

โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้แลปวิว

PARTIAL DISCHARGE ANALYZER PROGRAM USING LABVIEW



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-127

โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้แลปวิว

PARTIAL DISCHARGE ANALYZER PROGRAM USING LABVIEW



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARTIAL DISCHARGE ANALYZER PROGRAM USING LABVIEW



TRAJAK PATTAMANAWIN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-020-127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

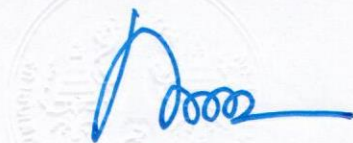
หัวข้อวิทยานิพนธ์ โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดีสชาร์จบางส่วนโดยใช้แลบวิว
Thesis Title Partial Discharge Analyzer Program Using LabVIEW
นักศึกษา นายตริยจักร ปัทมนาวิน
รหัสประจำตัว 54610636
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-127

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมชาติ	จิริวิภากร	จ. สัมพันธ์
รศ.ดร.มณฑล	สีลาจินดาไกรฤกษ์	
รศ.ดร.เกียรติ	ชยะกุลศิริ	
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	
ผศ.ดร.เชาว์	ชมภูอินไหว	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 11.30-13.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้แลปVIEW
นักศึกษา	นายตรีจักร ปัทมนาวิณ
รหัสประจำตัว	54610636
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและทดสอบผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับประมวลผลข้อมูลที่ได้มาจากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง และ เทคนิคทางเสียง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณอะคูสติก เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณหาการเกิดดิสชาร์จบางส่วน โดยโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรมแลปVIEW (LabVIEW) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในด้านระบบการวัดและควบคุมทางด้านวิศวกรรมและเหมาะสำหรับการประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีกระบวนการที่ซับซ้อนและนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณดิสชาร์จบางส่วนซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ที่จำเป็นเกี่ยวกับการเกิดดิสชาร์จอย่างครบถ้วนได้แก่ รูปแบบของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้น ขนาดของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ความถี่ในการเกิดดิสชาร์จบางส่วน และตำแหน่งของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแล้ว นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดตามแบบมาตรฐาน IEC-60270 และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อนำเสนอถึงความถูกต้องและแม่นยำของการใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนซึ่งสามารถทำได้ตามที่กล่าวไว้ได้ครอบคลุมตามจุดประสงค์ อีกทั้งยังมีแนวทางให้พัฒนาต่อยอดได้อีกหลายรูปแบบในอนาคตเพื่อให้สามารถตรวจจับสัญญาณแบบReal-time ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Partial Discharge Analyzer Program Using LabVIEW
Student	Mr.Traijak Pattamanawin
Student ID.	54610636
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chow Choompoo-inwai

ABSTRACT

This article proposes the design and implementation of the Partial Discharge (PD) analyzer program for high frequency current transformer (HFCT) and acoustic emission (AE) techniques by using acoustic detecting signal device. This process is the guideline that uses to reduce time to calculate the Partial Discharge (PD). The Partial Discharge (PD) analyzer program was designed to analyze by LabVIEW program. This program utilizes the measuring system and engineering control suit to evaluate data from complicated process measuring device that use to analyze PD by the program will display the necessary analyzing data of PD, such as Partial Discharge format, Partial Discharge size, Partial Discharge frequency and Partial Discharge position. The results of analyzing use to compare with the result of standard measurement IEC-60270 and MATLAB analyzing program to present accuracy and accurate of Partial Discharge program that can be done as present comprehensively and there are several approaches to the development of the new model in the future to be able to detect a signal Real time.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือจากผู้มีอุปการะคุณหลายท่านจนสามารถดำเนินการได้เสร็จสมบูรณ์ ตามเป้าหมายของผู้จัดทำ ทั้งนี้จะขอกล่าวขอบพระคุณสำหรับผู้มีอุปการะคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. เซาว์ ชมภูอินโหมเป็นอย่างยิ่งที่ให้โอกาสจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คอยให้ความรู้ แนะนำสั่งสอน ให้คำปรึกษาในการเรียนการค้นคว้าวิจัยตลอดจนการตรวจ แก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ต่อผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้และพัฒนาต่อยอดความรู้สืบเนื่องต่อไป

ขอขอบพระคุณผู้คุมห้องทดสอบและเหล่าช่างเทคนิคของห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง(HVES) ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทดสอบงานวิจัยนี้ รวมถึงเพื่อนๆ พี่น้องในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมสองสว่าง (ESIRC) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือและแก้ปัญหาาร่วมกันในเรื่องการทำงานทุกอย่าง

สุดท้ายนี้ขอกราบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวเป็นอย่างมากที่คอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนให้เติบโตมาสามารถดำรงชีวิตในสังคม มีหน้าที่การงานที่ดี และมอบโอกาสในการได้รับศึกษาทุกๆ ระดับมาโดยตลอดรวมถึงอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ได้ทั้งหมด ขอให้สิ่งศักดิ์จงดลบันดาลให้ให้ทุกท่านมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงและมีความสุขสมหวังทุกประการ ด้วยเทอญ

ตรีัยจักร ปัทมนาวิณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน.....	5
2.2 ผลกระทบของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน.....	6
2.3 การเกิดดิสซาร์จซ้ำ.....	7
2.4 สื่อสัญญาณที่ใช้ตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน.....	8
2.5 วงจรสมมูลดิสซาร์จบางส่วน.....	9
2.6 ประจุที่ปรากฏและประจุที่วัดได้.....	11
2.7 วงจรพื้นฐานการวัดดิสซาร์จบางส่วน.....	13
2.8 วงจรการวัดดิสซาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน.....	15
2.9 การแสดงผลดิสซาร์จบางส่วน.....	16
2.10 อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง.....	17
2.11 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน.....	20
2.11.1 ระบบการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน.....	20
2.11.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน.....	21
2.11.3 ตัวแปรของสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน.....	21
2.12 ส่วนประกอบของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW).....	25
2.12.1 Virtual Instrument (VI).....	26
2.12.2 ความน่าเชื่อถือของโปรแกรม LabVIEW.....	28

บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ดิสซาร์จบางส่วน

3.1 การวิเคราะห์สัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม MATLAB.....	30
3.1.1 การวิเคราะห์สัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง.....	30
3.1.2 การวิเคราะห์สัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง.....	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ดิสซาร์จบางส่วน.....	32
3.2.1 ส่วนของการรับค่าข้อมูล (Data Acquisition).....	32
3.2.2 ส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis).....	34
3.3 หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม.....	38
3.3.1 หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง.....	38
3.3.2 หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง.....	40
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
4.1 การทดสอบดิสซาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT).....	44
4.1.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง.....	47
4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสซาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW จากผลการวัดของ HFCT.....	55
4.1.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง.....	63
4.2 การทดสอบดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้วิธีทางเสียง (AE).....	66
4.2.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง.....	66
4.2.2 การทดสอบดิสซาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz.....	70
4.2.3 การทดสอบดิสซาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 3 MHz.....	77
4.2.4 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้วิธีทางเสียง.....	84
บทที่ 5 สรุปผล	
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนาในอนาคต.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ลำดับขั้นตอนทำวิจัย.....	3
2.1 แสดงรายละเอียดคำศัพท์พื้นฐานในโปรแกรมแลปวิ.....	28
4.1 H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	47
4.2 H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	48
4.3 L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	49
4.4 L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	50
4.5 Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	51
4.6 Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	52
4.7 Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	53
4.8 Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	54
4.9 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	55
4.10 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	56
4.11 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	57
4.12 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	58
4.13 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	59
4.14 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	60
4.15 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง).....	61
4.16 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ).....	62
4.17 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก H.V.-electrode Corona discharge (ด้านH.V.).....	63
4.18 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก L.V.-electrode corona discharge (ด้านH.V.).....	63
4.19 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Internal discharge (ด้านH.V.).....	63
4.20 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Surface discharge (ด้านH.V.).....	64
4.21 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก H.V.-electrode Corona discharge (ด้านL.V.).....	64
4.22 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก L.V.-electrode corona discharge (ด้านL.V.).....	64
4.23 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Internal discharge (ด้านL.V.).....	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.24 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Surface discharge (ด้านL.V.).....	65
4.25 ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง (AE).....	66
4.26 ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (AE).....	67
4.27 ผลการทดสอบดีสชาร์จบนผิว (AE).....	68
4.28 ผลการทดสอบดีสชาร์จภายใน (AE).....	69
4.29 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง (ความถี่ 1 MHz).....	71
4.30 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (ความถี่ 1 MHz).....	72
4.31 การวิเคราะห์ผลการทดสอบดีสชาร์จบนผิว (ความถี่ 1 MHz).....	73
4.32 การวิเคราะห์ผลการทดสอบดีสชาร์จภายใน (ความถี่ 1 MHz).....	74



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังเนื้อหาในบทที่ 2.....	5
2.2 ดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ.....	6
2.3 แรงดันตกคร่อมแกปและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์วัดขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	7
2.4 การเกิดดิสชาร์จซ้ำ.....	8
2.5 วงจรสมมูลของวัสดุที่มีโพรงก๊าซและเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน.....	9
2.6 ดิสชาร์จบางส่วนในโพรงก๊าซในวัสดุฉนวน.....	11
2.7 ผลของค่าตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k ต่อความไวการวัด q_m / q ขึ้นอยู่กับ C_k / C_t	13
2.8 วงจรพื้นฐานการวัดดิสชาร์จบางส่วน.....	13
2.9 รูปคลื่นกระแสและแรงดันทดสอบของดิสชาร์จบางส่วน.....	14
2.10 วงจรทดสอบตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนแบบวิธีตรง.....	15
2.11 การแสดงผลของดิสชาร์จบางส่วน.....	16
2.12 หลักการของหม้อแปลงกระแส.....	17
2.13 อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูงหรือ High frequency current transformer (HFCT).....	18
2.14 วงจรตัวอย่างแสดงวิธีการใช้งานของตัว HFCT เพื่อวัดสัญญาณ PD.....	18
2.15 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน.....	21
2.16 แสดงตัวแปรของสัญญาณอะคูสติก.....	22
2.17 แสดงลักษณะของสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน.....	24
2.18 การกำหนดระดับขีดจำกัดเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน.....	24
2.19 Front Panel ของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW).....	26
2.20 Block Diagram ของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW).....	27
2.21 Icon และ Connector ของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW).....	27
3.1 แผนผังเนื้อหาในบทที่ 3.....	29
3.2 โปรแกรมการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ string.....	32
3.3 โปรแกรมการพล็อตกราฟสัญญาณ.....	33
3.4 สัญญาณในส่วน Front panel.....	33
3.5 โปรแกรมส่วนการปรับตั้ง offset ของสัญญาณ.....	34
3.6 สัญญาณที่ทำการปรับตั้ง offset.....	34
3.7 โปรแกรมส่วนหาค่าสูงสุดของการเกิด pulse(Maximum Peak pulse).....	35
3.8 โปรแกรมส่วนทำการขยายสัญญาณ (Extract).....	35
3.9 สัญญาณในส่วนทำการขยายสัญญาณ.....	35

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงในระนาบ 3 มิติ.....	36
3.11 โปรแกรมส่วนทำการหาขนาดของ PD.....	37
3.12 โปรแกรมส่วนทำการหาขนาดของ PD.....	37
3.13 หน้าจอแสดงผลตำแหน่ง PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง.....	38
3.14 หน้าจอแสดงผลตำแหน่ง PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง.....	39
3.15 หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT).....	40
4.1 แผนภาพการทดสอบและวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนในงานวิจัย.....	41
4.2 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงสูง.....	42
4.3 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จด้านกราวด์.....	42
4.4 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนภายนอก.....	43
4.5 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน.....	43
4.6 วงจรการวัดโดย Rogowski Coil ที่ทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง.....	44
4.7 วงจรการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง (1MHz).....	70
4.8 เวลาการเกิดสัญญาณเพื่อนำมาหาตำแหน่งดิสชาร์จบางส่วน (1 MHz).....	75
4.9 ผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ (1 MHz).....	75
4.10 วงจรการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง (3 MHz).....	77
4.11 เวลาการเกิดสัญญาณเพื่อนำมาหาตำแหน่งดิสชาร์จบางส่วน (3 MHz).....	82
4.12 ผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ (3 MHz).....	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรม ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาด้านการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้และการกระจายไปทั่วถึงทุกตำบลในพื้นที่กว้างใหญ่ จำเป็นต้องใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง และในปัจจุบันได้มีการทดสอบอุปกรณ์ทางด้านระบบจำหน่ายแรงสูงโดยทำการวัดค่าการคายประจุบางส่วนของฉนวนไฟฟ้าที่เรียกว่า การวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD) ก่อนนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริงหรือในระหว่างที่ใช้งานอยู่จริง การวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน จึงเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบถึงมาตรฐานของฉนวนในอุปกรณ์นั้นๆ ว่าเหมาะสมที่นำไปใช้อายุหรือไม่

ในปัจจุบันการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนสามารถทำได้โดยวิธีแบบดั้งเดิมโดยการต่อวงจรการวัดดิสชาร์จบางส่วนของ IEC 60270:2000 ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ รวมถึงการใช้พื้นที่บริเวณกว้างในการทดลอง ดังนั้นจึงมีอุปกรณ์การตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนที่สามารถเคลื่อนย้ายไปทดสอบได้ในสถานที่ที่ต้องการทดสอบ เช่น อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (High Frequency Current Transformer : HFCT) และเทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission techniques : AE) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณอะคูสติก แต่ในการวิเคราะห์หาดิสชาร์จบางส่วนจากสัญญาณที่รับมามีหลักการวิเคราะห์หลายขั้นตอน ซึ่งกว่าจะสามารถสรุปผลที่ได้ทำให้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ใช้เวลานานพอสมควรในกระบวนการพิสูจน์ต่างๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหานี้โดยนำเสนอการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW ที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณดิสชาร์จบางส่วนออกมาเป็นรูปกราฟแสดงผ่านหน้าจอจากการนำข้อมูลการวัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนเป็นไฟล์สกุล .CSV ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (High Frequency Current Transformer : HFCT) และเทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission techniques : AE) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณอะคูสติก เพื่อสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งผลที่ได้นั้นเราจะนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาหาค่าความเสี่ยงของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของอุปกรณ์ฉนวนในระบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษามาตรฐานและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการวัดดิสชาร์จบางส่วน รวมถึงรูปแบบการเกิดในแบบต่างๆ
3. เพื่อศึกษาการใช้งานและการทำงานของโปรแกรม LabVIEW
4. เพื่อทำการสร้างโปรแกรมการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW
5. โปรแกรมการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนคาดว่าจะสามารถใช้งานได้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษามาตรฐานและงานวิจัย, ปรินทิพ และวิทยานิพนธ์ต่างๆ โดยการสืบค้นจากฐานข้อมูล IEC, IEEE ที่มีข้อมูลเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาและพัฒนา
2. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องการวัดดิสชาร์จบางส่วนและมาตรฐานเกี่ยวกับการวัดดิสชาร์จบางส่วน IEC-60270
3. ศึกษาทฤษฎีของรูปแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละรูปแบบและการวัดขนาดปริมาณ, ช่วงความถี่ของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน และกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อหาดิสชาร์จบางส่วน
4. ศึกษาทฤษฎีและหลักการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยการใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูงเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์การหาปริมาณของดิสชาร์จบางส่วน
5. ศึกษาทฤษฎีและหลักการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยการใช้เทคนิคทางเสียงเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์การหาตำแหน่งของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
6. ศึกษาการใช้งานและการทำงานของโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าในการหาปริมาณและตำแหน่งของดิสชาร์จบางส่วน
7. ออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์การวัดดิสชาร์จบางส่วนจาก 2 เทคนิคการวัดคืออุปกรณ์วัดกระแสความถี่ (High Frequency Current Transformer) และเทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission)
8. ทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลของอุปกรณ์เพื่อนำไปสรุปผลเพื่อตรวจสอบว่าบรรลุตามจุดประสงค์หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย

ตารางที่ 1.1 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย

การทำงาน	ปีการศึกษา					
	2556		2557		2558	
	ภาคเรียน		ภาคเรียน		ภาคเรียน	
	1	2	1	2	1	2
1. ค้นคว้ามาตรฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	—————		—————			
2. ศึกษาการวัดดิซาร์จบางส่วน	—————		—————			
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรม LabVIEW และออกแบบ UI ของโปรแกรม LabVIEW			—————			
4. ศึกษาการทำงานของ sensor ชนิดต่างๆและทดสอบ sensor บางชนิด			—————			
5. จัดเตรียมอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบผล			—————			
6. ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ			—————			
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ			—————			
8. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์			—————			

—————
—————

การวางแผน
การปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

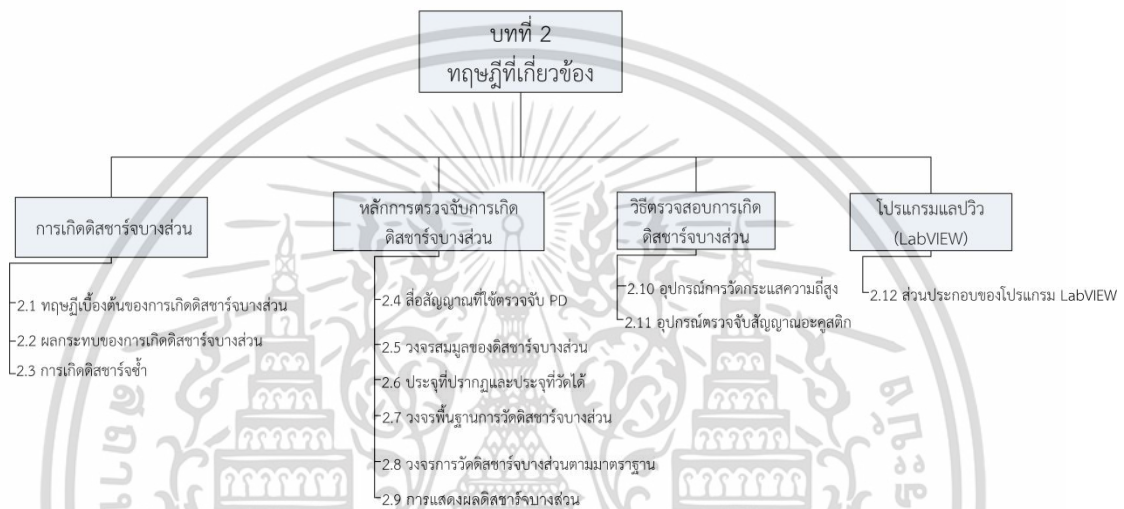
จากการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง และเทคนิคทางเสียงโดยใช้โปรแกรมแลปวิวโดยการสร้างโปรแกรมนี้นี้ขึ้นมาเพื่อประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. นำเสนอการใช้งานโปรแกรม LabVIEW สามารถนำไปใช้งานได้จริงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้
2. พื้นฐานของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและหลักการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
3. การตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนด้วยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูงสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนได้อย่างชัดเจนและไม่มีความซับซ้อน
4. การตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนด้วยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง ทำให้พบว่าอุปกรณ์เครื่องมือวัดและตำแหน่งในการวัดนั้นเป็นปัจจัยของการวัด
5. การตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงเป็นการวัดดิสชาร์จบางส่วนแบบไม่ทำลาย สามารถรักษาอุปกรณ์ที่ทดสอบให้ยังคงสภาพใช้งานได้ต่อไปและไม่ต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์
6. การตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงทำให้พบว่าความพร้อมของอุปกรณ์เครื่องมือวัดและสัญญาณรบกวนนั้นเป็นปัจจัยของการวัดดิสชาร์จบางส่วน
7. สามารถสร้างเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าแบบ Real-time และทำการบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลังได้
8. โปรแกรม LabVIEW สามารถสร้างเครื่องมือวัดได้หลากหลาย โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์รับส่งข้อมูล เพียงเปลี่ยนเครื่องมือตรวจจับ (sensor) ที่รับสัญญาณเท่านั้น
9. ทำให้พบว่าอุปกรณ์เครื่องมือวัดและตำแหน่งในการวัดนั้นเป็นปัจจัยของการวัด
10. การวัดดิสชาร์จบางส่วนถ้าหากว่ามีอุปกรณ์วัดที่สามารถตรวจจับแบบ Data logger ได้ก็จะสามารถทำให้ทราบค่าของดิสชาร์จบางส่วนนั้นที่แน่นอนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงเกี่ยวกับการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ ดิสชาร์จบางส่วน โดยใช้หลักการวัดวัดดิสชาร์จบางส่วนและอุปกรณ์การวัดรวมถึงทฤษฎีพื้นฐานของ ตัวโปรแกรม โดยจะแสดงให้เห็นเป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.1 เพื่อเป็นการบอกเนื้อหาและข้อมูลในส่วน ต่างๆ ของบทที่ 2



