วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

บทความวิจัย

การศึกษาตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนวัสดุฉนวนอะคริลิค

อัญญารัตน์ สอนสนาม[1] สมพร วงษ์เพ็ง[1] และ ธวัชชัย สอนสนาม[2*]

[1] ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding author), E-mail: tawatchai.s@dru.ac.th

วันที่รับบทความ: 6 ตุลาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 14 พฤศจิกายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 19 ธันวาคม 2565
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ: บทความนี้นำเสนอการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนบนฉนวนอะคริลิคซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้แพร่หลายในงานป้องกันส่วนที่เป็นบัสบาร์และต่อเชื่อมในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างชุดตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการจำลองกับฉนวนอะคริลิคที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าในการทดลอง โดยใช้หลักการวิธีวัดกระแสความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนไฟฟ้าเมื่อได้รับแรงดันสูง ผู้วิจัยได้ใช้ชุดวงจรอินทิเกรทร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับกระแสความถี่สูง ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำสัญญาณได้ตั้งแต่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป การใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับสามารถนำไปคล้องกับสายตัวนำชุดทดลองเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำสัญญาณผ่านวงจรอินทิเกรท ผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจวัดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนผิวและในเนื้อของฉนวน รวมทั้งโคโรน่าดิสชาร์จที่ตำแหน่งปลายแหลมทางด้านแรงดันสูงและด้านกราวด์ได้เป็นอย่างดี ประสิทธิภาพของอุปกรณ์การตรวจจับเกิดดิสชาร์จบางส่วนเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60270 และรูปคลื่นของสัญญาณเป็นไปตามรูปแบบมาตรฐานที่กำหนดซึ่งสามารถใช้อ้างอิงตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนฉนวนอะคริลิคได้

คำสำคัญ: โคโรน่า; ดิสชาร์จบางส่วน; แรงดันเบรกดาวน์; อะคริลิค

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

บทความวิจัย

A Study of the Partial Discharge Position on Acrylic Insulation

Anyarat Sonsanam[1], Somporn Vongpeang[1] and Tawatchai Sonsanam[2*]

[1] Department of Industrial Education, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[2] Division of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

[*] Corresponding author, E-mail: tawatchai.s@dru.ac.th

Received: 6 June 2022; Revised: 14 November 2022; Accepted: 19 December 2022
Online Published: 22 March 2023

Abstract: This paper presents the design and construction of partial discharge detection from simulation with acrylic insulation instead of general electrical insulation by using the concept of measurement of high current frequency from partial discharge on insulation when high voltage was supplied. An integrated circuit was created to use together with a high current frequency detection signal from 500 kHz or more frequency. Partial discharge detection can hook on the conductor to induce magnetic induction and signal through integrated circuits. The result showed that this tool was able to detect partial discharge signals on the surface and internal of the insulator, including the corona discharge that occurs at the high voltage rod and the ground rod as well. The testing of efficiency detection was similar according to IEC 60270 standard. It can be used to refer to the partial discharge position on acrylic insulation.

Keywords: Corona; Partial Discharge; Breakdown Voltage; Acrylic

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

1. บทนำ

ปัจจัยสำคัญของการใช้แรงดันไฟฟ้าทุกระดับคือการฉนวน ซึ่งหมายถึงวัสดุที่นำมาใช้เป็นฉนวนและเทคนิคการฉนวน กล่าวคือ ที่ใดมีไฟฟ้าแรงดันสูงที่นั่นย่อมมีการฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายแก่บุคคลและสิ่งมีชีวิตที่เข้าไปใกล้หรือสัมผัสไฟฟ้าแรงดันสูงและป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรของระบบไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับสายเฟสหรือสายเฟสกับสายดิน ในการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะทำได้ง่ายหากมีพื้นที่ว่างมากเพียงพอหรือเป็นการฉนวนที่ระดับไฟฟ้าแรงดันต่ำซึ่งจะใช้เทคนิคการฉนวนที่ไม่ซับซ้อนเท่าแรงดันสูงหากแต่การฉนวนไฟฟ้าแรงดันสูงและมีการจำกัดพื้นที่ต้องออกแบบการฉนวนให้ดีและคำนึงถึงค่าใช้จ่าย ดังนั้นผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะของสนามไฟฟ้า ความเครียดสนามไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งความคงทนของฉนวนต่อความเครียดสนามไฟฟ้า [1]

ปัจจุบันฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ โดยทั่วไปฉนวนไฟฟ้านั้นมีความต้านทานสูง ความต้านทานของฉนวนไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงไดอิเล็กทริกซึ่งพิจารณาได้จากเกรเดียนต์หรือความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า ถ้าสนามไฟฟ้าที่ให้กับฉนวนมีค่าสูงกว่าความแข็งแรงไดอิเล็กทริกของฉนวนจะเกิดการเบรกดาวน์ของฉนวนขึ้น [2] หรือถ้าหากฉนวนเกิดความบกพร่องเนื่องจากการผลิตหรือใช้งานอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือได้รับแรงดันเกินเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของฉนวนได้ โดยสภาพเช่นนี้อาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเกิดดิสชาร์จบางส่วนซึ่งเป็นการเกิดเบรกดาวน์ที่ไม่สมบูรณ์โดยพลังงานที่ทำให้เกิดการดิสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพจากฉนวนเป็นตัวนำได้สมบูรณ์ ดิสชาร์จบางส่วนเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่สามารถนำไปสู่ความผิดพร่องของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง ยิ่งไปกว่านี้ดิสชาร์จบางส่วนสามารถทำลายระบบฉนวน และทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของระบบฉนวน [3] ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้ฉนวนเกิดการเสื่อมสภาพแล้วนำไปสู่การเบรกดาวน์ในที่สุด ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันสูงจึงจำเป็นต้องมีการทดลองการวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนก่อนนำไปใช้งานหรือระหว่างที่ใช้งานไปได้ระยะหนึ่งแล้ว การตรวจติดตามอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะทำให้พบความบกพร่องในอุปกรณ์ก่อนที่จะได้รับความเสียหายและจะทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น [4] โดยเป็นการทดลองแบบไม่ทำลาย เนื่องจากการวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนเป็นการวัดค่าการดิสชาร์จภายในเนื้อฉนวนซึ่งเกิดจากโพรงก๊าซหรือการมีสิ่งเจือปนอยู่ภายในเนื้อฉนวน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของอุปกรณ์การดิสชาร์จภายในภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้าและระยะเวลาการดิสชาร์จทำให้ฉนวนเกิดการเบรกดาวน์ในที่สุด [5] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวความคิดในการศึกษาวัสดุฉนวนอะคริลิคเนื่องจากเป็นที่นิยมประยุกต์ใช้กันส่วนที่มีไฟฟ้าอย่างแพร่หลายเพื่อประเมินและหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ระหว่างอิเล็กโทรด [6] และรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยอ้างอิงตามมาตรฐานที่กำหนด [7-9]

จากงานวิจัยผ่านมาพบว่าในการจำแนกรูปแบบดิสชาร์จบางส่วนที่นิยมและใช้กันมากมี 3 แบบ คือ แบบที่ 1 คือการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนที่ต้องจัดกลุ่มลักษณะการเกิดขึ้นหรือการจำแนกประเภท แบบที่ 2

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

คือ การคำนวณหาค่าของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแต่ละชนิดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจำและจำแนกประเภทโดยใช้เทคนิคในการเลือกลักษณะที่เหมาะสมเพื่อลดจำนวนให้น้อยลง และแบบที่ 3 คือการจำแนกประเภทของดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้าช่วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างอุปกรณ์การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐานและวัดสัญญาณบนฐานเวลารูปคลื่นไซด์

2. ระเบียบวิธีการ

2.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

สำหรับการออกแบบวงจรจะพิจารณาจากความถี่ที่เกิดดิสชาร์จบางส่วนในรูปแบบต่าง ๆ คือ โคโรน่าดิสชาร์จ (Corona Discharge) ดิสชาร์จภายใน (Internal Discharge) และดิสชาร์จตามผิว (Surface Discharge) ซึ่งความถี่ของกระแสดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในความถี่ตั้งแต่ระดับกิโลเฮิรตซ์จนถึงเมกกะเฮิรตซ์ ดังนั้นการออกแบบจึงให้ครอบคลุมย่านความถี่หรือช่วงความถี่ของดิสชาร์จบางส่วนที่ชุดเหนี่ยวนำกระแสที่สามารถวัดได้ [3-4]

งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรอินทิเกรทแบบแอคทีฟตัวกรองสัญญาณช่วงความถี่ย่านที่กว้าง ตามมาตรฐาน IEC 60270 ระบุว่าความถี่ของอุปกรณ์วัดที่จะใช้ตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนนั้นต้องสามารถตอบสนองได้ตั้งแต่ 500 กิโลเฮิร์ต ขึ้นไปและช่วงความถี่ของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละรูปแบบมีค่าในระดับ 1 เมกกะเฮิร์ต ขึ้นไปและค่าขนาดแรงดันที่วัดได้อยู่ในช่วง 200-1000 มิลลิโวลต์ ลักษณะเป็นรูปคลื่นพัลส์ความถี่สูง [7] ดังนั้นการเลือกออปแอมป์จะต้องมีคุณสมบัติตอบสนองความถี่อยู่ในช่วง 500 กิโลเฮิร์ต ขึ้นไปจนถึงระดับ 10 เมกกะเฮิร์ต หรือมากกว่า มีค่าอัตราสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต (Slew Rare) และช่วงเวลาที่ผลตอบสนองเมื่อสัญญาณเอาต์พุต (Rise Time) ต่ำเพื่อลดปัญหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณเพื่อให้การวัดมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นจึงเลือกใช้ออปแอมป์ที่เหมาะสมกับการใช้งานนี้ คือ เบอร์ LM6181IN และทำการจำลองวงจรอินทิเกรทเพื่อหาค่า Frequency Response และ Bandwidth ของตัววงจรอินทิเกรท หลังจากนั้นจะทำการประกอบสร้างชุดอินทิเกรทขึ้นและนำไปทดลองร่วมกับชุดวัดกระแสความถี่สูง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลในการหารูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งช่วงความถี่ที่ได้ออกแบบและอัตราการขยายเป็นไปดังสมการที่ 1-2 [13-14]

$$F_L = \frac{1}{2\pi \times R_1 C_1} \quad (1)$$

$$= \frac{1}{2\pi \times 200 \times 6800 \times 10^{-12}}$$

$$= 117 \text{ กิโลเฮิร์ต}$$

$$F_H = \frac{1}{2\pi \times R_2 C_2} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2\pi \times 200 \times 100 \times 10^{-12}}$$

$$= 8 \quad \text{เมกกะเฮิร์ต}$$

$$AV = R_4 : R_3 = 300:100 = 3:1$$

เมื่อ F_L คือ ความถี่ต่ำสุดที่ผ่านได้
F_H คือ ความถี่สูงสุดที่ผ่านได้
AV คือ อัตราการขยายกลับเฟส
R_1, R_2 คือ Element Input ของวงจรอินทิเกรท
C_1, C_2 คือ Feedback Element ของวงจรอินทิเกรท
R_3, R_4 คือ ความต้านทานของวงจรขยายกลับเฟส

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

วงจรอินทิเกรทที่ได้ทำการออกแบบเป็นชนิดตัวกรองความถี่รวม (Band Pass Filter) โดยออกแบบให้มีช่วงความถี่ 117 กิโลเฮิร์ต ถึง 8 เมกกะเฮิร์ต และมีอัตราการขยายอินพุตต่อเอาท์พุตเท่ากับ 1:3 ในการทดลองจะป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซด์ (Sinusoidal) เพื่อทดลองรูปคลื่นสัญญาณโดยให้ CH1 คือ อินพุต และ CH2 คือ เอาท์พุตจากวงจรอินทิเกรท ดังรูปที่ 1-4

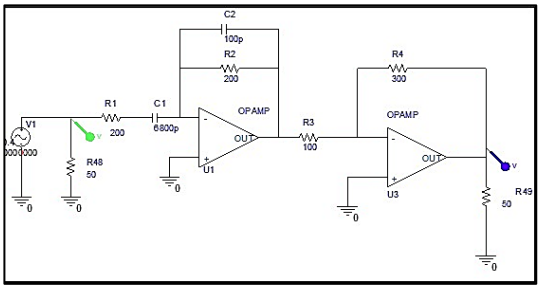
2.2 การออกแบบอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (High Frequency Current Transformer)

การเลือกใช้วัสดุต้องเลือกอุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองต่อความถี่ที่ต้องการใช้งาน จากการศึกษาการออกแบบอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง พบว่าแกนเฟอร์ไรท์ที่เหมาะสมและจัดหามาใช้ได้กับงานวิจัยนี้ก็คือ แกนเฟอร์ไรท์แบบวงแหวน (Ferrite Ring Core) ลักษณะรูปร่างของและสายการวัด แสดงดังรูปที่ 5

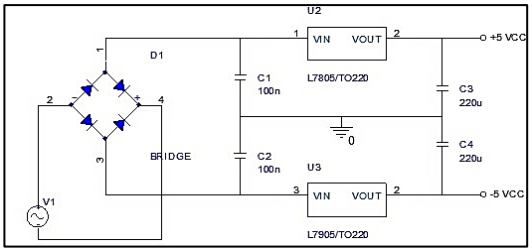
2.3 การออกแบบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

อุปกรณ์ทดลองที่ใช้เพื่อจำลองสภาวะการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ การเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ผิว และการเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่แกปปลายแหลม

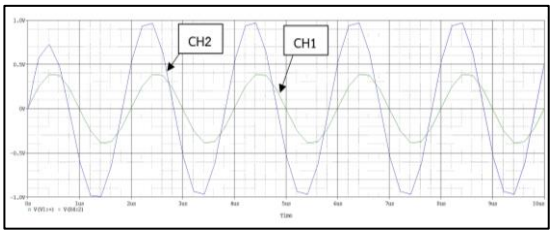
ผู้วิจัยเลือกวัสดุฉนวนชนิดอะคริลิคตัดเป็นรูปทรงกลมใช้ในการจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในและการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว ส่วนการทดลองการเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่แกปปลายแหลมจะใช้วัสดุทองเหลืองกลึงขึ้นรูปให้ปลายแหลมทำมุม 45 องศา และอีกด้านเป็นแผ่นทองเหลืองระนาบลักษณะจานกลม ซึ่งวัสดุทดลองทั้งสามรูปแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 6-8



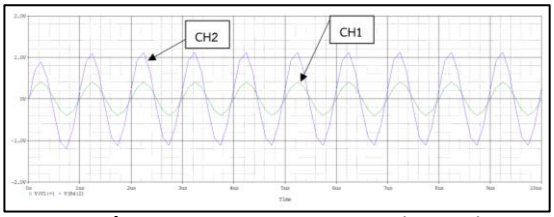
รูปที่ 1 การจำลองวงจรอินทิเกรทและวงจรขยาย



รูปที่ 2 การจำลองวงจรออปแอมป์



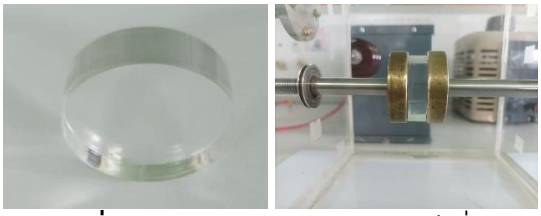
รูปที่ 3 สัญญาณจากการจำลองที่ความถี่ 500 กิโลเฮิร์ต



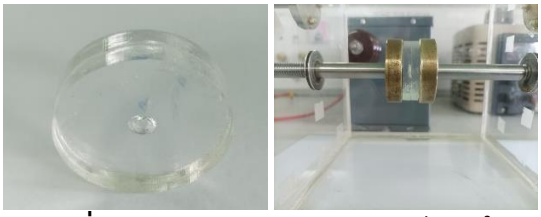
รูปที่ 4 สัญญาณจากการจำลองที่ความถี่ 1 เมกกะเฮิร์ต

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

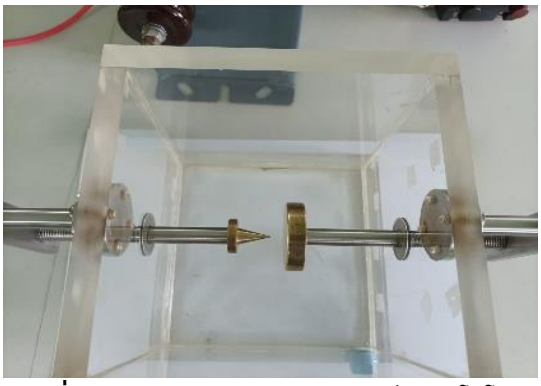
รูปที่ 5 แกนเฟอร์ไรท์แบบวงแหวน



รูปที่ 6 วัสดุทดลองสำหรับการดิสชาร์จที่ผิว



รูปที่ 7 วัสดุทดลองสำหรับการดิสชาร์จภายใน



รูปที่ 8 การทดลองสำหรับการดิสชาร์จแบบโคโรน่า

2.4 วงจรทดลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

วงจรทดลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ประกอบด้วย ตัวปรับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ (Variac) 0-220 โวลต์ เชื่อมต่อกับหม้อแปลงทดลองแรงสูงขนาด 0-15 กิโลโวลต์ (Single-Phase AC Voltage Test Transformer) เพื่อป้อนแรงดันสูงให้กับชุดทดลอง (Test Object) [8-9] โดยวัดสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสความถี่สูง (HFCT) และแสดงผลบนออสซิลโลสโคปบนฐานเวลารูปคลื่นไซด์ตามมาตรฐาน IEC 60270 [7] ดังรูปที่ 9-10

