บทที่ 2

การทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์

2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ ระบบที่ทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้าจากระบบส่งไฟฟ้า เพื่อจำหน่ายต่อให้กับผู้ใช้ไฟ ซึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพสามารถรองรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอในปัจจุบันและสามารถรองรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่อาจมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตได้อีกด้วย สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแรงสูง 115 kV ให้เป็นระบบจำหน่ายแรงสูงปานกลาง 22 kV หรือ 33 kV โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่สถานีไฟฟ้าแรงสูง เพื่อจำหน่ายให้กับผู้ใช้ไฟที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนมาก

โครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้น จะแบ่งได้ 5 รูปแบบ [14] ดังนี้

1) ระบบจำหน่ายแบบรัศมี (Radial Distribution System)
2) ระบบจำหน่ายแบบวงรอบ (Loop Primary Distribution System)
3) ระบบจำหน่ายแบบสายประธานคู่ (Primary Selective Distribution System)
4) ระบบจำหน่ายแบบสายประธานสองชุด (Secondary Selective Distribution System)
5) สปอตเนตเวิร์ค (Spot Network)

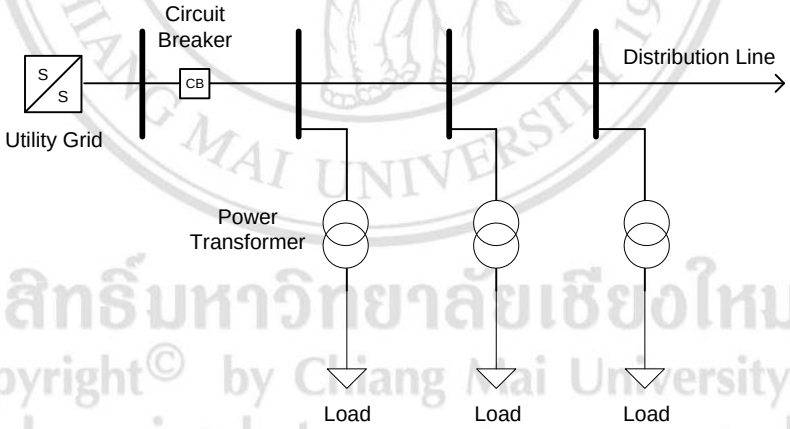
สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะระบบจำหน่ายแบบรัศมีเท่านั้น เนื่องจากระบบจำหน่ายแบบรัศมีเป็นระบบจำหน่ายที่ง่ายต่อการออกแบบ รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างต่ำ ทำให้เป็นที่นิยมโดยทั่วไป รวมถึงระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบระบบจำหน่ายแบบรัศมีอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 ระบบจำหน่ายแบบรัศมี

ระบบจำหน่ายแบบรัศมี มีโครงสร้างของสายจำหน่ายแรงสูงที่รับกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงต้นทางส่งจ่ายไปยังโหลดที่เชื่อมต่ออยู่ที่บัสหรือสถานีไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ ในทิศทางเดียว ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวจากสถานีไฟฟ้าต้นทางไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต่ออยู่กับสายป้อนหลักจนถึงสถานีไฟฟ้าย่อยปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ข้อดีของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบรัศมี คือ มีการออกแบบโครงสร้างที่ง่าย โดยวางสายจำหน่ายจากสถานีต้นทางไปยังโหลด ณ พื้นที่ต่าง ๆ ต่อเนื่องกันตลอดความยาวสาย การควบคุมและป้องกันปัญหาความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบสามารถทำได้ง่าย โดยการปลดวงจรส่วนที่เกิดปัญหานั้นออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบรัศมีก็มีข้อเสียคือ ความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปในระบบ ถูกจำกัดด้วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นและปัญหาแรงดันตก ทำให้โหลดที่อยู่ปลายทางมีระดับแรงดันต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ การปลดวงจรเพื่อแก้ปัญหาความผิดพร่อง จะส่งผลกระทบทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างนับตั้งแต่ตำแหน่งสวิตช์ป้องกันไปจนถึงโหลดที่ต่ออยู่ปลายสาย เป็นผลทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบมีค่าต่ำ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบรัศมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation: DG) คือแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้าโดยตรงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือเชื่อมต่อเข้ากับบริเวณใกล้กับผู้ใช้ไฟฟ้า [1] โดย DG สามารถจำแนกตามขนาดกำลังการผลิตได้ตามตารางที่ 2.1

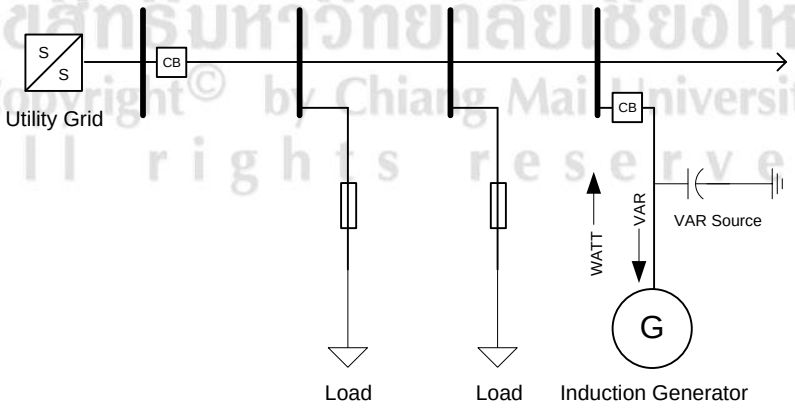
ตารางที่ 2.1 ชนิดของ DG จำแนกตามขนาดกำลังการผลิต

ชนิด	ขนาดกำลังการผลิต
DG ขนาดเล็กมาก	1 W – 5 kW
DG ขนาดเล็ก	5 kW – 5 MW
DG ขนาดปานกลาง	5 MW – 50 MW
DG ขนาดใหญ่	50 MW – 300 MW

นอกจากนี้ DG ยังสามารถจำแนกประเภทตามลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ 3 ชนิด [15] ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (Synchronous Generator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Generator)

2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำโดยทั่วไปจะมีขนาดไม่เกิน 500 kVA เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้ แต่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนได้ และยังต้องการแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนจากภายนอกเชื่อมต่อเข้ามาเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้จะต้องได้รับกำลังไฟฟ้าเสมือนเพื่อกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีราคาถูกกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำไม่จำเป็นต้องมีขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ตัวอย่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เป็นต้น

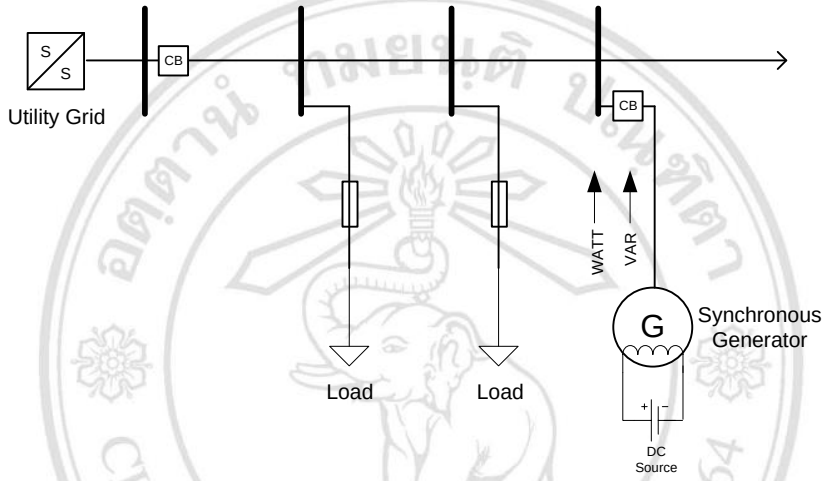


รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสสามารถจ่ายได้ทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน มีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจำเป็นจะต้องแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเชื่อมต่อเข้ากับขดลวดสร้างสนามเพื่อกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มเดินเครื่อง ตัวอย่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ เป็นต้น

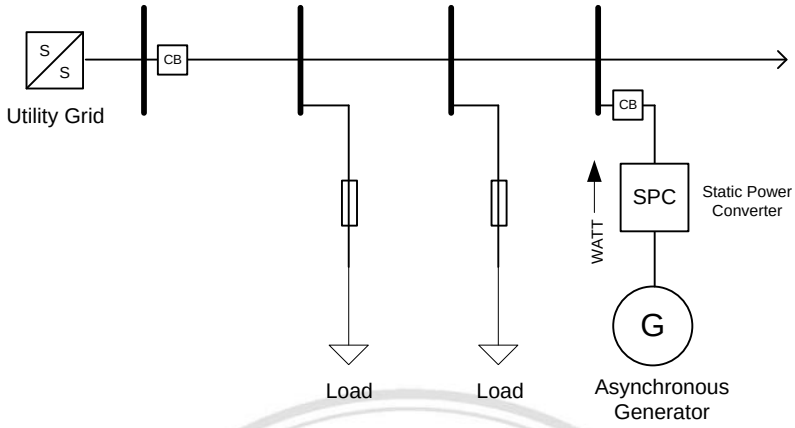


รูปที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

2.2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสโดยทั่วไปจะเชื่อมต่อผ่านเพาเวอร์คอนเวอเตอร์ (Power Converter) โดยตัวคอนเวอเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งทำหน้าที่ปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบถ้าหากระบบเกิดความผิดปกติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสมีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.4 ในปัจจุบันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ส่วนมากจะมีแหล่งพลังงานมาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ตัวอย่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส

เมื่อติดตั้ง DG แล้วอาจส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดจากการติดตั้ง DG ที่สำคัญ คือ ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง DG ซึ่งเมื่อเกิดความผิดพร่องในรูปแบบการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อาจส่งผลให้กระแสลัดวงจรมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก DG จะทำการจ่ายกระแสลัดวงจรเพิ่มเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้กระแสลัดวงจรเพิ่มสูงขึ้น [16] ขนาดกระแสลัดวงจรของ DG แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดของกระแสลัดวงจรของ DG แต่ละชนิด

ชนิดของ DG	ร้อยละจำนวนเท่าของกระแสลัดวงจรต่อกระแสที่สามารถจ่ายโหลดได้สูงสุด
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	500 – 1000%
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	500 – 1000% ในช่วงที่เริ่มเกิดลัดวงจร และจะลดลงมาเหลือ 200 – 400% เมื่อเข้าสู่ภาวะอยู่ตัว
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส	100 – 400% (อาจมีขนาดน้อยกว่า 100% ได้ขึ้นอยู่กับการจำกัดกระแสของตัวคอนเวอร์เตอร์)

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสลัดวงจรที่คอนเวอร์เตอร์จ่ายออกมา โดยส่วนมากแล้วคอนเวอร์เตอร์จะใช้เวลาในการจ่ายกระแสลัดวงจรสั้นมากและกระแสลัดวงจรจะมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้จึงส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายน้อยที่สุด สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ขนาดของกระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันก่อนเกิดลัดวงจร และค่าซับทรานเซียนต์รีแอกเตนซ์ (Subtransient Reactance) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าค่าซับทรานเซียนต์รีแอกเตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าสูง กระแสลัดวงจรจะมีขนาดน้อย สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีค่าซับทรานเซียนต์รีแอกเตนซ์อยู่ที่ประมาณร้อยละ 16.7 ของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Silent-pole) จะมีค่าซับทรานเซียนต์รีแอกเตนซ์อยู่ที่ประมาณร้อยละ 25 ของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบทรงกระบอก (Turbo) จะมีค่าค่าซับทรานเซียนต์รีแอกเตนซ์อยู่ที่ประมาณร้อยละ 9 - 14 ของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [17]

2.3 ความผิดพร่องในระบบจำหน่าย

ความผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น การเกิดอุบัติเหตุ สัตว์เลื้อยคลาน การเสื่อมอายุของอุปกรณ์ไฟฟ้า และภัยธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจจะทำให้เกิดความผิดพร่องในรูปแบบของการลัดวงจร (Short-Circuit) [18] ซึ่งการลัดวงจรสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) การลัดวงจรแบบสมมาตร ได้แก่
   1.1 การลัดวงจรแบบสามเฟส (Three Phase Fault)

2) การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร ได้แก่
   2.1 การลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน (Single Line to Ground Fault)
   2.2 การลัดวงจรแบบสองเฟส (Line to Line Fault)
   2.3 การลัดวงจรแบบสองเฟสลงดิน (Double Line to Ground Fault)

การเกิดลัดวงจรนั้นจะทำให้ระบบเกิดความเสียหาย อาจทำให้เกิดไฟฟ้าดับ ความรุนแรงของการเกิดลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับขนาดกระแสลัดวงจร ถ้ากระแสลัดวงจรมีค่าสูงจะทำให้ระบบเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก ซึ่งขนาดของกระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของการเกิดลัดวงจร และตำแหน่งที่เกิดลัดวงจร สำหรับการลัดวงจรที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด คือ การลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 70 ถึง 80 [10] ของการลัดวงจรทั้งหมดในระบบไฟฟ้า ส่วนการลัดวงจรที่เมื่อเกิดแล้วจะส่งผลกระทบที่รุนแรงที่สุดและมีขนาดของกระแสลัดวงจรสูงที่สุด คือ การลัดวงจรแบบสามเฟส ซึ่งขนาดของกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสจะถูกนำมาพิจารณาหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในบางกรณีความผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อาจไม่ได้เกิดจากปัญหาการลัดวงจรเพียงอย่างเดียว ความผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจเกิดจากการเปิดวงจร (Open-Circuit) ได้เช่นกัน ซึ่งการเกิดความผิดพร่องในลักษณะนี้จะทำให้การไหลของกระแสไม่ได้ดุล (Unbalanced Current Flow)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างในกรณีความผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดจากการเปิดวงจร เช่น สายไฟฟ้าขาด เป็นต้น สำหรับความผิดพร่องในกรณีนี้จะประกอบไปด้วย

1) การเปิดวงจรเส้นเดียว (One Line Open (1LO))
2) การเปิดวงจร 2 เส้น (Two Lines Open (2LO))
3) การเปิดวงจร 3 เส้น (Three Lines Open (3LO))

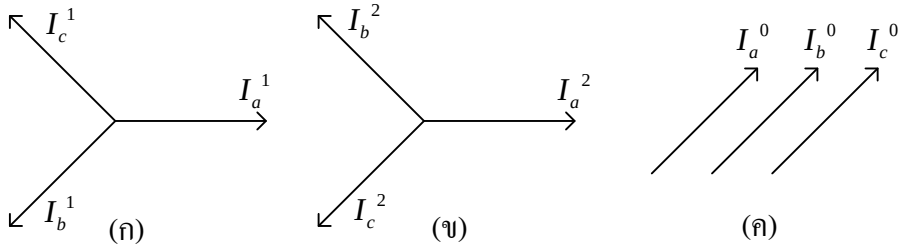
สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะ การลัดวงจรแบบสามเฟสและการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน เท่านั้น เนื่องจากเป็นความผิดพร่องที่ส่งผลกระทบรุนแรงที่สุดและเกิดขึ้นบ่อยครั้งที่สุด ตามลำดับ

2.3.1 การลัดวงจรแบบสามเฟส

การลัดวงจรแบบสามเฟสจัดได้ว่าเป็นการลัดวงจรที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากขนาดของกระแสลัดวงจรค่อนข้างสูง การลัดวงจรแบบสามเฟสเป็นการลัดวงจรแบบสมมาตร (Balanced Fault) ดังนั้นการคำนวณกระแสลัดวงจรจึงไม่ยุ่งยากเหมือนการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน วิธีการคำนวณหากระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบสามเฟสจะใช้วิธีการวิเคราะห์โดยใช้หลักการองค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical Component Method)

วิธีการวิเคราะห์การลัดวงจรแบบสามเฟสโดยใช้หลักการองค์ประกอบสมมาตร [19] จะใช้ส่วนประกอบสมมาตร นำมาแปลงให้อยู่ในระบบส่วนประกอบอันดับ เมื่อได้ส่วนประกอบอันดับแล้วจึงมาคำนวณหากระแสลัดวงจร โดยเฟสเซอร์ขององค์ประกอบสมมาตร จะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบลำดับบวก (Positive-sequence components) ส่วนประกอบลำดับลบ (Negative-sequence components) และส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero-sequence components) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 เฟสเซอร์แสดงส่วนประกอบลำดับ (ก) ส่วนประกอบลำดับบวก (ข) ส่วนประกอบลำดับลบ (ค) ส่วนประกอบลำดับศูนย์ [pws hadii saadat]

จากแผนภาพเฟสเซอร์ในรูปที่ 2.5 (ก) จะได้สมการของส่วนประกอบลำดับบวก ดังนี้

$$\begin{aligned} I_a^{\,1} &= I_a^{\,1}\angle 0^\circ = I_a^{\,1} \\ I_b^{\,1} &= I_a^{\,1}\angle 240^\circ = a^2 I_a^{\,1} \\ I_c^{\,1} &= I_a^{\,1}\angle 120^\circ = a I_a^{\,1} \end{aligned} \tag{2.1}$$

โดย

$I_a^{\,1}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับบวกที่เฟส a

$I_b^{\,1}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับบวกที่เฟส b

$I_c^{\,1}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับบวกที่เฟส c

a คือ ตัวโอเปอเรเตอร์

เพื่อให้ง่ายในการบอกการหมุนของเฟสเซอร์ไปเป็นมุม 120 องศา จึงได้มีการกำหนดตัวโอเปอเรเตอร์ a ขึ้นมา โดยใช้สัญลักษณ์ตัว a เป็นยูนิตเวกเตอร์ ที่มีขนาดเท่ากับ $1\angle 120^\circ$ มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\begin{aligned} a &= 1\angle 120^\circ = -0.5 + j0.866 \\ a^2 &= 1\angle 240^\circ = -0.5 - j0.866 \\ a^3 &= 1\angle 360^\circ = 1 + j0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

จากสมการที่ 2.2 จะได้ว่า

$$1 + a + a^2 = 0 \tag{2.3}$$

จากแผนภาพเฟสเซอร์ในรูปที่ 2.5 (ข) จะได้สมการของส่วนประกอบลำดับลบ ดังนี้

$$\begin{aligned} I_a^{\,2} &= I_a^{\,2}\angle 0^\circ = I_a^{\,2} \\ I_b^{\,2} &= I_a^{\,2}\angle 120^\circ = a I_a^{\,2} \\ I_c^{\,2} &= I_a^{\,2}\angle 240^\circ = a^2 I_a^{\,2} \end{aligned} \tag{2.4}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดย

$I_a^{\,2}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับลบที่เฟส a

$I_b^{\,2}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับลบที่เฟส b

$I_c^{\,2}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับลบที่เฟส c

จากแผนภาพเฟสเซอร์ในรูปที่ 2.5 (ค) จะได้สมการของส่วนประกอบลำดับศูนย์ ดังนี้

$$I_a{}^0 = I_b{}^0 = I_c{}^0 \tag{2.5}$$

โดย

$I_a{}^0$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับศูนย์ที่เฟส a

$I_b{}^0$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับศูนย์ที่เฟส b

$I_c{}^0$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรของส่วนประกอบลำดับศูนย์ที่เฟส c

พิจารณากระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านแต่ละเฟส จะได้สมการขององค์ประกอบสมมาตร ดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned} I_a &= I_a{}^0 + I_a{}^1 + I_a{}^2 \\ I_b &= I_b{}^0 + I_b{}^1 + I_b{}^2 \\ I_c &= I_c{}^0 + I_c{}^1 + I_c{}^2 \end{aligned} \tag{2.6}$$

โดย

I_a คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่เฟส a

I_b คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่เฟส b

I_c คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่เฟส c

จากสมการที่ 2.4, 2.5 และ 2.6 สามารถเขียนสมการขององค์ประกอบสมมาตรให้อยู่ในรูปกระแสลัดวงจรของเฟส a ดังแสดงในสมการที่ 2.7

$$\begin{aligned} I_a &= I_a{}^0 + I_a{}^1 + I_a{}^2 \\ I_b &= I_b{}^0 + a^2 I_b{}^1 + a I_b{}^2 \\ I_c &= I_c{}^0 + a I_c{}^1 + a^2 I_c{}^2 \end{aligned} \tag{2.7}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือเขียนในรูปของเมทริกซ์ดังแสดงในสมการที่ 2.8

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} \tag{2.8}$$

กำหนดให้ $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$ จะสามารถเขียนสมการที่ 2.8 ใหม่ได้ดังนี้

$$I^{abc} = AI_a^{012} \tag{2.9}$$

เขียนสมการที่ 2.9 ให้อยู่ในรูปของอินเวอร์สของเมตริกซ์ A ได้ดังนี้

$$I_a^{012} = A^{-1}I^{abc} \tag{2.10}$$

โดยที่อินเวอร์สของเมตริกซ์ A จะมีค่าดังสมการที่ 2.11

$$A^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

จากสมการที่ 2.11 จะได้ว่า

$$A^{-1} = \frac{1}{3}A^* \tag{2.12}$$

นำค่า A^{-1} จากสมการที่ 2.11 ไปแทนในสมการที่ 2.10 จะได้ว่า

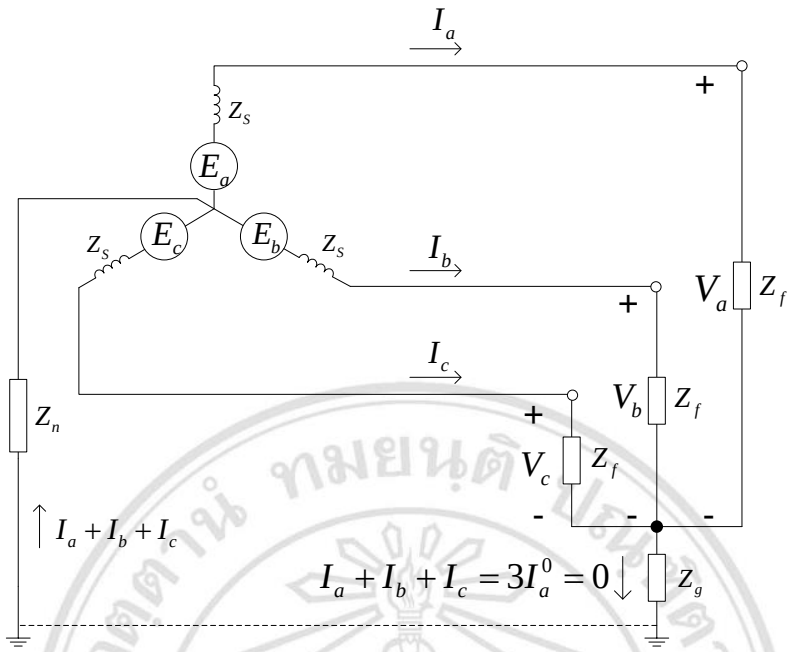
$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

สามารถเขียนสมการที่ 2.13 ให้อยู่ในรูปสมการส่วนประกอบลำดับ ดังนี้

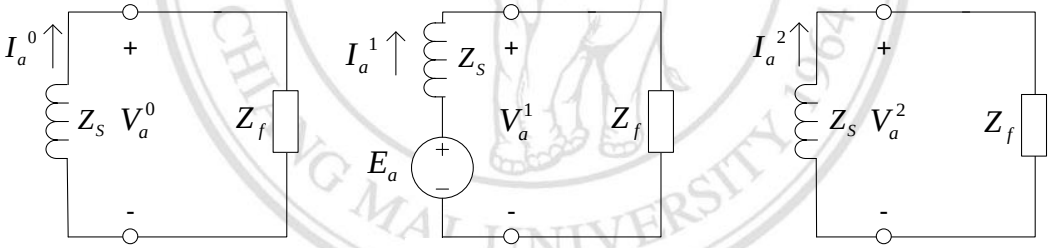
$$\begin{aligned} I_a{}^0 &= \frac{1}{3}\left(I_a + I_b + I_c\right) \\ I_a{}^1 &= \frac{1}{3}\left(I_a + aI_b + a^2I_c\right) \\ I_a{}^2 &= \frac{1}{3}\left(I_a + a^2I_b + aI_c\right) \end{aligned} \tag{2.14}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบสามเฟสซึ่งเป็นการลัดวงจรแบบสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลแสดงส่วนประกอบลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะพบว่า การเกิดลัดวงจรแบบสามเฟสจะมีกระแสที่ไหลเฉพาะในส่วนประกอบลำดับบวกเท่านั้น ซึ่งเมื่อเขียนสมการให้อยู่ในรูปแบบส่วนประกอบลำดับ จะได้ดังสมการที่ 2.15



รูปที่ 2.6 การเกิดลัดวงจรแบบสามเฟส



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลแสดงส่วนประกอบลำดับขณะเกิดลัดวงจรแบบสามเฟส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$I_a^0 = 0$$
$$I_a^1 = \frac{E_a}{Z_S + Z_f} \qquad (2.15)$$
$$I_a^2 = 0$$

โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ ตามสมการที่ 2.8 จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_a^1 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.16 จะได้ว่า

$$I_a = I_a^1$$
$$I_b = a^2 I_a^1 \quad (2.17)$$
$$I_c = a I_a^1$$

พิจารณาวงจรสมมูลในรูปที่ 2.6 จะได้ว่า

$$I_{F,3\phi} = I_a^1 = I_a = \frac{V_a^1}{Z_f} \quad (2.18)$$

เพราะฉะนั้น ขนาดของกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสจะมีค่า ดังแสดงในสมการที่ 2.19

$$I_{F,3\phi} = \frac{E_a}{Z_S + Z_f} \quad (2.19)$$

โดย

$I_{F,3\phi}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรแบบสามเฟสแสดงในรูปแบบกระแสเฟส

Z_S คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย

Z_F คือ ค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจร

หรือ เขียนให้อยู่ในรูปกระแสสายได้ดังนี้

$$I_{F,line} = \frac{\sqrt{3}E_a}{Z_S + Z_f} \quad (2.20)$$

โดย

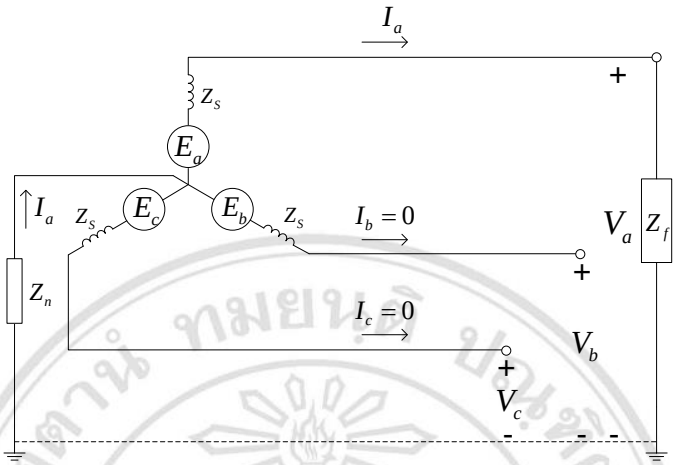
$I_{F,line}$ คือ ค่ากระแสลัดวงจรแบบสามเฟสแสดงในรูปแบบกระแสสาย

2.3.2 การลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน

การลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินจะเกิดขึ้นบนเฟสใดเฟสหนึ่งในระบบไฟฟ้าเท่านั้น โดยการลัดวงจรชนิดนี้จะมีความรุนแรงน้อยกว่าการลัดวงจรชนิดอื่น เว้นแต่จะเกิดการลัดวงจรบริเวณใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งอาจจะทำให้การลัดวงจรชนิดนี้รุนแรงกว่าชนิดอื่นได้ การลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน จัดว่าเป็นการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร (Unbalance Fault) ซึ่งการคำนวณหากระแสลัดวงจรนั้นจะค่อนข้างยาก เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงต้องใช้ส่วนประกอบสมมาตร นำมาแปลงให้อยู่ในระบบส่วนประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อันดับ เมื่อได้ส่วนประกอบอันดับแล้วจึงมาคำนวณหากระแสลัดวงจร ตัวอย่างการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินที่เฟส a แสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินที่เฟส a [20]

กำหนดให้ Z_f คือ ค่าอิมพีแดนซ์การลัดวงจร และสมมติให้เครื่องกำเนิดทำงานแบบไร้โหลด จะได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V_a = Z_f I_a \tag{2.21}$$

$$I_b = I_c = 0 \tag{2.22}$$

จะเห็นว่าเมื่อ $I_b = I_c = 0$ จะได้ค่ากระแสในส่วนประกอบลำดับ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.23}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือ

$$I_a^0 = I_a^1 = I_a^2 = \frac{1}{3} I_a \tag{2.24}$$

จะได้ค่าแรงดันเฟสในรูปแบบของส่วนประกอบสมมาตร ดังนี้

$$V_a = V_a^0 + V_a^1 + V_a^2 \tag{2.25}$$

จะได้ค่าแรงดันเฟสในรูปแบบของส่วนประกอบลำดับ ดังนี้

$$V_a = E_a - \left(Z^1 + Z^2 + Z^0\right) I_a^0 \tag{2.26}$$

นำสมการที่ 2.21 ไปแทนในสมการที่ 2.26 และจากสมการที่ 2.24 จะได้ว่า $I_a = 3I_a^0$ นำไปแทนในสมการที่ 2.26 เช่นกัน จะได้ว่า

$$3Z_f I_a{}^0 = E_a - \left(Z^1 + Z^2 + Z^0\right) I_a^0 \tag{2.27}$$

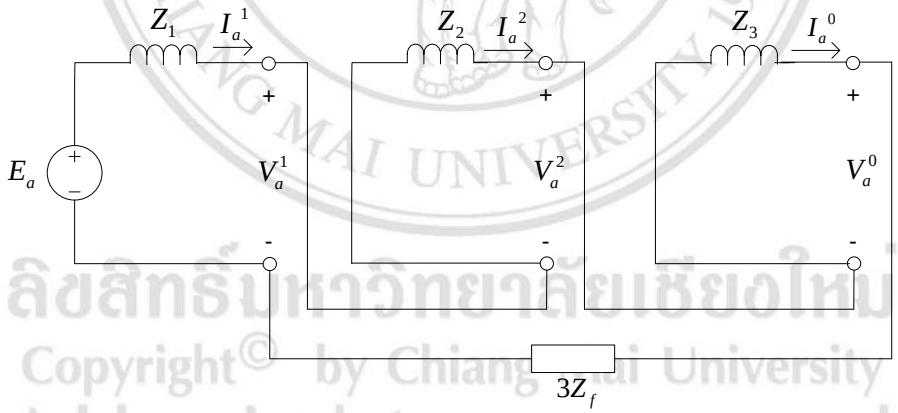
หรือ

$$I_a{}^0 = \frac{E_a}{Z^1 + Z^2 + Z^0 + 3Z_f} \tag{2.28}$$

จะได้ค่ากระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินดังนี้

$$I_F = I_a = 3I_a{}^0 = \frac{3E_a}{Z^1 + Z^2 + Z^0 + 3Z_f} \tag{2.29}$$

สามารถเขียนวงจรสมมูลแสดงส่วนประกอบลำดับขณะเกิดการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลแสดงส่วนประกอบลำดับขณะเกิดลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินที่เฟส a

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การป้องกันระบบไฟฟ้า

เมื่อเกิดปัญหาความผิดพร่องขึ้นในระบบไฟฟ้า จะส่งผลกระทบเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบไฟฟ้าใหญ่ขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลขณะลัดวงจรจะสูงมาก ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เช่น เกิดความร้อนสูง เกิดแรงดันตก เกิดแรงดันเกิน และเกิดความถี่ต่ำ เป็นต้น ดังนั้น

เพื่อที่จะป้องกันระบบไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นแก่ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีระบบการป้องกันที่ดี

ระบบป้องกันไฟฟ้าที่ดีย่อมไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดภาวะผิดปกติ ดังนั้นหน้าที่ของระบบป้องกันไฟฟ้าที่ดี คือเมื่อเกิดภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้าต้องสามารถตัดระบบไฟฟ้าส่วนที่เกิดภาวะผิดปกติออกจากวงจรให้รวดเร็วที่สุด นอกจากนี้คุณสมบัติที่ดีของระบบป้องกันต้องมีความเชื่อถือได้ (Reliability) ทำงานโดยถูกต้อง (Dependability) ทำงานโดยรวดเร็ว (Speed) ค่าบำรุงรักษาต่ำ และมีราคาไม่แพงจนเกินไป

2.4.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกัน

ระบบป้องกันโดยทั่วไป จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1) เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker: CB) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปิดและปิดวงจรทั้งในขณะที่ระบบไฟฟ้ากำลังอยู่ในภาวะปกติ และผิดปกติ การเปิดวงจรในภาวะปกตินั้นจะสามารถทำเมื่อใดก็ได้ที่ต้องการเปิดวงจร เช่น การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า แต่เมื่อระบบอยู่ในภาวะผิดปกติ เช่น การเกิดความผิดพร่อง เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องทำการเปิดวงจรอย่างรวดเร็ว แต่เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตรวจจับภาวะผิดปกติได้เอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นๆ ช่วยตรวจจับภาวะผิดปกติ

2) รีเลย์ป้องกัน (Protective Relays) คือ อุปกรณ์ป้องกันที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรับการกระตุ้นจากสัญญาณที่แปลงมาจากระบบไฟฟ้าผ่านทางหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน โดยรีเลย์ป้องกันจะทำหน้าที่ตรวจจับภาวะผิดปกติโดยจะทำการตรวจวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา เมื่อค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดเกินค่าที่กำหนดไว้รีเลย์จะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการปลดวงจรออกจากระบบ โดยที่ค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดภาวะผิดปกติจะมีอยู่หลายชนิด เช่น แรงดัน กระแส ความถี่ มุมทางไฟฟ้า เป็นต้น รีเลย์ป้องกันมีด้วยกันอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีชื่อเรียกที่ต่างกันออกไป ตามลักษณะภาวะผิดปกติที่ใช้ป้องกัน

3) หม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส (Voltage Transformer and Current Transformer: VT and CT) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสที่มี

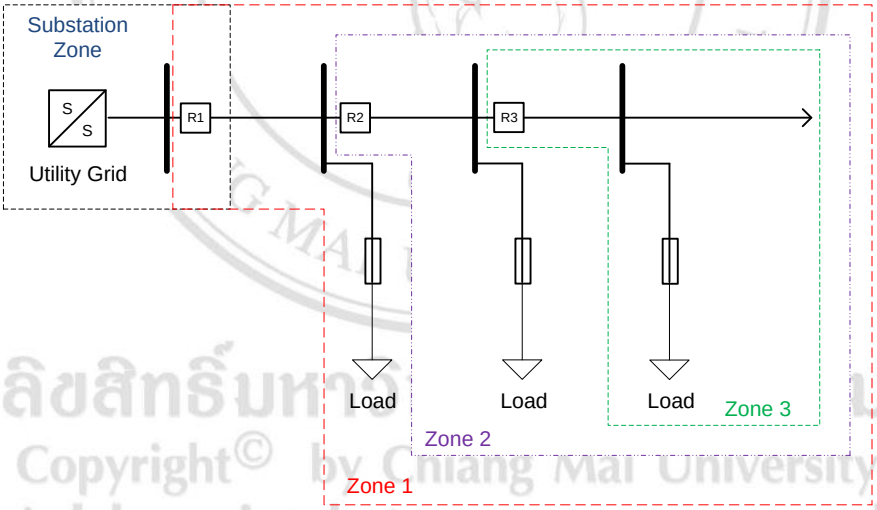
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณมากๆ ที่แรงดันสูงหรือกระแสสูง ให้เป็นแรงดันหรือกระแสที่มีปริมาณน้อยๆ เพื่อให้สามารถป้อนสัญญาณกระตุ้นให้กับรีเลย์ป้องกันได้ โดยทั่วไปหม้อแปลงกระแสจะมีขนาดมาตรฐานที่ 1A หรือ 5A และหม้อแปลงแรงดันจะมีขนาดมาตรฐานที่ 110V หรือ 120V

4) อุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ เพื่อใช้สำหรับป้องกันสายส่ง มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ตัวอย่างของอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ เช่น รีโคลสเซอร์ ฟิวส์ โหลดเบรกสวิตซ์ เป็นต้น

2.4.2 ขอบเขตการป้องกัน (Zone of Protection)

การแบ่งขอบเขตป้องกันของระบบการป้องกันเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการแบ่งเขตการป้องกันแต่ละส่วนจะช่วยให้สามารถป้องกันระบบไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ และสามารถแยกส่วนของระบบไฟฟ้าให้น้อยที่สุดเมื่อเกิดปัญหาความผิดพร่อง ระบบไฟฟ้าอาจแบ่งขอบเขตการป้องกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



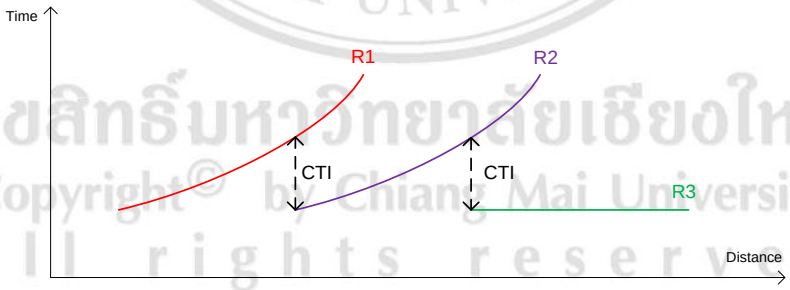
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการแบ่งขอบเขตป้องกัน

จุดประสงค์ของการแบ่งขอบเขตการป้องกัน คือ เพื่อแบ่งการป้องกันระบบไฟฟ้าออกเป็นส่วนๆ โดยแต่ละส่วนจะรับผิดชอบป้องกันในส่วนของบริเวณเป็นหลัก เรียกว่าการป้องกันหลัก (Primary Protection) ซึ่งทำให้สามารถระบุตำแหน่งของการเกิดปัญหาความผิดพร่องได้ แต่เมื่อเกิดปัญหาความผิดพร่องแล้วระบบป้องกันภายในเขตตัวเองไม่ทำงานจะต้องมีการจัดให้มีการป้องกันสำรอง (Backup Protection) เพื่อทำการกำจัดปัญหาความผิดพร่องออกจากระบบ การแบ่งขอบเขตการป้องกันจะมีหลักการดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

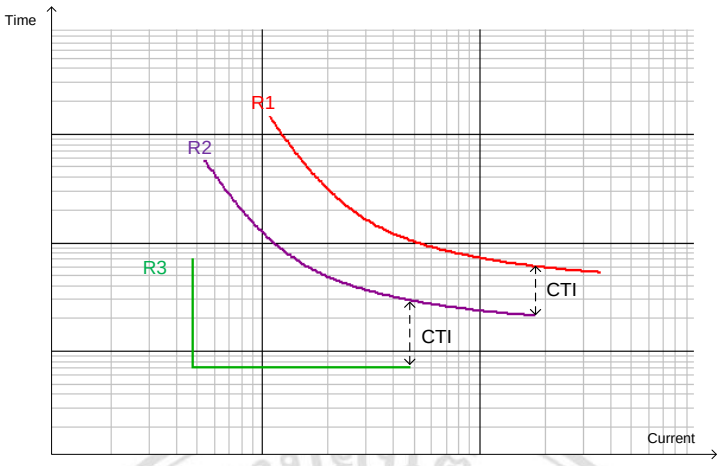
1) เพื่อให้การป้องกันครอบคลุมระบบไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นทุกส่วนของระบบไฟฟ้าจะต้องอยู่ในขอบเขตการป้องกัน อย่างน้อย 1 ขอบเขต

2) เพื่อให้รีเลย์ที่อยู่ในขอบเขตการป้องกันหลักของตัวเองสามารถทำการปลดวงจรได้ก่อนที่รีเลย์ที่อยู่ในขอบเขตการป้องกันสำรองจะทำงานก่อน จึงมีการกำหนดให้รีเลย์ในเขตที่อยู่ติดกันมีการตั้งค่าช่วงเวลาในการจัดลำดับ (Coordination Time Interval : CTI) ให้เหลื่อมกัน (Overlap) อธิบายได้ดังวงจรในรูปที่ 2.11 จะพบว่ามีขอบเขตการป้องกันสายส่งทั้งหมด 3 ขอบเขต โดยขอบเขต Zone 1 กำหนดให้รีเลย์ R1 เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก ขอบเขต Zone 2 กำหนดให้รีเลย์ R2 เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก และรีเลย์ R1 เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง ขอบเขต Zone กำหนดให้รีเลย์ R3 เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก รีเลย์ R2 และ R1 เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง ซึ่งสามารถตั้งค่าช่วงเวลาในการจัดลำดับให้เหลื่อมกัน โดยที่รีเลย์ R3 จะมีช่วงเวลาในการทำงานเร็วที่สุด และรีเลย์ R2 จะมีช่วงเวลาในการทำงานช้าที่สุด โดยแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางของรีเลย์ดังรูปที่ 2.11 และแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและเวลาของรีเลย์ดังรูปที่ 2.12 สาเหตุที่ต้องตั้งค่าเช่นนี้เนื่องจาก รีเลย์ R3 ตั้งอยู่ในขอบเขต Zone 3 ซึ่ง เมื่อเกิดปัญหาความผิดพร่องหรือการลัดวงจรที่ภายในขอบเขตนี้ รีเลย์ R3 จะทำการปลดวงจรใน Zone 3 ออกไปทำให้ระบบไฟฟ้าใน Zone 1 และ Zone 2 ไม่ได้รับผลกระทบตามไปด้วย



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางของรีเลย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาของรีเลย์

2.5 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจรอาจจะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากปัญหากระแสเกินได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น ระบบจำหน่ายจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่สำคัญ ได้แก่ รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน ฟิวส์ และรีโคลสเซอร์ ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวใช้สำหรับป้องกันการลัดวงจรเช่นเดียวกัน แต่จะมีลำดับการทำงานต่างกัน ดังนั้นในการออกแบบระบบป้องกันจึงต้องมีการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัวให้สามารถทำงานร่วมกันได้

2.5.1 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน [18, 21]

รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน คือ อุปกรณ์ป้องกันที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรับการกระตุ้นจากสัญญาณที่แปลงมาจากระบบไฟฟ้าผ่านทางหม้อแปลงกระแส โดยจะทำการตรวจวัดกระแสอยู่ตลอดเวลา เมื่อค่ากระแสที่ตรวจวัดเกินค่าที่กำหนดไว้รีเลย์จะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการปลดวงจรออกจากระบบ รีเลย์ป้องกันกระแสเกินสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 ชนิดดังนี้

1) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบตายตัว (Definite-Current Overcurrent Relays or Instantaneous Overcurrent Relays)

รีเลย์ชนิดนี้จะทำงานทันทีเมื่อกระแสเกินค่าที่กำหนดไว้ โดยทั่วไปรีเลย์ชนิดนี้จะใช้งานบริเวณที่ใกล้กับสถานีไฟฟ้าที่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายมากๆ ซึ่งจะมีค่ากระแสเกินที่ต่ำ จึงต้องใช้รีเลย์ชนิดนี้ให้ทำการปลดวงจรทันทีโดยไม่มีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วงเวลา รีเลย์ชนิดนี้มีข้อเสีย เมื่อค่าอิมพีแดนซ์สายส่งในระบบต่ำ เมื่อเกิดการลัดวงจรบริเวณไกลสถานีไฟฟ้าออกไป อาจจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันที่บริเวณใกล้กับสถานีไฟฟ้าทำงานก่อน

2) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาตายตัว (Definite-Time/Current Overcurrent Relays)

รีเลย์ชนิดนี้จะมีการทำงานเมื่อเกิดกระแสเกินตามเวลาที่ได้กำหนดไว้รีเลย์ถึงจะทำงานโดยจะกำหนดให้เวลาในการป้องกันกระแสเกินบริเวณใกล้กับสถานีไฟฟ้ามีเวลานาน และตั้งค่าเวลาค่อยๆเร็วขึ้นเมื่อห่างจากสถานีไฟฟ้าออกไป ซึ่งรีเลย์ชนิดนี้มีข้อเสีย เมื่อเกิดลัดวงจรบริเวณใกล้กับสถานีไฟฟ้าและขนาดของกระแสลัดวงจรมีค่าสูง รีเลย์อาจจะทำงานช้าทำให้อุปกรณ์ในระบบเกิดความเสียหาย

3) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผัน (Inverse-Time Overcurrent Relays)

รีเลย์ชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานโดย เวลาที่ใช้ในการทำงานนั้นจะเป็นส่วนกลับของกระแส กล่าวคือ ยิ่งกระแสลัดวงจรมีค่าสูงมากระยะเวลาในการทำงานก็จะรวดเร็วมาก แต่หากกระแสลัดวงจรมีค่าต่ำมากช่วงเวลาในการทำงานก็จะยาวนานมากขึ้น รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผันสามารถแบ่งย่อยตามกราฟคุณลักษณะได้หลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะเหมาะสมกับการใช้งานในกรณีต่างๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะการใช้งานรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผันแต่ละชนิด [18]

ชนิดของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน	พื้นที่ใช้งาน	ลักษณะการใช้งาน
Moderately Inverse Overcurrent Relays	สายส่งย่อยของระบบส่งจ่ายและสายส่งในระบบจำหน่าย	ใช้สำหรับระบบที่แหล่งจ่ายมีค่าความต้านทานภายในไม่คงที่ และใช้ป้องกันสายส่งมีการจ่ายแบบขนาน
Modified Inverse Overcurrent Relays		ใช้สำหรับป้องกันสายเฟสและสายดิน โดยรีเลย์ชนิดนี้จะมีขอบเขตการป้องกันที่กว้าง
Inverse Overcurrent Relays		ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรองในระบบที่มีรีโคลสเซอร์และเซคชั่นนัลไลเซอร์ (Sectionalizer)
Modified Very Inverse Overcurrent Relays		ใช้สำหรับระบบที่แหล่งจ่ายมีค่าความต้านทานภายในคงที่ โดยรีเลย์ชนิดนี้มีข้อดีคือจะใช้เวลาในการทำงานน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน	พื้นที่ใช้งาน	ลักษณะการใช้งาน
Very Inverse Overcurrent Relays		ใช้สำหรับป้องกันสายดินในระบบส่งจ่าย
Extremely Inverse Overcurrent Relays		ใช้สำหรับป้องกันในระบบจำหน่าย โดยที่รีเลย์จะต้องทำงานร่วมกับรีโคลสเซอร์ ฟิวส์ และเซคชั่นนัลไลเซอร์ หรือใช้กับระบบที่มีโหลดมากและอาจจะมีการขยายโหลดเพิ่มในอนาคต

สำหรับคุณลักษณะของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผันสามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังสมการที่ 2.31 [18]

$$t(I) = TD\left[\frac{A}{M^{p}-1} + B\right] \tag{2.31}$$

โดย

$t(I)$ คือ เวลาในการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

TD คือ ตัวคูณค่าปรับตั้งเวลา

M คือ ค่าอัตราส่วนระหว่าง $I / I_{pick-up}$

$I_{pick-up}$ คือ ค่ากระแสที่ทำให้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินเริ่มต้นทำงาน

A, B, p คือ ค่าพารามิเตอร์หาได้จากความชันของกราฟคุณลักษณะ

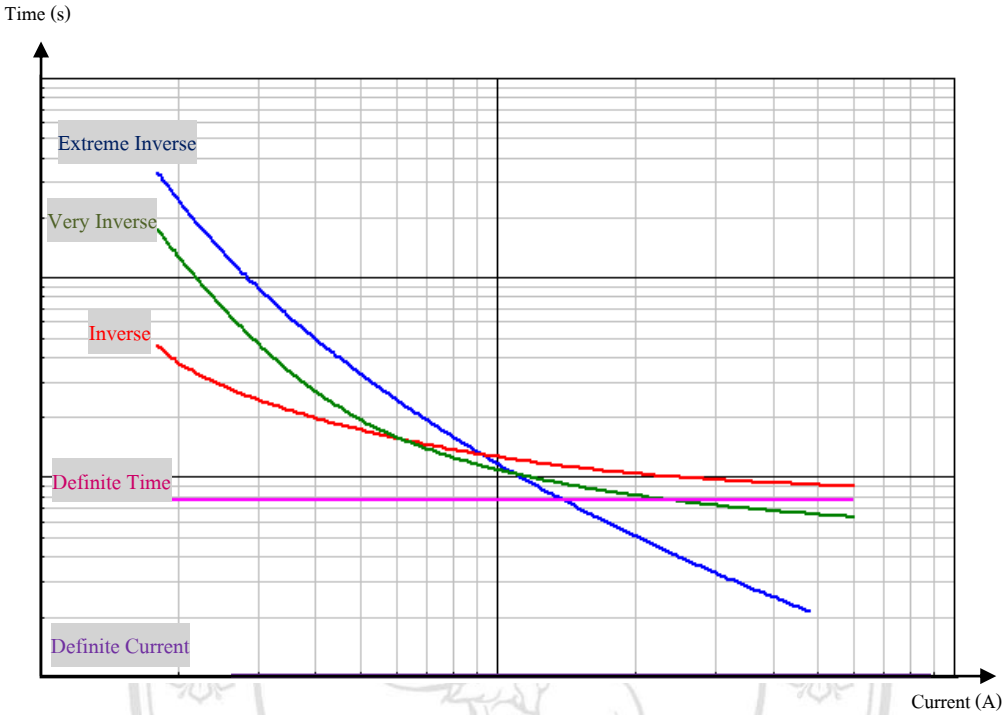
ค่าพารามิเตอร์ A, B, p ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผันแต่ละชนิดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.4 [21]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ A, B, p ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผันแต่ละชนิด

ชนิดของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน	มาตรฐาน	A	B	p
Moderately inverse	IEEE	0.0515	0.114	0.02
Very inverse	IEEE	19.61	0.491	2.0
Extremely inverse	IEEE	28.2	0.1217	2.0
Inverse	CO8	5.95	0.18	2.0
Short-time inverse	CO2	0.0239	0.0169	0.02
Standard inverse	IEC	0.14	0	0.02
Very inverse	IEC	13.5	0	1.0
Extremely inverse	IEC	80.0	0	2.0
Long-time inverse	UK	120	0	1.0

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแต่ละชนิดจะมีกราฟคุณลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.13



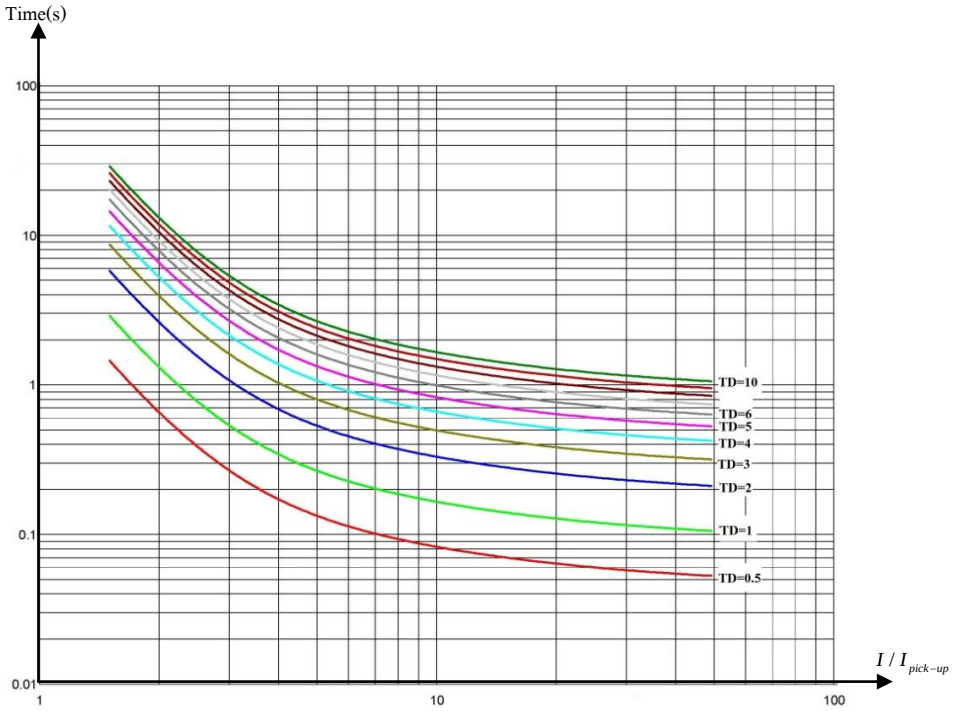
รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแต่ละชนิด

สำหรับการปรับตั้งค่าการทำงานรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน จะมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้ [21]

1) การปรับตั้งค่าตัวคูณค่าปรับตั้งเวลา (Time Dial Setting: TD)

เป็นการปรับตั้งระยะห่างระหว่างหน้าสัมผัสเคลื่อนที่กับหน้าสัมผัสอยู่กับที่ ซึ่งจะควบคุมหน้าสัมผัสทั้งสองให้อยู่ใกล้ หรือห่าง เพื่อให้เวลาการทำงานของรีเลย์เป็นไปตามที่กำหนด ถ้าปรับตั้งตัวเลขยิ่งสูง เวลาการทำงานของรีเลย์ก็ยิ่งนาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงค่าตัวคูณค่าปรับตั้งเวลาของรีเลย์กระแสเกินแบบผกผัน

2) การตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์กระแสเกิน (Pick-Up Current Setting)

การตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์กระแสเกินเป็นการกำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ และกระแสลัดวงจรที่รีเลย์กระแสเกินตรวจพบ ซึ่งมีค่าเป็นทวีคูณของกระแสเริ่มทำงานในสภาวะปกติ โดยค่านี้จะชี้ให้เห็นถึงอัตราส่วนของกระแสลัดวงจรกับกระแสเริ่มทำงานในสภาวะปกติ สามารถหากระแสเริ่มทำงานได้จากจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.32

$$I_{pick-up} = (\mathrm{OLF} \times I_{\mathrm{nom}}) \div \mathrm{CTR} \qquad (2.32)$$

โดย

$I_{pick-up}$ คือ ค่ากระแสที่ทำให้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินเริ่มต้นทำงาน

OLF คือ ค่าตัวประกอบของการเกิดโหลดเกินในระบบ

I_{nom} คือ ค่ากระแสโหลดของระบบ

CTR คือ อัตราส่วนหม้อแปลงกระแสของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 ฟิวส์

ฟิวส์ในระบบจำหน่ายจะใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง ใช้ในกรณีที่อุปกรณ์ป้องกันหลักทำงานผิดพลาด โดยฟิวส์จะถูกติดตั้งบนวงจรย่อยของระบบจำหน่าย โดยลักษณะการทำงานจะใช้ความร้อนจากกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์เกินกำหนดเป็นตัวตัดวงจร ฟิวส์สามารถจำแนกตามรูปแบบการใช้งานได้ 2 รูปแบบคือ เพาเวอร์ฟิวส์ (Power Class Fuses) และฟิวส์ตัดตอนแรงสูง (Distribution Class Fuses) [22]

1) เพาเวอร์ฟิวส์

เพาเวอร์ฟิวส์โดยทั่วไปจะนิยมใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ เช่น สถานีไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีปริมาณของการส่งจ่ายไฟฟ้าจำนวนมาก มักนิยมใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟส

2) ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง

ฟิวส์ตัดตอนแรงสูงโดยทั่วไปจะนิยมใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือระบบไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก มักนิยมใช้กับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว

ฟิวส์แรงสูงสามารถจำแนกตามลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิดหลักๆ คือ ฟิวส์จำกัดกระแส (Current Limiting Fuses) และฟิวส์ไม่จำกัดกระแส (Non-Current Limiting Fuses or Expulsion Fuses)

1) ฟิวส์จำกัดกระแส

ฟิวส์จำกัดกระแสมีลักษณะการทำงานเมื่อกระแสไหลผ่านฟิวส์สูงถึงค่าที่กำหนดไว้ฟิวส์จะทำงาน ฟิวส์ชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถตัดวงจรได้อย่างรวดเร็ว ฟิวส์ชนิดนี้จะทำการจำกัดกระแสไฟฟ้ายอดคลื่นขณะลัดวงจรให้ไหลผ่านตัวฟิวส์ต่ำกว่าค่ากระแสลัดวงจรที่ควรจะเกิดขึ้นถึงจุดสูงสุด ฟิวส์ชนิดนี้โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์เป็น 1.5 เท่าของพิกัดกระแสโหลด

2) ฟิวส์ไม่จำกัดกระแส

ฟิวส์ไม่จำกัดกระแสหรือฟิวส์ขับก๊าซ ฟิวส์ชนิดนี้เมื่อมีกระแสไหลเกินจะเกิดการพุ่งระบายของก๊าซซึ่งเกิดจากการอาร์ก และจากนั้นสายของตัวยึดฟิวส์จะทำการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลดวงจรซึ่งอาจจะทำการปลดวงจรด้วยตัวเองหรืออาจใช้สปริงเป็นตัวช่วยในการปลดวงจร ฟิวส์ชนิดนี้โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์เป็น 1.4 เท่าของพิกัดกระแสโหลด

สำหรับกราฟคุณลักษณะการทำงานของฟิวส์ จะแสดงดังรูปที่ 2.15 โดยที่ฟิวส์จะมีค่าคุณลักษณะที่สำคัญอยู่ 2 ค่า ได้แก่ ค่าหลอมละหลายขั้นต่ำ (Minimum Melting: MM) และค่าที่ใช้ในการหลอมละลายทั้งหมด (Total Clearing: TC) โดยที่สมการทั่วไปของคุณลักษณะของฟิวส์สามารถแสดงได้ดังนี้ [8]

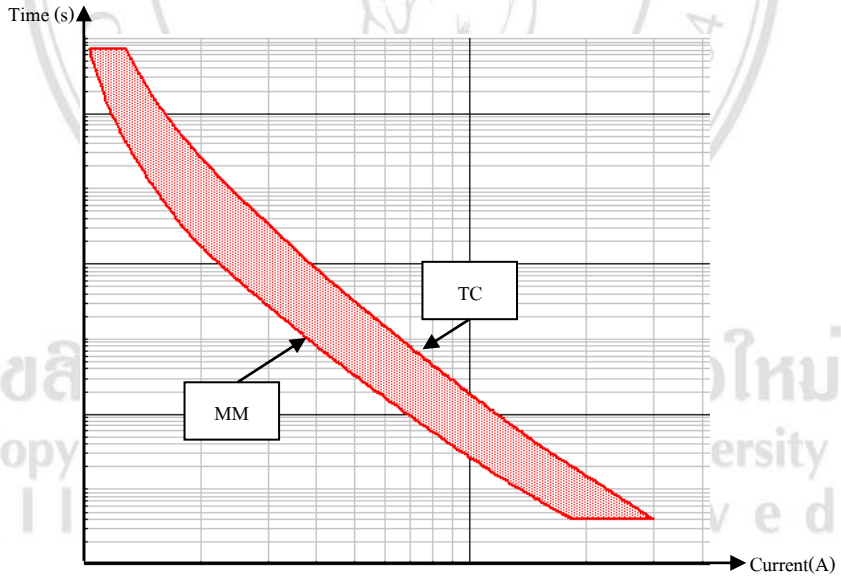
$$\log(t) = a\log(I) + b \tag{2.33}$$

โดย

t คือ เวลาในการทำงานของฟิวส์

I คือ กระแสลัดวงจรที่ผ่านฟิวส์

a, b คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากวิธีการปรับเส้นโค้ง (curve fitting)



รูปที่ 2.15 กราฟคุณลักษณะการทำงานของฟิวส์

2.5.3 รีโคลสเซอร์ [21]

รีโคลสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับและแยกการลัดวงจรชั่วคราวออกจากการลัดวงจรถาวร โดยทั่วไปรีโคลสเซอร์จะถูกเลือกให้เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักในระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำหน่าย ซึ่งจะถูกติดตั้งลงบนวงจรหลักของระบบจำหน่าย การทำงานของรีโคลสเซอร์จะมีลำดับการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งมีลำดับการทำงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เมื่อเกิดการลัดวงจรที่เวลา T1 ระบบไฟฟ้าจะส่งสัญญาณผ่านหม้อแปลงกระแสเพื่อส่งต่อให้รีโครสเซอร์สั่งปลดวงจรอย่างรวดเร็ว โดยรีโคลสเซอร์จะปลดวงจรออกจากระบบสำเร็จที่เวลา T2 ระยะเวลาจาก T1 ไปจนกระทั่งถึง T2 นี้เรียกว่าเวลาทำงาน (Operating Time) โดยการตั้งค่าเวลาทำงานนี้อาจจะมีการหน่วงเวลาให้รีโคลสเซอร์ทำงานช้าหรือเร็ว โดยการปรับตั้งค่าตัวคูณค่าปรับตั้งเวลา (Time Dial Setting: TD) โดยจะขึ้นอยู่กับการจัดขอบเขตการป้องกันและการจัดลำดับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันอื่น ซึ่งระบบป้องกันที่ดี เวลาทำงานไม่ควรเกิน 0.05 วินาที ช่วงเวลาที่รีโคลสเซอร์ทำการปลดวงจรสำเร็จสามารถแสดงได้ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาในรูปที่ 2.17 โดยจะเรียกเส้นกราฟที่ทำการปลดวงจรออกจากระบบสำเร็จว่า โหมดการทำงานแบบเร็ว (Fast or Instantaneous Setting) หรือเส้นโค้งการทำงานแบบเร็ว (Fast or Instantaneous Curve) ซึ่งในรูปที่ 2.17 จะกำหนดให้เวลาทำงานมีเวลาเท่ากับ A วินาที

2) จากนั้นรีโคลสเซอร์จะเปิดวงจรเป็นระยะเวลาตั้งแต่ T2 ไปจนถึง T3 เรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงเวลาไม่มีไฟ (Dead Time) โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีระยะเวลา 3 วินาที หรืออาจน้อยกว่านี้ เพื่อรอให้รีโคลสเซอร์คืนตัวอย่างสมบูรณ์ พร้อมที่จะต่อวงจร โดยช่วงเวลาที่รอให้รีโคลสเซอร์พร้อมนี้ เรียกว่า ช่วงเวลาคืนตัวสมบูรณ์ (Reclaim Time)

3) จากนั้นรีโคลสเซอร์จะต่อวงจรกลับเข้ามาที่เวลา T3 โดยยังคงใช้โหมดการทำงานแบบเร็ว และมีเวลาทำงานเท่ากับการปิดวงจรในครั้งแรกคือ A วินาที หากการปิดวงจรของรีโคลสเซอร์ครั้งที่สองนี้ ยังพบว่ามีกระแสลัดวงจรอยู่ แสดงว่าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นอาจเป็นการลัดวงจรแบบถาวร เพราะการลัดวงจรที่เป็นแบบชั่วคราวจะสามารถกำจัดตัวเองออกจากระบบได้ จากนั้นรีโคลสเซอร์ก็จะทำการปลดวงจรออกอีกครั้งที่เวลา T4 โดยจะเปิดวงจรเป็นระยะเวลานานมากกว่าหรือเท่ากับการเปิดวงจรในครั้งแรก เพื่อให้รีโคลสเซอร์คืนตัวอย่างสมบูรณ์

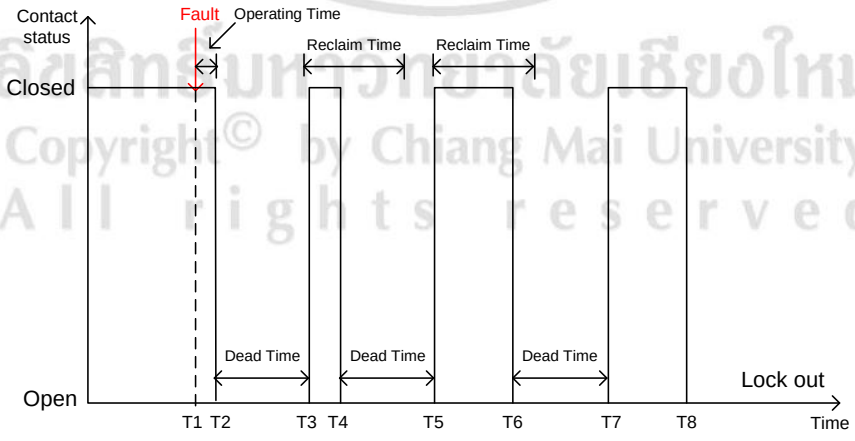
4) จากนั้นรีโคลสเซอร์จะทำการปิดวงจรอีกครั้ง ที่เวลา T5 โดยครั้งนี้จะใช้โหมดการทำงานแบบช้า (Slow or Time Delay Setting) หรือเส้นโค้งการทำงานแบบช้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Slow or Time Delay Curve) โดยการปิดวงจรในครั้งนี้จะมีระยะเวลายาวนานกว่าการปิดวงจรในครั้งแรกโดยจะมีระยะเวลา B วินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ทั้งนี้ในกรณีที่หากระบบป้องกันมีการจัดลำดับการทำงานให้รีโคลสเซอร์ทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ เช่น ทำงานร่วมกันกับฟิวส์ การปิดวงจรโดยหน่วงเวลาเป็นระยะเวลานานก็เพื่อจะให้ฟิวส์หลอมละลายเพื่อกำจัดปัญหาการลัดวงจร หากการลัดวงจรแบบถาวรเกิดขึ้นที่สายส่งย่อยตรงตำแหน่งทางด้านหลังฟิวส์ แต่ถ้าหากพบว่ายังมีกระแสลัดวงจรอยู่ ซึ่งแสดงว่าฟิวส์ไม่ได้หลอมละลาย เนื่องจากอาจเป็นการเกิดลัดวงจรที่บริเวณสายส่งหลัก ในกรณีนี้ รีโคลสเซอร์จะปลดวงจรออกที่เวลา T6 และรอให้รีโคลสเซอร์คืนตัวอย่างสมบูรณ์

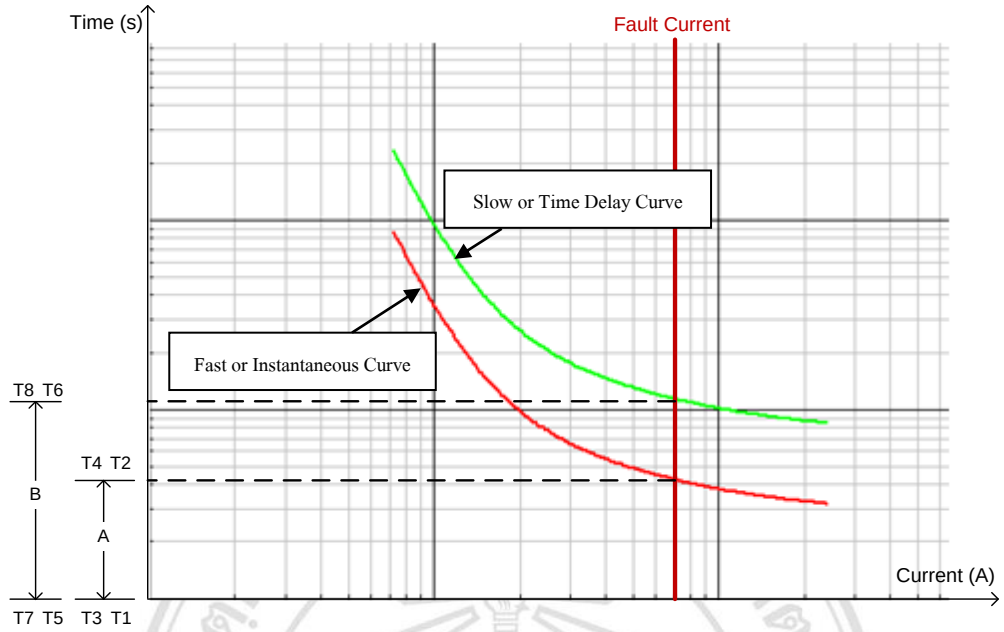
5) จากนั้นรีโคลสเซอร์จะทำการปิดวงจรเป็นครั้งที่สี่ ที่เวลา T7 โดยครั้งนี้จะใช้โหมดการทำงานแบบช้า หรือเส้นโค้งการทำงานแบบช้าเช่นเดิม เพื่อรอให้ฟิวส์หลอมละลายอีกครั้ง ซึ่งหากพบว่าฟิวส์ยังไม่หลอมละลายอีก แสดงว่าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นเป็นการลัดวงจรแบบถาวร อาจจะเกิดบนสายส่งหลัก จากนั้นรีโคลสเซอร์ก็จะปลดวงจรออกที่เวลา T8 ซึ่งเป็นการปลดวงจรออกจากระบบอย่างถาวร (Lock out)

รีโคลสเซอร์มีคุณลักษณะการทำงานที่เหมือนกับรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบผกผัน ซึ่งมีคุณลักษณะการทำงานตามสมการที่ 2.31 สามารถแสดงกราฟตัวอย่างคุณลักษณะของรีโคลสเซอร์ได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ลำดับการทำงานของรีโคลสเซอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.17 กราฟคุณลักษณะการทำงานของรีโคลสเซอร์

2.6 การเลือกใช้งานอุปกรณ์ป้องกัน

2.6.1 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน [23, 24]

สำหรับการเลือกใช้งานรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะมีวิธีการตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกชนิดของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินตามลักษณะการใช้งานตามหัวข้อที่ 2.5.1 และหากใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบเวลาผกผันให้เลือกใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินตามตารางที่ 2.3

ขั้นตอนที่ 2 ทำการกำหนดขนาดของหม้อแปลงกระแส

ขั้นตอนที่ 3 ทำการปรับตั้งค่ารีเลย์ป้องกันกระแสเกินโดยเริ่มจากการตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์กระแสเกิน [24] โดยทำการหาขนาดกระแสโหลดสูงสุดที่ตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน จากนั้นตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานให้สูงกว่าค่ากระแสโหลดสูงสุด จากนั้นทำการหาขนาดกระแสลัดวงจรต่ำสุดที่ตำแหน่งปลายสายของระบบ จากนั้นตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานให้ต่ำกว่าค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุด และตรวจสอบดูว่ารีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำงานที่กระแสลัดวงจรสูงสุดหรือไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 4 ปรับตั้งค่าตัวคูณค่าปรับตั้งเวลาให้ทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นได้

2.6.2 ฟิวส์

สำหรับการเลือกใช้งานฟิวส์จะมีวิธีการตามขั้นตอนดังนี้ [22]

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกประเภทของฟิวส์โดยกำหนดจากข้อมูลของระบบและจุดที่จะทำการติดตั้งฟิวส์ หากจะทำการติดตั้งฟิวส์บนระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ เช่น สถานีไฟฟ้า ให้ทำการเลือกฟิวส์ประเภทเพาเวอร์ฟิวส์ และหากทำการติดตั้งลงบนระบบจำหน่ายทั่วไปที่มีขนาดเล็กลงมาให้เลือกใช้ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกชนิดของฟิวส์ตามลักษณะการใช้งาน เช่น หากต้องการใช้สำหรับป้องกันปัญหาการลัดวงจรให้เลือกใช้ฟิวส์จำกัดกระแส และหากต้องการใช้ป้องกันปัญหาการจ่ายโหลดเกินให้เลือกใช้ฟิวส์ไม่จำกัดกระแส เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกพิกัดของฟิวส์โดยพิกัดแรงดันของฟิวส์ให้เลือกตามพิกัดแรงดันสายของระบบ สำหรับพิกัดกระแสของฟิวส์ หากเป็นฟิวส์จำกัดกระแสโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์เป็น 1.5 เท่าของพิกัดกระแสโหลด หากเป็นฟิวส์ไม่จำกัดกระแสจะกำหนดให้มีขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์เป็น 1.4 เท่าของพิกัดกระแสโหลด

2.6.3 รีโคลสเซอร์

สำหรับการเลือกใช้งานรีโคลสเซอร์จะมีวิธีการตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกพิกัดของรีโคลสเซอร์โดยทำการเลือก Recloser Line Number จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน ANSI/IEEE C37.60-1981 [25] โดยที่การเลือก Recloser Line Number จะกำหนดตามพิกัดแรงดันของระบบ ดังนี้

1) Line 1 ใช้สำหรับระบบที่มีระดับแรงดัน 2.4 – 15 kV
2) Line 2 – 8 ใช้สำหรับระบบที่มีระดับแรงดัน 2.4 – 15.5 kV
3) Line 9 – 12 ใช้สำหรับระบบที่มีระดับแรงดัน 15.5 – 27 kV

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) Line 13 ใช้สำหรับระบบที่มีระดับแรงดัน 27 – 38 kV

5) Line 14 ใช้สำหรับระบบที่มีระดับแรงดัน 38 – 48.3 kV

5) Line 15 ใช้สำหรับระบบที่มีระดับแรงดัน 48.3 – 72.5 kV

ขั้นตอนที่ 2 ทำการหาขนาดกระแสโหลดสูงสุดที่ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ จากนั้นเลือก Recloser Line Number ที่มีพิกัดกระแสต่อเนื่องสูงกว่ากระแสโหลดสูงสุดจากตารางที่ 3 ของมาตรฐาน ANSI/IEEE C37.60-1981

ขั้นตอนที่ 3 ทำการหาขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ จากนั้นเลือกเลือก Recloser Line Number ที่มีพิกัดกระแสขณะตัด (Interrupting Current) สูงกว่ากระแสลัดวงจรสูงสุดจากตารางที่ 3 ของมาตรฐาน ANSI/IEEE C37.60-1981

ขั้นตอนที่ 4 ทำการหาขนาดกระแสลัดวงจรต่ำสุดที่ตำแหน่งบริเวณปลายสาย จากนั้นเลือก Recloser Line Number ที่มีขนาดกระแสตัดวงจรต่ำสุด (Minimum Tripping Currents) น้อยกว่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดจากตารางที่ 3 ของมาตรฐาน ANSI/IEEE C37.60-1981

ขั้นตอนที่ 5 ปรับตั้งค่าตัวคูณค่าปรับตั้งเวลาเพื่อทำการจัดลำดับการทำงานของรีโคลสเซอร์กับอุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นในระบบ

2.7 การจัดลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย

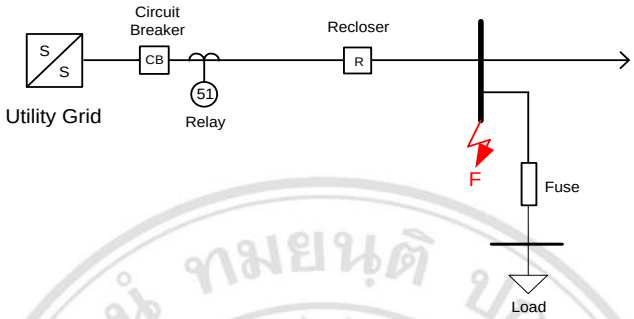
เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายมีหลายชนิด เพื่อที่จะให้อุปกรณ์ป้องกันสามารถตรวจจับและกำจัดกระแสลัดวงจรอย่างรวดเร็วเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในระบบ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน สำหรับการจัดลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการจัดลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายที่เป็นแบบรัศมี เท่านั้น ซึ่งจะประกอบไปด้วย รีเลย์รีโคลสเซอร์ และฟิวส์

2.7.1 การจัดลำดับการทำงานร่วมกันของรีเลย์กับรีโคลสเซอร์ [21]

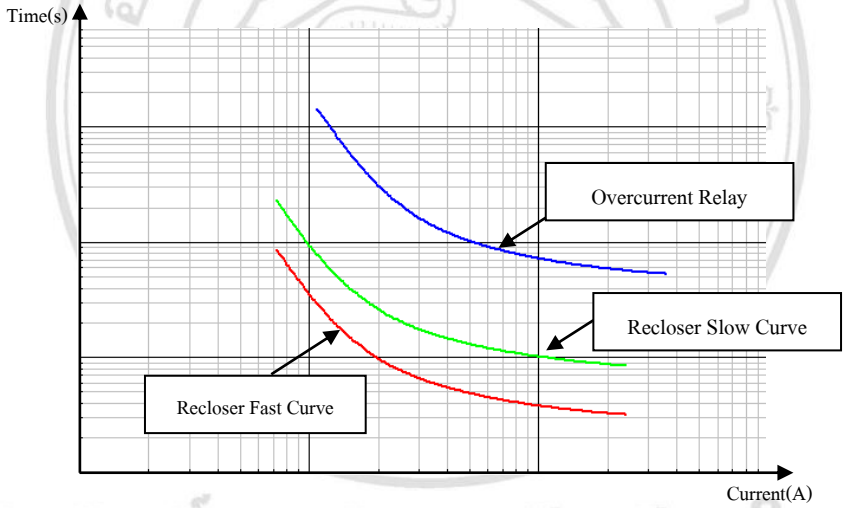
การจัดลำดับการทำงานร่วมกันของรีเลย์กระแสเกินกับรีโคลสเซอร์ สามารถแสดงตัวอย่างได้จากวงจรในรูปที่ 2.18 เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด F รีโคลสเซอร์จะเปิดวงจรด้วยการทำงานแบบเร็วก่อน และหากเป็นการลัดวงจรแบบถาวรรีโคลสเซอรโหมดช้าจะทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปลดวงจรออกจากระบบทันที โดยที่รีเลย์จะเป็นเพียงแค่อุปกรณ์ป้องกันสำรอง (Backup Protection) เท่านั้น โดยรูปที่ 2.19 จะแสดงกราฟการจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินกับรีโคลสเซอร์ที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.18 แผนภาพเส้นเดียวแสดงการทำงานร่วมกันของรีเลย์กับรีโคลสเซอร์



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงการจัดลำดับการทำงานร่วมกันของรีเลย์กับรีโคลสเซอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2 การจัดลำดับการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ [18, 21]

การจัดลำดับการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์แบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

1) กรณี Fuse blowing scheme

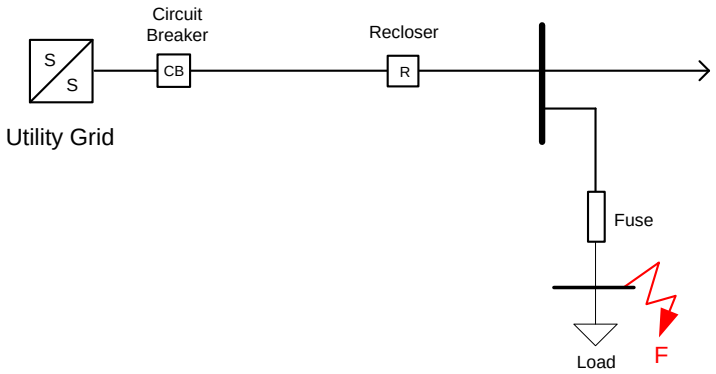
กรณีมักใช้กับระบบจำหน่ายที่ใช้สายหุ้มฉนวน ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายที่มีโอกาสเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวน้อย ดังนั้นเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นในระบบจำหน่ายดังกล่าวนี้ จึงมักเป็นการลัดวงจรแบบถาวร ซึ่งทำให้การทำงานแบบเร็วของ

รีโคลสเซอร์นั้นไม่มีประโยชน์ ในกรณีนี้รีโคลสเซอร์จะทำการ Off-fast operation และให้ฟิวส์ขาดก่อนที่รีโคลสเซอร์จะทำงานแบบช้า ดังนั้นการจัดลำดับการทำงานร่วมกันในกรณีนี้จะพิจารณาเฉพาะเส้นโค้งเวลาที่ใช้ในการหลอมละลายทั้งหมดของฟิวส์ กับ กราฟการทำงานแบบช้าของรีโคลสเซอร์เท่านั้น

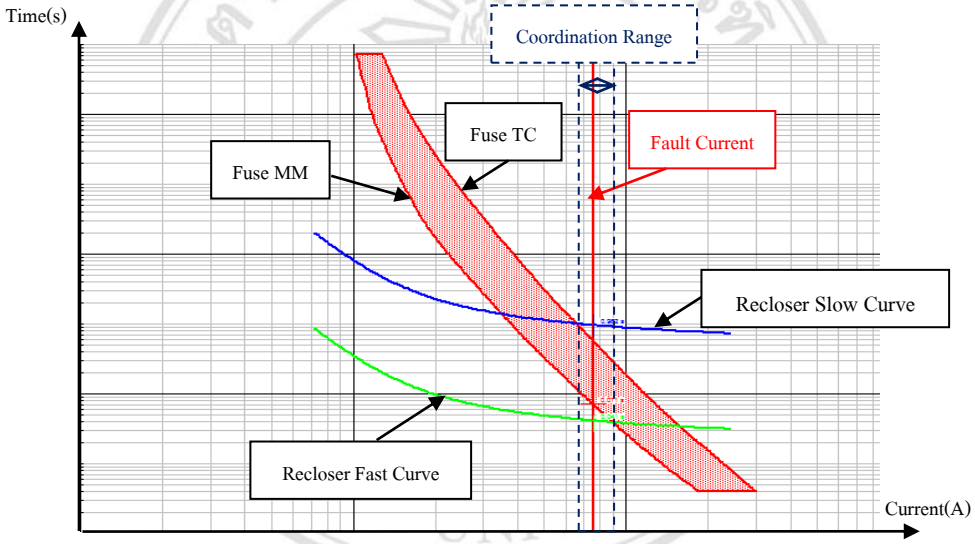
2) กรณี Fuse saving scheme

กรณีมักใช้กับระบบจำหน่ายที่ใช้สายเปลือย ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาไฟฟ้าดับในกรณีที่เกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราว ตัวอย่างการจัดลำดับการทำงานร่วมกันในกรณีนี้จากรูปที่ 2.20 เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด F รีโคลสเซอร์เปิดวงจรด้วยกราฟการทำงานแบบเร็ว ก่อนที่ฟิวส์จะเริ่มหลอมละลาย โดยเวลาในการทำงานแบบเร็วของรีโคลสเซอร์คูณด้วย 1.25 ต้องไม่เกินเวลาเริ่มหลอมละลายของฟิวส์ [21] เพื่อให้ระบบนั้นกลับมาใช้งานได้ปกติอย่างรวดเร็วในกรณีลัดวงจรแบบชั่วคราว แต่ถ้าเกิดลัดวงจรแบบถาวรรีโคลสเซอร์จะทำงานแบบช้าเพื่อหน่วงเวลาให้ฟิวส์หลอมละลายเพื่อตัดวงจรออกจากระบบ ลักษณะการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์แสดงดังรูปที่ 2.21 จากรูปจะเห็นว่าได้มีการจัดลำดับการทำงานโดยให้ขนาดของกระแสลัดวงจรอยู่ในช่วงการทำงานร่วมกัน (Coordination Range) ซึ่งหากกระแสลัดวงจรไม่อยู่ในช่วงนี้จะถือว่าการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ผิดพลาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.20 แผนภาพเส้นเดียวแสดงการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์

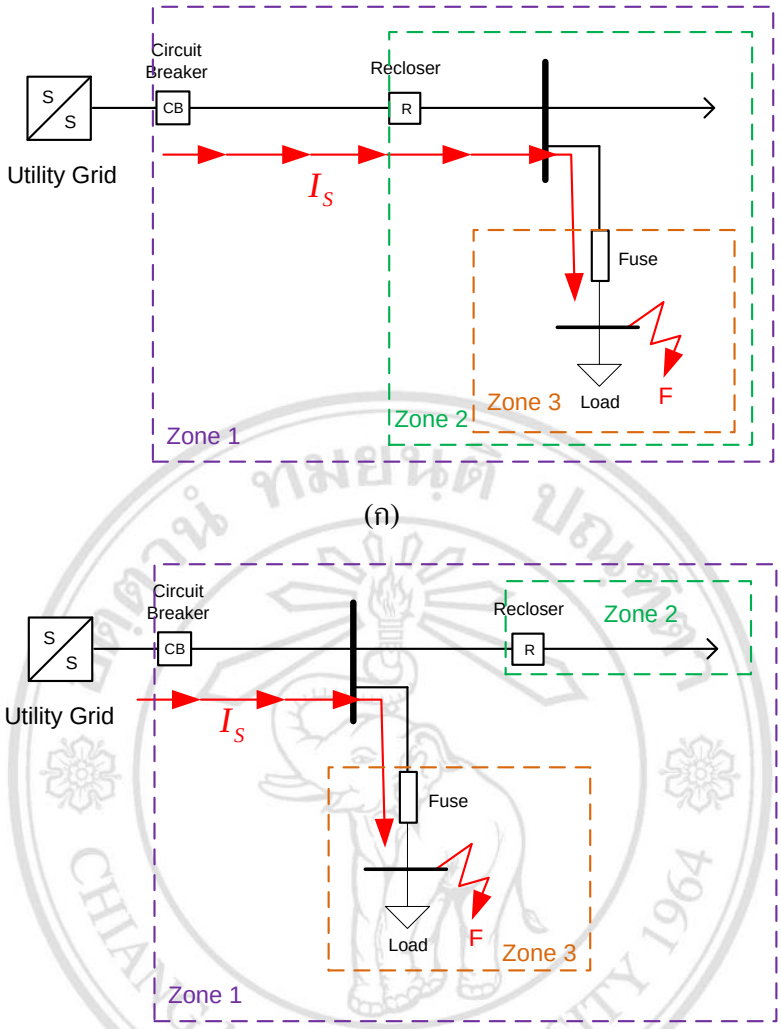


รูปที่ 2.21 กราฟแสดงการจัดลำดับการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์

2.8 การทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ที่ผิดพลาดเมื่อติดตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยทั่วไปได้มีการกำหนดโครงสร้างของการป้องกันเมื่อเกิดปัญหาการลัดวงจรขึ้น สำหรับโครงสร้างของการป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบรัศมีจะมีรูปแบบและมีทิศทางการไหลของกระแสลัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.22 และมีอุปกรณ์ป้องกันหลักและสำรองในแต่ละรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.22 แผนภาพเส้นเดียวแสดงโครงสร้างการป้องกันของระบบจำหน่ายแบบรัศมี (ก) รูปแบบที่ 1 (ข) รูปแบบที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 อุปกรณ์ป้องกันหลักและสำรองในโครงสร้างการป้องกันระบบจำหน่ายแบบรัศมี

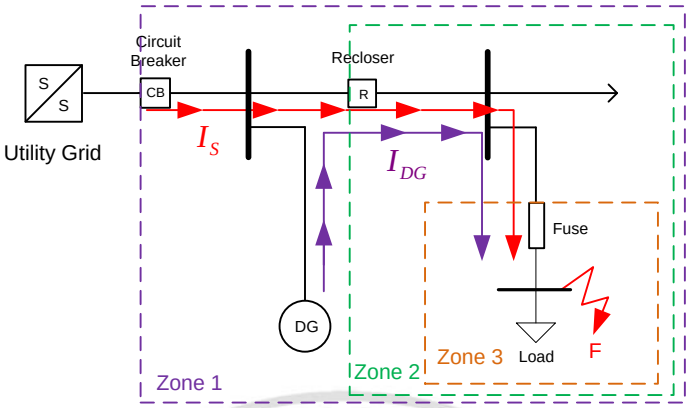
รูปแบบที่	ขอบเขตการป้องกัน	อุปกรณ์ป้องกันหลัก	อุปกรณ์ป้องกันสำรอง
1	Zone 1	เซอร์กิตเบรกเกอร์	-
	Zone 2	รีโคลสเซอร์	เซอร์กิตเบรกเกอร์
	Zone 3	ฟิวส์ (สำหรับป้องกันการลัดวงจรแบบถาวร) และรีโคลสเซอร์ (สำหรับป้องกันการลัดวงจรแบบชั่วคราว)	รีโคลสเซอร์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์
2	Zone 1	เซอร์กิตเบรกเกอร์	-
	Zone 2	รีโคลสเซอร์	เซอร์กิตเบรกเกอร์
	Zone 3	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์

จากโครงสร้างการป้องกันของระบบจำหน่ายแบบรัศมีในรูปที่ 2.22 จะพบว่ามีการกำหนดโครงสร้างการป้องกัน 2 รูปแบบ โดยจะกำหนดขอบเขตการป้องกันให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักของขอบเขตการป้องกัน Zone 1 รีโคลสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักของขอบเขตการป้องกัน Zone 2 และฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักของขอบเขตการป้องกัน Zone 3 ซึ่งจากโครงสร้างการป้องกันระบบจำหน่ายแบบรัศมี รูปแบบที่ 1 ดังรูปที่ 2.22 (ก) จะพบว่า มีการกำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันในขอบเขต Zone 3 คือ ฟิวส์ และ Zone 2 คือ รีโคลสเซอร์ ทำงานร่วมกัน ดังนั้นเมื่อเกิดลัดวงจรแบบชั่วคราวที่จุด F รีโคลสเซอร์จะทำการปลดวงจรออกชั่วคราว แต่ถ้าเกิดลัดวงจรแบบถาวร ฟิวส์จะทำการปลดวงจรออกอย่างถาวร แต่สำหรับโครงสร้างการป้องกันระบบจำหน่ายแบบรัศมี รูปแบบที่ 2 ดังรูปที่ 2.22 (ข) จะพบว่า ไม่ได้กำหนดให้มีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในขอบเขต Zone 3 และ Zone 2 ดังนั้นเมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด F ฟิวส์จะทำการปลดวงจรออกทันที

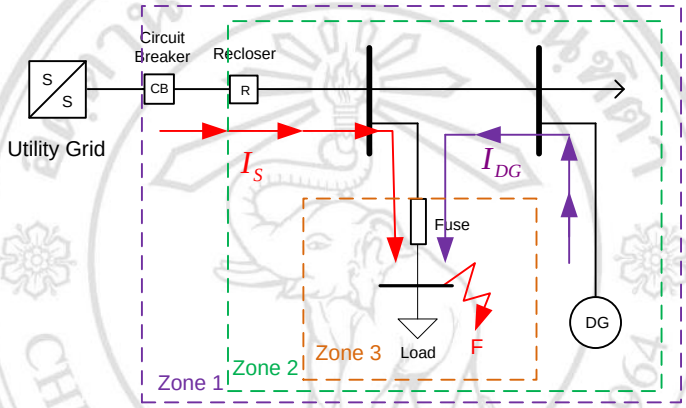
ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเฉพาะโครงสร้างการป้องกันระบบจำหน่ายแบบรัศมี รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.22 (ก) ซึ่งเป็นการพิจารณาโครงสร้างการป้องกันระบบจำหน่ายที่ได้กำหนดให้มีการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ โดยที่การทำงานร่วมกันรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ที่ถูกต้องสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.21

เมื่อมีการเชื่อมต่อ DG เข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อเกิดปัญหาการลัดวงจรขึ้น อาจทำให้ทิศทางการไหลของกระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงไป และขนาดของกระแสลัดวงจรอาจเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้การทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ผิดพลาดได้ ผลกระทบจากการเชื่อมต่อ DG เข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำให้การทำงานร่วมกันของ รีโคลสเซอร์กับฟิวส์ผิดพลาดสามารแบ่งได้เป็น 3 กรณีตามตำแหน่งที่ติดตั้ง DG และมีขนาดของกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ในแต่ละกรณีดังแสดงในตารางที่ 2.6 โดยที่ I_S คือ กระแสลัดวงจรที่จ่ายมาจากสถานีไฟฟ้า และ I_{DG} คือ กระแสลัดวงจรที่จ่ายมาจาก DG และมีรูปแบบการเชื่อมต่อ DG ดังแสดงในรูปที่ 2.23

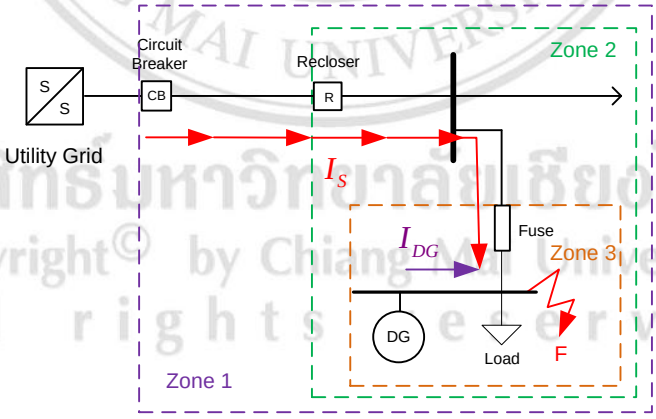
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก)



(ข)



(ค)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

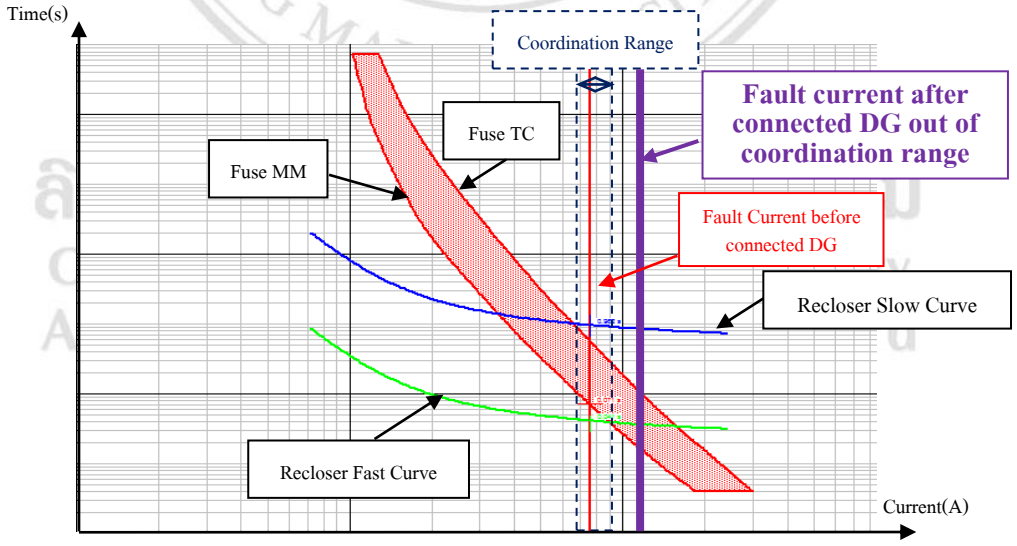
รูปที่ 2.23 แผนภาพเส้นเดียวแสดงการติดตั้ง DG (ก) ที่ Zone 1(ข) ที่ Zone 2 (ค) ที่ Zone 3

ตารางที่ 2.6 รูปแบบการเชื่อมต่อ DG และขนาดกระแสลัดวงจร
ที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์และฟิวส์ในแต่ละกรณี

กรณีที่	ตำแหน่งติดตั้ง DG	กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์	กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์
1	Zone 1	$I_S + I_{DG}$	$I_S + I_{DG}$
2	Zone 2	I_S	$I_S + I_{DG}$
3	Zone 3	I_S	I_S

2.8.1 กรณีที่ 1 ติดตั้ง DG ที่ขอบเขตการป้องกัน Zone 1

เมื่อทำการติดตั้ง DG ที่ขอบเขตการป้องกัน Zone 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ก) จะพบว่าตำแหน่งที่ติดตั้ง DG นั้นอยู่บนสายป้อนทางด้านหน้ารีโคลสเซอร์ และเมื่อเกิดการลัดวงจรที่จุด F ในกรณีนี้กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านทั้งรีโคลสเซอร์ฟิวส์จะเป็นกระแสลัดวงจรที่จ่ายมาจากทั้งสถานีไฟฟ้า และจาก DG ซึ่งจะมีปริมาณกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านเท่ากัน ทำให้การทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ถูกต้อง แต่ถ้าหากขนาดของ DG มีขนาดใหญ่ ทำให้กระแสลัดวงจรมีขนาดเพิ่มสูงขึ้นจนสูงเกินช่วงการทำงานร่วมกัน (Coordination Range) จะทำให้เกิดการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 กราฟแสดงการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ที่ผิดพลาดเมื่อติดตั้ง DG

2.8.2 กรณีที่ 2 ติดตั้ง DG ที่ขอบเขตการป้องกัน Zone 2

เมื่อทำการติดตั้ง DG ที่ขอบเขตการป้องกัน Zone 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ข) จะพบว่าตำแหน่งที่ติดตั้ง DG นั้นอยู่บนสายป้อนทางด้านหลังรีโคลสเซอร์ และเมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง F ในกรณีนี้กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์จะเป็นกระแสลัดวงจรที่จ่ายมาจากทั้งสถานีไฟฟ้า และจาก DG ซึ่งจะมีค่ามากกว่ากระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์ ซึ่งมีกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านมาจากสถานีไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว ดังนั้นจึงทำให้มีโอกาสที่ฟิวส์จะทำงานก่อนที่รีโคลสเซอร์โหมดเร็วจะทำงาน ส่งผลให้เกิดการทำงานร่วมกันของรีโลสเซอร์กับฟิวส์ที่ผิดพลาดได้ นอกจากนี้เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวรีโคลสเซอร์จะสามารถป้องกันกระแสลัดวงจรที่มาจากสถานีไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่สามารถป้องกันกระแสลัดวงจรจาก DG ได้ ทำให้มีโอกาสที่ฟิวส์จะหลอมละลาย ซึ่งอาจจะมีผลกระทบทำให้โหลดบริเวณนั้นพบกับระยะเวลาไฟดับที่ยาวนานขึ้น

2.8.3 กรณีที่ 3 ติดตั้ง DG ที่ขอบเขตการป้องกัน Zone 3

เมื่อทำการติดตั้ง DG ที่ขอบเขตการป้องกัน Zone 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ค) จะพบว่าตำแหน่งที่ติดตั้ง DG นั้นอยู่บนสายป้อนทางด้านหลังฟิวส์ ในกรณีนี้กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคลสเซอร์และฟิวส์จะมีเพียงแค่กระแสลัดวงจรที่มาจากสถานีไฟฟ้าเท่านั้น ดังนั้นรีโคลสเซอร์และฟิวส์ไม่สามรถป้องกันกระแสลัดวงจรที่มาจาก DG ได้ ดังนั้นในกรณีนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อทำการป้องกันกระแสลัดวงจรจาก DG ติดตั้งที่ DG

จากผลกระทบจากการเชื่อมต่อ DG เข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำให้การทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์ผิดพลาดทั้ง 3 กรณี จะพบว่ากรณีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันของรีโคลสเซอร์กับฟิวส์นั้นจะมีเพียงแค่ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เท่านั้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงพิจารณาเฉพาะผลกระทบในกรณีที่ 1 และ 2 เท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า [2]

ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำด้านเทคนิคการออกแบบ รายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ไฟฟ้า และมาตรฐานการติดตั้ง สำหรับผู้ขอใช้บริการที่ต้องการจะเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่จะต้องปฏิบัติตาม โดยมีขอบเขตสำหรับใช้กับผู้ขอใช้บริการ ได้แก่ ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก

(Small Power Producer, SPP) ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer, VSPP) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และผู้ประกอบกิจการไฟฟ้ารายอื่น

2.9.1 ปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการที่จ่ายหรือรับจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า

หลักเกณฑ์ปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการที่จะจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในแต่ละระบบ ดังนี้

1) ระบบจำหน่าย 22 kV ไม่เกิน 8.0 MW / วงจร
2) ระบบจำหน่าย 33 kV ไม่เกิน 10.0 MW / วงจร
3) ระบบจำหน่าย 380/220 V
   - ผู้ขอใช้บริการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงต่ำ 1 เฟส สามารถจ่ายไฟหรือรับไฟจากระบบได้ไม่เกิน 10 kW
   - ผู้ขอใช้บริการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงต่ำ 3 เฟส สามารถจ่ายไฟหรือรับไฟจากระบบได้ไม่เกิน 56 kW
   - ผู้ขอใช้บริการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า มากกว่า 56 kW ให้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 หรือ 33 kV ตามความเหมาะสม
4) หากปริมาณกำลังไฟฟ้าเกินกว่าที่กำหนดในข้อ 1 หรือ 2 ให้เชื่อมต่อกับระบบส่งจ่าย 69 หรือ 115 kV ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ไม่เกิน 180 MW / วงจร

ทั้งนี้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่อนุญาตให้จ่ายไฟหรือรับไฟจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะได้พิจารณาตามความเหมาะสม โดยคำนึงถึงความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า และผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก และเพื่อป้องกันความซับซ้อนในการควบคุมและการปฏิบัติการ จำนวนของผู้ขอใช้บริการรวมทั้งผู้เชื่อมต่อรายอื่นจะต้องไม่เกินจำนวน 4 ราย/วงจร ยกเว้นที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 380/220 V

2.9.2 หลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค

เพื่อให้คุณภาพไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไปอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคภายหลังจากมีผู้เชื่อมต่อแล้ว อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบทางด้านความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค ซึ่งมีหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิคที่สำคัญดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) การจ่ายกระแสไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายจำหน่ายหรือสายส่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินพิกัดกระแสต่อเนื่อง และไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนไปด้านแรงสูงของหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้า หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนไปด้านแรงสูงของหม้อแปลงในระบบจำหน่าย

2) การคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulation) ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้แรงดันในระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3) กระแสลัดวงจร ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรรวมในระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินร้อยละ 85 ของค่าวิสัยสามารถตัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Interrupting Capacity) ของอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อ และต้องไม่จ่ายกระแสลัดวงจรเกินร้อยละ 25 ของกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดเชื่อมต่อที่มาจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาด (Protection Coordination) ของอุปกรณ์ป้องกัน

สำหรับหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิคที่สำคัญอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 หลักเกณฑ์การพิจารณาข้อกำหนดทางเทคนิค

ข้อกำหนดทางเทคนิค	หลักเกณฑ์การพิจารณา
ค่าพิกัดของแรงดันไฟฟ้า	0.95 – 1.05 p.u.
พิกัดภาระโหลดของสายจำหน่ายและหม้อแปลงไฟฟ้า	ไม่เกิน 85%
ร้อยละของขนาดกระแสลัดวงจรเมื่อติดตั้ง DG เปรียบเทียบกับค่าวิสัยตัดกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อ	ไม่เกิน 85%
ร้อยละของขนาดกระแสลัดวงจรเมื่อติดตั้ง DG เปรียบเทียบกับขนาดกระแสลัดวงจรเมื่อไม่ติดตั้ง DG	ไม่เกิน 25%
กำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับเมื่อวัดที่สถานีไฟฟ้าย่อย	ไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลย้อน
แรงดันเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม	±4%
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้น	ไม่เกิน 2%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.3 รูปแบบการเชื่อมต่อและระบบป้องกัน

สำหรับรูปแบบการเชื่อมต่อและระบบป้องกันสำหรับผู้เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีรูปแบบการปิดซ้ำอัตโนมัติ (Automatic Reclosing Scheme) กล่าวคือระบบจำหน่ายที่มีการติดตั้งรีโคลสเซอร์ไว้เป็นอุปกรณ์ป้องกัน จะต้องกำหนดให้อุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อของผู้ขอใช้บริการปลดการจ่ายไฟออกก่อนที่การปิดซ้ำอัตโนมัติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำงาน ตัวอย่างเช่น เมื่อเกิดปัญหาลัดวงจรแบบชั่วคราว ทำให้รีโคลสเซอร์ในโหมดเร็วทำงาน DG ต้องปลดออกจากระบบก่อนที่รีโคลสเซอร์ในโหมดช้าจะทำการเชื่อมต่อระบบเพื่อจ่ายไฟตามปกตินั่นเอง

นอกจากนี้ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้กำหนดให้ DG ไม่สามารถเกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Anti-Islanding) คือไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อไม่มีไฟฟ้า โดยหากไม่มีไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้ปลดการเชื่อมต่อโดยทันที

สำหรับรายละเอียดรูปแบบการเชื่อมต่อและระบบป้องกันของ DG แต่ละชนิดนั้น มีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved