

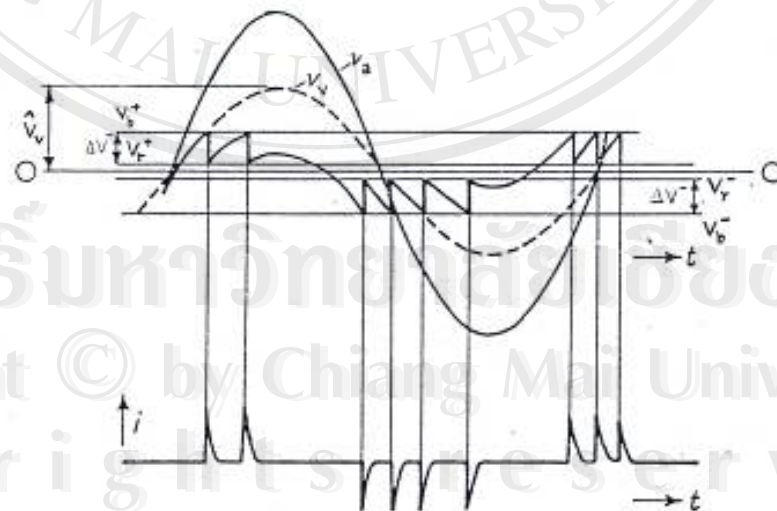
บทที่ 4

การปล่อยประจุบางส่วน

การปล่อยประจุบางส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือปรากฏการณ์การปล่อยประจุทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อถึงกันระหว่างขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการเกิดประกายไฟในเนื้อฉนวนเพียงบางส่วนหรือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติโดยทั่วไปความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติของอากาศมีค่าประมาณ 30 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร เมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในเนื้อฉนวนเป็นระยะเวลานานๆ อย่างต่อเนื่องจะส่งผลทำให้ฉนวนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพและสูญเสียความเป็นฉนวนในที่สุด

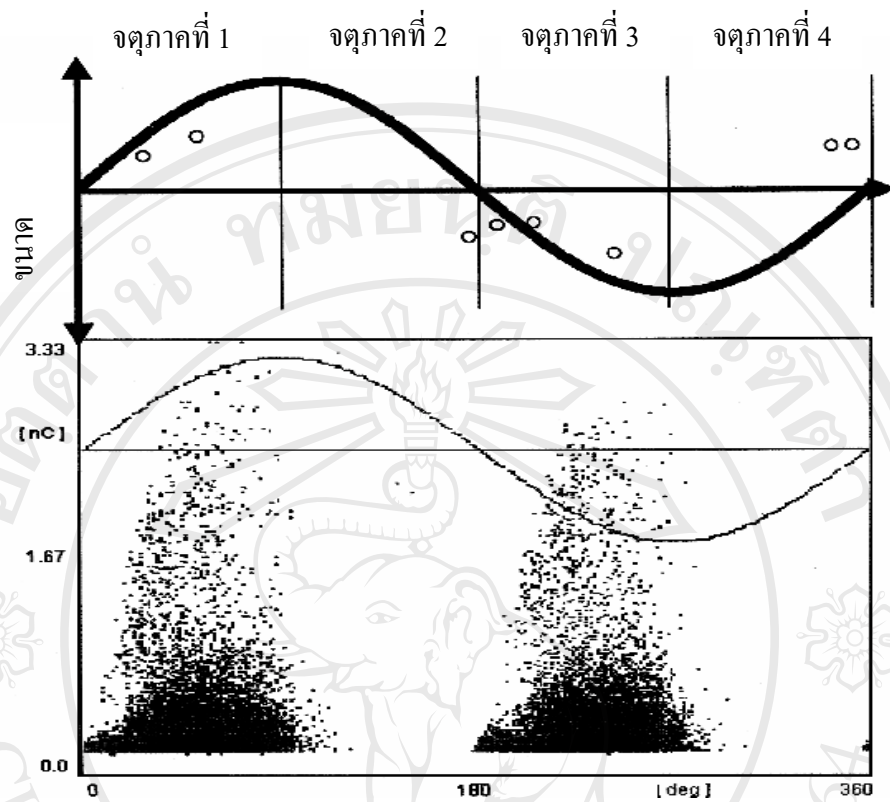
4.1 การปล่อยประจุบางส่วนเกิดขึ้นได้อย่างไร

เนื่องจากการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดขึ้น เมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศมีค่าเกินค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติของอากาศ การเกิดปล่อยประจุบางส่วนนี้อาจเกิดได้ซ้ำๆ หลายครั้งในแต่ละคาบเวลา เมื่อแรงดันในช่วงไซเคิลบวกค่อยๆ เพิ่มขึ้นแรงดันที่ตกคร่อมโพรงอากาศก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศเกินค่าวิกฤติก็จะเกิดการปล่อยประจุบางส่วนข้ามโพรงอากาศ

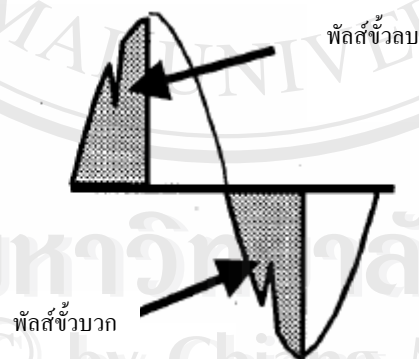


รูปที่ 4.1 การเกิดการปล่อยประจุบางส่วน[3]

จากรูปที่ 4.1 V_a คือแรงดันคร่อมฉนวน V_b คือแรงดันวิกฤติคร่อมโพรงอากาศที่ทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วน V_r คือแรงดันหลังจากที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนของโพรงอากาศ V_c คือแรงดันคร่อมโพรงอากาศกรณีที่ไม่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนเลย ส่วน i คือกระแสพัลส์เมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วน การเกิดปรากฏการณ์การปล่อยประจุบางส่วนอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแรงดันตกคร่อมฉนวนค่อยๆ เพิ่มขึ้นแรงดันคร่อมโพรงอากาศก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามด้วย เมื่อถึงค่าแรงดันวิกฤติของโพรงอากาศก็จะเกิดการปล่อยประจุบางส่วน ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมโพรงอากาศลดลงเหลือ V_r และเกิดพัลส์ของกระแสขึ้น ในขณะที่แรงดันคร่อมฉนวนยังเพิ่มขึ้น แรงดันคร่อมโพรงอากาศก็จะถูกชาร์จเพิ่มขึ้นจนถึงค่าวิกฤติ และก็จะเกิดการปล่อยประจุขึ้นอีก อีกทั้งยังจะเกิดซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศจะอยู่ในช่วงขาลง จนทำให้แรงดันตกคร่อมโพรงอากาศมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันวิกฤติของอากาศ แต่เมื่อแรงดันลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในช่วงไซเคิลลบโพรงอากาศก็จะถูกชาร์จจนแรงดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ทิศทางของแรงดันในโพรงอากาศจะตรงกันข้ามกับเมื่อแรงดันอยู่ในไซเคิลบวก เมื่อแรงดันในโพรงอากาศถูกชาร์จจนเกินค่าแรงดันวิกฤติของโพรงอากาศก็จะทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วน และเกิดกระแสพัลส์ในทิศทางตรงข้ามกับแรงดันในช่วงไซเคิลบวกเช่นกัน และการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดซ้ำๆ ไปเรื่อยๆ เหมือนกับในช่วงไซเคิลบวก จากทฤษฎีจะเห็นว่าการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดในช่วงมุมเฟส 0 ถึง 90 องศาของแรงดันในไซเคิลบวก และเกิดในช่วงมุมเฟส 180 ถึง 270 องศาของแรงดันในไซเคิลลบดังรูปที่ 4.2 การปล่อยประจุบางส่วนในช่วงแรงดันไฟฟ้าไซเคิลบวกจะเรียกว่า พัลส์ขั้วลบ เมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดพัลส์ในทิศทางขาลง และการปล่อยประจุบางส่วนในช่วงแรงดันไฟฟ้าไซเคิลลบเรียกว่า พัลส์ขั้วบวกซึ่งเมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดพัลส์ในทิศทางขาขึ้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3

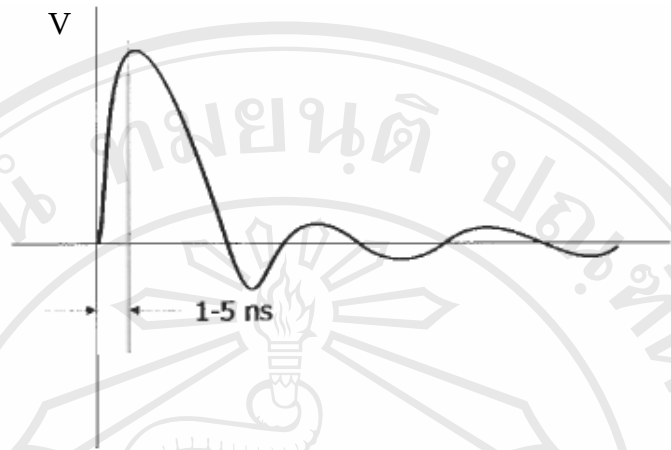


รูปที่ 4.2 การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในเฟสที่หนึ่งและสาม[10]



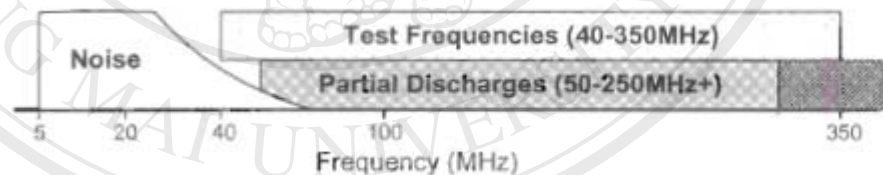
รูปที่ 4.3 แสดงพัลส์ชั่วบวกและพัลส์ชั่วลบ[10]

4.2 คุณลักษณะของสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน



รูปที่ 4.4 คุณลักษณะของสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน[8]

จากรูปที่ 4.4 สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน เป็นสัญญาณที่มี Pulse Width แคบ และมี ช่วงเวลาขึ้นน้อยประมาณ 1-5 nS ความถี่ของสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจะอยู่ในช่วง $1/(4 \times \text{Rise Time})$ ประมาณ 50-250 MHz



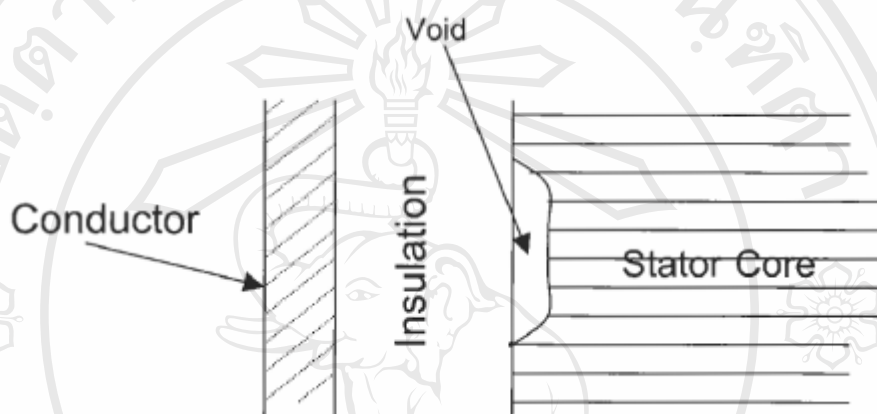
รูปที่ 4.5 ความถี่ของการปล่อยประจุบางส่วน[8]

การปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากความไม่สมบูรณ์ของฉนวน, ความผิดพลาดในการ ออกแบบฉนวน หรือความไม่เหมาะสมในการจัดขดลวดสำหรับการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนภายใน แบ่งตามตำแหน่งที่เกิด

4.2.1 การปล่อยประจุบางส่วนซึ่งเกิดในส่วนที่เป็นร่อง

การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในส่วนที่เป็นร่องนั้น มีสาเหตุจากการเกิดโพรงอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

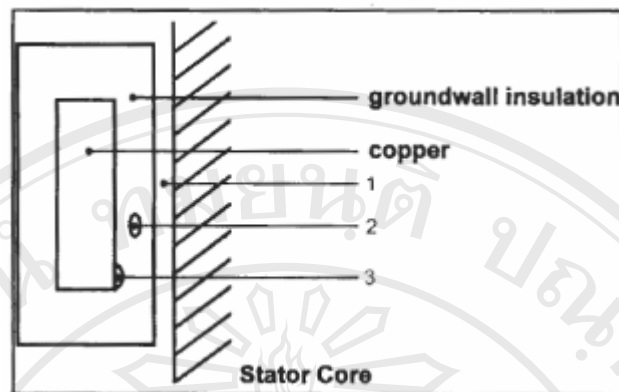
4.2.1.1 ระหว่างผิวฉนวนของขดลวด กับแกนของส่วนที่อยู่กับที่เกิด โพรงอากาศดังกล่าวจากการที่ไม่สามารถเรียงแผ่นฉนวนอัดให้เรียบตลอดได้ ปกติแล้วจะมีการแก้ไขผลจากการเกิดโพรงอากาศดังกล่าวโดยการใช้สีกึ่งตัวนำ ทาบริเวณโพรงอากาศมีค่าใกล้เคียงกับกรวดกับสีกึ่งตัวนำ เสื่อมสภาพหรือหลุดร่อน เนื่องจาก การสั่นสะเทือนขณะเดินเครื่องก็จะเกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้นซึ่งเรียกว่าร่อนคายประจุ ตามรูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งของ การปล่อยประจุบางส่วนที่ร่อนคายประจุ[8]

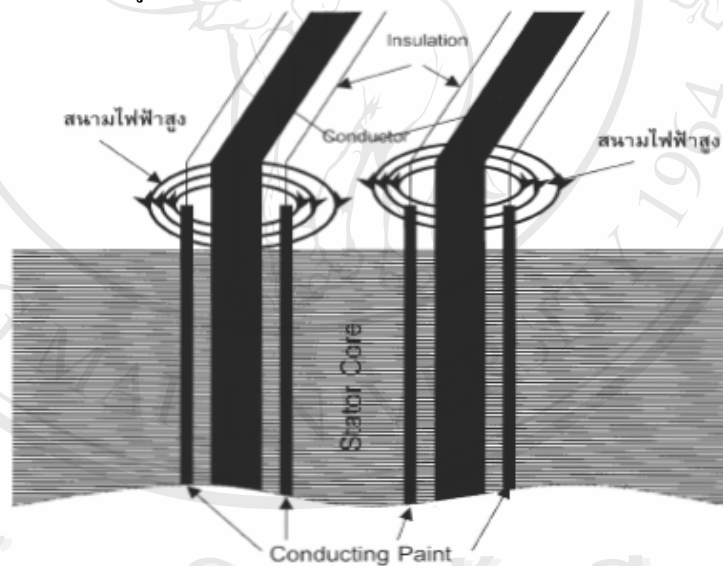
4.2.1.2 โพรงอากาศภายในเนื้อฉนวน ซึ่งเกิดจากการความไม่สมบูรณ์จาก ขบวนการผลิต เช่นการที่อัด เรซินไม่สามารถซึมซาบเข้าไปอย่างทั่วถึงใน ขบวนการ VPI อาจเกิดการแยกชั้นของฉนวนซึ่งเป็นเทป เนื่องจากสารที่ยึด ระหว่างชั้นเทปเสื่อมสภาพการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นเรียกว่าการคายประจุ ภายนอกตามรูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่ 2

4.2.1.3 โพรงอากาศระหว่างตัวนำฉนวน ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิในขณะ เดินเครื่อง(ปกติแล้วประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส) ทั้งทองแดงและฉนวนจะ ขยายตัว แต่พื้นที่ในร่องมีจำกัดจึงเกิดความเค้นภายในเนื้อฉนวนเมื่อเวลาผ่านไป นานขึ้น ฉนวนจะไม่คืนสภาพเดิมและเกิดโพรงอากาศขึ้นการปล่อยประจุบางส่วน ชนิดเรียกว่า Copper/Insulation Interface Discharge ตามรูปที่ 4.7 ตำแหน่ง 3



รูปที่ 4.7 การปล่อยประจุบางส่วนในส่วนที่เป็นร่อง[8]

4.2.2 การปล่อยประจุบางส่วนซึ่งเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างส่วนที่มี ศักย์สูงกับส่วนที่เป็นกราวด์



รูปที่ 4.8 การปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างส่วนที่มีศักย์สูงกับกราวด์[8]

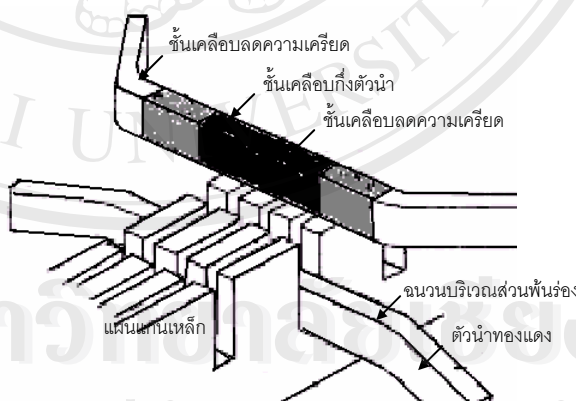
ในทางทฤษฎีนั้น ฉนวนซึ่งอยู่ไกลจากกราวด์มาก ศักย์ที่ผิวฉนวนจะมีค่าเท่ากับ ศักย์ที่ ตัวนำเมื่อมีการใช้สีกึ่งตัวนำทาภายในส่วนที่เป็นร่องก็มักจะทาพื้นช่วงร่องออกมา เล็กน้อย ดังนั้นถ้าขดลวดซึ่งมีศักย์สูง(เช่น ขดลวดสุดท้าย ที่ออกไปยังสายเชื่อมต่อจะมีศักย์ เทียบกับกราวด์สูงถึง 8 กิโลโวลต์ สำหรับ ขนาด13.8 กิโลโวลต์) บริเวณรอยต่อระหว่างสี

กึ่งตัวนำกับฉนวนจะเกิดสนามไฟฟ้าสูงมาก อากาศรอบขดลวดบริเวณนั้นจะเกิดการแตกตัวเป็น การแตกประจุหรือเกิดการปล่อยประจุบางส่วนนั่นเอง ดังนั้นเครื่องจักรชนิดหมุนที่แรงดันสูงจะมีการแก้ไขการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในลักษณะ ดังกล่าวโดยการใช้สื่เคลือบลดความเครียดซึ่งเป็นสื่ที่มีความต้านทานสูง เช่น Silicon Carbide เพื่อเป็นการกระจายแรงดันและลดขนาดสนามไฟฟ้า

4.2.3 การปล่อยประจุบางส่วนซึ่งเกิดบริเวณขดลวดสุดท้ายและสายต่อสั้น การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนที่บริเวณนี้มักจะมีสาเหตุแตกต่างกันหลายๆ ประการ แต่สาเหตุหลักๆมีดังต่อไปนี้

- การออกแบบขดลวดสุดท้ายไม่ดีทำให้ระยะห่างขดลวดสุดท้ายหรือสายต่อสั้นแคบเกินไป
- การออกแบบแผนภาพชุดขดลวดไม่ดีพอจะทำให้ขดลวดสุดท้ายที่อยู่ติดกันมีความต่างศักย์สูง
- เหตุอื่นๆเช่น กรณีที่น้ำมันวาร์นิชสีแดง ย้อยลงมาเป็นปลายแหลม และมีลักษณะเป็น ขั้วไฟฟ้าที่ไม่เรียบ

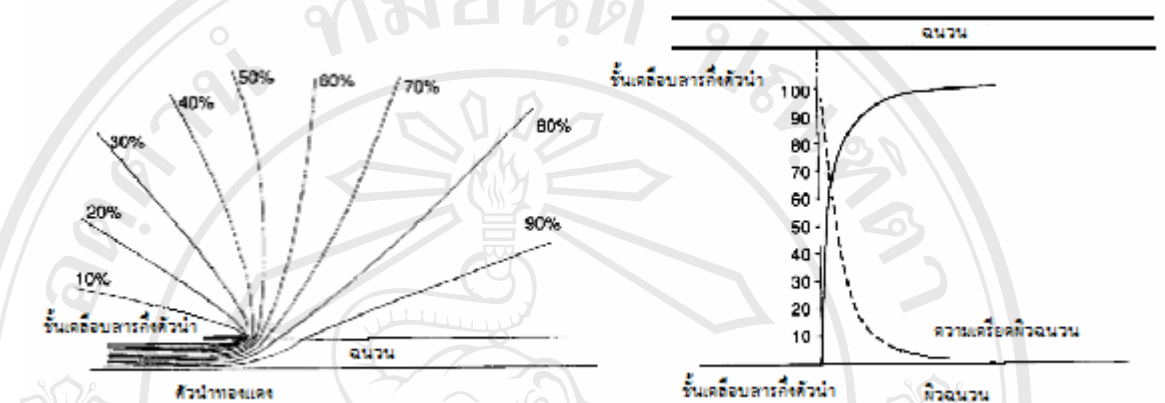
4.3 การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนบริเวณส่วนพื้นร่อง



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของขดลวดสเตเตอร์และสลีต[10]

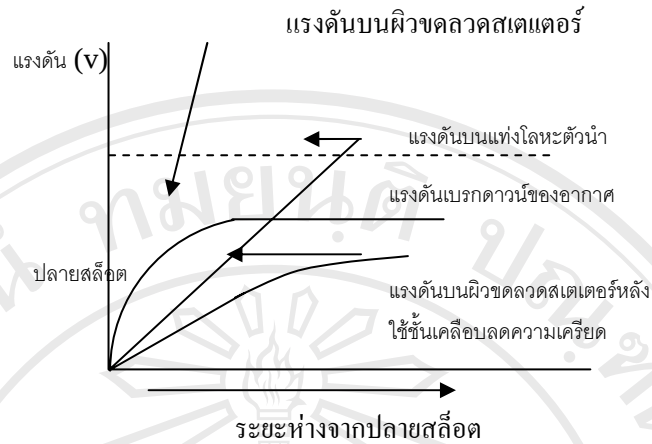
บริเวณส่วนพื้นร่องดูตามรูปที่ 4.9 จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีโอกาสเกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ ฉนวนส่วนที่อยู่ในร่องสลีตจะถูกต่อลงกราวด์ไว้ แต่ฉนวนส่วนที่พื้น

ร่องออกมาจะมีแรงดันไฟฟ้าและมีสนามไฟฟ้าไม่เป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 4.10 สนามไฟฟ้าบริเวณที่ติดกับสล็อตจะมีความเข้มสูง และเป็นบริเวณที่ทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุพิเศษเพื่อลดความเข้มสนามไฟฟ้าให้ต่ำกว่าค่าความคงทนไดอิเล็กทริกของอากาศ วัสดุที่ใช้ก็คือเทปเคลือบลดความเครียด

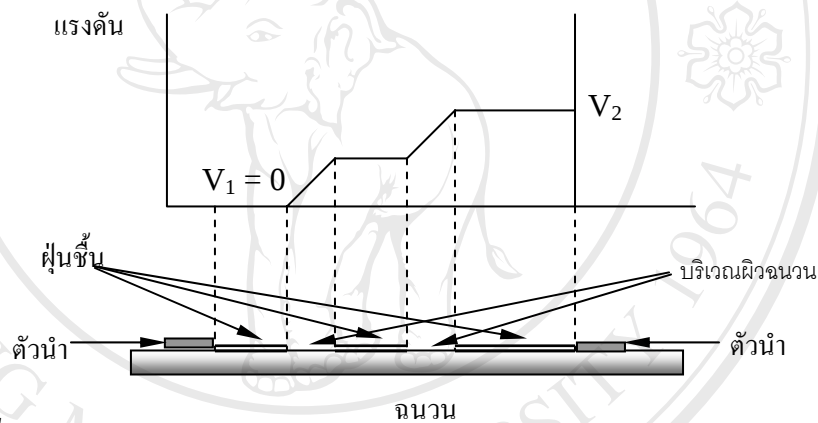


รูปที่ 4.10 แรงดันและสนามไฟฟ้าที่ผิวฉนวนบริเวณส่วนพื้นร่อง[10]

การใช้เทปเคลือบลดความเครียดเพื่อค่อยๆลดระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้สนามไฟฟ้า ที่ผิวฉนวนบริเวณส่วนพื้นร่องมีค่าไม่เกินค่าความคงทนไดอิเล็กทริกของอากาศดังรูปที่ 4.10 จึงทำให้ไม่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้นที่ผิวฉนวนบริเวณนี้ แต่เนื่องจากฉนวนส่วนนี้เป็นส่วนที่มักจะได้รับผลของแรงสั่นสะเทือนทางแม่เหล็กไฟฟ้าขณะใช้งาน ทำให้มีโอกาสเกิด รอยแตกในเนื้อฉนวนได้เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน ประกอบกับฉนวนบริเวณนี้มักจะมีโอกาสสกปรกเนื่องจากฝุ่นละออง จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์การปล่อยประจุบางส่วนบ่อยครั้งเช่นกัน ลักษณะการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนบริเวณนี้สามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 4.11

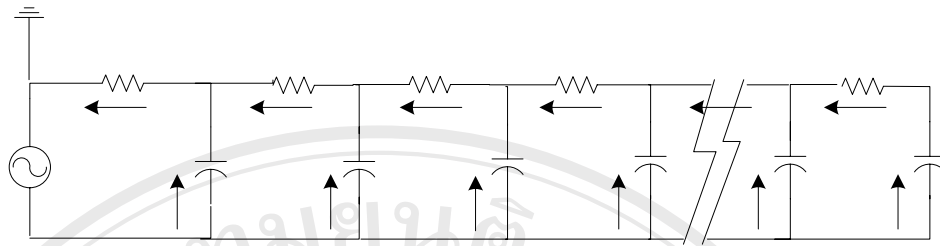


รูปที่ 4.11 การลดความเครียดบนผิวฉนวนโดยใช้ชั้นเคลือบลดความเครียด[10]



รูปที่ 4.12 อธิบายการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนบริเวณส่วนพื้นร่อง[10]

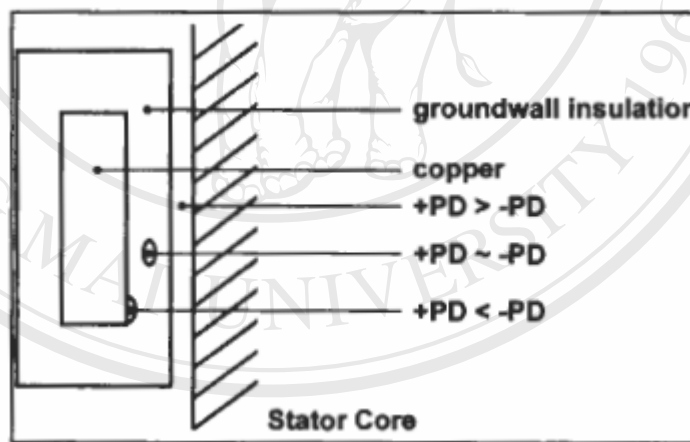
การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนบริเวณส่วนพื้นร่องซึ่งพิจารณาได้ตามรูปที่ 4.12 เนื่องจากบริเวณส่วนพื้นร่องเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันสะท้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแตกในฉนวนได้ง่าย และฉนวนในบริเวณนี้ยังสกปรกด้วยฝุ่นละออง เมื่อเกิดรอยแตกในฉนวนก็จะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลขึ้น ส่วนบริเวณผิวฉนวนที่สกปรกเต็มไปด้วยฝุ่นละอองเมื่อมีความชื้นเกิดขึ้น ผิวฉนวนส่วนนี้ก็จะนำกระแสได้ จึงไม่มีความต่างศักย์แรงดันคร่อมพื้นผิวบริเวณนี้ แต่ส่วนของผิวฉนวนที่แห้งและไม่มีฝุ่นละอองอยู่ไม่สามารถนำกระแสรั่วไหลจากฉนวนได้ จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ของแรงดันคร่อมพื้นผิวส่วนนี้ และถ้าแรงดันที่ตกคร่อมพื้นผิวส่วนนี้มีค่ามากกว่าความคงทนได้อิเล็กทริกของอากาศก็จะเกิดการปล่อยประจุบางส่วน



รูปที่ 4.13 วงจรสมมูลชั้นเคลื่อนที่ความถี่ [10]

4.4 พฤติกรรมของการปล่อยประจุบางส่วน

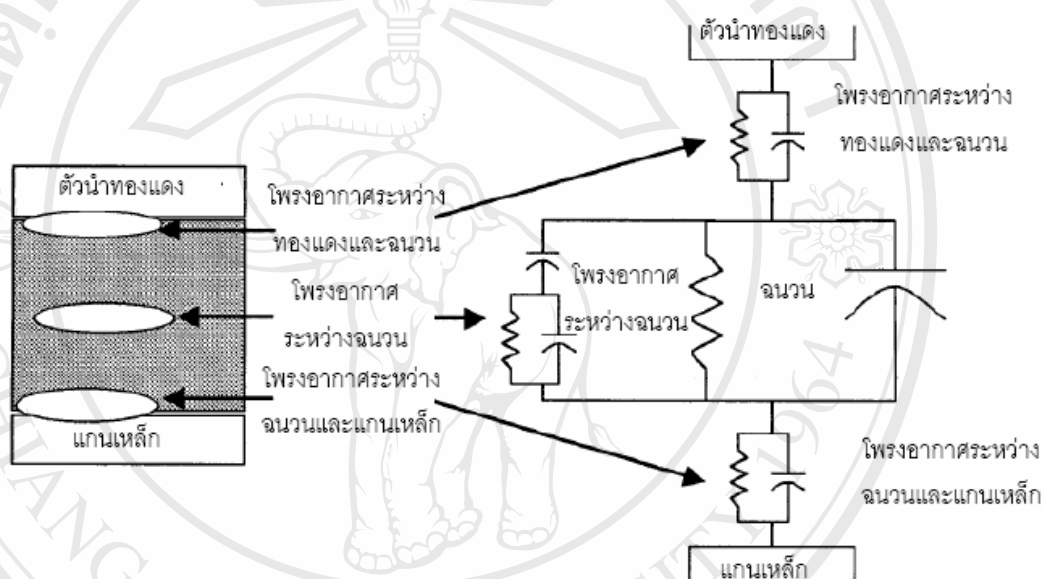
การปล่อยประจุบางส่วนนั้นเกิดขึ้นหลายจุดภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยภายในส่วนที่เป็นร่อนนั้นจะเกิดได้ภาวะสุดกำลังง่าย การแก้ไขทำได้ยาก ปัญหาการเกิดของฉนวนจะเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นร่อน เป็นส่วนใหญ่ เราจึงให้ความสำคัญกับการปล่อยประจุบางส่วนที่ตำแหน่งนี้มากที่สุด สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นมีทั้งพัลส์ชั่ววอกและพัลส์ชั่วลบปริมาณของ ในส่วนที่เป็นร่อนสามารถจำแนกได้ 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดและปริมาณพัลส์ชั่ววอกและพัลส์ชั่วลบ [8]

การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในช่วงไซเคิลบวกและไซเคิลลบอาจจะมีค่าเท่ากัน หรืออาจมีค่าแตกต่างกันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบจำลองของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน โดยแบบจำลองจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโพรงอากาศในฉนวน รูปที่ 4.15 แสดงแบบจำลองของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนของโพรงอากาศที่

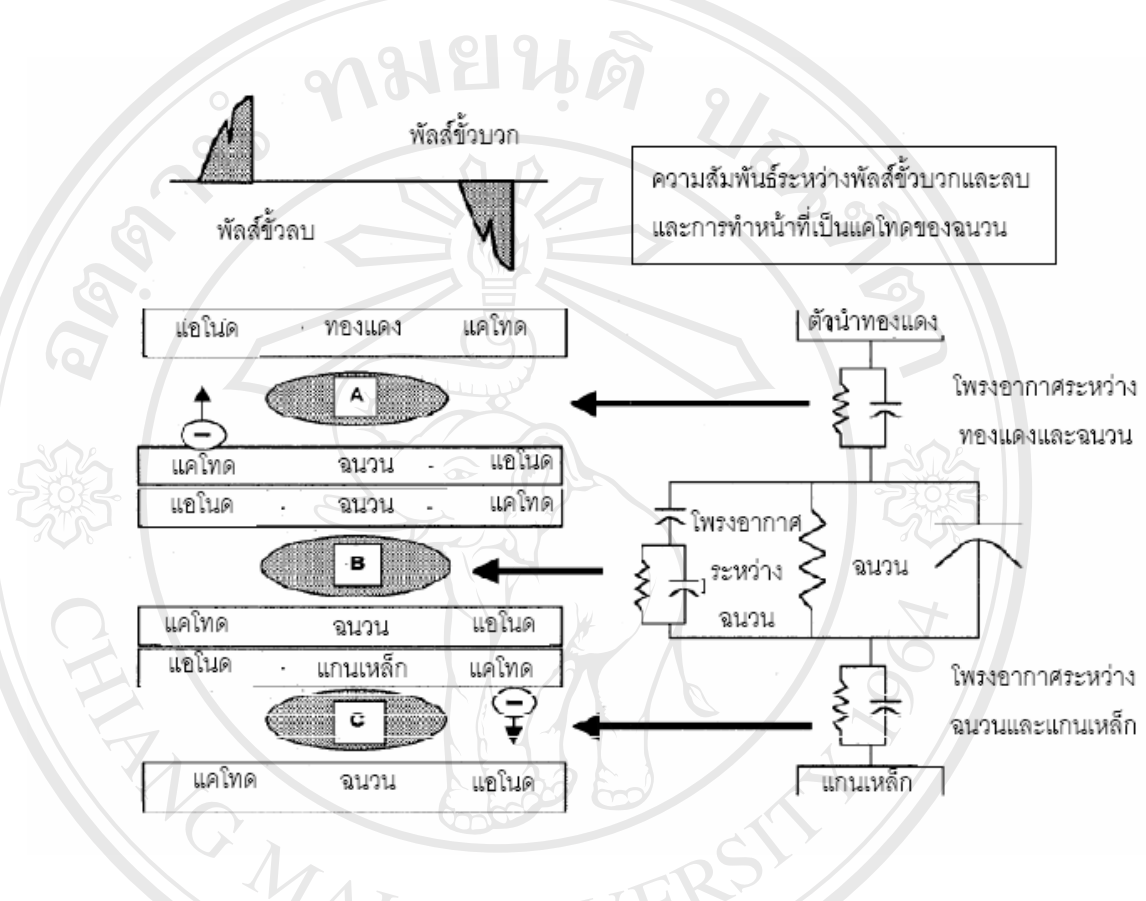
เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆของฉนวน ตำแหน่งของโพรงอากาศจะมีผลต่อการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน รูปที่ 4.15 แสดงตำแหน่งของโพรงอากาศสามตำแหน่ง ตำแหน่งแรกคือโพรงอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะตัวนำและฉนวน ตำแหน่งที่สองคือโพรงอากาศเกิดขึ้นภายในเนื้อฉนวน และตำแหน่งที่สามคือโพรงอากาศเกิดระหว่างผิวฉนวนและแกนเหล็กวงจรสมมูลของฉนวนและโพรงอากาศสามารถแทนได้ด้วยตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ดังนั้นแบบจำลอง ทั้งสามกรณีสามารถเขียนแทนด้วยองค์ประกอบทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุได้



รูปที่ 4.15 แบบจำลองการปล่อยประจุบางส่วนของระบบฉนวน[10]

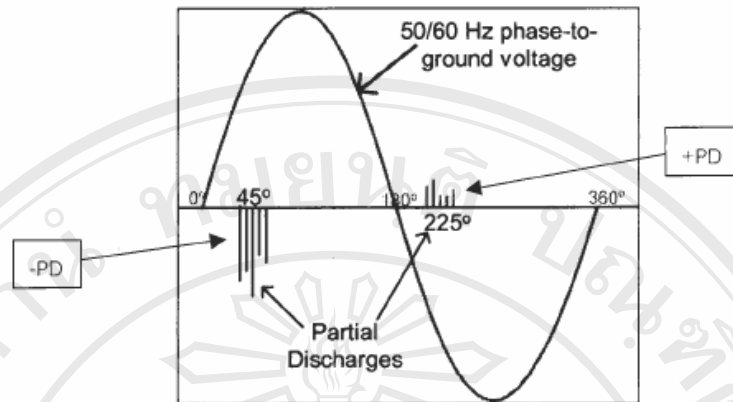
การเกิดการปล่อยประจุบางส่วน นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของโพรงอากาศแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดที่สำคัญอีกประการก็คือ ตำแหน่งของโพรงอากาศ เนื่องจากโพรงอากาศที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างกัน วัสดุที่จะทำหน้าที่เป็นขั้วลบและขั้วบวกก็จะแตกต่างกันด้วย กระแสไฟฟ้าจะไหลออกจากขั้วแอโนด ส่วนขั้วแคโทดจะทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนซึ่งจะทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้น วัสดุต่างชนิดกันก็จะมีความสามารถในการจ่ายอิเล็กตรอนแตกต่างกันไป วัสดุที่ทำหน้าที่ในการจ่ายอิเล็กตรอนในเครื่องจักรชนิดหมุนนั้นจะมีอยู่สองชนิดคือ ฉนวนและแท่งโลหะตัวนำหรือแกนสเตเตอร์ ซึ่งฉนวนจะมีความสามารถในการจ่ายอิเล็กตรอนได้ดีกว่าแท่งโลหะตัวนำ

หรือแกนสเตเตอร์ รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ขั้วบวก พัลส์ขั้วลบ และฉนวนซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทดหรือแอโนด ฉนวนจะทำหน้าที่แบบไหนขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโพรงอากาศและแรงดันตกคร่อมขณะนั้นว่าอยู่ในช่วงไซเคิลบวกหรือลบ

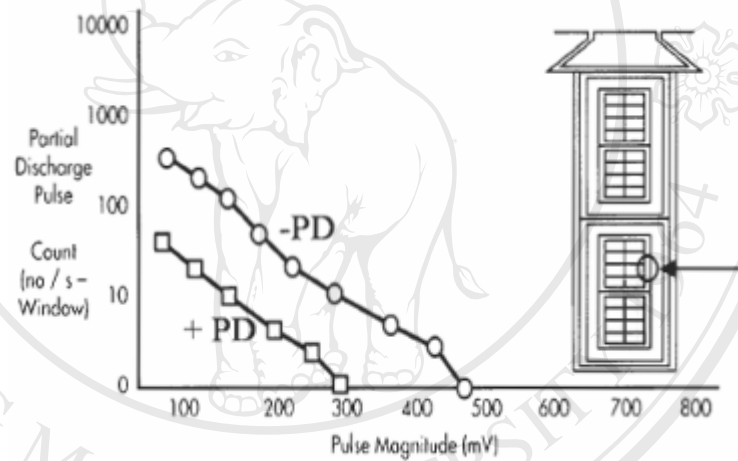


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ขั้วบวก พัลส์ขั้วลบและฉนวนที่ทำหน้าที่เป็นแคโทด[10]

โพรงอากาศที่เกิดบริเวณตำแหน่งระหว่างแท่งโลหะตัวนำกับฉนวน เมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศอยู่ในไซเคิลบวกแท่งโลหะตัวนำจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกและฉนวนจะทำหน้าที่เป็นขั้วลบ ดังนั้นในกรณีนี้ฉนวนจะทำหน้าที่ในการจ่ายอิเล็กตรอนและเกิดพัลส์ขั้วลบ เมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศอยู่ในช่วงไซเคิลลบแท่งโลหะตัวนำในตอนนี้จะทำหน้าที่เป็นขั้วลบและฉนวนจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกแท่งโลหะตัวนำก็จะทำหน้าที่ในการจ่ายอิเล็กตรอนเกิดพัลส์ขั้วบวก แต่เนื่องจากความสามารถในการจ่ายอิเล็กตรอนน้อยกว่าฉนวน ดังนั้น พัลส์ขั้วลบจึงเกิดขึ้นมากกว่าและมีลักษณะเด่นกว่าพัลส์ขั้วบวกดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18

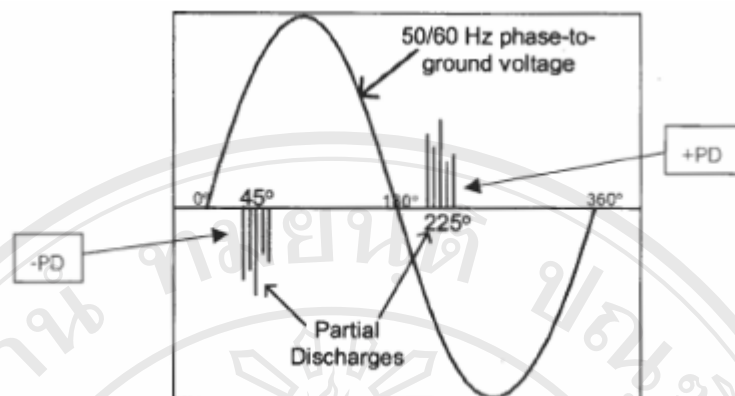


รูปที่ 4.17 สัญญาณพัลส์ชั่วลบมากกว่าพัลส์ชั่วบวก [8]

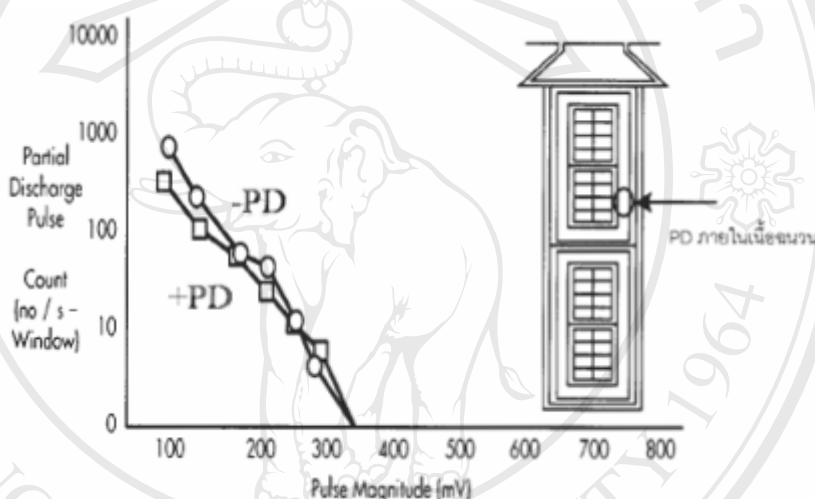


รูปที่ 4.18 การกระจายพัลส์แสดงการเกิดพัลส์ชั่วลบเด่นกว่า[8]

โพรงอากาศที่เกิดระหว่างฉนวน โพรงอากาศที่เกิดในตำแหน่งนี้เมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศอยู่ในช่วงไซเคลบวกและไซเคลลบจะมีผลเหมือนกันคือ ฉนวนจะทำหน้าที่เป็นทั้งแคโทดและแอโนดเนื่องจากโพรงอากาศแทรกอยู่กลางเนื้อฉนวนนั่นเอง วัสดุที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนเพื่อให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนจึงมีเพียงแต่ฉนวนเท่านั้น ดังนั้นพัลส์ชั่วบวกและพัลส์ชั่วลบจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20

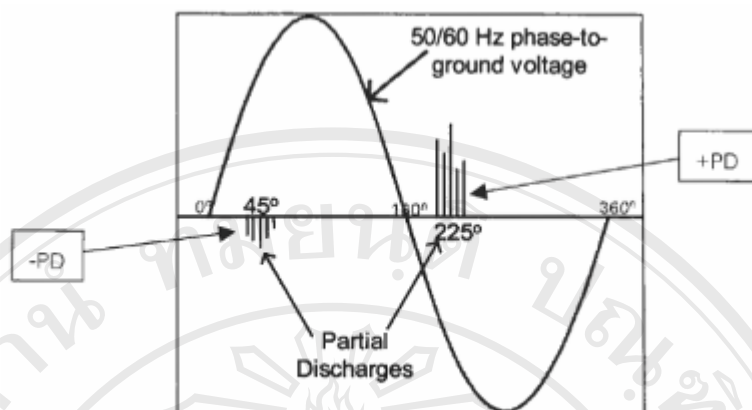


รูปที่ 4.19 สัญญาณพัลส์ชั่ววอกใกล้เคียงกับพัลส์ชั่วลบ[8]

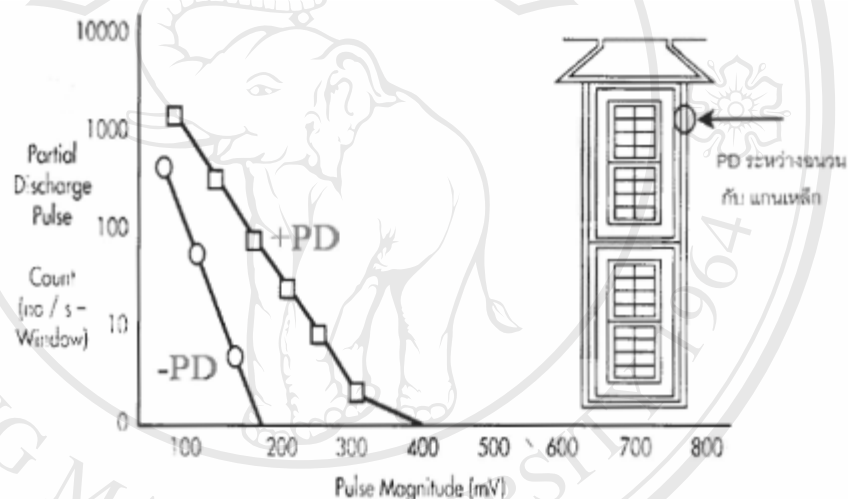


รูปที่ 4.20 การกระจายพัลส์แสดงการเกิดพัลส์ชั่ววอก และ พัลส์ชั่วลบใกล้เคียงกัน[8]

โพรงอากาศที่เกิดบริเวณฉนวนและแกนโลหะเมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศอยู่ในช่วงไซเคิลบวก ฉนวนจะทำหน้าที่เป็นแอโนดและแกนโลหะจะทำหน้าที่เป็นแคโทด ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนในระหว่างการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน แต่เมื่อแรงดันตกคร่อมโพรงอากาศอยู่ในช่วงไซเคิลลบฉนวนและแกนโลหะจะทำหน้าที่ตรงกันข้ามคือ ฉนวนจะทำหน้าที่เป็นแคโทดซึ่งจะจ่ายอิเล็กตรอนเมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนและแกนเหล็กจะทำหน้าที่เป็นแอโนด ดังนั้นการปล่อยประจุบางส่วนในช่วงไซเคิลลบนี้จะเกิดมากกว่าการปล่อยประจุในช่วงไซเคิลบวกส่งผลให้พัลส์ชั่ววอกเด่นกว่าพัลส์ชั่วลบดังรูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 สัญญาณพัลส์ชั่ววอกมากกว่าพัลส์ชั่วลบ[8]



รูปที่ 4.22 การกระจายพัลส์แสดงการเกิดพัลส์ชั่ววอกเด่นกว่า[8]

การวิเคราะห์ตำแหน่งการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้การเปรียบเทียบพัลส์ชั่ววอก และพัลส์ชั่วลบนี้จะใช้ข้อมูลจากการตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้ข้อมูลสองส่วนคือค่าขนาดของพัลส์ซึ่งอาจจะวัดในหน่วยมิลลิโวลต์ หรือพิโคคูลอมป์และความถี่ของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนที่ขนาดพัลส์นั้นๆ โดยการนำข้อมูลดังกล่าวมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพัลส์และความถี่เพื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างพัลส์ชั่ววอก และพัลส์ชั่วลบ

4.5 การวัดการปล่อยประจุบางส่วน

การวัดการปล่อยประจุบางส่วนทำโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่เกิดขึ้นขณะที่มีการปล่อยประจุบางส่วน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจจะอยู่ในรูปของพัลส์ของกระแสไฟฟ้า การสูญเสียไดอิเล็กตริก การเปล่งแสง เสียง ความดันของก๊าซเพิ่มขึ้น หรือปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดวัดสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจึงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้นที่จะนำมาใช้ตรวจสอบสัญญาณ และวิธีในการตรวจสอบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนก็มีหลายวิธีซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

1) วิธีที่ใช้สังเกตพฤติกรรมของการปล่อยประจุบางส่วนเบื้องต้นโดยการฟังเสียงที่เกิดขึ้นการตรวจสอบการปล่อยประจุบางส่วนโดยวิธีการตรวจวัดเสียงที่เกิดขึ้นวิธีนี้นับเป็นวิธีที่ง่าย แต่ก็มีคามแม่นยำน้อยและยากที่จะแยกแยะระหว่างเสียงที่เกิดจากปรากฏการณ์การปล่อยประจุบางส่วนและสัญญาณเสียงรบกวนภายนอก

2) การวัดพลังงานการสูญเสียไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$) คือการวัดอัตราส่วนของกระแสที่ผ่านค่าองค์ประกอบความต้านทานต่อกระแสที่ผ่านองค์ประกอบตัวเก็บประจุในเนื้อฉนวน หรือที่เรียกว่าการวัดค่าตัวประกอบพลังงานสูญเสีย เป็นวิธีการทดสอบหนึ่งที่ใช้สังเกตการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ โดยทั่วไป $\tan \delta$ จะมีค่าน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแต่เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจนถึงระดับหนึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงของค่า $\tan \delta$ เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในฉนวนทดสอบ ทำให้กระแสไหลผ่านองค์ประกอบความต้านทานเพิ่มขึ้น

3) การตรวจสอบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนโดยการตรวจวัดแสง วิธีกรรมนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจวัดได้แต่จะมีข้อจำกัดคือ วัสดุที่ทดสอบต้องโปร่งแสงจึงจะสังเกตเห็นการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงใช้ในกรณีทั่วไปไม่ได้

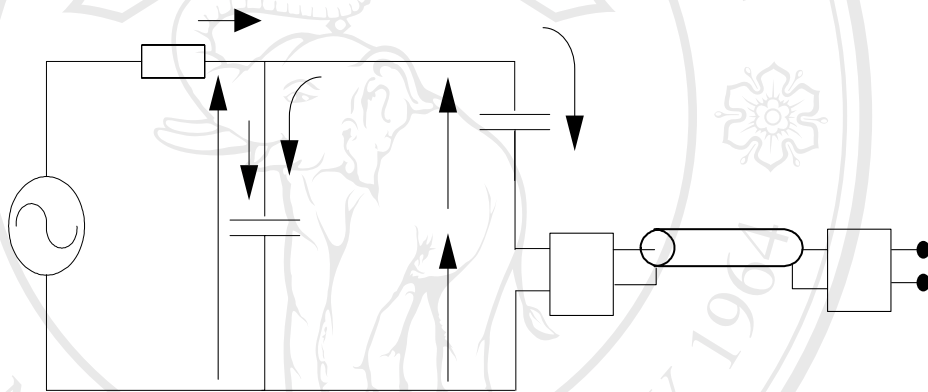
4) การตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของความดันก๊าซและปฏิกิริยาเคมี มีข้อจำกัดคือ การเปลี่ยนแปลงจะต้องใช้ระยะเวลานาน จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ตรวจสอบการปล่อยประจุบางส่วน

5) การตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้า เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมตามมาตรฐานของ IEC โดยใช้การตรวจวัดสัญญาณอิมพัลส์ของกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน เป็นวิธีที่มีความไวสูง สามารถติดตามการเกิดและการเปลี่ยนแปลง

การปล่อยประจุบางส่วนได้อย่างรวดเร็ว และค่าที่วัดได้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นในเนื้อฉนวน

4.6 หลักการตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนโดยวิธีทางไฟฟ้า

การตรวจจับสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนตามข้อกำหนดมาตรฐาน IEC 60270 วงจรวัดจะประกอบด้วย แหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ U ตัวกรองสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบหรืออิมพีแดนซ์ Z_f วัสดุทดสอบ (Test Object) C_u ตัวเก็บประจุคัปปลิง C_k อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling Device: CD) สายเคเบิลนำสัญญาณ (Connecting Cable: CC) และเครื่องมือวัด (Measuring Instrument : MI) ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วน[10]

อุปกรณ์ในรูปที่ 4.23 แต่ละส่วนจะมีหน้าที่การทำงานในวงจรดังต่อไปนี้

1) แหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ U จะทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดันให้กับวงจรทดสอบ ซึ่งมักจะใช้หม้อแปลงทดสอบ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือเป็นหม้อแปลงปลอดการปล่อยประจุบางส่วน

2) ตัวกรองสัญญาณหรืออิมพีแดนซ์ Z_f จะทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ เช่น ฮาร์โมนิกส์ และสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบเนื่องจากตัวกรองสัญญาณ Z_f มีลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำ จะยอมให้สัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบความถี่ต่ำผ่านไปได้นั้น แต่สัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนซึ่งมีความถี่สูงไม่สามารถผ่านไปได้นั้น และในขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่

ป้องกันสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจากด้านวงจรทดสอบไหลย้อนลงกราวด์ที่แหล่งจ่ายแรงดันทดสอบผ่านทางตัวกรองสัญญาณนี้ ในกรณีที่ใช้หม้อแปลงปลดการปล่อยประจุบางส่วนอาจไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกรองสัญญาณเนื่องจากตัวหม้อแปลงเองก็มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำภายในตัวเองอยู่แล้ว

3) ตัวเก็บประจุคัปปลิง C_k ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อสัญญาณความถี่สูงให้ครบวงจรระหว่าง C_a , C_k และ CD เมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนเกิดขึ้นในวัสดุทดสอบ ตัวเก็บประจุคัปปลิงจะต้องมีคุณสมบัติปลอดการปล่อยประจุในช่วงแรงดันที่ทำการทดสอบ และมีความเหนี่ยวนำภายในต่ำ

4) อุปกรณ์รับสัญญาณ CD และเครื่องมือวัด MI จะทำหน้าที่ร่วมกันในการคำนวณค่าที่เกิดจากการปล่อยประจุในวัสดุทดสอบโดยการอินทิเกรตกระแสพัลส์ i_i ที่เกิดขึ้นในวงจร สายนำสัญญาณ CC จะทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณจาก CD ไป MI นอกจากนี้อุปกรณ์รับสัญญาณจะทำหน้าที่พิเศษอีกอย่างหนึ่งคือจะกรองกระแสความถี่ต่ำ 50 – 400 เฮิรตซ์ และ ฮาร์โมนิกส์ต่างๆจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบเข้าไปที่เครื่องมือวัด ส่วน MI จะทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการคือ ทำหน้าที่เป็นภาคขยายสัญญาณ เป็นวงจรกรองสัญญาณชนิดผ่านแถบ เพื่อกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และกรองสัญญาณความถี่สูงจากสัญญาณคลื่นวิทยุหน้าที่ประการสุดท้ายคือเป็นอุปกรณ์สำหรับแสดงผลการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน

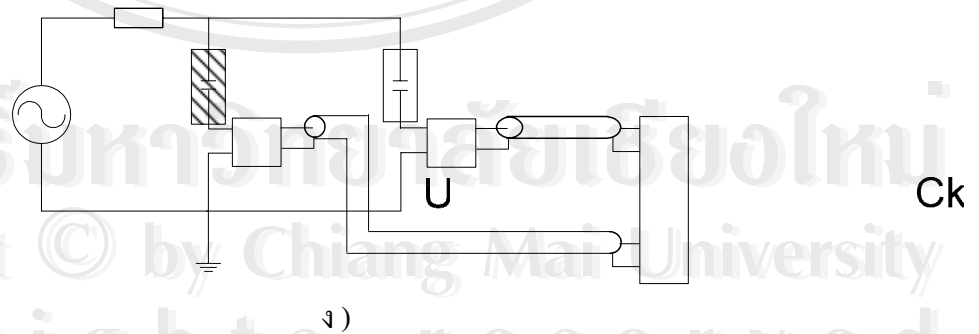
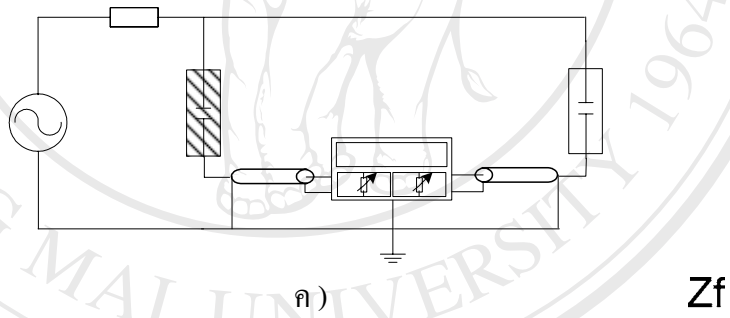
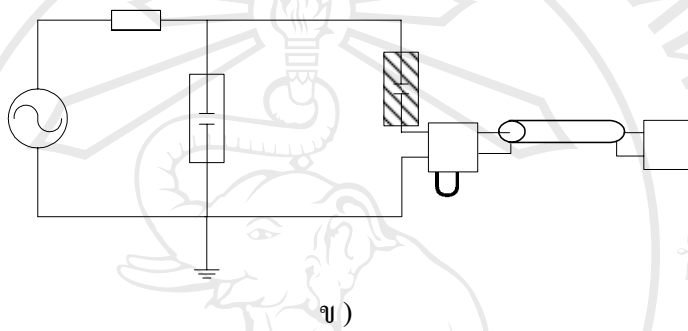
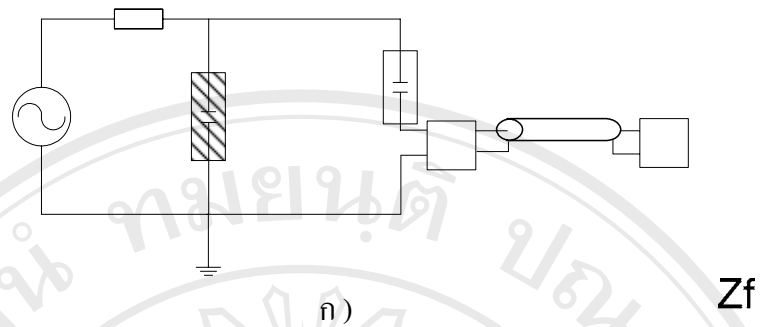
การตรวจจับสัญญาณที่เกิดจากการปล่อยประจุบางส่วนในวัสดุทดสอบนั้นสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรทดสอบผ่านตัวกรอง Z_f ค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนในวัสดุที่ทดสอบ ซึ่งจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมวัสดุทดสอบ C_a ตกลงเท่ากับแรงดันค่าหนึ่ง ตัวเก็บประจุคัปปลิง C_k จะทำหน้าที่ชดเชยแรงดันโดยการปล่อยประจุไปที่ C_a ทำให้ครบวงจรและเกิดกระแสพัลส์ไหลวนในวงจรซึ่งประกอบด้วย C_a , C_k และ CD ส่วนทางด้านตัวกรอง Z_f และแหล่งจ่ายแรงดันจะถูกมองว่าเป็นวงจรเปิด เนื่องจากขณะเกิดการปล่อยประจุบางส่วนอิมพีแดนซ์ของวงจรกรอง Z_f จะมีค่าสูงมาก ส่วน CD และ MI จะทำการวัดขนาดประจุที่ถ่ายเทจาก C_k ไป C_a โดยการอินทิเกรตกระแสพัลส์ที่เกิดขึ้น

การแสดงหรือวัดผลการปล่อยประจุบางส่วนสามารถทำได้ทั้งทางมิเตอร์ จอภาพของออสซิลโลสโคป และทางเครื่องบันทึก[2] ค่าที่แสดงจะแสดงในเทอมของประจุที่

ปรากฏ หรือ ขนาดของการปล่อยประจุ ซึ่งมีหน่วยเป็นพิโคคูลอมปี (pC) สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับการปล่อยประจุ V_2 จะมีขนาดเป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดประจุที่ปล่อยออกมา ดังนั้นค่ายอดของ V_2 คือ $V_{2(\text{peak})}$ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดประจุที่ปล่อยออกมาด้วย ดังนั้นการอ่านค่าประจุที่ปล่อยออกมาจึงนิยามอ่านจากค่ายอดของ V_2 ซึ่งอ่านได้จากจอภาพออสซิลโลสโคป หรือมิเตอร์อ่านค่ายอดก็ได้ในรูปที่ 4.24 แสดงวงจรทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบต่างๆ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.24 วงจรทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบต่างๆ[10]

4.7 การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วน

การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนเป็นวิธีการที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีการเหมาะสมสำหรับการนำไปประเมินสภาพฉนวน และพิสูจน์จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เนื่องจากการทดสอบสามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพของฉนวนได้ วิธีวิธีการหนึ่ง เนื่องจากสาเหตุของการเสื่อมสภาพของฉนวนส่วนหนึ่งเป็นผลโดยตรงที่เกิดจากการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในบริเวณของฉนวนที่มีจุดบกพร่องอย่างต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน

การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนสามารถทดสอบได้ทั้งขณะที่อุปกรณ์ใช้งานอยู่หรือทดสอบขณะอุปกรณ์ไม่ได้นำเข้าใช้งาน ก็ได้ การทดสอบทั้งสองวิธีนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการจะเลือกทดสอบอุปกรณ์ด้วยวิธีไหนก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการทดสอบ และเวลาที่เอื้ออำนวยต่อการทดสอบ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการทดสอบทั้งสองวิธีต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ดังนั้นถ้าสามารถทำการทดสอบได้ทั้งสองวิธีควบคู่กันไปก็จะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น

4.7.1 การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบออนไลน์

การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบออนไลน์นั้นคือ การทดสอบขณะนำอุปกรณ์เข้าใช้งานเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาทดสอบและติดตามการเสื่อมสภาพของฉนวนในเครื่องจักรชนิดหมุน เพราะข้อดีของวิธีการนี้ก็คือสามารถเก็บข้อมูลการปล่อยประจุบางส่วนได้โดยไม่ต้องรอจังหวะให้อุปกรณ์หยุดเดินเครื่อง ดังนั้นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณการปล่อยประจุบางส่วนจะทำการติดตั้งไว้ตั้งแต่เริ่มติดตั้งเครื่องจักรกลหมุน ทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้ทุกเวลาที่ต้องการ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือในการตรวจวัดการปล่อยประจุบางส่วนมากมายหลายแบบให้สามารถเลือกใช้ได้ตามต้องการ สามารถที่จะเก็บข้อมูลการทดสอบได้อย่างต่อเนื่องหรือเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลา ทำให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์ดูแลแนวโน้มการเสื่อมสภาพของระบบฉนวนตลอดอายุการใช้งานซึ่งประโยชน์ข้อนี้นับเป็นประโยชน์หลักของการทดสอบโดยวิธีนี้เลยทีเดียว เนื่องจากการวิเคราะห์ดูแลแนวโน้มการเสื่อมสภาพของฉนวนอย่างต่อเนื่องจะเป็นเครื่องเตือนปัญหาที่จะ

เกิดขึ้น และเมื่อทราบปัญหาแต่เนิ่นๆก็จะสามารถทำให้วางแผนในการซ่อมบำรุงได้อย่างถูกต้อง ลดความเสี่ยง และความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์

แม้ว่าการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบออนไลน์จะมีประโยชน์อย่างมาก ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแต่การทดสอบโดยวิธีนี้ก็ยังมีปัญหาอยู่มากมาย เช่น ปัญหาสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า การลดทอนของสัญญาณและแบนวิดท์

4.7.1.1 สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

การทดสอบแบบออนไลน์เป็นการทดสอบที่มีประโยชน์มากวิธีหนึ่ง แต่ผลเสียของการทดสอบด้วยวิธีนี้ก็คือปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า เนื่องจากการทดสอบแบบนี้จะทำการทดสอบขณะอุปกรณ์ใช้งานอยู่ ดังนั้นสัญญาณรบกวนจึงอาจมาได้จากหลายๆแหล่งโดยเฉพาะเกิดจากตัวอุปกรณ์เองซึ่งเกิดการปล่อยประจุจากเฟสข้างเคียง แต่อุปกรณ์ตรวจจับของอีกเฟสก็ตรวจจับได้ด้วยทั้งที่อาจจะไม่มีการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในขดลวดสเตเตอร์ของเฟสนั้นเลย ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบแบบออนไลน์จึงมีความซับซ้อนมากต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์สูงในการวิเคราะห์

4.7.1.2 แบนวิดท์

ความถี่ของพัลส์การปล่อยประจุบางส่วนขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time) และความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) แหล่งกำเนิดการปล่อยประจุบางส่วนแต่ละตำแหน่งจะกำเนิดพัลส์ที่มีลักษณะเฉพาะกับตำแหน่งนั้นๆ ความถี่ของสัญญาณก็จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและขนาดของโพรงอากาศด้วย ดังนั้นเมื่อฉนวนมีการเสื่อมสภาพมากขึ้นขนาดของโพรงอากาศในฉนวนมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้สัญญาณที่วัดได้มีความถี่เปลี่ยนแปลงออกไป ดังนั้นในการวัดสัญญาณของการปล่อยประจุที่เกิดขึ้นต้องคำนึงถึงแบนวิดท์ของตัวตรวจจับสัญญาณ และตัวเครื่องมือวัดด้วย เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่เกิดนอกแบนวิดท์จะถูกลดทอนและหายไป การทดสอบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนแบบออนไลน์นั้นโดยส่วนมากมักจะถูกจำกัดโดยแบนวิดท์ของระบบตรวจวัด ดังนั้นข้อมูลการทดสอบที่ได้ก็จะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

4.7.1.3 การลดทอนและการสะท้อนของสัญญาณ

ในขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องจักรกลหมุนเมื่อเกิดพัลส์การปล่อยประจุบางส่วนที่มีความถี่สูงจะมีการลดทอนสัญญาณเนื่องจากขดลวดแสดงพฤติกรรมเป็นตัวเหนี่ยวนำเมื่อสัญญาณพัลส์ที่เกิดมีความถี่สูง อิมพีแดนซ์ก็จะมีค่าสูงตาม ทำให้สัญญาณที่เคลื่อนสู่จรวดถูกลดทอนลงไปมาก และในกรณีของสัญญาณที่เคลื่อนผ่านอิมพีแดนซ์ระหว่างจุดต่อที่ไม่สอดคล้องกันก็จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ และในขณะเดียวกันก็จะเกิดการสะท้อนบริเวณรอยต่อนั้นๆด้วย ทำให้สัญญาณที่วัดได้มีความผิดพลาดเพิ่มขึ้น

4.7.2 การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบออฟไลน์(Offline Partial Discharge)

การทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบออฟไลน์คือ การทดสอบขณะอุปกรณ์ไม่ได้ใช้งานแตกต่างกับการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนแบบออนไลน์คือ ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกขณะทำการทดสอบ และข้อมูลที่ได้ก็จะมี ความแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบแรกด้วยเนื่องจากผลการทดสอบที่ได้จะให้ข้อมูลในการวิเคราะห์ที่แตกต่างไป ด้วย วิธีการทดสอบวิธีนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียซึ่งสรุปได้ดังนี้

4.7.2.1 ข้อเสียของการทดสอบแบบออฟไลน์

1) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

การทดสอบแบบนี้ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก ซึ่งต่างจากการทดสอบแบบแรกทำให้การทดสอบการเก็บข้อมูลค่อนข้างยุ่งยากใช้เวลานาน และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่า

2) สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

เนื่องจากการทดสอบทำขณะอุปกรณ์หยุดเดินเครื่อง ดังนั้นสภาพแวดล้อมเช่นอุณหภูมิ การสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า และความชื้น จึงแตกต่างจากสภาพการใช้งานจริง สภาพแวดล้อมเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเกิดการปล่อยประจุทั้งสิ้น และในกรณีที่ขดลวด สเตเตอร์หลวม ผลเนื่องจากแรง

แม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้สแตเตอร์สั้นสะท้อน ระยะช่องว่างระหว่างแกนเหล็กสแตเตอร์และผิวฉนวนของสแตเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนในร่องสลิตขัดเจน แต่ในกรณีการทดสอบอุปกรณ์แบบออฟไลน์จะไม่มีผลเนื่องจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอาจจะไม่เห็นผลของการปล่อยประจุบางส่วนในร่องสลิตขัดเจน

3) การเสี่ยงต่อความเสียหาย

ในการทดสอบแบบออฟไลน์ทุกส่วนของขดลวดสแตเตอร์จะได้รับแรงดันเท่าแรงดันที่จ่ายจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก แต่ในภาวะความเป็นจริงขดลวดสแตเตอร์บริเวณส่วนใกล้นิวทรอล (Neutral) จะมีระดับแรงดันต่ำและจะไล่ระดับแรงดันสูงขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงระดับแรงดันพิกัด ดังนั้นการทดสอบแบบออฟไลน์สำหรับขดลวดที่มีอายุการใช้งานมานานจะเสี่ยงต่อความเสียหายได้ เนื่องจากขดลวดบริเวณใกล้นิวทรอลต้องมารับแรงดันเท่าแรงดันพิกัด

4.7.2.2 ข้อดีของการทดสอบแบบออฟไลน์

1) สัญญาณรบกวนน้อย

เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆจะถูกแยกออกจากอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ และสัญญาณรบกวนภายในเช่น การเกิดประกายไฟบริเวณแปรงถ่านก็จะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นสัญญาณรบกวนจะน้อยกว่าการทดสอบแบบออนไลน์

2) ไม่มีผลของสัญญาณรบกวนระหว่างเฟส

ในขณะที่ทำการทดสอบจะจ่ายแรงดันครั้งละเฟสเท่านั้น อีกสองเฟสที่เหลือจะถูกต่อลงกราวด์ไว้ ดังนั้นจึงไม่มีผลจากสัญญาณรบกวนระหว่างเฟส ทำให้ง่ายต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์

4.8 วิธีการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนที่ได้รับความนิยม

วิธีการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนทำได้หลายวิธีแต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเก็บข้อมูลโดยวิธีการทางไฟฟ้าเท่านั้นซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน การทดสอบและการวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วนทางไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมมีดังนี้

1) Partial Discharge Inception Voltage (PDIV) คือการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันที่ทำให้เริ่มปล่อยประจุบางส่วน ในการทดสอบเมื่อเพิ่มระดับแรงดันถึงค่าหนึ่งจะเกิดการปล่อยประจุขึ้นในขดลวดสเตเตอร์จนวนที่อยู่ในสภาพดีจะมีค่า PDIV สูงแต่เมื่อจนวนเสื่อมสภาพลงค่า PDIV จะมีค่าต่ำลง

2) Partial Discharge Extinction Voltage (PDEV) คือการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันที่ทำให้การปล่อยประจุบางส่วนหายไปวิธีการทดสอบนี้จะทำลักษณะเดียวกับการทดสอบแบบแรก แต่จะค่อยๆลดระดับแรงดันจนกระทั่งสังเกตว่าการปล่อยประจุบางส่วนหายไปซึ่งค่า PDEV จะมีค่าต่ำลงเมื่อจนวนเสื่อมสภาพลง

3) Maximum Discharge (Q_{max}) การทดสอบหาค่าการปล่อยประจุสูงสุดวิธีนี้เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากแต่ก็มีข้อเสียเช่นกัน เนื่องจากการทดสอบโดยวิธีนี้จะตรวจจับและแสดงผลพัลส์การปล่อยประจุบางส่วนที่สูงที่สุดเพียงพัลส์เดียวโดยไม่สนใจพัลส์อื่นๆที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้าสัญญาณรบกวนมีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณที่เกิดจากวัสดุทดสอบก็จะได้ค่าผิดพลาดได้ ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจนวนเสื่อมสภาพลง

4) Normalized Quantity Number (NQN) คือการวัดค่าการปล่อยประจุบางส่วนโดยกำหนดเป็นพารามิเตอร์ที่นิยมตามสมการดังนี้

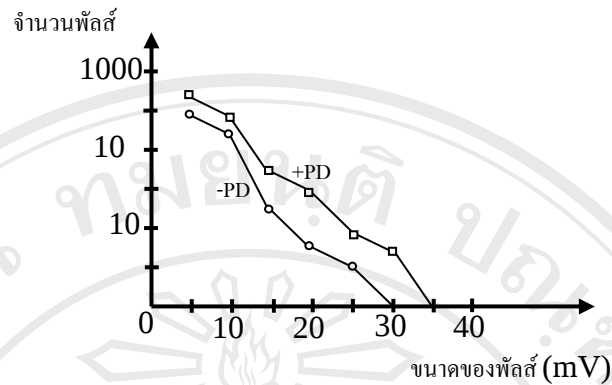
$$NQN = \frac{FS}{G \cdot N} \cdot \left[\log_{10} p_1 + \sum_{i=1}^{N-1} \log_{10} p_i + \frac{\log_{10} P_N}{2} \right] \quad (4.1)$$

P_i คือจำนวนพัลส์ต่อ 1 วินาทีในช่วงขนาดพัลส์ ลำดับที่ i

N คือจำนวนช่วงขนาดพัลส์ทั้งหมด

G คือค่าอัตราขยายที่ใช้ในการวัด

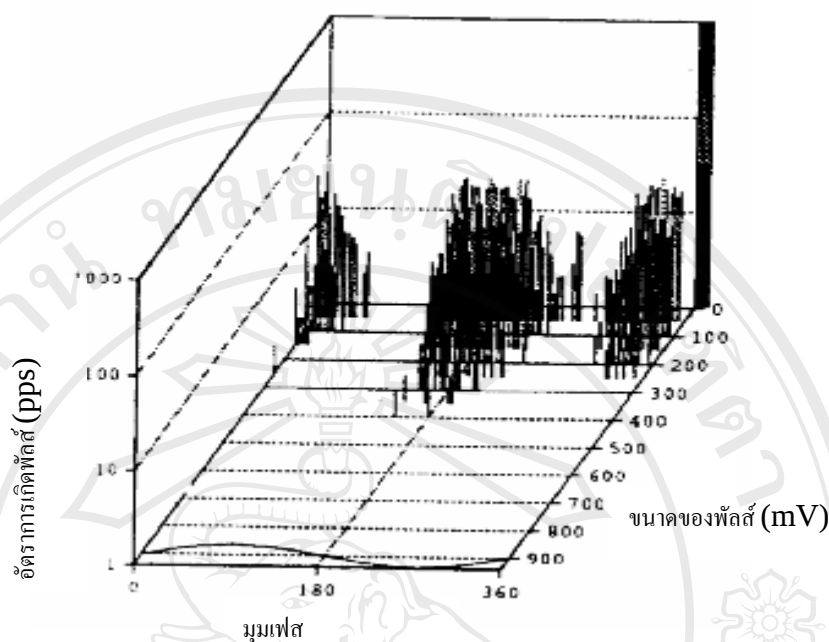
FS คือค่าขนาดของพัลส์สูงสุดในหน่วยมิลลิโวลต์เมื่ออัตราขยายเท่ากับหนึ่ง



รูปที่ 4.25 การกระจายขนาดพัลส์[10]

ค่า NQN เมื่อพิจารณาจากสมการข้างต้นก็จะพบว่าคือพื้นที่ใต้กราฟจากรูปที่ 4.25 นั้นเอง โดยกำหนดสเกลของจำนวนพัลส์เป็นสเกลแบบล็อก

จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้นเป็นพารามิเตอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการแปลความหมายของการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนที่นิยมใช้มานาน แต่ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์และไมโครโปรเซสเซอร์ทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้เก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนของปรากฏการณ์การปล่อยประจุบางส่วน ซึ่งสามารถเก็บค่าเฟสของพัลส์ที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นข้อมูลรูปแบบใหม่ที่ต่างจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบเดิมๆ 4 แบบดังที่กล่าวมาข้างต้นจะมีการเก็บทั้งค่าขนาดของพัลส์ (q) เฟส (ϕ) และจำนวนพัลส์ (n) ที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาแสดงในรูปของ Phase Resolved Pattern ซึ่งจะแสดงแบบแผนต่างๆของความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดพัลส์ที่มุมเฟสและขนาดของพัลส์ต่างๆกัน (q , ϕ , n) ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งเป็นข้อมูลที่น่าสนใจและมีการศึกษากันอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา



รูปที่ 4.26 การกระจาย Phase Resolved Pattern[10]

จากรูปแบบการเก็บข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้หลายรูปแบบและมีความน่าสนใจดังนี้

1) การวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลส์และขนาดของพัลส์ดังรูปที่ 4.27

n - q Characteristic คือการดูรูปแบบการกระจายข้อมูลของพัลส์ที่มีขนาดประจุต่างๆ โดย n และ q คือค่า จำนวนพัลส์และขนาดของพัลส์ที่เกิดขึ้น ตามลำดับ

2) การวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยจำนวนพัลส์และมุมเฟส

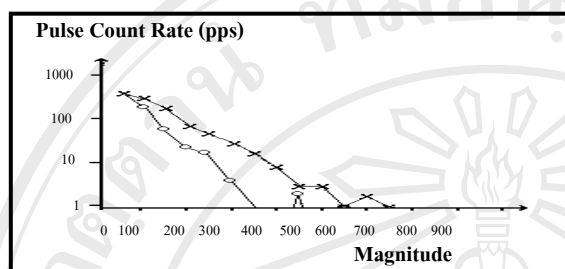
n - ϕ Characteristic คือการดูรูปแบบการกระจายข้อมูลที่มุมเฟสต่างๆ โดย n คือค่าเฉลี่ยของจำนวนพัลส์ทั้งหมดในแต่ละช่วงเฟสต่อจำนวนไซเคิลทั้งหมดของแรงดันไฟฟ้า ภายในระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล และ ϕ คือมุมเฟสทางไฟฟ้า ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเท่าๆกัน

3) การวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าประจุเฉลี่ยและมุมเฟส

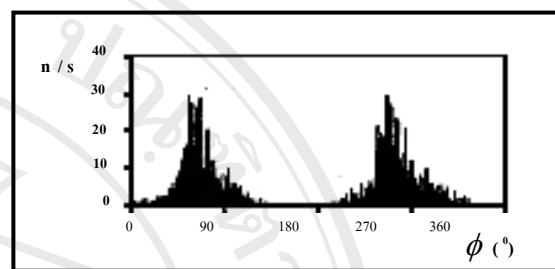
q_{mean} - ϕ Characteristic คือการดูลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าประจุเฉลี่ย (q_{mean}) ในแต่ละช่วงเฟสกับค่ามุมเฟสทางไฟฟ้า (ϕ)

4) การวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าประจุสูงสุดและค่ามุมเฟส

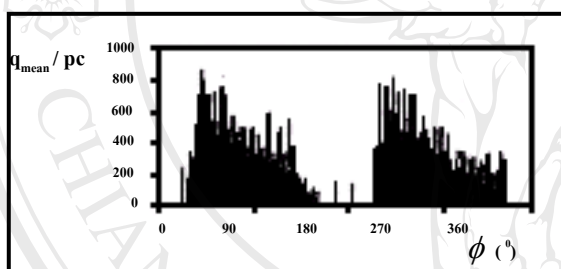
$q_{\max}$ - ϕ Characteristic คือการดูลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าประจุสูงสุด ($q_{\max}$) ในช่วงเฟสต่างๆกับค่ามุมเฟสทางไฟฟ้า (ϕ)



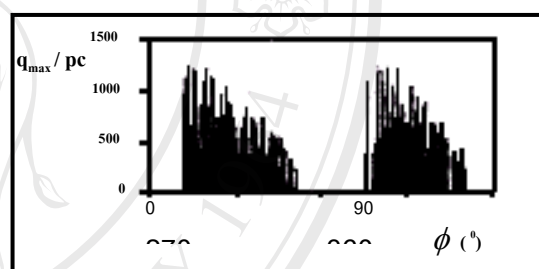
n-q Characteristic



n- ϕ Characteristic



q_{mean} - ϕ Characteristic



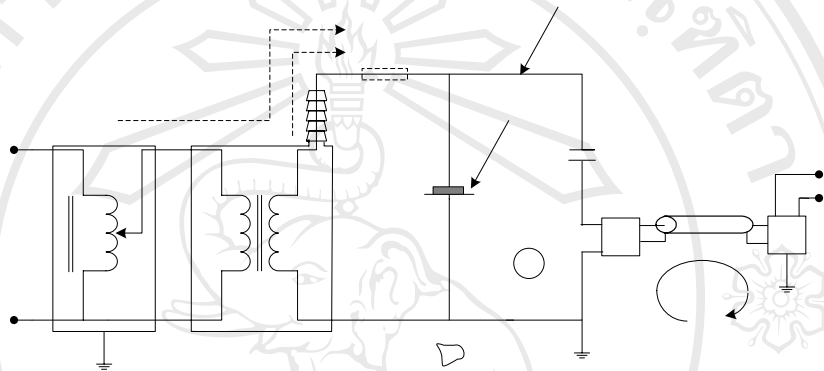
$q_{\max}$ - ϕ Characteristic

รูปที่ 4.27 รูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลการปล่อยประจุบางส่วนแบบต่างๆ[10]

4.9 สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

การลดสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าเป็นเรื่องที่จำเป็นมากในการทดสอบแบบออนไลน์ เนื่องจากการทดสอบโดยวิธีนี้จะมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนอย่างมาก สัญญาณรบกวนนี้อาจมาจากแหล่งภายนอกเช่นการสวิตชิงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นรอบข้าง สัญญาณคลื่นวิทยุ เครื่องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า สัญญาณรบกวนที่เกิดจากโลหะที่อยู่ใกล้วงจรทดสอบไม่ได้ต่อกราวด์ ดังรูปที่ 4.28 การเกิดกราวด์ลูปและเกิดสัญญาณออสซิลเลตเนื่องจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไม่ดีหรือหลวม หรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวนในตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดเอง เป็นต้น ซึ่งสัญญาณรบกวนประเภทนี้จะ

สังเกตได้จากสัญญาณที่ตรวจจับได้ ขณะที่ยังไม่ได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทดสอบ ส่วนสัญญาณรบกวนอีกประเภทนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทดสอบแล้ว แต่ไม่ใช่สัญญาณซึ่งเกิดจากการปล่อยประจุบางส่วนในอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบสัญญาณรบกวนประเภทนี้ เช่น สัญญาณรบกวนที่เกิดในหม้อแปลงไฟฟ้า สัญญาณรบกวนที่เกิดในบุชชิ่ง หรือตัวนำไฟฟ้าแรงสูง สัญญาณรบกวนต่างๆเหล่านี้จะมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างมาก ดังนั้นการทดสอบจึงต้องมีเทคนิคพิเศษเพื่อการลดสัญญาณรบกวนดังกล่าว



รูปที่ 4.28 สัญญาณรบกวนจากแหล่งต่างๆ[10]

4.9.1 การตรวจสอบสัญญาณรบกวน

การตรวจสอบสัญญาณรบกวน สำหรับสัญญาณรบกวนที่ไม่ขึ้นอยู่กั แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรทดสอบ ทำได้โดยอ่านจากเครื่องมือวัด ขณะที่ไม่ได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทดสอบสัญญาณที่อ่านได้ก็คือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ส่วนสัญญาณไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กัแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามารถตรวจสอบได้โดยการเปลี่ยนเอาอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ หรือแทนที่อุปกรณ์ทดสอบด้วยตัวเก็บประจุที่ไม่ทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วน ดังนั้นสัญญาณที่อ่านได้ก็จะเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

4.9.2 การลดสัญญาณรบกวน

การลดสัญญาณรบกวนทำได้หลายวิธี เช่น การกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า การต่อวงจรแบบสมดุล ซึ่งจะใช้ในการหักล้าง การปล่อยประจุบางส่วนที่มาจากแหล่งอื่น ทำให้สัญญาณที่วัดได้เป็น

HF

HV

220 V

สัญญาณที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบเพียงแหล่งเดียว แต่โดยทั่วๆไป การลดสัญญาณรบกวนที่ดีที่สุดคือการทดสอบในห้องชิลด์ แต่วิธีการนี้เหมาะสมจะใช้กับการทดสอบ การปล่อยประจุบางส่วนที่เป็นอุปกรณ์หรือวัสดุทดสอบขนาดเล็กเท่านั้น การลดสัญญาณรบกวนอีกวิธีที่ได้รับความนิยมและได้ผลดีอีกวิธีหนึ่งคือการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งแบ่งแยกย่อยอีกหลายวิธีดังนี้

1) วิธีหน้าต่างเวลา (Time Window Method)

เนื่องจากการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดขึ้นในมุมเฟสทางไฟฟ้าบางช่วงเท่านั้นดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นว่า การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเกิดในช่วงมุมเฟส 0 ถึง 90 องศาของแรงดันในไซเคลบวก และเกิดในช่วงมุมเฟส 180 ถึง 270 องศาของแรงดันในไซเคลบวก ดังนั้นพัลส์ที่เกิดในช่วงมุมเฟสอื่นจึงเป็นพัลส์ของสัญญาณรบกวน การลดสัญญาณรบกวนโดยวิธีนี้จึงเลือกที่จะกรองสัญญาณในช่วงมุมเฟสที่ไม่ได้เกิด การปล่อยประจุบางส่วนทิ้งไป และปล่อยให้สัญญาณผ่านออกไปสู่วงจรวัดในช่วงมุมเฟสที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนเท่านั้น

2) วิธีแยกขั้ว (Polarity Discrimination Method)

การลดสัญญาณรบกวนที่อาจทำได้วิธีหนึ่งคือการใช้วิธีแยกขั้วของพัลส์ที่เกิดขึ้นในอิมพีแดนซ์วัด (Measured Impedance, Z_m) วงจรทดสอบจะใช้วงจรตามรูป 4.24 ง) ซึ่งจะใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ CD สองตัวเพื่อทำการรับสัญญาณแล้วใช้การเปรียบเทียบขั้วของพัลส์ที่เกิดขึ้น ถ้าพัลส์ที่เกิดขึ้นเป็นสัญญาณรบกวนที่มาจากภายนอกขั้วของพัลส์ที่เกิดขึ้นจะเหมือนกัน และจะไม่นับพัลส์นั้นแต่ถ้าขั้วของพัลส์ต่างกันแสดงว่าเป็นพัลส์ของสัญญาณที่เกิดจากวัสดุทดสอบ

3) วิธีเฉลี่ยพัลส์ (Pulse Averaging)

การลดสัญญาณรบกวนโดยวิธีนี้ทำโดยอาศัยหลักการคือสัญญาณรบกวนที่เกิดจัดเป็นสัญญาณแบบสุ่มและสัญญาณที่เกิดจากการปล่อยประจุจริงก็ประมาณได้ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดิมในแต่ละไซเคลของแรงดัน ดังนั้นจึงใช้เทคนิคการลดสัญญาณรบกวนโดยการนำ

ค่าสัญญาณในแต่ละช่วงมุมเฟสมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนให้น้อยลงไป

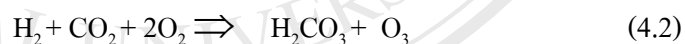
4) วิธีเลือกความถี่(Frequency Selection)

แหล่งสัญญาณรบกวนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งคือสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเครื่องมือตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนแบบแถบกว้าง เนื่องจากแบนด์วิดธ์ของเครื่องมือวัดจะครอบคลุมแบนด์วิดธ์ของสัญญาณคลื่นวิทยุด้วย แต่สำหรับเครื่องมือตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนแบบแถบแคบ จะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ โดยการเลือกใช้ช่วงความถี่ที่ไม่ไปซ้อนทับกับความถี่ของสัญญาณคลื่นวิทยุ แต่การเลือกใช้เครื่องมือวัดแบบแถบแคบก็จะให้ผลการทดสอบผิดเพี้ยนจากสัญญาณจริงไปบ้าง

4.10 อันตรายจากการปล่อยประจุบางส่วน

การปล่อยประจุบางส่วนเป็นปรากฏการณ์ซึ่งอากาศแตกตัวเป็น อีออน สิ่งที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ดังกล่าวมีดังนี้

4.10.1 ปฏิกริยาเคมีเนื่องจากในอากาศประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น ออกซิเจน(O_2) ไสไดรเจน(H_2O) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ความชื้น (H_2O)เป็นต้น เมื่ออากาศแตกตัวก็จับระหว่าง อีออน ทำให้เกิดกรดและโอโซน(O_3)ขึ้น เช่น



กรดที่เกิดขึ้นจะเป็นกรดที่เจือจางซึ่งจะมีฤทธิ์กัดผิวฉนวน หรือทำปฏิกิริยากับฉนวน และ ก๊าซโอโซนจะเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์

4.10.2 ความร้อนการแตกตัวเป็นอีออน เป็นของก๊าซจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนจะเร่งปฏิกิริยา ทางเคมีของสารฉนวน ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

4.10.3 Ionic Bombardment เกิดจากอีออนบวกวิ่งเข้าหาผนังฉนวนด้านซึ่งมีศักย์เป็นลบ การชนจะทำให้ฉนวน เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

จะเห็นว่าอันตรายจากการปล่อยประจุบางส่วนนั้น ไม่ใช่จะเป็นปรากฏการณ์ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายอย่างเฉียบพลันทันใด แต่เป็นปรากฏการณ์ซึ่งทำให้เวลาฉนวน

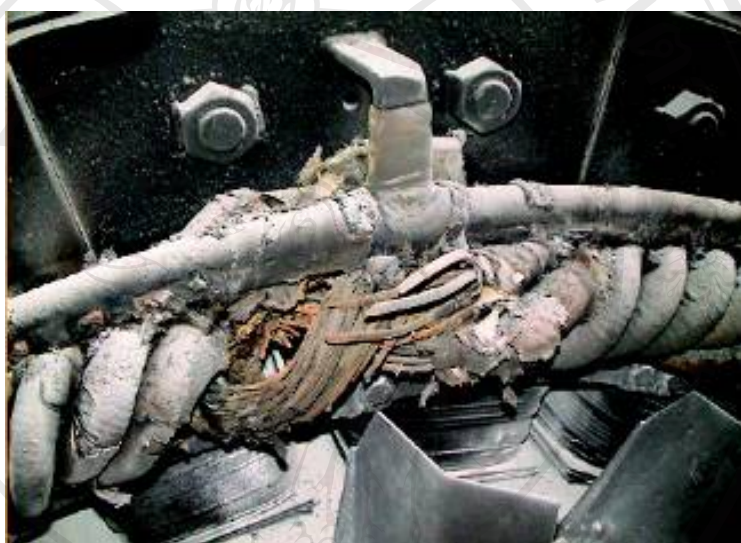
เสื่อมสภาพเร็วกว่าเวลาที่ควร ทั้งนี้เพราะปกติแล้วขณะเดินเครื่องนั้นฉนวนต้องรับทั้ง ความเครียดทางไฟฟ้า , ความเครียดทางกล และความเครียดทางความร้อนทำให้ฉนวนเกิดการเสื่อมสภาพตามเวลาที่ใช้งาน แต่เมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้นก็จะเร่งให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เมื่อฉนวนเสื่อมสภาพมากขึ้นก็ทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนมากขึ้น ฉนวนก็จะยิ่งเสื่อมสภาพเร็วขึ้นไปอีกลักษณะที่เกิดขึ้นถ้าไม่ได้รับการแก้ไขในช่วงเวลาที่เหมาะสมอันตรายจากการปล่อยประจุบางส่วนซึ่งแต่เดิมเป็นเพียงตัวเร่งการเสื่อมสภาพฉนวน ก็จะกลายเป็นสาเหตุโดยตรงของการล้มเหลวจากฉนวน ดังนั้นอันตรายจากการปล่อยประจุบางส่วนจึงแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ

ระยะเริ่มต้น ในระยะนี้อัตราการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะต่ำทั้งขนาดและปริมาณ มักจะก่อให้เกิดฉนวนเสื่อมสภาพลงเล็กน้อยเท่านั้น และมักจะเป็นตัวชี้ว่าบริเวณที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนนั้นมีความผิดปกติทางกลของส่วนประกอบต่างๆ เช่น เชือกผูกรัดขดลวดสุดท้ายหลวม, ล้มหลวมเป็นต้น ในการตรวจสอบสภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าพบการปล่อยประจุบางส่วนในระยะนี้การแก้ไขจะทำเพียงแก้ไขสาเหตุการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนเท่านั้นไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนฉนวนแต่อย่างใด



รูปที่ 4.29 การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนของฉนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิริกิติ์

ระยะอันตราย ถ้าการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนยังไม่ได้รับการแก้ไขเป็นเวลานาน ความร้อน กรดและการชนของอ็อกซิดอน จะทำให้ฉนวนบริเวณที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะเสื่อมสภาพลงเรื่อยๆ และการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มทั้งขนาด ความเข้มและความถี่ในการเกิด ถ้าพบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในระยนี้การแก้ไข จำเป็นจะต้องเปลี่ยนฉนวน ฉนวนบางส่วนหรือทั้งหมด เพราะฉนวนจะเสื่อมสภาพไปส่วนหนึ่ง ถ้าการปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นในระยนี้ยังตรวจสอบไม่พบฉนวนจะมีความเสี่ยงสูงมากที่จะเกิดภาวะสุดกำลังจากสาเหตุฉนวนเสื่อมสภาพ



รูปที่ 4.30การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนของฉนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดภาวะสุดกำลัง

อย่างไรก็ตามความรุนแรงของการเสื่อมสภาพและอัตราความเร็วของการเสื่อมสภาพของฉนวนใดๆนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวนด้วย ฉนวนซึ่งเป็นสารอินทรีย์เช่น ไม้ก้ำ หรือแก้ว จะไม่เป็นอันตรายมากนักเมื่อเกิดการปล่อยประจุบางส่วน สำหรับสารอินทรีย์อาจจะเกิดไหม้เกรียมหรือการแยกส่วนของฉนวน



รูปที่ 4.31 การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนของฉนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดภาวะสุดกำลัง

พลังงานของการปล่อยประจุบางส่วนนั้นจะแปรผันโดยตรงกับค่าความจุไฟฟ้าของโพรงอากาศ ในขณะที่อากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและแปรผันเป็นกำลังสองของแรงดันระหว่างโพรงอากาศ นั้น ดังนั้นโพรงอากาศ ซึ่งมีลักษณะ กว้างและยาวทำให้การปล่อยประจุบางส่วนที่เกิดขึ้นมีพลังงานสูง ทั้งนี้เพราะถ้าขนาดโพรงอากาศกว้างจะทำให้แรงดันคร่อมโพรงอากาศนั้นมาก และถ้าโพรงอากาศยาวจะทำให้มีค่า ความจุไฟฟ้าสูง ซึ่งโพรงอากาศลักษณะดังกล่าวมีโอกาสเกิดขึ้นได้ระหว่างผิวขดลวดกับแกนของส่วนที่อยู่กับที่จึงมักพบว่าร่องคายประจุมักจะทำอันตรายต่อฉนวนสูงกว่าการปล่อยประจุบางส่วนอื่นๆ