**บทเรียน เรื่อง การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน**

**จุดประสงค์การสอน**

5.2 วานแผนการประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน

5.2.1 บอกการแบ่งระบบการป้องกับไฟฟ้าแรงต่ำ

5.2.2 อธิบายการประสานสัมพันธ์

5.2.3 วางหลักการป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน

**5.2 การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน**

ระบบป้องกันไฟฟ้า ทำหน้าที่ตัดส่วนของวงจรไฟฟ้าที่เกิดจากความผิดพร่องออกจากระบบ เพื่อให้ระบบไฟฟ้าที่เหลือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อไปได้ ระบบป้องกันจะมีบริภัณฑ์ป้องกัน (Protection System) ต่ออนุกรมกันอยู่หลายชุด การทำงานของระบบป้องกันนี้จะต้องมีการประสานสัมพันธ์ (Coordinate) อย่างดีเพื่อให้ระบบป้องกันสามารถทำงานได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ

การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน จะต้องอาศัยการจัดกราฟสมบัติของเวลากับกระแสของบริภัณฑ์ป้องกันอย่างเหมาะสม

**5.2.1 การแบ่งระบบการป้องกับไฟฟ้าแรงต่ำ**

ระบบป้องกันไฟฟ้าสามารถแบ่งตามลักษณะการตัดวงจรของบริภัณฑ์ป้องกัน ซึ่งจำแนกออกได้ 3 ประเภท คือ

1. Fully Rated Protective System
2. Selective Protective System
3. Cascade Protective System or Back up Protective System

การตัดสินใจที่จะเลือกใช้ระบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเชื่อถือได้ในการตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่อง, ความซับซ้อนของระบบไฟฟ้า และค่าใช้จ่าย เป็นต้น

ระบบไฟฟ้าแต่ละประเภทจะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันออกไปโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**5.2.1.1 Fully Rated Protective System**

ในระบบนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวจะต้องมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจร (Interrupting Capacity) เพียงพอสำหรับกระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้ (Maximum Available Fault Current) ณ จุดติดตั้ง สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 กระแสที่ใช้ Icu (Ultimate Short Circuit Breaking Current) โดยพิจารณาตัวอย่างระบบป้องกันอย่างง่าย แสดงดังภาพที่ 5.8



**ภาพที่ 5.8** ตัวอย่าง Single-Line Diagram ของระบบไฟฟ้าอย่างง่าย

จากภาพที่ 5.8 สมมุติว่า กระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง F1 ใน DB1 = 10 kA และกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง F2 ใน DB2 = 30 kA เมื่อพิจารณาค่ากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง F1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ D, E, F ต้องมีกระแส Icu ไม่ต่ำกว่า 10 kA และค่ากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง F2 เซอร์กิตเบรกเกอร์ A, B, C ต้องมีกระแส Icu ไม่ต่ำกว่า 30 kA

โดยที่ไม่ว่าจะเกิดความผิดพร่องที่ตำแหน่งใดก็ตาม เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งอาจทำการตัดวงจรก่อนก็ได้

**5.2.1.2 Selective Protective System**

ในระบบนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวจะต้องมี Icu เพียงพอสำหรับกระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้ (Maximum Available Fault Current) ณ จุดติดตั้ง เช่นเดียวกับแบบแรก แต่สำหรับระบบนี้เส้นโค้งลักษณะการตัดวงจร (Tripping Characteristic Curve) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวจะต้องเลือกโดยไม่ให้มีการวางซ้อนทับกัน (Overlap) ในการออกแบบและมีการตั้งค่าให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ใกล้จุดผิดพร่องที่สุดตัดวงจรออกเป็นตัวแรก นั้นคือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ตรงสายล่างของวงจร (Downstream Circuit Breaker) จะต้องตัดวงจรก่อน เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู๋ตรงสายบนของวงจร (Upstream Circuit Breaker)

นอกจากนั้นระบบป้องกันที่มีการจัดลำดับการตัดวงจรแบบนี้ ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Fully Rated Protective System

ระบบนี้จะมีการจัดลำดับ (Selectivity) ในการตัดวงจรของบริภัณฑ์ป้องกัน ถึงค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้ (Maximum Available Fault Current) ณ จุดติดตั้ง โดยพิจารณาจาก ภาพที่ 5.9



**ภาพที่ 5.9** ลักษณะของ Fully Selective Protective System

จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะเกิดการลัดวงจรที่จุดใด ๆ เซอร์กิตเบรกเกอร์ B จะต้องตัดวงจรก่อน เซอร์กิตเบรกเกอร์ A เสมอ

2. Partially Selective Protective System

ระบบนี้จะมีการจัดลำดับ (Selectivity) ในการตัดวงจรของบริภัณฑ์ป้องกันไม่ตลอดทุกค่า กระแสลัดวงจรที่มีได้ ณ จุดติดตั้ง โดยพิจารณาจากภาพที่ 5.10



**ภาพที่ 5.10** ลักษณะของ Partially Selective Protective System

จากกราฟลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลาในรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าระบบนี้จะมีการจัดลำดับ (Selectivity) ถึงแค่ 5 kA เท่านั้น ซึ่งถ้ามีกระแสลัดวงจรที่สูงกว่านี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ A อาจตัดวงจรก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ B ก็ได้

**5.2.1.3 Cascade Protective System or Back up Protective System**

ระบบนี้มีลักษณะพิเศษคือ เฉพาะเซอร์กิตเบรกเกอร์ประธาน (Main Circuit Breaker) เท่านั้นที่มีพิกัดการตัดการแสลัดวงจรเพียงพอสำหรับค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้ ณ จุดติดตั้ง ดังนั้นระบบนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใกล้จุดผิดพร่องอาจไม่จำเป็นที่จะต้องมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรเพียงพอ แต่ต้องอาศัยเซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานช่วยในกรณีที่เกิดกระแสลัดวงจร ที่มีค่าสูง ๆ นั้นคือ ถ้ามีเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่อเรียงกันมากกว่า 2 ตัว เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ตรงตำแหน่ง Upstream จะต้องมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรไม่ต่ำกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้ ส่วนเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ตรงตำแหน่ง Downstream นั้น ไม่จำเป็นที่จะต้องมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรมากกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้ ณ จุดติดตั้งเหมือกับสอบกรณีแรก เพราะการป้องกันประเภทนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในตำแหน่ง Upstream จะช่วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ตรงตำแหน่ง Downstream ในการตัดวงจร ซึ่งโดยทั่งไประบบนี้จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลดลงจากปกติ เนื่องจากขนาดพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรที่เล็กลงของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตรงตำแหน่ง Downstream



**ภาพที่ 5.11** ตัวอย่าง Single-Line Diagram ในกรณีของ Cascade Protective System

จากภาพที่ 5.11 ถ้าคำนวณกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งผิดพร่องได้ 20 kA เราอาจเลือกให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรเป็น 100 kA ส่วนเซอร์กิตเบรกเกอร์ B นั้นสามารถมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรเกียง 10 kA ซึ่งน้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น และเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานจะทำให้การเปิดวงจรก่อนโดยในระบบป้องกันแบบนี้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานจะต้องเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบจำกัดกระแส (Current Limiting Circuit Breaker) ที่มีคุณลักษณะพิเศษในการตัดวงจรได้ในเวลาอันรวดเร็วประมาณ ¼ ของคาบเวลา

(5 ms) ดังนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ตรง Downstream จึงไม่มีโอกาสได้ทำงานถ้าเกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันกระแสลัดวงจรอย่างรุนแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันการลัดวงจรที่เกิดขึ้นได้เช่นกัน

ในการเลือกใช้บริภัณฑ์ป้องกันในระบบแบบนี้ ทางบริษัทผู้ผลิตจะให้ตารางการทำงานร่วมกันของเซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เหลือไว้ให้เรียบร้อยแล้ว

**5.2.3 การประสานสัมพันธ์**

การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน เป็นกระบวนการกำหนดบริภัณฑ์ป้องกันต่าง ๆ ในระบบ โดยการ Plot กราฟลักษณะสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกันต่าง ๆ เหล่านี้ลงบนกราฟกระแสกับเวลา แล้วทำการจัดกราฟอย่างเหมาะสมโดยอาศัยการลองทาบกราฟ จนกระทั้งได้ลักษณะกราฟของบริภัณฑ์ทุกตัวสอบคล้องกัน นอกจากนี้แล้วค่าที่ใช้ปรับตั้งบริภัณฑ์ป้องกันจะต้องคำนึงถึง กระแสโหลด, การแสลัดวงจร, กระแสตอนสตาร์ทมอเตอร์, อุณหภูมิพิกัดของบริภัณฑ์และต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนี้บริภัณฑ์ป้องกันต้องมีการทำงานตามลำดับก่อนหลัง (Selective Coordination) กับบริภัณฑ์ป้องกันตัวอื่น ๆ ที่ต่ออนุกรมกับมันด้วย

ในการที่จะจัดการประสานสัมพันธ์ (Coordination) ให้เป็นแบบ Selective นั้น จะต้องไม่มีการตัดกันของกราฟกระแส-เวลา ของบริภัณฑ์ป้องกันต่าง ๆ แต่ทั้งนี้จะต้องบรรลุจุดมุ่งหมายที่สำคัญ 2 ประการด้วยกัน ก็คือให้ได้การป้องกันที่ดีที่สุดและเกิดไฟฟ้าดับกินบริเวรน้อยที่สุด

**5.2.3.1 ความรู้เบื้องต้นในการประสานสัมพันธ์**

การศึกษาการประสานสัมพันธ์จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานดังต่อไปนี้

1. ระบบที่จะทำการประสานสัมพันธ์
2. ช่วงเวลาในการประสานสัมพันธ์ (Coordination Time Intervals)
3. ขอบเขตของการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
4. คุณลักษณะของบริภัณฑ์ป้องกัน
5. ระบบที่จะทำการประสานสัมพันธ์

* รู้ Single-Line Diagram ของระบบที่เราจะทำการประสานสัมพันธ์

วิธีที่สะดวกที่สุดที่จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบที่จะทำการประสานสัมพันธ์นั้น จะต้องเขียน Single-Line Diagram ของระบบนั้น ๆ โดยที่ Single-Line Diagram จะแสดงบริภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น บัส เซอร์กิตเบรกเกอร์ รีเลย์ หม้อแปลงเครื่องมือวัด ฟิวส์ หม้อแปลงกำลัง สายไฟฟ้า และโหลด เป็นต้น

* ชนิด และ/หรือ พิกัด รวมทั้งค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดที่เกี่ยวข้อง และบริภัณฑ์จ่ายกำลังลงบน Diagram ทั้งนี้ ต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการหากระแสลัดวงจร และการกำหนดขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วย
* การลัดวงจร ทั้งค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุด ภายใต้สภาวะการทำงาน (Operating Condition) ที่จุดต่าง ๆ ของระบบ ถ้าไม่รู้ต้องสามารถคำนวณได้

1. ช่วงเวลาในการประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน

การทำงานเป็นลำดับเป็นสิ่งสำคัญในการประสานสัมพันธ์ กล่าวคือเมื่อมีกระแสผิดพร่องผ่านบริภัณฑ์ป้องกัน อย่างน้อย 2 ตัวขึ้นไป บริภัณฑ์ป้องกันที่อยู่หลังสุด หรืออยู่ใกล้กับจุดเกิดการผิดพร่องมากที่สุด จะต้องทำงานก่อนที่ตัวที่อยู่ถัดไปจะทำงาน เมื่อตัวแรกไม่ทำงานบริภัณฑ์ที่อยู่ถัดไปจึงค่อยทำงานแทน หากเราเผื่อเวลาไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการตัดวงจรแบบไม่จำเป็น (Nuisance Trip) ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้

ช่วงเวลาในการประสานสัมพันธ์พิจารณาได้จาก

* ขนาดของกระแสผิดพร่อง
* ความไวของบริภัณฑ์ป้องกันต่อกระแสผิดพร่อง
* ช่วงเวลาที่บริภัณฑ์ป้องกันทำงาน
* หน้าที่ของบริภัณฑ์ป้องกัน

1. ขอบเขตการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

สามารถหาได้โดยพิจารณาลักษณะสมบัติของบริภัณฑ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายไฟฟ้า สายบัส เป็นต้น ที่มีอยู่ เช่น IEC, NEC, ANSI เป็นตัวกำหนดพิกัดของบริภัณฑ์ป้องกัน

1. คุณสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกัน

บริภัณฑ์ป้องกันโดยทั่วไปจะมีลักษณะสมบัติคือ ช่วงเวลาที่บริภัณฑ์ป้องกันเริ่มทำงานขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่าน ถ้ากระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อย ช่วงเวลาที่เริ่มทำงานจะนานและจะเร็วขึ้นอย่างมากเมื่อกระแสมีค่ามากขึ้น บริภัณฑ์ป้องกันส่วนใหญ่ที่พบได้แก่ ฟิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ รีเลย์ป้องกัน เป็นต้น

**5.2.3.2 ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประสานสัมพันธ์**

1. ข้อมูลเกี่ยวกับโหลด

กระแสโหลดสูงสุดในแต่ละวงจร

2. หม้อแปลง

พิกัด kVA, แรงดันปฐมภูมิ, แรงดันทุติยภูมิ, ลักษณะการต่อ, เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์, กระแส Inrush ของหม้อแปลง, ชนิดของฉนวน, ความสามารถในการทนภาวะโหลดเกิน

3. มอเตอร์

กำลังขาออก, กระแสพิกัด, กระแส Locked Rotor, ช่วงเวลาที่ใช้ในการสตาร์ท, ลักษณะของการสตาร์ท, อุณหภูมิสูงสุดที่จะทนได้ของมอเตอร์

4. แหล่งจ่ายพลังงาน

พิกัด, ชนิด และ การตั้งค่าของบริภัณฑ์ป้องกันของแหล่งจ่ายพลังงาน

5. กระแสลัดวงจร

กระแสลัดวงจร 3 เฟส แบบสมมาตร (rms) ที่แต่ละจุดที่ติดตั้งบริภัณฑ์ป้องกัน

6. กราฟ เวลากับกระแสของบริภัณฑ์ป้องกันทุกตัวที่จะทำการประสานสัมพันธ์

7. เซอร์กิตเบรกเกอร์

ชนิด ขนาดเฟรม พิกัดกระแส ค่า Long-Time Trip ค่า Short-Time Trip ค่า Instantaneous Trip

8. รีเลย์กระแสเกิน

ชนิด, Ampere Tap Adjustment Range, Time Delay Adjustment Range และ Instantaneous Adjustment Range อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

9. ฟิวส์

ชนิด, พิกัดกระแสต่อเนื่อง

10. สายไฟฟ้า

จำนวนต่อเฟส, ลักษณะการติดตั้ง, ชนิดของตัวนำ, ชนิดของฉนวน, พิกัดกระแส, ความคงทนต่อกระแสลัดวงจร

11. สายบัส (Busways)

พิกัดกระแส

12. แผงย่อย (Panelboards) และ แผงสวิตซ์ (Switchboards)

พิกัดกระแส

**5.2.3.3 ช่วงเวลาในการประสานสัมพันธ์**

ในการประสานสัมพันธ์ เราจะต้องให้บริภัณฑ์ป้องกันที่อยู่ใกล้ความผิดพร่องมากที่สุด ทำงานก่อนตัวที่อยู่ถัดมาเรื่อย ๆ หากตัวที่อยู่ใกล้ไม่ทำงาน บริภัณฑ์ป้องกันที่อยู่ถัดไปจะต้องทำงานแทนในเวลาต่อมา ดังนั้นในการปรับตั้งเรื่องช่วงเวลาในการประสานสัมพันธ์ (Coordination Time) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

ระดับแรงดันปานกลาง บริภัณฑ์ในการจัดลำดับการทำงาน คือ รีเลย์ป้องกันมีหลักในการเผื่อเวลาเพื่อการประสานสัมพันธ์ ดังนี้

* เวลาในทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ = 0.01 s
* เวลาที่ยอมให้เนื่องจากความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแส = 0.10 s
* เวลาเผื่อความปลอดภัย (Safety Margin) = 0.10 s

 เวลารวมทั้งหมดที่ต้องคำนึงถึงอย่างต่ำ = 0.10 + 0.10 + 0.10 = 0.3 s

ในทางปฏิบัติ ในการปรับตั้งรีเลย์เราอาจเผื่อเวลาไว้ประมาณ 0.3 s – 0.5 s

ระดับแรงดันต่ำ บริภัณฑ์ในการจัดลำดับการทำงาน คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยบริภัณฑ์ต้นทางจะต้องเป็นแบบ Class B ซึ่งมี ICW ที่เหมาะสมสำหรับกระแสลัดวงจรที่จุดติดตั้ง ปกติเราจะเผื่อบริภัณฑ์ต้อนทางหน่วงไว้อย่างต่ำประมาณ 5 Cycles หรือประมาณ 100 ms ดังภาพที่ 5.12



**ภาพที่ 5.12** การเผื่อ Coordination Time ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

**5.2.3 การป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน (Ground Fault Protection : GFP)**

โดยทั่วไปในระบบที่มีการต่อลงดิน กระแสผิดพร่องที่เกิดบ่อยที่สุดได้แก่ กระแสลัดวงจรลงดิน (Ground Fault) ซึ่งเกิดบ่อยมากกว่า 80% ของกระแสผิดพร่องที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นการป้องกันการลัดวงจรลงดินจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในระบบไฟฟ้า

การป้องกันการลัดวงจรลงดิน อาจทำได้ 3 ระดับตามความสำคัญของสถานประกอบการ คือ

1. มี Ground Fault Protection ที่ วงจรประธาน (Main Circuit)

2. มี Ground Fault Protection ที่ วงจรประธาน และวงจรสายป้อน

3. มี Ground Fault Protection ที่ วงจรประธาน วงจรสายป้อน และวงจรย่อย (Branch Circuit) การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่ดีควรมี Ground Fault Protection อย่างน้อยที่วงจรประธาน และสายป้อนโดยปกติอาจจะปรับตั้งการป้องกันการลัดวงจรลงดินได้ดังนี้

- วงจรย่อย จะปรับตั้งกระแสได้ที่ขนาด 5-15 A

เวลา (Instantaneous) ทำงานทันที

- วงจรสายป้อน จะปรับตั้งกระแสได้ที่ขนาด 200-800 A

เวลา จะต้องปรับตั้งให้ Coordination กับ Ground Fault Protection

ของวงจรย่อย หรือ 0.1-0.2 s

- วงจรประธาน จะปรับตั้งกระแสได้ที่ขนาด 400-1,200 A

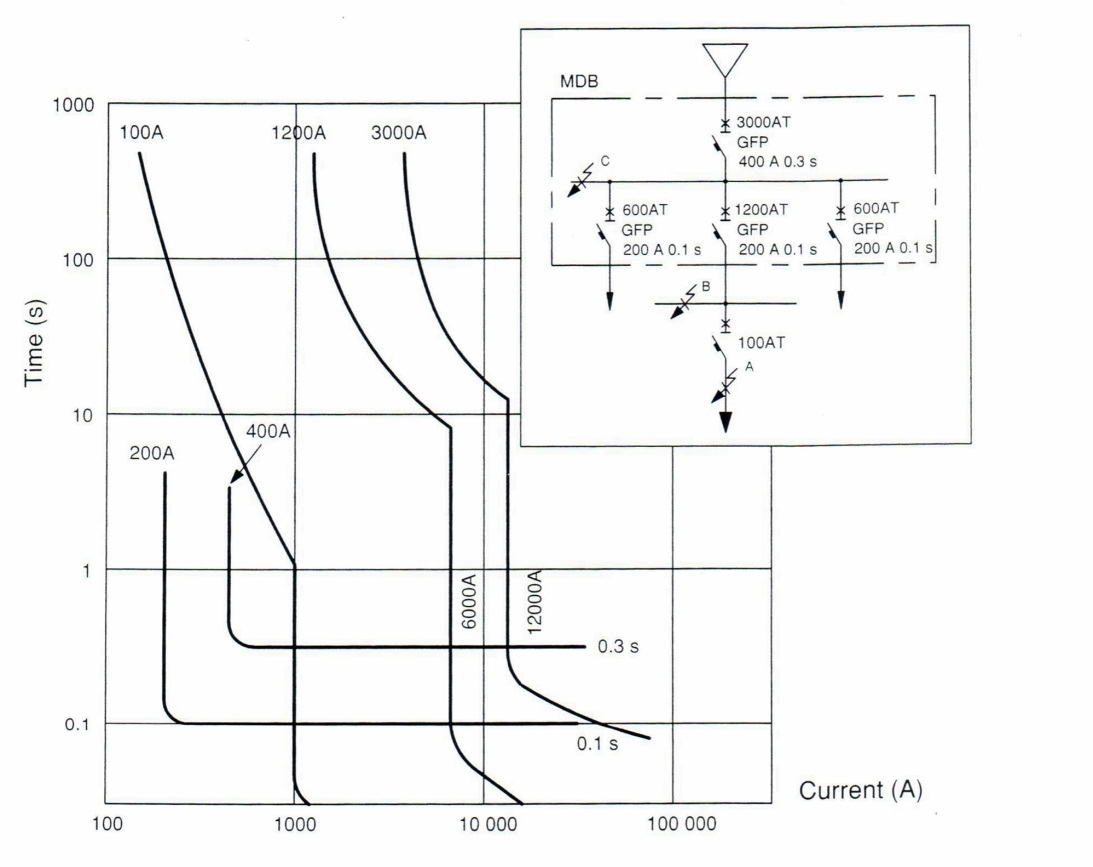
เวลา จะต้องปรับตั้งให้ Coordination กับ Ground Fault Protection

ของวงจรสายป้อน หรือ 0.2-0.5 s

การประสานสัมพันธ์ของ Ground Fault Protection ทำได้ 2 แบบคือ

1. Time Current Band Seletive

วิธีนี้จัดให้มีการหน่วงเวลาระหว่าง Ground Fault Protection ที่ต่ออนุกรมกัน เพื่อให้ ตัวที่อยู่ใกล้กระแสผิดพร่องทำงานก่อน และหากตัวใกล้ไม่ทำงาน ตัวที่อยู่ถัดไปต้องทำงานต่อมาเป็นลำดับเสมอ ดังภาพที่ 5.13



**ภาพที่ 5.13** การประสานสัมพันธ์แบบ Time Current Band Selective

2. Zone Selective Interlock

วิธีนี้มีการหน่วงเวลาระหว่าง Ground Fault Protection ที่ต่ออนุกรมเช่นเดียวกับ วิธีแรกแต่เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ใกล้จะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวถัดไปรอก่อนตามเวลาหน่วงที่ตั้งไว้แต่หากว่ามาสัญญาณให้รอตัวถัดไปก็จะทำงานทันทีทำให้สามารถลดเวลาสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการตัดกระแสลัดวงจรลงดินได้ และลดความเสียหายได้อย่างมากดังภาพที่ 5.14



**ภาพที่ 5.14** การประสานสัมพันธ์แบบ Zone Selective Interlock

**วิธีการสอนและกิจกรรม**

1. ผู้สอนบรรยายเนื้อหา
2. นักศึกษาร่วมอภิปราย
3. ผู้สอนตั้งคำถามให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียน
4. นักศึกษาทำแบบฝึกหัด
5. ให้งานที่มอบหมาย

**สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน**

1. หนังสือ

* วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556.
* ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : โชติอนันต์ ครีเอชั่น, 2556.
* ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : สมารัท ดิจิทัล โซลูชั่น, 2556.
* นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ. **เอกสารคำสอน รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559.

1. โสตทัศนวัสดุ

* กระดาน
* เครื่องฉายและคอมพิวเตอร์

**งานที่มอบหมาย**

* 1. ทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน
  2. ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากหนังสือที่เกี่ยวกับการประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน

**การวัดผล**

1. พิจารณาการเข้าชั้นเรียนตามเวลากำหนด สนใจเรียนและเข้าร่วมกิจกรรมการเรียน
2. ตรวจแบบฝึกหัด การซักถาม-ตอบ

**แบบฝึกหัด**

1. จงอธิบายระบบป้องกันไฟฟ้า แบ่งได้กี่ประเภท อะไรบ้าง
2. สิ่งที่จำเป็นในการประสานสัมพันธ์ได้แก่อะไรบ้าง
3. ในการประสานสัมพันธ์ โหลดมอเตอร์ ต้องนึกถึงอะไรบ้าง
4. จงเขียนลักษณะสมบัติของมอเตอร์ขนาด 150 kW อย่างคร่าว ๆ ที่ 400 V โดยให้ ILR  ทนได้นาน 10 s มอเตอร์มีประสิทธิภาพ 90 % และมีตัวประกอบกำลัง 0.8
5. ในการประสานสัมพันธ์ป้องกันหม้อแปลง สิ่งที่ต้องพิจารณาได้แก่อะไรบ้าง
6. เพราะเหตุใดในปัจจุบัน เซอร์กิตเบรกเกอร์จึงนิยมใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้า แทนฟิวส์
7. จงอธิบายฟังก์ชั่นการทำงานและการปรับตั้งของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Solid-State มาพอเข้าใจ พร้อมวาดรูป
8. เพราะเหตุใดในปัจจุบัน เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Solid-State จึงนิยมใช้มากกว่า Thermal-Magnatic
9. จงอธิบายหลักการทำงานของรีเลย์ป้องกันกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ระดับแรงดันสูง
10. เวลาที่ควรเผื่อในการประสานสัมพันธ์ระหว่างแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ แตกต่างกันอย่างไร มีค่าเท่าไหร่
11. การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่สายประธานอย่างเดียว มีปัญหาอย่างไร
12. การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่ดี ควรปรับตั้งอย่างไรบ้าง