Section Estimation using Information from Protective Relays and Circuit Breakers." IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. PWRD-1. No.4. October 1986 : 83-90.
13. H. Monsef, A.M. Ranjbar and S. Jadid. "Fuzzy rule-based expert system for power system fault diagnosis." IEE Proceedings-Generation Transmission and Distribution. Vol. 144. No.2. March 1997 : 186-192.
14. E.M. Meza, J.C.S. de Souza, M.T. Schilling and M.B. Do Coutto Filho. "Exploring fuzzy relations for alarm processing and fault location in electrical power systems." Power Tech Proceedings IEEE Porto. Vol. 3. September 2001 : 69-74.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายระดมบุญ ทักษณา

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงข่าย
ประสาทเทียมเชิงสัมพันธ์แบบสองทางและระบบผู้เชี่ยวชาญบนความ
สัมพันธ์แบบฟัซซี่

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2517 เป็นบุตรของ ดร.ระเด่น และ
บุญสม ทักษณา มีพี่ชายชื่อ นายระดมเดช ทักษณา สถานภาพปัจจุบันสมรสแล้วกับ นางสาว
สาทิสรณ์ วงศ์แก้ว ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 73 ซอยสุพรรณธิการ 1 ถนนอินทามระ 44 เขตดินแดง
กรุงเทพมหานคร

เข้าศึกษาระดับ อนุบาล ถึง ประถมศึกษา ที่ โรงเรียนสมาคมสตรีไทย และระดับมัธยมศึกษา
ตอนต้น ที่ โรงเรียนราชวินิต มัธยม จากนั้นเข้ารับการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ที่
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (วทอ.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จนจบ
การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาบัณฑิต ที่ คณะ
วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้สำเร็จการศึกษา
เมื่อปี พ.ศ. 2541

เริ่มปฏิบัติงานที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปลายปี พ.ศ. 2541 ในตำแหน่ง วิศวกร
ระดับ 4 ที่ ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า กองควบคุมระบบ ฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง จนถึงปัจจุบัน

ได้ร่วมนำเสนอผลงานทางวิชาการใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29
ระหว่างวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ในหัวข้อเรื่อง การวิเคราะห์ตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่าย
ไฟฟ้าโดย โครงข่ายประสาทเทียมแบบความทรงจำเชิงสัมพันธ์แบบสองทาง และ งาน
Electrical/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology Conference
หรือ ECTI 2007 ระหว่างวันที่ 9 ถึง 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ในเรื่อง Fault Diagnosis in
Transmission Systems for Alarm Processing by Fuzzy Relation and Fault Tree Analysis (การ
วิเคราะห์ตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าโดยระบบผู้เชี่ยวชาญบนความสัมพันธ์แบบฟัซซี่)