

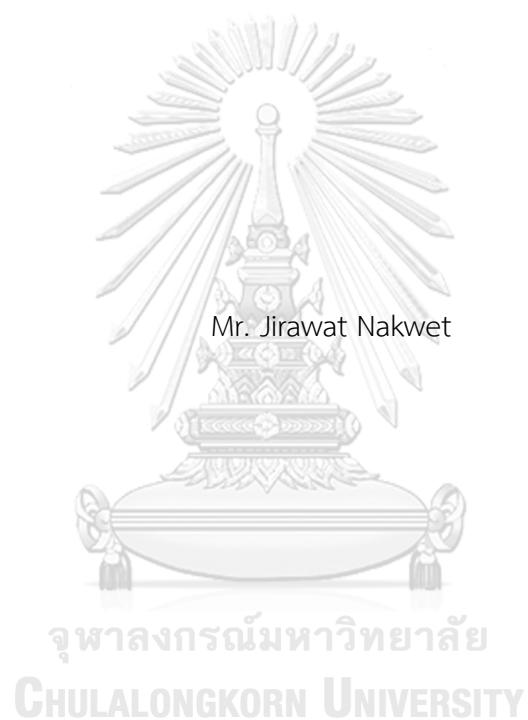
การศึกษากระแสรั่วของกัปเดตักเสิร์จที่มีแรงดันพิกัด 21 kV



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY ON LEAKAGE CURRENTS OF SURGE ARRESTERS WITH RATED VOLTAGE OF 21

kV



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระแสรั่วของกักเก็บแรงดันพิกัด 21 kV
โดย	นายจิระวัฒน์ นาคเวช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรัักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ตัณฑนุช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จีระวัฒน์ นาคเวช : การศึกษากระแสรั่วของกักดับเสิร์จที่มีแรงดันพิกัด 21 kV. (

A STUDY ON LEAKAGE CURRENTS OF SURGE ARRESTERS WITH RATED VOLTAGE OF 21 kV) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

กักดับเสิร์จเป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าที่สำคัญ ทำหน้าที่จำกัดแรงดันเกินเสิร์จที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าหรือการสวิตชิงเพื่อป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า เมื่อมีการตรวจรับหรือก่อนนำกักดับเสิร์จไปติดตั้งใช้งานจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบสภาพของกักดับเสิร์จ หรือเมื่อติดตั้งใช้งานไประยะหนึ่งกักดับเสิร์จอาจเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น จำเป็นจะต้องมีการประเมินสภาพกักดับเสิร์จก่อนที่จะเกิดความเสียหาย วิธีการหนึ่งซึ่งมีความถูกต้องสำหรับการประเมินสภาพของกักดับเสิร์จคือการพิจารณาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน นอกจากนี้อุณหภูมิของกักดับเสิร์จขณะติดตั้งใช้งานก็เป็นอีกดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของกักดับเสิร์จได้เช่นกัน แต่จำเป็นจะต้องทราบความสัมพันธ์ของดัชนีเหล่านี้กับสภาพของกักดับเสิร์จ วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ที่จะตรวจวัดกระแสรั่วและอุณหภูมิของกักดับเสิร์จแรงดันพิกัด 21 kV ทั้งที่ยังไม่ได้ติดตั้งใช้งาน ที่ผ่านการใช้ติดตั้งใช้งานมาเป็นระยะเวลาที่หลากหลาย และกักดับเสิร์จที่เสื่อมสภาพ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาวิธีการ พร้อมเกณฑ์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินสภาพของกักดับเสิร์จ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานบำรุงรักษา และช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า



สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5870394921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Surge Arresters, Metal-Oxide varistors, Resistive Leakage Currents,
Capacitive Leakage Currents, Degradation

Jirawat Nakwet :

A STUDY ON LEAKAGE CURRENTS OF SURGE ARRESTERS WITH RATED VOLT
AGE OF 21 kV. Advisor: Channarong Banmonkol, D.Eng.

Surge arrester is an important protective device in power systems. Its function is to control lightning and switching overvoltages for protection of several equipment in power systems. For acceptance test or before installation to a system, it is necessary to check surge arrester condition. After installed in a system for a time, the surge arrester may be degraded. The condition assessment of surge arrester is required before it leads to a fault. An accurate condition assessment method is to consider the resistive leakage current. In addition, the temperature of surge arrester is also a good index to indicate the deterioration. The relationship between these indexes and arrester condition, however, must be investigated. In this thesis, the resistive leakage currents and the corresponding temperatures of surge arresters with rated voltage of 21 kV are collected. The samples consists of new surge arresters and those in service for various periods as well as damaged ones. The obtained data are analyzed to determine a method with criteria for condition assessment of the surge arrester. The proposed method is expected to support the maintenance operation and increase the reliability of distribution system.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้อาจารย์ที่ปรึกษาที่ดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาท่านคอยช่วยเหลือ แนะนำ ตักเตือน และให้โอกาสผู้วิจัยเสมอ ทำให้ผู้วิจัยได้ทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือกันระหว่างเรียน และน้องๆ ใน High Voltage Lab ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือซึ่งกันและกัน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ และน้อง ที่เป็นครอบครัวที่ดี และให้กำลังใจเสมอมา

จิระวัฒน์ นาคเวช



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงร่างวิทยานิพนธ์.....	3
1.6 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานของกั๊บดักเสี๊รจ.....	6
2.1 กั๊บดักเสี๊รจ.....	6
2.1.1 กั๊บดักเสี๊รจชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC).....	6
2.1.2 กั๊บดักเสี๊รจชนิดออกไซด์โลหะ (ZnO).....	6
2.2 โครงสร้างของกั๊บดักเสี๊รจ.....	7
2.2.1 กั๊บนอกไซด์โลหะ (MOV Blocks).....	7
2.2.1 Fiberglass Reinforced Plastic core.....	8
2.2.1 เปลือกห่อหุ้ม (Housing).....	8
2.3 ลักษณะสมบัติของกั๊บดักเสี๊รจ.....	9

2.3.1	ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (U-I Curve) ของกักเก็บพลังงาน	9
2.3.2	วงจรสมมูลของกักเก็บพลังงาน	10
2.3.3	การเลือกใช้งานกักเก็บพลังงาน	10
2.4	มาตรฐานที่เกี่ยวข้องและคำนิยามต่างๆ	11
2.4.1	มาตรฐานของกักเก็บพลังงานที่ใช้ในประเทศไทย	11
2.4.2	คำนิยามที่เกี่ยวข้องกับกักเก็บพลังงาน	12
2.5	การตรวจวัดกักเก็บพลังงาน	14
2.5.1	การตรวจวัดด้วยกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด	15
2.5.2	การตรวจวัดการปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharge)	16
2.6	การเสื่อมสภาพของกักเก็บพลังงาน	16
2.6.1	ความชื้นภายใน	17
2.6.2	การเกิดวาบไฟ (flashover) ภายนอก	18
2.6.3	การปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharges)	18
2.6.4	แรงดันเกินฟ้าผ่า	19
2.6.5	แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary Overvoltage)	20
2.6.6	แรงดันเกินสวิตชิง (Switching Surge Overvoltage)	21
2.6.7	อายุของแผ่นออกไซด์โลหะ	21
2.6.8	สาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้กักเก็บพลังงานเสื่อมสภาพ	22
บทที่ 3	การตรวจวัดกระแสรั่วของกักเก็บพลังงานและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง	23
3.1	กระแสรั่วของกักเก็บพลังงาน	23
3.2	วงจรวัดค่ากระแสรั่ว	24
3.3	วิธีการแยกค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน	26
3.4	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	29
3.4.1	หม้อแปลงแรงดัน	29

3.4.2 ชุดควบคุมการจ่ายแรงดันและระบบการวัด.....	30
3.4.3 ไมค์คอนดิติงกับดักเสิร์จเพื่อทดสอบ	30
3.4.4 กล้องส่องความร้อนอินฟราเรด.....	31
3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	32
บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	34
4.1 ตัวอย่างกับดักเสิร์จที่ทำการศึกษา	34
4.2 การศึกษาเปรียบเทียบกระแสรั่วของกับดักเสิร์จที่สภาพต่าง ๆ	35
4.2.1 ตัวอย่างกับดักเสิร์จที่ทำการทดลอง (Sample Test).....	35
4.2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	36
4.3 การศึกษาอุณหภูมิของกับดักเสิร์จเปรียบเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน.....	38
4.3.1 ตัวอย่างกับดักเสิร์จที่ทำการทดลอง.....	38
4.3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	38
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	41
5.1 ผลการศึกษากระแสรั่วของกับดักเสิร์จที่สภาพต่างๆ	41
5.1.1 รูปคลื่นกระแสรั่วของกับดักเสิร์จ.....	41
5.1.2 ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r).....	43
5.1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r) และขนาด ของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า (I_c).....	45
5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์มอนิกที่ 1 และฮาร์มอ นิกที่ 3 50	
5.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิกับค่ากระแสรั่วของกับดักเสิร์จ	54
5.2.1 ภาพถ่ายความร้อนของกับดักเสิร์จด้วยกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด.....	54
5.2.2 ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานและอุณหภูมิของกับดักเสิร์จ	56
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	59

6.1 สรุปผลการทดลอง.....	59
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	59
บรรณานุกรม.....	60
ประวัติผู้เขียน.....	62



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาวិธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กักตักเสิร์จ (Surge arrester) เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ติดตั้งไว้ใกล้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นๆ เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์นั้นได้รับความเสียหายจากแรงดันเกินในระบบไฟฟ้าที่มีสาเหตุจากฟ้าผ่าหรือแรงดันเกินจากการสวิตชิงในระบบไฟฟ้า คุณสมบัติที่จำเป็นของกักตักเสิร์จคือ การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือ โดยที่คุณสมบัติเฉพาะของกักตักเสิร์จในการทำงานนั้นมีด้วยกัน 2 สถานะคือ ในกรณีไม่มีแรงดันเกินเกิดขึ้นในระบบหรือแรงดันปกติของระบบ กักตักเสิร์จจะประพฤติตัวเป็นฉนวนไม่มีกระแสไหลผ่านตัวมันได้ (มีกระแสรั่วไหลผ่านเพียงเล็กน้อย) แต่ในกรณีที่เกิดแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า กักตักเสิร์จจะมีความต้านทานลดลง สามารถนำกระแสได้เพิ่มมากขึ้นเพื่อควบคุมระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบทนได้ อย่างไรก็ตามการมีกระแสรั่วไหลอยู่ตลอดเวลาในขณะที่แรงดันเป็นปกติ การทำงานควบคุมระดับแรงดันหลาย ๆ ครั้งหรือปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ อาจส่งผลให้อุปกรณ์เกิดการเสื่อมสภาพขึ้นได้ อีกทั้งปัญหาการมีความชื้นเข้าไปภายในก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กักตักเสิร์จเสื่อมสภาพและมีอายุการใช้งานที่ลดลงได้เช่นกัน

การเสื่อมสภาพของกักตักเสิร์จทั้งจาก ก้อนออกไซด์โลหะเสื่อมสภาพ การเกิดความชื้นขึ้นภายใน การระเบิดเมื่อติดตั้งใช้ เหล่านี้คือปัญหาที่สามารถพบเจอได้บ่อยๆ สำหรับกักตักเสิร์จ สาเหตุหนึ่งคือไม่มีวิธีการในการตรวจวัดที่แม่นยำที่บ่งบอกถึงความพร้อมใช้งาน วิธีการสำหรับการตรวจวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 1) การตรวจวัดกักตักเสิร์จด้วยการประเมินขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (resistive leakage current) เนื่องจากค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ไหลผ่านกักตักเสิร์จ เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมของกักตักเสิร์จได้เป็นอย่างดี และ 2) การประเมินค่าการเสื่อมสภาพของกักตักเสิร์จด้วยภาพถ่ายความร้อนอินฟราเรด โดยนำเสนอวิธีการกำหนดค่าเกณฑ์กำหนดการเสื่อมสภาพของกักตักเสิร์จพิกัด 21 kV เพื่อเป็นตัวเลือกในการประเมินการความพร้อมในการใช้งานของกักตักเสิร์จ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาเกณฑ์ประเมินด้านกระแสรั่วของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV ที่เหมาะสมต่อความพร้อมใช้งาน
- 2) เพื่อศึกษาเกณฑ์ประเมินด้านอุณหภูมิของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV ที่เหมาะสมต่อความพร้อมใช้งาน
- 3) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของขนาดกระแสรั่วกับอุณหภูมิของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) ศึกษาขนาดของกระแสรั่วของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ที่มีใช้งานในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยมีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

- โครงสร้างเปลือกฉนวนชนิดพอลิเมอร์
- แรงดันพิกัด (U_r) : 21 kV
- แรงดันใช้งานต่อเนื่อง (U_c) : 17 kV
- กระแสดิสชาร์จ (I_n) : 5 kA

2) การตรวจวัดค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (Resistive Leakage Current: I_r) ค่ายอดด้านบวก (Peak Value of Positive Polarity) ตัวอย่างในการทดสอบจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ตรวจวัดที่แรงดันทดสอบอย่างน้อย 2 แรงดัน คือ

- แรงดันใช้งานจริง (Working Voltage: U_w)
- แรงดันใช้งานต่อเนื่อง (Continuous Operating Voltage: U_c)

3) ศึกษาการใช้กล้องส่องความร้อนอินฟราเรดในการประเมินการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ โดยเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาการความรู้ทั่วไปของกับดักเสิร์จ
- 2) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดกระแสรั่วและการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ
- 3) ศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบกับดักเสิร์จ ตามมาตรฐาน IEC 60099-4
- 4) ศึกษาวิธีการแยกกระแสรั่วของกับดักเสิร์จ
- 5) วิเคราะห์และระบุปัญหาที่จะศึกษา
- 6) กำหนดขอบเขตของงานวิจัย

- 7) ศึกษาวิธีการตรวจวัดและทดลองตรวจวัดขนาดของกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ที่สภาพต่างๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 8) จัดหาอุปกรณ์กัปดักเสิร์จตามจำนวนตัวอย่างทดสอบที่ตั้งเป้าหมายไว้ โดยที่
 - กัปดักเสิร์จที่ผ่านการติดตั้งใช้งาน มีสภาพต่าง ๆ ใช้ตัวอย่างทดสอบจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
 - กัปดักเสิร์จใหม่ สภาพดี จัดหาจากบริษัทผู้ผลิต
- 9) การเก็บข้อมูลตรวจวัดค่ากระแสรั่วของกัปดักเสิร์จตามตัวอย่างทดสอบที่กำหนดไว้
- 10) เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ และดำเนินการสรุปผลการทดลอง
- 11) เรียบเรียงสรุปผลการวิจัย และจัดทำเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงร่างวิทยานิพนธ์

- 1) สามารถตรวจวัดกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ได้
- 2) สามารถหาขนาดของกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV อุปกรณ์ใหม่ ในแต่ละผลิตภัณฑ์ได้
- 3) มีเกณฑ์ประเมินด้านกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ในรูปแบบต่าง ๆ
- 4) สามารถแสดงเกณฑ์ประเมินด้านกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ได้
- 5) สามารถแสดงเกณฑ์ประเมินด้านอุณหภูมิของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ได้
- 6) สามารถแสดงความสัมพันธ์ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานและค่าอุณหภูมิเมื่อเกิดการเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ได้
- 7) สามารถเผยแพร่ความรู้จากการวิจัยในที่ประชุมวิชาการได้

1.6 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 หัวข้อหลัก คือ

- 1) การแยกกระแสรั่ว
- 2) การตรวจวัดกัปดักเสิร์จ
- 3) การศึกษาการเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การแยกกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (Resistive Leakage Current)

ในบทความวิจัยเรื่อง “A Current Orthogonality Method to Extract Resistive Leakage Current of MOSA” [1] ได้เสนอวิธีการแยกกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จด้วยวิธีการตั้งฉากของกระแส 2 ชนิดคือ กระแสเชิงตัวเก็บประจุ และกระแสเชิงความต้านทานหรือวิธี “Current Orthogonality Method” เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ทั้งวิธีการ point on wave

method, capacitive current compensation method, harmonics analysis method ซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้บ่งบอกว่า “Current Orthogonality Method” มีความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณมากกว่าวิธีการอื่นๆ ให้ผลการทดลองที่มีค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ ถึงแม้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคำนวณค่าทั้ง ฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน ค่าพารามิเตอร์ของกัปดักเสิร์จ อิทธิพลจากสัญญาณรบกวน อิทธิพลจากความถี่ แต่วิธีการอื่นๆ จะคำนวณค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานได้มีความผิดพลาดมากกว่า

2) การตรวจวัดกัปดักเสิร์จ

ในบทความเรื่อง “Arrester Condition Monitors” [2] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คำแนะนำวิธีการประเมินที่น่าสนใจทั้งทาง thermal electric และ mechanical ซึ่งจะให้รายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับการวัดกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จ โดยการพิจารณาในบทความเป็นวิธีการประเมินที่ดำเนินการแบบ Off line หรือในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในบทความได้เสนอเทคนิคและเทคโนโลยีการตรวจวัดอุปกรณ์กัปดักเสิร์จด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ โดยแต่ละวิธีได้เสนอแนะเกณฑ์การประเมินผล

3) การศึกษาการเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จ

ในบทความวิจัยเรื่อง “Ageing of Metal Oxide Varistors due to Surges” [3] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการวิเคราะห์กระบวนการเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จเนื่องจากเสิร์จฟ้าผ่า โดยใช้วิธีการทดสอบกระแสอิมพัลส์ที่ดำเนินการแบบ non energize โดยจะทำการทดสอบอายุของกัปดักเสิร์จในห้องปฏิบัติการที่กระแสสูง ในช่วงเวลาสั้นๆ การเสื่อมสภาพของตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกประเมินด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน

การทดสอบจะทำการทดสอบกับตัวอย่างกัปดักเสิร์จด้วยอิมพัลส์ฟ้าผ่า $8 \times 20 \mu\text{s}$ จำนวน 4 ขนาดคือ กระแสขนาด 10 kA, 15kA, 20kA และ 30kA ที่ปัจจัยด้านอุณหภูมิ 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิ 80°C

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์คือค่ากลางและพิกัดสูงสุดของกระแสรั่ว ซึ่งจะสังเกตได้จากกระแสรั่วมากที่สุดที่เพิ่มขึ้นและเกิดการ Thermal runaway

และในบทความวิจัยเรื่อง “Study of Metal Oxide Arresters Health State Evaluation Based on Fuzz Grey Theory” [4] ได้เสนอวิธีการประเมินสุขภาพของกัปดักเสิร์จด้วยทฤษฎีการจัดกลุ่มฟัซซีเกรย์ (fuzz grey) ด้วยวัตถุประสงค์ คือ 1) การเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง การเก็บผลการตรวจวัดแบบออนไลน์และการบำรุงรักษา การสร้างระบบการประเมินดัชนีสุขภาพ 2) วิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (analytic hierarchy process (AHP) method) ที่นำมาใช้

หาถ่วงน้ำหนักของแต่ละค่าพารามิเตอร์ 3) โมเดลการประเมินสุขภาพของกบดักเสิร์จที่ถูกลำเสนอผ่านทฤษฎีการจัดกลุ่มฟัซซีเกรย์ และแสดงตัวอย่างการประเมินผลสถานะจริงของอุปกรณ์กบดักเสิร์จ

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 7 บท โดยแบ่งเป็นเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานของกบดักเสิร์จ

บทที่ 3 การตรวจวัดกระแสรั่วของกบดักเสิร์จและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทที่ 7 รายการอ้างอิง

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานของกัปเดตักเสิร์จ

ในบทนี้จะอธิบายทฤษฎีและความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์กัปเดตักเสิร์จ ประกอบด้วย ชนิดของกัปเดตักเสิร์จ คุณลักษณะและการทำงานของกัปเดตักเสิร์จ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องของกัปเดตักเสิร์จ ชนิดออกไซด์โลหะ วิธีการตรวจวัดคุณภาพของกัปเดตักเสิร์จ และสาเหตุแห่งการเสื่อมสภาพของกัปเดตักเสิร์จ ซึ่งจะมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังนี้

