บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

การสร้างชุดทดสอบความคงทนไดอิเล็กทริกต่อไฟฟ้าแรงดันสูงของฉนวนไฟฟ้า

Design of High Voltage insulation dielectric strength testing

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว ชนันท์ ดิสสะมาน จิรวรรธ์ เกตุเหม และสุดาพร คุ้มทวีวุฒิ

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขต พระนครเหนือ

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 Email: Supawud.n@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างชุดทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ ฉนวนเหลว ฉนวนแข็ง ฉนวนก๊าซ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถจัดหาได้ในประเทศมาเพื่อใช้ในการสร้างชุดทดสอบโดยในการทดสอบนั้นจะต้องได้ผลที่มีค่าความผิดพลาดและคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดเพื่อความน่าเชื่อถือและแม่นยำการออกแบบชุดทดสอบฉนวนเหลว ได้ออกแบบตามมาตรฐาน IEC 156 โดยใช้วัสดุทดสอบเป็น น้ำมันหม้อแปลง การออกแบบชุดทดสอบฉนวนแข็ง ได้ออกแบบให้มีระยะในการจับวัตถุแบบปรับระยะได้ โดยวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ เป็น แผ่นเบกาไลท์ และการออกแบบชุดทดสอบฉนวนก๊าซ ได้ออกแบบโดยใช้วัสดุอะครีลิคให้สามารถบรรจุก๊าซได้ โดยภายในบรรจุก๊าซออกซิเจนความดัน 2 bar การทดสอบวัสดุทั้ง 3 ชนิด ทำได้โดยการจ่ายแรงดันทดสอบเป็นแรงดันสูงกระแสสลับ ให้กับชุดทดสอบจนเกิดการเบรกดาวน์ผ่านวัสดุฉนวนนั้น

คำสำคัญ: เบรคดาวน์, ฉนวน, เบกาไลท์

Abstract

This article about design and builds test three types of the insulation, liquid insulator, rigid insulating gas using materials can be procured locally to be used to create a series of tests in the test, it must work with mistakes and errors to a minimum to ensure reliable and accurate. The design of insulation liquid test kit has designed according to the standard IEC 156 materials test as transformer oil test kit for solid insulation design, has designed a custom object in the catch phrase. By the materials used in the tests is a sheet of bakelite test design and insulation gas. Designed using the material acrylic can pack up gas. By internal gas pressure of 2 Bar, oxidation test materials by type, 3 supply Voltage is AC high voltage test, with test kits to breakdown through the insulator material and then make a note of the test.

Keywords: breakdown, insulation, bakelite

1. บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังเริ่มตั้งแต่ระบบส่งจ่ายและระบบจำหน่าย ไฟฟ้าทั้งหมดเป็นระบบที่ใช้ระดับแรงดันสูง ปัญหาสำคัญยิ่งประการหนึ่งของการใช้ระบบไฟฟ้าแรงสูง ก็คือการฉนวน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเสถียรภาพ และความเชื่อถือได้ของระบบ ฉนวนไฟฟ้าจึงมีความสำคัญยิ่งในงานวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งเป็นวัสดุที่สำคัญที่ใช้มาก ใน หม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์สายส่ง อุปกรณ์ต่างๆ ในสถานีไฟฟ้า

ฉนวนที่ใช้กับงานไฟฟ้าแรงสูง โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด ได้แก่ ฉนวนก๊าซ เป็นฉนวนแทรกซึม และเป็นตัวระบายความร้อน เป็นฉนวนที่กลับคืนสู่สภาพฉนวนได้เร็ว ฉนวนเหลว โดยทั่วไปคือน้ำมันหม้อแปลง เป็นฉนวนที่สามารถคืนสภาพฉนวนได้หลังเบรกดาวน์ ฉนวนแข็ง มีความเป็นฉนวนสูงกว่าฉนวนสองชนิดแรก แต่จะสามารถเสียสภาพฉนวนอย่างถาวรหลังเกิดเบรก

ในการทดลองทดสอบวัสดุฉนวน มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทดสอบค่าความคงทนฉนวนเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการฉนวน โดยทั่วไปหากให้อุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศหรือทดสอบจากตามหน่วยงานต่างๆ อาจจะทำให้มีค่าใช้จ่ายในราคาที่ค่อยข้างสูง จึงได้มีการประดิษฐ์ที่ได้คิดค้นขึ้นมาเองได้ โดยอาศัย โดยอาศัยความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง มาประยุกต์ใช้กับวัสดุอุปกรณ์ที่สามารถจัดหาได้ในประเทศมาเพื่อใช้ในการสร้างงชุดทดสอบโดยในการทดสอบนั้นจะต้องได้ผลที่มีค่าความผิดพลาดและคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดเพื่อความน่าเชื่อถือและแม่นยำของชิ้นงานที่จะสามารถนำไปใช้จริงได้อย่างถูกต้อง

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคการออกแบบฉนวนในส่วนของฉนวนทางไฟฟ้าโดยหลักการของฉนวนนั้นต้องทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ฉนวนได้รับและตัดการนำของกระแสไฟฟ้าได้เป็นหลัก ทั้งนี้ยังต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่นๆอีก เช่น พลังงานแฟกเตอร์ที่สูญเปล่าในหม้อแปลงที่จะมีผลกระทบต่อความร้อนอุณหภูมิของหม้อแปลงทำให้หม้อแปลงมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นฉนวนจะต้องเป็นวัสดุที่ระบายความร้อนได้เป็นคุณสมบัติต่อมา การ

ระบายความร้อนของฉนวนจะต้องมีค่ารีแอคแตนซ์และแรงทางกลไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะระบบไฟฟ้าเกิดทำงานลัดวงจร โดยต้องทนต่อความร้อน แรงกล ค่าใช้จ่ายในการทำฉนวน สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

2.1 ฉนวนแข็ง

คุณลักษณะและสมบัติของฉนวนแข็งอาจกำหนดด้วย ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า เปอร์มิตติวิตี้ แฟกเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กทริก ความคงทนต่อแรงกล ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี และความร้อนการเบรกดาวน์ในของแข็งนั้นมีลักษณะแตกต่างจากของเหลวและก๊าซคือของแข็ง เมื่อเกิดการ เบรกดาวน์ จะแตกสลายทันที ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก

การเบรกดาวน์ของของแข็งมีกลไกการเบรกดาวน์อยู่ 8 ลักษณะคือ

ก. การเบรกดาวน์ เนื่องจากเนื้อสาร (Intrinsic Breakdown)

ข. การเบรกดาวน์ เนื่องจากแรงทางกล (Electromechanical Breakdown)

ค. การเบรกดาวน์ แบบ Streamer (Streamer Breakdown)

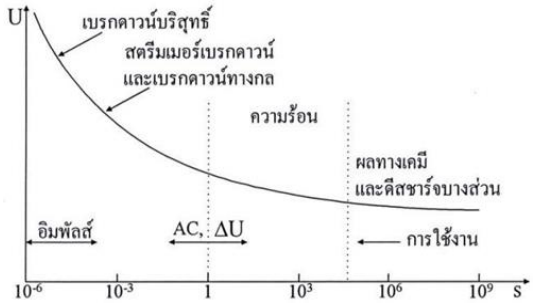
ง. การเบรกดาวน์ เนื่องจากความร้อน (Thermal Breakdown)

จ. การเบรกดาวน์ เนื่องจาก Tracking (Tracking Breakdown)

ฉ. การเบรกดาวน์ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Chemical Breakdown)

ช. การเบรกดาวน์ เนื่องจากเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Breakdown)

ซ. ขบวนการเบรกดาวน์ เนื่องจากโพรงภายใน (Cavity Breakdown

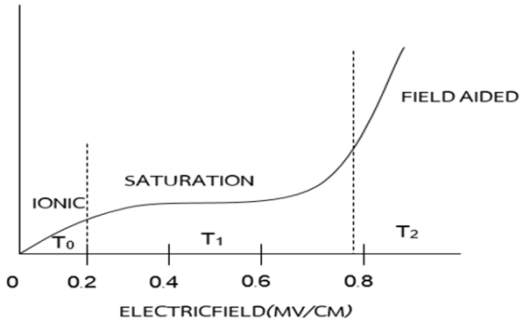


รูปที่ 1 ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า ที่ผันแปรไปตามช่วงเวลา

2.2 ฉนวนเหลว

ฉนวนเหลวจะแตกต่างจากฉนวนแข็งที่โมเลกุลหรืออะตอมของฉนวนเหลวไม่ได้ถูกยึดเหนี่ยวไว้ด้วยกันอย่างแน่นหนาเหมือนกับโมเลกุลหรืออะตอมของฉนวนแข็ง โมเลกุลของฉนวนเหลวสามารถ

เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระพอสมควรจึงทำให้อนุภาคไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายตามไปด้วย



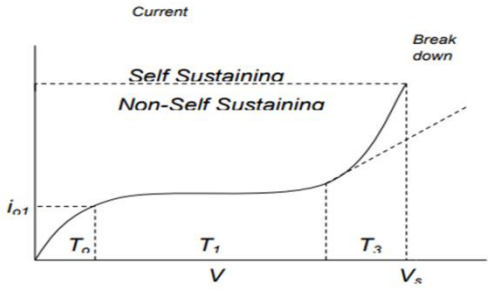
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและ Electric field ในฉนวนเหลว

2.2.1การเบรกดาวน์เนื่องจากอนุภาคของๆแข็ง

ฉนวนเหลวไม่บริสุทธิ์อาจมีอนุภาคของของแข็งเล็กๆกระจายอยู่เมื่อใส่สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอเข้าไป จะทำให้เกิดแรงกระทำต่ออนุภาคดังนี้

2.1 ฉนวนก๊าซ

ในก๊าซมักจะประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ (ไอออนบวก ไอออนลบ และอิเล็กตรอน)เมื่อมีดิสชาร์จเกิดขึ้น ดิสชาร์จในก๊าซเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ คือ อิเล็กตรอนและไอออน ที่เกิดเพิ่มทวีคูณจากกระบวนการไอออไนเซชัน



รูปที่ 3 การเบรกดาวน์ของก๊าซ

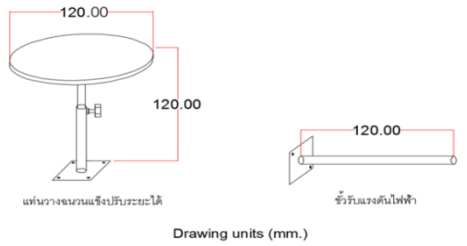
การเกิดเบรกดาวน์ในก๊าซอธิบายได้ด้วยทฤษฎีกลไกของทาวน์เซนด์ กลไกเบรกดาวน์แบบสตรีมเมอร์กลไกทั้งสองอาศัยทฤษฎีจลน์เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับระยะอิสระ การถ่ายทอดพลังงาน การเกิดประจุอิสระโดยการไอออไนเซชัน การเพิ่มทวีคูณของอนุภาคประจุ ที่นำไปสู่การเกิดดิสชาร์จเบรกดาวน์ระยะอิสระ

3. การออกแบบสร้าง

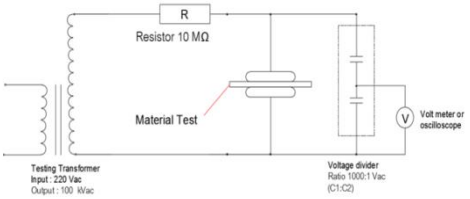
ชุดทดสอบทางไฟฟ้า 3 สถานะ ได้ทำการอ้างอิงข้อมูลบางส่วนจากมาตรฐาน IEC156ซึ่งการออกแบบนั้นจะแบ่งเป็นชุดทดสอบฉนวนไฟฟ้าของเหลว ชุดทดสอบไฟฟ้าฉนวนก๊าซและชุดทดสอบไฟฟ้าฉนวนแข็ง

3.1การออกแบบชุดทดสอบฉนวนแข็ง

ชุดทดสอบฉนวนแข็งที่ใช้ในการทดสอบความคงทนฉนวนได้ การออกแบบได้ออกแบบให้มีระยะในการจับวัตถุทดสอบแบบปรับระยะได้ วัสดุที่นำมาใช้เป็น สแตนเลสลักษณะวงกลมแบนไม่มีรอยหยัก



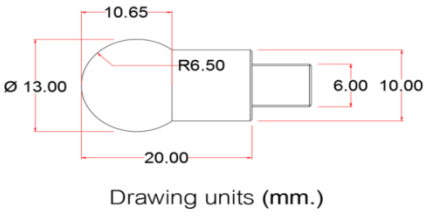
รูปที่ 4 ชุดทดสอบฉนวนแข็ง



รูปที่ 5 วงจรสมมูลชุดทดสอบฉนวนฉนวนแข็ง

3.2 การออกแบบชุดทดสอบฉนวนเหลว

หัวอิเล็กโทรด ที่ใช้ในการทดสอบความคงทนฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงของแต่ละมาตรฐานจะมีขนาดและรูปทรงที่ไม่เหมือนกัน และการการเลือกวัสดุที่จะใช้ ทำอิเล็กโทรดต้องมีคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าที่เหมาะสม

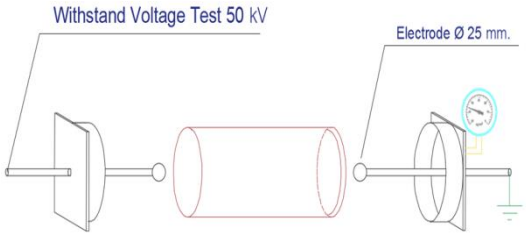


รูปที่ 6 รูปทรงอิเล็กโทรดตามมาตรฐาน IEC 156

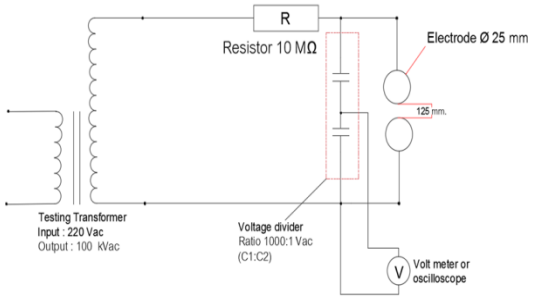
รูปที่ 7 ชุดทดสอบน้ำมันหม้อแปลงมาตราฐาน IEC 156

3.3 การออกแบบชุดทดสอบฉนวนก๊าซ

ในการออกแบบรูปทรงฉนวนก๊าซตัวชุดทดสอบฉนวนต้องไม่มีรอยรั่วของอากาศและมีการซีลส์ที่ดีไม่มีอากาศรั่วไหลจึงจะสามารถทดสอบได้โดยลักษณะของฉนวนก๊าซจะเป็นทรงกระบอก ด้านอิเล็กโทรดของฉนวนก๊าซจะเป็นทรงกลมหันหน้าเข้าหากันและไม่สามารถปรับระดับได้เพื่อป้องกันการรั่วไกลของก๊าซ



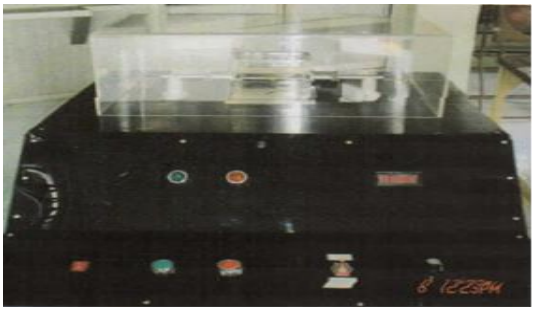
รูปที่ 8 รายละเอียดโดยรวมชุดทดสอบฉนวนก๊าซ



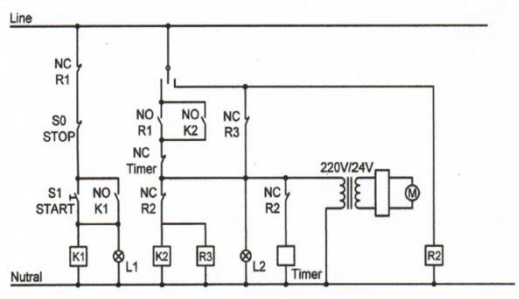
รูปที่ 9 วงจรสมมูลชุดทดสอบฉนวนก๊าซ

3.4 ชุดทดสอบ

ได้ทำการออกแบบให้มีความสะดวกในการวางชุดทดสอบเคลื่อนย้ายสะดวกเพราะมีลูกล้อยึดติดอยู่ด้านล่าง



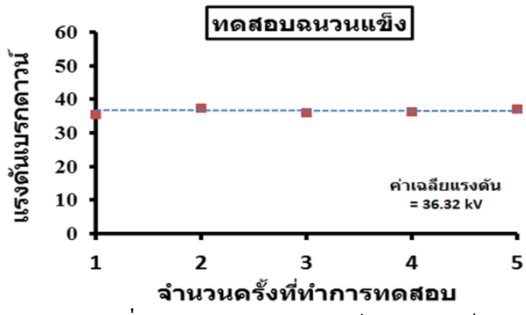
รูปที่ 10 โต๊ะวางชุดทดสอบ



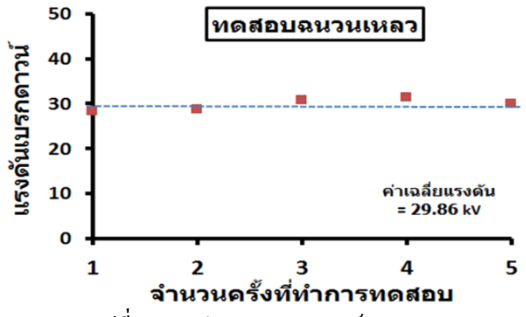
รูปที่ 11 วงจรควบคุมการทำงาน

4.ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล

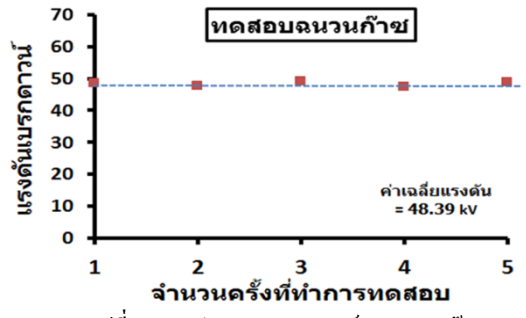
ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฉนวนน้ำมันเหลว ฉนวนแข็ง และ ฉนวนก๊าซ โดยใช้ชุดทดสอบที่ได้ออกแบบสร้างไว้ตามรายละเอียดดังบทที่ 3 การทดสอบทำโดยการป้อนแรงสูงกระแสสลับให้กับวัสดุทดสอบจนเกิดการเบรกดาวน์ โดยทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง และทำการบันทึกผล



รูปที่ 12 กราฟแรงดันเบรกดาวน์ของฉนวนแข็ง



รูปที่ 13 กราฟแรงดันเบรกดาวน์ของฉนวนเหลว



รูปที่ 14 กราฟแรงดันเบรกดาวน์ของฉนวนก๊าซ

5.สรุปผลงานวิจัย

ในการทดสอบ ผลที่ได้จากการทดสอบจะขึ้นอยู่กับ ค่าแฟกเตอร์อุณหภูมิห้องและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ซึ่งจะมีผลต่อค่าแรงดันเบรกดาวน์ของฉนวนทดสอบทั้ง 3 ชนิด แต่ในการทดสอบครั้งนี้ทางผู้จัดทำไม่ได้นำส่วนนี้มีคิดค่าเนื่องจากไม่มีผลมากนัก ในการออกแบบชุดทดสอบค่าความคงทนฉนวนทั้ง 3 สถานะจะเห็นว่าค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันยังไม่ตรงตามที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นในการพัฒนาโครงงานควรจะมีอัตราการเพิ่มของแรงดันที่ได้มาตรฐาน เช่น การจัดทำฉนวนช่วงบริเวณอิเล็กโตรดที่ต้องมีความแม่นยำและชำนาญในการจัดวางอิเล็กโตรดทั้ง 2 ข้างให้มีความตรงกันเพื่อระยะการเกิดเบรกดาวน์ที่แม่นยำยิ่งขึ้น

6.เอกสารอ้างอิง

[1] จิตติพงษ์ จันทร์บุญเปี่ง. (2557). คาปาซิทีฟโวลเตจดิไวเดอร์พิกัดแรงดัน 50 กิโลโวลต์ 50 เฮิรตซ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. เชียงใหม่.

[2] สำรวย สังข์สะอาด. (2549). วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3]ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว. (2558).วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร : สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[4] ธนากร บาดาล. (2550). ชุดทดสอบแรงดันเบรดาวน์ของฉนวนเหลว. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. กรุงเทพฯ.

[5] IEC Standard Publ.No 156 (1995-07)

7. ประวัติผู้เขียน

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า จาก มทร.ธัญบุรี ปริญญาโท วศ.ม.วิศวกรรมไฟฟ้า จาก ส.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และปริญญาเอก Ed.D. in Educational Administration จาก Univ. of Northern Philippines ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า งานวิจัยที่สนใจ วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง และการประยุกต์,ออกแบบระบบพลังงานทางเลือกสมัยใหม่