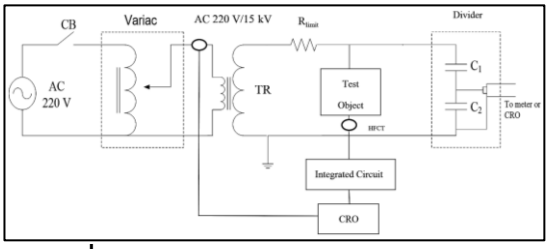
3. ผลการทดลอง

3.1. ผลการตรวจวัดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ

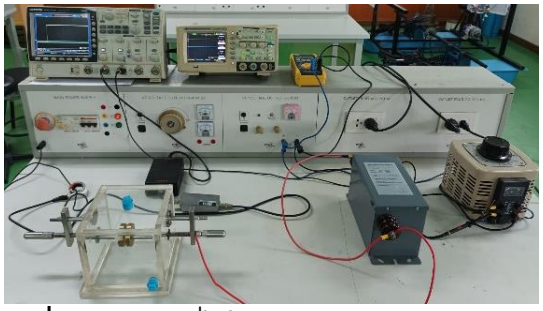
การทดลองตรวจวัดรูปแบบสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนนั้นจะทำการเพิ่มแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายหม้อแปลงแรงดันสูง และสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดสอบร่วมกับสัญญาณพัลส์ดิสชาร์จที่ตรวจจับได้ในออสซิลโลสโคป (CH2) บนฐานเวลารูปคลื่นไซด์ และการตรวจวัดแรงดันที่ทำการจ่ายให้กับวัสดุทดสอบนั้นทำการวัดโดยใช้โวลเตจดิไวเดอร์ซึ่งวัดทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงทดสอบ (CH3)

สำหรับการเกิดดิสชาร์จภายในเนื้อฉนวนในรูปที่ 11 ปรากฏการณ์ดิสชาร์จจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อทำการเพิ่มแรงดันทดลองจนถึง 6.2 กิโลโวลต์ ของวัสดุทดลองหนา 1 เซนติเมตร ค่ายอดของกระแสดิสชาร์จจะมีขนาดใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไซเคิลบวกหรือไซเคิลลบทางด้านเดียวกันของรูปคลื่นไซด์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004



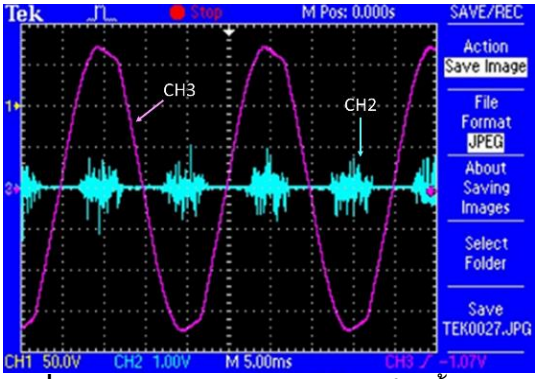
รูปที่ 9 วงจรทดลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน



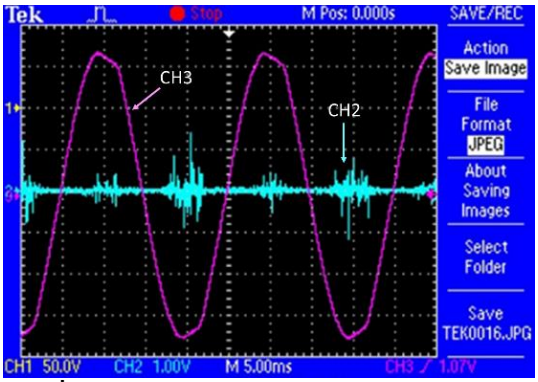
รูปที่ 10 วงจรจริงที่ใช้ในการทดลองดิสชาร์จบางส่วน

สำหรับการเกิดดิสชาร์จตามผิวแสดงดังรูปที่ 12 การเกิดดิสชาร์จเกิดขึ้นเมื่อแรงดันทดลองสูงขึ้นถึง 7.2 กิโลโวลต์ ของวัสดุทดลองหนา 1 เซนติเมตร ปรากฏการดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นก่อนค่าแรงดันทดลองขึ้นถึงจุดสูงสุด แต่การเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวนี้พบว่าระดับความสูงของพัลส์หรือประจุของไซเคิลบวกและลบไม่เท่ากันโดยที่ประจุหรือพัลส์ในไซเคิลบวกจะมีขนาดต่ำกว่าประจุหรือพัลส์ในไซเคิลลบ

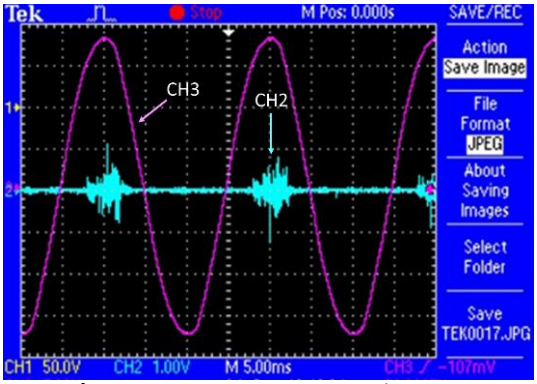
การเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่ปลายแหลมทางด้านกราวด์มีผลตรวจวัดตามรูปที่ 13 พบว่าปรากฏการณ์ดิสชาร์จเกิดเพียงไซเคิลใดไซเคิลหนึ่ง จากรูปมีประจุหรือพัลส์เกิดขึ้นรอบๆ ค่ายอดของแรงดันเพียงไซเคิลบวกเท่านั้น การเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่ปลายแหลมทางด้านกราวด์จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อแรงดันทดลองเพิ่มสูงถึง 4.5 กิโลโวลต์ ที่ระยะห่างของช่องอากาศ 1 เซนติเมตร



รูปที่ 11 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน



รูปที่ 12 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวของฉนวน



รูปที่ 13 การเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่ปลายแหลมทางด้านกราวด์ที่ระยะห่างของช่องอากาศ 1 เซนติเมตร

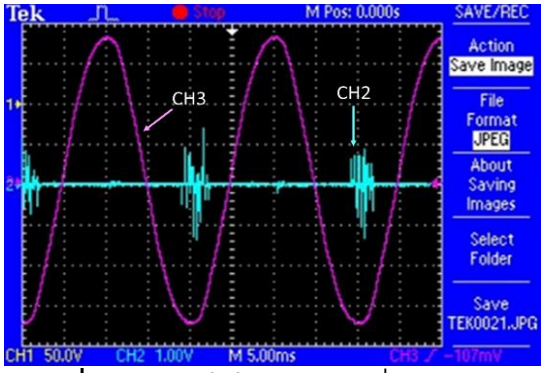
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

รูปที่ 14 แสดงการเกิดโคโรน่าดิสชาร์จปลายแหลมทางด้านแรงดันสูง พบว่าปรากฏการณ์การดิสชาร์จเกิดขึ้นเพียงไซเคิลใดไซเคิลหนึ่ง จากรูปพบว่ามีประจุหรือกระแสพัลส์เกิดขึ้นรอบๆ ค่ายอดของแรงดันเพียงไซเคิลลบเท่านั้นการเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่ปลายแหลมทางด้านแรงดันสูงจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อแรงดันทดลองเพิ่มสูงถึง 4.2 กิโลโวลต์ ที่ระยะห่างของช่องอากาศ 1 เซนติเมตร

ผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าดิสชาร์จโดยให้ปลายแหลมเป็นด้านแรงดันสูงดังรูปที่ 14 การเกิดโคโรน่าดิสชาร์จเกิดที่ตำแหน่ง 90 องศา ของรูปคลื่นไซน์และเมื่อเปลี่ยนให้ปลายแหลายเป็นกราวด์ตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนยังเกิดที่ตำแหน่ง 90 องศาเหมือนเดิมแต่อยู่ในซีกบวกของแรงดันทดลอง

จากผลการทดลองได้ทำการการเปรียบเทียบผลการวัดที่จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูงที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นจากแกนเฟอร์ไรท์ เบอร์ Ferrite Ring Core 742 702 5 พันด้วยลวดตัวนำจำนวนรอบเท่ากันคือ 25 รอบ พบว่าลักษณะและตำแหน่งของสัญญาณกระแสพัลส์ได้จากแกนเฟอร์ไรท์มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะกระแสพัลส์หรือรูปแบบการเกิดดิสชาร์จตามมาตรฐานและสามารถแยกรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ชัดเจนและสามารถเหนี่ยวนำกระแสที่เกิดการดิสชาร์จได้ดี

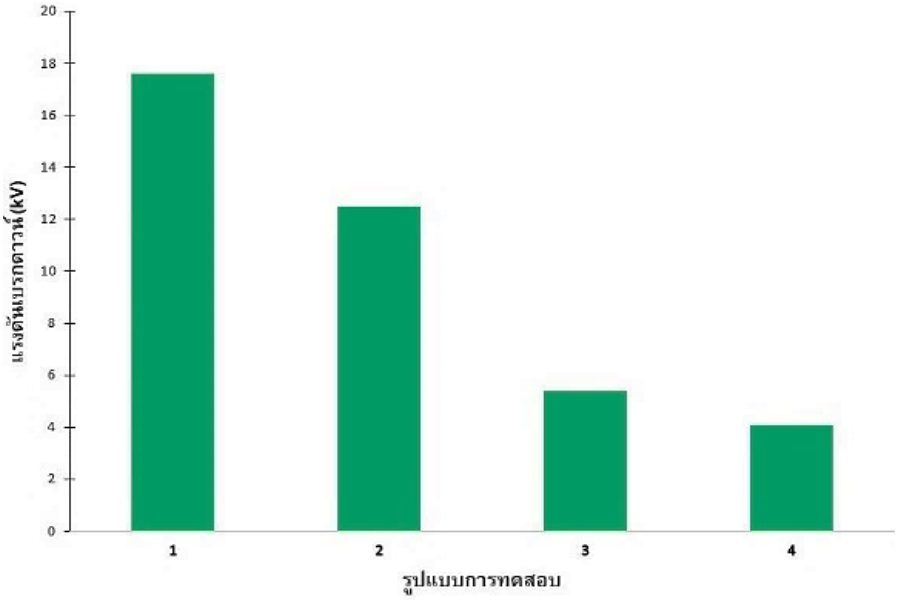
การทดลองฉนวนทางไฟฟ้าแรงสูงอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมทำการวัดค่าคือ แรงดันเบรกดาวน์ของฉนวนไม่ว่าช่องว่างอากาศหรือวัสดุฉนวนแข็งที่นำมาใช้งานเพื่อสังเกตุและประเมินผลกลไกการเกิดเบรกดาวน์ [10-11] จากรูปที่ 15 คือ ค่าแรงดันเบรกดาวน์ของ รูปแบบการทดลองที่ 1-4 คือ กรณีวัสดุอะคริลิคปกติ กรณีวัสดุ



รูปที่ 14 การเกิดโคโรน่าดิสชาร์จที่ปลายแหลมทางด้านแรงสูงที่ระยะห่างของช่องอากาศ 1 เซนติเมตร

อะคริลิคที่มีรูโพรงข้างใน กรณีปลายแหลม ด้านกราวด์และกรณีปลายแหลมด้านไฟฟ้าแรงดันสูง ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์ของรูปแบบการทดลองที่ 2 มีค่า แรงดันน้อยกว่ารูปแบบการทดลองที่ 1 เท่ากับ 5.1 กิโลโวลต์ หรือ 28.98 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากรูปแบบการทดลองที่ 2 นั้นจำลองให้วัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยให้เกิดรูโพรงอากาศตรงกลางเมื่อแรงดันที่ตกคร่อมช่องว่างอากาศจะเกือบเท่ากับแรงดันทั้งหมดระหว่างขั้วอิเล็กโทรด การสปาร์กจะเกิดในช่องว่างอากาศก่อนเรียกว่า การเกิดดิสชาร์จบางส่วนและทำให้มีประจุเกิดขึ้นบนผิวฉนวนเพิ่มขึ้นมีประจุสะสมอยู่มากเนื่องจากมีค่าไดอิเล็กทริกต่ำ มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่นและมีค่าเปอร์มิตติวิตี้ต่ำกว่าเนื้อฉนวนหลักเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะเกิดความร้อนเกิดขึ้นมากกว่าบริเวณส่วนอื่น ฉะนั้นสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างจึงเกิดขึ้นมากกว่าค่าแรงดันเบรกดาวน์ทำให้นำไปสู่การเบรกดาวน์ที่เร็วกว่าวัสดุอะคริลิครูปแบบที่ 1 [12-13]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004



รูปที่ 15 แรงดันเบรกดาวน์ของการทดลองแต่ละกรณี

เมื่อเปรียบเทียบแรงดันเบรกดาวน์ของรูปแบบการทดลองที่ 3 และ 4 พบว่า อิเล็กโทรดปลายแหลมขั้วแรงดันสูงเมื่อเทียบกับแผ่นระนาบเมื่อแรงดันสูงถึงค่าแรงดันคอโรนาเริ่มเกิด ก๊าซที่อยู่ระหว่างปลายแหลมกับแผ่นระนาบจะเกิดการแตกตัวบริเวณที่ปลายแหลมซึ่งอิเล็กตรอนมีสมบัติเคลื่อนที่ได้เร็วจะวิ่งเข้าหาปลายแหลมที่มีศักย์เป็นบวกหรือแอโนด ทำให้วัตถุปลายแหลมมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ขณะที่ไอออนบวกถูกดึงอิเล็กตรอนออกไปบริเวณปลายแหลมซึ่งมีสมบัติเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าอิเล็กตรอนค้างอยู่บริเวณผิวปลายแหลมเป็นผลทำให้ความเครียดทางไฟฟ้าที่บริเวณปลายแหลมลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามความเครียดของสนามไฟฟ้าจะไปเกิดขึ้นที่บริเวณแผ่นระนาบสูงขึ้นอันเนื่องมาจากประจุไอออนบวกหน้าปลายแหลมที่ค้างอยู่คล้ายกับปลายอิเล็กโทรดมีพื้นที่มากขึ้นและการสะสมตัวของไอออนสูงเหมือนต่อระยะปลายแหลมให้ระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับแผ่นระนาบสั้นลงขณะที่ความเครียดสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นระหว่างช่องว่างของปลายแหลมกับแผ่นระนาบเป็นผลทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ง่ายนั่นคือ ประจุคงค้างทำให้แรงดันเบรกดาวน์ขั้วบวกลดลงทำให้แรงดันเบรกดาวน์รูปแบบการทดลองที่ 4 ต่ำกว่ารูปแบบการทดลองที่ 3 [1, 14]

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าดิสชาร์จโดยให้ปลายแหลมเป็นด้านแรงดันสูง การเกิดโคโรน่าดิสชาร์จจะเกิดที่ตำแหน่ง 90 องศา ของรูปคลื่นไซน์และเมื่อเปลี่ยนให้ปลายแหลายเป็นกราวด์ตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนยังเกิดที่ตำแหน่ง 90 องศา เหมือนเดิมแต่อยู่ในฝั่งด้านบวกของแรงดันทดลอง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

ดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวนพบว่าคลื่นตำแหน่งที่เกิดจะเกิดขึ้นที่มุมระหว่าง 0-90 องศา และ 180-270 องศา การทดลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวของฉนวนจะเกิดที่มุมเฟสระหว่าง 0-90 องศา และ 180-270 องศา เหมือนกับดิสชาร์จบางส่วนภายในผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวนั้น ไซเคิลบวกมีกระแสดิสชาร์จบางส่วนน้อยกว่าไซเคิลลบ

ขนาดของแรงดันที่เริ่มเกิดดิสชาร์จและเบรกดาวน์ขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงอากาศ และความคงทนต่อการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศโดยที่ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่ป้อนและขนาดของโพรงอากาศและทิศทางของความเข้มสนามไฟฟ้าซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและผลของประจุค้างจะเกิดขึ้นในกรณีที่สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงเป็นผลให้แรงดันเบรกดาวน์มีค่าสูงกว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด และผลกระทบของประจุค้างทำให้แรงดันเบรกดาวน์ของขั้วบวกและขั้วลบต่างกันในทางตรงกันข้ามกับแรงดันเบรกดาวน์โดยตรง

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสความถี่สูงสำหรับตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนของฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับกระแสความถี่สูงสามารถทำการวัดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในเนื้อฉนวน การดิสชาร์จบางส่วนที่ผิวของฉนวนและโคโรน่าดิสชาร์จที่เกิดขึ้นที่ปลายแหลมทางด้านแรงดันสูงและปลายแหลมทางด้านกราวด์ได้มีลักษณะใกล้เคียงเมื่อเทียบกับรูปแบบลักษณะการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Abdel-Salam, H. Anis, A. El-Morshedy and R. Radwan, High voltage engineering: Theory and practice, Marcel Dekker Inc., NY, USA, 2000.

[2] S. Sumruay, High voltage engineering, 3rd Ed., Chulalongkorn University, Thailand, 2006.

[3] S. Boonpoke, Development of partial discharges pattern recognition systems by using artificial intelligence techniques, Thesis, Suranaree University of Technology, Thailand, 2010.

[4] R. Sriphuek, S. Chotigo and K. Tikakosol, Application of on-line partial discharge measurement for high voltage equipment in thailand, KMUTT Research and Development Journal, 2016, 39(1), 101-118. (in Thai)

[5] A. Phongsa and W. Plueksawan, Partial discharge diagnosis and localization in underground cable at Hin Kong power station, Nong Kae district, Saraburi, Thailand, Journal of Engineering, RMUTT, 2020, 18(2), 59-68. (in Thai)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2023.03.004

[6] M. Schueller, A. Blaszczyk, A. Krivda and J. Smajic, Influence of the surface conductivity of a single glass barrier on the breakdown voltage in an air insulated rod plane arrangement, 2016 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Proceeding, 2016, 428-431.

[7] IEC 60270, High-voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements, 2000.

[8] IEC 60060-1, High-voltage Test Techniques, 1989.

[9] IEEE 4a, Standard Techniques for High-Voltage Testing, 2001.

[10] B. Chen, M. Kollosche, M. Stewart, J. Busfield and F. Carpi, Electrical breakdown of on acrylic dielectric elastomer: effects of hemispherical probing electrode's size and force, International Journal of Smart and Nano Materials, 2015, 6(4), 290-303.

[11] S. Chakraborty, R. Patil and Y.B. Mandake, Study of breakdown phenomenon in solid insulators using sphere gap and insulation testing kits, International Research Journal of Engineering and Technology, 5(4), 2018, 2759-2761.

[12] S.S. M.Ghoneim, S.S. Dessouky, A. Boubakeur, A.A. Elfaraskoury, A.B.A. Sharaf, K. Mahmoud, M. Lehtonen and M.M.F. Darwish, Accurate insulating oil breakdown voltage model associated with different barrier effects, Processes, 2021, 9, 657.

[13] M. S. Naidu and V. Kamaraju, High voltage engineering, McGraw Hill Ltd., NY, USA, 1995.

[14] E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel, High-voltage engineering, Butterworth Heinemann Inc., Oxford, UK, 2000.