2.1 กัปเดตักเสิร์จ

กัปเดตักเสิร์จ (Surge Arrester) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันแรงดันเกินเสิร์จฟ้าผ่าและแรงดันเกินเสิร์จสวิตชิงให้แก่อุปกรณ์สำคัญและมีราคาสูง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องจักรกลไฟฟ้า รีแอกเตอร์ หรืออุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า และมีการติดตั้งในระบบจำหน่ายเพื่อสร้างความมั่นคงให้แก่ระบบจำหน่ายเพิ่มขึ้น กัปเดตักเสิร์จจะประกอบด้วยความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear resistors) ซึ่งมีที่มาจากสารกึ่งตัวนำที่ส่วนประกอบหลักในการผลิตกัปเดตักเสิร์จ โดยทั่วไปจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ซิลิกอน (SiC) ที่มีช่องว่างอากาศ และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นกลมทรงกระบอก ประกอบตั้งอยู่ในกระบอกฉนวนพอร์ซเลนหรือยางพอลิเมอร์

2.1.1 กัปเดตักเสิร์จชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)

กัปเดตักเสิร์จชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ หรือ SiC จะมีสปาร์กแกป(ช่องว่างอากาศ) ต่ออนุกรมกับความต้านทาน สปาร์กแกปเป็นตัวกำหนดขนาดแรงดันพิกัดของกัปเดตักเสิร์จ ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันไม่ให้กระแสไหลผ่านลงดินในขณะที่ใช้งานที่แรงดันปกติ อันเป็นเงื่อนไขของคุณสมบัติพื้นฐานที่ต้องการของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเสิร์จ เมื่อได้รับแรงดันเกินเสิร์จ สปาร์กแกปจะเกิดเบรกดาวนอย่างรวดเร็วที่สุด แรงดันที่กัปเดตักเสิร์จเกิดเบรกดาวน เรียกว่า แรงดันสปาร์กผ่าน (Sparkover voltage) U_s เมื่อเกิดสปาร์กผ่านแล้ว แรงดันที่คร่อมกัปเดตักเสิร์จจะลดลง จะเป็นแรงดันที่เหลือตกคร่อมความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้นของกัปเดตักเสิร์จ เรียกว่าแรงดันคงเหลือ (residual voltage) ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าค่าความคงทนอยู่ได้ของการฉนวนของอุปกรณ์หรือของระบบ [5]

2.1.2 กัปเดตักเสิร์จชนิดออกไซด์โลหะ (ZnO)

กัปเดตักเสิร์จชนิดออกไซด์โลหะ (Metal oxide varistors : MOV) จะใช้ความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น ก้อนโลหะทำด้วยซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมทรงกระบอกวางซ้อนกัน

บรรจุในกระบอกฉนวนดังรูปที่ 2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่ง MOV เป็นตัวกำหนดขนาดกระแสหรือพลังงานเล็รจที่ยอมให้ผ่าน ส่วนความสูงของก้อนโลหะเป็นตัวกำหนดแรงดัน [5]



รูปที่ 2.1 ก้อนออกไซด์โลหะ (MOV Blocks) [6]

2.2 โครงสร้างของกับดักเล็รจ

กับดักเล็รจชนิดออกไซด์โลหะจะมีส่วนประกอบที่สำคัญด้วยกัน 3 ส่วนคือ 1) ก้อนออกไซด์โลหะ (MOV Blocks) 2) Fiberglass Reinforced Plastic core 3) เปลือกห่อหุ้ม (Housing) และยังมีส่วนอื่นๆที่เป็นส่วนประกอบเช่น Disconnecting Device, Insulated Mounting (แท่นยึดจับ) เป็นต้น

2.2.1 ก้อนออกไซด์โลหะ (MOV Blocks)

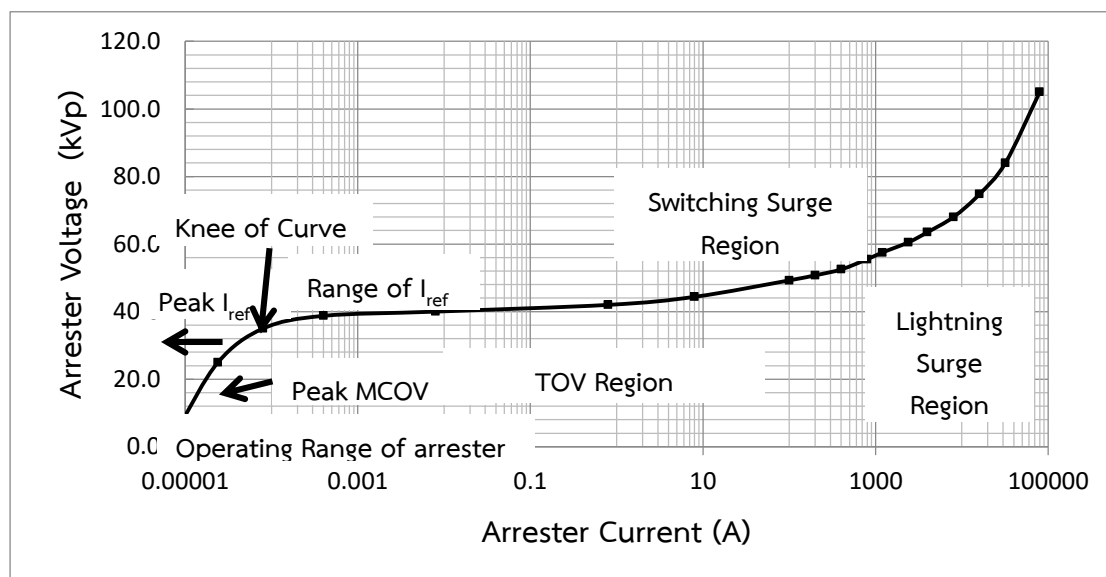
ก้อนออกไซด์โลหะ จะผลิตจากสารออกไซด์ชนิด Zinc Oxide ในประมาณร้อยละ 90% และจะผสมสารออกไซด์อื่นๆ เช่น Bismuth, Cobalt, Antimony, Manganese, Tin และ Nickle เป็นต้น เพื่อเสริมการยึดเกาะและการจับตัว [6, 7]

ก้อนออกไซด์โลหะ (MOV Blocks) เป็นส่วนหลักของกับดักเล็รจ มีลักษณะการทำงานของกระแสและแรงดัน (U-I Curve) ที่มีสถานะการทำงานแบ่งเป็น 3 ช่วงตามรูปที่ 2.2 คือ

1) ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่แรงดันปกติ (Operating Voltage) ค่าความต้านทานของแผ่นออกไซด์โลหะ จะมีค่าสูงมาก ทำให้มีกระแสไหลผ่านที่เรียกว่า กระแสรั่วหรือ leakage current ที่มีค่าน้อยมาก แต่ในช่วงที่ 1 นี้ อิทธิพลของอุณหภูมิจะส่งผลต่อการไหลของกระแส

2) ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่แรงดันเพิ่มสูงกว่าแรงดันปกติ ในช่วงนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่สูงมาก คือเมื่อมีแรงดันเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้มีกระแสไหลเพิ่มขึ้นจำนวนมาก

3) ช่วงที่ 3 เป็นช่วงการทำงานของกัณฑ์เสิร์จ สำหรับช่วงนี้ก้อนออกไซด์โลหะจะประพฤติตัวเป็นตัวนำ และมีกระแสไหลผ่านจำนวนมหาศาล



รูปที่ 2.2 สถานะการทำงานของกัณฑ์เสิร์จ [8]

2.2.1 Fiberglass Reinforced Plastic core

เป็นส่วนประกอบที่มีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงหรือเพิ่มแรงทางกลให้กับอุปกรณ์กัณฑ์เสิร์จ โดยปกติแล้วจะผลิตจากเส้นใย Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) ที่ขึ้นรูปเป็นเป็นทรงกระบอกกลวง เพื่อใส่ก้อนออกไซด์โลหะไว้ด้านใน แสดงตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Fiberglass Reinforced Plastic core [6]

2.2.1 เปลือกห่อหุ้ม (Housing)

เป็นส่วนห่อหุ้มโครงสร้างของกัณฑ์เสิร์จ ไม่ให้ส่วนประกอบภายในสัมผัสกับสภาพแวดล้อมโดยตรง มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี และมีคุณสมบัติต้านทานการยึดเกาะของหยดน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งปกติมักจะเป็นวัสดุชนิดพอลิเมอร์



รูปที่ 2.4 เปลือกห่อหุ้มกับดักเสิร์จชนิดพอลิเมอร์ [6]

2.3 ลักษณะสมบัติของกับดีดักเสิร์จ

วงจรมูลของกับดีดักเสิร์จประกอบด้วยความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้นขนานกับตัวเก็บประจุ เมื่อมีกระแสเสิร์จไหลผ่านเพิ่มขึ้น ความต้านทานกลับลดลง ฉะนั้นแรงดันตกคร่อมกับดีดักเสิร์จจะเพิ่มแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับกระแส

2.3.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (U-I Curve) ของกับดีดักเสิร์จ

ความไม่เป็นเชิงเส้นของความต้านทาน (R_{non}) ทั้งชนิด SiC และ ZnO ทำให้กระแสไหลผ่านและแรงดันคร่อมความต้านทาน (R_{non}) มีลักษณะที่อาจเขียนได้ด้วยความสัมพันธ์ [7] คือ

$$I = kU^\alpha \quad (2.1)$$

โดยที่ α คือค่าคงตัว ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของในการผลิตกับดีดักเสิร์จ

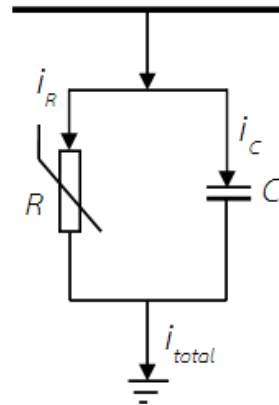
- สำหรับ SiC มีค่า α ประมาณ 4 – 6 [5]
- สำหรับ ZnO มีค่า α ประมาณ 20 - 50 [5]

และ K คือ ค่าคงตัว ขึ้นอยู่กับวัสดุและขนาดของเกรนของก้อนออกไซด์โลหะ ถ้าเกรนยิ่งเล็ก ความคงทนต่อแรงดันยิ่งสูงขึ้น

ที่แรงดันใช้งาน กระแสรั่วที่ไหลผ่านความต้านทาน (R_{non}) ของกับดีดักเสิร์จชนิด ZnO มีค่าต่ำมากคือ น้อยกว่า 1 mA จึงไม่ต้องมีแกปอนุกรมกับความต้านทาน (R_{non}) เรียกว่า กับดีดักเสิร์จไร้แกป (gapless arrester) ส่วนชนิด SiC จะมีกระแสไหลผ่านในช่วง 100-500 A จึงต้องใส่แกปอนุกรมกับความต้านทาน (R_{non}) [5]

2.3.2 วงจรสมมูลของกั๊บดักเสิร์จ

กั๊บดักเสิร์จชนิดออกไซด์โลหะ (MOV) มีสาร ZnO ที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ แต่สารเคลือบรอบนอก ZnO มีความต้านทานจำเพาะที่สูงถึง $10^{10} \Omega\text{-cm}$ และมี $\epsilon_r = 500 - 1000$ [5] จึงมีคุณสมบัติตัวเก็บประจุ ดังนั้น แผ่นออกไซด์โลหะ จึงมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของกั๊บดักเสิร์จชนิดออกไซด์โลหะ (MOV)

2.3.3 การเลือกใช้งานกั๊บดักเสิร์จ

คุณลักษณะที่สำคัญของกั๊บดักเสิร์จ คือ พิกัดกระแสและพลังงานที่ต้องพิจารณาของทั้งชนิด ZnO และ SiC แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พิกัดกระแสของกั๊บดักเสิร์จที่เหมาะสมกับระดับแรงดัน [9]

แรงดันที่ใช้งาน	พิกัดกระแสที่เหมาะสม
ระบบจำหน่าย (distribution)	งานปกติ (Normal duty) 5 kA
	งานหนัก (heavy duty) 10 kA
สถานี (station) < 500 kV	10 kA

การเลือกกั๊บดักเสิร์จ จะต้องคำนึงถึงการระบายความร้อนด้วย ซึ่งกำหนดด้วยความสามารถรับพลังงาน (energy capability) มีหน่วยเป็น kJ/kV การใช้งานควรให้รับพลังงาน $\leq 85\%$ ของค่าที่กำหนด [5]

ตารางที่ 2.2 ค่ากำหนดความคงทนต่อพลังงานของกั๊บดักเสิร์จ [5]

พิกั๊ตแรงดันกั๊บดักเสิร์จ kV	ความสามารถรับพลังงาน	
	kJ/kV ที่ U_r	kJ/kV ที่ U_c
2.7 - 48	4.0	4.9
54 - 360	7.2	8.9

2.4 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องและคำนิยามต่างๆ

กั๊บดักเสิร์จมีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า โครงสร้างของกั๊บดักเสิร์จจะมีส่วนประต่าง ฤ มากมายที่ต้อทนเหตุการณั๊ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า และทนต่อมลภาวะสิ่งแวดล้อมที่นำไปติดตั้งด้วย ดังนั้นการออกแบบและการผลิตกั๊บดักเสิร์จจึงต้อทมีมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ เพื่อใช้อ้างอิงในการ ทดสอบในกระบวนการออกแบบและผลิต เพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่าอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมาเป็นไปตาม มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทั่วไป

2.4.1 มาตรฐานของกั๊บดักเสิร์จที่ใช้ในประเทศไทย

สำหรับมาตรฐานของกั๊บดักเสิร์จที่ใช้อ้างอิงในประเทศไทยมีดังนี้

- 1) มอก. 2366-2551 : กั๊บดักเสิร์จออกไซด์โลหะไม่มีช่องว่างสำหรับระบบไฟฟ้า กระแสสลับ
- 2) IEC Standards
 - IEC 60099-4 : Metal Oxide Surge Arresters without Gap for A.C. Systems
 - IEC 60076-5 : Selection and Application Recommendations
 - IEC 60060-1 : IEC High Voltage Test - Part 1 (General Definition and Test Requirements)
 - IEC 60060-1 : IEC High Voltage Test - Part 2 (Measuring Systems)
 - IEC 60068-2-11 : Environmental Testing-Part 2 (Salt mist)
 - IEC 60068-2-14 : Environmental Testing-Part 2 (Change of Temperature)
 - IEC 60270 : High Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements

- IEC 60507 : Artificial Pollution Tests on High-Voltage Insulators to be used on A.C. Systems
- 3) CISPR Standards
- CISPR 16-1 : Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and methods-Part 1
 - CISPR 18-2 : Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-Voltage Equipment-Part 2 (Method of Measurements and Procedure for Determining Limits)

2.4.2 คำนิยามที่เกี่ยวข้องกับกับดักเสิร์จ

คำนิยามของกับดักเสิร์จจะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC [9] โดยมีคำนิยามที่สำคัญๆ คือ

1) Rated Voltage (U_r) คือ พิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ความถี่กำลัง (50 Hz) ค่า rms ซึ่งยอมให้ตกร่วมอุปกรณ์กับดักเสิร์จได้ โดยที่อุปกรณ์ยังคงสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องในสภาวะ Temporary Overvoltage หรือ แรงดันเกินชั่วคราว ค่า Rated Voltage นี้ของกับดักเสิร์จได้จากการทดสอบ Operating Duty Test

สำหรับข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [6] หากนำอุปกรณ์กับดักเสิร์จไปติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีระบบต่อลงดิน หรือ Solidly Earthed Neutral System ควรมีค่า U_r ไม่น้อยกว่า $0.8 \times U_s$ เมื่อ U_s คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ยกตัวอย่างเช่น

- ระบบ 22 kV ตามมาตรฐาน IEC กำหนดให้มีแรงดันสูงสุดเท่ากับ 24 kV ดังนั้น พิกัดแรงดันที่เลือกใช้เท่ากับ $0.8 \times 24 = 19.2$ kV (เลือกใช้พิกัดกับดักเสิร์จไม่ต่ำกว่า 21 kV)

- ระบบ 33 kV ตามมาตรฐาน IEC กำหนดให้มีแรงดันสูงสุดเท่ากับ 36 kV ดังนั้น พิกัดแรงดันที่เลือกใช้เท่ากับ $0.8 \times 36 = 28.8$ kV (เลือกใช้พิกัดกับดักเสิร์จไม่ต่ำกว่า 30 kV)

2) Continuous Operating Voltage (U_c) คือพิกัดแรงดันไฟฟ้าความถี่กำลัง (50 Hz) ค่า rms ที่ตกร่วมอุปกรณ์กับดักเสิร์จแบบต่อเนื่อง ซึ่งอุปกรณ์สามารถทนอยู่ได้โดยไม่เกิดการชำรุดเสียหาย

กับดักเสิร์จที่นำไปติดตั้งแบบ Phase-ground ในระบบ Solidly Earthed Neutral System จะกำหนดให้ U_c มีค่าประมาณ 0.8 เท่าของพิกัดแรงไฟฟ้าของอุปกรณ์ สำหรับกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV จะมีค่า U_c ประมาณ 17 kV หรือสามารถคำนวณได้ตามสมการ [6]

$$U_c \geq \frac{1.4 \times U_s}{T \times \sqrt{3}} \quad (2.2)$$

เมื่อ T คือ แรงดันเกิน U_{TOV} มีหน่วยเป็น P.U. ซึ่งกับดักเสิร์จสามารถทนได้ตามระยะเวลา

3) Reference Voltage (U_{ref}) หรือ แรงดันอ้างอิง คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ความถี่กำลัง (50 Hz) ทหารด้วย $\sqrt{2}$ ซึ่งถูกป้อนเพื่อทดสอบหาค่า Reference Current (I_{ref}) ของกับดักเสิร์จ

4) Reference Current (I_{ref}) กระแสอ้างอิง คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ความถี่กำลังที่ไหลผ่านส่วนประกอบด้านความต้านทานของกับดักเสิร์จ (ไม่รวมส่วนตัวเก็บประจุ) ซึ่งถูกจ่ายด้วยแรงดัน Reference Voltage (U_{ref})

ในกรณีที่รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าไม่สมมาตรหรือค่าด้านชั่ววอกไม่เท่าด้านชั่วลบ ให้ใช้ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าด้านชั่วที่มีขนาดสูงกว่าเป็นกระแสอ้างอิง โดยปกติกระแสอ้างอิงของกับดักเสิร์จจะมีค่าประมาณ 0.05 – 1 mA ต่อตารางเซนติเมตรของ MOV Blocks

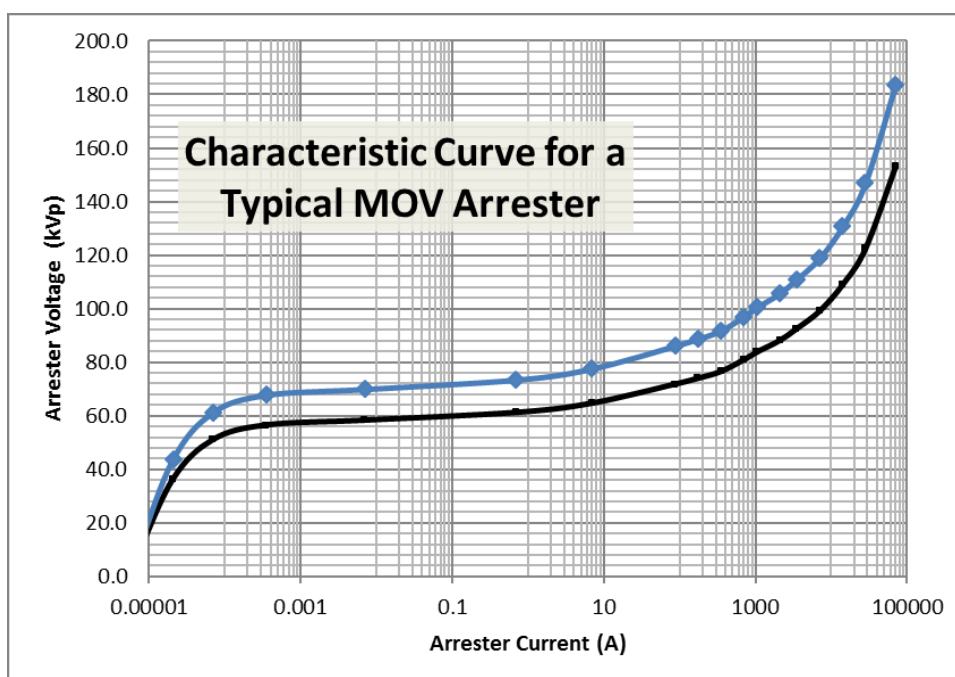
5) Discharge Current (กระแสดีสชาร์จ) คือกระแสอิมพัลส์ที่ไหลผ่านกับดักเสิร์จ

6) Nominal Discharge Current (I_n) คือ ค่าสูงสุดของกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า ซึ่งมีความชันหน้าคลื่นเท่ากับ $8/20 \mu S$ ที่ไหลผ่านกับดักเสิร์จ ซึ่ง Nominal Discharge Current (I_n) นี้จะใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของกับดักเสิร์จ (Classification) ตามมาตรฐาน IEC 60099-4 [9] แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 Classification ของกับดักเสิร์จ ตามมาตรฐาน IEC 60099-4 [9]

	Standard nominal discharge current ^a				
	20000 A	10000 A	5000 A	2500 A	1500 A
Rated voltage U_r (kV _{rms})	$360 < U_r \leq 756$	$3 \leq U_r \leq 360$	$U_r \leq 132$	$U_r \leq 36$	^b
^a In some countries it is customary to classify arresters as follows: – station for 10000 A and 20000 A arresters; – intermediate or distribution for 5 000 A arresters; – secondary for 1500 A arresters.					
^b This low-voltage range is under consideration.					

