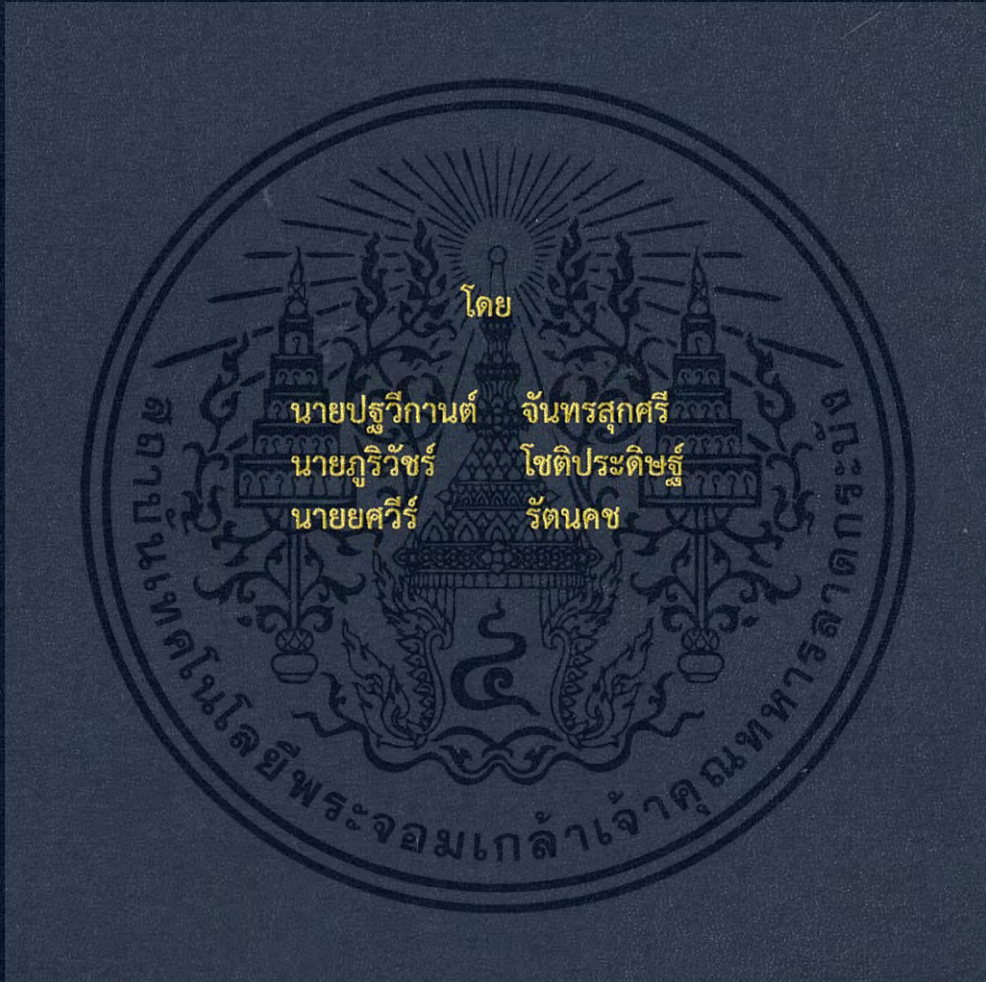
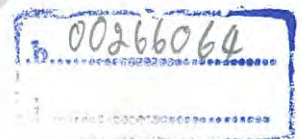


ระบบตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
PARTIAL DISCHARGE DETECTION SYSTEM ACCORDING TO IEC 60270



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ระบบตรวจจัดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
PARTIAL DISCHARGE DETECTION SYSTEM ACCORDING TO IEC 60270



71300239

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARTIAL DISCHARGE DETECTION SYSTEM ACCORDING TO IEC 60270



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

ระบบตรวจจัดการดิซชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
PARTIAL DISCHARGE DETECTION SYSTEM ACCORDING TO IEC 60270



อาจารย์ที่ปรึกษา

ศศ.ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท

รศ.ดร. อานันท์วัฒน์ คุณากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจจัดการดิสซาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270

ผู้จัดทำ

1. นายปฐมวิภาณต์ จันทรสุกศรี
2. นายภูริวัชร โชติประดิษฐ์
3. นายยศวีร์ รัตนคช



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรฤติ ยุทธโกวิท)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270

นายปฏิวิกันต์	จันทร์สุกศรี	
นายภูริวัชร	โชติประดิษฐ์	
นายยศวีร์	รัตนคช	
ผศ.ดร.พีรวุฒิ	ยุทธโกวิท	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.อานันท์วัฒน์	คุณากร	อาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม
ปีการศึกษา 2560		

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเกิด การดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ซึ่งได้มีการพัฒนาชุดอุปกรณ์ดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพดี ยิ่งขึ้น โดยเนื้อหาของปฏิญานิพนธ์นี้ได้แบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่หนึ่ง การ ออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) โดยมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 1 nF ซึ่ง ประกอบด้วยการออกแบบภายใน (Internal part) และ การออกแบบภายนอก (External part) และส่วนที่สอง การออกแบบอุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device) โดยนำชุดอุปกรณ์ที่ทำการ พัฒนาไปวิเคราะห์ผลการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน แล้วจึงนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับผลของชุดอุปกรณ์ตรวจจับอ้างอิง โดยทำการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ซึ่งคาดว่าชุดอุปกรณ์ตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนั้น จะมี ประสิทธิภาพเทียบเท่ากับชุดตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนที่ใช้ประจำ ณ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สจล. และตรงตามมาตรฐาน IEC 60270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARTIAL DISCHARGE DETECTION SYSTEM ACCORDING TO IEC 60270

Pataveekarn Jantarasuksri

Pooriwat Choadpradit

Yossawee Ratanakot

Asst.Prof.Dr.Peerawut Yutthagowit Advisor

Assoc. Prof. Dr. Anantawat Kunakorn Co- Advisor

2017

ABSTRACT

This senior project presents design and construction of a partial discharge detection system according to IEC standard. The scope of this project is divided into two sections. The first part is to introduce the design of a high-voltage coupling capacitor as of 1-nF capacitance. Secondly, it is to demonstrate the design of a coupling device. The developed equipment set has been tested to detect partial discharge in the high voltage laboratory, and also compared with the result from a commercial detector. Good agreements were observed in all experiments. From the experimental results, the validity of the developed equipment has been confirmed and accords to IEC 60270 standard.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.พีรภูมิ ยุทธโกวิท และ รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร ที่คอยให้ข้อคิดสำหรับการทำงาน รวมถึงช่วยเหลือในอีกหลายๆ ด้าน และได้กรุณาช่วยตรวจสอบแก้ไขปริญญาโทฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสนับสนุนทางด้านค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ในการทำโครงการอีกด้วย ผู้จัดทำทุกคนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณบุญยวีร์ ฉายศิริ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการทดสอบ การใช้ อุปกรณ์ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทดสอบมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกคน โดยเฉพาะนายณัฐพล มฤคทัต ที่ช่วยดูแลและแก้ปัญหาการทดสอบต่างๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกคน ที่ช่วยกันดูแลห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงิน และเป็นกำลังใจในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการออกแบบ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การดิสชาร์จบางส่วน	5
2.1.1 ประเภทของการดิสชาร์จบางส่วน	6
2.2 วงจรสมมูลของการดิสชาร์จบางส่วน	8
2.2.1 ธรรมชาติของการเกิดดิสชาร์จ	10
2.3 ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor)	11
2.4 อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device)	12
2.5 การสอบเทียบวงจรการดิสชาร์จบางส่วน	12
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	15
3.1 การออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง	15
3.1.1 โปรแกรมสำหรับการออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง	15
3.2 การออกแบบและประกอบสร้างอุปกรณ์รับสัญญาณ	22
3.3 การประกอบสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิง	24
3.3.1 การออกแบบและประกอบสร้างภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง	24
3.3.2 การออกแบบและประกอบสร้างภายในตัวเก็บประจุคัปปลิงภายใน	25
3.4 การออกแบบระบบวัดการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	26
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	28
4.1 การทดสอบเปรียบเทียบค่าประจุไฟฟ้า	28
4.2 การทดสอบสัญญาณรบกวนและการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุคัปปลิง	30
4.3 การทดสอบเปรียบเทียบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณใช้เป็นตัวอ้างอิงกับอุปกรณ์รับสัญญาณ ที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 การดิสซาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า	32
4.3.2 การดิสซาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน	38
4.3.3 การดิสซาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ	46
5.1 สรุปผลการทดสอบ	46
5.2 อุปสรรคและวิธีการแก้ไข	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก	50
ภาคผนวก ข	63
ประวัติผู้เขียน	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน	6
2.2 การเกิดการดิสชาร์จภายใน	7
2.3 การเกิดโคโรนาดิสชาร์จ	7
2.4 การเกิดการดิสชาร์จตามผิว	8
2.5 วงจรสมมูลของวัสดุที่มีโพรงแก๊สและเกิดการดิสชาร์จบางส่วนภายใน	9
2.6 แรงดันตกคร่อมโพรงแก๊สและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD	11
2.7 องค์ประกอบสำคัญของวงจรการวัดการดิสชาร์จบางส่วน	12
2.8 วงจรสร้างพัลส์การดิสชาร์จบางส่วน	14
2.9 วงจรเทียบเท่าของการดิสชาร์จบางส่วน	14
3.1 แบบจำลองฐานของตัวเก็บประจุคัปปลิง	16
3.2 แบบจำลองกราวด์อิเล็กทรอนิกส์	16
3.3 แบบจำลองไฮโวลต์อิเล็กทรอนิกส์	17
3.4 แบบจำลองโพลีไวนิลคลอไรด์	17
3.5 แบบจำลองส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง	18
3.6 แบบจำลองตัวเก็บประจุ	18
3.7 แบบจำลองท่อทองแดง	19
3.8 แบบจำลองแท่งอะลูมิเนียม	19
3.9 แบบจำลองส่วนประกอบภายนอกคัปปลิง	20
3.10 แบบจำลองส่วนประกอบภายในคัปปลิง	20
3.11 ความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณขอบมนของอิเล็กทรอนิกส์	21
3.12 ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณขอบมนของอิเล็กทรอนิกส์	22
3.13 วงจรจำลองการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ	22
3.14 ผลตอบสนองทางความถี่	23
3.15 อุปกรณ์รับสัญญาณ	24
3.16 ส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิงที่ประกอบสร้าง	25
3.17 ส่วนประกอบภายในตัวเก็บประจุคัปปลิงที่ประกอบสร้าง	25
3.18 วงจรการวัดแรงดันและการดิสชาร์จบางส่วน	26
3.19 วงจรการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน	27
4.1 เครื่องปรับเทียบประจุไฟฟ้า (Pulse calibrator)	28
4.2 หม้อแปลงไฟฟ้าต่อกับตัวเก็บประจุคัปปลิง	29
4.3 การปรับเทียบค่าประจุไฟฟ้า 10 pC	29
4.4 ค่าสัญญาณรบกวน ที่ 20 kV ในหน่วยความจุไฟฟ้า	30
4.5 อุปกรณ์รับสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	31
4.6 อุปกรณ์รับสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	32
4.7 อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนา	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	33
4.9 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	34
4.10 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	35
4.11 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	35
4.12 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	36
4.13 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	37
4.14 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	37
4.15 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	38
4.16 อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จตามผิวฉนวน	39
4.17 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	39
4.18 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	40
4.19 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	41
4.20 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	41
4.21 อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการการดิสชาร์จภายในเนื้อฉนวน	42
4.22 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	43
4.23 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง	43
4.24 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	44
4.25 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 วิธีการดำเนินงาน	3
3.1 การตั้งค่า subdomain	21
3.2 ปริมาณทางไฟฟ้าของอุปกรณ์รับสัญญาณ	23



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตรวจสอบและวินิจฉัยคุณภาพของฉนวนไฟฟ้านั้นถือเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแรงสูง โดยการตรวจติดตามอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะทำให้พบความบกพร่องในอุปกรณ์ก่อนที่จะได้รับความเสียหายและจะทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยการตรวจสอบสภาพของฉนวนนั้นจะใช้วิธีการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสูงวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสภาพของฉนวน ทั้งในแง่ของความเสื่อมของฉนวนหรือการเกิดเบรกดาวน์ในเนื้อฉนวนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจสอบโดยวิธีอื่น เช่น วิธีการทางเคมีหรือวิธีตรวจจับความร้อน ซึ่งในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละครั้งจะปลดปล่อยพลังงานออกมาและทำให้เกิดปรากฏการณ์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของพลังงานต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสง และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ป็นเนื้อเดียวกันหรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตเป็นเหตุให้เกิดความผิดปกติของฉนวนมากขึ้นและอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะลดลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแรงสูง
3. เพื่อออกแบบประกอบสร้างชุดอุปกรณ์การตรวจจับและรูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในระบบไฟฟ้าแรงสูง
4. เพื่อส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาแบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
2. ออกแบบและประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน
3. ทดสอบชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนที่พัฒนาขึ้น
4. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ชุดอุปกรณ์การวัดการดิสชาร์จบางส่วนระหว่างชุดอุปกรณ์ที่ทำการพัฒนาขึ้น กับชุดอุปกรณ์ที่มีอยู่ภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการดิสซาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
2. ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การวัดการเกิดการดิสซาร์จบางส่วน
3. ทดสอบระบบการวัดการดิสซาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบกับชุดอุปกรณ์การวัดที่มีอยู่แล้ว
5. ทำปฏิญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2560									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
ศึกษาระบบ ตรวจจับการเกิด การติสซาร์จ บางส่วนตาม มาตรฐาน IEC 60270										
ศึกษามาตรฐานที่ เกี่ยวข้องกับการ ทดสอบ										
ออกแบบชุด อุปกรณ์การ ตรวจจับการเกิด การติสซาร์จ บางส่วน										
ประกอบสร้างชุด อุปกรณ์ตรวจจับ การเกิดการ ติสซาร์จบางส่วน										
ทดสอบชุดอุปกรณ์ ตรวจจับการเกิด การติสซาร์จ บางส่วน										
ทำการวิเคราะห์ ปรับปรุง ชุดอุปกรณ์ ตรวจจับการเกิด การติสซาร์จ บางส่วน										
สรุปและจัดทำ รูปเล่มปริญา นิพนธ์ฉบับสมบูรณ์										

ทำจริง \longleftrightarrow

วางแผน \dashrightarrow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถเข้าใจถึงสาเหตุการเกิดการดิสซาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง
2. สามารถออกแบบและประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจจัดการเกิดการดิสซาร์จบางส่วน
3. สามารถนำชุดอุปกรณ์การวัดการดิสซาร์จบางส่วนมาใช้ภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สจล.



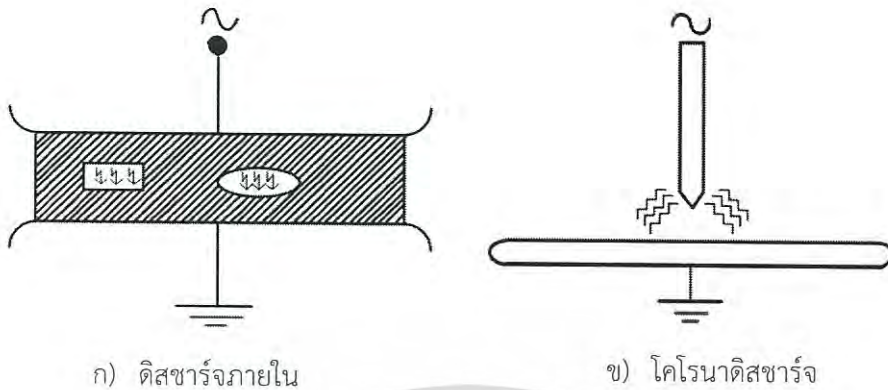
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดิสชาร์จบางส่วน [1][2]

ความหมายของการดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ตามคำที่นิยามของมาตรฐาน IEC 60270 กล่าวว่า การดิสชาร์จบางส่วน เป็นการดิสชาร์จทางไฟฟ้าเฉพาะส่วนซึ่งเชื่อมต่อบางส่วนของฉนวนที่อยู่ระหว่างตัวนำไฟฟ้าแต่ไม่สามารถเชื่อมโยงระหว่างตัวนำไฟฟ้าให้ถึงกันได้นั้นคือ การดิสชาร์จบางส่วนเป็นการดิสชาร์จเบรกดาวน์แบบไม่สมบูรณ์ เกิดขึ้นกับฉนวนที่คั่นอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดซึ่งอาจจะเป็นฉนวนแข็ง ฉนวนเหลวหรือฉนวนแก๊สก็ได้ เมื่อการดิสชาร์จบางส่วนเกิดในโพรง หรือช่องว่างที่อยู่ในฉนวนแข็ง หรือเกิดในฟองแก๊สที่อยู่ในฉนวนเหลว หรือเกิดที่อากาศบริเวณรอบอิเล็กโทรด พลังงานที่ทำให้เกิดการดิสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโทรด การดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือไม่ป็นเนื้อเดียวกัน หรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตทำให้เกิดเบรกดาวน์เพียงบางส่วนเท่านั้น แต่ไม่อาจทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้แม้ว่าขนาดการดิสชาร์จบางส่วนโดยส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก แต่การดิสชาร์จบางส่วนก็สามารถก่อให้เกิดการทำลายเนื้อฉนวนและอาจนำไปสู่ความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง และผลจากการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนจะให้ข้อมูลสถานะของเนื้อฉนวน หรือข้อมูลเกี่ยวกับขนาดและลักษณะของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน

[3] เมื่อเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวนเป็นเหตุให้เกิดความร้อนที่ฉนวนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุด เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ฉนวนเสียเป็นจุดและเกิดผิพองขยายตัวมากขึ้น และสามารถนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหายและอายุการใช้งานฉนวนจะสั้นลง การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนก่อให้เกิดปัญหาต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้เช่น การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบชิงอากาศ จะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียตลอดเวลาและทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ หรือการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงก็จะทำให้เกิดแก๊สต่างๆ เกิดความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้น้ำมันหม้อแปลงเกิดการเสื่อมสภาพได้ ซึ่งในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนสามารถจำแนกประเภทตามลักษณะการเกิดได้ 3 ประเภท แสดงดังรูปที่ 2.1



ก) ดิสชาร์จภายใน

ข) โคโรนาดิสชาร์จ



ค) ดิสชาร์จตามผิว

รูปที่ 2.1 ลักษณะของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน

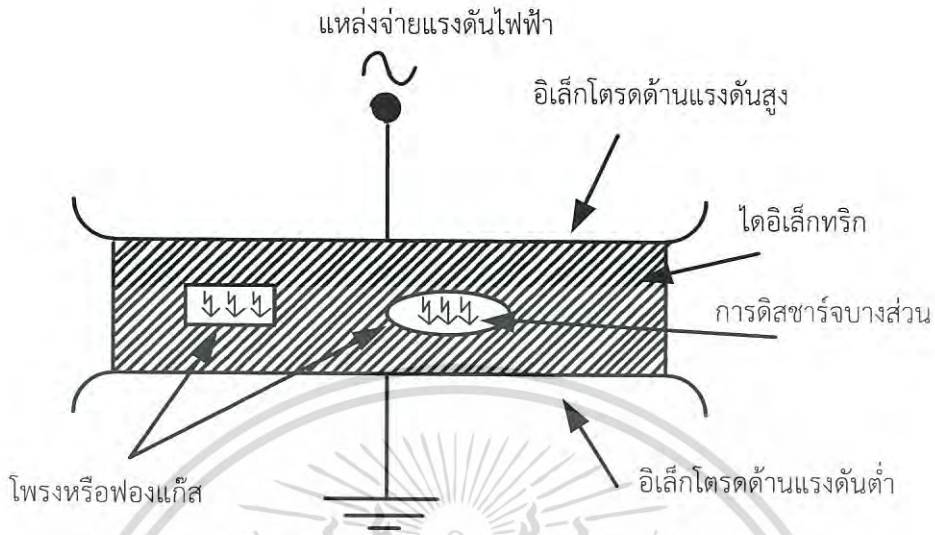
2.1.1 ประเภทของการดิสชาร์จบางส่วน [4]

การดิสชาร์จบางส่วนแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1. การดิสชาร์จภายใน (Internal discharge) เกิดขึ้นในเนื้อฉนวนที่มีสิ่งเจือปน ซึ่งสิ่งเจือปนนั้นมีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกต่ำและมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้บริเวณนี้เกิดเบรกดาวน์ก่อน การดิสชาร์จภายในเกิดขึ้นเนื่องมาจากมีโพรงอากาศ หรือสิ่งแปลกปลอมที่มีค่าสภาพยอมต่ำกว่าเนื้อฉนวนหลักเจือปนอยู่ในเนื้อฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลว (น้ำมันหม้อแปลง) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ส่งผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงอากาศ หรือสิ่งเจือปนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าฉนวนรอบๆ การดิสชาร์จภายในสามารถเกิดในฉนวนพลาสติก กระดาษฉนวน น้ำมันฉนวนเรซิน เป็นต้น

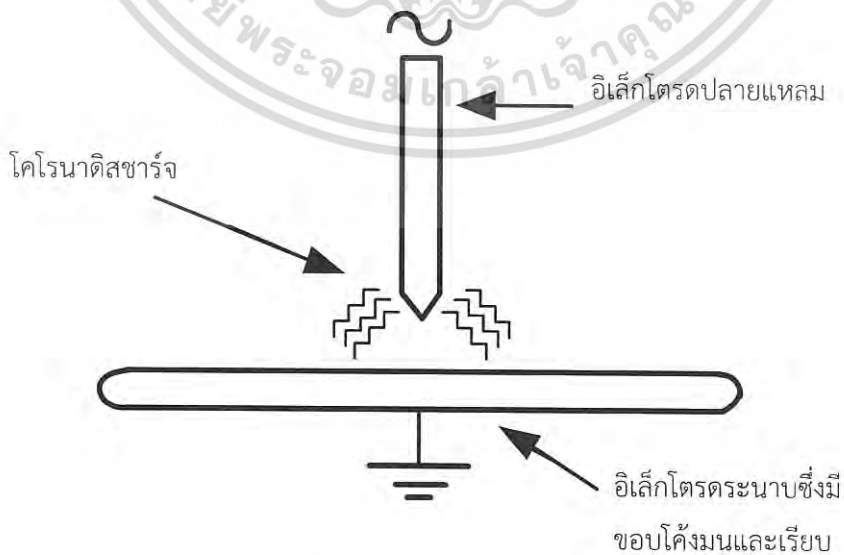
ขนาดของแรงดันที่การดิสชาร์จเริ่มเกิดได้ ขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงอากาศ และความคงทนต่อการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศ โดยที่ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้า ซึ่งความเข้มของสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กัขนาดของแรงดันสูง รูปร่างของโพรงอากาศ นอกจากนี้ความคงทนต่อการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศขึ้นอยู่กัชนิดของแก๊ส และความดันแก๊สในโพรงอากาศ การดิสชาร์จภายในยังสามารถทำความเสียหายแก่ฉนวนได้โดยขึ้นอยู่กัชนิดของวัสดุและขนาดของการดิสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การเกิดการดีสชาร์จภายใน

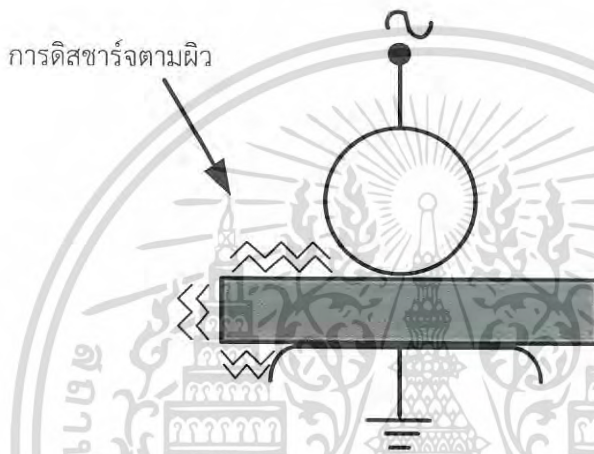
2. โคโรนาดีสชาร์จ (Corona discharge) เกิดขึ้นได้ในแก๊สและฉนวนเหลว บริเวณอิเล็กโตรดปลายแหลมหรือลักษณะขอบคม ซึ่งมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง โคโรนาดีสชาร์จสามารถจำลองได้โดยใช้อิเล็กโตรดปลายแหลมกับอิเล็กโตรดระนาบ โดยในการจำลองถ้าให้อิเล็กโตรดปลายแหลมเป็นด้านแรงสูงและให้อิเล็กโตรดระนาบเป็นด้านต่อลงดิน การดีสชาร์จก็จะเกิดขึ้นด้านครึ่งลบของรูปคลื่นแรงดันและถ้าเพิ่มแรงดันขึ้นอีกก็จะเกิดทั้งครึ่งลบและครึ่งบวกของรูปคลื่นแรงดัน ถ้าอิเล็กโตรดปลายแหลมเป็นด้านต่อลงดินและให้อิเล็กโตรดระนาบเป็นด้านแรงสูง การดีสชาร์จก็จะเกิดขึ้นที่ครึ่งบวกของรูปคลื่นแรงดันก่อน



รูปที่ 2.3 การเกิดโคโรนาดีสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การดิสชาร์จตามผิว (Surface discharge) มักจะเกิดขึ้นถ้าผิวฉนวนบริเวณนั้นมีความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวนานหรือแนวเดียวกันกับผิวฉนวน การดิสชาร์จตามผิวสามารถเกิดขึ้นได้กับปลอกฉนวนนำสาย ปลายสายเคเบิล เป็นต้น การดิสชาร์จจะส่งผลกระทบต่อสนามไฟฟ้าเป็นผลให้แผ่ขยายออกจากบริเวณพื้นผิว (บริเวณแรกที่เกิดการดิสชาร์จเริ่มเกิด) ที่ซึ่งองค์ประกอบพื้นผิวแรกเริ่มของสนามไฟฟ้ามีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดการดิสชาร์จ การดิสชาร์จตามผิวเกิดได้ทั้งในอากาศ หรือในน้ำมันฉนวนและในแก๊ส SF₆ และอาจเกิดตามแนวรอยต่อของฉนวนต่างชนิดกัน (ของแข็งกับแก๊ส หรือของแข็งกับของเหลว) เมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวรอยต่อของฉนวนสูงเกินค่าวิกฤต



รูปที่ 2.4 การเกิดการดิสชาร์จตามผิว

ในรูปที่ 2.4 การดิสชาร์จตามผิวจะเกิดขึ้นบริเวณที่อเล็กโตรดทรงกลมสัมผัสกับแผ่นฉนวน เพราะบริเวณดังกล่าวมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น เมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นตาม การดิสชาร์จจะขยายตัวออกไปยังขอบของแผ่นฉนวน ถ้าแผ่นฉนวนมีความหนาพอ และแผ่นไม่กว้างเกินไปก็จะเกิดวาบไฟข้ามแผ่นฉนวนไปหาอเล็กโตรดระนาบได้ หรือถ้าแผ่นฉนวนมีความหนาน้อยและแผ่นกว้างมาก การดิสชาร์จตามผิวก็จะเกิดเป็นบริเวณกว้างในระดับหนึ่ง แล้วก็จะเกิดเบรกดาวนจ์เจาะทะลุแผ่นฉนวนได้

2.2 วงจรสมมูลของการดิสชาร์จบางส่วน

เพื่อให้สามารถตรวจนับหรือวัดปริมาณของการดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดในเนื้อฉนวนจึงได้มีการพัฒนาวงจรสมมูลของฉนวนที่มีการดิสชาร์จบางส่วนขึ้น โดยใช้เป็นวงจรสมมูลสำหรับฉนวนที่มีโพรงแก๊ส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเกิดและหาปริมาณการดิสชาร์จบางส่วน รูปที่ 2.5 แสดงวัสดุฉนวนมีโพรงแก๊สภายในเนื้อฉนวนและฉนวนวางอยู่ระหว่างอเล็กโตรด A-B โพรงแก๊สจะเขียนแทนด้วยความจุไฟฟ้า C_a เนื้อฉนวนส่วนที่ต่ออนุกรมกับโพรงแก๊ส C_c เขียนแทนด้วยความจุไฟฟ้า C_b และ C'_b (เนื้อฉนวนส่วนที่ต่ออนุกรมกับโพรงแก๊สนี้จะรวมกันเป็น C_b) เนื้อฉนวนส่วนที่สมบรูณ์ดีอยู่โดยรอบของโพรงแก๊สจะให้มีความจุไฟฟ้า C'_a และ C'_c (เนื้อฉนวนส่วนที่สมบรูณ์ดีอยู่โดยรอบของโพรงแก๊ส ซึ่งรวมกันได้เป็น C'_a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส $I_c(t)$ ที่ไหลอยู่ภายในไม่สามารถวัดได้ แต่การดิสชาร์จของ C_c ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุของ C_b และ C_a ในวงจรสมมูล เป็นผลให้เกิดแรงดันตกที่ขั้ว A-B เท่ากับ δU , ซึ่งหาได้จาก

$$\delta U_i = \frac{C_b \delta U_c}{C_c (C_b + C_a)} \quad (2.5)$$

ค่าแรงดันตกไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ δq_c เลย แต่เป็นสัดส่วนกับ $C_a \delta U_c$ ค่า δU , ที่วัดได้เป็นพัลส์รูปขั้นและขึ้นอยู่กับ $I_c(t)$ เมื่อแทนค่า

$$\delta U_c = \frac{\delta q_c}{C_c} \quad (2.6)$$

จะได้ว่า

$$\delta U_i = \frac{C_b \delta U_c}{C_c (C_b + C_a)} \quad (2.7)$$

ค่าของ δU_i มีค่าเป็น mV ถึง V ในขณะที่ δU_c มีค่าเป็น kV แต่โดยที่ไม่ทราบค่า C_c และ C_b จึงไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของ δU_i กับ δU_c และ δq_c ได้ อย่างไรก็ตามการเกิดการดิสชาร์จในโพรงแก๊สจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงถ่ายเทประจุหรือกระแสในวงจรภายนอกที่สามารถตรวจวัดได้ สำหรับการดิสชาร์จบางชนิดอื่นๆ ก็สามารถเขียนวงจรสมมูลได้

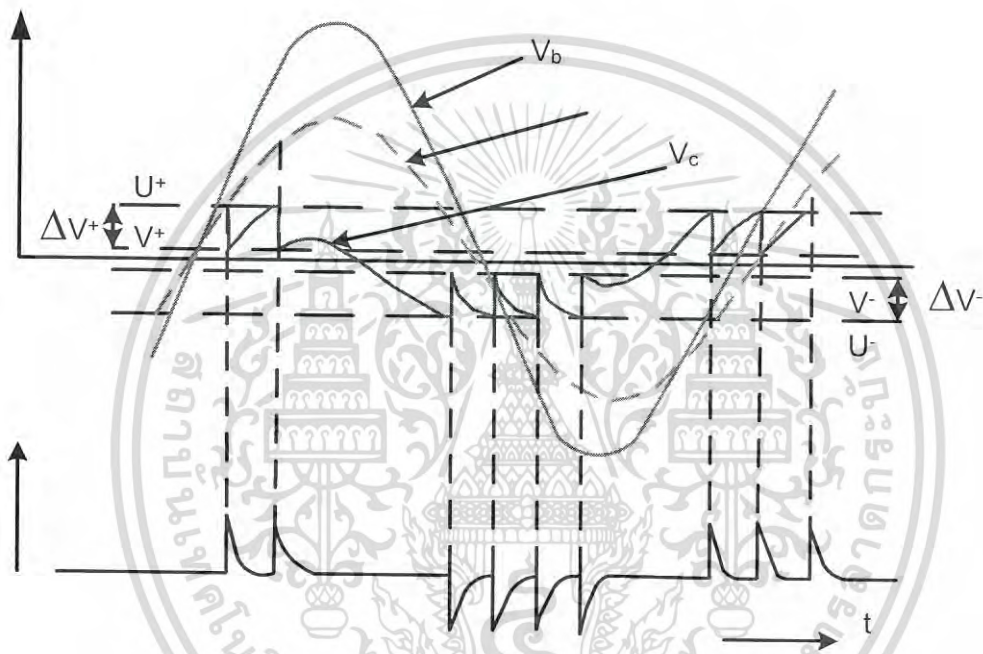
2.2.1 ธรรมชาติของการเกิดการดิสชาร์จ

ลักษณะการเกิดการดิสชาร์จซ้ำในทางปฏิบัติ การดิสชาร์จบางส่วนอาจเกิดซ้ำๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยที่ V_a คือแรงดันคร่อมขั้วสายของอุปกรณ์ V_c คือแรงดันคร่อมโพรงแก๊สถ้าไม่มีการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน ส่วน V_c' คือแรงดันคร่อมโพรงแก๊สซึ่งมีการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน และ I คือกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ ตามลำดับ U คือแรงดันเบรกดาว์นของโพรงแก๊ส V คือแรงดันหลังเบรกดาว์นของโพรงแก๊ส

ในรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเกิดการดิสชาร์จซ้ำอธิบายได้ว่า แรงดันคร่อมขั้วสายของอุปกรณ์หรือวัสดุทดสอบ V_a แรงดันคร่อมโพรงแก๊สถ้าไม่มีการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน V_c ถ้าแรงดัน V_c ในช่วงครึ่งบวมมีการเพิ่มขึ้นจนถึงแรงดันเบรกดาว์น การดิสชาร์จก็จะเกิดในโพรงแก๊ส (หรือฉนวนส่วนที่บกพร่อง) ต่อจากนั้นแรงดันดังกล่าวนี้จะลดลงเป็น V^+ ทำให้ไม่เกิดการดิสชาร์จช่วงเวลาในการลดลงของแรงดัน U^+ มาเป็น V^+ มีค่าน้อยกว่า 100 ns หลังจากที่ไม่เกิดการดิสชาร์จในโพรงแก๊สแล้ว แรงดันที่คร่อมโพรงแก๊สก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งและเพิ่มจนกระทั่งถึงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรกดาว์น U^+ ก็จะทำให้การดิสชาร์จในโพรงแก๊สก็เกิดอีกครั้ง เหตุการณ์การเกิดการดิสชาร์จเช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งจนกว่าแรงดัน V_c ที่เพิ่มขึ้นไม่มากพอที่จะเกิดการดิสชาร์จ สำหรับลักษณะการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนเมื่อแรงดัน V_a ในช่วงครึ่งลบนั่นคือถ้าแรงดัน V_c เพิ่มถึงแรงดันเบรกดาว์น U^- ก็จะทำให้การดิสชาร์จในโพรงแก๊ส ต่อจากนั้นแรงดันดังกล่าวนี้จะลดลงเป็น V^- การดิสชาร์จก็จะไม่เกิด และลักษณะการเกิดการดิสชาร์จก็จะเหมือนกับการเกิดการดิสชาร์จของแรงดันในช่วงครึ่งบวก



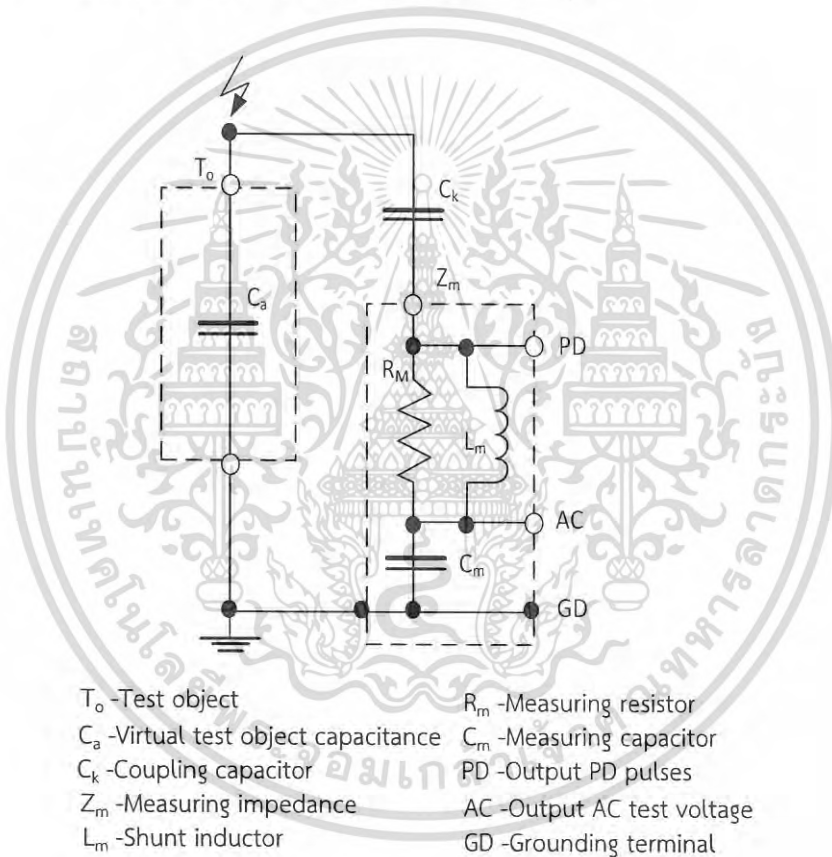
รูปที่ 2.6 แรงดันตกคร่อมโพรงแก๊สและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD

2.3 ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) [5]

ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor ; C_k) มีหน้าที่สำหรับถ่ายโอนสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนให้ครบวงจรระหว่างตัวเก็บประจุของวัตถุทดสอบ (Test object capacitance ; C_o) และอุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device ; C_d) ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำสำหรับการเกิด PD ดังนั้นตัวเก็บประจุคัปปลิงต้องเป็นชนิดที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพื่อส่งสัญญาณ PD ความถี่สูงโดยปราศจากการรบกวน ความจุของตัวเก็บประจุคัปปลิงควรเลือกให้สูงพอสมควรเพื่อลดผลกระทบของความจุสเตรย์ (Stray capacitance) ของวงจรการวัด

2.4 อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device) [5]

อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling capacitor ; C_c) มีหน้าที่ทำการอินทิเกรต (Integarte) กระแสพัลส์ที่ไหลในวงจรทดสอบ เนื่องจากการเกิด Partial discharge โดยมีสายนำสัญญาณเป็นสายที่เชื่อมระหว่าง อุปกรณ์รับสัญญาณกับเครื่องมือการวัดการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน อุปกรณ์รับสัญญาณยังมีหน้าที่ที่สำคัญอีกหลายประการคือ เป็นตัวกรองกระแสความถี่ต่ำและฮาร์โมนิกต่างๆ จากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบไม่ให้เข้าไปที่เครื่องมือวัดได้ และเป็นตัวป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดที่ไม่คาดคิดของวัตถุทดสอบ เพื่อให้แน่ใจว่ามีการส่งสัญญาณ Partial discharge ที่เหมาะสม ดังนั้นอุปกรณ์รับสัญญาณควรอยู่ใกล้กับตัวเก็บประจุคัปปลิงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อความปลอดภัยภายในพื้นที่ทดสอบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบสำคัญของวงจรการวัดการดิสชาร์จบางส่วน

2.5 การสอบเทียบวงจรการดิสชาร์จบางส่วน [6]

การเคลื่อนย้ายของประจุไฟฟ้า (Q) จากแหล่งจ่ายการดิสชาร์จบางส่วนไปยังขั้วของวัตถุที่ใช้ในการทดสอบ บ่อยครั้งเรียกว่ารูปแบบ a-b-c อันเนื่องมาจากตัวเก็บประจุหลายตัวมีการต่ออนุกรมกันของ C_b และ C_c โดยมีเงื่อนไขว่า $C_b / C_c \ll 1$ เสมอ โดยการตรวจจับที่ขั้ววัตถุทดสอบนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการที่ 2.8 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_a = q_c \times \frac{C_b}{C_c} \quad (2.8)$$

ซึ่งหมายความว่าสามารถทำการวัดค่าประจุไฟฟ้า q_a ซึ่งมีค่าฟังก์ชันของลูกคลื่นสัญญาณที่สร้างมาจากตัวสร้างสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วน ดังนั้นความรุนแรงของการดิสชาร์จบางส่วนในระบบไฟฟ้าแรงสูงนั้นไม่สามารถที่จะประมาณการณหรือคาดคะเนได้ อันเนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่าง C_b / C_c ซึ่งไม่สามารถจะทราบค่าทั้งหมดได้ ดังนั้นจากความรู้เรื่องของความสัมพันธ์ของการดิสชาร์จบางส่วนจากที่ผ่านมา โดยการดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละกรณีจะมีค่า R_i ที่แตกต่างกันของฉนวนการดิสชาร์จ สำหรับการตรวจจับการดิสชาร์จนั้นสามารถวัดได้จากค่าประจุไฟฟ้าในรูปของพิโคโคลอมป์ ตามมาตรฐาน IEC 60270 กำหนดให้การวัดขนาดโดยใช้แบบจำลองประจุที่เคลื่อนย้ายระหว่างแหล่งจ่ายการดิสชาร์จกับจุดต่อด้านไฟฟ้าแรงสูง (HV) โดยหลักการปรับเทียบค่าประจุไฟฟ้าของการดิสชาร์จของลูกคลื่นที่นิยามไว้ใน IEC 60270 ว่าการทดสอบปรับเทียบการดิสชาร์จบางส่วนที่ติดตั้งโดยทั่วไปกับเครื่องกำเนิดลูกคลื่นไฟฟ้าซึ่งต่ออนุกรมกับการปรับเทียบค่าความจุไฟฟ้า โดยลำดับการจัดเรียงของแรงดัน ทราบเขียน ตามลูกคลื่นความผิดพลาดของการดิสชาร์จบางส่วนโดยที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ U_0 ถ้าค่าการปรับเทียบตัวเก็บประจุมีค่าต่ำกว่าค่าของตัวอุปกรณ์ทดสอบ C_a การปรับเทียบค่าในการทดสอบอุปกรณ์ที่ขั้วของอุปกรณ์ สามารถเขียนในรูปของสมการที่ 2.9

$$q_a = C_0 \times U_0 = C_a \times U_1 \quad (2.9)$$

กรณีเกิดการดิสชาร์จบางส่วน, ประจุหาได้จาก :

$$q_a = C_a \times U_2 \quad (2.10)$$

แทนสมการที่ 2.9 ในสมการที่ 2.10 สามารถหาค่า C_a ที่ไม่ทราบค่าได้ :

$$q_a = q_0 \times (U_2 / U_1) \quad (2.11)$$

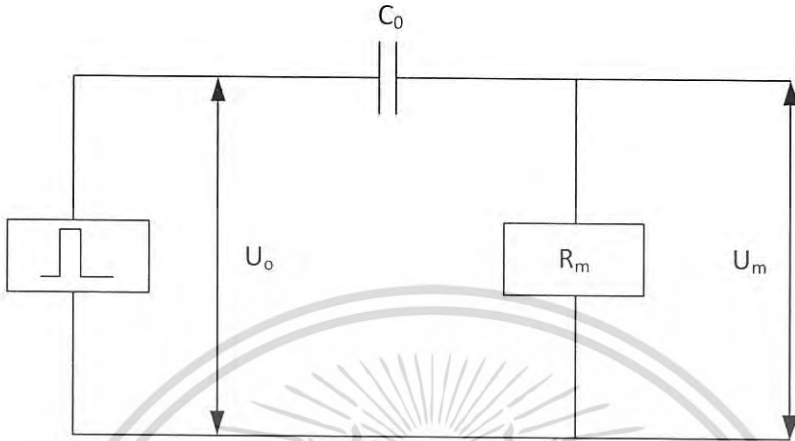
เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าชั่วคราว U_1 ต่อ U_2 ซึ่งปรากฏอยู่ในตัวเก็บประจุ C_a ทำให้เกิดการอ่านค่า R_0 และ R_i สมการที่ 2.11 สามารถเขียนได้เป็น

$$q_a = q_0 \times (R_i / R_0) \quad (2.12)$$

ในกรณีที่อัตราส่วนระหว่าง R_i ต่อ R_0 แสดงถึงค่าสเกลแฟกเตอร์ S_i ของเครื่องมือวัดวงจรการดิสชาร์จบางส่วน ดังนั้นเครื่องสอบเทียบการดิสชาร์จบางส่วนในชุดที่มีตัวเก็บประจุปรับเทียบเพื่อให้เกิดการสอบเทียบซึ่งมีความซ้ำซ้อนของขนาด q_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_0 = U_0 \times C_0 \tag{2.13}$$



รูปที่ 2.8 วงจรสร้างพัลส์การดิสชาร์จบางส่วน

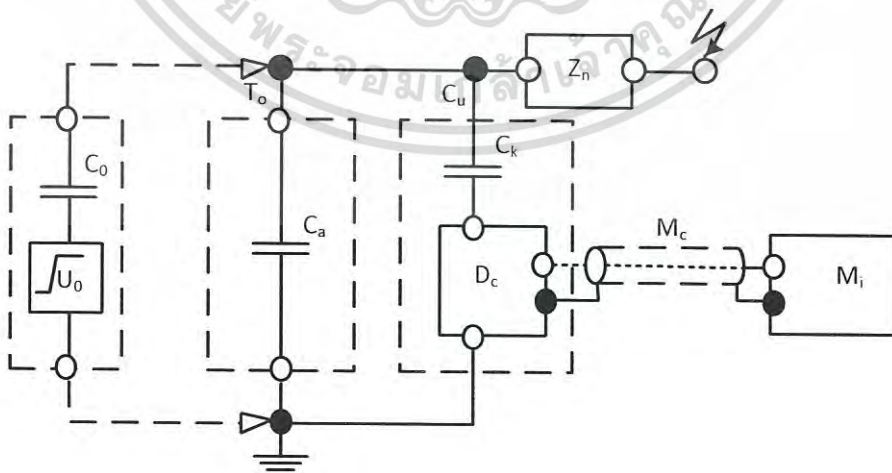
กำหนดให้

U_0 = แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

C_0 = การปรับเทียบความจุสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

U_m = แรงดันขาออกตรงข้าม R_m

เพื่อที่จะกำหนดขนาดของการปรับเทียบค่า, time dependent voltage ที่ปรากฏบน R_m ถูกรวมไว้เพื่อปรับขนาดค่าปรับเทียบ



รูปที่ 2.9 วงจรเทียบเท่าของการดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอถึงการออกแบบ โดยได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเกิด การดีสชาร์จบางส่วนโดยประกอบไปด้วย ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) และอุปกรณ์ รับสัญญาณ(Coupling device) ซึ่งทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ต่างๆ แล้วจึงนำ แบบจำลองที่ได้ทำการออกแบบนำไปประกอบสร้างเพื่อนำไปทดสอบและเปรียบเทียบการเกิด ดีสชาร์จบางส่วน กับชุดอุปกรณ์อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60270

3.1 การออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง

ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor, C_k) ที่ออกแบบมีขนาดความจุไฟฟ้าขนาด 1 nF ตัว โดยใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิงขนาดความจุไฟฟ้าขนาด 10 nF จำนวน 10 ตัว มาทำการต่ออนุกรมกัน จากนั้นทำการสอดใส่ลงในแผ่นอะคริลิก แล้วใส่ลงในทรงกระบอกกึ่งกลางที่ทำมาจาก Polyvinyl chloride (PVC) โดยท่อมีความสูงประมาณ 58 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว แล้วทำการ ประกบด้านบนและด้านล่างด้วยแผ่นทรงกลมที่ทำมาจากอะลูมิเนียม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 cm มีความหนา 3.2 cm จากนั้นนำมาต่อลงฐานทรงสี่เหลี่ยมที่มีล้อยั้ง 4 มุม โดยฐานทำมาจากเหล็ก มีขนาดกว้าง 29 cm ยาว 30 cm สูง 10.4 cm

3.1.1 โปรแกรมสำหรับการออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง

การออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิงได้เริ่มการออกแบบโดยโปรแกรม AutoCad แล้วนำ รูปแบบการออกแบบ ไปสู่โปรแกรม SolidWorks เพื่อทำการเขียนโมเดล 3D สำหรับ ส่วนประกอบตัวเก็บประจุทั้งภายในและภายนอก สุดท้ายได้นำโมเดลที่ได้ออกแบบมาไปทำการ วิเคราะห์ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าต่างๆ จากโปรแกรม COMSOL เพื่อนำไปสู่การแก้ไขให้ตัวเก็บ ประจุคัปปลิงที่มีคุณภาพ

โปรแกรม SolidWorks

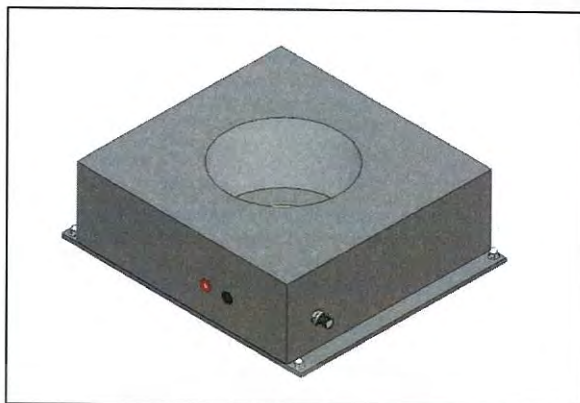
การออกแบบสร้างโมเดลสามมิติจากการใช้โปรแกรม SolidWorks โดยได้มีการแบ่งการ ออกแบบเป็นสองส่วนคือ

1.) ส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ฐานของตัว เก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor base) กราวด์อิเล็กโทรด (GND electrode) ท่อโพลีไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl chloride tube) ไฮโวลต์อิเล็กโทรด (HV electrode)

- ฐานของตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor base)

ขนาด : กว้าง	29	เซนติเมตร
ยาว	30	เซนติเมตร
สูง	10.4	เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แบบจำลองฐานของตัวเก็บประจุคัปปลิง

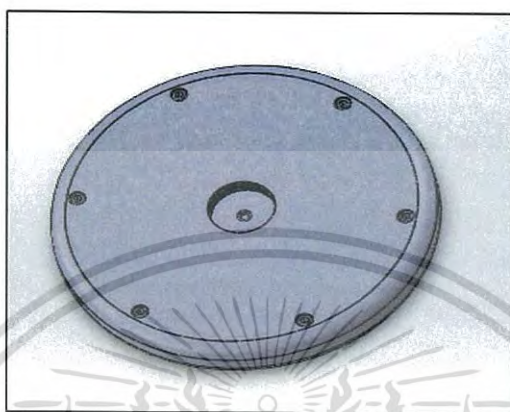
- กรรวดอิเล็กโทรด (GND electrode)
ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตร
ความหนา 3.2 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 แบบจำลองกรรวดอิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไฮโวลต์อิเล็กโตรด (HV electrode)
ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตร
 ความหนา 3.2 เซนติเมตร



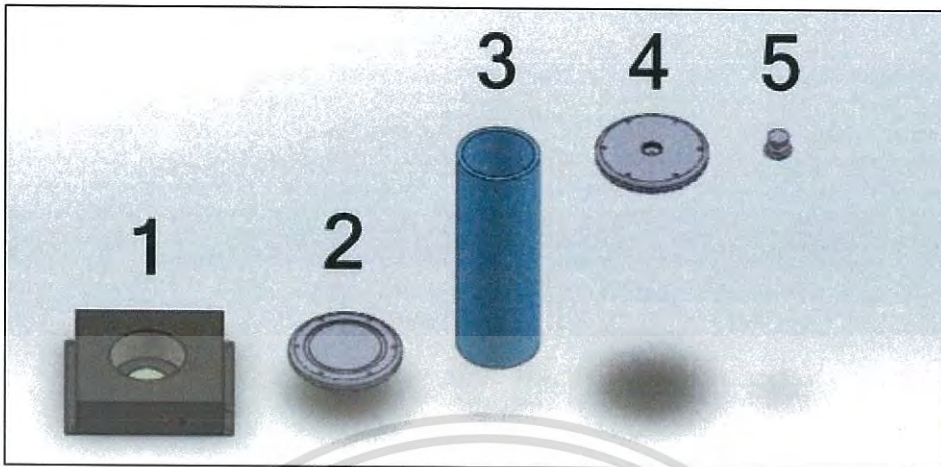
รูปที่ 3.3 แบบจำลองไฮโวลต์อิเล็กโตรด

- ท่อโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride tube)
ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว
 หนา 0.7 เซนติเมตร
 สูง 57.9 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 แบบจำลองท่อโพลีไวนิลคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แบบจำลองส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง

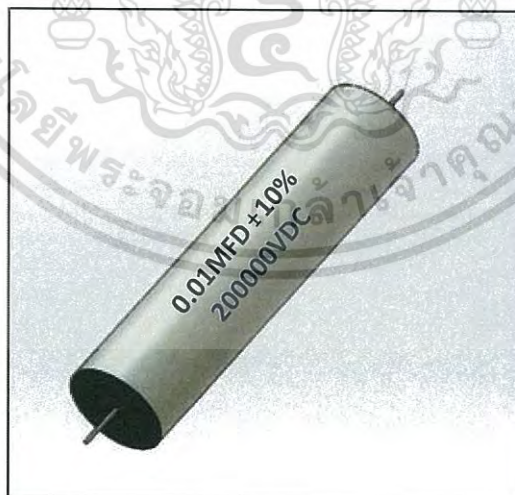
2.) ส่วนประกอบภายในตัวเก็บประจุคัปปลิง

มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) แท่งทองแดง (Copper tube) แท่งอะคริลิก (Holder acrylic)

- ตัวเก็บประจุ (capacitor) ขนาด 10 นาโนฟารัด จำนวน 10 ตัว

ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร

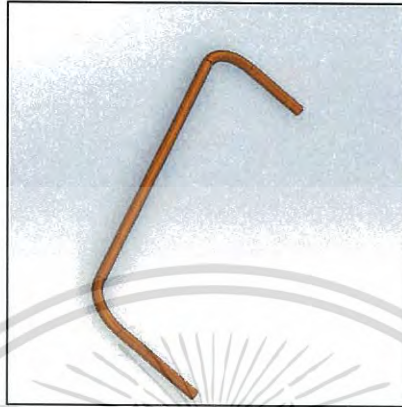
ยาว 10.4 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6 แบบจำลองตัวเก็บประจุ

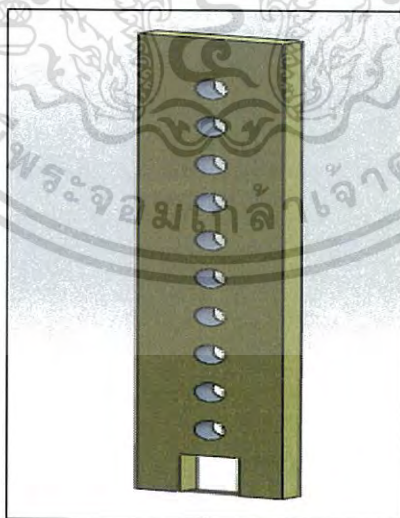
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท่อทองแดง (Copper tube)
 ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 มิลลิเมตร
 ยาว 7.75 เซนติเมตร



รูปที่ 3.7 แบบจำลองท่อทองแดง

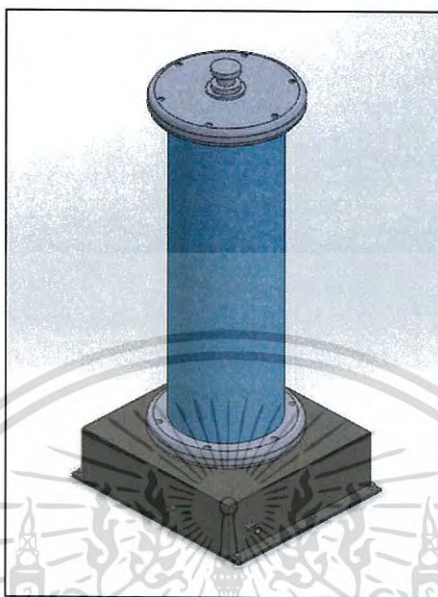
- แท่งอะคริลิก (Holder acrylic)
 ขนาด : กว้าง 16.88 เซนติเมตร
 หนา 12.30 เซนติเมตร
 สูง 60.00 เซนติเมตร



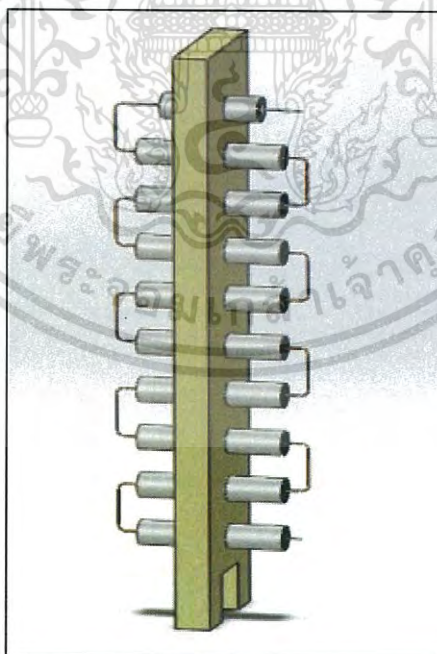
รูปที่ 3.8 แบบจำลองแท่งแท่งอะคริลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลสรุปจากการใช้โปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3.9 แบบจำลองส่วนประกอบภายนอกคัปปลิง



รูปที่ 3.10 แบบจำลองส่วนประกอบภายในคัปปลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

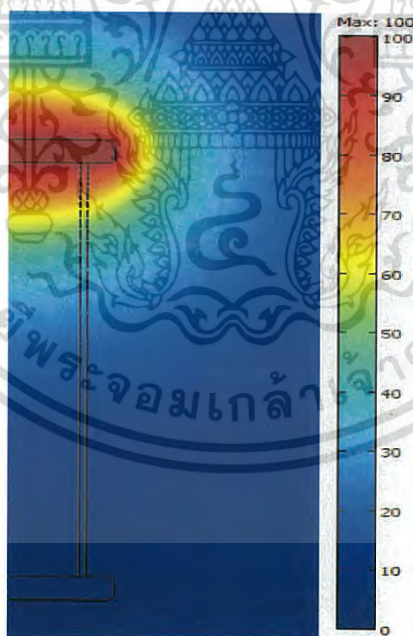
โปรแกรม COMSOL

การออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิงโดยโปรแกรม COMSOL โดยใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Potential) และการวิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้า (Electrical field stress) โดยการตั้งค่าตามตาราง 3.1 โดยผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.11 สำหรับการวิเคราะห์ขอบมนของความเข้มสนามไฟฟ้า และรูปที่ 3.12 แสดงสำหรับการวิเคราะห์ขอบมนของความเครียดสนามไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่า Subdomain [7]

Subdomains	Dielectric constant
Electrode	1
Air	1
PVC	3

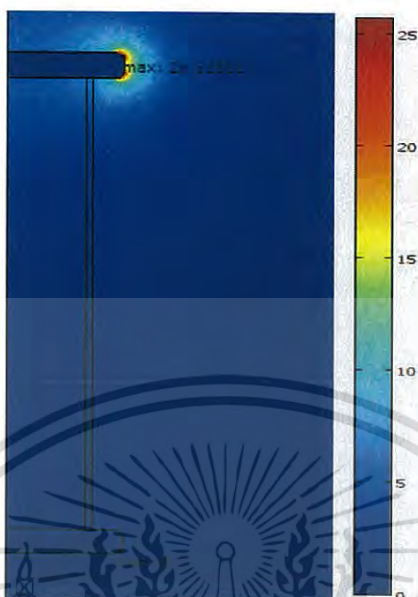
ความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Potential)



รูปที่ 3.11 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณขอบมนของอิเล็กโตรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

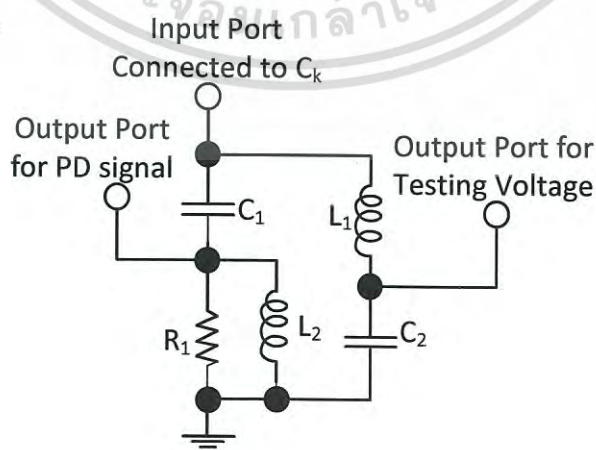
ความเครียดสนามไฟฟ้า (Electrical field stress)



รูปที่ 3.12 ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณขอบบนของอิเล็กโทรด

3.2 การออกแบบและประกอบสร้างอุปกรณ์รับสัญญาณ [8]

อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device : C_d) โดยที่อุปกรณ์รับสัญญาณมีจุดลักษณะในด้าน การวัดการดิสชาร์จบางส่วนและลดทอนสัญญาณรบกวน จึงจำเป็นต้องเลือก ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ ที่เหมาะสมด้วย ในส่วนของการวัดการดิสชาร์จบางส่วน ต้องเลือกค่า ส่วนประกอบให้เหมาะสมกับความถี่ตัดด้านต่ำและความถี่ตัดด้านสูง ในส่วนนี้จำเป็นต้องลดทอน สัญญาณรบกวนให้มีผลกระทบต่อสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนน้อยที่สุด จากรูปที่ 3.13 จะเห็นว่า จะมีส่วนประกอบทั้งหมดดังนี้



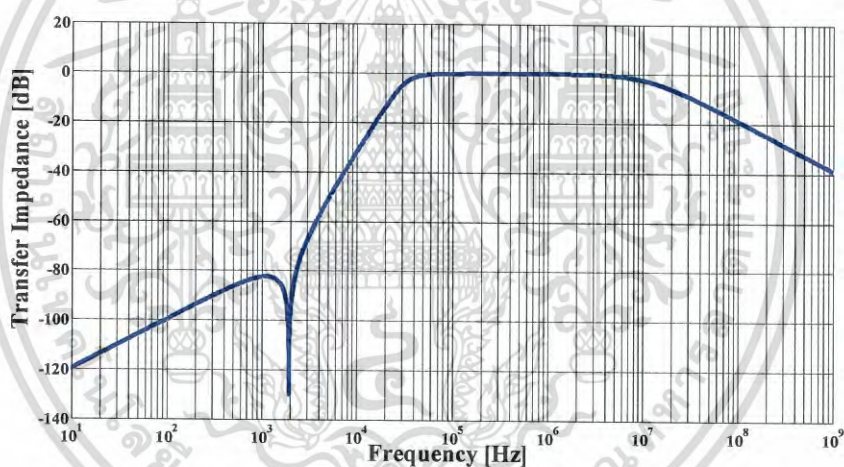
รูปที่ 3.13 วงจรจำลองการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางปริมาณทางไฟฟ้าของอุปกรณ์รับสัญญาณ

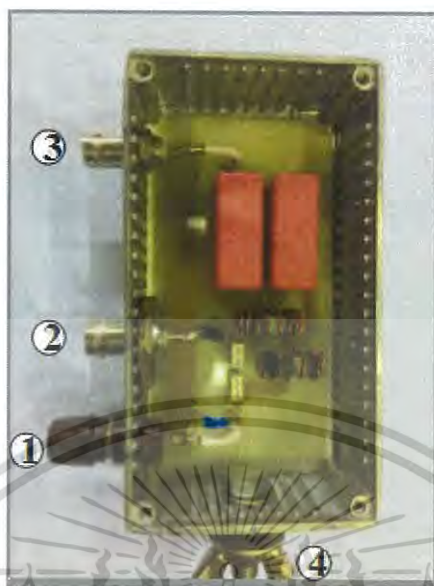
Circuit component	Circuit parameter
C_1	75 nF
C_2	44 μ F
L_1	150 μ H
L_2	470 μ H
R_1	50 Ω

ซึ่งในการออกแบบเลือกความถี่ในการลดทอนที่อยู่ในย่าน 30kHz ถึง 20MHz และเอาต์พุตของอุปกรณ์รับสัญญาณ มี 2 เอาต์พุต คือ การวัดแรงดัน และการวัดการดิสซาร์จบางส่วน



รูปที่ 3.14 ผลตอบสนองทางความถี่

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความถี่ (แกนนอน) กับอิมพีแดนซ์ถ่ายโอน (แกนตั้ง) ที่วัดจากตำแหน่ง พอร์ตต่อขาออกวัดสัญญาณการดิสซาร์จบางส่วน จากในรูปที่ 3.14 โดยเป็นการวัดแรงดันที่มีผลตอบสนองทางความถี่ต่างๆ และ จะเห็นได้ว่า สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 30 kHz และสัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 20 MHz จะถูกลดทอนสัญญาณลง



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์รับสัญญาณ

- 1) จุดต่อมาจากตัวเก็บประจุคัปปลิง 2) พอร์ตต่อขาออกวัตต์สัญญาณการดิซชาร์จบางส่วน
3) พอร์ตต่อเข้าแหล่งจ่าย 4) กราวด์

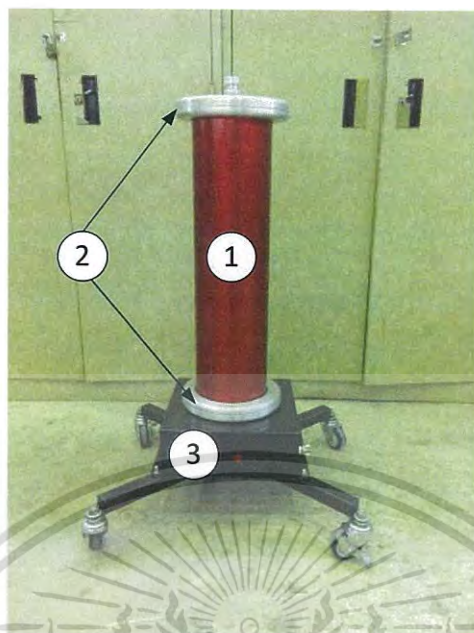
โดยหลักการออกแบบ จะออกแบบให้เอาต์พุตทั้งสองแยกออกจากกันอย่างสิ้นเชิง และสัญญาณรบกวนจากฝั่งหนึ่งจะถูกทำให้ไม่สามารถข้ามมารบกวนสัญญาณของเอาต์พุตของอีกฝั่งได้ โดยจะใช้ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณความถี่ต่ำและยอมให้ความถี่สูงผ่านได้ ในส่วนของช่องเอาต์พุตของสัญญาณการดิซชาร์จบางส่วนจะใช้ตัวเหนี่ยวนำกรองความถี่สูงและยอมให้ความถี่ต่ำผ่านได้ ในส่วนของช่องเอาต์พุตของการวัดแรงดัน

3.3 การประกอบสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิง

การประกอบสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิงจากการออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบ่งการออกแบบและการประกอบสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิงออกเป็นสองส่วนคือ การออกแบบและการประกอบสร้างภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง และการออกแบบและการประกอบสร้างภายในตัวเก็บประจุคัปปลิง

3.3.1 การออกแบบและการประกอบสร้างภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง

การออกแบบและการประกอบสร้างภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิงได้มีการออกแบบให้มีส่วนประกอบสำคัญคือ ท่อโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride tube) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีในการนำมาเป็นส่วนประกอบ คือมีความแข็งแรงทนทาน และราคาถูกสามารถหาได้ง่าย แสดงในรูปที่ 3.16 หมายเลข 1 และ อิเล็กโตรดบนและอิเล็กโตรดล่าง ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีในการนำไฟฟ้า จึงนำตัวอิเล็กโตรดมาใช้เป็นส่วนตัวนำของตัวเก็บประจุคัปปลิง แสดงในรูป 3.16 หมายเลข 2 และอีกส่วนประกอบที่สำคัญเช่นกันก็คือ ฐานตัวเก็บประจุคัปปลิง ที่ทำมาจากเหล็กซึ่งมีความแข็งแรงทนทานต่อการรับน้ำหนักตัวเก็บประจุคัปปลิง และมีการต่อล่อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย แสดงในรูปที่ 3.6 หมายเลข 3



รูปที่ 3.16 ส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคู่บปลิง
ที่ประกอบสร้าง

3.3.2 การออกแบบและการประกอบสร้างภายในตัวเก็บประจุคู่บปลิง

การออกแบบและการประกอบสร้างภายในตัวเก็บประจุคู่บปลิงได้มีการออกแบบให้มีส่วนประกอบสำคัญคือ ตัวเก็บประจุ โดยมีการออกแบบโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 10 nF จำนวน 10 ตัว มาอนุกรมกัน ซึ่งมีค่าความจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด 1 nF และ แท่งอะคลิลิก ซึ่งเป็นแท่งที่มีความคงทนและสะดวกต่อการออกแบบใช้เป็นแกนกลางสำหรับบรรจุตัวเก็บประจุ

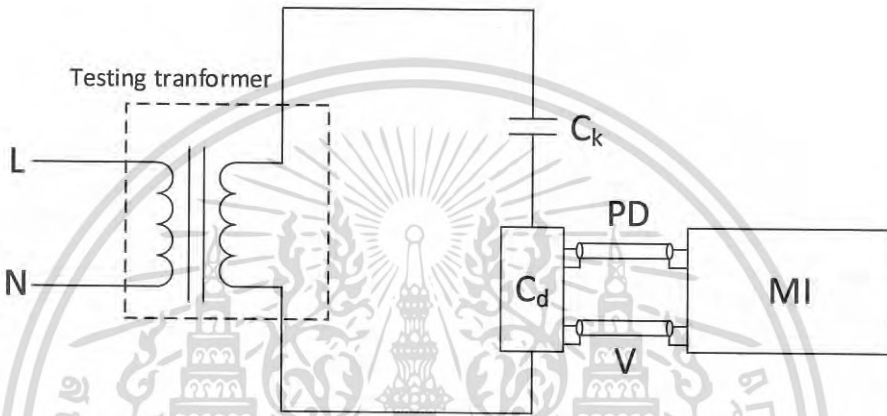


รูปที่ 3.17 ส่วนประกอบภายในตัวเก็บประจุคู่บปลิง
ที่ประกอบสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบระบบวัดการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

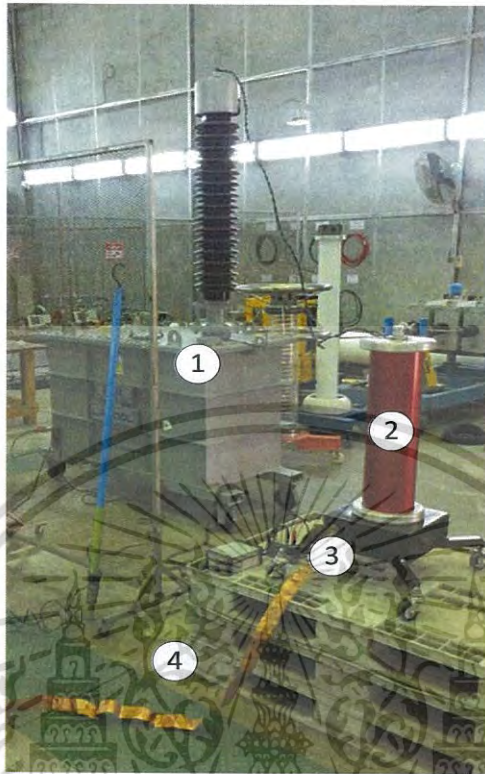
หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) และ อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device) หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้า โดยสัญญาณที่ออกมาจากอุปกรณ์รับสัญญาณจะมีด้วยกัน 2 สัญญาณ คือ สัญญาณค่าแรงดัน และ สัญญาณค่าการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งทั้ง 2 สัญญาณจะเข้าสู่ระบบการวัดการดิสชาร์จบางส่วน โดยไม่มีการต่อ อุปกรณ์ทดสอบ (Test object) ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรการวัดแรงดันและการดิสชาร์จบางส่วน

กำหนดให้

- C_k คือ ตัวเก็บประจุคัปปลิง
- C_d คือ อุปกรณ์รับสัญญาณ
- PD คือ สัญญาณค่าการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน
- V คือ สัญญาณค่าแรงดัน
- MI คือ ระบบการวัดการดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 3.19 วงจรการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน

- 1). หม้อแปลงไฟฟ้า 2). ตัวเก็บประจุคัปปลิง 3) อุปกรณ์รับสัญญาณ
- 4). สายที่นำสัญญาณ 2 ค่า เข้าสู่ระบบการวัดการดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

เพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพผลการทำงานของระบบตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนที่ได้ทำการออกแบบและประกอบสร้างขึ้นมา จึงทำการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้ว่าเป็นไปตามมาตรฐาน หรือตามทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบและประกอบสร้างหรือไม่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ซึ่งมีทั้งหมด 3 หัวข้อ ดังนี้

1. การทดสอบเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้า
2. การทดสอบสัญญาณรบกวนและการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุคัปปลิง
3. การทดสอบเปรียบเทียบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณใช้เป็นตัวอ้างอิงกับอุปกรณ์รับสัญญาณ ที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

- 3.1) การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า
- 3.2) การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน
- 3.3) การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน

4.1 การทดสอบเปรียบเทียบค่าประจุไฟฟ้า

การทดสอบเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อว่า เครื่องปรับเทียบประจุไฟฟ้า (Pulse calibrator) ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องปรับเทียบประจุไฟฟ้า (Pulse calibrator)

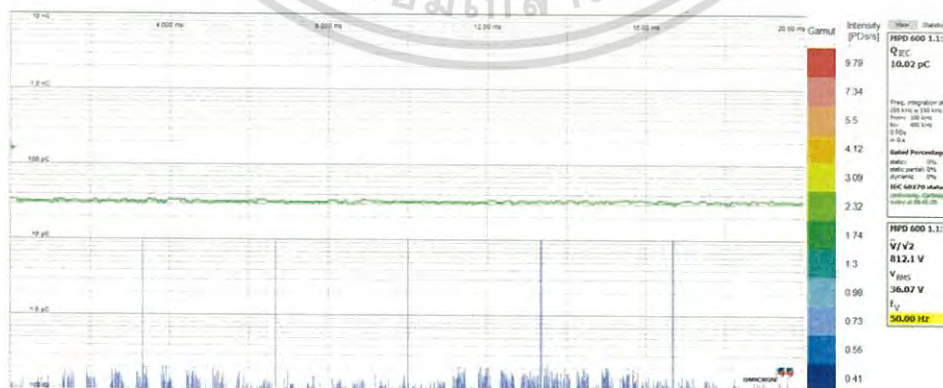
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงต่อเข้ากับ ตัวเก็บประจุคัปปลิง ที่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง โดยการปรับเทียบค่าประจุไฟฟ้านั้น จะทำการต่อเครื่องปรับเทียบประจุไฟฟ้า คร่อมตัวเก็บประจุคัปปลิง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หม้อแปลงไฟฟ้าต่อกับตัวเก็บประจุคัปปลิง

หลังจากเตรียมวงจรการทดสอบแล้ว จึงทำการตั้งค่าเครื่องปรับเทียบประจุไฟฟ้าให้จ่ายประจุไฟฟ้าออกมา 10 pC ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ค่าที่อ่านได้จากโปรแกรมการวัดการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน จะมีค่าไม่เท่ากับ 10 pC จึงต้องการทำการปรับเทียบให้ข้อมูลที่แสดงค่าและที่หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมให้เท่ากัน โดยเมื่อทำการปรับเทียบแล้ว จะทำให้ได้ค่าปรับเทียบประจุไฟฟ้า (DIV. Factor) มีค่าเท่ากับ 1.523 ซึ่งที่หน้าจอแสดงผลจะแสดงสัญญาณพัลส์ออกมาทั้งหมด 6 เส้น ที่มีความสูงเท่ากับ 10 pC (ค่าที่อ่านได้จากโปรแกรมการวัดการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน) ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การปรับเทียบค่าประจุไฟฟ้า 10 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสัญญาณรบกวนและการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุคัปปลิง

ตามมาตรฐาน IEC 60270 กล่าวว่า Background noise คือ สัญญาณที่ถูกตรวจจับได้ระหว่างการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ซึ่งไม่ใช่สัญญาณที่ได้มาจากวัตถุทดสอบ (Test object) ซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยภายนอกเช่น การสับสวิตช์ (Switching), การส่งสัญญาณวิทยุ (Radio transmission) รวมถึง ระบบการวัดของตัวเอง

การทดสอบสัญญาณรบกวน (Background noise) คือการทดสอบว่า ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนมีสัญญาณรบกวนภายในมากหรือน้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด และตามมาตรฐาน IEC 60270 กล่าวว่า สัญญาณรบกวนควรมีค่าน้อยกว่า 50% ของปริมาณการดิสชาร์จบางส่วนตามที่ยอมรับได้ และในการทดสอบจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยมีหลากหลายวิธี เช่น Balanced circuits, Frequency selection เป็นต้น ซึ่งขีดจำกัดของค่าสัญญาณรบกวน ในหน่วยของค่าความจุไฟฟ้า (Q : Coulomb) ไม่เกิน 1 pC

เพราะฉะนั้นการทดสอบสัญญาณรบกวน จึงจำเป็นสำหรับการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งผลการทดสอบสัญญาณรบกวน ที่ทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง โดยทำการเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker) ของแหล่งจ่ายแรงดันและทำการจดค่า บันทึกผล ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าสัญญาณรบกวน ที่ 20 kV ในหน่วยความจุไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ค่าสัญญาณรบกวน มีค่าเท่ากับ 305.7 fC ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 pC แสดงว่าในการทดสอบสัญญาณรบกวนเป็นการทดสอบที่ตรงตามมาตรฐาน IEC 60270

จากทดสอบข้างต้นที่ได้ผ่านมานั้น กล่าวว่า สัญญาณรบกวน อาจจะเกิดมาจากระบบการวัดการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนก็ได้ เพราะฉะนั้นจึงเป็นต้องทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุคัปปลิง เพื่อไม่ให้ผลของสัญญาณรบกวนจากตัวเก็บประจุคัปปลิงมารบกวนการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน จึงทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจนค่าแรงดันไฟฟ้าที่แสดงบนหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมการวัดการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน อ่านได้เท่ากับ 20 kV ทำการจดค่า และ บันทึกผล และ วิเคราะห์ผลของการทดสอบ

ผลการทดสอบตาม รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ตัวเก็บประจุคัปปลิงมีประสิทธิภาพในการใช้งาน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย ตามมาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้
2. ไม่มีสัญญาณการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เมื่อมีการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจนมีค่าเท่ากับ

20 kV

4.3 การทดสอบเปรียบเทียบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณใช้เป็นตัวอย่างอิงกับอุปกรณ์รับสัญญาณ ที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

อุปกรณ์รับสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอย่างอิง เป็นอุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานและผ่านการใช้งานทดสอบภายในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งถูกใช้งานเป็นหลักในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน จึงนำอุปกรณ์ ดังรูปที่ 4.5 เป็นตัวอย่างอิงสำหรับการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์รับสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอย่างอิง

อุปกรณ์รับสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น เป็นอุปกรณ์ที่ยังไม่ได้ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน จึงต้องนำไปทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบการใช้งาน และ ทดสอบเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอย่างอิง ซึ่งอุปกรณ์รับสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์รับสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

ซึ่งในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะทดสอบทั้งหมด 3 กรณีใหญ่ๆ คือ

1. การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า ซึ่งในกรณีการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า แบ่งกรณีย่อยๆ ได้อีก 2 กรณี คือ

1.1 การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันไฟฟ้าสูง

1.2 การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งจะ

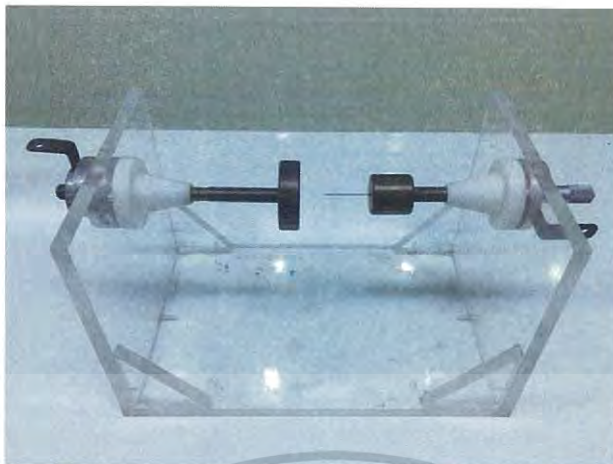
ทำการเปลี่ยนวัสดุทดสอบ เพื่อให้เกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามรูปแบบตามที่ต้องการ

2. การดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน

3. การดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน

4.3.1 การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า

การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า จะเกิดการดิสชาร์จจากวัตถุที่ปลายด้านหนึ่งจะเป็นวัตถุปลายแหลม และอีกปลายด้านหนึ่งจะเป็นวัตถุที่เป็นแผ่นราบ ที่เรียกว่า เพลน ซึ่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จแบบโคโรน่า แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่า

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าจะแบ่งการทดสอบเป็นสองแบบ คือ การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันไฟฟ้าสูง และการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งการทดสอบทั้งสองแบบนี้ จะใช้อุปกรณ์ทดสอบอันเดียวกันคือ ฟุ้งหนึ่งเป็นวัตถุปลายแหลม กับ อีกฟุ้งหนึ่งเป็นวัตถุระนาบหรือเพลน แต่จะทำการต่อวงจรที่แตกต่างกัน โดยการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันสูงนั้น จะทำการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงทางฟุ้งวัตถุที่ปลายแหลม และอีกฟุ้งต่อเข้ากับกราวด์ และการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันต่ำ จะทำการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงทางฟุ้งวัตถุที่มีลักษณะระนาบหรือเพลน ส่วนอีกฟุ้งจะต่อลงกราวด์

การทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันไฟฟ้าสูง จะทำการติดตั้งวงจรทดสอบดังภาพที่ 4.8

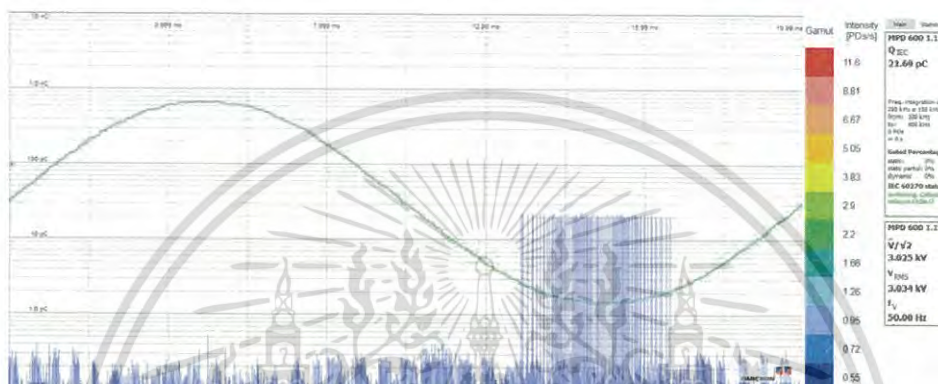


รูปที่ 4.8 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้
อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น ชั้นแรกจำเป็นต้องทดสอบสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อทำการทดสอบระบบก่อนการทำทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนในหน่วย fC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 486.1 fC โดยค่าดังกล่าว มีค่าน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้ ซึ่งสามารถทำการทดสอบในขั้นต่อไปได้

หลังจากทดสอบสัญญาณรบกวน ภายในระบบแล้ว จึงทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตรวจจัดการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าแรงดันสูง



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ 3.034 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความสูงเท่ากันหมด บริเวณมุม 270 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว) เพียงอย่างเดียว

การทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันไฟฟ้าสูงของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

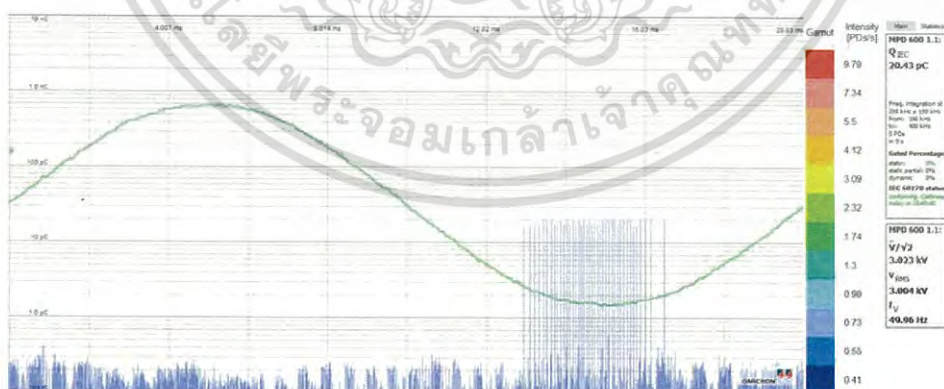
โดยใช้ อุปกรณ์ทดสอบ ดังรูปที่ 4.7 และการติดตั้งวงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าทางด้านแรงดันสูง ดังภาพที่ 4.10



รูปที่ 4.10 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น ขั้นแรกจำเป็นต้องทดสอบสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อทำการทดสอบระบบก่อนการทำทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนในหน่วย fC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 fC โดยค่าดังกล่าว มีค่าน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้ ซึ่งสามารถทำการทดสอบในขั้นต่อไปได้

หลังจากทดสอบสัญญาณรบกวนภายในระบบแล้ว จึงทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันสูง

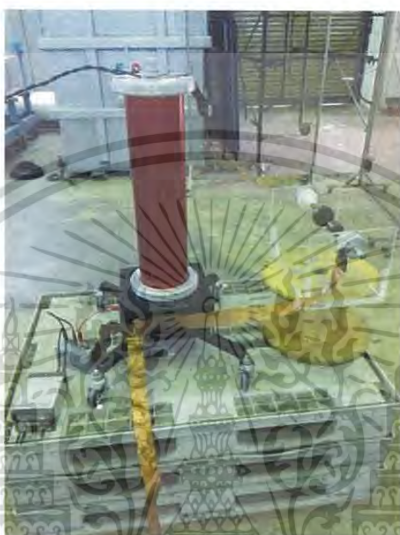


รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูงโดยใช้ อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าสูง โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรถดสอบ 3.004 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความสูงเท่ากันหมด บริเวณมุม 270 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว) เพียงอย่างเดียว

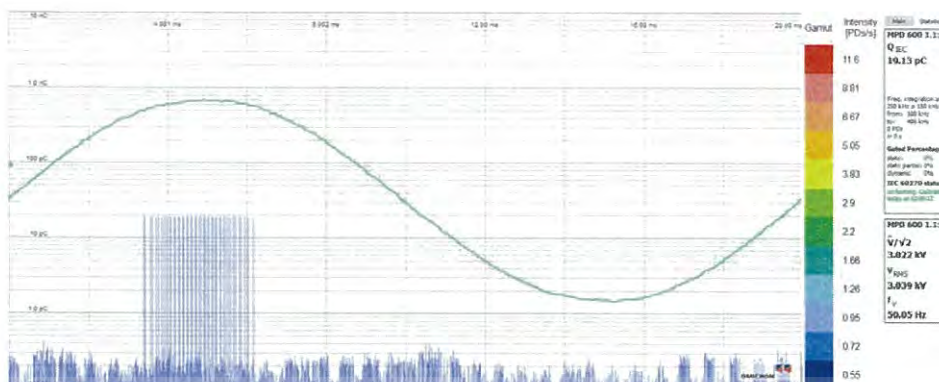
การทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง จะทำการติดตั้งวงจรถดสอบดังภาพที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรถดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น ขั้นแรกจำเป็นต้องทดสอบสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อทำการทดสอบระบบก่อนการทำทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนในหน่วย fC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 458 fC โดยค่าดังกล่าว มีค่าน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้ ซึ่งสามารถทำการทดสอบในขั้นต่อไปได้

หลังจากทดสอบสัญญาณรบกวนภายในระบบแล้ว จึงทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบการดิซชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวน์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลของการเกิดการดิซชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวน์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ 3.039 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความสูงเท่ากันหมด ลักษณะการเกิดคล้ายกับการดิซชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาทางด้านแรงดันสูง แต่แตกต่างกันบริเวณมุมที่เกิด ซึ่งการดิซชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาทางด้านแรงดันต่ำหรือด้านกราวน์ จะเกิดบริเวณมุม 90 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว) เพียงอย่างเดียว

การทดสอบการเกิดการดิซชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาทางด้านกราวน์ หรือทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะทำการติดตั้งวงจรทดสอบดังภาพที่ 4.14

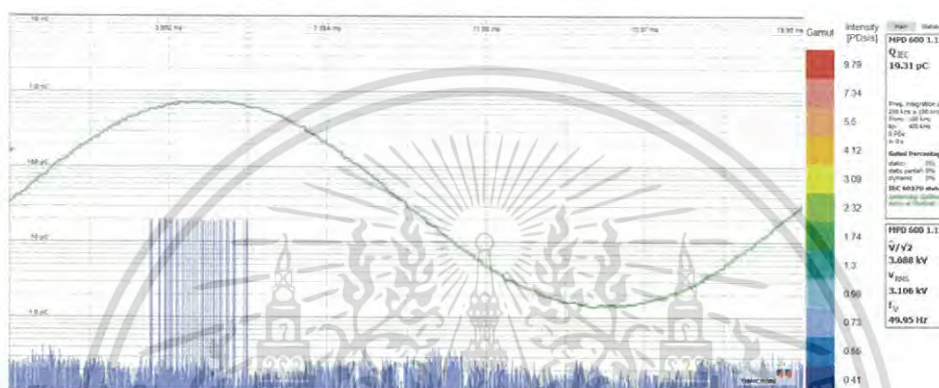


รูปที่ 4.14 วงจรทดสอบการเกิดดิซชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวน์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น ขั้นแรกจำเป็นต้องทดสอบสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อทำการทดสอบระบบก่อนการทำทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนในหน่วย fC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 449.7 fC โดยค่าดังกล่าว มีค่าน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้ ซึ่งสามารถทำการทดสอบในขั้นต่อไปได้

หลังจากทดสอบสัญญาณรบกวน ภายในระบบแล้ว จึงทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ

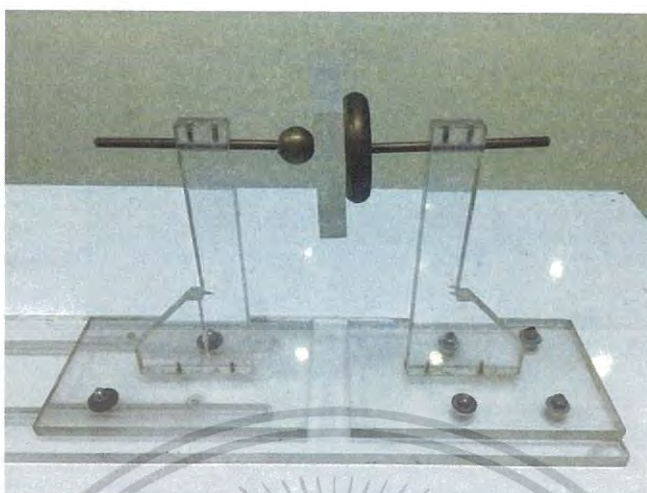


รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

จากรูปที่ 4.15 แสดงผลของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่จรรยาทดสอบ 3.106 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความสูงเท่ากันหมด ลักษณะการเกิดคล้ายกับการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันสูง แต่แตกต่างกันบริเวณมุมที่เกิด ซึ่งการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะเกิดบริเวณมุม 90 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว) เพียงอย่างเดียว และผลการทดสอบมีความคล้ายคลึงกับผลการทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

4.3.2 การดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน

การดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน จะเกิดการดิสชาร์จจากวัตถุที่ปลายด้านหนึ่งจะเป็นวัตถุทรงกลม และ อีกปลายด้านหนึ่งจะเป็นวัตถุที่เป็นแผ่นราบและฉนวน (อะคริลิก) ติดอยู่ ซึ่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จตามผิวฉนวน แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จตามผิวฉนวน

จากรูปที่ 4.16 เป็นอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จตามผิวฉนวน โดยในการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบนี้ จะทำการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับวัตถุที่มีลักษณะเป็นทรงกลม ส่วนอีกฝั่งที่มีลักษณะเป็นระนาบและติดอยู่กับฉนวน (อะคลิลิก) และจะต่อเข้ากับกราวด์

การทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงจะทำการติดตั้งวงจรทดสอบดังภาพที่ 4.17

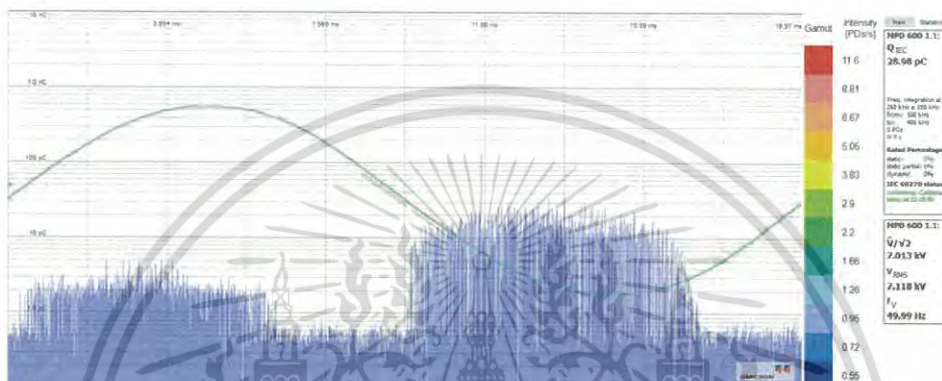


รูปที่ 4.17 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น ขั้นแรกจำเป็นต้องทดสอบสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อทำการทดสอบระบบก่อนการทำทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนในหน่วย fC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 860.4 fC โดยดังกล่าว มีค่าน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้ ซึ่งสามารถทำการทดสอบในขั้นต่อไปได้

หลังจากทดสอบสัญญาณรบกวน ภายในระบบแล้ว จึงทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบตามผิวฉนวน



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน

โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

จากรูปที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ 7.118 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความกว้างและหนา ซึ่งจะเกิดบริเวณอยู่ที่ 90 องศา และ 270 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว)

การทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น มีขั้นตอนการทำทดสอบเหมือนกัน โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน ดังรูปที่ 4.16 และทำต่อวงจรทดสอบเข้ากับระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน ดังรูปที่ 4.19

ความคล้ายคลึงกับผลการสอบการติสซาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

4.3.3 การติสซาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน

การติสซาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน จะเกิดการติสซาร์จจากโพรงอากาศหรือรูภายในเนื้อฉนวน (อะคลิลิค) ที่ติดกับวัตถุที่มีปลายด้านหนึ่งจะเป็นวัตถุระนาบ และ อีกชิ้นจะเป็นวัตถุที่เป็นแผ่นระนาบ ซึ่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดติสซาร์จภายในเนื้อฉนวนแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดติสซาร์จภายในเนื้อฉนวน

จากรูปที่ 4.21 เป็นอุปกรณ์ทดสอบ ที่ใช้ในการทดสอบการเกิดติสซาร์จภายในเนื้อฉนวน โดยในการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบนี้ จะทำการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับวัตถุที่มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบ ส่วนอีกฝั่งที่มีลักษณะเป็นระนาบและติดอยู่กับฉนวน (อะคลิลิค) ที่มีโพรงอากาศหรือรูภายในเนื้อฉนวน จะต่อเข้ากับ กราวนด์

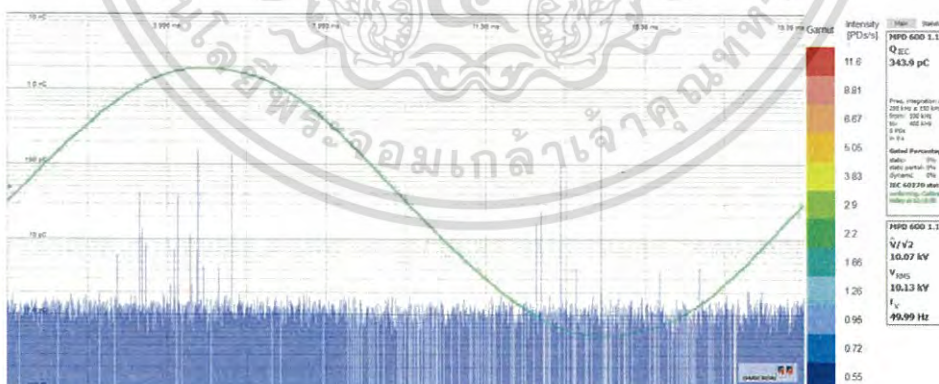
การทดสอบการเกิดติสซาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงจะทำการติดตั้งวงจรทดสอบดังภาพที่ 4.22



รูปที่ 4.22 วงจรทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

ซึ่งในการทดสอบเบื้องต้น ขั้นแรกจำเป็นต้องทดสอบสัญญาณรบกวนก่อน เพื่อทำการทดสอบระบบก่อนการทำทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งสามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนในหน่วย fC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 832 fC โดยค่าดังกล่าว มีค่าน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดไว้ ซึ่งสามารถทำการทดสอบในขั้นต่อไปได้

หลังจากทดสอบสัญญาณรบกวนภายในระบบแล้ว จึงทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน เพื่อทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบภายในเนื้อฉนวน



รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

จากรูปที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ตัววัสดุทดสอบ 10.13 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีลักษณะกระจายตัวไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

การตรวจสอบและวินิจฉัยคุณภาพของฉนวนไฟฟ้านั้นถือเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแรงสูง โดยการตรวจติดตามอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะทำให้พบความบกพร่องในอุปกรณ์ก่อนที่จะได้รับความเสียหายและจะทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งเทคนิคการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสูงวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสภาพของฉนวน ทั้งในแง่ของความเสื่อมของฉนวนหรือการเกิดเบรกดาวนในเนื้อฉนวน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจสอบโดยวิธีอื่น เช่น วิธีการทางเคมีหรือวิธีตรวจจับความร้อน ซึ่งในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละครั้งจะปลดปล่อยพลังงานออกมาและทำให้เกิดปรากฏการณ์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของพลังงานต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล พลังงานแสง และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันหรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตเป็นเหตุให้เกิดความผิดปกติพร่องขยายตัวมากขึ้นและอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวนอย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะลดลง

ปริญญาตินพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการออกแบบและประกอบสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิง (coupling capacitor) ที่มีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 1 nF และ อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Coupling device) ที่สามารถนำไปทดสอบการตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 รวมทั้งนำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) เพื่อยืนยันว่าเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจะไม่เกิดการดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ที่เกิดจากตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) และนำเสนอการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ การดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนา (Corona discharge) การดิสชาร์จบางส่วนตามผิวฉนวน (Surface discharge) และการดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน (Internal discharge) เพื่อยืนยันผลการทดสอบของอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนาว่ามีการแสดงผลคล้ายกับผลการทดสอบของอุปกรณ์อ้างอิงหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงที่ 20 kV คือไม่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดจากตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) และ ผลที่ได้จากการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆระหว่างอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนากับอุปกรณ์อ้างอิง คือ ผลของการทดสอบของอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนานั้น มีการแสดงผลของข้อมูลที่คล้ายคลึงกับผลการทดสอบของอุปกรณ์อ้างอิงเช่นลักษณะการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนแต่ละชนิด มุมที่เกิดของการดิสชาร์จบางส่วนแต่ละชนิด เป็นต้น จากผลการทดสอบที่กล่าวไว้ข้างต้นทำให้ทราบว่า ระบบตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ที่ได้ทำการพัฒนานั้น สามารถใช้งานได้ และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน

5.2 อุปสรรคและวิธีการแก้ไข

อุปสรรคที่พบได้ในการดำเนินโครงการและการแก้ปัญหาต่างๆ ดังนี้

1. ในการประกอบสร้างตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) ที่มีความจุไฟฟ้าเท่ากับ 1 nF โดยการนำตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 10 nF มาอนุกรมทั้งหมด 10 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีค่าความคลาดเคลื่อน 10% เมื่อนำตัวเก็บประจุมาอนุกรมกัน จึงทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) มีความคลาดเคลื่อน อาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนกับผลของการทดสอบได้ สามารถแก้ไขได้โดยทำการวัดค่าและเลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้เคียงที่สุด

2. ในการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรม เมื่อทำการจ่ายแรงดันให้กับวงจรทดสอบแต่ในหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมกราฟของแรงดันไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบการเกิดการดิสชาร์จได้ ซึ่งส่งผลให้อาจจะต้องใช้โปรแกรมอื่นๆ ซึ่งเป็นมาจากซอฟต์แวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำการทดสอบนั้นมีปัญหา โดยสามารถแก้ปัญหาโดยใช้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นที่ซอฟต์แวร์มีความพร้อมสำหรับการใช้โปรแกรมดั้งเดิมได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในกรณีการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนนั้น ระหว่างการทดสอบกับอุปกรณ์ทดสอบ (Test object) ใช้แผ่นทองแดงในการต่อวงจรระหว่างอุปกรณ์ต่าง ซึ่งแผ่นทองแดงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบและขอบคม อาจส่งผลให้เกิดอันตรายแก่ผู้ทำการทดสอบในการต่อวงจรต่างๆ และอาจทำให้เกิดการดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าได้เช่นกัน ดังนั้นควรจะใช้สายเคเบิล (Cable) เพื่อลดผลจากเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรน่าที่อาจจะส่งผลให้ผลการทดสอบเกิดการคลาดเคลื่อนได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Partial Discharge Measurements, IEC 60270, 2000.
- [2] รุจันนท์ ศรีเผือกม และ ศุภกิตต์ โชติโก, “การประยุกต์ใช้การตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทย” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559.
- [3] นายศุภชัย บุญปก, “การพัฒนาระบบรู้จำแบบรูปของดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553.
- [4] สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, พิมพ์ครั้งที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [5] Eberhard Lemke. “Guide for Partial Discharge measurements in compliance to IEC 60270.” December, 2008.
- [6] Aditya Kumar and Sachet Ray, Modeling of calibration circuit for partial discharge measurement, National Institute of Technology Rourkela, May, 2013.
- [7] Zulkifli Ahmad. Polymer Dielectric Materials, “Dielectric Material.”, Dr.Marius Alexandru Silaghi (Ed.), InTech, October, 2012.
- [8] พิรุณภูมิ ยุทธโกวิท และคณะ, “การออกแบบและการวิเคราะห์อุปกรณ์รับสัญญาณในระบบป้องกันการดิสชาร์จบางส่วน” คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4

WIMA MKS 4



Metallized Polyester (PET) Capacitors
in PCM 7.5 mm to 52.5 mm. Capacitances from 1000 pF to 680 μF.
Rated Voltages from 50 VDC to 2000 VDC.

Special Features

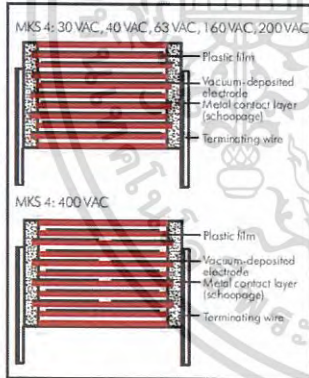
- High volume/capacitance ratio
- Self-healing
- According to RoHS 2011/65/EU

Typical Applications

- For general DC-applications e.g.
- By-pass
 - Blocking
 - Coupling and decoupling
 - Smoothing
 - Timing

Construction

Dielectric:
 Polyethylene-terephthalate (PET) film
Capacitor electrodes:
 Vacuum-deposited
Internal construction:



Encapsulation:
 Solvent-resistant, flame-retardant plastic case with epoxy resin seal, UL 94 V-0
Terminations:
 Tinned wire.
Marking:
 Colour: Red. Marking: Black.
 Epoxy resin seal: Red

Electrical Data

Capacitance range:
 1000 pF to 680 μF (E12-values on request)
Rated voltages:
 50 VDC, 63 VDC, 100 VDC, 250 VDC, 400 VDC, 630 VDC, 1000 VDC, 1500 VDC, 2000 VDC
Capacitance tolerances:
 ± 20%, ± 10%, ± 5%
Operating temperature range:
 U_r = 50 VDC: -55° C to +100° C
 U_r > 63 VDC: -55° C to +125° C
Climatic test category:
 55/100/56 in accordance with IEC
Insulation resistance at +20° C:

Test voltage: 1.6 U_n, 2 sec.
Test specifications:
 In accordance with IEC 60384-2
Voltage derating:
 A voltage derating factor of 1.25 % per K must be applied from +85° C for DC voltages and from +75° C for AC voltages.
Reliability:
 Operational life > 300000 hours (+125° C permitted for 1000 hours max. distributed over the entire operating life)
 Failure rate < 2 fit (0.5 x U_r and 40° C)

U _r	U _{test}	C ≤ 0.33 μF	0.33 μF < C ≤ 680 μF
50 VDC	10V	≥ 5 × 10 ³ MΩ	≥ 1500 sec (MΩ × μF)
63 VDC	50V	≥ 1 × 10 ⁴ MΩ	≥ 3000 sec (MΩ × μF)
100 VDC	100V	≥ 1.5 × 10 ⁴ MΩ	≥ 5000 sec (MΩ × μF)
≥ 250 VDC	100V	≥ 3 × 10 ⁴ MΩ	≥ 10000 sec (MΩ × μF)

Measuring time: 1 min.

Dissipation factors at +20° C: tan δ

at f	C ≤ 0.1 μF	0.1 μF < C ≤ 1.0 μF	C > 1.0 μF
1 kHz	≤ 8 × 10 ⁻³	≤ 8 × 10 ⁻³	≤ 10 × 10 ⁻³
10 kHz	≤ 15 × 10 ⁻³	≤ 15 × 10 ⁻³	-
100 kHz	≤ 30 × 10 ⁻³	-	-

Maximum pulse rise time: for pulses equal to the rated voltage

Capacitance pF/μF	Pulse rise time V/μsec max. operation/test									
	50VDC	63VDC	100VDC	250VDC	400VDC	630VDC	1000VDC	1500VDC	2000VDC	
1000 ... 6800	-	-	-	-	-	-	70/700	90/900	100/1000	
0.01 ... 0.022	-	30/300	30/300	35/350	38/380	40/400	50/500	50/500	60/600	
0.033 ... 0.068	-	15/150	15/150	20/200	25/250	32/320	26/260	35/350	40/400	
0.1 ... 0.22	10/100	10/100	12/120	15/150	17/170	20/200	20/200	35/350	40/400	
0.33 ... 0.68	9/90	9/90	9/90	10/100	10/100	13/130	20/200	20/200	38/380	
1.0 ... 2.2	6/60	6/60	5/50	6/60	9/90	13/130	14/140	15/150	15/150	
3.3 ... 6.8	2.5/25	3/30	3/30	6/60	6/60	9/90	12/120	-	-	
10 ... 22	2.5/25	2.5/25	2.5/25	3/30	6/60	6/60	6/60	-	-	
33 ... 68	2.5/25	2.5/25	2.5/25	3/30	3/30	-	-	-	-	
100 ... 220	2.5/25	2.5/25	2.5/25	0.9/9	-	-	-	-	-	
330 ... 680	0.2/2	0.2/2	0.3/3	-	-	-	-	-	-	

Mechanical Tests

Pull test on pins:
 d ≤ 0.8 φ: 10 N in direction of pins
 d > 0.8 φ: 20 N in direction of pins
 according to IEC 60068-2-21
Vibration: 6 hours at 10 ... 2000 Hz and 0.75 mm displacement amplitude or 10 g in accordance with IEC 60068-2-6
Low air density: 1kPa = 10 mbar in accordance with IEC 60068-2-13
Bump test: 4000 bumps at 390 m/sec² in accordance with IEC 60068-2-29

Packing

Available taped and reeled up to and including case size 15 x 26 x 31.5 / PCM 27.5 mm.
 Detailed taping information and graphs at the end of the catalogue.
 For further details and graphs please refer to Technical Information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

WIMA MKS 4



Continuation

General Data

Capacitance	50 VDC/30 VAC*					63 VDC/40 VAC*				
	W	H	L	PCM**	Part number	W	H	L	PCM**	Part number
0.01 μ F						2.5	7	10	7.5	MKS4C021002A
0.015 "						4	9	13	7.5	MKS4C021003C
0.022 "						2.5	7	10	7.5	MKS4C021502A
0.033 "						4	9	13	10	MKS4C021503C
0.047 "						2.5	7	10	7.5	MKS4C022202A
0.068 "						4	9	13	10	MKS4C022203C
						2.5	7	10	7.5	MKS4C023302A
						4	9	13	10	MKS4C023303C
						2.5	7	10	7.5	MKS4C024702A
						4	9	13	10	MKS4C024703C
						2.5	7	10	7.5	MKS4C026802A
						4	9	13	10	MKS4C026803C
0.1 μ F	2.5	7	10	7.5	MKS4B031002A	2.5	7	10	7.5	MKS4C031002A
0.15 "	2.5	7	10	7.5	MKS4B031502A	4	9	13	10	MKS4C031003C
0.22 "	2.5	7	10	7.5	MKS4B032202A	2.5	7	10	7.5	MKS4C031502A
0.33 "	2.5	7	10	7.5	MKS4B033302A	4	9	13	10	MKS4C031503C
0.47 "	3	8.5	10	7.5	MKS4B034702B	3	8.5	10	7.5	MKS4C032202B
0.68 "	4	9	10	7.5	MKS4B036802C	4	9	13	10	MKS4C032203C
						4	9	13	10	MKS4C033302C
						4	9	13	10	MKS4C033303C
						4	9	10	7.5	MKS4C034702C
						4	9	13	10	MKS4C034703C
						5	10.5	10.3	7.5	MKS4C036802E
						4	9	13	10	MKS4C036803C
1.0 μ F	4	9	10	7.5	MKS4B041002C	5	10.5	10.3	7.5	MKS4C041002E
1.5 "	5	10.5	10.3	7.5	MKS4B041502E	4	9	13	10	MKS4C041003C
2.2 "	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4B042202F	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4C041502F
3.3 "	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4B043302F	5	11	13	10	MKS4C041503F
4.7 "	7.2	12.5	10.3	7.5	MKS4B044702G	5	11	13	10	MKS4C042203F
6.8 "	6	12	13	10	MKS4B044703G	6	12.5	18	15	MKS4C042204C
	7.2	12.5	10.3	7.5	MKS4B046802G	6	12	13	10	MKS4C043303G
	6	12	13	10	MKS4B046803G	7	14	18	15	MKS4C043304D
						7	14	18	15	MKS4C044704D
						6	15	26.5	22.5	MKS4C044705B
						8	15	18	15	MKS4C046804F
						7	16.5	26.5	22.5	MKS4C046805D
10 μ F	9	16	18	15	MKS4B051004J	8.5	18.5	26.5	22.5	MKS4C051005F
15 "	11	21	26.5	22.5	MKS4B051505J	11	21	31.5	27.5	MKS4C051006B
22 "	11	21	31.5	27.5	MKS4B052206B	11	21	26.5	22.5	MKS4C051505I
33 "	13	24	31.5	27.5	MKS4B053306D	11	21	31.5	27.5	MKS4C051506B
47 "	15	26	31.5	27.5	MKS4B054706F	13	24	31.5	27.5	MKS4C052206D
68 "	13	24	41.5	37.5	MKS4B054707C	15	26	31.5	27.5	MKS4C053306F
	20	39.5	31.5	27.5	MKS4B056806J	17	29	31.5	27.5	MKS4C054706G
	17	29	41.5	37.5	MKS4B056807E	17	29	41.5	37.5	MKS4C054707E
						20	39.5	31.5	27.5	MKS4C056806J
						19	32	41.5	37.5	MKS4C056807E
100 μ F	19	32	41.5	37.5	MKS4B061007F	20	39.5	41.5	37.5	MKS4C061007G
150 "	20	39.5	41.5	37.5	MKS4B061507G	24	45.5	41.5	37.5	MKS4C061507H
220 "	24	45.5	41.5	37.5	MKS4B062207H	40	55	41.5	37.5	MKS4C062207K
330 "	40	55	41.5	37.5	MKS4B063307K	45	55	57	52.5	MKS4C063309H
470 "	35	50	57	52.5	MKS4B064709F	45	55	57	52.5	MKS4C064709H
680 "	45	55	57	52.5	MKS4B066809H	45	65	57	52.5	MKS4C066809J

* AC voltages: $f = 50 \text{ Hz}$; $1.4 \times U_{\text{rms}} + U_{\text{DC}} < U_i$

■ New values

** PCM = printed circuit module = pin spacing

Dims. in mm.

Rights reserved to amend design data without prior notification.

04.18

Continuation page 52

51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

WIMA MKS 4



Continuation

General Data

Capacitance	100 VDC/63 VAC*					250 VDC/160 VAC*				
	W	H	L	PCM**	Part number	W	H	L	PCM**	Part number
0.01 µF	2.5	7	10	7.5	MKS4D021002A	3	8.5	10	7.5	MKS4F021002B
	4	9	13	10	MKS4D021003C	4	9	13	10	MKS4F021003C
0.015 "	2.5	7	10	7.5	MKS4D021502A	3	8.5	10	7.5	MKS4F021502B
	4	9	13	10	MKS4D021503C	4	9	13	10	MKS4F021503C
0.022 "	2.5	7	10	7.5	MKS4D022202A	3	8.5	10	7.5	MKS4F022202B
	4	9	13	10	MKS4D022203C	4	9	13	10	MKS4F022203C
0.033 "	2.5	7	10	7.5	MKS4D023302A	3	8.5	10	7.5	MKS4F023302B
	4	9	13	10	MKS4D023303C	4	9	13	10	MKS4F023303C
0.047 "	2.5	7	10	7.5	MKS4D024702A	3	8.5	10	7.5	MKS4F024702B
	4	9	13	10	MKS4D024703C	4	9	13	10	MKS4F024703C
0.068 "	2.5	7	10	7.5	MKS4D026802A	4	9	10	7.5	MKS4F026802C
	4	9	13	10	MKS4D026803C	4	9	13	10	MKS4F026803C
0.1 µF	2.5	7	10	7.5	MKS4D031002A	4	9	10	7.5	MKS4F031002C
	4	9	13	10	MKS4D031003C	4	9	13	10	MKS4F031003C
0.15 "	3	8.5	10	7.5	MKS4D031502B	5	10.5	10.3	7.5	MKS4F031502E
	4	9	13	10	MKS4D031503C	4	9	13	10	MKS4F031503C
0.22 "	3	8.5	10	7.5	MKS4D032202B	5	10.5	10.3	7.5	MKS4F032202E
	4	9	13	10	MKS4D032203C	5	11	13	10	MKS4F032203F
0.33 "	4	9	10	7.5	MKS4D033302C	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4F033302F
	4	9	13	10	MKS4D033303C	5	11	13	10	MKS4F033303F
0.47 "	4.5	9.5	10.3	7.5	MKS4D034702D	6	12	13	10	MKS4F034703G
	4	9	13	10	MKS4D034703C	6	12.5	18	15	MKS4F034704C
0.68 "	5	10.5	10.3	7.5	MKS4D036802E	7	14	18	15	MKS4F036804D
	4	9	13	10	MKS4D036803C					
1.0 µF	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4D041002F	8	15	18	15	MKS4F041004F
	5	11	13	10	MKS4D041003F	6	15	26.5	22.5	MKS4F041005B
1.5 "	6	12	13	10	MKS4D041503G	9	16	18	15	MKS4F041504J
	7	14	18	15	MKS4D041504D	7	16.5	26.5	22.5	MKS4F041505D
2.2 "	8	16	18	15	MKS4D042204F	10.5	19	26.5	22.5	MKS4F042205G
	6	15	26.5	22.5	MKS4D042205B	9	19	31.5	27.5	MKS4F042206A
3.3 "	9	16	18	15	MKS4D043304J	11	21	26.5	22.5	MKS4F043305I
	7	16.5	26.5	22.5	MKS4D043305D	11	21	31.5	27.5	MKS4F043306B
4.7 "	10.5	19	26.5	22.5	MKS4D044705G	11	21	31.5	27.5	MKS4F044706B
	9	19	31.5	27.5	MKS4D044705A					
6.8 "	10.5	19	26.5	22.5	MKS4D046805G	13	24	31.5	27.5	MKS4F046806D
	11	21	31.5	27.5	MKS4D046806B					
10 µF	13	24	31.5	27.5	MKS4D051006D	17	29	31.5	27.5	MKS4F051006G
	13	24	31.5	27.5	MKS4D051506D	17	34.5	31.5	27.5	MKS4F051506I
22 "	17	29	31.5	27.5	MKS4D052206F	17	29	41.5	37.5	MKS4F051507E
	17	29	31.5	27.5	MKS4D053306G	19	32	41.5	37.5	MKS4F052207F
33 "	13	24	41.5	37.5	MKS4D053307C	24	45.5	41.5	37.5	MKS4F053307H
	17	29	41.5	37.5	MKS4D054707E					
47 "	17	29	41.5	37.5	MKS4D056807G	31	46	41.5	37.5	MKS4F054707I
	20	39.5	41.5	37.5	MKS4D056807C	40	55	41.5	37.5	MKS4F056807K
100 µF	24	45.5	41.5	37.5	MKS4D061007H	45	65	57	52.5	MKS4F061009J
	150 "	31	46	41.5	37.5	MKS4D061507I	45	65	57	52.5
220 "	40	55	41.5	37.5	MKS4D062207K					
330 "	45	55	57	52.5	MKS4D063309H					
470 "	45	65	57	52.5	MKS4D064709J					

Part number completion:

Version code: 2-pin = 00
 4-pin = D4

Tolerance: 20% = M
 10% = K
 5% = J

Packing: bulk = S
 Pin length: 6-2 = SD

Taped version see page 148.

* AC voltages: f = 50 Hz; 1.4 x U_{rms} + UDC ≤ U,
 New values

** PCM = printed circuit module = pin spacing

Dims. in mm.

Rights reserved to amend design data without prior notification.

Continuation page 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

WIMA MKS 4



Continuation

General Data

Capacitance	400 VDC/200 VAC*				Part number	630 VDC/400 VAC*				Part number
	W	H	L	PCM**		W	H	L	PCM**	
0.01 µF	3	8.5	10	7.5	MKS4G021002B	3	8.5	10	7.5	MKS4J021002B
	4	9	13	10	MKS4G021003C	4	9	13	10	MKS4J021003C
0.015 "	3	8.5	10	7.5	MKS4G021502B	4	9	10	7.5	MKS4J021502C
	4	9	13	10	MKS4G021503C	4	9	13	10	MKS4J021503C
0.022 "	4	9	10	7.5	MKS4G022202C	4.5	9.5	10.3	7.5	MKS4J022202D
	4	9	13	10	MKS4G022203C	4	9	13	10	MKS4J022203C
0.033 "	4	9	10	7.5	MKS4G023302C	5	10.5	10.3	7.5	MKS4J023302E
	4	9	13	10	MKS4G023303C	5	11	13	10	MKS4J023303F
0.047 "	5	10.5	10.3	7.5	MKS4G024702E	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4J024702F
	4	9	13	10	MKS4G024703C	6	12	13	10	MKS4J024703G
0.068 "	5	10.5	10.3	7.5	MKS4G026802E	6	12	13	10	MKS4J026803G
	4	9	13	10	MKS4G026803C	5	11	18	15	MKS4J026804B
0.1 µF	5	10.5	10.3	7.5	MKS4G031002E	6	12.5	18	15	MKS4J031004C
	5	11	13	10	MKS4G031003F	6	15	26.5	22.5	MKS4J031005B
0.15 "	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4G031502F	7	14	18	15	MKS4J031504D
	6	12	13	10	MKS4G031503G	6	15	26.5	22.5	MKS4J031505B
0.22 "	6	12	13	10	MKS4G032203G	8	15	18	15	MKS4J032204F
	6	12.5	18	15	MKS4G032204C	6	15	26.5	22.5	MKS4J032205B
0.33 "	8	15	18	15	MKS4G033304F	7	16.5	26.5	22.5	MKS4J033305D
						9	19	31.5	27.5	MKS4J033306A
0.47 "	8	15	18	15	MKS4G034704F	10.5	19	26.5	22.5	MKS4J034705G
	6	15	26.5	22.5	MKS4G034705B	9	19	31.5	27.5	MKS4J034706A
0.68 "	7	16.5	26.5	22.5	MKS4G036805D	11	21	26.5	22.5	MKS4J036805I
						11	21	31.5	27.5	MKS4J036806B
1.0 µF	10.5	19	26.5	22.5	MKS4G041005G	11	21	31.5	27.5	MKS4J041006B
	11	21	31.5	27.5	MKS4G041006B					
1.5 "	11	21	26.5	22.5	MKS4G041505I	15	26	31.5	27.5	MKS4J041506F
	11	21	31.5	27.5	MKS4G041506B					
2.2 "	11	21	31.5	27.5	MKS4G042206B	17	34.5	31.5	27.5	MKS4J042206I
						15	26	41.5	37.5	MKS4J042207D
3.3 "	13	24	31.5	27.5	MKS4G043306D	20	39.5	31.5	27.5	MKS4J043306J
						19	32	41.5	37.5	MKS4J043307F
4.7 "	17	29	31.5	27.5	MKS4G044706G	20	39.5	41.5	37.5	MKS4J044707G
6.8 "	17	34.5	31.5	27.5	MKS4G046806I	24	45.5	41.5	37.5	MKS4J046807H
	15	26	41.5	37.5	MKS4G046807D					
10 µF	19	32	41.5	37.5	MKS4G051007F	35	50	41.5	37.5	MKS4J051007J
	15	20	39.5	37.5	MKS4G051507G	40	56	41.5	37.5	MKS4J051507K
22 "	31	46	41.5	37.5	MKS4G052207I	45	55	57	52.5	MKS4J052209H
	33	35	50	41.5	37.5	MKS4G053307J				
47 "	35	50	57	52.5	MKS4G054709F					
	68 "	45	65	57	52.5	MKS4G056809J				

* AC voltages: $f = 50 \text{ Hz}$, $1.4 \times U_{rms} + U_{DC} \leq U_r$

New values

** PCM = printed circuit module = pin spacing

* Admissible AC voltage 250 VAC max.

Dims. in mm.

Part number completion:	
Version code:	2-pin = 00
	4-pin = D4
Tolerance:	20 % = M
	10 % = K
	5 % = J
Packing:	bulk = S
Pin length:	6-2 = SD
Taped version see page 148.	

Rights reserved to amend design data without prior notification.

Continuation page 54

04.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

WIMA MKS 4



Continuation

General Data

Capacitance	1000 VDC/400 VAC*					1500 VDC/400 VAC*				
	W	H	L	PCM**	Part number	W	H	L	PCM**	Part number
1000 pF	3	8.5	10	7.5	MKS4O111002B	4	9	13	10	MKS4S011003C
	4	9	13	10	MKS4O111003C					
1500 "	3	8.5	10	7.5	MKS4O111502B	4	9	13	10	MKS4S011503C
	4	9	13	10	MKS4O111503C					
2200 "	3	8.5	10	7.5	MKS4O112202B	4	9	13	10	MKS4S012203C
	4	9	13	10	MKS4O112203C					
3300 "	4	9	10	7.5	MKS4O113302C	4	9	13	10	MKS4S013303C
	4	9	13	10	MKS4O113303C					
4700 "	4	9	10	7.5	MKS4O114702C	4	9	13	10	MKS4S014703C
	4	9	13	10	MKS4O114703C	5	11	18	15	MKS4S014704B
6800 "	4.5	9.5	10.3	7.5	MKS4O116802D	5	11	13	10	MKS4S016803F
	4	9	13	10	MKS4O116803C	5	11	18	15	MKS4S016804B
0.01 µF	5	10.5	10.3	7.5	MKS4O121002E	6	12	13	10	MKS4S021003G
	5	11	13	10	MKS4O121003F	5	11	18	15	MKS4S021004B
0.015 "	5.7	12.5	10.3	7.5	MKS4O121502F	6	12.5	18	15	MKS4S021504C
	6	12	13	10	MKS4O121503G					
0.022 "	5	11	18	15	MKS4O122204B	7	14	18	15	MKS4S022204D
	6	15	26.5	22.5	MKS4O123304C	6	15	26.5	22.5	MKS4S022205B
0.033 "	6	15	26.5	22.5	MKS4O123305B	8	15	18	15	MKS4S023304F
	7	14	18	15	MKS4O124704D	6	15	26.5	22.5	MKS4S023305B
0.047 "	6	15	26.5	22.5	MKS4O124705B	7	16.5	26.5	22.5	MKS4S024705D
	8	15	18	15	MKS4O126804F					
0.068 "	6	15	26.5	22.5	MKS4O126805B	8.5	18.5	26.5	22.5	MKS4S026805F
0.1 µF	9	16	18	15	MKS4O131004J	10.5	19	26.5	22.5	MKS4S031005G
	7	16.5	26.5	22.5	MKS4O131005D	9	19	31.5	27.5	MKS4S031006A
0.15 "	8.5	18.5	26.5	22.5	MKS4O131505F	11	21	31.5	27.5	MKS4S031506B
	10.5	19	26.5	22.5	MKS4O132205G	13	24	31.5	27.5	MKS4S032206D
0.22 "	11	21	26.5	22.5	MKS4O133305I	17	34.5	31.5	27.5	MKS4S033306I
	11	21	31.5	27.5	MKS4O133306B	17	29	41.5	37.5	MKS4S033307E
0.33 "	13	24	31.5	27.5	MKS4O134706D	20	39.5	31.5	27.5	MKS4S034706J
	17	29	41.5	37.5	MKS4O136806F	17	29	41.5	37.5	MKS4S034707E
0.47 "	15	26	31.5	27.5	MKS4O136806F	20	39.5	41.5	37.5	MKS4S036807G
1.0 µF	17	29	31.5	27.5	MKS4O141006G	24	45.5	41.5	37.5	MKS4S041007H
	17	29	41.5	37.5	MKS4O141007E					
1.5 "	19	32	41.5	37.5	MKS4O141507F	31	46	41.5	37.5	MKS4S041507I
	20	39.5	41.5	37.5	MKS4O142207G	35	50	41.5	37.5	MKS4S042207J
2.2 "	24	45.5	41.5	37.5	MKS4O143307H	35	50	57	52.5	MKS4S042209F
	24	45.5	41.5	37.5	MKS4O144707J	45	55	57	52.5	MKS4S043309H
4.7 "	35	50	41.5	37.5	MKS4O146807K	45	65	57	52.5	MKS4S044709J
	40	55	41.5	37.5	MKS4O146809F					
6.8 "	35	50	57	52.5	MKS4O146809F					
10 µF	45	55	57	52.5	MKS4O151009H					

* AC voltages: $f = 50 \text{ Hz}$, $1.4 \times U_{\text{rms}}$ + UDC < U,
 New values

** PCM = printed circuit module = pin spacing

Dims. in mm.

Rights reserved to amend design data without prior notification.

Part number completion:

Version code: 2-pin = 00
 4-pin = D4
 Tolerance: 20 % = M
 10 % = K
 5 % = J
 Packing: bulk = S
 Pin length: 6-2 = SD
 Taped version see page 148.

Continuation page 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

WIMA MKS 4



Continuation

General Data

Capacitance	2000 VDC/400 VAC*				Part number
	W	H	L	PCM**	
1000 pF	4	9	13	10	MKS4U011003C
1500 "	4	9	13	10	MKS4U011503C
2200 "	5	11	13	10	MKS4U012203F
3300 "	6	12	13	10	MKS4U013303H
	5	11	18	15	MKS4U013304B
4700 "	5	11	18	15	MKS4U014704B
6800 "	6	12.5	18	15	MKS4U016804C
0.01 μF	7	14	18	15	MKS4U021004D
	6	15	26.5	22.5	MKS4U021005B
0.015 "	6	15	26.5	22.5	MKS4U021505B
0.022 "	7	16.5	26.5	22.5	MKS4U022205D
0.033 "	10.5	19	26.5	22.5	MKS4U023305G
0.047 "	11	21	26.5	22.5	MKS4U024705L
	11	21	31.5	27.5	MKS4U024706B
0.068 "	11	21	31.5	27.5	MKS4U026806B
0.1 μF	13	24	31.5	27.5	MKS4U031006D
0.15 "	17	29	31.5	27.5	MKS4U031506G
	13	24	41.5	37.5	MKS4U031507C
0.22 "	17	29	41.5	37.5	MKS4U032207E
0.33 "	20	39.5	41.5	37.5	MKS4U033307G
0.47 "	24	45.5	41.5	37.5	MKS4U034707H
0.68 "	31	46	41.5	37.5	MKS4U036807I
1.0 μF	40	55	41.5	37.5	MKS4U041007K
	35	50	57	52.5	MKS4U041009F
1.5 "	45	55	57	52.5	MKS4U041509H
2.2 "	45	65	57	52.5	MKS4U042209J

* AC voltage: $f = 50 \text{ Hz}; 1.4 \times U_{\text{rms}} + \text{UDC} \leq U_i$

■ New values

** PCM = Printed circuit module = pin spacing

Dims. in mm.

The values of the WIMA MKM 4 ranges according to the main catalogue 2009 are still available on request.

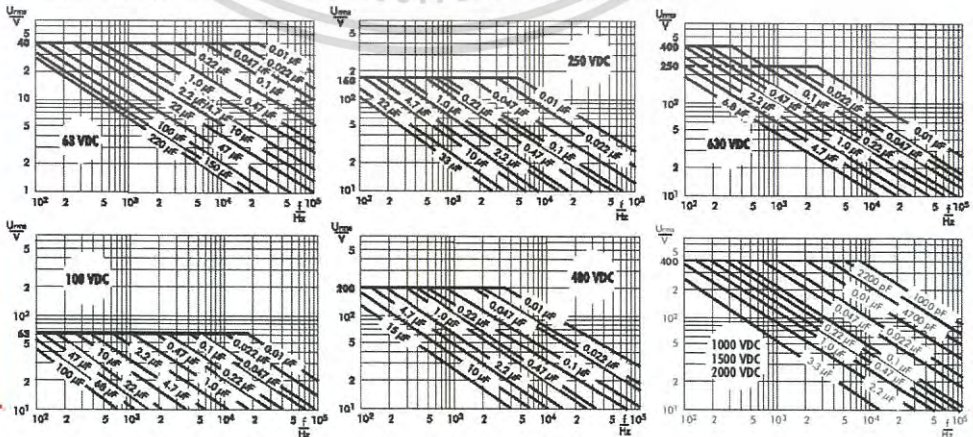
Version code:	2-pin	= 00
	4-pin	= D4
Tolerance:	20 %	= M
	10 %	= K
	5 %	= J
Packing:	bulk	= S
Pin length:	6-2	= SD

Taped version see page 148.

W	PCM	b	φ d	c
17	37.5	10	1.0	0.4
19	37.5	10	1.0	0.4
20	37.5	12.5	1.0	0.4
24	37.5	12.5	1.0	0.4
31	37.5	20	1.0	0.4
35	37.5	20	1.0	0.4
40	37.5	20	1.0	0.4
35	52.5	20	1.2	0.8
45	52.5	20	1.2	0.8

Rights reserved to amend design data without prior notification.

Permissible AC voltage in relation to frequency at 10° C internal temperature rise (general guide).



04.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)



Recommendation for Processing and Application of Through-Hole Capacitors

Soldering Process

Internal temperature of the capacitor must be kept as follows:

- Polyester: preheating: $T_{max} \leq 125^{\circ}C$
soldering: $T_{max} \leq 135^{\circ}C$
- Polypropylene: preheating: $T_{max} \leq 100^{\circ}C$
soldering: $T_{max} \leq 110^{\circ}C$

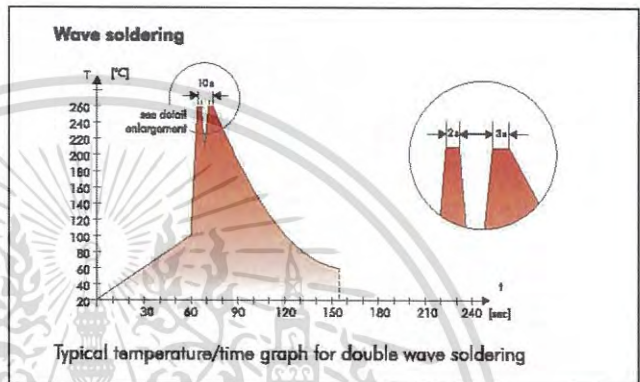
Single wave soldering

Soldering bath temperature: $T < 260^{\circ}C$
Dwell time: $t < 5 \text{ sec}$

Double wave soldering

Soldering bath temperature: $T < 260^{\circ}C$
Dwell time: $\Sigma t < 5 \text{ sec}$

Due to different soldering processes and heat requirements the graphs are to be regarded as a recommendation only.



WIMA Quality and Environmental Philosophy

ISO 9001:2008 Certification

ISO 9001:2008 is an international basic standard of quality assurance systems for all branches of industry. The approval according to ISO 9001:2008 of our factories by the infaz (Institut für Auditing und Zertifizierung) certifies that organisation, equipment and monitoring of quality assurance in our factories correspond to internationally recognized standards.

WIMA WPCS

The WIMA Process Control System (WPCS) is a quality surveillance and optimization system developed by WIMA. WPCS is a major part of the quality-oriented WIMA production. Points of application during production process:

- incoming material inspection
- metallization
- film inspection
- schoopage
- pre-healing
- pin attachment
- cast resin preparation/encapsulation
- 100% final inspection
- Testing as per customer requirements

WIMA Environmental Policy

All WIMA capacitors, irrespective of whether through-hole devices or SMD, are made of environmentally friendly materials. Neither during manufacture nor in the product itself any toxic substances are used, e.g.

- Lead
- PCB
- CFC
- Hydrocarbon chloride
- Chromium 6+
- PBB/PBDE
- Arsenic
- Cadmium
- Mercury
- etc.

We merely use pure, recyclable materials for packing our components, such as:

- carton
- cardboard
- adhesive tape made of paper
- polystyrene

We almost completely refrain from using packing materials such as:

- foamed polystyrene (Styropor®)
- adhesive tapes made of plastic
- metal clips

RoHS Compliance

According to the RoHS Directive 2011/65/EU certain hazardous substances like e.g. lead, cadmium, mercury must not be used any longer in electronic equipment as of July 1st, 2006. For the sake of the environment WIMA has refrained from using such substances since years already.



WIMA Kondensatoren sind bleifrei
konform mit der RoHS 2011/65/EU
WIMA Kondensatoren sind bleifrei
konform mit der RoHS 2011/65/EU


Tape for lead-free WIMA capacitors

DIN EN ISO 14001:2004

WIMA's environmental management has been established in accordance with the guidelines of DIN EN ISO 14001:2004 to optimize the production processes with regard to energy and resources.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)



Typical Dimensions for Taping Configuration

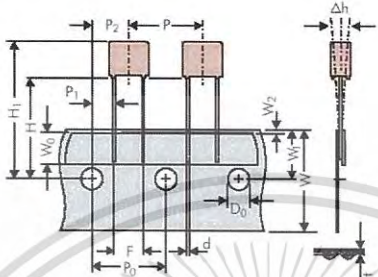


Diagram 1:
PCM 2.5/5/7.5mm

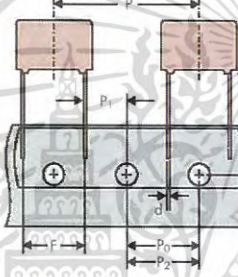


Diagram 2: PCM 10/15mm

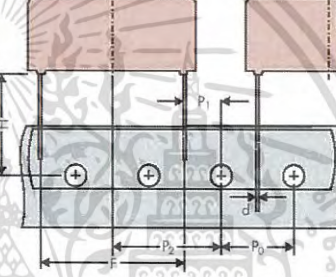


Diagram 3: PCM 22.5 and 27.5mm
*PCM 27.5 taping possible with two feed holes between components


Designation	Symbol	Dimensions for Radial Taping						
		PCM 2.5 taping	PCM 5 taping	PCM 7.5 taping	PCM 10 taping*	PCM 15 taping*	PCM 22.5 taping	PCM 27.5 taping
Carrier tape width	W	18.0 ±0.5	18.0 ±0.5	18.0 ±0.5	18.0 ±0.5	18.0 ±0.5	18.0 ±0.5	18.0 ±0.5
Hold-down tape width	W ₀	6.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>	6.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>	12.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>	12.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>	12.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>	12.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>	12.0 <small>for hot-sealing adhesive tape</small>
Hole position	W ₁	9.0 ±0.5	9.0 ±0.5	9.0 ±0.5	9.0 ±0.5	9.0 ±0.5	9.0 ±0.5	9.0 ±0.5
Hold-down tape position	W ₂	0.5 to 3.0 max.	0.5 to 3.0 max.	0.5 to 3.0 max.	0.5 to 3.0 max.	0.5 to 3.0 max.	0.5 to 3.0 max.	0.5 to 3.0 max.
Feed hole diameter	D ₀	4.0 ±0.2	4.0 ±0.2	4.0 ±0.2	4.0 ±0.2	4.0 ±0.2	4.0 ±0.2	4.0 ±0.2
Pitch of component	P	12.7 ±0.1	12.7 ±0.1	12.7 ±0.1	25.4 ±0.1	25.4 ±0.1	38.1 ±0.1	38.1 ±0.1 or 50.8 ±0.1
Feed hole pitch	P ₀	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>	12.7 ±0.3 <small>cumulative pitch error max. 1.0 mm/20 pitch</small>
Feed hole centre to pin	F ₁	5.1 ±0.5	3.85 ±0.7	2.6 ±0.7	7.9 ±0.7	5.2 ±0.7	7.8 ±0.7	5.3 ±0.7
Hole centre to component centre	P ₂	6.35 ±1.3	6.35 ±1.3	6.35 ±1.3	12.7 ±1.3	12.7 ±1.3	19.05 ±1.3	19.05 ±1.3
Feed hole centre to bottom edge of the component	H	16.5 ±0.3	16.5 ±0.3	16.5 ±0.3	16.5 ±0.3	16.5 ±0.3	16.5 ±0.3	16.5 ±0.3
Feed hole centre to top edge of the component	H ₁	HH ₁ component < H ₁ 32.25 max.	HH ₁ component < H ₁ 32.25 max.	HH ₁ component < H ₁ 34.5 to 31.5	HH ₁ component < H ₁ 25.0 to 31.5	HH ₁ component < H ₁ 26.0 to 37.0	HH ₁ component < H ₁ 30.0 to 43.0	HH ₁ component < H ₁ 35.0 to 45.0
Pin spacing at upper edge of carrier tape	F	2.5 ±0.5	5.0 ±0.8 -0.2	7.5 ±0.8	10.0 ±0.8	15 ±0.8	22.5 ±0.8	27.5 ±0.8
Pin diameter	d	0.4 ±0.05	0.5 ±0.05	*0.5 ±0.05 or 0.6 ±0.05 -0.05	*0.5 ±0.05 or 0.6 ±0.05 -0.05	0.8 ±0.08 -0.05	0.8 ±0.08 -0.05	0.8 ±0.08 -0.05
Component alignment	Δh	± 2.0 max.	± 2.0 max.	± 3.0 max.	± 3.0 max.	± 3.0 max.	± 3.0 max.	± 3.0 max.
Total tape thickness	t	0.7 ±0.2	0.7 ±0.2	0.7 ±0.2	0.7 ±0.2	0.7 ±0.2	0.7 ±0.2	0.7 ±0.2
Package <small>(see also page 149)</small>		REEL/AMMO			AMMO			
		REEL φ 300 max φ 30 ±1	φ 32 ±2 φ 58 ±2 } depending on comp. dimensions		REEL φ 300 max φ 30 ±1	φ 38 ±2 φ 58 ±2	REEL φ 200 max φ 25 ±1	φ 44 ±2 φ 68 ±2 } depending on PCM and component dimensions
Unit		see details page 150.						

Dims in mm.
* Diameter of pins see General Data.
* PCM 10 and PCM 15 can be crimped to PCM 7.5.
Position of components according to PCM 7.5 sketch 11. P₀ = 12.7 or 15.0 is possible

Please clarify customer-specific deviations with the manufacturer.

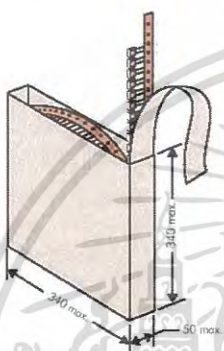
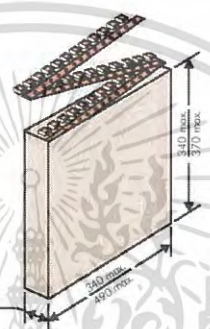
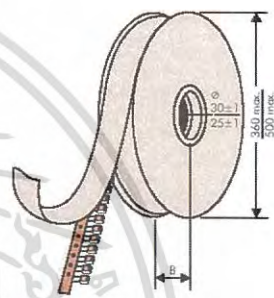
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)



Types of Tape Packaging of Capacitors for Automatic Radial Insertion

■ ROLL Packaging
■ AMMO Packaging
■ REEL Packaging

BAR CODE (Labelling)

Labelling of package units in plain text and with alphanumerical Bar Code

Scanner decoding of

- WIMA supplier number
- Customer's P/O number
- Customer's part number
- WIMA confirmation number
- WIMA part number
- Lot number
- Date code
- Quantity

In addition part description of

- article
- capacitance value
- rated voltage
- dimensions
- capacitance tolerance
- packing

as well as gross weight and customer's name are indicated in plain text.

WIMA Best Capacitors Made In Germany		Werk Unna
Supplier-ID: 123456789	RoHS 2011/65/EU	Date Code: 08.10.10
Purchase Order No. (PO): Bestelling xyz	Customer Part No.: KUNDETEILENUMMER	Quantity: 5.000
WIMA Confirmation No.: 0001004053000100	WIMA Part No.: MKS2C034701C00K88D	Customer No.: 0000100002
Handling Unit: 1000067326	MKS 2 MKS 2 0.47 µF 63 VDC 3.5x8.5x7.2 RMS Standard 10% Loss - Standard Delta 6-2 Verlaga Oberker Inland	QTY: 5.000 COO: DE Gross Weight (g): 1870 Week 03/2011

BARCODE „Code 39“

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

Packing Quantities for Capacitors with Radial Pins in PCM 2.5 mm to 22.5 mm



PCM	Size				bulk	pcs. per packing unit										
						ROLL				REEL				AMMO		
	W	H	L	Codes		S	N	O	F	I	H	J	A	C	B	D
2.5 mm	2.5	7	4.6	0B	5000											
	3	7.5	4.6	0C	5000											
	3.8	8.5	4.6	0D	5000											
	4.6	9	4.6	0E	5000											
	5.5	10	4.6	0F	5000											
5 mm	2.5	6.5	7.2	1A	5000											
	3	7.5	7.2	1B	5000											
	3.5	8.5	7.2	1C	5000											
	4.5	6	7.2	1D	6000											
	4.5	9.5	7.2	1E	4000											
	5	10	7.2	1F	3500											
	5.5	7	7.2	1G	4000											
	5.5	11.5	7.2	1H	2500											
	6.5	8	7.2	1I	2500											
	7.2	8.5	7.2	1J	2500											
	7.2	13	7.2	1K	2000											
	8.5	10	7.2	1L	2000											
8.5	14	7.2	1M	1500												
11	16	7.2	1N	1000												
7.5 mm	2.5	7	10	2A	5000											
	3	8.5	10	2B	5000											
	4	9	10	2C	4000											
	4.5	9.5	10.3	2D	3500											
	5	10.5	10.3	2E	3000											
	5.7	12.5	10.3	2F	2000											
	7.2	12.5	10.3	2G	1500											
10 mm	3	9	13	3A	3000											
	4	8.5	13.5	3A	3000											
	4	9	13	3C	3000											
	4	9.5	13	3D	3000											
	5	10	13.5	3B	2000											
	5	11	13	3F	3000											
	6	12	13	3G	2400											
	6	12.5	13	3H	2400											
8	12	13	3I	2000												
15 mm	5	11	18	4B	2400											
	5	13	19	4C	1000											
	6	12.5	18	4C	2000											
	6	14	19	4D	1000											
	7	14	18	4D	1600											
	7	15	19	4E	1000											
	8	15	18	4F	1200											
	8	17	19	4F	500											
	9	14	18	4H	1200											
	9	16	18	4J	900											
	10	18	19	4G	500											
11	14	18	4M	1000												
22.5 mm	5	14	26.5	5A	1200											
	6	15	26.5	5B	1000											
	7	16.5	26.5	5D	760											
	8	20	28	5H	500											
	8.5	18.5	26.5	5F	500											
	10	22	28	5I	570*											
	10.5	19	26.5	5G	594*											
	10.5	20.5	26.5	5H	594*											
11	21	26.5	5I	561*												
12	24	28	5J	480*												


* TPS (Troy-Pack-System): Plate versions may have different packing units. Samples and pre-production needs on request.

Moulded versions.

Rights reserved to amend design data without prior notification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)



Packing Quantities for Capacitors with Radial Pins in PCM 27.5 mm to 52.5 mm

PCM	Size				bulk	pcs. per packing unit										
						ROLL		REEL				AMMO				
	W	H	L	Codes		S	H16.5	H18.5	H16.5	H18.5	H16.5	H18.5	H16.5	H18.5	H16.5	H18.5
27.5 mm	9	19	31.5	6A	567*	-	-	-	-	460/340*	-	-	-	-	-	420
	11	21	31.5	6B	459*	-	-	-	-	380/280*	-	-	-	-	-	350
	13	24	31.5	6D	378*	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	290
	13	25	33	6F	406*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	26	31.5	6F	324*	-	-	-	-	270	-	-	-	-	-	250
	15	26	33	6L	324*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	29	31.5	6G	198*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	34.5	31.5	6I	198*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	32	33	6M	162*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	39.5	31.5	6J	162*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
37.5 mm	9	19	41.5	7A	441*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11	22	41.5	7B	357*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	24	41.5	7C	294*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	26	41.5	7D	252*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	29	41.5	7E	154*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19	32	41.5	7F	140*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	39.5	41.5	7G	126*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	45.5	41.5	7H	112*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	46	41.5	7I	84*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	50	41.5	7J	35*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	55	41.5	7K	28*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
48.5 mm	19	31	56	8D	120*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23	34	56	8E	80*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27	37.5	56	8H	84*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	33	48	56	8J	25*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	37	54	56	8L	25*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52.5 mm	25	45	57	9D	70*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	45	57	9E	60*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	35	50	57	9F	25*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	55	57	9H	20*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	65	57	9J	20*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* for 2-inch transport pitches. Moulded versions. Rights reserved to amend design data without prior notification.
 * TPS (Tray-Packing-System), Plate versions may have different packing units.
 Samples and pre-production needs on request.

Updated data on www.wima.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติตัวเก็บประจุ WIMA MKS-4 (ต่อ)

WIMA Part Number System



A WIMA part number consists of 18 digits and is composed as follows:

- Field 1 - 4: Type description
- Field 5 - 6: Rated voltage
- Field 7 - 10: Capacitance
- Field 11 - 12: Size and PCM
- Field 13 - 14: Version code (e.g. Snubber versions)
- Field 15: Capacitance tolerance
- Field 16: Packing
- Field 17 - 18: Pin length (untaped)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
M	K	S	2	C	0	2	1	0	0	1	A	0	0	M	S	S	D
MKS 2				63 VDC		0.01 μ F			2.5x6.5x7.2			-		20%		bulk	6-2

Type description:	Rated voltage:	Capacitance:	Size:	Tolerance:
SMD-PET = SMDT	50 VDC = B0	22 pF = 0022	4.8 x 3.3 x 3 Size 1812 = KA	\pm 20% = M
SMD-PEN = SMDN	63 VDC = C0	47 pF = 0047	4.8 x 3.3 x 4 Size 1812 = KB	\pm 10% = K
SMD-PPS = SMDI	100 VDC = D0	100 pF = 0100	5.7 x 5.1 x 3.5 Size 2220 = QA	\pm 5% = J
FKP 02 = FKP0	250 VDC = F0	150 pF = 0150	5.7 x 5.1 x 4.5 Size 2220 = QB	\pm 2.5% = H
MKS 02 = MKS0	400 VDC = G0	220 pF = 0220	7.2 x 6.1 x 3 Size 2824 = TA	\pm 1% = E
FKS 2 = FKS2	450 VDC = H0	330 pF = 0330	7.2 x 6.1 x 5 Size 2824 = TB	...
FKP 2 = FKP2	520 VDC = H2	470 pF = 0470	10.2 x 7.6 x 5 Size 4030 = VA	
FKS 3 = FKS3	600 VDC = I0	680 pF = 0680	12.7 x 10.2 x 6 Size 5040 = XA	
FKP 3 = FKP 3	630 VDC = J0	1000 pF = 1100	15.3 x 13.7 x 7 Size 6054 = YA	
MKS 2 = MKS2	700 VDC = K0	1500 pF = 1150	2.5 x 7 x 4.6 PCM 2.5 = OB	Packing:
MKP 2 = MKP2	800 VDC = L0	2200 pF = 1220	3 x 7.5 x 4.6 PCM 2.5 = OC	AMMO H16.5 340x340 = A
MKS 4 = MKS4	850 VDC = M0	3300 pF = 1330	2.5 x 6.5 x 7.2 PCM 5 = IA	AMMO H16.5 490x370 = B
MKP 4C = MKPC	900 VDC = N0	4700 pF = 1470	3 x 7.5 x 7.2 PCM 5 = IB	AMMO H18.5 340x340 = C
MKP 4 = MKP4	1000 VDC = O1	6800 pF = 1680	3 x 7.5 x 7.2 PCM 5 = 2A	AMMO H18.5 490x370 = D
MKP 10 = MKP1	1100 VDC = P0	0.01 μ F = 2100	2.5 x 7 x 10 PCM 7.5 = 2A	REEL H16.5 360 = F
FKP 1 = FKP1	1200 VDC = Q0	0.022 μ F = 2220	3 x 8.5 x 10 PCM 7.5 = 2B	REEL H16.5 500 = H
MKP-X2 = MKX2	1250 VDC = R0	0.047 μ F = 2470	3 x 9 x 13 PCM 10 = 3A	REEL H18.5 360 = I
MKP-X1 R = MKX1	1500 VDC = S0	0.1 μ F = 3100	4 x 9 x 13 PCM 10 = 3C	REEL H18.5 500 = J
MKP-Y2 = MKY2	1600 VDC = T0	0.22 μ F = 3220	5 x 11 x 18 PCM 15 = 4B	ROLL H16.5 = N
MP 3-X2 = MPX2	2000 VDC = U0	0.47 μ F = 3470	6 x 12.5 x 18 PCM 15 = 4C	ROLL H18.5 = O
MP 3-X1 = MPX1	2500 VDC = V0	1 μ F = 4100	5 x 14 x 26.5 PCM 22.5 = 5A	BLISTER W12 180 = P
MP 3-Y2 = MPY2	3000 VDC = W0	2.2 μ F = 4220	6 x 15 x 26.5 PCM 22.5 = 5B	BLISTER W12 330 = Q
MP 3R-Y2 = MPRY	4000 VDC = X0	4.7 μ F = 4470	9 x 19 x 31.5 PCM 27.5 = 6A	BLISTER W16 330 = R
MKP 4F = MKPF	6000 VDC = Y0	10 μ F = 5100	11 x 21 x 31.5 PCM 27.5 = 6B	BLISTER W24 330 = T
Snubber MKP = SNMP	250 VAC = 0W	22 μ F = 5220	9 x 19 x 41.5 PCM 37.5 = 7A	Bulk/TPS Standard = S
Snubber FKP = SNFP	275 VAC = 1W	47 μ F = 5470	11 x 22 x 41.5 PCM 37.5 = 7B	...
GTO MKP = G TOM	300 VAC = 2W	100 μ F = 6100	19 x 31 x 56 PCM 48.5 = 8D	
DC-LINK MKP 3 = DCP3	305 VAC = 2W	100 μ F = 6100	25 x 45 x 57 PCM 52.5 = 9D	
DC-LINK MKP 4 = DCP4	350 VAC = 3W	220 μ F = 6220	...	
DC-LINK MKP 4S = DCP5	400 VAC = 4W	1000 μ F = 7100		
DC-LINK MKP 5 = DCP5	440 VAC = 4W	1500 μ F = 7150		
DC-LINK MKP 6 = DCP6	500 VAC = 5W	...		
DC-LINK HC = DCHC	...			
DC-LINK HY = DCHY				
			Version code:	Pin length (untaped)
			Standard = 00	3.5 \pm 0.5 = C9
			Version A1 = 1A	6-2 = SD
			Version A1.1.1 = 1B	16 \pm 1 = P1
			Version A2 = 2A	...
			...	Pin length (taped)
				none = 00

The data on this page is not complete and serves only to explain the part number system. Part number information is listed on the pages of the respective WIMA range.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270

PARTIAL DISCHARGE DETECTION SYSTEM ACCORDING TO IEC 60270

ปฐวีกันต์ จันทรสuksi , ภูวิวัชร โขติประดิษฐ์ และ ยศวีร์ รัตนคช

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: pataveekarn_j@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ซึ่งได้มีการพัฒนาชุดอุปกรณ์ดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยเนื้อหาของปริยญาณิพนธ์นี้ได้แบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่หนึ่ง การออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor) โดยมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 1 nF ซึ่งประกอบด้วยการออกแบบภายใน (Internal part) และการออกแบบภายนอก (External part) และส่วนที่สอง การออกแบบอุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device) โดยนำชุดอุปกรณ์ที่ทำการพัฒนาไปวิเคราะห์ผลการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน แล้วจึงนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับผลของชุดอุปกรณ์ตรวจจับอ้างอิง โดยทำการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ซึ่งคาดว่าชุดอุปกรณ์ตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนั้นจะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับชุดตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนที่ใช้ประจำ ณ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สจล. และตรงตามมาตรฐาน IEC 60270

คำสำคัญ : ชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเกิดการดิสชาร์จบางส่วน, การเกิดการดิสชาร์จบางส่วน

Abstract

This paper presents design and construction of a partial discharge detection system according to IEC standard. The scope of this project is divided into two sections. The first part is to introduce the design of a high-voltage coupling capacitor as of 1-nF capacitance. Secondly, it is to demonstrate the design of a coupling device. The developed equipment set has been tested to detect partial discharge in the high voltage laboratory, and also compared with the result from a commercial detector. Good agreements were observed in all experiments. From the experimental results, the validity of the developed equipment has been confirmed and accords to IEC 60270 standard.

Keyword: partial discharge detection system, partial discharge

1. บทนำ

การตรวจสอบและวินิจฉัยคุณภาพของฉนวนไฟฟ้าที่นั่นถือเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแรงสูง โดยการตรวจติดตามอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะทำให้พบความบกพร่องในอุปกรณ์ก่อนที่จะได้รับความเสียหายและจะทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยการตรวจสภาพของฉนวนนั้นจะใช้วิธีการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสูงวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสภาพของฉนวน ทั้งในแง่ของความเสื่อมของฉนวนหรือการเกิดเบรคดาวน์ในเนื้อฉนวน เมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจสอบโดยวิธีอื่น เช่น วิธีการทางเคมีหรือวิธีตรวจจับความร้อน ซึ่งในการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละครั้งจะปลดปล่อยพลังงานออกมาและทำให้เกิดปรากฏการณ์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของพลังงานต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสง และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือไม่เนื้อเดียวกัน หรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตเป็นเหตุให้เกิดความคิดฟร็อกชอยด์ตัวมากขึ้นและอาจนำไปสู่การเกิดเบรคดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะลดลง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดิสชาร์จบางส่วน [1][2]

ความหมายของการดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ตามคำนิยามของมาตรฐาน IEC 60270 กล่าวว่า การดิสชาร์จบางส่วน เป็นการดิสชาร์จทางไฟฟ้าเฉพาะส่วนซึ่งเชื่อมต่อบางส่วนของฉนวนที่อยู่ระหว่างตัวนำไฟฟ้าแต่ไม่สามารถเชื่อมโยระหว่างตัวนำไฟฟ้าให้ถึงกันได้ นั่นคือ การดิสชาร์จบางส่วนเป็นการดิสชาร์จเบรคดาวน์แบบไม่สมบูรณ์ เกิดขึ้นกับฉนวนที่คั่นอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดซึ่งอาจจะเป็นฉนวนแข็ง ฉนวนเหลวหรือฉนวนแก๊สก็ได้ เมื่อการดิสชาร์จบางส่วนเกิดในโพรง หรือช่องว่างที่อยู่ในฉนวนแข็ง หรือเกิดในโพรงแก๊สที่อยู่ในฉนวนเหลว หรือเกิดที่อากาศบริเวณรอบอิเล็กโทรด พลังงานที่ทำให้เกิดการดิสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นตัวนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ตลอดแนวระหว่งอิเล็กโตรด การดิซชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบ
 ฃนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฃนวนที่มีความไม่
 สม่ำเสมอ หรือไม่ป็นเนื้อเดียวกัน หรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียด
 สนามไฟฟ้าบางจุดในฃนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต
 ทำให้เกิดเบรคดาวน์เพียงบางส่วนเท่านั้น แต่ไม่อาจทำให้เกิดเบรคดาวน์
 โดยสมบูรณ์ได้แม้ว่าขนาดการดิซชาร์จบางส่วน โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก
 แต่การดิซชาร์จบางส่วนก็สามารถก่อให้เกิดการทำลายเนื้อฃนวน
 และอาจนำไปสู่ความผิดพลาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้การตรวจวัด
 การดิซชาร์จบางส่วนป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง และผลจากการตรวจวัด
 การดิซชาร์จบางส่วนจะให้ข้อมูลสภาวะของเนื้อฃนวน หรือข้อมูล
 เกี่ยวกับขนาดและลักษณะของการเกิดการดิซชาร์จบางส่วน

2.2 ประเภทของการดิซชาร์จบางส่วน [3]

การดิซชาร์จบางส่วนแบ่งออกเป็น 4 แบบคือ

2.2.1. การดิซชาร์จภายใน (Internal discharge) เกิดขึ้นใน
 เนื้อฃนวนที่มีสิ่งเจือปน ซึ่งสิ่งเจือปนนั้นมีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกต่ำ
 และมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้บริเวณนี้เกิด
 เบรคดาวน์ก่อน การดิซชาร์จภายในเกิดขึ้นเนื่องมาจากมีโพรงอากาศ
 หรือสิ่งแปลกปลอมที่มีค่าสภาพยอมต่ำกว่าเนื้อฃนวนหลักเจือปนอยู่ใน
 เนื้อฃนวนแข็งหรือฃนวนเหลว (น้ำมันหม้อแปลง) ส่งผลให้ความเครียด
 สนามไฟฟ้าในโพรงอากาศ หรือสิ่งเจือปนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าฃนวน
 รอบๆ การดิซชาร์จภายในสามารถเกิดในฃนวนพลาสติก กระจกฃนวน
 น้ำมันฃนวนเรซิน เป็นต้น

2.2.2 โครนาดิซชาร์จ (Corona discharge) เกิดขึ้นได้ในแก๊ส
 และฃนวนเหลว บริเวณอิเล็กโตรดปลายแหลมหรือลักษณะขอบคม ซึ่งม
 ีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง โครนาดิซชาร์จสามารถจำลองได้โดยใช้
 อิเล็กโตรดปลายแหลมกับอิเล็กโตรดระนาบ โดยในการจำลองถ้าให้
 อิเล็กโตรดปลายแหลมป็นด้านแรงสูงและให้อิเล็กโตรดระนาบป็นด้าน
 ต่อดงดิน การดิซชาร์จก็จะเกิดขึ้นด้านครึ่งทศของรูปคลื่นแรงดันและถ้า
 เพิ่มแรงดันขึ้นอีกก็จะเกิดทั้งครึ่งลบและครึ่งบวกของรูปคลื่นแรงดัน ถ้า
 อิเล็กโตรดปลายแหลมป็นด้านต่อดงดินและให้อิเล็กโตรดระนาบป็น
 ด้านแรงสูง การดิซชาร์จก็จะเกิดขึ้นที่ครึ่งบวกของรูปคลื่นแรงดันก่อน

2.2.3. การดิซชาร์จตามผิว (Surface discharge) มักจะเกิดขึ้น
 ถ้าผิวฃนวนบริเวณนั้นมีความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวขนานหรือแนว
 เดียวกันกับผิวฃนวน การดิซชาร์จตามผิวสามารถเกิดขึ้นได้กับปลอก
 ฃนวนนำสาย ปลายสายเคเบิต เป็นต้น การดิซชาร์จจะส่งผลต่อ
 สนามไฟฟ้าป็นผลให้แผ่ขยายออกจากบริเวณพื้นผิว (บริเวณแรกทีการ
 ดิซชาร์จเริ่มเกิด) ที่ซึ่งองค์ประกอบพื้นผิวแรกเริ่มของสนามไฟฟ้ามีค่าสูง
 พอทีจะทำให้เกิดการดิซชาร์จ การดิซชาร์จตามผิวเกิดได้ทั้งในอากาศ
 หรือในน้ำมันฃนวนและในแก๊ส SF₆ และอาจเกิดตามแนวรอยต่อของ

ฃนวนต่างชนิดกัน (ของแข็งกับแก๊ส หรือของแข็งกับของเหลว) เมื่อมี
 ความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวรอยต่อของฃนวนสูงเกินค่าวิกฤต

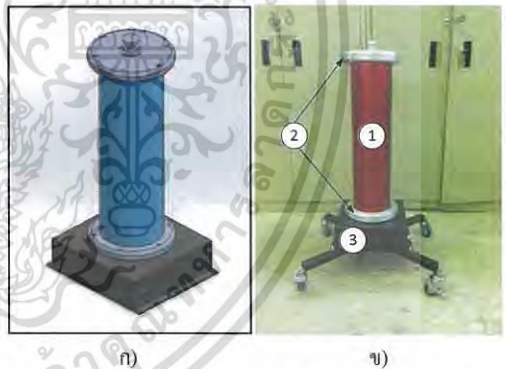
3. การออกแบบและการสร้าง

3.1 การออกแบบตัวเก็บประจุคัปปลิง

ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Coupling capacitor, C_c) ทีออกแบบมี
 ขนาดความจุไฟฟ้าขนาด 1nF ตัว โดยใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิงขนาดความ
 จุไฟฟ้าขนาด 10 nF จำนวน 10 ตัว มาทำการต่ออนุกรมกัน จากนั้นทำ
 การสอดใส่ลงในแผ่นอะคลิลิก แล้วใส่ลงในทรงกระบอกกวางทีทำมา
 จาก Polyvinyl chloride (PVC) โดยท่มีความสูงประมาณ 58 cm และมี
 เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว แล้วทำการประกบด้านบนและด้านล่างด้วยแผ่น
 ทรงกลมทีทำมาจากอะลูมิเนียม ทีมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 cm มีความหนา
 3.2 cm จากนั้นนำมาต่อดงฐานทรงสี่เหลี่ยมทีมีล่อกทั้ง 4 มุม โดยฐานทำมา
 จากเหล็ก มีขนาดกว้าง 29 cm ยาว 30 cm สูง 10.4 cm การออกแบบสร้าง
 ตัวเก็บประจุคัปปลิง โดยได้มีการแบ่งการออกแบบป็นสองส่วนคือ

3.1.1 ส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง

โดยมีส่วนประกอบทีสำคัญได้แก่ ฐานของตัวเก็บประจุคัปปลิง
 (Coupling capacitor base) กราวด์อิเล็กโตรด (GND electrode) ท่อโพล
 ไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride tube) ไฮโวลต์อิเล็กโตรด
 (HV electrode)

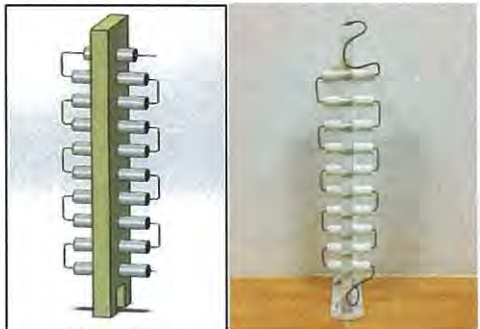


รูปที่ 1 ส่วนประกอบภายนอกตัวเก็บประจุคัปปลิง

ก) แบบจำลองตัวเก็บประจุคัปปลิง ข) ตัวเก็บประจุคัปปลิง

3.1.2 ส่วนประกอบภายในตัวเก็บประจุคัปปลิง

มีส่วนประกอบทีสำคัญได้แก่ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) แท่ง
 ทองแดง (Copper tube) แท่งอะคลิลิก (Holder acrylic)



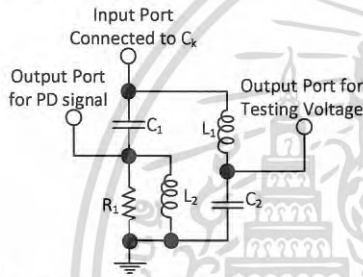
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งทีมีการนำไปใช้

ก) ข)
รูปที่ 2 ส่วนประกอบภายในตัวเก็บประจุคัปปลิง

ก) แบบจำลองตัวเก็บประจุคัปปลิง ข) ตัวเก็บประจุคัปปลิง

3.2 การออกแบบและประกอบสร้างอุปกรณ์รับสัญญาณ [4]

อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device : C_u) โดยที่อุปกรณ์รับสัญญาณมีจุดลักษณะในด้านการวัดการดิสราร์จบางส่วนและลดทอนสัญญาณรบกวน จึงจำเป็นต้องเลือก ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ที่เหมาะสมด้วย ในส่วนของการวัดการดิสราร์จบางส่วนต้องเลือกค่าส่วนประกอบให้เหมาะสมกับความถี่ตัดด้านต่ำและความถี่ตัดด้านสูง ในส่วนนี้จำเป็นต้องลดทอนสัญญาณรบกวนให้มีผลกระทบต่อสัญญาณการดิสราร์จบางส่วนน้อยที่สุด จากรูปที่ 3 จะเห็นว่ามีส่วนประกอบทั้งหมดดังนี้

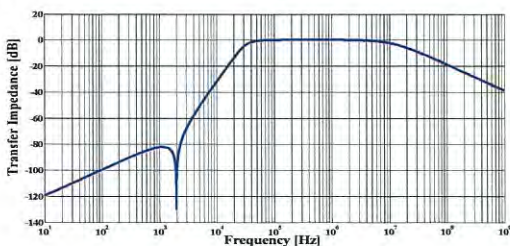


รูปที่ 3 วงจรจำลองการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ

ตารางที่ 1 ปริมาณทางไฟฟ้าของอุปกรณ์รับสัญญาณ

Circuit component	Circuit parameter
C_1	75 nF
C_2	44 μ F
L_1	150 μ H
L_2	470 μ H
R_1	50 Ω

ซึ่งในการออกแบบเลือกความถี่ในการลดทอนที่อยู่ในช่วง 30kHz ถึง 20MHz และเอาที่พุดของอุปกรณ์รับสัญญาณ มี 2 เอาท์พุด คือ การวัดแรงดัน และการวัดการดิสราร์จบางส่วน



รูปที่ 4 ผลตอบสนองทางความถี่

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความถี่ (แกนนอน) กับอิมพีแดนซ์ถ่ายโอน (แกนตั้ง) ที่วัดจากตำแหน่ง พอร์ตต่อขาออกกั้วสัญญาณการดิสราร์จบางส่วน จากในรูปที่ 4 โดยเป็นการวัดแรงดันที่มีผลตอบสนองทางความถี่ต่างๆ และ จะเห็นได้ว่า สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 30 kHz และสัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 20 MHz จะถูกลดทอนสัญญาณลง



รูปที่ 5 อุปกรณ์รับสัญญาณ

- 1) จุดต่อมาจากตัวเก็บประจุคัปปลิง
- 2) พอร์ตต่อขาออกกั้วสัญญาณการดิสราร์จบางส่วน
- 3) พอร์ตต่อเข้าแหล่งจ่าย
- 4) กราวด์

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบเปรียบเทียบการเกิดการดิสราร์จบางส่วนชนิดต่างๆ โดยใช้ อุปกรณ์รับสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณใช้เป็นตัวอ้างอิงกับอุปกรณ์รับสัญญาณ ที่เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

ซึ่งในการทดสอบการเกิดการดิสราร์จบางส่วนจะทดสอบทั้งหมด 3 กรณีใหญ่ๆ คือ

4.1. การดิสราร์จบางส่วนแบบโคโรน่า ซึ่งในกรณีการดิสราร์จบางส่วนแบบโคโรน่า แบ่งกรณีย่อยๆ ได้อีก 2 กรณี คือ

- 4.1.1 การดิสราร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านแรงดันสูง
- 4.1.2 การดิสราร์จบางส่วนแบบโคโรน่าด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันต่ำ
- 4.2. การดิสราร์จบางส่วนตามผิวฉนวน
- 4.3. การดิสราร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน



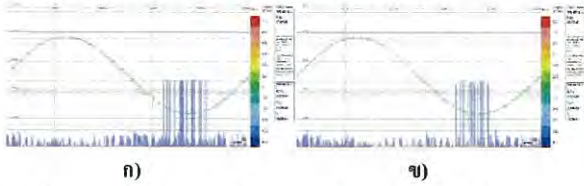
ก) ข) ค)

รูปที่ 6 อุปกรณ์ทดสอบ

- ก) อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ทดสอบการเกิดการดิสราร์จบางส่วน โคโรน่า
- ข) อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการเกิดการดิสราร์จตามผิวฉนวน
- ค) อุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการดิสราร์จภายในเนื้อฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

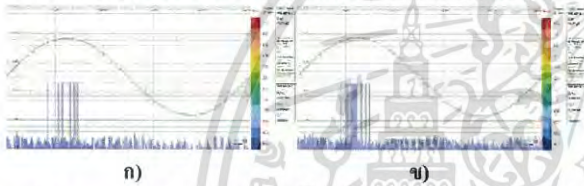
4.1.1 การทดสอบการคายประจุบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันสูง



รูปที่ 7 ผลการทดสอบการคายประจุบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันสูง ก) อุปกรณ์อ้างอิง ข) อุปกรณ์ที่ทำการพัฒนา

จากรูปที่ 7 แสดงผลของการเกิดการคายประจุบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันสูงโดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความสูงเท่ากันหมด บริเวณมุม 270 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว) เพียงอย่างเดียว

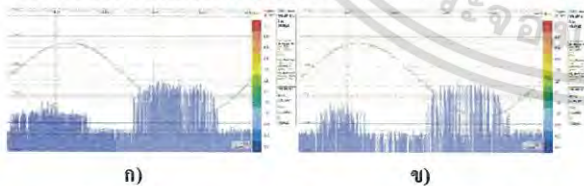
4.1.2 การทดสอบการคายประจุบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์ หรือ ด้านแรงดันต่ำ



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการคายประจุบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันต่ำ ก) อุปกรณ์อ้างอิง ข) อุปกรณ์ที่ทำการพัฒนา

จากรูปที่ 8 แสดงผลของการเกิดการคายประจุบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความสูงเท่ากันหมด ลักษณะการเกิดจะเกิดบริเวณมุม 90 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว) เพียงอย่างเดียว

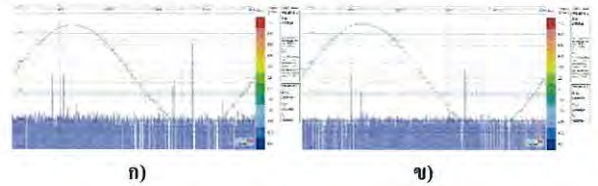
4.2 การทดสอบการคายประจุบางส่วนตามผิวฉนวน



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการคายประจุบางส่วนตามผิวฉนวน ก) อุปกรณ์อ้างอิง ข) อุปกรณ์ที่ทำการพัฒนา

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการคายประจุบางส่วนตามผิวฉนวน โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ 7.169 kV และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีขนาดความกว้างและหนา ซึ่งเกิดบริเวณมุมที่ 90 องศา และ 270 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว)

4.3 การทดสอบการคายประจุบางส่วนภายในเนื้อฉนวน



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการคายประจุบางส่วนภายในเนื้อฉนวน

ก) อุปกรณ์อ้างอิง ข) อุปกรณ์ที่ทำการพัฒนา

จากรูปที่ 4.35 แสดงผลการทดสอบการคายประจุบางส่วนภายในเนื้อฉนวน โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทดสอบ และทำให้เกิดพัลส์ (สีน้ำเงิน) ที่มีลักษณะกระจายตัว ไม่สม่ำเสมอและมีความสม่ำเสมอของความสูงของพัลส์ ซึ่งจะเกิดบริเวณมุมที่ 90 องศา และ 270 องศา ของกราฟแรงดันไฟฟ้า (สีเขียว)

5. สรุปผลการทดสอบ

ผลที่ได้จากการทดสอบการเกิดการคายประจุบางส่วนชนิดต่างๆระหว่างอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนากับอุปกรณ์อ้างอิง คือ ผลของการทดสอบของอุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนานั้น มีการแสดงผลของข้อมูลที่คล้ายคลึงกับผลการทดสอบของอุปกรณ์อ้างอิงเช่นลักษณะการเกิดการคายประจุบางส่วน มุมที่เกิดของการคายประจุบางส่วน จากผลการทดสอบที่กล่าวไว้ข้างต้นทำให้ทราบว่า ระบบตรวจจับการเกิดการคายประจุบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 ที่ได้ทำการพัฒนานั้น สามารถใช้งานได้ และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานชิ้นนี้ ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Partial Discharge Measurements, IEC 60270, 2000.
- [2] รุณนัท ศรีเผือกม และ สุกกิตติ์ โชติโก, “การประยุกต์ใช้การตรวจวัดการคายประจุ บางส่วนแบบออนไลน์ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทย” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559.
- [3] สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, พิมพ์ครั้งที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [4] พีรวุฒิ ยุทธ โกวิท และคณะ, “การออกแบบและการวิเคราะห์ อุปกรณ์รับสัญญาณในระบบป้องกันการคายประจุบางส่วน” คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายปฐวีگانต์ จันทรสกศรี เกิดวันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ.2539 ที่จังหวัดสมุทรปราการ
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพัทลุง จังหวัดพัทลุง
เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2557
ฝึกงานที่ : บริษัทซีพีที ไดรฟ์แอนด์พาวเวอร์ (CPT drive and power)
Email : pataveekarn_j@haymail.co.th



นายภูริวัชร โชติประดิษฐ์ เกิดวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2538 ที่จังหวัดพัทลุง
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพัทลุง จังหวัดพัทลุง
เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2557
ฝึกงานที่ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตเขื่อนเชี่ยวหลาน
Email : pooriwat_ggong17@hatmail.com



นายยศวีร์ รัตนคช เกิดวันที่ 8 เมษายน พ.ศ.2538 ที่จังหวัดตรัง
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบูรณะรำลึก จังหวัดตรัง
เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2557
ฝึกงานที่ : โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ
Email : yossawee31@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้