รูปที่ 2.1 แผนผังเนื้อหาในบทที่ 2

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

การเกิดดิสชาร์จเบรกดาวน์ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดขึ้นได้โดยพลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนแปลงไปเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโทรด จึงเรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge : PD) เพราะฉนวนของอิเล็กโทรดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านซึ่ง อาจจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์ นิยามดิสชาร์จบางส่วน Kreuger[1] ได้ให้คำอธิบายไว้ว่า “ดิสชาร์จบางส่วนเป็นดิสชาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโทรด”

การเกิดขึ้นของดิสชาร์จบางส่วนในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงหรือ ฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบาง จุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่ไม่อาจทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้ หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น

ดิสชาร์จบางส่วนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ และสนามไฟฟ้ากระแสตรง ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ดิสชาร์จจะเกิดขึ้นซ้ำๆ ไซเคิลของแรงดัน โดยปกติจะเกิดขึ้นที่ แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปสู่ค่ายอด

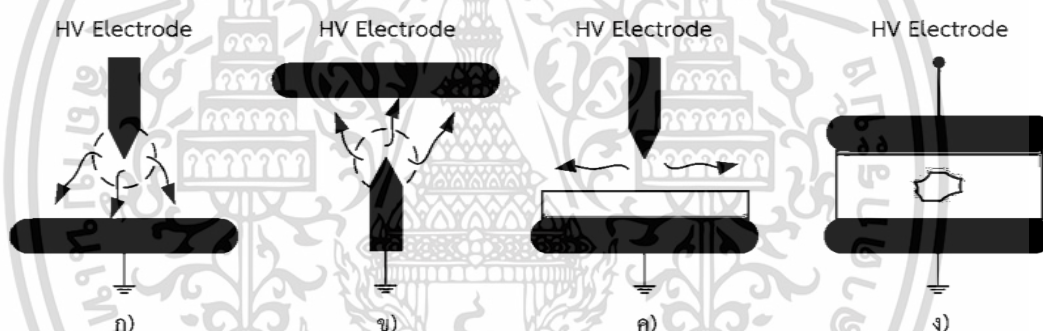
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิสชาร์จบางส่วนอาจแบ่งตามลักษณะที่เกิดขึ้นได้ 3 แบบคือ [3, 4]

1) โครนาดีสชาร์จ (Corona discharge) เป็นดิสชาร์จที่เกิดขึ้นบนแท่งตัวนำในสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง จะเกิดตรงบริเวณรอบๆ ปลายอิเล็กโทรดแหลม หรือขอบคมที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่นแสดงการเกิดโครนาดีสชาร์จดังรูปที่ 2.2 ก) เรียกว่าโครนาด้านแรงสูงหรือปลายอิเล็กโทรดต่อกับกราวด์ เรียกว่าโครนาด้านแรงต่ำ ดังรูปที่ 2.2 ข) ซึ่งโครนาด้านแรงต่ำจะเริ่มเกิดเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าสนามไฟฟ้าวิกฤตในอากาศ

2) ดิสชาร์จตามผิว (Surface discharge) เกิดบริเวณผิวของฉนวนที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวเดียวกับผิวสูงถึงค่าวิกฤต อาจเกิดร่องรอยกัดกร่อนซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้า (tracking) ดังรูป 2.2 ค)

3) ดิสชาร์จภายใน (Internal discharge) จะเกิดขึ้นในเนื้อฉนวนที่มีค่าความคงทนได้อิเล็กตริกต่ำมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้เนื้อฉนวนส่วนนี้เกิดเบรกดาวน์ก่อน ดิสชาร์จภายในเกิดขึ้นเนื่องจากมีโพรงอากาศหรือสิ่งแปลกปลอมในเนื้อฉนวนที่เป็นของแข็งหรือของเหลว ตัวอย่างของดิสชาร์จภายในแสดงดังรูป 2.1 ง)



รูปที่ 2.2 ดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ

2.2 ผลกระทบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้งนั้น จะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวนในลักษณะชนแบบกระแทกเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุด จึงเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายเป็นจุดๆ และเกิดผิวดพร่องขยายตัวมากขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหายและอายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลง

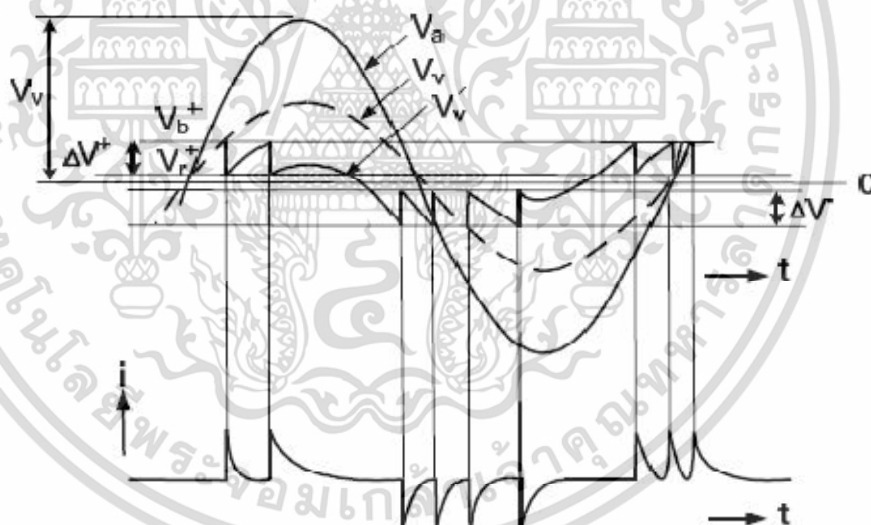
การเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบชิงอากาศเรียกว่าโครนา ซึ่งก็คือการเกิดพลังงานสูญเสียตลอดเวลา และการเกิดโครนาพัลส์ดิสชาร์จทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุเรียกว่าคลื่นรบกวนวิทยุ ฉะนั้นเพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนานและไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ ต้องมีการออกแบบการฉนวนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องมีคุณภาพดีพอความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานปกติจะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน และจะต้องไม่มีการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแม้จะมีแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันกระเพื่อมเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการฉนวนอุปกรณ์แรงสูงมีความยุ่งยากซับซ้อน

ดิสชาร์จบางส่วน อาจเกิดขึ้นโดยมิได้ตั้งใจหรืออาจมีความบกพร่องในกระบวนการผลิตหรือคุณภาพของฉนวนไม่ได้ตามที่กำหนด เพราะฉะนั้นเพื่อความมั่นใจในคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีการทดสอบตรวจวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน วัดค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio Interference Voltage=RIV) ตามที่มาตรฐานกำหนด

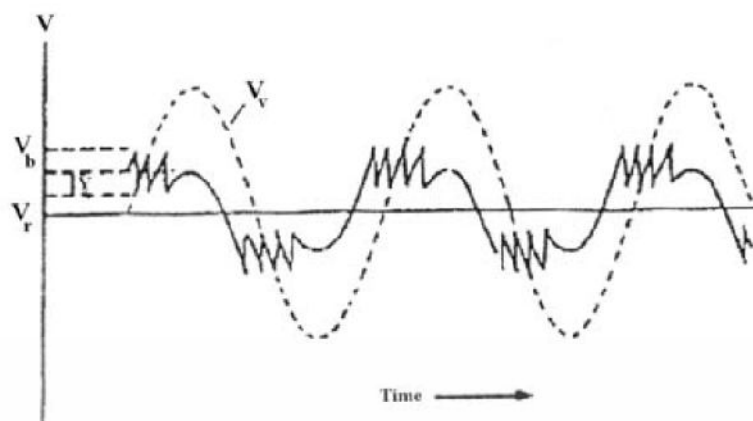
2.3 การเกิดดิสชาร์จซ้ำ

ในทางปฏิบัติดิสชาร์จบางส่วนอาจเกิดซ้ำๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลา ดังรูปที่ 2.3 โดยที่ V_a คือแรงดันคร่อมขั้วของอุปกรณ์ V_b คือแรงดันเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ป V_r คือแรงดันหลังการเบรกดาวน์โพรงอากาศหรือแก๊ป V_v คือแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ปถ้าไม่มีการเกิดดิสชาร์จบางส่วน เลยและ i คือกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์



รูปที่ 2.3 แรงดันตกคร่อมแก๊ปและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์วัดขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเกิดดิสชาร์จซ้ำ

จำนวนครั้งการเกิด PD สามารถคำนวณได้ โดยสมมติว่า PD เกิดแบบสมมาตรกับแกนเวลา ดังนั้นจำนวนครั้งที่เกิด PD ต่อครั้งคาบเวลา n คำนวณดังนี้

$$n = \frac{[(V_V - V_r) - Y]}{V_b - V_r} \text{ ครั้ง/ครั้งคาบเวลา} \quad (2.1)$$

โดยที่	n	คือ จำนวนครั้งการเกิด PD ต่อครั้งคาบเวลา
	V_b	คือ แรงดันเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส
	V_r	คือ แรงดันหลังการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส
	V_V	คือ ค่ายอดของแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊สถ้าไม่มีการเกิด PD
	Y	คือ แรงดันใดๆ ซึ่งมีค่า $0 \leq Y \leq (V_b - V_r)$

2.4 สื่อสัญญาณที่ใช้ตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

การตรวจจับและวัดค่า PD จะอาศัยผลที่เกิดจากดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งจะมีผลสืบเนื่องในรูปแบบต่างๆ คือ [1, 2]

- 1) มีกระแสพัลส์ไฟฟ้าเกิดขึ้นขณะที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน
- 2) เกิดกำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก วัดค่า $\tan \delta = f(U)$ ถ้ามี PD เส้นกราฟจะหักมุมเมื่อเริ่มเกิด PD
- 3) เกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูง รบกวนระบบสื่อสาร
- 4) เกิดแสงเรือง เนื่องจากเกิดไอออนไนเซชันเป็นโคโรนา
- 5) เกิดโคโรนาในอากาศ จะมีกลิ่นโอโซน (O_3) เกิดเสียงฮิสซึ่ง

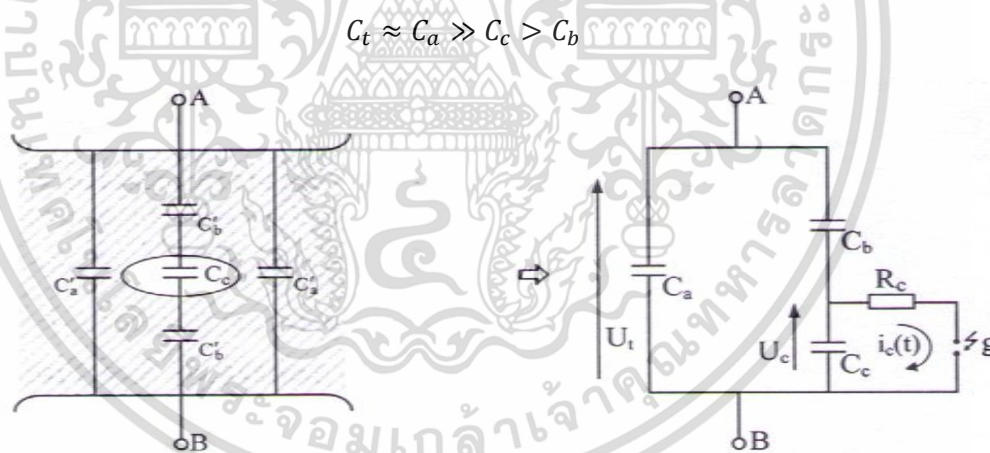
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) เกิดความดันก๊าซเพิ่มสูงขึ้น
- 7) เกิดความร้อน
- 8) เกิดปฏิกิริยาทางเคมี

การตรวจจับ PD ส่วนมากจะอาศัยผลทางไฟฟ้า ซึ่งให้ผลที่มีความถูกต้องดีกว่าวิธีอื่นๆ คือ ดิสชาร์จทำให้เกิดกระแสพัลส์ไหลผ่านวงจรต่ออันดับกับฉนวนทดสอบ จึงสามารถวัดแรงดันตกคร่อม อิมพีแดนซ์ที่ต่ออยู่ในวงจรได้ การใช้สื่อสัญญาณอื่นจะมีความไว้น้อยกว่า บางอย่างก็ต้องเกิด PD มากๆ จึงจะตรวจจับได้ การตรวจจับสื่อสัญญาณพัลส์ไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์ด้วยวงจรสมมูลที่มี PD

2.5 วงจรสมมูลของดิสชาร์จบางส่วน

เนื่องจากการหาสาเหตุของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในที่เนื้อฉนวนหรือในอุปกรณ์ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ฉะนั้น เพื่อให้สามารถตรวจจับหรือวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนได้ จึงมีการเขียนวงจรสมมูลของฉนวนที่มีดิสชาร์จบางส่วนขึ้น ไม่ว่าจะเป็ดิสชาร์จบางส่วนชนิดใดก็สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ [1] เพื่อให้สะดวกต่อการทำความเข้าใจ โดยใช้วงจรสมมูลสำหรับฉนวนที่มีโพรงก๊าซเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเกิดและหาปริมาณดิสชาร์จบางส่วนภายใน ดังวงจรสมมูลของฉนวนในรูป 2.5 [2]



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของวัสดุที่มีโพรงก๊าซและเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน [3]

ในรูป 2.5 ก) แสดงวัสดุฉนวนมีโพรงก๊าซภายในเนื้อฉนวน และฉนวนซึ่งวางอยู่ระหว่าง อิเล็กโตรด A-B โพรงก๊าซจะเขียนแทนด้วยความจุไฟฟ้า C_c ส่วนฉนวนที่ต่ออนุกรมกับโพรงก๊าซหรือ C_c เขียนแทนด้วยความจุไฟฟ้า C_b ส่วนที่ต่ออนุกรมอยู่กับ C_c นี้ จะรวมกันได้เป็น C_b ส่วนฉนวนที่ สมบูรณ์ที่อยู่โดยรอบของ C_c จะให้ค่าเป็น C_a และรวมกันในส่วนนี้จะได้เป็น C_a ดังรูปที่ 2.5 ข) ซึ่ง

ค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุทดสอบ C_t จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ C_a ซึ่งมีค่ามากกว่า C_b มากๆ นั่นคือ

ถ้าป้อนแรงดัน U_t ที่ขั้ว A-B ทำให้แรงดันตกคร่อมโพรงก๊าซมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเบรกดาวนของโพรงก๊าซที่แทนด้วย C_c ก็จะเกิดเบรกดาวนในโพรงก๊าซ ซึ่งเขียนแทนด้วยแกป g (แล้วเอาตัวจ่ายแรงดันออก) มีความต้านทาน R_c ต่ออนุกรมอยู่เป็นตัวจำกัดกระแสดิสชาร์จ $i_c(t)$ ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ช่วงกว้างนาโนเป็นวินาที และทำให้เกิดแรงดันตก δU_c ที่โพรงก๊าซเกิดการปล่อยประจุออกมาเป็น

$$\Delta q_c = \delta U_c C_c \quad (2.2)$$

กระแส $i_c(t)$ นี้ไหลอยู่ภายในที่ไม่สามารถวัดได้ แต่การดิสชาร์จของ C_c ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุของ C_b และ C_a ในวงจรสมมูล เป็นผลให้เกิดแรงดันตกที่ขั้ว A-B เท่ากับ δU_t ซึ่งหาได้จากประจุใน C_c คือ

$$\delta U_t = \frac{C_b \delta U_c}{C_b + C_a} \quad (2.3)$$

ค่าแรงดันตกนี้ไม่ให้ข้อมูลอะไรเกี่ยวกับ δq_c เลย แต่เป็นสัดส่วนกับ $C_b \delta U_c$ ค่า δU_c นี้วัดได้เป็นพัลส์รูปซัน ขึ้นอยู่กับ $i_c(t)$

เมื่อแทนค่า

$$\delta U_c = \frac{\delta q_c}{C_c} \quad (2.4)$$

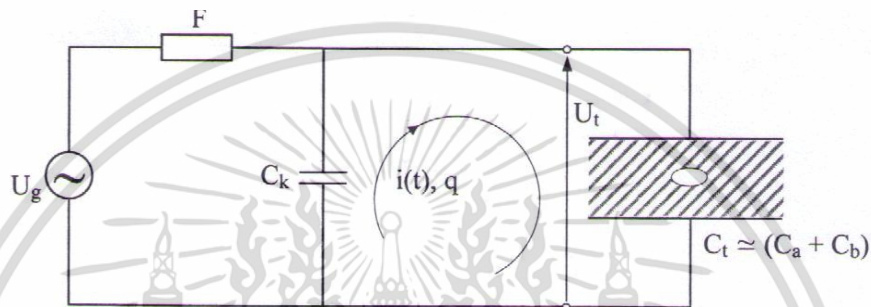
จะได้

$$\delta U_t = \frac{C_b \delta q_c}{C_c (C_b + C_a)} \quad (2.5)$$

ค่าของ δU_t มีค่าเป็นมิลลิโวลต์ถึงโวลต์ ในขณะที่ δU_c มีค่าเป็นกิโลโวลต์ แต่โดยที่ไม่ทราบค่า C_c และ C_b จึงไม่อาจหาความสัมพันธ์ของ δU_t กับ δU_c และ δq_c ได้อย่างไรก็ตามการดิสชาร์จในโพรงก๊าซ C_c เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงถ่ายเทประจุ หรือกระแสในวงจรภายนอกที่สามารถตรวจวัดได้

2.6 ประจุที่ปรากฏและประจุที่วัดได้

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ดิซาร์จบางส่วนภายในเกิดขึ้นภายในเนื้อฉนวน หรือภายในอุปกรณ์ที่หุ้มห่อมิดชิด ฉะนั้น ประจุหรือกระแสที่เกิดจากประจุดิซาร์จในโพรงก๊าซนั้นไม่สามารถวัดได้ แต่การดิซาร์จในโพรงก๊าซ C_c นั้น มีผลให้เกิดการถ่ายเทประจุ เป็นผลให้เกิดแรงดันตก δU_t ที่ขั้วป้อนแรงดันภายนอก A -B และการเคลื่อนที่ของประจุ หรือเกิดกระแสไหลวนอันเนื่องมาจากแรงดันตกเป็นค่ากระแสชดเชยที่วัดได้ (measurable current) $i(t)$ ดังรูปที่ 2.6 แต่มิใช่กระแสหรือประจุที่เกิดขึ้นจริงในโพรงก๊าซ