7) Residual Voltage (U_{res}) คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดหรือระดับการป้องกันแรงดันเกินอิมพัลส์ที่ตกคร่อมกับดักเสิร์จที่กระแส Nominal Discharge Current (I_n) โดยมีความชันหน้าคลื่น $8/20 \mu S$ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสของกับดักเสิร์จจะแสดงในรูปที่ 2.6 เรียกว่า U-I Curve



รูปที่ 2.6 U-I Curve ของกัับดักเสิร์จ [8]

2.5 การตรวจวัดกัับดักเสิร์จ

วิธีการการตรวจทดสอบสภาพกัับดักเสิร์จนั้นมีหลายวิธี ทั้งการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Tests) ซึ่งสามารถทดสอบได้ในขณะที่กัับดักเสิร์จติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า (Online) และในขณะที่ไม่ได้ติดตั้งใช้งานอยู่ในระบบไฟฟ้าหรือการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Tests) ซึ่งจะทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายได้แก่

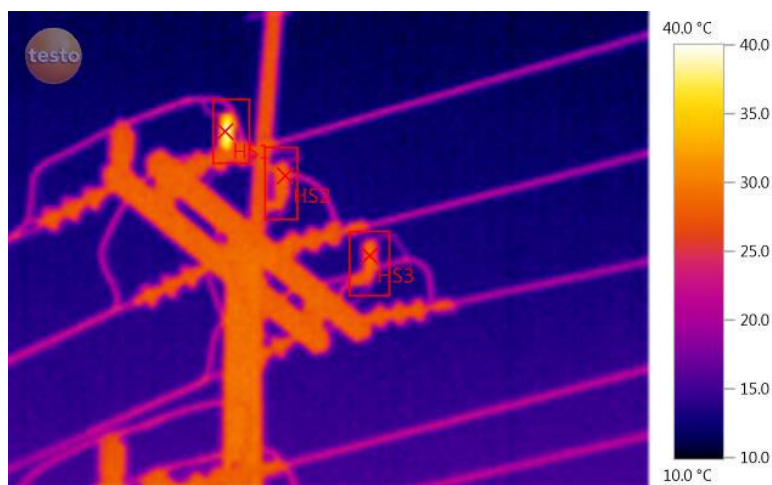
- (1) การวัดอุณหภูมิของกัับดักเสิร์จ (Thermal Viewer) ซึ่งจะสะท้อนถึงกระแสรั่วและการเสื่อมสภาพของกัับดักเสิร์จ
- (2) การวัดความต้านทาน กัับดักเสิร์จที่มีสภาพปกติจะมีค่าความต้านทานสูงมาก แต่หากกัับดักเสิร์จเสื่อมสภาพ จะมีค่าความต้านทานที่ต่ำ
- (3) การวัดดิสชาร์จบางส่วน หากภายในกัับดักเสิร์จเกิดความเสียหาย หรือมีความชื้นสูงจะมีการดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้น
- (4) การวัดค่ากระแสรั่ว โดยเป็นการหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (Resistive leakage current) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเสื่อมสภาพของกัับดักเสิร์จ

2.5.1 การตรวจวัดด้วยกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด

รูปแบบการตรวจวัดนี้จะมีความเร็วและมีประสิทธิภาพพอสมควร ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบอินฟราเรดสามารถหาความสัมพันธ์ของกับดักเสิร์จ และที่สำคัญง่ายต่อการตรวจวัดสำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในสถานีหรือสถานที่เข้าถึงได้ยาก หากกับดักเสิร์จถูกใช้งานมานานและเป็นช่วงที่ใกล้จะเสื่อมสภาพแล้ว จะมีความเป็นไปได้ที่อุปกรณ์จะมีความร้อนเกิดขึ้นสูงผิดปกติ การตรวจวัดความร้อนนั้นจะมีวิธีการที่หลากหลาย แต่ง่ายที่สุดคือการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์อินฟราเรด



รูปที่ 2.7 กล้องส่องความร้อนอินฟราเรด



รูปที่ 2.8 ภาพจากกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด [6]

ตามรูปที่ 2.8 ตัวอย่างกับดักเสิร์จ 3 ตัวในการตรวจวัด โดยกับดักเสิร์จทำงานและมีร้อนแบบผิดปกติอย่างชัดเจน

2.5.2 การตรวจวัดการปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharge)

ตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งานของกับดักเสิร์จ อุปกรณ์ภายในที่ได้สัมผัสกับความเครียดอย่างต่อเนื่องนั้น สามารถนำไปสู่การเกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ ภายในของกับดักเสิร์จส่วนใหญ่จะเป็นปริมาตรของอากาศ (ภายในมีลักษณะกลวง) อากาศภายในจะพบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ในช่วงที่มีฝน หมอก และบางครั้งที่มีหิมะ ซึ่งเป็นเรื่องปกติเนื่องจากกับดักเสิร์จได้ถูกออกแบบมาให้เกิดเหตุการณ์แบบนี้ได้ แต่ถึงอย่างไร ในช่วงเวลาที่สภาพอากาศปกติ กับดักเสิร์จก็ไม่ควรเกิด การปล่อยประจุบางส่วนขึ้น

เกณฑ์การประเมินการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนของกับดักเสิร์จตามมาตรฐาน IEC [9] นั้น บังคับให้เมื่อมีการผลิตกับดักเสิร์จออกมา ต้องมีการทดสอบการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharge) ภายในก่อน ซึ่งให้มีค่าไม่เกิน 10 pico-coulombs (pC) ที่เกิดขึ้นภายใน ดังนั้นค่า 10 pC จะเป็นเกณฑ์มาตรฐานของการประเมินกับดักเสิร์จที่ปกติและเสื่อมสภาพ

2.6 การเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ

กับดักเสิร์จเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถเกิดเสื่อมสภาพ โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เช่น ระยะเวลาการใช้งาน สภาพแวดล้อมและมลภาวะ การติสซาร์จจากกระแสเสิร์จ และ การผลิตจากโรงงาน เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้กับดักเสิร์จเกิดการเสื่อมสภาพ เมื่อกับดักเสิร์จเสื่อมสภาพจะไม่สามารถป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าจากแรงดันเสิร์จและเมื่อเกิดความผิดปกติ

ขึ้น อุปกรณ์ป้องกันจะปลดวงจรออกซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นตรวจประเมินกับดักเสิร์จ จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อที่จะสามารถป้องกันการความผิดพลาดจากการที่กับดักเสิร์จไม่ทำงานเนื่องจากการเสื่อมสภาพได้

สาเหตุการเสื่อมของกับดักเสิร์จโดยปกติส่วนใหญ่จะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในของอุปกรณ์ ในสถานการณ์ส่วนมากการเสื่อมจะมีสาเหตุอันเนื่องมาจากการเกิดเบรกดาวน์ของฉนวน ด้วยเหตุนี้ จะทำให้โครงสร้างภายในเสื่อมลงและกับดักเสิร์จจะไม่สามารถทนต่อแรงดันระบบ แรงดันเกินทั้งจาก เหตุการณ์ผิดพลาดของระบบหรือแรงดันเกินจากการสวิตช์ หรือแรงดันเกินจากฟ้าผ่าได้ มีหลาย สาเหตุในการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จได้ดังนี้

2.6.1 ความชื้นภายใน

การเกิดความชื้นขึ้นภายในกับดักเสิร์จ เป็นต้นเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้กับดักเสิร์จเกิดการ เสื่อมสภาพ ทั้งกับดักเสิร์จชนิดพอร์ซเลนที่มีแกนกลางภายในและชนิดพอลิเมอร์ที่เป็นแกนตัน โดย ส่วนใหญ่ความชื้นจะแทรกซึมเข้าภายในผ่านทางรอยรั่วซึมต่างที่เกิดขึ้น [2, 6, 7]

1) สาเหตุของการเกิดความชื้น

ข้อบกพร่องจากกระบวนการผลิต ความผิดพลาดจากการขนส่งทำให้เกิดการรั่วซึม หรือการเกิด flashover ภายนอกทำระบบป้องกันการรั่วซึมเกิดความเสียหาย

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

สำหรับกับดักเสิร์จชนิดแกนกลาง ซึ่งมีช่องว่างอากาศรอบๆ แผ่นออกไซด์โลหะ โดย ปกติอากาศรอบๆจะเป็นอากาศแห้งหรือก๊าซไนโตรเจน การเกิดรอยรั่วซึมเพียงเล็กน้อยสามารถส่งผล ให้เกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า “seal pumping” เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันอากาศภายในกับ ภายนอก เช่น ตลอดช่วงเวลาดอนกลางวันมีแสงแดดส่องกับดักเสิร์จตลอดเวลา ทำให้ตัวกับดักเสิร์จ ร้อนขึ้น เกิดแรงดันภายในสูงขึ้นดันอากาศภายในออกสู่ภายนอกได้ ในทางกลับกันในช่วงเวลา กลางคืน แรงดันอากาศภายในต่ำกว่าภายนอก ทำให้มีอากาศจากภายนอก(อากาศกับความชื้น) ไหล เข้าสู่ภายในกับดักเสิร์จได้ เหตุการณ์ลักษณะนี้เกิดขึ้นทุกวันๆ ทุกเดือนๆ จนถึงระยะเวลาหนึ่งถึงจุด ที่เกิดผลทำให้สูญเสียความเป็นฉนวนภายในได้

สำหรับกับดักเสิร์จชนิดแกนตัน ซึ่งไม่มีช่องว่างอากาศรอบๆ แผ่นออกไซด์โลหะ เหตุการณ์ข้างต้นนั้นจะไม่เกิดขึ้นกับกับดักเสิร์จชนิดนี้ แต่อย่างไรก็ตามการรั่วซึมยังคงเกิดขึ้นได้หากมี ความไม่สมบูรณ์ของระบบการกันรั่วซึมตามร่องต่างๆ ในกรณีนี้ความชื้นจะค่อยๆหาทางเข้าไปตาม ร่องผิวสัมผัสระหว่างแผ่นออกไซด์โลหะกับวัสดุฉนวน สุดท้ายความชื้นจะแทรกซึมเข้าไปทุกส่วนของ กับดักเสิร์จและเกิดเบรกดาวน์ในที่สุด

3) ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพ

สำหรับตัวชี้วัดว่ากับดักเสิร์จมีความชื้นเกิดขึ้นภายในจนทำให้เสื่อมสภาพนั้นเช่น

- สีของแผ่นออกไซด์โลหะมีสีน้ำตาล
- มีกำลังสูญเสียเพิ่มมากขึ้นทำงานที่แรงดันระบบ
- มีอุณหภูมิที่สูงเมื่อวัดด้วยกล้องส่องความร้อน
- เกิดสนิมสีเขียวของทองแดง
- การมี H_2O ภายในก๊าซ
- ยางกันรั่วซึมมีลักษณะแข็งเสื่อมสภาพหรือเกิดการรั่วที่ทำให้แรงดัน

ภายในลดต่ำลง

2.6.2 การเกิดวาบไฟ (flashover) ภายนอก

การเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดวาบไฟ ภายนอกกับดักเสิร์จที่พบมากที่สุดคือกับดักเสิร์จเกิดการลัดวงจรที่ฉนวนนวน อย่างไรก็ตามเมื่อการเหตุการณ์นี้ขึ้น ฉนวนของกับดักเสิร์จจะกลับมาทำหน้าที่เป็นฉนวนอีกครั้ง ซึ่งทำให้บางครั้งไม่สามารถตรวจพบการเกิดได้ [2, 6, 7]

1) สาเหตุ

สาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้ขึ้นได้จากทั้งสัตว์และมลภาวะที่รุนแรง รวมถึงการมีหมอก

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

ถ้าเกิดการ flashover เนื่องจากสัตว์ สัตว์จะถูกไฟฟ้าช็อตและเกิดการวาบไฟขึ้น ภายนอกของฉนวน พอร์ชเลน กระแสความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะตัดออกด้วยอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในระบบไฟฟ้า เหตุการณ์ลักษณะนี้มีโอกาสที่จะไม่มีผลกระทบต่อกับดักเสิร์จ ถ้าระบบกราวด์มีประสิทธิภาพ

3) ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพ

สำหรับตัวชี้วัดว่ากับดักเสิร์จมีการ flashover ภายนอกเกิดขึ้นนั้นคือ รอยอาร์คบนผิวของฉนวนพอร์ชเลน

2.6.3 การปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharges)

โดยปกติกับดักเสิร์จถูกออกแบบมาได้เกิดเหตุการณ์ดิสชาร์จบางส่วนได้ในช่วงเวลาที่ไม่มีหมอก และบางครั้งที่มีหมอก แต่ถึงอย่างไรในช่วงเวลาที่สภาพอากาศปกติ กับดักเสิร์จก็ไม่ควรเกิดการปล่อยประจุบางส่วนขึ้น ถ้าเกิดเหตุการณ์การปล่อยประจุบางส่วนเป็นจำนวนมาก จะสามารถทำ

ให้แผ่นออกไซด์โลหะลดทอนประสิทธิภาพลง จนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด เหตุการณ์ในรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นกับกับดักเสิร์จชนิดที่ช่องว่างอากาศภายในหรือชนิดกลวง

1) สาเหตุ

สาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้เช่น ความผิดพลาดในกระบวนการผลิต การเกิดความชื้นขึ้นภายใน มีมลภาวะที่รุนแรงและมีความชื้นในอากาศสูง

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะเริ่มจากปริมาณน้อยๆ และเพิ่มสูงขึ้น จนนำไปสู่การ flashover ภายใน การดิสชาร์จบางส่วนสามารถลดปริมาณออกซิเจนรอบๆแผ่นออกไซด์โลหะได้และบางกรณีสามารถทำให้คุณสมบัติของแผ่นออกไซด์โลหะเปลี่ยนแปลงได้

3) ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพ

สำหรับตัวชี้วัดว่ากับดักเสิร์จมีการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำนวนมากนั้น สามารถตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด หรือการเปลี่ยนแปลงสีในบริเวณขอบและบริเวณข้างกันรั้วซึม

2.6.4 แรงดันเกินฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าที่มีขนาดแรงดันเกิดจากพิกัดแรงดันของกับดักเสิร์จหรือ MCOV เป็นสาเหตุที่ทำให้ฉนวนภายในรับภาระเกินพิกัด จนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพทันที อย่างไรก็ตามหากฟ้าผ่าทำให้เกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ในที่สุด เนื่องจากการเกิดดิสชาร์จจนนำไปสู่รอย tracking และสูญเสียความเป็นฉนวนในที่สุด [2, 6, 7]

1) สาเหตุ

สาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมของกับดักเสิร์จ เช่น

- กระแสฟ้าผ่าที่สูงมาก
- การเกิดฟ้าผ่าแบบต่อเนื่อง Muti-stroke
- การเกิดฟ้าผ่าสะสมต่อเนื่อง (จากการใช้งานเป็นเวลานาน)
- แรงดันเกินชั่วคราว (TOV) เนื่องจากความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าที่เกิน

ความสามารถของกับดักเสิร์จ

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

ถ้าฟ้าผ่ามีขนาดสูงกว่าความสามารถของกับดักเสิร์จรับได้ ในช่วงเริ่มแรกแผ่นออกไซด์โลหะจะมีความร้อนสูงขึ้น บางทีอาจเกิดการแตกร้าวขึ้นและการรวบไฟ ซึ่งจะนำไปสู่การ

การรวบไฟ ที่สมบูรณ์และการลัดวงจรภายในชั้น หากฟ้าผ่าทำให้เกิดความเสียหายต่อฉนวนเพียงเล็กน้อย แต่ก็เกิดการลัมเหลวในภายหลังเช่นกัน

3) ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพ

ถ้ากับดักเสิร์จที่มีคุณสมบัติในการลดกระแสฟ้าผ่าหรือเป็นปกติ แผ่นออกไซด์โลหะจะมีขั้ว (Polarized) การทดสอบ AC (AC Testing) ควรจะแสดงค่าความเป็นขั้วของแผ่นออกไซด์โลหะ

2.6.5 แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary Overvoltage)

การรับแรงดันเกินพิกัดของกับดักเสิร์จมีสาเหตุมาจากการที่แรงดันความถี่กำลังมีขนาดเกิดจากความสามารถของกับดักเสิร์จ โดยปกติกับดักเสิร์จถูกออกแบบมาให้คงทนต่อแรงดันเกิน ถ้าการติดตั้งมีขนาดที่ถูกต้องตามระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของวงจรในระบบไฟฟ้าบางครั้งเกิดการเปลี่ยนแปลง เบรกเกอร์ไม่ทำงานหรือปัญหาอื่นที่ก่อให้เกิดแรงดันเกินจากพิกัดของกับดักเสิร์จรองรับได้ [2, 6, 7]

1) สาเหตุ

ปกติสาเหตุของแรงดันเกินชั่วคราวที่ทำให้กับดักเสิร์จเสื่อมสภาพประกอบด้วย

- แรงดันระบบพุ่งสูงขึ้นอย่างผิดปกติ
- การทำงานผิดปกติของกับดักเสิร์จ
- การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกราวด์ระบบไฟฟ้า
- เกิดเฟอร์โรเรโซแนน
- กราวด์ของระบบไฟฟ้าเกิดการหลุด
- อายุของแผ่นออกไซด์โลหะ

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

ช่วงระยะเวลาที่เกิดแรงดันเกินชั่วคราว แรงดันที่ตกคร่อมกับดักเสิร์จจะพุ่งสูงขึ้นจนถึงระดับที่แผ่นออกไซด์โลหะนำกระแสมากกว่าช่วงทำงานปกติ ทำให้แผ่นออกไซด์โลหะมีความร้อนสูงขึ้น เมื่อมีความร้อนสูงจะทำให้ค่าความต้านทานลดต่ำลงและนำไปสู่การนำกระแสที่สูงขึ้นอีกสุดท้ายทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ

3) ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพ

ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จจากสาเหตุแรงดันเกินชั่วคราว ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงของลักษณะจำเพาะของแผ่นออกไซด์โลหะ การแตกร้าวของแผ่นออกไซด์โลหะ เกิด

การรวบไฟของแผ่นออกไซด์โลหะ เกิดฟองอากาศภายในฉนวนพอลิเมอร์ หรือการเกิดช่องอากาศที่ฉนวน พอร์ชเลน

2.6.6 แรงแดันเกินสวิตชิง (Switching Surge Overvoltage)

ลักษณะแรงแดันเกินชนิดนี้สามารถก่อให้เกิดปัญหาให้กับตัวเก็บประจุ ในกรณีที่มีสาเหตุจากการสวิตช์ชุดคาร์ปาซิเตอร์แบงค์ สวิตช์หรือจ่ายระบบที่มีวงจรรยาว สวิตช์ระบบแรงแดันสูง หรือสถานการณ์อื่นๆที่เกิดกว่าพิกัดของตัวเก็บประจุ ปกติเหตุการณ์ชนิดนี้จะเกิดกับระบบไฟฟ้าที่มีแรงแดันสูงกว่า 220 kV หรือระบบที่มีคาปาซิเตอร์แบงค์ติดตั้งในระบบสูงมากๆ [2, 6, 7]

1) สาเหตุ

สาเหตุของปัญหาเป็นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และจะรวมถึงจังหวะก่อนและหลังการสวิตชิงเบรกเกอร์และสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงค์

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

จะมีลักษณะที่เหมือนกับแรงแดันเกิดฟ้าผ่า

3) ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพ

ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพของตัวเก็บประจุจากสาเหตุแรงแดันเกินสวิตชิงคือ การเกิดรูพรุนเล็กๆ จำนวนมากที่แผ่นอลูมิเนียมรองรับแผ่นออกไซด์โลหะ

2.6.7 อายุของแผ่นออกไซด์โลหะ

แผ่นออกไซด์โลหะที่ถูกใช้งานเป็นเวลายาวนานสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและพิกัดแรงแดันของตัวเก็บประจุ (MCOV) ได้ นั่นหมายถึงอายุของตัวเก็บประจุ ถ้าตัวเก็บประจุมีคุณลักษณะเปลี่ยนไปจะมีผลให้กำลังสูญเสียที่แรงแดันระบบสูงขึ้น และนำไปสู่การล้มเหลวเสื่อมสภาพในที่สุด [2, 6, 7]

1) สาเหตุ

สาเหตุหลักมาจากกระบวนการผลิตแผ่นออกไซด์โลหะ

2) กลไกการเสื่อมสภาพ

ที่แรงแดันระบบ กำลังสูญเสียจะเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้เกิดความร้อนภายใน เมื่อความร้อนที่เกิดขึ้นสูงกว่าค่าที่ตัวเก็บประจุรับได้จะระบายความร้อนออกสู่ภายนอก ซึ่งจะทำให้ฉนวนภายในสูญเสียการเป็นฉนวนและตัวเก็บประจุล้มเหลวในที่สุด

3) ตัวชี้วัด

ตัวชี้วัดหลักๆ ประกอบด้วย กัปดักเสิร์จมีความร้อนในขณะที่แรงดันปกติ มีกำลังสูญเสียมากเกินไปขณะที่แรงดันปกติ เป็นต้น

2.6.8 สาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้กัปดักเสิร์จเสื่อมสภาพ

- สภาพแวดล้อมที่มีมลภาวะ
- พิกัดแรงดัน U_C และ TOV ไม่เหมาะสม
- แนวการจัดวางแผ่นออกไซด์โลหะผิดพลาด สาเหตุในกรณีนี้เกิดจากกระบวนการขนส่งหรือการติดตั้งทำให้ตำแหน่งแผ่นออกไซด์โลหะเคลื่อน
- แรงกดของสปริงภายในไม่เหมาะสม สาเหตุในกรณีนี้จะส่งผลให้ตำแหน่งแผ่นออกไซด์โลหะผิดพลาด
- แรงกระทบทางกล แรงกระทบทางกลที่มีขนาดสูงหรือเกิดขึ้นเป็นเวลานาน อาจทำให้กัปดักฟ้าเกิดความเสียหายและเสื่อมสภาพได้

บทที่ 3

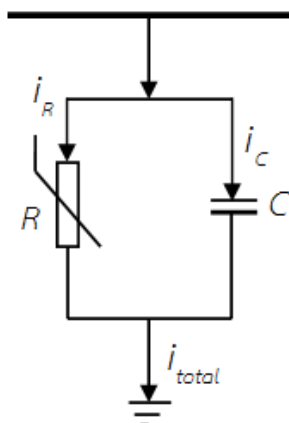
การตรวจวัดกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีการตรวจวัดกัปดักเสิร์จที่จะนำเสนอในการทดลองและการคำนวณที่เกี่ยวข้องในการวิจัยชิ้นนี้ โดยวิธีการทดลองเพื่อศึกษาขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ที่นำเสนอ สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

- 1) การเก็บข้อมูลกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จโดยการทดสอบด้วยแรงดันต่าง ๆ ซึ่งมีอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบที่มีสภาพต่าง ๆ คือตัวอย่างทดสอบที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และตัวอย่างที่ผ่านการใช้งานติดตั้งในระบบไฟฟ้าทั้งสภาพดี และเสื่อมสภาพ
- 2) การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของกัปดักเสิร์จด้วยกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด เมื่อทดสอบด้วยแรงดัน 12.7 kV โดยมีตัวอย่างทดสอบที่มีสภาพต่าง ๆ คือตัวอย่างทดสอบที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และตัวอย่างที่ผ่านการใช้งานติดตั้งในระบบไฟฟ้า ทั้งสภาพดี และเสื่อมสภาพ

3.1 กระแสรั่วของกัปดักเสิร์จ

จากที่กล่าวมาแล้วว่า อุปกรณ์กัปดักเสิร์จมีวงจรสมมูลที่ประกอบด้วยตัวต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น ($R_{non-linear}$) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 3.1 เมื่อมีแรงดันเกินที่เกิดขึ้นในระบบเนื่องจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าหรือการสวิตชิงในระบบไฟฟ้า กัปดักเสิร์จจะเปลี่ยนสถานะเป็นตัวนำที่ดี นำกระแสจำนวนมากเพื่อลดระดับแรงดันเกินเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ แต่เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ (Operating Voltage) อุปกรณ์จะประพฤติตัวเป็นฉนวนยอมให้มีกระแสไหลผ่านเพียงเล็กน้อย โดยที่กระแสที่ไหลผ่านนั้นเรียกว่ากระแสรั่ว กระแสรั่วของกัปดักเสิร์จสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระแสรั่วเชิงความต้านทาน (Resistive Leakage Current) และกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า (Capacitive Leakage Current) ในกรณีที่กัปดักเสิร์จมีสถานะสภาพดี ที่แรงดันปกติ ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานจะมีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า ค่ากระแสรั่วรวมที่เกิดขึ้นอาจมีค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าได้ถึง 1 – 10 mA และมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานเพียง 1-10% เท่านั้น ในการประเมินการเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จนั้นค่ากระแสรั่วที่บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพคือค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน [10, 11]



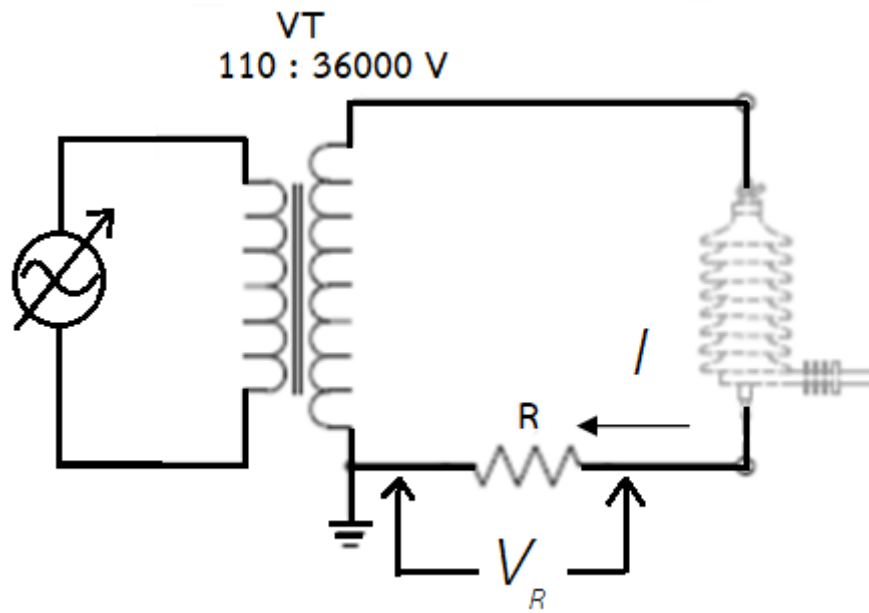
รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลของกับดักเสิร์จ

สำหรับวิธีการในการตรวจวัดค่ากระแสรั่วของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV นั้นจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (Resistive Leakage Current: I_R) ค่ายอดด้านบวก (Peak Value of Positive Polarity)

3.2 วงจรการวัดค่ากระแสรั่ว

วงจรสำหรับการทดลองวัดกระแสรั่วของกับดักเสิร์จ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ด้วยกัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 คือ

- 1) ส่วนของแหล่งจ่าย ประกอบด้วย แหล่งจ่ายแรงดันและหม้อแปลงแรงดันพิกัด 110/36000 V ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้การทดสอบ
- 2) ส่วนของการวัด ซึ่งกระแสรั่วของกับดักเสิร์จสามารถหาได้จากการวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานชนิด (V_R) ที่ต่อระหว่างกับดักเสิร์จกับกราวด์ กระแสรั่วจะเท่ากับแรงดันที่วัดได้หารด้วยความต้านทานชนิด



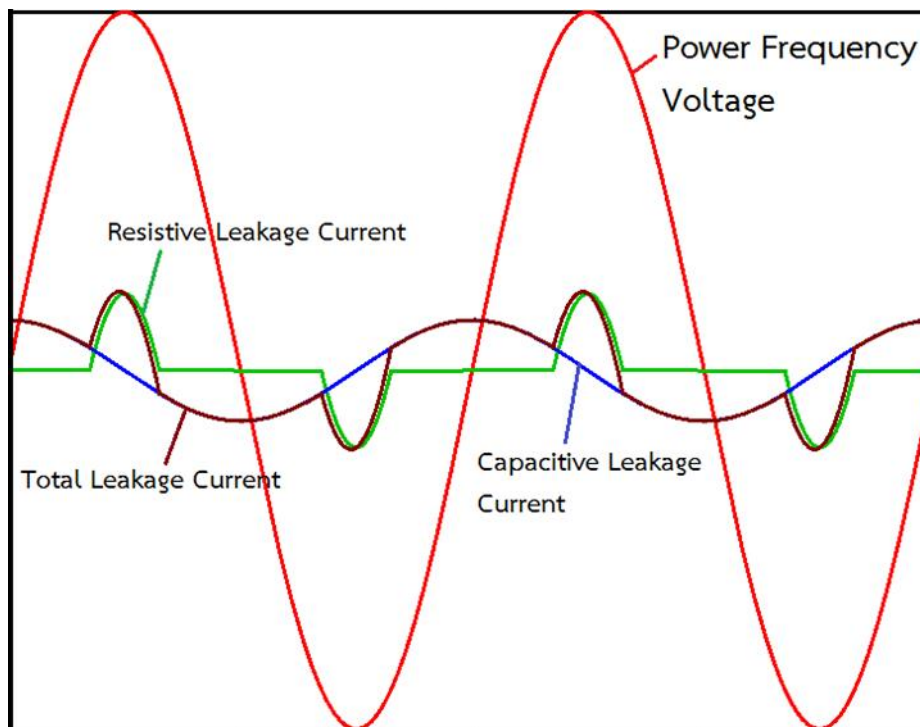
รูปที่ 3.2 วงจรตรวจวัดกระแสรั่วของกับดักเสิร์จ



รูปที่ 3.3 การตรวจวัดกระแสรั่วของกับดักเสิร์จ

3.3 วิธีในการแยกค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน

โดยปกติที่ค่ากระแสรั่วของกัปดักเสิร์จจะเป็นกระแสรั่วรวม (I_{Total}) ซึ่งประกอบด้วยกระแสรั่ว 2 ชนิด ตามรูปที่ 3.4 คือ ค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า (Capacitive Leakage Current: I_C) และค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (Resistive Leakage Current: I_R) อย่างที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็นค่ากระแสรั่วที่สามารถบ่งบอกถึงสภาพความพร้อมในการทำงานของกัปดักเสิร์จ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีการแยกกระแสรั่วด้วยการพิจารณาเฟสเซอร์กระแสและแรงดัน มาเป็นวิธีในการวิเคราะห์ค่ากระแสรั่วของกัปดักเสิร์จที่วัดได้



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบต่างๆ ของรูปคลื่นกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จ

เนื่องจากการทดลองได้พิจารณาใช้เครื่องตรวจวัดกระแสรั่วที่มีจรรยาบรรณตรวจวัดตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ค่าแรงดันที่ตกคร่อมและกระแสรั่วที่ไหลผ่านกัปดักเสิร์จจะถูกนำมาคำนวณเพื่อแยกกระแสรั่วต่อไปดังนี้

การแยกกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าได้จากกระแสรั่วที่วัดได้นั้น อาศัยการวัดค่าแรงดันทดสอบที่ตกคร่อมกัปดักเสิร์จที่ความถี่กำลัง เขียนสมการได้คือ

$$U(t) = U_{peak} \sin(\omega t) \quad (3.1)$$

และกระแสรวมของกับดักเสิร์จ (I_{Total}) จะประกอบด้วย ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r) และ ค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า (I_C) ซึ่งขนาดของกระแสรั่วทั้ง 3 ชนิดจะมีความสัมพันธ์และสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$I_{Total}(t) = I_r(t) + I_C(t) \quad (3.2)$$

โดยค่ากระแสรั่วที่วัดได้ I_{Total} จะมีฮาร์มอนิกรวมกันอยู่ที่ความถี่กำลัง (50 Hz) จึงต้องแยกหาฮาร์มอนิกที่ 1 ของกระแสรวมเพื่อนำไปส่งการแยกกระแสรั่ว

สำหรับการอธิบายรูปสัญญาณฮาร์มอนิก ที่เป็นสัญญาณรายคาบนิยมใช้นุกรมฟูรีเยร์ที่อยู่ในรูปผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติ เมื่อ $f(t)$ คือ สัญญาณรายคาบใด ๆ ที่ขึ้นอยู่กับเวลา t ซึ่งมีฟังก์ชันคือ

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n \omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n \omega t) \quad (3.3)$$

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ a_0 , a_n และ b_n คือ

$$a_0 = \frac{1}{T} \int f(t) dt \quad (3.4)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int f(t) \cos(n \omega t) dt \quad (3.5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int f(t) \sin(n \omega t) dt \quad (3.6)$$

เมื่อ T คือคาบของเวลา

n คือลำดับฮาร์มอนิก

ω คือความถี่มูลฐานเชิงมุม (rad/s)

สำหรับค่าความเพี้ยนของฮาร์มอนิก ตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: %THD) เป็นการบ่งบอกปริมาณฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Current Distortion: %THD_i) หาได้จาก

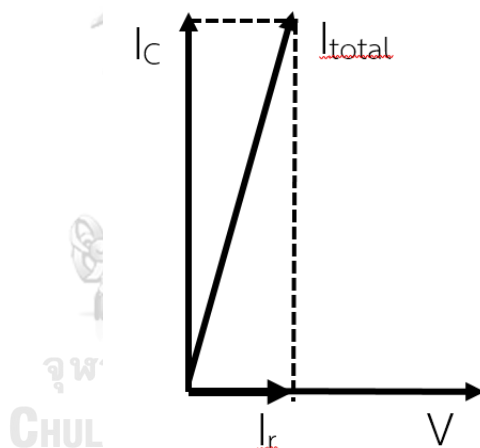
$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3.7)$$

เมื่อ I_n คือ ค่า rms ของกระแสฮาร์โมนิกที่ n

I_1 คือ ค่า rms ของกระแสฮาร์โมนิกที่ 1

เมื่อแยกฮาร์โมนิกของกระแสรวมแล้วจะได้ กระแสรวมฮาร์โมนิกที่ 1 เพื่อนำไปแยกกระแสในลำดับถัดไป

กระแสรวมฮาร์โมนิกที่ 1 เขียนให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ของกระแสคือ I_{Total} และแรงดันที่ป้อนให้กับกัปดักเสิร์จเขียนให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ของแรงดันคือ U โดยเฟสเซอร์ทั้ง 2 จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 เพื่อนำไปแยกหากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 เฟสเซอร์ของกระแสรั่ว I_{Total} และแรงดันทดสอบของกัปดักเสิร์จ

จากเฟสเซอร์แรงดันและกระแส สามารถหาค่า I_c ได้จาก

$$I_c = I_{Total} \sin \theta \quad (3.8)$$

เมื่อทราบค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าแล้ว $I_c(t)$ จึงนำค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าไปลบออกจากกระแสรวม ก็สามารถหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานได้ แสดงดังสมการ

$$I_r(t) = I_{Total}(t) - I_C(t) \quad (3.9)$$

เมื่อ $I_r(t)$ คือค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานทุกฮาร์มอนิกรวมกัน จึงต้องนำไปแยกฮาร์มอนิกเพื่อหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ฮาร์มอนิกต่างๆ ต่อไป

โดยผลการใช้วิธีการแยกกระแสรั่วของกับดักเสิร์จนี้ เมื่อนำมาเทียบเคียงกับวิธี Current Orthogonality Method ตามงานวิจัย [1] ซึ่งมีค่าความผิดพลาดที่ต่ำมาก ปรากฏว่าให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกัน จึงเป็นวิธีการที่สามารถยอมรับได้

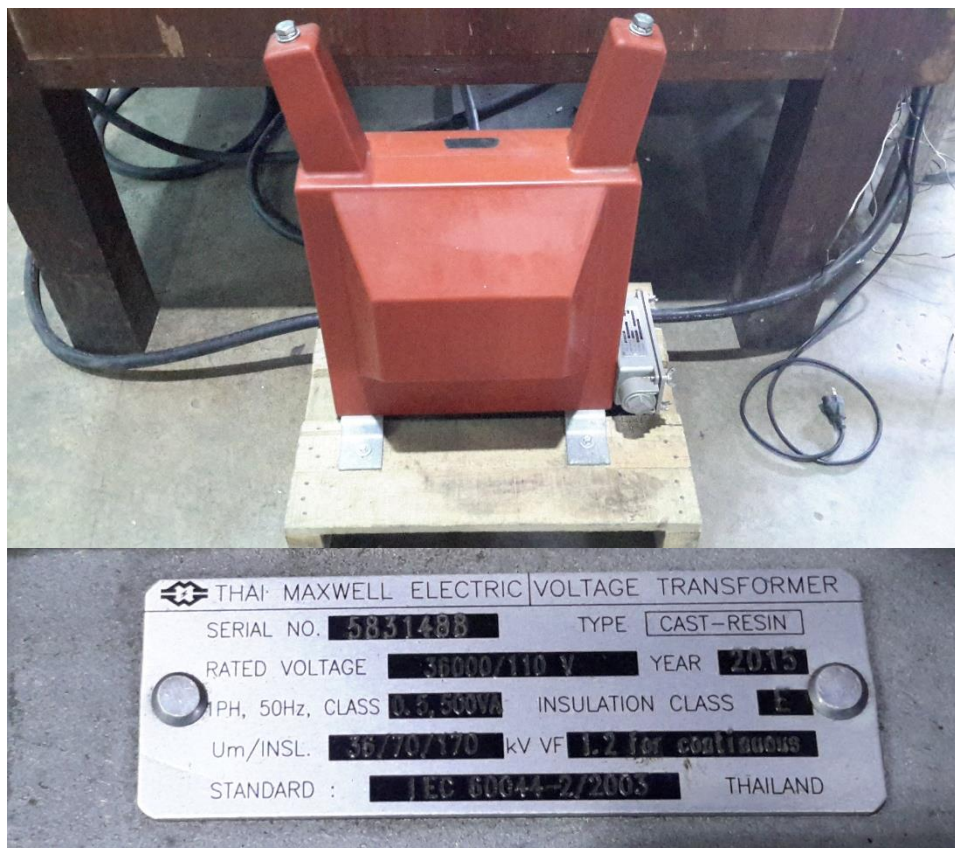
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วในข้อ 3.2 วงการวัดค่ากระแสรั่ว สำหรับในหัวข้อนี้จะแสดงรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วย

3.4.1 หม้อแปลงแรงดัน

หม้อแปลงแรงดันแสดงตามรูปที่ 3.6 เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายแรงดันสูงให้แก่กับดักเสิร์จที่จะทำการทดสอบ และใช้สำหรับเป็นเครื่องวัดแรงดันอีกด้วย โดยมีข้อมูลจำเพาะคือ

- พิกัด 110/36000 V
- กำลัง 500 VA
- Class 0.5



รูปที่ 3.6 หม้อแปลงแรงดัน

3.4.2 ชุดควบคุมการจ่ายแรงดันและระบบการวัด

การควบคุมปรับระดับแรงดันของแหล่งจ่าย (หม้อแปลงแรงดัน) จะใช้หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน (Variac) เพื่อปรับระดับแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ

ระบบวัดกระแสรั่วของกับดักเสิร์จ จะใช้ความต้านทานชนิดที่ต่อระหว่างกับดักเสิร์จกับกราวด์ แล้ววัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานชนิดเพื่อนำไปคำนวณหาค่ากระแสรั่วต่อไป

3.4.3 ไม้คอนติดตั้งกับดักเสิร์จเพื่อทดสอบ

ไม้คอนใช้เพื่อติดตั้งกับดักเสิร์จเพื่อทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.7 เนื่องจากการทดสอบใช้แรงดันไฟฟ้าสูงดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีไม้คอนสำหรับติดตั้งเพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 3.7 การติดตั้งกับดักเสิร์จเพื่อทดสอบ

3.4.4 กล้องส่องความร้อนอินฟราเรด

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วว่ากล้องส่องความร้อนอินฟราเรด เป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยในการประเมินสภาพของกับดักเสิร์จได้ ด้วยการวิเคราะห์อุณหภูมิของกับดักเสิร์จหลังจากทดสอบด้วยแรงดัน

สำหรับการทดลองได้ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด รุ่น testo 880 แสดงดังรูปที่ 3.8 สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -20°C ถึง 350°C

กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรดจะต้องมีการปรับแต่งค่าการสะท้อนของวัสดุที่ทำการวัด (Emissivity) เพื่อให้ค่าความร้อนที่วัดได้ถูกต้องที่สุด โดยค่า Emissivity ที่ใช้คือเลือกวัสดุชนิดพอลิเมอร์ เนื่องจากเปลือกฉนวนห่อหุ้มของกับดักเสิร์จที่ทำการศึกษาเป็นชนิดพอลิเมอร์



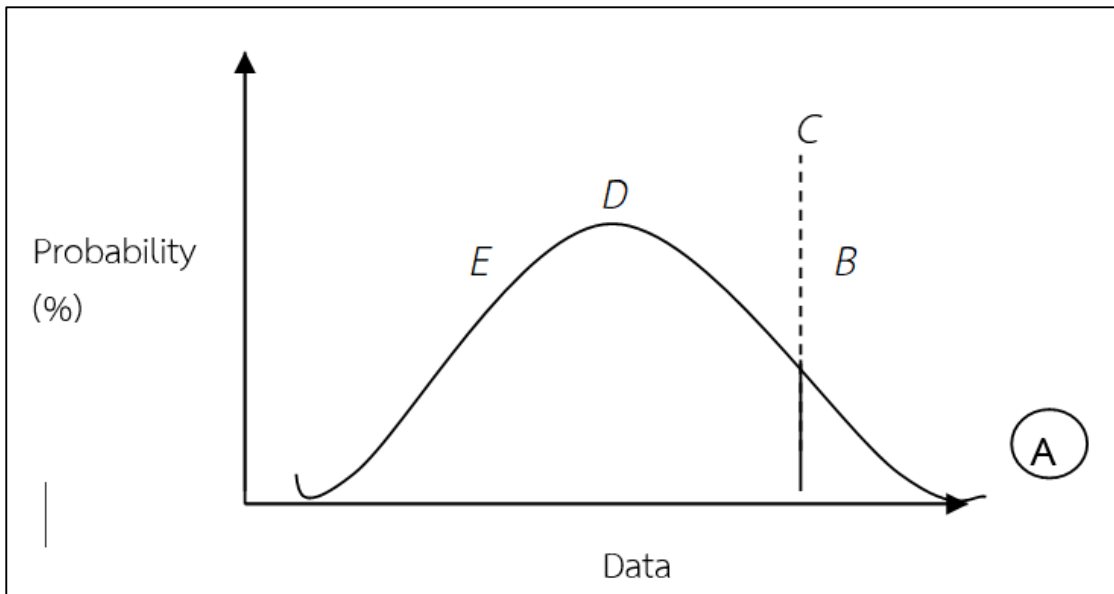
รูปที่ 3.8 กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด รุ่น testo 880

3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากได้ข้อมูลจากการตรวจวัดกระแสรั่วของกับดักเสิร์จจากตัวอย่างทดสอบครบตามที่ตั้งเป้าหมายไว้แล้ว ก็จะดำเนินการวิเคราะห์ผลการทดลองตามโมเดลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ตั้งไว้ ซึ่งในอันดับแรกของการวิเคราะห์ข้อมูลจะกำหนดสมมุติฐานการทดลองไว้ดังนี้

- (1) ขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV อุปกรณ์ใหม่ รุ่นและผลิตภัณฑ์เดียวกัน ควรมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่แรงดันทดสอบเท่ากัน
- (2) ค่าอุณหภูมิของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV อุปกรณ์ใหม่ รุ่นและผลิตภัณฑ์เดียวกัน เมื่อทดสอบที่แรงดันใช้งานจริง (12.7 kV) ควรมีค่าที่เท่ากัน
- (3) ค่าอุณหภูมิของกับดักเสิร์จพิกัด 21 kV อุปกรณ์ใหม่ที่ยังไม่ผ่านการติดตั้งใช้งาน เมื่อทดสอบที่แรงดันใช้งานจริง (12.7 kV) ควรมีค่าสูงไม่เกิน 1°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง

หลังจากได้ข้อมูลขนาดของค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานและอุณหภูมิความร้อนของตัวอย่างในแต่ละผลิตภัณฑ์แล้ว จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์และจัดกลุ่มตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ และสรุปผลตามโมเดลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ตั้งไว้ โดยมีรูปแบบดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงโมเดลการวิเคราะห์ข้อมูล

- โดยที่ : A คือค่ากระแสรั่วที่มีค่าสูงอย่างผิดปกติ
 B คือค่ากระแสรั่วที่มีค่าสูงเกินกว่าค่าลิมิต
 C คือค่ากระแสรั่วลิมิตสูงสุด (ค่ากระแสรั่วที่ทำให้มีอุณหภูมิเกิน 1°C)
 D คือค่ากระแสรั่วเฉลี่ย
 E คือค่ากระแสรั่วที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าเฉลี่ยเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูล ค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยข้อมูลทั้งหมด ซึ่งจะนำมาใช้เป็นค่ากลางของข้อมูล มีสมการคือ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.10)$$

บทที่ 4

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

งานวิจัยเล่มนี้เสนอขั้นตอนและวิธีการทดลองเพื่อศึกษากระแสรั่วของกักดับเล็รจพักัด 21 kV ชนิดออกไซด์โลหะ (MOV) เปลือกฉนวนพอลิเมอรื ด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยใช้ตัวอย่างกักดับเล็รจที่มีสภาพต่างๆ มาทำการศึกษา ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

4.1 ตัวอย่างกักดับเล็รจที่ทำการศึกษา

กักดับเล็รจที่ทำการศึกษาเป็นแบบชนิดออกไซด์โลหะ ขนาดพักัด 21 kV มีโครงสร้างห่อหุ้ม (Housing) ทำจากวัสดุพอลิเมอรื แสดงดังรูปที่ 4.1 ผ่านการทดสอบ Type Tests (Design Tests) และ การทดสอบประจำ (Routine Tests) ตามมาตรฐาน มอก. 2366-2551 (IEC 60099-4) ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.1 กักดับเล็รจพักัด 21 kV ชนิดออกไซด์โลหะ (MOV) เปลือกฉนวนพอลิเมอรื

ตัวอย่างข้อมูลจำเพาะของกัปกเสิร์จที่ใช้ทำการทดลอง ซึ่งได้จากผู้ผลิต โดยมีข้อมูลสำคัญๆ ได้แก่ มิติขนาดต่าง ๆ แรงดันพิกัด (U_r) แรงดันใช้งานต่อเนื่อง (U_C) กระแสนอมินอลติสซาร์จ (I_n) ความสามารถในการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capability) และระยะรั้วตามผิว (Creepage distances) เป็นต้น

4.2 การศึกษาเปรียบเทียบกระแสรั้วของกัปกเสิร์จที่สภาพต่าง ๆ

ในการทดลองในข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่ากระแสรั้วของกัปกเสิร์จพิกัด 21 kV ที่สภาพต่าง ๆ โดยทำการทดสอบจ่ายแรงดันให้กับกัปกเสิร์จที่แรงดันต่าง ๆ และวัดค่ากระแสรั้วที่ไหลผ่าน

4.2.1 ตัวอย่างกัปกเสิร์จที่ทำการทดลอง (Sample Test)

การทดลองตรวจวัดค่ากระแสรั้วของกัปกเสิร์จ ใช้ตัวอย่างกัปกเสิร์จพิกัด 21 kV ชนิดพอลิเมอร์จำนวน 2 ผลิตรุ่นที่มีสภาพต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.2 ได้แก่

- 1) กัปกเสิร์จคุณภาพดี ยังไม่เคยใช้งาน
- 2) กัปกเสิร์จคุณภาพดี ผ่านการติดตั้งใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน
- 3) กัปกเสิร์จที่เสื่อมสภาพ สาเหตุจาก MOV Blocks เสื่อมสภาพจากการใช้งาน
- 4) กัปกเสิร์จที่เสื่อมสภาพ สาเหตุจากการมีความชื้นภายใน



ตัวอย่างอุปกรณ์ใหม่ ไม่ผ่านการติดตั้งใช้งาน

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ผ่านการติดตั้งใช้งาน

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างอุปกรณ์กัปกเสิร์จที่ใช้ในการทดลอง

4.2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

การทดลองในหัวข้อนี้ ต้องการศึกษาระแสรั่วของกัปดักเสิร์จที่สภาพต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะ ขนาด และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสรั่วเชิงความต้านทานกับกระแสรั่วเชิงค่าความจุ เมื่ออุปกรณ์กัปดักเสิร์จมีสภาพที่แตกต่างกัน ทั้งสภาพดี MOV Blocks ของกัปดักเสิร์จเสื่อมสภาพ และกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพเนื่องจากมีความชื้นภายใน ด้วยการทดลองจากแรงดันที่ค่าต่างๆ และวัดกระแสรั่วไหลผ่านอุปกรณ์ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการทดลองตามรูปที่ 4.3 ดังนี้

- 1) นำกัปดักเสิร์จติดตั้งไว้บนอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
- 2) จ่ายแรงดันให้อุปกรณ์กัปดักเสิร์จที่แรงดันค่าต่าง ๆ (ตามตารางที่ 4)
- 3) ตรวจวัดกระแสรั่ว และบันทึกค่า
- 4) การทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C

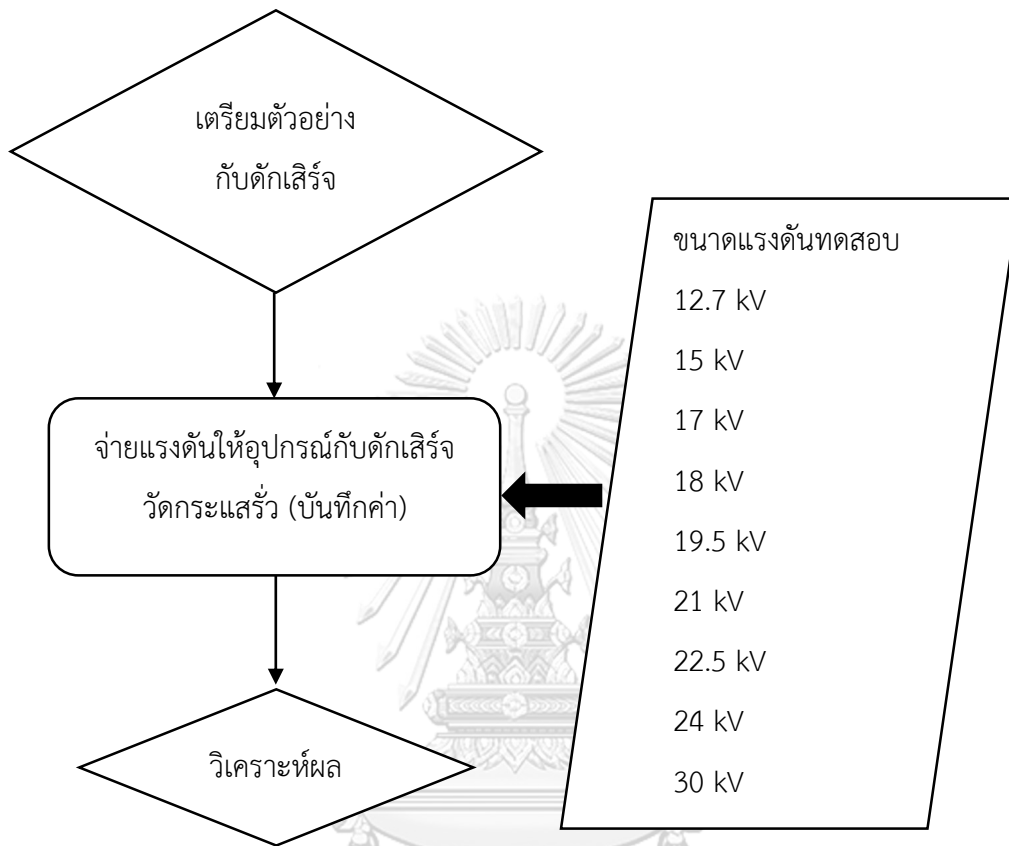
ตารางที่ 4.1 ขนาดแรงดันที่ใช้ในการทดลอง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\%U_{ref}$	0.423	0.5	0.57	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	U_{ref}
	U_{ref}	U_{ref}	U_{ref}	U_{ref}	U_{ref}	U_{ref}	U_{ref}	U_{ref}	
ขนาดแรงดัน (kV)	12.7	15	17	18	19.5	21	22.5	24	30

สำหรับวิธีการในการตรวจวัดค่ากระแสรั่วของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV นั้นจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r) ค่ายอดด้านบวก (Peak Value of Positive Polarity) ค่าแรงดันที่ใช้ทดสอบตามตารางที่ จะค่าแรงดันสำคัญคือ

- 1) แรงดันใช้งานจริง (Working Voltage: U_w) คือแรงดันเฟสของแรงดันที่ความถี่กำลัง (50 Hz) ระบบ 22 kV หรือเท่ากับ 12.7 kV
- 2) แรงดันใช้งานต่อเนื่อง (Continuous Operating Voltage: U_c) สำหรับ กัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV มีค่า U_c ประมาณ 17 kV
- 3) แรงดันอ้างอิง (Reference Voltage: U_{ref}) ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ความถี่กำลัง (50 Hz) หาด้วย $\sqrt{2}$ ซึ่งป้อนเพื่อทดสอบหาค่ากระแสรั่วอ้างอิง

(Reference Current) ของกัณฑ์เสิร์จ ซึ่งสำหรับกัณฑ์เสิร์จพิกัด 21 kV ที่ทำการศึกษามีค่า U_{ref} ประมาณ 30 kV



รูปที่ 4.3 แผนผังขั้นตอนและวิธีการทดลองศึกษากระแสรั่วของกัณฑ์เสิร์จที่สภาพต่าง ๆ

4.3 การศึกษาอุณหภูมิของกัปดักเสิร์จเปรียบเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน

ในการทดลองในข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของกัปดักเสิร์จเมื่อติดตั้งที่แรงดันใช้งานปกติ (Operating Voltage) เปรียบเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จที่เกิดขึ้น โดยการทดสอบกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่าง ๆ ด้วยแรงดันทดสอบที่ 12.7 kV

4.3.1 ตัวอย่างกัปดักเสิร์จที่ทำการทดลอง

การทดลองตรวจวัดค่ากระแสรั่วของกัปดักเสิร์จ ใช้ตัวอย่างกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ชนิดพอลิเมอร์จำนวน 2 ผลิตรุ่นที่มีสภาพต่าง ๆ ได้แก่

- 1) กัปดักเสิร์จคุณภาพดี ยังไม่เคยใช้งาน
- 2) กัปดักเสิร์จคุณภาพดี ผ่านการติดตั้งใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน
- 3) กัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ สาเหตุจาก MOV Blocks เสื่อมสภาพจากการใช้งาน
- 4) กัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ สาเหตุจากการมีความชื้นภายใน

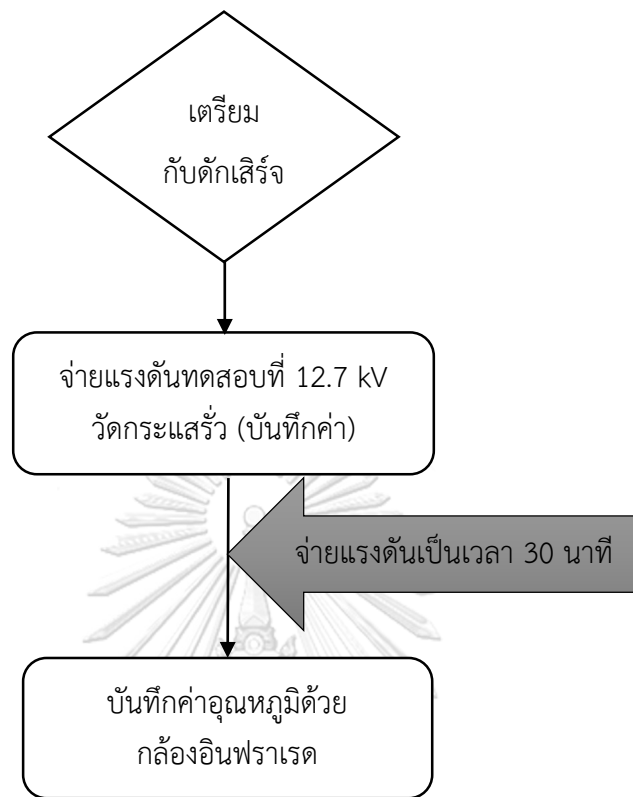
4.3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

การทดลองในหัวข้อนี้ต้องการศึกษาศึกษาอุณหภูมิของกัปดักเสิร์จเมื่อติดตั้งที่แรงดันใช้งานปกติ (Operating Voltage) เปรียบเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จที่เกิดขึ้น โดยการทดสอบกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่าง ๆ ด้วยแรงดันทดสอบที่ 12.7 kV โดยมีขั้นตอนวิธีการทดลองตามรูปที่ 4.5 ดังนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์และติดตั้งเครื่องทดสอบ โดยตัวอย่างทดสอบที่ติดตั้งบนไม้คอนให้ติดตั้งกัปดักเสิร์จอีกตัวที่เป็นผลิตรุ่นเดียวกัน เพื่อใช้เป็นคู่เทียบในการวัดอุณหภูมิ ตามรูปที่ 4.4
- 2) จ่ายแรงดันทดสอบให้กับตัวอย่างทดลองที่ 12.7 kV
- 3) วัดกระแสรั่วของตัวอย่างกัปดักเสิร์จและบันทึกค่า
- 4) จ่ายแรงดันทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที
- 5) ใช้กล้องส่องความร้อนอินฟราเรดถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้น โดยให้ถ่ายเทียบระหว่างตัวอย่างทดลองที่จ่ายแรงดันและตัวอย่างที่ไม่ได้จ่ายแรงดัน แสดงตามดังรูปที่ 4.6
- 6) บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

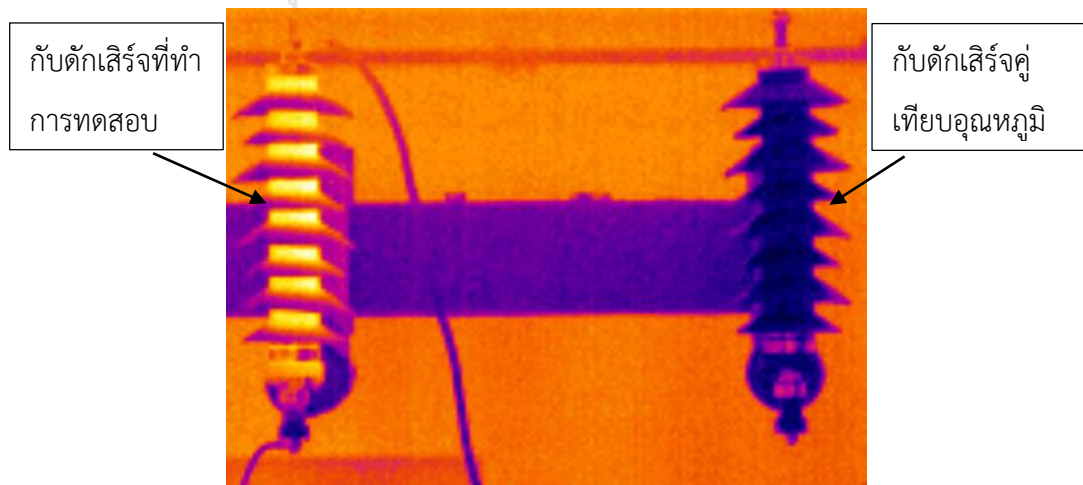


รูปที่ 4.4 วิธีการติดตั้งกับดักเสิร์จเพื่อทดลองการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด



รูปที่ 4.5 แผนผังขั้นตอนการทดลองศึกษาอุณหภูมิของกับดักเสิร์จเปรียบเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิง
ความต้านทานของกับดักเสิร์จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 6 ภาพถ่ายความร้อนของกับดักเสิร์จซึ่งมีคู่เทียบอุณหภูมิ

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการศึกษากระแสรั่วของกัปดักเสิร์จที่สภาพต่างๆ

กระแสรั่วของกัปดักเสิร์จโดยเฉพาะกระแสรั่วเชิงความต้านทาน สามารถใช้ประเมินความเสื่อมสภาพหรือความพร้อมใช้งานของกัปดักเสิร์จได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้นการศึกษาลักษณะรูปคลื่นกระแส ขนาดกระแสของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่างๆ ตามแรงดันทดสอบในหัวข้อที่ 4.2 สามารถทำให้เข้าใจคุณสมบัติกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จและสามารถประเมินวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จได้ดียิ่งขึ้น

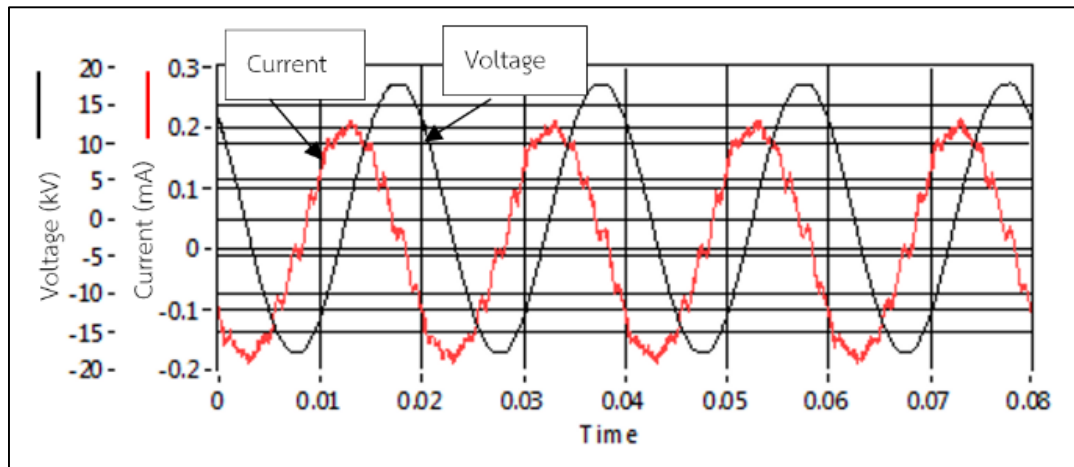
จากการทดลองตรวจวัดตามบทที่ 4 สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองแยกตามข้อบ่งชี้การเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จด้วยค่ากระแสรั่วได้ ดังนี้

5.1.1 รูปคลื่นกระแสรั่วของกัปดักเสิร์จ

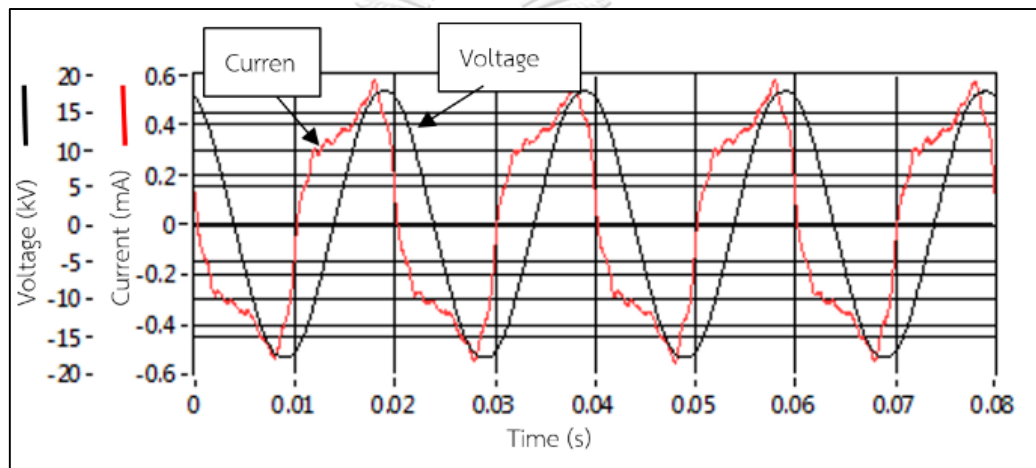
จากผลการทดลองจ่ายแรงดันที่ 12.7 kV (แรงดันที่ใช้งานจริง) ให้กับกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ด้วยวิธีการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2 โดยมีตัวอย่างทดลอง 4 สถานะคือ

- 1) กัปดักเสิร์จคุณภาพดี ยังไม่เคยใช้งาน
- 2) กัปดักเสิร์จคุณภาพดี ผ่านการติดตั้งใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน
- 3) กัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ สาเหตุจาก MOV Blocks เสื่อมสภาพจากการใช้งาน
- 4) กัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ สาเหตุจากการมีความชื้นภายใน

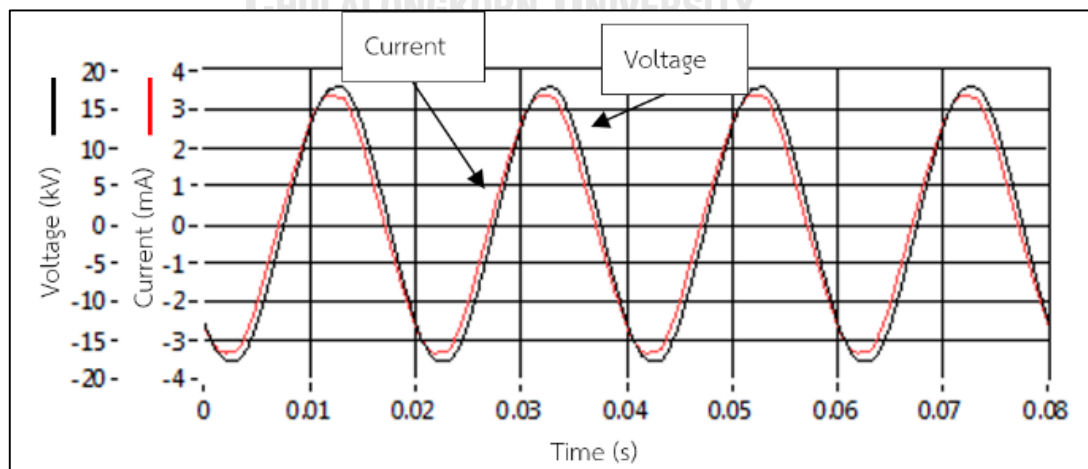
ตามรูปที่ 5.1 ถึง 5.3 แสดงรูปคลื่นกระแสรั่วที่ไหลผ่านกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่าง ๆ เมื่อทดสอบที่แรงดัน 12.7 kV ซึ่งเป็นแรงดันเฟสของระบบไฟฟ้า 22 kV รูปที่ 5.1 กรณีกัปดักเสิร์จสภาพดี ลักษณะรูปคลื่นกระแสมีเฟสหน้ารูปคลื่นแรงดัน 90° กระแสรั่วส่วนใหญ่เป็นกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า มีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานเพียงเล็กน้อย รูปที่ 5.2 แสดงกระแสรั่วในกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ จะเห็นกระแสรั่วเชิงความต้านทานมีค่าสูงขึ้นมากกว่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า จึงมียอดรูปคลื่นกระแสตรงกัปดักเสิร์จรูปคลื่นแรงดัน กรณีนี้สาเหตุมาจากแผ่นออกไซด์โลหะเสื่อมสภาพ รูปที่ 5.3 แสดงกระแสรั่วในกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ กรณีนี้กระแสรั่วเชิงความต้านทานมีค่าสูงขึ้นมากอย่างชัดเจน จนมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ สาเหตุน่าจะมาจากความชื้นเข้าไปข้างใน



รูปที่ 5.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสรั่วของกับดักเสิร์จที่มีสภาพดี



รูปที่ 5.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสรั่วของกับดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ
(เนื่องจาก MOV Blocks เสื่อมสภาพ)



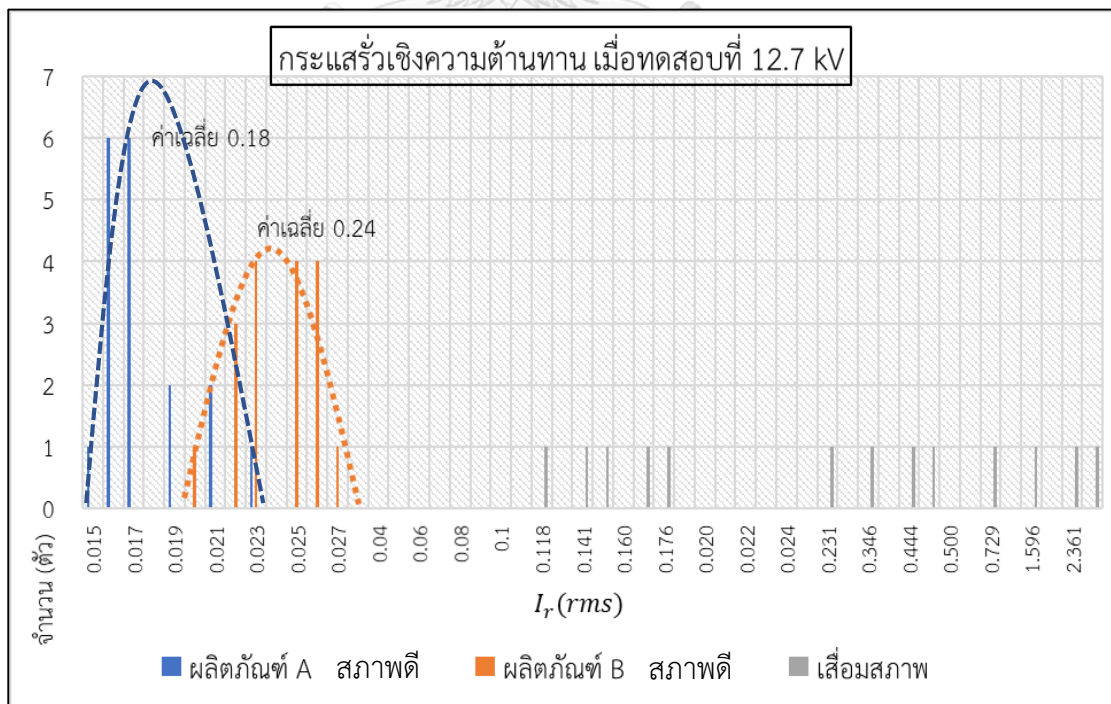
รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสรั่วของกับดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ (เนื่องจากมีความชื้นภายใน)

5.1.2 ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r)

ในหัวข้อนี้จะเป็นผลการทดลองหาขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานค่า r.m.s. ของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่าง ๆ เมื่อทดสอบด้วยแรงดัน 12.7 kV (แรงดันใช้งานจริง) โดยทดสอบที่มีอุณหภูมิแวดล้อม 25° C และผลการทดลองหาขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานค่า r.m.s. ของกัปดักเสิร์จสภาพดี และกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5.1 และ 5.2

จากการทดลองพบว่ากัปดักเสิร์จที่มีสภาพดี ทั้งใหม่และที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ต่ำมาก สำหรับกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพทั้งที่มีสาเหตุจาก MOV Blocks เสื่อมสภาพและอุปกรณ์มีความชื้นเข้าสู่ภายใน จะมีขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่สูงมากกว่า 100 μ A โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นเข้าสู่ภายใน ขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานจะมีค่าสูงกว่า 1 mA โดยกัปดักเสิร์จทั้ง 2 ผลลัพธ์ที่มีค่าเกณฑ์ประเมินที่แตกต่างกันเล็กน้อยคือ

- 1) กัปดักเสิร์จสภาพดีผลิตภัณฑ์ A จะมีค่าเฉลี่ยขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานค่า r.m.s. เท่ากับ 0.018 mA
- 2) กัปดักเสิร์จสภาพดีผลิตภัณฑ์ B จะมีค่าเฉลี่ยขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานค่า r.m.s. เท่ากับ 0.024 mA



รูปที่ 5.4 แสดงขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จ เมื่อทดสอบที่แรงดัน 12.7 kV

จากการสร้างกราฟตามรูปที่ 5.4 จะพบว่ากลุ่มของขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานค่า r.m.s. ของกับดักเสิร์จที่มีสภาพดีของทั้ง 2 ผลิตรถยนต์ เมื่อทดสอบด้วยแรงดัน 12.7 kV มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.1 ตารางขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกับดักเสิร์จที่มีสภาพดี เมื่อทดสอบแรงดันที่ 12.7 kV

ผลิตรถยนต์ A	I_r (mA)	ผลิตรถยนต์ B	I_r (mA)
ตัวอย่าง 1	0.022	ตัวอย่าง 1	0.025
ตัวอย่าง 2	0.021	ตัวอย่าง 2	0.026
ตัวอย่าง 3	0.023	ตัวอย่าง 3	0.027
ตัวอย่าง 4	0.021	ตัวอย่าง 4	0.025
ตัวอย่าง 5	0.022	ตัวอย่าง 5	0.026
ตัวอย่าง 6	0.017	ตัวอย่าง 6	0.023
ตัวอย่าง 7	0.017	ตัวอย่าง 7	0.026
ตัวอย่าง 8	0.016	ตัวอย่าง 8	0.023
ตัวอย่าง 9	0.016	ตัวอย่าง 9	0.022
ตัวอย่าง 10	0.016	ตัวอย่าง 10	0.022
ตัวอย่าง 11	0.015	ตัวอย่าง 11	0.026
ตัวอย่าง 12	0.019	ตัวอย่าง 12	0.025
ตัวอย่าง 13	0.019	ตัวอย่าง 13	0.020
ตัวอย่าง 14	0.016	ตัวอย่าง 14	0.022
ตัวอย่าง 15	0.017	ตัวอย่าง 15	0.022
ตัวอย่าง 16	0.017	ตัวอย่าง 16	0.024
ตัวอย่าง 17	0.016	ตัวอย่าง 17	0.022
ตัวอย่าง 18	0.017	-	-
ตัวอย่าง 19	0.016	-	-
ตัวอย่าง 20	0.017	-	-
ค่าเฉลี่ย	0.018	ค่าเฉลี่ย	0.024

ตารางที่ 5.2 ขนาดกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดักเสิร์จเสื่อมสภาพ เมื่อทดสอบแรงดันที่ 12.7 kV

ตัวอย่างที่	I_r (mA)	ตัวอย่างที่	I_r (mA)
ตัวอย่าง 1	0.231	ตัวอย่าง 8	0.729
ตัวอย่าง 2	0.118	ตัวอย่าง 9	0.150
ตัวอย่าง 3	1.596	ตัวอย่าง 10	0.176
ตัวอย่าง 4	0.444	ตัวอย่าง 11	0.141
ตัวอย่าง 5	0.346	ตัวอย่าง 12	2.691
ตัวอย่าง 6	0.170	ตัวอย่าง 13	0.476
ตัวอย่าง 7	2.361	-	-

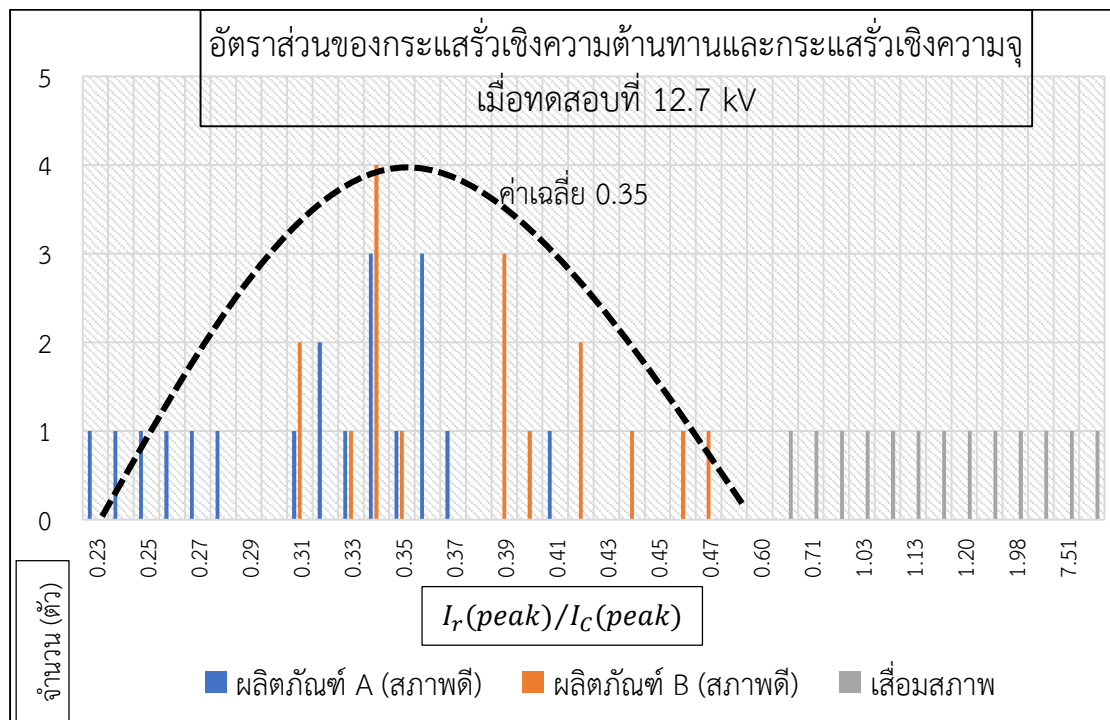
5.1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r) และขนาดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า (I_C)

โดยปกติแล้วกัปดักเสิร์จจะมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า แต่เมื่อกัปดักเสิร์จเสื่อมสภาพจะมีกระแสรั่วเชิงความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า ($I_{r,peak} / I_{C,peak}$) น่าจะสามารถบ่งชี้การเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จได้

ในหัวข้อนี้ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานค่ายอด ($I_{r,peak}$) และขนาดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าค่ายอด ($I_{C,peak}$) ของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่างๆ เมื่อทดสอบด้วยแรงดัน 12.7 kV (แรงดันใช้งานจริง) โดยทดสอบที่มีอุณหภูมิแวดล้อม 25°C โดยผลการทดลองสำหรับกัปดักเสิร์จสภาพดี แสดงได้ตามตารางที่ 5.3 และสำหรับกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ แสดงตามตารางที่ 5.4

จากการทดลองจะพบว่ากัปดักเสิร์จที่มีสภาพดี ทั้งใหม่และที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะมีอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า ($I_{r,peak} / I_{C,peak}$) ที่ต่ำมาก เนื่องจากกัปดักเสิร์จที่สภาพดีจะมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ต่ำ ซึ่งต่างจากกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพจะค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่สูงมาก ทำให้อัตราส่วนจึงสูงตามนั่นเอง โดยกัปดักเสิร์จทั้ง 2 ผลลัพธ์มีค่าเกณฑ์ประเมินที่ไม่ต่างกัน ซึ่งพิจารณาจากการสร้างกราฟ

ตามรูปที่ 5.5 จะพบว่ากลุ่มของอัตราส่วนของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพดีของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ เมื่อทดสอบด้วยแรงดัน 12.7 kV มีค่าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนเท่ากับ 0.35 โดยอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า ($I_{r,peak}/I_{C,peak}$) ของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพดีจะมีค่าไม่เกิน 0.45 เมื่อดูจากข้อมูลในกราฟ



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงอัตราส่วนของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุ ของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพต่าง ๆ เมื่อทดสอบที่แรงดัน 12.7 kV

ตารางที่ 5.3 อัตราส่วนของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุ ของกับดักเสิร์จที่มีสภาพดี เมื่อทดสอบที่แรงดัน 12.7 kV

ผลิตภัณฑ์ A	$I_r(\text{Peak})/I_C(\text{Peak})$	ผลิตภัณฑ์ B	$I_r(\text{Peak})/I_C(\text{Peak})$
ตัวอย่าง 1	0.362	ตัวอย่าง 1	0.338
ตัวอย่าง 2	0.341	ตัวอย่าง 2	0.341
ตัวอย่าง 3	0.367	ตัวอย่าง 3	0.334
ตัวอย่าง 4	0.361	ตัวอย่าง 4	0.338
ตัวอย่าง 5	0.358	ตัวอย่าง 5	0.341
ตัวอย่าง 6	0.274	ตัวอย่าง 6	0.350
ตัวอย่าง 7	0.261	ตัวอย่าง 7	0.385
ตัวอย่าง 8	0.275	ตัวอย่าง 8	0.404
ตัวอย่าง 9	0.245	ตัวอย่าง 9	0.412
ตัวอย่าง 10	0.227	ตัวอย่าง 10	0.410
ตัวอย่าง 11	0.238	ตัวอย่าง 11	0.463
ตัวอย่าง 12	0.325	ตัวอย่าง 12	0.473
ตัวอย่าง 13	0.348	ตัวอย่าง 13	0.394
ตัวอย่าง 14	0.338	ตัวอย่าง 14	0.438
ตัวอย่าง 15	0.309	ตัวอย่าง 15	0.390
ตัวอย่าง 16	0.318	ตัวอย่าง 16	0.422
ตัวอย่าง 17	0.338	ตัวอย่าง 17	0.420
ตัวอย่าง 18	0.313	-	-
ตัวอย่าง 19	0.308	-	-
ตัวอย่าง 20	0.335	-	-
ค่าเฉลี่ย	<u>0.32</u>	ค่าเฉลี่ย	<u>0.38</u>

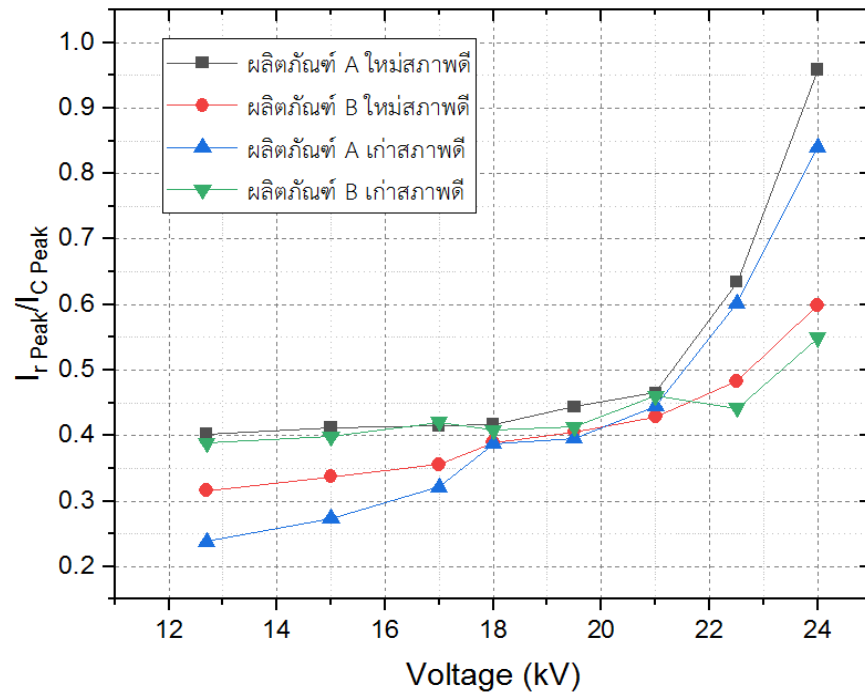
ตารางที่ 5.4 อัตราส่วนของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและกระแสรั่วเชิงความจุ ของกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ เมื่อทดสอบที่แรงดัน 12.7 kV

ตัวอย่างที่	$I_r(\text{Peak})/I_C(\text{Peak})$	ตัวอย่างที่	$I_r(\text{Peak})/I_C(\text{Peak})$
ตัวอย่าง 1	1.201	ตัวอย่าง 8	1.984
ตัวอย่าง 2	0.664	ตัวอย่าง 9	1.127
ตัวอย่าง 3	5.341	ตัวอย่าง 10	1.329
ตัวอย่าง 4	1.108	ตัวอย่าง 11	0.972
ตัวอย่าง 5	1.028	ตัวอย่าง 12	13.399
ตัวอย่าง 6	0.711	ตัวอย่าง 13	1.166
ตัวอย่าง 7	7.514	-	-

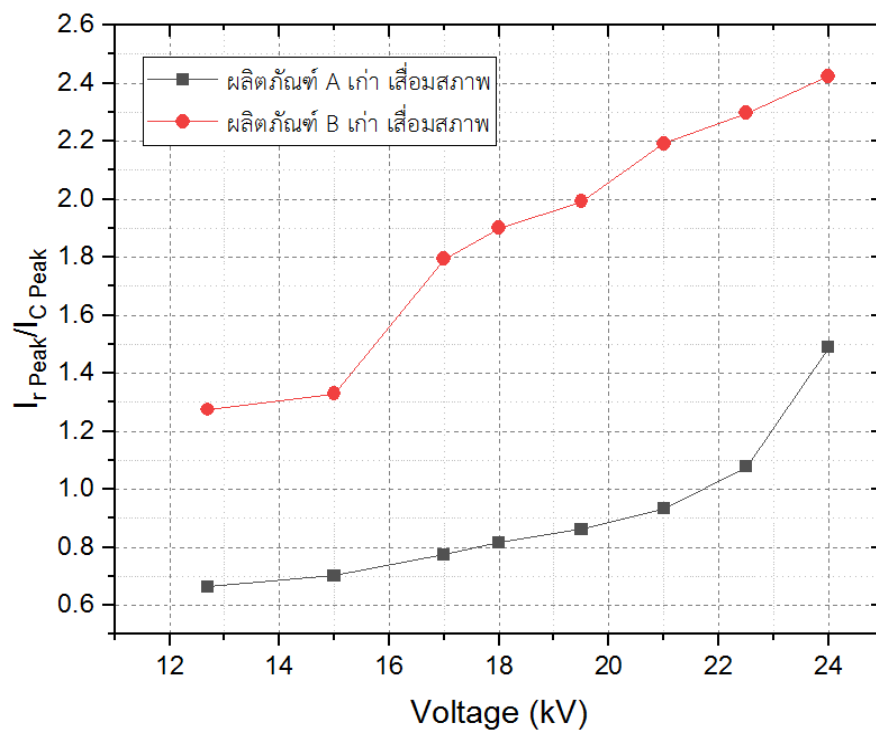
จากรูปที่ 5.6 ถึง 5.8 แสดงการศึกษาอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าของกัปดักเสิร์จที่มีสภาพดี พิกัด 21 kV เมื่อทดสอบที่แรงดันต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของที่สภาพต่างๆ จากผลการทดลองสรุปได้คือ

1) กัปดักเสิร์จที่มีสภาพดี ในช่วงที่ทดสอบด้วยแรงดันปกติคือ 12.7 – 17 kV อัตราส่วนความสัมพันธ์ค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า ($I_{r,peak}/I_{C,peak}$) จะมีค่าที่ต่ำ แต่หลังจากแรงดันทดสอบที่ 21 kV จะมีอัตราส่วนที่พุ่งสูงขึ้นเนื่องจากกัปดักเสิร์จเริ่มเข้าสู่สถานะการนำกระแส

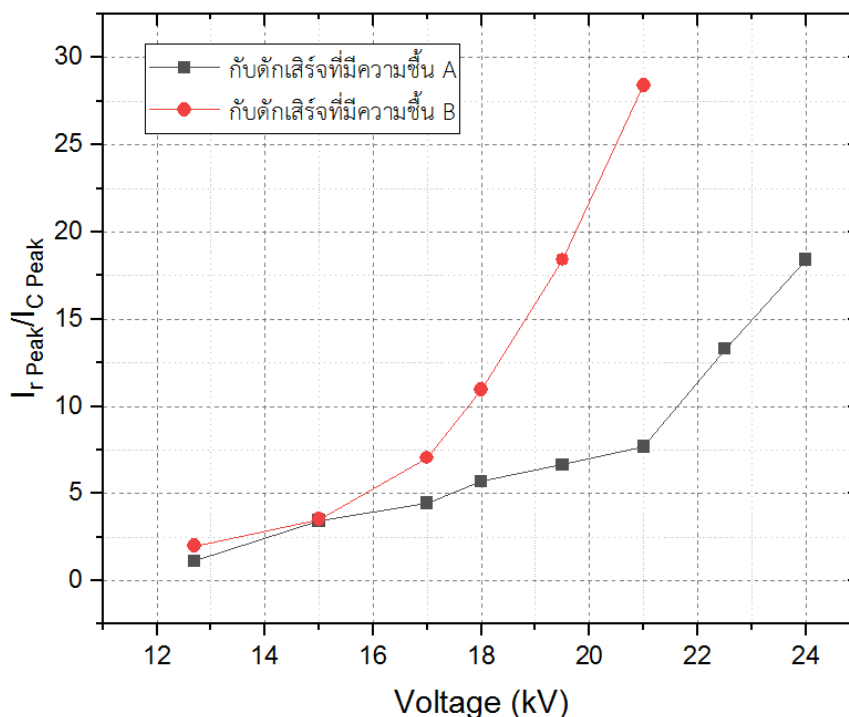
2) กัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพทั้งที่มีสาเหตุจาก MOV Block เสื่อมหรือมีความชื้นภายใน ในช่วงที่ทดสอบด้วยแรงดันปกติคือ 12.7 – 17 kV อัตราส่วนความสัมพันธ์ $I_{r,Peak}/I_{C,Peak}$ ก็จะมีค่าที่สูงมากตามรูปที่ 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.6 อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าของกับดักเสิร์จสภาพดี



รูปที่ 5.7 อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าของกับดักเสิร์จเสื่อมสภาพ สาเหตุ MOV Blocks เสื่อม



รูปที่ 5.8 อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานและค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้าของกัปดาห์เสร็จเชื่อมสภาพ สาเหตุความชื้นเข้าภายใน

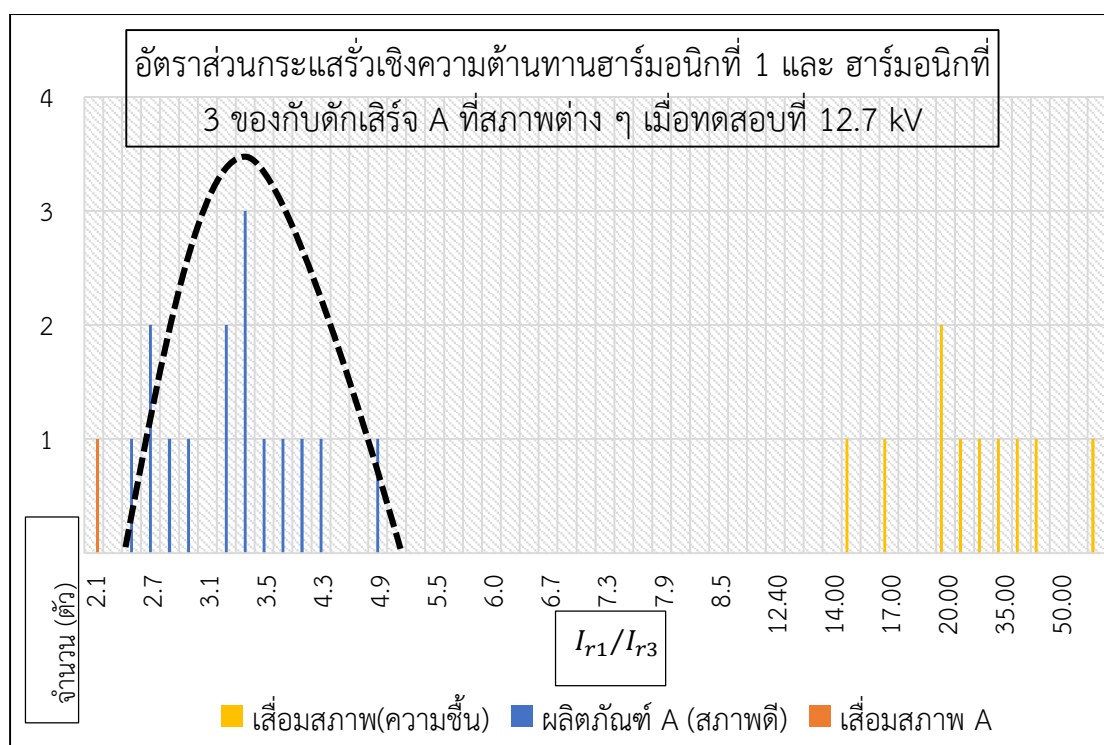
5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 1 และฮาร์โมนิกที่ 3

เนื่องจากกระแสรั่วเชิงความต้านทานที่วัดได้จะประกอบไปด้วยฮาร์โมนิก ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สาเหตุของการเกิดฮาร์โมนิกเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของสารกึ่งตัวนำ ที่ใช้ในการผลิตกัปดาห์เสร็จ ดังนั้นเมื่อกัปดาห์เสร็จเกิดการเชื่อมสภาพจะส่งผลถึงองค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสรั่วเชิงความต้านทานด้วย ขนาดของกระแสฮาร์โมนิกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกระแสรั่วเชิงความต้านทานจึงสามารถนำไปเป็นเกณฑ์วัดการเชื่อมสภาพของกัปดาห์เสร็จได้

จากการทดลองสามารถแสดงผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 1 และฮาร์โมนิกที่ 3 ของกัปดาห์เสร็จพิกัด 21 kV เมื่อทดสอบที่ 12.7 kV ได้ตามตารางที่ 5.5 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

รูปที่ 5.9 เป็นกราฟแสดงผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ A โดยจะพบว่ากัปเดตักเสิร์จที่มีสภาพดี จะมีอัตราส่วนต่ำ มีค่าตั้งแต่ 2.5 – 4.9 โดยค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 1 และฮาร์โมนิกที่ 3 ที่ได้เมื่อพิจารณาสาเหตุของการเสื่อมแล้วพบว่า

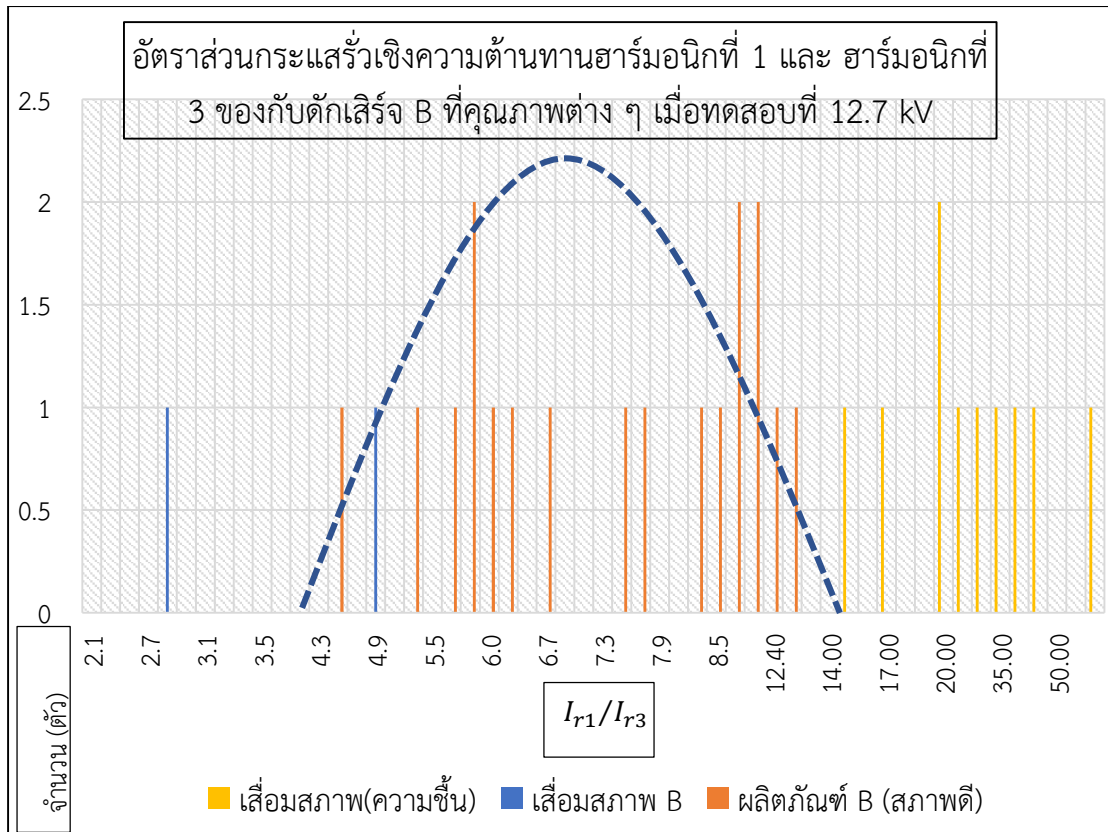
- กัปเดตักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ (เนื่องจากมีความชื้น) จะมีค่าอัตราส่วนมากกว่า 4.9
- กัปเดตักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ (MOV Blocks เสื่อมสภาพ) จะมีค่าอัตราส่วนน้อยกว่า 2.5



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 1 และฮาร์โมนิกที่ 3 ของกัปเดตักเสิร์จพิกัด 21 kV เมื่อทดสอบที่ 12.7 kV ผลิตภัณฑ์ A

รูปที่ 5.10 เป็นกราฟแสดงผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ B โดยจะพบว่ากัปเดตักเสิร์จที่มีสภาพดีจะมีอัตราส่วนต่ำ มีค่าตั้งแต่ 4.5 – 12.5 โดยค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 1 และฮาร์โมนิกที่ 3 ที่ได้เมื่อพิจารณาสาเหตุของการเสื่อมแล้วพบว่า

- กัปเดตักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ (เนื่องจากมีความชื้น) จะมีค่าอัตราส่วนมากกว่า 12.5
- กัปเดตักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ (MOV Blocks เสื่อมสภาพ) จะมีค่าอัตราส่วนน้อยกว่า 4.5

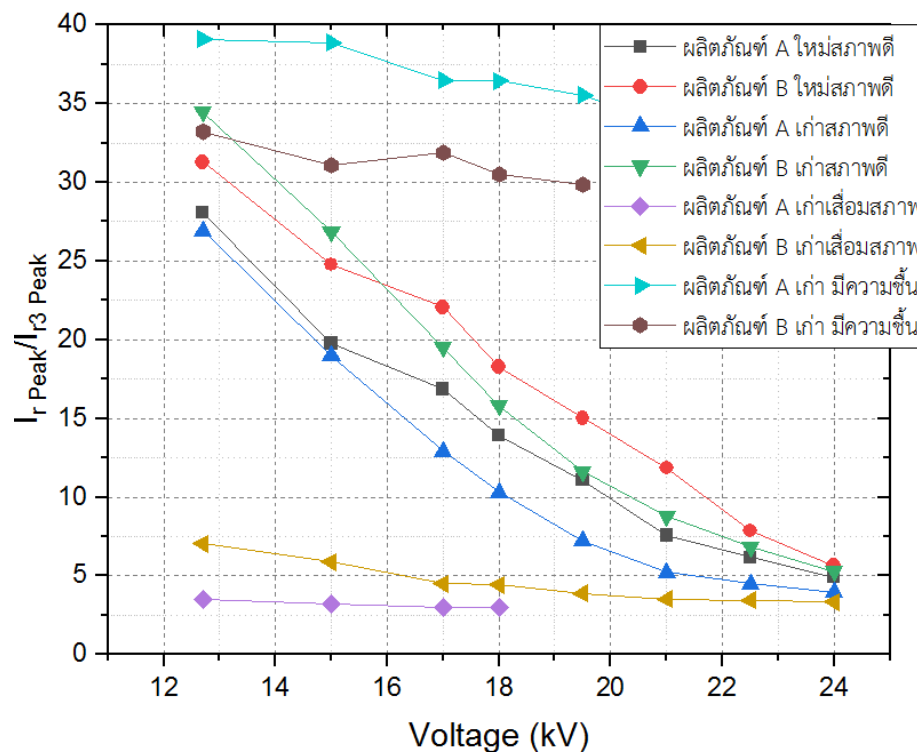


รูปที่ 5.10 กราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 1 และ ฮาร์โมนิกที่ 3 ของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV เมื่อทดสอบที่ 12.7 kV ผลิตภัณฑ์ B

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั่วเชิงความต้านทาน ฮาร์โมนิกที่ 1 และฮาร์โมนิกที่ 3 ของกั๊บตักเสิร์จพิกัด 21 kV เมื่อทดสอบที่ 12.7 kV

ผลิตภัณฑ์ A	I_{r1}/I_{r3}	ผลิตภัณฑ์ B	I_{r1}/I_{r3}
ตัวอย่าง 1	3.9	ตัวอย่าง 1	11.5
ตัวอย่าง 2	4.9	ตัวอย่าง 2	12.5
ตัวอย่าง 3	4.3	ตัวอย่าง 3	12.4
ตัวอย่าง 4	7.6	ตัวอย่าง 4	12.5
ตัวอย่าง 5	4.2	ตัวอย่าง 5	12.4
ตัวอย่าง 6	3.3	ตัวอย่าง 6	32.3
ตัวอย่าง 7	2.9	ตัวอย่าง 7	2.8
ตัวอย่าง 8	3.5	ตัวอย่าง 8	5.8
ตัวอย่าง 9	2.7	ตัวอย่าง 9	17.4
ตัวอย่าง 10	2.8	ตัวอย่าง 10	15.5
ตัวอย่าง 11	2.1	ตัวอย่าง 11	60.3
ตัวอย่าง 12	2.7	ตัวอย่าง 12	28.3
ตัวอย่าง 13	4.3	ตัวอย่าง 13	33.4
ตัวอย่าง 14	4.0	ตัวอย่าง 14	41.8
ตัวอย่าง 15	3.4	ตัวอย่าง 15	8.5
ตัวอย่าง 16	2.5	ตัวอย่าง 16	7.8
ตัวอย่าง 17	3.4	ตัวอย่าง 17	21.0
ตัวอย่าง 18	4.2	ตัวอย่าง 18	44.3
ตัวอย่าง 19	3.4	ตัวอย่าง 19	20.6
ตัวอย่าง 20	2.8	ตัวอย่าง 20	8.4
ตัวอย่าง 21	3.3	ตัวอย่าง 21	5.9
		ตัวอย่าง 22	6.7
		ตัวอย่าง 23	7.5
		ตัวอย่าง 24	6.3
		ตัวอย่าง 25	5.7
		ตัวอย่าง 26	5.3
		ตัวอย่าง 27	4.6
		ตัวอย่าง 28	5.9
		ตัวอย่าง 29	6.0

รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั้งเชิงความต้านทานที่ฮาร์มอนิก มูลฐานและฮาร์มอนิกที่ 3 ของกัปดักเสิร์จ เมื่อทดสอบด้วยขนาดแรงดันต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25°C จากผลการทดลองพบว่า กัปดักเสิร์จที่มีสภาพดี จะมีค่าอัตราส่วนเมื่อทดสอบที่แรงดันปกติ 12.7 – 17 kV ตั้งแต่ 15 – 30 แต่เมื่อพิจารณากัปดักเสิร์จที่ MOV Blocks เสื่อมสภาพจะมีค่าอัตราส่วนที่ต่ำกว่า 10 และมีความชันใกล้เคียงศูนย์ สำหรับกรณีกัปดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพสาเหตุจากมีความชื้นภายใน ค่าอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกระแสรั้งเชิงความต้านทานที่ฮาร์มอนิกมูลฐานและฮาร์มอนิกที่ 3 มีค่าสูงกว่า 30 และมีความชันใกล้เคียงศูนย์



รูปที่ 5.11 อัตราส่วนระหว่างกระแสรั้งเชิงความต้านทานที่ฮาร์มอนิกมูลฐานและฮาร์มอนิกที่ 3 ของกัปดักเสิร์จสภาพต่าง ๆ

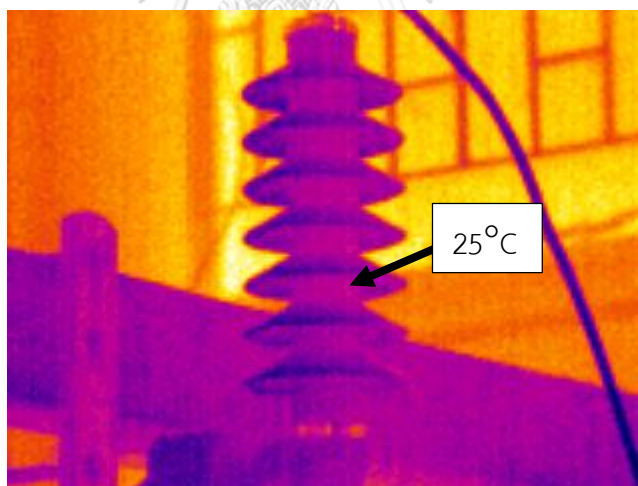
5.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิกับค่ากระแสรั้งของกัปดักเสิร์จ

5.2.1 ภาพถ่ายความร้อนของกัปดักเสิร์จด้วยกล้องส่องความร้อนอินฟราเรด

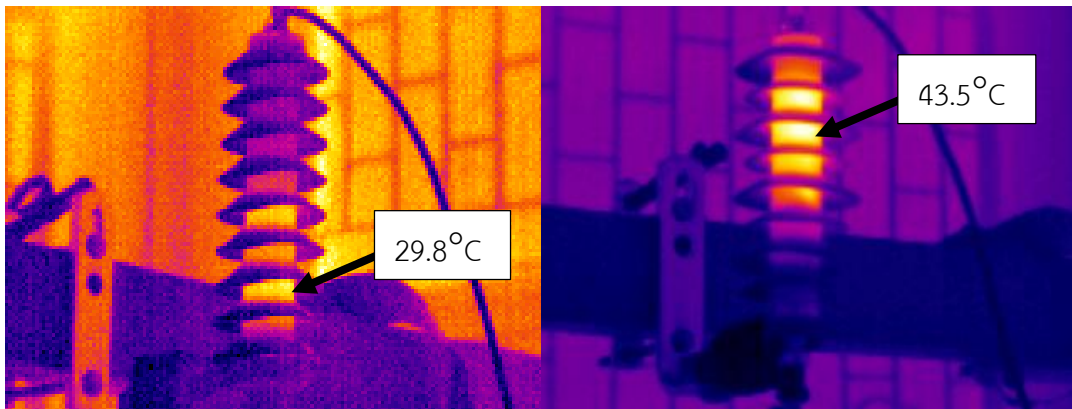
อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 2 ว่า ภาพถ่ายความร้อนของกัปดักเสิร์จขณะที่ติดตั้งใช้งานในระบบ จะสะท้อนถึงขนาดของกระแสรั้งและการเสื่อมสภาพของกัปดักเสิร์จได้ ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นของกัปดักเสิร์จเกิดจากกระแสรั้งที่ไหลผ่านอุปกรณ์ ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น ยิ่งมีขนาดกระแสรั้งมาก

อุณหภูมิของกักดับเพลิงก็ยิ่งสูงขึ้น ดังนั้นการตรวจวัดอุณหภูมิของกักดับเพลิงด้วยกล้องอินฟราเรด จึงเป็นอีกวิธีที่สามารถประเมินการเสื่อมสภาพของกักดับเพลิงได้

ตามรูปที่ 5.12 ถึง 5.14 แสดงภาพถ่ายความร้อนของกักดับเพลิงที่สภาพต่าง ๆ เมื่อจ่ายแรงดันทดสอบ 12.7 kV (แรงดันใช้งานในระบบ) โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 25°C (อุณหภูมิแวดล้อมวัดที่ตัวกักดับเพลิงที่วางอยู่ใกล้กันโดยไม่ได้ป้อนแรงดัน) พบว่ากักดับเพลิงที่มีสภาพดี ตามรูปที่ 5.12 อุณหภูมิของกักดับเพลิงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นั่นหมายถึงกระแสรั่วของกักดับเพลิงมีค่าต่ำมาก ซึ่งแตกต่างจากกักดับเพลิงที่เสื่อมสภาพ รูปที่ 5.13 แสดงภาพถ่ายความร้อนของกักดับเพลิงที่เสื่อมสภาพเนื่องจาก MOV Blocks ของอุปกรณ์เสื่อมสภาพ จากรูปเมื่อสังเกตพบว่าจุดความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นชั้นๆ จุดร้อนนั้นคือ MOV Blocks ที่เสื่อมสภาพนั่นเอง ซึ่งจะแสดงจุดร้อนเป็นบางส่วนให้เห็นได้ชัดเมื่อใช้กล้องส่องความร้อนอินฟราเรดตรวจวัด โดยจะแตกต่างจากกักดับเพลิงที่เสื่อมสภาพเนื่องจากมีความชื้นภายใน อย่างที่ได้กล่าวมาแล้วว่าอุปกรณ์กักดับเพลิงที่มีความชื้นภายในจะมีกระแสรั่วไหลผ่านช่องว่างระหว่าง MOV Blocks และเปลือกฉนวน และมีกระแสรั่วที่สูงมาก ซึ่งแสดงภาพถ่ายความร้อนได้ดังรูปที่ 5.14 จากภาพพบว่าจุดความร้อนของกักดับเพลิงจะมีลักษณะกระจายทั่วทั้งอุปกรณ์และมีอุณหภูมิที่สูงมาก



รูปที่ 5.12 แสดงภาพถ่ายความร้อนของกักดับเพลิงที่สภาพดี เมื่อจ่ายแรงดันที่ 12.7 kV



รูปที่ 5.13 แสดงภาพถ่ายความร้อนของกัณฑ์เสิร์จ ที่ MOV Blocks เสื่อมสภาพ เมื่อจ่ายแรงดันที่ 12.7 kV



รูปที่ 5.14 แสดงภาพถ่ายความร้อนของกัณฑ์เสิร์จ ที่เสื่อมสภาพเนื่องจากมีความชื้นภายใน เมื่อจ่ายแรงดันที่ 12.7 kV

5.2.2 ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานและอุณหภูมิของกัณฑ์เสิร์จ

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการทดสอบกัณฑ์เสิร์จที่มีสภาพต่าง ๆ ด้วยแรงดันทดสอบที่ 12 kV เป็นเวลามากกว่า 30 นาที และควบคุมอุณหภูมิแวดล้อมไว้ที่ 25°C หลังจากนั้นใช้กล้องส่องความร้อนอินฟราเรดตรวจวัดอุณหภูมิ พร้อมทั้งตรวจวัดค่ากระแสรั่วของกัณฑ์เสิร์จ

จากผลการทดลองแสดงได้ความสัมพันธ์ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r) และอุณหภูมิของกัณฑ์เสิร์จ ได้ดังตารางที่ 5.6

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากัณฑ์เสิร์จที่มีสภาพดี อุณหภูมิจะไม่เพิ่มขึ้น (เท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม) หรืออาจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไม่เกิน 1°C แต่สำหรับกัณฑ์เสิร์จที่เสื่อมสภาพเนื่องจาก MOV

Blocks เสื่อมสภาพ จะมีอุณหภูมิเพื่อขึ้นสูงมากกว่า 2°C จนถึงประมาณ 20°C ได้ในกรณีที่ MOV เสื่อมมากๆ (มีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานสูงมาก) สำหรับในส่วนของ กัปดักเสิร์จที่มีความชื้นเข้าสู่ ภายในจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 20°C เนื่องจากอุปกรณ์มีกระแสรั่วไหลผ่านสูงนั่นเอง

ทั้งนี้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะมากหรือน้อย เมื่อเทียบเคียงกับกระแสรั่วเชิงความต้านทานของกัปดัก เสิร์จ จะมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมขณะตรวจวัดด้วยเช่นกัน



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงอุณหภูมิและกระแสรั่วเชิงความต้านทาน ของกัปดักเสิร์จพิกัด 21 kV ที่สภาพต่าง ๆ เมื่อทดสอบด้วยแรงดัน 12.7 kV

ตารางที่ 5.6 ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน (I_r) และอุณหภูมิของกัปดักเสิร์จ ที่สภาพต่าง ๆ

ตัวอย่างที่	I_r (rms) (mA)	อุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้น (°C)	สถานะ	ตัวอย่างที่	I_r (rms) (mA)	อุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้น (°C)	สถานะ
1	0.022	0.1	คุณภาพดี	26	0.026	0.1	คุณภาพดี
2	0.021	0.1	คุณภาพดี	27	0.118	2.8	เสื่อมสภาพ
3	0.023	0.3	คุณภาพดี	28	1.596	18.9	เสื่อมสภาพ
4	0.021	0.1	คุณภาพดี	29	0.444	10.3	เสื่อมสภาพ
5	0.022	0	คุณภาพดี	30	0.346	9.1	เสื่อมสภาพ
6	0.017	0	คุณภาพดี	31	0.170	2.9	เสื่อมสภาพ
7	0.017	0.1	คุณภาพดี	32	2.361	18.3	เสื่อมสภาพ
8	0.016	0.4	คุณภาพดี	33	0.729	27.9	เสื่อมสภาพ
9	0.016	0.3	คุณภาพดี	34	0.150	3.1	เสื่อมสภาพ
10	0.016	0	คุณภาพดี	35	0.176	3.6	เสื่อมสภาพ
11	0.231	5.4	เสื่อมสภาพ	36	0.023	0.2	คุณภาพดี
12	0.015	0.1	คุณภาพดี	37	0.026	0.5	คุณภาพดี
13	0.019	0.1	คุณภาพดี	38	0.141	3.4	เสื่อมสภาพ
14	0.019	0	คุณภาพดี	39	2.691	9.8	เสื่อมสภาพ
15	0.016	0.3	คุณภาพดี	40	0.476	9.1	เสื่อมสภาพ
16	0.017	0	คุณภาพดี	41	0.023	0	คุณภาพดี
17	0.017	0.1	คุณภาพดี	42	0.022	0.1	คุณภาพดี
18	0.016	0.2	คุณภาพดี	43	0.022	0.2	คุณภาพดี
19	0.017	0.2	คุณภาพดี	44	0.026	0	คุณภาพดี
20	0.016	0.3	คุณภาพดี	45	0.025	0.2	คุณภาพดี
21	0.017	0	คุณภาพดี	46	0.020	0.3	คุณภาพดี
22	0.025	0.1	คุณภาพดี	47	0.022	0.2	คุณภาพดี
23	0.026	0	คุณภาพดี	48	0.022	0	คุณภาพดี
24	0.027	0.2	คุณภาพดี	49	0.024	0	คุณภาพดี
25	0.025	0	คุณภาพดี	50	0.022	0	คุณภาพดี

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการตรวจวัดกระแสรั่วของกั๊บดักเสิร์จพิกัด 21 kV ที่มีสภาพดีและเสื่อมสภาพ พบว่า

- 1) ค่ากระแสรั่วของกั๊บดักเสิร์จพิกัด 21 kV ของ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้มีค่าไม่เท่ากัน แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก
- 2) ขนาดและรูปคลื่นของกระแสรั่วสามารถบ่งบอกสภาพของกั๊บดักเสิร์จได้ โดยสามารถสร้างเป็นเกณฑ์วัดที่ง่ายและสะดวก เหมาะแก่การใช้เพื่อประเมินสภาพของกั๊บดักเสิร์จ
- 3) อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดของกระแสรั่วเชิงความต้านทานต่อค่ากระแสรั่วเชิงความจุไฟฟ้า จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อกั๊บดักเสิร์จเสื่อมสภาพ
- 4) อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ฮาร์โมนิกมูลฐานและฮาร์โมนิกที่ 3 สามารถบ่งบอกการเสื่อมสภาพและสามารถแยกประเภทความเสื่อมของกั๊บดักเสิร์จได้ โดยกั๊บดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพเนื่องจากก้อนออกไซด์โลหะเสื่อมจะมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานฮาร์โมนิกที่ 3 สูง ในขณะที่กั๊บดักเสิร์จที่ความชื้นเข้าจะมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานที่ฮาร์โมนิกมูลฐานสูง
- 5) อุณหภูมิของกั๊บดักเสิร์จแปรตามปริมาณกระแสรั่วเชิงความต้านทาน สามารถนำค่าอุณหภูมิของกั๊บดักเสิร์จมาใช้ประเมินการเสื่อมสภาพของกั๊บดักเสิร์จได้ การวัดสามารถทำได้สะดวกกว่าการหาค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทาน แต่ต้องมีการวัดอุณหภูมิแวดล้อมเปรียบเทียบ

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) กั๊บดักเสิร์จผลิตภัณฑ์อื่น อาจมีค่ากระแสรั่วเชิงความต้าน อุณหภูมิ และพฤติกรรมการเสื่อมสภาพที่เหมือนกันหรือแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น
- 2) ค่ากระแสรั่วเชิงความต้านทานและอุณหภูมิของกั๊บดักเสิร์จแปรผันตามอุณหภูมิ ควรระมัดระวังในการนำเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้งาน และควรต้องมีการศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

1. Xu, Z.-n., et al., *A current orthogonality method to extract resistive leakage current of MOSA*. IEEE transactions on power delivery, 2012. 28(1): p. 93-101.
2. Woodworth, J., *Arrester condition monitors: A state of the art review*. ArresterFacts-036, 2012.
3. de Salles, C., M.L. Martinez, and Á.A.A. de Queiroz. *Ageing of metal oxide varistors due to surges*. in *2011 International Symposium on Lightning Protection*. 2011. IEEE.
4. Si-yuan, H., et al. *Study of metal oxide arresters health state evaluation based on fuzzy grey theory*. in *2012 Power Engineering and Automation Conference*. 2012. IEEE.
5. สัจจ์สะอาด, ด.ส., *วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง*. Vol. 3 ed. 2549.
6. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, *คู่มือควบคุมคุณภาพการผลิตกับดักเสิร์จระบบจำหน่ายแรงสูง*. 2560.
7. Haddad, A., et al., *Advances in high voltage engineering*. Vol. 40. 2004: IET.
8. Woodworth, J., *Arrester Facts 003: Understanding Arrester Voltage-Current Characteristic Curves*. Arrester Works, Rev, 2017.
9. Commission, I.E., *IEC 60099-4 Standard*. Surge arresters part, 2001.
10. Akbar, M. and M. Ahmad, *Failure study of metal-oxide surge arresters*. Electric power systems research, 1999. 50(2): p. 79-82.
11. Lundquist, J., et al., *New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arresters in service*. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990. 5(4): p. 1811-1822.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายจิระวัฒน์ นาคเวช
วัน เดือน ปี เกิด	20 กันยายน 2530
สถานที่เกิด	สุราษฎร์ธานี
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY