

## การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า (Protection of Transformer)

ที่มา: <http://energy-idea.blogspot.com/2012/02/protection-of-transformer.html>

ในปัจจุบันได้มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งล้วนมีราคาแพง อีกทั้งเมื่อเกิดความเสียหายย่อมจะมีอันตรายอย่างรุนแรงเกิดขึ้นด้วย เราจึงควรมีระบบการป้องกันหม้อแปลงเพื่อทำการตรวจจับอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงขณะใช้งาน เมื่อตรวจพบเร็วที่สุดเท่าที่ไหว ย่อมจะแก้ไขซ่อมแซมได้ทันทั่วทั้งที่ ก่อนที่หม้อแปลงราคาแสนแพงจะเสียหายจะซ่อมแซมไม่ได้



ความผิดปกติของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

1. Interturn fault เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดในหม้อแปลง หรือมีการลัดวงจรระหว่างขดลวด สาเหตุอาจจะมาจากความชื้นของน้ำมันหรืออุณหภูมิสูง หรือเกิดจากแรงกระทำต่อขดลวด (mechanical force) ขณะที่มีการลัดวงจรภายนอกหม้อแปลง ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดสูงเป็นเวลานาน และยังอาจจะเกิดจากความร้อนภายในขดลวดเองด้วยที่ทำให้ฉนวนเสื่อมอายุ ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรระหว่างขดลวดเพียงไม่กี่ขด จะทำให้กระแสลัดวงจรไหลวนอยู่ภายในขดลวดนั้นเป็นจำนวนมาก กระแสทางด้าน primary จะมีค่ากระแสลัดวงจรต่ำมาก จนไม่อาจจะตรวจจับความผิดปกติได้ ทั้งนี้เพราะมีค่าความแตกต่างของ transformation ratio สูงนั่นเอง

ความผิดปกติของหม้อแปลงแบบนี้อาจจะตรวจจับโดยอาศัยความร้อนหรือตรวจจับทางก๊าซที่เกิดขึ้นจากสถิติที่ตรวจพบ ความเสียหายอย่างรุนแรงของหม้อแปลงไฟฟ้าประมาณ 70-80 % เริ่มต้นมาจาก inter-turn fault

2. Core faults แกนเหล็กของหม้อแปลงที่ทำจากแผ่นเหล็กบางๆประกอประกกันนั้นจะสามารถทนต่อ Eddy-current มากผิดปกติ อันอาจจะเกิดจากการเสื่อมของฉนวนต่างๆย่อมจะทำให้เกิดความร้อนผิดปกติ กระแส core loss จะสูงขึ้น แต่ก็ไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติทางกระแสในขดลวดปฐมภูมิ (primary) ได้ กรณีที่เป็นหม้อแปลงแบบน้ำมันแล้ว น้ำมันจะทำให้เกิดก๊าซขึ้น เราจึงอาจตรวจจับความผิดปกติโดยอาศัยก๊าซที่เกิดขึ้นนี้

3. Earth fault ในกรณีที่ขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ของหม้อแปลงต่อเป็นแบบ star โดยที่ neutral ต่อผ่าน impedance ก่อนลงดิน ขณะที่เกิดการลัดวงจรจากขดลวดลงสู่ดิน ค่าของกระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดโดย earthing impedance ที่ต่ออยู่และยังขึ้นอยู่กับระยะความห่างตามขดลวดจากจุด neutral ไปยังจุดลัดวงจรลงดิน

สำหรับขดลวดทุติยภูมิที่ต่อแบบ star และ neutral ต่อโดยตรงลงสู่ดิน เมื่อเกิดการลัดวงจรจากขดลวดลงสู่ดิน ค่าของกระแสลัดวงจรจะถูกควบคุมโดยค่าของ leakage impedance ของขดลวด กับระยะทางตามขดลวดของจุดลัดวงจรจากจุด neutral

นอกจากนี้ความผิดปกติที่ไม่พบบ่อยนักได้แก่ ลักษณะของ phase fault ความสัมพันธ์ของกระแสจะคล้ายกับลักษณะ solidly earthed star winding

4. สาเหตุภายนอกหม้อแปลง การใช้งานหม้อแปลงเกินกำลัง (over load) ย่อมจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นภายในขดลวดอันเกิดจากการที่ copper loss มีค่าสูงขึ้น การใช้งานหม้อแปลงเกินกำลังนี้ย่อมจะทำให้ได้ในขนาดและเวลาที่จำกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความร้อนเริ่มต้นของการใช้งาน รวมทั้งระบบระบายความร้อนที่ใช้อยู่

การเกิดการลัดวงจรของสายจ่ายภายนอกหม้อแปลง ย่อมจะทำให้มีกระแสไหลภายในขดลวดสูง copper loss จะมี

ค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ความร้อนภายในหม้อแปลงก็จะสูงขึ้น  
ตามไปด้วย นอกจากนี้ยังเกิดแรงดันทางกลขึ้นภายใน  
หม้อแปลงด้วย

การเกิด over voltage อันมาจากการเกิดฟ้าผ่าลงยัง  
สายจ่ายกำลังไฟของหม้อแปลงอันเป็นสาเหตุที่พบได้โดย  
ทั่วไป การป้องกันสามารถทำได้โดยการติดตั้ง surge  
arrester

Power frequency over voltage ส่วนใหญ่จะไม่

พบ

บ่อยนักในระบบจ่ายไฟฟ้าในประเทศไทย ในกรณีนี้จะทำให้  
เกิดการเสื่อมของฉนวนต่างๆ ในหม้อแปลงและจะไปทำให้  
ค่าสนามแม่เหล็กใช้งาน (working flux) มีค่าสูงขึ้น  
ซึ่งเป็นเหตุให้ iron loss สูงขึ้นและเพิ่มกระแสแม่เหล็ก  
(magnetizing current) ผลสุดท้ายจะมีการเกิด  
over-excitation ของแกนหม้อแปลง และโบลต์ยึดแกน  
ซึ่งปกติโบลต์จะยอมให้สนามแม่เหล็ก (flux) ไหลผ่าน  
ได้น้อย ในกรณีเช่นนี้โบลต์จะเกิดความร้อนสูงและทำลาย  
ฉนวนต่างๆ ของขดลวดจนเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดปกติ  
อื่นๆ ต่อไป

5. Magnetising inrush current ถือว่าเป็นลักษณะของ  
transient อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นขณะเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่หม้อแปลง และไม่ถือเป็น  
อาการผิดปกติ ไม่จำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีป้องกันเพียงแต่เราจะต้องคิดอยู่เสมอว่าอุปกรณ์  
ป้องกันหม้อแปลงของเราจะต้องมีเสถียรภาพเพียงพอต่อการรับการเกิด inrush  
current นี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาจะเกิดกับ differential relay  
และฟิวส์ ที่เราใช้ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า ค่าของ inrush current นี้อาจจะ  
สูงขึ้นถึง 5-6 เท่าของกระแส full load ของหม้อแปลงไฟฟ้า time  
constant ของ inrush current จะประมาณ 0.1 วินาที สำหรับหม้อ

แปลงขนาดไม่เกิน 100kVA และจะประมาณ 1.0 วินาที สำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่ขึ้น  
ไปกว่า 100 kVA

วิธีป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ามีได้หลายวิธีการ ดังนี้

1. Overheating protection อุณหภูมิปกติของขดลวดขณะใช้งานจะกำหนดไว้ประมาณไม่เกิน 95 องศาเซลเซียส กรณีที่อุณหภูมิขณะใช้งานสูงกว่านี้ 8-10 องศาเซลเซียส อายุการใช้งานของหม้อแปลงจะลดลงไปประมาณครึ่งหนึ่ง ในการป้องกันนั้นจะใช้การตรวจจับความร้อนโดยอาศัย heat detector ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชนิด RTD (resistant temperature detector) อาจจะเป็นแบบ CU หรือ PT แล้วแต่ผู้ผลิตอุปกรณ์ดังกล่าวจะฝังอยู่บริเวณ hot spot ของหม้อแปลง หากอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้จะมีการส่งสัญญาณเตือนการใช้งาน และถ้าอุณหภูมิของหม้อแปลงยังไม่ลดลง แต่ยังคงสูงขึ้นจนถึงค่าที่กำหนด สัญญาณจะถูกส่งออกไปเพื่อทำการตัดหม้อแปลงออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทันที

ในการตรวจจับความร้อนของขดลวดว่ามีการเกิด

overload หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบทางด้านอุณหภูมิ

ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่เราเรียกว่า thermal image

technique วิธีการดังกล่าวจะทำการตรวจจับสัญญาณ

อุณหภูมิ(thermal sensing element ลงในกระเปาะ

บนตัวถังหม้อแปลง โดยจะจมอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง ลึก

ประมาณ 10 นิ้ว ซึ่งจะเป็นชั้นของน้ำมันที่มีความร้อนสูงสุด

ภายในตัวจับสัญญาณ

อุณหภูมินี้จะมีขดลวดความร้อนตัวเล็กๆ (heater) ฝังอยู่

โดยรับกระแสจากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า(current

transformer หรือ C.T.) ที่คล้องอยู่ที่สายจ่ายไฟฟ้า

ทางด้านแรงต่ำ นอกจากนี้ยังมี heat sensitive

silicon resistor หรือ silistor อยู่เพื่อตรวจ

ความแตกต่างของอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนที่เปรียบ

เสมือนอุณหภูมิของขดลวดกับอุณหภูมิของน้ำมันที่เกิดจาก

การใช้งานจริง ความไม่สมดุลของอุณหภูมิสองด้านจะก่อให้เกิด

เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ silistor ส่งเข้าตัวตรวจสอบ  
สัญญาณต่อไป ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจะถูกแปลงเป็น  
สัญญาณเตือนการใช้งานและสัญญาณให้ระบบระบายความ  
ร้อนทำงาน หากอุณหภูมิยังคงแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นไปอีก  
สัญญาณจะส่งไปทำการตัดหม้อแปลงออกจากระบบจ่าย  
กำลังไฟฟ้าต่อไป ชุดป้องกันดังกล่าวจะมากวบรวมกันคือ  
thermal replica และ overheating  
protection relay บางชนิดยังสามารถส่งสัญญาณเข้า  
สู่ temperature-time integrator เพื่อทำการนับ  
ระยะเวลารวมของการที่หม้อแปลงเกิดการ overheat ขึ้น  
เพื่อเป็นข้อมูลในการบำรุงรักษาและระงับการใช้งาน  
หม้อแปลงไฟฟ้า

## 2. Overcurrent protection

ฟิวส์ (fuses) ในระบบป้องกันหม้อแปลงขนาดเล็กๆ  
ฟิวส์จะเหมาะสมแก่การใช้งานมากที่สุดเมื่อเทียบกับทางด้าน  
ราคาและความแน่นอนในการทำงาน การใช้ฟิวส์ในระบบ  
ป้องกันสำหรับหม้อแปลงของการไฟฟ้าต่างๆซึ่งติดตั้งบนเสา  
ไฟฟ้านั้น ส่วนใหญ่จะใช้ drop-out fuses ในกรณีที่  
ฟิวส์เส้นใดเส้นหนึ่งขาด ปัญหาของเฟสเดียว (single  
phasing) จะเกิดขึ้น ซึ่งมีผลกระทบต่อโหลดที่เป็นมอเตอร์  
ต่างๆ โดยการเกิด overload ของมอเตอร์ขึ้น ตาม  
โรงงานและอาคารใหญ่ๆ จะใช้ฟิวส์ประกอบกับสวิตช์ตัดตอน  
(load break switch) โดยใช้ฟิวส์ชนิดที่มีเข็มที่มอดอก  
มาทางปลายฟิวส์ เพื่อให้คันกระเดื่องเปิดวงจรออกโดยสวิตช์  
ตัดตอน การกำหนดขนาดของฟิวส์จะต้องระมัดระวังเสมอว่า  
ขนาดกระแสของฟิวส์จะต้องสูงกว่ากระแส full load  
ของหม้อแปลงและยังต้องมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะไม่ทำงาน  
ในช่วงที่เกิด magnetising inrush current รวมทั้ง

กระแสขณะสาร์ทมอเตอร์ต่างๆด้วย สิ่งที่เราควรระวังอีกข้อหนึ่ง  
ก็คือฟิวส์จะทำงานช้ามากถ้าหากค่ากระแสของฟิวส์มีค่าสูง  
กว่า 3 เท่าของกระแสที่ผิดปกติหรือลัดวงจร

Overcurrent relay จากคุณสมบัติของฟิวส์ที่ปรากฏ จะ  
เห็นได้ว่ากรณีที่กระแสผิดปกติมีค่าต่ำๆ แล้วฟิวส์แทบจะไม่ได้  
ทำหน้าที่เลย จนกระทั่งความผิดปกติของหม้อแปลงรุนแรงขึ้น  
และกระแสผิดปกติเพิ่มขึ้น เหตุนี้เองระบบป้องกันหม้อแปลง  
ขนาดใหญ่ๆ จึงจำเป็นต้องใช้ overcurrent relay เพื่อ  
ทำการจับสัญญาณกระแสส่งไปปลด circuit breaker  
ให้ตัดหม้อแปลงออกจากการใช้งาน การตรวจจับสัญญาณ  
กระแสผิดปกติของ overcurrent relay นี้จะสามารถ  
ตรวจจับกระแสผิดปกติที่มีค่าต่ำๆ โดยเวลาของการส่ง  
สัญญาณปลด circuit breaker ยังสามารถตั้งได้ บาง  
ชนิดอาจจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของกระแสผิดปกติได้ด้วย  
การป้องกันการลัดวงจรอย่างรุนแรงทางด้ายทุติยภูมิ  
(secondary)หรือแม้แต่ภายในตัวหม้อแปลง เราอาจใช้  
instantaneous high set overcurrent  
relay  
เพื่อให้เวลาในการตัดหม้อแปลงออกจากการใช้งานเร็วขึ้น  
ปกติจะตั้งค่าไว้ 120-130 % ของกระแสผิดปกติที่จะเกิดขึ้น  
ผ่านหม้อแปลง ค่ากระแสมาตรฐานของ relay ที่ผู้ผลิตทำ  
ขึ้นมีตั้งแต่ 200-800% , 500-2,000% หรือ 1,000-4,000%  
ของกระแส current transformer (สำหรับในประเทศ  
ของเราจะใช้ 5A)และสำหรับ overcurrent relay จะมี  
ตั้งแต่ 10-40% , 20-80% , 50-200% ของกระแส current  
transformer แต่อย่างไรก็ดีการตั้งค่าของกระแสรีเลย์นี้  
ยังคงต้องคำนึงถึงการให้รีเลย์มีเสถียรภาพต่อ  
magnetising inrush current ด้วย

3. Earth fault protection หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศของเราทางด้านขดลวดปฐมภูมิจะต่อในลักษณะของ delta ซึ่งขั้วของหม้อแปลงจะไม่มี การต่อลงดินในการป้องกันการลัดวงจรลงดินภายในหม้อแปลงไฟฟ้า เราจะถือหลักการว่า ผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแสทั้ง 3 เฟสที่ไหลเข้าหม้อแปลงเป็นศูนย์ หรือเป็นหลักการตามกฎของ Kirchhoff จึงไม่มี zero sequence current ง่ายเข้าสู่ระบบ เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินภายในหม้อแปลงทางด้านขดลวดปฐมภูมิผลรวมของกระแสข้างต้นจะไม่เป็นศูนย์จะมีกระแสไม่สมดุลเกิดขึ้น จากหลักอันนี้เองเราจึงใช้ current transformer ทำการต่อขนานกันทางด้านขดลวดทุติยภูมิของ current transformer เองและนำเอา current relay ต่อขนานเข้าไปด้วย กระแสที่ไม่สมดุลจะไหลผ่าน current relay เปลี่ยนเป็นสัญญาณไปทำการตัด หม้อแปลงออกจากการใช้งาน

ทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงส่วนใหญ่เราจะต่อแบบ star ในกรณีที่ start point ไม่ได้ต่อลงดิน การป้องกันการลัดวงจรลงดินของหม้อแปลงจะเป็นแบบเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น ในกรณีที่ start point มีการต่อลงดิน เราจะทำกรเพิ่ม current transformer ที่ start point ลงดินอีกหนึ่งชุดทั้งนี้อาศัยหลักการที่ว่า ผลรวมของกระแสแต่ละเฟสและกระแสไม่สมดุลของแต่ละเฟสที่ไหลเข้า start point เป็นศูนย์ ทั้งนี้เนื่องจากการต่อแบบนี้จะมี zero sequence current ไหลเข้าสู่ระบบเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินภายในหม้อแปลง ผลรวมของกระแสข้างต้นจะไม่เป็นศูนย์ จะเกิดกระแสไหลเข้าสู่ current relay ให้ตรวจจับสัญญาณผิดปกติได้ ข้อสำคัญของการต่อ current transformer นี้อยู่ที่ polarity ของ current transformer ด้วย โดยจะต้องดูทิศทางกระแสของกระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของ current transformer เพื่อให้ได้ผลรวมของ

กระแสที่ถูกต้อง และจะต้องระลึกอยู่เสมอว่าช่วงการป้องกัน

จะอยู่ในช่วงระหว่าง current transformer เท่านั้น

4. Buchholz protection เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับดักจับก๊าซที่เกิดจากความผิดปกติภายในหม้อแปลงชนิดที่ใช้น้ำมัน โดยทั่วไปอุปกรณ์นี้จะประกอบสำเร็จและติดมากับหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดน้ำมัน

โดยทั่วไปหม้อแปลงชนิดน้ำมันจะมีถังน้ำมันสำรองติดตั้งอยู่สูงจากตัวถังหม้อแปลงและมีท่อต่อจากถังน้ำมันมายังตัวถังหม้อแปลงระหว่างทางจะต่อเข้ากับ buchholz relay ในกรณีที่เกิดการผิดปกติภายในหม้อแปลงความร้อนหรือการเกิดการอาร์คภายในหม้อแปลง จะทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัว(breakdown) และเกิดก๊าซขึ้น ก๊าซดังกล่าวจะลอยขึ้นสู่ถังขยายตัวของน้ำมันโดยผ่าน buchholz relay ถ้าความผิดปกติมีน้อย โอกาสที่ก๊าซจะหลุดผ่าน buchholz relay ย่อมมีมากขึ้น นั่นคือรีเลย์จะไม่สามารถตรวจจับอะไรได้ แต่กรณีความผิดปกติที่เกิดขึ้นมาก ก๊าซที่เกิดขึ้นมีจำนวนมากลอยขึ้นสู่ถังขยายตัวของน้ำมัน ส่วนหนึ่งจะเข้าแทนที่น้ำมันใน buchholz relay ในขั้นแรกปริมาณก๊าซที่รีเลย์ดักจับจะทำให้สวิทช์ปรอทตัวแรกส่งสัญญาณเตือนออกมาว่ามีก๊าซที่เกิดจากการผิดปกติภายในหม้อแปลงแล้ว หากยังมีก๊าซถูกดักจับเพิ่มต่อไป สวิทช์ปรอทตัวต่อไปจะทำงานและส่งสัญญาณไปตัดหรือหยุดหม้อแปลงออกจากการทำงานต่อไป ลักษณะต่างๆที่จะทำให้เกิดก๊าซขึ้นในหม้อแปลงได้แก่

- แกนเหล็กมีความร้อนสูงเนื่องจากการผิดปกติ(failure) ของ lamination insulation
- ฉนวนของโบลท์ที่ยึดแกนเหล็กเสื่อมสภาพ
- Interturn faults
- เกิดการรั่วของน้ำมันทำให้มีอากาศเข้าสู่หม้อแปลง



- การลัดวงจรของขดลวดส่งสู่ดินหรือตัวถัง หรือลัดวงจรเฟสต่อเฟส

หลังจากที่เราทำการแก้ไขหม้อแปลงเมื่อถ่ายน้ำมัน  
หม้อแปลงเรียบร้อยแล้วจะสามารถ reset การทำงานของ  
รีเลย์ได้โดยการปรับให้ก๊าซที่สะสมในรีเลย์หลุดออกสู่  
อากาศภายนอก เพื่อให้น้ำมันได้เข้าไปแทนที่รอการทำงาน  
ครั้งใหม่ต่อไป

5. Differential protection หลักการนี้ มาจากการอาศัยหลักการ  
เปลี่ยนของกระแสทางด้านปฐมภูมิไปยังทุติยภูมิ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างกระแสทั้งสอง  
ด้านตาม transformer ratio ซึ่งเป็นกฎตามความเป็นจริงของหม้อแปลง ใน  
กรณีที่เกิดจากการผิดปกติของหม้อแปลงขึ้น ความสัมพันธ์ของกระแสทั้งสองด้านจะไม่เป็นไป  
ตาม transformer ratio นั่นคือมีกระแสไม่สมดุลเกิดขึ้น กระแสนี้จะ  
สามารถตรวจจับได้โดยอาศัย differential relay