รูปที่ 2.6 ดิซาร์จบางส่วนในโพรงก๊าซในวัสดุฉนวน [5]

U_g คือ ตัวจ่ายแรงดันป้อนให้กับตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k และวัสดุทดสอบ C_t

C_k คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว

C_t คือ ค่าเก็บประจุของวัสดุทดสอบประกอบด้วย C_a, C_b, C_c ดังรูปที่ 2.4

$i(t), q$ คือ กระแสพัลส์ PD ที่ถ่ายเทระหว่าง C_k กับ C_t เพื่อชดเชยแรงดันที่ตกไป δU_t คร่อม $C_t \approx (C_a + C_b)$

ค่ากระแสไหลวน $i(t)$ ที่วัดได้นี้ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนค่าเก็บประจุ C_k / C_t เพราะประจุจะเคลื่อนที่จากตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k ที่ชดเชยแรงดันตก δU_t ในกรณีอุดมคติ $C_k \ll C_t$ และ $C_t \approx C_a + C_b$ ประจุ q จะมีค่ามากที่สุด

ค่า $C_k \gg C_t$ ค่า δU_t จะได้รับชดเชยสมบูรณ์ และประจุที่ถ่ายเทคือกระแส $i(t)$

$$\text{ประจุถ่ายเทหาได้จากสมการ[3]} \quad q = \int i(t) dt = \left\{ C_a + \frac{C_c \cdot C_b}{C_c + C_b} \right\} \delta U_t \quad (2.6)$$

$$\text{เพราะว่า } C_b < C_c \text{ จึงได้} \quad q \approx (C_a + C_b) \delta U_t \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่าจากสมการ (2.5) จะได้
$$q = \frac{C_b}{C_c} \delta q_c \quad (2.8)$$

ประจุ q นี้เรียกว่า ประจุที่ปรากฏของพัลส์ PD เพราะว่าประจุ q นี้ไม่เท่ากับประจุที่เกิดขึ้นจริงในโพรงก๊าซ C_c แต่สัมพันธ์กับ δq_c ด้วยอัตราส่วนของ C_b / C_c และเป็นพื้นฐานของการวัดค่า PD ที่มีความเป็นจริงมากกว่า δU_t ในสมการ 2.2 โดยที่ C_a เป็นค่าตัวเก็บประจุหลักของ C_t ซึ่งไม่มีผลเกี่ยวกับค่า PD

ในทางปฏิบัติ เงื่อนไขที่ทำให้ได้ $C_k \approx C_t$ หมายถึง ค่าเก็บประจุคาบเกี่ยวมีค่ามากๆ นั้นเป็นไปได้ยาก เพราะว่าจะกลายเป็นโหลดให้กับตัวจ่ายแรงดัน และไม่ประหยัด อย่างไรก็ตาม ค่าเก็บประจุ C_k ใหญ่กว่า C_t ของวัสดุทดสอบเพียงเล็กน้อย จะเป็นผลทำให้ความไวในการตรวจจับ หรือตรวจจับ PD นั้นน้อยลง เนื่องจากกระแสชดเชย $i(t)$ จะมีค่าน้อยลง

เมื่อพิจารณาจากการถ่ายเทของประจุระหว่าง C_t กับ C_k จะมีความสัมพันธ์

$$Q = C_t \delta U_t \text{ เมื่อ } C_t \approx (C_a + C_b) \quad (2.9)$$

นั่นคือ
$$q = (C_t + C_k) \delta U_t' \quad (2.10)$$

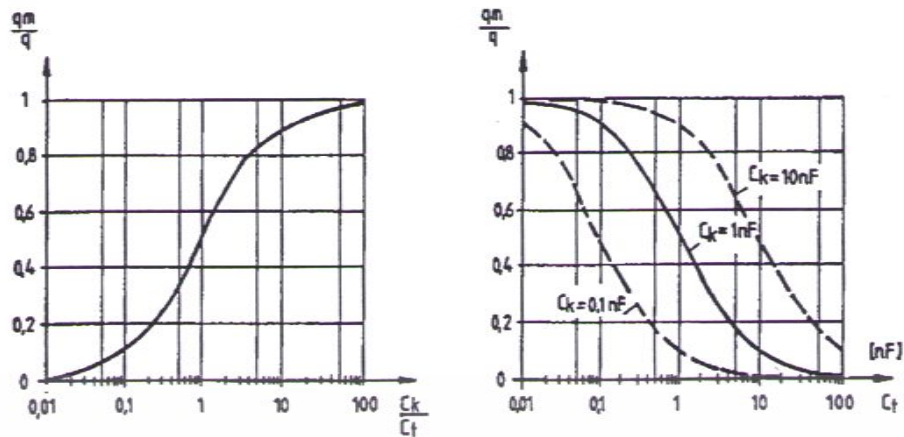
เมื่อ $\delta U_t'$ คือ แรงดันที่ชั่วหลังจากสิ้นสุดการถ่ายเทประจุ ประจุที่ปล่อยจากตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k สามารถวัดได้ และเรียกว่าประจุที่วัดได้ q_m (measurable charge)

$$q_m = C_k \delta U_t' \quad (2.11)$$

ฉะนั้นอัตราส่วนของประจุที่วัดได้ ต่อประจุที่ปรากฏ คือ

$$\frac{q_m}{q} = \frac{C_k}{(C_t + C_k)} \quad (2.12)$$

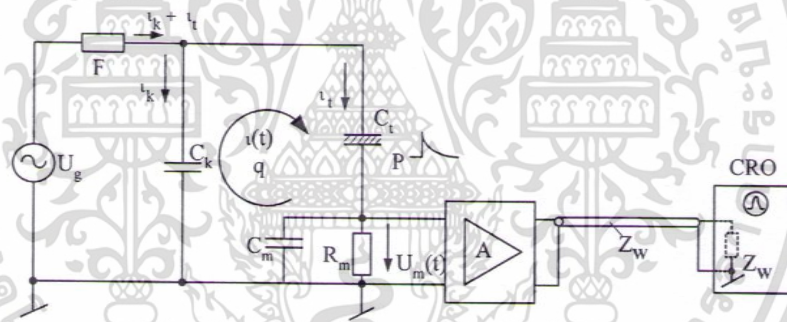
ความสัมพันธ์ของ q_m / q ในเทอมของ C_k / C_t หรือในเทอมของ C_t ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.7 [6] ซึ่งจะช่วยให้เลือกค่า C_k ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าความไวตามที่ต้องการ ถ้าต้องการความไวสูง จะต้องใช้ C_k ให้ได้ไต่พอ ซึ่งขึ้นอยู่กับ C_t แพลกเตอร์วงจร q_m / q และความไวการวัดอาจตรวจสอบได้ จึงต้องมีการปรับเทียบวงจรทดสอบ โดยการป้อนประจุที่ทราบค่าแน่นอน และถูกต้องที่วัสดุทดสอบ [7] ผลของ C_k / C_t ต่อความไวการวัด แสดงโดย q_m / q ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลของค่าตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k ต่อความไวการวัด q_m / q ขึ้นอยู่กับ C_k / C_t [3]

2.7 วงจรพื้นฐานการวัดดิสชาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับวัดดิสชาร์จบางส่วน PD จะประกอบด้วยตัวจ่ายแรงดันทดสอบ U_g คือ หม้อแปลงทดสอบป้อนแรงดันให้แก่วัสดุทดสอบ และตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k ผ่านตัวกรองความถี่สูง F ดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานการวัดดิสชาร์จบางส่วน [7]

อุปกรณ์ในวงจรรูปที่ 2.8 สามารถอธิบายความหมายตามตัวแปลได้ดังนี้

U_g คือ ตัวจ่ายแรงดันสูงกระแสสลับให้กับตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k และวัสดุทดสอบ P

F คือ ตัวกรองประกอบด้วยอิมพีแดนซ์มีค่าสูงที่ความถี่สูง นั่นคือ ตัวกรองจะทำหน้าที่กันไม่ให้คลื่นรบกวนความถี่สูงจากตัวจ่ายเข้าไปรบกวนวงจรทดสอบ แต่ยอมให้กระแสทดสอบความถี่ต่ำไหลผ่านไปได้ ในเวลาเดียวกัน F จะทำหน้าที่กันมิให้สัญญาณดิสชาร์จบางส่วน (PD) จากวัสดุทดสอบไหลหนีออกไปทางตัวจ่ายแรงดันได้ ตัวกรองนี้อาจประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L หรือประกอบตัวเก็บประจุ C เป็นวงจร π ก็ได้

C_k คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว มีค่าความจุไฟฟ้าประมาณเท่ากับค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุทดสอบ หรือ ใหญ่กว่า ในเชิงปฏิบัติ C_k จะมีค่าความจุไฟฟ้าประมาณ 1000 pF เพื่อให้มีค่า

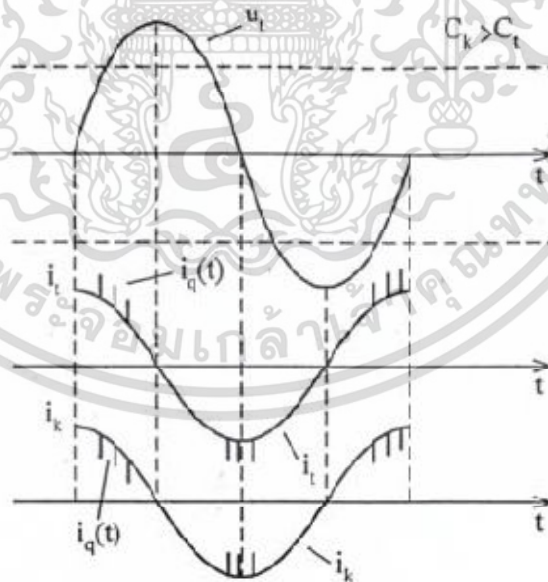
อิมพีแดนซ์ต่ำพอที่จะทำให้กระแสดิสชาร์จบางส่วน $i(t)$ ซึ่งมีค่า $< 100 \mu A$ และเป็นพัลส์แคบๆ ไหลได้ครบวงจรเป็นกระแสที่วัดได้

ตามที่กล่าวไว้แล้วว่า เมื่อเกิดดิสชาร์จในโพรงก๊าซของฉนวน จะทำให้แรงดันที่ขั้วทดสอบ A-B ตกไปเท่ากับ δU , และเป็นเหตุให้เกิดการถ่ายเทประจุเท่ากับตัวเก็บประจุ C_k เข้าไปทดแทนนั้น คือ จะมีกระแสไหลวน $i(t)$ ที่สามารถตรวจจับหรือวัดได้ (measurable current) ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ ซ้อนอยู่บนรูปคลื่นกระแสที่ป้อนให้กับขั้วทดสอบ i_t และตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว i_k ($C \frac{dU}{dt}$) กระแสทั้งสองจะมีมเฟสหน้าแรงดันที่ป้อนประมาณ 90 องศา ถ้าไม่มีค่าเก็บประจุสเตรย์ขนานกับ C_k กระแสพัลส์ PD $i(t)$ ที่ซ้อนอยู่บนรูปคลื่นกระแสป้อนนี้ มีขนาดเท่ากันแต่ขั้วตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.7

การวัดที่ถูกต้อง ค่าความต้านทานวัด R_m ดังรูปที่ 2.8 จะต้องสมคู่กัน (match) กับเคเบิลวัด ที่มี Z_w แรงดันที่วัดที่ CRO หรือเครื่องบันทึกค่าทรานเซียน ก็คือ [2]

$$U_m(t) = (i_t + i)Z_w R_m / (R_m + Z_w) \quad (2.13)$$

ถ้าค่าเก็บประจุขั้วทดสอบน้อย แรงดันที่ได้จากกระแส PD นี้ $i(t)$ จะจำแนกจากกระแส $i(t)$ ประจุได้ชัดเจน



รูปที่ 2.9 รูปคลื่นกระแสและแรงดันทดสอบของดิสชาร์จบางส่วน [8]

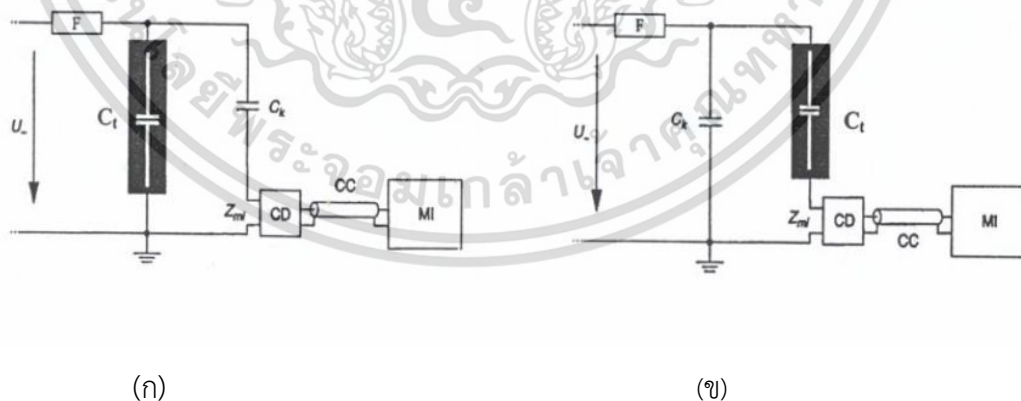
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- u_t คือ แรงดันที่ป้อน
 i_t คือ กระแสที่ป้อนให้กับวัสดุทดสอบ
 i_k คือ กระแสที่จ่ายตัวเก็บประจุ C_k
 $i(t)$ คือ กระแสพัลส์ดิสชาร์จบางส่วน (PD) ที่วัดได้

กระแสพัลส์ PD คือ $i(t)$ ในแต่ละครึ่งของแรงดันไซเคิลที่ป้อน จะมีจำนวนพัลส์มากขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันทดสอบ และลักษณะตำแหน่งของการเกิดผิวดพร่อง ถ้าวัสดุทดสอบมีจุดผิวดพร่องหลายแห่ง จำนวนพัลส์ PD จะมามากขึ้น ซึ่งมีช่วงห่างระหว่างพัลส์เป็น μs หรือเร็วกว่านั้น โดยทั่วไปจะสังเกตเห็นอัตราการเกิดดิสชาร์จ มีค่าสูงมากที่สุดเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน dU_t / dt มีค่าสูงสุดขณะนั้น ขั้วของพัลส์จะไม่ขึ้นอยู่กับขั้วของแรงดันทดสอบ U_t แต่ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายการเปลี่ยนแปลง dU_t / dt ตรงกันข้าม ในกรณีดิสชาร์จโคโรนา ซึ่งเป็นดิสชาร์จบางส่วนเกิดภายนอก จะเกิดที่ยอดของแรงดันทดสอบ และเครื่องหมายของพัลส์ PD จะสอดคล้องกับเครื่องหมาย (ขั้ว) ของแรงดันทดสอบที่ป้อน

2.8 วงจรการวัดดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน

การต่อวงจรระบบวัด PD ในวงจรทดสอบจะมีความแตกต่างตรงที่การต่อ อิมพีแดนซ์วัด Z_m ซึ่งมาตรฐานการวัด PD ฉบับใหม่คือ IEC 60270 [7] เรียกว่าตัวต่อคาบเกี่ยว (coupling device) CD ประกอบเป็นอิมพีแดนซ์วัด Z_m ต่อที่ต้นระบบวัดแบ่งเป็น 2 แบบดังในรูปที่ 2.10 ก) และ ข) ซึ่งเป็นวงจรตรวจจับ PD วิธีตรง (straight detection circuit)



รูปที่ 2.10 วงจรทดสอบตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนแบบวิธีตรง [3]

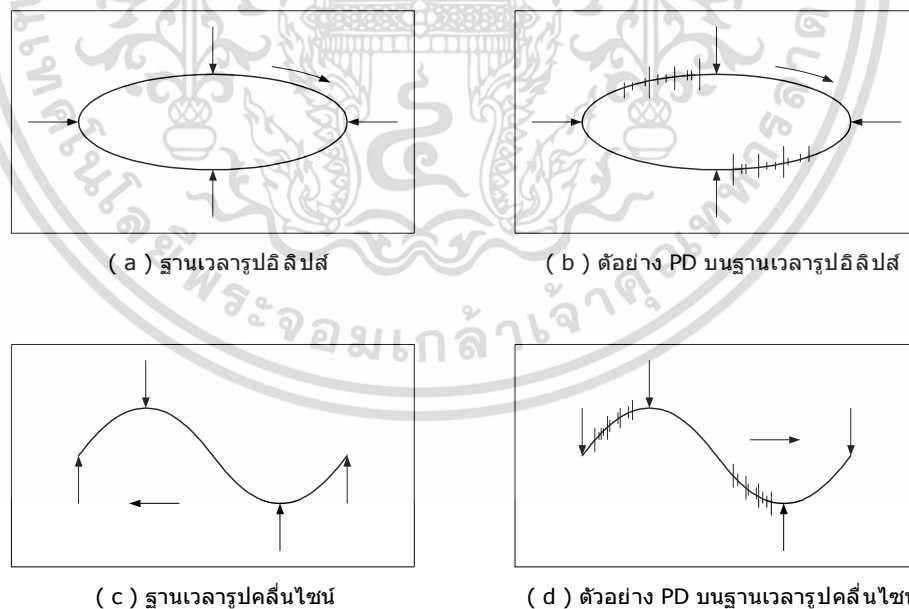
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรจะมีส่วนประกอบดังนี้ U : แรงสูงตัวจ่าย, F : ตัวกรอง, Z_{mi} : อิมพีแดนซ์ป้อนเข้าของระบบ
 CC : เคเบิลวัด, C_t : ค่าเก็บประจุวัสดุทดสอบ, C_k : ค่าเก็บประจุคาบเกี่ยว, CD : ตัวต่อคาบเกี่ยว

ความแตกต่างของวงจรแบบ ก) และแบบ ข) คือแบบ ก) ตัวต่อคาบเกี่ยว CD ต่ออนุกรมกับ C_k ที่มีศักย์เป็นดิน เป็นแบบที่ใช้กันมากในทางปฏิบัติ ไม่เสี่ยงต่อการเกิดเบรกดาวน เพราะทราบค่าแรงดันที่กำหนดของ C_k แต่ความไวในการวัดจะน้อยกว่าแบบ ข) เพราะ PD ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นในวัสดุทดสอบ C_t แบบ ข) จะมีความไวสูงกว่า เพราะตัวต่อคาบเกี่ยว CD ต่ออนุกรมโดยตรงกับวัสดุทดสอบ C_t ค่าเก็บประจุสเตรย์ทั้งหลายด้านแรงสูงกับดินจะเพิ่มค่า C_k ทำให้ความไวของวงจรวัด PD สูงขึ้นดูสมการ 2.11 แต่มีข้อเสียที่เสี่ยงต่อการเกิดเบรกดาวนที่วัสดุทดสอบ จะทำให้เครื่องวัด PD เสียหายได้

2.9 การแสดงผลดิซาร์จบางส่วน

การวัดค่า PD อาจวัดด้วยมิเตอร์ความถี่สูงออกมาเป็น micro-volt (μV) picocoulomb (pC) ได้แต่จะทราบเพียงขนาดของ PD เท่านั้น วิธีที่นิยมใช้แสดงผลวัด PD ในปัจจุบันคือ การแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป ซึ่งอาจแสดงได้ 2 แบบ คือ ให้รูปพัลส์ของ PD ปรากฏบนฐานเวลา รูปอิลิปส์ ซึ่งมีเครื่องหมายแสดงตำแหน่ง ยอดบวก ยอดลบ และตำแหน่งศูนย์ของรูปแรงดันทดสอบ ดังรูปที่ 2.11



แสดงผลของ PD

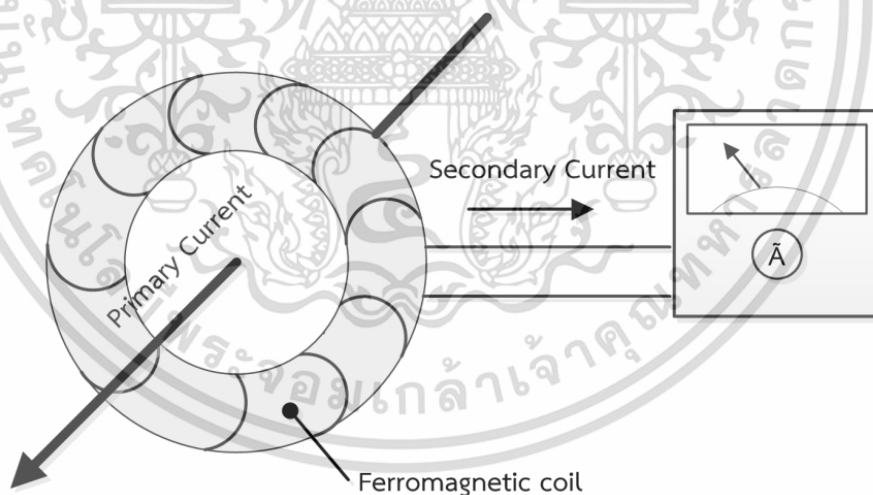
รูปที่ 2.11 การแสดงผลของดิซาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดง PD บนฐานเวลารูปคลื่นไซน์มีผลที่วัดขนาดได้ถูกต้องและสังเกตตำแหน่งที่เกิดได้แน่นอน การแสดงบนฐานเวลารูปโพลีมีซ็อดคือ แยกได้ว่า PD เกิดจากสาเหตุอะไร

2.10 อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง High frequency current transformer (HFCT) อยู่ 2 รูปแบบคือ หม้อแปลงกระแสที่ออกแบบแกนเหล็กให้เหมาะสมกับความถี่สูง และขดลวด Rogowski Coil ซึ่งหม้อแปลงกระแสความถี่สูงนั้นได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการตรวจจับ PD เพื่อหาตำแหน่งในการเกิด ชนิดและรูปร่างของ PD ซึ่งมีหลักการคือขดลวดโรโกฟสก็์จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กคล้องผ่านขดลวดที่พันแกนที่ไม่เป็นแม่เหล็กของขดลวดโรโกฟสก็์ที่ผลจากสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะไปคาบเกี่ยวกับขดลวดซึ่งวางอยู่เป็นวงรอบตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันที่ปลายของขดลวด เมื่อนำแรงดันดังกล่าวไปผ่านตัวอินทิเกรตที่เหมาะสมก็จะได้รูปคลื่นกระแสที่ต้องการวัดอย่างถูกต้อง อธิบายได้อีกแบบคือเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ(Primary) จะเกิดสนามแม่เหล็กไปคาบเกี่ยวกับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ(Secondary) เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ปลายสายเมื่อนำปลายสายต่อเข้ากับเครื่องมือวัดหรือแอมป์มิเตอร์ด้านทุติยภูมิ (Secondary) ก็จะสามารถวัดกระแสที่ต้องการวัดได้ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลักการของหม้อแปลงกระแส

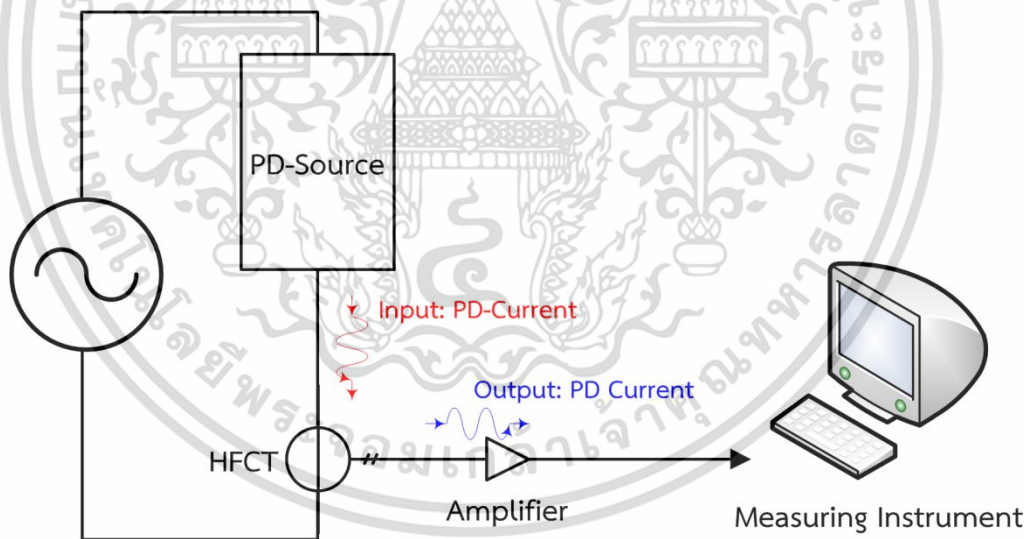
ซึ่งส่วนประกอบหลักของตัว HFCT นั้นจะประกอบไปด้วย ขดลวดกับแกน Ferromagnetic ที่ออกแบบมาให้เหมาะสมสำหรับการวัดสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่รวดเร็วหรือกล่าวได้ว่าเหมาะสมสำหรับการวัดรูปร่างพัลส์ของ PD ที่มีความถี่สูงโดยรูปร่างหน้าตาของ HFCT นั้นสามารถแสดงให้เห็นเป็นตัวอย่างในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูงหรือ High frequency current transformer (HFCT)

ลักษณะของการทำงานทางด้านการวัดของตัว HFCT นั้นจะถูกคล้องที่สายตัวของระบบกราวด์ สำหรับการวัด PD [13] ในส่วนของวงจรตัวอย่างที่แสดงวิธีการต่อเพื่อใช้งานของตัว HFCT สามารถจำลองให้เห็นได้ในรูปที่ 2.14 โดย HFCT จะคล้องเข้าที่ตัวนำของอุปกรณ์ที่เกิด PD เพื่อทำหน้าที่วัดค่ากระแสของ PD ที่เกิดขึ้นจากตัวอุปกรณ์ที่เกิด PD โดยกระแสในตัวนำนั้นไหลผ่านตัว HFCT ค่ากระแสทางด้านขาออกนี้จะอาจจะถูกนำไปแสดงผลด้วยเครื่องมือวัดหรืออาจจะผ่านชุดวงจรขยายสัญญาณแล้วนำไปแสดงผลต่อไป



รูปที่ 2.14 วงจรตัวอย่างแสดงวิธีการใช้งานของตัว HFCT เพื่อวัดสัญญาณ PD

ฟังก์ชันการถ่ายโอนของการเหนี่ยวนำของ HFCT นั้นสามารถเขียนได้โดยกฎของ ฟาราเดย์ ในสมการที่ 2.14 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = -n \cdot \frac{d\phi}{dt} = -n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} = -\mu_0 \cdot n \cdot A \cdot \frac{dH}{dt} \quad (2.14)$$

เมื่อ ϕ คือค่าของฟลักซ์แม่เหล็กที่ไหลผ่านขดลวดทางด้าน Secondary โดยเขียนในรูปความสัมพันธ์ของจำนวนรอบของขดลวด n และพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก A ในกรณีของแกนที่เป็นชนิด Ferromagnetic สามารถจัดรูปเป็นรูปสมการที่ 2.15 จะได้

$$e = -\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot A \cdot \frac{dH}{dt} \quad (2.15)$$

แรงดันเหนี่ยวนำด้าน Secondary ที่เป็นสัดส่วนกันกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาด้าน Primary ที่ถูกเหนี่ยวนำระหว่างตัวนำที่ HFCT คล้องอยู่กับตัว HFCT เอง โดย M คืออัตราส่วนค่าคงที่ของ HFCT ซึ่งจะเขียนรูปสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.16

$$e = M \cdot \frac{di}{dt} \quad (2.16)$$

สำหรับ HFCT ที่มีลักษณะที่เป็นเชิงเส้นค่า sensitivity ของ HFCT นั้นสำคัญมากที่จะต้องมีการการปรับปรุง เมื่อ HFCT นั้นใช้แกนเหล็กที่เป็นแบบ soft magnetic ในส่วนของ แกนที่เป็นลักษณะของ Ferromagnetic นั้นจะมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ขึ้นกับปัจจัยหลักคือ ความถี่ อุณหภูมิ และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ในการเลือกแกนเหล็กที่เหมาะสมนั้นควรออกแบบตามลักษณะของความถี่ที่จะนำไปใช้งาน เช่นถ้าความถี่ไม่สูงมากไม่จำเป็นต้องมี sensitivity ที่สูงก็สามารถใช้แกนเหล็กที่เป็น soft magnetic ได้ แต่ถ้าความถี่สูงก็ควรที่จะเลือกใช้ที่เป็น Ferromagnetic

แหล่งกำเนิดของกระแสพัลส์ของ PD ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นมีค่า rise times ในช่วงเวลาสั้นประมาณ 2us หรืออาจจะต่ำกว่าไปถึงระดับ 100ns วินาที ดังนั้นความถี่ของตัว HFCT นั้นที่จะนำมาติดตั้งสำหรับตรวจจับ PD ควรเลือกใช้ที่ความถี่ที่ต่ำกว่า 10MHz หรืออาจจะเลือกช่วงของความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน [9]

2.11 อุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน

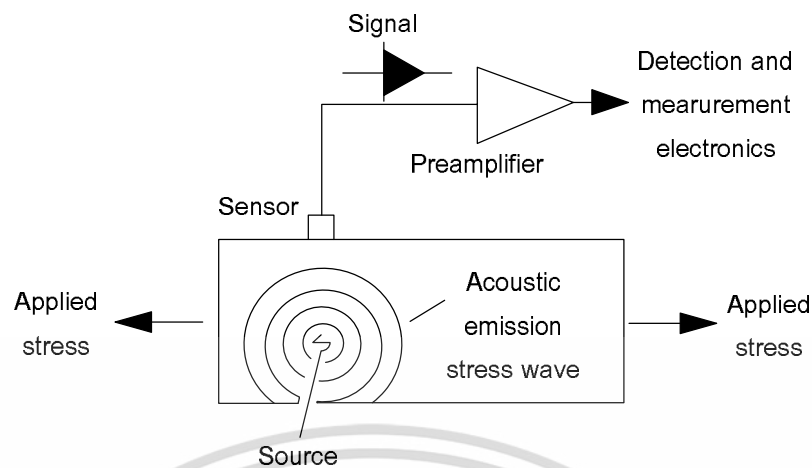
การตรวจสอบด้วยสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน (Acoustic Emission Testing) จัดเป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่ยังใหม่และยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายนักในการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชันนี้เป็นการตรวจหาสิ่งบกพร่องในขณะที่กำลังเกิดขึ้นหรือกำลังขยายตัวได้ทั้งในระดับอนุภาค (Micro structure) เช่น การที่มีอะตอมขาดหายไป (Vacancy) หรือการที่มีอะตอมเกิน (Interstitial) และในระดับมหภาค (Macro structure) เช่น การเกิดรอยร้าว (Crack) โดยรอยบกพร่องจะเป็นตัวแพร่สัญญาณออกมาในลักษณะของสัญญาณอะคูสติกหรือสัญญาณเสียงดังนั้นข้อได้เปรียบของการตรวจสอบด้วยวิธีนี้เมื่อเทียบกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีดั้งเดิมอื่นๆในปัจจุบันเช่นการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing) การตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing) การตรวจสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) การตรวจสอบโดยใช้ของเหลวแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing) การตรวจสอบโดยใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing) คือ เป็นการตรวจสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สามารถใช้การเฝ้าระวังและทราบได้ล่วงหน้าก่อนที่ความเสียหายจะเกิดลุกลามขึ้นนอกจากนี้ยังครอบคลุมผลการตรวจสอบเป็นวงกว้างในการตรวจสอบคร่าวเดียว

2.11.1 ระบบการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน

อะคูสติกอิมิชชันใช้หลักการตรวจจับพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วคราว (Transient elastic wave) ที่ปลดปล่อยจากรอยความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ [10] การตรวจจับคลื่นยืดหยุ่นสามารถทำได้โดยใช้หัวตรวจจับ (Sensor) ยึดติดกับผิวของวัสดุทดสอบ หัวตรวจจับจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปของคลื่นเสียงให้เป็นคลื่นไฟฟ้า และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจะถูกขยายด้วยอุปกรณ์ขยายเบื้องต้น (Pre-amplifier) และส่งผ่านไปยังตัวกรองความถี่ (Filter) เพื่อกรองความถี่บางช่วงความถี่ออก และส่งสัญญาณนั้นไปวิเคราะห์เทียบกับขนาดหรือความรุนแรงของรอยความไม่ต่อเนื่องหรือรอยบกพร่อง การวิเคราะห์สัญญาณอาจทำได้ทั้งในโดเมนเวลา (Time domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือใช้ร่วมกันทั้งโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ (Joint time frequency domain) ความถี่ที่นำไปวิเคราะห์โดยทั่วไปมักอยู่ในช่วงตั้งแต่ 25 กิโลเฮิรตซ์ (KHz) จนถึง 3 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) แต่ความถี่ที่นิยมใช้วิเคราะห์ในงานทั่วไปมักอยู่ในช่วงตั้งแต่ 100 KHz ถึง 1 MHz อะคูสติกอิมิชชัน มีความไวในการทดสอบ (Sensitivity) สูงมาก คลื่นผิว (Surface wave) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของวัสดุทดสอบทำให้เกิดระยะขจัด (Displacement) ที่มีขนาดเล็กสามารถทดสอบพบได้โดยใช้หัวตรวจสอบที่มีความไวสูง

การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณอะคูสติกนั้นอาศัยหลักการในการตรวจจับคลื่นสัญญาณอะคูสติกที่เกิดขึ้นซึ่งจะขยายตัวออกไปสู่ออกไปสู่อุปกรณ์และสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณอะคูสติก (AE Sensor) ที่มีการติดตั้งไว้ที่ผิวของชิ้นงานสัญญาณที่ตรวจจับได้จะนำไปจัดสัญญาณรบกวนนำไปขยายให้สูงขึ้นและถูกนำไปแปลผลเพื่อวิเคราะห์หรือรอยบกพร่องหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ได้หลากหลายอาทิเช่นใช้ในการประเมินความผิดปกติรอยแตกร้าวหรือสิ่งบกพร่องในเนื้อวัสดุการควบคุมระดับคุณภาพในกระบวนการเชื่อมการตรวจสอบรอยร้าวในท่อก๊าซและการตรวจสอบการเกิดแผ่นดินไหว (Seismic Analysis) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน [11]

โดยเมื่อวัสดุชนิดหนึ่งถูกแรงดึงกระทำที่ปลายทั้งสองจนกระทั่งเกิดการเสียรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) หรือเกิดการแตกในเนื้อวัสดุ รอยแตกนั้นจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง ทั้งแบบคลื่นเสียงตามยาว (Longitudinal wave) และคลื่นเสียงตามขวาง (Transverse wave) คลื่นเสียงทั้งสองชนิดจะเคลื่อนไปทุกทิศทางจนถึงผิวของวัสดุและทำให้เกิดคลื่นเสียงที่ผิวขึ้น หัวตรวจจับที่ติดไว้ที่ผิวของวัสดุก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลของคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและสัญญาณทางไฟฟ้านั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

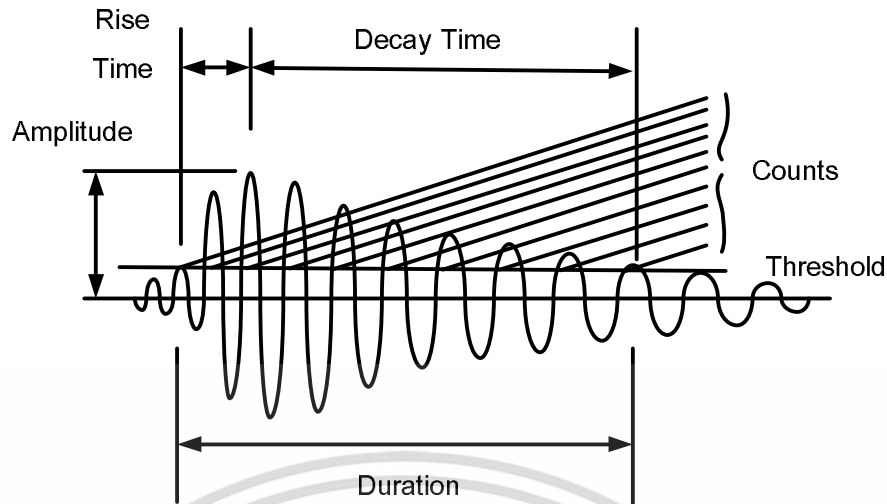
2.11.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน

แหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติกอิมิชชันจะอยู่ในรูปแบบต่างๆ ของการเกิดการเสียรูปแบบ (Deformation) หรือการเกิดรอยร้าว ตัวอย่างของต้นกำเนิดสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน ที่ทำให้เกิดสัญญาณขนาดใหญ่มากได้แก่ การเกิดแผ่นดินไหวหรือการเกิดสัญญาณขนาดเล็ก เช่น การบิดตัวที่ไม่เท่ากันของอะตอม (Twinning) หรือการไถลเสียดระหว่างขอบเกรน (Grain boundary sliding) เป็นต้น การเสียรูปของวัสดุซึ่งจะเกิดก่อนถึงจุดล้าตัว (Yield point) หรือก่อนที่จะแตกหักนั้นไม่สามารถตรวจจับด้วยการทดสอบโดยไม่ทำลายวิธีอื่น แต่สามารถทำการทดสอบด้วยวิธีอะคูสติกอิมิชชัน

2.11.3 ตัวแปรของสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน

สัญญาณทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์ที่ตรวจจับได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของอะคูสติกพารามิเตอร์ โดยอุปกรณ์รับและประมวลสัญญาณอะคูสติกพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไป คือพารามิเตอร์ที่ประมวลผลมาจากทางโดเมนเวลาและที่นิยมใช้กันมากที่สุดและยังใช้กันมากที่สุดและยังใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันในการวิเคราะห์สัญญาณในตัวแปรของสัญญาณอะคูสติกจะมีส่วนประกอบดังนี้อีเวนท์ (Event) เคานท์ (Count) พลังงานอะคูสติก (Acoustic Emission Energy) แอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก (Acoustic Emission Signal Amplitude) ระยะเวลา (Duration) ไรส์ไทม์ (Rise Time) ดังแสดงในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงตัวแปรของสัญญาณอะคูสติก

1. อีเวนท์ (Acoustic Emission Events) คือสัญญาณที่ปรากฏขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุนั้นที่เกิดขึ้นเฉพาะที่ในอุดมคติดังในรูปที่ 2.25 สามารถแสดงได้ด้วยสมการ (2.17)

$$V = V_0 \exp(-Bt) \sin \omega t \quad (2.17)$$

โดยที่ V	คือ	ค่าของโวลต์ที่ได้จากหัวตรวจสอบ
V_0	คือ	สัญญาณแอมพลิจูดตัวแรก
B	คือ	ค่าลดลงที่คงที่ (มากกว่า 0)
T	คือ	เวลา
ω	คือ	ค่าความถี่เชิงมุม

2. เค้าท์ (Count) คือจำนวนครั้งของสัญญาณอะคูสติกในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในเวลาที่กำหนดที่มีระดับสูงกว่าขีดกำหนด (Threshold) ที่กำหนดไว้สัญญาณที่เกิดขึ้นหากมีค่าของแอมพลิจูดที่สูงและมีช่วงเวลาที่ยาวนานมากพอก็จะสามารถก่อให้เกิด Count ที่จำนวนมากตามไปด้วย จำนวนครั้งของเค้าท์ (Number of Counts) ที่เกิดขึ้นในเวลาที่กำหนดขึ้นอยู่กับความถี่ของหัวตรวจสอบคุณลักษณะการแด็มพ์ (Damp) ของหัวตรวจสอบคุณลักษณะการแด็มพ์ของโครงสร้างและระดับการตั้งขีดกำหนดเค้าท์สามารถหาได้จากสมการ

$$N = \frac{\omega}{2\pi B} + \ln \frac{V_0}{V_t} \quad (2.18)$$

โดยที่	N	คือ	จำนวนครั้งของเค้าท์
	V_t	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขีดกำหนดของเค้าท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พลังงานอะคูสติก (Acoustic Emission Energy) คือพลังงานอะคูสติกอิมิชชันที่ได้จากการปลดปล่อยออกมาชั่วขณะของวัสดุพลังงานของอะคูสติกอิมิชชันที่ได้จากสัญญาณมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาและสามารถวัดได้หลายวิธีการหาพลังงานที่ถูกต้องหาได้จากปฏิภาคโดยตรงของพื้นที่ใต้สัญญาณอะคูสติกอิมิชชันซึ่งพลังงานทางไฟฟ้า U สามารถหาได้จากสมการ

$$U = \frac{1}{R} \int V^2(t) dt \quad (2.19)$$

โดยที่	U	คือ	ค่าพลังงานทางไฟฟ้า
	R	คือ	ค่าความต้านทานกระแสในวงจร
	V	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้า

4. แอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก (Acoustic Emission Signal Amplitude) สัญญาณแอมพลิจูดสูงสุดมีความสัมพันธ์กับสัญญาณอะคูสติกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุและความหนาแน่นของแหล่งกำเนิดพลังงานอะคูสติกอิมิชชันการวัดแอมพลิจูดสูงสุดจากสัญญาณอะคูสติกอิมิชชันเป็นผลมาจากการทดสอบที่เหมือนกับพารามิเตอร์ของค่าที่สัญญาณของแอมพลิจูดที่วัดได้นั้นจึงส่งผลโดยตรงกับค่าของค่าที่ปกติการวัดแอมพลิจูดสูงสุดกระทำโดยใช้คณิตศาสตร์เพื่อความแน่นอนของการวัดทั้งสัญญาณที่ใหญ่และเล็กการแพร่ของแอมพลิจูดมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุที่ทำให้เกิดการเสียรูปซึ่งในทางปฏิบัติการหาแอมพลิจูดหาได้จากสมการ

$$N = \frac{Pf\tau}{b} \quad (2.20)$$

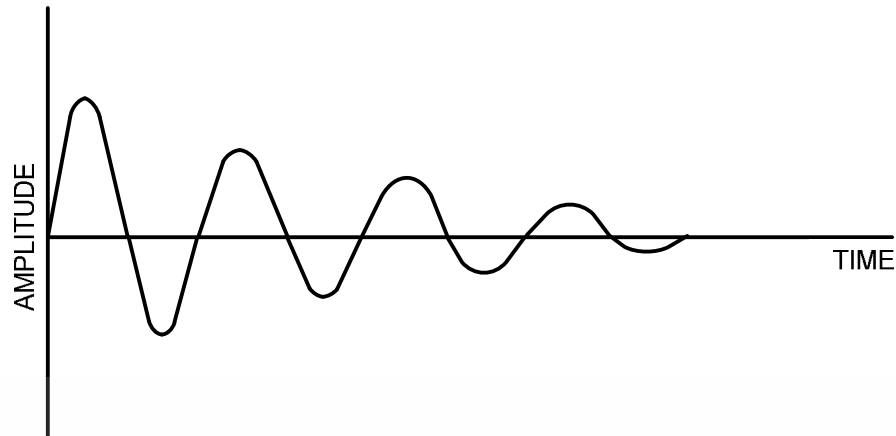
โดยที่	N	คือ	ค่าที่เพิ่มขึ้น
	P	คือ	อิมิตที่เพิ่มขึ้น
	f	คือ	ความถี่เรโซแนนซ์ของหัวตรวจสอบ
	τ	คือ	เวลาในช่วงของอิมิต
	b	คือ	แอมพลิจูดพารามิเตอร์ที่ลดลง

5. ระยะเวลา (Duration) คือระยะเวลาตั้งแต่สัญญาณแรกที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้นจนถึงเวลาของแอมพลิจูดของสัญญาณสุดท้ายที่สูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้น

6. ไรส์ไทม์ (Rise Time) คือระยะเวลาระหว่างช่วงตั้งแต่สัญญาณที่มีค่าสูงสุดกว่าค่าจำกัดเริ่มต้นครั้งแรกจนถึงสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด

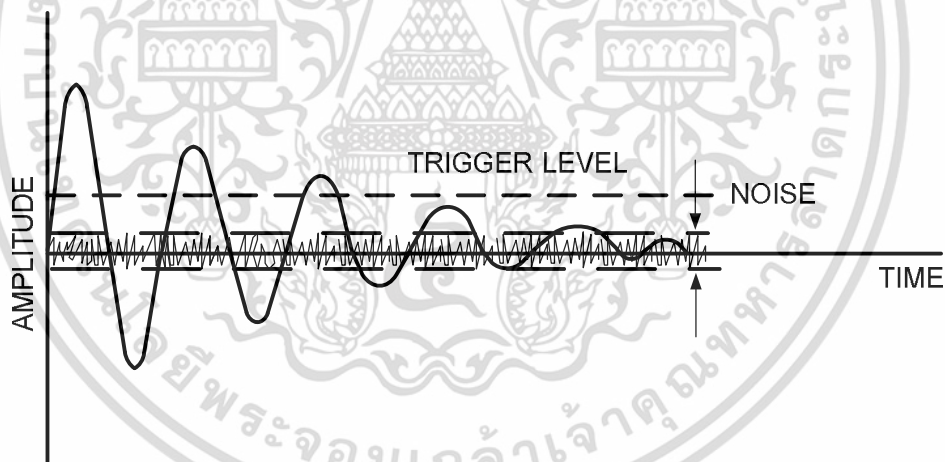
7. สัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน (Acoustic Emission) เป็นสัญญาณคลื่นที่มีความยืดหยุ่น (Elastic Wave) แบบชั่วคราวที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยพลังงานอย่างรวดเร็วจากภายในเนื้อวัสดุหรือผิวของวัสดุภายใต้ความเค้นในการปล่อยคลื่นอะคูสติกนี้เกิดจากกลไกของการเปลี่ยนรูปทรงเช่นการคราก (Yielding) การเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) การขยายตัวของรอยแตก (Crack Growth) การเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase Transformation) การแข็งตัว (Solidification) และการแตกร้าขณะแข็งตัว (Solidification Cracking) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของสัญญาณอะคูสติกอิมิชัน [10]

สำหรับสัญญาณอะคูสติกอิมิชันที่ใช้ในการตรวจสอบนั้นโดยปกติต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยการตั้งระดับขีดจำกัด (Threshold) ให้มีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวนดังแสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งผลจากการตั้งระดับขีดจำกัดดังกล่าวจะทำให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะบางประการของสัญญาณอะคูสติกอิมิชันอีกด้วย



รูปที่ 2.18 การกำหนดระดับขีดจำกัดเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ส่วนประกอบของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้คือ การจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพและในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ[12]

สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือเราไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราเรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราค้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นเราอาจจะสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรมบ้าง แต่เมื่อเราค้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

สำหรับผู้ที่เคยใช้โปรแกรมประเภทที่ใช้ตัวหนังสือ หรือที่เรียกว่า Text Base ทั้งหมด คงจะทราบถึงความยุ่งยากในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น Port หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาเหล่านี้จะได้รับการแก้ไขใน LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไว้สำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้น ไม่ว่าอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition), GPIB (General Purpose Interface Bus), พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument) รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนั้น LabVIEW จึงทำให้การวัดกลายเป็นเรื่องง่ายและทำให้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเรากลายเป็นเครื่องมือวัดหลายชนิดอยู่ในเครื่องเดียวโดยหลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนรับข้อมูลอินพุต (Input) มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้สามารถมาจากการ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูปภาพ), DAQ (สำหรับข้อมูลทางไฟฟ้า) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

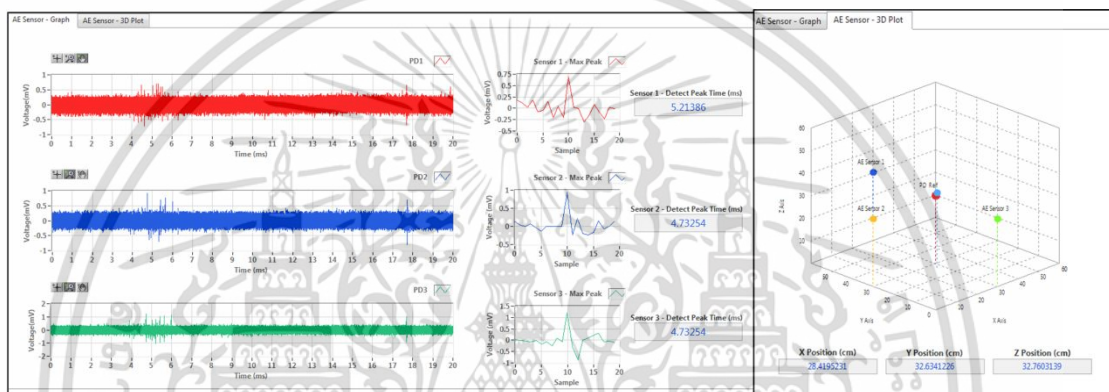
2. Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่ใช้งานสามารถนำเสนอแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น PDM (Partial Discharge Monitoring) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลาหรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลาหรือ spectrum Analyzer จะแสดงในรูปแบบความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

2.12.1 Virtual Instrument (VI)

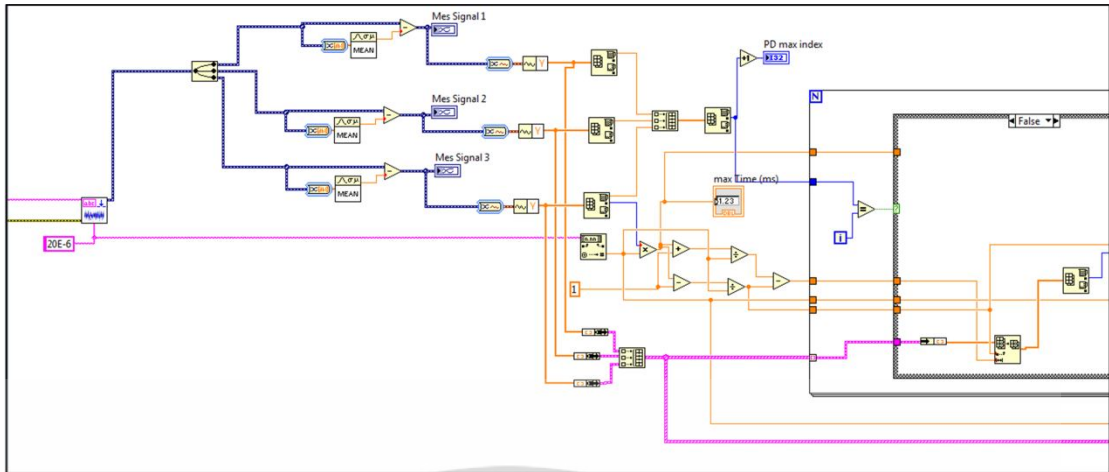
โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่ยวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน, Subroutines โปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. Front Panel หรือหน้าปัด จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียกว่า user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป ดังนั้นสำหรับผู้ที่ยึดเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหลายคงจะเข้าใจถ้าหากบอกว่า Front Panel นี้จะเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง ลักษณะของ Front Panel แสดงดังรูปที่ 2.19



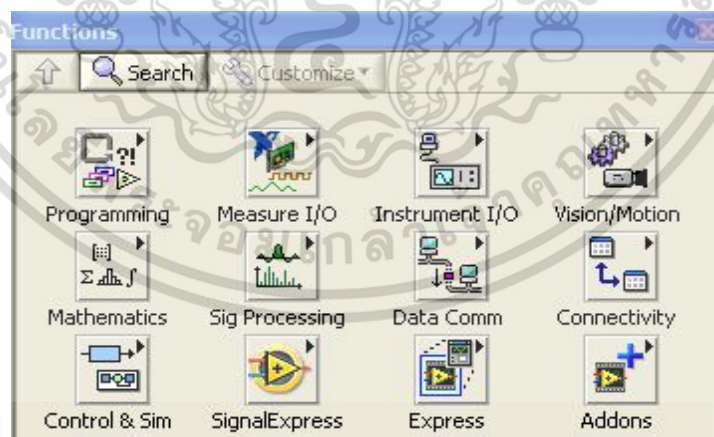
รูปที่ 2.19 Front Panel ของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

2. Block Diagram เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น เราอาจมอง Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งคือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น โดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้ แก่ผู้ใช้งานต่อไปดังแสดงรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 Block Diagram ของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

3. Icon และ Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป โดย Icon จะหมายถึง Block Diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า subVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้าทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า module สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูป 2.21 เราจะเห็นว่า เมื่อเราแสดงในรูปของ Connector เราจะพบว่ามีช่องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏให้เห็น



รูปที่ 2.21 Icon และ Connector ของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

คำศัพท์ต่างๆ ที่ใช้กันใน LabVIEW นี้จะแตกต่างจากที่เราใช้กันในภาษาการเขียนโปรแกรมตัวหนังสือต่างๆ ไปในหลายๆ ด้าน ดังนั้นเพื่อให้ผู้เริ่มใช้ LabVIEW เข้าใจถึงศัพท์ต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรมพื้นฐานต่างๆ ไป ตามตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดคำศัพท์พื้นฐานในโปรแกรมแลปวิว

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	Function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้นเช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	User interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของที่แต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

2.12.2 ความน่าเชื่อถือของโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมแต่ละโปรแกรมนั้นผู้สร้างมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำขึ้นอย่างแน่นอน และมีขอบข่ายของงานที่แน่ชัด ดังนั้นหากเราใช้โปรแกรมดังกล่าวไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ หรืออยู่ภายนอกขอบข่ายการทำงาน เราก็คงไม่สามารถใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดจากโปรแกรมนั้นได้ LabVIEW ก็เช่นเดียวกัน โดยวัตถุประสงค์หลักแล้ว บริษัท National Instrument ได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมที่จะนำมาใช้กับระบบเครื่องมือวัดที่มีความง่ายในการเขียนโปรแกรมและมีฟังก์ชันเพื่อจะช่วยให้การวัดทางวิศวกรรมให้มากที่สุด เพราะด้วยความเป็นมาของบริษัท National Instrument เริ่มจากการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับการวัดทางวิศวกรรม ไม่ใช่บริษัทที่เริ่มต้นจากการผลิต Software เป็นหลัก ดังนั้นคงไม่ผิดนักสำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดของโปรแกรม LabVIEW คือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลจากภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้ามาในเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ประมวลผลค่า แสดงผล และในกรณีใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ [12]

ข้อได้เปรียบสูงสุดของ LabVIEW คือการพยายามทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ของเราเมื่อรวมกับ LabVIEW และอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้วสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเราให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น Oscilloscope, Multi meter, Function Generator, Strain Meter Thermometer หรือเครื่องมือวัดอื่นๆตามที่เรารต้องการ ทำให้เราสามารถใช้อุปกรณ์ในการทำการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจุดนี้เองที่เป็นที่มาของชื่อ Virtual Instrument สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มได้ โดยการเปลี่ยน VI ให้เป็นไปตามต้องการ และเป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากนัก

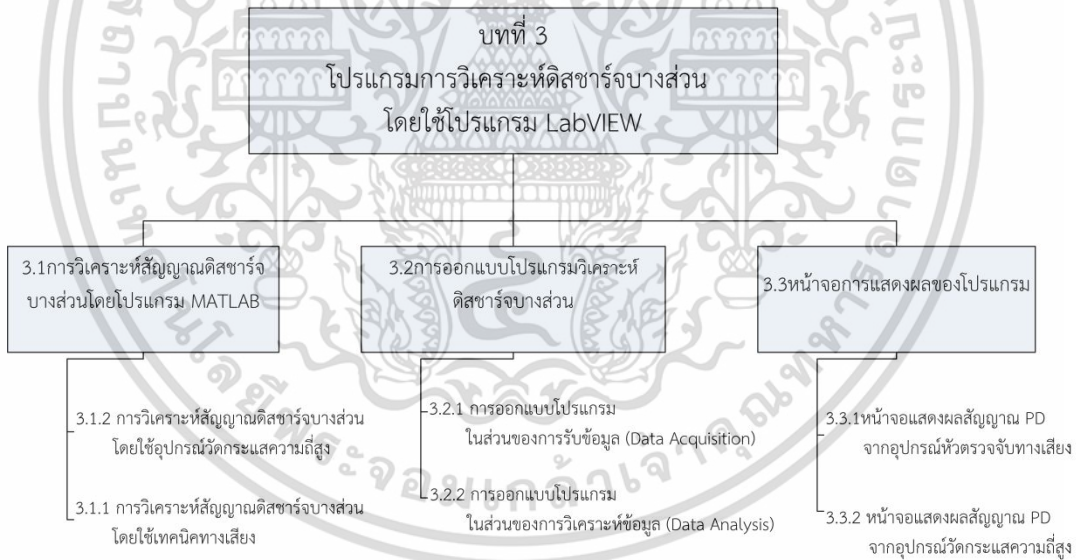
ข้อดีอีกประการหนึ่งในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวัดก็คือ สามารถใช้ทำเป็น Data Logger และ PLC (Programmable Logical Controlled) ได้พร้อมกัน ซึ่งโดยปกติแล้วระบบควบคุมมักจะไม่มีการเชื่อมกับเครื่องมือวัดจริงขั้นพื้นฐาน หรือ Data logger แม้จะเก็บข้อมูลได้ แต่การสั่งการทำงานกับอุปกรณ์ตัวอื่นจะมีความยุ่งยากในการสั่งการมาก

กล่าวโดยสรุปก็คือ หากเรามี LabVIEW, คอมพิวเตอร์ และ DAQ Card (หรือระบบการติดต่อสื่อสารอื่น เช่น GPIB หรือ Serial Port ซึ่งรายละเอียดและความแตกต่างจะกล่าวต่อไปภายหลัง) เราสามารถสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงได้มากมาย หากเราต้องมี Transducer ที่เหมาะสมประกอบอยู่ด้วย ซึ่งจุดนี้เองคือ ข้อดีของโปรแกรมเราเท่านั้น ไม่นับว่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน

ในบทที่ 3 เป็นส่วนของโครงสร้างและกระบวนการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนจากโปรแกรม LabVIEW ให้สอดคล้องกับข้อมูลของผลการการใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (High Frequency Current Transformer : HFCT) และอุปกรณ์ตรวจจับทางเสียง (Acoustic Emission : AE) โดยหัวข้อในการนำเสนอจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ 1.การวิเคราะห์กระบวนการหาดิสชาร์จบางส่วนโดยนำข้อมูลจาก Oscilloscope มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นวิธีการที่จะนำมาเปรียบเทียบขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนจากโปรแกรม LabVIEW 2. โครงสร้างและกระบวนการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนจากโปรแกรม LabVIEW ทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.1 เป็นการบอกเนื้อหาและข้อมูลในส่วนต่างๆ ของบทที่ 3



รูปที่ 3.1 แผนผังเนื้อหาในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาการวิเคราะห์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม MATLAB เพื่อนำหลักการมาเป็นแนวทางในการออกแบบและการวิเคราะห์สัญญาณ PD ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ดิซาร์จบางส่วนจากโปรแกรม LabVIEW ซึ่งในหัวข้อที่ 3.1 นี้จะนำเสนอวิธีการในการวิเคราะห์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม MATLAB จาก 2 เทคนิคการวัดคือ อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง และ อุปกรณ์ตรวจจับทางเสียง และใน หัวข้อที่ 3.2 จะนำเสนอการออกแบบในส่วนของตัวโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนจาก LabVIEW รวมไปถึงการแสดงผลของสัญญาณ

3.1 การวิเคราะห์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม MATLAB

การนำข้อมูลของสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ PD ออกมาวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB ต้องนำผลที่วัดได้จาก Oscilloscope ซึ่งเป็นไฟล์ .csv โดยส่วนแรกจะแสดงผลที่วัดได้จาก Oscilloscope และในส่วนต่อไปจะเป็นส่วนที่แสดงการวิเคราะห์ผลจากไฟล์ที่บันทึกมา โดยจะนำไปวิเคราะห์ในหลายๆ ส่วนด้วยกัน ไปจนถึงการหาค่าของ PD ซึ่งจะนำเสนอการวิเคราะห์ 2 แบบ จาก 2 อุปกรณ์การวัดดิซาร์จบางส่วนคือ

3.1.1 การวิเคราะห์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MATLAB มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนที่นำผลที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อดูรูปสัญญาณที่ได้จาก Oscilloscope สัญญาณนี้จะมีรูปแบบเหมือนกันกับสัญญาณที่บันทึกมาจาก Oscilloscope ที่เป็นไฟล์ภาพส่วนนี้จะใช้เพื่อเป็นการอ้างอิงกับสัญญาณที่บันทึกมาจากรูปภาพว่ามีความเหมือนกันกับผลที่วัดได้จริง

ขั้นตอนที่ 2 สัญญาณจะมีด้วยกัน 2 ส่วนคือ สัญญาณแรงดันทดสอบ กับ สัญญาณ PD ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะทำการแยกสัญญาณ PD และนำสัญญาณส่วนนี้ไปแปลงเป็น FFT เพื่อดูช่วงของความถี่ที่อยู่ในสัญญาณเพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าสัญญาณ PD มีความถี่ในช่วงใดบ้างและช่วงใดเป็นสัญญาณ PD ช่วงใดคือสัญญาณรบกวน

ขั้นตอนที่ 3 จากผลของ Oscilloscope จะมีผลของ DC Offset ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดันในสัญญาณที่วัดได้จาก Oscilloscope โดยถ้าหากว่าไม่มีการลบค่าของ DC Offset ออกจะทำให้ค่าของสัญญาณ PD ที่วัดได้มีค่าผิดเพี้ยนในขั้นตอนที่ 3 จะต้องนำสัญญาณมาแก้เรื่องผลของ DC Offset โดยใช้โปรแกรม Matlab เพื่อช่วยในการปรับแต่สัญญาณเพื่อลบค่าของ DC Offset ออก

ขั้นตอนที่ 4 นำสัญญาณที่ได้เมื่อลบผลจาก DC Offset ออกแล้วมาแปลง FFT อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบว่า FFT ไม่มีผลของ DC Offset กับมีผลของ DC Offset มีผลกับ FFT หรือไม่

ขั้นตอนที่ 5 เนื่องจากสัญญาณ PD มีผลของสัญญาณรบกวนดังนั้นต้องกรองสัญญาณรบกวนออกโดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้โดยเลือกค่าของความถี่คัตออฟจากการแปลง FFT ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้ผลจากขั้นตอนที่ 5 แล้วสัญญาณ PD จะถูกกรองสัญญาณรบกวนออกไป แล้วดั่งนั้นเพื่อความแน่ใจจึงทำการตรวจสอบโดยการแปลง FFT อีกครั้งเพื่อทดสอบว่าสัญญาณได้ถูกกรองสัญญาณรบกวนไปเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อได้สัญญาณที่มีถูกลบค่าของ DC Offset และกรองสัญญาณรบกวนแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้มาหาค่าเวลาเพื่อไปหาตำแหน่งการเกิดของ PD

ขั้นตอนที่ 8 นำค่าเวลาของ PD เพื่อไปหาตำแหน่งการเกิดของ PD

3.1.2 การวิเคราะห์สัญญาณดิซซาร์จบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MATLAB มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนที่นำผลที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อดูรูปสัญญาณที่ได้จาก Oscilloscope สัญญาณนี้จะมีรูปแบบเหมือนกันกับสัญญาณที่บันทึกมาจาก Oscilloscope ที่เป็นไฟล์ภาพส่วนนี้จะใช้เพื่อเป็นการอ้างอิงกับสัญญาณที่บันทึกมาจากรูปภาพว่ามีความเหมือนกันกับผลที่วัดได้จริง

ขั้นตอนที่ 2 สัญญาณจะมีด้วยกัน 2 ส่วนคือ สัญญาณแรงดันทดสอบ กับ สัญญาณ PD ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะทำการแยกสัญญาณ PD และนำสัญญาณส่วนนี้ไปแปลงเป็น FFT เพื่อดูช่วงของความถี่ที่อยู่ในสัญญาณเพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าสัญญาณ PD มีความถี่ในช่วงใดบ้างและช่วงใดเป็นสัญญาณ PD ช่วงใดคือสัญญาณรบกวน

ขั้นตอนที่ 3 จากผลของ Oscilloscope จะมีผลของ DC Offset ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดันในสัญญาณที่วัดได้จาก Oscilloscope โดยถ้าหากว่าไม่มีการลบค่าของ DC Offset ออกจะทำให้ค่าของสัญญาณ PD ที่วัดได้มีค่าผิดพลาดในขั้นตอนที่ 3 จะต้องนำสัญญาณมาแก้เรื่องผลของ DC Offset โดยใช้โปรแกรม Matlab เพื่อช่วยในการปรับแต่สัญญาณเพื่อลบค่าของ DC Offset ออก

ขั้นตอนที่ 4 นำสัญญาณที่ได้เมื่อลบผลจาก DC Offset ออกแล้วมาแปลง FFT อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบว่า FFT ไม่มีผลของ DC Offset กับมีผลของ DC Offset มีผลกับ FFT หรือไม่

ขั้นตอนที่ 5 เนื่องจากสัญญาณ PD มีผลของสัญญาณรบกวนดังนั้นต้องกรองสัญญาณรบกวนออกโดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้โดยเลือกค่าของความถี่คัตออฟจากการแปลง FFT ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้ผลจากขั้นตอนที่ 5 แล้วสัญญาณ PD จะถูกกรองสัญญาณรบกวนออกไป แล้วดั่งนั้นเพื่อความแน่ใจจึงทำการตรวจสอบโดยการแปลง FFT อีกครั้งเพื่อทดสอบว่าสัญญาณได้ถูกกรองสัญญาณรบกวนไปเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อได้สัญญาณที่มีถูกลบค่าของ DC Offset และกรองสัญญาณรบกวนแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้มาแปลงจากสัญญาณแรงดันเป็นค่าของกระแสเพื่อนำไปหาค่าของ PD ต่อไปโดยหาจากการนำค่า Ratio ที่หาได้จากผลการวัดเพื่อหาค่าอัตราส่วนของ อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง [9] มีค่า Ratio คือ $33.3\text{mV} : 1\text{mA}$ มาแปลงสัญญาณจากแรงดันทางด้าน Secondary เพื่อเป็นกระแสทางด้าน Primary ซึ่งก็คือ สัญญาณกระแสของ PD

ขั้นตอนที่ 8 นำสัญญาณกระแสที่ได้มาหาค่าของ PD จาก $i = \frac{dq}{dt}$ โดยหาจากสัญญาณของ

กระแสพัลส์ที่มีค่ากระแสสูงสุดซึ่งค่าที่ได้คือค่าของ PD

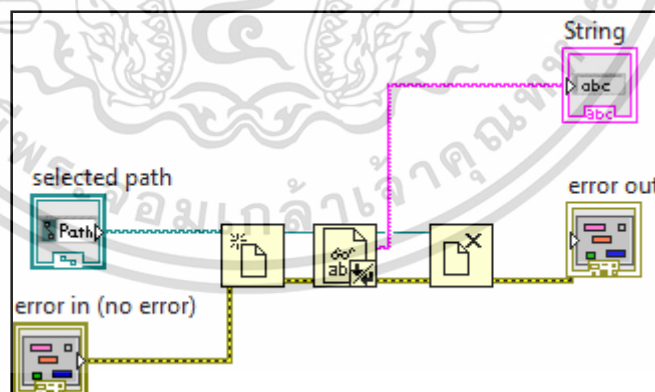
จากการศึกษาการวิเคราะห์สัญญาณดิสซาร์จบางส่วน โดยโปรแกรม MATLAB ของทั้ง 2 เทคนิควัด PD ในหัวข้อที่ 3.1.1 และ 3.1.2 สามารถสรุปได้ว่ามีขั้นตอนการวิเคราะห์ในส่วนของการวิเคราะห์สัญญาณที่วัดได้แล้วนำมาผ่านการคัดสัญญาณให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมเพื่อนำไปหาค่าของ PD และตำแหน่งของ PD ซึ่งจะอยู่ในขั้นตอนที่ 1 -6 และมีกระบวนการที่เหมือนกันทั้ง 2 เทคนิควัด PD แต่จะถูกแบ่งแยกวิธีการหา PD ที่ต่างกันคือขั้นตอนที่ 7 และ 8 ในส่วนของการวิเคราะห์สัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง มีจุดประสงค์คือหาเวลาของการเกิด PD เพื่อนำค่าเวลามาหาค่าตำแหน่งของการเกิด PD แต่การวิเคราะห์สัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง มีจุดประสงค์คือต้องการหาขนาดของ PD ซึ่งจะมีกระบวนการที่แตกต่างกันตามค่าต่างๆ ของ PD ที่ต้องการหาจากการวิเคราะห์สัญญาณ

3.2 การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ดิสซาร์จบางส่วน

การออกแบบการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ดิสซาร์จบางส่วนนี้ จะใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นหลักในการทำงานซึ่งโปรแกรมนี้อาจมีกระบวนการการออกแบบแบ่งออกไป 3 ส่วนคือ

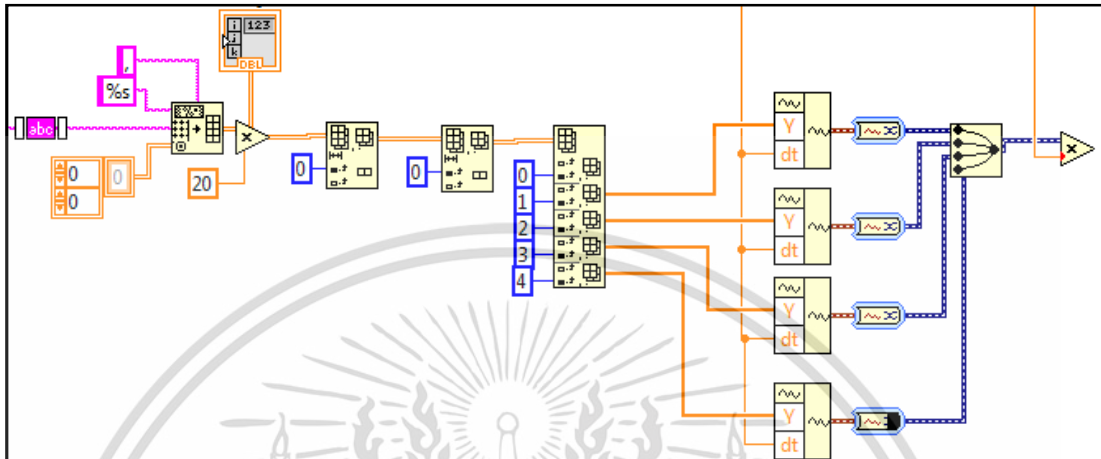
3.2.1 ส่วนของการรับค่าของข้อมูล (Data Acquisition)

ส่วนของการรับค่าของข้อมูลจาก Oscilloscope ซึ่งเป็นไฟล์ .CSV จึงต้องการแปลงข้อมูลให้สามารถนำมาประมวลผลในโปรแกรม LabVIEW ได้โดยทำการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ string เพื่อให้สามารถอ่านไฟล์ได้โดยแสดง Block diagram ดังรูปที่ 3.2

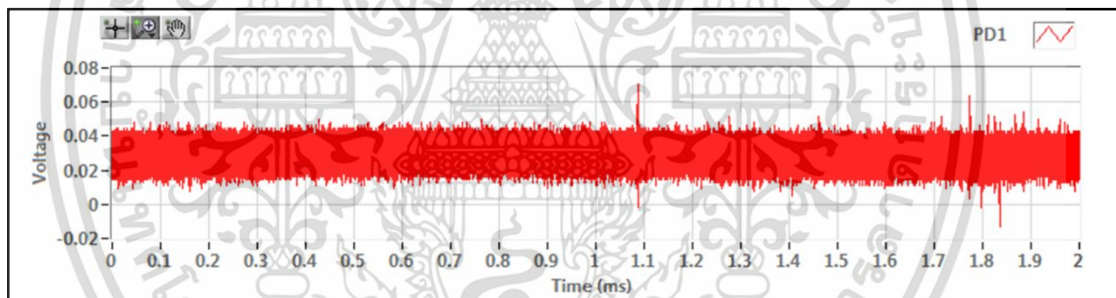


รูปที่ 3.2 โปรแกรมการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ string

ซึ่งเมื่อจัดเก็บข้อมูลแล้วทำการแบ่ง column เพื่อที่จะทำการแปลงเป็นจำนวนตัวเลขในการที่จะนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟสัญญาณโดยแสดง Block diagram ดังรูปที่ 3.3 และจะได้กราฟของสัญญาณในส่วน Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 โปรแกรมการพล็อตกราฟสัญญาณ



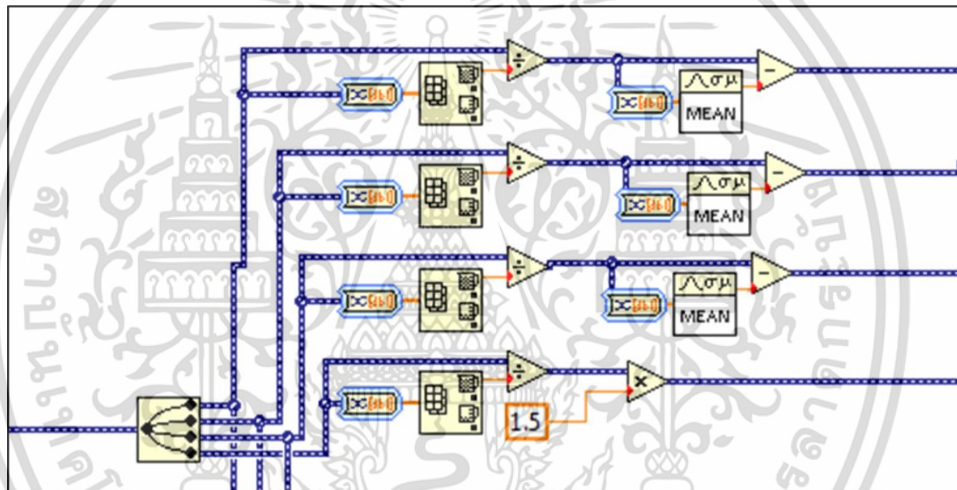
รูปที่ 3.4 สัญญาณในส่วน Front panel

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้นั้นไม่ได้มี offset ที่ 0 จะทำให้การวิเคราะห์ผลของขนาดแรงดันและขนาดของ PD มีค่าผิดเพี้ยนไปดังนั้นจึงต้องทำการปรับตั้งสัญญาณให้ตรง offset ที่ 0 เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นซึ่งจะอธิบายในส่วนต่อไป

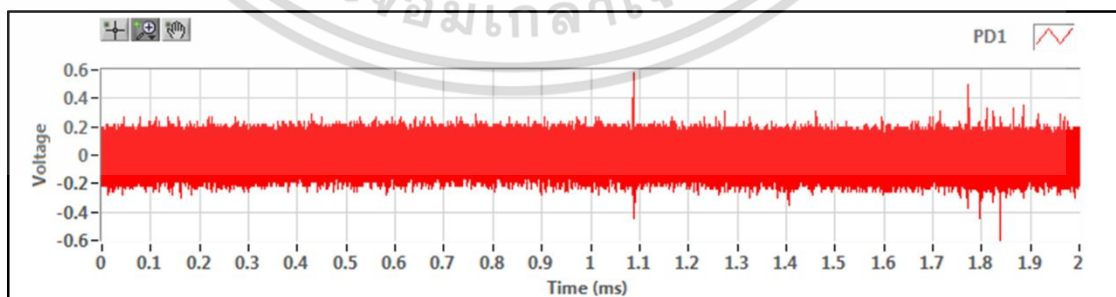
3.2.2 ส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

ส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล ทำหน้าที่วิเคราะห์สัญญาณที่วัดได้แล้วนำมาผ่านการคัดกรองสัญญาณให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมเพื่อนำไปหาค่าของ PD มี 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการปรับตั้ง offset ในส่วนนี้ทำการนำเอาสัญญาณ PD ที่ได้มาทำการหาค่าสูงสุด จากนั้นนำค่าสูงสุดของสัญญาณ PD มาหารสัญญาณ PD อีกครั้ง ในส่วนนี้สัญญาณที่ออกมาจะเป็นสัญญาณ Normalize ของสัญญาณ PD จากนั้นนำเอาสัญญาณ Normalize ของสัญญาณ PD มาทำการหาค่าเฉลี่ย (mean) เพื่อหา offset ที่ 0 ของสัญญาณ PD แล้วนำสัญญาณ Normalize มาลบด้วยค่าเฉลี่ย (mean) ซึ่งจะได้สัญญาณ PD ที่ออกมาจะเป็นสัญญาณที่ผ่านการบวกรวมการ offset ด้วยค่ากึ่งกลางของสัญญาณ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งส่วนการปรับตั้ง offset ของสัญญาณ PD มีการเขียนโปรแกรม แสดงดังรูป 3.5 และจะได้กราฟของสัญญาณในส่วน Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 โปรแกรมส่วนการปรับตั้ง offset ของสัญญาณ

