



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การจัดการทำงานของรีเลย์ระยะทาง ให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อป้องกันสายส่งที่มี
การจ่ายไฟแบบลูปปิดโดยไม่มีระบบสื่อสาร
โดย นายศัตยา ใจดุษ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ ผ่องญาติ)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธีรธรรม บุญชะกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญกุล)

กรรมการ

(ดร.กันย์ กังวานสายชล)

การจัดการทำงานของรีเลย์ระยะทางให้ทำงานสัมพันธ์กันเพื่อป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟ
แบบลูปปิดโดยไม่มีระบบสื่อสาร

นายสัตยา ใจคุ้ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายศัตยา ใจคุ้ม
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การจัดการทำงานของรีเลย์ระยะทางให้ทำงานสัมพันธ์กัน
เพื่อป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบลููปปิดโดยไม่มีระบบสื่อสาร
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. วิทวัส ผ่องญาติ
อาจารย์ ดร. ชีรธรรม บุญยะกุล
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line) เป็นสายตัวนำสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าไปยังสถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า หรือใช้ในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง ในกรณีที่ระบบหนึ่งมีกำลังผลิตไม่เพียงพอ ในปัจจุบันการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้านิยมจ่ายไฟออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การจ่ายไฟแบบเรเดียล และการจ่ายไฟแบบลููปปิด

การจ่ายไฟแบบเรเดียล (Radial) การจ่ายไฟแบบนี้ มีข้อดีคือสามารถเข้าใจได้ง่าย ราคาถูกระบบป้องกันสายส่งสามารถทำได้ด้วยวิธีการง่ายๆ แต่การจ่ายไฟแบบนี้มีข้อเสียคือ การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ทำได้ยาก ความปลอดภัยในการจ่ายไฟฟ้าต่ำ และการตัดวงจรแบบเลือกตัดตรงที่เกิดจุดขัดข้องนั้น ไม่สามารถทำได้

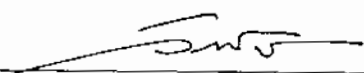
การจ่ายไฟแบบลููปปิด (Close Loop System) การจ่ายไฟแบบนี้ มีข้อดีคือมีการสำรองของสายส่ง จึงมีความปลอดภัยของระบบการจ่ายไฟฟ้าสูงขึ้น มีความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยมากสามารถที่จะทำการตัดวงจรเป็นแบบเลือกตัด ของระบบไฟฟ้าที่เกิดขัดข้องขึ้นได้ และมีข้อเสียคือระบบป้องกันสายส่งมีความยุ่งยาก และมีการลงทุนสูง เนื่องระบบป้องกันของสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบลููปปิดนั้น ปกติแล้วจะเป็นระบบป้องกันที่มีระบบสื่อสาร จึงจำเป็นต้องมีการลงทุนในระบบสื่อสารด้วย

แม้ว่าระบบการจ่ายไฟแบบโคลลสลููป มีข้อดีในการจ่ายไฟ มากกว่าการจ่ายไฟแบบเรเดียล แต่มีข้อเสียคือ ระบบการป้องกันค่อนข้างจะยุ่งยาก และต้องมีการลงทุนในระบบการป้องกันสูง เพราะฉะนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จะนำเอารีเลย์ระยะทางที่ใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้าที่มีการจ่ายไฟแบบเรเดียล มาใช้ในการป้องกัน สายส่งที่มีการจ่ายไฟลููปปิด พร้อมทั้งกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ และจัดการทำงานของรีเลย์ให้ทำงานสัมพันธ์กัน โดยทำการทดสอบการทำงานของรีเลย์ด้วย

โปรแกรม PSCAD/EMTDC และศึกษาการทำงานของระบบป้องกันด้วยการจำลองการเกิด
ฟอลต์ ขึ้นในสายส่งทั้งแบบ 1 จุด และ 2 จุดพร้อมกัน ทั้งนี้ได้ทดสอบการทำงานของระบบป้องกัน
ที่ศึกษานี้โดยใช้ระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคช่วงสถานีไฟฟ้าหาคใหญ่ 2, หาคใหญ่ 3,
หาคใหญ่ 4 และ ฉลุง

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 111 หน้า)

คำสำคัญ : รีเลย์ระยะทาง, การจ่ายไฟแบบลูปิด, การจ่ายไฟแบบเรเดียล



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Sattaya Jaitui
Thesis Title : Distance Relay Coordination for Close Loop Transmission
System Without Communication Channel
Major Field : Electrical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Dr.Witthawas Pongyart
Dr.Teratom Bunyagul
Academic Year : 2006

Abstract

Transmission systems is one part of power system which transfer electrical energy from generating power plants to substation or from supplying points to receiving points. In general, transmission systems are divided into radial systems configuration and close loop system configuration.

The benefits of radial transmission system compared with close loop transmission system are easier to operate, less investment cost and basic protection system requirement. On the other hand, performance of radial system are less than close loop system in term of service availability, maintenance, faulty line section

Close loop transmission systems can give more reliable service, one faulty line section without outage but normally they need communication system for protective relays which cause big amount of investment cost need to be spent.

Although the close loop transmission system gives best performances but their protection systems are very complicate and cost much money for investment. This thesis presents to apply distance relay which is the common solution for radial system to protect close loop transmission system. Protective relay setting and protection coordination are studied and tested by PSCAD/EMTDC program with 1 point and 2 point simultaneously fault conditions. This concepts are applied and tested with the existing radial system of Provincial Electricity Authority to upgrade by making close loop system for Hat Yai 2 substation, Hat Yai 3 substation, Hat Yai 4 substation and Chalung substation around the city of Hat Yai in south of Thailand.

(Total 111 pages)

Keywords: Distance Relay, Close Loop System, Radial System



Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่าน คือ อาจารย์ ดร. วิทวัส ผ่องญาติ และอาจารย์ ดร. ชีรธรรม บุญยะกุล ที่ได้ให้โอกาสและคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาละเอียดต่าง ๆ ระหว่างการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณคุณแม่สัจจาพร ใจคุ้ม และคุณอาภัสรา ใจคุ้ม คุณย่าแก้ว ที่คอยเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่ยังเป็นเด็ก และคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมทั้งให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ท่านผู้อำนวยการกองอุปกรณ์ป้องกัน และรีเลย์ คุณณรงค์ ดันติฉายากร ที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษาศึกษาของข้าพเจ้าเป็นอย่างดี รวมทั้งพี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่กองอุปกรณ์ป้องกัน และรีเลย์ กองมาตรฐานความปลอดภัย ที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา และถามไถ่สารทุกข์สุกดิบระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคุณชนะเดช เกษะแก้ว ที่คอยสนับสนุนเรื่องข้อมูลต่างๆ ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ร่วมทุกข์ ร่วมสุข และทำให้รู้จักการทำงานเป็นกลุ่ม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการใช้ชีวิตร่วมกับคนอื่นในสังคม และสำคัญที่สุดบุคคลที่ขาดไม่ได้คือคุณสุธาสิณี พูลพิพัฒน์ ผู้ที่จุดประกายความคิดให้ข้าพเจ้าต้องศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา แม้ว่าบางสิ่งที่ยังอยู่ในใจยังไม่ได้ออกออกไปก็ตาม

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอสัญญาว่าจะได้นำความรู้ และประสบการณ์ที่ได้รับในครั้งนี้ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งส่วนตัว สังคม และต่อประเทศชาติของเราต่อไป

สัตยา ใจคุ้ม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า	1
1.2 วงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้ากำลัง	1
1.3 รูปแบบการจ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	2
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	11
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	11
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	11
บทที่ 2 รีเลย์ระยะทาง	13
2.1 หลักการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	13
2.2 ขอบเขตของการป้องกัน	15
2.3 อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม	16
2.4 ลักษณะการทำงานของรีเลย์	17
2.5 รีเลย์ระยะทางที่ใช้ในการป้องกันสายส่งแบบมีระบบสื่อสาร	27
2.6 รูปแบบการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่นิยมนำมาใช้ในการป้องกัน สายส่งแบบมีระบบสื่อสาร	28
บทที่ 3 การวัดอิมพีแดนซ์ของรีเลย์	33
3.1 ประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง	33
3.2 การป้องกันสายส่งเมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านเฟส	33
3.3 การป้องกันสายส่งเมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านกราวด์	38
3.4 อันเดอร์รีช	44
3.5 โอเวอร์รีช	44
3.6 ผลของความต้านทานของอาร์คที่มีต่อการทำงานของรีเลย์	44
3.7 ผลของไฟที่ป้อนเข้ามาที่มีต่อการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	47
4.1 ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าที่จะทำการศึกษาในงานวิจัย	48
4.2 การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	49
4.3 การใช้งานแบบจำลองของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC	57
4.4 การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์เบรกเกอร์เฟลลเลอร์	62
บทที่ 5 ผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	63
5.1 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า ในกรณีต่างๆ	63
5.2 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า เพียง 1 จุด	66
5.3 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นใน ระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุด	68
5.4 การทดสอบผลของไฟที่ป้อนเข้ามาที่มีต่อการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	100
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	103
6.1 สรุปผลการทดลอง	103
6.2 ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารอ้างอิง	109
ประวัติผู้วิจัย	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5-1 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 2- สถานีฯฉลุง	66
5-2 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯฉลุง-สถานีฯหาดใหญ่ 3	67
5-3 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3-สถานีฯหาดใหญ่ 4	67
5-4 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4-สถานีฯหาดใหญ่ 2	67
5-5 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯหาดใหญ่2 - สถานีฯฉลุง และ สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันใน กรณีเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน	72
5-6 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯหาดใหญ่ 2 - สถานีฯฉลุงและ สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันใน กรณีเกิดฟอลต์แบบ เฟสกับเฟสลงดิน	73
5-7 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯหาดใหญ่2 - สถานีฯฉลุง และ สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันใน กรณีเกิดฟอลต์แบบ เฟสกับเฟส	73
5-8 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุง และ สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันใน กรณีเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส	73
5-9 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯหาดใหญ่ 2 - สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่ง ทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน	77
5-10 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯหาดใหญ่ 2-สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน	78
5-11 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯหาดใหญ่ 2 สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส	78

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-12 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯหาคใหญ่ 2 -สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาคใหญ่ 3 – สถานีฯหาคใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส	78
5-13 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯหาคใหญ่ 2–สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาคใหญ่ 4 – สถานีฯหาคใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน	82
5-14 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯหาคใหญ่ 2–สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาคใหญ่ 4 – สถานีฯหาคใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน	83
5-15 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯหาคใหญ่ 2–สถานีฯฉลุง และ สถานีฯหาคใหญ่ 4 – สถานีฯหาคใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส	83
5-16 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯหาคใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุง และสถานีฯหาคใหญ่ 4 – สถานีฯหาคใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส	83
5-17 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯฉลุง–สถานีฯหาคใหญ่3 และ สถานีฯหาคใหญ่ 3 – สถานีฯหาคใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน	87
5-18 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯฉลุง–สถานีฯหาคใหญ่3 และ สถานีฯหาคใหญ่ 3 – สถานีฯหาคใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน	88
5-19 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯฉลุง– สถานีฯหาคใหญ่ 3 และ สถานีฯหาคใหญ่ 3 – สถานีฯหาคใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส	88
5-20 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯฉลุง - สถานีฯหาคใหญ่3 และ สถานีฯหาคใหญ่ 3 สถานีฯหาคใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส	88

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-21 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯฉลุง- สถานีฯหาดใหญ่3 และ สถานีฯหาดใหญ่ 4-สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน	92
5-22 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯฉลุง - สถานีฯหาดใหญ่3 และ สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน	93
5-23 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯฉลุง - สถานีฯหาดใหญ่3 และ สถานีฯหาดใหญ่ 4 - สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส	93
5-24 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง สถานีฯฉลุง - สถานีฯหาดใหญ่3 และ สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส	93
5-25 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3-สถานีฯหาดใหญ่ 4 และ สถานีฯ หาดใหญ่4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน	97
5-26 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 3-สถานีฯหาดใหญ่ 4 และ สถานีฯ หาดใหญ่4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน	98
5-27 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3-สถานีฯหาดใหญ่ 4 และสถานีฯ หาดใหญ่4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส	98
5-28 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่3- สถานีฯหาดใหญ่ 4 และ สถานีฯ หาดใหญ่4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส	98
5-29 ผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์สายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2- สถานีฯฉลุงในกรณีที่มีแหล่งจ่ายเพิ่มเข้ามาอีก 1 แห่ง	101

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-30 ผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์สายส่งช่วง สถานีฯตลุง- สถานีฯหาดใหญ่ 3 ใน กรณีที่มีแหล่งจ่ายเพิ่มเข้ามาอีก 1 แห่ง	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 วงจรสมมูลของสายส่งระยะสั้น	1
1-2 วงจรสมมูลของสายส่งระยะกลาง	2
1-3 วงจรสมมูลของสายส่งระยะยาว	2
1-4 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ ผู้ใช้ไฟ	3
1-5 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 1	3
1-6 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 2	3
1-7 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 3	4
1-8 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 4	4
1-9 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 5	5
1-10 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 6	5
1-11 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 7	6
1-12 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 8	6
1-13 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 9	7
1-14 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 10	7
1-15 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 11	8
1-16 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 12	8
1-17 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 13	9
1-18 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 14	9
1-19 การจ่ายไฟแบบรูปปิดของ กฟภ.	10
2-1 ตำแหน่งของฟอลต์และตำแหน่งติดตั้งรีเลย์	14
2-2 ขอบเขตของการทำงานของรีเลย์ระยะทาง	14
2-3 การทำงานของรีเลย์ระยะทางแบบคานสมดุล (Balanced Beam)	14
2-4 อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม	17
2-5 ลักษณะการทำงานของอิมพีแดนซ์รีเลย์	18
2-6 อิมพีแดนซ์รีเลย์ที่ใช้งานร่วมกับรีเลย์แบบรูทิสทาง	18
2-7 โมห์รีเลย์แบบถ้วยเหนียวนำ	19
2-8 โมห์รีเลย์แบบสแตติก	19

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-9 ลักษณะการทำงานของเซลล์โพลาไรส์โมห์รีเลย์	20
2-10 ผลของความต้านทานของอาร์คที่มีต่อผลการทำงานของรีเลย์	21
2-11 ลักษณะการทำงานของออฟเซทโมห์รีเลย์	22
2-12 ลักษณะการทำงานของเส้นสรีเลย์	22
2-13 ลักษณะการทำงานของเส้นสรีเลย์เมื่อใช้งานร่วมกับโมห์รีเลย์	23
2-14 ลักษณะการทำงานของรีแอคเตนซ์รีเลย์	23
2-15 การใช้งาน รีแอคเตนซ์รีเลย์ร่วมกับ โมห์รีเลย์	24
2-16 ลักษณะการทำงานของรีเลย์ระยะทางแบบ ไบไลน์เคอร์รี่	25
2-17 การใช้โมห์รีเลย์กับไบไลน์เคอร์รี่ในการจำกัดการทำงานของโซนของการป้องกัน	25
2-18 การใช้งาน ไบไลน์เคอร์รี่ร่วมกับโมห์รีเลย์	25
2-19 ลักษณะการทำงานของของควอดรีเลทเทอรอลรีเลย์	26
2-20 หลักการทำงานของควอดรีเลทเทอรอล	26
2-21 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในสายส่ง	28
2-22 ไคเร็คชันเคอร์รี่ซึ่งทรานส์เฟอร์ทริพ	28
2-23 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้การป้องกันแบบ ไคเร็คชันเคอร์รี่ซึ่งทรานส์เฟอร์ทริพ	29
2-25 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้การป้องกันแบบ เพอร์มิสซีฟอันเคอร์รี่ซึ่งทรานส์เฟอร์ทริพ	29
2-26 เพอร์มิสซีฟโอเวอร์รี่ซึ่งทรานส์เฟอร์ทริพ	31
2-27 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้การป้องกันแบบ เพอร์มิสซีฟอันเคอร์รี่ซึ่งทรานส์เฟอร์ทริพ	31
3-1 ระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส	33
3-2 แรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) เมื่อเกิดฟอลต์ แบบ 3 เฟส	34
3-3 ระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์แบบ เฟส กับเฟส	36
3-4 แรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) และลำดับลบ (Negative Sequence Network) ของการเกิดฟอลต์แบบ เฟสกับเฟส	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-6 วงจรลำดับของการเกิดลัดวงจรแบบ 1 เฟสลงดิน	39
3-7 การเกิดฟอลต์แบบ 2 เฟสลงดิน	40
3-8 แรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) ลำดับลบ (Negative Sequence Network) และลำดับศูนย์ (Zero Sequence Network) ของการเกิดฟอลต์แบบ 2 เฟสลงดิน	41
3-9 การทำงานแบบแอนเดอร์รีชของรีเลย์ระยะทางเนื่องจากเกิดผลกระทบของแหล่งกำเนิดไฟแหล่งอื่นเมื่อต่อเข้าระบบ	44
4-1 แผนภาพเส้นเดียวของระบบรูปปิด	47
4-2 สภาพการจ่ายไฟที่สถานีไฟฟ้าหาคใหญ่ 2	49
4-3 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์ผ่านเบรกเกอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	50
4-4 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์และกระแสโหลดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	50
4-5 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ หาคใหญ่ 2 ป้องกัน สายส่งช่วง สถานีฯ หาคใหญ่ 2 – สถานีฯ จลุง	51
4-6 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ จลุง ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯ จลุง – สถานีฯ หาคใหญ่ 3	51
4-7 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ หาคใหญ่ 3 ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯ หาคใหญ่ 3 – สถานีฯ หาคใหญ่ 4	52
4-8 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ หาคใหญ่ 4 ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯ หาคใหญ่ 4 – สถานีฯ หาคใหญ่ 2	53
4-9 การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่ตำแหน่งต่าง ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อนำมาใช้ในป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิด	53
4-10 ทิศทางการไหลของกระแสลัดวงจรผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในกรณีที่มีการจ่ายไฟแบบเรเดียล	54
4-11 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเมื่อพิจารณาจ่ายไฟเป็นแบบเรเดียล	54
4-12 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯ หาคใหญ่ 2 ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯ หาคใหญ่ 2 สถานีฯ หาคใหญ่ 4	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-13 แสดงไหม้สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯหาดใหญ่ 4 ป้องกันสายส่ง ช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 3	55
4-14 ไหม้สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯหาดใหญ่ 3 ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 - สถานีฯฉลุง	56
4-15 ไหม้สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯฉลุง ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3	57
4-17 แสดงการจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ระยะทางในตำแหน่งต่างๆในทิศทาง ทวนเข็มนาฬิกาเมื่อนำมาใช้ในป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิด	57
4-18 ขั้นตอนการใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อ ป้องกันฟอลต์ ทางด้านเฟส	58
4-18 การใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อใช้ป้องกัน ฟอลต์ทางด้านเฟส	59
4-19 ขั้นตอนการใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อ ป้องกันฟอลต์ทางด้านกราวด์	60
4-20 การใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อใช้ป้องกัน ฟอลต์ทางด้านเฟส	61
4-21 การทำงานของรีเลย์เบรกเกอร์เฟลเลอร์	62
5-1 การทำงานของรีเลย์ระยะทาง	63
5-2 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่ง	64
5-3 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งในกรณีที่ 1	64
5-4 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งในกรณีที่ 2	65
5-5 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งในกรณีที่ 3	65
5-6 สายส่งช่วงต่างๆ ที่จะทำการป้องกัน	66
5-7 ตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุด	68
5-8 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุง และสาย ส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3	69
5-9 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุงในกรณีที่ 1	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5-34 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯฉลุงในกรณีที่ 3	86
5-35 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ –สถานีฯหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 3	87
5-26 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วงสถานีฯฉลุง–สถานีฯหาดใหญ่3 และสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3	89
5-37 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่3 ในกรณีที่ 1	89
5-38 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1	90
5-39 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่3 ในกรณีที่ 2	90
5-40 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2	91
5-41 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่3 ในกรณีที่ 3	91
5-42 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 3	92
5-43 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 และสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3	94
5-44 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1	94
5-45 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 1	95
5-46 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2	95
5-47 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 2	96
5-48 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 3	96
5-49 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 3	97
5-50 การเกิดความผิดปกติ 2 จุดขึ้นในระบบไฟฟ้า	99
5-51 สภาพการจ่ายไฟแบบ โคลสูลูปที่สถานีฯหาดใหญ่ 2 กรณีที่มี สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายโหลดที่สถานีฯฉลุงอีกแห่งหนึ่ง	100
6-1 การเกิดฟอลต์ใกล้แหล่งผลิตของการจ่ายไฟแบบลูปปิด	104
6-2 เวลาการทำงานของรีเลย์ระยะทาง และรีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง กรณีที่ยังไม่เพิ่มเวลาในการทำงาน	105
6-3 เวลาการทำงานของรีเลย์ระยะทาง และรีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง เมื่อเพิ่มเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทางแล้ว	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6-4 ตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งพร้อมกัน 2 จุด	106

บทที่ 1

ระบบส่งกำลังไฟฟ้า

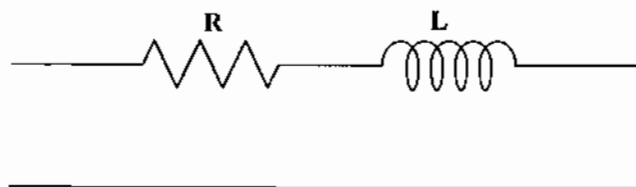
1.1 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า(Transmission System)

สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line) เป็นสายตัวนำสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้า มีระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 69 - 765 กิโลโวลต์ [1] จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าไปยังสถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า หรือใช้ในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง ในกรณีที่ระบบหนึ่งมีกำลังผลิตไม่เพียงพอ โดยสายส่งกำลังไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 138 กิโลโวลต์ [1] ขึ้นไป เรียกว่าสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line) ส่วนสายส่งที่ส่งพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 69 – 13 กิโลโวลต์ [1] เรียกสายส่งประเภทนี้ว่า สายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย (Subtransmission Line) ซึ่งจะใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันสูงกว่าไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อแปลงแรงดันลงเพื่อจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท ตามความต้องการ

สายส่งกำลังไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะ (Overhead Transmission Line) และระบบส่งกำลังไฟฟ้าใต้ดิน (Under Ground Cable System) [1] การเลือกใช้ประเภทใดประเภทหนึ่งนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม ระบบการป้องกัน และความประหยัด แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้สายส่งเหนือศีรษะ ซึ่งมีราคาค่าต่ำกว่าระบบสายส่งใต้ดินมาก

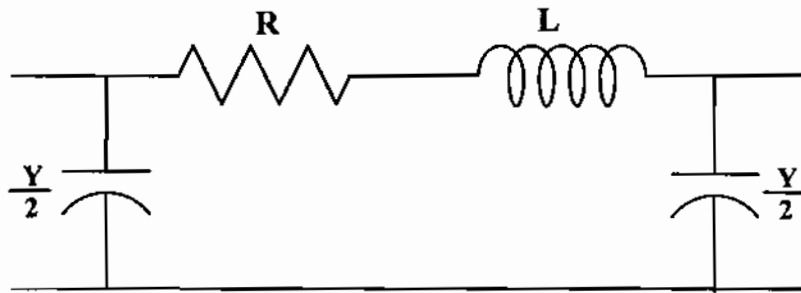
1.2 วงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้ากำลัง

1.2.1 สายส่งระยะสั้น (Short Transmission Line) มีความยาวไม่เกิน 80 กิโลเมตร (50 ไมล์) [2] ภาพวงจรสมมูลของสายส่งระยะสั้นแสดงในภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 วงจรสมมูลของสายส่งระยะสั้น

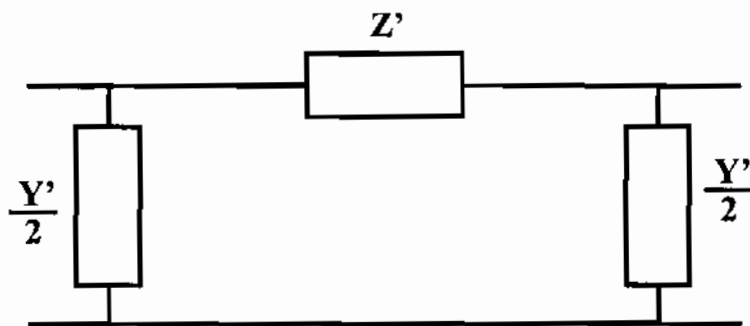
1.2.2 สายส่งระยะปานกลาง(Medium Transmission Line) มีความยาวตั้งแต่ 80 – 24 กิโลเมตร [2] (50 – 150 ไมล์) ภาพวงจรสมมูลของสายส่งระยะปานกลางแสดงในภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 วงจรสมมูลของสายส่งระยะกลาง

1.2.3 สายส่งระยะยาว (Long Transmission Line) มีความยาวมากกว่า 240 กิโลเมตรขึ้นไป [2]

ภาพวงจรสมมูลของสายส่งระยะยาวแสดงในภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 วงจรสมมูลของสายส่งระยะยาว

1.3 รูปแบบการจ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.3.1 สายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial System) ระบบสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลนี้คือ ระบบสายส่งที่มีการป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าไปในสายส่งเพียงด้านเดียว และมีสาขาแยก โดยส่วนใหญ่แล้วก็จะกระจายไปยังแหล่งผู้ใช้ไฟต่างๆ แบบเป็นเส้นกระจาย

ข้อดี

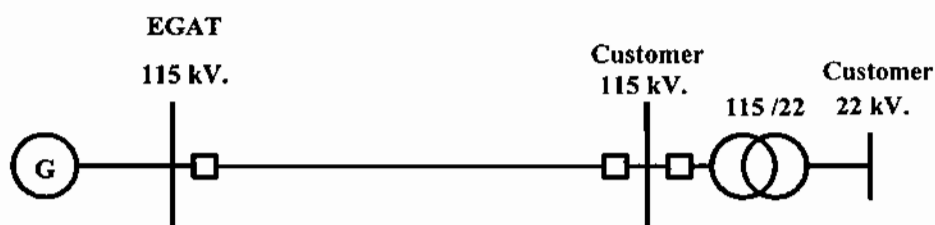
ลักษณะการส่งจ่ายแบบนี้สามารถเข้าใจได้ง่าย ราคาถูก การป้องกันสายส่งสามารถที่ได้ด้วย

วิธีการง่ายๆ

ข้อเสีย

การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ทำได้ยาก ความปลอดภัยในการจ่ายไฟฟ้าต่ำ และการตัดวงจรแบบเลือกตัดในตำแหน่งที่เกิดจุดขัดข้องนั้นไม่สามารถทำได้

1.3.1.1 สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ 115 kV.



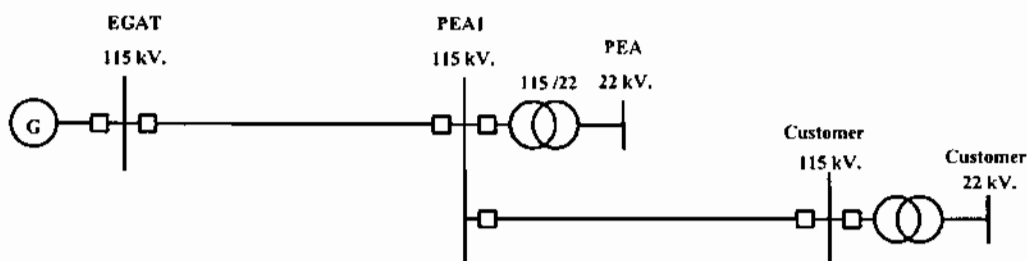
ภาพที่ 1-4 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ ผู้ใช้ไฟ

1.3.1.2 สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าปลายทางของ กฟผ.



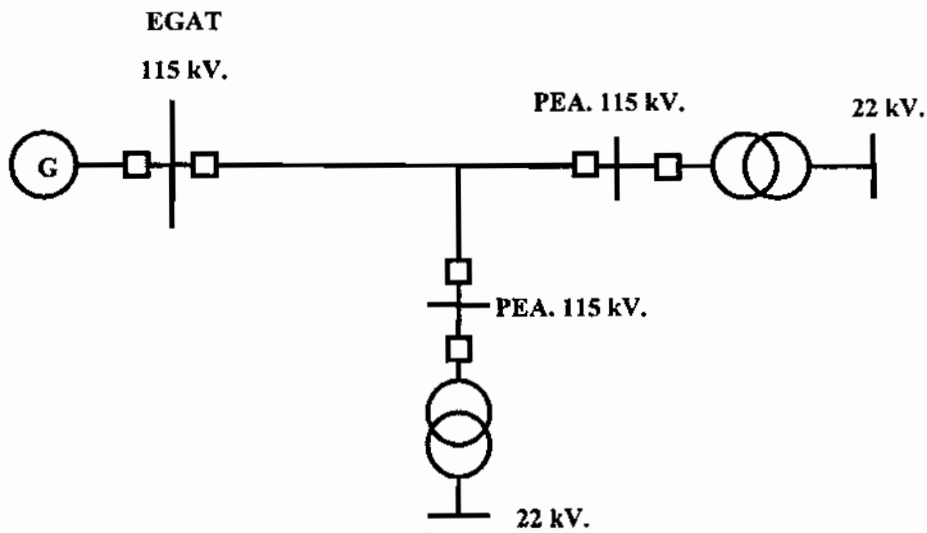
ภาพที่ 1-5 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 1

1.3.1.3 สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ



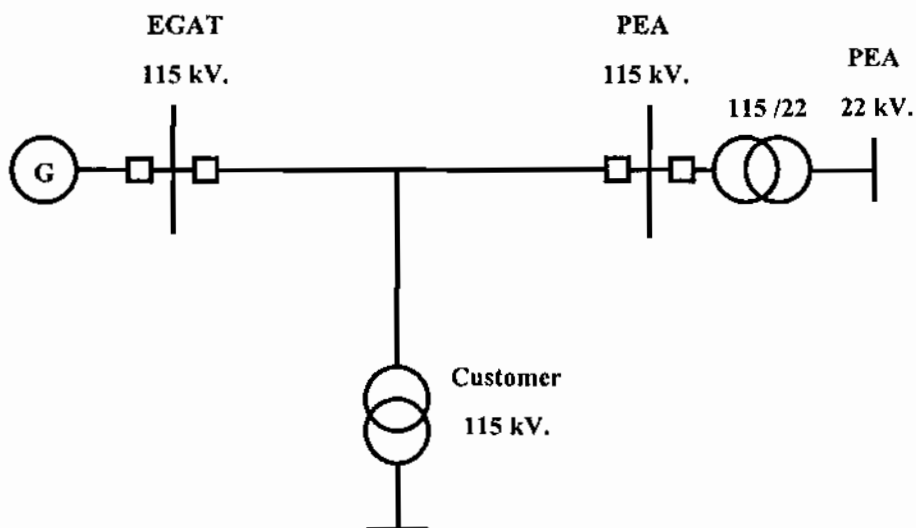
ภาพที่ 1-6 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 2

1.3.1.4 สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าปลายทางของ กฟผ. และมีสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. ต่ออยู่ตรงกลางสายส่ง



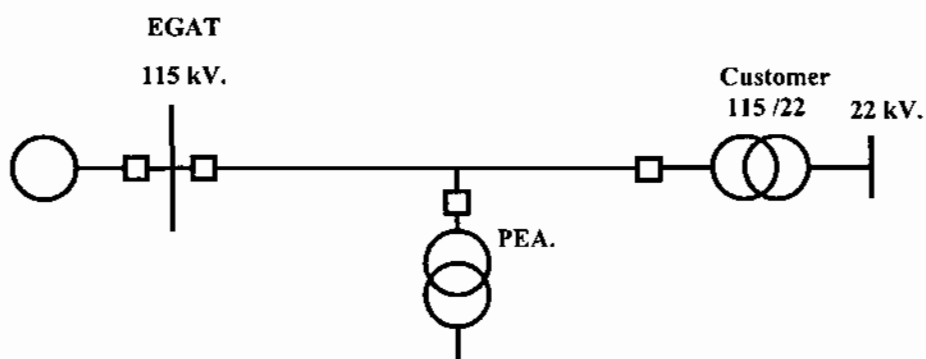
ภาพที่ 1-7 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟผ. แบบที่ 3

1.3.1.5 สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับ สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. โดยที่มีหม้อแปลงของผู้ใช้ไฟต่ออยู่ตรงกลางสายส่ง



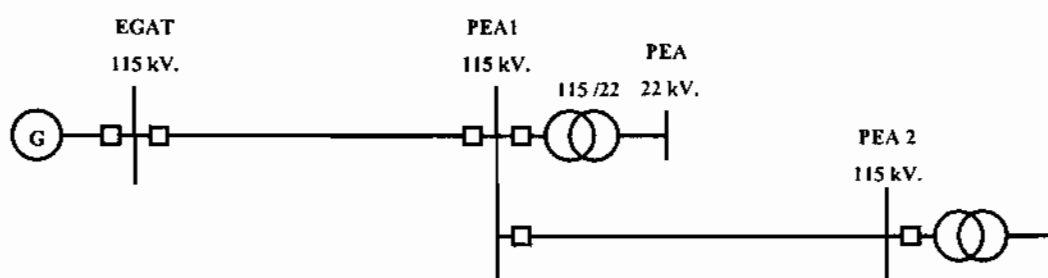
ภาพที่ 1-8 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟผ. แบบที่ 4

1.3.1.6 สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ โดยมี สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ตั้งอยู่ตรงกลาง



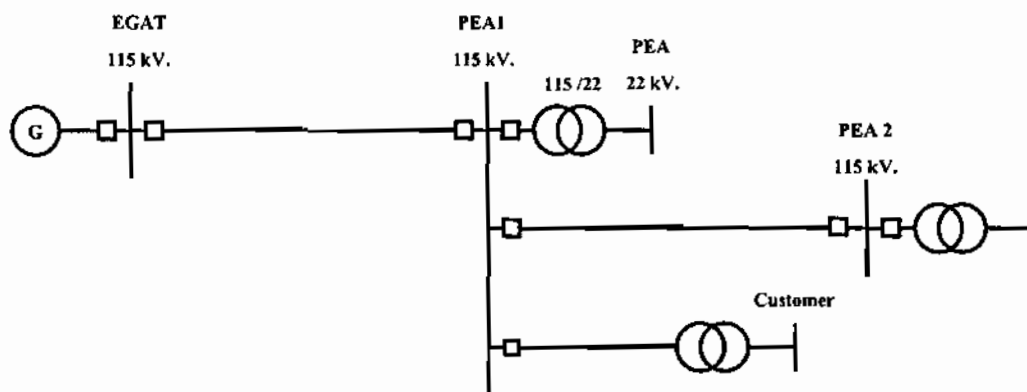
ภาพที่ 1-9 การจ่ายไฟแบบเรเดียลระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 5

1.3.1.7 สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. อีก 1 สถานี



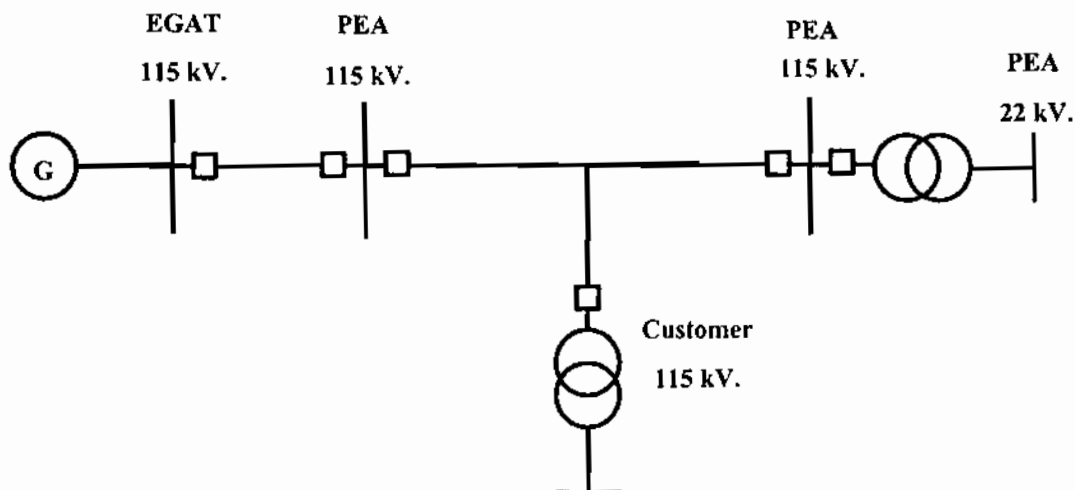
ภาพที่ 1-10 การจ่ายไฟแบบเรเดียลระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 6

1.3.1.8 สถานีไฟฟ้าคั่นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. เอง และจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ



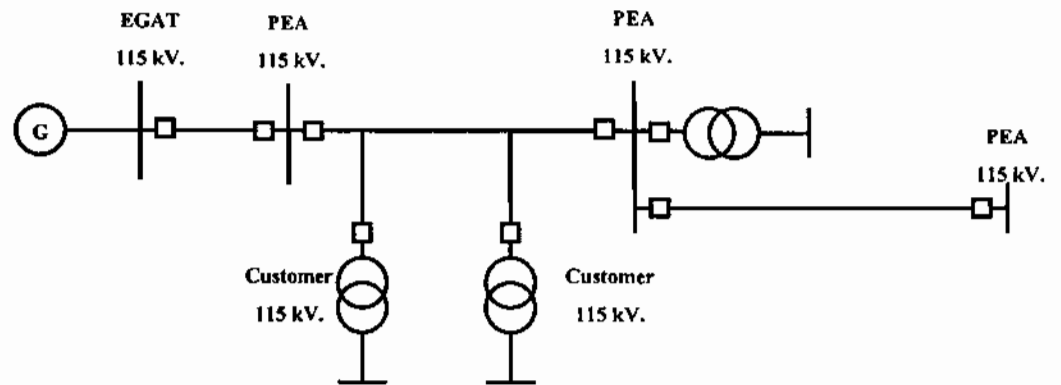
ภาพที่ 1-11 การจ่ายไฟแบบเรเดียลระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 7

1.3.1.9 สถานีไฟฟ้าคั่นทางของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และมีผู้ใช้ไฟต่ออยู่ตรงกลาง เพียงสถานีเดียว ระหว่าง สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.



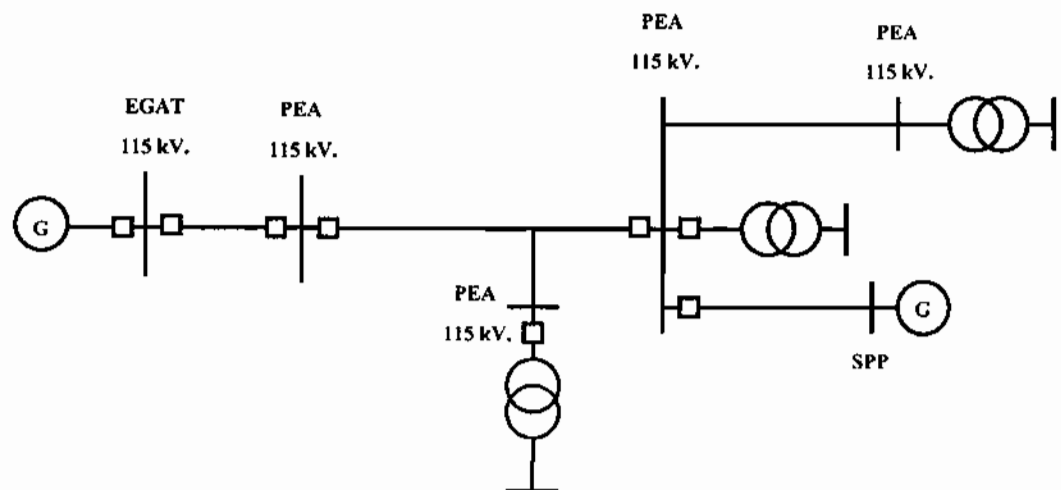
ภาพที่ 1-12 การจ่ายไฟแบบเรเดียลระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 8

1.3.1.10 สถานีไฟฟ้าของ ด้านทาง กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. มากกว่า 1 สถานี และมีผู้ใช้ไฟต่ออยู่ตรงกลาง ระหว่าง สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. มากกว่า 1 สถานี



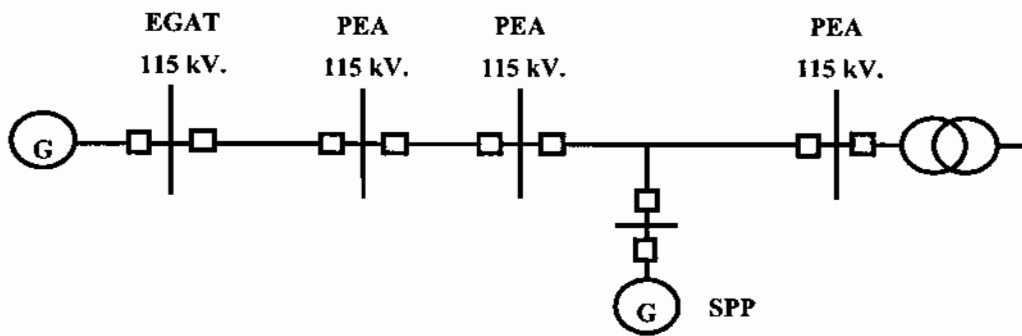
ภาพที่ 1-13 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 9

1.3.1.11 สถานีไฟฟ้าของ ด้านทาง กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. เอง และมีผู้ใช้ไฟต่ออยู่ตรงกลาง ระหว่าง สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และมี โรงจักร ไฟฟ้าขนาดเล็ก ต่ออยู่ที่บัสของ กฟภ.



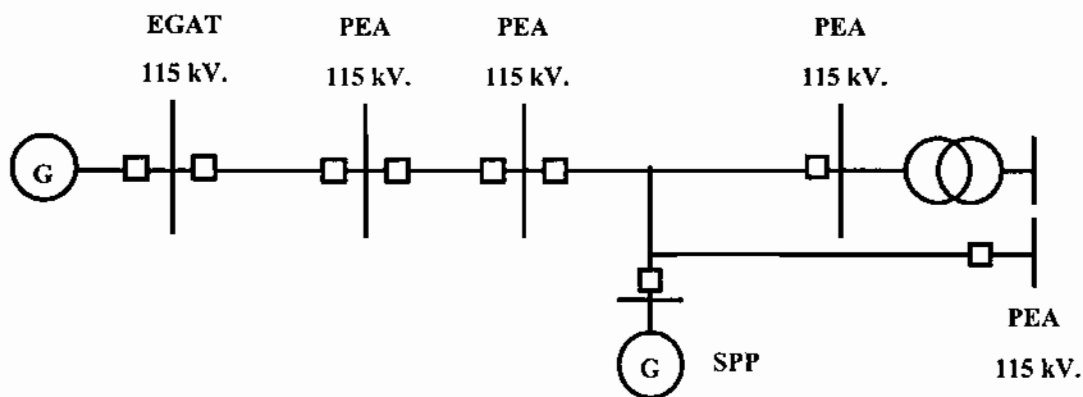
ภาพที่ 1-14 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 10

1.3.1.12 สถานีไฟฟ้าของ คั่นทาง กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. เอง และมีผู้ใช้ไฟต่ออยู่ตรงกลาง ระหว่าง สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ มีโรงจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก ต่ออยู่ตรงกลางสายส่ง



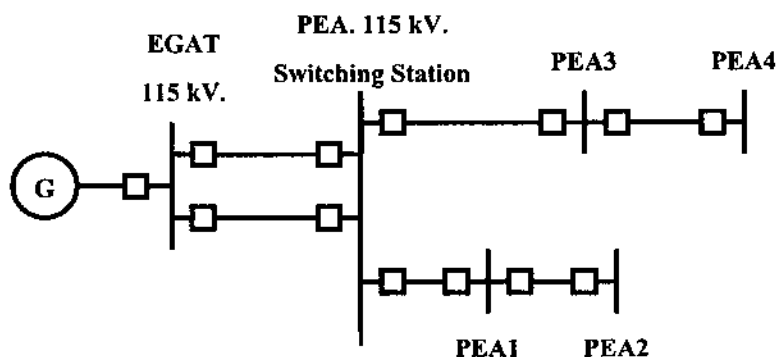
ภาพที่ 1-15 การจ่ายไฟแบบเบรเคียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 11

1.3.1.13 สถานีไฟฟ้าของ คั่นทาง กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่งย่อย 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. เอง และมีผู้ใช้ไฟต่ออยู่ตรงกลาง ระหว่าง สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และมีโรงจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก และมีสถานีของ กฟภ. ต่ออยู่ตรงกลางสายส่ง



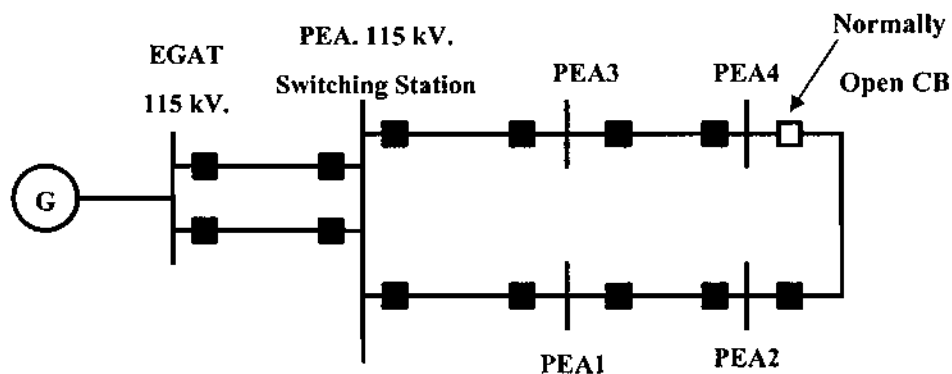
ภาพที่ 1-16 การจ่ายไฟแบบเบรเคียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 12

1.3.1.14 สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่ง 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. มากกว่า 1 สถานี



ภาพที่ 1-17 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 13

1.3.1.15 สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่ง 115 kV จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟภ. และ สถานีไฟฟ้าต้นทางของ กฟภ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าปลายทางของ กฟภ. มากกว่า 1 สถานี และสถานีไฟฟ้าปลายทางของ กฟภ. สามารถที่จะรับไฟจากสถานีไฟฟ้าต้นทางเดียวกัน ได้ 2 ทิศทางจาก

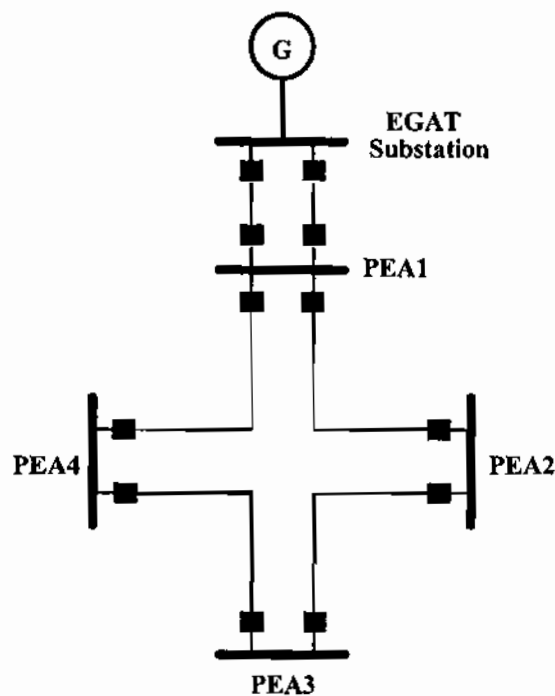


ภาพที่ 1-18 การจ่ายไฟแบบเรเดียระหว่าง กฟผ. และ กฟภ. แบบที่ 14

1.3.2 สายส่งไฟฟ้าแบบลูปปิด (Close Loop System) ลักษณะของสายส่งแบบนี้จะวางสายส่งโดยทำเป็นรูปของวงแหวน โดยที่ต้นของสายส่ง และปลายของสายส่งที่ส่งมาจาก สถานีไฟฟ้าเดียวกันจะถูกนำมาต่อเข้าด้วยกันเป็นวงกลม หรือวงแหวน สายส่งแบบวงแหวนนี้ในการใช้งาน

ที่แท้จริง บางครั้งจะเปิดวงจรออกไม่เป็นวงแหวน การทำเช่นนี้ เมื่อเกิดข้อขัดข้องที่ตรงส่วนหนึ่ง ส่วนใดของวงจรก็สามารถจะตัดวงจรส่วนนั้นๆ ออกไป และส่วนของวงจรที่เหลืออยู่ก็สามารถที่จะจ่ายไฟต่อไปได้ตามปกติ

1.3.2.1 สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายไฟผ่านสายส่ง 115 กิโลโวลต์ จ่ายให้กับสถานีไฟฟ้าด้านทางของ กฟผ. และ สถานีไฟฟ้าด้านทางของ กฟผ. จ่ายให้สถานีไฟฟ้าปลายทางของ กฟผ. ในลักษณะเป็นโคสตูม ซึ่งการจ่ายไฟในลักษณะนี้ยังไม่เคยเกิดใน กฟผ. แต่จะจำลองการจ่ายไฟในลักษณะนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



ภาพที่ 1-19 การจ่ายไฟแบบวงแหวนระหว่าง กฟผ. และ กฟผ.

ข้อดี

มีการสำรองสายส่ง มีความปลอดภัยของระบบการจ่ายไฟฟ้าสูงขึ้น มีความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยมากสามารถที่จะทำการตัดวงจรเป็นแบบเลือกตัด ของระบบไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง ขึ้นได้

ข้อเสีย

การจ่ายไฟแบบนี้สามารถทำได้โดยการจ่ายไฟผ่านสถานีไฟฟ้าด้านทางเพียงสถานีเดียวเท่านั้น หากสถานีไฟฟ้าด้านทางเกิดขัดข้องก็จะทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างได้ นอกจากนี้ระบบป้องกันสายส่งมีความยุ่งยาก และมีการลงทุนสูง

งานวิจัยนี้จะนำเสนอการป้องกันสายส่งพลังงานไฟฟ้า ที่มีรูปแบบการจ่ายไฟแบบโคลสตูล โดยนำรีเลย์ระยะทางที่ไม่มีระบบสื่อสาร ที่ใช้ในการป้องกันระบบเรเดียล มาใช้เป็นระบบป้องกัน เพื่อลดการลงทุนในระบบป้องกันให้น้อยลง และเพิ่มความมั่นคงในการจ่ายไฟ ให้มากขึ้น

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการทำงานของรีเลย์ระยะทาง ที่ในการป้องกันสายส่งย่อย 115 กิโลโวลต์ ที่มีการจ่ายไฟแบบเรเดียล เพื่อที่จะพิจารณานำรีเลย์ชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการ ป้องกันสายส่งย่อย 115 กิโลโวลต์ ที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิด ซึ่งการนำรีเลย์ระยะทางมาใช้ในการ ป้องกันสายส่งย่อยที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิดนี้ จะทำการป้องกันโดยไม่นำระบบสื่อสารมาใช้งาน ร่วมกับรีเลย์ระยะทาง และศึกษาการจัดการทำงานของรีเลย์ระยะทางให้ทำงานสัมพันธ์กัน พร้อม ทั้งศึกษาผลกระทบอื่นๆที่มีผลต่อการทำงานของรีเลย์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่ใช้ในการป้องกันสายส่งย่อย 115 กิโล โวลต์ ที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิดโดยไม่มีระบบสื่อสาร โดยจะพิจารณาทำการกำหนดค่าการทำงานของ รีเลย์ระยะทางที่ใช้ในการป้องกันสายส่งช่วง สถานีไฟฟ้าหาดใหญ่ 2 (HYB), สถานีไฟฟ้าจตุลง (CLU), สถานีไฟฟ้าหาดใหญ่ 3 (HYC) และสถานีไฟฟ้าหาดใหญ่ 4 (HYD) และทดสอบการ ทำงานของรีเลย์โดยการจำลองการเกิดฟอลต์ (Fault) ขึ้นในสายส่งที่ทำการป้องกัน เพื่อดูการ จัดลำดับของการทำงานของรีเลย์ หรือเพื่อดูการทำงานของรีเลย์ว่าทำงานสัมพันธ์กันหรือไม่

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

1.6.1 เพื่อศึกษากำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่ง 115 กิโลโวลต์ที่จะทำการ จ่ายไฟแบบโคลสตูลโดยไม่มีระบบสื่อสาร

1.6.2 เพื่อเพิ่มความมั่นคง และความเชื่อถือได้ในการจ่ายไฟ

1.6.3 เพื่อลดการลงทุนในระบบป้องกันให้น้อยลง

บทที่ 2

รีเลย์ระยะทาง

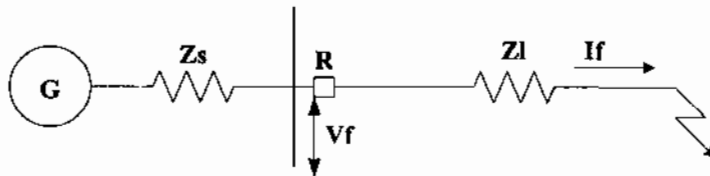
สายส่งกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามาก เนื่องจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีสถิติเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี จึงจำเป็นต้องมีการก่อสร้างสายส่งเพิ่มขึ้น เพื่อเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าต่างๆ เพื่อให้การจ่ายไฟมีความมั่นคง มีความต่อเนื่องในการจ่ายไฟ และมีความเชื่อถือได้สูงขึ้น แต่ปัญหาอย่างหนึ่งของสายส่งที่จะเกิดตามมา เนื่องจากสายส่งกำลังไฟฟ้าเป็นการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่เข้าด้วยกัน เมื่อเกิดฟอลต์ (Fault) ขึ้นในสายส่ง จะมีกระแสฟอลต์ (Fault Current) จะมีค่าสูงมาก เมื่อฟอลต์อยู่ในระบบไฟฟ้านานๆ จะทำอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าให้เร็วที่สุด

รีเลย์ระยะทางซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ป้องกันสายส่ง เนื่องจากมีความไวในการตรวจจับการเกิดฟอลต์ จึงสามารถตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับรีเลย์กระแสเกิน อีกทั้งมีความง่ายต่อการกำหนดค่าการทำงาน และง่ายต่อการจัดการทำงานให้สัมพันธ์กัน และมีราคาที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งาน และสามารถใช้งานเป็นระบบป้องกันหลัก (Primary Protection) และระบบป้องกันสำรอง (Backup Protection) ของสายส่งได้

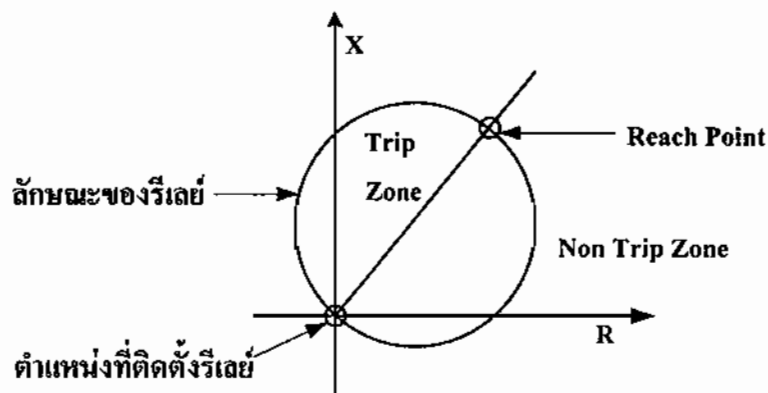
2.1 หลักการทำงานของรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay)

หลักการทำงานของรีเลย์ระยะทาง คือการวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายส่งจากตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ไปจนถึงตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ [3] เมื่ออิมพีแดนซ์ที่วัดได้อยู่ในขอบเขตของการทำงานของรีเลย์ที่กำหนดไว้ รีเลย์ก็จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าวัดค่าอิมพีแดนซ์ของรีเลย์ระยะทางนั้น โดยทั่วไปแล้วจะคำนวณจากหลักการง่ายๆคือ อัตราส่วนของแรงดันที่ตกคร่อมค่าอิมพีแดนซ์ ต่อกระแสที่ไหลผ่านค่าอิมพีแดนซ์ เพราะฉะนั้นอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่รีเลย์ระยะทางวัดได้ จะเท่ากับอัตราส่วนของแรงดันในตำแหน่งที่รีเลย์ติดตั้ง ต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวรีเลย์ ค่าที่ได้ออกมาจะเป็นปริมาณสเกล่า (Scalar)

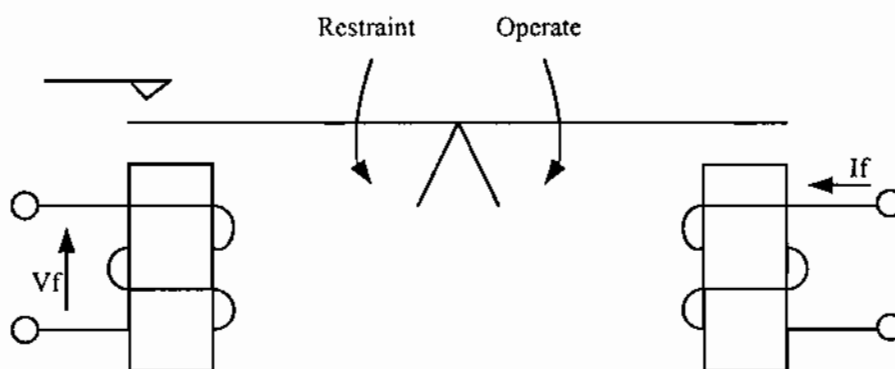
เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าโดยตำแหน่งของการเกิดฟอลต์จะแสดงในภาพที่ 2-1 ฟอลต์ที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง ตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ และขอบเขตของการป้องกันดังแสดงในภาพที่ 2-2 รีเลย์ก็จะคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ และเปรียบเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ที่กำหนดไว้ ถ้าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ หรืออยู่ในโซนการทำงานของรีเลย์ รีเลย์ก็จะสั่งให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เปิดวงจรเพื่อตัดกระแสฟอลต์ ออกจากระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 2-1 ตำแหน่งของฟอลต์และตำแหน่งติดตั้งรีเลย์



ภาพที่ 2-2 ขอบเขตของการทำงานของรีเลย์ระยะทาง



ภาพที่ 2-3 การทำงานของรีเลย์ระยะทางแบบคานสมดุล(Balanced Beam)

จากภาพที่ 2-3 แสดงถึงหลักการทำงานของรีเลย์ระยะทางแบบคานสมดุล อย่างง่าย ๆ คือ การเปรียบเทียบกระแส กับแรงดัน ซึ่งรีเลย์ชนิดนี้ประกอบไปด้วย 2 ขดลวดคือขดลวดทำงาน

(Operating Coil) หรือขดลวดกระแส ที่รับกระแสมาจากหม้อแปลงกระแส อีกขดลวดหนึ่งใช้สำหรับด้านการทำงานของรีเลย์ (Restrant Coil) หรือขดลวดแรงดันที่รับแรงดันมาจากหม้อแปลงแรงดัน และส่วนประกอบอีกอย่างหนึ่งของรีเลย์ระยะทางชนิดนี้คือ คานสมดุลใช้สำหรับติดตั้งหน้าสัมผัสของรีเลย์โดยรีเลย์จะทำงานเมื่อน้ำสัมผัสของรีเลย์นี้ปิดวงจร

ในสภาพปกติที่ไม่มีการเกิดฟลัดขึ้นในระบบไฟฟ้า แรงดูดของขดลวดด้านการทำงานมีค่าเท่ากับแรงดูดของขดลวดทำงานของรีเลย์ ทำให้คานอยู่ในสภาวะสมดุลหน้าสัมผัสของรีเลย์ก็จะเปิดวงจร รีเลย์จึงไม่ทำงาน

เมื่อเกิดฟลัดขึ้นในระบบไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2-1 จะมีกระแสฟลัดไหลเข้าขดลวดกระแสเพิ่มขึ้นในขณะที่แรงดันของขดลวดแรงดัน ซึ่งเป็นขดลวดที่ด้านการทำงานของรีเลย์แรงดันจะไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ จะทำให้แรงดูดของขดลวดทำงานของรีเลย์ มีมากกว่าแรงดูดของขดลวดด้านการทำงานของรีเลย์ จึงทำให้คานของรีเลย์เกิดการไม่สมดุล ทำให้น้ำสัมผัสของรีเลย์ปิดวงจร รีเลย์จึงทำงาน โดยจะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟลัดออกจากระบบไฟฟ้า

2.2 ขอบเขตของการป้องกัน (Zone of Protection)

ขอบเขตการป้องกันของรีเลย์ หรือ โซนการป้องกันของรีเลย์นั้น โดยทั่วไปแล้วรีเลย์ระยะทางนิยมตั้งค่าการทำงานออกเป็น 3 โซน โดยโซน 1 จะกำหนดให้ทำงานเป็นแบบทันทีทันใด ส่วนโซนอื่นๆ จะมีเวลาเหลื่อมล้ำกันไป เพื่อแยกแยะการทำงานของรีเลย์ในแต่ละโซนออกจากกัน การตั้งค่าทำงานของโซน 1 ของรีเลย์ระยะทางนั้นให้ทำงานแบบทันทีทันใด โดยจะมีขอบเขต ของการป้องกันไว้ที่ 80-85 เปอร์เซ็นต์ [3] ของสายส่งที่ป้องกัน ซึ่งสาเหตุที่ไม่ตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ของสายส่งเนื่องจากหากเกิด ฟลัดในบริเวณขอบโซนแล้วจะทำให้รีเลย์อาจจะทำงาน พร้อมกับรีเลย์ป้องกันตัวอื่นๆ เนื่องจากความผิดพลาด ของหม้อแปลงกระแส และ หม้อแปลงแรงดัน และความผิดพลาด ของตัวรีเลย์เองจึงเหลือ 20เปอร์เซ็นต์ของสายส่งไว้เป็นค่า เซฟตี้มาร์จิน (Safety Margin) [3]

การตั้งค่าการทำงานของโซน 2 นี้จะกำหนดให้ทำงานครอบคลุมสายส่งทั้งหมด ที่จะป้องกัน ซึ่งจะรวมทั้ง 15 – 20 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจากการป้องกันของโซน 1 บวกกับ 20-50 เปอร์เซ็นต์ ของสายส่งช่วงถัดไปหรือ 120 เปอร์เซ็นต์ [3] ของสายส่งช่วงที่มันป้องกัน การทำงานของโซน 2 นี้จะเป็นการทำงานแบบหน่วงเวลา เนื่องจากการทำงานของโซน 2 จะมีบางส่วนของขอบเขตการป้องกันทับซ้อนกับ ขอบเขตการป้องกันของโซน 1 ของสถานีที่อยู่ถัดไป หากตั้งค่าให้โซน 2 ทำงานแบบทันทีทันใดแล้ว เมื่อเกิดฟลัดขึ้นในสายส่งช่วงถัดไปที่มีขอบเขตการป้องกันทับซ้อนกันอยู่กับโซน 2 ก็จะทำให้รีเลย์ทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ตัวเกิดทำให้เกิด ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง

เพื่อเป็นการแก้ไขเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในลักษณะนี้ จึงต้องใช้เวลาในการแยกแยะการทำงานโซน 1 และ โซน 2 ออกจากกัน

การตั้งค่าการทำงานของโซน 3 นอกจากรีเลย์ระยะทางจะทำงานเป็นระบบป้องกันเบื้องต้นให้กับสายส่งของตัวมันเองป้องกันแล้ว ยังสามารถทำงานเป็นรีเลย์ป้องกันสำรองให้กับสายส่งที่ตัวมันเองป้องกัน และสายส่งที่อยู่ในช่วงถัดไปด้วย ดังนั้นการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์โซน 3 นี้จะกำหนดค่าการทำงานไว้ที่ 120 เปอร์เซ็นต์ของสายส่งที่ป้องกัน บวกกับสายส่งที่ยาวที่สุดของสายส่งในช่วงถัดไป และแยกแยะการทำงานของโซน 3 ด้วยการหน่วงเวลา

2.3 อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม (R-X Diagram)

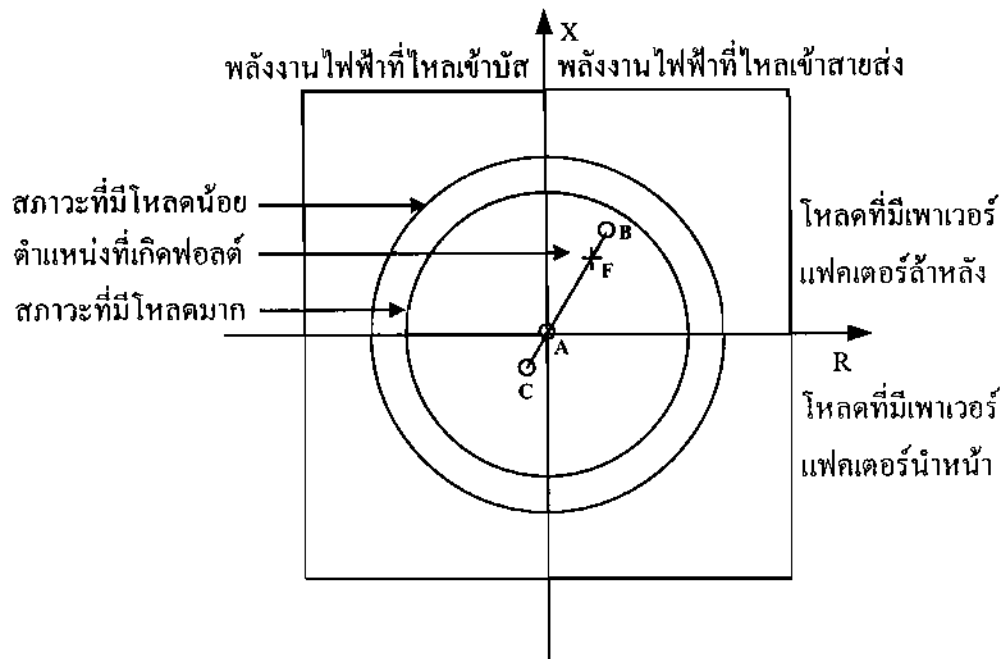
อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม เป็นแผนภาพที่ใช้สำหรับแสดงลักษณะการทำงาน หรือขอบเขตการทำงานของ รีเลย์ระยะทาง [4] ซึ่งรีเลย์ระยะทางนี้จะทำงานโดยการวัดค่าอิมพีแดนซ์จากจุดที่ติดตั้งรีเลย์ไปจนถึงตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ แต่เนื่องจาก ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ามีหลายชนิด และแต่ละชนิดมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไปเช่น แรงดัน กระแส เพราะฉะนั้นจึงเป็นการยากที่จะนำทุกค่ามาวิเคราะห์ปัญหา และแสดงให้อยู่ในไดอะแกรมเดียวกัน เพื่อเป็นการแก้ปัญหาเหล่านี้ จึงได้นำลักษณะการทำงาน หรือขอบเขตการทำงานของรีเลย์ ซึ่งสามารถแสดงอยู่ในรูปของอิมพีแดนซ์ มาแสดงใน อาร์-เอ็กซ์ ไดอะแกรม[4] ซึ่งแกนแนวจะเป็นค่าของรีแอคแตนซ์ ส่วนแกนเอ็กซ์จะเป็นค่าของรีซิสแตนซ์ สำหรับอิมพีแดนซ์ที่แสดงบนอาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรมสามารถแสดงได้ทั้งอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในด้านทุติยภูมิ และด้านปฐมภูมิ ในกรณีที่อิมพีแดนซ์ที่แสดงอยู่ใน อาร์-เอ็กซ์ ไดอะแกรม เป็นค่าทางด้าน ทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส อิมพีแดนซ์ที่ได้จากการเกิดฟอลต์เมื่อนำไปแสดงบนอาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรมแล้ว จะต้องคูณอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันเพื่อให้อยู่ในด้านทุติยภูมิ สำหรับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงอยู่ในอาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรมนั้น ซึ่งประกอบด้วย สถานี A ซึ่งเป็นจุดติดตั้งรีเลย์ และสถานีปลายทางของสายส่ง และจุดเกิดฟอลต์(F) แสดงอยู่ในภาพที่ 2-4 นอกจากนี้ยังแบ่งพื้นที่ในส่วนต่างๆ ของอาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรมออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้ [4]

บริเวณฝั่งขวาของ อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม คือบริเวณที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลเข้าสายส่ง

บริเวณฝั่งซ้ายของ อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม คือบริเวณที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลเข้าบัส

บริเวณฝั่งบนของ อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม คือบริเวณที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง

บริเวณฝั่งล่างของ อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม คือบริเวณที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า



ภาพที่ 2-4 อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม

2.4 ลักษณะการทำงานของรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay Characteristic)

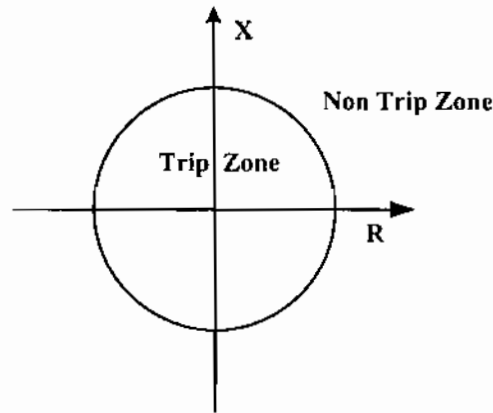
เส้นลักษณะการทำงานของรีเลย์ เป็นเส้นที่แสดงถึงลักษณะการทำงาน และขอบเขตการป้องกันของรีเลย์ระยะทาง โดยจะแสดงใน อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม (R – X Diagram) เพื่อใช้วิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ และตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเส้นลักษณะการทำงานของรีเลย์นี้ จะใช้วิเคราะห์การเกิดฟอลต์ร่วมกับเส้นอิมพีแดนซ์ของสายส่ง เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งและอยู่ภายในโซนของการป้องกันแล้ว รีเลย์จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า

เส้นสมบัติลักษณะของรีเลย์ระยะทางที่แสดงบน อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม จะมีรูปร่าง และหน้าที่การใช้งานแตกต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

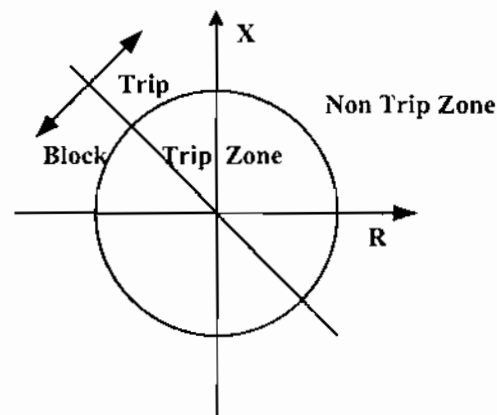
2.4.1 อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance Relay) ลักษณะสมบัติ ของอิมพีแดนซ์รีเลย์ ที่แสดงอยู่บน อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม จะแสดงเป็นรูปวงกลม โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด ออริจิน (Origin) รัศมีของวงกลมจะเป็นค่าขอบเขตของสายส่งที่ป้องกัน [3] ดังแสดงในภาพที่ 2-5 รีเลย์จะทำงานเมื่ออิมพีแดนซ์ที่รีเลย์วัดได้อยู่ในวงกลม (Trip Zone) หรือน้อยกว่าอิมพีแดนซ์ที่กำหนดไว้ รีเลย์ชนิดนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ขนาดเพียงอย่างเดียวเหมือนกับรีเลย์ระยะทางแบบคานสมคูลรีเลย์ที่แสดงในภาพที่ 2-3

ข้อเสียของอิมพีแดนซ์รีเลย์

อิมพีแดนซ์รีเลย์เป็นรีเลย์ระยะทางแบบไม่มีทิศทางทำให้ไม่ว่าจะเกิดฟอลต์ในตำแหน่งใด หากอยู่ภายในโซนการป้องกันของรีเลย์แล้ว รีเลย์ก็จะทำงาน ถ้าต้องการให้รีเลย์ทำงานแบบรู้ทิศทาง จะต้องให้รีเลย์ทำงานร่วมกับรีเลย์กำหนดทิศทางชนิดอื่นแสดงในภาพที่ 2-6



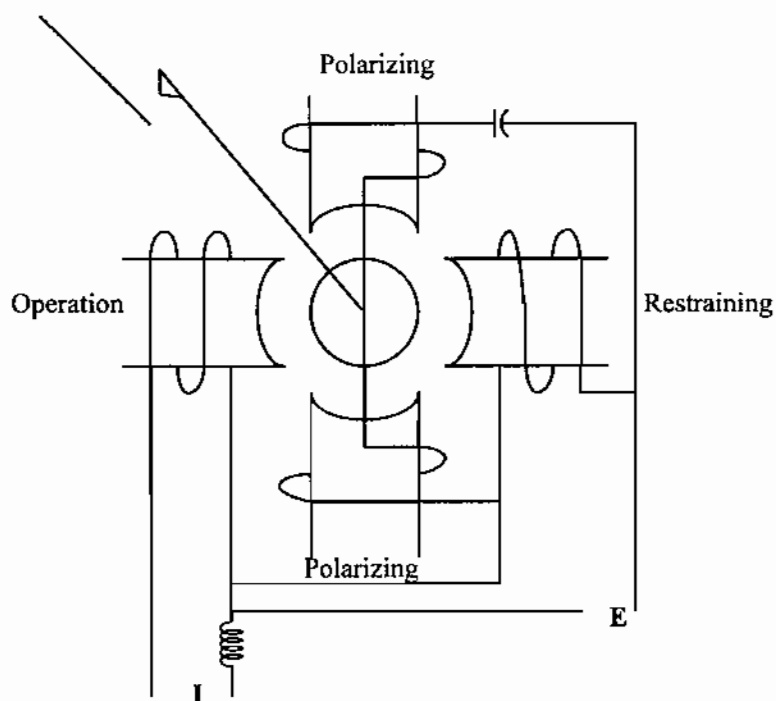
ภาพที่ 2-5 ลักษณะการทำงานของอิมพีแดนซ์รีเลย์



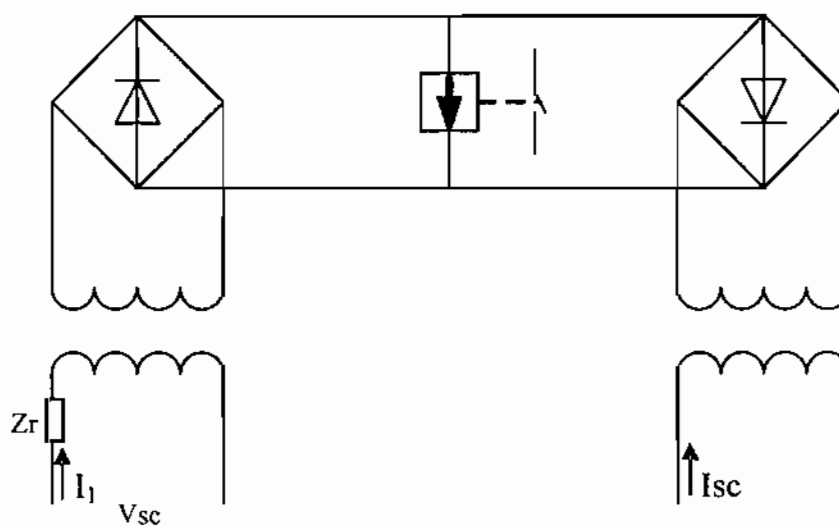
ภาพที่ 2-6 อิมพีแดนซ์รีเลย์ที่ใช้งานร่วมกับรีเลย์แบบรู้ทิศทาง

2.4.2 โมห์รีเลย์ (Mho Relay) หรือแอดมิตแตนซ์รีเลย์ (Admittance Relay) เป็นอิมพีแดนซ์รีเลย์ลักษณะหนึ่งซึ่งการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้คือรีเลย์จะทำงานในลักษณะการเปรียบเทียบมุมเฟสของสัญญาณ 2 สัญญาณ ได้แก่ V (โวลตาไรส์โวลเตจ) และ $V - IZ$ โดยในการเรียกชื่อโมห์รีเลย์จะเรียกชื่อตามการใช้แรงดัน (V) คือ เซลฟ์โพลารไรส์โมห์รีเลย์ (Self Polarized Mho Relay) และครอสโพลารไรส์โมห์ รีเลย์ (Cross Polarize Mho Relay) [5] โดยรีเลย์จะทำงานอยู่ระหว่างมุม $90 \leq \theta \leq 270$

[6] โครงสร้างของโมหรีเลย์อย่างง่ายๆ ได้แก่ รีเลย์แบบถ้วยเหนี่ยวนำ (Induction Cup) [7] ซึ่งเป็นอิเล็กทรอนิกส์เหนี่ยวนำ (Electromagnetic Relay) ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ดังแสดงในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 โมหรีเลย์แบบถ้วยเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 2-8 โมหรีเลย์แบบสแตติก

โดยที่

$$I_1 \text{ คืออัตราส่วนระหว่าง } \frac{V_{sc}}{Z_r} \quad (2-1)$$

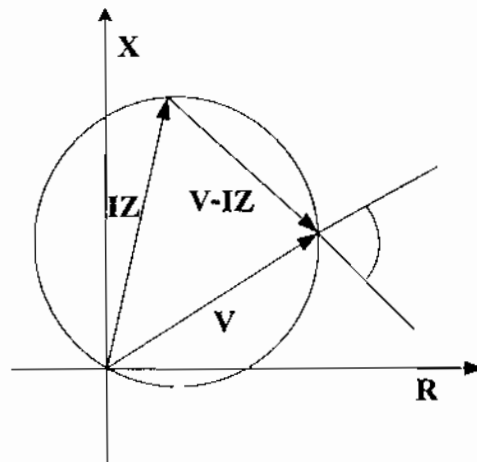
V_{sc} คือแรงดันที่รีเลย์วัดได้ขณะที่เกิดฟอลต์

Z_r คืออิมพีแดนซ์ที่กำหนดไว้

I_{sc} คือ กระแสฟอลต์ที่รีเลย์วัดได้

ภาพที่ 2-8 เป็นสแตติกโมห์รีเลย์แบบง่าย ๆ [7] ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณของกระแสฟอลต์ กับกับแรงดันที่ตำแหน่งติดตั้งรีเลย์ รีเลย์จะทำงานก็ต่อเมื่อ $I_{sc} > I_1$ [7]

เซลฟ์โพลาไรส์โมห์รีเลย์จะใช้แรงดันที่ตำแหน่งติดตั้งรีเลย์ในการเปรียบเทียบสัญญาณใน ขณะที่เกิดฟอลต์ลักษณะการทำงานของโมห์รีเลย์ที่แสดงบน อาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรมนั้น จะเป็น วงกลม เหมือนกับอิมพีแดนซ์รีเลย์ แต่แตกต่างกันที่จะมีเส้นรอบวงผ่านจุดออริจิน แทนที่จะเป็นจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดออริจิน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมจะมีขนาดเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ที่จะป้องกัน [3] แสดงในภาพที่ 2-9



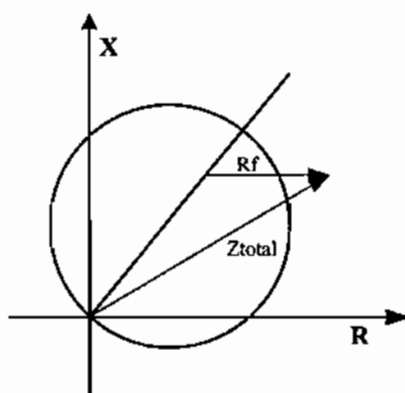
ภาพที่ 2-9 ลักษณะการทำงานของเซลฟ์โพลาไรส์โมห์รีเลย์

โดยที่ V คือ แรงดันขณะที่เกิดฟอลต์ที่วัดได้จากหม้อแปลงแรงดัน

I คือ กระแสฟอลต์ที่วัดได้จากหม้อแปลงกระแส

Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่กำหนดไว้ของรีเลย์ระยะทาง

ครอสโพลาริส์โมห์รีเลย์ (Cross Polarized Mho Relay) ในกรณีของเซลฟ์โพลาริส์โมห์รีเลย์เป็นการใช้แรงดันของรีเลย์ ในสายส่งที่เกิดฟอลต์ เป็นสัญญาณในการเปรียบเทียบมุมเฟสในขณะที่เกิดฟอลต์ แต่ในกรณีที่เกิดฟอลต์ใกล้กับตำแหน่งติดตั้งรีเลย์ จะทำให้แรงดันที่ตัวรีเลย์วัดได้ลดลงเท่ากับศูนย์ จึงทำให้ไม่สามารถใช้แรงดันในขณะที่เกิดฟอลต์มาเปรียบเทียบสัญญาณได้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหานี้จึงได้ใช้แรงดันในสายส่งข้างเคียงมาเปรียบเทียบสัญญาณแทน โดยถ้าใช้ 100 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันจะเรียกว่า ฟูลครอสโพลาริส์โมห์รีเลย์ และถ้าใช้ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์จะเรียกว่า พาร์เทียลโพลาริส์โมห์รีเลย์



ภาพที่ 2-10 ผลของความต้านทานของอาร์คที่มีต่อผลการทำงานของรีเลย์

ข้อดีของ โมห์รีเลย์

รีเลย์ชนิดนี้เป็นแบบมีทิศทางในตัวเองจึงไม่จำเป็นต้องใช้งานร่วมกับรีเลย์ที่รู้ทิศทางตัวอื่น และมีพื้นที่การทำงานน้อยกว่าอิมพีแดนซ์รีเลย์ จึงทำให้โอกาสในการทำงานผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุอื่นที่ไม่ใช่ฟอลต์ จึงมีน้อยกว่าอิมพีแดนซ์รีเลย์

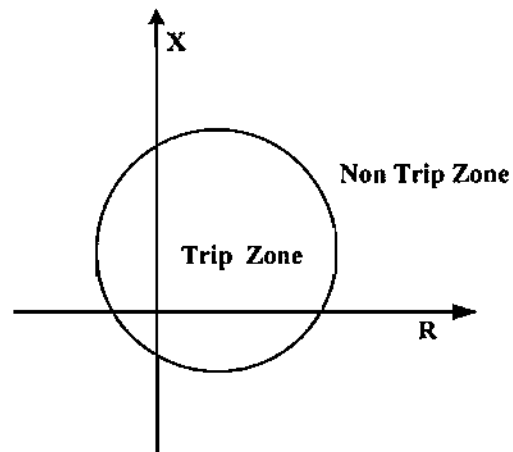
ข้อเสียของ โมห์รีเลย์

เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ใกล้กับตัวรีเลย์จะทำให้แรงดันเป็นศูนย์จะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดเนื่องจากไม่มีแรงดันมาเปรียบเทียบสัญญาณ ข้อเสียอีกประการหนึ่งของรีเลย์ชนิดนี้คือ เมื่อเกิดฟอลต์บริเวณ ปลายสายส่งที่จะป้องกันและเกิดอาร์คขึ้นจะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด เนื่องจากรีเลย์ได้รวมผลของความต้านทานของอาร์คเข้าไปด้วยทำให้อิมพีแดนซ์รวมมีค่ามากกว่าความเป็นจริง [8] ดังแสดงใน ภาพที่ 2-11

2.4.3 ออฟเซทโมห์รีเลย์ คุณสมบัติของออฟเซทโมห์รีเลย์จะเหมือนกับ โมห์รีเลย์แต่จะมีการเลื่อนวงกลมคุณสมบัติลงมากลุมจุดออริจินเอาไว้ แสดงในภาพที่ 2-12

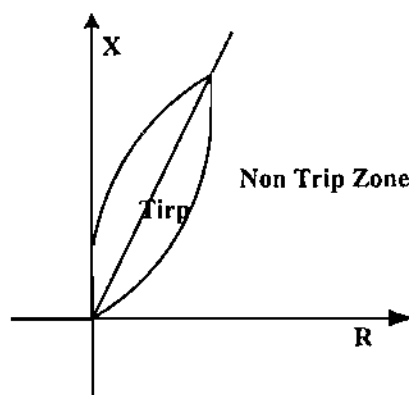
ข้อดีของออฟเซตโมห์รีเลย์

สามารถใช้งานเป็นรีเลย์ป้องกันฟอลต์ที่เกิดด้านหลังตำแหน่งติดตั้งรีเลย์ และเป็นรีเลย์สำรองในการป้องกันบัสบาร์ [3]



ภาพที่ 2-11 ลักษณะการทำงานของออฟเซตโมห์รีเลย์

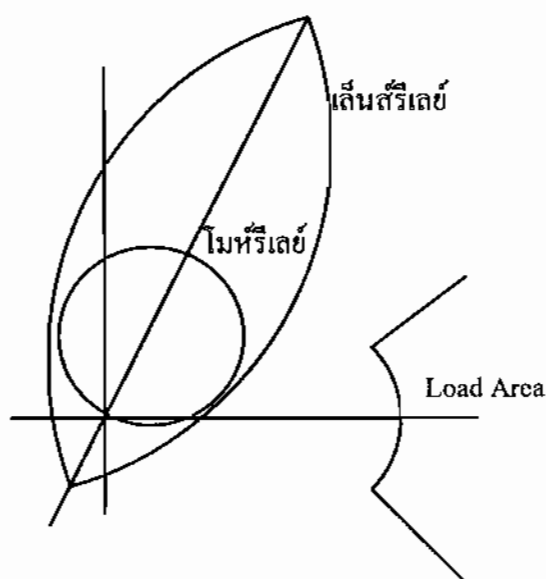
2.4.4 เส้นสรีรีเลย์ (Lenticular Relay) เส้นสรีรีเลย์จะมีรูปร่างเหมือนกับเส้นส โดยสมบัติลักษณะจะแสดงในภาพที่ 2-10 ปกติแล้วเส้นสรีรีเลย์จะใช้งานร่วมกับ โมห์รีเลย์ในการป้องกันสายส่ง



ภาพที่ 2-12 ลักษณะการทำงานของเส้นสรีรีเลย์

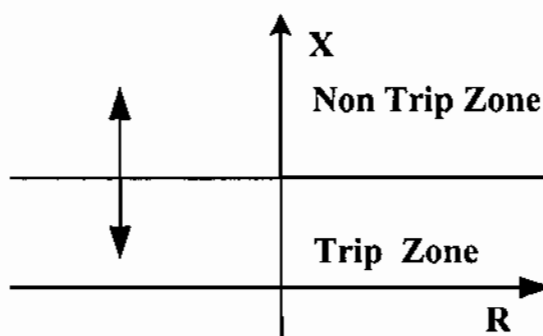
ข้อดีของเส้นสรีเลย์

ใช้ร่วมกับโมหรีเลย์ป้องกันสายส่งที่มีความยาวสายส่งมากๆ หรือ ใช้ในการป้องกันสายส่งที่มีโหลดมากๆ [9, 10, 11] โดยจะใช้งานเส้นสรีเลย์เป็น โซน 2 และโซน 3 เพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของโหลดเข้ามาอยู่ในโซนของการป้องกัน จากภาพที่ 2-14 ถ้าโซนการป้องกันของโซน 2 และ โซน 3 เป็นแบบโมหรีเลย์ จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดเข้ามาอยู่ในโซนของการป้องกันจะทำให้รีเลย์ทำงานด้วยอิมพีแดนซ์ของโหลด

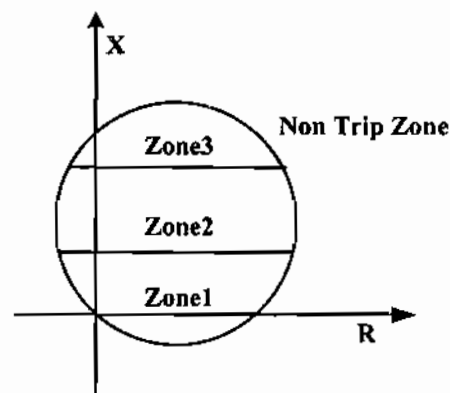


ภาพที่ 2-13 ลักษณะการทำงานของเส้นสรีเลย์เมื่อใช้งานร่วมกับ โมหรีเลย์

2.4.5 รีแอคแตนซ์รีเลย์ (Reactance Relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้วัดค่ารีแอคแตนซ์ เพียงอย่างเดียว ลักษณะการทำงานของรีแอคแตนซ์รีเลย์ที่แสดงบน อาร์ – เอ็กซ์ไดอะแกรม จะเป็นเส้นตรงตัดแกน ขยาย ขนานกับแกนเอ็กซ์ดังแสดงในภาพที่ 2-15 โดยส่วนมากแล้ว รีแอคแตนซ์รีเลย์ จะใช้งานร่วมกับรีเลย์ชนิดอื่นๆ



ภาพที่ 2-14 ลักษณะการทำงานของรีแอคแตนซ์รีเลย์



ภาพที่ 2-15 การใช้งาน รีแอคแตนซ์รีเลย์ร่วมกับ โมห์รีเลย์

ข้อดีของรีแอคแตนซ์รีเลย์

ค่าความต้านทานไม่มีผลต่อโซนของการป้องกันของรีเลย์ชนิดนี้ [9]

ข้อเสียของรีแอคแตนซ์รีเลย์

ในกรณีที่มีกระแสลัดวงจรไหลเข้ามาจากปลายสายทั้งสองของที่มีอัตราส่วนของเอ็กซ์ต่ออาร์ (X/R) ต่างกันจะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด รีเลย์ในตำแหน่งปลายข้างหนึ่งทำงานแบบแอนเดอร์ริช ปลายอีกข้างหนึ่งทำงานเป็นแบบ โอเวอร์ริช [5]

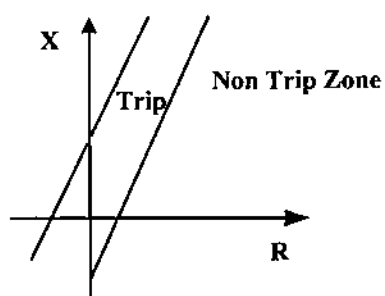
2.4.6 ไบลันเดอร์รีเลย์ (Blinder Relay) หรือรีซิสแตนซ์รีเลย์ จะมีสมบัติลักษณะเป็นเป็นเส้นตรง คัดกับแกน อาร์ โดยส่วนมากแล้วจะขนานกับของเส้นอิมพีแดนซ์ของสายส่ง [9,10] ดังแสดงในภาพที่ 2-17 ไบลันเดอร์รีเลย์ จะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ไบลันเดอร์เดี่ยว (Single Blinder) และ ไบลันเดอร์คู่ (Double Blinder) โดยส่วนมากแล้วไบลันเดอร์นิยมใช้ร่วมกับรีเลย์ชนิดอื่นๆ เช่น โมห์รีเลย์ ควอดริเรเทอลอรีเลย์

ข้อดีของไบลันเดอร์รีเลย์

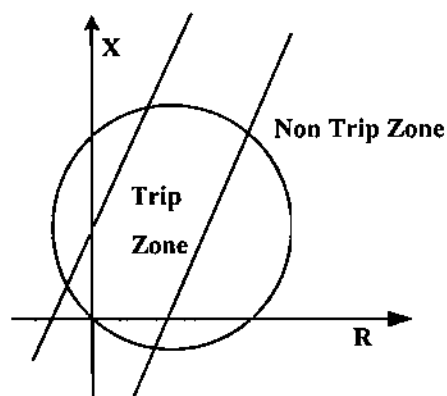
สามารถใช้ในการจำกัดค่าความต้านทานของโซนการป้องกันของรีเลย์ ในกรณีที่ใช้ป้องกันสายส่งที่มีความยาวมากๆ หรือในพื้นที่ ที่มีโหลดมากๆ [9] จะทำให้โหลดเข้ามาอยู่ในโซนของการป้องกันของรีเลย์

ข้อเสียของไบลันเดอร์รีเลย์

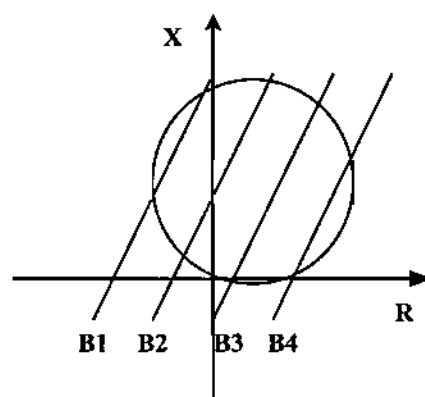
รีเลย์ไบลันเดอร์เดี่ยว ไม่สามารถจะบล็อกการทำงานของรีเลย์เมื่อเกิดเฟาเวอร์สวิตจิ่งในระบบไฟฟ้าได้ การแก้ไขสามารถใช้เป็นแบบไบลันเดอร์คู่ [9]



ภาพที่ 2-16 ลักษณะการทำงานของรีเลย์ระยะทางแบบ ไบไลน์เคอร์เดี่ยว



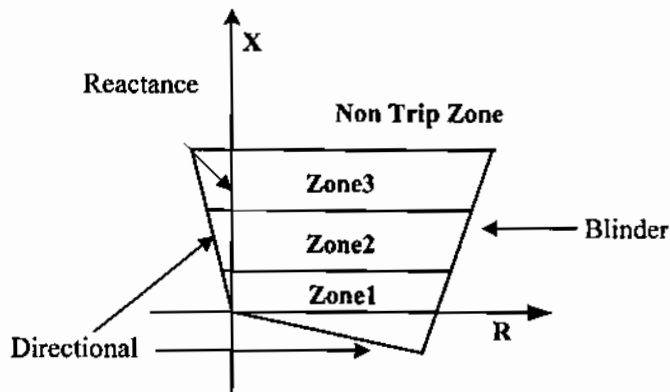
ภาพที่ 2-17 การใช้ โมห์รีลย์ กับไบไลน์เคอร์ ในการจำกัดการทำงานของโซนของการป้องกัน



ภาพที่ 2-18 การใช้งาน ไบไลน์เคอร์คู่ร่วมกับโมห์รีลย์

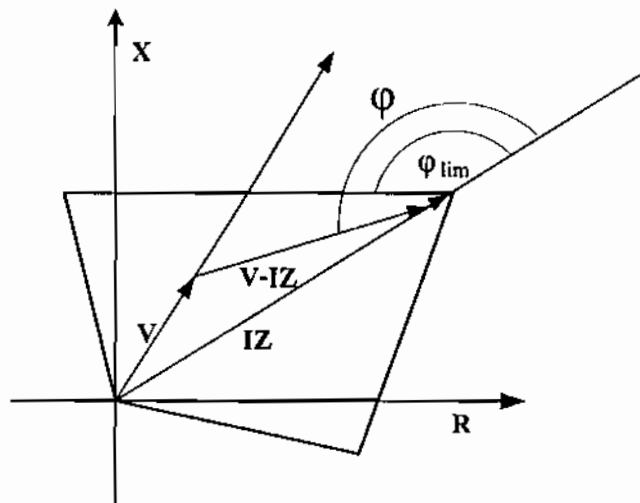
2.4.7 ควอดริเลทเทอร์อลรีเลย์ (Quadrilateral Relay) เป็นรีเลย์มีเส้นสมบัติลักษณะที่แสดงบนอาร์-เอ็กซ์ไดอะแกรม เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ควอดริเลทเทอร์อล นั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือส่วนที่เป็นทิศทาง ส่วนที่เป็น รีแอคแตนซ์ และส่วนที่เป็นไบไลน์เคอร์ ซึ่ง ควอดริเลทเทอร์อล รีเลย์นี้ส่วนที่เป็น รีแอคแตนซ์ (แกนแนว) และรีซีสแดนซ์ (แกนเอ็กซ์)จะเป็นอิสระต่อกัน [12]

ดังนั้นการเพิ่มค่าความต้านทานของอาร์คเข้าไปในค่ารีเซ็ตแดนซ์ ของค่าการทำงานของรีเลย์ ก็จะไม่ทำให้ค่ารีเซ็ตแดนซ์ เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2-19 ลักษณะการทำงานของของควอครีแลทเทอร์อลรีเลย์

ควอครีแลทเทอร์อลรีเลย์ เป็นสแตตกริเลย์ชนิดหนึ่ง โดยจะมีหลักการทำงานคล้ายกับโมห์รีเลย์คือ จะทำงานโดยการเปรียบเทียบมุมเฟสของสัญญาณของสัญญาณ 2 สัญญาณ ได้แก่ V (โวลตาไรส์โวลเตจ) และ V-IZ โดยรีเลย์จะทำงานเมื่อ $\varphi > \varphi_{lim}$ [13]



ภาพที่ 2-20 หลักการทำงานของควอครีแลทเทอร์อล

โดยที่

- V คือ แรงดันขณะที่เกิดฟอลต์ที่วัดได้จากหม้อแปลงแรงดัน
- I คือ กระแสฟอลต์ที่วัดได้จากหม้อแปลงกระแส
- Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่กำหนดไว้ของรีเลย์ระยะทาง

ข้อดีของควอดริแลทเทอร์อลรีเลย์

รีเลย์ชนิดนี้สามารถกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ให้ครอบคลุมค่าความต้านทานของการเกิดอาร์คได้มากกว่าโมห์รีเลย์โดยที่ไม่ทำให้โซนของการป้องกันของรีเลย์เพิ่มขึ้น [12] และสามารถใช้ในการป้องกันสายส่งที่เป็นเคเบิลได้ [9]

ข้อเสียของควอดริแลทเทอร์อลรีเลย์

ในการป้องกันสายส่งที่เป็นแบบขนานแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจากสายส่งอีกเส้นหนึ่งจะมีผลทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด นอกจากนี้ในระบบที่สายส่งมีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน และชอร์ตอิมพีแดนซ์มีค่าไม่เท่ากันก็จะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดได้ [9]

2.5 รีเลย์ระยะทางที่ใช้ในการป้องกันสายส่งแบบมีระบบสื่อสาร

รีเลย์ระยะทางที่ใช้ป้องกันสายส่งนั้นโดยทั่วไปแล้วไม่สามารถจะป้องกันได้ครอบคลุมความยาวของสายส่งได้ทั้งหมด ซึ่งโซน 1 ของรีเลย์ระยะทางจะตั้งค่าการทำงานไว้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง ส่วนอีก 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่งที่เหลือนั้นจะป้องกันไว้ด้วยโซน 2 ซึ่งจะเป็นการทำงานของรีเลย์แบบมีการหน่วงเวลา เพราะฉะนั้นเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นภายในโซน 2 รีเลย์ระยะทางจะหน่วงเวลาไว้แล้วจึงตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบ ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่ง ดังแสดงในภาพที่ 2-22 ซึ่งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์นั้นจะอยู่ในโซน 1 ของรีเลย์ที่สถานี A และอยู่ในโซน 2 ของรีเลย์ที่สถานี B เมื่อเกิดฟอลต์ในลักษณะขึ้นรีเลย์ที่สถานี A จะทำงานในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าแบบทันทีทันใดด้วยโซน 1 ส่วนรีเลย์ที่สถานี B นั้นเนื่องจากฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในโซน 2 รีเลย์ที่สถานี B จึงมีการหน่วงเวลาไว้ช่วงเวลาหนึ่งจึงจะทำงานโดยการสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า จะเห็นว่าการป้องกันสายส่งโดยใช้รีเลย์ระยะทางโดยไม่ใช้ระบบสื่อสารนั้นจะมีข้อเสียคือ เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นภายในโซน 2 ของของรีเลย์ระยะทางจะหน่วงเวลาไว้แล้วจึงทำงาน เพื่อเป็นการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงได้เพิ่มช่องทางการติดต่อสื่อสารเข้ามาในระบบป้องกัน โดยเรียกระบบป้องกันนี้ว่า การป้องกันสายส่งแบบมีระบบสื่อสาร หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการป้องกันสายส่งโดยวิธีนำร่อง (Pilot Protection)

การป้องกันสายส่งโดยใช้รีเลย์ระยะทางแบบใช้ระบบสื่อสารนั้น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า ดังในภาพที่ 2-22 รีเลย์ที่สถานี A จะทำงานในการตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าแบบทันทีทันใด โดยการสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สถานีไฟฟ้า A เปิดวงจร พร้อมกับส่งสัญญาณไปสั่งให้รีเลย์ที่สถานี B ทำงานในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าโดยไม่มีการหน่วงเวลาไว้ แม้ว่าฟอลต์จะเกิดขึ้นภายในโซน 2 ของรีเลย์ที่สถานี B ก็ตาม ช่องทางการสื่อสารที่นิยมใช้ในการป้องกันโดยทั่วไปมี 5 วิธีคือ [14]

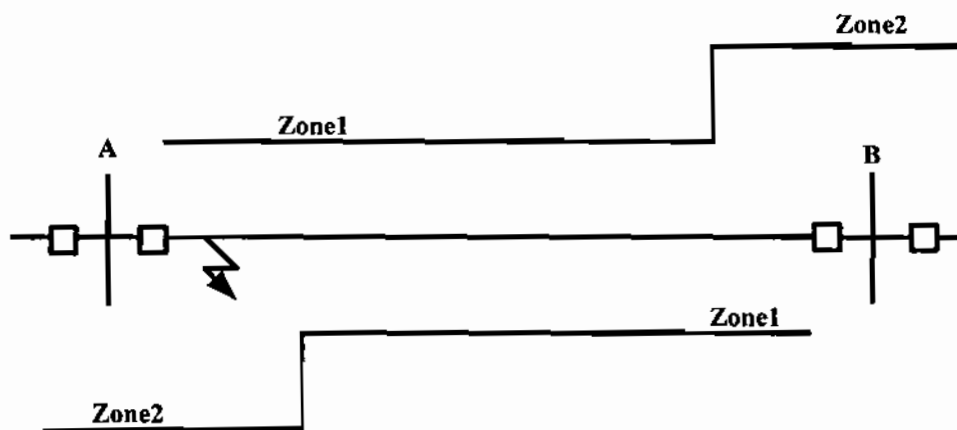
2.5.1 การใช้การสื่อสารโดยใช้สายส่งกำลัง (Power Line Carrier)

2.5.2 การใช้การสื่อสารโดยใช้ฮอดิโอโทน (Audio Tones)

2.5.3 การใช้การสื่อสารโดยใช้ไมโครเวฟ (Microwave)

2.5.4 การใช้การสื่อสารโดยใช้ใยแก้วนำแสง (Fiber Optic)

2.5.5 การใช้การสื่อสารโดยใช้ไพลอตไวร์ (Pilot Wire)

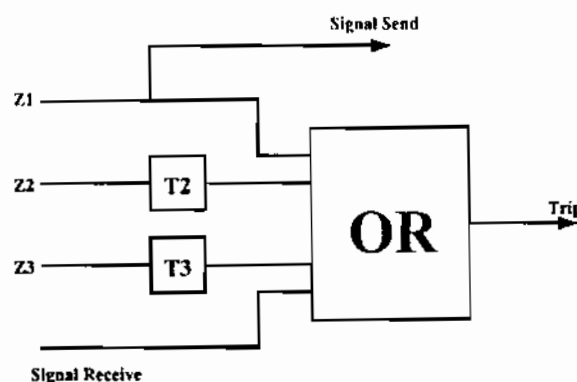


ภาพที่ 2-21 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในสายส่ง

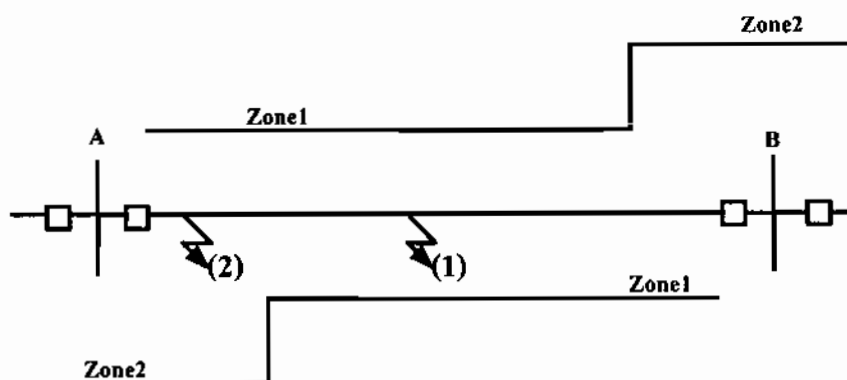
2.6 รูปแบบการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่นิยมนำมาใช้ในการป้องกันสายส่งแบบมีระบบสื่อสาร

2.6.1 ไคเร็คอันเดอร์รีชชิงทรานส์เฟอร์ทริป (Direct Under – Reaching Transfer Trip)

การทำงานของรีเลย์ระยะทางในกรณีที่มิระบบสื่อสารแบบนี้เป็น การเพิ่มความเร็วในการกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในโซน 2 อีกปลายสายส่งหนึ่ง โดยรีเลย์ระยะทางของสถานีไฟฟ้าต้นทางจะส่งสัญญาณไปสั่งให้รีเลย์อีกตัวหนึ่งที่อยู่ด้านตรงกันข้ามของสายส่งให้ทำงานในการตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า [14] โดยแบบแผนการทำงานของไคเร็คอันเดอร์รีชชิงทรานส์เฟอร์ทริป ดังแสดงในภาพที่ 2-23



ภาพที่ 2-22 ไคเร็คอันเดอร์รีชชิงทรานส์เฟอร์ทริป



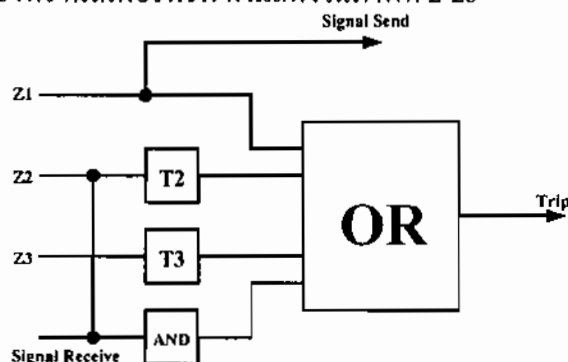
ภาพที่ 2-23 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้การป้องกันแบบ
โคเรคชั่นเดอรัชชิงทรานส์เฟอร์ทริป

การทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อใช้การป้องกันแบบโคเรคชั่นเดอรัชชิงทรานส์เฟอร์ทริป เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 2-4 รีเลย์ที่สถานี A และสถานี B จะทำงานด้วย โชน 1 ในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า

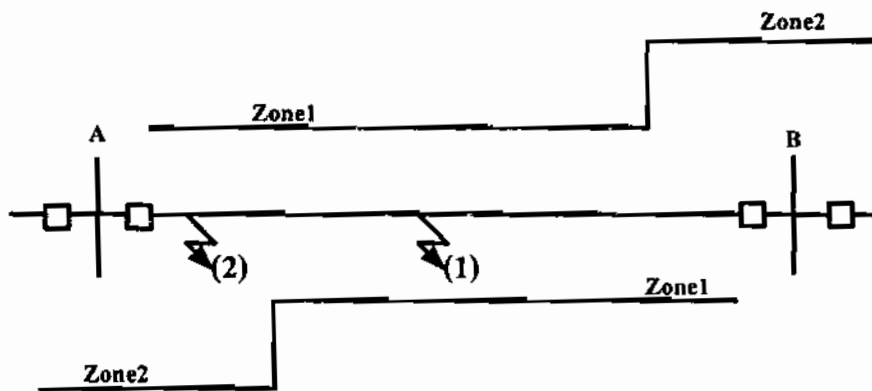
เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 2-4 รีเลย์ที่สถานี A จะทำงานในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าแบบทันทีทันใด พร้อมกับส่งสัญญาณ ไปสั่งให้รีเลย์ที่สถานี B ในการตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบโดยไม่ต้องมีการหน่วงเวลา

2.6.2 เพอร์มิสซีฟอันเดอร์รีชชิงทรานส์เฟอร์ทริป (Permissive Under – reach Transfer Trip)

เพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ทำงานที่ผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากทางด้านสถานีไฟฟ้า ดันทาง สถานีไฟฟ้าปลายทางจึงจำเป็นต้องตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้าดันทาง โดย ใช้โซน 2 ของรีเลย์ระยะทางที่สถานีไฟฟ้าปลายทาง มาตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้า ดันทาง การป้องกันสายส่งแบบมีการใช้ระบบสื่อสารในลักษณะนี้ จะใช้ช่องสัญญาณในการ สื่อสารเพียงช่อง สัญญาณ เดียว และใช้โซน 1 ในการส่งสัญญาณ [14] โดยแบบแผนการทำงานของ เพอร์มิสซีฟอันเดอร์รีชชิงทรานส์เฟอร์ทริป ดังแสดงในภาพที่ 2-25



ภาพที่ 2-24 เพอร์มิสซีฟอันเดอร์รีชชิงทรานส์เฟอร์ทริป



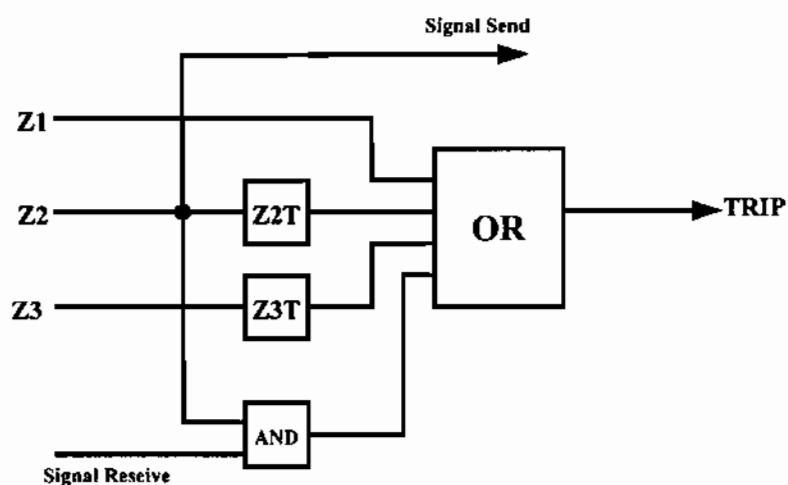
ภาพที่ 2-25 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้การป้องกันแบบเพอร์มิสซีฟอันเดอร์รีชซึ่งทรานส์เฟอร์ทริป

การทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อใช้การป้องกันแบบ เพอร์มิสซีฟอันเดอร์รีชซึ่งทรานส์เฟอร์ทริป เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 2-26 รีเลย์ที่สถานี A และสถานี B จะทำงานด้วยโซน 1 เพื่อตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า

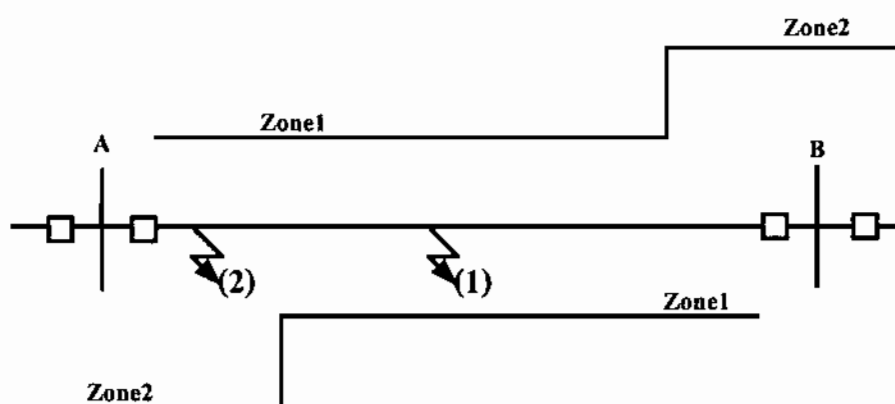
เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 2-26 รีเลย์ที่สถานี A จะทำงานในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าแบบทันทีทันใดด้วยโซน 1 พร้อมกับใช้โซน 1 ส่งสัญญาณไปให้รีเลย์ที่สถานี B รีเลย์ที่สถานี B จะตรวจสอบสัญญาณจากสถานี A ว่าฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งด้วยโซน 2 ของสถานี B หากเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งจริง รีเลย์ที่สถานี B ก็จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบโดยไม่ต้องมีการหน่วงเวลา

2.6.3 เพอร์มิสซีฟโอเวอร์รีชซึ่งทรานส์เฟอร์ทริป (Permissive Over – reach Transfer Trip)

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ป้องกัน การทำงานที่ผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากทางด้านสถานีไฟฟ้าต้นทาง ซึ่งวิธีการป้องกันสายส่งแบบเพอร์มิสซีฟโอเวอร์รีชซึ่งทรานส์เฟอร์ทริปนี้ สถานีไฟฟ้าต้นทางจะใช้โซน 2 ในการส่งสัญญาณให้กับสถานีไฟฟ้าปลายทางแบบทันทีทันใดโดยไม่ต้องมีการหน่วงเวลา และสถานีไฟฟ้าปลายทางตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้าต้นทาง โดยใช้โซน 2 ของรีเลย์ระยะทางที่สถานีไฟฟ้าปลายทาง มาตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้าต้นทาง การป้องกันสายส่งแบบมีการใช้ระบบสื่อสารในลักษณะนี้ จะใช้ช่องสัญญาณในการสื่อสาร 2 ช่องสัญญาณที่มีความถี่เดียวกัน [14] และใช้โดยแบบแผนการทำงานของเพอร์มิสซีฟโอเวอร์รีชซึ่งทรานส์เฟอร์ทริป ดังแสดงในภาพที่ 2-27



ภาพที่ 2-26 เพอร์มิสซีฟโอเวอร์ริชชิงทรานส์เฟอร์ทริป



ภาพที่ 2-27 ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้การป้องกันแบบเพอร์มิสซีฟอันเดอร์ริชชิงทรานส์เฟอร์ทริป

การทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อใช้การป้องกันแบบเพอร์มิสซีฟอันเดอร์ริชชิงทรานส์เฟอร์ทริป เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 2-28 รีเลย์ที่สถานี A และสถานี B จะทำงานด้วยโซน 1 เพื่อตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า

เมื่อเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 2-28 รีเลย์ที่สถานี A จะทำงานในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าแบบทันทีทันใดด้วยโซน 1 พร้อมกับใช้โซน 2 ของรีเลย์ระยะทางในการส่งสัญญาณไปให้รีเลย์ที่สถานี B รีเลย์ที่สถานี B จะตรวจสอบสัญญาณจากสถานี A ว่าฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งด้วยโซน 2 ของสถานี B หากเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งจริง รีเลย์ที่ สถานี B ก็จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบโดยไม่ต้องมีการหน่วงเวลา

บทที่ 3

การวัดอิมพีแดนซ์ของรีเลย์

ในการป้องกันสายส่งเราไม่สามารถใช้รีเลย์ตัวเดียวป้องกัน การเกิดฟอลต์ได้ทุกชนิด เนื่องจากการเกิดฟอลต์มีทั้งการเกิดฟอลต์ทางด้านเฟส และการเกิดฟอลต์ทางด้านกราวด์ เพราะฉะนั้นในการป้องกันสายส่งโดยใช้รีเลย์ระยะทางนั้นจะใช้รีเลย์ระยะทางในการป้องกัน 6 ชุด การป้องกันต่อ 1 โชนการป้องกัน โดยแบ่งเป็นชุดป้องกันทางเฟส 3 ชุดป้องกัน ชุดป้องกันทางทางด้านกราวด์ 3 ชุดป้องกัน [15]

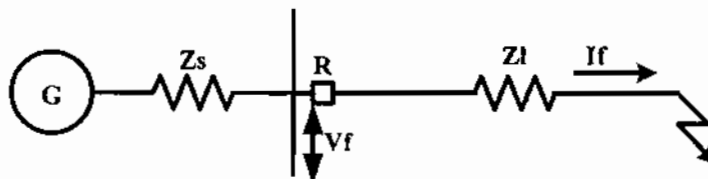
3.1 ประเภทของฟอลต์ที่ขึ้นในสายส่งนั้นสามารถแบ่งได้ดังนี้ [2]

- 3.1.1 การเกิดลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดิน (Single Line to Ground Fault)
- 3.1.2 การเกิดลัดวงจรระหว่างเฟสกับเฟส (Phase to Phase Fault)
- 3.1.3 การเกิดลัดวงจรระหว่างเฟสลงดิน (Double Line to Ground Fault)
- 3.1.4 การเกิดลัดวงจรทั้งสามเฟส (Three Phase Fault)

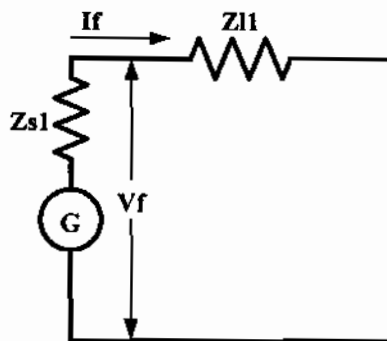
3.2 การป้องกันสายส่งเมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านเฟส

การป้องกันทางด้านเฟสของรีเลย์ระยะทาง เมื่อเกิดฟอลต์ทั้ง 3 เฟส และเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส รีเลย์ระยะทางสามารถวัดอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้ [4],[15]

3.2.1 การวัดอิมพีแดนซ์ของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส ดังแสดงในภาพที่ 3-1 จะปรากฏแรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) เพียงอย่างเดียว และสามารถแสดงออกมาเป็นวงจรลำดับ (Sequence Network) ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 ระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส



ภาพที่ 3-2 แรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส

จากภาพที่ 3-2 เราสามารถหาค่าแรงดัน และกระแสที่จุดติดตั้งรีเลย์ได้ดังนี้

$$V_{f1} = I_{f1} Z_l \quad (3-1)$$

$$I_{f1} = \frac{G}{Z_{s1} + Z_{l1}} \quad (3-2)$$

เนื่องจากการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส เป็นฟอลต์แบบสมมาตร ในวงจรลำดับในภาพที่ 3-2 จึงไม่ปรากฏ ลำดับลบ และลำดับศูนย์ ของแรงดันและกระแส เพราะฉะนั้น $V_{f2}=V_{f0}=0$ และ $I_{f2}=I_{f0}=0$ ดังนั้น เมื่อเปลี่ยนจากกระแสและแรงดันลำดับบวก เป็นแรงดันที่เฟส และกระแสที่เฟส จะได้ผลดังนี้

$$V_a = V_{f1} \quad (3-3)$$

$$V_b = a^2 V_{f1} \quad (3-4)$$

$$V_c = a V_{f1} \quad (3-5)$$

$$I_a = I_{f1} \quad (3-6)$$

$$I_b = a^2 I_{f1} \quad (3-7)$$

$$I_c = a I_{f1} \quad (3-8)$$

กรณีที่หม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันต่อแบบวาย รีเลย์ระยะทางจะวัดอิมพีแดนซ์ลำดับบวกได้ดังนี้

$$Z_{f1} = \frac{V_a}{I_a} = \frac{V_{f1}}{I_{f1}} \quad (3-9)$$

$$Z_{f1} = \frac{V_b}{I_b} = \frac{a^2 V_{f1}}{a^2 I_{f1}} \quad (3-10)$$

$$Z_{f1} = \frac{V_c}{I_c} = \frac{aV_{f1}}{aI_{f1}} \quad (3-11)$$

กรณีที่หม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันคือแบบเคลด้า รีเลย์ระยะทางจะวัดอิมพีแดนซ์ลำดับบวกได้ดังนี้

$$Z_{f1} = \frac{V_a - V_b}{I_a - I_b} = \frac{V_{f1} - a^2 V_{f1}}{I_{f1} - a^2 I_{f1}} = \frac{V_{f1}(1 - a^2)}{I_{f1}(1 - a^2)} \quad (3-12)$$

$$Z_{f1} = \frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{a^2 V_{f1} - aV_{f1}}{a^2 I_{f1} - aI_{f1}} = \frac{V_{f1}(a^2 - 1)}{I_{f1}(a^2 - 1)} \quad (3-13)$$

$$Z_{f1} = \frac{V_c - V_b}{I_c - I_b} = \frac{aV_{f1} - V_{f1}}{aI_{f1} - I_{f1}} = \frac{V_{f1}(a - 1)}{I_{f1}(a - 1)} \quad (3-14)$$

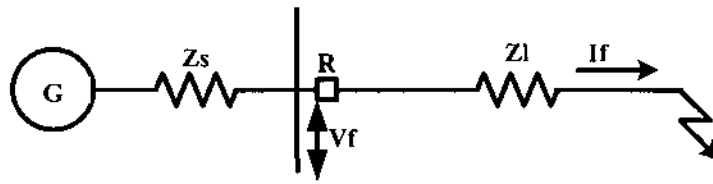
กรณีที่หม้อแปลงกระแส คือแบบวาย และหม้อแปลงแรงดันคือแบบเคลด้า รีเลย์ระยะทางจะวัดอิมพีแดนซ์ลำดับบวกได้เท่ากับ

$$\sqrt{3}Z_{f1} = \frac{V_a - V_b}{I_a} = \frac{V_{ab}}{I_a} = \frac{\sqrt{3}V_a}{I_a} = \frac{\sqrt{3}V_{f1}}{I_{f1}} \quad (3-15)$$

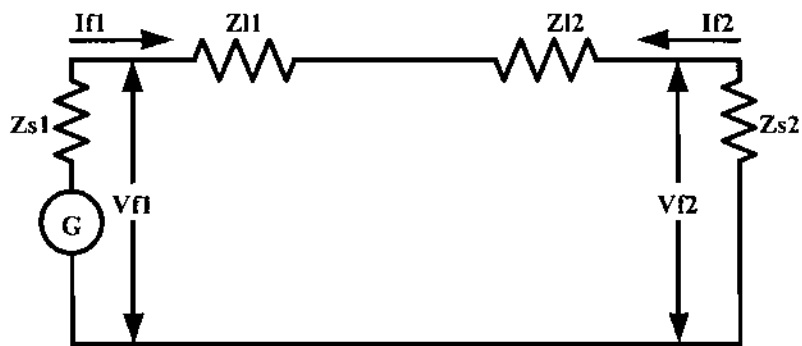
$$\sqrt{3}Z_{f1} = \frac{V_b - V_c}{I_b} = \frac{V_{bc}}{I_b} = \frac{\sqrt{3}V_b}{I_b} = \frac{\sqrt{3}a^2 V_{f1}}{a^2 I_{f1}} \quad (3-16)$$

$$\sqrt{3}Z_{f1} = \frac{V_c - V_a}{I_c} = \frac{V_{ca}}{I_c} = \frac{\sqrt{3}V_c}{I_c} = \frac{\sqrt{3}aV_{f1}}{aI_{f1}} \quad (3-17)$$

3.2.2 การวัดอิมพีแดนซ์ของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสกับเฟส (Phase to Phase Fault) การเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่แสดงในภาพที่ 3-3 นั้นสมมุติให้เกิดในตำแหน่งเดียวกับการเกิดฟอลต์ 3 เฟส ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ในการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส และการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์ระยะทางวัดได้จะมีค่าเท่ากันเนื่องจากเกิดฟอลต์ในตำแหน่งเดียวกัน เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสขึ้นมาแล้วในวงจรลำดับของฟอลต์ระหว่างเฟส นอกจากจะมีลำดับบวกแล้วยังมีลำดับลบ (Negative Phase Sequence) เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งลำดับและแสดงวงจรลำดับดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-3 ระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์แบบ เฟส กับเฟส



ภาพที่ 3-4 แรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) และลำดับลบ (Negative Sequence Network) ของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส

เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสเราจะพิจารณาเงื่อนไข ดังต่อไปนี้ $I_a = 0; I_b = -I_c$ [1] เมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของวงจรลำดับ จะได้กระแสลำดับลบดังนี้

$$I_{f1} = -I_{f2} \quad (3-18)$$

$$I_a = 0; I_b = -I_c \quad (3-19)$$

จากภาพที่ 3-4 สามารถหาแรงดันลำดับบวกและแรงดันลำดับลบได้ดังนี้

$$V_{f1} = I_{f1} (2Z_{f1} + Z_{s1}) \quad (3-20)$$

$$V_{f2} = I_{f1} Z_{s1} \quad (3-21)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f0} \end{bmatrix} \quad (3-22)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{f1}(2Z_{ll} + Z_{sl}) \\ I_{f1}Z_{sl} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-23)$$

เพราะฉะนั้นแรงดันที่เฟสต่างๆจะเท่ากับ

$$V_a = 2I_{f1}(Z_{ll} + Z_{sl}) \quad (3-24)$$

$$V_b = 2a^2I_{f1}Z_{ll} + (a^2 + a)I_{f1}Z_{sl} \quad (3-25)$$

$$V_c = 2aI_{f1}Z_{ll} + (a^2 + a)I_{f1}Z_{sl} \quad (3-26)$$

กระแสลำดับบวก กระแสลำดับลบสามารถเปลี่ยนให้เป็นกระแสที่เฟสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{f1} \\ I_{f2} \\ I_{f0} \end{bmatrix} \quad (3-27)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{f1} \\ -I_{f1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-28)$$

เพราะฉะนั้นกระแสที่เฟสต่างๆจะเท่ากับ

$$I_a = I_{f1} + I_{f2} \quad (3-29)$$

$$I_b = a^2I_{f1} - aI_{f1} \quad (3-30)$$

$$I_c = aI_{f1} - a^2I_{f1} \quad (3-31)$$

กรณีที่หม้อแปลงกระแส ต่อแบบเดลต้า และหม้อแปลงแรงดันต่อแบบเดลต้า รีเลย์จะวัด

อิมพีแดนซ์ลำดับบวกได้เท่ากับ

$$Z_{f1} = \frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} \quad (3-32)$$

$$Z_{f1} = \frac{(2a^2I_{f1}Z_{ll} + (a^2 + a)I_{f1}Z_{sl}) - (2aI_{f1}Z_{ll} + (a^2 + a)I_{f1}Z_{sl})}{(a^2I_{f1} - aI_{f1}) - (aI_{f1} - a^2I_{f1})} \quad (3-33)$$

$$Z_{f1} = \frac{(a^2 - a)2I_{f1}Z_{f1}}{(a^2 I_{f1} - aI_{f1}) - (aI_{f1} - a^2 I_{f1})} \quad (3-34)$$

$$Z_{f1} = Z_{f1} \quad (3-35)$$

กรณีที่หม้อแปลงกระแส ต่อแบบขวาย และหม้อแปลงแรงดันต่อแบบเตลตัว รีเลย์จะวัด
อิมพีแดนซ์ลำดับบวกได้เท่ากับ

$$Z_{f1} = \frac{V_b - V_c}{I_b} \quad (3-36)$$

$$Z_{f1} = \frac{(2a^2 I_{f1} + (a^2 + a)I_{f1}Z_{s1}) - (2aI_{f1}Z_{11} + (a^2 + a)I_{f1}Z_{s1})}{(a^2 I_{f1} + aI_{f2})} \quad (3-37)$$

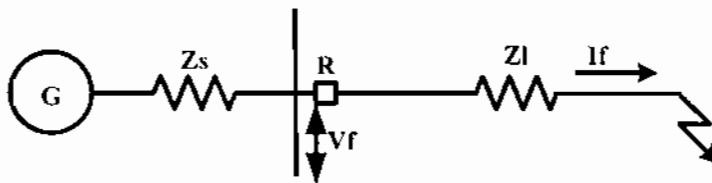
$$Z_{f1} = \frac{(a^2 - a)2I_{f1}Z_{f1}}{(a^2 - a)I_{f1}} \quad (3-38)$$

$$Z_{f1} = 2Z_{f1} \quad (3-39)$$

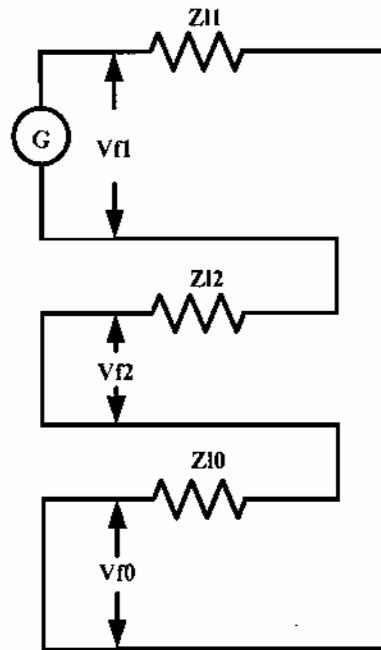
3.3 การป้องกันสายส่งเมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านกราวด์

