

บทที่ 5

การตรวจสอบและประเมินสภาพนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในบทนี้จะอธิบายขั้นตอนของการตรวจสอบและประเมินสภาพนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีโครงสร้างซับซ้อนและประกอบด้วยหลายระบบ โดยเฉพาะระบบนวน จำเป็นอย่างยิ่งต้องได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามวาระการหยุดเดินเครื่อง การตรวจสอบและบำรุงรักษาที่ดี จะช่วยลดความเสียหายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่เดินเครื่อง ทั้งนี้โครงสร้างและระบบนวนต่างๆจะได้รับผลกระทบตลอดเวลา จากทางกล ทางไฟฟ้า ทางเคมี ความร้อน การสั่นสะเทือน ทำให้เกิดการสึกกร่อน การเสียดสี การหลุดหลวม การแตกร้าว ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและอาจก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงขึ้นได้ในอนาคต วิธีการซ่อมแซมแก้ไขที่ถูกต้อง ต้องเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น

สำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ฯ ได้กำหนดระยะเวลาบำรุงรักษาประเภท Time base เป็น 2 แบบคือการตรวจสอบย่อยประจำปี(Minor Inspection)ระยะเวลา 1-2 ปีต่อครั้งและการตรวจสอบและซ่อมใหญ่(Major overhaul) 4-5 ปี ต่อครั้งโดยพิจารณาจากส่วนประกอบที่เสียหายหรือเสื่อมสภาพจากการใช้งานอันเนื่องจากความร้อนได้ง่ายและรวดเร็วคือ กังหันไอน้ำและกังหันแก๊ส ส่วนที่เป็น Hot gas path โดยจะต้องมีการตรวจสอบและเปลี่ยนส่วนที่สึกหรออย่างเป็นเวลาแน่นอนดังนั้นจึงเป็น โอกาสที่สามารถเข้าทำการตรวจสอบปรับปรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน สำหรับ Routine Maintenance นั้นกระทำทุกวันและทุกสัปดาห์เป็นการตรวจชิ้นส่วนภายนอกและการหล่อลื่นชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวต่างๆไปเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาสำหรับบำรุงรักษาในช่วงการตรวจสอบย่อยประจำปี หรือ การตรวจสอบย่อยประจำปี

ปัจจุบันได้มีการนำการบำรุงรักษาแบบ Condition base เข้าประยุกต์ใช้งานด้านบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำการตรวจติดตาม Condition บางประการที่สำคัญเช่น การสั่นสะเทือน, อุณหภูมิขดลวด, การปล่อยประจุบางส่วน ที่เกิดขึ้นของระบบนวนของขดลวดสเตเตอร์รวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นและนำมาแปลความหมายวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพและความเสียหายที่เริ่มเกิดขึ้นมาในระหว่างการใช้งาน เพื่อเตรียมความพร้อม

และเข้าดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในช่วงวาระการหยุดเดินเครื่องในการบำรุงรักษาต่อไปอย่างตรงจุด ใช้เวลาน้อยและมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.1 การตรวจสอบสภาพ (Inspection)

เป็นการบำรุงรักษาที่กระทำต่อเนื่องไปกับการใช้งานของเครื่อง ได้แก่ ตรวจสอบ, ฟังเสียงผิดปกติ, ตรวจสอบข้อมูล พารามิเตอร์บางตัวโดยปฏิบัติสม่ำเสมอเป็นรายวันต่อครั้ง หรือสัปดาห์ต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และลักษณะงานตลอดจนความสำคัญของเครื่องนั้น ปัจจุบันการตรวจตรานี้ได้ถูกพัฒนาโดยมีการใช้เครื่องมือวัดและวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรขณะใช้งานที่ทันสมัยมาก สามารถตรวจวัดได้ตลอดเวลา(Condition Based)โดยไม่เป็นอุปสรรคในสายงานผลิต และนำผลที่ได้มาทำการวางแผนเข้าปรับปรุงและแก้ไขในวาระหยุดเครื่องซ่อมบำรุงที่จะถึงข้างหน้า

5.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในงานบำรุงรักษา

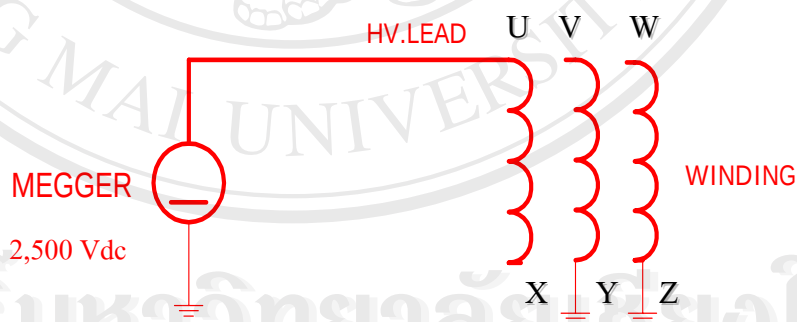
เครื่องกำเนิดไฟฟ้านับว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาถ้าหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดความเสียหายในขณะที่เดินเครื่องอาจจะต้องใช้เวลาในการซ่อมแซมเนื่องจากเครื่องกำเนิดมีขนาดใหญ่และราคาสูงจะไม่มี การสำรองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งตัว บางโรงไฟฟ้าอาจมีการสำรองในส่วนของคุณดัดที่อยู่กับที่และ Accessories อื่นๆ บางส่วน ถ้าหากคุณดัดเกิดความเสียหายอาจจะต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนคุณดัดใหม่เป็นเดือนๆทำให้กระทบต่อการผลิตและรายได้ ดังนั้นการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในงานบำรุงรักษาเป็นการทดสอบเชิงป้องกัน(Preventive Maintenance :PM) จะเน้นทดสอบคุณดัดที่อยู่กับที่และคุณดัดที่เคลื่อนที่เป็นหลัก โดยจะกระทำควบคู่ไปกับการตรวจสอบสภาพในส่วนต่างๆ และศึกษาข้อมูลประวัติผลการทดสอบที่ผ่านมา การทดสอบจะกำหนดตามลักษณะงานเช่น WI , MI , MO หรือตามปัญหาที่เกิดขึ้นเช่น งานซ่อมฉนวนบางส่วน งานเปลี่ยนคุณดัดใหม่เป็นต้น ซึ่งรายการทดสอบและรายละเอียดอาจแตกต่างกันโดยทั่วไปจะกำหนดขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ทดสอบก่อนเข้าทำการตรวจสอบสภาพหรือก่อนซ่อม เรียกว่า Pre- Test

2. ทดสอบภายหลังการตรวจสอบสภาพ ปรับปรุงแก้ไข(Recondition) หลังซ่อมหรือภายหลังทำความสะอาดและอบแห้ง(Clean & Dry-out)เรียกว่าการทดสอบสุดท้าย(Final Test)

5.2.1 การวัดค่าความต้านทานฉนวนกระแสตรง

วัตถุประสงค์ เพื่อวัดแสดงค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างขดลวดกับกราวด์ และระหว่างขดลวดกับขดลวดถ้าสภาพฉนวนมีความชื้นสูงและสกปรกจะมีค่าความต้านทานต่ำ ถ้าสภาพฉนวนสะอาดและแห้งจะมีค่าความต้านทานสูง ระดับแรงดันที่ใช้ทดสอบกำหนดตั้งแต่ 500-5000 โวลต์ดีซี. กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิด แรงดันสูงให้ใช้แรงดันทดสอบ 2500 โวลต์ดีซี. โดยแยกวัดทีละเฟส ขณะเดียวกันอีกสองเฟสที่เหลือให้ต่อลงกราวด์ แสดงตามรูปที่ 5.1 และ 5.2 จะได้ค่าความต้านทานฉนวนระหว่างขดลวดเฟสกับกราวด์ และกับขดลวดเฟสที่เหลือซึ่งต่อลงกราวด์ ถ้าหากไม่สามารถแยกเฟสได้เช่น งานเร่งด่วนไม่ได้แยก จุดต่อแบบสตาร์ให้ทดสอบแบบรวมสามเฟส โดยต่อปลายทั้งสามเฟสถึงกันด้วยตัวนำ จะได้ค่าความต้านทานฉนวนของทั้งสามเฟสเทียบกับกราวด์



รูปที่ 5.1 วงจรทดสอบขดลวดสเตเตอร์แบบแยกเฟส[7]



รูปที่ 5.2 การทดสอบความต้านทานของฉนวน [7]

การวิเคราะห์ผลทดสอบ

ค่าความต้านทานฉนวนต่ำสุดที่ยอมรับได้ที่เวลา 1 นาที อุณหภูมิฉนวนที่ 40 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน IEEE Std.43-2000 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าความต้านทานฉนวนต่ำสุด[7]

ค่าความต้านทานต่ำสุด($M\Omega$)	อุปกรณ์ที่ทดสอบ
$R_{l\ min} = kV + 1$	สำหรับขดลวด อาร์เมเจอร์ที่ผลิตก่อนปี ค.ศ. 1970 และขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Winding) ทั้งหมด
$R_{l\ min} = 100$	สำหรับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ผลิตหลังปี ค.ศ. 1970
$R_{l\ min} = 5$	สำหรับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่มีพิกัดแรงดันต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์.

หมายเหตุ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะผลิตหลังปี ค.ศ.1970 และพิกัดแรงดันสูงกว่า 1กิโลโวลต์อยู่แล้ว ดังนั้นค่าความต้านทานฉนวนที่เวลา 1 นาทีไม่ควรต่ำกว่า 100 เมกะโอห์ม

5.2.2 การทดสอบ Dielectric Absorption หรือ Polarization Index(PI)ของฉนวน

Polarization index : PI ขึ้นอยู่กับระดับชั้นของฉนวนชนิดของเครื่องจักรกลและสภาพของฉนวน ถ้าฉนวนสกปรก และมีความชื้นสูงจะมีค่า PI ต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าฉนวนสะอาดและแห้งจะมีค่า PI สูง ค่า PI หาได้โดยการนำค่าความต้านทานฉนวน(Insulation Resistance Value)ที่เวลา 10 นาทีหารด้วยค่าที่เวลา 1 นาที โดยต้องทำการทดสอบวัดค่าความต้านทานฉนวนเป็นเวลา 10 นาที ทั้งกรณีแยกเฟสและรวมเฟส และบันทึกผลการทดสอบ นำค่าที่ได้ไปแทนในสูตร

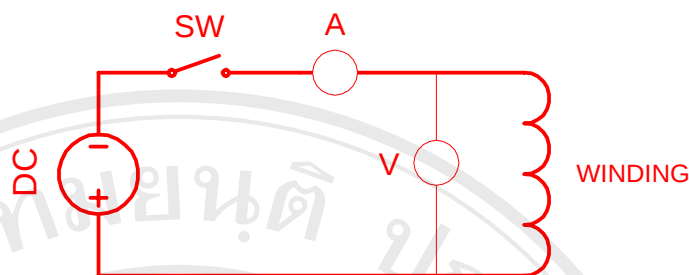
$$PI = R_{10 \text{ min}} / R_{1 \text{ min}} \quad (5.1)$$

ตารางที่ 5.2 ค่า PI ต่ำสุดที่ยอมรับได้มาตรฐาน IEEE Std.43-2000[7]

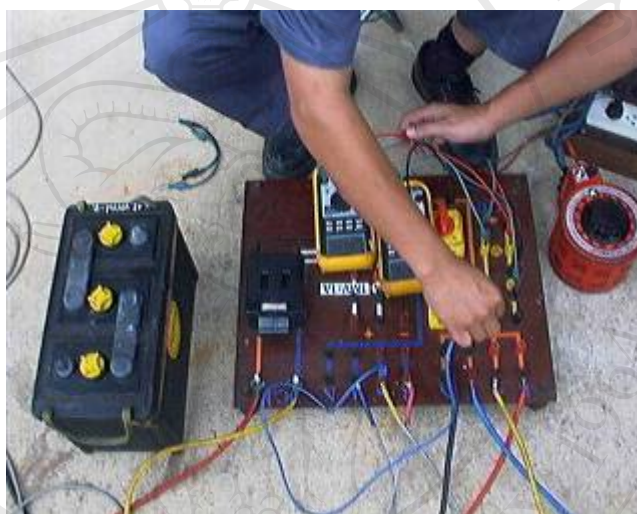
Thermal Class Rating	Minimum PI
Class A	1.5
Class B	2.0
Class F	2.0
Class H	2.0

5.2.3 การทดสอบวัดค่าความต้านทานของขดลวด

การทดสอบวัดค่าความต้านทานของขดลวด ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประเมินสภาพความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น ค่าความต้านทานของขดลวดโดยทั่วไปจะมีค่าต่ำมาก มีวิธีการทดสอบหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธี Drop of potential method (Volt – Amp. Method)แสดงตามรูปที่ 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 วงจรทดสอบวัดค่าความต้านทานของขดลวด[7]



รูปที่ 5.4 เครื่องมือขณะทดสอบวัดค่าความต้านทานของขดลวด[7]

การวัดค่าความต้านทานของขดลวดด้วยวิธีนี้ โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงโดยกระแสที่ไหลในขดลวดไม่ควรเกิน 15 แอมป์เพื่อหลีกเลี่ยงกระแสทาง กล (เนื่องจากกระแสสูงจะทำให้ขดลวดเกิดความร้อน ค่าความต้านทานแปรผัน ตรงกับอุณหภูมิ) ผ่านขดลวดที่ต้องการวัดจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว(Steady State) อ่านค่าแรงดัน และกระแสพร้อมกันนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามกฎของโอห์ม

$$R = E / I \quad (5.2)$$

R = ค่าความต้านทานที่วัดได้ มีหน่วยเป็น โอห์ม

E = แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โวลต์

I = กระแสมีหน่วยเป็น แอมแปร์

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ค่าความต้านทานขดลวดที่วัดได้ ณ อุณหภูมิอ้างอิงเดียวกันไม่ควรเบี่ยงเบนไปจากข้อมูล การทดสอบจากโรงงานผลิตหรือจากการวัดครั้งก่อน ค่าควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดและให้เปรียบเทียบระหว่างเฟสด้วย ค่าควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดเช่นกัน ถ้าหากค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากสันนิษฐานว่าการเกิดการหลวมภายในจุดต่อต่างๆ การวิเคราะห์ผลทดสอบกรณีเกิดข้อสงสัยต้องอาศัยประสบการณ์และข้อมูลผลทดสอบที่ผ่านมา เปรียบเทียบค่าความต้านทานรวมของขดลวดที่ปกติ กับที่เบี่ยงเบนไป ไม่สามารถกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนได้ ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานรวมของขดลวด จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเคยทดสอบพบที่ ขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ 1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนท่าทุ่งนาในปี พ.ศ.2539 ตามรูปที่ 5.5 จากผลการทดสอบพบว่าขดลวดเฟส B มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น 9.8เปอร์เซ็นต์ จึงทดสอบหาจุดหลวมจนพบและได้แก้ไขเป็นปกติ สามารถใช้งานได้จนถึงปัจจุบัน เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นน้อยมากถ้าหากไม่ได้รับการแก้ไขอาจเกิดการ วงจรเปิด(Open Circuit) ขณะจ่ายโหลดที่กระแสสูงๆ ความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจจะยากแก่การซ่อม

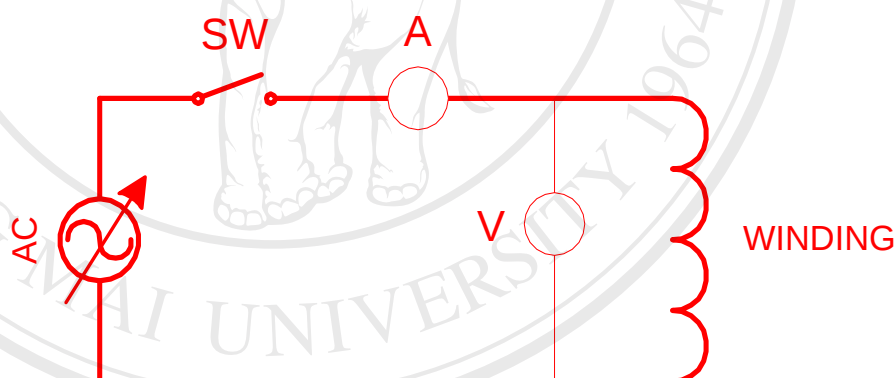


รูปที่5.5 การคลายของจุดต่อที่ขดลวดสเตเตอร์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนท่าทุ่งนาหน่วยที่1

5.2.4 การทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยทั่วไปชุดขดลวดอาร์เมเจอร์จะประกอบด้วยขดลวดขนาดเล็กหลายเส้นประกอบกันเรียกว่าลวดเกลียว(Strand) เป็นหนึ่งตัวนำ แต่ละลวดเกลียวจะหุ้มด้วยฉนวนเนื่องจากระหว่าง ลวดเกลียวจะมีความต่างศักย์กันอยู่ และจะต่อรวมกันที่ปลายทั้งสองด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีการ Transpose ระหว่าง ลวดเกลียวเพื่อให้ความต่างศักย์ระหว่างลวดเกลียวที่ปลายทั้งสองด้านมีค่าต่ำที่สุดหรือไม่มีเลยเพื่อลด Circulating Current ซึ่งมีผลทำให้ขดลวดเกิดความร้อน ประสิทธิภาพลดลง ถ้าหากภายในขดลวด เป็นผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไป การหหลวงของขดลวด กับร่องก็มีผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน

การทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์จะใช้วิธี Drop of potential method (Volt. Amp. Method)แสดงตามรูปที่ 5.6 และ 5.7



รูปที่ 5.6 วงจรทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด[7]



รูปที่ 5.7 วงจรทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด [7]

การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดด้วยวิธีนี้ โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับเข้าไปยังขดลวดโดยกระแสไม่น้อยกว่า 5 แอมแปร์. และไม่ควรเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ Rated Machine Current (เนื่องจากกระแสสูงจะทำให้ขดลวดเกิดความร้อน ค่าความต้านทานแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอิมพีแดนซ์และถ้าใช้กระแสต่ำเกินไปจะทำให้ผลทดสอบมีความคลาดเคลื่อนสูง) อ่านค่าแรงดัน และกระแสพร้อมกันนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามกฎของโอห์ม

$$Z = E / I \quad (5.3)$$

Z = ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้มีหน่วยเป็นโอห์ม

E = แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์

I = กระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์

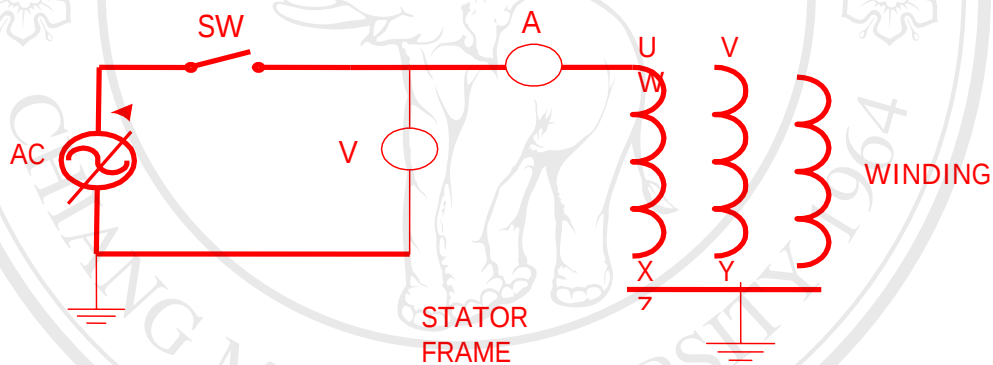
การวิเคราะห์ผลทดสอบ

ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดที่วัดได้ ณ อุณหภูมิอ้างอิงเดียวกันไม่ควรเบี่ยงเบนไปจากข้อมูล การทดสอบจากโรงงานผลิตหรือเกิดจากการวัดครั้งก่อนเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ค่าควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด และให้เปรียบเทียบระหว่างเฟสด้วย ค่าควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดเช่นกัน

5.2.5 การทดสอบวัดค่าความจุของขดลวด

เมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างตัวนำกับตัวนำ หรือระหว่างตัวนำกับกราวด์ จะมีค่าความจุเกิดขึ้นเสมอ ค่าความจุขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวกลาง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีค่าความจุระหว่างเฟสต่อกราวด์และ เฟสต่อเฟสโดยมีฉนวนและอากาศเป็นตัวกลาง ความแตกต่างทางด้านโครงสร้างมีผลกับค่าความจุ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำจะมีค่าความจุมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหัน เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่า ความแตกต่างทางด้านตัวกลาง เช่น ฉนวนชนิดต่างกัน การหลุดร่อนของ Semi Conducting Paint ภายในร่องการขั้วตัวของขดลวด และการเสื่อมสภาพของฉนวน

การทดสอบวัดค่า ความจุจะใช้วิธี Drop of Potential method (Volt - Amp. Method) แสดงตามรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 วงจรทดสอบวัดค่าความจุของขดลวด[7]

การวัดความจุของขดลวดด้วยวิธีนี้ โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 200 โวลต์ เข้าไปยังขดลวดเทียบกับกราวด์ (frame) อ่านค่ากระแสนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

$$C = \{(3.1818) \cdot I\} / E \quad (5.4)$$

C = ค่าความจุที่วัดได้มีหน่วยเป็นไมโครฟาราด

E = แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มีหน่วยเป็นโวลต์

I = กระแส มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์

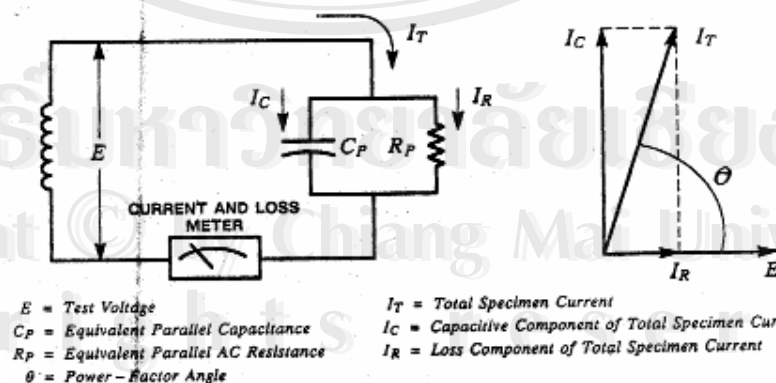
การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ค่าความจุที่วัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวัดครั้งก่อน ค่าควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด และให้เปรียบเทียบระหว่างเฟสด้วย ค่าควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดเช่นกัน โดยต้องสมมาตรกัน จากการที่ได้ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามโรงไฟฟ้าต่างๆ ในงานบำรุงรักษาตามวาระพบว่าค่าความจุมักไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เว้นแต่กรณีฉนวนมีค่าต่ำหรือกราวด์ การขยับตัวของขดลวดนั้นเป็นไปได้ยาก การทดสอบมักเป็นการทดสอบเพื่อเก็บประวัติ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดของเครื่อง AC Dielectric Strength Tester (AC. Hi-Pot) ในกรณีมีความจำเป็นต้องทดสอบ

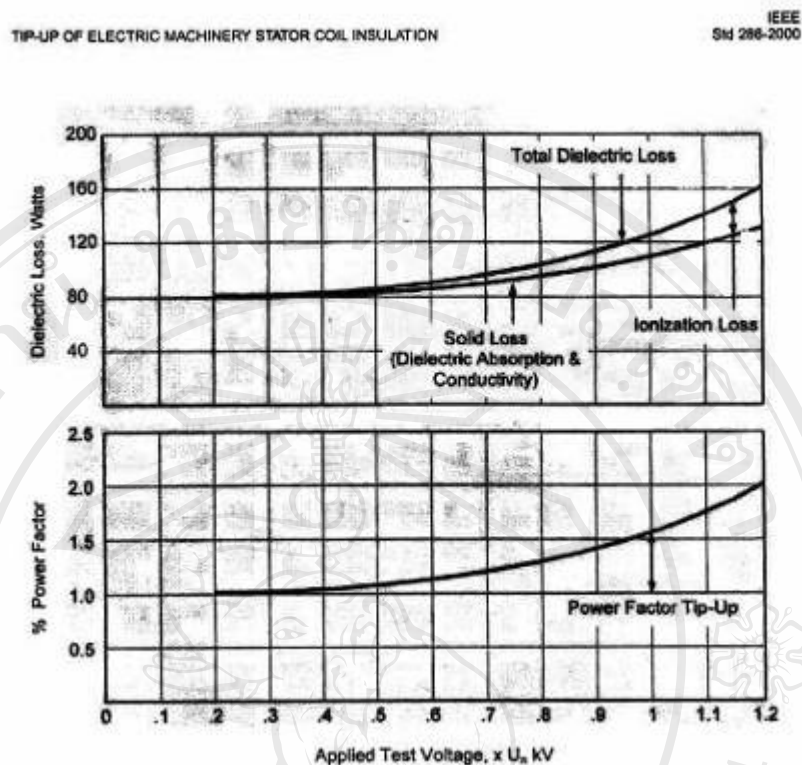
5.2.6 การทดสอบวัดค่ากำลังงานสูญเสียในระบบฉนวน

การทดสอบวัดค่ากำลังงานสูญเสียในระบบฉนวน (Insulation Power-factor Tip-up) เป็นการทดสอบหาค่ากำลังสูญเสียในระบบฉนวน ซึ่งจะออกมาอยู่ในรูปของ Watt Loss หรือ การสูญเสียกำลัง (Power Loss) และจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานร้อนในที่สุด หากมีมากจะมีผลต่อประสิทธิภาพการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลการทดสอบอย่างต่อเนื่องจะสามารถช่วยในการประเมินแนวโน้มการเสื่อมสภาพของระบบฉนวนได้ กำลังสูญเสียเปล่าในระบบฉนวนประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. กำลังงานสูญเสียเปล่าเนื่องจากสภาพนำไฟฟ้าของไดอิเล็กตริก มีความต้านทานไม่ถึง ค่านันต์
2. กำลังงานสูญเสียเปล่าเนื่องจากการเกิด Ionization หรือการปล่อยประจุบางส่วน



รูปที่ 5.9 ระบบฉนวนเมื่อได้รับไฟกระแสสลับ[7]



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่ากำลังงานสูญเสีย(Power Factor Tip – up)[7]

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบจะต้องเปรียบเทียบกับประวัติผลการทดสอบที่ผ่านมาตั้งแต่ก่อนนำเข้าใช้งาน(ถ้ามี) บำรุงรักษาตามวาระ ประวัติการซ่อม เปลี่ยนขดลวด เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ถ้าค่า ตัวประกอบกำลังและค่ากำลังงานสูญเสียในระบบฉนวนมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยตลอด แสดงว่าเริ่มมีการเสื่อมสภาพของฉนวนมาเป็นลำดับ ถ้าค่าดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น น้อยมากถือว่า ฉนวนมีสภาพปกติ ทั้งนี้ต้องอาศัยข้อมูลที่มีการทดสอบอย่างต่อเนื่อง การเสื่อมสภาพของฉนวนที่มีผลทำให้ค่า Watt Loss และการสูญเสียกำลังสูงขึ้น เนื่องจากมีโพรงอากาศเพิ่มขึ้น หรือโพรงอากาศเดิมมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยโพรงอากาศอาจมีได้ในเนื้อฉนวน ระหว่างฉนวนกับร่องระหว่างฉนวนกับตัวนำ เป็นต้น

5.2.7 การทดสอบความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้าของฉนวน

การทดสอบความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้าของฉนวน(Hi-Pot Test)เป็นการทดสอบแบบทำลายถ้าทดสอบไม่ผ่านฉนวนจะเสียสภาพความเป็นฉนวนอย่างถาวร เนื่องจากฉนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฉนวนแข็งในการออกแบบระบบฉนวนจะเผื่อค่า ความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้า(Dielectric Strength)ให้สูงกว่าแรงดันที่ใช้งานเนื่องจากในระบบไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะมี แรงดันเล็งเกิดขึ้นชั่วขณะ ซึ่งมีขนาดและรูปร่างสูงกว่าแรงดันใช้งานปกติ การออกแบบระบบฉนวนจะต้องให้สามารถทนแรงดันเหล่านี้ที่เกิดชั่วขณะได้

แรงดันที่ใช้ทดสอบมีทั้งไฟ AC และ DC

AC Hi-Pot Test(100%) ตามมาตรฐาน Ansi C50.1-1990

Test Voltage = $2E + 1$

Note.... E = Machine Rated Voltage Line to Line (kV.)

1 = 1 kV.

DC, Hi –Pot Test (100%) ตามมาตรฐาน IEEE Std.95-1977

Test Voltage = $(2E + 1) * 1.7$ หรือใช้แรงดัน AC Hi-Pot คูณด้วย 1.7

ตัวอย่าง

ต้องการทดสอบ Hi-Pot Test เพื่อตรวจรับขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ที่100%) แรงดันที่กำหนดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 13.8 kV.

กรณีทดสอบด้วย AC Hi-Pot Tester

Test Voltage = $(2 * 13.8) + 1$

= 28.6 kVac.

กรณีทดสอบด้วย DC Hi-Pot Tester

Test Voltage = $((2 * 13.8) + 1) * 1.7$

= 48.62 kVdc.

การทดสอบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ Site ส่วนใหญ่มักจะใช้ DC Hi-Pot Tester เนื่องจากผลของ Gen Insulation Capacitance ถ้าหากทดสอบด้วย AC Hi-Pot Tester จะมี Charging Current สูง Capacity ของเครื่อง AC Hi-Pot จะมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายไม่สะดวก และมีราคาแพง

องค์ประกอบที่มีผลต่อการภาวะสุดกำลังของฉนวนขณะทดสอบ

1. ขนาดของแรงดันทดสอบ
2. รูปร่างของแรงดันทดสอบ
3. ความถี่ของแรงดันทดสอบ
4. ระยะเวลาทดสอบ

การวิเคราะห์ผลทดสอบ

1. ขณะทดสอบให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น การเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติของ กระแสรั่ว โครโรนา แสง เสียง ถ้าไม่มีสิ่งใดผิดปกติตลอดระยะเวลาการทดสอบแสดงว่าฉนวนมีความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้าเพียงพอสามารถนำเข้าใช้งานได้
2. ถ้าฉนวนไม่สามารถทนได้จะภาวะสุดกำลังเสียสภาพความเป็นฉนวนทันที
3. กรณีเกิดความเสียหายบางส่วนอาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงอย่างผิดปกติของ กระแสรั่วคือถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆขณะกำลังจับเวลา และจากการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนหลังจากทำการทดสอบความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้าของฉนวนถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าก่อนการทดสอบความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้าของฉนวนค่อนข้างมาก

5.2.8 การทดสอบฉนวนระหว่างแกนเหล็ก

แกนเหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านับว่ามีความสำคัญ เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ถ้าหากฉนวนระหว่าง Lamination Sheet เกิดความเสียหายอาจจะเนื่องมาจากการเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูง การสั่นสะเทือน การถูกเสียดสี เป็นต้น อาจทำให้แผ่นเหล็ก Short ถึงกันทำให้เกิดกระแสไหลวนเกิดความร้อนขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพลดลง และอาจทำให้อายุของขดลวดใกล้เคียงเสียหายได้ การทดสอบในอดีตใช้วิธี การทดสอบวงรอบ (Loop Test) โดยใช้ตัวนำพันรอบแกนเหล็กป้อนกระแสไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็กที่ 80 – 100 เปอร์เซนต์ Rated Flux Density การทดสอบด้วยวิธี การทดสอบวงรอบจะใช้พลังงานมาก กระแสสูง มีอันตรายและสิ้นเปลือง ปัจจุบันมีเครื่องมือทดสอบที่สร้างสนามแม่เหล็กเพียง 4 เปอร์เซนต์ ก็สามารถตรวจวัดได้แล้วทำให้สะดวกรวดเร็วในการทดสอบเครื่องมือดังกล่าวเรียกว่า Electromagnetic Core Imperfection Detector (EL-CID)

ข้อเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบวงจรและการทดสอบ EL-CID

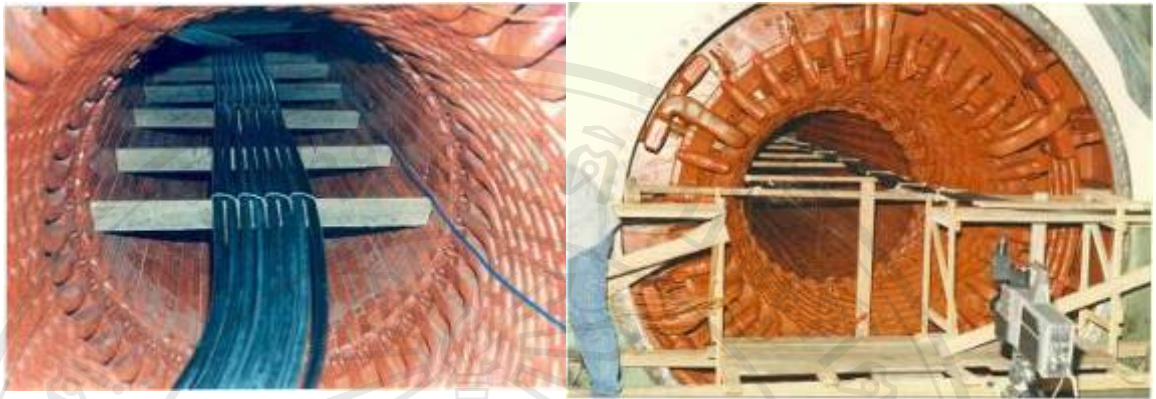
การทดสอบวงจร

1. ทดสอบโดยใช้ Rated Flux มีความเชื่อถือสูงถ้าผิดปกติมีความร้อนเกิดขึ้นจริง
2. ใช้พลังงานมาก สิ้นเปลืองพลังงาน การเตรียมการยุ่งยาก
3. ต้องรอเวลาจนกว่าความร้อนจะปรากฏ เนื่องจากตรวจจับด้วยความร้อน
4. การทดสอบเป็นขั้นตอนต่อเนื่องในงานซ่อมแกนเหล็กทำได้ช้า เนื่องจากต้องรออุณหภูมิเย็นลงก่อน
5. ประหยัดค่าเครื่องมือ ใช้เครื่องมือ และทรัพยากรซึ่งมีอยู่แล้ว

การทดสอบ EL-CID

1. ใช้พลังงาน 4 เปอร์เซ็นต์จะไม่เกิดความร้อน ความน่าเชื่อถืออยู่ที่เครื่องมือและผู้ทดสอบ
2. ใช้พลังงานน้อย เตรียมงานง่าย
3. ตรวจวัดได้ทันที เนื่องจากเป็นการวัดทางไฟฟ้าไม่ต้องรออุณหภูมิ
4. ทดสอบต่อเนื่องเป็นขั้นตอนในงานซ่อมได้ทันที ช่วยให้งานซ่อมเร็วขึ้น
5. เครื่องมือทดสอบมีราคาสูง

การทดสอบ Stator Core Loop



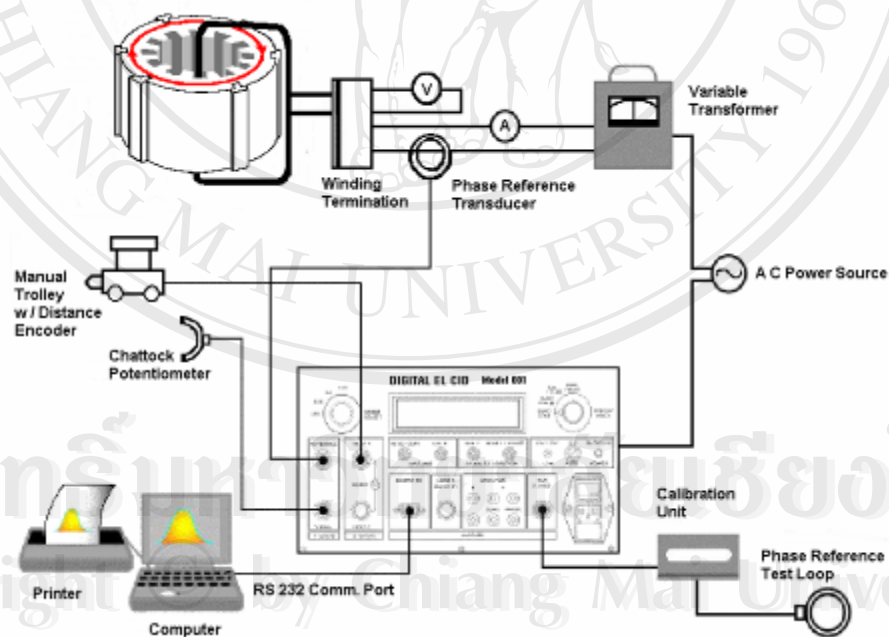
รูปที่ 5.11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ 1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ทำการทดสอบประเมินสภาพแกนของส่วนที่อยู่กับที่ ภายหลังจากการใช้งานมายาวนาน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ 3 โรงไฟฟ้าพระนครใต้ ทำการทดสอบตรวจหาจุดเสียหายทั้งก่อนและหลังการซ่อมแซมแกนของส่วนที่อยู่กับที่ที่เสียหายจาก ลืมตัวหมุน นึกขาดกระเด็นออกมาดีและชุด แกนของส่วนที่อยู่กับที่ขณะเดินเครื่อง[7]



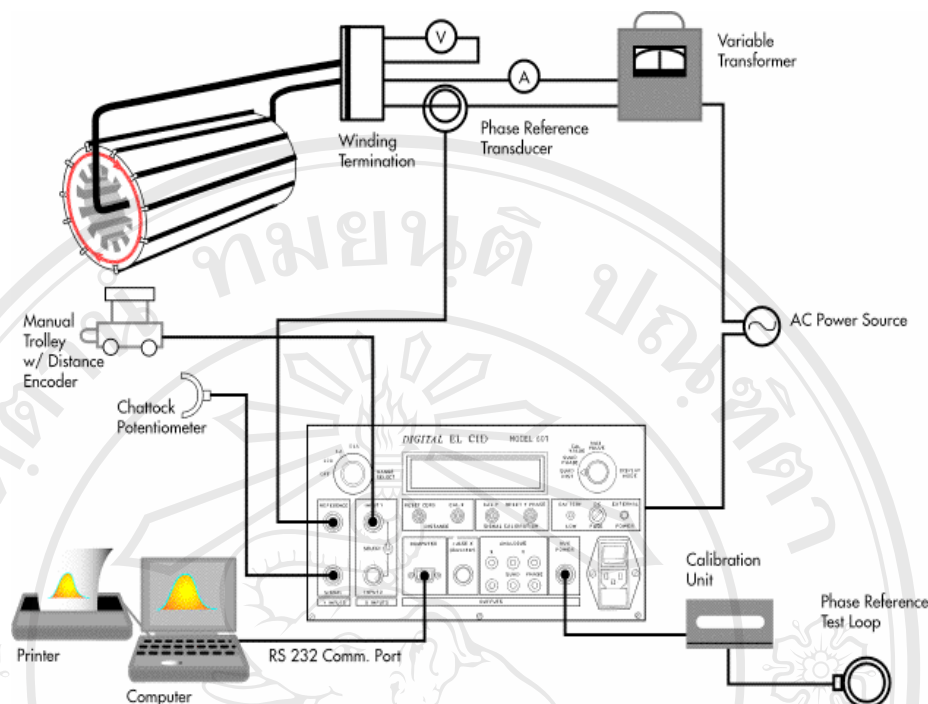
รูปที่ 5.12 การทดสอบ Stator Core EL - CID [7]



รูปที่ 5.13 เครื่องทดสอบ EL-CID [7]



รูปที่ 5.14 วงจรทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ[7]



รูปที่ 5.15 วงจรทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน[7]

5.3 การตรวจสอบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การตรวจสอบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นทำได้หลายวิธีดังนี้

5.3.1 การตรวจสอบด้วยสายตาการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้เกิดผงฝุ่นสีขาว เทา แดง น้ำตาล หรือ ดำ ติดอยู่ บริเวณ นั้น แต่ทราบผงฝุ่นจากตรวจสอบภาพแต่ละครั้งควรวิเคราะห์ ให้แน่ชัดว่าเป็นผงฝุ่นที่เกิดจากการปล่อยประจุบางส่วนหรือเกิดจากการขัดสีของฉนวนเนื่องจากสั่นในขณะเดินเครื่อง นอกจากนี้ถ้าฉนวนเป็นสารอินทรีย์ก็อาจมีร่องรอยการไหม้เกรียมขึ้น ได้ซึ่งวิธีนี้จะใช้ตรวจสอบในกรณีหยุดการเดินเครื่อง

5.3.2 การทดสอบทางไฟฟ้าซึ่งสามารถทำได้ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังเดินเครื่องและขณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเครื่อง
ข้อดีสำหรับการทดลองในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังเดินเครื่อง

- สามารถวัดการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นจริงในขณะใช้งาน

- เป็นการวัดในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับความเครียดครบถ้วนทั้งทางด้านความเครียดทางไฟฟ้า ,ความเครียดทางกลในขณะที่การทดสอบในขณะที่หยุดเครื่องฉนวนจะรับเพียงความเครียดทางไฟฟ้าเท่านั้น
- การทดสอบไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันขนาดใหญ่เพราะแรงดันกำเนิดจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันโดยตรง
- การทดสอบสามารถกระทำได้ตลอดเวลาที่ต้องการโดยไม่หยุดเครื่อง ทำให้เวลาที่มีไฟใช้(Availability) ของเครื่องสูงขึ้น และยังสามารถทราบถึงสภาพของฉนวนได้ตลอดเวลาโดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่อง

5.4 คุณสมบัติเด่นสำหรับ เครื่องมือวัดและวิเคราะห์ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยโดย กองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า มีเครื่องมือวัดและวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วนแบบ On-Line TGA-B สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันผลิตโดยบริษัท IRIS Engineering ประเทศแคนาดา เป็นเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนที่รับจากตัววัดขนาด 80 พิโคฟาราด ติดตั้งที่ ก่อตั้งจุดต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันมีลักษณะเด่นและคุณสมบัติในการวัดและวิเคราะห์ โดยใช้หลักการของ Directional Time of Arrival of Noise Discrimination วัดและวิเคราะห์สัญญาณดังกล่าวแบบ Digital signal measurement and analysis ซึ่งวิธีวัดระบบตัวเลข นี้ไม่มีในเครื่องมือวัดที่ผลิตโดยบริษัท KES และบริษัท ADWEL (ทั้ง 2 แห่งเป็นแบบ Analog)

Directional Time of Arrival of Noise Discrimination จะเป็นการแยกแยะสัญญาณที่เข้าสู่เครื่องวัดที่มีทิศทางของการเข้ามาที่แน่นอน ทำให้ทราบทันทีว่า สัญญาณที่เข้ามานั้น สัญญาณใดมาจากภายนอกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสัญญาณใดมาจากภายใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและนำสัญญาณทั้งหมดมาวิเคราะห์ ด้วยหลักการของ Time Domain, Frequency Domain และ ซอฟต์แวร์แตกต่างจากเครื่องมือวัดของบริษัทอื่นๆที่กล่าวมา ซึ่งจะใช้หลักการกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ(Noise & signal outside of Generator) โดยใช้หลักการ Differential Time of arrival ที่เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีโครงสร้างขดลวดขนาดใหญ่เช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำเช่นเดียวกันกับเครื่องมือรุ่นเก่าของ

การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทยที่มีอยู่และใช้งานสำหรับตรวจวัด โรงไฟฟ้าพลังน้ำเท่านั้น สำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมราชบุรีได้ใช้เครื่องวัด TGA-B ทำการวัดเนื่องจากเครื่องมือวัดแบบเก่าไม่สามารถใช้งานได้

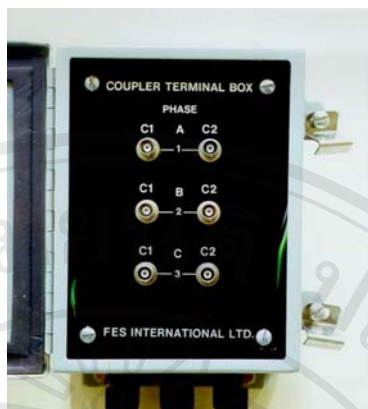
จุดเด่นข้างต้นอยู่ที่ สัญญาณทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์และแปลความหมายเพื่อนำมาใช้งานต่อไปดังเช่นการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดข้างนอก เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก็ถูกวิเคราะห์และแสดงผลออกมาซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้เป็นต้น โดยที่เครื่องมือวัดอื่นๆจะกำจัดสัญญาณที่เกิดภายนอกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นหลัก

จุดเด่นที่สำคัญอยู่ที่ประสิทธิภาพการติดตั้งและการวิเคราะห์จำนวนมากทั่วโลกของบริษัท IRIS ได้ถูกนำมาใช้งานเป็นฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อสนับสนุนกับผู้ใช้งานในขณะที่ยังมีบริษัทอื่นที่มีประสิทธิภาพและข้อมูลน้อยกว่า (การอ้างอิง มีน้อยกว่ามาก)

5.5 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน

อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

5.5.1 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วน(Coupling Capacitor)ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้น และส่งไปยัง กล้องจุลทรรศน์ ตลอดเวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องอยู่ เมื่อต้องการวัดการปล่อยประจุบางส่วน ก็นำเครื่องวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วน(Partial Discharge Analyzer)มาต่อที่กล้องจุลทรรศน์ก็จะสามารถวัดได้ทันที หรือจะต่อเครื่องวัดแบบOn-line ตลอดเวลาก็ได้ คุณสมบัติของตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนจะต้องเป็นหลอดการปล่อยประจุบางส่วน กล่าวคือตัววัดจะต้องไม่มี การปล่อยประจุบางส่วนเกิดขึ้น และมีค่าตัวเก็บประจุ 80 พิโคฟาราด เป็นHPF(High Pass Filter) ความถี่ในย่านของการปล่อยประจุบางส่วนจะสามารถผ่านได้ดี โดยทั่วไปที่ใช้จะมี 2 แบบด้วยกันคือ

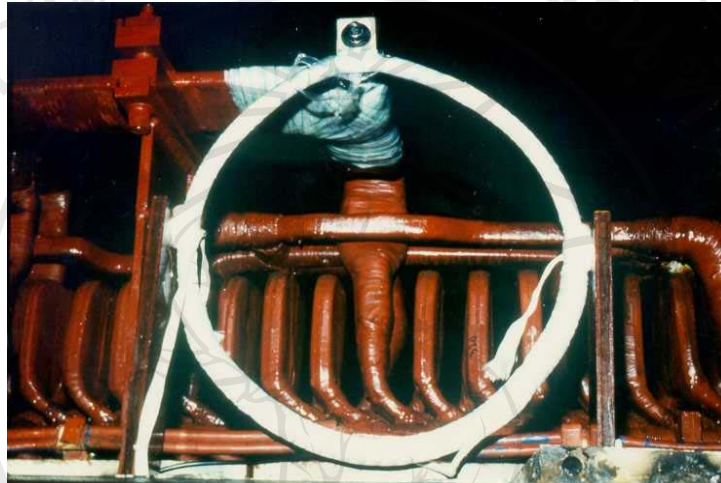


รูปที่ 5.16 กล่องจุดต่อ[ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย]

5.5.2 ตัวเก็บประจุแบบสายเคเบิล(Cable Capacitor) จะต้องเป็นสายเคเบิลแรงดันสูงที่สามารถทนแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ และผ่านการทดสอบความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้า , การปล่อยประจุบางส่วนและตัวเก็บประจุตามมาตรฐานกำหนด ในอดีต ที่ผ่านมาโรงไฟฟ้าเก่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยไม่มีการตรวจวัดการปล่อยประจุบางส่วนมาก่อน ต่อมาเริ่มมีการติดตั้งตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนในโรงไฟฟ้าเก่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า เมื่อประมาณปี 2533 โดยเริ่มที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิริกิติ์เป็นแห่งแรกโดยใช้สายเคเบิลแรงดันสูงทำเป็นตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ (Coupling Capacitor) ซึ่งหาได้ง่ายและสามารถทำเองได้ ไม่ต้องสั่งซื้อ ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อจากต่างประเทศ ต่อมาในระยะหลังโรงไฟฟ้าที่สร้างใหม่หรือโรงไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงจะระบุในคุณสมบัติ.ให้ติดตั้งตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนด้วย และในระยะหลังนี้ได้ มีการพัฒนามาใช้ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนชนิดEMC (Epoxy Mica Capacitor) แทน ซึ่งสายเคเบิลแรงดันสูงนั้นเมื่อใช้สักระยะอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพได้ และอาจส่งผลทำให้ความผิดพลาดในการวัดการปล่อยประจุบางส่วนได้

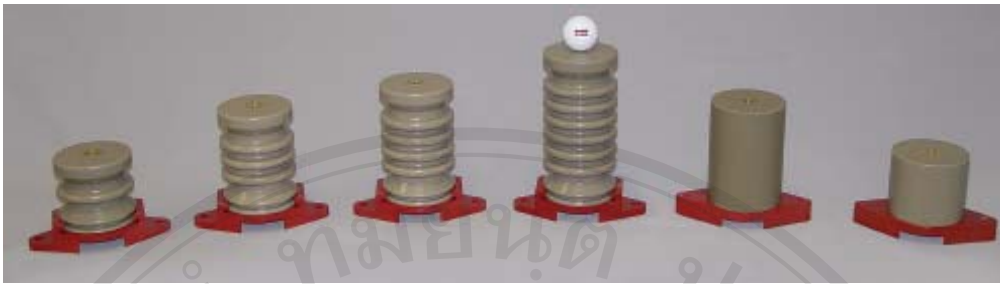


รูปที่ 5.17 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนทำด้วยสายเคเบิลแรงดันสูง[บริษัท Iris Engineerring]



รูปที่ 5.18 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนทำด้วยสายเคเบิลแรงดันสูงขณะทำการติดตั้งที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อน สิริกิติ์

5.5.3 ตัวเก็บประจุแบบอีพ็อกซี-ไมก้า(Epoxy-Mica Capacitor:EMC) ตัวเก็บประจุแบบอีพ็อกซี-ไมก้าผลิตขึ้นมาสำหรับใช้วัดสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน โดยเฉพาะ มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับระดับแรงดันที่ใช้งานดังรูปที่ 5.19 แต่จะมีค่าปริมาณความจุ เท่ากันคือ 80 พิโคฟาราด. ตัวเก็บประจุแบบอีพ็อกซี-ไมก้าทำจากวัสดุ อีพ็อกซี-ไมก้า ทนแรงดันสูงได้ดีและไม่มีการปล่อยประจุบางส่วน ใช้งานได้ทนทาน และจะต้องผ่านการทดสอบ ความแข็งแรงเชิงกำลังไฟฟ้าการปล่อยประจุบางส่วนและค่าปริมาณความจุตามมาตรฐานกำหนด ก่อนนำไปใช้งาน จากข้อมูลการติดตั้งใช้งานทั่วโลกยังไม่พบตัวเก็บประจุแบบอีพ็อกซี-ไมก้าทำงานล้มเหลว ทำให้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดการผลิต



รูปที่ 5.19 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนชนิดตัวเก็บประจุแบบอีพ็อกซี่-ไมก้าแต่ละขนาด
[บริษัท Iris Engineering]



รูปที่ 5.20 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนชนิดอีพ็อกซี่-ไมก้าขนาด 80 พิโคฟาราดที่ติดตั้ง
ที่โรงไฟฟ้าราชนรี

5.5.4 เครื่องวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วน(Partial Discharge Analyzer :PDA) คืออุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนซึ่งสามารถวัดการเกิด การปล่อยประจุบางส่วนในขณะที่ เครื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องได้ดังรูปที่ 5.21 เครื่องวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วนจะรับสัญญาณการปล่อยประจุ บางส่วนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยผ่านซึ่งเป็นตัวเก็บประจุ จากนั้นจึงนับอัตรา การเกิดของพัลส์การปล่อยประจุบางส่วนแต่ละขนาดแสดงผลออกมาให้เราทราบ

โดยมีซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนเครื่องวัดการปล่อยประจุบางส่วนแบ่งได้หลัก ๆ 2 แบบ ด้วยกันตามประเภทของโรงไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 5.21 เครื่องวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วน[ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย]

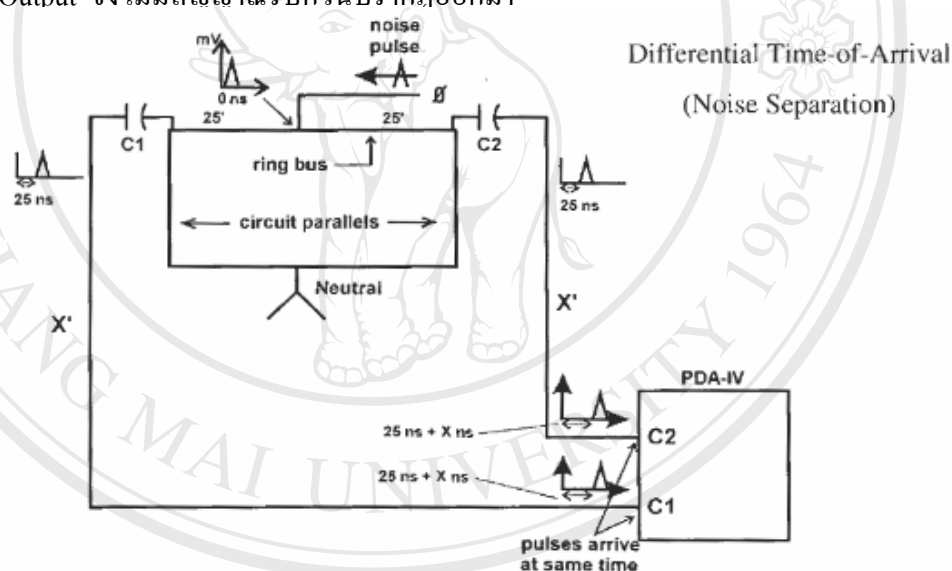
5.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีพื้นที่ว่างภายในฝากรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าค่อนข้างมาก การติดตั้งตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนจะติดที่ Ring Bus ของแต่ละเฟส โดยติดตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนเฟสละ 2 ตัว เป็นอย่างน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวน ขนานของขดลวดคั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ตัว จะติดตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนอย่างน้อย 6 ตัว การติดตั้งตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนแบบนี้ เรียกว่า แบบ Differential

สิ่งที่นำมาพร้อมกับสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนก็คือ สัญญาณรบกวนจากระบบ ดังนั้นเพื่อความถูกต้องแม่นยำของการวัดจึงต้องมีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปโดยไม่กระทบต่อสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน เครื่องวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วนสำหรับ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีหลักการจัดสัญญาณรบกวนดังนี้

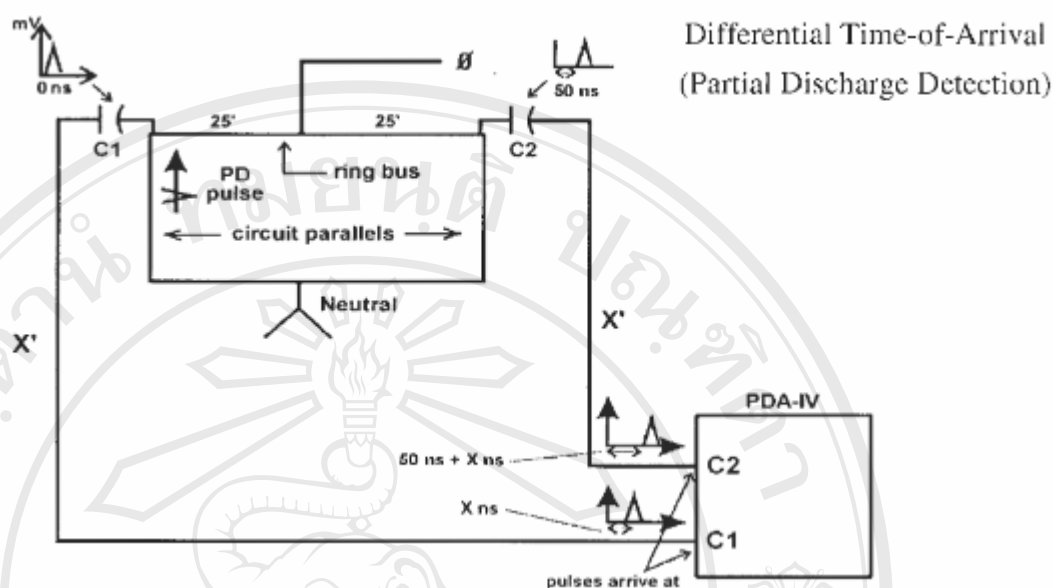
5.6.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนจากระบบ

จากรูปที่ 5.22 ขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นแบบ 2 Parallel จะมีการติดตั้ง คู่ต่อ(Coupling) ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่คู่ Parallel ของขดลวด ทั้ง 3 เฟส ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อนี้ทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่สูง เช่น พัลส์การปล่อยประจุบางส่วน หรือสัญญาณรบกวน และลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ เช่น แรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นต้น เมื่อมีการจัดตำแหน่งที่ติดตั้ง ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อและความจากสายจากตัวเก็บประจุมายังกล่องจุดต่อและเครื่องวัดการปล่อยประจุบางส่วน(PDA-IV) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Differential Amplifier ให้เหมาะสม สัญญาณรบกวนซึ่งเข้ามาจากสายเชื่อมต่อจะมาถึงขั้วทั้งสองของ Diff Amp.(C1,C2) พร้อมกัน Diff Amp.จะนำสัญญาณที่ขั้วทั้งสองมาหักล้างกันที่ Output จึงไม่มีสัญญาณรบกวนปรากฏออกมา



รูปที่ 5.22 การกำจัดสัญญาณรบกวน[8]

กรณี ซึ่งเกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้นที่ขดลวดของ Parallel หนึ่ง (ด้านตัวเก็บประจุ C1) สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจะเดินทางไปถึงตัวเก็บประจุ C1 ก่อนตัวเก็บประจุ C2 สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจะเดินทางมาถึงขั้วทั้งสองของ Diff Amp. ไม่พร้อมกันจึงมีสัญญาณปรากฏที่ Output ของ Diff Amp. (PDA-IV) ดังรูป ที่ 5.23



รูปที่ 5.23 สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นบนขดลวด[8]

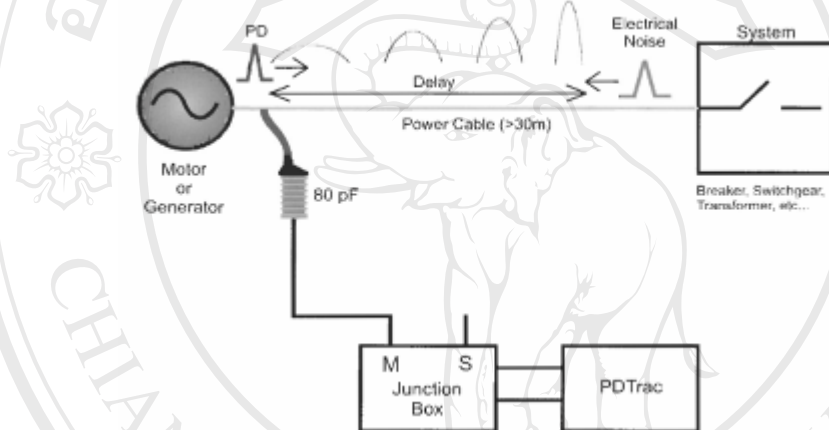
5.6.2 การกำจัดสัญญาณรบกวนจากระบบแบบนี้มีข้อจำกัดดังนี้

- จะต้องมิดัเก็บประจุเชื่อมต่ออย่างน้อย 2 ตัวใน 1 เฟส
- ตำแหน่งที่จะติดตั้ง ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อและความยาวของสายนำสัญญาณมีความสำคัญมากจะต้องมีการคำนวณอย่างถูกต้องและต้องมีการชิมมูละสัญญาณรบกวนจากระบบ และวัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปเพื่อให้สัญญาณซึ่งมาจากระบบ เช่น สัญญาณรบกวนหักล้างกันเองและไม่ปรากฏที่เอาต์พุตของ Diff Amp และเมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้นจะต้องมีพัลส์การปล่อยประจุบางส่วนปรากฏที่เอาต์พุต
- การติดตั้งตัวเก็บประจุเชื่อมต่อภายในตัวขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นการติดตั้งอย่างถาวรผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับจนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

5.7 โรงไฟฟ้าพลังความร้อน

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการปล่อยประจุบางส่วนที่จะกล่าวถึงนี้หมายถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันทั้งหมด คือ ขั้วต่อ, กังหันแก๊สและ Combine Cycle รวมถึง มอเตอร์แรงสูงที่มีพิกัด แรงดันตั้งแต่ 3.2 กิโลโวลต์ ขึ้นไป เทคนิคการติดตั้งจะแตกต่างไปจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เนื่องจากภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน และ มอเตอร์แรงสูงมีพื้นที่จำกัดไม่สามารถติดตั้งตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนได้ ดังนั้นจึงติดตั้งตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนที่บัส ภายนอก การติดตั้งมี 2 แบบ ดังนี้

5.7.1 แบบ 1 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส

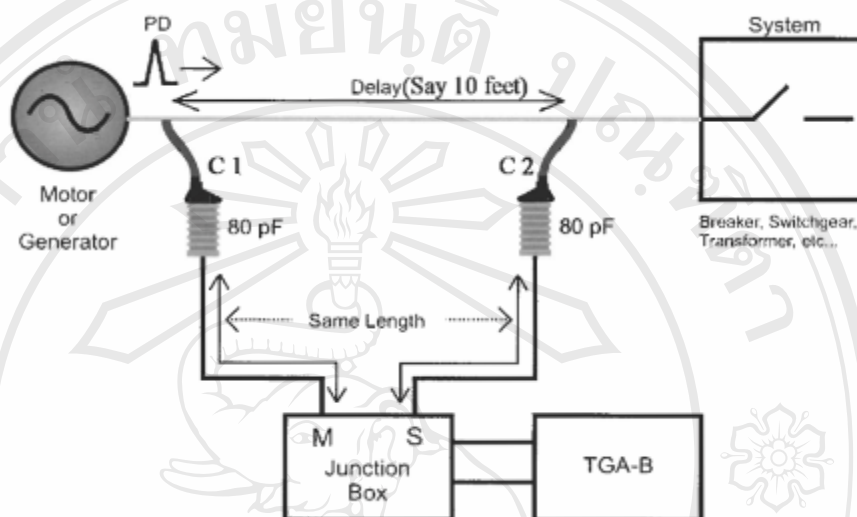


รูปที่ 5.24 การต่อแบบ Single-End (1 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส)[8]

จากรูปที่ 5.24 การติดตั้งแบบ 1 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ตัวใช้ 3 ตัวเก็บประจุ วิธีนี้เหมาะสมสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ที่มีสายเชื่อมต่อเป็นสายไฟฟ้าที่มีความยาวตั้งแต่ 30 เมตรขึ้นไป โดยส่วนมากจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และ มอเตอร์แรงสูงซึ่งสายไฟฟ้าสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนจากระบบได้โดยไม่ต้องมีสัญญาณรบกวนการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นจะผ่านตัววัดตัวเก็บประจุการปล่อยประจุบางส่วน 80 พิโคฟาราดที่มีอยู่เฟสละ 1 ตัวมายังกล่องจุดต่อและสามารถนำเครื่องวัดสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนมาต่อวัดการปล่อยประจุ

บางส่วนของ กล่องจุดต่อได้ทันทีขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์นั้นยังทำงานอยู่

5.7.2 แบบ 2 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส

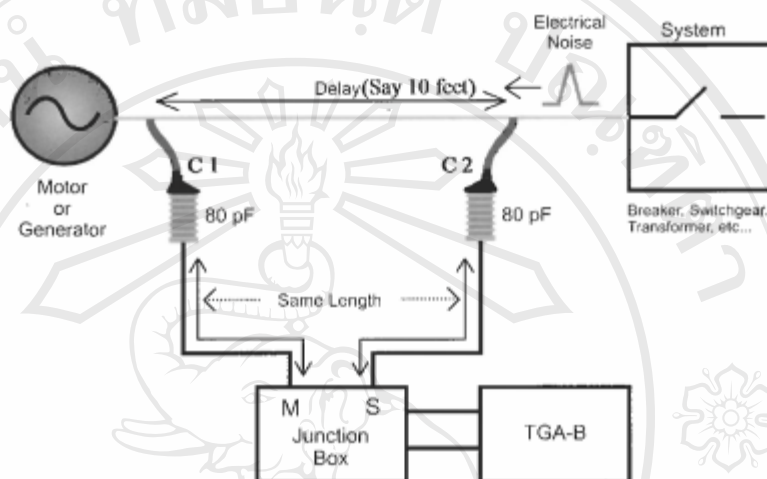


รูปที่ 5.25 การต่อแบบDouble-End (2 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส)[8]

จากรูปที่ 5.25 การติดตั้งแบบ 2 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีสายเชื่อมต่อเป็นIPB หรือNPB การติดตั้งระยะห่างระหว่างตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนจะต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 10 ฟุต โดยตัววัดการปล่อยประจุบางส่วน ด้านM(Machine) ควรติดตั้งใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากที่สุด และ ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วน C2 ด้าน S(System) ติดตั้งห่างจาก C1 ออกไปอีกไม่น้อยกว่า 10 ฟุต เป็นวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยให้การประวิงเวลาระหว่าง ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วน C1และC2 มีน้อยกว่า 5 nS เมื่อมีการปล่อยประจุบางส่วนเกิดขึ้นมาจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจะมาถึง C2 ที่หลังโดยห่างกันไม่น้อยกว่า 5nS เครื่องวัดการปล่อยประจุบางส่วน(TGA-B) สามารถรับรู้สัญญาณที่ได้รับคือการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดมาจากขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อมีสัญญาณรบกวนมาจากระบบตัววัดการปล่อยประจุบางส่วน C2 จะได้รับสัญญาณรบกวนก่อนตัววัดการปล่อยประจุบางส่วน C1 เครื่องวัดการปล่อย

ประจุบางส่วน (TGA-B) สามารถรับรู้ว่าเป็นสัญญาณรบกวนจากระบบ เครื่องวัดจะแยกสัญญาณรบกวนออกจากการปล่อยประจุบางส่วนและแสดงผลออกมาทั้งการปล่อยประจุบางส่วนและสัญญาณรบกวนโดยแยกจากกันทำให้เราทราบขนาดทั้งของการปล่อยประจุบางส่วนและสัญญาณรบกวน ดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 การต่อแบบDouble-End (2 ตัววัดการปล่อยประจุบางส่วนต่อเฟส)[8]

อนึ่ง เทคนิคการตรวจวัดการปล่อยประจุบางส่วนสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันนั้นยังมีนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วเช่น HFCT(High Frequency Current Transformer), SSC (Stator Slot Coupler)แต่ไม่สามารถเป็นที่แพร่หลายส่วนมากใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่

ตารางที่ 5.3 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศทำการวัดปริมาณการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้เครื่องมือวัดการปล่อยประจุบางส่วนรุ่น TGA วัดที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่5.3 Bus-air-cooled(TGA) [ฐานข้อมูลของบริษัท Iris Power Engineering]

Rated V	BUS 2-4	BUS 6-8	BUS 10-12	BUS 13-15	BUS > 16
Avg	117	99	190	222	267
Max	3200	1942	3200	3314	3200
25%	7	17	35	44	37
50%	27	42	88	123	69
75%	100	116	214	246	195
90%	242	247	454	508	615

ตารางที่ 5.4 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ขนาดต่างๆ ทำการวัดปริมาณการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้เครื่องมือวัดการปล่อยประจุบางส่วนรุ่น PDA

ตารางที่ 5.4 PDA-air-cooled [ฐานข้อมูลของบริษัท Iris Power Engineering]

Rated V	6-9kV	10-12kV	13-15kV	16-18kV	> 19kV
Avg	115	227	312	373	290
Max	1870	3410	3680	3548	3552
25%	21	42	38	93	97
50%	38	74	96	213	157
75%	78	153	194	413	278
90%	241	334	392	838	449

ตารางที่ 5.5 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบระบายความร้อนด้วยไฮโดรเจนที่ขนาดต่างๆ ทำการวัดปริมาณ การปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้เครื่องมือวัดการปล่อยประจุบางส่วนรุ่น TGA วัดที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 5.5 Bus-Hydrogen-cooled(TGA) [ฐานข้อมูลของบริษัท Iris Power Engineering]

Rated V	10-12kV		13-15kV			16-18kV				> 19kV		
H2 (psi)	11-20	21-30	11-20	21-30	31-50	11-20	21-30	31-50	>50	21-30	31-50	>50
Avg	34	17	141	64	346	301	58	98	32	92	60	34
Max	156	54	2150	1390	3200	933	322	1958	367	351	574	482
25%	0	4	27	15	17	48	18	7	4	38	4	2
50%	19	10	64	37	32	154	34	17	9	56	26	14
75%	44	24	125	71	75	521	53	34	25	131	74	41
90%	79	38	282	124	951	791	143	61	77	182	127	89

ตารางที่ 5.6 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ขนาดต่างๆ ทำการวัดปริมาณการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้เครื่องมือวัดการปล่อยประจุบางส่วนรุ่น TGA วัดที่ Stator Slot Couplers ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 5.6 SSCs Slot-Air-cooled [ฐานข้อมูลของบริษัท Iris Power Engineering]

Slot PD				Endwinding PD			
Rated V	10-12kV	13-15kV	16-24kV	Rated V	10-12kV	13-15kV	16-24kV
Avg	8	40	10	Avg	2	14	6
Max	28	653	323	Max	22	238	178
25%	0	0	0	25%	0	0	0
50%	5	13	0	50%	0	0	0
75%	13	53	7	75%	0	11	0
90%	22	110	22	90%	7	44	4

ตารางที่ 5.7 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบระบายความร้อนด้วยไฮโดรเจนที่ขนาดต่างๆ ทำการวัดปริมาณการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้เครื่องมือวัดการปล่อยประจุบางส่วนรุ่น TGA วัดที่ Stator Slot Couplers ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 5.7 SSCs Slot-Hydrogen-cooled(slot PD) [ฐานข้อมูลของบริษัท Iris Power Engineering]

Rated V	13-15kV			16-18kV			19-22kV			23-26kV	
H2 (psi)	11-20	21-30	31-50	21-30	31-50	> 50	21-30	31-50	>50	31-50	>50
Avg	44	13	20	14	16	3	16	12	6	2	5
Max	773	361	155	199	142	87	75	307	243	192	128
25%	0	0	8	0	0	0	5	0	0	0	0
50%	0	0	13	5	3	0	10	0	0	0	0
75%	18	13	21	17	15	0	20	8	3	0	4
90%	102	38	40	33	59	7	42	35	11	3	12

ตารางที่ 5.8 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบระบายความร้อนด้วยไฮโดรเจนที่ขนาดต่างๆ ทำการวัดปริมาณการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้เครื่องมือวัดการปล่อยประจุบางส่วนรุ่น TGA วัดที่ Stator Slot Couplers ของ End winding เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 5.8 SSCs EW-Hydrogen-cooled(Endwinding PD) [ฐานข้อมูลของบริษัท Iris Power Engineering]

Rated V	13-15kV			16-18kV			19-22kV			23-26kV	
H2 (psi)	11-20	21-30	31-50	21-30	31-50	> 50	21-30	31-50	>50	31-50	>50
Avg	4	4	3	7	4	1	3	1	5	4	10
Max	85	172	16	220	165	12	55	57	304	68	97
25%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50%	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
75%	0	0	4	7	0	0	4	0	0	7	9
90%	11	12	8	16	5	3	9	3	4	11	23

จากตารางที่ 5.3 , 5.4 , 5.5 , 5.6 , 5.7 , 5.8 ข้อสรุปของสถิติที่ได้อาศัยฐานข้อมูลในปี 2003 โดยทำการทดสอบ เป็นจำนวน 60,000 ครั้ง ผลลัพธ์ ของข้อมูลจะถูกแยกโดยตัวตรวจจับสัญญาณ, การระบายความร้อน, และระดับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจากเครื่องมือทดสอบจะแสดงค่าเฉลี่ย,ค่าสูงที่สุด, และ25เปอร์เซ็นต์, 50เปอร์เซ็นต์, 75เปอร์เซ็นต์, และ 90เปอร์เซ็นต์ ขนาด Qm ที่ 25เปอร์เซ็นต์ ของผลลัพธ์ในการทดสอบจะอยู่ต่ำกว่าและเล็กเกินไปที่จะอธิบาย เช่นเดียวกันกับ50เปอร์เซ็นต์, 75 เปอร์เซ็นต์ และ90เปอร์เซ็นต์ ตามปกติ ถ้า Qm ในเครื่องสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีการติดตามและตรวจสอบอย่างใกล้ชิด

5.8 ประโยชน์ที่ได้จากการวัดสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน

จะเห็นได้ว่าผลจากการวัดการปล่อยประจุบางส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถให้ข้อมูลได้ถึงสาเหตุ และตำแหน่งของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการวางแผนการตรวจสอบและการแก้ไขชุดขดลวดเมื่อจะทำการหยุดเครื่องครั้งต่อไปและในอนาคตจะมีการติดตั้งอย่างแพร่หลายเพื่อใช้ในระบบ CBM(Condition Base Maintain)ซึ่งถ้าหากผลการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนไม่พบการเสื่อมสภาพของระบบฉนวนและไม่เกิด Lose Wedge งานบำรุงรักษาอาจจะไม่จำเป็นต้องชักส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดระยะเวลาในการบำรุงรักษา และถ้าหากผลการวัดการปล่อยประจุบางส่วนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะถ้าภายใน 6 เดือนเพิ่มขึ้นมากกว่า 1 เท่าแสดงว่าเกิดการปล่อยประจุบางส่วนค่อนข้างมากและรวดเร็วการปล่อยประจุบางส่วนแสดงถึงสัญญาณอันตรายจากระบบฉนวนอาจจะต้องหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาแก้ไข การปล่อยประจุบางส่วนเร็วขึ้นเพื่อป้องกันฉนวนเกิดภาวะสัดกำลังขณะเดินเครื่องซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดความเสียหายรุนแรงนอกจากนี้ผลการวัดการปล่อยประจุบางส่วนยังช่วยประเมินสภาพฉนวนและอายุของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า