

**กรณีศึกษา - CASE STUDY****เซอร์กิตเบรกเกอร์หลักปลดวงจรเนื่องจากการเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง****TRIPPED MAIN CIRCUIT BREAKER CAUSED BY ENERGIZING TRANSFORMER****ABSTRACT**

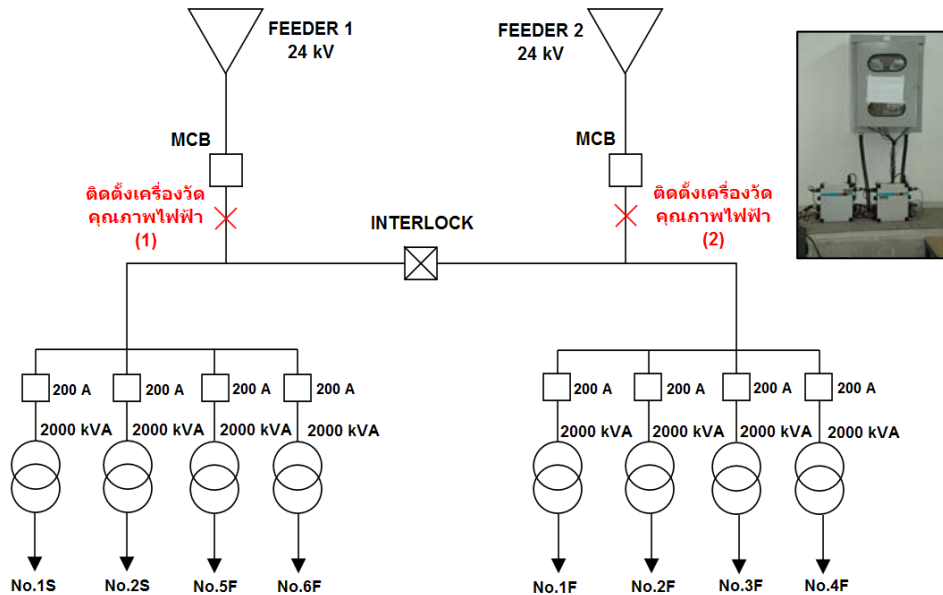
AN OFFICE BUILDING WHICH RECEIVED POWER FROM 24KV UNDERGROUND CABLE HAD PROBLEMS WITH MAIN CIRCUIT BREAKER ON A HIGH VOLTAGE SIDE WHICH TRIPPED WHEN TRANSFORMER WAS RE-ENERGIZED AFTER MAINTENANCES. THIS SITUATION EFFECTED MOMENTARY INTERRUPTION IN THE BUILDING LEADING TO LOSSES OF IMPORTANT DATA STORED IN COMPUTERS. THE MAIN CIRCUIT BREAKER ON HIGH VOLTAGE SIDE WAS UNDESIRABLY TRIPPED BECAUSE AFTER RE-ENERGIZING THE TRANSFORMER, THERE WAS HIGH MAGNETIZING INRUSH CURRENT (5 TIMES OF THE TRANSFORMER' RATED CURRENT) FLOWING THROUGH THE CIRCUIT FOR A SHORT PERIOD OF TIME. WITH THE SATURATION OF CURRENT TRANSFORMER IN THE PROTECTION SYSTEM, MAGNETIZING INRUSH CURRENT WOULD CAUSE INCORRECTLY OPERATION OF EARTH FAULT PROTECTION SYSTEM. CONSEQUENTLY, THE MAIN CIRCUIT BREAKER WAS TRIPPED. THE MITIGATION METHOD WAS TO PROLONG THE DELAY TIME OF THE EARTH FAULT PROTECTION SYSTEM TO AVOID THE INTERFERENCE OF MAGNETIZING INRUSH CURRENT FROM TRANSFORMERS.

**บทคัดย่อ**

อาคารสำนักงานแห่งหนึ่งซึ่งรับไฟจากสายป้อนใต้ดินแรงดัน 24 kV ได้เกิดปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงสูงปลดวงจรเมื่อเริ่มทำการจ่ายไฟ (Energize) ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าภายในอาคาร ภายหลังการดับไฟเพื่อบำรุงรักษา ทำให้เกิดไฟฟ้าดับทั้งอาคารส่งผลให้ข้อมูลสำคัญในระบบคอมพิวเตอร์สูญหาย สาเหตุที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงสูงปลดวงจรเกิดจาก Magnetizing Inrush Current ปริมาณสูง (ประมาณ 5 เท่าของกระแสฟลักซ์หม้อแปลง) ไหลเข้าหม้อแปลงในช่วงเวลาสั้นๆขณะที่เริ่มจ่ายไฟ และด้วยผลจากการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสที่ใช้ในระบบป้องกัน ส่งผลให้ Magnetizing Inrush Current นี้ไปรบกวนการทำงานของระบบป้องกันการเกิดลัดวงจรลงดิน และเป็นเหตุให้เกิดการสั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมา แนวทางการแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการปรับเพิ่มค่าหน่วงเวลาการทำงานของระบบป้องกันการเกิดลัดวงจรลงดิน เพื่อหลีกเลี่ยงผลการรบกวนจาก Magnetizing Inrush Current ของหม้อแปลง

**1. ข้อมูลเบื้องต้น**

อาคารสำนักงานให้เช่าแห่งหนึ่งรับไฟจากการไฟฟ้านครหลวงในระบบสายป้อนใต้ดินที่ระดับแรงดัน 24 kV จำนวน 2 สายป้อน โดยแต่ละสายป้อนจะจ่ายไฟให้หม้อแปลงไฟฟ้าภายในอาคารจำนวน 4 ลูก (แสดงในรูปที่ 1) โดยอาคารประสบปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้าน 24 kV เกิดการปลดวงจร เมื่อเริ่มจ่ายไฟ (Energize) ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าภายหลังการดับไฟเพื่อบำรุงรักษา เป็นเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับทั้งอาคาร



รูปที่ 1 ระบบจ่ายไฟฟ้าภายในอาคารและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

## 2. ปัญหาและผลกระทบ

จากการตรวจสอบพบว่าปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้าน 24 kV ปลดวงจรจะเกิดขึ้นทุกครั้งทีเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลงไฟฟ้า ภายหลังการดับไฟหม้อแปลงเพื่อทำการบำรุงรักษา ซึ่งเมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้นจะทำให้เกิดไฟฟ้าดับส่งผลกระทบต่อโหลดในหม้อแปลงลูกข้างเคียงซึ่งรับไฟจากสายป้อนเดียวกัน ทำให้ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบคอมพิวเตอร์ภายในอาคารหยุดทำงาน นอกจากนี้ยังทำให้ข้อมูลทางการเงินซึ่งมีความสำคัญมากของธนาคารแห่งหนึ่งซึ่งตั้งอยู่ในอาคารเกิดการสูญหาย

เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้าน 24 kV ปลดวงจร เจ้าหน้าที่ของอาคารไม่สามารถจะสับเซอร์กิตเบรกเกอร์กลับเข้ามาเองได้เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ต้องรอให้เจ้าหน้าที่ของการไฟฟ้านครหลวงเป็นผู้สับเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ เป็นเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับในอาคารเป็นเวลานานประมาณ 30 - 45 นาที

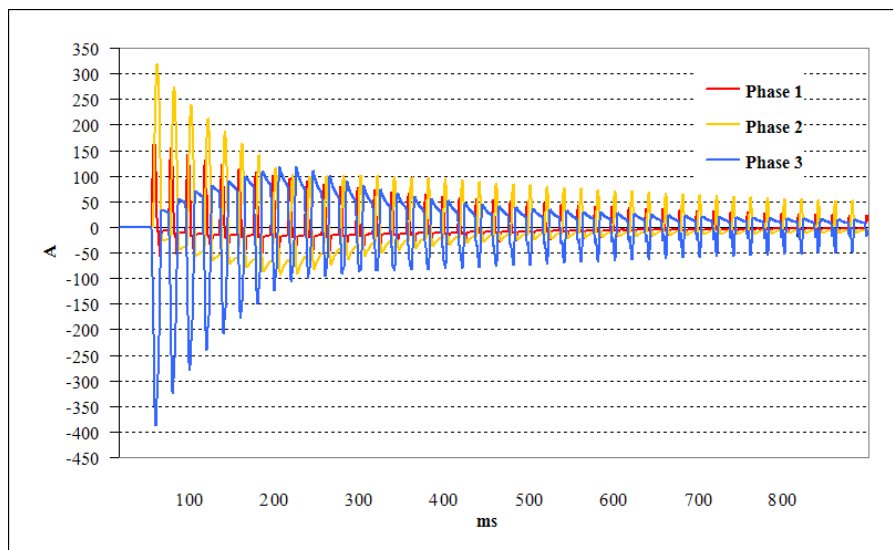
## 3. มูลค่าความเสียหาย

เนื่องจากอาคารแห่งนี้เป็นอาคารสำนักงานให้เช่า ความเสียหายจากไฟฟ้าดับเนื่องจากการปลดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจตีเป็นมูลค่าเงิน โดยตรงได้ยาก เนื่องจากอาคารไม่ได้เป็นผู้เสียหายจากไฟฟ้าดับโดยตรง ผู้เสียหายโดยตรงคือบริษัทต่างๆที่มาเช่าพื้นที่สำนักงานในอาคาร แต่อาคารอาจได้รับความเสียหายในแง่ของภาพพจน์และความน่าเชื่อถือในด้านคุณภาพการบริการของอาคาร

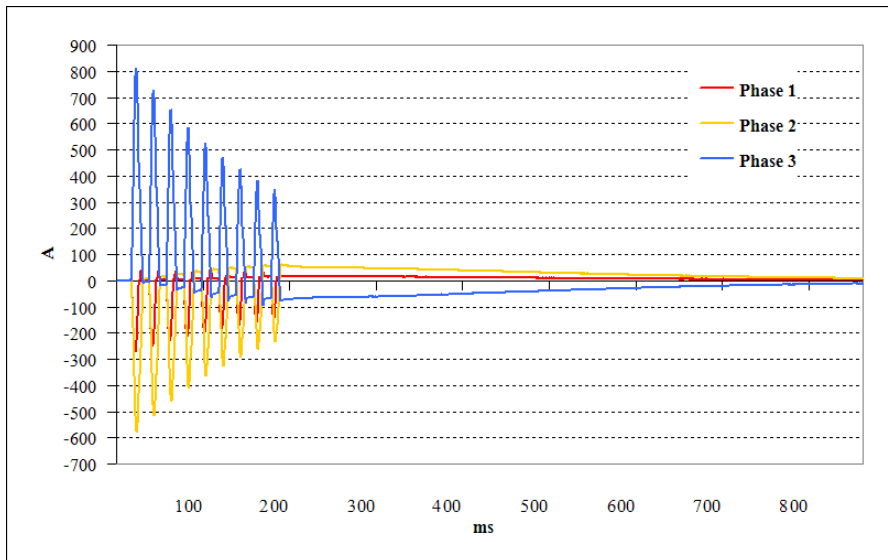
สำหรับความเสียหายกับบริษัทซึ่งเช่าพื้นที่สำนักงานภายในอาคารที่เห็นเด่นชัดก็คือ สำนักงานใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่งได้รับความเสียหายอย่างมากต่อระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อมูลทางการเงินของลูกค้าธนาคาร โดยความเสียหายนี้ประเมินเป็นมูลค่ามิได้เนื่องจากเป็นการเสียโอกาสในการทำธุรกิจและความน่าเชื่อถือของธนาคาร

#### 4. สาเหตุของปัญหา

การไฟฟ้านครหลวงได้ติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าจำนวน 2 เครื่อง ที่ตำแหน่งมิเตอร์วัดหน่วยไฟฟ้าด้านแรงสูงในแต่ละสายป้อน เพื่อบันทึกรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในขณะที่เริ่มจ่ายไฟ (Energize) ให้หม้อแปลงภายในอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 1 รูปคลื่นกระแสขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง No.1S ซึ่งตรวจวัดได้จากเครื่องวัดฯที่ 1 แสดงในรูปที่ 2 และรูปคลื่นกระแสขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง No.1F ซึ่งตรวจวัดได้จากเครื่องวัดฯที่ 2 แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 รูปคลื่นกระแสขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง 1S



รูปที่ 3 รูปคลื่นกระแสขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง 1F

จากรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในขณะเริ่มจ่ายไฟ (Energize) ให้หม้อแปลงที่ไม่มีโหลด พบว่าเกิดกระแสพุ่งขึ้น (Inrush Current) ที่มีปริมาณสูงมาก ( $400 - 800 A_{Peak}$ ) และใช้เวลานับสิบไมโครวินาทีกว่ากระแสจะมีค่าลดลงสู่ระดับปกติ ตามทฤษฎีเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับหม้อแปลงในขณะที่ไม่มีโหลดจะเกิดกระแส Magnetizing Inrush Current ไหลจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังขดลวดด้านแรงสูงของหม้อแปลง และมีปริมาณที่สูงเป็นหลายเท่าของกระแสปกติของหม้อแปลง โดยที่ปริมาณและระยะเวลาที่ Magnetizing Inrush Current ไหลในวงจรจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายประการ เช่น

- ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)
- ความต้านทานขดลวดหม้อแปลง และ ความสูญเสียในแกนเหล็ก
- การอิ่มตัวของแกนเหล็ก (Saturation Curve)
- ฟลักซ์แม่เหล็กคงค้าง (Residual Flux)
- มุมเฟสของแหล่งจ่ายแรงดันขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง

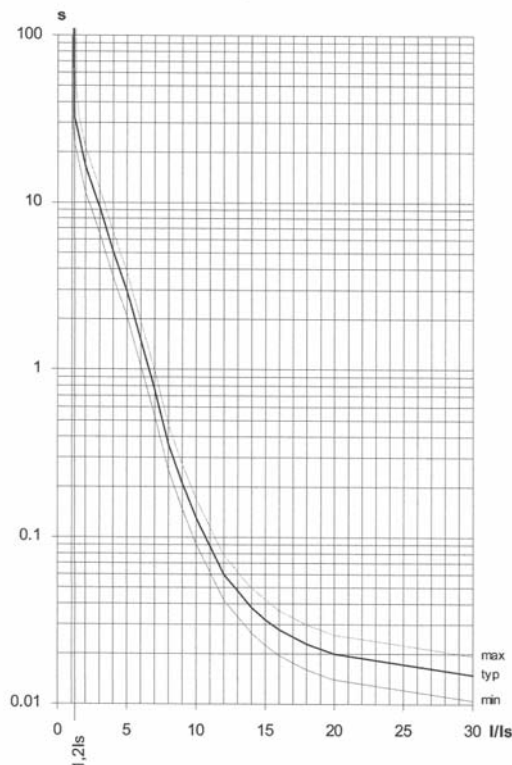
เนื่องจากเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้านแรงสูงมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจรลงดิน โดยตรวจจับกระแสผ่านหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ด้วยผลของกระแส Magnetizing Inrush Current ที่มีปริมาณสูงขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง และคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นของหม้อแปลงกระแส จึงเป็นเหตุให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจรลงดินทำงานผิดพลาดและสั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์

## 5. การวิเคราะห์ปัญหา

จากการตรวจสอบการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจรลงดิน (Earth Fault Relay) และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้านแรงสูง พบว่า Earth Fault Relay มีการปรับตั้งค่ากระแสลัดวงจรลงดิน (Earth Fault Current) เท่ากับ 62 A และปรับตั้งค่าหน่วงเวลา (Time Delay) ไว้ที่ 100 มิลลิวินาที ซึ่งหมายความว่าหากกระแสลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นมีค่าเกิน

กว่า 62 A และเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าค่าหน่วงเวลาที่ปรับตั้งไว้ 100 มิลลิวินาที จะทำให้ Earth Fault Relay ทำงานและสั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก สำหรับ Overcurrent Relay มีการปรับตั้งค่ากระแสเกินไว้ที่ 200 A ซึ่งหมายความว่าหากกระแสในแต่ละเฟสมีค่าเกินกว่า 200 A จะทำให้ Overcurrent Relay ทำงานและส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์หลักปลดวงจร โดยเวลาการทำงานของ Overcurrent Relay ขึ้นอยู่กับ Tripping Curve ดังแสดงในรูปที่ 4

จากผลการวัดรูปคลื่นกระแสดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าการเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลงภายในอาคารขณะไม่มีโหลดนั้นจะเกิดกระแส Magnetizing Inrush Current ที่มีปริมาณสูงไหลในวงจรทั้ง 3 เฟส ทั้งนี้หม้อแปลงภายในอาคารทุกลูกมีการต่อขดลวดแบบ Delta-Wye Ground โดยทั่วไปแล้วกระแสด้านแรงสูงของหม้อแปลงในระบบ 3 เฟส 3 สาย ในสถานะที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรลงดิน ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสจะหักล้างกันเป็นศูนย์ Earth Fault Relay จะตรวจจับการเกิดลัดวงจรลงดินจากผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟส หากผลรวมของกระแสเป็นศูนย์จะไม่อยู่ในเงื่อนไขที่ Earth Fault Relay ต้องทำงาน แต่ถ้าเกิดกระแสลัดวงจรลงดินแล้วส่งผลให้ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสไม่เป็นศูนย์ หากกระแสนี้มีค่าสูงกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้ของ Earth Fault Relay และเกิดขึ้นต่อเนื่องกันนานกว่าค่า Time Delay แล้ว Earth Fault Relay จะทำงานและสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจร

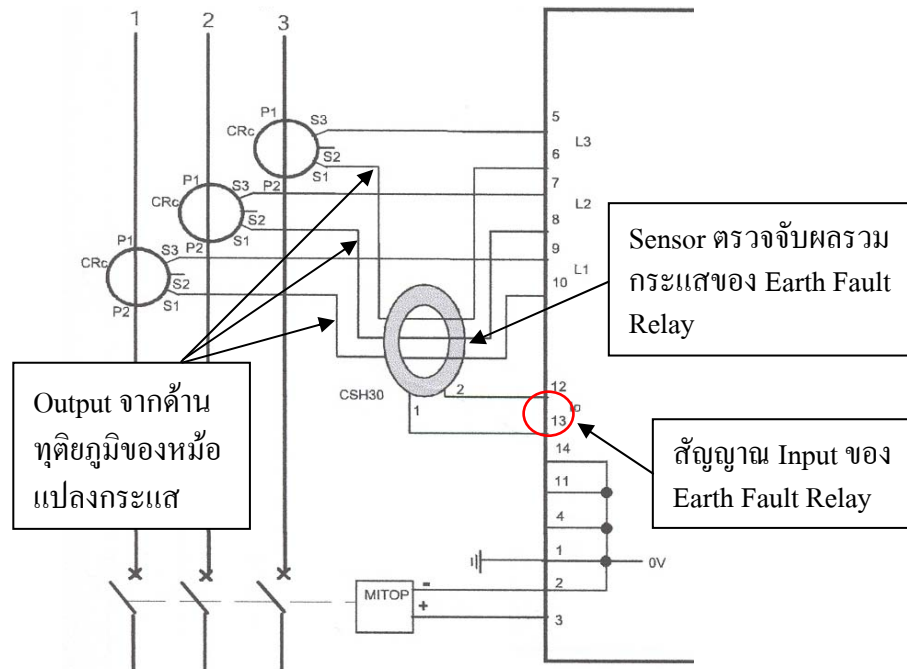


รูปที่ 4 Tripping Curve ของ Overcurrent Relay

อย่างไรก็ตาม ขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลงตรวจสอบไม่พบการลัดวงจรลงดินที่จะเป็นสาเหตุให้ Earth Fault Relay ทำงาน แต่จากการตรวจสอบพิกัดของหม้อแปลงกระแส (CT) ที่แปลงสัญญาณกระแสป้อนให้กับ Earth Fault Relay พบว่ามีพิกัดกระแสด้านปฐมภูมิเพียง 200 A ดังนั้นเมื่อเกิด Magnetizing

Inrush Current จากการเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลงซึ่งมีปริมาณกระแสสูงถึง 400 - 800 A<sub>peak</sub> (พิจารณารูปที่ 2 และ 3) เป็นเหตุให้หม้อแปลงกระแสเกิดการอิ่มตัว (CT Saturation) ส่งผลให้ค่ากระแสที่วัดได้จากด้านทุติยภูมิของ CT เกิดความผิดพลาด ทำให้ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟส มีค่าไม่เป็นศูนย์ ดังนั้น Earth Fault Relay จึงมองเห็นว่าผิดพลาดว่าเกิดการลัดวงจรลงดินขึ้น รูปแบบการต่อหม้อแปลงกระแสและ Sensor ตรวจจับผลรวมกระแสของ Earth Fault Relay แสดงในรูปที่ 5

หากหม้อแปลงกระแสเกิดการอิ่มตัวเนื่องจาก Magnetizing Inrush Current จะทำให้สัญญาณกระแส Output ของหม้อแปลงกระแสมีความผิดเพี้ยนไป เป็นเหตุให้ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสที่ Sensor ของ Earth Fault Relay ตรวจจับได้มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งหากผลรวมของกระแสนี้มีค่าสูงกว่าค่ากระแสลัดวงจรลงดินของ Earth Fault Relay ที่ปรับตั้งไว้ที่ 62 A และเกิดขึ้นเป็นเวลานานกว่าค่า Time Delay ที่ปรับตั้งไว้ 100 มิลลิวินาที จะทำให้ Earth Fault Relay ทำงานและสั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักได้



รูปที่ 5 รูปแบบการต่อหม้อแปลงกระแสและ Sensor ตรวจจับผลรวมกระแสของ Earth Fault Relay

## 6. แนวทางการแก้ปัญหา

การแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการปรับตั้งค่า Time Delay ของ Earth Fault Relay ให้เพิ่มขึ้นจาก 100 มิลลิวินาที เป็น 500 มิลลิวินาที โดยให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่เกิด Magnetizing Inrush Current เพื่อป้องกันไม่ให้เซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้านแรงสูงปลดวงจรลงดินในขณะเริ่มจ่ายไฟให้หม้อแปลง

## 7. ค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหา

การแก้ปัญหาโดยการปรับตั้งค่า Time Delay ของ Earth Fault Relay เพิ่มขึ้นจาก 100 มิลลิวินาที เป็น 500 มิลลิวินาที ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ เนื่องจากไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม

## 8. สรุป

ปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้านแรงสูงของอาคารปลดวงจรเมื่อเริ่มจ่ายไฟ (Energize) ให้กับหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด มีสาเหตุมาจากการเกิด Magnetizing Inrush Current ไหลในขดลวดด้านแรงสูงของหม้อแปลงซึ่งมีค่าสูงสุดถึง 400 - 800 A<sub>Peak</sub> และจะค่อยๆลดลงจนสู่ระดับปกติในระยะเวลาานกว่า 200 มิลลิวินาที เนื่องจากหม้อแปลงกระแสที่ใช้งานร่วมกับ Earth Fault Relay มีพิกัดกระแสเพียง 200 A ซึ่งต่ำกว่าขนาด Magnetizing Inrush Current ที่เกิดขึ้น เป็นเหตุให้หม้อแปลงกระแสเกิดการอิ่มตัว (Saturation) ส่งผลให้สัญญาณกระแส Output จากหม้อแปลงกระแสเกิดความผิดเพี้ยนไป และทำให้ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสที่ Earth Fault Relay ตรวจจับไม่เป็นศูนย์ Earth Fault Relay จึงเข้าใจผิดพลาดว่าเกิดการลัดวงจรลงดินและส่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ การแก้ปัญหามาสามารถทำได้โดยการปรับตั้งกำหนดเวลาการทำงานของ Earth Fault Relay ให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่เกิด Magnetizing Inrush Current