หน่วยวัดทางด้านกราวด์ใช้สำหรับการวัดอิมพีแดนซ์ ของความผิดปกติทางด้านกราวด์
นอกจาก วงจรลำดับ (Symmetrical Component) จะปรากฏ วงจรลำดับบวก (Positive Sequence)
และวงจรลำดับลบแล้ว (Negative Sequence) แล้วแต่ยังมีวงจรลำดับศูนย์ (Zero Sequence) เพิ่ม
ขึ้นมาอีก 1 ลำดับ ซึ่งการมีลำดับศูนย์เพิ่มเข้ามาจะทำให้รีเลย์ระยะทางวัดค่าอิมพีแดนซ์ผิดพลาด
เพื่อป้องกันการวัดอิมพีแดนซ์เกิดการผิดพลาด จึงต้องมีการชดเชยการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของรีเลย์
เพื่อที่จะทำให้รีเลย์ทำงานได้อย่างถูกต้อง [4],[15]

3.3.1 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟส ลงดิน (Single Line to Ground Fault)



ภาพที่ 3-5 ตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ 1 เฟสลงดิน



ภาพที่ 3-6 วงจรลำดับของการเกิดลัดวงจรแบบ 1 เฟสลงดิน

จากภาพที่ 3-6 เพื่อความง่ายจะไม่พิจารณาอิมพีแดนซ์ของแหล่งผลิต สามารถหาแรงดันที่ตำแหน่งติดตั้งรีเลย์ได้ดังนี้

$$V_f = V_{f1} + V_{f2} + V_{f0} \quad (3-40)$$

$$V_f = I_{f1}Z_{11} + I_{f2}Z_{12} + I_{f0}Z_{10} \quad (3-41)$$

เนื่องจาก

$$Z_{11} = Z_{12} \quad V_f = I_f Z_{11} + \frac{I_f}{3}(Z_{10} - Z_{11})$$

$$V_f = I_{f1}Z_{11} + I_{f1}Z_{12} + I_{f0}Z_{10} + I_{f0}Z_{11} - I_{f0}Z_{11} \quad (3-42)$$

$$V_f = (I_{f1} + I_{f2} + I_{f0})Z_{11} + I_{f0}Z_{10} - I_{f0}Z_{11} \quad (3-43)$$

$$V_f = I_f Z_{11} + I_{f0}(Z_{10} - Z_{11}) \quad (3-44)$$

$$V_f = I_f Z_{11} + \frac{I_f}{3}(Z_{10} - Z_{11}) \quad (3-45)$$

$$V_f = Z_{11} \left(I_f + \frac{I_f (Z_{10} - Z_{11})}{3 Z_{11}} \right) \quad (3-46)$$

$$\text{กำหนดให้ } k = \frac{Z_{10}}{Z_{11}}$$

$$V_f = Z_{11} I_f \left(1 + \frac{(k-1)}{3}\right) \quad (3-47)$$

กระแสลัดวงจรของการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน $I_f = I_{f1} + I_{f2} + I_{f0}$

เมื่อกำหนดอิมพีแดนซ์ออกมาแล้วจะเท่ากับ $Z_{11} \left(1 + \frac{(k-1)}{3}\right)$ จากภาพที่ 3-5 จะเห็นว่าตำแหน่ง

การเกิดการลัดวงจรห่างจากตำแหน่งการติดตั้งรีเลย์ Z_1 แต่จากการคำนวณจะได้อิมพีแดนซ์มากกว่า

ตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรเท่ากับ $Z_{11} \frac{(k-1)}{3}$ เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้ตรง

กับความเป็นจริง กระแสลัดวงจรที่รีเลย์ระยะทางวัดได้จะต้องบวกค่าคงที่เข้าไปอีก $Z_{11} \frac{(k-1)}{3}$

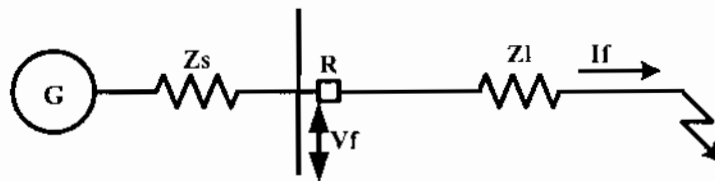
เพื่อที่จะคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ได้อย่างถูกต้องดังนั้น

$$Z_1 = \frac{V_f}{I_f + \frac{I_f (k-1)}{3}} \quad (3-48)$$

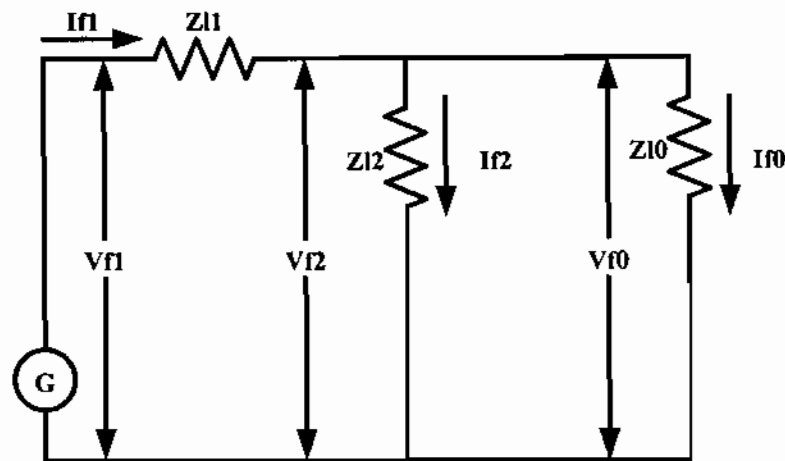
$$Z_1 = \frac{Z_{11} \left(I_f + \frac{I_f (k-1)}{3}\right)}{I_f + \frac{I_f (k-1)}{3}} \quad (3-49)$$

$$Z_1 = Z_{11} \quad (3-50)$$

3.3.2 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 2 เฟสลงดิน (Line to Line to Ground Fault)



ภาพที่ 3-7 การเกิดฟอลต์แบบ 2 เฟสลงดิน



ภาพที่ 3-8 แรงดันและกระแสของวงจรลำดับบวก (Positive Sequence Network) ลำดับลบ (Negative Sequence Network) และลำดับศูนย์ (Zero Sequence Network) ของการเกิด ฟอลต์แบบ 2 เฟสลงดิน

จากภาพที่ 3-8 เราจะหากระแส และแรงดันของวงจรลำดับได้ดังนี้

$$V_{f1} = I_{f1}Z_{f1} + I_{f1} \frac{(Z_{12} \times Z_{10})}{(Z_{12} + Z_{10})} \quad (3-51)$$

เนื่องจากอิมพีแดนซ์ลำดับบวกเท่ากับอิมพีแดนซ์ลำดับลบ

$$V_{f1} = I_{f1}Z_{f1} + I_{f1} \frac{(Z_{11} \times Z_{10})}{(Z_{11} + Z_{10})} \quad (3-52)$$

$$V_{f2} = I_{f2}Z_{12} \quad (3-53)$$

$$V_{f0} = I_{f0}Z_{10} \quad (3-54)$$

จากเงื่อนไขของการเกิดฟอลต์ 2 เฟสลงดิน จะได้ $I_{f1} + I_{f2} + I_{f0} = 0$

ดังนั้น

$$I_{f0} = -I_{f1} - I_{f2} \quad (3-56)$$

$$I_{f2} = -I_{f1} - I_{f0} \quad (3-57)$$

จากภาพที่ 3-8

$$Z_{12}I_{f2} = Z_{10}I_{f0} \quad (3-58)$$

แทนค่าสมการที่ (3-56) ในสมการที่ (3-58)

$$Z_{12}I_{f2} = Z_{10}(-I_{f1} - I_{f2}) \quad (3-59)$$

จะได้

$$I_{f2} = \frac{-Z_{10}I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{12})} \quad (3-60)$$

แทนค่าสมการที่ (3-52) ในสมการที่ (3-53) จะได้

$$V_{f2} = -Z_{11} \frac{Z_{10}I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{12})} \quad (3-61)$$

เนื่องจากอิมพีแดนซ์ลำดับบวกเท่ากับอิมพีแดนซ์ลำดับลบ

เพราะฉะนั้น

$$V_{f2} = -Z_{11} \frac{Z_{10} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{11})} \quad (3-62)$$

แทนค่าแทนค่าสมการที่ (3-57) ในสมการที่ (3-58) $Z_{12} (-I_{f1} - I_{f0}) = Z_{10} I_{f0}$ (3-63)

จะได้

$$I_{f0} = \frac{-Z_{12} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{12})} \quad (3-64)$$

แทนค่าสมการที่ (3-64) ในสมการที่ (3-54) จะได้ $V_{f0} = \frac{-Z_{10} Z_{12} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{12})}$ (3-65)

เนื่องจากอิมพีแดนซ์ลำดับบวกเท่ากับอิมพีแดนซ์ลำดับลบ

จะได้

$$V_{f0} = \frac{-Z_{10} Z_{11} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{11})} \quad (3-66)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_c \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f0} \end{bmatrix} \quad (3-67)$$

$$V_a = V_{f1} + V_{f2} + V_{f0} \quad (3-68)$$

$$V_b = a^2 V_{f1} + a V_{f2} + V_{f0} \quad (3-69)$$

$$V_c = a V_{f1} + a^2 V_{f2} + V_{f0} \quad (3-70)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_c \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{f1} \\ I_{f2} \\ I_{f0} \end{bmatrix} \quad (3-71)$$

$$I_b = a^2 I_{f1} - a \frac{Z_{10} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{11})} - \frac{Z_{11} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{11})} \quad (3-72)$$

$$I_c = a I_{f1} - a^2 \frac{Z_{10} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{11})} - \frac{Z_{11} I_{f1}}{(Z_{10} + Z_{11})} \quad (3-73)$$

ในกรณีที่หม้อแปลงกระแสต่อเป็นแบบเคสต่ำ รีเลย์ระยะทางสามารถคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$V_b - V_c = (a^2 - a)V_{f1} - (a^2 - a)V_{f2} \quad (3-74)$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a)I_{f1}Z_{f1} + (a^2 - a)I_{f1}\frac{Z_{11}Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})} + (a^2 - a)I_{f1}\frac{Z_{11}Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})} \quad (3-75)$$

$$I_b - I_c = (a^2 - a)I_{f1} + (a^2 - a)\frac{Z_{10}I_{f1}}{(Z_{11} + Z_{10})} \quad (3-76)$$

$$\frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{(a^2 - a)I_{f1}\left(Z_{11} + \frac{Z_{11}Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})} + \frac{Z_{11}Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}\right)}{(a^2 - a)\left(I_{f1} + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}I_{f1}\right)} \quad (3-77)$$

จากสมการที่ (3-77) เพื่อให้หารลงตัวจำเป็นที่จะต้องเพิ่มพจน์ในสมการ $I_b - I_c$ อีกหนึ่งพจน์

$$\text{จะได้} \quad \frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{(a^2 - a)I_{f1}\left(Z_{11} + \frac{Z_{11}Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})} + \frac{Z_{11}Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}\right)}{(a^2 - a)\left(I_{f1} + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}I_{f1} + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}I_{f1}\right)} \quad (3-78)$$

$$\frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{(a^2 - a)I_{f1}Z_{11}\left(1 + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})} + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}\right)}{(a^2 - a)I_{f1}\left(1 + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})} + \frac{Z_{10}}{(Z_{11} + Z_{10})}\right)} \quad (3-79)$$

$$\frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = \frac{(a^2 - a)I_{f1}Z_{11}\left(1 + \frac{k}{(1+k)} + \frac{k}{(1+k)}\right)}{(a^2 - a)I_{f1}\left(1 + \frac{k}{(1+k)} + \frac{k}{(1+k)}\right)} \quad (3-80)$$

$$\frac{V_b - V_c}{I_b - I_c} = Z_{11} \quad (3-81)$$

3.4 อันเดอร์รีช (Under-reach)

การทำงานแบบ อันเดอร์รีชคือการทำงานของรีเลย์ระยะทางในกรณีที่เกิดฟอลต์ในโซนของการป้องกันแล้ว รีเลย์ระยะทางวัดค่าอิมพีแดนซ์ได้มากกว่าความเป็นจริง เสมือนหนึ่งกับว่าโซนการป้องกันลดลง [3],[16]

3.5 โอเวอร์รีช (Over-reach) [3]

การทำงานแบบ โอเวอร์รีชคือการทำงานของรีเลย์ระยะทางในกรณีที่เกิดฟอลต์นอกโซนของการป้องกันแล้ว รีเลย์ระยะทางวัดค่าอิมพีแดนซ์ได้น้อยกว่าความเป็นจริง โซนการป้องกันขยายออก

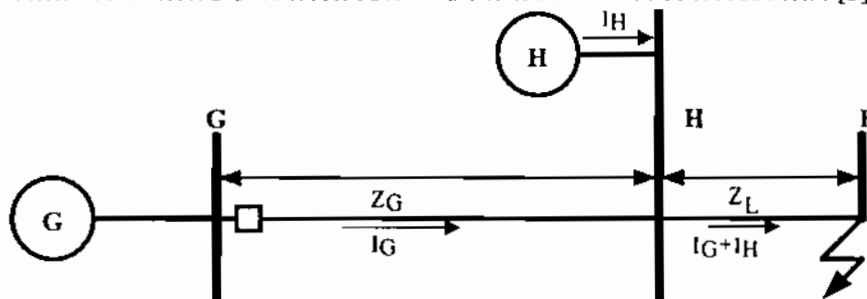
3.6 ผลของความต้านทานของอาร์คที่มีต่อการทำงานของรีเลย์

การเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสกับเฟสหรือ 3 เฟสจะทำให้เกิดการอาร์คขึ้น ซึ่งอาร์คที่เกิดขึ้นนี้จะมีความต้านทานภายในตัวมันเอง การเกิดอาร์คขณะเกิดฟอลต์จะทำให้อิมพีแดนซ์รวมของระบบที่รีเลย์วัดได้เพิ่มมากขึ้น จะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดคือรีเลย์จะวัดอิมพีแดนซ์ได้มากกว่าความเป็นจริง เช่น ในกรณีที่เรากำลังรีเลย์ระยะทางป้องกันสายส่ง โดยโซน 1 ดังค่าการทำงานไว้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของสายส่งที่เราจะป้องกัน เมื่อเกิดฟอลต์เฟสกับเฟสในตำแหน่ง 80 เปอร์เซ็นต์ของสายส่งที่ป้องกัน และมีอาร์คเกิดขึ้นด้วย จะทำให้รีเลย์ระยะทางวัดอิมพีแดนซ์ทำงานผิดพลาด แทนที่จะทำงานด้วยโซน 1 แบบทันทีทันใด กลับทำให้รีเลย์ระยะทางทำงานด้วยโซน 2 และมีการหน่วงเวลา จึงทำให้เวลาในการทำงานของรีเลย์ในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า ช้ากว่าปกติ

3.7 ผลของไฟที่ป้อนเข้ามาที่มีต่อการทำงานของรีเลย์ระยะทาง

(The Infeed Effect of Distance Relay Application)

การทำงานของรีเลย์ระยะทางในการป้องกันสายส่งที่มี แหล่งกำเนิดกระแสฟอลต์ตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปดังแสดงในภาพที่ 3-9 จะทำให้โซนการป้องกันของรีเลย์ระยะทางจะลดลง [3]



ภาพที่ 3-9 การทำงานแบบอันเดอร์รีชของรีเลย์ระยะทางเนื่องจากเกิดผลกระทบของแหล่งกำเนิดไฟแหล่งอื่นเมื่อต่อเข้าระบบ

เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่บัส F ในกรณีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า H รีเลย์ระยะทางที่บัส G จะวัดกระแสฟอลต์เท่ากับ I_G และวัดแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับ V_G เพราะฉะนั้นรีเลย์ระยะทางวัดอิมพีแดนซ์ได้เท่ากับ

$$Z_G = \frac{V_G}{I_G} \quad (3-82)$$

$$= Z_L + Z_H \quad (3-83)$$

เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่บัส F ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า H รีเลย์ระยะทางที่บัส G จะวัดกระแสฟอลต์เท่ากับ I_G และวัดแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับ

$$V_G = I_G Z_L + (I_G + I_H) Z_H \quad (3-84)$$

เพราะฉะนั้นรีเลย์ระยะทางวัดอิมพีแดนซ์ได้เท่ากับ

$$Z_G = \frac{V_G}{I_G} \quad (3-85)$$

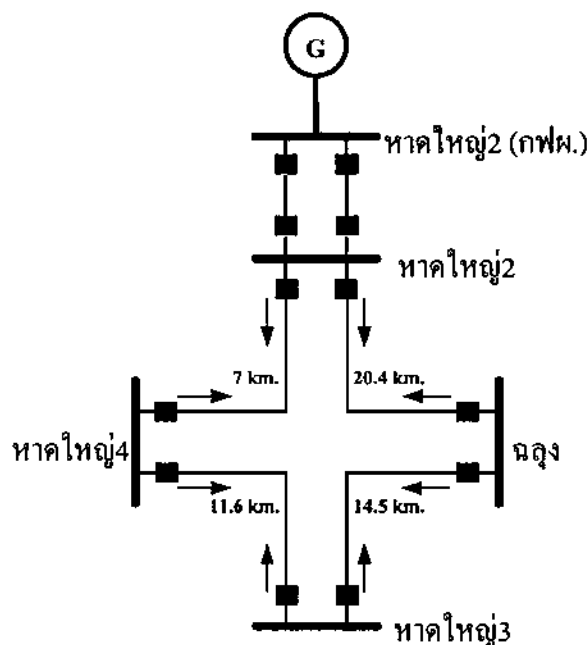
$$= Z_L + Z_H + \frac{I_H}{I_G} Z_H \quad (3-86)$$

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสมการที่ (3-83) และสมการ (3-86) แล้วจะเห็นว่าในสมการที่ (3-86) จะมีส่วนของ $\frac{I_H}{I_G} Z_H$ เพิ่มเข้ามาจะทำให้รีเลย์มองเห็นอิมพีแดนซ์ได้มากกว่าความเป็นจริง เสมือนกับว่า โชนของการป้องกันของรีเลย์ลดลง

บทที่ 4

การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทาง

ระบบการจ่ายไฟที่จะพิจารณาว่าเป็นการจ่ายไฟแบบโคลสตูปคือ ระบบที่การจ่ายไฟในสถานะปกติจะมีกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเบรกเกอร์ทุกตัวที่อยู่ในวงจร โคลสตูป (เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวปิดวงจร) ดังแสดงในภาพที่ 4-1 แต่ถ้ามีเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งเปิดวงจร การจ่ายไฟระบบนั้นจะกลายเป็นการจ่ายไฟแบบ เรเดียล แทนที่ [17]



ภาพที่ 4-1 แผนผังเส้นเดียวของระบบโคลสตูป

ระบบการป้องกันสายส่งของการจ่ายไฟโคลสตูปจะเหมือนกับระบบการป้องกันสายส่ง ของการจ่ายไฟแบบเรเดียล แต่จะมีความยุ่งยาก และซับซ้อนกว่า เนื่องจากฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่ง ที่มี การจ่ายไฟแบบ โคลสตูป กระแสฟอลต์จะมีการไหลมาจาก 2 ทิศทางเข้าหาคำแหน่งที่เกิดฟอลต์ เพราะฉะนั้น การป้องกันสายส่งที่จ่ายไฟแบบโคลสตูป จำเป็นต้องใช้การป้องกันแบบมีทิศทาง เพิ่ม เข้ามาในระบบป้องกัน โดยทั่วไปแล้วในการป้องกันสายส่งนั้นนิยมใช้รีเลย์ระยะทางในการป้องกัน

และรีเลย์ระยะทางที่ใช้ จะต้องเป็นรีเลย์แบบมิติศทาง ในปัจจุบันนิยมใช้รีเลย์แบบโมห์รีเลย์ หรือ ควอดรีแลทเทอร์รอลหรือใช้ทั้งสองชนิดร่วมกัน

การใช้รีเลย์ระยะทาง แบบมิติศทางในป้องกันสายส่ง ที่มีการจ่ายไฟแบบโคลสสลับนั้นจะพิจารณาให้การจ่ายไฟแบบโคลสสลับ ให้เป็นการจ่ายไฟแบบเรเดียล 2 ทิศทาง เป็นไปตาม ทิศทาง การไหลของกระแสลัดวงจร และกระแสโหลดคั่งแสดงในภาพที่ 3-1 ซึ่งจะเห็นว่าแบ่งทิศทางการไหลของ กระแสลัดวงจร และกระแสโหลดออกเป็น 2 ทิศทาง ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา [14],[18] โดยจะสมมติให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ของสถานีไฟฟ้าต้นทางเปิดวงจรเอาไว้ ด้านใด ด้านหนึ่งของการจ่ายไฟแบบลูปปิด ในการพิจารณาการไหลของกระแสในแต่ละทิศทาง

การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่ใช้ป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบลูปปิด จะมีลักษณะเหมือนกับการจัดการทำงานของรีเลย์ที่ใช้ป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบเรเดียล โดย กำหนดค่าการทำงานของโซน 1 กำหนดไว้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวสายส่งที่จะป้องกัน การทำงานของ โซน 2 กำหนดไว้ที่ 120 เปอร์เซ็นต์ของสายส่งที่จะป้องกัน การทำงานของ โซน 3 กำหนดไว้ที่ 120 เปอร์เซ็นต์ความยาวของสายส่งทั้งหมดในช่วงที่จะป้องกันรวมทั้ง ความยาวของสายส่งช่วงถัดไป [2] สำหรับเวลาในการทำงานนั้น โซน 1 ให้ทำงานแบบทันทีทันใด ส่วน โซน 2 กำหนดให้มีการหน่วงเวลา ที่ 150 มิลลิวินาที และต้องมากกว่าเวลาการทำงานของรีเลย์เบรกเกอร์เฟลลเลอร์เนื่องจากรีเลย์เบรกเกอร์เฟลลเลอร์ถือว่าเป็นรีเลย์ป้องกันสำรองชนิดหนึ่ง ซึ่งอยู่ภายในสถานีไฟฟ้าเดียวกันกับรีเลย์ระยะทางที่เป็นระบบป้องกันหลัก ควรจะทำงานก่อน โซน 2 ของรีเลย์ระยะทางที่อยู่ในสถานีถัดไปซึ่งถือว่าเป็นรีเลย์ป้องกันสำรองที่ไม่ได้อยู่ในสถานีเดียวกัน [19] ส่วน โซน 3 กำหนดให้มีการหน่วงเวลาที่ 300 มิลลิวินาที ตามลำดับ

4.1 สายส่งกำลังไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าที่จะทำการศึกษาในงานวิจัย

สายส่งกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางนั้นจะใช้สายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2, สถานีฯฉลุง, สถานีฯหาดใหญ่ 3, สถานีฯหาดใหญ่ 4 แสดงในภาพที่ 3-2 ซึ่งมีสภาพการจ่ายไฟดังนี้

4.1.1 สถานีฯหาดใหญ่ 2 ของ กฟภ. รับไฟจากสถานีฯหาดใหญ่2 ของ กฟผ. และสถานีฯหาดใหญ่2 ของ กฟภ. โดยรับโหลดสูงสุด 200 เมกกะวัตต์ และแบ่งการจ่ายไฟออกเป็น 4 วงจรดังนี้

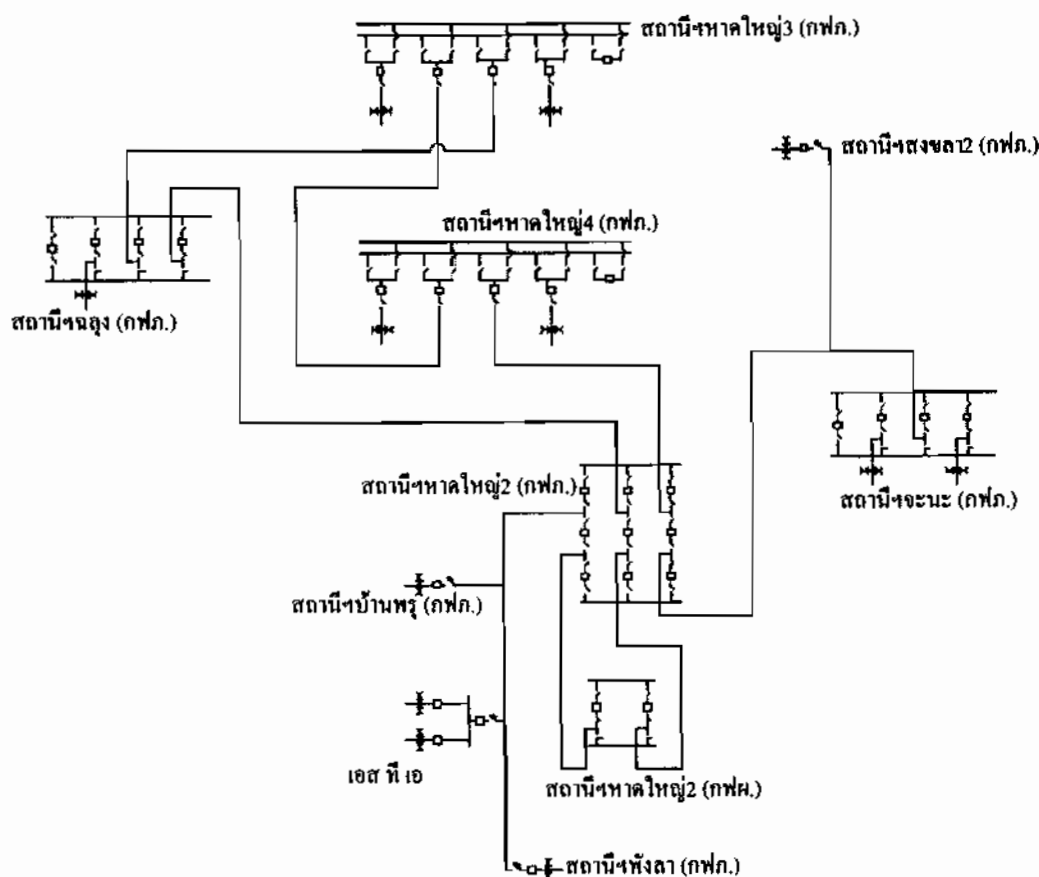
4.1.2 วงจรแรก จ่ายโหลดให้กับ สถานีฯบ้านพรุ, สถานีฯพังงา และสถานีฯของผู้ใช้ไฟ บริษัท เอส.ที.เอ

4.1.3 วงจรที่ 2 จ่ายโหลดให้กับ สถานีฯบ้านจะนะ, สถานีฯสงขลา 2

4.1.4 วงจรที่ 3 จ่ายโหลดให้กับ สถานีฯฉลุง

4.1.5 วงจรที่ 4 จ่ายโหลดให้กับ สถานีฯหาดใหญ่ 3 และสถานีฯหาดใหญ่ 4

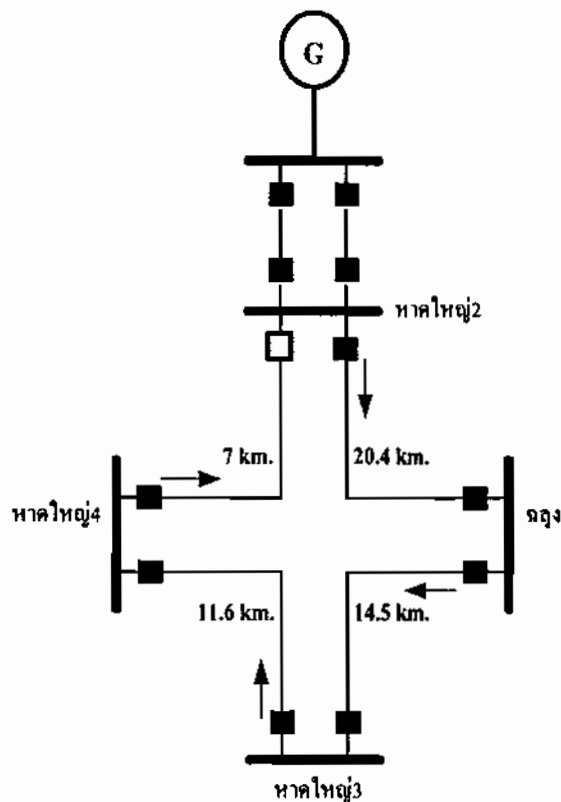
จากภาพที่ 4-2 จะเห็นว่าระหว่างสถานีฯหาดใหญ่ 3 และสถานีฯจตุรง จะมีสายส่งเชื่อมถึงกันอยู่ และเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ข้างหนึ่งไว้ที่สถานีฯหาดใหญ่ 3 เพราะฉะนั้นทั้ง 4 สถานีนี้มีความพร้อมที่จะทำการจ่ายไฟแบบลูปปิด โดยปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ สถานีฯหาดใหญ่ 3 เท่านั้น



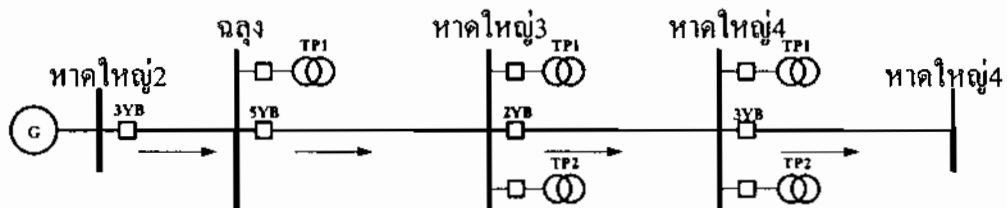
ภาพที่ 4-2 สภาพการจ่ายไฟที่สถานีไฟฟ้าหาดใหญ่ 2

4.2 การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทาง

4.2.1 พิจารณาการไหลของกระแสโหลด และกระแสฟอลต์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เพื่อใช้ในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ โดยจะเปิดเบรกเกอร์ทางด้านซ้ายมือของสถานีฯหาดใหญ่ 2 แสดงในภาพที่ 4-3 และ ภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-3 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์ผ่านเบรกเกอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 4-4 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์และกระแสโหลด ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

4.2.1.1 สถานีฯ หาดใหญ่ 2 รีเลย์ระยะทางป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 2 - สถานีฯ ฉลุง ระยะทาง 20.4 กิโลเมตร กำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้

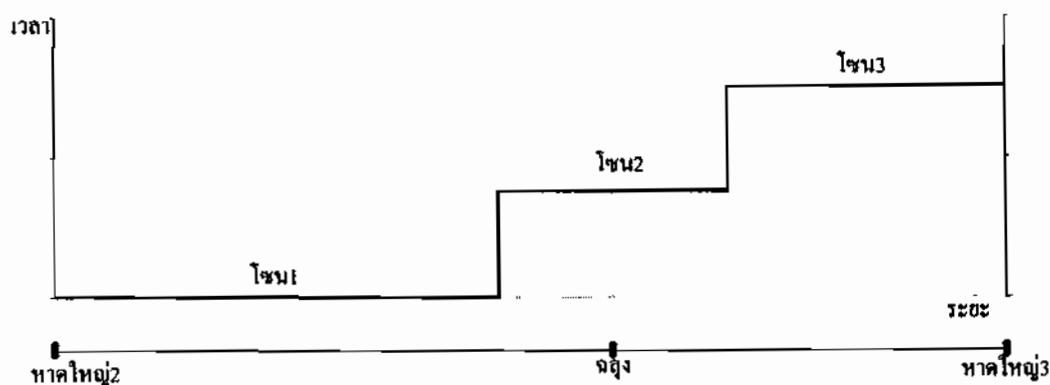
รีเลย์ระยะทาง

หม้อแปลงกระแส 1600/1 หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

โซน 1 = $1.12 + j6.9$ โอห์ม (16.32 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $1.68 + j10.48$ โอห์ม (24.84 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 3 = $2.38 + j14.86$ โอห์ม (34.7 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-5 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีหาคใหญ่ 2 ป้องกัน
สายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 2 – สถานีฉลุง

4.2.1.2 สถานีฉลุง รีเลย์ระยะทางป้องกันสายส่งช่วงสถานีฉลุง- สถานีหาคใหญ่ 3
ระยะทาง 14.3 กิโลเมตร กำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้

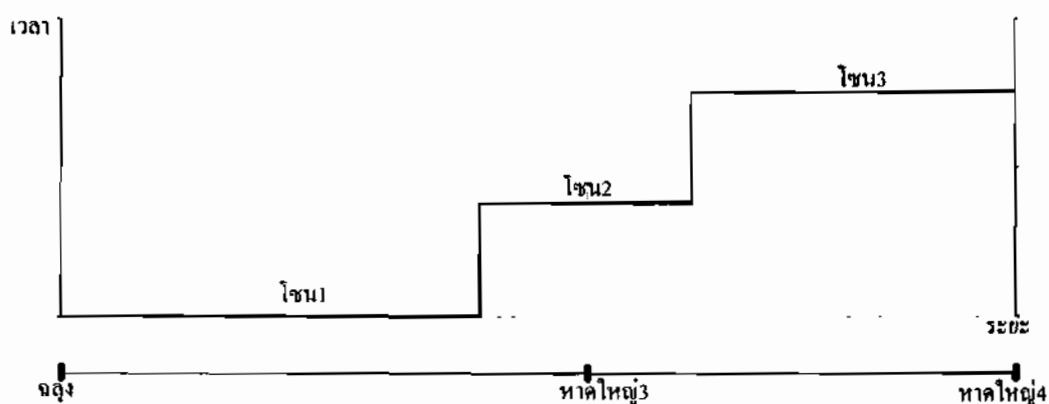
รีเลย์ระยะทาง

หม้อแปลงกระแส 1200/1 หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

โซน 1 = $0.59 + j3.68$ โอห์ม (11.44 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $0.88 + j5.51$ โอห์ม (17.16 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 3 = $1.33 + j8.32$ โอห์ม (25.9 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-6 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่สถานีฉลุง ป้องกัน สายส่งช่วง
สถานีฉลุง – สถานีหาคใหญ่ 3

4.2.1.3 สถานีฯหาดใหญ่ 3 รีเลย์ระยะทาง (21/21N) ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3 - สถานีฯหาดใหญ่ 4 ระยะทาง 11.6 กิโลเมตร ตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้

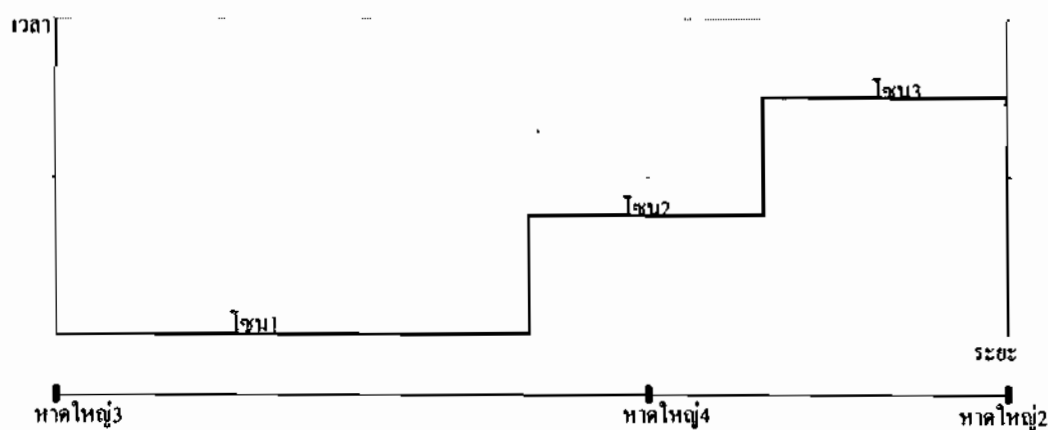
รีเลย์ระยะทาง

หม้อแปลงกระแส 1200/1 หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

โซน 1 = $0.48 + j2.98$ โอห์ม (9.28 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $0.72 + j4.471$ โอห์ม (13.92 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 3 = $0.96 + j5.98$ โอห์ม (18.6 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-7 ไทม์สเตปโคออดิเนตของรีเลย์ระยะทางที่สถานีฯหาดใหญ่ 3 ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 –สถานีฯหาดใหญ่ 4

4.2.1.4 สถานีฯหาดใหญ่ 4 รีเลย์ระยะทาง ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ระยะทาง 7 กิโลเมตร กำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้

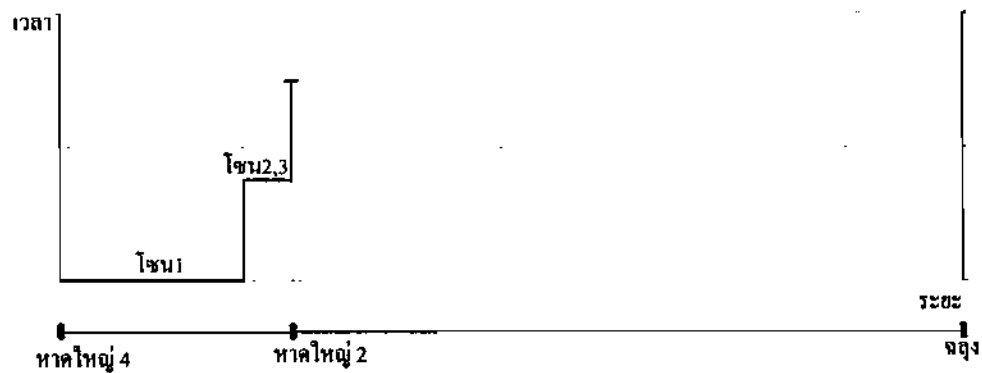
รีเลย์ระยะทาง

หม้อแปลงกระแส 1200/1 หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

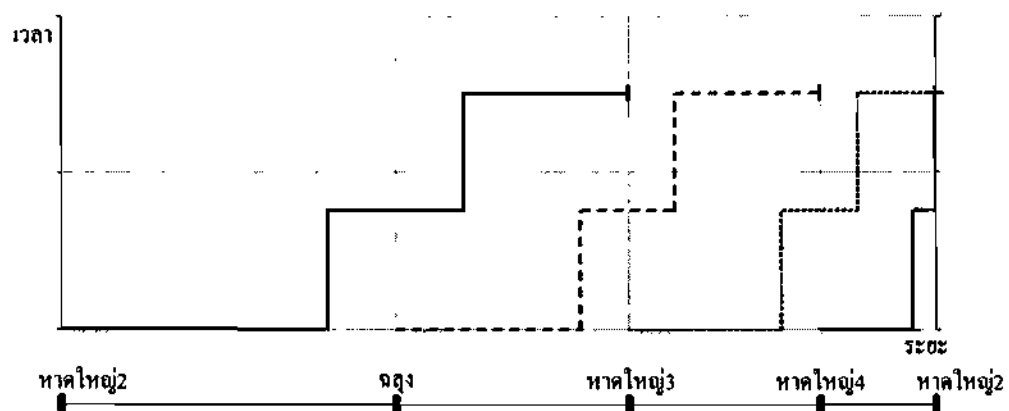
โซน 1 = $0.29 + j1.80$ โอห์ม (5.6 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $0.36 + j2.25$ โอห์ม (7 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 3 = $0.36 + j2.25$ โอห์ม (7 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที

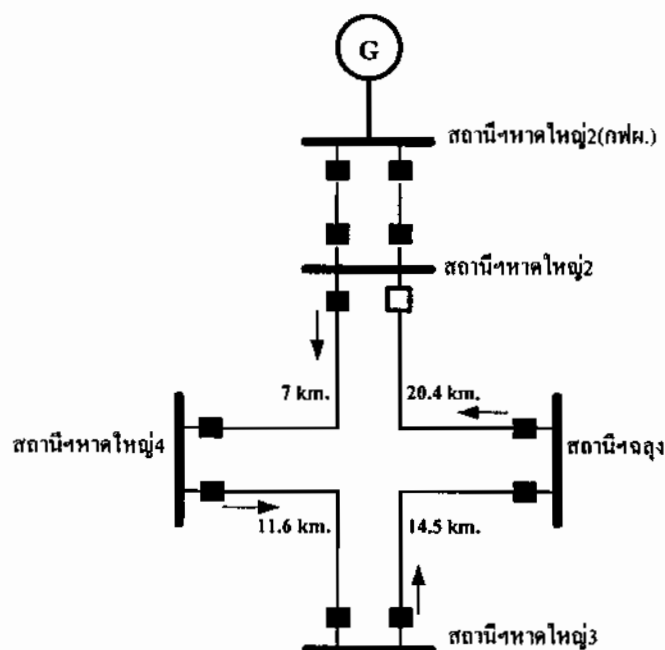


ภาพที่ 4-8 ไทม์สเตปโคอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่สถานีหาคใหญ่ 4 ป้องกัน
สายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 4 – สถานีหาคใหญ่ 2

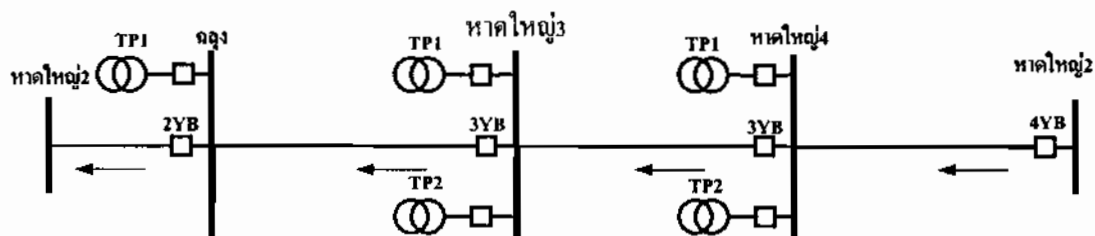


ภาพที่ 4-9 การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ระยะทาง ที่ตำแหน่งต่างๆ ในทิศทางตาม
เข็มนาฬิกาเมื่อนำมาใช้ในป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบโคลสดูป

4.2.2 พิจารณาการไหลของกระแสลัดวงจร และกระแสโหลด ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เพื่อใช้ในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์โดยจะเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านขวามือของสถานีหาคใหญ่ 2 ไว้



ภาพที่ 4-10 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
ในกรณีที่ มีการจ่ายไฟแบบเรเดียล



ภาพที่ 4-11 ทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อพิจารณาการ
จ่ายไฟเป็นแบบเรเดียล

4.2.2.1 สถานีฯหาดใหญ่2 รีเลย์ระยะทางป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 –
สถานีฯหาดใหญ่ 4 ระยะทาง 7 กิโลเมตร ตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้
รีเลย์ระยะทาง

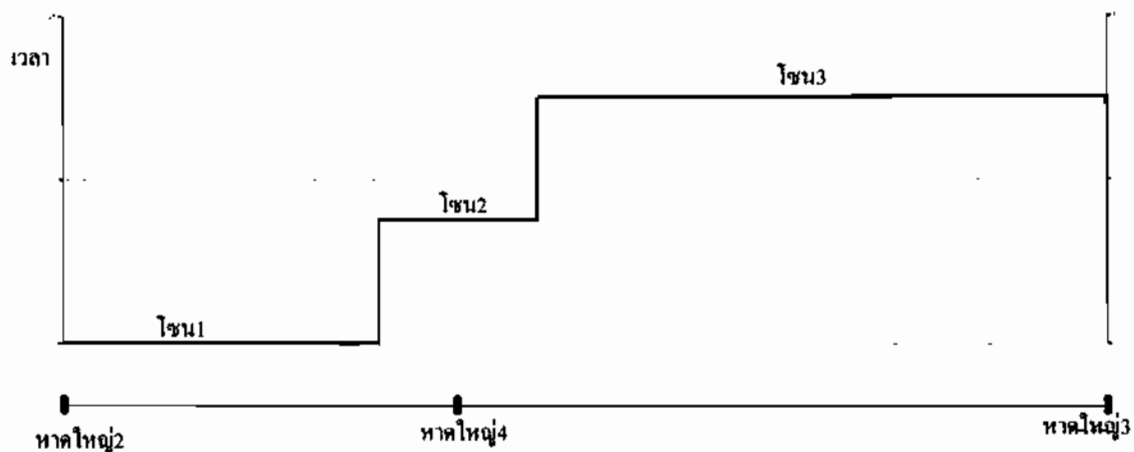
หม้อแปลงกระแส 1600/1

หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

โซน 1 = $0.38 + j2.40$ โอห์ม (5.6 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $0.58 + j3.60$ โอห์ม (8.4 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 3 = $1.28 + j7.97$ โอห์ม (18.6 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-12 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯหัดใหญ่ 2 ป้องกัน
สายส่งช่วง สถานีฯหัดใหญ่ 2 – สถานีฯหัดใหญ่ 4

4.2.2.2 สถานีฯหัดใหญ่ 4 รีเลย์ระยะทางป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯหัดใหญ่ 4 –
สถานีฯหัดใหญ่ 3 ระยะทาง 11.6 กิโลเมตร ตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้
รีเลย์ระยะทาง

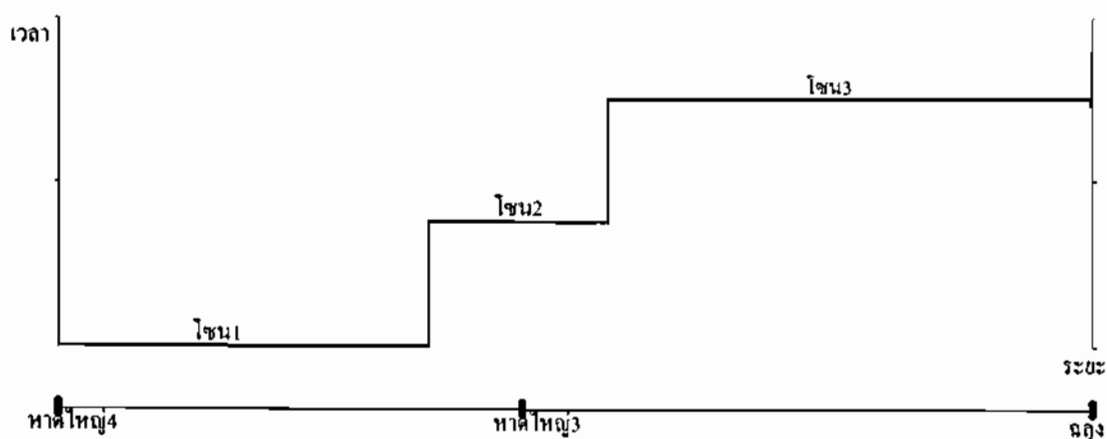
หม้อแปลงกระแส 1200/1

หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

โซน1 = $0.48 + j2.98$ โอห์ม (9.28 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน2 = $0.72 + j4.47$ โอห์ม (13.92 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน3 = $1.33 + j8.32$ โอห์ม (25.9 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-13 แสดงไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯหัดใหญ่ 4 ป้องกัน
สายส่งช่วงสถานีฯหัดใหญ่ 4 – สถานีฯหัดใหญ่ 3

4.2.2.3 สถานีฯหาดใหญ่ 3 รีเลย์ระยะทาง ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3 - สถานีฯฉลุง ระยะทาง 14.3 กิโลเมตร กำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้

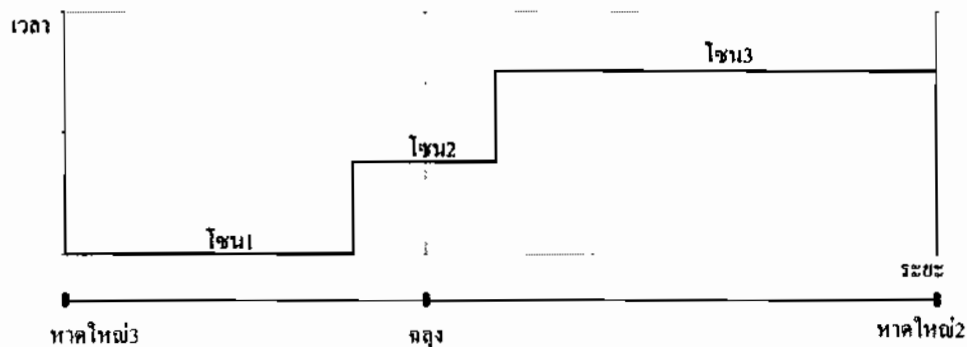
รีเลย์ระยะทาง

หม้อแปลงกระแส 1200/1 หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

โซน 1 = $0.59 + j3.68$ โอห์ม (11.44 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $0.88 + j5.51$ โอห์ม (17.16 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 2 = $1.33 + j8.32$ โอห์ม (34.7 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-14 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯหาดใหญ่ 3 ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 - สถานีฯฉลุง

4.2.2.4 สถานีฯฉลุง รีเลย์ระยะทาง (21/21N) ป้องกันสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 - สถานีฯฉลุง ระยะทาง 20.4 กิโลเมตร กำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ระยะทางไว้ดังนี้

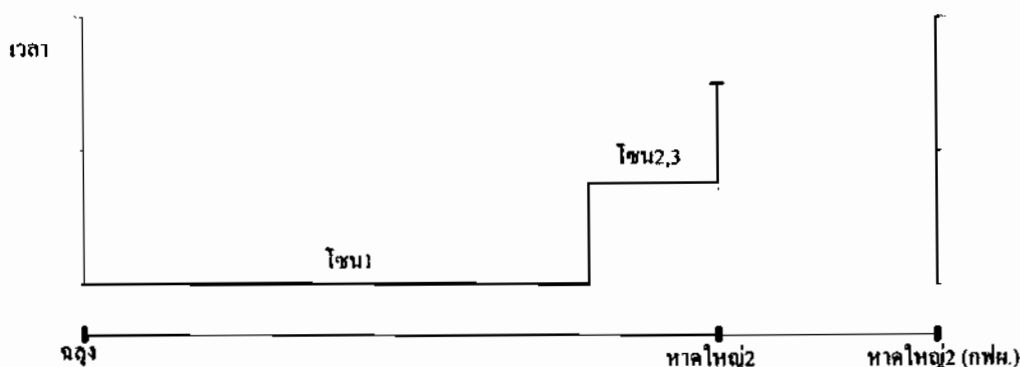
รีเลย์ระยะทาง

หม้อแปลงกระแส 1200/1 หม้อแปลงแรงดัน 115000/115

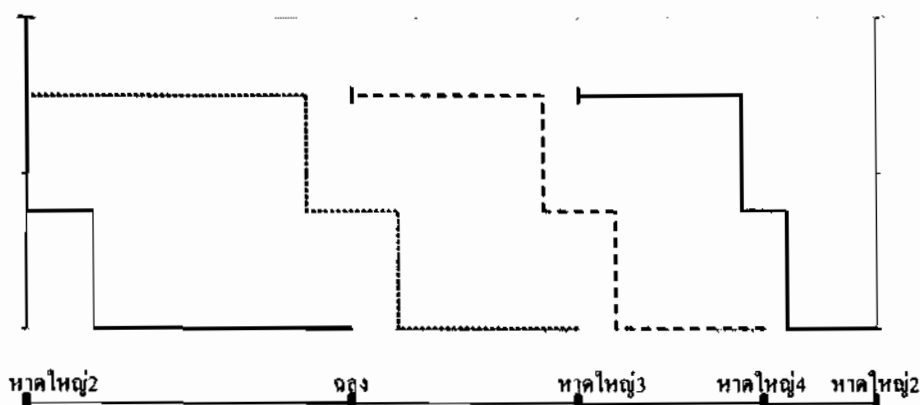
โซน 1 = $0.84 + j5.24$ โอห์ม (16.32 กิโลเมตร) เวลา 0 มิลลิวินาที

โซน 2 = $1.05 + j6.55$ โอห์ม (20.4 กิโลเมตร) เวลา 150 มิลลิวินาที

โซน 3 = $1.05 + j6.55$ โอห์ม (20.4 กิโลเมตร) เวลา 300 มิลลิวินาที



ภาพที่ 4-15 ไทม์สเตปไดอะแกรมของรีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯฉลุง ป้องกัน
สายส่งช่วงสถานีฯฉลุง-สถานีฯหาคใหญ่ 3



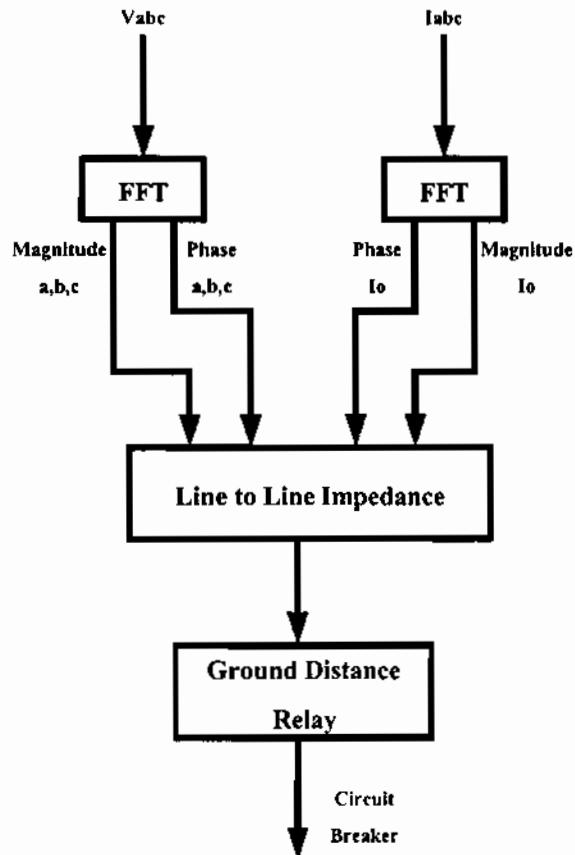
ภาพที่ 4-16 แสดงการจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ระยะทาง ในตำแหน่งต่างๆ ในทิศทางทวน
เข็มนาฬิกาเมื่อนำมาใช้ในการป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบโคลสสูล

4.3 การใช้งานแบบจำลองของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC

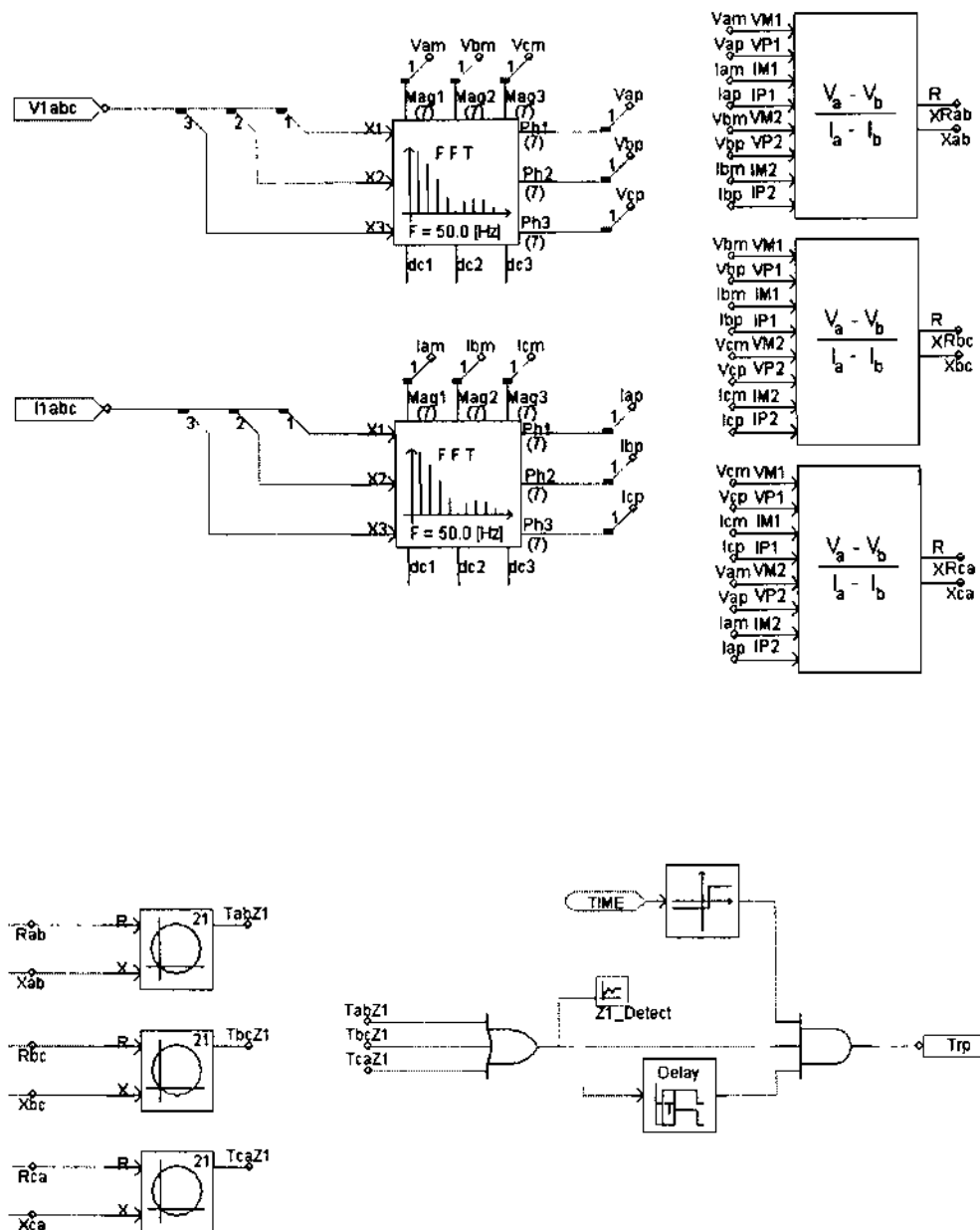
เนื่องจากรีเลย์ระยะทางที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 รีเลย์ระยะทางเพียงตัวเดียวไม่สามารถใช้ป้องกัน การเกิดฟอลต์ได้ทุกชนิดเนื่องจากการเกิดฟอลต์มีทั้งการเกิดฟอลต์ทางด้านเฟส และการเกิดฟอลต์ทางด้านกราวด์ เพราะฉะนั้นในการป้องกันสายส่งโดยการใช้รีเลย์ระยะทางนั้นจะใช้รีเลย์ระยะทางในการป้องกัน 6 ชุดต่อ 1 โซนการป้องกัน แบ่งเป็นชุดป้องกันทางเฟส 3 ชุดป้องกันชุดป้องกันทางด้านกราวด์ 3 ชุดป้องกัน

4.3.1 การสร้างแบบจำลองของรีเลย์ระยะทางที่จะนำมาใช้เป็นชุดป้องกันทางด้านเฟส จากภาพที่ 4-15 จะเห็นว่าเราใช้สัญญาณแรงดัน และกระแสจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันในการผ่านเข้าบล็อกของฟาสฟูริเยทรานซ์ฟอร์ม (Fast Fourier Transform)

เพื่อแยกเฟส และขนาดของกระแสและแรงดันออกจากกัน หลังจากนั้นก็ผ่านสัญญาณเข้าไปที่คำนวณหาอิมพีแดนซ์ที่บล็อกคำนวณอิมแดนซ์ของเฟส และทำการเปรียบเทียบอิมพีแดนซ์ในบล็อกของรีเลย์ระยะทางด้านเฟส

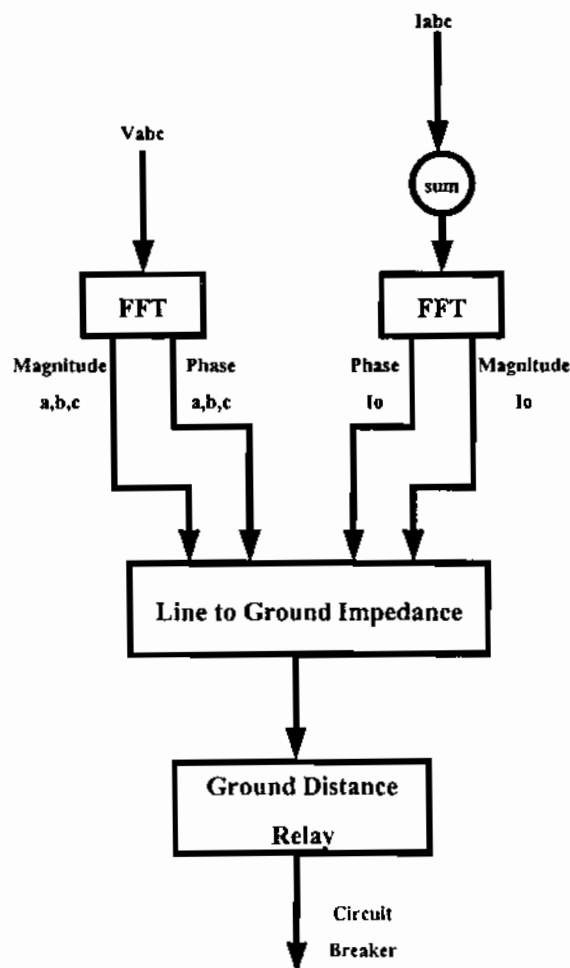


ภาพที่ 4-17 ขั้นตอนการใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อป้องกันฟอลต์ทางด้านเฟส

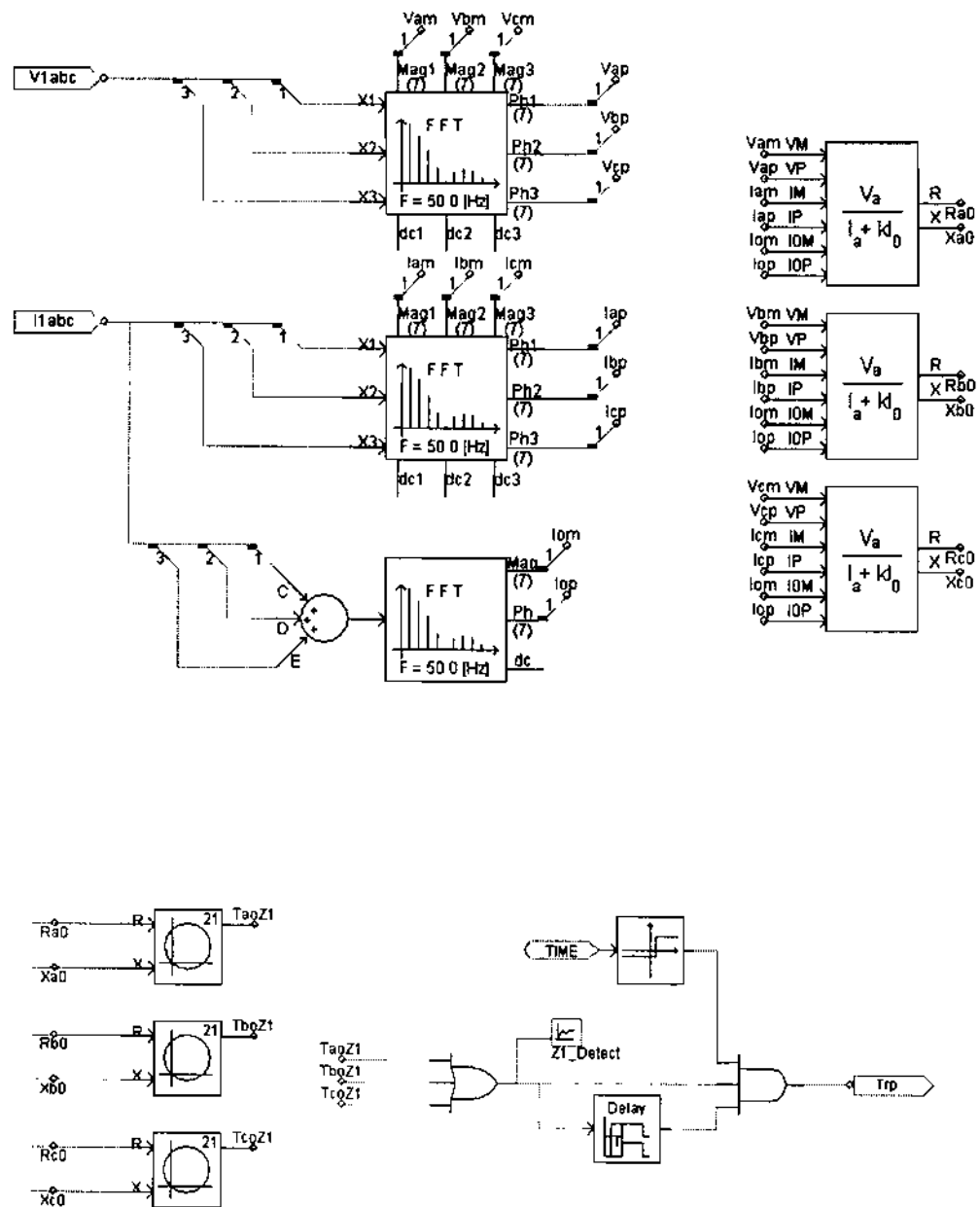


ภาพที่ 4-18 การใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อใช้ป้องกัน ฟอลต์ทางด้านเฟส

4.3.2 การสร้างแบบจำลองของรีเลย์ระยะทางที่จะนำมาใช้เป็นชุดป้องกันทางด้านกราวด์ จากภาพที่ 4-19 จะเห็นว่าชุดป้องกันทางด้านกราวด์นอกจากเราใช้สัญญาณแรงดัน และกระแสจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน ยังมีกระแสลำดับศูนย์ ผ่านเข้าบล็อกของ ฟาสฟูริเยทรานส์ฟอร์ม(Fast Fourier Transform) เพื่อแยกเฟส และขนาดของกระแสและแรงดันออกจากกัน หลังจากนั้นก็ผ่านสัญญาณเข้าไปที่คำนวณหาอิมพีแดนซ์ที่บล็อกคำนวณอิมแดนซ์ของเฟส และทำการเปรียบเทียบอิมพีแดนซ์ใน บล็อกของรีเลย์ระยะทางด้านกราวด์

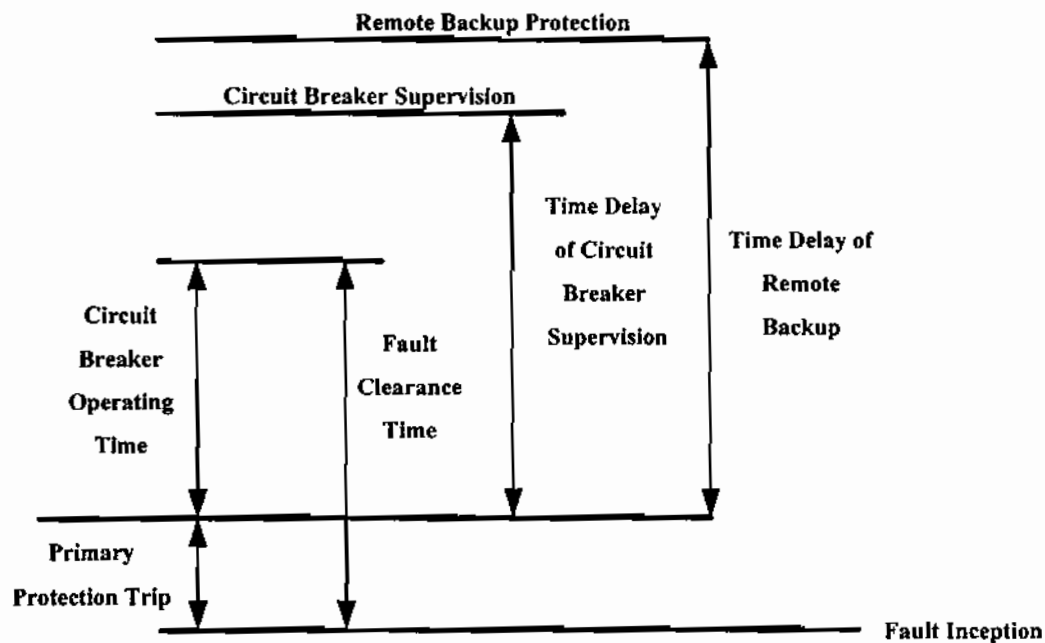


ภาพที่ 4-19 ขั้นตอนการใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อป้องกันฟอลต์ทางด้านกราวด์



ภาพที่ 4-20 ขั้นตอนการใช้งานโมเดลของรีเลย์ระยะทางในโปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อป้องกันฟอลต์ทางด้านกราวด์

4.4 การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์เบรกเกอร์เฟลเดอร์



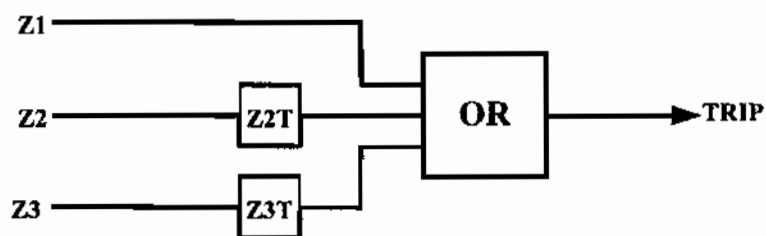
ภาพที่ 4-21 การทำงานของรีเลย์เบรกเกอร์เฟลเดอร์

การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์เบรกเกอร์เฟลเดอร์ ซึ่งทำงานเป็นระบบป้องกันสำรองที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าเดียวกับรีเลย์ป้องกันหลัก สำหรับในกรณีนี้ ได้กำหนดให้รีเลย์เบรกเกอร์เฟลเดอร์ทำงานที่เวลา 100 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วกว่าเวลาการทำงานของโซน 2 ของรีเลย์ระยะทางที่อยู่ในสถานีถัดไป

บทที่ 5

ผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง

การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่ใช้ในการป้องกันของสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิด โดยจะนำเอารีเลย์ระยะทางที่ไม่มีระบบสื่อสารมาใช้ในการป้องกันซึ่ง ปกติแล้วรีเลย์ระยะทางนี้ จะใช้ในการป้องกันสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่มีจ่ายไฟแบบเรเดียลโดยโซน 1 จะทำงานแบบทันทีทันใด ส่วนโซน 2 และโซน 3 จะทำงานแบบมีการหน่วงเวลา ดังแสดง ในภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 การทำงานของรีเลย์ระยะทาง

5.1 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้าในกรณีต่างๆ

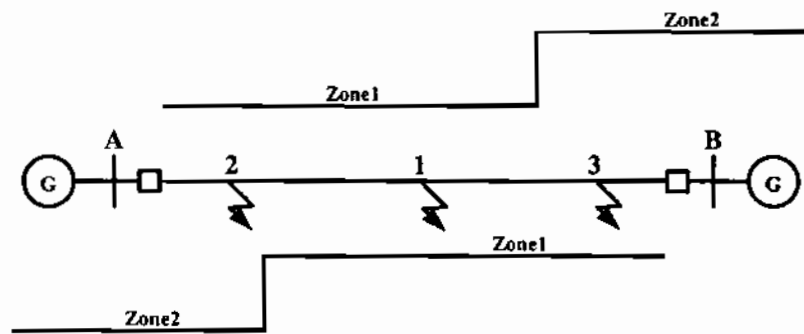
การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง ที่นำมาป้องกันสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ที่มีการจ่ายไฟแบบรูปปิดนั้น ในการทดสอบโดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC จะสมมติให้เกิดฟอลต์ในตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 5-2 เพื่อดูลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัวที่ได้กำหนดไว้ ว่าทำงานได้สัมพันธ์กันหรือไม่โดยมีการตั้งข้อสมมุติฐานดังนี้ดังนี้

5.1.1 กรณีที่เกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 แสดงในภาพที่ 5-2 รีเลย์ที่ สถานี A และ สถานี B จะทำงานด้วยโซน 1 เพื่อตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบ แบบทันทีทันใดโดยไม่มี การหน่วงเวลา

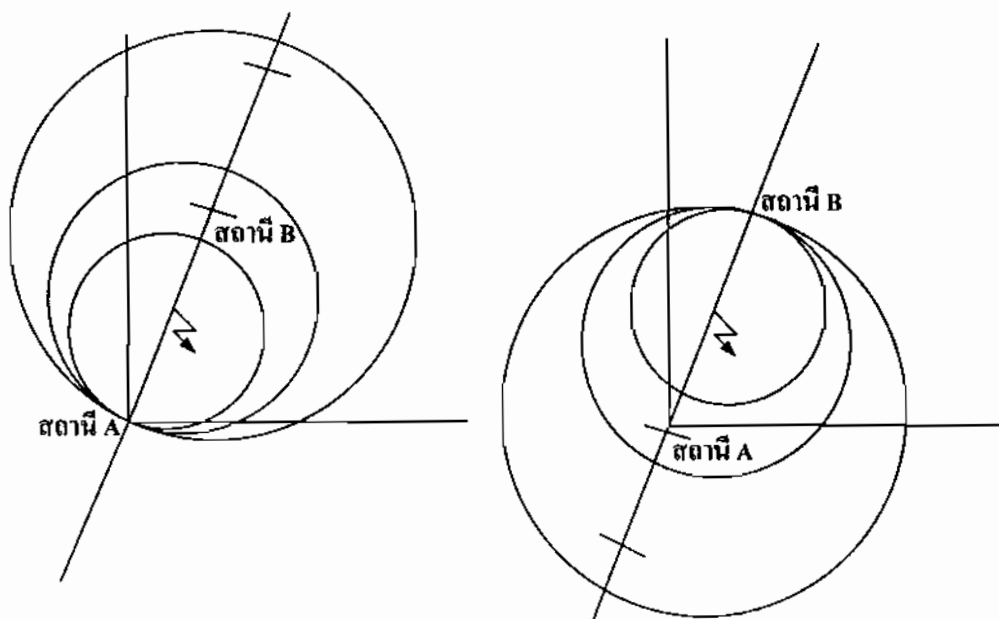
5.1.2 กรณีที่เกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 แสดงในภาพที่ 5-2 เนื่องจากฟอลต์ที่เกิดขึ้นอยู่ภายในโซน 1 รีเลย์ที่สถานี A จึงทำงานด้วย โซนแบบทันทีทันใดไม่มีการหน่วงเวลาเพื่อตัดกระแสฟอลต์ และรีเลย์ที่สถานี B จะเห็นฟอลต์ที่เกิดขึ้นอยู่นอกโซน 1 แต่อยู่ใน โซน 2 จึงทำให้ไม่สามารถ

ทำงานแบบทันทีทันใดด้วยโซน 1 ได้แต่จะทำงานด้วยโซน 2 แทน และหน่วงเวลาไว้ประมาณ 150 มิลลิวินาที

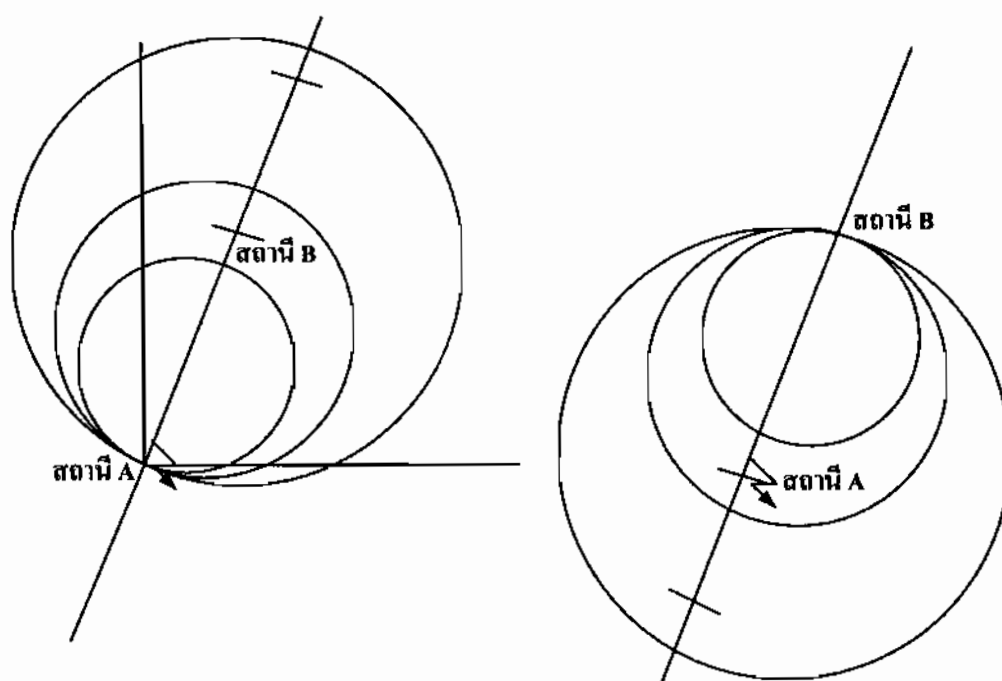
4.1.3 กรณีที่เกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 3 แสดงในภาพที่ 4-2 การทำงานของรีเลย์ก็จะเหมือนกับในกรณีที่ 2 แต่จะสลับกันตรงที่รีเลย์ที่สถานี B จะทำงานก่อนด้วยโซน 1 และรีเลย์ที่สถานี A จึงจะทำงานด้วยโซน 2



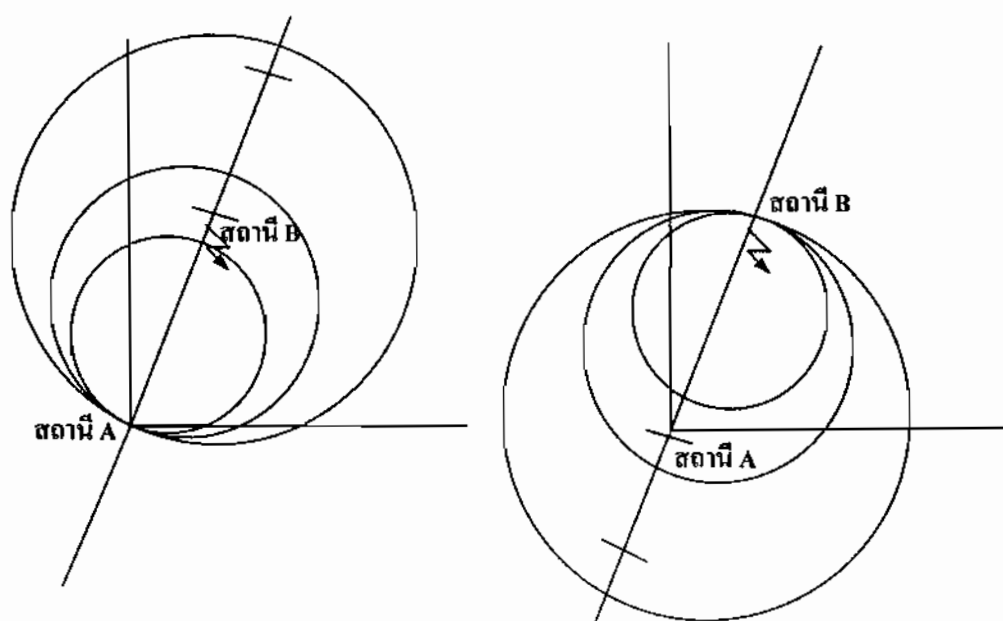
ภาพที่ 5-2 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่ง



ภาพที่ 5-3 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งในกรณีที่ 1



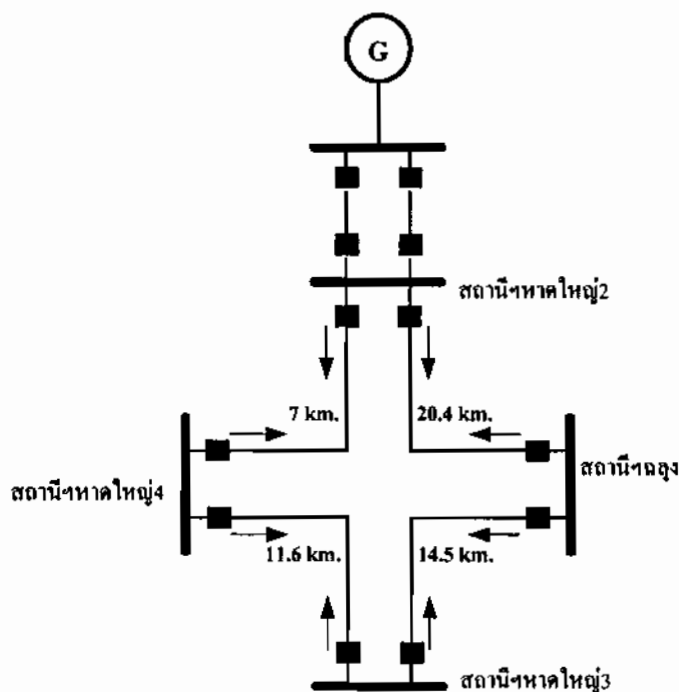
ภาพที่ 5-4 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-5 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งในกรณีที่ 3

การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่จะใช้ป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบโคจรูป
นั้น สายส่งที่จะนำมาทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางจะใช้สายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2

สถานีฯฉลุง, สถานีฯหาดใหญ่ 3 และสถานีฯหาดใหญ่ 4 ที่ได้มีการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ไว้แล้วในบทที่ 4 โดยสภาพการจ่ายไฟของสายส่งช่วงดังกล่าวแสดงในภาพที่ 5-3



ภาพที่ 5-6 สายส่งช่วงต่างๆ ที่จะทำให้การป้องกัน

5.2 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้าเพียง 1 จุด

การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางโดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC นั้น โชน 1 ของรีเลย์ระยะทางจะถูกหน่วงเวลาไว้ที่ 20 มิลลิวินาที และเวลาในการทำงานของรีเลย์จะอยู่ที่ประมาณ 23 มิลลิวินาที เพราะฉะนั้น โชน 1 ของรีเลย์ในโปรแกรม PSCAD/EMTDC จะทำงานที่เวลา 43 มิลลิวินาที ส่วน โชน 2 และ โชน 3 จะถูกหน่วงเวลาไว้ที่ 150 มิลลิวินาที และ 300 มิลลิวินาที เพราะฉะนั้นรีเลย์ที่ โชน 2 และ โชน 3 จะทำงานที่เวลา 173 มิลลิวินาที และเวลา 323 มิลลิวินาที

ตารางที่ 5-1 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุง

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง							
Fault	Single Line to Ground		Line to Line to Ground		Line to Line		Three Phase Fault	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 2	ฉลุง
กรณีที่ 1	41 ms.	41 ms.	37 ms.	47 ms.	45 ms.	51 ms.	37 ms.	39 ms.
กรณีที่ 2	41 ms.	205 ms.	33 ms.	178 ms.	41 ms.	209 ms.	35 ms.	170 ms.
กรณีที่ 3	174 ms.	41 ms.	170 ms.	39 ms.	178 ms.	43 ms.	168 ms.	37 ms.

ตารางที่ 5-2 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3							
Fault	Single Line to Ground		Line to Line to Ground		Line to Line		Three Phase Fault	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่3	ฉลุง	หาดใหญ่3	ฉลุง	หาดใหญ่3	ฉลุง	หาดใหญ่3
กรณีที่1	41	41	39	47	43	49	41	39
กรณีที่2	41	174	39	172	45	178	37	170
กรณีที่3	174	41	170	39	178	43	170	37

ตารางที่ 5-3 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4							
Fault	Single Line to Ground		Line to Line to Ground		Line to Line		Three Phase Fault	
CB ที่	หาดใหญ่3	หาดใหญ่4	หาดใหญ่3	หาดใหญ่4	หาดใหญ่3	หาดใหญ่4	หาดใหญ่3	หาดใหญ่4
กรณีที่1	41	41	49	45	47	39	41	41
กรณีที่2	41	174	178	41	211	47	170	37
กรณีที่3	174	41	45	170	45	178	41	170

ตารางที่ 5-4 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2							
Fault	Single Line to Ground		Line to Line to Ground		Line to Line		Three Phase Fault	
CB ที่	หาดใหญ่4	หาดใหญ่2	หาดใหญ่4	หาดใหญ่2	หาดใหญ่4	หาดใหญ่2	หาดใหญ่4	หาดใหญ่2
กรณีที่1	41	41	41	47	49	45	47	39
กรณีที่2	205	41	178	41	219	45	197	37
กรณีที่3	41	174	170	45	178	45	41	170

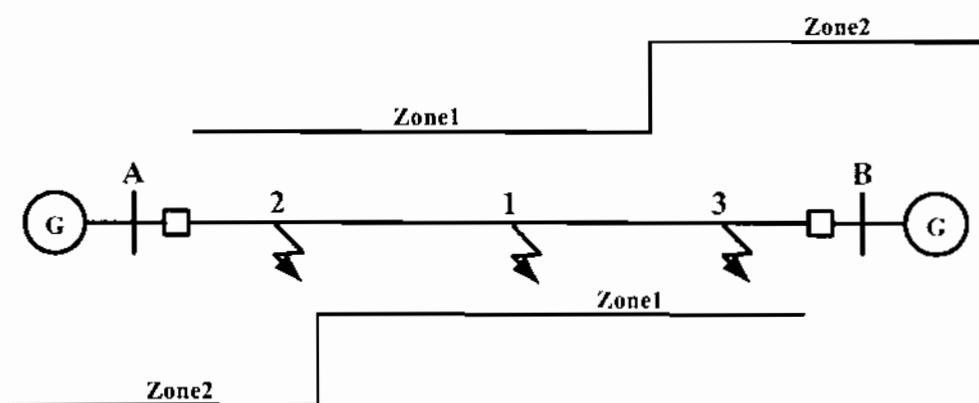
จากผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันพบว่ารีเลย์ระยะทางทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้อ้างอิงข้อมติฐานไว้โดยโซน 1 ทำงานที่เวลา 41 มิลลิวินาทีและโซน 2 ทำงานที่เวลา 174 มิลลิวินาที จากตารางที่ 5-1 และตารางที่ 5-4 พบว่าที่โซน 2 ของสถานีฯฉลุง และโซน 2 ของ

สถานีฯ หาดใหญ่ 5 มีเวลาในการทำงานของรีเลย์ตำแหน่งนี้นานกว่าการทำงานของรีเลย์ระยะทาง โชน 2 ของตำแหน่งอื่นๆ

สาเหตุที่ทำให้รีเลย์ระยะทาง โชน 2 ที่สถานีฯ ฉลุง และสถานีฯ หาดใหญ่ 4 ใช้เวลาทำงาน ในการป้องกัน การเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งมากกว่าเวลาการทำงานของรีเลย์ระยะทางตัว อื่นๆ เนื่องจากการเกิดฟอลต์ ที่ตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ใกล้กับ สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ซึ่งถือ ว่าเป็นสถานีไฟฟ้าต้นทาง และถือว่าเป็นแหล่งผลิตของระบบ โคลสูลูป ซึ่งจะทำให้ ซอร์ส อิมพีแดนซ์ (Source Impedance) ที่อยู่ข้างหลังรีเลย์ที่สถานีฯ ฉลุง และ สถานีฯ หาดใหญ่ 4 มีค่า มากกว่า ซอร์สอิมพีแดนซ์ ที่อยู่ข้างหลังรีเลย์ที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 มากๆ จึงทำให้ฟอลต์ที่เกิดขึ้นใน สายส่ง บริเวณใกล้กับ สถานีฯ หาดใหญ่ 2 มีกระแสฟอลต์ไหลผ่านรีเลย์ สถานีฯ หาดใหญ่ 2 มากกว่า กระแสฟอลต์ที่ไหลผ่าน สถานีฯ ฉลุง และสถานีฯ หาดใหญ่ 4 จึงทำให้รีเลย์ที่สถานีฯ ฉลุง และ สถานีฯ หาดใหญ่ 4 มองเห็นกระแสฟอลต์ เป็นกระแสโหลดหรือมองไม่เห็นกระแสฟอลต์ [19] ดังนั้นรีเลย์ใน 2 ตำแหน่งนี้ จึงยังไม่ทำงาน แต่หลังจากที่รีเลย์ที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ทำงานตัด กระแสฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าแล้ว รีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ ฉลุง และสถานีฯ หาดใหญ่ 4 จึงจะ ทำงานในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบ

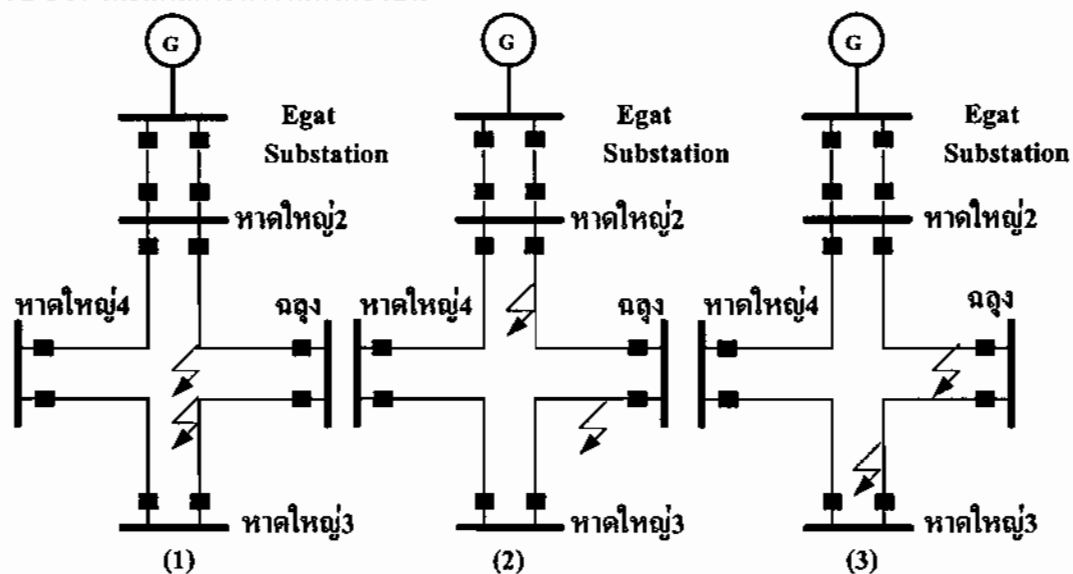
5.3 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุด

การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุด สามารถทำได้โดยการ จำลอง การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC โดยจะกำหนดให้เกิด ฟอลต์ 2 จุด ในตำแหน่งต่างๆบนสายส่ง ดังแสดงในภาพที่ 5-4

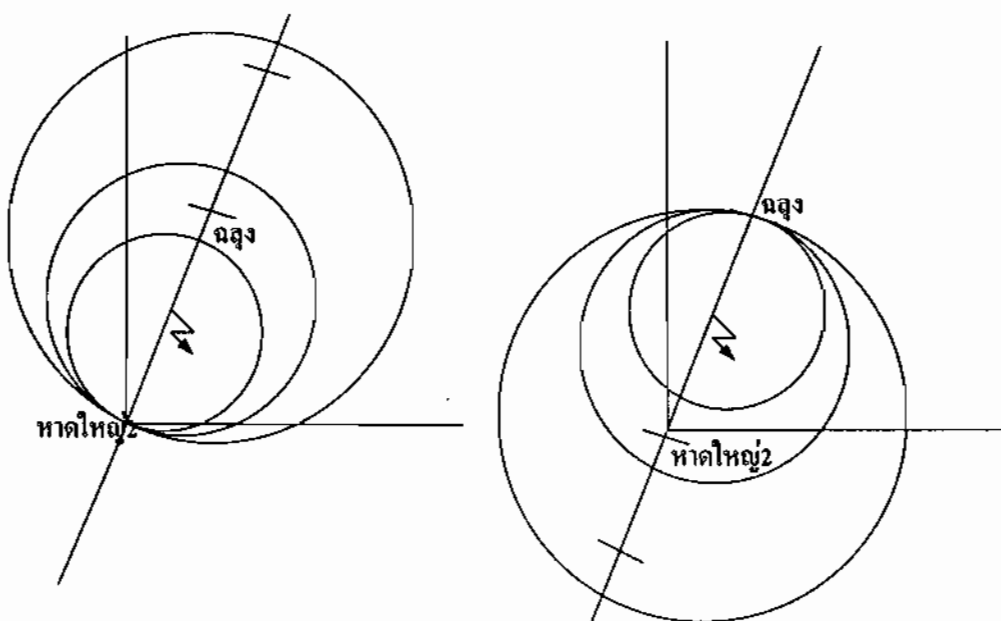


ภาพที่ 5-7 ตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุด

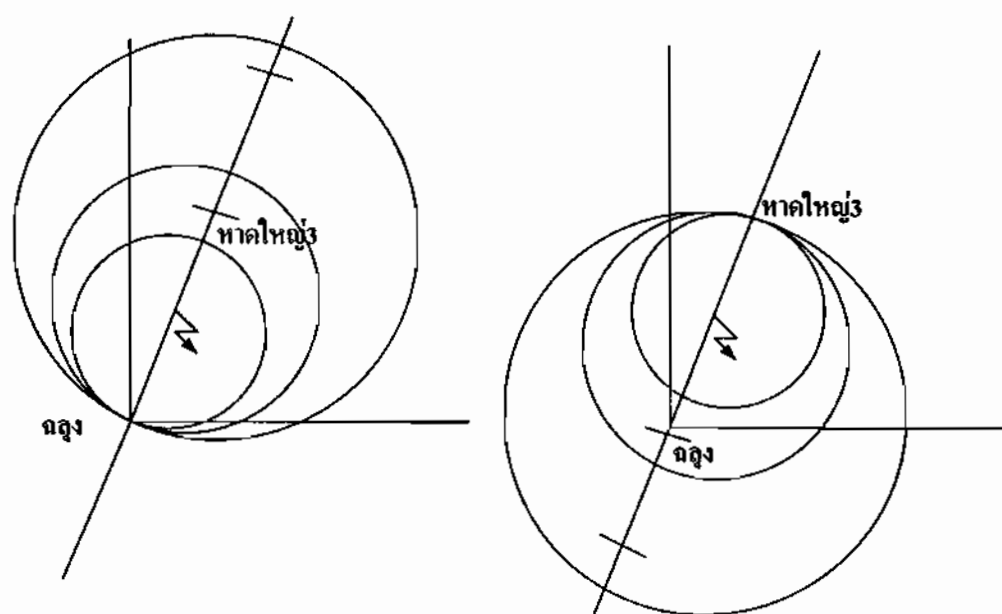
5.3.1 การเกิดฟอลต์พร้อมกัน 2 จุดในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฉลุง และ สายส่งช่วง สถานีฉลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 โดยจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ ในตำแหน่งที่ 1 ขึ้นพร้อมกัน ฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน และการเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นพร้อมกัน ของสายส่งทั้ง 2 ช่วง โดยมีผลการทำงานดังต่อไปนี้



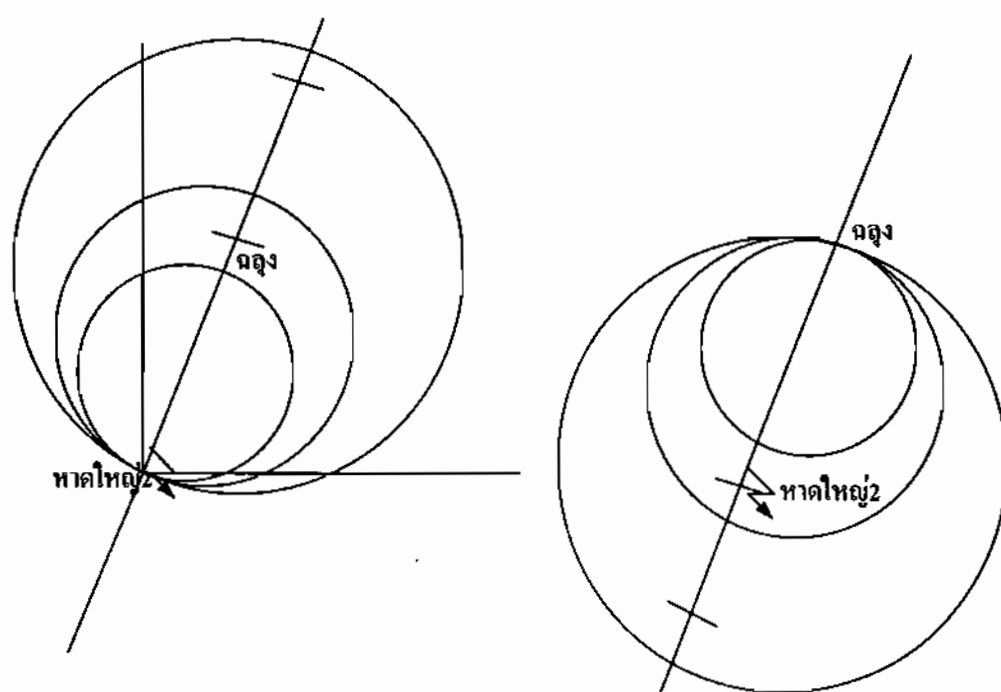
ภาพที่ 5-8 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฉลุง และ สายส่งช่วง สถานีฉลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3



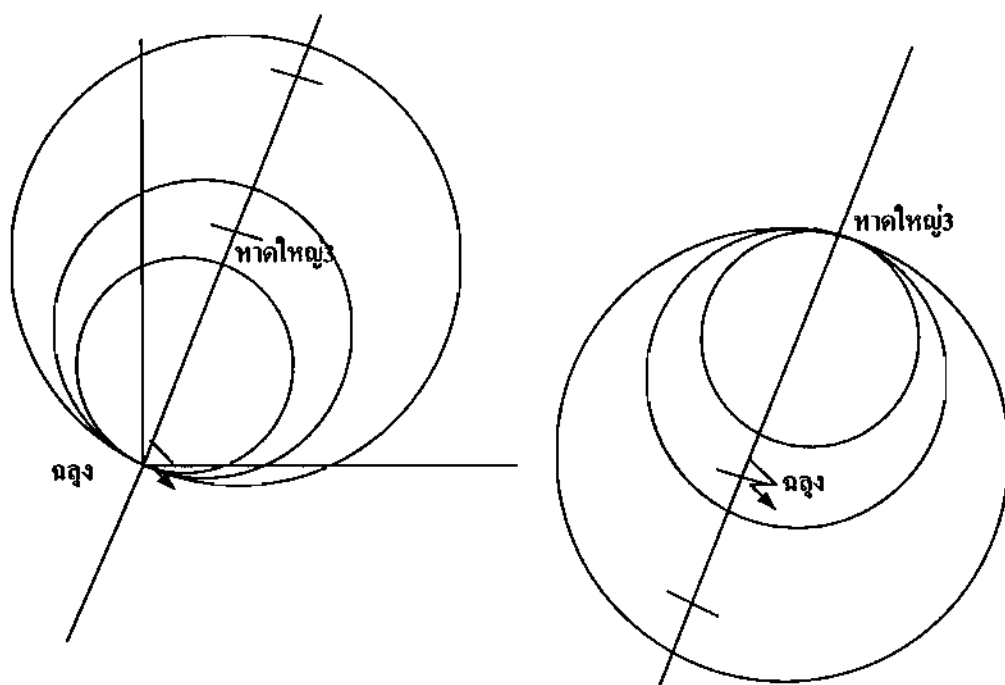
ภาพที่ 5-9 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฉลุงในกรณีที่ 1



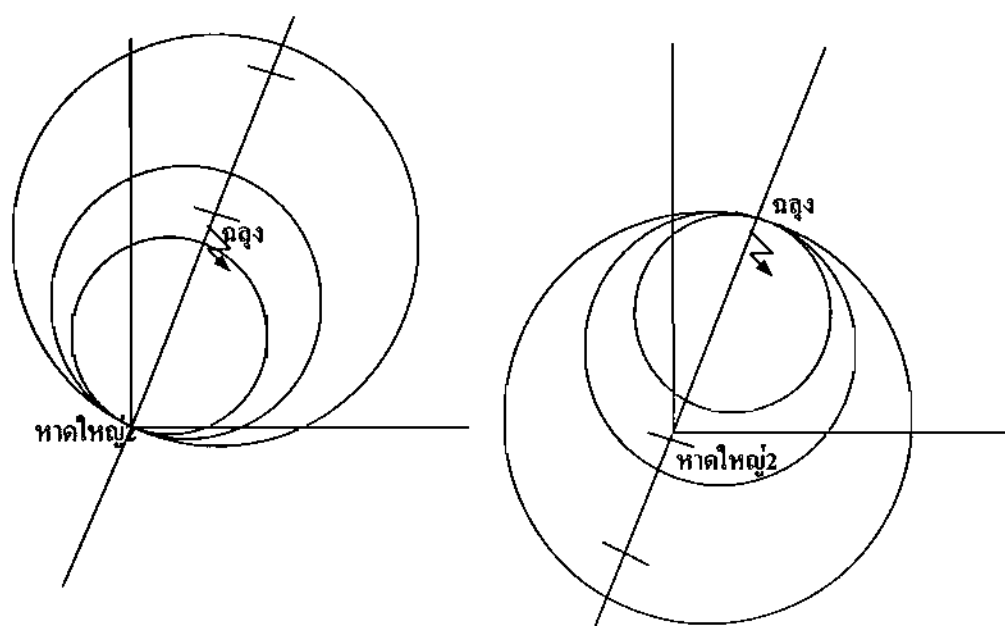
ภาพที่ 5-10 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีจตุร – สถานีหาคใหญ่ 3 ในกรณีที่ 1



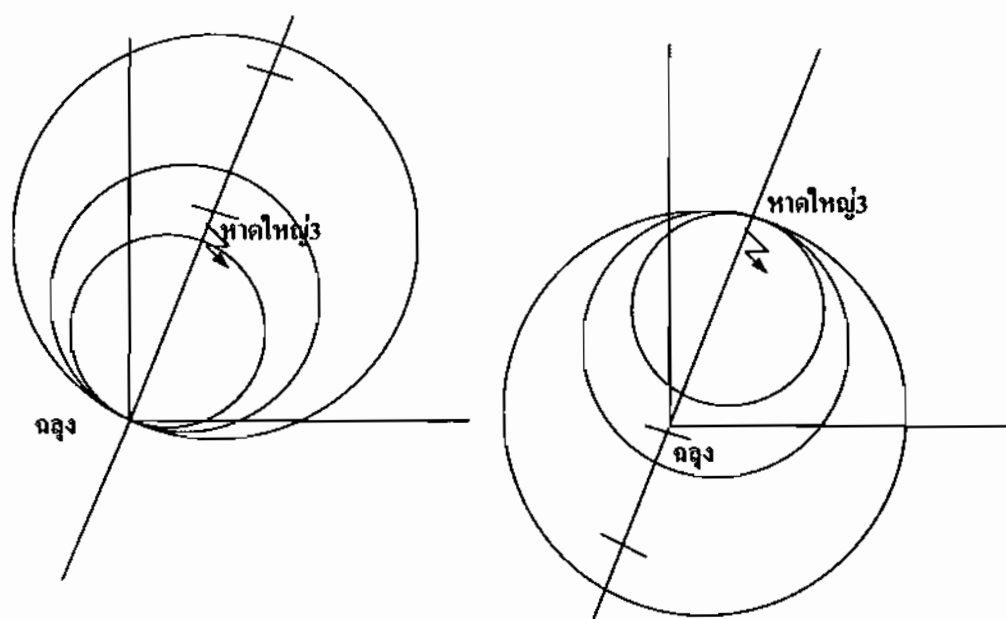
ภาพที่ 5-11 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 2 – สถานีจตุรในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-12 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-13 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุงในกรณีที่ 3



ภาพที่ 5-14 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯจุด – สถานีฯหาคู่ใหญ่ 3 ในกรณีที่ 3

ตารางที่ 5-5 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯหาคู่ใหญ่ 2 – สถานีฯจุด และ สถานีฯจุด – สถานีฯหาคู่ใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกัน ในกรณีเกิดการถล่มวงจรแบบ 1 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาคู่ใหญ่ 2 - จุด		จุด - หาคู่ใหญ่ 3	
CB ที่	หาคู่ใหญ่ 2	จุด	จุด	หาคู่ใหญ่ 3
กรณีที่ 1	41	-	43	43
กรณีที่ 2	37	-	47	205
กรณีที่ 3	172	43	43	43

ตารางที่ 5-6 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง และสถานีฯ ฉลุง – สถานีฯ หาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกัน ในกรณีเกิดฟอลต์แบบ เฟสกับเฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		ฉลุง – หาดใหญ่ 3	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	ฉลุง	หาดใหญ่ 3
กรณีที่ 1	37	-	-	43
กรณีที่ 2	33	62	-	180
กรณีที่ 3	168	-	-	39

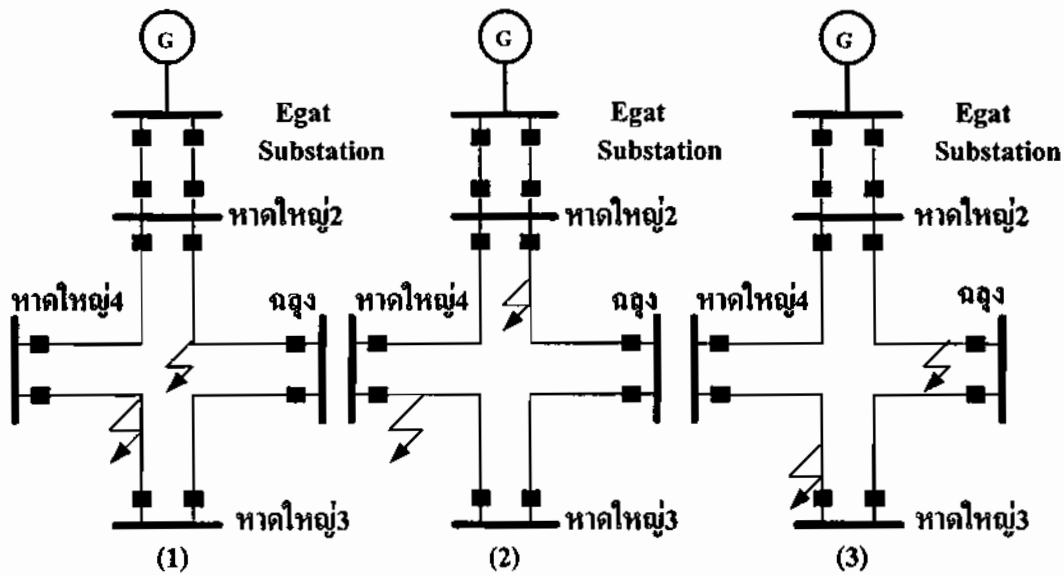
ตารางที่ 5-7 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง และสถานีฯ ฉลุง – สถานีฯ หาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกัน ในกรณีเกิดฟอลต์แบบ เฟสกับเฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		ฉลุง – หาดใหญ่ 3	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	ฉลุง	หาดใหญ่ 3
กรณีที่ 1	37	-	-	43
กรณีที่ 2	33	62	-	180
กรณีที่ 3	168	-	-	39

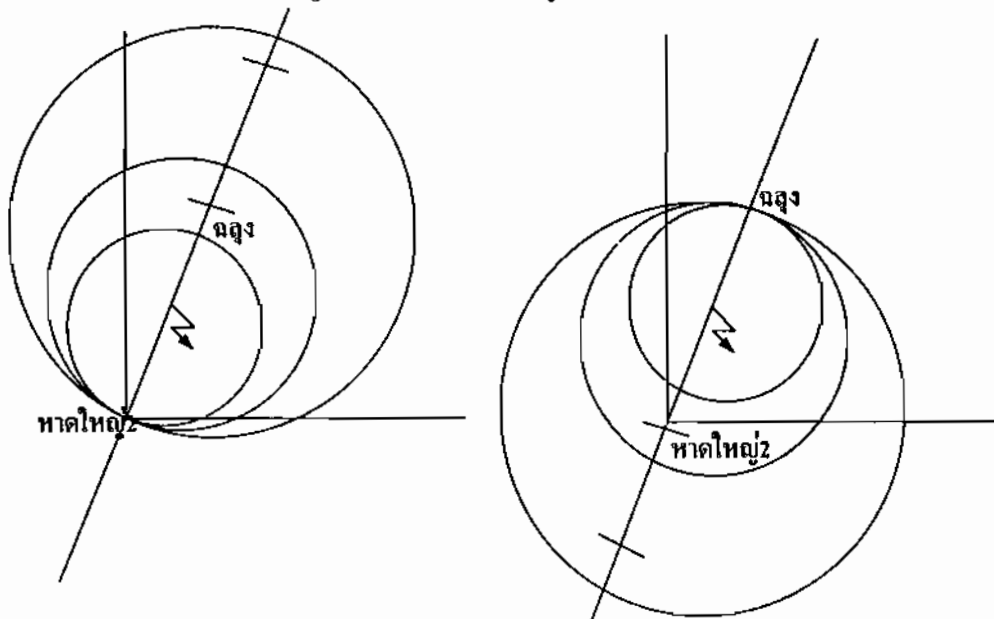
ตารางที่ 5-8 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง และสถานีฯ ฉลุง – สถานีฯ หาดใหญ่ 3 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกัน ในกรณีเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		ฉลุง – หาดใหญ่ 3	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	ฉลุง	หาดใหญ่ 3
กรณีที่ 1	37	-	-	43
กรณีที่ 2	35	-	-	172
กรณีที่ 3	168	-	-	37

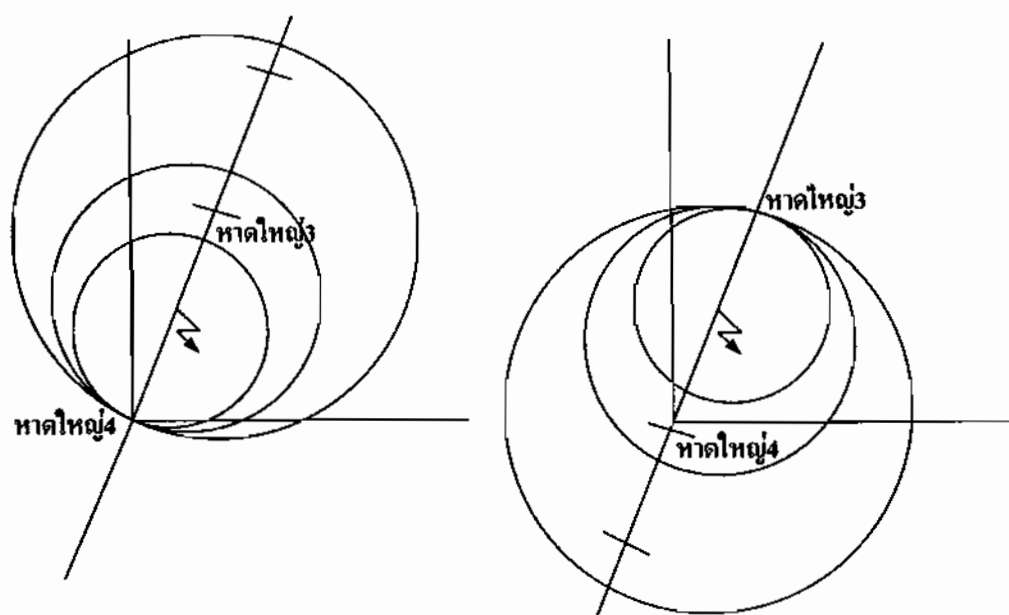
5.3.2 การเกิดฟอลต์พร้อมกัน 2 จุดในสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง และ สายส่ง ช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 โดยจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ใน ตำแหน่งที่ 1 ขึ้นพร้อมกัน การเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน และการเกิดฟอลต์ใน ตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นพร้อมกันของสายส่งทั้ง 2 ช่วง โดยมีผลการทำงานดังต่อไปนี้



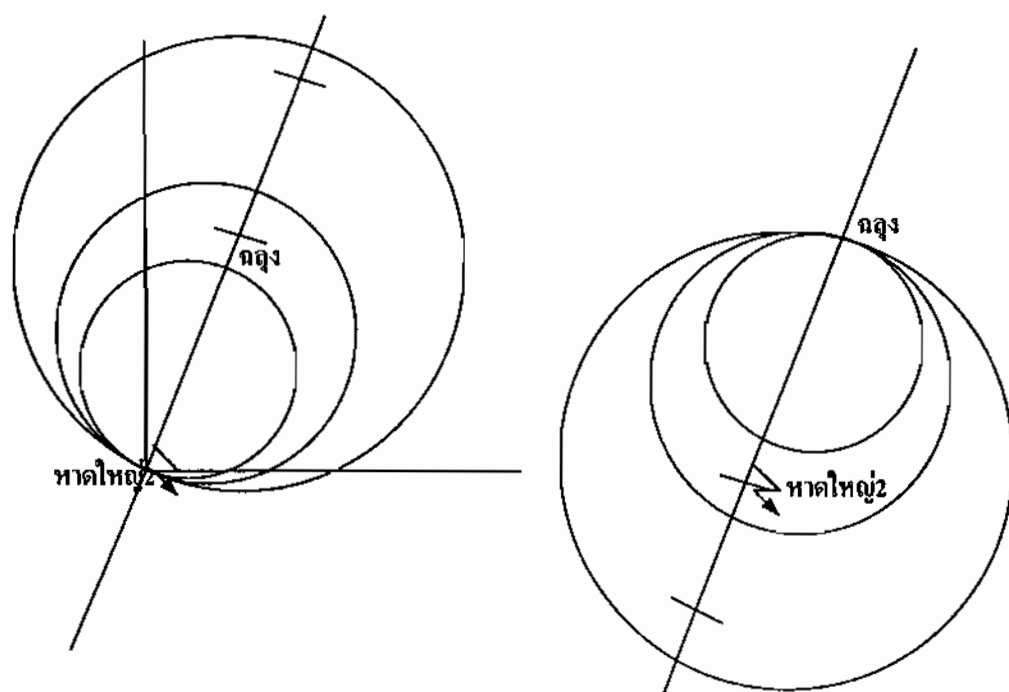
ภาพที่ 5-15 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง และสายส่ง ช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3



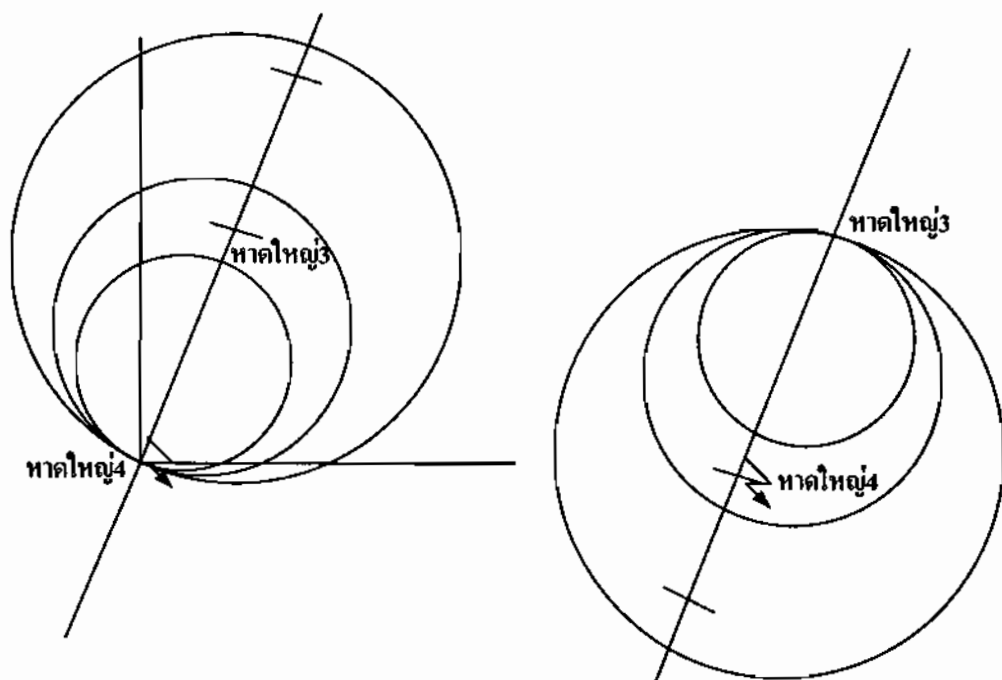
ภาพที่ 5-16 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง กรณีที่ 1



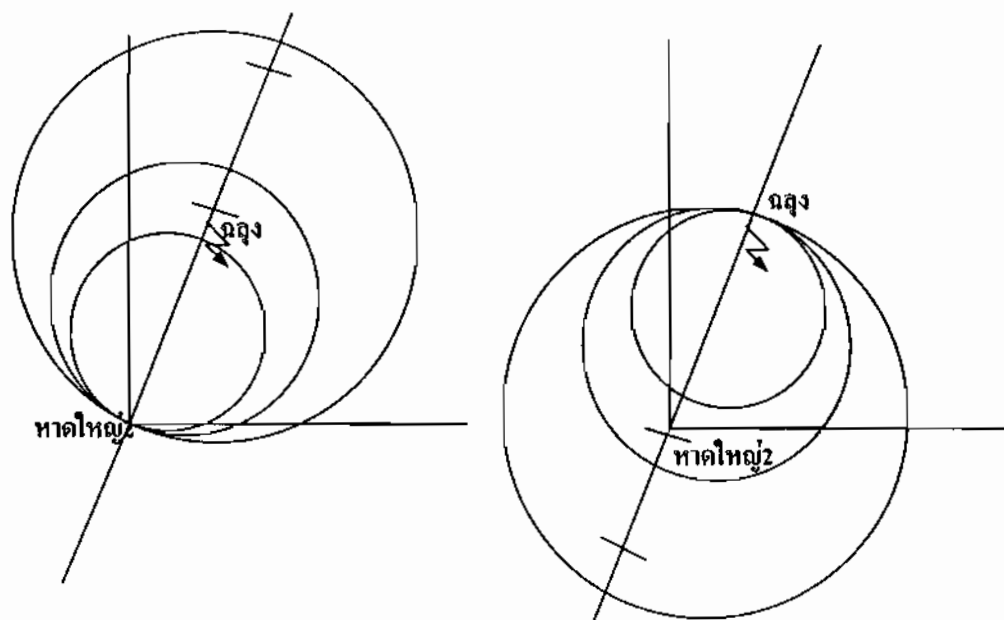
ภาพที่ 5-17 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 3 – สถานีหาคใหญ่ 4 ในกรณีที่ 1



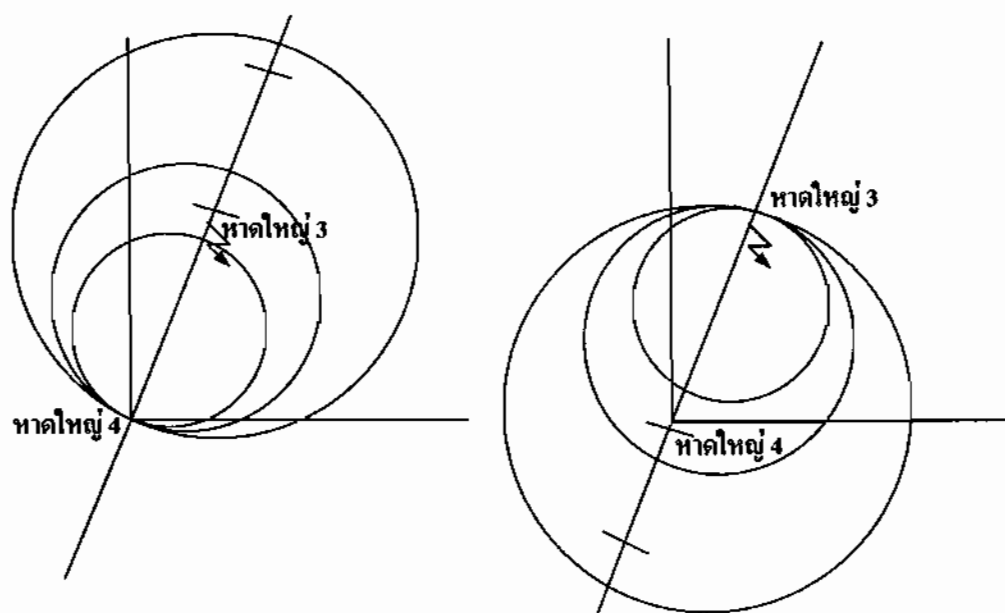
ภาพที่ 5-18 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 2 – สถานีหาคใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-19 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-20 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 2 – สถานีฯฉลุง กรณีที่ 3



ภาพที่ 5-21 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 3 – สถานีหาคใหญ่ 4 ในกรณีที่ 3

ตารางที่ 5-9 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีหาคใหญ่ 2 – สถานีฉลุง
และ สถานีหาคใหญ่ 3 – สถานีหาคใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่ง
ทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาคใหญ่ 2 - ฉลุง		หาคใหญ่ 3 – หาคใหญ่ 4	
	หาคใหญ่ 2	ฉลุง	หาคใหญ่ 3	หาคใหญ่ 4
กรณีที่ 1	43	-	41	43
กรณีที่ 2	37	-	-	43
กรณีที่ 3	172	41	47	174

ตารางที่ 5 -10 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
และ สถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสาย
ส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	45	-	-	41
กรณีที่ 2	33	-	-	43
กรณีที่ 3	170	-	-	170

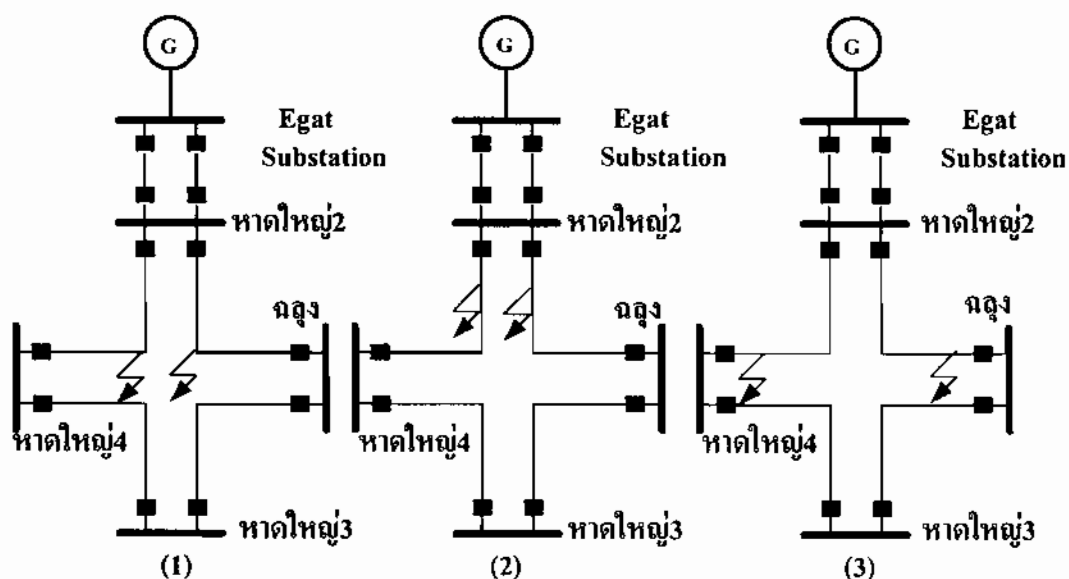
ตารางที่ 5 -11 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
และ สถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสาย
ส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
CB	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	45	-	-	45
กรณีที่ 2	41	-	-	45
กรณีที่ 3	172	-	-	172

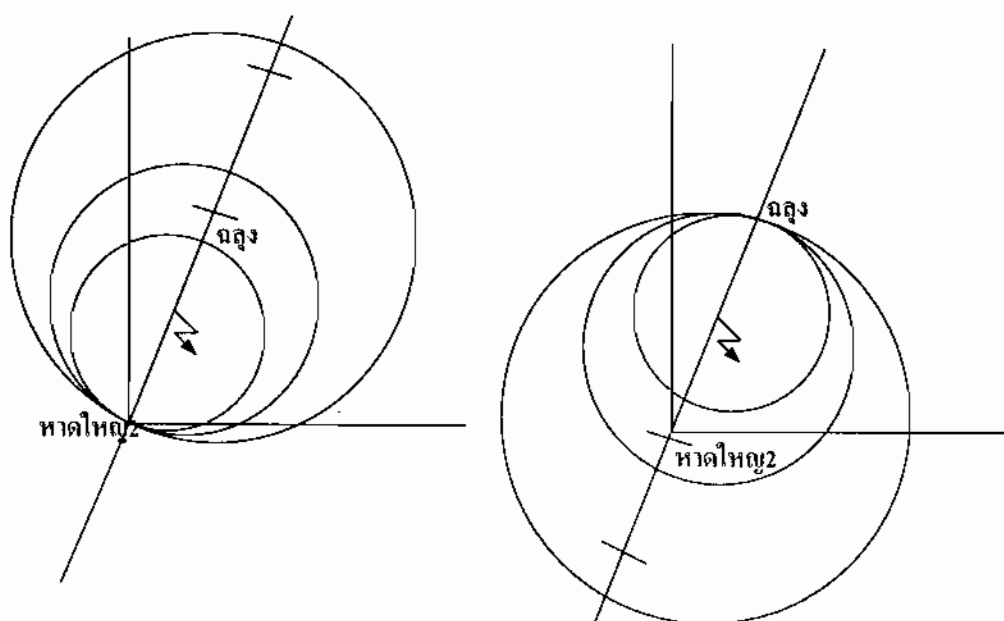
ตารางที่ 5 -12 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
และ สถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ใน กรณีการเกิดฟอลต์ในสาย
ส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
CB	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	37	-	-	41
กรณีที่ 2	33	-	-	41
กรณีที่ 3	170	-	-	172

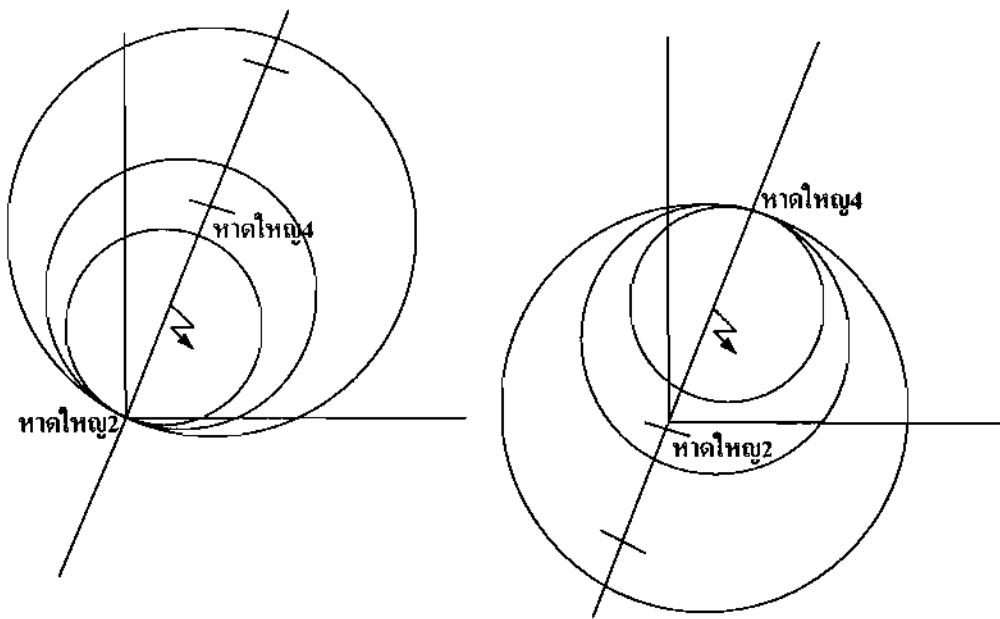
5.3.3 การเกิดฟอลต์พร้อมกัน 2 จุดในสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ จลุง และ สายส่ง ช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 4 – สถานีฯ หาดใหญ่ 2 โดยจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ ในกรณีที่การเกิดฟอลต์ใน ตำแหน่งที่ 1 ขึ้นพร้อมกัน การเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน และการเกิดฟอลต์ใน ตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นพร้อมกัน ของสายส่งทั้ง 2 ช่วง โดยมีผลการทำงานดังต่อไปนี้



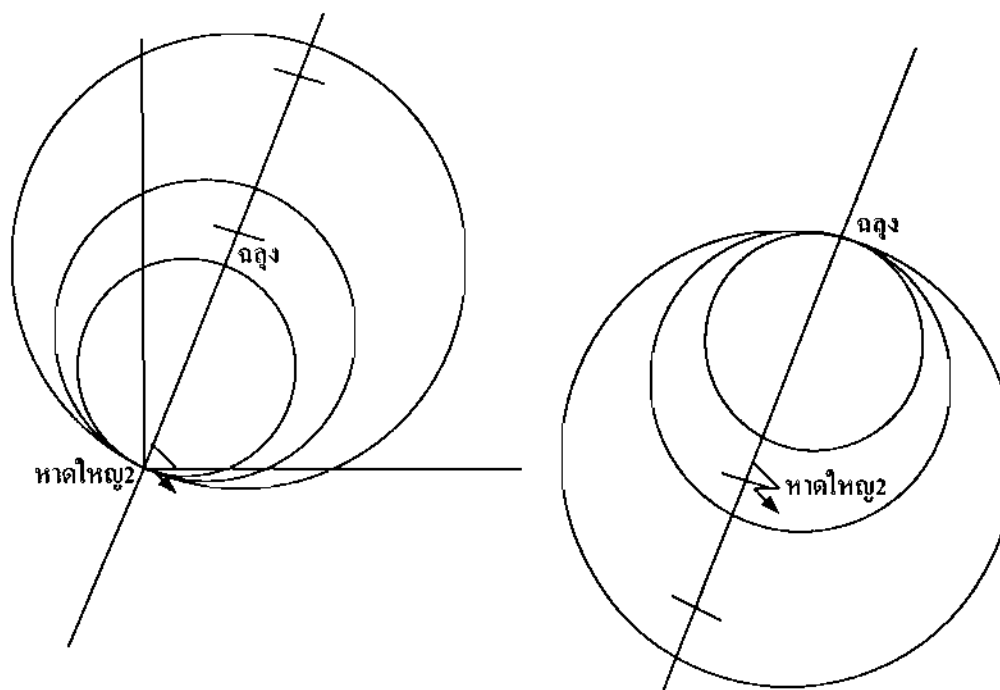
ภาพที่ 5-22 การฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ จลุง และสายส่ง ช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 4 – สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3



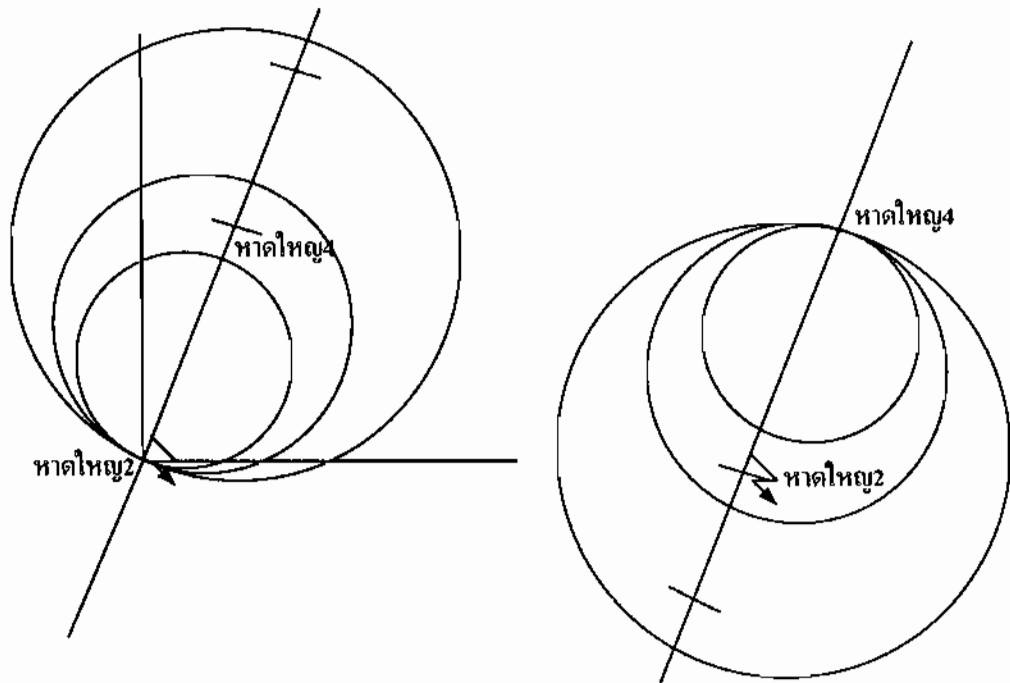
ภาพที่ 5-23 การฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ จลุงในกรณีที่ 1



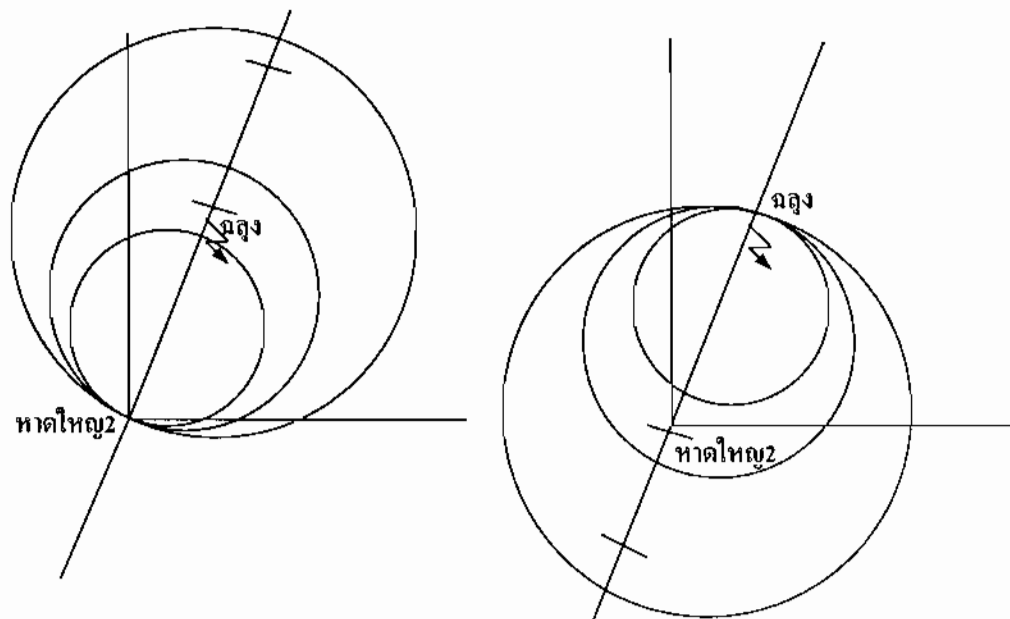
ภาพที่ 5-24 การพล็อตขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหัดใหญ่ 4 – สถานีหัดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1



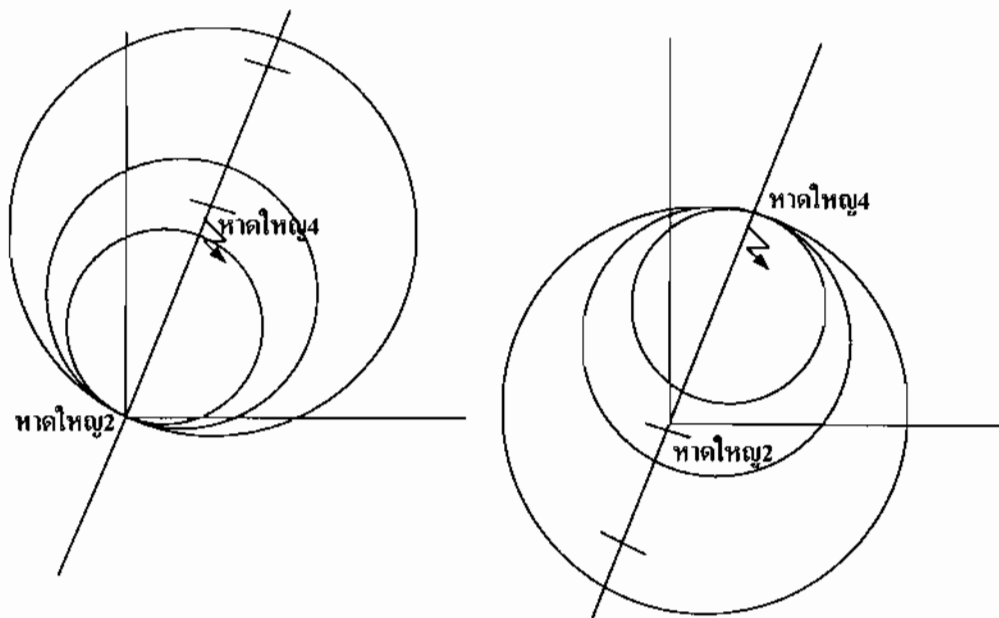
ภาพที่ 5-25 การพล็อตขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหัดใหญ่ 2 – สถานีหัดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-26 การพล็อตขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหัดใหญ่ 4 – สถานีหัดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-27 การพล็อตขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหัดใหญ่ 2 – สถานีฉลุงในกรณีที่ 3



ภาพที่ 5-28 การฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาคใหญ่ 4 – สถานีหาคใหญ่ 2 ในกรณีที่ 3

ตารางที่ 5-13 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีหาคใหญ่ 2 – สถานีฉลุง
และ สถานีหาคใหญ่ 4 – สถานีหาคใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสาย
ส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาคใหญ่ 2 - ฉลุง		หาคใหญ่ 4 – หาคใหญ่ 2	
CB ที่	หาคใหญ่ 2	ฉลุง	หาคใหญ่ 4	หาคใหญ่ 2
กรณีที่ 1	39	43	43	41
กรณีที่ 2	39	-	-	39
กรณีที่ 3	174	47	50	174

ตารางที่ 5-14 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
และสถานีฯ หาดใหญ่ 4 – สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟลัดในสายส่งทั้ง
2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	43	-	-	41
กรณีที่ 2	41	-	-	43
กรณีที่ 3	172	-	-	170

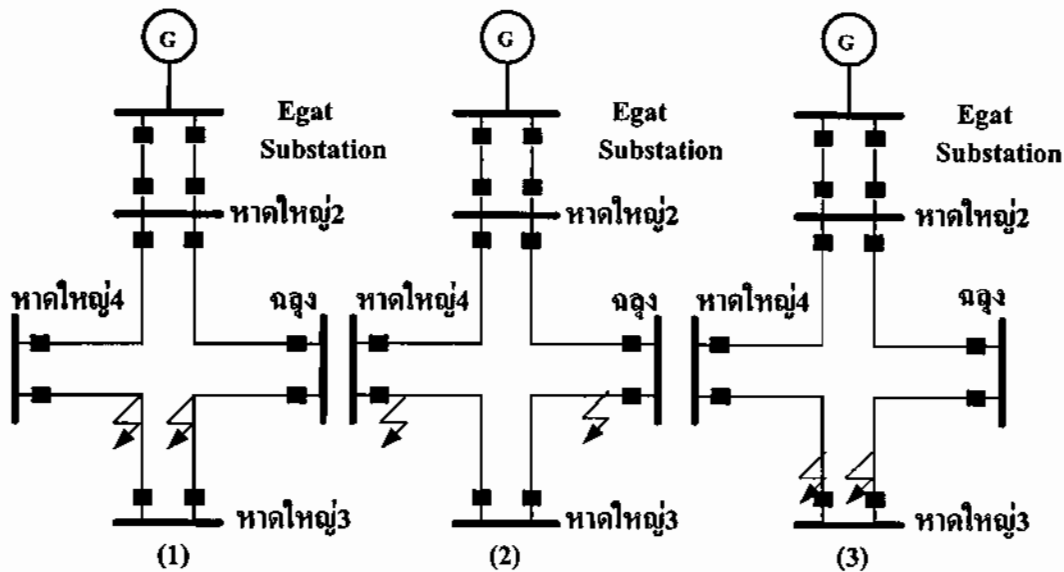
ตารางที่ 5-15 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
และ สถานีฯ หาดใหญ่ 4 – สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟลัดในสาย
ส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	43	-	-	43
กรณีที่ 2	43	-	-	43
กรณีที่ 3	174	184	-	174

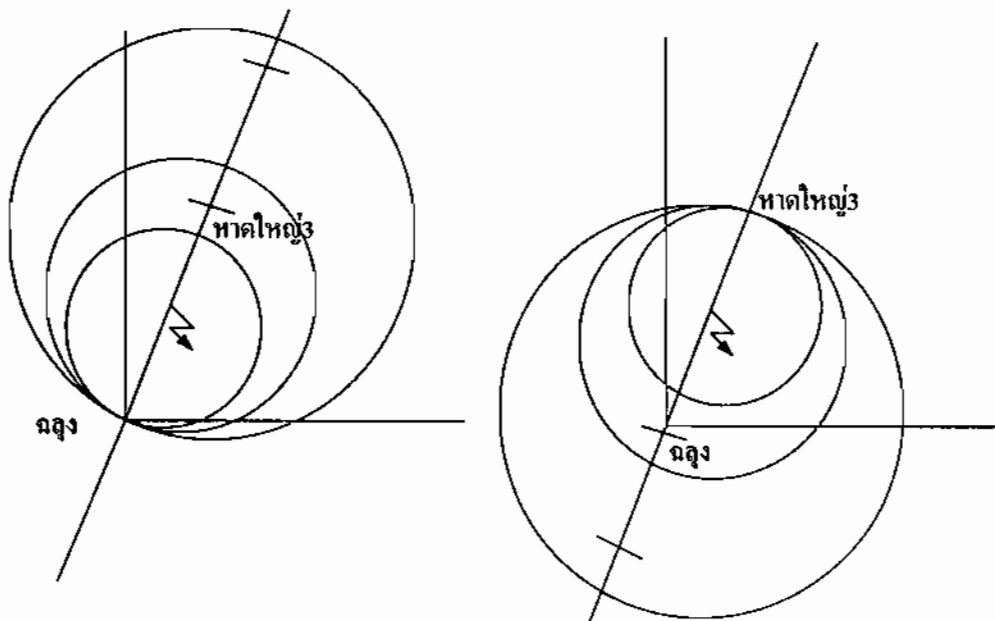
ตารางที่ 5-16 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งสถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
และสถานีฯ หาดใหญ่ 4 – สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟลัดในสาย
ส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	41	-	-	41
กรณีที่ 2	37	-	-	37
กรณีที่ 3	172	-	-	172

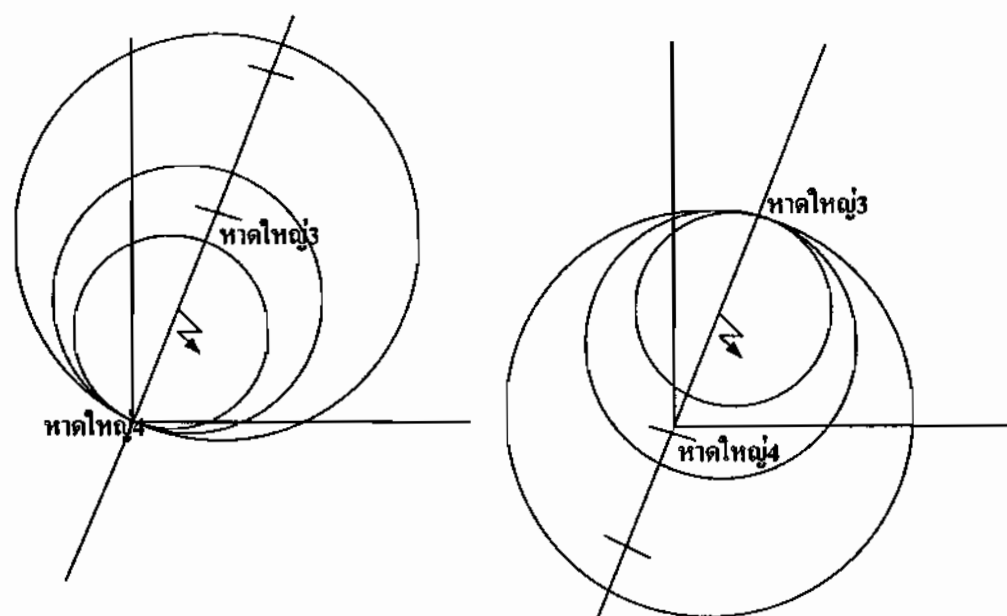
5.3.4 การเกิดฟอลต์พร้อมกัน 2 จุดในสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีหาดใหญ่3 และ สายส่งช่วง สถานีหาดใหญ่ 3 – สถานีหาดใหญ่ 4 โดยจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ ในกรณีที่การเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 ขึ้นพร้อมกัน การเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน และการเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นพร้อมกัน ของสายส่งทั้ง 2 ช่วงโดยมีผลการทำงานดังต่อไปนี้



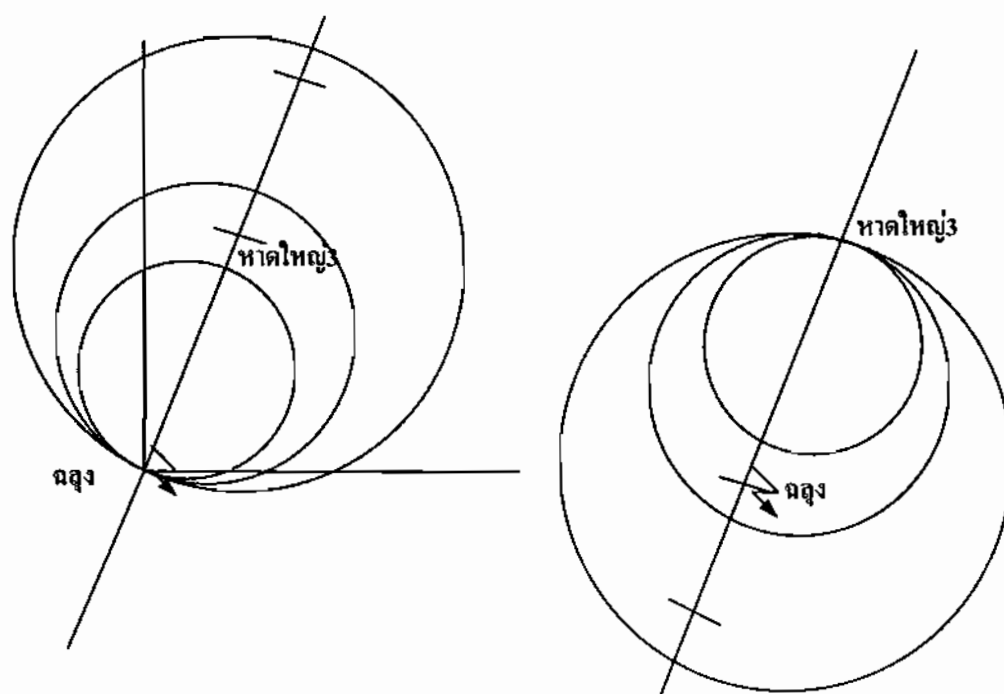
ภาพที่ 5-29 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯฉลุง และสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3



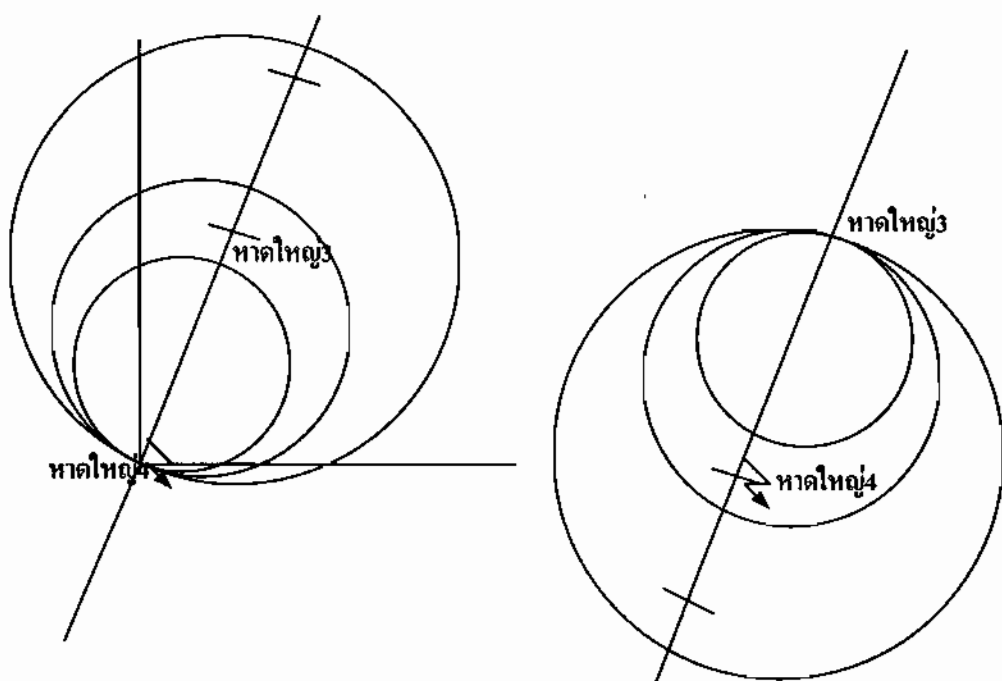
ภาพที่ 5-30 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯฉลุงในกรณีที่ 1



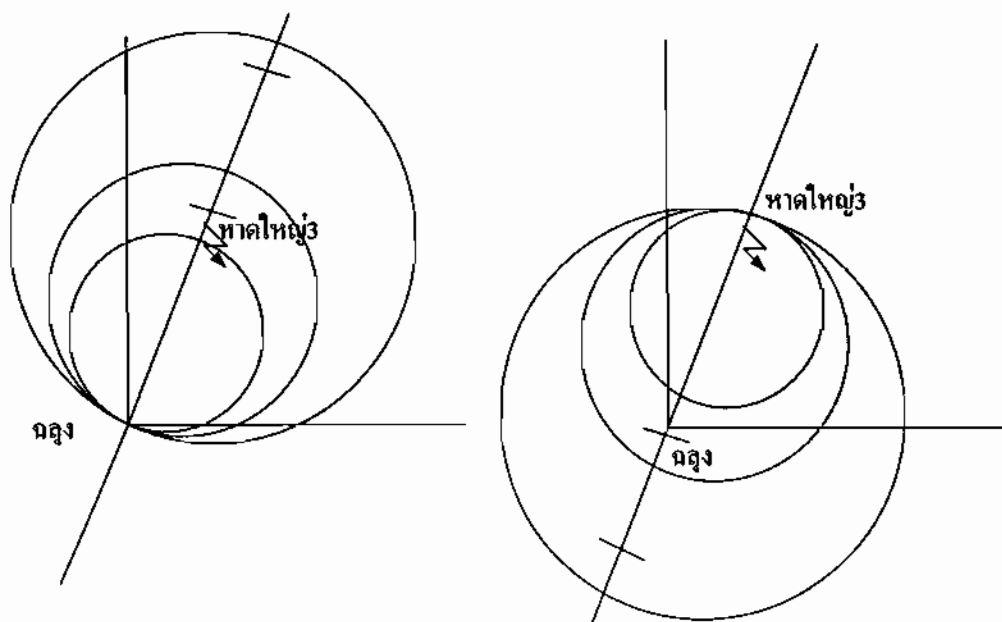
ภาพที่ 5-31 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 3 - สถานีหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 1



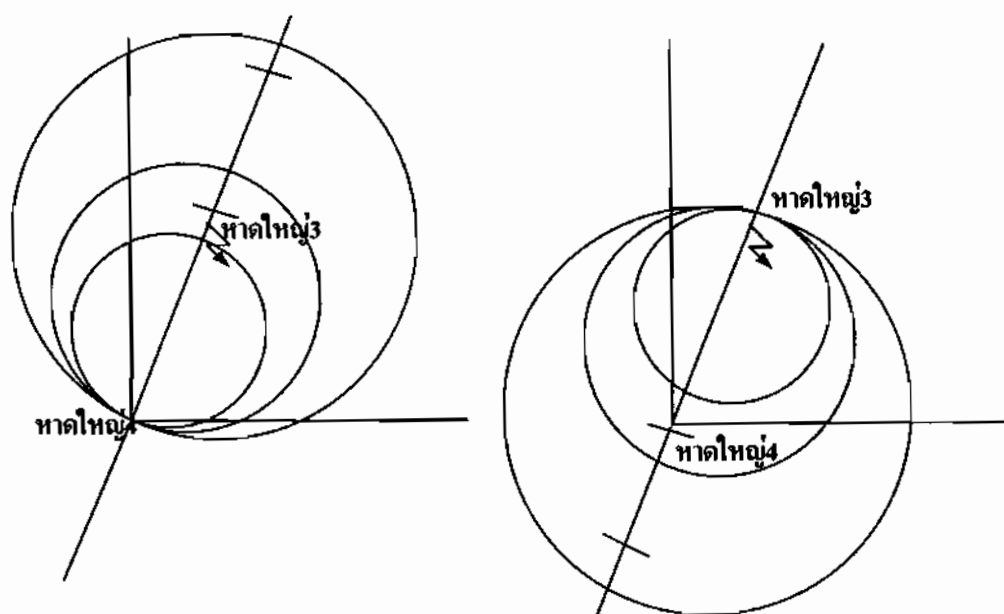
ภาพที่ 5-32 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 3 - สถานีฉลุงในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-33 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 3 – สถานีหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-34 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 3 – สถานีฉลุงในกรณีที่ 3



ภาพที่ 5-35 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 3

ตารางที่ 5-17 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯ ฉลุง – สถานีฯ หาดใหญ่ 3 และสถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	43	-	95	43
กรณีที่ 2	43	-	95	43
กรณีที่ 3	174	43	-	174

ตารางที่ 5-18 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 และสถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	43	-	95	43
กรณีที่ 2	43	-	95	43
กรณีที่ 3	174	43	-	174

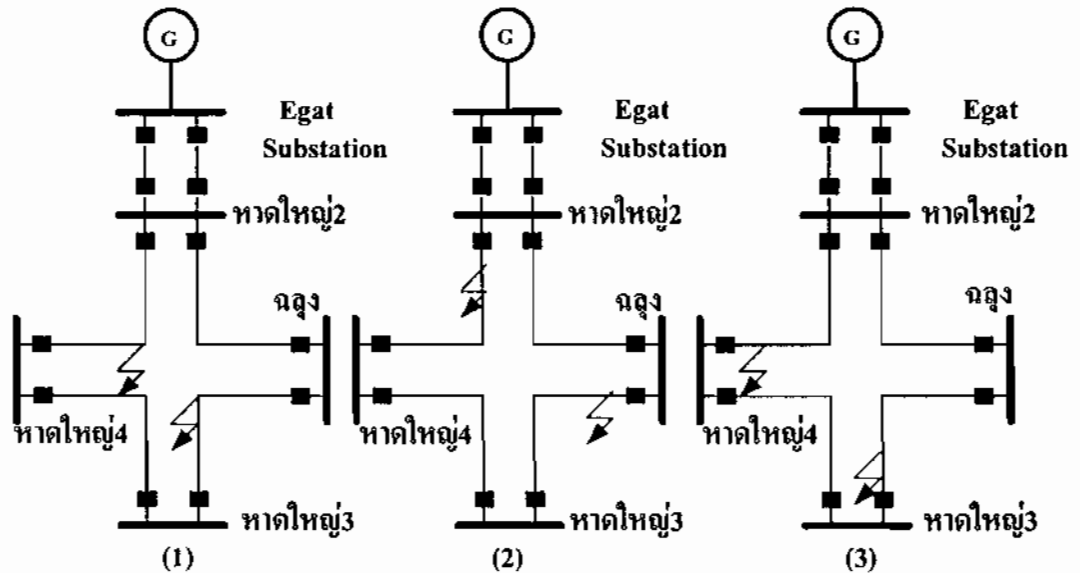
ตารางที่ 5-19 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 และ สถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	47	101	99	49
กรณีที่ 2	45	-	99	51
กรณีที่ 3	178	55	178	-

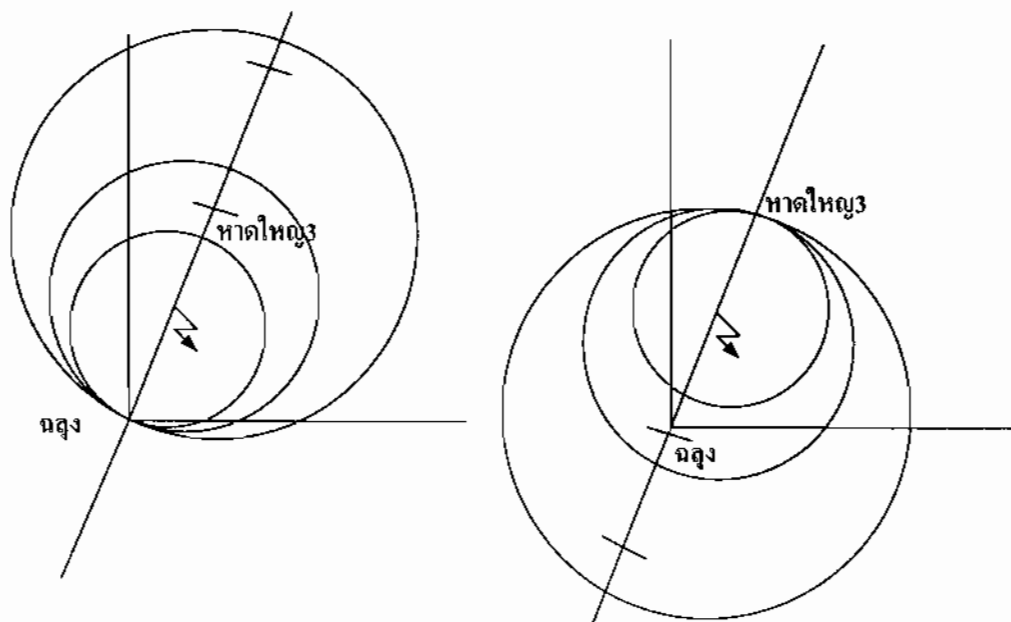
ตารางที่ 5-20 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่ 3 และสถานีฯหาดใหญ่ 3 – สถานีฯหาดใหญ่ 4 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4
กรณีที่ 1	39	-	-	37
กรณีที่ 2	37	-	-	37
กรณีที่ 3	172	80	-	170

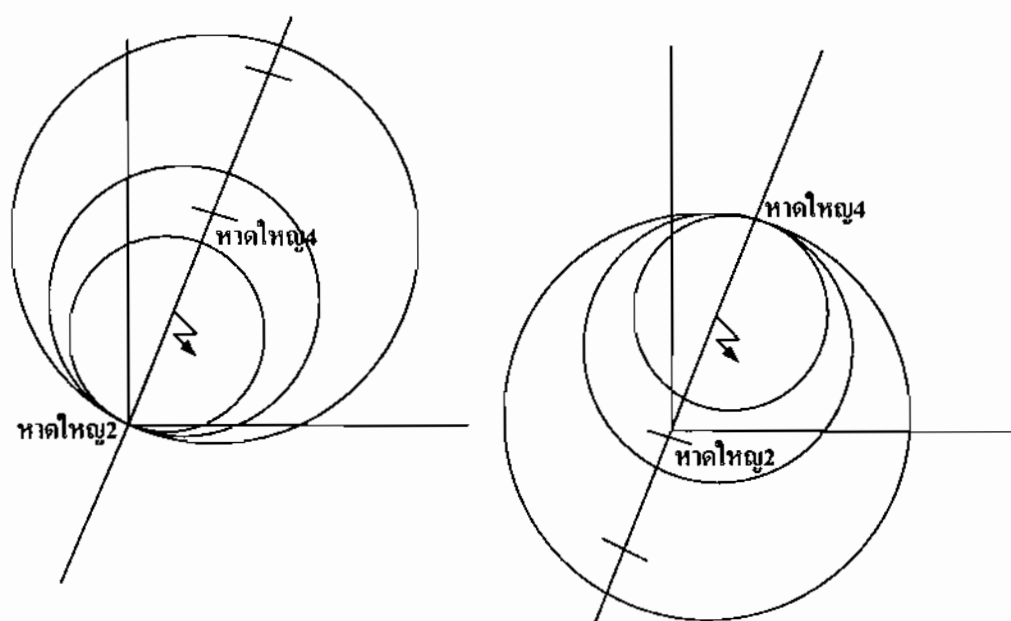
5.3.5 การเกิดฟอลต์พร้อมกัน 2 จุดในสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 และ สายส่งช่วง สถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 โดยจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 ขึ้นพร้อมกัน การเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน และการเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นพร้อมกัน ของสายส่งทั้ง 2 ช่วง โดยมีผลการทำงานดังต่อไปนี้



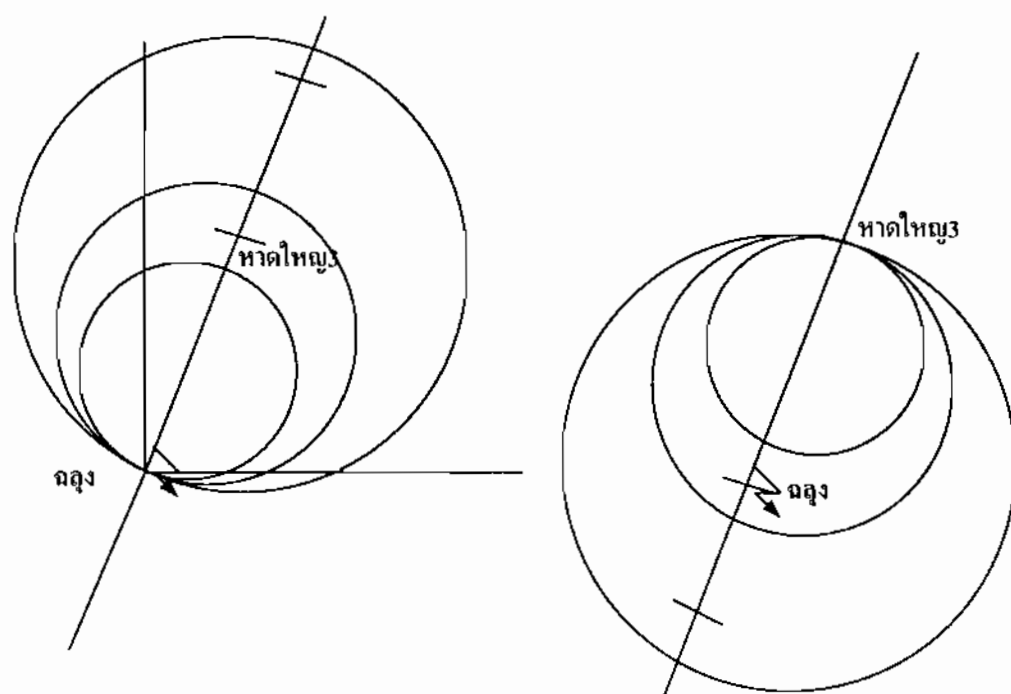
ภาพที่ 5-36 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วงสถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่3 และสายส่งช่วง สถานีฯหาดใหญ่ 4 – สถานีฯหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3



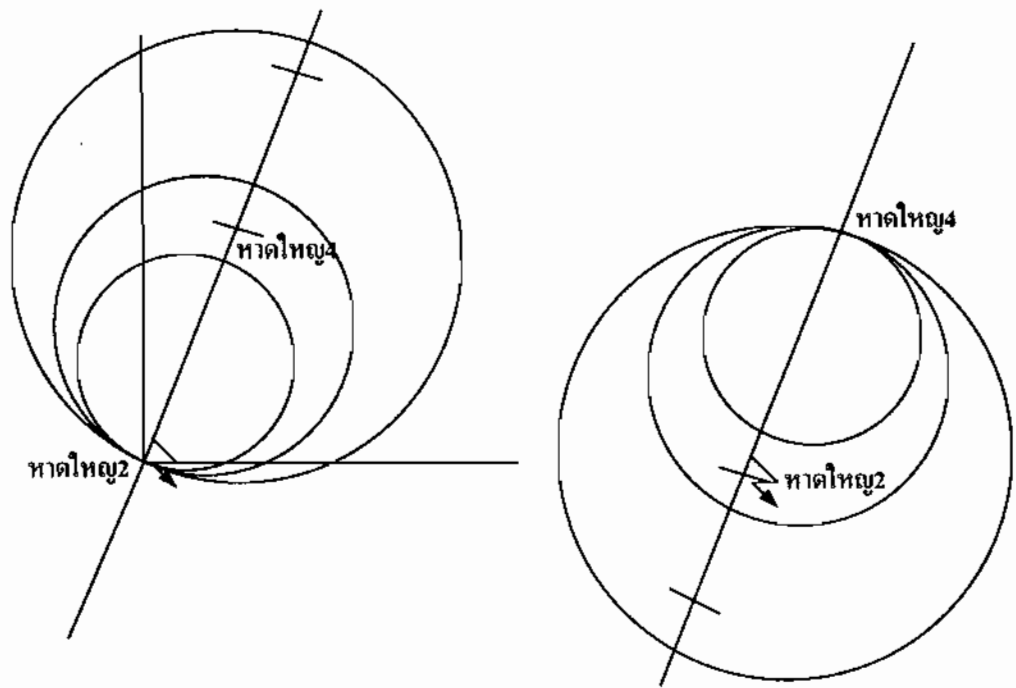
ภาพที่ 5-37 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีฯฉลุง – สถานีฯหาดใหญ่3 ในกรณีที่ 1



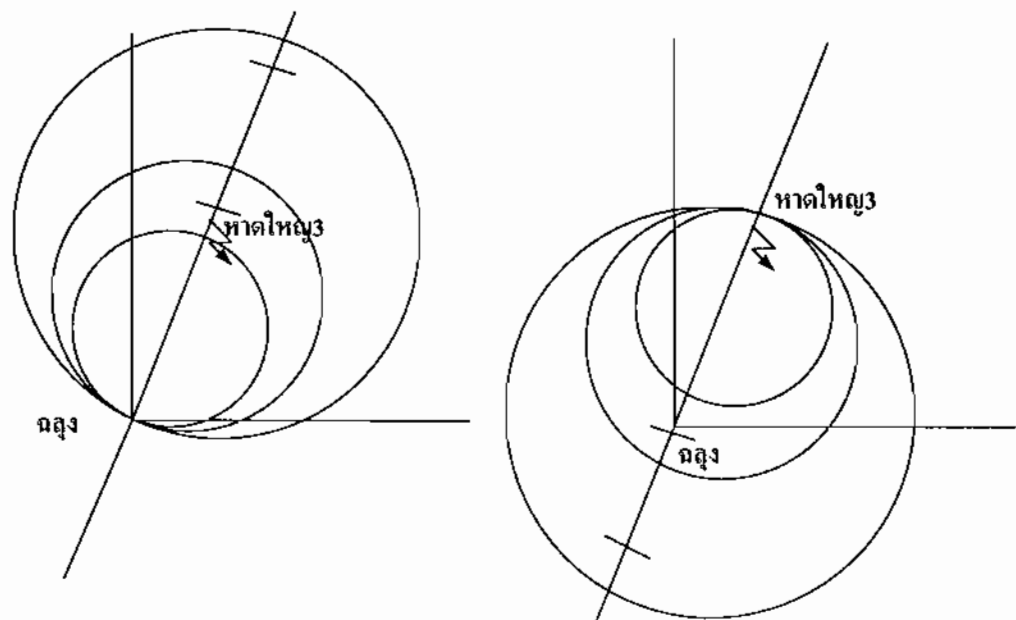
ภาพที่ 5-38 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1



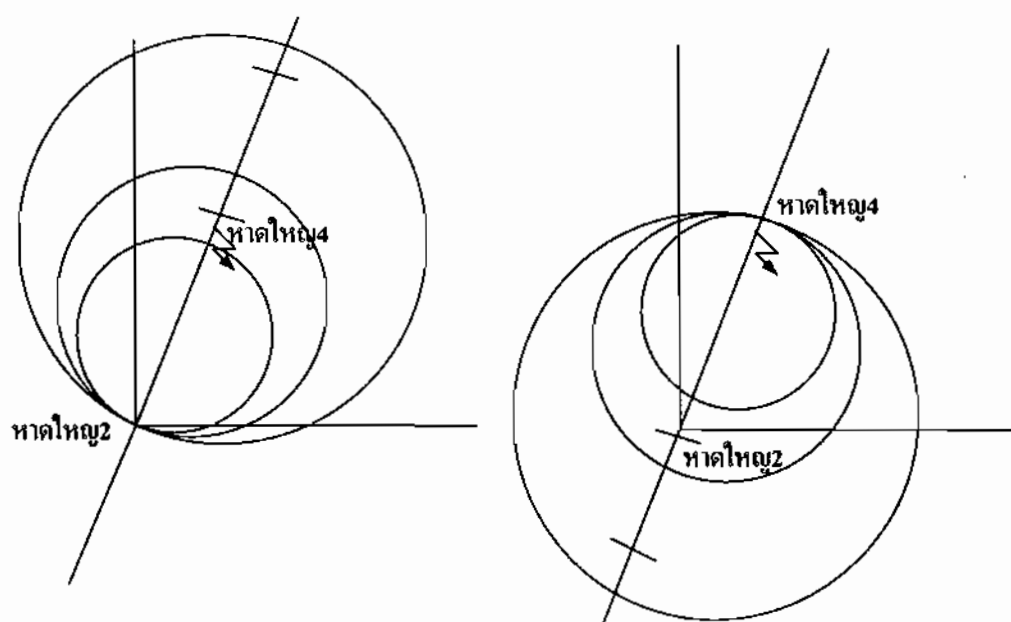
ภาพที่ 5-39 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีถลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-40 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาคใหญ่ 4 - สถานีหาคใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-41 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีคสูง - สถานีหาคใหญ่3 ในกรณีที่ 3



ภาพที่ 5-42 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วง สถานีหัดใหญ่ 4 – สถานีหัดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 3

ตารางที่ 5-21 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฉลุง – สถานีหัดใหญ่ 3 และสถานีหัดใหญ่ 4 สถานีหัดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่ง ทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	ฉลุง – หัดใหญ่ 3		หัดใหญ่ 4 – หัดใหญ่ 2	
	ฉลุง	หัดใหญ่ 3	หัดใหญ่ 4	หัดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	41	47	95	41
กรณีที่ 2	43	-	-	37
กรณีที่ 3	174	47	47	174

ตารางที่ 5-22 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฉลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 และสถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่ง ทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	41	-	-	41
กรณีที่ 2	41	-	-	43
กรณีที่ 3	170	50	-	170

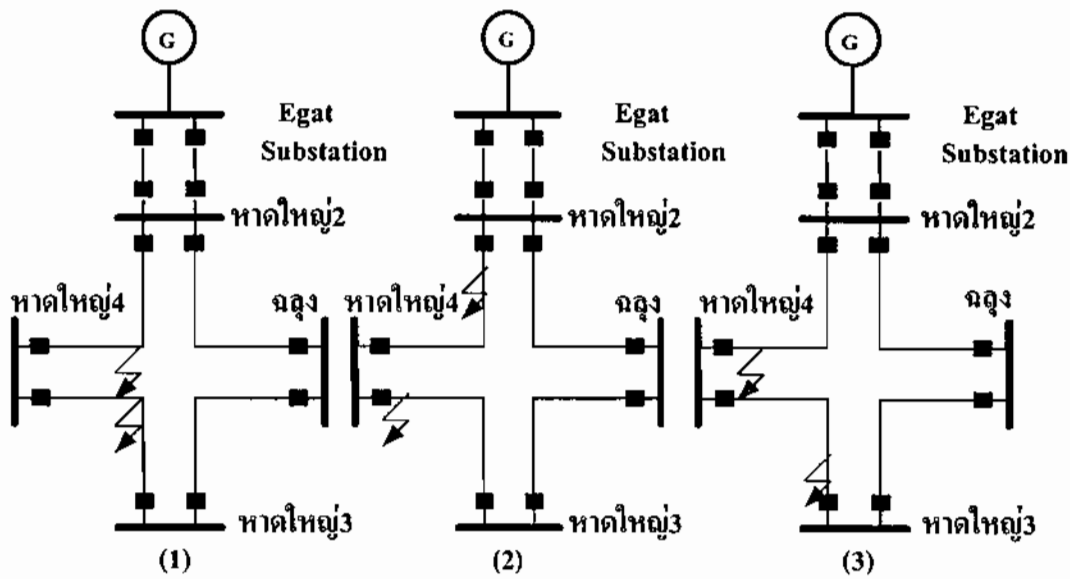
ตารางที่ 5-23 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฉลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 และสถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่ง ทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	45	60	99	43
กรณีที่ 2	45	101	101	45
กรณีที่ 3	176	54	-	174

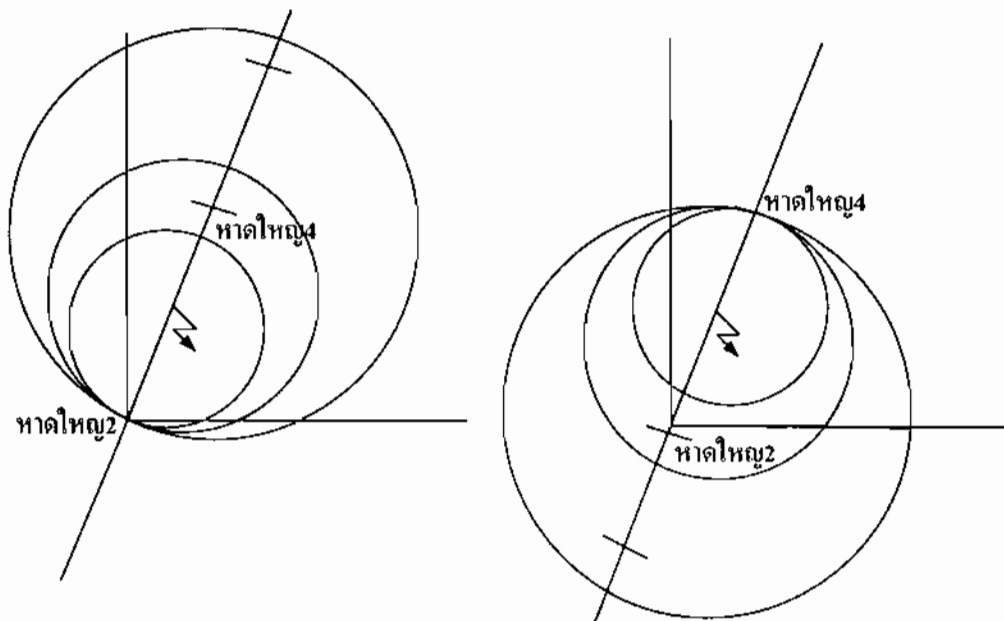
ตารางที่ 5-24 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่ง สถานีฉลุง – สถานีหาดใหญ่ 3 และสถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่ง ทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	41	-	-	41
กรณีที่ 2	37	-	-	43
กรณีที่ 3	168	-	-	170

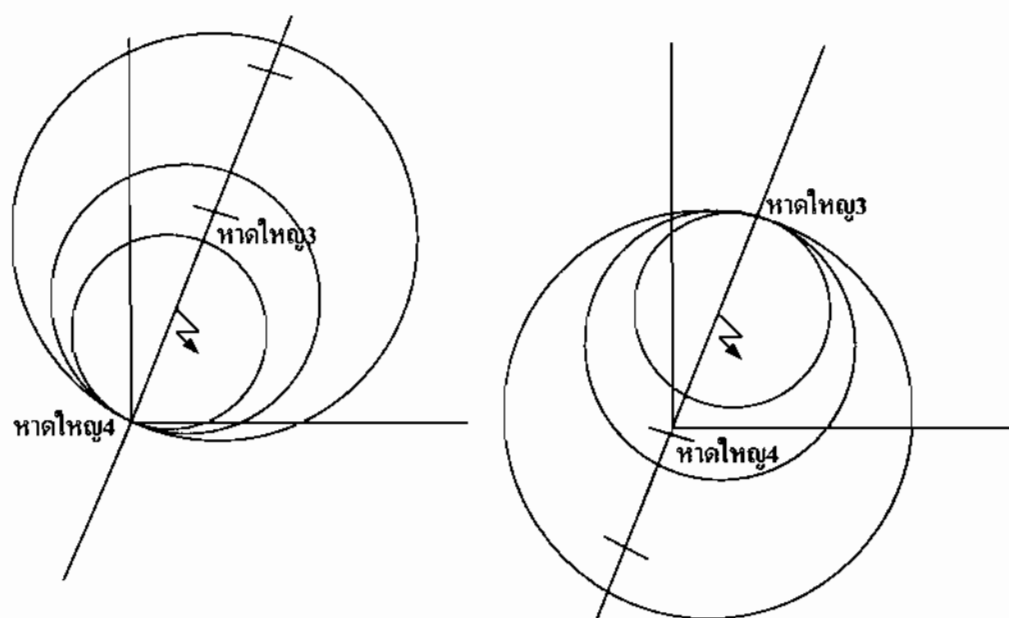
5.3.6 การเกิดฟอลต์พร้อมกัน 2 จุดในสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 3 – สถานีหาคใหญ่ 4 และสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 4 – สถานีหาคใหญ่ 2 โดยจะกำหนดให้เกิดฟอลต์ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 1 ขึ้นพร้อมกัน การเกิดฟอลต์ในตำแหน่งที่ 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน และฟอลต์ในตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นพร้อมกัน ของสายส่งทั้ง 2 ช่วง โดยมีผลการทำงานดังต่อไปนี้



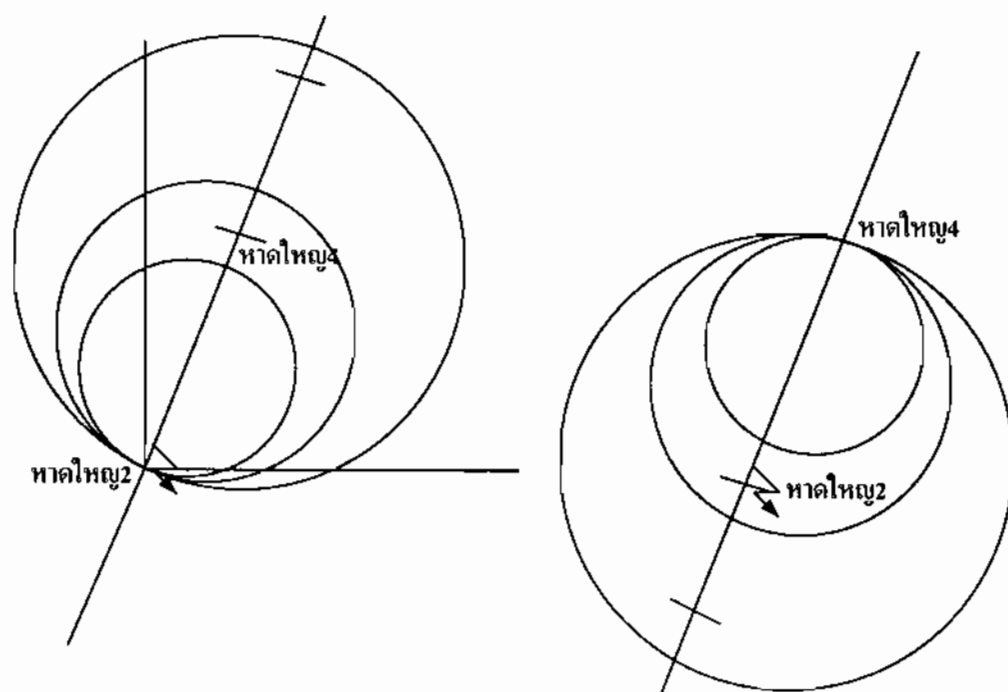
ภาพที่ 5-43 การเกิดฟอลต์ขึ้นพร้อมกันในสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 3 – สถานีหาคใหญ่ 4 และสายส่งช่วง สถานีหาคใหญ่ 4 – สถานีหาคใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3



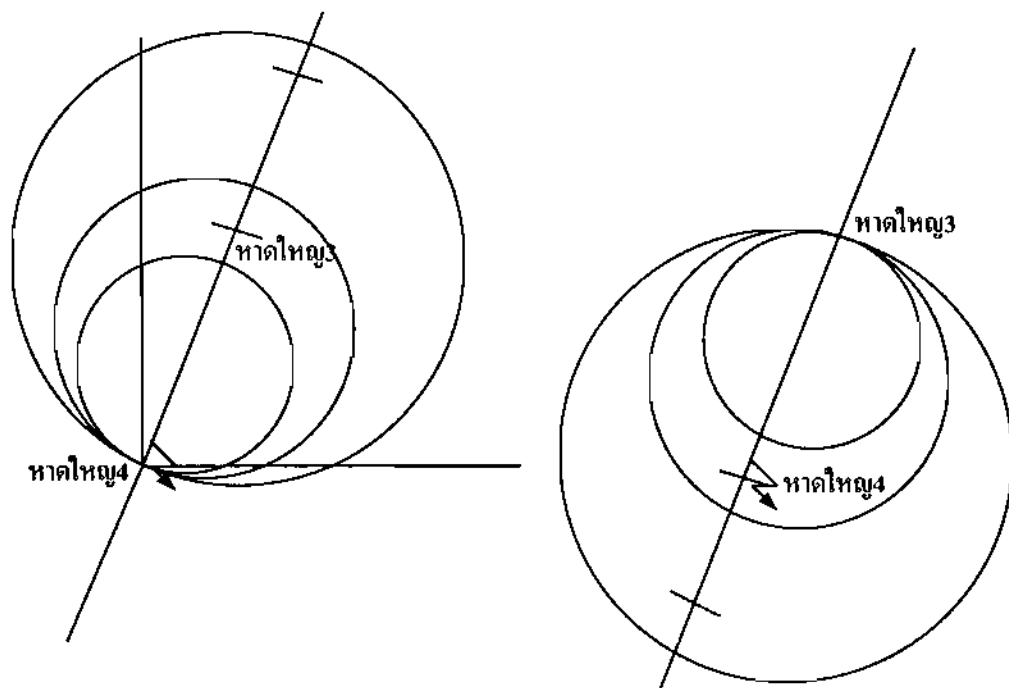
ภาพที่ 5-44 การเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาคใหญ่ 4 – สถานีหาคใหญ่ 2 ในกรณีที่ 1



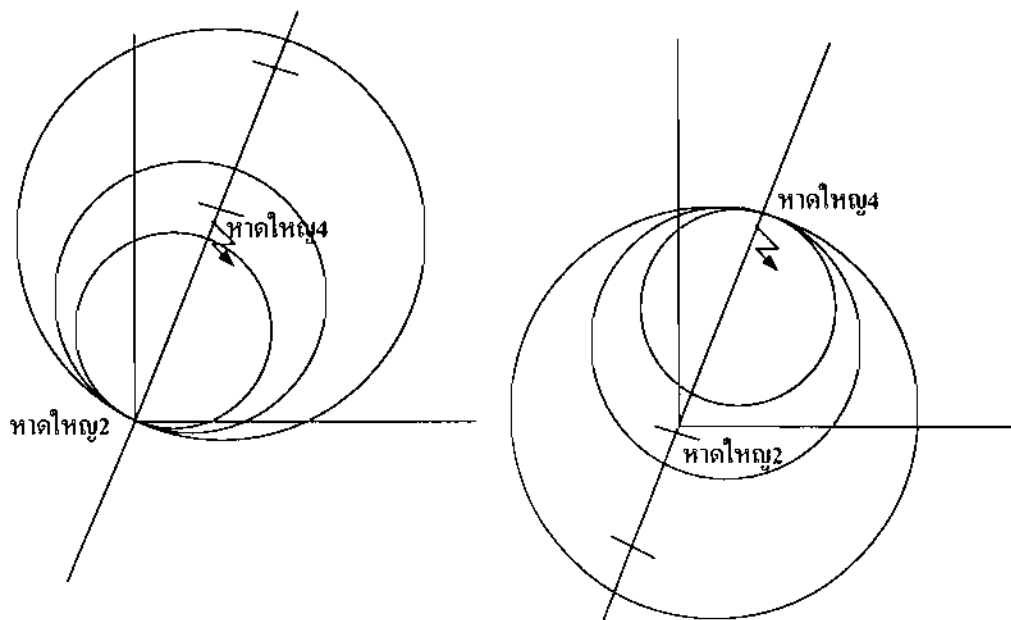
ภาพที่ 5-45 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 3 – สถานีหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 1



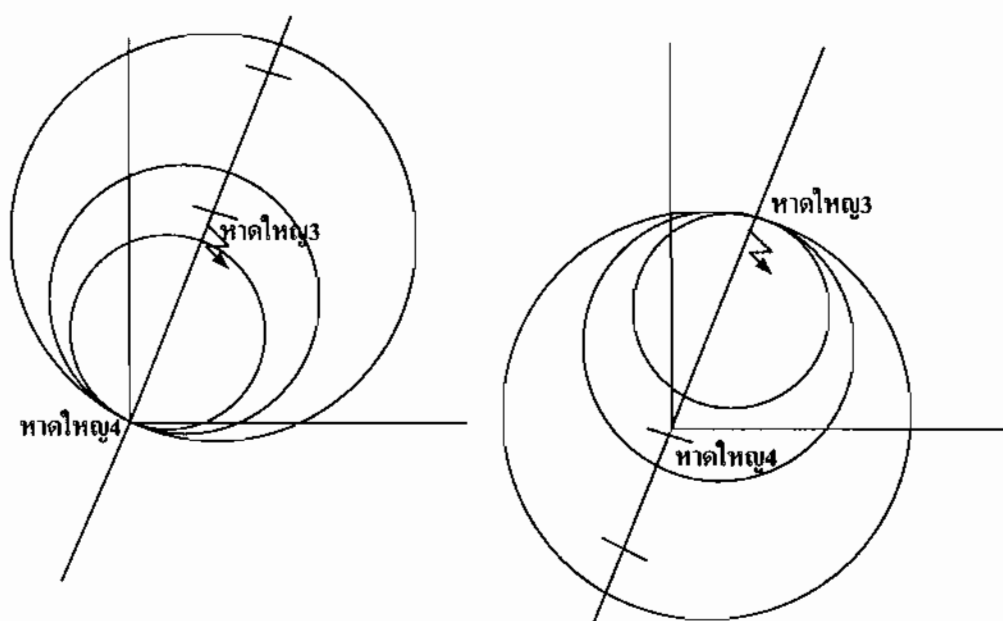
ภาพที่ 5-46 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-47 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 3 – สถานีหาดใหญ่ 4 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 5-48 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีหาดใหญ่ 4 – สถานีหาดใหญ่ 2 ในกรณีที่ 3



ภาพที่ 5-49 การเกิดฟอลด์ขึ้นในสายส่งช่วงสถานีฯ หาคใหญ่ 3 – สถานีฯ หาคใหญ่ 4 ในกรณีที่ 3

ตารางที่ 5-25 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯ หาคใหญ่ 3 – สถานีฯ หาคใหญ่ 4 และ หาคใหญ่ 4 – หาคใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 1 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาคใหญ่ 3 – หาคใหญ่ 4		หาคใหญ่ 4 – หาคใหญ่ 2	
	หาคใหญ่ 3	หาคใหญ่ 4	หาคใหญ่ 4	หาคใหญ่ 2
กรณีที่ 1	43	43	43	43
กรณีที่ 2	174	49	-	37
กรณีที่ 3	39	222	41	174

ตารางที่ 5-26 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 และ หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟสลงดิน

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CB ที่	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	49	49	-	41
กรณีที่ 2	178	-	-	43
กรณีที่ 3	170	-	-	45

ตารางที่ 5-27 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 และ หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 2 เฟส

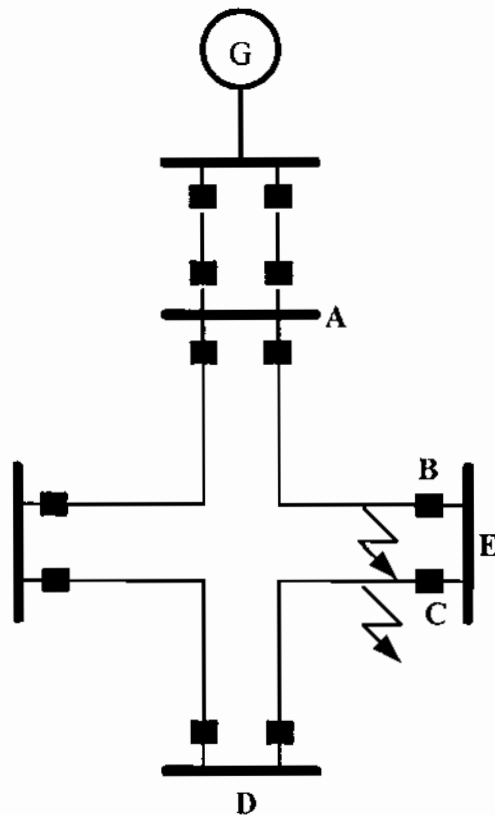
สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CBที่	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	45	111	49	45
กรณีที่ 2	219	55	-	45
กรณีที่ 3	45	219	-	176

ตารางที่ 5-28 เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของสายส่งช่วงสถานีฯ หาดใหญ่ 3 – สถานีฯ หาดใหญ่ 4 และ หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2 ในกรณีการเกิดฟอลต์ในสายส่งทั้ง 2 พร้อมกันแบบ 3 เฟส

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 3 – หาดใหญ่ 4		หาดใหญ่ 4 – หาดใหญ่ 2	
CBที่	หาดใหญ่ 3	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 4	หาดใหญ่ 2
กรณีที่ 1	41	49	-	37
กรณีที่ 2	199	-	-	39
กรณีที่ 3	41	-	-	170

การทดสอบการเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุดในสายส่งที่แตกต่างกันนั้น การทำงานของรีเลย์ระยะทางยังสามารถตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ ออกจากระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง โดยรีเลย์ที่อยู่ด้านสถานีไฟฟ้าต้นทาง ยังสามารถทำงานตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ ออกจากระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และเกิดไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

ส่วนรีเลย์ระยะทางที่อยู่ในตำแหน่ง ตรงกลางระหว่างการเกิดฟอลต์ทั้ง 2 จุด รีเลย์ระยะทางบางครั้งอาจจะไม่ทำงาน หรืออาจจะทำงานผิดพลาด และเวลาในการทำงานคลาดเคลื่อนจากเวลาที่ใช้ในการทำงานเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบเพียงจุดเดียว ยกตัวอย่างเช่น เมื่อในระบบไฟฟ้าพร้อมกัน 2 จุด ดังภาพที่ 5-11 รีเลย์ระยะทางที่ตำแหน่ง B และ ตำแหน่ง C จะมีเวลาในการทำงานที่คลาดเคลื่อน หรือไม่มีการทำงาน แต่การเกิดฟอลต์นี้ รีเลย์ใน 2 ตำแหน่งนี้จะทำงานหรือไม่นั้นก็ จะไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาในการทำงานของรีเลย์ระยะทางที่ A และ D เนื่องจากรีเลย์ A และ D สามารถตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบได้อย่างถูกต้อง

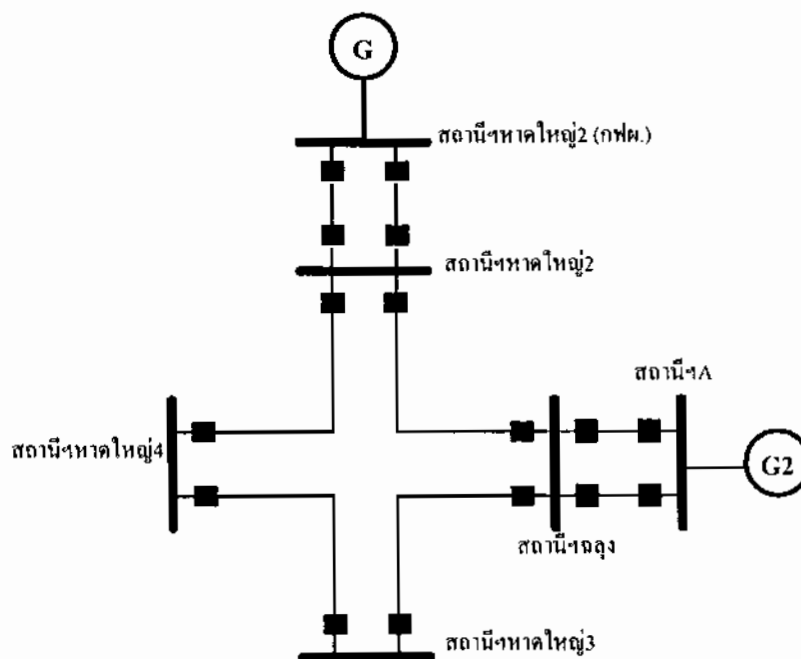


ภาพที่ 5 -50 การเกิดความผิดปกติ 2 จุดขึ้นในระบบไฟฟ้า

5.4 การทดสอบผลของไฟที่ป้อนเข้ามาที่มีต่อการทำงานของรีเลย์ระยะทาง

การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางเมื่อมีแหล่งจ่ายจากสถานีไฟฟ้าอื่นเพิ่มเข้ามาในระบบโคสตูป โดยจะสมมติให้มีสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. เพิ่มเข้ามาในระบบอีก 1 สถานี โดยจะให้สถานีไฟฟ้า(สถานี A) ที่เพิ่มเข้ามาจ่ายโหลดให้กับสถานีฯ จุล ซึ่งสภาพการจ่ายไฟของระบบโคสตูปที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ในภาพที่ 5-3 จะเปลี่ยนไปเป็นภาพที่ 5-12

ส่วนการทดสอบการทำงานของรีเลย์นั้นจะทดสอบการทำงานของรีเลย์เหมือนกับกรณีที่เกิดฟลัดขึ้นในระบบ 1 จุด โดยจะทดสอบการเกิดฟลัดขึ้นในช่วงสายส่งระหว่างสถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ จุล และสายส่งช่วงสถานีฯ จุล – สถานีฯ หาดใหญ่ 3 เพียงสองช่วงเท่านั้น



ภาพที่ 5-51 สภาพการจ่ายไฟแบบโคสตูปที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 กรณีที่มี สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายโหลดที่สถานีฯ จุล อีกแห่งหนึ่ง

ตารางที่ 5-29 ผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์ของสายส่งช่วง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 – สถานีฯ ฉลุง
ในกรณีที่มีแหล่งจ่ายเพิ่มเข้ามาอีก 1 แห่ง

สายส่งช่วง	หาดใหญ่ 2 - ฉลุง							
	Single Line to Ground		Line to Line to Ground		Line to Line		Three Phase Fault	
CB ที่	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 2	ฉลุง	หาดใหญ่ 2	ฉลุง
กรณีที่ 1	39	43	35	37	45	50	39	39
กรณีที่ 2	35	172	31	170	37	172	35	170
กรณีที่ 3	172	37	168	31	170	37	170	35

ตารางที่ 5-30 ผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์ของสายส่งช่วง สถานีฯ ฉลุง – สถานีฯ หาดใหญ่ 3
ในกรณีที่มีแหล่งจ่ายเพิ่มเข้ามาอีก 1 แห่ง

สายส่งช่วง	ฉลุง – หาดใหญ่ 3							
	Single Line to Ground		Line to Line to Ground		Line to Line		Three Phase Fault	
CB ที่	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	ฉลุง	หาดใหญ่ 3	ฉลุง	หาดใหญ่ 3
กรณีที่ 1	39	43	39	47	43	50	37	39
กรณีที่ 2	33	172	31	172	39	178	35	170
กรณีที่ 3	172	41	170	39	168	41	168	37

ในกรณีที่มิสสถานี่ไฟฟ้าของ กฟผ. จ่ายโหลดผ่านสถานีฯ ฉลุง เพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งสถานี
ปรากฏว่ารีเลย์ที่สถานีไฟฟ้าต่างๆก็ยังสามารถที่จะทำงานได้ตามปกติ เหมือนกับในกรณีที่ไม่มี
สถานีไฟฟ้าเพิ่มเข้ามา

บทที่ 6

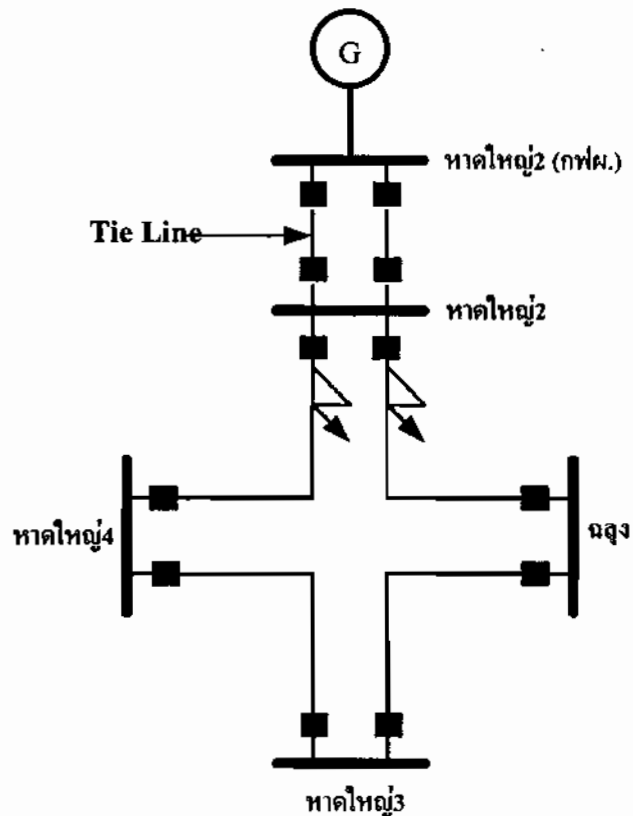
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง โดยใช้ค่าการทำงานที่กำหนดขึ้นมาในบทที่ 4 และใช้โมเดลรีเลย์ระยะทางของโปรแกรม PSCAD/EMTDC ทำการทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทางทุกตัวที่ใช้ในการป้องกันสายส่งช่วงต่างๆ ที่มีการจ่ายไฟแบบ โคลสูลูปแล้วมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

6.1.1 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งช่วงต่างๆ เพียงตำแหน่งเดียว จะแบ่งการทดสอบเป็น 3 กรณี คือ กรณีแรก การเกิดฟอลต์ขึ้นในตำแหน่ง 50 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง หรือฟอลต์ที่เกิดขึ้นอยู่ภายในโซน 1 ของรีเลย์ป้องกันสายส่งทั้ง 2 ด้าน เพราะฉะนั้นการเกิดฟอลต์ในกรณีนี้ รีเลย์ระยะทางจะทำงานด้วยโซน 1 ทั้งสองด้านของสายส่ง กรณีที่สองการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 10 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง กรณีนี้ฟอลต์จะเกิดขึ้นในสายส่งอยู่ในการป้องกันโซน 1 ของรีเลย์ด้านหนึ่ง และอยู่ในการป้องกันโซน 2 ของรีเลย์อีกด้านหนึ่ง และกรณีที่สามการเกิดฟอลต์ที่ความยาว 90 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง การเกิดฟอลต์ในกรณีที่ 3 นี้ การทำงานของรีเลย์จะทำงานตรงกันข้ามกับในกรณีที่ 2 และจากการทดสอบปรากฏว่า รีเลย์ทุกตัวสามารถที่จะทำงานสัมพันธ์กันตามลำดับการทำงานที่ได้จัดการทำงานเอาไว้ในบทที่ 3 แต่เวลาการทำงานของรีเลย์อาจจะมีผลกระทบบ้างประมาณ 5-10 มิลลิวินาที ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ตามสมมติฐาน แต่เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียง เช่น สายส่งเชื่อมโยงระหว่าง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. และ สถานีฯ หาดใหญ่ 2 แสดงในภาพที่ 5-1 แล้วจะพบว่าระบบการป้องกันหลัก (Primary Protection) ของสายส่งเชื่อมโยง นั้นเป็น รีเลย์ผลต่างของกระแส (87L) ซึ่งจะทำให้การป้องกันซึ่งภายใน โซนการป้องกันของตัวเองคือ ภายในสายส่งเชื่อมโยง เท่านั้น แต่ระบบการป้องกันสำรองของสายส่งเชื่อมโยง จะใช้ รีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง (67/67N) มีการทำงานแบบหน่วงเวลา โดยมีการหน่วงเวลาไว้เท่ากับ 300 มิลลิวินาที

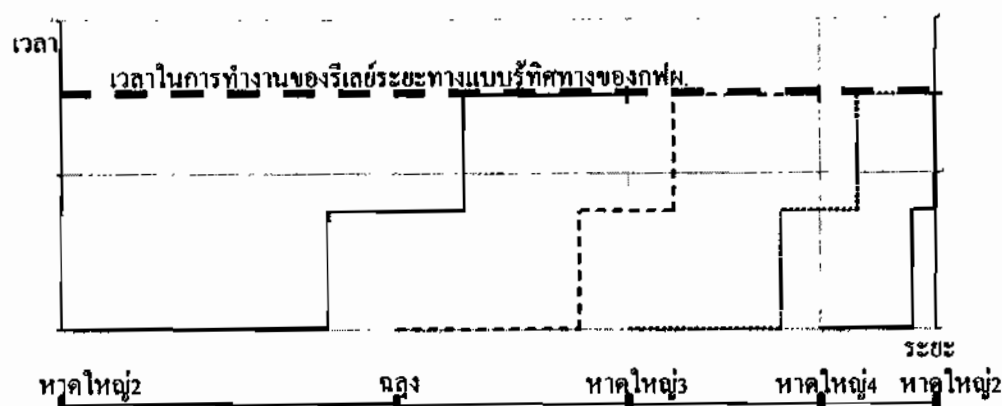
จากภาพที่ 6-1 เมื่อเกิดฟอลต์ใกล้กับสถานีไฟฟ้าฯ หาดใหญ่ 2 รีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ตรวจจับการเกิดฟอลต์ได้ และสั่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรกระแสฟอลต์ด้วยโซน 1 ทำงานแบบทันทีทันใด ในขณะที่เดียวกันรีเลย์กระแสเกินแบบรูทิสทางที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. ก็สามารถ



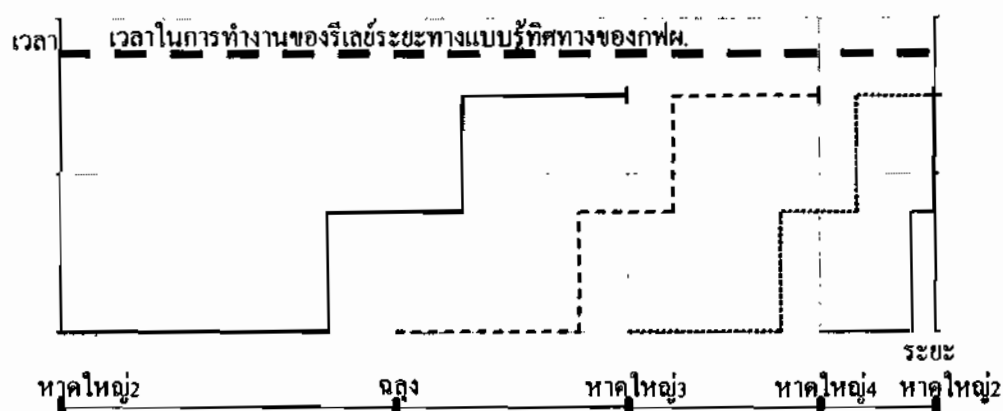
ภาพที่ 6-1 การเกิดฟอลต์ใกล้แหล่งผลิตของการจ่ายไฟแบบลูปปิด

ตรวจจับกระแสฟอลต์ได้เช่นกัน และเริ่มนับเวลาการทำงาน เมื่ออุปกรณ์ป้องกันที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 สามารถตัดวงจรกระแสฟอลต์ที่ไหลผ่านตัวมันเองได้ แต่เนื่องจากการจ่ายไฟแบบโคลสตูป กระแสฟอลต์สามารถไหลได้ 2 ทิศทาง จึงทำให้ยังมีกระแสฟอลต์ไหลผ่านที่รีเลย์กระแสเกินที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. เช่นเดิม แต่เนื่องจากผลของ ซอร์สอิมพีแดนซ์จะทำให้รีเลย์ระยะทางที่ สถานีฯ หาดใหญ่ 4 และสถานีฯ ณลุง ทำงานตัดกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านตัวมันเองออกจากวงจรช้ากว่าที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ในกรณีที่เกิดความฟอลต์ใกล้กับสถานีฯ หาดใหญ่ 2 แล้วจะทำให้ รีเลย์ระยะทางที่สถานีฯ หาดใหญ่ 4 และ สถานีฯ ณลุง จะทำงานพร้อมกับรีเลย์กระแสเกินแบบรูทิสทาง ที่ใช้เป็นระบบป้องกันสำรองที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. ที่กำหนดเวลาการทำงานไว้ที่ 300 มิลลิวินาที ดังแสดงในภาพที่ 6-2

เพื่อเป็นการป้องกันให้รีเลย์ที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. และ หาดใหญ่ 2 ทำงานพร้อมกัน จึงควรเพิ่มเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสนเกินแบบรู้ทิศทางที่สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. จาก 300 มิลลิวินาที เป็น 400 มิลลิวินาทีดังแสดงในภาพที่ 6-3



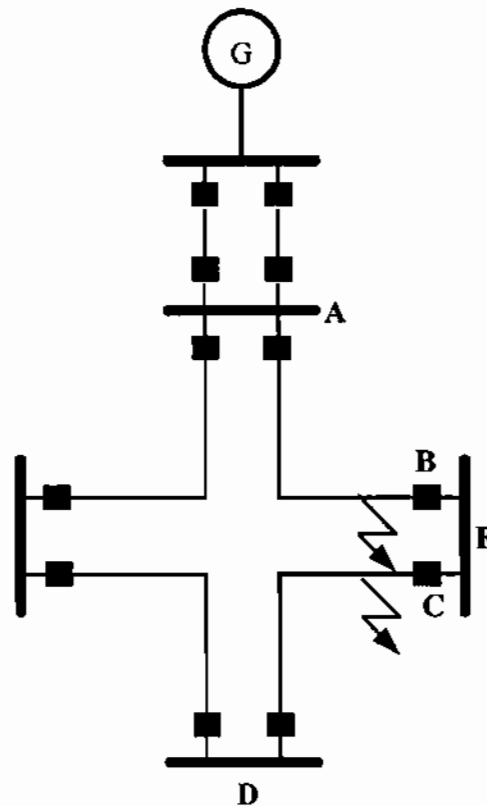
ภาพที่ 6-2 เวลาการทำงานของรีเลย์ระยะทาง และรีเลย์กระแสนเกินแบบรู้ทิศทางกรณีที่ยังไม่เพิ่มเวลาในการทำงาน



ภาพที่ 6-3 เวลาการทำงานของรีเลย์ระยะทาง และรีเลย์กระแสนเกินแบบรู้ทิศทาง เมื่อเพิ่มเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสนเกินแบบรู้ทิศทางแล้ว

6.1.2 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งพร้อมกัน 2 ช่วง การทดสอบนี้จะแบ่งทดสอบเป็น 3 กรณีเหมือนกับการทดสอบการเกิดฟอลต์ ขึ้นในระบบจำหน่าย เพียงจุดเดียว ที่อธิบายไว้ในข้อ 6.1.1 และจากผลการทดลองในบทที่ 5 นี้จะเห็นว่า การทำงานของ

รีเลย์ระยะทางยังสามารถ ตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ ออกจากระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และเกิดไฟฟ้าดับในบริเวณน้อยที่สุด



ภาพที่ 6-4 ตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งพร้อมกัน 2 จุด

จากภาพที่ 6-4 แสดงตำแหน่งการเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งพร้อมกัน 2 จุด จากผลการทดลอง ปรากฏว่ารีเลย์ในตำแหน่ง B และ C หรือรีเลย์ที่อยู่ระหว่างตำแหน่งการเกิดฟอลต์นั้น บางครั้ง อาจจะไม่ทำงาน หรืออาจจะทำงาน แต่จะมีเวลาในการทำงานที่ผิดพลาด และเวลาในการทำงาน คลาดเคลื่อนจากเวลาที่ใช้ในการทำงานเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบเพียงจุดเดียว แต่ถึงแม้ว่ารีเลย์ใน 2 ตำแหน่งนี้เกิดการ ทำงานผิดพลาด หรือไม่ทำงาน ฟอลต์ก็ยังไม่ถูกกำจัดออกจากระบบไฟฟ้า นอกจากรีเลย์ที่ตำแหน่ง A และ ตำแหน่ง B จะทำงาน ซึ่งเป็นรีเลย์ตัวที่อยู่ต้นทางใกล้กับ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ามากที่สุด ยกตัวอย่างดังในภาพที่ 6-4 เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นใน 2 ตำแหน่งดังกล่าว รีเลย์ระยะทางที่ A และ D สามารถตัดวงจรกระแสฟอลต์ออกจากระบบได้ทั้งหมด

6.1.3 การทดสอบการทำงานของรีเลย์ระยะทาง เมื่อมีแหล่งผลิตอื่นเชื่อมต่อเข้ามาที่บัสของ สถานี ไฟฟ้า โดยจะทดสอบการเกิดฟอลต์แบ่งออกเป็น 3 กรณีดังการทดสอบที่แล้วมาจากการ ทดสอบพบว่ารีเลย์ยังสามารถทำงานได้ตามปกติเหมือนกับการเกิดฟอลต์ 1 จุดในสายส่ง

เพราะฉะนั้นการต่อเชื่อมแหล่งผลิตเข้าไปในระบบโคลสตูปอีกแห่งหนึ่ง ก็จะไม่มิต่อการทำงาน ของรีเลย์ นอกจากการเชื่อมต่อไฟฟ้าจากแหล่งผลิตจะเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งโดยตรงนั้นทำให้โซน การป้องกันของรีเลย์ระยะทางลดลงทำให้เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งจะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด

6.2 ข้อเสนอแนะ

การป้องกันสายส่งที่มีการจ่ายไฟแบบโคลสตูปโดยไม่ใช้ระบบสื่อสารนั้นสามารถทำได้ แต่ ต้องเพิ่มเวลาในการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง ที่ใช้เป็นระบบป้องกันสำรองของสาย ส่งเชื่อมโยงระหว่าง สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟผ. และ สถานีฯ หาดใหญ่ 2 ของ กฟภ. ขึ้นอีกเพื่อ ป้องกันไม่ให้รีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทางทำงานพร้อมกับรีเลย์ระยะทางโซน 2 การทำงานของ รีเลย์ระยะทางอาจจะเกิดการดำเนินงานผิดพลาดได้เมื่อ เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสกับเฟสจะทำให้เกิดอาร์ค ขึ้น ซึ่งผลของการเกิดอาร์คนี้จะทำให้ความต้านทานรวมที่รีเลย์วัดได้เพิ่มสูงขึ้น จนเกินค่าการ ทำงานที่กำหนดเอาไว้และจะทำให้รีเลย์เกิดการดำเนินงานผิดพลาด

เอกสารอ้างอิง

1. Saadat, H. Power System Analysis. Singapore : McGraw-Hill Inc, c1999.
2. John, J. J. and Stevenson, W. D. Power System Analysis. Singapore : McGraw-Hill Inc, c1994.
3. GEC ALSTHOM MEASUREMENT LIMITED. Protective Relays Application Guide 3rd ed. Stafford : Balding Mansell plc, c1987.
4. Horowitz, S. H. and Phadke, A. G. Power System Relaying. New York : John Wiley & Sons Inc, c1985.
5. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. การป้องกันระบบกำลังไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ : ทีซีซี พรินติ้ง, 2548.
6. Li, M. S., Cheng, T. C., and Wu, C. Y. "A Study on The Improve Performance of Half-Lens-Half-Mho Relay." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems. 12 (1984) : 3539-3544.
7. Ziegler, G., Numerical Distance Protection Principles and Application. Germany : Siemens, c1999.
8. Erezzaghi, M. E. and Crossley, P. A. "The Effect of High Resistance Fault on Distance Relay." 2004IEEE. (2004) : 2128-2133.
9. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std C37.113-1999 IEEE Guide for Protective Relay Application to Transmission Lines. New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2000.
10. ABB Power T&D Company Inc. Protective Relaying Theory and Applications. New York : Marcel, c1994.
11. GEC Measurements. Quadramho Static Distance Protection Relay. Stafford : GEC Measurement, c1985
12. Kase, T. Kurosawa, Y. and Beaumont, P. "Problems Associated with Zero Sequence Compensation Applied to Distance Protection." 2006IEE. (2006) : 1-7.

13. Shenoy, Sheshadri, et al. "A Real-Time DSP Base Quadrilateral Relay for Distance Protection of 25 kV. AC Traction Overhead Equipment." 2004 International Conference on Power System Technology. (2004) : 1339-1344.
14. Walter, A. E. Pilot Protective Relaying. New York : Marcel Dekker Inc, c2000.
15. Cook, V. Analysis of Distance Protection. New York : John Wiley & Sons Inc, c1985.
16. สันติ อัสวศรีพงษ์สร. รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง. กรุงเทพฯ : สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย, 2547.
17. Anderson, P. M. Power System Protection. New York : McGraw-Hill Inc, c1999.
18. Blackburn, J. Protective Relaying : Principle and Application. New York : Marcel Dekker Inc, c1987.
19. Suksawat, S. and Bunyagul, T. "Modeling and Improve Breaker Failure Relay and Protection Scheme Using PSCAD/EMTDC." ECTI2006 (2006) : 575-578.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายสัตยา ใจคุ้ม

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การจัดการทำงานของรีเลย์ระยะทางให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อป้องกันสายส่งที่มี
การจ่ายไฟแบบลูปิดโดยไม่มีระบบสื่อสาร

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 24 กรกฎาคม 2520 ที่ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนช่างการไฟฟ้า
ส่วนภูมิภาคเมื่อปี พ.ศ. 2539 ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2544

ประวัติการทำงาน ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่งวิศวกร ระดับ 5 แผนกกรีส 2 กองอุปกรณ์ป้องกัน
และรีเลย์ ฝ่ายก่อสร้างและบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค