ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประยุกต์ใช้การตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบ กับระบบป้องกันกระแสเกิน ของระบบจำหน่าย 22- 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Application of Negative-sequence Overcurrent Elements for Improved Protection of PEA 22-33 kV Distribution System

นามผู้วิจัย นายสรายุทธ บุรีแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์สันติ อัศวศรีพงศ์ธร, M.Eng.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้การตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบ กับระบบป้องกันกระแสเกินของระบบจำหน่าย 22-33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Application of Negative-sequence Overcurrent Elements for Improved Protection of PEA 22-33 kV Distribution System

โดย

นายสรายุทธ บุรีแก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรายุทธ บุรีแก้ว 2555: การประยุกต์ใช้การตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบ กับระบบป้องกันกระแสเกินของระบบจำหน่าย 22 - 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สันติ อัศวศรีพงศ์ธร, M.Eng.Sc. 205 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้การตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบกับระบบป้องกันกระแสเกิน ซึ่งขนาดกระแสเริ่มทำงาน (Pick up current) ของอุปกรณ์ป้องกันจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดกระแสโหลด แตกต่างจากระบบป้องกันเดิมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ใช้ขนาดกระแสโหลดในการกำหนดขนาดกระแสเริ่มทำงาน โดยศึกษาผลกระทบต่อระบบป้องกันในกรณีฟอลต์ที่มีค่ากระแสต่ำ ด้วยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory 14.0 ในการจำลองการเกิดฟอลต์ (ฟอลต์ 3 ชนิด คือ ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน ทั้งนี้ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟสไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากกระแสฟอลต์ลำดับลบเป็นศูนย์) ภายใต้เงื่อนไขในการจำลองการเกิดฟอลต์ดังนี้ (1) กำหนดค่าความต้านทานดินของฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินเท่ากับ 40 โอห์ม (2) เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์ก ขนาดกำลังลัดวงจร และตำแหน่งการเกิดฟอลต์ จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า ชนิดของฟอลต์ ความต้านทานดิน ความต้านทานอาร์ก ขนาดกำลังลัดวงจร และตำแหน่งการเกิดฟอลต์มีผลทำให้ฟอลต์มีค่ากระแสต่ำ และส่งผลต่อการทำงานของระบบป้องกันทั้งในส่วนของระบบป้องกันหลัก และระบบป้องกันสำรอง ซึ่งการนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานนั้น สามารถลดระยะเวลาการทำงานของระบบป้องกันสำรอง เพิ่มความรวดเร็วในการตรวจจับกระแสฟอลต์ และเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบป้องกันในกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินได้

_____ _____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sarayut Bureekaew 2012: Application of Negative-sequence Overcurrent Elements for Improved Protection of PEA 22-33 kV Distribution System. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Santi Asawasripongtorn, M.Eng.Sc. 205 pages.

This thesis presents a study of applying the detection of negative-sequence fault current to the protection system. This approach is different from the original PEA's protection system in which the pick up current does not depend on the load current. The study was conducted for the case of low faults current. By using DIgSILENT PowerFactory 14.0, three different type of faults, were simulated, i.e., single line to ground fault, phase to phase fault, and phase to phase to ground fault. Due to the negative-sequence fault is zero, a three-phase fault was not considered. The conditions for generating these 3 faults were; (1) the ground resistance of single line to ground and phase to phase to ground faults was set to 40 Ohms, (2) arc resistance, short circuit power and fault location were varied. The study showed that fault's types, arc resistance, ground resistance, MVA short circuit and fault location resulted in low fault current which affected functionality of the main and back up protection system. The detection of negative-sequence fault current technique can be used to reduce working duration of the back up protection and increase speed of fault detection as well as increase the reliability of the protection system for the cases of phase to phase and phase to phase to ground faults.

_____ _____ ___ ___ ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.สันติ อัศวศรีพงศ์ธร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ขัดเกลา และวางแผนในการทำวิทยานิพนธ์ฉนับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.คมสันต์ หงส์สมบัติ ประธานกรรมการสอบ และดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่สละเวลาในการเป็นคณะกรรมการสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา และขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทุกท่านที่ให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อมูลต่างๆ ในการทำงานวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงพี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

สรายุทธ บุรีแก้ว

กันยายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(18)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(22)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	51
ผล	51
วิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน (A-G)	72
ภาคผนวก ข กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส (B-C)	113
ภาคผนวก ค กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน (B-C-G)	149
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	205

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราส่วนระหว่างกระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์	35
2	เปรียบเทียบฟังก์ชั่นการทำงานระบบป้องกันเดิม กับระบบป้องกันใหม่	37
3	ค่ากระแสเฟสฟอลต์ กรณีฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน	53
4	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดินต่อค่ากระแสเฟสฟอลต์ กรณีฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน	55
5	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์กต่อค่ากระแสเฟสฟอลต์ กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส	57
6	เปรียบเทียบค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน	59
7	เปรียบเทียบค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส	61
8	เปรียบเทียบค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน	63
9	องค์ประกอบของกระแสฟอลต์แต่ละชนิด และฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์	65

ตารางผนวกที่

ก1	ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)	73
ก2	ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)	73
ก3	ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)	74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 75

ก5 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 76

ก6 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 77

ก7 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 77

ก8 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 78

ก9 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 79

ก10 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 80

ก11 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 81

ก12 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 81

ก13 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก14 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 83

ก15 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 84

ก16 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 85

ก17 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 85

ก18 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 86

ก19 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 87

ก20 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 88

ก21 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 89

ก22 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 89

ก23 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก24 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 91

ก25 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 92

ก26 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 93

ก27 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 93

ก28 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 94

ก29 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 95

ก30 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 96

ก31 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 97

ก32 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 97

ก33 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 98

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก34 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 99

ก35 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 100

ก36 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 101

ก37 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 101

ก38 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 102

ก39 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 103

ก40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 104

ก41 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 105

ก42 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 105

ก43 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 106

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก44 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 107

ก45 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 108

ก46 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 109

ก47 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 109

ก48 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 110

ก49 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 111

ก50 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 112

ข1 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 114

ข2 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 114

ข3 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 115

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 116

ข5 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 117

ข6 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 117

ข7 เปรียบเทียบเวลาการทำงาน ของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 118

ข8 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 119

ข9 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 120

ข10 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 120

ข11 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 121

ข12 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 122

ข13 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 123

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข14 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 123

ข15 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 124

ข16 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 125

ข17 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 126

ข18 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 126

ข19 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 127

ข20 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 128

ข21 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 129

ข22 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 129

ข23 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 130

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข24 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 131

ข25 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 132

ข26 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 133

ข27 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 134

ข28 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 135

ข29 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 137

ข30 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 137

ข31 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 138

ข32 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 139

ข33 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 141

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข34 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 141

ข35 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 142

ข36 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 143

ข37 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 145

ข38 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 145

ข39 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 146

ข40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 147

ค1 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 150

ค2 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 150

ค3 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 151

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 152

ค5 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 153

ค6 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 154

ค7 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 155

ค8 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 155

ค9 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 156

ค10 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 157

ค11 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 158

ค12 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 159

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค13 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 160

ค14 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 160

ค15 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 161

ค16 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 162

ค17 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 163

ค18 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 164

ค19 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 165

ค20 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 165

ค21 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 166

ค22 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 167

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค23 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 168

ค24 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 169

ค25 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 170

ค26 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 170

ค27 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 171

ค28 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 172

ค29 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 173

ค30 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 174

ค31 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 175

ค32 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 175

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค33 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 176

ค34 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 177

ค35 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 178

ค36 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 179

ค37 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 181

ค38 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 181

ค39 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 182

ค40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 183

ค41 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 184

ค42 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 185

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค43 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 187

ค44 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 187

ค45 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 189

ค46 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 189

ค47 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 190

ค48 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 191

ค49 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 193

ค50 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 193

ค51 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 194

ค52 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 195

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค53 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 196

ค54 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 197

ค55 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 199

ค56 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 199

ค57 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 200

ค58 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 201

ค59 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 202

ค60 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 203

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบลำดับบวก (Positive-sequence)	4
2	องค์ประกอบลำดับลบ (Negative-sequence)	5
3	องค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero-sequence)	5
4	วงจรสมมูลลำดับบวก และเน็ตเวิร์กลำดับบวก	8
5	วงจรสมมูลลำดับลบ และเน็ตเวิร์กลำดับลบ	8
6	วงจรสมมูลดับศูนย์ และเน็ตเวิร์กลำดับศูนย์	9
7	รูปแบบการจ่ายไฟแบบเรเดียล	10
8	ตำแหน่งการเกิดฟอลต์	16
9	เส้นกราฟการทำงานด้านเฟสของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์	16
10	ส่วนประกอบของสาย Space aerial cable (SAC)	20
11	การเสื่อมสภาพของฉนวนสาย SAC ตำแหน่งที่วางบน Porcelain spacer	21
12	ลักษณะการชำรุดของ Porcelain spacer เคลือบเซรามิค	21
13	สาย SAC ขาด 3 เฟสตรงตำแหน่งบน Porcelain spacer เคลือบเซรามิค	22
14	สาย SAC ขาด 2 เฟสตรงตำแหน่งบน Porcelain spacer เคลือบเทปลอน	22
15	ตัวอย่างกราฟกระแส-เวลา แสดงความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน	23
16	วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน	25
17	การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน	26
18	วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน	26
19	การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน	27
20	วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส	27
21	การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส	28
22	วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส	28
23	การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส	29
24	การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กสำหรับฟอลต์ชนิดต่างๆ	29
25	เฟสเซอร์ลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์	31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	องค์ประกอบสมมาตรเฟส A	31
27	เฟสเซอร์ลำดับบวก และลำดับลบ	32
28	ขนาดกระแสเฟส B และเฟส C	33
29	วงจรสมมูลใช้วิเคราะห์กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน	34
30	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวแสดงรูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าเชียงดาว	41
31	เส้นกราฟการทำงานด้านเฟสของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ ฟีดเดอร์ที่ 1 สถานีไฟฟ้าเชียงดาว	44
32	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวฟีดเดอร์ที่ 1 สถานีไฟฟ้าเชียงดาว	45
33	ป้อนค่าพารามิเตอร์ External grid ของสถานีไฟฟ้าเชียงดาว	45
34	ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งรีเลย์กระแสเกิน	46
35	ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งค่ารีโคลสเซอร์ และหม้อแปลงกระแส	47
36	เลือกชนิดฟอลต์ ป้อนค่าความต้านทานอาร์ก และค่าความต้านทานดิน	49
37	ตัวอย่างในการแสดงค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส	49
38	กราฟกระแส-เวลาด้านเฟสของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์	50
39	แผนภาพความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังลัดวงจร	54
40	แผนภาพความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน	56
41	แผนภาพความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์ก	58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ข1 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 132

ข2 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 136

ข3 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 140

ข4 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 144

ข5 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 148

ค1 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%) 180

ค2 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%) 186

ค3 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%) 192

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ค4 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%) 198

ค5 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%) 204

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GM	=	ส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำ (Grading margin)
TMS	=	ค่าตัวคูณทางเวลา (Time multiplier setting)
I_{pu}	=	ขนาดกระแสเริ่มทำงาน (Pick up current)
I_{sc}	=	กระแสฟอลต์
$t_{Recloser}$	=	เวลาการทำงานของรีโคลสเซอร์
$t_{Relay, I2}$	=	เวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ
SI	=	Standard inverse
VI	=	Very inverse
EI	=	Extremely inverse
LI	=	Long inverse
L-G	=	ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน (Single line to ground fault)
L-L-G	=	ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน (Double line to ground fault)
L-L	=	ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส (Line to line fault)
3L	=	ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส (Three phase fault)
a	=	ตัวกระทำทางเวกเตอร์มีขนาด 1 หน่วย มุม 120°
I_0	=	กระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ (Zero-sequence fault current)
I_1	=	กระแสฟอลต์ลำดับบวก (Positive-sequence fault current)
I_2	=	กระแสฟอลต์ลำดับลบ (Negative-sequence fault current)
I_P	=	กระแสเฟสฟอลต์ (Phase fault current)
I_G	=	กระแสกราวด์ฟอลต์ (Ground fault current)
R_g	=	ความต้านทานดิน (Ground resistance)
R_f	=	ความต้านทานอาร์ก (Arc resistance)
MVA_{SC}	=	ขนาดกำลังลัดวงจร (MVA short circuit)
$MVA_{SC, MAX}$	=	ขนาดกำลังลัดวงจรสูงสุด (Maximum MVA short circuit)
I>	=	Time overcurrent relay
I>>	=	Instantaneous overcurrent relay

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อดีของการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบ คือ ค่าขนาดกระแสลำดับลบเริ่มทำงานไม่ขึ้นอยู่กับค่ากระแสโหลด แต่ขึ้นอยู่กับค่ากระแสลำดับลบสูงสุดที่เกิดขึ้นในสภาวะไม่สมดุลของระบบ (โดยทั่วไปค่ากระแสลำดับลบน้อยกว่าค่ากระแสโหลดมาก) ขนาดกระแสลำดับลบเริ่มทำงานจึงสามารถกำหนดให้มีขนาดต่ำกว่าขนาดกระแสเริ่มทำงานของระบบป้องกันเดิมได้ ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันจึงสามารถทำงานได้ครอบคลุม และมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบป้องกันเดิมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในกรณีที่ฟอลต์มีค่ากระแสต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประยุกต์ใช้การตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบ กับระบบป้องกันกระแสเกินของระบบจำหน่าย 22- 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Application of Negative-sequence Overcurrent Elements for Improved Protection of PEA 22-33 kV Distribution System

คำนำ

การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้วิธีการตรวจจับกระแสเกิน โดยอุปกรณ์ป้องกันทำงานเมื่อขนาดกระแสมากกว่าค่าขนาดกระแสเริ่มทำงาน (Pick up current) ซึ่งค่าขนาดกระแสเริ่มทำงานนั้นพิจารณาจากค่ากระแสโหลดสูงสุดของระบบ คือ ค่าขนาดกระแสเริ่มทำงานต้องมากกว่าค่าขนาดกระแสโหลดสูงสุด

ปัจจุบันความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น (ค่ากระแสโหลดเพิ่มขึ้น) จึงต้องมีการปรับเพิ่มขนาดกระแสเริ่มทำงานขึ้นตาม ปัญหาที่พบ คือ ในกรณีที่ฟอลต์มีค่ากระแสต่ำ เช่น ตำแหน่งฟอลต์ไกลจากสถานีไฟฟ้า หรือมีค่าความต้านทานอาร์กเกิดขึ้น จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบป้องกัน เช่น ความรวดเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ระยะเวลานานในส่วนของระบบป้องกันสำรอง หรือเลวร้ายสุดในกรณีที่ค่ากระแสฟอลต์มีค่าต่ำกว่าค่าขนาดกระแสเริ่มทำงาน ซึ่งจะไม่มีอุปกรณ์ป้องกันทำการปลดวงจรในส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบกับระบบป้องกันเดิมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0 จำลองการเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งต่างๆของสายจำหน่าย รวมทั้งเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์ก ชนิดของฟอลต์ และขนาดกำลังลัดวงจร เพื่อทำการศึกษาผลกระทบต่อระบบป้องกันในกรณีฟอลต์ที่มีค่ากระแสต่ำ ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาฟอลต์ชนิดอิมพีแดนซ์สูง (High impedance fault) ที่มุ่งเน้นในการศึกษาพฤติกรรม และปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะเกิดฟอลต์ เช่น กรณีสายตัวนำขาดและตกลงสัมผัสกับวัตถุพื้นผิวชนิดต่างๆ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์ และองค์ประกอบของกระแสฟอลต์

2. เพื่อให้เข้าใจการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3. กำหนดหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในกรณีนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งาน

4. นำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

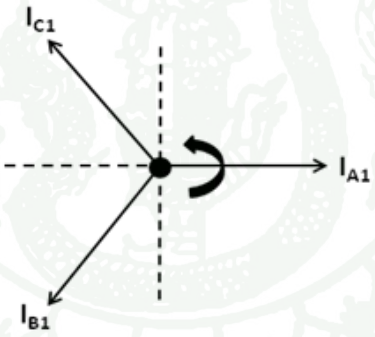
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

องค์ประกอบที่สมมาตร

ชำนาญ (2554) ฟอลต์แบบไม่สมมาตร คือ การเกิดฟอลต์ในระบบแล้วกระแสทั้งสามเฟสมีขนาดไม่เท่ากัน (และ/หรือมุมต่างเฟสห่างกันไม่เท่ากับ 120º) ในการวิเคราะห์หาค่ากระแสฟอลต์นั้นสามารถใช้วิธีการขององค์ประกอบที่สมมาตร (Symmetrical component) เข้ามาช่วยวิเคราะห์หาค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยมีหลักการคือ แปลงระบบเดิมที่ไม่สมดุล (กระแส หรือแรงดัน) ให้มาเป็นระบบเน็ตเวิร์กสมดุล ซึ่งระบบเน็ตเวิร์กสมดุลสามารถแบ่งได้เป็น 3 องค์ประกอบ คือ ลำดับบวก (Positive-sequence) ลำดับลบ (Negative-sequence) และลำดับศูนย์ (Zero-sequence) แต่ละองค์ประกอบมีการเรียงลำดับของเฟสเซอร์ ดังนี้

1. ลำดับบวก

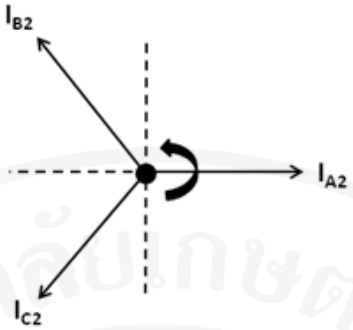


ภาพที่ 1 องค์ประกอบลำดับบวก (Positive-sequence)

ประกอบด้วยทั้ง 3 เฟส ที่มีขนาดเท่ากัน มุมต่างเฟสเท่ากับ 120° ลำดับเฟสเหมือนกันกับเฟสเซอร์เดิม ในที่นี้ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย I_{A1}, I_{B1} และ I_{C1} โดยที่ I_{A1} นำหน้า I_{B1} อยู่ 120° และ I_{B1} นำหน้า I_{C1} อยู่ 120°

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ลำดับลบ

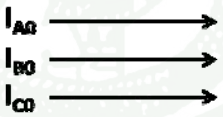


Sequence = ACB

ภาพที่ 2 องค์ประกอบลำดับลบ (Negative-sequence)

ประกอบด้วยทั้ง 3 เฟส ที่มีขนาดเท่ากัน มุมต่างเฟสเท่ากับ 120° ลำดับเฟสตรงข้ามกันกับเฟสเซอร์เดิม ในที่นี้ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย I_{A2}, I_{B2} และ I_{C2} โดยที่ I_{A2} นำหน้า I_{C2} อยู่ 120° และ I_{C2} นำหน้า I_{B2} อยู่ 120°

3. ลำดับศูนย์



ภาพที่ 3 องค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero-sequence)

ประกอบด้วยทั้ง 3 เฟส ที่มีขนาดเท่ากัน มุมต่างเฟสเท่ากับ 0° โดยมีทิศทางไปทางเดียวกัน ในที่นี้ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย I_{A0}, I_{B0} และ I_{C0}

แต่ละเฟสเซอร์เดิมที่ไม่สมดุล จะเป็นผลบวกของแต่ละองค์ประกอบ ดังสมการ

$$I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2} \quad (1)$$

$$I_B = I_{B0} + I_{B1} + I_{B2} \quad (2)$$

$$I_C = I_{C0} + I_{C1} + I_{C2} \quad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวกระทำทางเวกเตอร์ a

เนื่องจากความต่างเฟสขององค์ประกอบทั้งสาม เพื่อง่ายในการบอกการหมุนของเฟสเซอร์ไปเป็นมุม 120° และเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงได้มีการกำหนดตัวกระทำทางเวกเตอร์ขึ้นมาโดยมีขนาดเท่ากับ 1 หน่วย มุม 120° มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

$$a = 1 \text{ มุม } 120° = -0.5 + j0.866$$
$$a^2 = 1 \text{ มุม } 240° = -0.5 - j0.866$$

แทนค่า a และ a^2 ในสมการ (1), (2) และ (3) ได้

$$I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2} \quad (4)$$
$$I_B = I_{A0} + a^2 I_{A1} + aI_{A2} \quad (5)$$
$$I_C = I_{A0} + aI_{A1} + a^2 I_{A2} \quad (6)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ (แรงดัน)

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

ในกรณีที่ต้องการหาองค์ประกอบทั้ง 3 จะได้ว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$I_0 = (I_A + I_B + I_C)/3 \quad (9)$$

$$I_1 = (I_A + aI_B + a^2I_C)/3 \quad (10)$$

$$I_2 = (I_A + a^2I_B + aI_C)/3 \quad (11)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (12)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ของแรงดัน

$$\begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (13)$$

เน็ตเวิร์กของแต่ละองค์ประกอบ

1. เน็ตเวิร์กลำดับบวก

วงจรสมมูลประกอบด้วยแรงดันเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับอิมพีแดนซ์ลำดับบวก โดยมีความสัมพันธ์ของสมการเป็น

$$V_{A1} = E_A - I_{A1}Z_1 \quad (14)$$

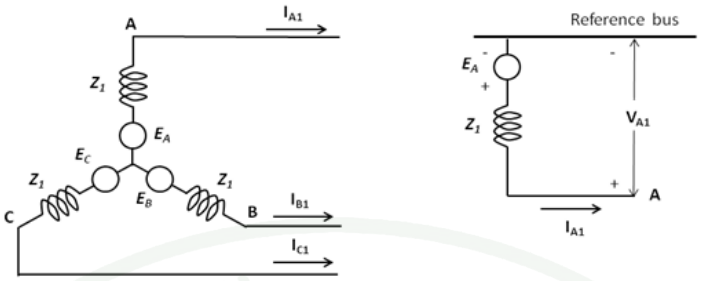
โดยที่

E_A = แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดของเน็ตเวิร์กลำดับบวก

I_{A1} = กระแสลำดับบวก

Z_1 = อิมพีแดนซ์ลำดับบวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ก) วงจรสมมูลลำดับบวก ข) เน็ตเวิร์กลำดับบวก

ภาพที่ 4 วงจรสมมูลลำดับบวก และเน็ตเวิร์กลำดับบวก

2. เน็ตเวิร์กลำดับลบ

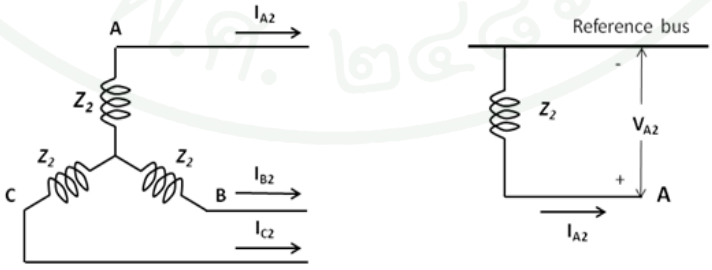
เป็นวงจรสมมูลที่ไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำ มีเฉพาะอิมพีแดนซ์ลำดับลบ โดยมีความสัมพันธ์ของสมการเป็น

$$V_{A2} = -I_{A2}Z_2 \tag{15}$$

โดยที่

I_{A2} = กระแสลำดับลบ

Z_2 = อิมพีแดนซ์ลำดับลบ



ก) วงจรสมมูลลำดับลบ ข) เน็ตเวิร์กลำดับลบ

ภาพที่ 5 วงจรสมมูลลำดับลบ และเน็ตเวิร์กลำดับลบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เน็ตเวิร์กลำดับศูนย์

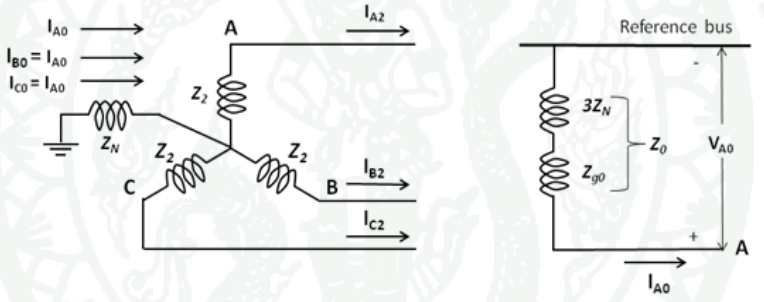
เป็นวงจรสมมูลที่ไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำ มีเฉพาะอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ โดยมีความสัมพันธ์ของสมการเป็น

$$V_{A0} = -I_{A0}Z_0 \tag{16}$$

โดยที่

I_{A0} = กระแสลำดับศูนย์

Z_0 = อิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์



ก) วงจรสมมูลดับศูนย์ ข) เน็ตเวิร์กลำดับศูนย์

ภาพที่ 6 วงจรสมมูลดับศูนย์ และเน็ตเวิร์กลำดับศูนย์

จากสมการการเชื่อมโยงของเน็ตเวิร์กลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์ สามารถสรุปได้ดังนี้

$$V_{A0} = -I_{A0}Z_0 \tag{17}$$

$$V_{A1} = E_A - I_{A1}Z_1 \tag{18}$$

$$V_{A2} = -I_{A2}Z_2 \tag{19}$$

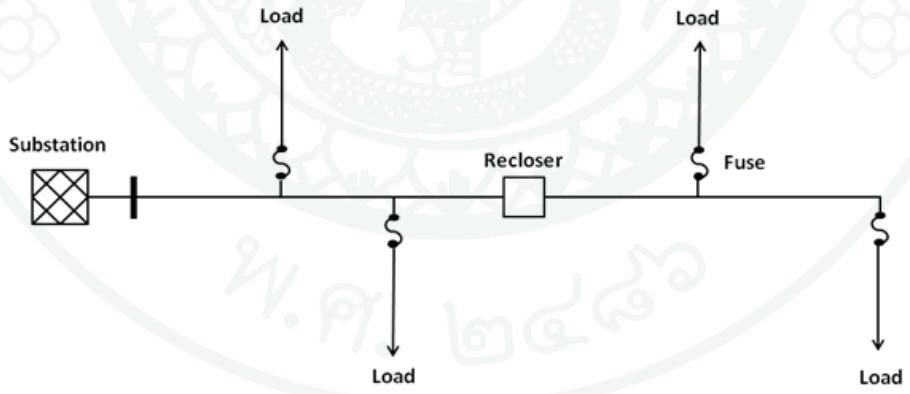
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_A \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} \quad (20)$$

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ.

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ. มีระดับแรงดันใช้งาน 2 ระดับแรงดัน คือ 22 และ 33 kV พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ระดับแรงดัน 22 kV ยกเว้นภาคใต้ของประเทศตั้งแต่บางพื้นที่ของจังหวัดระนองลงไปใช้ระดับแรงดัน 33 kV โครงสร้างของระบบจำหน่ายทั่วไปเป็นระบบเหนือดิน (Overhead line) ขึงพาดสายในอากาศ ในส่วนของรูปแบบการจ่ายไฟเป็นแบบเรเดียล (Radial system) คือ ระบบที่มีแหล่งจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียว (สถานีไฟฟ้า) จ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟ ซึ่งบางวงจรอาจมีความยาวมากหลายสิบกิโลเมตร โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบท การจ่ายไฟแบบเรเดียลมีข้อดี คือ ประหยัดเงินในการลงทุน และไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่มีข้อเสีย คือ ถ้าแหล่งจ่ายขัดข้องก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายทั้งระบบ จึงถือได้ว่าระบบดังกล่าวมีความเชื่อถือได้ค่อนข้างต่ำ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 รูปแบบการจ่ายไฟแบบเรเดียล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ.

กำพล (2550) ระบบป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ. ใช้การป้องกันแบบกระแสเกิน คือ การตรวจวัดค่ากระแสที่เกิดขึ้นเทียบกับขนาดกระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน มีการจัดลำดับการทำงานเพื่อให้แยกแยะได้ถูกต้องว่าเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้น อุปกรณ์ป้องกันตัวที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์มากที่สุดทำงาน (ตัดตอนวงจร) ก่อนที่อุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นที่อยู่ไกลออกไป เพื่อให้ส่วนของระบบไฟฟ้าที่ถูกตัดแยกออกจากระบบน้อยที่สุด และเมื่อเกิดฟอลต์แล้วการตัดตอนวงจรเป็นไปอย่างรวดเร็วที่สุด โดยสามารถแบ่งอุปกรณ์ป้องกันตามตำแหน่งการติดตั้งได้ 2 แบบ คือ อุปกรณ์ป้องกันติดตั้งในไลน์ (ฟิวส์แรงสูง และรีโคลสเซอร์) และอุปกรณ์ป้องกันติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า (รีเลย์กระแสเกิน)

1. ฟิวส์แรงสูง หรือฟิวส์คัทเอาท์เป็นทั้งอุปกรณ์ตัดตอน และอุปกรณ์ป้องกันแบบ 1 เฟส มีใช้งานมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ป้องกันชนิดอื่น ทำงานแบบอัตโนมัติเมื่อมีกระแสเกินพิกัดไหลผ่าน หลักการคือ ความร้อนที่เกิดขึ้นในรูปของ I^2R ภายในเส้นฟิวส์มีค่าสูงมากเกินกว่าเส้นฟิวส์จะทนได้ก็จะหลอมละลาย และขาดออกทำให้เปิดวงจรของระบบไฟฟ้าออก เนื่องจากหลักการทำงานของฟิวส์ใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นเกณฑ์ในการทำงาน กระแสไหลผ่านฟิวส์ยิ่งสูงมากเวลาที่เส้นฟิวส์หลอมละลายก็ใช้เวลาน้อย แต่เมื่อฟิวส์ทำงานหรือขาดแล้วต้องเปลี่ยนใหม่ไม่สามารถปิดกลับเองได้ โดยต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานปิดกลับ ฟิวส์แรงสูงจะติดตั้งในไลน์ย่อย หรือแยกย่อย (ไม่ติดตั้งในไลน์เมน) และเป็นอุปกรณ์ป้องกันของหม้อแปลงไฟฟ้า และคาปาซิเตอร์ ข้อดีของการใช้ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกัน คือ ราคาถูก ติดตั้งง่าย หลักการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน ลักษณะการทำงานของฟิวส์ลิงค์จะเป็นแบบ Extremely inverse คือ กระแสเกินพิกัดยิ่งมีค่ามาก เวลาการทำงานของฟิวส์ลิงค์ยิ่งเร็ว ชนิดของฟิวส์ลิงค์ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งาน คือ ชนิดขาดเร็ว (Type K) ตามมาตรฐานของ NEMA

2. รีโคลสเซอร์ เป็นทั้งอุปกรณ์ตัดตอน และอุปกรณ์ป้องกันในไลน์แบบ 3 เฟส ควรติดตั้งห่างจากสถานีไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 10 กิโลเมตร (หลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้า) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ เมื่อมีกระแสฟอลต์ไหลผ่านจะทำการปลดวงจรโดยอัตโนมัติ (Trip) และยังสามารถปิดกลับได้อัตโนมัติ (Reclose) ตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ หากยังมีฟอลต์ปรากฏอยู่รีโคลสเซอร์ก็จะทำงานในสภาวะปิดค้าง (Lock out) การทำงานของรีโคลสเซอร์สามารถเลือกการทำงาน (เส้นกราฟ) ได้ 2 แบบคือ การทำงานแบบเร็ว (Fast curve) และการทำงานแบบช้า (Slow curve)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. รีเลย์กระแสเกิน ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ. จะใช้รีเลย์กระแสเกินเป็นอุปกรณ์ป้องกัน ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า ทำงานร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีหน้าที่ตรวจสอบสภาวะของระบบไฟฟ้า จากสัญญาณขาเข้าจากหม้อแปลงกระแส คือ เมื่อรีเลย์มองเห็นกระแสมากกว่าขนาดกระแสเริ่มทำงาน รีเลย์จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจร โดยเวลาในการตัดวงจรนั้นขึ้นอยู่กับขนาดกระแสที่ไหลผ่าน นอกจากนั้นรีเลย์ยังสามารถสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับเองได้อัตโนมัติ (Reclose) ได้ตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ สามารถเลือกเส้นกราฟการทำงานของรีเลย์ได้ โดยแทนด้วยสมการของเส้นกราฟแต่ละแบบ ดังนี้

- Standard Inverse $$t = \frac{0.14 \times TMS}{I^{0.02} - 1} \quad s \qquad (21)$$

- Very Inverse $$t = \frac{13.5 \times TMS}{I - 1} \quad s \qquad (22)$$

- Extremely Inverse $$t = \frac{80 \times TMS}{I^{2} - 1} \quad s \qquad (23)$$

- Long Inverse $$t = \frac{120 \times TMS}{I - 1} \quad s \qquad (24)$$

โดยที่ t = เวลาการทำงานของรีเลย์

I = จำนวนเท่าของขนาดกระแสเริ่มทำงาน

TMS = ค่าตัวคูณทางเวลา

คุณสมบัติของระบบป้องกัน

ในการออกแบบระบบป้องกันนั้น มีหลายองค์ประกอบที่ผู้ออกแบบจะต้องนำมาใช้ในการพิจารณาออกแบบระบบป้องกัน ซึ่งโดยทั่วไประบบป้องกันที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1. Reliability คือ ความเชื่อถือได้ในความแน่นอนของอุปกรณ์ป้องกันในขณะทำงานว่าจะสามารถทำงานได้จริง ซึ่งเมื่อกล่าวถึง Reliability จะมีอีก 2 คำที่ต้องกล่าวถึงคือ

1.1 Dependability คือ การที่อุปกรณ์ป้องกันต้องทำงานถูกต้องทุกครั้งที่เกิดฟอลต์ และต้องทำงานถูกต้องสำหรับฟอลต์ทุกชนิด และต้องทำงานได้ในขณะที่ต้องการให้ทำงาน เช่น อาจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต้องทำงานซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งในช่วงเวลาสั้นๆ หรืออาจจะต้องทำงานแม้จะไม่ได้ทำงานมาเป็นระยะเวลานานก็ตาม

1.2 Security คือ อุปกรณ์ป้องกันต้องไม่ทำงาน เมื่อไม่ต้องการให้ทำงาน เช่น จะต้องไม่ทำงานในภาวะโหลดปกติ หรือเกิดภาวะทรานเซี้ยนชั่วขณะ หรือเมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกันการตัดวงจรโดยไม่จำเป็นจะส่งผลให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ

2. Selectivity คือ Security ที่จำกัดพื้นที่ให้อยู่ในขอบเขตจำกัด หรือไม่จำกัดในระบบไฟฟ้า หรือกล่าวได้อีกแบบคือ การที่อุปกรณ์ป้องกันทำงานภายในโซนที่ออกแบบให้ทำงานนั่นเอง

3. Speed คือ ระบบป้องกันจะต้องสามารถตัดวงจรได้รวดเร็วพอที่จะให้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไม่เสียหาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วยิ่งทำงานเร็วเท่าไหร่ อุปกรณ์ก็จะได้รับความปลอดภัย

4. Simplicity คือ ระบบป้องกันจะต้องมีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อนต่อการติดตั้ง บำรุงรักษา รวมทั้งในการตรวจสอบความถูกต้อง

5. Economics คือ ระบบป้องกันที่ดีไม่ควรมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงเกินไป แต่ทั้งนี้ต้องสามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

จากคุณสมบัติของระบบป้องกันทั้ง 5 ข้อ ในสถานการณ์จริงเป็นไปได้ยากที่สามารถออกแบบระบบป้องกันให้ครอบคลุมได้สมบูรณ์ทุกๆ องค์ประกอบ หน้าที่ของผู้ออกแบบระบบป้องกันที่ดีคือ ทำการออกแบบให้ใกล้เคียงหรือมีความถูกต้องมากที่สุดกับทุกๆ กรณีที่มีฟอลต์เกิดขึ้น

การแบ่งส่วนของระบบป้องกัน

ประสิทธิ์ (2548) การแบ่งส่วนของระบบป้องกัน หรือขอบเขตการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ระบบป้องกันหลัก (Primary protection) หมายถึง การป้องกันลำดับแรก ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันในเขตป้องกันต้องทำหน้าที่แยกส่วนของวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ การทำงานของระบบป้องกันหลักจะต้องทำงานเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ และแยกส่วนของวงจรให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เพื่อให้เกิดความเสียหายแก่ระบบโดยรวมน้อยที่สุด และระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ป้องกันสำรอง (Back up protection) หมายถึง การใช้ระบบป้องกันอีกชุดหนึ่งที่มีเวลาการทำงานช้ากว่าระบบป้องกันหลัก โดยระบบป้องกันสำรองทำหน้าที่ป้องกันวงจรในกรณีที่ระบบป้องกันหลักไม่ทำงาน ในไลน์เมนของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ. มีอุปกรณ์ป้องกัน 2 ชนิด คือ รีเลย์กระแสเกินติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า และรีโคลสเซอร์ติดตั้งในไลน์ ดังนั้นในกรณีตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ รีโคลสเซอร์จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก โดยมีรีเลย์เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง และจะทำงานเมื่ออุปกรณ์ป้องกันหลัก หรือรีโคลสเซอร์ไม่ทำงาน

การตั้งค่าการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน

กองแผนงานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2553) กำหนดพิกัดโหลดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง ดังนี้ กรณีปกติของวงจร 22 kV ไม่เกิน 8 MVA หรือค่ากระแสโหลดสูงสุดไม่เกิน 210 แอมแปร์ (= 8MVA÷($\sqrt{3}$×22kV)) และกรณีโหลดปกติของวงจร 33 kV ไม่เกิน 10 MVA หรือค่ากระแสโหลดสูงสุดไม่เกิน 180 แอมแปร์ (= 10MVA ÷ ($\sqrt{3}$×33kV)) แต่ทั้งนี้ต้องสามารถทำงานทดแทนฟีดเดอร์อื่นที่เกิดเหตุขัดข้องได้ (N-1) ดังนั้นในการออกแบบระบบป้องกันขนาดกระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของค่ากระแสโหลดสูงสุด คือ ในระบบ 22 kV ขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ต้องไม่ต่ำกว่า 420 แอมแปร์ (= 2×210 A) และในระบบ 33 kV ขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ต้องไม่ต่ำกว่า 360 แอมแปร์ (= 2×180 A)

กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดหลักเกณฑ์ทั่วไปในการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์กระแสเกินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนี้

<u>22 kV Feeder</u>	Phase overcurrent relay (50/51)			I_L = 8 MVA (PEA Criteria)
	I>	=	420 A	(200%I_L)
	TMS	=	0.125 EI	
	I>>	=	9000, 7200, 4800 (50,40,25 MVA)	(Increase more for SPP infeed)
	Ground overcurrent relay (50/51N)			
	I>	=	105 A	
	TMS	=	1.0 EI	
	I>>	=	same as phase I>>	(1200 A for NGR substation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

33 kV Feeder	Phase overcurrent relay (50/51)			I_L = 10 MVA (PEA Criteria)
	I>	=	360 A	(200%I_L)
	TMS	=	0.15 EI	
	I>>	=	9000, 7200, 4800 (50,40,25 MVA)	(Increase more for SPP infeed)
	Ground overcurrent relay (50/51N)			
	I>	=	105 A	
	TMS	=	1.0 EI	
	I>>	=	same as phase I>>	

โดย I> คือ Time overcurrent relay

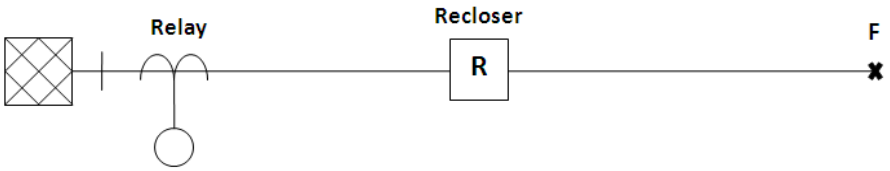
TMS คือ Time multiplier system

I>> คือ Instantaneous overcurrent relay

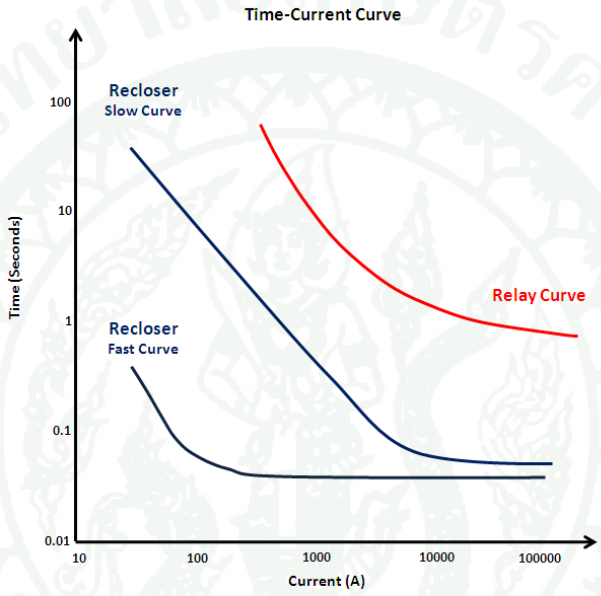
ส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำ

ในการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันนั้น อุปกรณ์ป้องกันที่อยู่ใกล้ตำแหน่งฟอลต์มากที่สุดจะถูกจัดเป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักต้องทำงานก่อนอุปกรณ์ป้องกันอื่น อุปกรณ์ป้องกันตัวถัดไปจะจัดเป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง และจะต้องหน่วงเวลาไว้ปริมาณหนึ่ง การหน่วงเวลาของอุปกรณ์ป้องกันสำรองเรียกว่า ส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำ (Grading margin) การพิจารณาส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำต้องพิจารณาให้เหมาะสม เนื่องจากหากส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำมีค่ามากเกินไป ความเสียหายต่อระบบอุปกรณ์จะมากเมื่ออุปกรณ์ป้องกันหลักไม่ทำงาน แต่ถ้าน้อยเกินไปอุปกรณ์ป้องกันสำรองอาจทำงานก่อนอุปกรณ์ป้องกันหลักซึ่งจะตัดวงจรของระบบไฟฟ้าออกมากเกินความจำเป็น ในการจัดลำดับการทำงานระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์สิ่งที่จะต้องพิจารณา คือ ค่าเวลารีเซตของรีเลย์ และค่าช่วงเวลาปิดกลับของรีโคลสเซอร์ จากภาพที่ 8 เมื่อเกิดฟอลต์ที่จุด F ค่าช่วงเวลาปิดกลับของรีโคลสเซอร์จะต้องมากกว่าค่าเวลารีเซตของรีเลย์ เพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ทำหน้าที่เปิดวงจรแทนรีโคลสเซอร์ ในการจัดลำดับการทำงานระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์นั้น จะใช้เส้นกราฟการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์ในการจัดความสัมพันธ์กับรีเลย์ดังภาพที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งการเกิดฟอลต์



ภาพที่ 9 เส้นกราฟการทำงานด้านเฟสของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์

Kojovic *et al.* (2001) แสดงการจัดลำดับเวลาการทำงานระหว่างอุปกรณ์ป้องกันแต่ละชนิด โดยได้แนะนำส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำระหว่างรีเลย์กับรีเลย์เท่ากับ 0.3 วินาที และส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำระหว่างเวลาการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์กับเวลาการทำงานของรีเลย์เท่ากับ 0.15 วินาที ทั้งนี้ค่าดังกล่าวได้รวมในส่วนของเวลารีเซตของรีเลย์ และ Safety margin แล้ว

รีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

ABB (1999) รีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบวัตถุประสงค์หลัก คือ ใช้ในการตรวจจับสภาวะโหลดไม่สมดุลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อันเป็นเหตุให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตำแหน่งโรเตอร์ เนื่องจากกระแสลำดับลบจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของโรเตอร์ และยังสามารถใช้ในการตรวจจับสภาวะโหลดไม่สมดุลของมอเตอร์ได้อีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในระบบสายส่งในการตรวจจับฟอลต์ และตรวจจับสภาวะโหลดไม่สมดุล ข้อดีของการตรวจจับกระแสลำดับลบ เมื่อเทียบกับการตรวจจับกระแสลำดับศูนย์ของรีเลย์กระแสเกินทั่วไป คือ สามารถตรวจวัดได้ที่สายเฟส ไม่มีการตรวจวัดกระแสที่นิวทรอล

AREVA โดยทั่วไประบบป้องกันจะออกแบบขนาดกระแสเริ่มทำงานให้สูงกว่าค่ากระแสโหลดสูงสุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดของระบบป้องกัน ทั้งนี้ในกรณีระบบไม่สมมาตร หรือเกิดฟอลต์แบบไม่สมมาตรเช่น กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน หรือฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส สามารถใช้ฟังก์ชั่นลำดับลบช่วยระบบป้องกันในการตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ อาทิเช่น กรณีเกิดฟอลต์ 1 สายเฟสลงดินด้านเดลตาของหม้อแปลงเดลตา-วาย (Dy) ระบบป้องกันเดิมจะไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ในด้านวายของหม้อแปลง แต่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ทั้งสองด้านของหม้อแปลงด้วยฟังก์ชั่นลำดับลบ หรือในระบบป้องกันของมอเตอร์ที่ใช้ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก เมื่อฟิวส์ทำงานจะทำให้เกิดกระแสลำดับลบขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความร้อนในมอเตอร์ ดังนั้นจึงใช้รีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบในการเป็นระบบป้องกันสำรองของมอเตอร์ที่ใช้ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกัน

ปัจจัยที่มีผลให้ฟอลต์มีค่ากระแสต่ำ

ในระบบไฟฟ้ากำลังมีหลากหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่ากระแสฟอลต์ ความสำคัญในกรณีกระแสฟอลต์มีค่าต่ำ คือ อุปกรณ์ป้องกันสามารถทำงานในสภาวะดังกล่าวได้หรือไม่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบระบบป้องกันต้องนำมาพิจารณา นอกเหนือจากการพิจารณาค่ากระแสฟอลต์สูงสุดเนื่องจากหากอุปกรณ์ป้องกันไม่ทำงาน หรือทำงานช้าอาจส่งผลให้อุปกรณ์ในระบบเสียหาย หรือเกิดอันตรายต่อสาธารณชนในกรณีสายขาด เป็นต้น ทั้งนี้สามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากระแสฟอลต์ต่ำได้ 5 ปัจจัย ดังนี้

1. สภาวะการจ่ายไฟที่มีองค์ประกอบของแหล่งจ่ายน้อยที่สุด (Minimum source condition)

สภาวะการจ่ายไฟที่มีองค์ประกอบของแหล่งจ่ายน้อยที่สุด คือ สภาวะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า หรือสายไฟต่อขนานระบบน้อยที่สุด ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์รวมของระบบมีค่าสูง เช่น เกิดฟอลต์ในช่วงเวลาความต้องการโหลดน้อยๆ หรือช่วงเวลาที่มีการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า หรือสายไฟ เป็นต้น โดยข้อมูลค่ากระแสลัดวงจรที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้ในการออกแบบระบบป้องกัน เป็นข้อมูลในสภาวะการจ่ายไฟที่มีองค์ประกอบของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แหล่งจ่ายมากที่สุดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ดังนั้นการใช้ข้อมูลดังกล่าวในการออกแบบระบบป้องกัน อาจจะไม่ครอบคลุมในกรณีเกิดฟอลต์ในสภาวะการจ่ายไฟที่มีองค์ประกอบของแหล่งจ่ายน้อยที่สุด

2. ความต้านทานอาร์ก (Arc resistance)

Sweeting (2012) ผลกระทบของอาร์กโวลต์เตจซึ่งจะมีผลให้ค่ากระแสฟอลต์ลดลงนั้นจะส่งผลกระทบต่อระบบป้องกันที่ออกแบบไว้ เช่น เพิ่มเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ทำให้อุปกรณ์ที่อยู่ในระบบต้องทนรับต่อความร้อนที่เกิดขึ้นก่อนที่อุปกรณ์ป้องกันจะปลดในส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ บางกรณีค่ากระแสฟอลต์ที่มีค่าอาร์กโวลต์เตจมากอาจทำให้ค่ากระแสฟอลต์มีค่าต่ำกว่าค่ากระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันได้ (ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันทำงาน)

ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างเกิดฟอลต์ไม่ว่าจะเป็นฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินจะส่งผลทำให้กระแสฟอลต์มีค่าลดลงโดยเฉพาะใช้สายหุ้มฉนวนหรือสาย SAC จึงจำเป็นต้องนำค่าความต้านทานอาร์กมาพิจารณาในการออกแบบระบบป้องกันด้วย

3. ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault location)

ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่ห่างจากสถานีไฟฟ้า จะมีค่ากระแสฟอลต์ต่ำกว่าตำแหน่งฟอลต์ใกล้สถานีไฟฟ้า เนื่องจากอิมพีแดนซ์รวมมีค่าสูงกว่า ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์จะเป็นปฏิภาคกับขนาดของกระแสฟอลต์ ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีข้อมูลของความยาวสายทั้งจากผังการจ่ายไฟ หรือข้อมูลแผนที่ภูมิสารสนเทศระบบไฟฟ้า (GIS) จึงสามารถวิเคราะห์หาค่ากระแสฟอลต์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบจำหน่ายได้ โดยเฉพาะในส่วนของปลายสายของระบบจำหน่ายซึ่งมีค่ากระแสฟอลต์ต่ำ เพื่อนำไปประกอบในการพิจารณาการออกแบบระบบป้องกัน

4. ชนิดของฟอลต์ (Fault type)

ฟอลต์แต่ละชนิดนั้นมีขนาดกระแสฟอลต์ที่แตกต่างกัน เช่น ในกรณีค่าความต้านทานดินสูง ค่าฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส จะมีค่ากระแสฟอลต์สูงกว่าฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน เป็นต้น โดยทั่วไปในการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจะพิจารณาฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟสในกรณีของเฟสฟอลต์ และฟอลต์ 1 สายเฟสลงดินในกรณีของกราวด์ฟอลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ความต้านทานดิน (Ground resistance)

United States Department of Agriculture (1998) ค่าความต้านทานดินจะมีผลต่อค่ากระแสฟอลต์ในกรณีกลุ่มฟอลต์ลงดิน ยิ่งค่าความต้านทานดินมาก ค่ากระแสฟอลต์ก็จะมีค่าต่ำ ในส่วนการพิจารณาค่ากระแสฟอลต์ต่ำๆ ของฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน ใช้ค่าความต้านทานดินเท่ากับ 40 โอห์ม ในการพิจารณาออกแบบระบบป้องกัน

ดังนั้นการออกแบบระบบป้องกันที่ดี นอกจากต้องพิจารณาเฉพาะค่ากระแสฟอลต์สูงสุดและค่ากระแสโหลดสูงสุดแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาในส่วนของค่ากระแสฟอลต์ต่ำที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบโดยพิจารณาทั้ง 5 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น

สายตัวนำในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ.

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ. แบ่งชนิดของสายตัวนำขึงในอากาศที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันเป็น 3 ชนิด คือ สายอะลูมิเนียมเปลือย (Bare aluminium conductor) สายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด (Partial insulated cable, PIC) ซึ่งปัจจุบันได้มีการยกเลิกในการจัดซื้อแต่ยังมีการใช้งานเดิมอยู่ในระบบ และสายหุ้มฉนวนแบบเต็มพิกัด (Space aerial cable, SAC)

ปัญหาการใช้สายสายหุ้มฉนวน

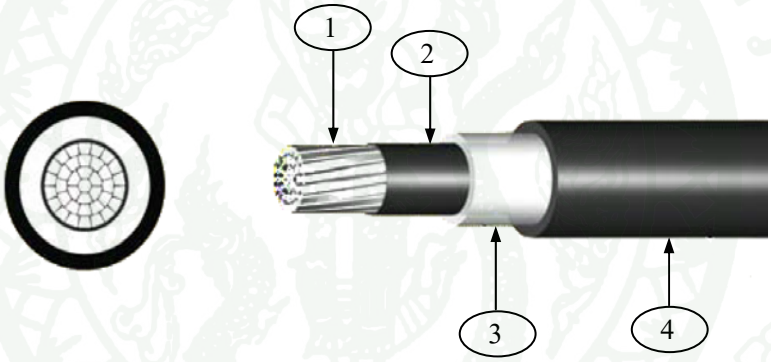
กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2552) ปัญหาการใช้งานสาย (สายหุ้มฉนวนสองชั้น) แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีวางสายบน Porcelain spacer เคลือบเซรามิคจะเกิดการเจาะทะลุของฉนวนสายบริเวณตำแหน่งที่วางบน Cable spacer จากความเครียดสนามไฟฟ้าสูง อันเนื่องมาจากค่า Dielectric constant ของวัสดุฉนวน XLPE (ฉนวนของสาย SAC) กับวัสดุเซรามิคที่ใช้เคลือบผิว Porcelain spacer มีค่าแตกต่างกันมาก ประกอบกับระยะห่างระหว่างเฟสของ Porcelain spacer มีค่าไม่เหมาะสม ทำให้ฉนวนสาย SAC เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วจนทำให้เกิดวาบไฟตามผิวระหว่างเฟส กรณีสายบน Porcelain spacer เคลือบเทปลอน เนื่องจากมีการลอกของผิวเทปลอน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะส่งผลให้ฉนวนสาย SAC ตรงตำแหน่งที่วางบน Spacer เสื่อมสภาพเจาะเป็นรูทะลุ และเกิดวาบไฟทำให้สาย SAC ขาด 2 เฟส (ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส) หรือขาด 3 เฟส (ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส) จากรายงานปัญหาดังกล่าวการออกแบบระบบป้องกันนอกจากต้องพิจารณาค่าขนาดกระแสเริ่มทำงานจากค่ากระแสโหลดสูงสุด และพิจารณาการจัดลำดับการทำงานจากค่ากระแส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟอลต์สูงสุดที่เกิดขึ้นแล้ว อีกปัจจัยที่สำคัญที่ไม่ควรมองข้ามคือ ค่าความต้านทานอาร์กที่เกิดขึ้น แต่ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันไม่มีข้อมูลการศึกษาผลของค่าความต้านทานอาร์กที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่ากระแสฟอลต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดค่าความต้านทานอาร์กในการจำลองการเกิดฟอลต์ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม

โครงสร้าง หรือส่วนประกอบของสาย Space aerial cable (SAC) ประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้

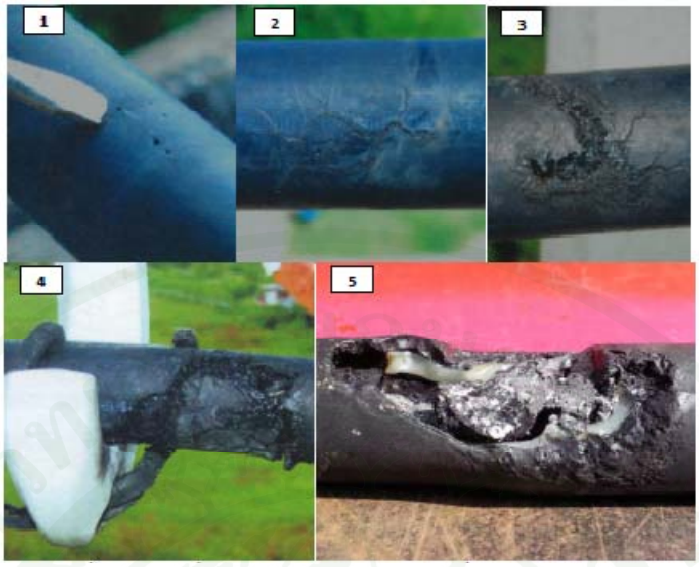
1. Conductor : Compact round concentric-lay-stranded aluminium conductor
2. Conductor shield : Semi-conductive Cross-linked polyethylene (XLPE)
3. Insulation : Cross-linked polyethylene (ไม่มีส่วนผสมของ Carbon black)
4. Jacket : Black Cross-linked polyethylene (มีส่วนผสมของ Carbon black 2%)



ภาพที่ 10 ส่วนประกอบของสาย Space aerial cable (SAC)

ที่มา: กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 การเสื่อมสภาพของฉนวนสาย SAC ตำแหน่งที่วางบน Porcelain spacer

ที่มา: กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2552)

ภาพที่ 12 ลักษณะการชำรุดของ Porcelain spacer เคลือบเซรามิค

ที่มา: กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 13 สาย SAC ขาด 3 เฟสตรงตำแหน่งบน Porcelain spacer เคลือบเซรามิค

ที่มา: กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2552)

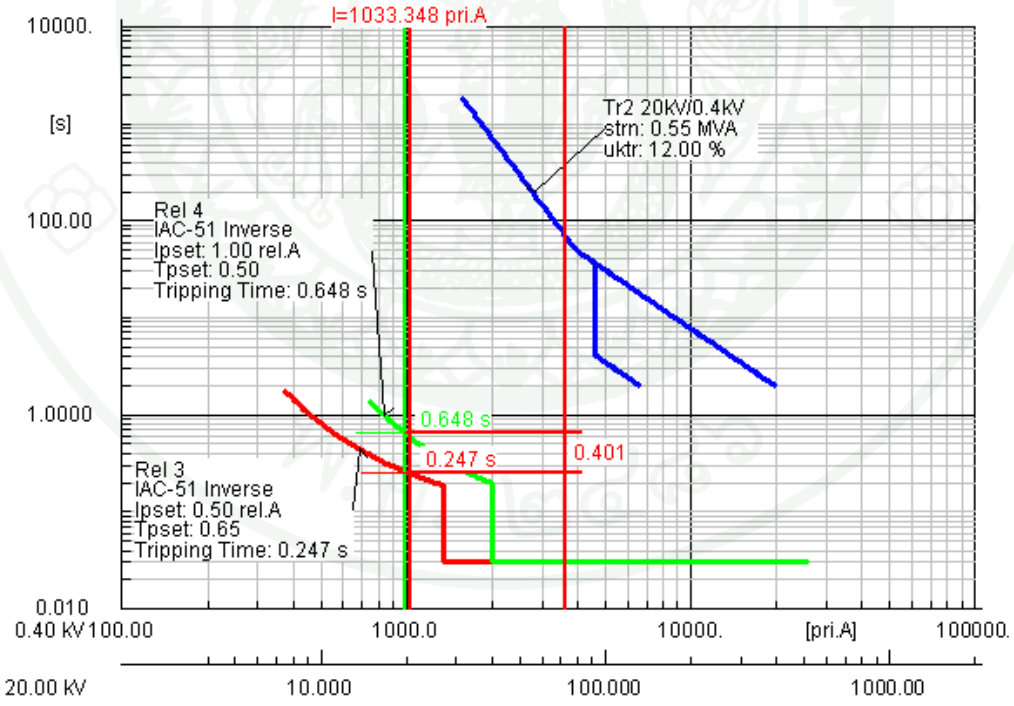
ภาพที่ 14 สาย SAC ขาด 2 เฟสตรงตำแหน่งบน Porcelain spacer เคลือบเทปลอน

ที่มา: กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory

DIgSILENT เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยบริษัท DIgSILENT GmbH ประเทศเยอรมัน โดย DIgSILENT ย่อมาจาก DIgital SImuLation and Electrical NeTwork calculation program ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถสร้างแบบจำลองด้วยรูปภาพ หรือป้อนข้อมูลด้วย Text file สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และภาคอุตสาหกรรม มีความสามารถในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าทั้งในสภาวะคงตัว (Steady state) และสภาวะทรานเซี้ยน (Transient) ในการใช้งานนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ใช้โปรแกรมดังกล่าวในการวิเคราะห์โหลดโฟล คำนวณกระแสฟอลต์ ค่าความสูญเสีย ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า และออกการทำงานของระบบป้องกัน เป็นต้น ในส่วนของการออกแบบระบบป้องกันนั้นสามารถเลือกชนิดของฟอลต์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ รวมทั้งสามารถแสดงเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในรูปของกราฟกระแสกับเวลา เพื่อใช้ในการออกแบบลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ตัวอย่างกราฟกระแส-เวลา แสดงความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft windows xp professional
3. โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory version 14.0
4. โปรแกรมระบบงานฐานข้อมูลระบบป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PSMS: Protection setting management system)
5. Microsoft office professional edition 2003
6. เครื่องพิมพ์ และอื่นๆ

วิธีการ

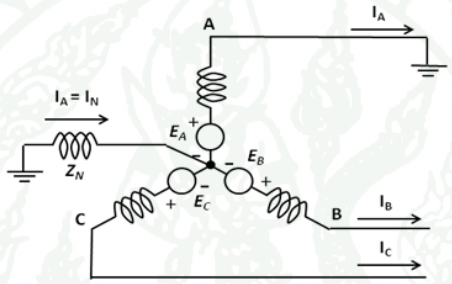
1. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสฟอลต์กับค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบในกรณีเกิดฟอลต์ทั้ง 4 ชนิด (A-B-C, A-G, B-C และ B-C-G)
2. วิเคราะห์หาวิธีจัดลำดับการทำงานรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบกับระบบป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ.
3. วิเคราะห์หาหลักเกณฑ์ในการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ
4. สร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0
5. จำลองการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆของความยาวของสายจำหน่าย (พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์ก และเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังลัดวงจร) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0
6. เปรียบเทียบการทำงานของระบบป้องกันเดิม กับระบบป้องกันใหม่ที่ใช้รีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสฟอลต์กับค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ

ในการนำฟังก์ชั่นการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานในระบบป้องกันสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาคือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสฟอลต์กับค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ เนื่องจากฟอลต์แต่ละชนิดนั้นมีค่ากระแสฟอลต์กับค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบแตกต่างกัน ดังนั้นการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต้องพิจารณาทั้งค่ากระแสฟอลต์ (ระบบป้องกันเดิม) และค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ

1. ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน (A-G) กรณีไม่พิจารณาค่าความต้านทานอาร์ก (R_f)



ภาพที่ 16 วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน

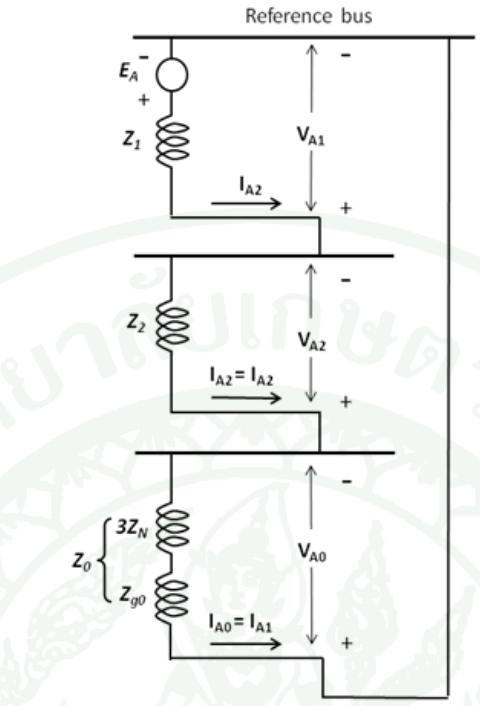
จะได้ว่า $I_B = 0, I_C = 0$ และ $V_A = 0$
แทนค่าในสมการเมตริกซ์ที่ 12

$$\begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_A \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

นั่นคือ $$I_{A0} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{I_A}{3}$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถเขียนเป็นเน็ตเวิร์กได้ดังนี้

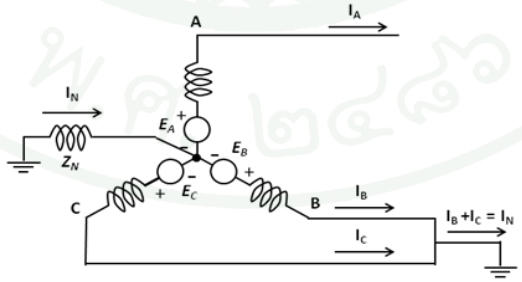
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A0} = \frac{E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \tag{25}$$

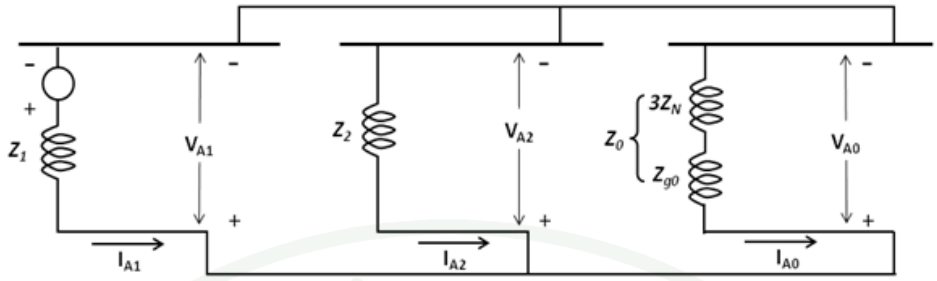
2. ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน (B-C-G) กรณีไม่พิจารณาค่าความต้านทานอาร์ก (R_f)



ภาพที่ 18 วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน

จะได้ว่า $I_A = 0$, $V_B = 0$ และ $V_C = 0$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



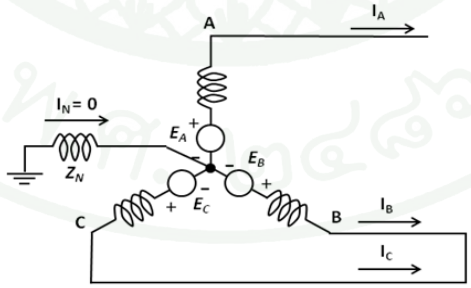
ภาพที่ 19 การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน

$$I_{A1} = \frac{E_A}{Z_1 + Z_2 Z_0/(Z_2+Z_0)} \tag{26}$$

$$I_{A2} = -I_{A1} \times \frac{Z_0}{Z_0 + Z_2} \tag{27}$$

$$I_{A0} = -I_{A1} \times \frac{Z_2}{Z_0 + Z_2} \tag{28}$$

3. ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส (B-C) กรณีไม่พิจารณาค่าความต้านทานอาร์ก (R_f)



ภาพที่ 20 วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

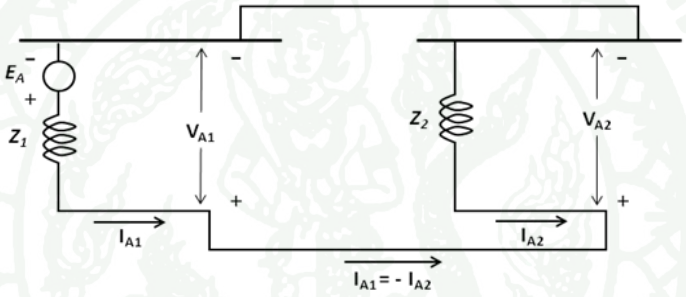
จะได้ว่า $I_A = 0$ และ $I_B = -I_C$

แทนค่าในสมการเมตริกซ์ 12

$$\begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ -I_C \\ I_C \end{bmatrix} \quad (29)$$

นั่นคือ $I_{A0} = 0$

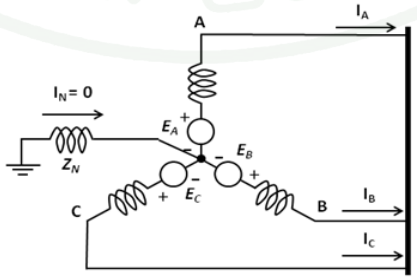
$I_{A2} = -I_{A1}$



ภาพที่ 21 การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส

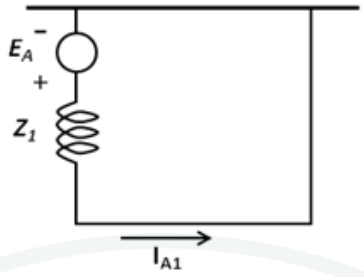
$$I_{A1} = -I_{A2} = \frac{E_A}{Z_1 + Z_2} \quad (30)$$

4. ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส (A-B-C) กรณีไม่พิจารณาค่าความต้านทานอาร์ก (R_f)



ภาพที่ 22 วงจรสมมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

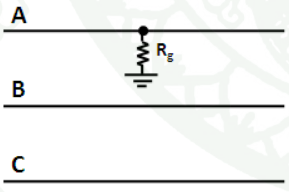


ภาพที่ 23 การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กกรณีฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส

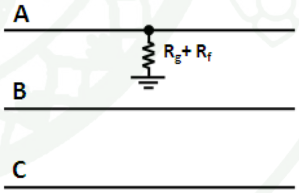
กรณีฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟสไม่มีกระแสฟอลต์ลำดับลบ และกระแสฟอลต์ลำดับศูนย์

$$I_{A1} = \frac{E_A}{Z_1} \qquad (31)$$

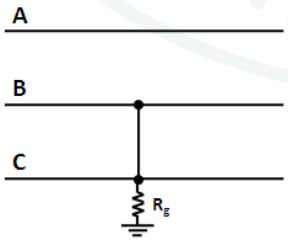
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ฟอลต์แต่ละชนิดข้างต้นไม่คิดผลของค่าความต้านทานอาร์ก ซึ่งในทางปฏิบัติหรือกรณีเกิดขึ้นจริง เช่น กิ่งไม้พาดสายไฟ หรือฟอลต์จากการเสื่อมสภาพฉนวนของสาย เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นจะมีค่าความต้านทานอาร์กเสมอ การพิจารณาค่าความต้านทานอาร์กเพิ่มนั้นส่งผลให้กระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง



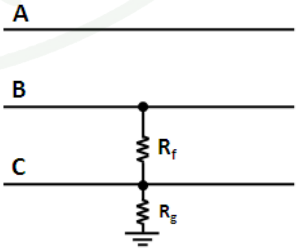
24-1 ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน



24-2 ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน + R_f



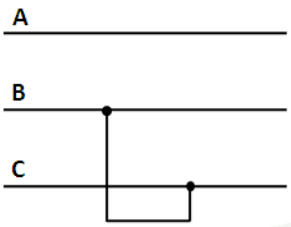
24-3 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน



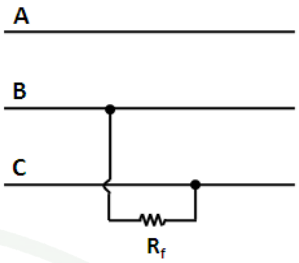
24-4 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน + R_f

ภาพที่ 24 การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กสำหรับฟอลต์ชนิดต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

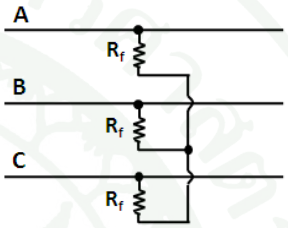


24-5 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส



24-6 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส + R_f

24-7 ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส



24-8 ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส + R_f

ภาพที่ 24 (ต่อ)

จากภาพที่ 24 การเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กสำหรับฟอลต์ชนิดต่างๆ เห็นได้ว่าในกรณีเพิ่มการพิจารณาค่าความต้านทานอาร์กทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่ากระแสฟอลต์มีค่าลดลง ทั้งนี้ในกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินนั้น รูปแบบการเชื่อมโยงเน็ตเวิร์กของความต้านทานอาร์กมีได้หลากหลายรูปแบบไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการพิจารณาการเกิดอาร์ก

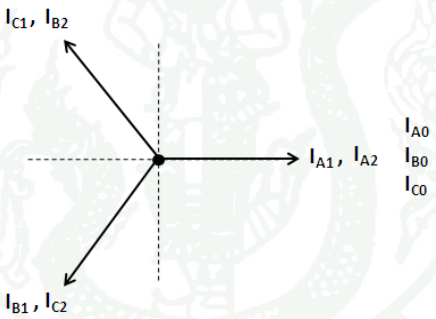
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิเคราะห์หาวิธีจัดลำดับการทำงานรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ
กับระบบป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ.

Schweitzer *et al*. (1997) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระแสฟอลต์ กับกระแสฟอลต์ลำดับลบของฟอลต์แต่ละชนิด คือ ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินโดยใช้วิธีการของเฟสเซอร์ในการอธิบาย ทั้งนี้ในส่วนของฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟสขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบเท่ากับศูนย์จึงไม่นำมาพิจารณา

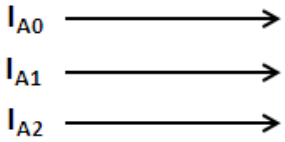
1. ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน (A-G)
   - ที่เฟส A ขนาดกระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบมีค่าเท่ากัน
   - ไม่มีกระแสฟอลต์เฟส B และเฟส C ($I_B = I_C = 0$)

   สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์ ได้



ภาพที่ 25 เฟสเซอร์ลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1997)



ภาพที่ 26 องค์ประกอบสมมาตรเฟส A

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากความสัมพันธ์ $I_B = I_{B0} + I_{B1} + I_{B2}$

$I_C = I_{C0} + I_{C1} + I_{C2}$

ขนาดกระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบมีค่าเท่ากัน จากภาพที่ 25

ดังนั้น $I_B = I_C = 0$

จากความสัมพันธ์ $I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2}$ (32)

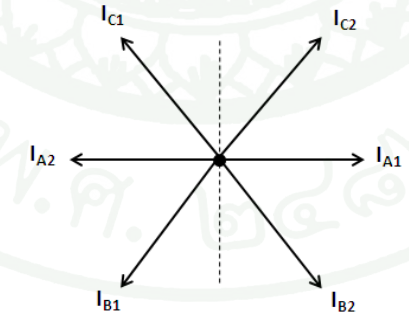
โดยที่ $I_{A0} = I_{A1} = I_{A2}$

แทนค่าในสมการ A ได้ $I_A = 3\, I_{A2}$

<u>ดังนั้น</u> ขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบเท่ากับ 0.333 เท่าของขนาดกระแสเฟส

2. ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส (B-C)
   - ไม่มีกระแสฟอลต์ลำดับลบ ($I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = 0$)
   - ไม่มีกระแสฟอลต์เฟส A ($I_A = 0$)

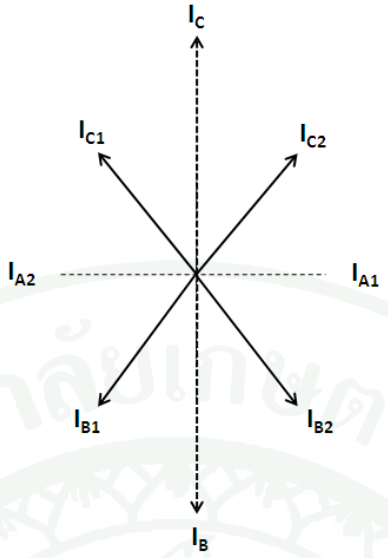
   สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์ ได้



ภาพที่ 27 เฟสเซอร์ลำดับบวก และลำดับลบ

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 ขนาดกระแสเฟส B และเฟส C

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1997)

จากความสัมพันธ์ $I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2}$

ทั้งนี้ $I_{A0} = 0$ และ $I_A = 0$

ดังนั้น $I_{A1} = - I_{A2}$

สามารถนำมาเขียนในเฟสเซอร์ได้ ดังภาพที่ 27

ผลรวมของกระแสเฟส B และเฟส C ดังภาพที่ 28 คือ

$$I_B = I_{B1}\cos 30° + I_{B2}\cos 30°$$
$$I_C = I_{C1}\cos 30° + I_{C2}\cos 30°$$

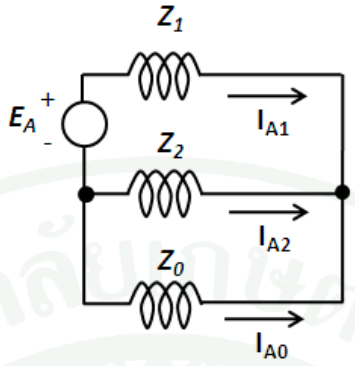
จะได้ $I_B = 1.732\, I_{B2} \longrightarrow I_{B2}/I_B = 0.577$

$I_C = 1.732\, I_{C2} \longrightarrow I_{C2}/I_C = 0.577$

ดังนั้น ขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบเท่ากับ 0.577 เท่าของขนาดกระแสเฟส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน



ภาพที่ 29 วงจรสมมูลใช้วิเคราะห์กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1997)

จากวงจรสมมูลย์ กฎการแบ่งกระแส

$$I_{A2} = - I_{A1} \frac{Z_0}{Z_0 + Z_2} \quad (33)$$

$$I_{A0} = - I_{A1} \frac{Z_2}{Z_0 + Z_2} \quad (34)$$

$$I_B = I_{A0} + a^2 I_{A1} + a I_{A2} \quad (35)$$

จากสมการ 33, 34 และ 35 จะได้ว่า

$$I_{A2} \leq 0.577 I_B$$

ดังนั้น ขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.577 เท่าของขนาดกระแสเฟส ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ และอิมพีแดนซ์ลำดับลบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากความสัมพันธ์ของขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบกับขนาดกระแสเฟสของการเกิดฟอลต์ทั้ง 4 ชนิด สรุปได้ดังตารางที่ 1 อัตราส่วนระหว่างกระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนระหว่างกระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์

ชนิดฟอลต์	กระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์ (I_2/I)
ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน	0.33
ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส	0.577
ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน	$\leq$ 0.577
ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส	0

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1997)

การนำฟังก์ชั่นลำดับลบมาใช้งาน เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1 อัตราส่วนระหว่างกระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์พบว่า ในกรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดินซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่ากระแสกราวด์ฟอลต์มีค่าต่ำ ประกอบกับค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบมีค่าเพียงหนึ่งในสามของค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น (ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์และกระแสเฟสฟอลต์มีค่าเท่ากัน) ซึ่งค่าดังกล่าวต่ำกว่าขนาดกระแสลำดับลบเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Kojovic and Witte (2001)) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดินอุปกรณ์ป้องกันจะทำงานด้วยฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์นั่นเอง

กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน อัตราส่วนระหว่างกระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์ไม่คงที่ โดยขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.577 เท่าของขนาดกระแสเฟสฟอลต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ และอิมพีแดนซ์ลำดับลบตามสมการที่ 33

ในส่วนกรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส ขนาดกระแสฟอลต์ลำดับลบมีค่าคงที่เท่ากับ 0.577 เท่าของขนาดกระแสเฟสฟอลต์ในทุกๆ เงื่อนไข

ดังนั้นในการพิจารณาจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกรณีนำฟังก์ชั่นลำดับลบมาใช้งาน จึงต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฟอลต์ลำดับลบต่อกระแสฟอลต์กรณีของฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส ($I_2/I = 0.577$) เนื่องจากค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบที่เกิดขึ้นในกรณีฟอลต์ระหว่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2 สายเฟสมีค่ามากที่สุด ส่งผลให้เวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟอลต์ชนิดอื่น

ฟังก์ชั่นลำดับลบกับอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ.

คณะทำงานแผนงานพัฒนาระบบงาน ฐานข้อมูล ระบบป้องกันของ กฟภ. (2554) ได้รวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์ และรุ่นของอุปกรณ์ป้องกันที่ กฟภ. มีใช้งาน จากการตรวจสอบพบว่า รีเลย์ชนิดไมโครโปรเซซเซอร์ส่วนใหญ่มีฟังก์ชั่นลำดับลบ อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ AREVA รุ่น P122, P123 และ P142 ผลิตภัณฑ์ ABB รุ่น REX 521 ผลิตภัณฑ์ SIEMENS รุ่น 7SJ531 เป็นต้น แต่ทั้งนี้ในส่วนของรีโคลสเซอร์ทุกผลิตภัณฑ์ที่ กฟภ. มีใช้งาน จากการตรวจสอบพบว่า ไม่มีฟังก์ชั่นลำดับลบ ดังนั้นในการนำฟังก์ชั่นลำดับลบมาใช้งานในระบบป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของ กฟภ. สามารถใช้เฉพาะรีเลย์กระแสเกินซึ่งติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า

วิเคราะห์หาหลักเกณฑ์ในการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

Schweitzer *et al*. (1992) กล่าวถึงวิวัฒนาการของรีเลย์จากอดีตแบบจานหมุน (Electromechanical relay) มาจนถึงยุคปัจจุบันแบบไมโครโปรเซซเซอร์ (Microprocessor relay) ที่มีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นกว่ารีเลย์แบบเดิม ทั้งในส่วนของการติดตั้งใช้งาน และการเลือกใช้ฟังก์ชั่นต่างๆ ในหัวข้อ “Other distribution protection advances” ได้แสดงข้อดีในการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบคือ การตั้งค่าขนาดกระแสเริ่มทำงานนั้นไม่ขึ้นกับค่ากระแสโหลด เช่นเดียวกันกับการตรวจจับด้านเฟส ซึ่งแตกต่างจากการตรวจจับเดิมที่ขนาดกระแสเริ่มทำงานต้องมีค่ามากกว่ากระแสด้านโหลด ดังนั้นจึงทำให้รีเลย์จะทำงานได้เร็วกว่าวิธีการเดิม ทั้งนี้ได้สรุปเป็นตารางการใช้งาน ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบฟังก์ชั่นการทำงานระบบป้องกันเดิม กับระบบป้องกันใหม่

System condition	Current Generated			Traditional Primary Protection		New Primary Protection		
	Phase current	Negative-sequence current	Zero-sequence current	Phase Elements	Ground Elements	Phase Elements	Negative-sequence Element	Ground Elements
L-G	✓	✓	✓	–	✓	–	–	✓
L-L-G	✓	✓	✓	✓	✓	–	✓	✓
L-L	✓	✓	–	✓	–	–	✓	–
3L	✓	–	–	✓	–	✓	–	–
Balance load	✓	–	–	–	–	–	–	–

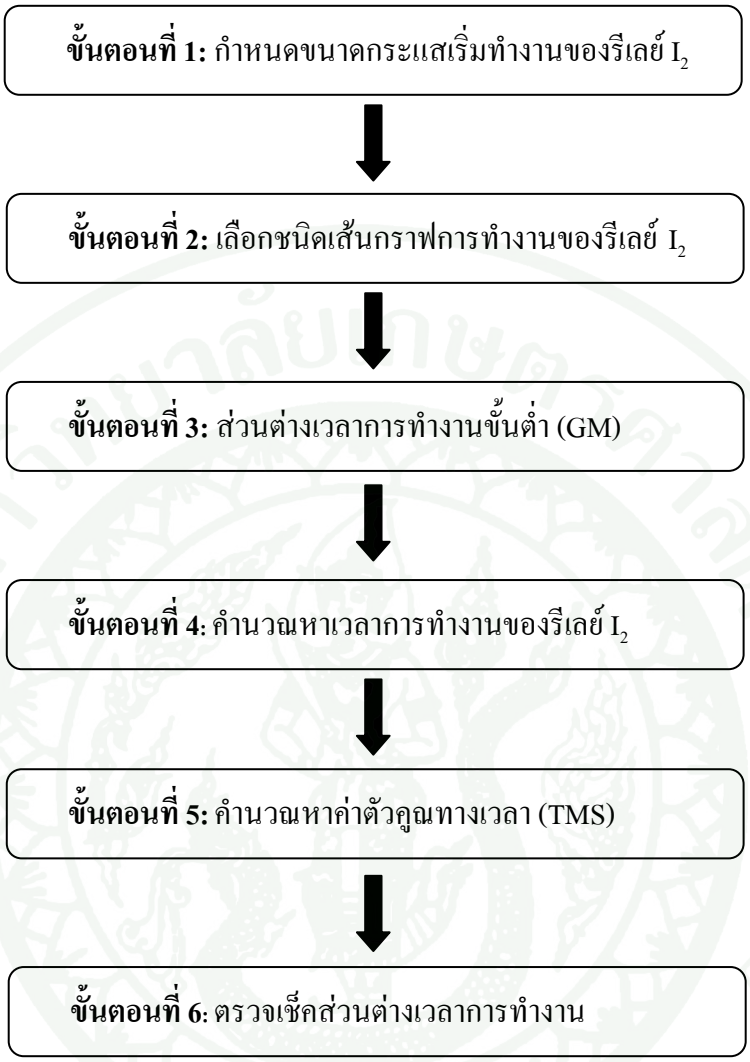
หมายเหตุ: L-G = ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน, L-L-G = ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน
L-L = ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส และ 3L = ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส

ที่มา: Schweitzer *et al*. (1992)

หลักเกณฑ์ในการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

การนำฟังก์ชั่นลำดับลบมาใช้งานร่วมกับระบบป้องกันนั้น ต้องมีหลักเกณฑ์ที่แตกต่างจากเกณฑ์ในการออกแบบระบบป้องกันเดิม เนื่องจากเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นค่ากระแสฟอลต์ และค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบมีค่าต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของฟอลต์ตามตารางที่ 1 จึงส่งผลต่อการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่จะต้องทำการพิจารณาในส่วนของฟังก์ชั่นลำดับลบเพิ่มเติม ดังนั้นในการจัดลำดับการทำงานจึงจำเป็นต้องเพิ่มการพิจารณาค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบและเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน โดยใช้เส้นกราฟการทำงานของระบบป้องกันเดิมประกอบในการปรับตั้งค่าการทำงาน สามารถสรุปหลักเกณฑ์ในการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ขั้นตอนที่ 1: หาขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ ($I_{pu,I2}$)

การหาขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีทราบขนาดกระแสลำดับลบสูงสุดที่เกิดจากภาวะไม่สมดุลในระบบ ขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบจะต้องสูงกว่าขนาดกระแสลำดับลบสูงสุดที่เกิดจากภาวะไม่สมดุลในระบบ

2. กรณีไม่ทราบขนาดกระแสลำดับลบสูงสุดที่เกิดจากภาวะไม่สมดุลในระบบ ขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบจะต้องไม่ต่ำกว่า 1/3 เท่าของขนาดกระแสโหลดสูงสุด (พิจารณาจากสภาวะไม่สมดุลในระบบกรณีกระแส 1 สายเฟส หรือ 2 สายเฟสหลุดออกจากระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งขนาดกระแสลำดับลบจะมีขนาดเท่ากับ 1/3 เท่าของกระแสเฟสสูงสุด หรือขนาดกระแสโหลดสูงสุด)

จากสมการที่ 12 $I_2 = \frac{I_A + a^2 I_B + aI_C}{3}$

กำหนดให้ $I_A = I_B = I_C = I$ = กระแสเฟส

- กรณีกระแส 1 สายเฟสหลุดออกจากระบบ (เฟส A) ดังนั้น $I_A = 0$

$$I_2 = \frac{\cancel{I_A} + a^2 I_B + aI_C}{3} = \frac{(a^2 + a)I}{3}$$

$$I_2 = \frac{-I}{3} \quad , \; a^2 + a = -1$$

<u>ดังนั้น</u> ขนาดของกระแสลำดับลบมีค่าเท่ากับ 1/3 เท่าของขนาดกระแสเฟส

- กรณีกระแส 2 สายเฟสหลุดออกจากระบบ (เฟส A และ B) ดังนั้น $I_A = I_B = 0$

$$I_2 = \frac{\cancel{I_A} + a^2 \cancel{I_B} + aI_C}{3} = \frac{aI_C}{3}$$

<u>ดังนั้น</u> ขนาดของกระแสลำดับลบมีค่าเท่ากับ 1/3 เท่าของขนาดกระแสเฟส

ขั้นตอนที่ 2: เลือกชนิดเส้นกราฟการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

เลือกชนิดเส้นกราฟการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบให้สอดคล้องกับเส้นกราฟการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันท้ายน้ำตัวถัดไป ในส่วนของงานวิจัยนี้ คือ เส้นกราฟการทำงานแบบช้าด้านเฟสของรีโคลสเซอร์ซึ่งโดยทั่วไปเส้นกราฟการทำงานของรีโคลสเซอร์จะเป็น EI curve

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนที่ 3: ส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำ (Grading margin: GM)

ส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำ คือ การจัดลำดับการทำงานระหว่างแต่ละอุปกรณ์ป้องกัน เช่น รีเลย์กับรีเลย์ รีเลย์กับรีโคลสเซอร์ หรือรีเลย์กับฟิวส์ ในส่วนของงานวิจัยนี้ คือ ระหว่างเวลาการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์กับเวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบเท่ากับ 0.15 วินาที

ขั้นตอนที่ 4: หาเวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

เวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบให้พิจารณาที่ค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสสูงสุดที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์ (ตำแหน่งติดตั้งรีโคลสเซอร์) โดยค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบสูงสุดจะเท่ากับ 0.577 เท่าของค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสสูงสุดตามตารางที่ 1 ($I_{2,\,max} = 0.577 I_{P\text{-}P,\,max}$)

1. อ่านค่าเวลาการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์($t_{Recloser}$) โดยใช้ค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสสูงสุด

2. หาค่าเวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ ($t_{Relay,I2}$) ที่ค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสจากสมการที่ 36

$$t_{Relay,\,I2} = t_{Recloser} + GM \qquad (36)$$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณหาค่าตัวคูณทางเวลา

คำนวณหาค่าตัวคูณทางเวลาจากสมการเส้นกราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์ ซึ่งมีให้เลือกใช้งาน 4 ชนิด ได้แก่ SI, VI, EI และ LI สมการที่ 21, 22, 23 และ 24 ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 6: ตรวจเช็คส่วนต่างเวลาการทำงาน

ตรวจเช็คส่วนต่างเวลาการทำงานระหว่างรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบกับรีโคลสเซอร์ในกรณีฟอลต์ชนิดอื่น (ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน)

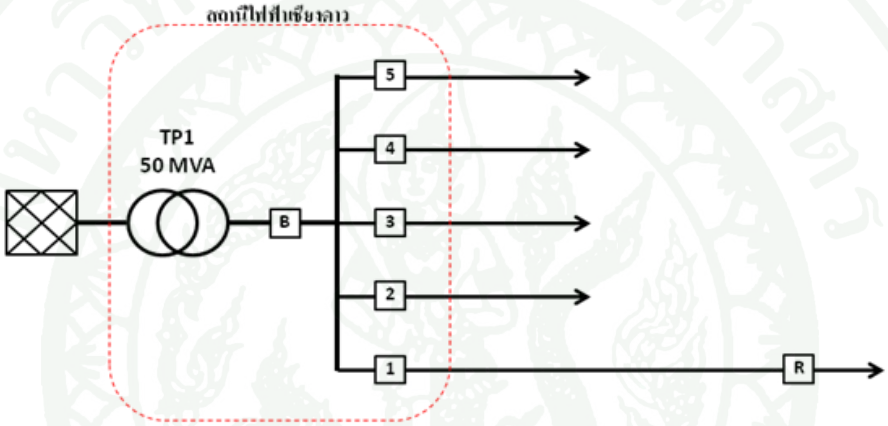
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตั้งค่ารีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ

ข้อมูล

- สถานี

ฟีดเดอร์ที่ 1 ของสถานีไฟฟ้าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่การจ่ายไฟ ต. เมืองงาย อ. เวียงแหง หม้อแปลงกำลังไฟฟ้าขนาด 1×50 MVA, Outgoing feeder จำนวน 5 ฟีดเดอร์ ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวแสดงรูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าเชียงดาว

- อุปกรณ์ป้องกัน (คณะทำงานแผนงานพัฒนาระบบงาน ฐานข้อมูล ระบบป้องกันของ กฟภ. 2554)

1. รีเลย์กระแสเกิน Incoming feeder ผลิตภัณฑ์ AREVA รุ่น P122, อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส 1800/1 A

Phase O/C		Ground O/C	
I>	= 1,260 A	I>	= 1,260 A
TMS	= 0.05 SI	TMS	= 0.05 SI
I>>	= 18,000 A	I>>	= 18,000 A

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. รีเลย์กระแสเกิน Outgoing feeder ผลิตภัณฑ์ AREVA รุ่น P123, อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส 600/1 A

Phase O/C		Ground O/C	
I>	= 450 A	I>	= 120 A
TMS	= 0.05 VI	TMS	= 0.25 VI
I>>	= 10,000 A	I>>	= 10,000 A

3. รีโคลสเซอร์ผลิตภัณฑ์ Cooper รุ่น 4C

Phase O/C 1	= 150 A	Curve type	= 101 (OFF)
Phase O/C 2		Curve type	= 116
Ground O/C 1	= 50 A	Curve type	= 102 (OFF)
Ground O/C 2		Curve type	= 165

- ค่ากระแสฟอลต์ (จากการจำลองด้วยโปรแกรม DIgSILENT Power Factory 14.0)

1. ค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสสูงสุดที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันของรีโคลสเซอร์

$$I_{P\text{-}P,\ max} = 1{,}121.67 \text{ แอมแปร์ ที่เวลา } t_{Recloser} = 0.070 \text{ วินาที}$$

2. ค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลำดับลบสูงสุด

$$I_{2,\ max} = 647.59 \text{ แอมแปร์ } (=1{,}121.67 \times 0.577)$$

คำนวณ

1. หาขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ ($I_{pu,I2}$) กรณีไม่ทราบขนาดกระแสลำดับลบสูงสุดที่เกิดจากภาวะไม่สมดุลในระบบ

$$I_{pu,\ I2} = \frac{1}{3} \text{ เท่าของขนาดกระแสโหลดสูงสุด}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$I_{pu,\,I2} = \frac{1}{3} \times 420 = \underline{140}$ แอมแปร์ (ค่ากระแสโหลดสูงสุดเท่ากับ 420 แอมแปร์)

เลือก 144 แอมแปร์ เนื่องจากขนาดกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ผลิตภัณฑ์ AREVA รุ่น P123 เพิ่ม-ลดลำดับละ 0.01 แอมแปร์ (หรือเพิ่ม-ลดลำดับละ 60 แอมแปร์ด้านปฐมภูมิ)

2. เลือกชนิดเส้นกราฟการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบให้สอดคล้องกับเส้นกราฟการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์ด้านเฟส โดยทั่วไปเส้นกราฟการทำงานของรีโคลสเซอร์เป็น EI curve

= EI curve (เส้นกราฟการทำงานของรีโคลสเซอร์เป็นชนิด EI curve)

3. ส่วนต่างเวลาการทำงานขั้นต่ำระหว่างเวลาการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์กับเวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบเท่ากับ 0.15 วินาที

4. เวลาการทำงานของรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบ ($t_{Relay,\,I2}$) จากสมการที่ 36

$$t_{Relay,\,I2} = t_{Recloser} + GM$$
$$= 0.070 + 0.15 = \underline{0.22} \text{ วินาที}$$

5. หาค่าตัวคูณทางเวลา (TMS) จากสมการเส้นกราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์

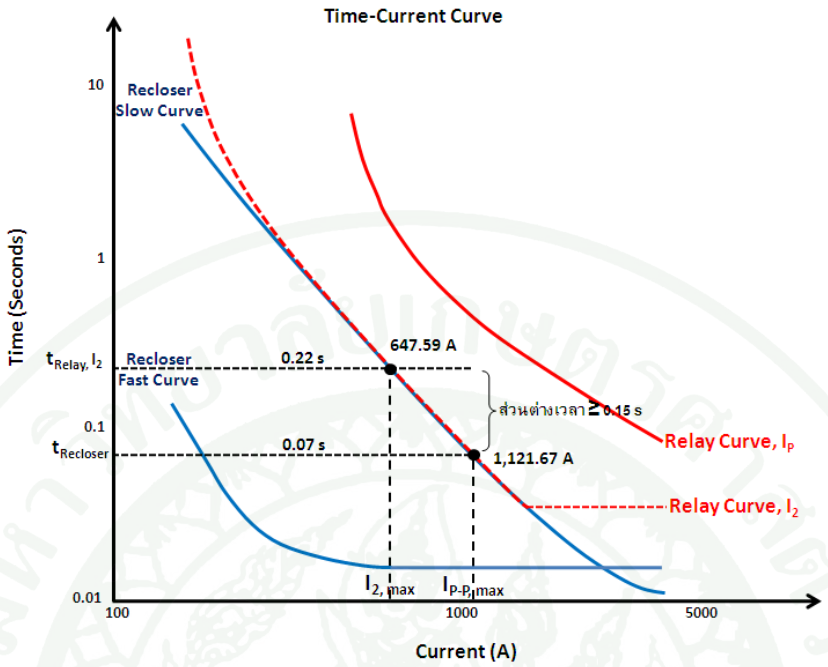
$$t = \frac{80 \times TMS}{I^2 - 1} \quad ; \text{EI curve}$$

แทนค่า $0.22 = \frac{80 \times TMS}{(647.59/144)^2 - 1}$

$TMS = 0.054$ เลือก $\underline{0.05}$

<u>สรุป</u> ค่าปรับตั้งค่ารีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบดังนี้ $I_{pu,I2} = 144$ แอมแปร์, Curve type = EI curve และ TMS = 0.05

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 31 เส้นกราฟการทำงานด้านเฟสของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ ฟีดเดอร์ที่ 1 สถานีไฟฟ้าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

สร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT Power Factory 14.0

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT Power Factory 14.0 สิ่งสำคัญ คือ การป้อนค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แหล่งจ่ายไฟ สายไฟ และอุปกรณ์ป้องกัน เป็นต้น

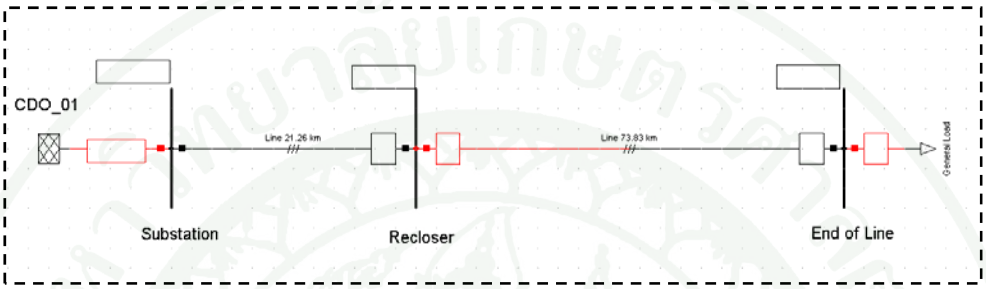
1. สร้าง Single line diagram ของฟีดเดอร์ที่ 1 สถานีไฟฟ้าเชียงดาว ตามภาพที่ 32 ประกอบด้วย

1.1 External grid สัญลักษณ์ แหล่งจ่ายไฟต้นกำลัง โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้ข้อมูลจากรายงานค่ากระแสฟอลต์สถานีไฟฟ้าเชียงดาว

1.2 Line สัญลักษณ์ สาย SAC ขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

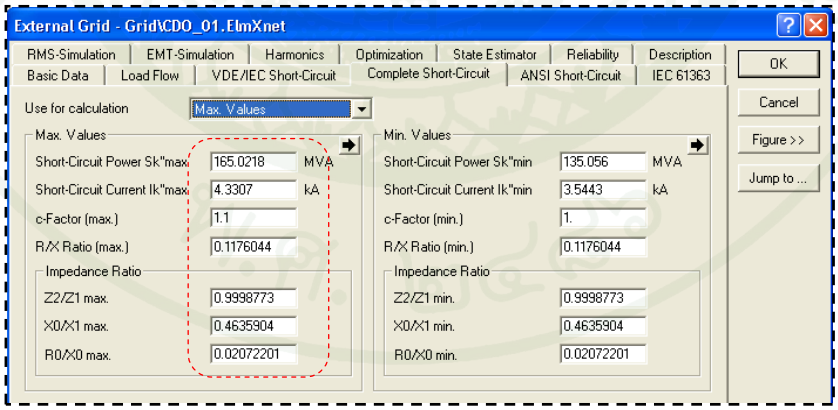
1.3 Terminal สัญลักษณ์ ตำแหน่ง Substation ประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส 600/1 แอมแปร์ และรีเลย์ ตำแหน่ง Recloser ประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส 1/1 แอมแปร์ และรีโคลสเซอร์



ภาพที่ 32 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวฟีดเดอร์ที่ 1 สถานีไฟฟ้าเชียงดาว

2. ป้อนพารามิเตอร์ และข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ

2.1 External grid ที่แทป VDE/IEC Short-Circuit ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ป้อนค่าพารามิเตอร์ External grid ของสถานีไฟฟ้าเชียงดาว

จากข้อมูลรายงานค่ากระแสฟอลต์สถานีไฟฟ้าเชียงดาว ค่าพารามิเตอร์ของค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของแหล่งจ่ายต้นกำลัง (Driving point) ด้านระบบ 22 kV ประกอบด้วย

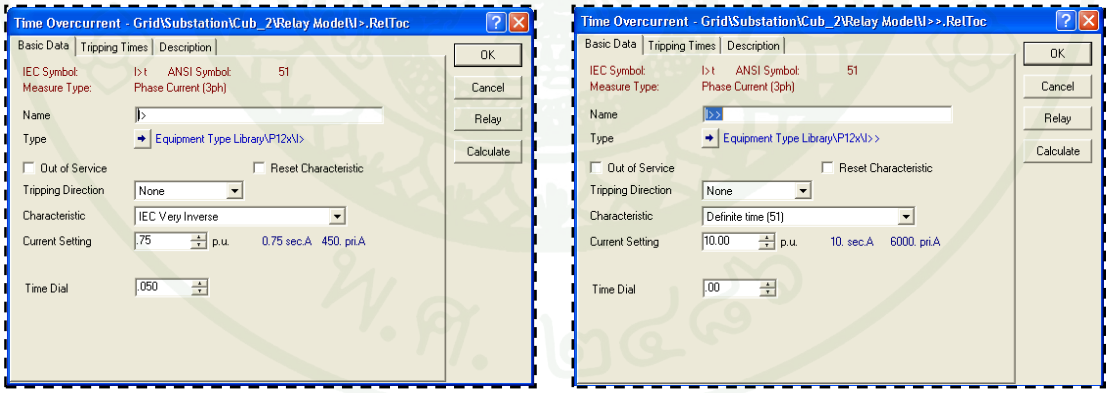
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Short-Circuit Current Sk"max	= 4.3307 kA	(=1.1×3.937)
C-Factor (max.)	= 1.1	
R/X Ratio (max.)	= 0.1176044	(R1=0.07786, X1=0.66205)
Z2/Z1 max.	= 0.9998773	
X0/X1 max.	= 0.4635904	(X0=0.30692, X1=0.66205)
R0/X0 max.	= 0.02072201	(R0=0.00636, X0=0.30692)

2.2 ข้อมูลสาย ค่าพารามิเตอร์อิมพีแดนซ์ของสาย SAC ขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร มีค่าต่างๆ ดังนี้

R0	= 0.402942	โอห์มต่อกิโลเมตร
X0	= 1.857875	โอห์มต่อกิโลเมตร
R1, R2	= 0.210660	โอห์มต่อกิโลเมตร
X1, X2	= 0.298586	โอห์มต่อกิโลเมตร

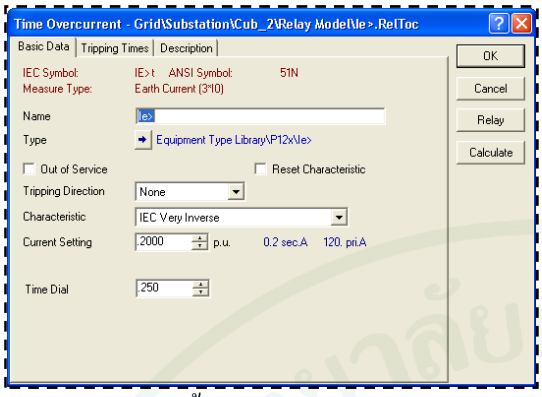
2.3 ข้อมูลรีเลย์ จากระบบงาน ฐานข้อมูล ระบบป้องกันของ กฟภ. (PSMS)



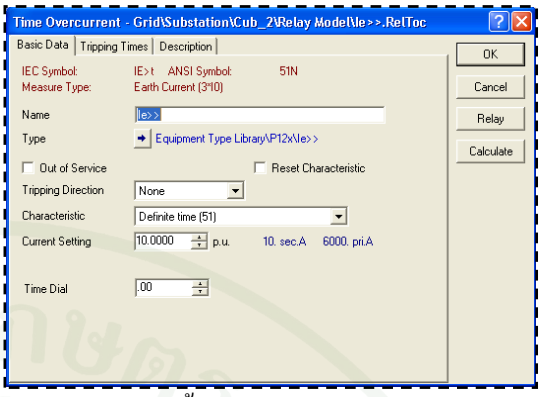
ก) การปรับตั้ง Inverse time ด้านเฟส ข) การปรับตั้ง Definite time ด้านเฟส

ภาพที่ 34 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งรีเลย์กระแสเกิน

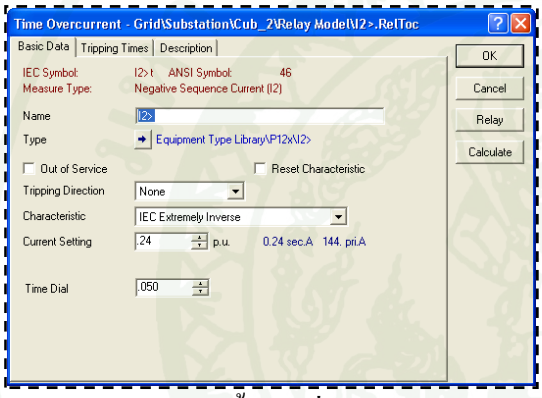
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



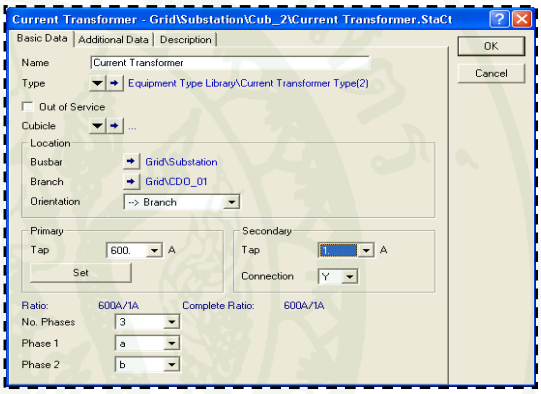
ค) การปรับตั้ง Inverse time ด้านกราวด์



ง) การปรับตั้ง Definite time ด้านกราวด์



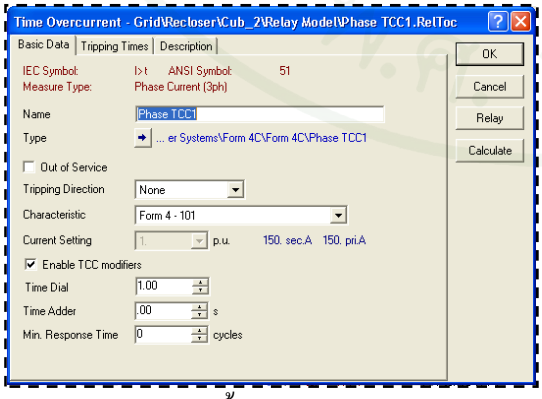
จ) การปรับตั้งฟังก์ชั่นลำดับลบ



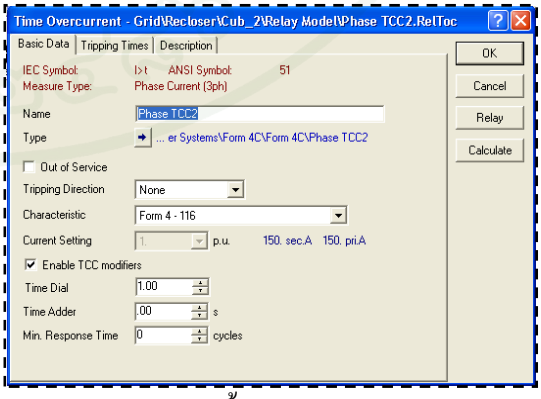
ฉ) CT อัตราส่วน 600:1

ภาพที่ 34 (ต่อ)

2.4 ข้อมูลรีโคลสเซอร์จากระบบงาน ฐานข้อมูล ระบบป้องกันของ กฟภ. (PSMS)



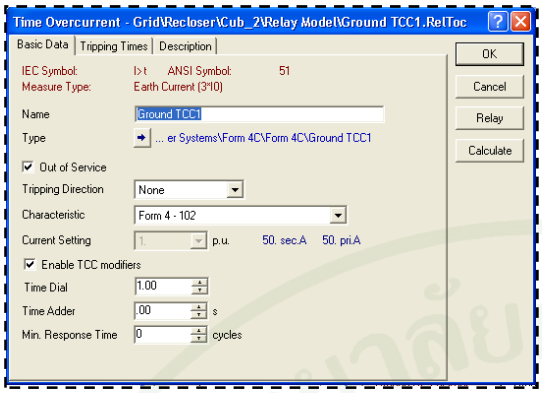
ก) การปรับตั้งด้านเฟส (แบบเร็ว)



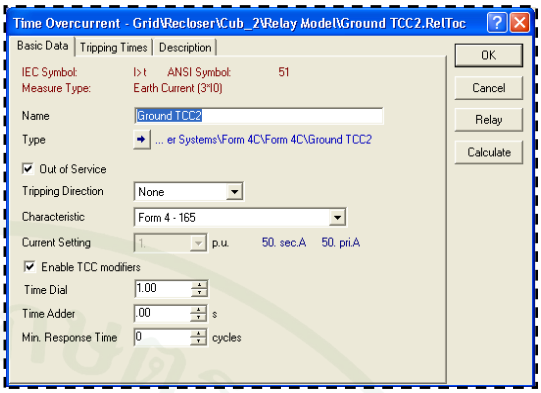
ข) การปรับตั้งด้านเฟส (แบบช้า)

ภาพที่ 35 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งค่ารีโคลสเซอร์ และหม้อแปลงกระแส

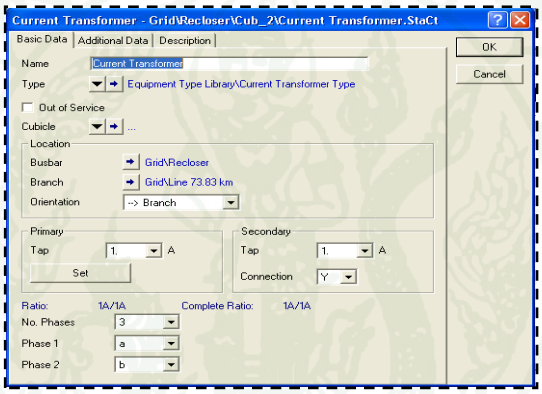
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ค) การปรับตั้งด้านกราวด์ (แบบเร็ว)



ง) การปรับตั้งด้านกราวด์ (แบบช้า)



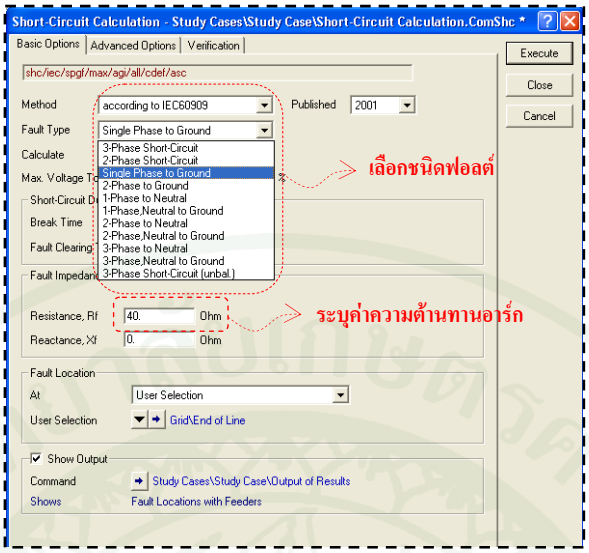
ค) CT อัตราส่วน 1:1

ภาพที่ 35 (ต่อ)

3. วิเคราะห์หาค่ากระแสฟอลต์ชนิดต่างๆ

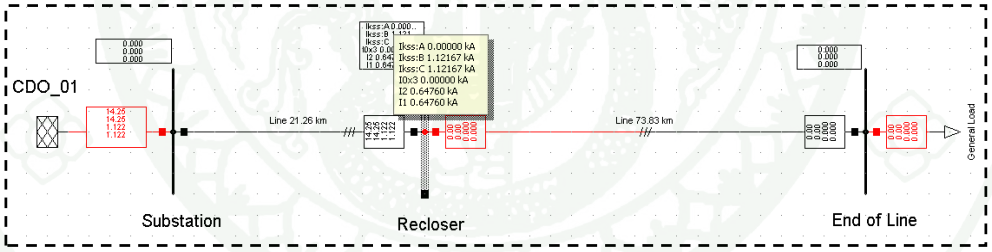
3.1 เลือกชนิดฟอลต์ ป้อนค่าความต้านทานอาร์กโดยเปลี่ยนแปลงค่าดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม และค่าความต้านทานดินเท่ากับ 40 โอห์มในกรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 เลือกชนิดฟอลต์ ป้อนค่าความต้านทานอาร์ก และค่าความต้านทานดิน

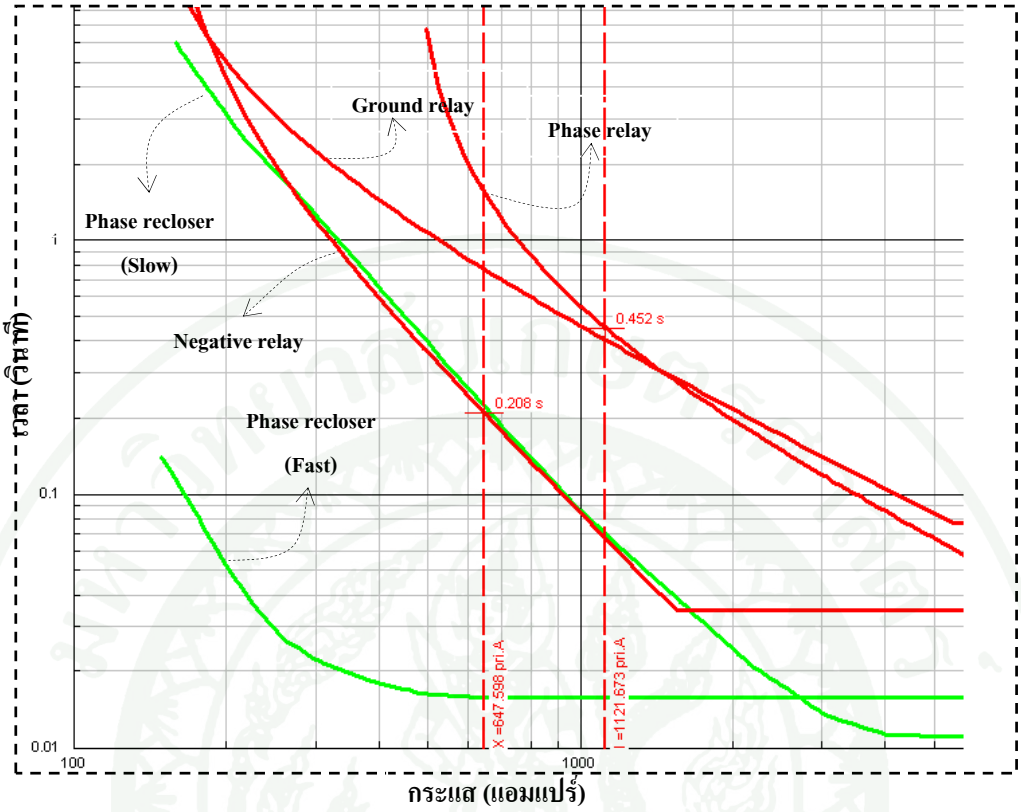
3.2 ตัวอย่างค่ากระแสฟอลต์



ภาพที่ 37 ตัวอย่างในการแสดงค่ากระแสฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส

3.3 กราฟกระแส-เวลาด้านเฟส และฟังก์ชั่นลำดับลบของรีเลย์ และด้านเฟสของรีโคลสเซอร์ พร้อมแสดงเวลาทำงานของแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่ค่ากระแสฟอลต์นั้นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 กราฟกระแส-เวลาด้านเฟสของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการจำลองการเกิดฟอลต์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0 พิจารณาฟอลต์ทั้ง 3 ชนิดคือ ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน ทั้งนี้ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟสไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากกระแสฟอลต์ลำดับลบเป็นศูนย์ โดยได้แสดงผลการจำลองดังนี้

1. ตารางค่ากระแสฟอลต์ ณ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ทั้งในส่วนของกระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ (ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน) และกระแสฟอลต์ลำดับลบ

2. ตารางเปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ระหว่างระบบป้องกันเดิม (ฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และกราวด์ฟอลต์) กับระบบป้องกันใหม่ (ฟังก์ชั่นลำดับลบ)

3. แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์กรณีตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์

ทั้งนี้ในส่วนของตารางค่ากระแสฟอลต์ ตารางเปรียบเทียบเวลาการทำงาน และแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระยะของขอบเขตป้องกันสำรองของรีเลย์แสดงในภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

จากผลการจำลองการเกิดฟอลต์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0 เปรียบเทียบการทำงานของรีเลย์ ระหว่างระบบป้องกันเดิมที่มีฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ กับระบบป้องกันใหม่ที่เพิ่มฟังก์ชั่นลำดับลบ โดยมีเงื่อนไขในการศึกษา ดังนี้

1. ชนิดฟอลต์ที่พิจารณา คือ ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน ทั้งนี้ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟสไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากกระแสฟอลต์ลำดับลบเป็นศูนย์

2. กำหนดค่าความต้านทานดิน (R_g) ของฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินเท่ากับ 40 โอห์ม

3. เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์ก (R_f) ดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 โอห์ม

4. เปลี่ยนแปลงขนาดกำลังลัดวงจร ดังนี้ 100%, 95%, 90%, 85% และ 80% ของค่า $MVA_{SC,\,MAX}$ ($MVA_{SC,\,MAX}$ = 165.02 MVA)

5. เปลี่ยนแปลงตำแหน่งการเกิดฟอลต์
   5.1 ฟอลต์บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์
   5.2 ฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังลัดวงจรต่อค่ากระแสฟอลต์

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างค่ากระแสเฟสฟอลต์ กรณีฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน (ไม่คิดผลของความต้านทานดิน และความต้านทานอาร์ก) โดยตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ (สถานีไฟฟ้า) และรีโคลสเซอร์ (ระยะทาง 21.46 กิโลเมตร)

ตารางที่ 3 ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังลัดวงจรต่อค่ากระแสเฟสฟอลต์กรณีฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน

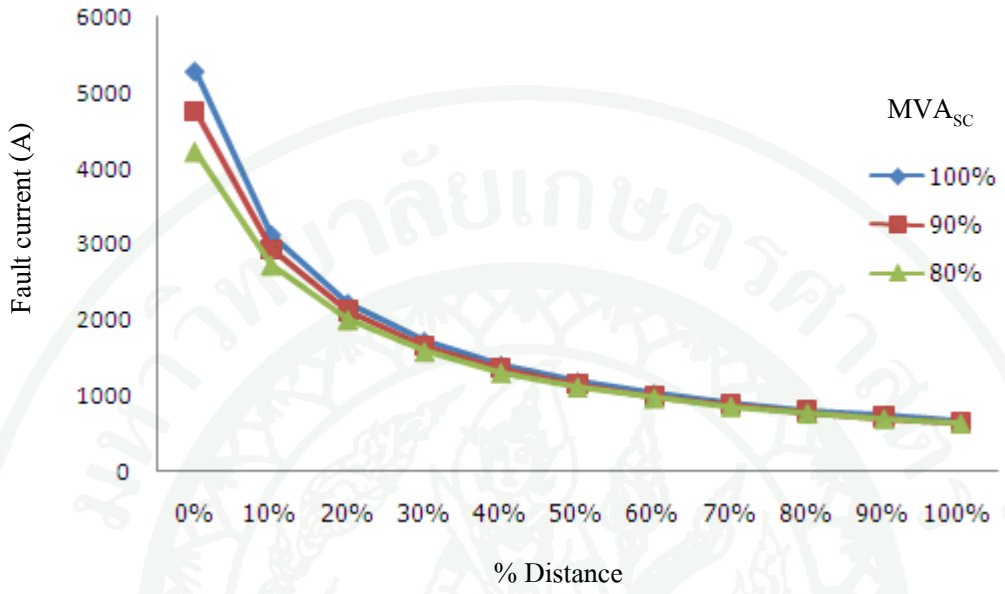
ระยะทาง (%)	กระแสเฟสฟอลต์ (แอมแปร์)		
	100% of $MVA_{SC, MAX}$	90% of $MVA_{SC, MAX}$	80% of $MVA_{SC, MAX}$
0%	5,285.06	4,756.60	4,228.26
10%	3,127.64	2,935.50	2,726.11
20%	2,215.51	2,117.78	2,007.05
30%	1,714.27	1,655.37	1,587.16
40%	1,397.73	1,358.42	1,312.26
50%	1,179.78	1,151.70	1,118.42
60%	1,020.60	999.56	974.43
70%	899.27	882.91	863.28
80%	803.72	790.65	774.88
90%	726.53	715.84	702.91
100%	659.69	650.82	640.05

หมายเหตุ: $MVA_{SC, MAX}$ = 165.02 MVA (100%)

ระยะทาง 100% = 21.46 กิโลเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากข้อมูลกระแสฟอลต์ตารางที่ 3 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฟอลต์และขนาดกำลังลัดวงจรได้ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แผนภาพความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังลัดวงจร

เมื่อลดขนาดกำลังลัดวงจร ณ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์เดียวกัน ค่ากระแสฟอลต์มีค่าลดลง โดยในช่วง 0-50% (ประมาณ 10 กิโลเมตรแรก) ค่ากระแสฟอลต์มีอัตราการลดลงสูง (มีความแตกต่างค่อนข้างมาก) แต่เมื่อตำแหน่งการเกิดฟอลต์ห่างจากสถานีไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสฟอลต์มีอัตราการลดลงต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดินต่อค่ากระแสฟอลต์

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างค่ากระแสเฟสฟอลต์ กรณีฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน (ไม่คิดผลของความต้านทานอาร์ก) โดยตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ (สถานีไฟฟ้า) และรีโคลสเซอร์

ตารางที่ 4 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดินต่อค่ากระแสเฟสฟอลต์กรณีฟอลต์ชนิด 1 สายเฟสลงดิน

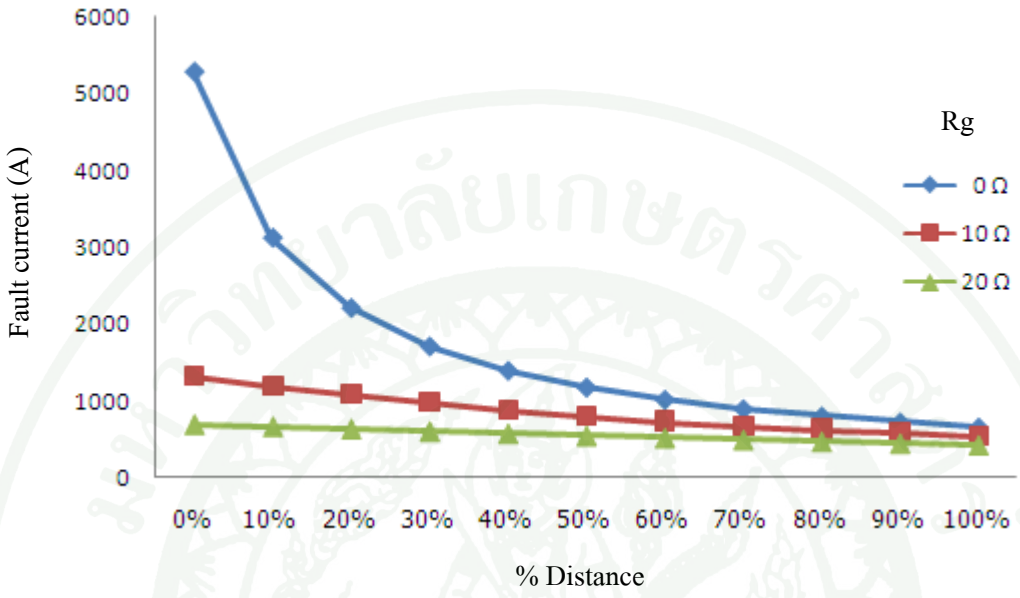
ระยะทาง (%)	กระแสเฟสฟอลต์ (แอมแปร์)		
	ค่าความต้านทานดิน 0 โอห์ม	ค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม	ค่าความต้านทานดิน 20 โอห์ม
0%	5,285.06	1,319.17	683.97
10%	3,127.64	1,194.48	656.17
20%	2,215.51	1,076.99	627.14
30%	1,714.27	972.02	597.87
40%	1,397.73	880.57	569.11
50%	1,179.78	801.70	541.34
60%	1,020.60	733.82	514.87
70%	899.27	675.25	489.88
80%	803.72	624.49	466.42
90%	726.53	580.25	444.50
100%	659.69	538.90	422.06

หมายเหตุ: MVA_{SC} = 165.02 MVA (100%)

ระยะทาง 100% = 21.46 กิโลเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากข้อมูลกระแสฟอลต์ตารางที่ 4 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฟอลต์ และความต้านทานดินได้ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แผนภาพความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน

เมื่อคิดผลของค่าความต้านทานดิน พบว่า เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานดิน ณ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์เดียวกัน ค่ากระแสฟอลต์จะมีค่าลดลง โดยในช่วง 0-50% (ประมาณ 10 กิโลเมตรแรก) ค่ากระแสฟอลต์มีอัตราการลดลงสูง (มีความแตกต่างค่อนข้างมาก) แต่เมื่อตำแหน่งการเกิดฟอลต์ห่างจากสถานีไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสฟอลต์มีอัตราการลดลงต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์กต่อค่ากระแสฟอลต์

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างค่ากระแสเฟสฟอลต์ กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสโดยตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ (สถานีไฟฟ้า) และรีโคลสเซอร์

ตารางที่ 5 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์กต่อค่ากระแสเฟสฟอลต์กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส

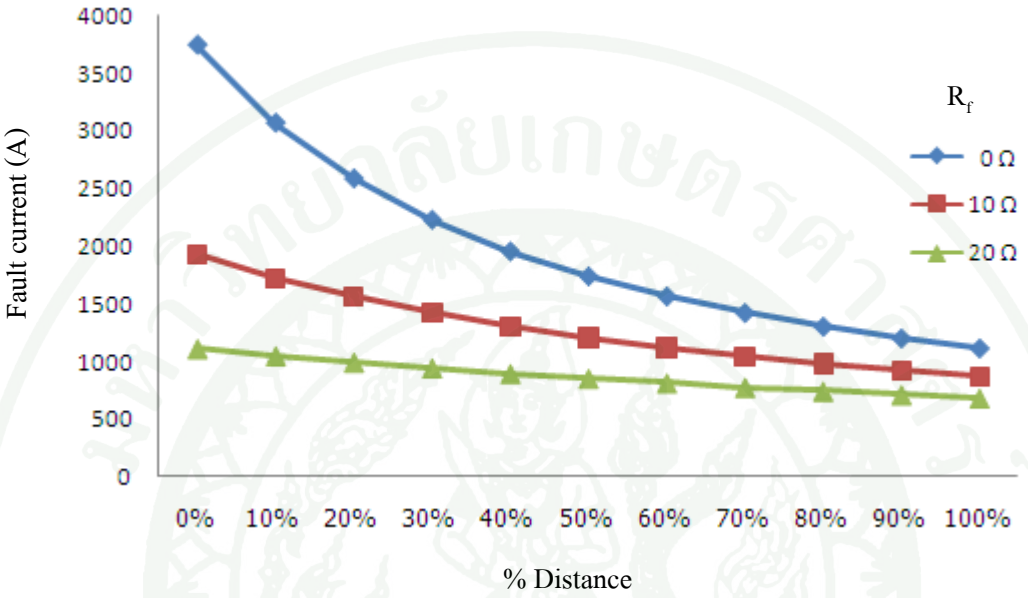
ระยะทาง (%)	กระแสเฟสฟอลต์ (แอมแปร์)		
	ค่าความต้านทานอาร์ก 0 โอห์ม	ค่าความต้านทานอาร์ก 10 โอห์ม	ค่าความต้านทานอาร์ก 20 โอห์ม
0%	3,750.73	1,933.21	1,114.16
10%	3,076.49	1,732.86	1,052.98
20%	2,593.89	1,567.73	996.71
30%	2,236.07	1,429.85	945.02
40%	1,962.02	1,313.32	897.56
50%	1,746.22	1,213.73	853.98
60%	1,572.28	1,127.75	813.91
70%	1,429.31	1,052.85	777.03
80%	1,309.83	987.07	743.01
90%	1,208.56	928.87	711.58
100%	1,121.67	877.03	682.49

หมายเหตุ: MVA_{SC} = 165.02 MVA (100%)

ระยะทาง 100% = 21.46 กิโลเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากข้อมูลกระแสฟอลต์ตารางที่ 5 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฟอลต์ และความต้านทานอาร์กได้ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แผนภาพความสัมพันธ์ของกระแสฟอลต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์ก

เมื่อคิดผลของค่าความต้านทานอาร์ก พบว่า เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานอาร์ก ณ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์เดียวกัน ค่ากระแสฟอลต์มีค่าลดลง โดยในช่วง 0-50% (ประมาณ 10 กิโลเมตรแรก) ค่ากระแสฟอลต์มีอัตราการลดลงสูง (มีความแตกต่างค่อนข้างมาก) แต่เมื่อตำแหน่งการเกิดฟอลต์ห่างจากสถานีไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสฟอลต์มีอัตราการลดลงต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ผลของการจำลองการเกิดฟอลต์แต่ละชนิด

4.1 กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน (A-G)

จากตารางที่ 6 แสดงค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ พบว่า ค่ากระแสเฟสฟอลต์และกระแสกราวด์ฟอลต์มีค่าเท่ากัน โดยค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบมีค่าเท่ากับ 0.333 เท่าของค่ากระแสเฟสฟอลต์

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน

ระยะทาง (%)	กระแสฟอลต์ (แอมแปร์)			I_P / I_2
	เฟสฟอลต์ (I_P)	กราวด์ฟอลต์ ($3I_0$)	ฟอลต์ลำดับลบ (I_2)	
0%	5,285.06	5,285.06	1,761.34	0.333
10%	3,127.64	3,127.64	1,041.81	0.333
20%	2,215.51	2,215.51	737.61	0.333
30%	1,714.27	1,714.27	570.45	0.333
40%	1,397.73	1,397.73	464.89	0.333
50%	1,179.78	1,179.78	392.22	0.332
60%	1,020.60	1,020.60	339.15	0.332
70%	899.27	899.27	298.69	0.332
80%	803.72	803.72	266.84	0.332
90%	726.53	726.53	241.11	0.332
100%	659.69	659.69	219.90	0.333

หมายเหตุ: ตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ โดยที่ระยะห่างระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์เท่ากับ 21.46 กิโมเมตร (100%), ขนาดกำลังลัดวงจร 100%, ไม่มีความต้านทานดินและความต้านทานอาร์ก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิจารณาการทำงานของรีเลย์

- เกิดฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ โดยที่รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

จากตารางผนวกที่ ก4, ก5, ก9, ก10, ก14, ก15, ก19, ก20, ก24 และ ก25 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ตามเงื่อนไขต่างๆ ในการเกิดฟอลต์ พบว่า รีเลย์ทำงานด้วยฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ โดยเวลาการทำงานของรีเลย์เพิ่มขึ้นเมื่อค่ากระแสฟอลต์ลดลง ส่วนฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และฟังก์ชั่นลำดับลบไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ เนื่องจากค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่ำกว่าขนาดกระแสเริ่มทำงาน

- เกิดฟอลต์บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ โดยที่รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง มีรีโคลสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

จากตารางผนวกที่ ก29, ก30, ก34, ก35, ก39, ก40, ก44, ก45, ก49 และ ก50 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสำรองตามเงื่อนไขต่างๆ ในการเกิดฟอลต์ พบว่า รีเลย์ทำงานด้วยฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ โดยระยะเวลาการทำงานอุปกรณ์ป้องกันสำรองเพิ่มขึ้น และระยะของขอบเขตป้องกันสำรองลดลง เมื่อค่ากระแสฟอลต์มีค่าลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส (B-C)

จากตารางที่ 7 แสดงค่ากระแสเฟสฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ (กระแสกราวด์ฟอลต์เท่ากับศูนย์) พบว่า ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบมีค่าเท่ากับ 0.577 เท่าของค่ากระแสเฟสฟอลต์

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส

ระยะทาง (%)	กระแสฟอลต์ (แอมแปร์)			I_P / I_2
	เฟสฟอลต์ (I_P)	กราวด์ฟอลต์ ($3I_0$)	ฟอลต์ลำดับลบ (I_2)	
0%	3,750.73	0	2,165.48	0.577
10%	3,076.49	0	1,776.21	0.577
20%	2,593.89	0	1,497.58	0.577
30%	2,236.07	0	1,291.00	0.577
40%	1,962.02	0	1,132.77	0.577
50%	1,746.22	0	1,008.18	0.577
60%	1,572.28	0	907.76	0.577
70%	1,429.31	0	825.21	0.577
80%	1,309.83	0	756.23	0.577
90%	1,208.56	0	697.76	0.577
100%	1,121.67	0	647.60	0.577

หมายเหตุ: ตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ โดยที่ระยะห่างระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์เท่ากับ 21.46 กิโลเมตร (100%), ขนาดกำลังลัดวงจร 100% และไม่มีความต้านทานอาร์ก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิจารณาการทำงานของรีเลย์

- เกิดฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ โดยที่รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

จากตารางผนวกที่ ข3, ข4, ข7, ข8, ข11, ข12, ข15, ข16, ข19 และ ข20 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ตามเงื่อนไขต่างๆ ในการเกิดฟอลต์ พบว่า รีเลย์สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ทั้งฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และฟังก์ชั่นลำดับลบ แต่เวลาการทำงานรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบเร็วกว่าฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ หรือรีเลย์ทำงานด้วยฟังก์ชั่นลำดับลบ

- เกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ โดยที่รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง มีรีโคลสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

จากตารางผนวกที่ ข23, ข24, ข27, ข28, ข31, ข32, ข35, ข36, ข39 และ ข40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสำรองตามเงื่อนไขต่างๆ ในการเกิดฟอลต์ พบว่า เวลาการทำงานรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบเร็วกว่ารีเลย์ฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และระยะของขอบเขตป้องกันสำรองขอบรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบครอบคลุมได้มากกว่ารีเลย์ฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ดังภาพผนวกที่ ข1 ถึงภาพผนวกที่ ข5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน (B-C-G)

จากตารางที่ 8 แสดงค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ กับค่ากระแสเฟสฟอลต์มีค่าไม่แน่นอน (≤ 0.577)

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่ากระแสเฟสฟอลต์ กระแสกราวด์ฟอลต์ และกระแสฟอลต์ลำดับลบ กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน

ระยะทาง (%)	กระแสฟอลต์ (แอมแปร์)			I_P / I_2
	เฟสฟอลต์ (I_P)	กราวด์ฟอลต์ ($3I_0$)	ฟอลต์ลำดับลบ (I_2)	
0%	3,750.73	347.64	2,156.54	0.575
10%	3,076.49	339.61	1,758.56	0.572
20%	2,593.89	330.47	1,473.80	0.568
30%	2,236.07	320.55	1,262.86	0.565
40%	1,962.02	310.12	1,101.60	0.561
50%	1,746.22	299.43	974.94	0.558
60%	1,572.28	288.69	873.21	0.555
70%	1,429.31	278.05	789.92	0.553
80%	1,309.83	267.65	720.64	0.550
90%	1,208.56	257.56	662.20	0.548
100%	1,121.67	246.67	612.32	0.546

หมายเหตุ: ตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ โดยที่ระยะห่างระหว่างรีเลย์กับรีโคลสเซอร์เท่ากับ 21.46 กิโมเมตร (100%), ขนาดกำลังลัดวงจร 100%, ความต้านทานดินเท่ากับ 40 โอห์ม และไม่มีความต้านทานอาร์ก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์ของค่ากระแสขึ้นอยู่กับรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟอลต์ ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์กไม่มีผลต่อค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ (ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์มีค่าคงที่) แต่มีผลต่อค่ากระแสเฟสฟอลต์และกระแสฟอลต์ลำดับลบ

พิจารณาการทำงานของรีเลย์

- เกิดฟอลต์บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์: รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

จากตารางผนวกที่ ค4, ค5, ค6, ค10, ค11, ค12, ค16, ค17, ค18, ค22, ค23, ค24, ค28, ค29, และ ค30 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ตามเงื่อนไขต่างๆ ในการเกิดฟอลต์พบว่า รีเลย์สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ทั้งฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ ฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ และฟังก์ชั่นลำดับลบ แต่เวลาการทำงานรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบเร็วกว่าฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ หรือรีเลย์ทำงานด้วยฟังก์ชั่นลำดับลบ

- ฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์: รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง มีรีโคลสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก

จากตารางผนวกที่ ค34, ค35, ค36, ค40, ค41, ค42, ค46, ค47, ค48, ค52, ค53, ค54, ค58, ค59 และ ค60 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสำรองตามเงื่อนไขต่างๆ ในการเกิดฟอลต์ พบว่า เวลาการทำงานรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบเร็วกว่ารีเลย์ฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ ระยะของขอบเขตป้องกันสำรองรีเลย์ฟังก์ชั่นลำดับลบครอบคลุมได้มากกว่ารีเลย์ฟังก์ชั่นเฟสฟอลต์ และกราวด์ฟอลต์ดังภาพผนวกที่ ค1 ถึงภาพผนวกที่ ค5

จากผลการวิเคราะห์การจำลองการเกิดฟอลต์ตามเงื่อนไขที่กำหนด สามารถสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบการทำงานของรีเลย์ได้ดังตารางที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 องค์ประกอบของกระแสฟอลต์แต่ละชนิด และฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์

ชนิดฟอลต์	กระแสฟอลต์ที่เกิด			ฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์				
				เดิม		ใหม่		
	I_P	I_G	I_2	I_P	I_G	I_P	I_G	I_2
A-G	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-
B-C	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓
B-C-G	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓
A-B-C	✓	-	-	✓	-	✓	-	-

หมายเหตุ A-G = ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน, B-C = ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส, B-C-G = ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน และ A-B-C = ฟอลต์ระหว่าง 3 สายเฟส

I_P = กระแสเฟสฟอลต์, I_G = กระแสกราวด์ฟอลต์ และ I_2 = กระแสฟอลต์ลำดับลบ

จากตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของฟังก์ชั่นต่างๆ ของรีเลย์ระหว่างระบบป้องกันเดิม กับระบบป้องกันใหม่ พบว่า การนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานร่วมกับระบบป้องกันเดิมนั้น กรณีฟอลต์ชนิดระหว่าง 2 สายเฟส และฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดินระบบป้องกันใหม่ รีเลย์จะทำงานด้วยฟังก์ชั่นลำดับลบ โดยสามารถลดระยะเวลาการทำงานของระบบป้องกันสำรอง เพิ่มความรวดเร็วในการตรวจจับกระแสฟอลต์ในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบป้องกันเดิม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับร่วมกับระบบป้องกันเดิมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DIgSILENT PowerFactory 14.0 จำลองการเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งต่างๆของความยาวสายจำหน่าย รวมทั้งเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอาร์กและขนาดกำลังลัดวงจร เพื่อทำการศึกษาผลกระทบต่อระบบป้องกันในกรณีฟอลต์มีค่ากระแสต่ำ

ทั้งนี้เลือกกรณีศึกษา คือ ฟีดเดอร์ที่ 1 ของสถานีไฟฟ้าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากมีความยาวของสายจำหน่ายประมาณ 95 กิโลเมตร ซึ่งมีความยาวของสายจำหน่ายมาก และขนาดกำลังลัดวงจรต่ำเมื่อเทียบกับสถานีอื่น

ผลที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดต่างๆ และทำการเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน พบว่า ค่าความต้านทานดิน ค่าความต้านทานอาร์ก ขนาดกำลังลัดวงจร และตำแหน่งการเกิดฟอลต์เป็นปัจจัยสำคัญให้ฟอลต์มีค่ากระแสต่ำ ส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานร่วมกับระบบป้องกันเดิม ซึ่งฟังชั่นลำดับลบนั้นมีอยู่ในรีเลย์ชนิดไมโครโปรเซสเซอร์ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งาน (ไม่มีการลงทุนเพิ่ม) โดยระบบป้องกันมีขีดความสามารถเพิ่มขึ้นดังนี้

1. กรณีตำแหน่งฟอลต์บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันคือรีโคลสเซอร์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก และมีรีเลย์เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง พบว่า

1.1 ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน อุปกรณ์ป้องกันสำรอง หรือรีเลย์ทำงานด้วยฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ ในส่วนของฟังก์ชั่นลำดับลบไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ เนื่องจากค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบต่ำกว่าขนาดกระแสเริ่มทำงานลำดับลบ

1.2 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส เมื่อนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานเปรียบเทียบกับระบบป้องกันเดิม พบว่า เพิ่มความสามารถของระบบป้องกันเดิมได้ คือ ระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์เพิ่มขึ้น และลดเวลาการทำงานของระบบป้องกันสำรอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน เมื่อนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานเปรียบเทียบกับระบบป้องกันเดิม พบว่า เพิ่มความสามารถของระบบป้องกันเดิมได้เช่นเดียวกันกับฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส คือ ระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์เพิ่มขึ้น และลดเวลาการทำงานของระบบป้องกันสำรอง

2. กรณีตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันคือ รีเลย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก โดยที่รีโคลสเซอร์จะไม่ทำงาน เนื่องจากไม่มีกระแสฟอลต์ไหลผ่าน พบว่า

2.1 ฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน รีเลย์ทำงานด้วยฟังก์ชั่นกราวด์ฟอลต์ ในส่วนของฟังก์ชั่นลำดับลบไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้ เนื่องจากค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบต่ำกว่าขนาดกระแสเริ่มทำงานลำดับลบ

2.2 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส เมื่อนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งานเปรียบเทียบกับระบบป้องกันเดิม พบว่า ความรวดเร็วในการตรวจจับกระแสฟอลต์เพิ่มขึ้น และในกรณีค่าความต้านทานอาร์กมากกว่า 40 โอห์ม ณ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์มากกว่า 90% ของความยาวสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ (เกิดฟอลต์ห่างจากสถานีไฟฟ้ามากกว่า 19 กิโลเมตร) ระบบป้องกันเดิมรีเลย์ไม่ทำงาน เนื่องจากค่ากระแสเฟสฟอลต์ต่ำกว่าขนาดกระแสเริ่มทำงาน แต่สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ด้วยฟังก์ชั่นลำดับลบ

2.3 ฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน เมื่อนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้งาน เปรียบเทียบกับระบบป้องกันเดิม พบว่า ความรวดเร็วในการตรวจจับกระแสฟอลต์เพิ่มขึ้น

ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ การนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้ร่วมกับระบบป้องกันเดิมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สามารถลดระยะเวลาการทำงานของระบบป้องกันสำรอง เพิ่มความรวดเร็วในการตรวจจับกระแสฟอลต์ เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบป้องกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่มีการเก็บบันทึกข้อมูลค่ากระแสลำดับลบ งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดขนาดกระแสลำดับลบเริ่มทำงาน โดยพิจารณาจากค่ากระแสโหลดสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบ ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเทียบกับขนาดกระแสลบสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นจริงในระบบ ทั้งนี้รีเลย์ชนิดไมโครโปรเซซเซอร์บางผลิตภัณฑ์ หรือเครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า (Disturbance recorder) สามารถทำการวัด และบันทึกค่ากระแสลำดับลบได้

2. การพิจารณาการออกแบบระบบป้องกัน กรณีฟอลต์มีค่ากระแสต่ำนั้น มีปัจจัยที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา คือ ค่าความต้านทานอาร์ก (Arc resistance), สภาวะการจ่ายไฟที่มีองค์ประกอบของแหล่งจ่ายน้อยที่สุด (Minimum source condition), ชนิดของฟอลต์ (Fault type), ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault location) และความต้านทานดิน (Ground resistance)

3. รีโคลสเซอร์ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งานในปัจจุบันไม่มีฟังก์ชั่นการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบ หากอนาคตมีการกำหนดฟังก์ชั่นดังกล่าวในสเปคของรีโคลสเซอร์ จะส่งผลให้การนำการตรวจจับกระแสฟอลต์ลำดับลบมาใช้ในระบบป้องกันมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2548. **การป้องกันระบบไฟฟ้า.** พิมพ์ครั้งที่ 2**.** ทีซีจี พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

กำพล ตุ้ยเต็มวงค์. 2550. **ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ที่มีผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กองวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2552. **รายงานปัญหาการใช้งานสายเคเบิลอากาศ (Space aerial cable: SAC) กับ Spacer).** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**,** กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2553. **หลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้า (Power system planning citeria, PSPC).** กองการพิมพ์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**,** กรุงเทพฯ.

กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2553. **รายงานค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคปี 2553 (2010)).** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**,** กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2554. **การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง.** พิมพ์ครั้งที่ 2. จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

คณะทำงานแผนงานพัฒนาระบบงาน ฐานข้อมูล ระบบป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2554. **แผนงานพัฒนาระบบงาน ฐานข้อมูล ระบบป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ซอฟท์แวร์ DigSILENT StationWare. รายงานฉบับที่ 1 ปี 2554).** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**,** กรุงเทพฯ.

Stevenson, W. 1982. **Element of power system analysis.** Fourth edition McGraw-Hill book company, Singapore.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Schweitzer, E., W. Scheer and W. Feltis. 1992. A Fresh Look at Distribution**,** pp. 1-18**.** *In* **Proceedings of the Second International Symposium on Distribution Automation and Demand Side Management**. 13-15 January 1992, Fort Lauderdale, Florida.

Schweitzer, E. and J. Kumm. 1997. Negative-sequence Overcurrent Element Application and Coordination in Distribution Protection**,** pp. 372(1)-(9)**.** *In* **Proceedings of the Electric Council of New England Protection Relaying Committee Meeting No.72**, 18-19 September 1997, Burlington, Vermont.

United States Department of Agriculture. 1998. **Rural Utilities Service**. Summary of Items of Engineering Interest.

ABB Automation Products AB. 1999. **Negative sequence overcurrent relay and protection assemblies.** ABB Automation Products AB, Sweden.

AREVA. 2009. **Micom P120/P121/P122/P123 Overcurrent relays Version 10**. Available Source: http://www.areva-td.com, December 15, 2011.

Kojovic, L.A. and J. Witte. 2001. Improved Protection Systems using Symmetrical Components**,** pp. 47-52**.** *In* **Proceedings of Transmission and Distribution Conference and Exposition. 2001 IEEE/PES**. 28 Oct 2001-02 Nov 2001, Atlanta, GA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

กรณีฟอลต์ 1 สายเฟสลงดิน (A-G)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	277.05	233.94	201.86	177.24	157.82	142.14
90%	285.25	239.54	205.93	180.33	160.26	144.14
80%	292.22	244.03	209.01	182.56	161.93	145.43
70%	299.26	248.51	212.07	184.76	163.58	146.70
60%	306.32	252.97	215.09	186.92	165.19	147.95
50%	313.38	257.37	218.06	189.04	166.78	149.17
40%	320.37	261.70	220.97	191.12	168.32	150.36
30%	327.23	265.92	223.81	193.13	169.82	151.51
20%	333.90	270.01	226.54	195.09	171.28	152.64
10%	340.30	273.94	229.17	196.96	172.68	153.72
0%	346.36	277.66	231.68	198.75	174.02	154.76

ตารางผนวกที่ ก2 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	277.05	233.94	201.86	177.24	157.82	142.14
90%	285.25	239.54	205.93	180.33	160.26	144.14
80%	292.22	244.03	209.01	182.56	161.93	145.43
70%	299.26	248.51	212.07	184.76	163.58	146.70
60%	306.32	252.97	215.09	186.92	165.19	147.95
50%	313.38	257.37	218.06	189.04	166.78	149.17
40%	320.37	261.70	220.97	191.12	168.32	150.36
30%	327.23	265.92	223.81	193.13	169.82	151.51
20%	333.90	270.01	226.54	195.09	171.28	152.64
10%	340.30	273.94	229.17	196.96	172.68	153.72
0%	346.36	277.66	231.68	198.75	174.02	154.76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	92.35	77.98	67.29	59.08	52.61	47.38
90%	94.67	79.50	68.34	59.85	53.19	47.83
80%	97.02	81.02	69.39	60.61	53.76	48.28
70%	99.40	82.54	70.44	61.37	54.33	48.73
60%	101.79	84.06	71.48	62.11	54.89	49.16
50%	104.18	85.56	72.50	62.85	55.44	49.59
40%	106.56	87.04	73.50	63.57	55.98	50.01
30%	108.89	88.49	74.47	64.27	56.51	50.42
20%	111.16	89.90	75.42	64.95	57.02	50.82
10%	113.35	91.25	76.34	65.61	57.52	51.20
0%	115.43	92.53	77.21	66.24	58.00	51.58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	2.557	No	No	3.520	No	No	4.889	No
90%	No	2.451	No	No	3.388	No	No	4.713	No
80%	No	2.352	No	No	3.265	No	No	4.550	No
70%	No	2.259	No	No	3.151	No	No	4.399	No
60%	No	2.174	No	No	3.046	No	No	4.259	No
50%	No	2.094	No	No	2.948	No	No	4.130	No
40%	No	2.021	No	No	2.858	No	No	4.011	No
30%	No	1.954	No	No	2.775	No	No	3.902	No
20%	No	1.893	No	No	2.700	No	No	3.801	No
10%	No	1.838	No	No	2.631	No	No	3.710	No
0%	No	1.789	No	No	2.569	No	No	3.626	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก5 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์มตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	6.972	No	No	10.498	No	No	17.74	No
90%	No	6.713	No	No	10.059	No	No	16.779	No
80%	No	6.474	No	No	9.658	No	No	15.927	No
70%	No	6.254	No	No	9.294	No	No	15.169	No
60%	No	6.052	No	No	8.961	No	No	14.492	No
50%	No	5.866	No	No	8.658	No	No	13.886	No
40%	No	5.695	No	No	8.381	No	No	13.342	No
30%	No	5.538	No	No	8.129	No	No	12.851	No
20%	No	5.394	No	No	7.898	No	No	12.410	No
10%	No	5.262	No	No	7.688	No	No	12.011	No
0%	No	5.143	No	No	7.497	No	No	11.652	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก6 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	276.67	233.71	201.70	177.13	157.74	142.08
90%	284.88	239.31	205.78	180.23	160.19	144.08
80%	291.85	243.81	208.87	182.46	161.86	145.37
70%	298.89	248.29	211.93	184.66	163.51	146.65
60%	305.97	252.76	214.96	186.83	165.13	147.90
50%	313.04	257.17	217.94	188.96	166.71	149.12
40%	320.04	261.51	220.85	191.04	168.26	150.31
30%	326.93	265.75	223.70	193.06	169.77	151.47
20%	333.63	269.86	226.44	195.02	171.23	152.60
10%	340.07	273.80	229.09	196.90	172.63	153.68
0%	346.16	277.54	231.60	198.70	173.98	154.73

ตารางผนวกที่ ก7 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	276.67	233.71	201.70	177.13	157.74	142.08
90%	284.88	239.31	205.78	180.23	160.19	144.08
80%	291.85	243.81	208.87	182.46	161.86	145.37
70%	298.89	248.29	211.93	184.66	163.51	146.65
60%	305.97	252.76	214.96	186.83	165.13	147.90
50%	313.04	257.17	217.94	188.96	166.71	149.12
40%	320.04	261.51	220.85	191.04	168.26	150.31
30%	326.93	265.75	223.70	193.06	169.77	151.47
20%	333.63	269.86	226.44	195.02	171.23	152.60
10%	340.07	273.80	229.09	196.90	172.63	153.68
0%	346.16	277.54	231.60	198.70	173.98	154.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก8 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	92.22	77.90	67.23	59.04	52.58	47.36
90%	94.54	79.42	68.29	59.81	53.16	47.81
80%	96.90	80.94	69.34	60.58	53.74	48.26
70%	99.28	82.47	70.39	61.33	54.31	48.71
60%	101.67	83.99	71.43	62.08	54.87	49.15
50%	104.07	85.50	72.45	62.82	55.42	49.57
40%	106.45	86.98	73.46	63.54	55.96	49.99
30%	108.79	88.43	74.44	64.24	56.49	50.40
20%	111.07	89.84	75.39	64.93	57.01	50.80
10%	113.27	91.20	76.31	65.59	57.50	51.19
0%	115.36	92.50	77.19	66.22	57.98	51.57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก9 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	2.563	No	No	3.527	No	No	4.899	No
90%	No	2.456	No	No	3.394	No	No	4.721	No
80%	No	2.357	No	No	3.271	No	No	4.557	No
70%	No	2.264	No	No	3.157	No	No	4.406	No
60%	No	2.178	No	No	3.051	No	No	4.265	No
50%	No	2.098	No	No	2.952	No	No	4.135	No
40%	No	2.025	No	No	2.862	No	No	4.016	No
30%	No	1.957	No	No	2.779	No	No	3.906	No
20%	No	1.896	No	No	2.703	No	No	3.805	No
10%	No	1.840	No	No	2.633	No	No	3.713	No
0%	No	1.791	No	No	2.571	No	No	3.629	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก10 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	6.985	No	No	10.520	No	No	17.787	No
90%	No	6.724	No	No	10.078	No	No	16.820	No
80%	No	6.484	No	No	9.675	No	No	15.962	No
70%	No	6.264	No	No	9.309	No	No	15.199	No
60%	No	6.060	No	No	8.975	No	No	14.518	No
50%	No	5.873	No	No	8.670	No	No	13.909	No
40%	No	5.701	No	No	8.392	No	No	13.361	No
30%	No	5.543	No	No	8.138	No	No	12.868	No
20%	No	5.399	No	No	7.906	No	No	12.424	No
10%	No	5.266	No	No	7.695	No	No	12.023	No
0%	No	5.146	No	No	7.503	No	No	11.662	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก11 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	276.26	233.44	201.53	177.00	157.65	142.01
90%	284.46	239.05	205.61	180.11	160.10	144.01
80%	291.44	243.55	208.70	182.34	161.78	145.31
70%	298.49	248.05	211.77	184.55	163.43	146.59
60%	305.57	252.52	214.81	186.72	165.05	147.84
50%	312.66	256.95	217.79	188.86	166.64	149.56
40%	319.68	261.30	220.72	190.95	168.20	150.26
30%	326.60	265.56	223.57	192.98	169.71	151.43
20%	333.33	269.68	226.33	194.94	171.17	152.56
10%	339.80	273.65	228.99	196.83	172.58	153.65
0%	345.94	277.41	231.52	198.64	173.94	154.70

ตารางผนวกที่ ก12 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสาจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	276.26	233.44	201.53	177.00	157.65	142.01
90%	284.46	239.05	205.61	180.11	160.10	144.01
80%	291.44	243.55	208.70	182.34	161.78	145.31
70%	298.49	248.05	211.77	184.55	163.43	146.59
60%	305.57	252.52	214.81	186.72	165.05	147.84
50%	312.66	256.95	217.79	188.86	166.64	149.56
40%	319.68	261.30	220.72	190.95	168.20	150.26
30%	326.60	265.56	223.57	192.98	169.71	151.43
20%	333.33	269.68	226.33	194.94	171.17	152.56
10%	339.80	273.65	228.99	196.83	172.58	153.65
0%	345.94	277.41	231.52	198.64	173.94	154.70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก13 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	92.09	77.81	67.18	59.00	52.55	47.34
90%	94.40	79.33	68.23	59.77	53.13	47.79
80%	96.76	80.86	69.29	60.54	53.71	48.24
70%	99.14	82.39	70.34	61.30	54.28	48.69
60%	101.54	83.91	71.38	62.05	54.85	49.13
50%	103.94	85.42	72.40	62.78	55.40	49.56
40%	106.33	86.91	73.41	63.51	55.94	49.98
30%	108.68	88.37	74.40	64.21	56.47	50.39
20%	110.97	89.78	75.35	64.90	56.99	50.79
10%	113.18	91.15	76.27	65.56	57.49	51.18
0%	115.29	92.45	77.16	66.20	57.97	51.55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก14 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	2.570	No	No	3.535	No	No	4.909	No
90%	No	2.463	No	No	3.402	No	No	4.731	No
80%	No	2.362	No	No	3.278	No	No	4.566	No
70%	No	2.269	No	No	3.163	No	No	4.413	No
60%	No	2.182	No	No	3.056	No	No	4.272	No
50%	No	2.102	No	No	2.957	No	No	4.141	No
40%	No	2.028	No	No	2.866	No	No	4.021	No
30%	No	1.960	No	No	2.782	No	No	3.910	No
20%	No	1.898	No	No	2.706	No	No	3.809	No
10%	No	1.843	No	No	2.636	No	No	3.716	No
0%	No	1.792	No	No	2.573	No	No	3.632	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก15 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	6.999	No	No	10.544	No	No	17.839	No
90%	No	6.738	No	No	10.099	No	No	16.865	No
80%	No	6.496	No	No	9.694	No	No	16.001	No
70%	No	6.274	No	No	9.326	No	No	15.233	No
60%	No	6.070	No	No	8.990	No	No	14.548	No
50%	No	5.882	No	No	8.683	No	No	13.934	No
40%	No	5.709	No	No	8.403	No	No	13.383	No
30%	No	5.550	No	No	8.148	No	No	12.887	No
20%	No	5.404	No	No	7.914	No	No	12.440	No
10%	No	5.271	No	No	7.702	No	No	12.037	No
0%	No	5.150	No	No	7.509	No	No	11.673	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก16 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	275.79	233.15	201.33	176.87	157.54	141.94
90%	283.99	238.77	205.42	179.98	160.01	143.94
80%	290.97	243.27	208.52	182.22	161.68	145.24
70%	298.03	247.78	211.59	184.43	163.34	146.52
60%	305.13	252.26	214.64	186.61	164.97	147.78
50%	312.23	256.70	217.63	188.75	166.56	149.01
40%	319.28	261.07	220.57	190.84	168.12	150.21
30%	326.22	265.34	223.43	192.88	169.64	151.38
20%	332.99	269.49	226.21	194.86	171.11	152.51
10%	339.50	273.47	228.88	196.76	172.53	153.61
0%	345.69	277.27	231.43	198.58	173.89	154.66

ตารางผนวกที่ ก17 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	275.79	233.15	201.33	176.87	157.54	141.94
90%	283.99	238.77	205.42	179.98	160.01	143.94
80%	290.97	243.27	208.52	182.22	161.68	145.24
70%	298.03	247.78	211.59	184.43	163.34	146.52
60%	305.13	252.26	214.64	186.61	164.97	147.78
50%	312.23	256.70	217.63	188.75	166.56	149.01
40%	319.28	261.07	220.57	190.84	168.12	150.21
30%	326.22	265.34	223.43	192.88	169.64	151.38
20%	332.99	269.49	226.21	194.86	171.11	152.51
10%	339.50	273.47	228.88	196.76	172.53	153.61
0%	345.69	277.27	231.43	198.58	173.89	154.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก18 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	91.93	77.72	67.11	58.96	52.51	47.31
90%	94.24	79.24	68.17	59.73	53.10	47.77
80%	96.60	80.77	69.23	60.49	53.68	48.22
70%	98.99	82.3	70.28	61.26	54.25	48.67
60%	101.39	83.82	71.31	62.01	54.82	49.10
50%	103.80	85.34	72.35	62.75	55.37	49.54
40%	106.19	86.83	73.36	63.47	55.92	49.96
30%	108.55	88.29	74.35	64.18	56.45	50.37
20%	110.86	89.72	75.31	64.87	56.97	50.77
10%	113.08	91.09	76.24	65.54	57.47	51.16
0%	115.20	92.40	77.12	66.18	57.95	51.54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก19 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	2.578	No	No	3.544	No	No	4.920	No
90%	No	2.470	No	No	3.410	No	No	4.741	No
80%	No	2.369	No	No	3.285	No	No	4.575	No
70%	No	2.275	No	No	3.170	No	No	4.422	No
60%	No	2.188	No	No	3.062	No	No	4.28	No
50%	No	2.107	No	No	2.963	No	No	4.148	No
40%	No	2.032	No	No	2.871	No	No	4.027	No
30%	No	1.964	No	No	2.787	No	No	3.916	No
20%	No	1.902	No	No	2.709	No	No	3.813	No
10%	No	1.845	No	No	2.639	No	No	3.720	No
0%	No	1.794	No	No	2.575	No	No	3.635	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก20 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	7.016	No	No	10.572	No	No	17.898	No
90%	No	6.752	No	No	10.124	No	No	16.916	No
80%	No	6.510	No	No	9.716	No	No	16.045	No
70%	No	6.286	No	No	9.345	No	No	15.271	No
60%	No	6.080	No	No	9.007	No	No	14.581	No
50%	No	5.891	No	No	8.698	No	No	13.962	No
40%	No	5.717	No	No	8.416	No	No	13.407	No
30%	No	5.557	No	No	8.159	No	No	12.908	No
20%	No	5.410	No	No	7.924	No	No	12.458	No
10%	No	5.276	No	No	7.710	No	No	12.052	No
0%	No	5.154	No	No	7.515	No	No	11.685	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก21 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	275.26	232.82	201.11	176.71	157.43	141.85
90%	283.47	238.44	205.2	179.83	159.19	143.86
80%	290.45	242.95	208.31	182.07	161.58	145.16
70%	297.52	247.47	211.39	184.29	163.24	146.45
60%	304.63	251.96	214.44	186.48	164.87	147.71
50%	311.75	256.41	217.45	188.62	166.47	148.94
40%	318.82	260.80	220.40	190.73	168.04	150.14
30%	325.79	265.09	223.28	192.77	169.56	151.32
20%	332.59	269.26	226.06	194.76	171.04	152.46
10%	339.16	273.27	228.75	196.67	172.47	153.56
0%	345.40	277.10	231.32	198.50	173.83	154.62

ตารางผนวกที่ ก22 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	275.26	232.82	201.11	176.71	157.43	141.85
90%	283.47	238.44	205.2	179.83	159.19	143.86
80%	290.45	242.95	208.31	182.07	161.58	145.16
70%	297.52	247.47	211.39	184.29	163.24	146.45
60%	304.63	251.96	214.44	186.48	164.87	147.71
50%	311.75	256.41	217.45	188.62	166.47	148.94
40%	318.82	260.80	220.40	190.73	168.04	150.14
30%	325.79	265.09	223.28	192.77	169.56	151.32
20%	332.59	269.26	226.06	194.76	171.04	152.46
10%	339.16	273.27	228.75	196.67	172.47	153.56
0%	345.40	277.10	231.32	198.50	173.83	154.62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก23 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	91.75	77.61	67.04	58.90	52.48	47.28
90%	94.07	79.13	68.10	59.68	53.06	47.74
80%	96.43	80.66	69.16	60.45	53.64	48.19
70%	98.82	82.19	70.21	61.21	54.22	48.64
60%	101.22	83.72	71.26	61.96	54.78	49.08
50%	103.64	85.24	72.29	62.70	55.34	49.51
40%	106.04	86.74	73.30	63.43	55.89	49.94
30%	108.41	88.21	74.29	64.14	56.42	50.35
20%	110.73	89.64	75.26	64.84	56.94	50.76
10%	112.97	91.02	76.19	65.51	57.44	51.15
0%	115.11	92.34	77.09	66.15	57.93	51.53

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก24 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	2.586	No	No	3.554	No	No	4.934	No
90%	No	2.478	No	No	3.419	No	No	4.753	No
80%	No	2.376	No	No	3.294	No	No	4.586	No
70%	No	2.281	No	No	3.177	No	No	4.431	No
60%	No	2.194	No	No	3.069	No	No	4.288	No
50%	No	2.112	No	No	2.969	No	No	4.156	No
40%	No	2.037	No	No	2.876	No	No	4.034	No
30%	No	1.968	No	No	2.791	No	No	3.922	No
20%	No	1.905	No	No	2.713	No	No	3.818	No
10%	No	1.848	No	No	2.642	No	No	3.724	No
0%	No	1.797	No	No	2.578	No	No	3.638	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก25 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	7.035	No	No	10.603	No	No	17.966	No
90%	No	6.769	No	No	10.151	No	No	16.973	No
80%	No	6.525	No	No	9.740	No	No	16.095	No
70%	No	6.300	No	No	9.367	No	No	15.315	No
60%	No	6.092	No	No	9.026	No	No	14.618	No
50%	No	5.902	No	No	8.715	No	No	13.995	No
40%	No	5.726	No	No	8.431	No	No	13.435	No
30%	No	5.565	No	No	8.172	No	No	12.932	No
20%	No	5.418	No	No	7.935	No	No	12.478	No
10%	No	5.282	No	No	7.719	No	No	12.069	No
0%	No	5.159	No	No	7.523	No	No	11.700	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก26 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	133.11	125.21	117.73	110.74	104.28	98.35
90%	142.58	133.43	124.85	116.93	109.68	103.08
80%	151.60	414.02	131.23	122.31	114.23	106.95
70%	161.71	149.37	138.15	128.06	119.04	111.00
60%	173.06	158.58	145.64	134.19	124.11	115.23
50%	185.86	168.73	153.74	140.72	129.43	119.62
40%	200.33	179.90	162.47	147.63	134.99	124.14
30%	216.67	192.15	171.81	154.90	140.73	128.77
20%	235.08	205.48	181.72	162.45	146.62	133.46
10%	255.64	219.82	192.08	170.19	152.57	138.14
0%	278.20	234.92	202.71	177.98	158.48	142.74

ตารางผนวกที่ ก27 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	133.11	125.21	117.73	110.74	104.28	98.35
90%	142.58	133.43	124.85	116.93	109.68	103.08
80%	151.60	414.02	131.23	122.31	114.23	106.95
70%	161.71	149.37	138.15	128.06	119.04	111.00
60%	173.06	158.58	145.64	134.19	124.11	115.23
50%	185.86	168.73	153.74	140.72	129.43	119.62
40%	200.33	179.90	162.47	147.63	134.99	124.14
30%	216.67	192.15	171.81	154.90	140.73	128.77
20%	235.08	205.48	181.72	162.45	146.62	133.46
10%	255.64	219.82	192.08	170.19	152.57	138.14
0%	278.20	234.92	202.71	177.98	158.48	142.74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก28 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	44.37	41.74	39.24	36.91	34.76	32.78
90%	47.00	43.99	41.16	38.55	36.16	33.98
80%	49.99	46.5	43.27	40.33	37.67	35.27
70%	53.34	49.27	45.57	42.24	39.27	36.62
60%	57.11	52.33	48.06	44.29	40.96	38.03
50%	61.38	55.72	50.77	46.47	42.74	39.50
40%	66.20	59.45	53.69	48.79	44.61	41.02
30%	71.67	63.56	56.83	51.24	46.55	42.59
20%	77.84	68.04	60.17	53.79	48.55	44.19
10%	84.75	72.87	63.68	56.42	50.58	45.79
0%	92.35	77.98	67.29	59.08	52.60	47.38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก29 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	27.591	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	17.865	No	No	29.974	No	No	No	No
80%	No	12.777	No	No	19.189	No	No	No	No
70%	No	9.687	No	No	13.745	No	No	22.212	No
60%	No	7.617	No	No	10.471	No	No	15.740	No
50%	No	6.138	No	No	8.293	No	No	11.969	No
40%	No	5.034	No	No	6.748	No	No	9.514	No
30%	No	4.183	No	No	5.604	No	No	7.801	No
20%	No	3.515	No	No	4.731	No	No	6.550	No
10%	No	2.982	No	No	4.052	No	No	5.609	No
0%	No	2.557	No	No	3.520	No	No	4.889	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก30 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
70%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
60%	No	28.364	No	No	No	No	No	No	No
50%	No	19.460	No	No	No	No	No	No	No
40%	No	14.607	No	No	26.874	No	No	No	No
30%	No	11.573	No	No	19.450	No	No	No	No
20%	No	9.518	No	No	15.160	No	No	29.913	No
10%	No	8.052	No	No	12.397	No	No	22.222	No
0%	No	6.972	No	No	10.499	No	No	17.742	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก31 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	132.96	125.09	117.63	110.66	104.21	98.28
90%	142.42	133.29	124.74	116.84	109.61	103.02
80%	151.42	140.87	131.11	122.21	114.15	106.88
70%	161.50	149.21	138.02	127.95	118.96	110.93
60%	172.84	158.40	145.50	134.08	124.02	115.16
50%	185.61	168.54	153.59	140.61	129.34	119.54
40%	200.05	179.69	162.31	147.52	134.89	124.07
30%	216.36	191.93	171.65	154.78	140.64	128.70
20%	234.74	205.25	181.55	162.33	146.53	133.39
10%	255.28	219.58	191.92	170.08	152.49	138.07
0%	277.83	234.68	202.55	177.87	158.40	142.68

ตารางผนวกที่ ก32 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	132.96	125.09	117.63	110.66	104.21	98.28
90%	142.42	133.29	124.74	116.84	109.61	103.02
80%	151.42	140.87	131.11	122.21	114.15	106.88
70%	161.50	149.21	138.02	127.95	118.96	110.93
60%	172.84	158.40	145.50	134.08	124.02	115.16
50%	185.61	168.54	153.59	140.61	129.34	119.54
40%	200.05	179.69	162.31	147.52	134.89	124.07
30%	216.36	191.93	171.65	154.78	140.64	128.70
20%	234.74	205.25	181.55	162.33	146.53	133.39
10%	255.28	219.58	191.92	170.08	152.49	138.07
0%	277.83	234.68	202.55	177.87	158.40	142.68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก33 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	44.32	41.70	39.21	36.89	34.74	32.76
90%	46.95	43.94	41.12	38.52	36.13	33.96
80%	49.93	46.45	43.23	40.30	37.64	35.24
70%	53.27	49.22	45.53	42.21	39.24	36.59
60%	57.04	52.28	48.02	44.25	40.93	38.00
50%	61.29	55.65	50.72	46.43	42.71	39.48
40%	66.11	59.38	53.64	48.75	44.58	41.00
30%	71.57	63.48	56.78	51.19	46.52	42.57
20%	77.73	67.96	60.11	53.75	48.52	44.17
10%	84.63	72.79	63.62	56.38	50.55	45.77
0%	92.22	77.90	67.23	59.04	52.58	47.36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก34 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	27.871	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	17.995	No	No	30.277	No	No	No	No
80%	No	12.85	No	No	19.324	No	No	No	No
70%	No	9.734	No	No	13.82	No	No	22.37	No
60%	No	7.649	No	No	10.518	No	No	15.825	No
50%	No	6.162	No	No	8.326	No	No	12.021	No
40%	No	5.051	No	No	6.772	No	No	9.549	No
30%	No	4.197	No	No	5.621	No	No	7.825	No
20%	No	3.525	No	No	4.743	No	No	6.567	No
10%	No	2.990	No	No	4.061	No	No	5.622	No
0%	No	2.563	No	No	3.527	No	No	4.899	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก35 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
70%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
60%	No	28.583	No	No	No	No	No	No	No
50%	No	19.567	No	No	No	No	No	No	No
40%	No	14.669	No	No	27.039	No	No	No	No
30%	No	11.613	No	No	19.536	No	No	No	No
20%	No	9.545	No	No	15.211	No	No	30.068	No
10%	No	8.070	No	No	12.430	No	No	22.302	No
0%	No	6.985	No	No	10.521	No	No	17.788	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก36 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	132.80	124.95	117.51	110.56	104.13	98.21
90%	142.24	133.14	124.62	116.74	109.52	102.94
80%	151.22	140.71	130.98	122.10	114.06	106.81
70%	161.28	149.03	137.87	127.84	118.86	110.86
60%	172.59	158.21	145.35	133.96	123.93	115.08
50%	185.34	168.33	153.43	140.48	129.24	119.46
40%	199.74	179.47	162.14	147.38	134.79	123.99
30%	216.02	191.68	171.47	154.64	140.54	128.62
20%	234.37	204.99	181.37	162.20	146.43	133.31
10%	254.88	219.31	191.74	169.95	152.39	138.00
0%	277.41	234.42	202.38	177.75	158.31	142.61

ตารางผนวกที่ ก37 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสาย จำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	132.80	124.95	117.51	110.56	104.13	98.21
90%	142.24	133.14	124.62	116.74	109.52	102.94
80%	151.22	140.71	130.98	122.10	114.06	106.81
70%	161.28	149.03	137.87	127.84	118.86	110.86
60%	172.59	158.21	145.35	133.96	123.93	115.08
50%	185.34	168.33	153.43	140.48	129.24	119.46
40%	199.74	179.47	162.14	147.38	134.79	123.99
30%	216.02	191.68	171.47	154.64	140.54	128.62
20%	234.37	204.99	181.37	162.2	146.43	133.31
10%	254.88	219.31	191.74	169.95	152.39	138.00
0%	277.41	234.42	202.38	177.75	158.31	142.61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก38 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	44.27	41.65	39.17	36.85	34.71	32.74
90%	46.89	43.89	41.08	38.48	36.11	33.94
80%	49.86	46.40	43.19	40.26	37.61	35.22
70%	53.20	49.16	45.48	42.17	39.21	36.57
60%	56.96	52.21	47.97	44.21	40.90	37.98
50%	61.20	55.58	50.66	46.39	42.68	39.45
40%	66.01	59.31	53.58	48.71	44.54	40.97
30%	71.45	63.40	56.72	51.15	46.49	42.54
20%	77.60	67.87	60.05	53.70	48.49	44.14
10%	84.49	72.70	63.56	56.34	50.52	45.75
0%	92.08	77.81	67.18	59.00	52.55	47.34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก39 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	28.189	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	18.141	No	No	30.621	No	No	No	No
80%	No	12.933	No	No	19.476	No	No	No	No
70%	No	9.787	No	No	13.905	No	No	22.549	No
60%	No	7.686	No	No	10.572	No	No	15.920	No
50%	No	6.188	No	No	8.362	No	No	12.080	No
40%	No	5.071	No	No	6.798	No	No	9.588	No
30%	No	4.212	No	No	5.640	No	No	7.852	No
20%	No	3.537	No	No	4.758	No	No	6.587	No
10%	No	2.999	No	No	4.072	No	No	5.636	No
0%	No	2.570	No	No	3.535	No	No	4.909	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_p)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_p)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
70%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
60%	No	28.831	No	No	No	No	No	No	No
50%	No	19.688	No	No	No	No	No	No	No
40%	No	14.739	No	No	27.224	No	No	No	No
30%	No	11.658	No	No	19.633	No	No	No	No
20%	No	9.575	No	No	15.269	No	No	30.241	No
10%	No	8.091	No	No	12.466	No	No	22.393	No
0%	No	7.000	No	No	10.545	No	No	17.841	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก41 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	132.61	124.8	117.38	110.45	104.04	98.13
90%	142.03	132.97	124.48	116.62	109.42	102.86
80%	151.00	140.52	130.83	121.98	113.96	106.73
70%	161.03	148.83	137.71	127.71	118.76	110.77
60%	172.31	157.99	145.18	133.83	123.82	114.99
50%	185.02	168.09	153.25	140.34	129.13	119.37
40%	199.39	179.21	161.95	147.24	134.68	123.90
30%	215.64	191.41	171.27	154.49	140.42	128.53
20%	233.95	204.70	181.17	162.05	146.32	133.22
10%	254.42	219.02	191.53	169.80	152.28	137.92
0%	276.94	234.13	202.18	177.61	158.21	142.54

ตารางผนวกที่ ก42 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	132.61	124.8	117.38	110.45	104.04	98.13
90%	142.03	132.97	124.48	116.62	109.42	102.86
80%	151.00	140.52	130.83	121.98	113.96	106.73
70%	161.03	148.83	137.71	127.71	118.76	110.77
60%	172.31	157.99	145.18	133.83	123.82	114.99
50%	185.02	168.09	153.25	140.34	129.13	119.37
40%	199.39	179.21	161.95	147.24	134.68	123.90
30%	215.64	191.41	171.27	154.49	140.42	128.53
20%	233.95	204.70	181.17	162.05	146.32	133.22
10%	254.42	219.02	191.53	169.80	152.28	137.92
0%	276.94	234.13	202.18	177.61	158.21	142.54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก43 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์_ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	44.20	41.60	39.13	36.82	34.68	32.71
90%	46.82	43.84	41.04	38.45	36.07	33.91
80%	49.79	46.33	43.14	40.22	37.58	35.19
70%	53.12	49.09	45.42	42.12	39.17	36.54
60%	56.86	52.14	47.91	44.16	40.86	37.95
50%	61.10	55.51	50.60	46.34	42.64	39.42
40%	65.89	59.22	53.52	48.66	44.51	40.94
30%	71.32	63.31	56.65	51.10	46.45	42.51
20%	77.46	67.78	59.99	53.65	48.45	44.11
10%	84.34	72.60	63.49	56.29	50.48	45.72
0%	91.93	77.71	67.11	58.95	52.51	47.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก44 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	28.552	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	18.306	No	No	31.013	No	No	No	No
80%	No	13.026	No	No	19.649	No	No	No	No
70%	No	9.846	No	No	14.001	No	No	22.751	No
60%	No	7.726	No	No	10.632	No	No	16.028	No
50%	No	6.217	No	No	8.403	No	No	12.146	No
40%	No	5.093	No	No	6.827	No	No	9.631	No
30%	No	4.229	No	No	5.662	No	No	7.883	No
20%	No	3.550	No	No	4.774	No	No	6.609	No
10%	No	3.009	No	No	4.084	No	No	5.652	No
0%	No	2.578	No	No	3.544	No	No	4.920	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก45 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
70%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
60%	No	29.112	No	No	No	No	No	No	No
50%	No	19.825	No	No	No	No	No	No	No
40%	No	14.818	No	No	27.434	No	No	No	No
30%	No	11.708	No	No	19.743	No	No	No	No
20%	No	9.609	No	No	15.334	No	No	30.438	No
10%	No	8.115	No	No	12.508	No	No	22.495	No
0%	No	7.016	No	No	10.572	No	No	17.900	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก46 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	132.41	124.63	117.24	110.33	103.93	98.05
90%	141.81	132.79	124.32	116.49	109.31	102.77
80%	150.74	140.32	130.66	121.84	113.85	106.63
70%	160.75	148.61	137.53	127.56	118.64	110.67
60%	172.00	157.75	144.98	133.67	123.69	114.89
50%	184.68	167.82	153.04	140.18	129.00	119.27
40%	199.00	178.92	161.73	147.07	134.55	123.79
30%	215.21	191.70	171.04	154.32	140.30	128.43
20%	233.47	204.38	180.94	161.88	146.19	133.12
10%	253.91	218.68	191.30	169.64	152.16	137.82
0%	276.42	233.80	201.96	177.46	158.09	142.45

ตารางผนวกที่ ก47 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสาย จำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	132.41	124.63	117.24	110.33	103.93	98.05
90%	141.81	132.79	124.32	116.49	109.31	102.77
80%	150.74	140.32	130.66	121.84	113.85	106.63
70%	160.75	148.61	137.53	127.56	118.64	110.67
60%	172.00	157.75	144.98	133.67	123.69	114.89
50%	184.68	167.82	153.04	140.18	129.00	119.27
40%	199.00	178.92	161.73	147.07	134.55	123.79
30%	215.21	191.70	171.04	154.32	140.30	128.43
20%	233.47	204.38	180.94	161.88	146.19	133.12
10%	253.91	218.68	191.30	169.64	152.16	137.82
0%	276.42	233.80	201.96	177.46	158.09	142.45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก48 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	44.14	41.54	39.08	36.78	34.64	32.68
90%	46.75	43.77	40.98	38.40	36.04	33.88
80%	49.70	46.27	43.08	40.17	37.54	35.16
70%	53.02	49.02	45.36	42.08	39.13	36.50
60%	56.76	52.06	47.85	44.11	40.82	37.91
50%	60.98	55.42	50.54	46.29	42.60	39.38
40%	65.76	59.13	53.45	48.6	44.46	40.91
30%	71.18	63.21	56.57	51.04	46.40	42.48
20%	77.30	67.67	59.91	53.60	48.40	44.08
10%	84.17	72.49	63.42	56.23	50.44	45.69
0%	91.75	77.60	67.04	58.90	52.48	47.28

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก49 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	28.971	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	18.496	No	No	31.466	No	No	No	No
80%	No	13.132	No	No	19.847	No	No	No	No
70%	No	9.914	No	No	14.110	No	No	22.983	No
60%	No	7.773	No	No	10.701	No	No	16.151	No
50%	No	6.251	No	No	8.450	No	No	12.221	No
40%	No	5.118	No	No	6.860	No	No	9.681	No
30%	No	4.248	No	No	5.686	No	No	7.918	No
20%	No	3.564	No	No	4.792	No	No	6.634	No
10%	No	3.021	No	No	4.098	No	No	5.670	No
0%	No	2.586	No	No	3.554	No	No	4.934	No
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก50 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
70%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
60%	No	29.435	No	No	No	No	No	No	No
50%	No	19.981	No	No	No	No	No	No	No
40%	No	14.908	No	No	27.675	No	No	No	No
30%	No	11.766	No	No	19.867	No	No	No	No
20%	No	9.648	No	No	15.408	No	No	30.663	No
10%	No	8.142	No	No	12.555	No	No	22.611	No
0%	No	7.035	No	No	10.603	No	No	17.967	No
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟส (B-C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1121.67	877.03	682.49	547.58	453.38	385.29
90%	1208.56	928.87	711.58	565.02	464.68	393.09
80%	1309.83	987.07	743.01	583.42	476.41	401.11
70%	1429.31	1052.85	777.03	602.81	488.59	409.35
60%	1572.28	1127.75	813.91	623.26	501.22	417.82
50%	1746.22	1213.73	853.98	644.81	514.31	426.50
40%	1962.02	1313.32	897.56	667.51	527.87	435.41
30%	2236.07	1429.85	945.02	691.40	541.89	444.52
20%	2593.89	1567.73	996.71	716.50	556.36	453.85
10%	3076.49	1732.86	1052.98	742.83	571.27	463.36
0%	3750.73	1933.21	1114.16	770.35	586.61	473.06

ตารางผนวกที่ ข2 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	647.60	506.35	394.04	316.14	261.76	222.45
90%	697.76	536.28	410.83	326.22	268.28	226.95
80%	756.23	569.88	428.98	336.84	275.06	231.58
70%	825.21	607.86	448.62	348.03	282.09	236.34
60%	907.76	651.11	469.91	359.84	289.38	241.23
50%	1008.20	700.75	493.05	372.28	296.94	246.24
40%	1132.80	758.25	518.21	385.39	304.76	251.38
30%	1291.00	825.53	545.61	399.18	312.86	256.65
20%	1497.60	905.13	575.45	413.67	321.21	262.03
10%	1776.20	1000.50	607.94	428.87	329.82	267.52
0%	2165.48	1116.14	643.26	444.76	338.68	273.12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.452	0.208	0.244	0.711	0.352	0.359	1.306	0.617	0.689
90%	0.400	0.178	0.222	0.634	0.311	0.323	1.161	0.560	0.601
80%	0.353	0.150	0.203	0.566	0.273	0.293	1.037	0.508	0.529
70%	0.310	0.126	0.184	0.504	0.238	0.266	0.929	0.459	0.470
60%	0.271	0.103	0.168	0.448	0.206	0.242	0.835	0.415	0.420
50%	0.234	0.083	0.151	0.398	0.176	0.222	0.752	0.373	0.379
40%	0.201	0.066	0.135	0.352	0.150	0.202	0.679	0.335	0.344
30%	0.170	0.050	0.120	0.310	0.126	0.184	0.614	0.299	0.315
20%	0.142	0.037	0.105	0.272	0.104	0.168	0.556	0.267	0.289
10%	0.116	0.035	0.081	0.237	0.085	0.152	0.504	0.238	0.266
0%	0.092	0.035	0.057	0.205	0.068	0.137	0.457	0.211	0.246
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	3.113	1.047	2.066	No	1.736	-1.736	No	2.885	-2.885
90%	2.641	0.968	1.673	No	1.619	-1.619	No	2.696	-2.696
80%	2.277	0.895	1.382	11.501	1.510	9.991	No	2.522	-2.522
70%	1.988	0.826	1.162	7.872	1.410	6.462	No	2.362	-2.362
60%	1.753	0.763	0.99	5.930	1.316	4.614	No	2.215	-2.215
50%	1.559	0.704	0.855	4.723	1.230	3.493	No	2.079	-2.079
40%	1.396	0.649	0.747	3.901	1.150	2.751	No	1.954	-1.954
30%	1.258	0.598	0.660	3.306	1.075	2.231	No	1.838	-1.838
20%	1.140	0.552	0.588	2.856	1.006	1.850	No	1.731	-1.731
10%	1.037	0.508	0.529	2.505	0.942	1.563	No	1.632	-1.632
0%	0.948	0.468	0.480	2.224	0.883	1.341	13.173	1.540	11.633
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1105.34	868.71	678.34	545.31	452.30	384.43
90%	1189.55	919.62	707.16	562.68	463.31	392.22
80%	1287.43	976.74	738.30	581.00	475.02	400.23
70%	1402.54	1041.25	772.01	600.32	487.18	408.47
60%	1539.76	1114.63	808.58	620.70	499.80	416.94
50%	1705.94	1198.79	848.32	642.18	512.88	425.63
40%	1910.95	1296.19	891.56	664.83	526.44	434.55
30%	2169.45	1410.06	938.68	688.69	540.47	443.68
20%	2503.90	1544.69	990.05	713.77	554.96	453.02
10%	2949.72	1705.85	1046.06	740.11	569.91	462.57
0%	3563.22	1901.38	1107.05	767.69	585.29	472.3

ตารางผนวกที่ ข6 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	638.17	501.55	391.64	314.84	260.98	221.95
90%	686.78	530.94	408.28	324.86	267.49	226.45
80%	743.30	563.92	426.26	335.44	274.25	231.07
70%	809.76	601.16	445.72	346.59	281.27	235.83
60%	888.98	643.53	466.83	358.36	288.56	240.72
50%	984.93	692.12	489.78	370.77	296.11	245.74
40%	1103.29	748.36	514.74	383.84	303.94	250.89
30%	1252.53	814.10	541.94	397.61	312.04	256.16
20%	1445.63	891.83	571.60	412.10	320.41	261.55
10%	1703.02	984.87	603.94	427.30	329.04	267.06
0%	2057.23	1097.76	639.15	443.22	337.92	272.68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 เปรียบเทียบเวลาการทำงาน ของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.463	0.215	0.248	0.725	0.359	0.366	1.330	0.625	0.705
90%	0.411	0.184	0.227	0.647	0.318	0.329	1.181	0.568	0.613
80%	0.363	0.156	0.207	0.577	0.279	0.298	1.054	0.515	0.539
70%	0.319	0.131	0.188	0.514	0.243	0.271	0.943	0.466	0.477
60%	0.279	0.108	0.171	0.457	0.211	0.246	0.847	0.421	0.426
50%	0.242	0.087	0.155	0.406	0.181	0.225	0.763	0.378	0.385
40%	0.208	0.069	0.139	0.359	0.154	0.205	0.688	0.340	0.348
30%	0.177	0.054	0.123	0.316	0.129	0.187	0.622	0.304	0.318
20%	0.148	0.040	0.108	0.277	0.107	0.170	0.562	0.271	0.291
10%	0.122	0.035	0.087	0.242	0.087	0.155	0.510	0.241	0.269
0%	0.098	0.035	0.063	0.209	0.07	0.139	0.462	0.214	0.248
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	3.187	1.058	2.129	No	1.751	-1.751	No	2.908	-2.908
90%	2.696	0.978	1.718	No	1.632	-1.632	No	2.716	-2.716
80%	2.319	0.904	1.415	12.142	1.523	10.619	No	2.540	-2.540
70%	2.021	0.835	1.186	8.170	1.421	6.749	No	2.378	-2.378
60%	1.779	0.770	1.009	6.100	1.326	4.774	No	2.229	-2.229
50%	1.581	0.711	0.870	4.830	1.239	3.591	No	2.092	-2.092
40%	1.414	0.655	0.759	3.974	1.158	2.816	No	1.965	-1.965
30%	1.273	0.604	0.669	3.358	1.082	2.276	No	1.848	-1.848
20%	1.152	0.556	0.596	2.894	1.012	1.882	No	1.740	-1.740
10%	1.047	0.512	0.535	2.533	0.948	1.585	No	1.640	-1.640
0%	0.956	0.472	0.484	2.245	0.888	1.357	No	1.547	-1.547
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1087.70	859.59	673.74	542.79	450.52	383.46
90%	1169.06	909.49	702.26	560.07	461.77	391.24
80%	1263.35	965.42	733.08	578.30	473.46	399.25
70%	1373.87	1028.53	766.45	597.53	485.60	407.49
60%	1505.09	1100.26	802.66	617.83	498.20	415.96
50%	1663.22	1182.43	842.01	639.24	511.28	424.66
40%	1857.12	1277.43	884.86	661.82	524.83	433.58
30%	2099.81	1388.38	931.59	685.63	538.87	442.73
20%	2410.85	1519.42	982.58	710.69	553.38	452.09
10%	2820.48	1676.16	1038.26	737.03	568.36	461.66
0%	3375.63	1866.28	1098.99	764.65	583.79	471.43

ตารางผนวกที่ ข10 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	627.98	496.29	388.98	313.38	260.11	221.39
90%	647.96	525.09	405.45	323.36	266.60	225.88
80%	729.40	557.39	423.24	333.88	273.35	230.51
70%	793.21	593.82	442.51	344.98	280.36	235.27
60%	868.96	635.23	463.41	356.70	287.64	240.15
50%	960.26	682.68	486.13	369.06	295.19	245.18
40%	1072.21	737.53	510.88	382.10	303.01	250.33
30%	1212.32	801.58	537.85	395.85	311.12	255.61
20%	1391.90	877.24	567.29	410.32	319.49	261.02
10%	1628.41	967.73	599.44	425.52	328.14	266.54
0%	1948.92	1077.50	634.50	441.47	337.05	272.18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข11 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.476	0.222	0.254	0.742	0.368	0.374	1.358	0.635	0.723
90%	0.422	0.191	0.231	0.661	0.325	0.336	1.204	0.577	0.627
80%	0.373	0.162	0.211	0.589	0.286	0.303	1.073	0.524	0.549
70%	0.329	0.136	0.193	0.525	0.25	0.275	0.960	0.474	0.486
60%	0.288	0.113	0.175	0.467	0.217	0.250	0.861	0.428	0.433
50%	0.250	0.092	0.158	0.415	0.186	0.229	0.775	0.385	0.390
40%	0.216	0.073	0.143	0.367	0.159	0.208	0.698	0.345	0.353
30%	0.184	0.057	0.127	0.324	0.133	0.191	0.631	0.309	0.322
20%	0.155	0.043	0.112	0.284	0.111	0.173	0.570	0.275	0.295
10%	0.128	0.035	0.093	0.248	0.091	0.157	0.516	0.245	0.271
0%	0.104	0.035	0.069	0.214	0.073	0.141	0.468	0.217	0.251
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข12 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	3.273	1.071	2.202	No	1.768	-1.768	No	2.933	-2.933
90%	2.76	0.989	1.771	No	1.648	-1.648	No	2.739	-2.739
80%	2.368	0.914	1.454	12.949	1.536	11.413	No	2.560	-2.560
70%	2.059	0.844	1.215	8.533	1.433	7.100	No	2.396	-2.396
60%	1.810	0.779	1.031	6.302	1.338	4.964	No	2.245	-2.245
50%	1.605	0.718	0.887	4.957	1.249	3.708	No	2.106	-2.106
40%	1.434	0.662	0.772	4.059	1.167	2.892	No	1.978	-1.978
30%	1.289	0.610	0.679	3.418	1.091	2.327	No	1.860	-1.860
20%	1.165	0.562	0.603	2.938	1.020	1.918	No	1.750	-1.750
10%	1.058	0.517	0.541	2.566	0.954	1.612	No	1.649	-1.649
0%	0.965	0.476	0.489	2.270	0.893	1.377	No	1.555	-1.555
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1068.61	849.56	668.63	539.98	448.83	382.36
90%	1146.94	898.35	696.81	557.15	460.05	390.14
80%	1237.45	952.99	727.27	575.27	471.70	398.15
70%	1343.14	1014.57	760.25	594.40	483.82	406.38
60%	1468.08	1084.48	796.04	614.60	496.40	414.85
50%	1617.87	1164.47	834.96	635.92	509.46	423.55
40%	1800.38	1256.84	877.36	658.43	523.01	432.49
30%	2027.02	1364.57	923.63	682.17	537.05	441.65
20%	2314.67	1491.65	974.17	707.19	551.58	451.03
10%	2688.83	1643.49	1029.43	733.52	566.59	460.63
0%	3188.12	1827.82	1089.82	761.17	582.07	470.43

ตารางผนวกที่ ข14 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	616.96	490.49	386.03	311.76	259.13	220.76
90%	662.19	518.66	402.30	321.67	265.61	225.25
80%	714.44	550.21	419.89	332.13	272.34	229.87
70%	775.47	585.76	438.93	343.18	279.33	234.62
60%	847.60	626.12	459.60	354.84	286.6	239.51
50%	934.08	672.31	482.07	367.15	294.14	244.54
40%	1039.45	725.64	506.55	380.14	301.96	249.70
30%	1170.30	787.83	533.26	393.85	310.07	254.99
20%	1336.37	861.21	562.44	408.30	318.46	260.40
10%	1552.40	948.87	594.34	423.50	327.12	265.95
0%	1840.66	1055.12	629.21	439.46	336.06	271.60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข15 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.491	0.230	0.261	0.760	0.377	0.383	1.389	0.647	0.742
90%	0.436	0.199	0.237	0.677	0.334	0.343	1.231	0.588	0.643
80%	0.386	0.169	0.217	0.604	0.294	0.31	1.096	0.533	0.563
70%	0.340	0.143	0.197	0.538	0.257	0.281	0.979	0.482	0.497
60%	0.298	0.119	0.179	0.479	0.223	0.256	0.878	0.435	0.443
50%	0.260	0.097	0.163	0.425	0.192	0.233	0.789	0.392	0.397
40%	0.225	0.078	0.147	0.376	0.164	0.212	0.711	0.352	0.359
30%	0.193	0.061	0.132	0.332	0.138	0.194	0.641	0.315	0.326
20%	0.163	0.047	0.116	0.292	0.115	0.177	0.579	0.281	0.298
10%	0.136	0.035	0.101	0.255	0.094	0.161	0.524	0.249	0.275
0%	0.111	0.035	0.076	0.221	0.076	0.145	0.475	0.211	0.264
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข16 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	3.376	1.085	2.291	No	1.787	-1.787	No	2.962	-2.962
90%	2.835	1.003	1.832	No	1.665	-1.665	No	2.765	-2.765
80%	2.425	0.926	1.499	No	1.552	-1.552	No	2.584	-2.584
70%	2.104	0.855	1.249	8.982	1.448	7.534	No	2.417	-2.417
60%	1.845	0.789	1.056	6.546	1.351	5.195	No	2.264	-2.264
50%	1.634	0.727	0.907	5.108	1.261	3.847	No	2.123	-2.123
40%	1.457	0.670	0.787	4.160	1.177	2.983	No	1.993	-1.993
30%	1.308	0.617	0.691	3.489	1.100	2.389	No	1.873	-1.873
20%	1.181	0.568	0.613	2.990	1.028	1.962	No	1.762	-1.762
10%	1.071	0.523	0.548	2.605	0.961	1.644	No	1.659	-1.659
0%	0.976	0.481	0.495	2.300	0.900	1.400	No	1.564	-1.564
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข17 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1047.87	838.47	662.90	536.80	446.92	381.13
90%	1122.99	886.04	690.71	553.85	485.10	388.89
80%	1209.49	939.25	720.75	571.85	469.72	396.89
70%	1310.11	999.16	753.30	590.86	481.80	405.12
60%	1428.49	1067.07	788.62	610.95	494.36	413.59
50%	1569.63	1144.67	827.04	632.16	507.40	422.29
40%	1740.45	1234.14	868.91	654.57	520.94	431.24
30%	1950.84	1338.32	914.64	678.23	534.98	440.41
20%	2215.16	1461.03	964.64	703.19	549.52	449.82
10%	2554.64	1607.41	1019.38	729.49	564.56	459.45
0%	3000.62	1784.61	1079.32	757.15	580.08	469.28

ตารางผนวกที่ ข18 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	604.99	484.09	382.73	309.92	258.03	220.04
90%	648.36	511.56	398.78	319.77	264.48	224.53
80%	698.30	542.28	416.13	330.16	271.19	229.14
70%	756.39	576.86	434.92	341.14	278.17	233.90
60%	824.74	616.07	455.31	352.73	285.42	238.79
50%	906.22	660.88	477.49	364.98	292.95	243.81
40%	1004.85	712.53	501.67	377.92	300.76	248.97
30%	1126.32	772.68	528.06	391.58	308.87	254.27
20%	1278.92	843.52	556.94	405.99	317.27	259.70
10%	1474.92	928.04	588.54	421.17	325.95	265.26
0%	1732.41	1030.34	623.15	437.14	334.91	270.94

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข19 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.508	0.240	0.268	0.782	0.388	0.394	1.427	0.660	0.767
90%	0.451	0.208	0.243	0.697	0.344	0.353	1.262	0.600	0.662
80%	0.400	0.178	0.222	0.621	0.303	0.318	1.122	0.544	0.578
70%	0.353	0.150	0.203	0.553	0.266	0.287	1.001	0.492	0.509
60%	0.310	0.126	0.184	0.492	0.231	0.261	0.897	0.445	0.452
50%	0.271	0.104	0.167	0.437	0.199	0.238	0.806	0.400	0.406
40%	0.235	0.084	0.151	0.387	0.170	0.217	0.725	0.359	0.366
30%	0.202	0.066	0.136	0.342	0.144	0.198	0.654	0.321	0.333
20%	0.172	0.051	0.121	0.300	0.120	0.180	0.590	0.287	0.303
10%	0.144	0.038	0.106	0.262	0.099	0.163	0.533	0.255	0.278
0%	0.119	0.035	0.084	0.228	0.080	0.148	0.483	0.226	0.257
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข20 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	3.499	1.101	2.398	No	1.809	-1.809	No	2.996	-2.996
90%	2.925	1.018	1.907	No	1.685	-1.685	No	2.795	-2.795
80%	2.493	0.940	1.553	No	1.571	-1.571	No	2.611	-2.611
70%	2.156	0.867	1.289	9.552	1.464	8.088	No	2.442	-2.442
60%	1.887	0.800	1.087	6.848	1.366	5.482	No	2.286	-2.286
50%	1.667	0.737	0.930	5.292	1.274	4.018	No	2.143	-2.143
40%	1.485	0.679	0.806	4.282	1.190	3.092	No	2.011	-2.011
30%	1.331	0.626	0.705	3.574	1.111	2.463	No	1.889	-1.889
20%	1.200	0.576	0.624	3.052	1.038	2.014	No	1.776	-1.776
10%	1.087	0.529	0.558	2.651	0.970	1.681	No	1.671	-1.671
0%	0.989	0.487	0.502	2.335	0.907	1.428	No	1.575	-1.575
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข21 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	321.06	297.90	275.47	254.59	235.57	218.46
90%	345.79	319.04	293.27	269.47	248.01	228.91
80%	374.65	343.41	313.48	286.13	261.77	240.32
70%	408.75	371.80	336.63	304.91	277.03	252.82
60%	449.67	405.28	363.40	326.20	294.05	266.56
50%	499.68	445.37	394.69	350.52	313.12	281.69
40%	562.17	494.2	431.69	378.53	334.56	298.41
30%	642.46	554.98	476.08	411.03	358.80	316.90
20%	749.39	632.66	530.18	449.09	386.32	337.40
10%	898.74	735.31	597.35	494.04	417.65	360.13
0%	1121.67	877.03	682.49	547.58	453.38	385.29

ตารางผนวกที่ ข22 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	185.37	171.99	159.04	146.99	136.01	126.13
90%	199.64	184.20	169.32	155.58	143.19	132.16
80%	216.30	198.27	180.99	165.20	151.13	138.75
70%	235.99	214.66	194.35	176.04	159.95	145.97
60%	259.62	233.99	209.81	188.33	169.77	153.90
50%	288.49	257.13	227.87	202.38	180.78	162.64
40%	324.57	285.33	249.24	218.54	193.16	172.28
30%	370.93	320.42	274.86	237.31	207.16	182.96
20%	432.66	365.27	306.10	259.28	223.04	194.80
10%	518.89	424.53	344.88	285.24	241.13	207.92
0%	647.60	506.35	394.04	316.14	261.76	222.45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข23 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	6.088	-6.088	No	9.378	-9.378	No	18.193	-18.193
90%	No	4.338	-4.338	No	6.287	-6.287	No	10.456	-10.456
80%	No	3.184	-3.184	No	4.466	-4.466	No	6.900	-6.900
70%	No	2.373	-2.373	No	3.273	-3.273	No	4.868	-4.868
60%	No	1.777	-1.777	No	2.438	-2.438	No	3.562	-3.562
50%	6.114	1.327	4.787	No	1.828	-1.828	No	2.659	-2.659
40%	2.708	0.980	1.728	6.872	1.367	5.505	No	2.004	-2.004
30%	1.578	0.710	0.868	2.893	1.012	1.881	11.649	1.513	10.136
20%	1.015	0.498	0.517	1.663	0.736	0.927	3.788	1.137	2.651
10%	0.677	0.334	0.343	1.065	0.52	0.545	2.061	0.845	1.216
0%	0.452	0.208	0.244	0.711	0.352	0.359	1.306	0.617	0.689
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

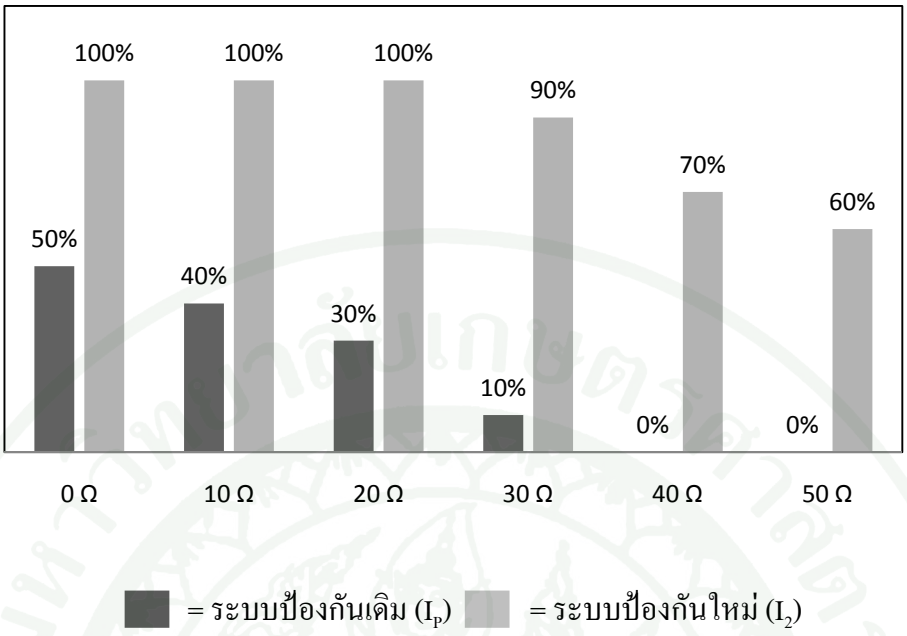
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข24 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	23.914	23.914	No	No	No	No	No	No
80%	No	12.655	-12.655	No	No	No	No	No	No
70%	No	8.089	-8.089	No	17.114	-17.114	No	No	No
60%	No	5.630	-5.630	No	10.257	-10.257	No	28.128	28.128
50%	No	4.102	-4.102	No	6.944	-6.944	No	14.515	-14.515
40%	No	3.069	-3.069	No	5.004	-5.004	No	9.272	-9.272
30%	No	2.331	-2.331	No	3.740	-3.740	No	6.511	-6.511
20%	No	1.784	-1.784	No	2.859	-2.859	No	4.819	-4.819
10%	6.896	1.368	5.528	No	2.217	-2.217	No	3.687	-3.687
0%	3.113	1.047	2.066	No	1.736	-1.736	No	2.885	-2.885
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข25 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	319.77	296.84	274.63	253.91	235.02	218.01
90%	344.29	317.84	292.31	268.72	247.42	228.43
80%	372.88	342.02	312.40	285.30	261.11	239.80
70%	406.65	370.18	335.40	303.97	276.32	252.27
60%	447.12	403.37	361.99	325.15	293.27	265.96
50%	496.52	443.07	393.04	349.34	312.25	281.05
40%	558.16	491.39	429.76	377.18	333.61	297.71
30%	637.20	551.47	473.78	409.50	357.76	316.16
20%	742.21	628.15	527.41	447.34	385.17	336.61
10%	888.34	729.32	593.98	492.05	416.39	359.29
0%	1105.34	868.71	678.34	545.31	452.03	384.43

ตารางผนวกที่ ข26 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	184.62	171.38	158.56	146.59	135.69	125.87
90%	198.78	183.50	168.77	155.14	142.85	131.88
80%	215.28	197.47	180.36	164.72	150.75	138.45
70%	234.78	213.72	193.64	175.50	159.53	145.65
60%	258.14	232.88	208.99	187.73	169.32	153.55
50%	286.67	255.80	226.92	201.69	180.28	162.26
40%	322.25	283.70	248.12	217.77	192.61	171.88
30%	367.89	318.39	273.54	236.43	206.55	182.53
20%	428.51	362.66	304.50	258.27	222.38	194.34
10%	512.88	421.07	342.93	284.09	240.40	207.44
0%	638.17	501.55	391.64	314.84	260.98	221.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข27 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	6.214	-6.214	No	9.604	-9.604	No	18.834	-18.834
90%	No	4.418	-4.418	No	6.411	-6.411	No	10.707	-10.707
80%	No	3.239	-3.239	No	4.543	-4.543	No	7.032	-7.032
70%	No	2.412	-2.412	No	3.326	-3.326	No	4.948	-4.948
60%	No	1.807	-1.807	No	2.476	-2.476	No	3.615	-3.615
50%	6.530	1.350	5.180	No	1.856	-1.856	No	2.697	-2.697
40%	2.808	0.998	1.810	7.339	1.388	5.951	No	2.032	-2.032
30%	1.623	0.724	0.899	2.993	1.029	1.964	12.774	1.534	11.240
20%	1.040	0.509	0.531	1.705	0.749	0.956	3.924	1.152	2.772
10%	0.693	0.342	0.351	1.087	0.53	0.557	2.110	0.856	1.254
0%	0.463	0.215	0.248	0.725	0.359	0.366	1.330	0.625	0.705
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

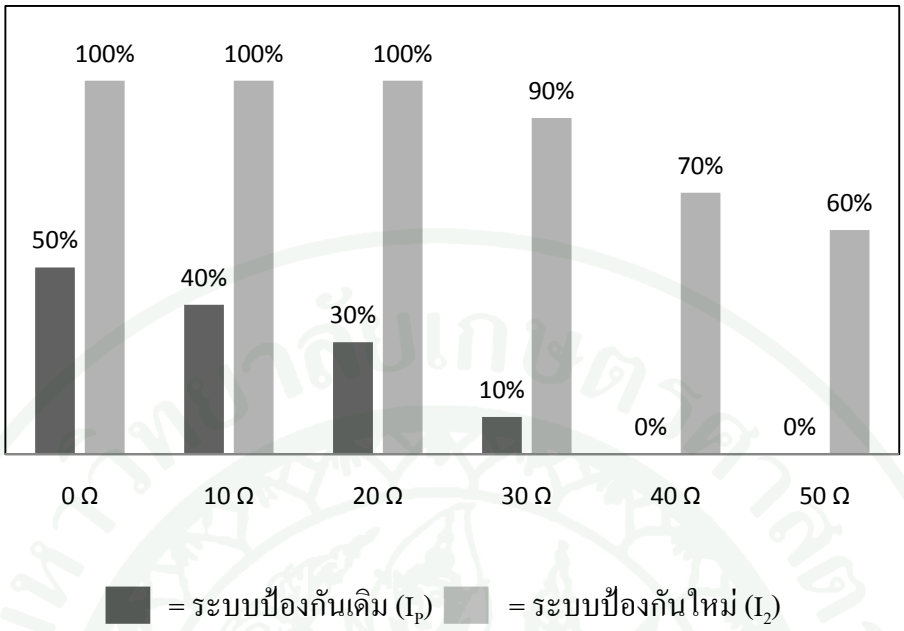
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข28 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์มตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	24.882	24.882	No	No	No	No	No	No
80%	No	12.970	-12.970	No	No	No	No	No	No
70%	No	8.242	-8.242	No	17.593	-17.593	No	No	No
60%	No	5.718	-5.718	No	10.456	-10.456	No	29.180	29.180
50%	No	4.159	-4.159	No	7.051	-7.051	No	14.829	-14.829
40%	No	3.108	-3.108	No	5.069	-5.069	No	9.417	-9.417
30%	No	2.359	-2.359	No	3.783	-3.783	No	6.592	-6.592
20%	No	1.804	-1.804	No	2.889	-2.889	No	4.870	-4.870
10%	7.223	1.383	5.840	No	2.238	-2.238	No	3.720	-3.720
0%	3.187	1.058	2.129	No	1.751	-1.751	No	2.908	-2.908
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข2 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข29 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	318.34	295.68	273.69	253.16	234.41	217.52
90%	342.63	316.51	291.26	267.88	246.75	227.90
80%	370.94	340.49	311.21	284.37	260.39	239.23
70%	404.33	368.39	334.04	302.94	275.52	251.65
60%	444.31	401.25	360.42	323.99	292.40	265.30
50%	493.05	440.53	391.22	348.03	311.29	280.33
40%	553.76	488.29	427.62	375.70	332.55	296.94
30%	631.45	547.60	471.24	407.81	356.59	315.33
20%	734.36	623.19	524.36	445.41	383.89	335.72
10%	877.04	722.74	590.25	489.84	414.99	358.36
0%	1087.79	859.59	673.74	542.79	450.52	383.46

ตารางผนวกที่ ข30 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	183.79	170.71	158.02	146.16	135.34	125.59
90%	197.82	182.74	168.16	154.66	142.46	131.58
80%	214.16	196.58	179.68	164.18	150.34	138.12
70%	233.44	212.69	192.86	174.90	159.07	145.29
60%	256.52	231.66	208.09	187.06	168.81	153.17
50%	284.66	254.34	225.87	200.94	179.72	161.85
40%	319.71	281.92	246.89	216.91	192.00	171.44
30%	364.57	316.16	272.07	235.45	205.88	182.06
20%	423.98	359.80	302.74	257.16	221.64	193.83
10%	506.36	417.27	340.78	282.81	239.60	206.90
0%	627.98	496.29	388.98	313.38	260.11	221.39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข31 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	6.359	-6.359	No	9.867	-9.867	No	19.596	-19.596
90%	No	4.509	-4.509	No	6.553	-6.553	No	10.998	-10.998
80%	No	3.301	-3.301	No	4.632	-4.632	No	7.183	-7.183
70%	No	2.457	-2.457	No	3.385	-3.385	No	5.040	-5.040
60%	No	1.840	-1.840	No	2.519	-2.519	No	3.676	-3.676
50%	7.056	1.376	5.680	No	1.887	-1.887	No	2.739	-2.739
40%	2.928	1.018	1.910	7.932	1.412	6.520	No	2.062	-2.062
30%	1.674	0.739	0.935	3.112	1.047	2.065	No	1.557	-1.557
20%	1.068	0.522	0.546	1.754	0.763	0.991	4.085	1.17	2.915
10%	0.711	0.352	0.359	1.114	0.541	0.573	2.166	0.869	1.297
0%	0.476	0.222	0.254	0.742	0.368	0.374	1.358	0.635	0.723
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

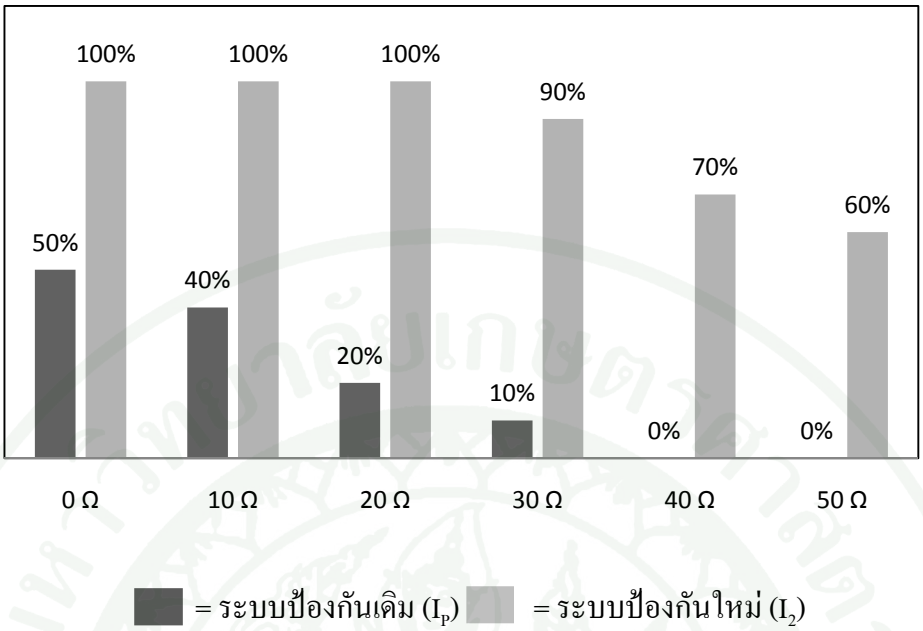
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข32 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	26.047	-26.047	No	No	No	No	No	No
80%	No	13.337	-13.337	No	No	No	No	No	No
70%	No	8.417	-8.417	No	18.156	-18.156	No	No	No
60%	No	5.819	-5.819	No	10.685	-10.685	No	30.441	-30.441
50%	No	4.223	-4.223	No	7.172	-7.172	No	15.194	-15.194
40%	No	3.152	-3.152	No	5.143	-5.143	No	9.583	-9.583
30%	No	2.390	-2.390	No	3.831	-3.831	No	6.685	-6.685
20%	No	1.827	-1.827	No	2.922	-2.922	No	4.927	-4.927
10%	7.624	1.400	6.224	No	2.262	-2.262	No	3.758	-3.758
0%	3.273	1.071	2.202	No	1.768	-1.768	No	2.933	-2.933
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข3 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข33 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	316.76	294.39	272.65	252.32	233.74	216.97
90%	340.80	315.04	290.09	266.96	246.02	227.31
80%	368.78	338.79	309.88	283.34	259.58	238.60
70%	401.76	366.41	332.53	301.79	274.64	250.96
60%	441.21	398.91	358.68	322.70	291.42	264.55
50%	489.22	437.72	389.20	346.57	310.22	279.53
40%	548.92	484.87	425.25	374.04	331.37	296.08
30%	625.13	543.33	468.43	405.92	355.29	314.40
20%	725.78	617.72	520.97	443.25	382.46	334.73
10%	864.72	715.49	586.12	487.37	413.43	357.31
0%	1068.61	849.56	668.63	539.98	448.83	382.36

ตารางผนวกที่ ข34 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	182.88	169.97	157.41	145.68	134.95	125.27
90%	196.76	181.89	167.48	154.13	142.04	131.24
80%	212.92	195.60	178.91	163.59	149.87	137.75
70%	231.96	211.54	191.99	174.24	158.56	144.89
60%	254.73	230.31	207.08	186.31	168.25	152.74
50%	282.45	252.72	224.71	200.09	179.11	161.39
40%	316.92	279.94	245.52	215.95	191.32	170.94
30%	360.92	313.69	270.45	234.36	205.13	181.52
20%	419.03	356.64	300.78	255.91	220.81	193.26
10%	499.25	413.09	338.39	281.38	238.69	206.29
0%	616.96	490.49	386.03	311.76	259.13	220.76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข35 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	6.526	-6.526	No	10.174	-10.174	No	20.514	-20.514
90%	No	4.613	-4.613	No	6.718	-6.718	No	11.339	-11.339
80%	No	3.372	-3.372	No	4.733	-4.733	No	7.358	-7.358
70%	No	2.508	-2.508	No	3.454	-3.454	No	5.145	-5.145
60%	No	1.879	-1.879	No	2.567	-2.567	No	3.745	-3.745
50%	7.745	1.405	6.340	No	1.923	-1.923	No	2.787	-2.787
40%	3.071	1.041	2.030	8.712	1.439	7.273	No	2.098	-2.098
30%	1.734	0.757	0.977	3.255	1.068	2.187	No	1.583	-1.583
20%	1.101	0.536	0.565	1.811	0.779	1.032	4.280	1.189	3.091
10%	0.732	0.363	0.369	1.144	0.553	0.591	2.232	0.885	1.347
0%	0.491	0.230	0.261	0.760	0.377	0.383	1.389	0.647	0.742
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

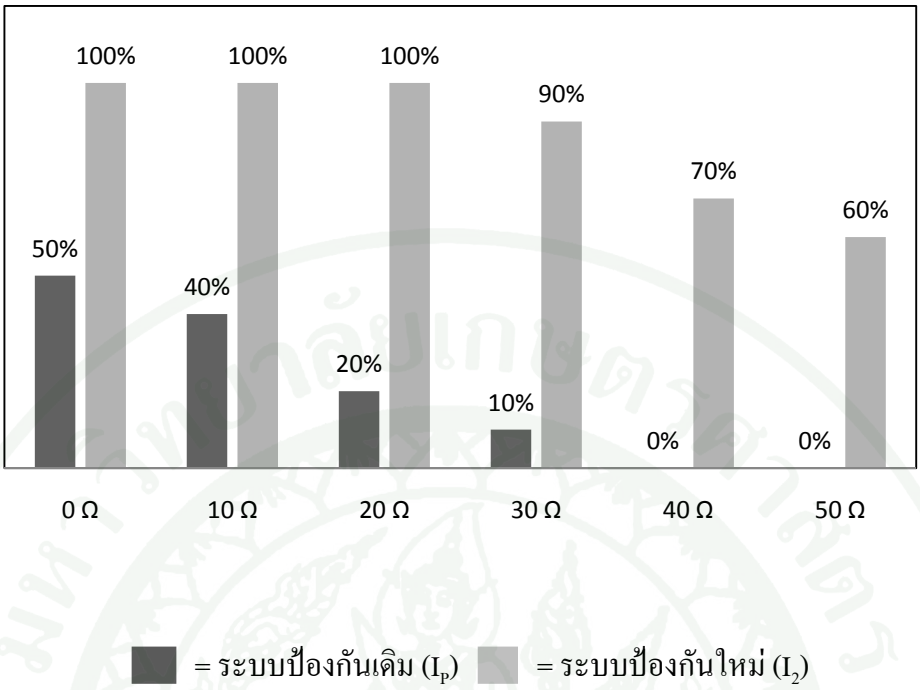
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข36 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	27.473	-27.473	No	No	No	No	No	No
80%	No	13.768	-13.768	No	No	No	No	No	No
70%	No	8.620	-8.620	No	18.824	-18.824	No	No	No
60%	No	5.935	-5.935	No	10.952	-10.952	No	31.980	-31.980
50%	No	4.297	-4.297	No	7.312	-7.312	No	15.621	-15.621
40%	No	3.202	-3.202	No	5.228	-5.228	No	9.776	-9.776
30%	No	2.426	-2.426	No	3.887	-3.887	No	6.791	-6.791
20%	No	1.853	-1.853	No	2.960	-2.960	No	4.993	-4.993
10%	No	1.419	-1.419	No	2.289	-2.289	No	3.801	-3.801
0%	3.376	1.085	2.291	No	1.787	-1.787	No	2.962	-2.962
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข4 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข37 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	315.00	292.95	271.49	251.38	232.98	216.35
90%	338.76	313.39	288.78	265.92	245.19	226.64
80%	366.39	336.89	308.40	282.18	258.68	237.88
70%	398.92	364.20	330.84	300.5	273.65	250.19
60%	437.77	396.30	365.74	321.25	290.33	263.72
50%	484.98	434.6	386.95	344.94	309.02	278.63
40%	543.56	481.06	422.6	372.19	330.05	295.11
30%	618.16	538.59	465.28	403.81	353.83	313.36
20%	716.33	611.65	517.18	440.83	380.85	333.62
10%	851.24	707.46	581.49	484.60	411.67	356.13
0%	1047.87	838.47	662.90	536.80	446.92	381.13

ตารางผนวกที่ ข38 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	10	20	30	40	50
100%	181.86	169.14	156.74	145.13	134.51	124.91
90%	195.58	180.94	166.73	153.53	141.56	130.85
80%	211.53	194.50	178.06	162.92	149.35	137.34
70%	230.31	210.27	191.01	173.49	157.99	144.45
60%	252.75	228.81	205.96	185.47	167.62	152.26
50%	280.00	250.92	223.4	199.15	178.41	160.87
40%	313.82	277.74	243.99	214.88	190.55	170.38
30%	356.89	310.95	268.63	233.14	204.28	180.92
20%	413.58	353.14	298.60	254.51	219.88	192.61
10%	491.46	408.45	335.72	279.78	237.68	205.61
0%	604.99	484.09	382.73	309.92	258.03	220.04

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข39 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10 และ 20 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	6.722	-6.722	No	10.538	-10.538	No	21.645	-21.645
90%	No	4.735	-4.735	No	6.911	-6.911	No	11.744	-11.744
80%	No	3.454	-3.454	No	4.852	-4.852	No	7.562	-7.562
70%	No	2.567	-2.567	No	3.533	-3.533	No	5.267	-5.267
60%	No	1.922	-1.922	No	2.623	-2.623	No	3.825	-3.825
50%	8.684	1.438	7.246	No	1.964	-1.964	No	2.843	-2.843
40%	3.247	1.067	2.180	9.780	1.471	8.309	No	2.138	-2.138
30%	1.806	0.778	1.028	3.429	1.092	2.337	No	1.613	-1.613
20%	1.140	0.552	0.588	1.879	0.798	1.081	4.521	1.212	3.309
10%	0.757	0.376	0.381	1.180	0.568	0.612	2.310	0.902	1.408
0%	0.508	0.240	0.268	0.782	0.388	0.394	1.427	0.660	0.767
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**			**10 โอห์ม**			**20 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

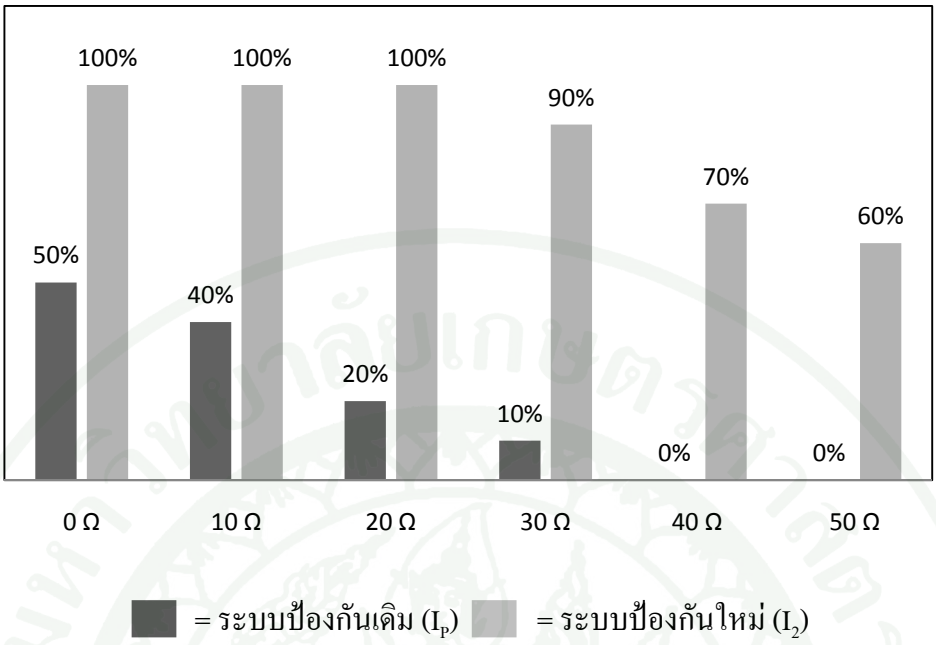
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)			ระยะเวลา (วินาที)		
	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_p)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	29.261	-29.261	No	No	No	No	No	No
80%	No	14.284	-14.284	No	No	No	No	No	No
70%	No	8.858	-8.858	No	19.632	-19.632	No	No	No
60%	No	6.070	-6.070	No	11.267	-11.267	No	33.900	-33.900
50%	No	4.383	-4.383	No	7.476	-7.476	No	16.130	-16.130
40%	No	3.261	-3.261	No	5.326	-5.326	No	10.002	-10.002
30%	No	2.467	-2.467	No	3.951	-3.951	No	6.915	-6.915
20%	No	1.883	-1.883	No	3.004	-3.004	No	5.069	-5.069
10%	8.780	1.441	7.339	No	2.320	-2.320	No	3.851	-3.851
0%	3.449	1.101	2.348	No	1.809	-1.809	No	2.996	-2.996
ความต้านทานอาร์ก	**30 โอห์ม**			**40 โอห์ม**			**50 โอห์ม**		

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข5 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

กรณีฟอลต์ระหว่าง 2 สายเฟสลงดิน (B-C-G)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1188.05	937.72	769.97	669.30	610.89	568.92
90%	1282.38	997.56	809.69	693.80	630.03	584.70
80%	1391.92	1064.97	853.26	722.46	650.04	600.98
70%	1520.52	1141.39	901.16	756.50	670.95	617.73
60%	1673.48	1228.65	953.94	793.32	692.79	634.94
50%	1858.28	1329.09	1012.24	833.15	722.08	652.57
40%	2085.74	1445.79	1076.72	876.21	754.69	674.17
30%	2372.07	1582.85	1148.17	922.68	789.48	702.57
20%	2742.48	1745.85	1227.39	972.70	826.44	732.57
10%	3237.34	1942.56	1315.23	1026.33	865.5	764.08
0%	3922.15	2184.02	1412.54	1083.54	906.51	796.91

ตารางผนวกที่ ค2 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	246.67	246.67	246.67	246.67	246.67	246.67
90%	257.56	257.56	257.56	257.56	257.56	257.56
80%	267.65	267.65	267.65	267.65	267.65	267.65
70%	278.05	278.05	278.05	278.05	278.05	278.05
60%	288.69	288.68	288.69	288.69	288.69	288.69
50%	299.43	299.42	299.43	299.43	299.43	299.43
40%	310.12	310.11	310.11	310.11	310.11	310.11
30%	320.55	320.54	320.54	320.54	320.54	320.54
20%	330.47	330.47	330.47	330.47	330.47	330.47
10%	339.61	339.60	339.60	339.60	339.60	339.60
0%	347.64	347.63	347.63	347.63	347.63	347.63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค3 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	612.32	481.19	393.29	336.54	298.05	270.57
90%	662.20	511.84	412.79	350.11	308.20	278.56
80%	720.64	546.61	434.26	364.76	319.01	287.00
70%	789.92	586.35	458.00	380.63	330.57	295.93
60%	873.21	632.16	484.34	397.86	342.94	305.40
50%	974.94	685.44	513.70	416.60	356.21	315.47
40%	1101.60	748.04	546.53	437.03	370.48	326.21
30%	1262.86	822.45	583.36	459.33	385.83	337.68
20%	1473.80	912.03	624.79	483.67	402.36	349.96
10%	1758.56	1021.47	671.46	510.24	420.16	363.10
0%	2156.54	1157.36	724.06	539.16	439.29	377.16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค4 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.411	3.168	0.234	0.177	0.623	3.167	0.393	0.230
90%	0.365	2.944	0.199	0.166	0.555	2.944	0.344	0.211
80%	0.322	2.743	0.166	0.156	0.494	2.743	0.298	0.196
70%	0.284	2.562	0.137	0.147	0.439	2.562	0.257	0.182
60%	0.248	2.401	0.112	0.136	0.390	2.401	0.219	0.171
50%	0.216	2.257	0.089	0.127	0.345	2.257	0.185	0.160
40%	0.186	2.130	0.070	0.116	0.305	2.130	0.154	0.151
30%	0.158	2.020	0.053	0.105	0.268	2.020	0.126	0.142
20%	0.132	1.924	0.039	0.093	0.234	1.924	0.102	0.132
10%	0.109	0.035	1.844	-1.809	0.204	1.844	0.081	0.123
0%	0.087	0.035	1.779	-1.744	0.175	1.779	0.063	0.112
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค5 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.949	3.167	0.619	0.330	1.384	3.167	0.896	0.488
90%	0.844	2.944	0.554	0.290	1.245	2.944	0.814	0.431
80%	0.753	2.743	0.494	0.259	1.115	2.743	0.738	0.377
70%	0.673	2.562	0.439	0.234	0.991	2.562	0.668	0.323
60%	0.603	2.401	0.388	0.215	0.885	2.401	0.603	0.282
50%	0.540	2.257	0.341	0.199	0.793	2.257	0.543	0.250
40%	0.485	2.130	0.298	0.187	0.713	2.130	0.487	0.226
30%	0.435	2.020	0.260	0.175	0.643	2.019	0.436	0.207
20%	0.391	1.924	0.224	0.167	0.581	1.924	0.389	0.192
10%	0.351	1.844	0.193	0.158	0.527	1.844	0.346	0.181
0%	0.316	1.779	0.165	0.151	0.479	1.779	0.307	0.172
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค6 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	1.886	3.167	1.218	0.668	2.550	3.167	1.581	0.969
90%	1.686	2.944	1.117	0.569	2.252	2.944	1.459	0.793
80%	1.517	2.743	1.024	0.493	2.009	2.743	1.346	0.663
70%	1.374	2.562	0.937	0.437	1.809	2.562	1.241	0.568
60%	1.250	2.401	0.856	0.394	1.641	2.401	1.144	0.497
50%	1.116	2.257	0.781	0.335	1.499	2.257	1.053	0.446
40%	0.997	2.130	0.712	0.285	1.355	2.130	0.968	0.387
30%	0.895	2.019	0.647	0.248	1.203	2.019	0.889	0.314
20%	0.807	1.924	0.588	0.219	1.075	1.924	0.815	0.260
10%	0.731	1.844	0.532	0.199	0.967	1.844	0.747	0.220
0%	0.665	1.779	0.482	0.183	0.876	1.779	0.683	0.193
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค7 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1172.08	929.44	765.30	664.96	607.55	566.2
90%	1263.75	988.29	804.65	689.18	626.52	581.86
80%	1369.9	1054.54	847.82	719.19	646.35	598.02
70%	1494.14	1129.57	895.27	753.06	667.08	614.66
60%	1641.35	1215.15	947.58	789.73	689.28	631.75
50%	1818.37	1313.54	1005.34	829.41	719.73	649.26
40%	2034.99	1427.73	1069.27	872.33	752.32	672.57
30%	2305.71	1561.64	1140.12	918.68	787.11	701.01
20%	2652.65	1720.68	1218.74	968.62	824.10	731.07
10%	3110.59	1912.36	1306.02	1022.23	863.24	762.66
0%	3734.52	2147.40	1402.86	1079.51	904.39	795.63

ตารางผนวกที่ ค8 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	246.37	246.38	246.38	246.38	246.38	246.38
90%	257.26	257.27	257.27	257.27	257.27	257.27
80%	267.35	267.35	267.35	267.35	267.35	267.35
70%	277.75	277.75	277.75	277.75	277.75	277.75
60%	288.38	288.38	288.38	288.38	288.38	288.38
50%	299.13	299.13	299.13	299.13	299.13	299.13
40%	309.84	309.84	309.84	309.84	309.84	309.84
30%	320.29	320.29	320.29	320.29	320.29	320.29
20%	330.25	330.25	330.25	330.25	330.25	330.25
10%	339.42	339.42	339.42	339.42	339.42	339.42
0%	347.50	347.5	347.50	347.50	347.50	347.50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค9 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	603.02	476.09	390.22	334.45	296.50	269.34
90%	651.37	506.15	409.47	347.90	306.58	277.29
80%	707.87	540.22	430.67	362.43	317.33	285.69
70%	774.64	579.12	454.11	378.17	328.82	294.58
60%	854.63	623.92	480.13	395.27	341.13	304.03
50%	951.90	675.96	509.13	413.88	354.35	314.08
40%	1072.34	737.05	541.57	434.18	368.56	324.80
30%	1224.62	809.57	577.99	456.36	383.88	336.26
20%	1422.05	896.78	618.99	480.60	400.39	348.54
10%	1685.49	1003.20	665.25	507.10	418.20	361.70
0%	2048.17	1135.23	717.47	535.99	437.35	375.81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค10 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.421	3.175	0.242	0.179	0.633	3.175	0.403	0.230
90%	0.373	2.951	0.206	0.167	0.564	2.950	0.352	0.212
80%	0.330	2.749	0.173	0.157	0.502	2.749	0.306	0.196
70%	0.291	2.567	0.143	0.148	0.447	2.567	0.264	0.183
60%	0.255	2.405	0.117	0.138	0.397	2.405	0.225	0.172
50%	0.222	2.261	0.094	0.128	0.352	2.261	0.190	0.162
40%	0.192	2.133	0.073	0.119	0.311	2.133	0.159	0.152
30%	0.164	2.022	0.056	0.108	0.273	2.022	0.131	0.142
20%	0.138	1.926	0.041	0.097	0.239	1.926	0.106	0.133
10%	0.114	1.846	0.035	0.079	0.208	1.846	0.084	0.124
0%	0.092	1.780	0.035	0.057	0.179	1.780	0.065	0.114
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค11 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.963	3.175	0.631	0.332	1.412	3.175	0.910	0.502
90%	0.865	2.950	0.565	0.300	1.269	2.950	0.827	0.442
80%	0.763	2.749	0.503	0.260	1.128	2.749	0.750	0.378
70%	0.682	2.567	0.447	0.235	1.002	2.567	0.678	0.324
60%	0.610	2.405	0.395	0.215	0.894	2.405	0.612	0.282
50%	0.547	2.261	0.348	0.199	0.801	2.261	0.551	0.250
40%	0.490	2.133	0.304	0.186	0.719	2.133	0.494	0.225
30%	0.440	2.022	0.265	0.175	0.648	2.022	0.442	0.206
20%	0.395	1.926	0.229	0.166	0.586	1.926	0.395	0.191
10%	0.355	1.846	0.197	0.158	0.531	1.846	0.351	0.180
0%	0.319	1.780	0.168	0.151	0.483	1.780	0.311	0.172
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค12 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	1.926	3.175	1.235	0.691	2.609	3.175	1.601	1.008
90%	1.719	2.950	1.132	0.587	2.300	2.950	1.477	0.823
80%	1.546	2.749	1.037	0.509	2.050	2.749	1.362	0.688
70%	1.398	2.567	0.949	0.449	1.843	2.567	1.256	0.587
60%	1.269	2.405	0.867	0.402	1.670	2.405	1.157	0.513
50%	1.126	2.261	0.791	0.335	1.524	2.261	1.065	0.459
40%	1.005	2.133	0.721	0.284	1.365	2.133	0.979	0.386
30%	0.901	2.022	0.655	0.246	1.210	2.022	0.898	0.312
20%	0.812	1.926	0.594	0.218	1.081	1.926	0.823	0.258
10%	0.735	1.846	0.538	0.197	0.971	1.846	0.753	0.218
0%	0.668	1.780	0.486	0.182	0.879	1.780	0.688	0.191
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค13 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1154.83	920.37	760.13	660.16	603.84	563.17
90%	1243.66	978.14	799.08	684.41	622.62	578.70
80%	1346.24	1043.11	841.79	715.54	642.26	594.73
70%	1465.87	1116.62	888.75	749.23	662.79	611.23
60%	1607.07	1200.37	940.50	785.70	686.68	628.19
50%	1776.01	1296.54	997.67	825.20	717.09	645.57
40%	1981.49	1407.96	1060.96	867.95	749.64	670.76
30%	2236.32	1538.44	1131.13	914.15	784.42	699.22
20%	2559.74	1693.13	1209.04	963.98	821.43	729.34
10%	2981.34	1879.26	1295.63	1017.54	860.64	761.02
0%	3546.78	2107.15	1391.86	1074.86	901.91	794.11

ตารางผนวกที่ ค14 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	246.05	246.07	246.05	246.07	246.07	246.07
90%	256.94	256.94	256.94	256.94	256.94	256.94
80%	267.02	267.02	267.02	267.02	267.02	267.02
70%	277.41	277.42	277.42	277.42	277.42	277.42
60%	288.05	288.06	288.06	288.06	288.06	288.06
50%	298.81	298.81	298.81	298.81	298.81	298.81
40%	309.53	309.54	309.54	309.54	309.54	309.54
30%	320.01	320.02	320.02	320.02	320.02	320.02
20%	330.01	330.01	330.01	330.01	330.01	330.01
10%	339.23	339.24	339.24	339.24	339.24	339.24
0%	347.38	347.39	347.39	347.39	347.39	347.39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค15 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	592.97	470.52	386.83	332.13	294.77	267.96
90%	639.70	499.93	405.81	345.45	304.78	275.87
80%	694.14	533.23	426.71	359.84	315.45	284.23
70%	758.29	571.22	449.82	375.44	326.87	293.09
60%	834.82	614.91	475.47	392.39	339.11	302.49
50%	927.46	665.62	504.07	410.85	352.26	312.51
40%	1041.49	725.06	536.08	431.00	366.42	323.21
30%	1184.65	795.52	572.03	453.04	381.69	334.66
20%	1368.53	880.14	612.54	477.16	398.18	346.94
10%	1610.99	983.24	658.30	503.56	415.97	360.12
0%	1939.74	1111.00	710.05	532.41	435.16	374.27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค16 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.431	3.183	0.251	0.180	0.646	3.183	0.413	0.233
90%	0.383	2.958	0.214	0.169	0.575	2.957	0.362	0.213
80%	0.339	2.755	0.180	0.159	0.512	2.755	0.315	0.197
70%	0.299	2.573	0.150	0.149	0.456	2.573	0.271	0.185
60%	0.262	2.410	0.123	0.139	0.405	2.410	0.232	0.173
50%	0.229	2.265	0.099	0.130	0.395	2.265	0.196	0.199
40%	0.198	2.137	0.078	0.120	0.317	2.137	0.164	0.153
30%	0.170	2.025	0.060	0.110	0.279	2.025	0.136	0.143
20%	0.144	1.929	0.045	0.099	0.244	1.928	0.110	0.134
10%	0.120	1.847	0.035	0.085	0.213	1.847	0.088	0.125
0%	0.098	1.781	0.035	0.063	0.183	1.781	0.068	0.115
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค17 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.979	3.183	0.643	0.336	1.444	3.182	0.926	0.518
90%	0.870	2.957	0.576	0.294	1.296	2.957	0.841	0.455
80%	0.775	2.755	0.514	0.261	1.144	2.755	0.763	0.381
70%	0.692	2.573	0.457	0.235	1.015	2.573	0.690	0.325
60%	0.619	2.410	0.404	0.215	0.905	2.410	0.623	0.282
50%	0.555	2.265	0.355	0.200	0.810	2.265	0.560	0.250
40%	0.497	2.137	0.311	0.186	0.727	2.137	0.503	0.224
30%	0.446	2.025	0.271	0.175	0.654	2.025	0.450	0.204
20%	0.400	1.928	0.234	0.166	0.591	1.928	0.401	0.190
10%	0.359	1.847	0.201	0.158	0.535	1.847	0.356	0.179
0%	0.322	1.781	0.172	0.150	0.486	1.781	0.316	0.170
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค18 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	1.972	3.182	1.254	0.718	2.679	3.182	1.624	1.055
90%	1.758	2.957	1.150	0.608	2.357	2.957	1.498	0.859
80%	1.579	2.755	1.053	0.526	2.096	2.755	1.381	0.715
70%	1.427	2.573	0.963	0.464	1.882	2.573	1.273	0.609
60%	1.283	2.410	0.88	0.403	1.703	2.410	1.172	0.531
50%	1.137	2.265	0.803	0.334	1.552	2.265	1.078	0.474
40%	1.014	2.137	0.731	0.283	1.376	2.137	0.991	0.385
30%	0.908	2.025	0.664	0.244	1.219	2.025	0.909	0.310
20%	0.818	1.928	0.602	0.216	1.087	1.928	0.833	0.254
10%	0.740	1.847	0.545	0.195	0.977	1.847	0.761	0.216
0%	0.672	1.781	0.492	0.180	0.883	1.781	0.695	0.188
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค19 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	1136.15	910.38	754.40	654.82	599.71	559.79
90%	1221.97	966.98	792.88	680.52	618.28	575.18
80%	1320.75	1030.56	835.08	711.45	637.70	591.05
70%	1435.56	1102.41	881.48	744.92	657.99	607.41
60%	1570.46	1184.16	932.62	781.18	683.75	624.21
50%	1731.03	1277.88	989.11	820.46	714.08	641.89
40%	1925.06	1386.30	1051.66	863.00	746.59	668.68
30%	2163.76	1513.01	1121.03	909.02	781.34	697.16
20%	2463.67	1662.94	1198.11	958.69	818.36	727.33
10%	2849.65	1842.94	1283.86	1012.16	857.62	759.10
0%	3359.11	2062.89	1379.30	1069.47	899.01	792.32

ตารางผนวกที่ ค20 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	245.69	245.71	245.71	245.71	245.71	245.71
90%	256.57	256.58	256.58	256.58	256.58	256.58
80%	266.64	266.65	266.65	266.65	266.65	266.65
70%	277.04	227.04	227.04	227.04	227.04	227.04
60%	287.68	287.68	287.68	287.68	287.68	287.68
50%	298.45	298.45	298.45	298.45	298.45	298.45
40%	309.19	309.19	309.19	309.19	309.19	309.19
30%	319.70	319.70	319.70	319.70	319.70	319.70
20%	329.74	329.74	329.74	329.74	329.74	329.74
10%	339.02	339.02	339.02	339.02	339.02	339.02
0%	347.23	347.23	347.23	347.23	347.23	347.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค21 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	582.10	464.40	383.07	329.55	292.84	266.43
90%	627.10	493.10	401.75	342.72	302.76	274.29
80%	679.37	525.56	422.32	356.96	313.36	282.60
70%	740.75	562.56	445.06	372.39	324.69	291.41
60%	813.67	605.05	470.31	389.17	336.85	300.77
50%	901.51	654.3	498.45	407.46	349.93	310.75
40%	1008.98	711.94	529.96	427.44	364.02	321.42
30%	1142.87	780.16	565.38	449.31	379.23	332.85
20%	1313.20	861.94	605.32	473.28	395.67	345.13
10%	1535.08	961.40	650.49	499.55	413.45	358.32
0%	1831.34	1084.43	701.66	528.32	432.64	372.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค22 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.443	3.192	0.261	0.182	0.66	3.191	0.426	0.234
90%	0.393	2.965	0.223	0.170	0.587	2.965	0.373	0.214
80%	0.349	2.762	0.188	0.161	0.523	2.762	0.325	0.198
70%	0.308	2.579	0.157	0.151	0.466	2.579	0.280	0.186
60%	0.271	2.415	0.129	0.142	0.414	2.415	0.240	0.174
50%	0.237	2.270	0.105	0.132	0.367	2.269	0.204	0.163
40%	0.206	2.141	0.083	0.123	0.324	2.141	0.171	0.153
30%	0.177	2.028	0.065	0.112	0.286	2.028	0.141	0.145
20%	0.151	1.931	0.049	0.102	0.250	1.931	0.115	0.135
10%	0.127	1.849	0.036	0.091	0.218	1.849	0.092	0.126
0%	0.104	1.782	0.035	0.069	0.188	1.782	0.072	0.116
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค23 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.998	3.191	0.658	0.340	1.482	3.191	0.944	0.538
90%	0.886	2.965	0.590	0.296	1.318	2.965	0.858	0.460
80%	0.789	2.762	0.526	0.263	1.162	2.762	0.777	0.385
70%	0.704	2.579	0.468	0.236	1.030	2.579	0.703	0.327
60%	0.629	2.415	0.414	0.215	0.917	2.415	0.635	0.282
50%	0.563	2.269	0.364	0.199	0.820	2.269	0.571	0.249
40%	0.505	2.141	0.319	0.186	0.735	2.141	0.512	0.223
30%	0.453	2.028	0.277	0.176	0.662	2.028	0.458	0.204
20%	0.406	1.931	0.240	0.166	0.597	1.931	0.408	0.189
10%	0.364	1.849	0.206	0.158	0.540	1.849	0.362	0.178
0%	0.327	1.782	0.176	0.151	0.490	1.782	0.321	0.169
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค24 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	2.026	3.191	1.276	0.750	2.761	3.191	1.651	1.110
90%	1.803	2.965	1.169	0.634	2.423	2.965	1.522	0.901
80%	1.617	2.762	1.071	0.546	2.151	2.762	1.403	0.748
70%	1.459	2.579	0.979	0.480	1.928	2.579	1.292	0.636
60%	1.299	2.415	0.894	0.405	1.742	2.415	1.190	0.552
50%	1.150	2.269	0.815	0.335	1.583	2.269	1.094	0.489
40%	1.024	2.141	0.742	0.282	1.389	2.141	1.004	0.385
30%	0.917	2.028	0.674	0.243	1.229	2.028	0.921	0.308
20%	0.825	1.931	0.611	0.214	1.095	1.931	0.843	0.252
10%	0.745	1.849	0.552	0.193	0.983	1.849	0.770	0.213
0%	0.676	1.782	0.498	0.178	0.887	1.782	0.703	0.184
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค25 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	1115.84	899.34	747.98	648.86	595.08	555.99
90%	1198.45	954.65	785.95	676.15	613.41	571.21
80%	1293.23	1016.71	827.58	706.83	632.57	586.92
70%	1402.95	1086.74	873.35	740.06	652.60	603.10
60%	1531.27	1166.29	923.78	776.06	680.41	619.73
50%	1683.15	1257.34	979.50	815.08	710.65	639.49
40%	1865.43	1362.45	1041.19	857.37	743.08	666.27
30%	2087.80	1485.04	1109.64	903.14	777.79	694.78
20%	2364.25	1629.73	1185.73	952.61	814.80	724.99
10%	2715.39	1802.99	1270.45	1005.93	854.09	756.84
0%	3171.42	2014.12	1364.89	1063.18	895.58	790.18

ตารางผนวกที่ ค26 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย ระหว่างรีเลย์ และรี โคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	245.29	245.31	245.29	245.31	245.31	245.31
90%	256.16	256.16	256.16	256.16	256.16	256.16
80%	266.23	266.23	266.23	266.23	266.23	266.23
70%	276.62	276.62	276.62	276.62	276.62	276.62
60%	287.26	287.26	287.26	287.26	287.26	287.26
50%	298.04	298.04	298.04	298.04	298.04	298.04
40%	308.80	308.80	308.80	308.80	308.80	308.80
30%	319.35	319.35	319.35	319.35	319.35	319.35
20%	329.43	329.43	329.43	329.43	329.43	329.43
10%	338.77	338.77	338.77	338.77	338.77	338.77
0%	347.06	347.06	347.06	347.06	347.06	347.06

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค27 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	570.30	457.64	378.89	326.66	290.67	264.70
90%	613.45	485.57	397.24	339.67	300.50	272.50
80%	663.43	517.12	417.43	353.73	311.00	280.75
70%	721.89	553.03	439.76	368.97	322.24	289.51
60%	791.05	594.21	464.54	385.56	334.30	298.82
50%	873.91	641.87	492.18	403.64	347.28	308.76
40%	974.63	697.54	523.13	423.42	361.29	319.39
30%	1099.13	763.32	557.92	445.09	376.43	330.79
20%	1255.95	841.99	597.20	468.87	392.81	343.06
10%	1457.69	937.46	641.67	494.98	410.55	356.26
0%	1722.93	1055.27	692.14	523.63	429.75	370.47

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค28 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	0.456	3.202	0.272	0.184	0.676	3.201	0.440	0.236
90%	0.406	2.974	0.233	0.173	0.602	2.974	0.386	0.216
80%	0.360	2.770	0.198	0.162	0.536	2.770	0.336	0.200
70%	0.319	2.586	0.166	0.153	0.477	2.586	0.291	0.186
60%	0.281	2.421	0.137	0.144	0.424	2.421	0.250	0.174
50%	0.246	2.275	0.112	0.134	0.376	2.275	0.212	0.164
40%	0.215	2.145	0.089	0.126	0.333	2.145	0.178	0.155
30%	0.185	2.032	0.070	0.115	0.293	2.032	0.148	0.145
20%	0.159	1.934	0.053	0.106	0.257	1.934	0.121	0.136
10%	0.134	1.851	0.039	0.095	0.224	1.851	0.097	0.127
0%	0.112	1.784	0.035	0.077	0.194	1.784	0.076	0.118
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค29 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	1.019	3.202	0.675	0.344	1.526	3.201	0.965	0.561
90%	0.904	2.974	0.605	0.299	1.343	2.974	0.876	0.467
80%	0.804	2.770	0.540	0.264	1.183	2.770	0.795	0.388
70%	0.717	2.586	0.480	0.237	1.047	2.586	0.719	0.328
60%	0.641	2.421	0.425	0.216	0.932	2.421	0.648	0.284
50%	0.574	2.275	0.374	0.200	0.832	2.275	0.583	0.249
40%	0.514	2.145	0.328	0.186	0.746	2.145	0.523	0.223
30%	0.460	2.032	0.285	0.175	0.670	2.032	0.468	0.202
20%	0.413	1.934	0.247	0.166	0.604	1.934	0.417	0.187
10%	0.370	1.851	0.212	0.158	0.546	1.851	0.370	0.176
0%	0.332	1.784	0.181	0.151	0.495	1.784	0.327	0.168
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค30 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายระหว่างรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	2.091	3.201	1.301	0.790	2.860	3.201	1.681	1.179
90%	1.857	2.974	1.192	0.665	2.502	2.974	1.550	0.952
80%	1.662	2.770	1.092	0.570	2.216	2.770	1.428	0.788
70%	1.498	2.586	0.998	0.500	1.982	2.586	1.315	0.667
60%	1.318	2.421	0.911	0.407	1.788	2.421	1.210	0.578
50%	1.165	2.275	0.831	0.334	1.603	2.275	1.112	0.491
40%	1.036	2.145	0.755	0.281	1.404	2.145	1.021	0.383
30%	0.927	2.032	0.686	0.241	1.241	2.032	0.935	0.306
20%	0.833	1.934	0.621	0.212	1.105	1.934	0.856	0.249
10%	0.752	1.851	0.561	0.191	0.990	1.851	0.781	0.209
0%	0.682	1.784	0.506	0.176	0.893	1.784	0.712	0.181
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค31 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	327.40	311.21	298.13	287.63	279.13	272.15
90%	351.48	332.78	317.68	305.63	295.91	287.98
80%	379.40	357.55	339.96	325.98	314.78	305.69
70%	413.60	386.28	365.52	349.14	336.11	325.59
60%	457.08	420.02	395.14	375.69	360.35	348.06
50%	510.57	460.17	429.84	406.39	388.10	373.59
40%	577.87	508.77	471.01	442.23	420.09	402.73
30%	664.92	572.88	520.55	484.48	457.22	436.14
20%	781.48	659.41	581.22	534.81	500.55	474.55
10%	944.79	775.38	657.16	595.43	551.33	518.65
0%	1188.04	937.72	769.97	669.30	610.89	568.93

ตารางผนวกที่ ค32 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	93.37	93.47	93.47	93.47	93.47	93.47
90%	101.09	101.09	101.09	101.09	101.09	101.09
80%	108.74	108.74	108.74	108.74	108.74	108.74
70%	117.57	117.57	117.57	117.57	117.57	117.57
60%	127.86	127.86	127.86	127.86	127.86	127.86
50%	139.96	139.96	139.96	139.96	139.96	139.96
40%	154.33	154.33	154.33	154.33	154.33	154.33
30%	171.56	171.56	171.56	171.56	171.56	171.56
20%	192.36	192.36	192.36	192.36	192.36	192.36
10%	217.53	217.53	217.53	217.53	217.53	217.53
0%	247.69	247.69	247.69	247.69	247.69	247.69

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค33 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	169.84	158.10	148.98	141.83	136.13	131.51
90%	183.00	169.42	158.90	150.70	144.19	138.94
80%	198.38	182.48	170.21	160.70	153.21	147.19
70%	216.6	197.73	183.24	172.10	163.38	156.43
60%	238.55	215.78	198.42	185.20	174.95	166.83
50%	265.48	237.49	216.33	200.40	188.19	178.60
40%	299.34	264.11	237.78	218.25	203.48	192.03
30%	343.19	297.54	263.92	239.49	221.32	207.43
20%	402.18	340.79	296.48	265.14	242.37	225.25
10%	485.67	398.94	338.16	296.74	267.51	246.04
0%	612.32	481.19	393.29	336.54	298.06	270.57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค34 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	10.228	-10.228	No	No	19.449	-19.449
90%	No	No	6.504	-6.504	No	No	10.409	-10.409
80%	No	No	4.455	-4.455	No	No	6.602	-6.602
70%	No	No	3.168	-3.168	No	No	4.517	-4.517
60%	No	50.998	2.293	48.705	No	50.998	3.212	47.786
50%	5.014	20.199	1.667	3.347	No	20.199	2.326	17.873
40%	2.375	11.763	1.204	1.171	5.152	11.763	1.692	3.460
30%	1.413	7.838	0.855	0.558	2.472	7.838	1.223	1.249
20%	0.916	5.587	0.588	0.328	1.450	5.587	0.869	0.581
10%	0.614	4.147	0.386	0.228	0.933	4.147	0.599	0.334
0%	0.411	3.168	0.234	0.177	0.623	3.168	0.393	0.230
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค35 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	18.373	-18.373	No	No	No	No
80%	No	No	10.071	-10.071	No	No	16.298	-16.298
70%	No	No	6.459	-6.459	No	No	9.338	-9.338
60%	No	50.998	4.451	46.547	No	50.998	6.115	44.883
50%	No	20.199	3.182	17.017	No	20.199	4.270	15.929
40%	No	11.763	2.317	9.446	No	11.762	3.084	8.678
30%	4.292	7.838	1.696	2.596	8.746	7.838	2.265	5.573
20%	2.311	5.587	1.235	1.076	3.572	5.587	1.673	1.899
10%	1.466	4.147	0.886	0.580	2.086	4.147	1.232	0.854
0%	0.949	3.168	0.619	0.330	1.384	3.168	0.896	0.488
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

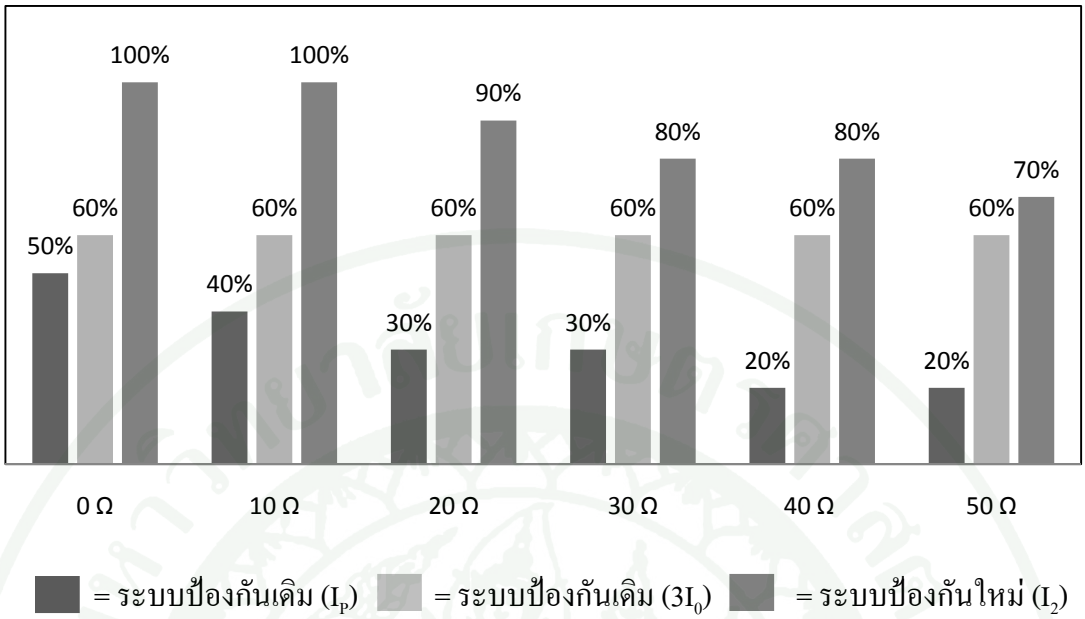
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค36 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	30.309	-30.309	No	No	No	No
70%	No	No	13.921	-13.921	No	No	22.218	-22.218
60%	No	50.998	8.403	42.595	No	50.998	11.69	39.308
50%	No	20.199	5.651	14.548	No	20.199	7.430	12.769
40%	No	11.762	4.013	7.749	No	11.762	5.139	6.623
30%	No	7.838	2.936	4.902	No	7.838	3.721	4.117
20%	5.978	5.587	2.182	3.405	12.231	5.587	2.765	2.822
10%	2.990	4.146	1.632	1.358	4.408	4.146	2.084	2.062
0%	1.886	3.163	1.218	0.668	2.549	3.168	1.581	0.968
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค1 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 165.02 MVA (100%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค37 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	326.04	310.05	297.12	286.72	278.31	271.4
90%	349.90	331.45	316.54	304.61	295.00	287.14
80%	377.54	356.01	338.66	324.83	313.75	304.75
70%	411.62	384.49	364.01	347.83	334.94	324.53
60%	454.68	417.89	393.38	374.19	359.03	346.87
50%	507.58	457.60	427.77	404.65	386.59	372.24
40%	574.06	505.62	468.52	440.18	418.35	401.19
30%	659.89	569.53	517.53	482.05	455.18	434.38
20%	774.57	655.06	577.48	531.90	498.16	472.51
10%	934.71	769.53	653.51	591.90	548.51	516.30
0%	1172.08	929.44	765.30	664.96	607.55	566.34

ตารางผนวกที่ ค38 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	93.31	93.41	93.41	93.41	93.41	93.41
90%	101.02	101.02	101.02	101.02	101.02	101.02
80%	108.66	108.66	108.66	108.66	108.66	108.66
70%	117.48	117.48	117.48	117.48	117.48	117.48
60%	127.75	127.75	127.75	127.75	127.75	127.75
50%	139.84	139.84	139.84	139.84	139.84	139.84
40%	154.18	154.18	154.18	154.18	154.18	154.18
30%	171.38	171.38	171.38	171.38	171.38	171.38
20%	192.15	192.15	192.15	192.15	192.15	192.15
10%	217.28	217.28	217.28	217.28	217.28	217.28
0%	247.40	247.40	247.40	247.40	247.40	247.40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค39 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสาย จำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	169.10	157.48	148.45	141.36	135.71	131.12
90%	182.14	168.72	158.30	150.17	143.72	138.51
80%	197.37	181.66	169.53	160.11	152.68	146.71
70%	215.40	196.78	182.45	171.43	162.79	155.90
60%	237.09	214.65	197.51	184.43	174.28	166.23
50%	263.68	236.13	215.25	199.51	187.43	177.94
40%	297.06	262.45	236.49	217.22	202.61	191.27
30%	340.20	295.45	262.37	238.27	220.32	206.58
20%	398.10	338.09	294.57	263.70	241.21	224.28
10%	479.76	395.32	335.76	295.01	266.17	244.94
0%	603.02	476.10	390.22	334.45	296.5	269.34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค40 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	10.554	-10.554	No	No	20.379	-20.379
90%	No	No	6.668	-6.668	No	No	10.731	-10.731
80%	No	No	4.552	-4.552	No	No	6.762	-6.762
70%	No	No	3.232	-3.232	No	No	4.612	-4.612
60%	No	51.703	2.338	49.365	No	51.703	3.273	48.430
50%	5.274	20.328	1.700	3.574	No	20.328	2.368	17.960
40%	2.448	11.814	1.229	1.219	5.443	11.814	1.723	3.720
30%	1.447	7.866	0.873	0.574	2.542	7.865	1.246	1.296
20%	0.936	5.604	0.602	0.334	1.481	5.604	0.886	0.595
10%	0.626	4.157	0.396	0.230	0.951	4.157	0.612	0.339
0%	0.421	3.175	0.242	0.179	0.633	3.175	0.403	0.230
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค41 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	19.183	-19.183	No	No	No	No
80%	No	No	10.364	-10.364	No	No	16.93	-16.930
70%	No	No	6.607	-6.607	No	No	9.587	-9.587
60%	No	51.703	4.539	47.164	No	51.703	6.247	45.456
50%	No	20.328	3.240	17.088	No	20.328	4.349	15.979
40%	No	11.814	2.357	9.457	No	11.814	3.136	8.678
30%	4.483	7.865	1.724	2.759	9.403	7.865	2.302	5.563
20%	2.379	5.604	1.256	1.123	3.698	5.604	1.700	1.998
10%	1.493	4.157	0.902	0.591	2.137	4.157	1.251	0.886
0%	0.963	3.175	0.631	0.332	1.412	3.175	0.910	0.502
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

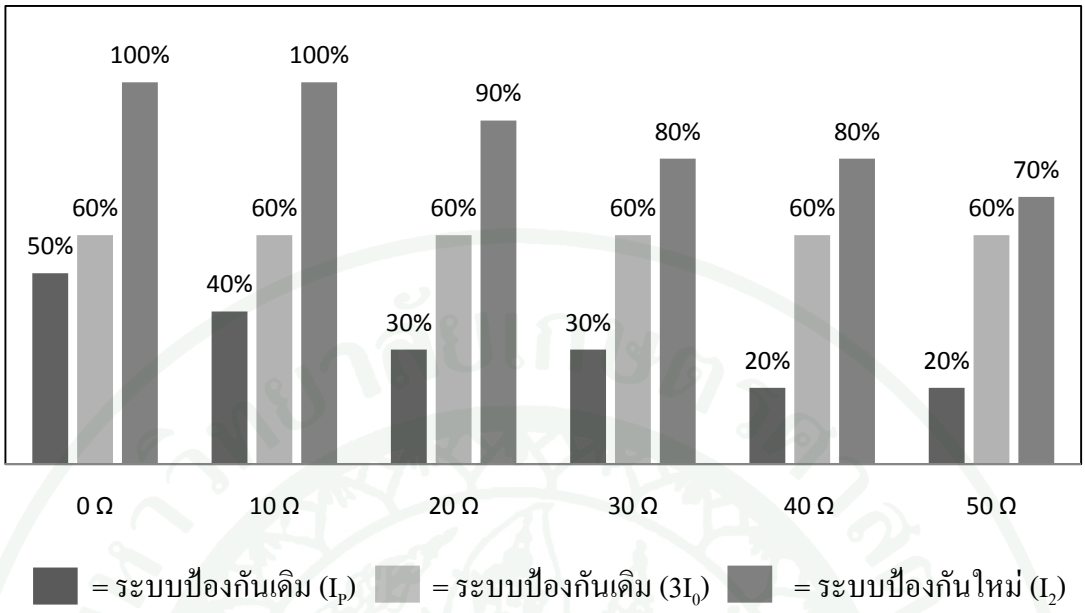
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค42 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	32.202	-32.202	No	No	No	No
70%	No	No	14.387	-14.387	No	No	23.250	-23.250
60%	No	51.703	8.607	43.096	No	51.703	12.026	39.677
50%	No	20.328	5.763	14.565	No	20.328	7.592	12.736
40%	No	11.814	4.083	7.731	No	11.814	5.233	6.581
30%	No	7.865	2.983	4.882	No	7.865	3.781	4.084
20%	6.273	5.604	2.215	3.389	13.324	5.604	2.805	2.799
10%	3.076	4.157	1.655	1.421	4.564	4.157	2.113	2.044
0%	1.926	3.175	1.235	0.691	2.609	3.175	1.601	1.008
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค2 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 156.77 MVA (95%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค43 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	324.54	308.78	296.00	285.73	277.40	270.56
90%	348.16	329.98	315.27	303.49	293.98	286.20
80%	375.50	354.32	337.20	323.56	312.62	303.71
70%	409.44	382.51	362.34	346.38	333.66	323.37
60%	452.03	415.54	391.44	372.52	357.57	345.56
50%	504.30	454.78	425.48	402.72	384.91	370.75
40%	569.88	502.16	465.79	437.92	416.41	399.49
30%	654.40	565.83	514.21	479.37	452.93	432.42
20%	767.03	650.28	573.37	528.68	495.52	470.26
10%	923.76	763.10	649.47	587.99	545.39	513.68
0%	1154.83	920.36	760.13	660.16	603.84	563.17

ตารางผนวกที่ ค44 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	93.24	93.34	93.34	93.34	93.34	93.34
90%	100.94	100.94	100.94	100.94	100.94	100.94
80%	108.57	108.57	108.57	108.57	108.57	108.57
70%	117.37	117.37	117.37	117.37	117.37	117.37
60%	127.63	127.63	127.63	127.63	127.63	127.63
50%	139.69	139.69	139.69	139.69	139.69	139.69
40%	154.02	154.02	154.02	154.02	154.02	154.02
30%	171.18	171.18	171.18	171.18	171.18	171.18
20%	191.91	191.91	191.91	191.91	191.91	191.91
10%	217.01	217.01	217.01	217.01	217.01	217.01
0%	247.09	247.09	247.09	247.09	247.09	247.09

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค45 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	168.29	156.80	147.86	140.84	135.24	130.69
90%	181.20	167.94	157.64	149.59	143.20	138.03
80%	196.26	180.76	168.77	159.45	152.10	146.19
70%	214.08	195.72	181.58	170.68	162.14	155.31
60%	235.49	213.40	196.50	183.58	173.54	165.57
50%	261.71	234.63	214.07	198.53	186.59	177.2
40%	294.56	260.61	235.08	216.07	201.65	190.44
30%	336.93	293.15	260.65	236.92	219.21	205.63
20%	393.64	335.12	292.47	262.10	239.92	223.20
10%	473.33	391.35	333.12	293.09	264.68	243.72
0%	592.97	470.52	386.83	332.13	294.77	267.97

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค46 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	10.936	-10.936	No	No	21.510	-21.510
90%	No	No	6.857	-6.857	No	No	11.108	-11.108
80%	No	No	4.664	-4.664	No	No	6.947	-6.947
70%	No	No	3.305	-3.305	No	No	4.720	-4.720
60%	No	52.511	2.389	50.122	No	52.511	3.344	49.167
50%	5.593	20.473	1.737	3.856	No	20.473	2.417	18.056
40%	2.533	11.872	1.256	1.277	5.804	11.872	1.758	4.046
30%	1.486	7.896	0.894	0.592	2.623	7.896	1.272	1.351
20%	0.958	5.622	0.618	0.340	1.517	5.622	0.906	0.611
10%	0.641	4.169	0.408	0.233	0.970	4.169	0.626	0.344
0%	0.431	3.183	0.251	0.180	0.646	3.183	0.413	0.233
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค47 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	20.161	-20.161	No	No	No	No
80%	No	No	10.706	-10.706	No	No	17.686	-17.686
70%	No	No	6.778	-6.778	No	No	9.878	-9.878
60%	No	52.511	4.640	47.871	No	52.511	6.398	46.113
50%	No	20.473	3.306	17.167	No	20.473	4.441	16.032
40%	No	11.872	2.402	9.470	No	11.872	3.196	8.676
30%	4.715	7.896	1.757	2.958	10.254	7.896	2.343	5.553
20%	2.458	5.622	1.280	1.178	3.849	5.622	1.729	2.120
10%	1.523	4.169	0.919	0.604	2.198	4.169	1.273	0.925
0%	0.979	3.183	0.643	0.336	1.444	3.183	0.926	0.518
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

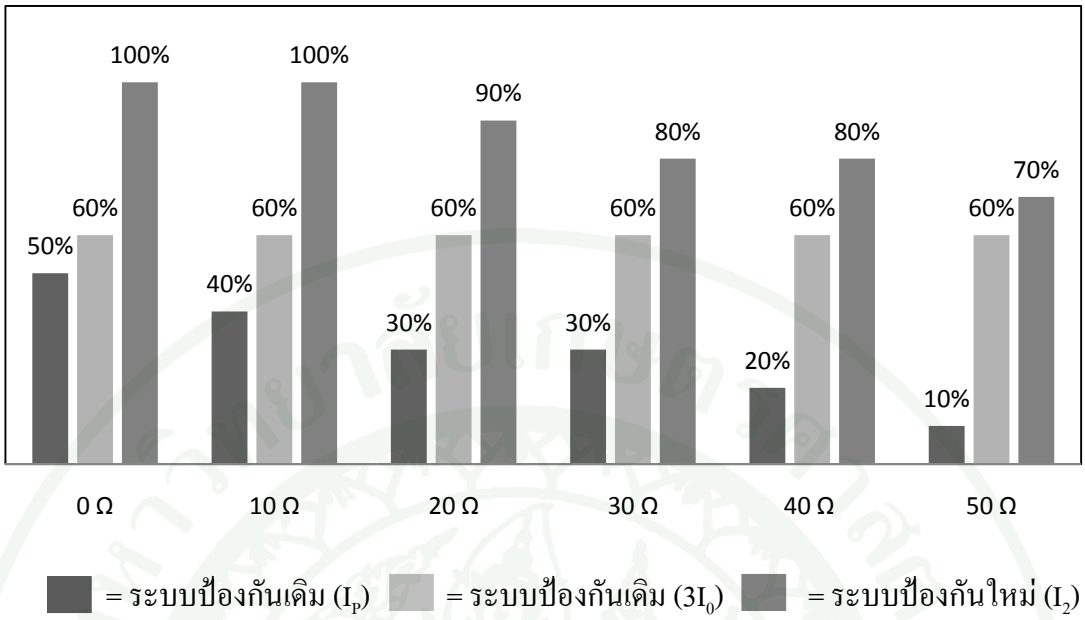
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค48 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	34.583	-34.583	No	No	No	No
70%	No	No	14.937	-14.937	No	No	24.505	-24.505
60%	No	52.511	8.843	43.668	No	52.511	12.419	40.092
50%	No	20.472	5.892	14.580	No	20.427	7.779	12.648
40%	No	11.872	4.162	7.710	No	11.872	5.341	6.531
30%	No	7.896	3.036	4.860	No	7.896	3.849	4.047
20%	6.635	5.622	2.252	3.370	No	5.622	2.852	2.770
10%	3.176	4.169	1.682	1.494	4.751	4.169	2.145	2.024
0%	1.972	3.183	1.254	0.718	2.679	3.183	1.624	1.055
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค3 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 148.52 MVA (90%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค49 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	322.87	307.36	294.76	284.62	276.39	269.62
90%	346.23	328.36	313.87	302.24	292.85	285.17
80%	373.24	352.44	335.59	322.15	331.35	302.55
70%	407.04	380.31	360.49	344.78	332.23	322.07
60%	449.11	412.94	389.29	370.68	355.94	344.10
50%	500.68	451.65	422.94	400.58	383.05	369.09
40%	565.28	498.33	462.75	435.41	414.26	397.59
30%	648.36	561.75	510.53	476.40	450.42	430.24
20%	758.77	645.00	568.81	525.11	492.58	467.74
10%	911.81	756.01	645.00	583.66	541.92	510.77
0%	1136.15	910.37	754.39	654.82	599.71	559.79

ตารางผนวกที่ ค50 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสาย จำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	93.16	93.26	93.26	93.26	93.26	93.26
90%	100.85	100.85	100.85	100.85	100.85	100.85
80%	108.47	108.47	108.47	108.47	108.47	108.47
70%	117.26	117.26	117.26	117.26	117.26	117.26
60%	127.50	127.50	127.50	127.50	127.50	127.50
50%	139.54	139.54	139.54	139.54	139.54	139.54
40%	153.83	153.83	153.83	153.83	153.83	153.83
30%	170.96	170.96	170.96	170.96	170.96	170.96
20%	191.65	191.65	191.65	191.65	191.65	191.65
10%	216.69	216.69	216.69	216.69	216.69	216.69
0%	246.73	246.73	246.73	246.73	246.73	246.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค51 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	167.38	156.05	147.21	140.27	134.72	130.21
90%	180.15	167.07	156.90	148.95	142.62	137.50
80%	195.04	179.77	167.93	158.73	151.45	145.60
70%	212.62	194.56	180.62	169.86	161.41	154.66
60%	233.73	212.02	195.37	182.63	172.72	164.84
50%	259.53	232.97	212.75	197.44	185.65	176.37
40%	291.80	258.58	233.51	214.80	200.58	189.51
30%	333.34	290.61	258.76	235.43	217.98	204.58
20%	388.76	331.85	290.14	260.32	238.49	222.00
10%	466.33	386.98	330.19	290.96	263.01	242.36
0%	582.10	464.4	383.07	329.55	292.84	266.43

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค52 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ 10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	11.391	-11.391	No	No	22.915	-22.915
90%	No	No	7.078	-7.078	No	No	11.556	-11.556
80%	No	No	4.794	-4.794	No	No	7.163	-7.163
70%	No	No	3.389	-3.389	No	No	4.846	-4.846
60%	No	53.439	2.447	50.992	No	53.439	3.425	50.014
50%	5.992	20.637	1.779	4.213	No	20.637	2.473	18.164
40%	2.634	11.937	1.288	1.346	6.262	11.937	1.798	4.464
30%	1.531	7.930	0.918	0.613	2.718	7.930	1.302	1.416
20%	0.983	5.643	0.636	0.347	1.558	5.643	0.928	0.630
10%	0.658	4.183	0.422	0.236	0.992	4.182	0.643	0.349
0%	0.443	3.192	0.261	0.182	0.660	3.192	0.426	0.234
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค53 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	21.364	-21.364	No	No	No	No
80%	No	No	11.112	-11.112	No	No	18.606	-18.606
70%	No	No	6.978	-6.978	No	No	10.221	-10.221
60%	No	53.439	4.757	48.682	No	53.439	6.573	46.866
50%	No	20.637	3.382	17.255	No	20.637	4.546	16.091
40%	No	11.937	2.455	9.482	No	11.937	3.265	8.672
30%	5.001	7.930	1.795	3.206	11.399	7.930	2.391	5.539
20%	2.552	5.643	1.307	1.245	4.031	5.643	1.764	2.267
10%	1.558	4.182	0.939	0.619	2.269	4.182	1.298	0.971
0%	0.998	3.192	0.658	0.340	1.482	3.192	0.944	0.538
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

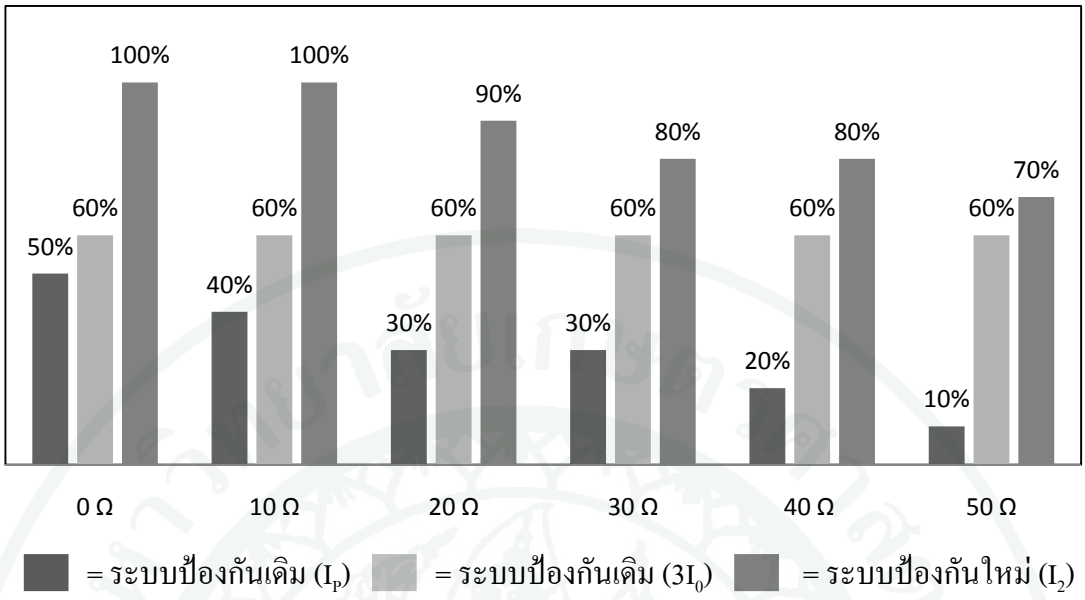
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค54 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	37.667	-37.667	No	No	No	No
70%	No	No	15.598	-15.598	No	No	26.064	-26.064
60%	No	53.439	9.120	44.319	No	53.439	12.885	40.554
50%	No	20.636	6.041	14.595	No	20.636	7.997	12.639
40%	No	11.937	4.254	7.683	No	11.937	5.465	6.472
30%	No	7.930	3.097	4.833	No	7.930	3.928	4.002
20%	7.090	5.643	2.295	3.348	No	5.643	2.905	2.738
10%	3.296	4.182	1.712	1.584	4.978	4.182	2.183	1.999
0%	2.026	3.192	1.276	0.750	2.761	3.192	1.651	1.110
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค4 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 140.27 MVA (85%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค55 ค่ากระแสเฟสฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่าย หลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	321.02	305.77	293.37	283.38	275.26	268.57
90%	344.08	326.55	312.30	300.85	291.59	284.01
80%	370.73	350.35	333.80	320.58	309.93	301.26
70%	404.36	377.87	358.43	342.98	330.63	320.62
60%	445.87	410.05	386.88	368.61	354.12	342.46
50%	496.67	448.18	420.11	398.19	380.97	367.23
40%	560.19	494.08	459.37	432.61	411.85	395.47
30%	641.69	557.21	506.43	473.08	447.62	427.81
20%	749.68	639.14	563.75	521.13	489.29	464.93
10%	898.73	748.17	640.00	578.81	538.03	507.50
0%	1115.84	899.34	747.98	648.86	595.09	556.00

ตารางผนวกที่ ค56 ค่ากระแสกราวด์ฟอลต์ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสาย จำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่ง	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
ฟอลต์	0	10	20	30	40	50
100%	93.07	93.18	93.18	93.18	93.18	93.18
90%	100.76	100.76	100.76	100.76	100.76	100.76
80%	108.36	108.36	108.36	108.36	108.36	108.36
70%	117.13	117.13	117.13	117.13	117.13	117.13
60%	127.35	127.35	127.35	127.35	127.35	127.35
50%	139.36	139.36	139.36	139.36	139.36	139.36
40%	153.62	153.62	153.62	153.62	153.62	153.62
30%	170.71	170.71	170.71	170.71	170.71	170.71
20%	191.36	191.36	191.36	191.36	191.36	191.36
10%	216.34	216.34	216.34	216.34	216.34	216.34
0%	246.33	246.33	246.33	246.33	246.33	246.33

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค57 ค่ากระแสฟอลต์ลำดับลบ หน่วยแอมแปร์ ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ความต้านทานอาร์ก หน่วยโอห์ม					
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
100%	166.38	155.20	146.48	139.62	134.14	129.68
90%	178.98	166.11	156.08	148.22	141.97	136.91
80%	193.67	178.65	166.99	157.91	150.73	144.94
70%	211.00	193.26	179.54	168.93	160.60	153.92
60%	231.77	210.49	194.12	181.57	171.80	164.02
50%	257.12	231.13	211.28	196.22	184.60	175.45
40%	288.76	256.33	231.76	213.38	199.38	188.47
30%	329.37	287.79	256.65	233.76	216.60	203.39
20%	383.40	328.22	287.54	258.34	236.89	220.66
10%	458.67	382.15	326.94	288.57	261.15	240.83
0%	570.30	457.65	378.89	326.67	290.68	264.71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค58 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 0 และ10 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	11.941	-11.941	No	No	24.706	-24.706
90%	No	No	7.34	-7.340	No	No	12.097	-12.097
80%	No	No	4.945	-4.945	No	No	7.419	-7.419
70%	No	No	3.487	-3.487	No	No	4.993	-4.993
60%	No	54.522	2.515	52.007	No	54.522	3.519	51.003
50%	6.507	20.824	1.828	4.679	No	20.824	2.538	18.286
40%	2.756	12.011	1.324	1.432	6.863	12.011	1.845	10.166
30%	1.584	7.969	0.945	0.639	2.833	7.969	1.336	1.497
20%	1.013	5.666	0.657	0.356	1.606	5.666	0.953	0.653
10%	0.677	4.198	0.437	0.240	1.019	4.198	0.662	0.357
0%	0.456	3.202	0.272	0.184	0.676	3.202	0.440	0.236
ความต้านทานอาร์ก	**0 โอห์ม**				**10 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค59 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 20 และ 30 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	22.882	-22.882	No	No	No	No
80%	No	No	11.600	-11.600	No	No	19.747	-19.747
70%	No	No	7.213	-7.213	No	No	10.631	-10.631
60%	No	54.522	4.894	49.628	No	54.522	6.780	47.742
50%	No	20.824	3.470	17.354	No	20.824	4.669	16.155
40%	No	12.011	2.515	9.496	No	12.011	3.345	8.666
30%	5.363	7.969	1.838	3.525	13.023	7.969	2.446	5.523
20%	2.666	5.666	1.339	1.327	4.257	5.666	1.803	2.454
10%	1.599	4.198	0.963	0.636	2.354	4.198	1.326	1.028
0%	1.019	3.202	0.675	0.344	1.526	3.202	0.965	0.561
ความต้านทานอาร์ก	**20 โอห์ม**				**30 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

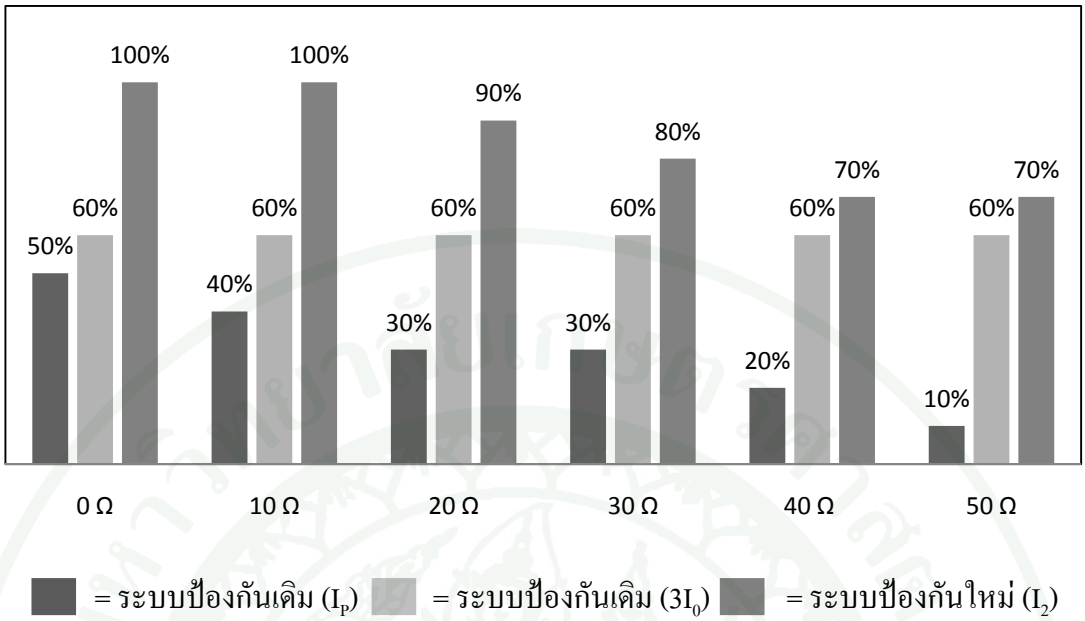
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค60 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของรีเลย์ ที่ความต้านทานอาร์ก 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ตำแหน่งฟอลต์	ระยะเวลา (วินาที)				ระยะเวลา (วินาที)			
	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง	เดิม (I_P)	เดิม ($3I_0$)	ใหม่ (I_2)	ผลต่าง
100%	No	No	No	No	No	No	No	No
90%	No	No	No	No	No	No	No	No
80%	No	No	No	No	No	No	No	No
70%	No	No	16.407	-16.407	No	No	28.054	-28.054
60%	No	54.522	9.449	45.073	No	54.522	13.448	41.074
50%	No	20.824	6.216	14.608	No	20.824	8.256	12.568
40%	No	12.011	4.362	7.649	No	12.011	5.611	6.400
30%	No	7.969	3.168	4.801	No	7.969	4.020	3.949
20%	7.680	5.666	2.344	3.322	No	5.666	2.967	2.699
10%	3.442	4.198	1.747	1.695	5.260	4.198	2.226	1.972
0%	2.091	3.202	1.301	0.790	2.860	3.202	1.681	1.179
ความต้านทานอาร์ก	**40 โอห์ม**				**50 โอห์ม**			

หมายเหตุ No คือ รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับกระแสฟอลต์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค5 กราฟเปรียบเทียบระยะของเขตป้องกันสำรองของรีเลย์ที่ความต้านทานอาร์ก 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ตำแหน่งการเกิดฟอลต์อยู่บนสายจำหน่ายหลังรีโคลสเซอร์ และขนาดกำลังลัดวงจรเท่ากับ 132.02 MVA (80%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายสรายุทธ บุรีแก้ว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 มีนาคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 6
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (สำนักงานใหญ่) กรุงเทพฯ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์