

การตรวจวัด Partial discharge ของหม้อแปลงไฟฟ้า

Partial discharge (PD) เป็นการ breakdown ทางไฟฟ้าบางส่วนที่เกิดขึ้นในระบบฉนวน โดยทั่วไปมี PD อยู่ 2 ประเภท ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ คือ

1. Corona PD

ในระบบฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า PD ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นจาก Gas bubbles ในน้ำมันฉนวน ที่มี Ionized gas ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะผลิตก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เป็นส่วนใหญ่ร่วมกับ ก๊าซมีเทน (CH_4) แต่จะไม่ทำความเสียหายหรือทำให้เกิดคาร์บอนของฉนวนกระดาษ PD ประเภท Corona ยังใช้เพื่ออธิบายการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นในอากาศหรือก๊าซที่ขั้ว Terminal ของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ (หากไม่มี Shielding electrodes)

2. Sparking PD

จะเกิดขึ้นได้ทั้งในฉนวนเหลว (น้ำมันฉนวน) และฉนวนแข็ง (ฉนวนกระดาษ) PD ชนิดนี้จะมีลักษณะเป็น Arc เล็กๆ โดยจะขึ้นที่อุณหภูมิสูงมากๆ ($>3,000\text{ }^{\circ}C$) ซึ่งจะผลิตก๊าซส่วนใหญ่คือ C_2H_2 และ H_2 โดยจะทำความเสียหายต่อระบบฉนวนกระดาษ ทำให้เกิดคาร์บอน และอาจเกิดร่องรอย Tracking และจะทำความเสียหายต่อระบบฉนวนน้ำมันในรูปของก๊าซที่ละลายในน้ำมัน

ดังนั้นการที่มี PD ปรากฏอยู่ในระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพของฉนวน โดยรอบและท้ายที่สุดอาจนำไปสู่การเกิด Breakdown อย่างสมบูรณ์ได้

การตรวจวัด PD ของหม้อแปลงไฟฟ้า

การตรวจวัด PD ของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Off-line testing in LAB

เป็นการตรวจสอบแบบ Off-line ในห้องปฏิบัติการ โดยเป็นหัวข้อทดสอบพื้นฐานในการประกันคุณภาพและการตรวจรับ (Factory Acceptance Test : FAT) เพื่อแสดงถึงการปนเปื้อนหรือข้อผิดพลาดจากการผลิตหรือการออกแบบที่ไม่ถูกต้องได้

2. On-site testing

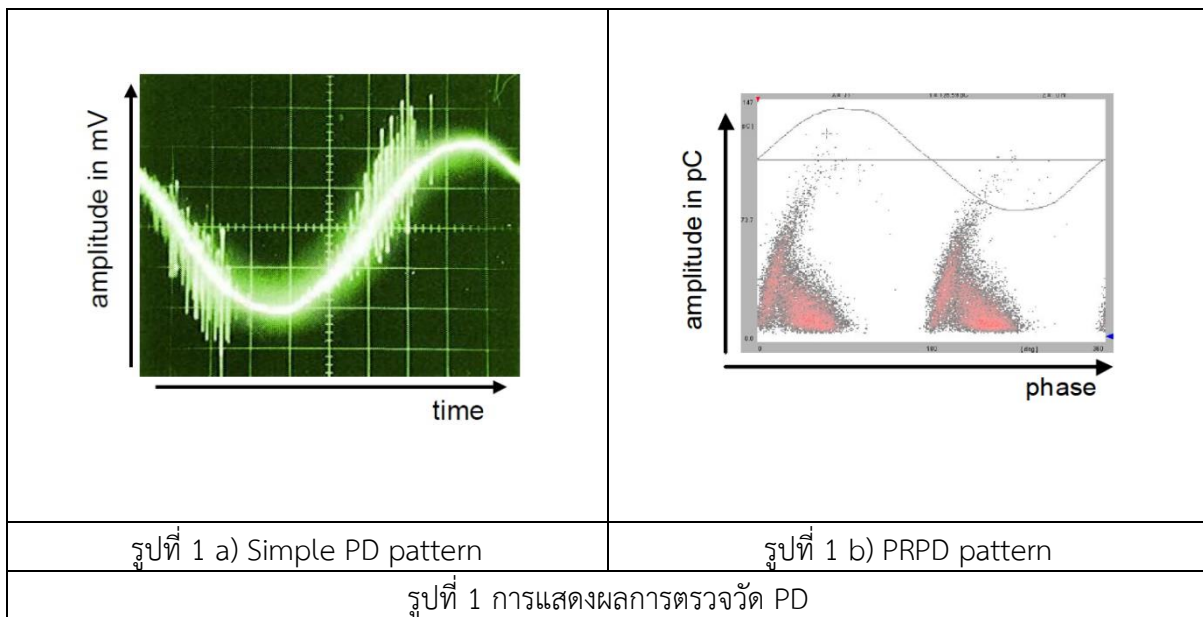
มีทั้งการทดสอบแบบ Off-line และ On-line ที่ Site หรือ Site Acceptance Test : SAT หรืออีกรูปแบบคือ PD on-line monitoring กับหม้อแปลงใหม่หรือหม้อแปลงที่ใช้งาน ซึ่งใช้ในการประเมินสภาพของหม้อแปลง

โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงการแปลผลการตรวจสอบ (Interpretation) และวิธีการระบุถึงตำแหน่งของการเกิด PD (Localization) เฉพาะสำหรับหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนน้ำมัน

การแปรผลและการประเมินผลการตรวจวัด PD

ในอดีตการแสดงผลการตรวจวัด PD จะแสดงในรูปแบบอย่างง่ายหรือที่เรียกว่า Simple PD pattern ดังรูปที่ 1 a) กล่าวคือเป็นกราฟของค่าแรงดันและ PD pulse ใน 1 cycle ซึ่งใช้ oscilloscope 2 channel เป็นเครื่องมือแสดงผล อย่างไรก็ตามในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา การแสดงผลการตรวจวัดได้เปลี่ยนเป็นแบบ Phase Resolving Partial Discharge หรือ PRPD ดังรูปที่ 1 b) ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยแสดงผลเป็น PD pulse ในหน่วย pC (ในวงจรที่ได้ Calibration แล้ว) รูปแบบ PRPD สามารถแสดงในกราฟได้ 3 มิติ โดยแกนตั้งคือ Amplitude ของ PD, แกนนอนคือตำแหน่ง phase และแกนที่ 3 คือจำนวนของการนับ แสดงผลในรูปแบบของสี ดังรูปที่ 1 b)

รูปแบบ PRPD เป็นข้อมูลที่ใช้ในการบอกจุดที่มีปัญหาในระบบฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยรูปแบบ PD pattern ต่างๆของหม้อแปลง ตามที่ในห้อง LAB ได้ทำการจำลอง อธิบายไว้ใน CIGRE-2000 ซึ่งในเอกสารนี้จะมีการแสดง PD pattern ที่เกิดขึ้นในระบบฉนวน รูปแบบเหล่านี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการระบุชนิดของแหล่งที่เกิดสัญญาณ PD ในขณะที่ทดสอบ Dielectric test ของหม้อแปลง สำหรับการแปรผลการตรวจวัดและการตัดสินใจความรุนแรงของ PD รูปแบบ PRPD มีข้อได้เปรียบที่สำคัญเมื่อเทียบกับรูปแบบ Simple PD pattern คือเรื่องของขนาดของ PD ที่แสดงผลในค่า pC



ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดสัญญาณ PD หลายแห่งในระบบฉนวนเดียวกัน การระบุประเภทของสัญญาณ PD จะบอกได้ยาก เนื่องจากสัญญาณมีการซ้อนทับกัน เหตุการณ์เช่นนี้อาจต้องอาศัยใช้วิธีการตรวจวัดในรูปแบบต่างๆร่วมกัน เช่น วิธีการวัดทางไฟฟ้า, Electromagnetic และ Acoustic PD เพื่อแยกแยะความแตกต่างระหว่างแหล่งกำเนิด PD

การหาตำแหน่งของแหล่งสัญญาณ PD

นอกเหนือจากการตรวจวัดขนาดของสัญญาณ PD และการระบุลักษณะชนิดของสัญญาณ PD แล้ว การหาตำแหน่งของแหล่งสัญญาณ PD ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการประเมินถึงความเสี่ยงและการตัดสินใจความรุนแรงของ PD ที่เกิดขึ้นในระบบฉนวน ก่อนที่จะทำการเปิดหม้อแปลงเพื่อซ่อมแซม เราควรมีการบอกถึงตำแหน่งของแหล่งสัญญาณ PD ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง

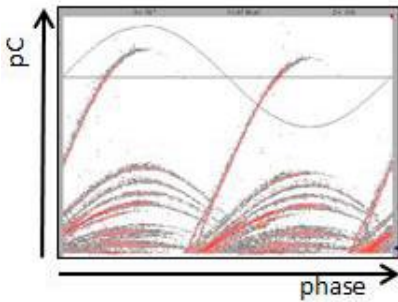
การตรวจวัด PD จาก สัญญาณ Acoustic PD และสัญญาณ UHF PD เป็นวิธีการที่ใช้ในการระบุหาตำแหน่งของแหล่งสัญญาณ PD วิธีการเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและประสบความสำเร็จ ในบางกรณีที่ยากที่สุดหากไม่พบสัญญาณจาก Acoustic PD การวิเคราะห์ผลการตรวจวัด PD ทางไฟฟ้าใน Time domain และ Frequency domain จาก Test tap ของ bushing ก็เป็นอีกทางเลือกในการระบุหาตำแหน่งแหล่งสัญญาณ PD ที่ซ่อนอยู่ภายในหม้อแปลงเอง

ภาพรวมของวิธีการแก้ไขปัญหา PD

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ PD pattern และ Calibration

การสอบเทียบระบบการตรวจวัด PD กับหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ ถือเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญ โดยการใช้ทั้ง Calibration coupling matrix (pC value) และแบบ Transfer function coupling matrix จะใช้ได้เฉพาะกับแหล่งกำเนิด PD ที่อยู่ใกล้ๆกับ Terminal ที่เราป้อนสัญญาณ Calibration ไป สำหรับแหล่งกำเนิด PD ที่อยู่ลึกๆในระบบฉนวน Coupling matrix อาจไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นขนาดของสัญญาณ pC ที่ปรากฏนั้นไม่ได้ถือเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าแหล่ง PD ที่ตรวจวัดนั้นมีความรุนแรงต่อระดับฉนวนของหม้อแปลงในระดับใด

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 1 จะทำให้เราทราบถึงประเภทของ PD ผ่านการพิจารณาในรูปแบบ PD pattern และตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการเกิดสัญญาณ PD ผ่านการวิเคราะห์สัญญาณใน Time domain และ Frequency domain ข้อมูลการออกแบบหรือ Layout ของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ ถือเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้ง Acoustic sensor หรือ UHF probe ในขั้นตอนที่ 2 โดย UHF probe หากเป็นไปได้ควรติดตั้งที่ตำแหน่ง Drain valve ของ Tank หม้อแปลง

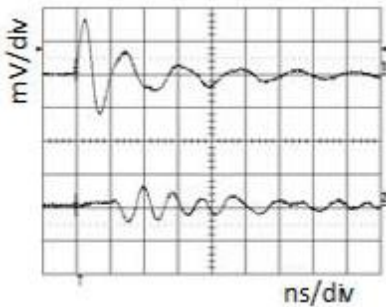


ตัวอย่าง PD pattern
ในการวิเคราะห์ PD pattern ที่ตรวจวัดจาก Bushing (ตาม IEC 60270) ในระหว่างการทดสอบ Induced voltage test และยืนยันว่าพบ PD ภายในระบบฉนวน

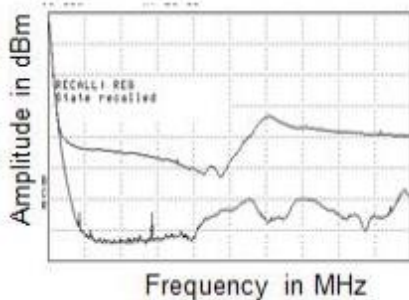
	U	V	W
U	100%	25%	17%
V	47%	100%	54%
W	18%	30%	100%
time	15:00	15:01	15:02

Coupling matrix
Calibration coupling matrix ใช้เพื่อกำหนดการ Coupling แต่ละ Terminal โดยที่ Pulse generator ถูกต่อกับ Terminal ที่มีค่า pC สูงที่สุดที่บันทึกไว้จากการทดสอบ PD ครั้งก่อน

การตรวจวัด PD โดยปกติจะใช้ PD sensor แบบ Wide band (สูงถึง 30 MHz)



สัญญาณ PD ใน Time domain
ตัวอย่าง Time domain ของสัญญาณจาก Coupling matrix เป็นการตอบสนอง RLC network ของหม้อแปลงที่ทำการสอบเทียบโดยการป้อนสัญญาณที่ตำแหน่งที่มีค่า PD สูงที่สุดที่ตรวจพบ



สัญญาณ PD ใน frequency domain
ตัวอย่าง Frequency domain ของสัญญาณจาก Coupling matrix เป็นการตอบสนอง RLC network ของหม้อแปลงที่ทำการสอบเทียบโดยการป้อนสัญญาณที่ตำแหน่งที่มีค่า PD สูงที่สุดที่ตรวจพบ

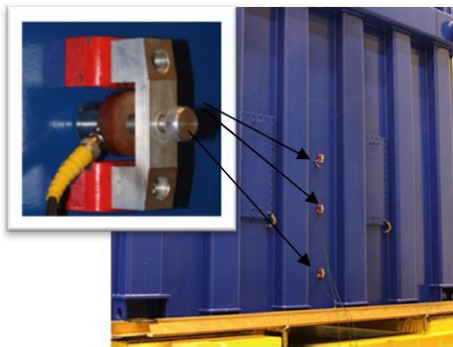
การบันทึก PD pattern และสัญญาณ PD ใน Time domain และ Frequency domain อยู่ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกันกับ Bushing ทุกตัว ที่มีสัญญาณ PD ปรากฏ

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้ง Acoustic sensor และ UHF probe

การวิเคราะห์เชิงลึกของข้อมูลที่ได้จาก Acoustic sensor และ UHF probe จะช่วยให้เราทราบถึงตำแหน่งของแหล่งกำเนิด PD หรืออาจเป็นข้อมูลเพื่อกำหนดในการดำเนินการขั้นตอนต่อไป เช่น การทดสอบ Applied voltage test เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งแหล่งกำเนิด PD

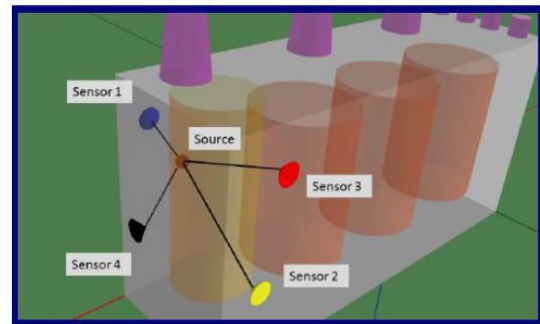
ลักษณะรูปร่างของ PD pattern ถูกสร้างขึ้นมาจากการวัดสัญญาณทางไฟฟ้า, Acoustic และ UHF สัญญาณที่ได้ควรคล้ายคลึงกันในทุกวิธีการที่เป็นสัญญาณมาจากแหล่งกำเนิด PD แหล่งเดียวกัน แต่อาจจะต้องเสมอไปสำหรับ PD pattern ที่เป็นสมมาตรแบบอย่างยิ่ง ในกรณีที่การระบุหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิด PD ด้วยสัญญาณ Acoustic และ/หรือสัญญาณ UHF ไม่สำเร็จ อาจนำไปสู่การหาตำแหน่งโดยตรงใน Active part (หม้อแปลงที่ไม่มีน้ำมัน) โดยการป้อนสัญญาณ Calibration ที่ตำแหน่งที่แนะนำโดยการวินิจฉัยก่อนหน้า

ตัวอย่างการติดตั้ง Acoustic sensors



จะติดตั้งที่ Tank ของหม้อแปลงตามโครงสร้าง

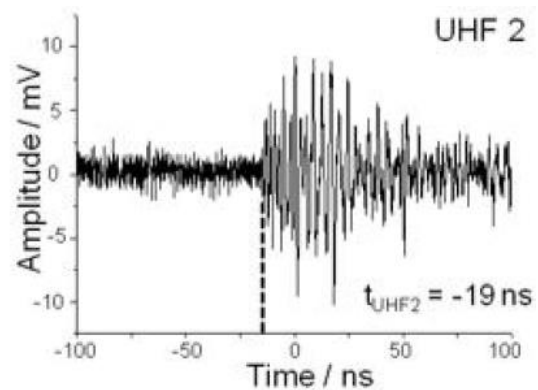
ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณ Acoustic ด้วย 3D software




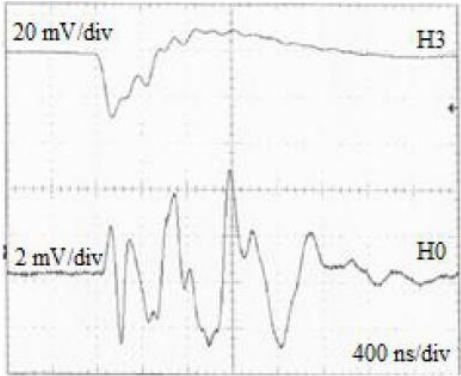
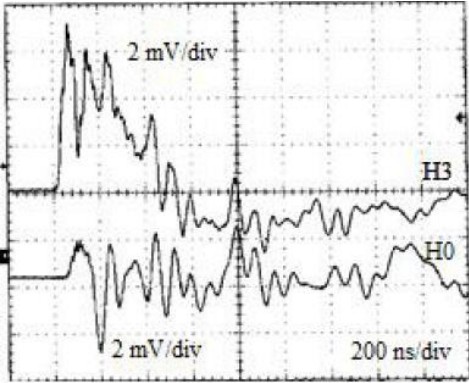
ตัวอย่างการติดตั้ง UHF probe



ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณ UHF



ขั้นตอนที่ 3 การจำลองแหล่งกำเนิด PD

	<p>การป้อนสัญญาณ Calibration ที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิด PD ที่ได้สันนิษฐาน</p> <p>การวัดการตอบสนองที่ Bushing หรือที่ lead ของ winding ที่ต่อกับ External coupling capacitance</p> <p>การเปรียบเทียบสัญญาณใน Time domain และ Frequency domain ที่บันทึกพร้อมกับการวัดการตอบสนองของ RLC network เพื่อเป็นการกระตุ้น โดยการ Calibration สัญญาณที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิด PD ที่สันนิษฐาน</p>
<p>สัญญาณ PD ที่ได้จากการทดสอบ</p> 	<p>สัญญาณ Calibration</p> 
<p>ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ PD ที่แท้จริงคือตำแหน่งที่ผลการตอบสนองต่อสัญญาณ Calibration ที่ป้อน โดยสัญญาณจะมีความใกล้เคียงกันที่สุดใน Time domain และ Frequency domain</p>	

แหล่งที่มา : Partial Discharges in Transformers Cigre TB.676 WG D1.29 February, 2017