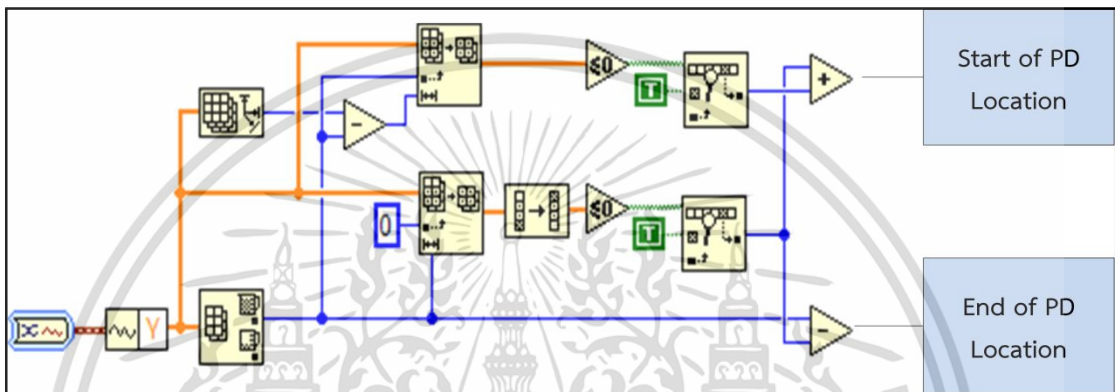


รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ทำการปรับตั้ง offset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

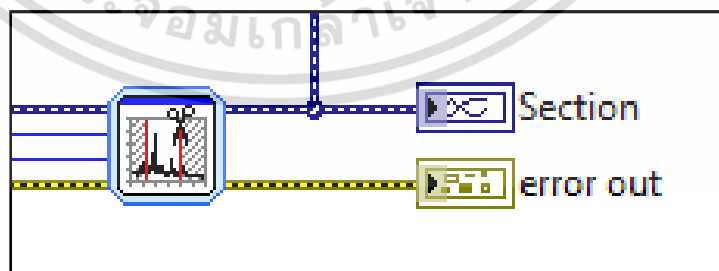
จากผลที่ได้ในรูปที่ 3.4 มาเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้มีค่า offset ที่ 0 ซึ่งเส้นกราฟจะอยู่ในระนาบแกนศูนย์เป็นสัญญาณที่สามารถนำมาวิเคราะห์หา PD ได้

2. ขั้นตอนการจัดการสัญญาณโดยการหาค่าสูงสุดของการเกิด pulse (Maximum Peak pulse) ซึ่งจะทำให้การหาทั้งสัญญาณที่ได้ออกมาทั้งทางด้านที่มากกว่าศูนย์ (Positive) และน้อยกว่าศูนย์ (Negative) และ นำค่าเวลาที่เกิด peak ของสัญญาณ PD มาหาช่วงเวลาของการเกิด PD โดยการหาค่าเวลาจาก peak ไปจนถึงค่าสุดท้ายที่ต่ำกว่า 0 ก็จะได้เวลาสุดท้ายการเกิด PD (End of PD Location) และทำการ reverse สัญญาณเพื่อหาเวลาเริ่มต้นการเกิด PD (Start of PD Location) แสดงโปรแกรม ดังรูป 3.7

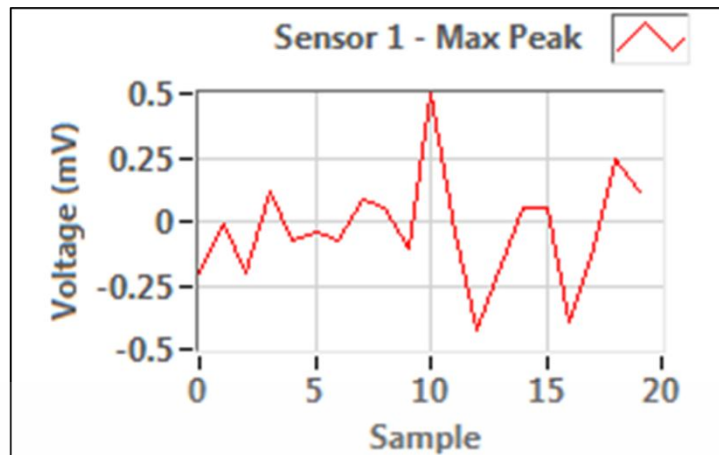


รูปที่ 3.7 โปรแกรมส่วนหาค่าสูงสุดของการเกิด pulse (Maximum Peak pulse)

3. ขั้นตอนการทำการขยายสัญญาณ (Extract) เมื่อหาช่วงเวลาของการเกิด PD ในขั้นตอนการจัดการสัญญาณโดยการหาค่าสูงสุดของการเกิด pulse ได้แล้วนำค่าของช่วงเวลาของการเกิด PD มากำหนดช่วงสัญญาณในการแสดงผลในการวิเคราะห์หาขนาดของ PD มีรูปแบบโปรแกรมดังรูปที่ 3.8 และจะได้กราฟของสัญญาณในส่วน Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งสัญญาณที่ได้เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการหาตำแหน่งการเกิด PD และ ขนาดของ PD

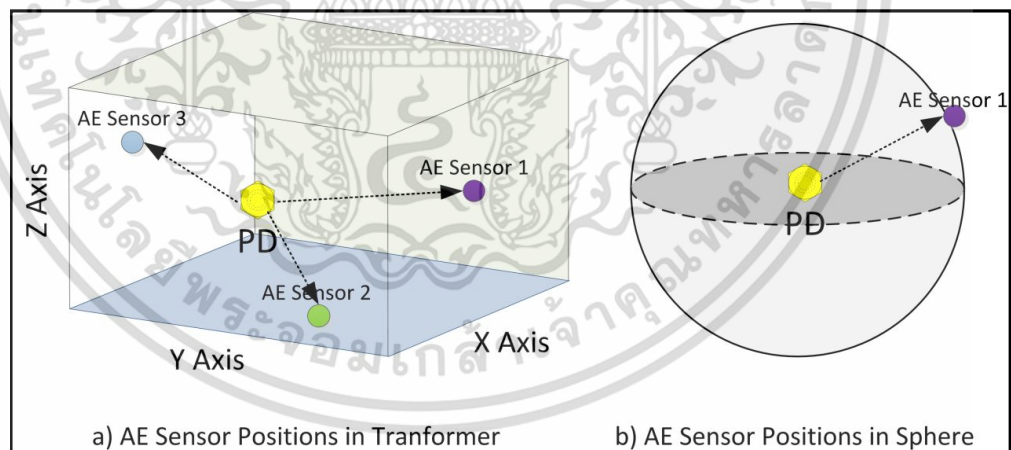


รูปที่ 3.8 โปรแกรมส่วนทำการขยายสัญญาณ (Extract)



รูปที่ 3.9 สัญญาณในส่วนทำการขยายสัญญาณ

4. ขั้นตอนการหาตำแหน่งของ PD ในส่วนของการใช้อุปกรณ์ตรวจจับทางเสียง (Acoustic Emission) เมื่อสามารถหาค่าเวลา t_1, t_2, t_3 ของการเกิด PD ได้จากขั้นตอนการหาค่าสูงสุดของการเกิด pulse สามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งของการเกิดดิซาร์จบางส่วนได้จากสมการการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดอะคูสติกอิมพัลส์ ซึ่งสมการที่สอดคล้องกับการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้คือสมการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่ใน 3 มิติ (Three dimensions) ใช้หัวตรวจจับ 3-5 หัวขึ้นไปเรียงตัวครอบคลุมปริมาตรที่จะทดสอบ [14] โดยในระนาบ 3 มิติสามารถคำนวณหาตำแหน่งของการเกิดดิซาร์จบางส่วนได้จากสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงในระนาบ 3 มิติ [14]

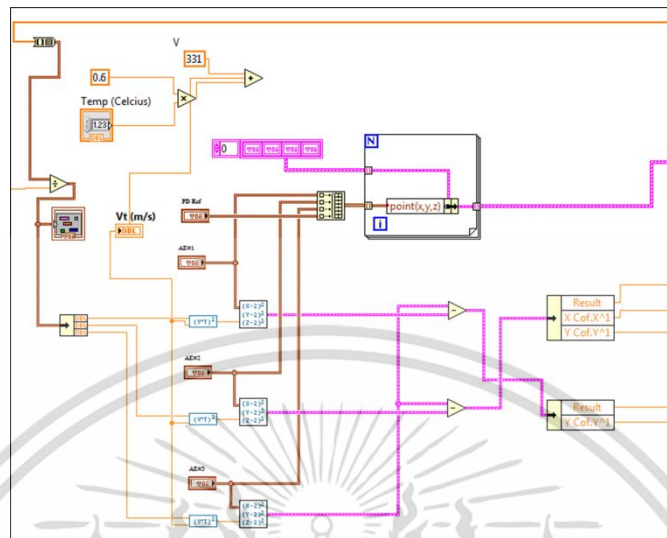
$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = (Vt_1)^2 \quad [3.1]$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = (Vt_2)^2 \quad [3.2]$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = (Vt_3)^2 \quad [3.3]$$

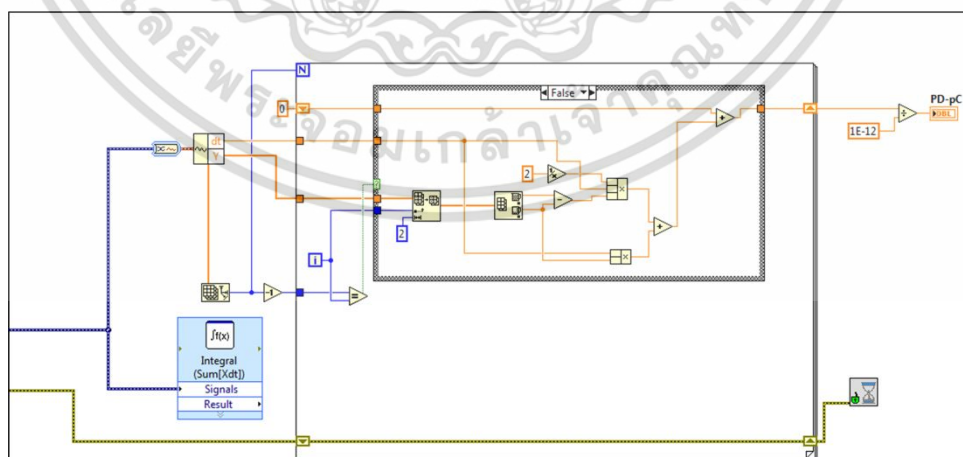
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 3.1, 3.2 และ 3.3 นำมาออกแบบการคำนวณหาตำแหน่งของการเกิดดิสชาร์จ บางส่วนใน Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โปรแกรมส่วนทำการหาขนาดของ PD

5. ขั้นตอนการหาขนาดของ PD ในส่วนของการใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสความถี่สูง เมื่อทำการขยายสัญญาณ PD แล้วนำมาแปลงจากค่าสัญญาณของแรงดันเปลี่ยนเป็นค่าของสัญญาณกระแส โดยการนำค่า Ratio ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสความถี่สูง (HFCT) ซึ่งมีค่า $33.33\text{mV} : 1\text{mA}$ [9] ก็จะได้สัญญาณกระแส เพื่อนำมาวิเคราะห์หาขนาดของ PD โดยหาจาก $i = \frac{dq}{dt}$ ซึ่งค่าของ PD เป็นค่าประจุ q หรือทำการหาพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณ PD ที่ทำการขยายสัญญาณแล้วนั่นเองมีรูปแบบโปรแกรมดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โปรแกรมส่วนทำการหาขนาดของ PD

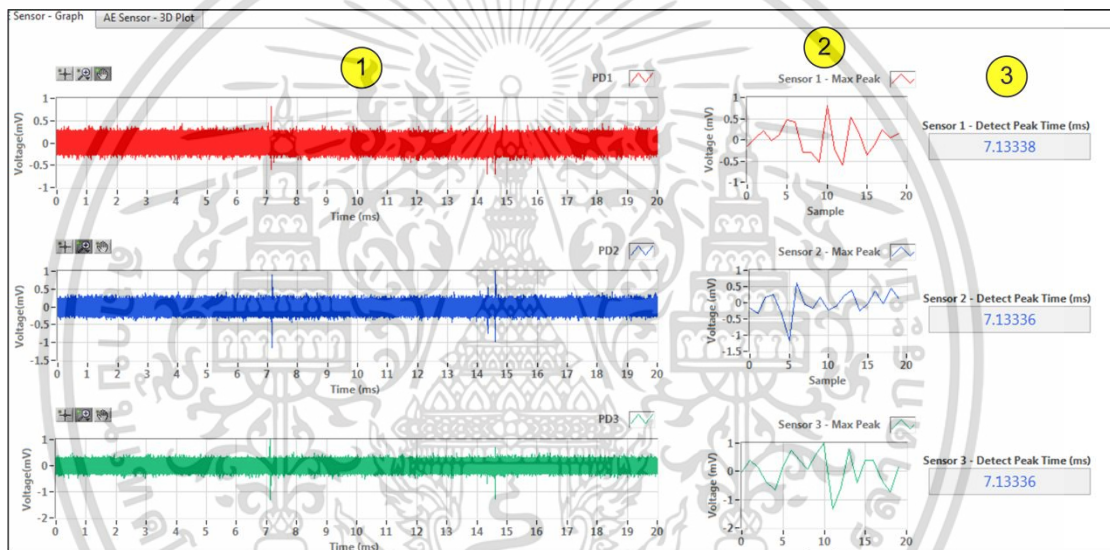
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม

การออกแบบการแสดงผล นั้นเป็นการออกแบบหน้าจอ Front Panel ซึ่งเป็นส่วนการแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ PD บนหน้าจอนี้ ซึ่งหน้าจอแสดงผลบนหน้า Front Panel นั้น สามารถทำการออกแบบได้ตามต้องการ ในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยหน้าจอแสดงผลของสัญญาณการวัดจาก 2 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ PD และหน้าจอการบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.3.1. หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง (Acoustic Emission)

หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง ซึ่งทำการแสดงผลบนหน้า Front Panel โปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 3.13 และ แสดงผลตำแหน่ง PD ดังรูปที่ 3.14

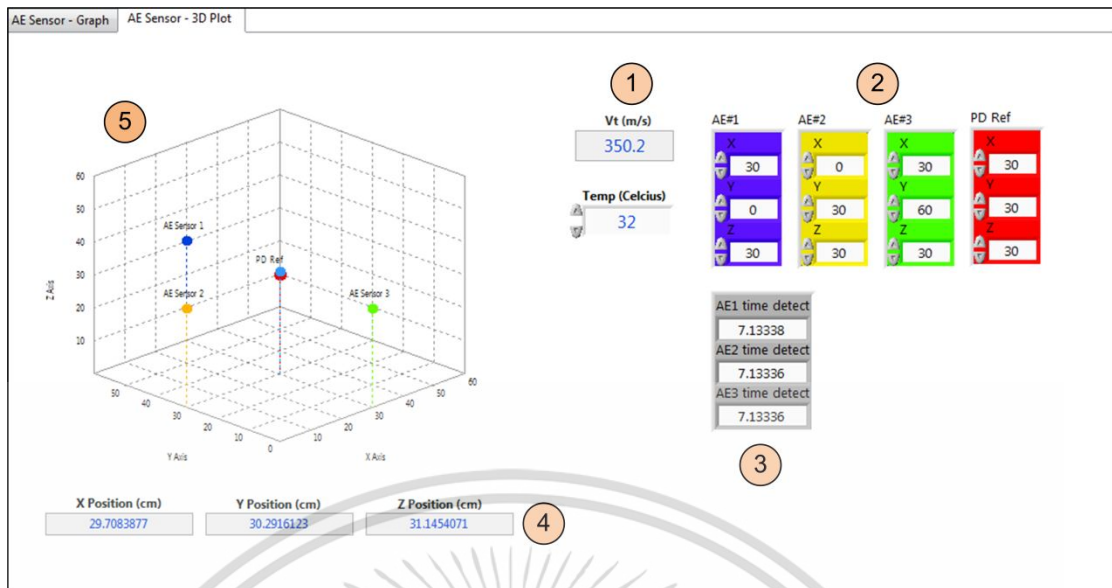


รูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง

จากรูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงผลการวัดประกอบไปด้วย

1. กราฟสัญญาณ PD ที่วัดได้จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง 3 สัญญาณจากหัวตรวจจับทางเสียง 3 หัว ซึ่งตั้งค่าเป็น PD1, PD2 และ PD3
2. กราฟแสดงผลข้อมูลการวิเคราะห์เกิด PD จากหัวตรวจจับทางเสียง 3 หัว
3. แสดงผลค่าเวลา (ms) ในการเกิด PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



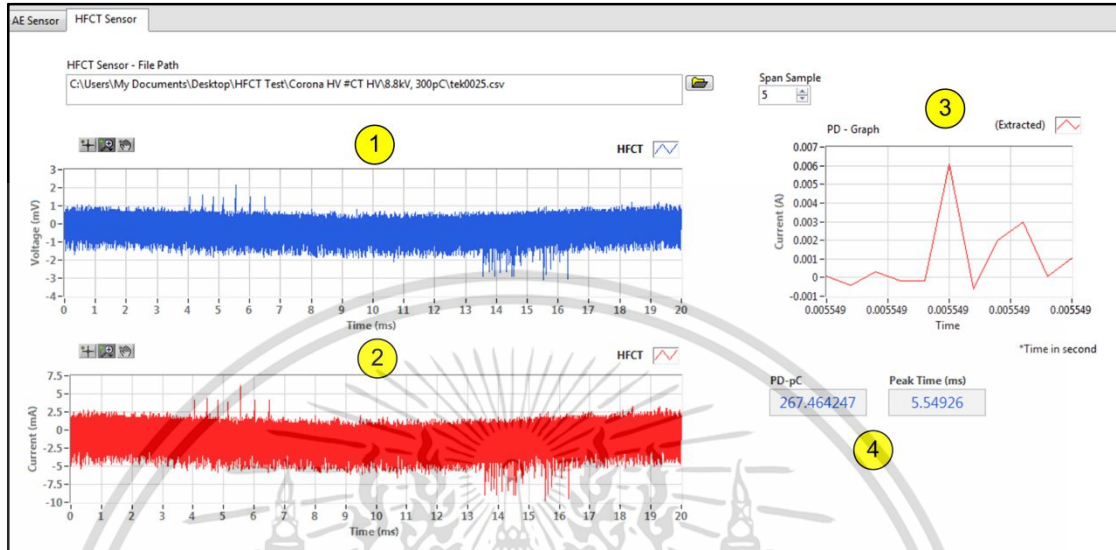
รูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงผลตำแหน่ง PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง

จากรูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงผลตำแหน่ง PD จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงประกอบไปด้วย

1. แสดงค่าความเร็วเสียง ณ อุณหภูมิที่ทำการตรวจวัด
2. แสดงการตั้งค่าของตำแหน่งหัวตรวจจับทางเสียงทั้ง 3 หัว และตำแหน่ง PD จริง
3. แสดงผลค่าเวลา (ms) ในการเกิด PD
4. ตำแหน่งของ PD ของที่วิเคราะห์ได้
5. ภาพจำลองหม้อแปลงทรงลูกบาศก์เสมือน แสดงตำแหน่ง PD ที่วิเคราะห์ได้จากหัวตรวจจับทางเสียง 3 หัว และอ้างอิงกับตำแหน่ง PD จริง

3.3.2. หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT)

หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง ซึ่งทำการแสดงผลบนหน้า Front Panel โปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงผลสัญญาณ PD จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT)

จากรูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงผลการวัดประกอบไปด้วย

1. กราฟสัญญาณ PD ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง
2. กราฟแสดงผลข้อมูลการเกิด PD
3. กราฟแสดงผลการแปลงสัญญาณของแรงดันเปลี่ยนเป็นค่าของสัญญาณกระแส
4. กราฟแสดงผลการหาค่า PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW จะแสดงให้เห็นเนื้อหาซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดดิสชาร์จบางส่วนทั้ง 4 ชนิดจากอุปกรณ์จำลองแหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนโดยจะแบ่งเป็น 2 หัวข้อใหญ่ๆ ด้วยกันคือ 4.1 อุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงโดยการใช้เทคนิคทางเสียง (AE) และ 4.2 อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT) โดยทำการทดสอบการวัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง และแสดงผลการทดสอบที่ในบทที่ 4 โดยจะแสดงให้เห็นผลการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนของโปรแกรมการวิเคราะห์ดิสชาร์จจากอุปกรณ์การวัดทั้ง 2 แบบและเปรียบเทียบผลการวัด PD กับผลการวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนจากโปรแกรม MATLAB และจากเทคนิคการวัดแบบเก่าตามมาตรฐาน IEC-60270 (MPD600) ที่เป็นการวัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง เนื้อหาทั้งหมดในบทที่ 4 จะแสดงให้เห็นในแผนภาพในรูปที่ 4.1



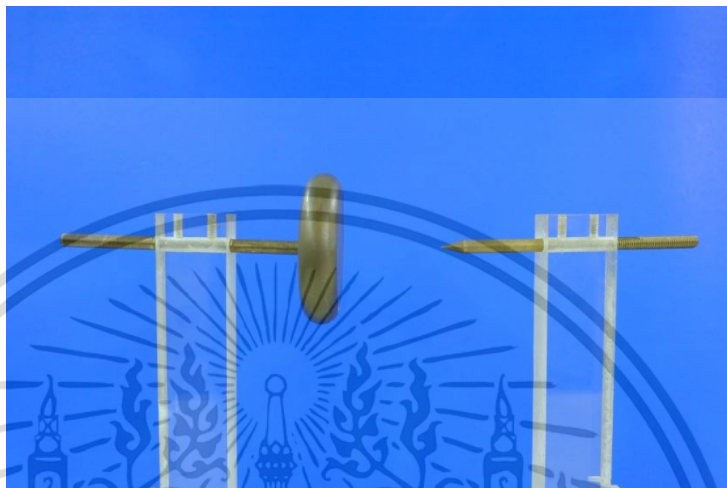
รูปที่ 4.1 แผนภาพการทดสอบและวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนซึ่งจะใช้ในการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ทั้ง 4 ชนิดดังนี้

1. แหล่งกำเนิดโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงสูง (H.V.-electrode Corona Discharge)

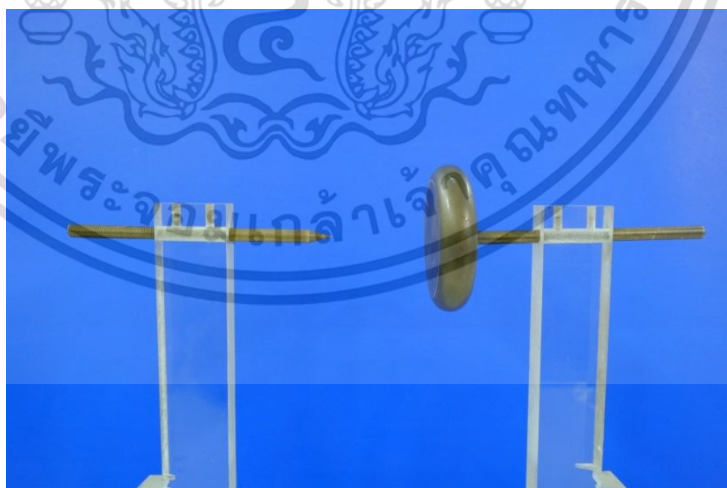
โดยด้านปลายแหลมของแหล่งกำเนิดดิสชาร์จจะต่อเข้ากับด้านแรงสูงของระบบไฟฟ้า ส่วนด้านเพลทจะต่อลงกราวด์เพื่อศึกษาโคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงดันสูงแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงสูง

2. แหล่งกำเนิดโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงต่ำ (L.V.-electrode Corona Discharge)

โดยด้านปลายแหลมของแหล่งกำเนิดดิสชาร์จจะต่อลงกราวด์ ส่วนด้านเพลทจะต่อด้านแรงสูงของระบบไฟฟ้าเพื่อศึกษาโคโรนาดิสชาร์จทางด้านกราวด์แสดงดังรูปที่ 4.3

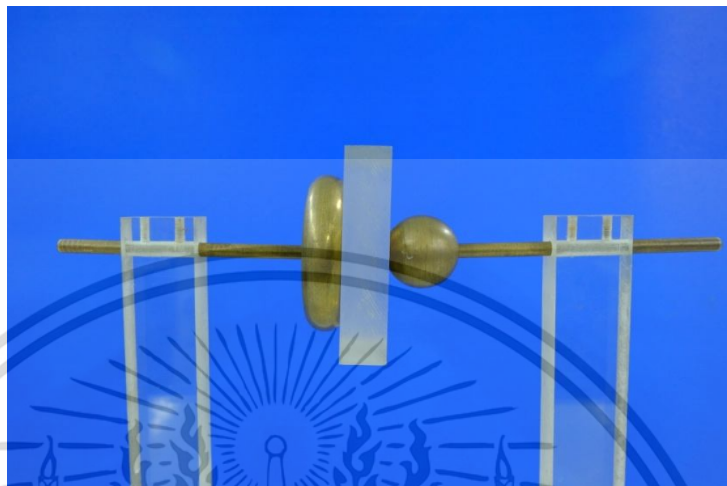


รูปที่ 4.3 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จด้านกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนภายนอก (Surface Discharge)

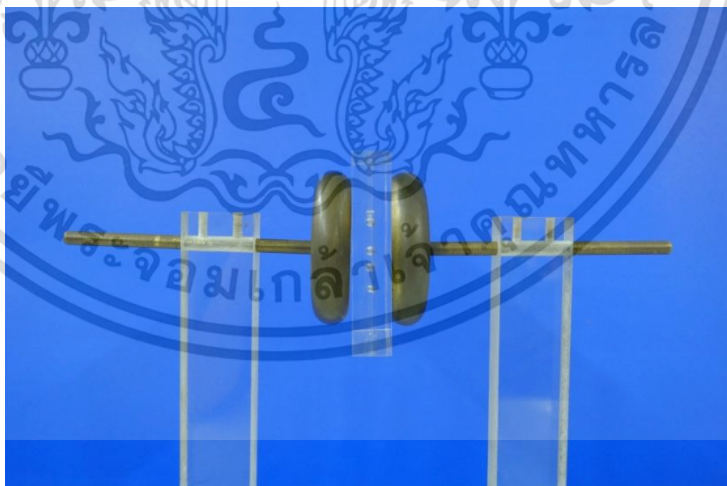
โดยจะให้ฮีลิกโทรตตรงกลมต่อทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและระนาบต่อลงกราวด์เพื่อศึกษาดิสชาร์จบางส่วนบริเวณผิวของฉนวน แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนภายนอก

4. แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal Discharge)

โดยจะประกอบด้วยเฟลทที่ต่อทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและเฟลทอีกด้านต่อลงกราวด์เพื่อศึกษาดิสชาร์จภายในที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีโพรงอากาศในเนื้อฉนวนที่เป็นของแข็ง แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน

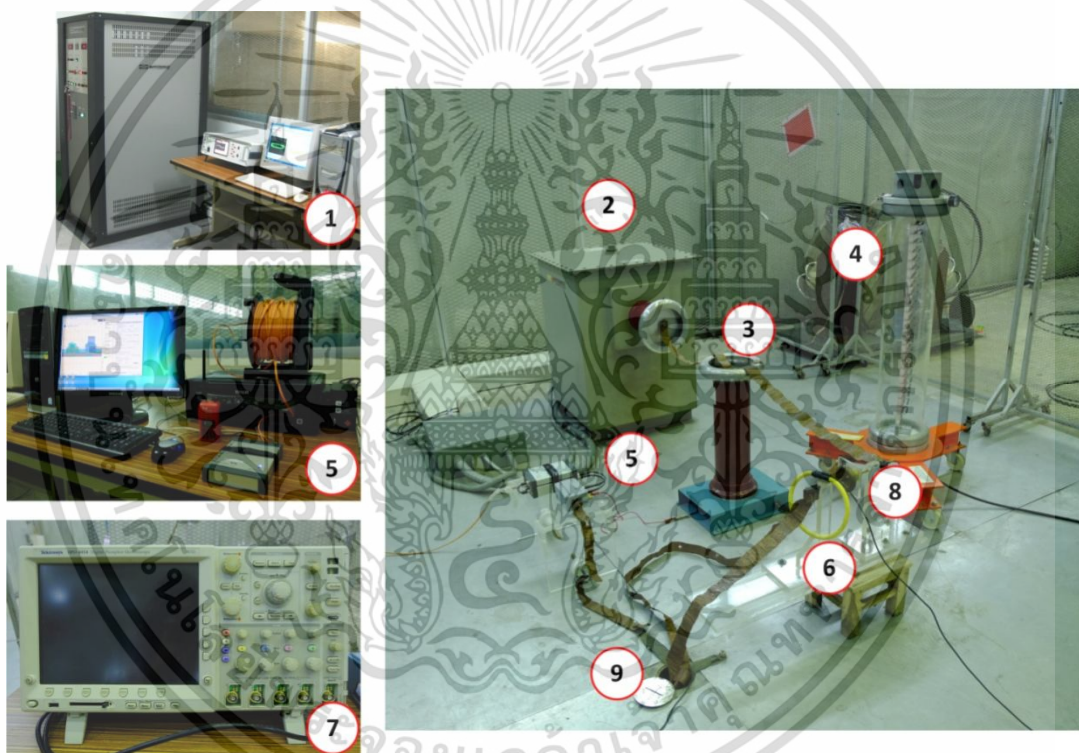
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT)

ในงานวิจัยนี้จะทดสอบดิสชาร์จบางส่วนทั้งหมด 4 รูปแบบโดยทำการต่อวงจรตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูงแสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งทำการทดสอบกับชุดอุปกรณ์ทดสอบตามทฤษฎีทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

1. H.V.-electrode Corona discharge
2. Ground-electrode corona discharge
3. Internal discharge
4. Surface discharge

ทั้งนี้ในการทดสอบเราจะทดสอบเฉพาะฉนวนที่เป็นอากาศเท่านั้น



รูปที่ 4.6 วงจรการวัดโดย Rogowski Coil ที่ทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

อุปกรณ์ต่างๆ ในรูปที่ 4.6 จะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. ห้องควบคุมการจ่ายแรงดันสูง
2. หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง AC พิกัด 460V/75kV 40kVA 50/60Hz
3. Coupling capacitor (CK) พิกัด 0.001 microfarad 100kV
4. ชุด Voltage divider ขนาด 1000V/1V
5. ชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงตามแบบมาตรฐาน IEC-60270

(MPD600)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD ด้วยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง Rogowski Coil
7. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการออกแบบ และ โปรแกรม LabVIEW 2013 (32-bit)
8. ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Object)
9. ชุดอุปกรณ์ป้องกันการทดสอบแรงดันสูง ชุดกรงป้องกันและระบบกราวด์รวมถึงไม้กราวด์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. การทดสอบในขั้นตอนแรกต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการวัดและหลักการป้องกันเกี่ยวกับการวัดแรงดันสูงก่อนที่จะทำการวัดเนื่องจากการวัดแรงดันสูงมีอันตรายถึงชีวิตดังนั้นควรปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ทางห้องปฏิบัติการกำหนดไว้สามารถดูได้จากภาคผนวก
2. เมื่อเข้าใจข้อกำหนดของห้องปฏิบัติการแล้วก็ทำการตรวจสอบอุปกรณ์และเตรียมความพร้อมอุปกรณ์และต่อวงจรตามที่ออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.6 ซึ่งวงจรในการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะเป็นดังรูปที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นในข้างต้นแล้ว
3. เมื่อตรวจสอบและต่อวงจรเรียบร้อยแล้วการวัด PD ในห้องปฏิบัติการโดยชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องทดสอบแรงดันสูงจำเป็นจะต้อง Calibrate ก่อนทุกครั้ง แต่ถ้าเป็นชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD ที่สร้างขึ้นเมื่อทำการทดสอบไม่จำเป็นต้อง Calibrate สามารถนำไปใช้ตรวจจับ PD ได้เลยเมื่อ Calibrate เสร็จเรียบร้อยแล้วก็เตรียมพร้อมที่จะขึ้นแรงดันเพื่อทำการเกิด PD ต่อไป
4. ก่อนจะขึ้นแรงดันควรดูค่าของ Background noise จากวงจรที่ต่อขึ้นทั้งนี้ถ้าหาก Background noise มีค่ามากเกินไปไม่ควรทำการทดสอบเพราะจะส่งผลถึงค่าของ PD ที่วัดได้นั้นมีความผิดพลาดผลนั้นอาจมาจากการต่อวงจรหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่รอบตัวในระหว่างการทดสอบ ซึ่ง Background noise ไม่ควรเกิน 5% ของค่า PD ที่วัดได้
5. ทำการขึ้นแรงดันจนเห็นการเกิด PD แล้วจดค่าเริ่มต้นของการเกิด PD คือดูพีคของแรงดันที่เริ่มเกิด และค่าขนาดของ PD ทั้งนี้ในการทดสอบจะมีการวัด 2 ส่วนด้วยกันคือ การวัดจากชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD ที่สร้างขึ้น กับชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงจากการทดสอบเราจะสามารถวัดสัญญาณ แรงดันเริ่มเกิดและขนาด PD ได้เลยจากอุปกรณ์วัดแบบเก่า แต่ถ้าเป็นชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD ที่สร้างขึ้นจะสามารถวัดค่าของรูปสัญญาณของ PD และสัญญาณขนาดแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร
6. เก็บค่าของ PD ที่ต้องการซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ
 - 6.1 ชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง
 - รูปสัญญาณของ PD
 - ค่า Background noise
 - ขนาดแรงดัน
 - ขนาด PD
 - 6.2 ชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD ของโดยใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การทดสอบจะใช้ชุดอุปกรณ์ทดสอบตามทฤษฎีคือมีทั้งหมด 4 ประเภท

7.1 H.V.-electrode Corona discharge

7.2 Ground-electrode corona discharge

7.3 Internal discharge

7.4 Surface discharge

เมื่อเก็บค่าได้ตามที่กำหนดไว้เสร็จตามต้องการก็จะเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ทดสอบแล้วทำการทดสอบตามข้อที่ 1 ถึง 6 อีกครั้งแล้วทำการเก็บผลตามที่กำหนด

8. การทดสอบก่อนจะจับอุปกรณ์แรงดันสูงในวงจรทดสอบจะต้องกราวด์วงจรก่อนทุกครั้ง ทำด้วยความระมัดระวังในระหว่างการเปลี่ยนอุปกรณ์และทำการทดสอบ

9. เมื่อเก็บผลที่ได้จาก Oscilloscope แล้วจะนำมาวิเคราะห์ผลในโปรแกรมวิเคราะห์หีสซาร์จ บางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW เพื่อดูค่าต่างๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในส่วนของการวิเคราะห์ผล จากวิธีการทดสอบผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างผลที่ได้จาก ชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง (MPD600) กับชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD ของการวัดโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง ผลการทดสอบจะแยกประเภทให้เห็นคือ

ส่วนผลการทดสอบจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ

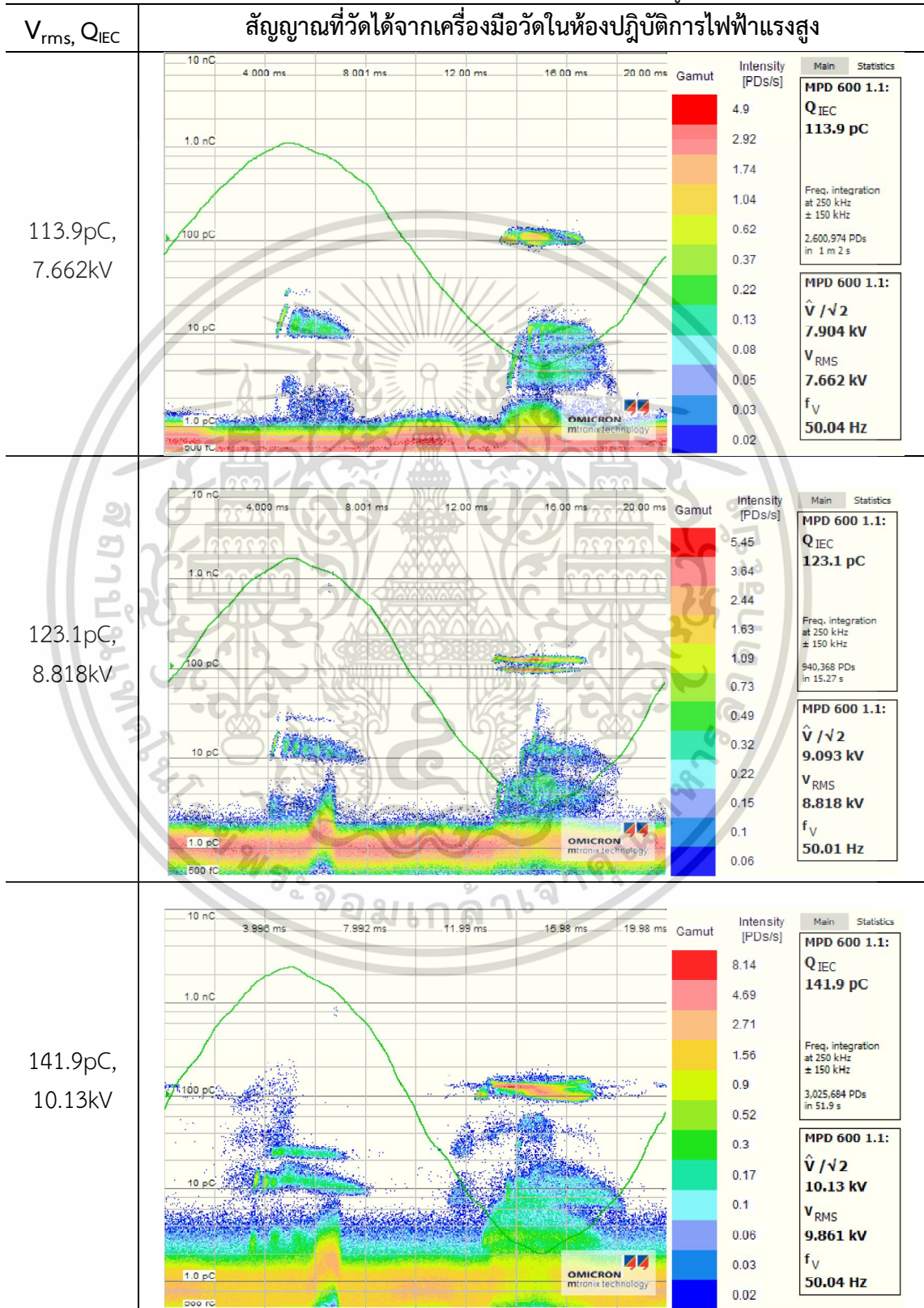
1. ชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง
2. ชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยการใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT)

4.1.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

4.1.1.1 ผลทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge ในห้องปฏิบัติการ

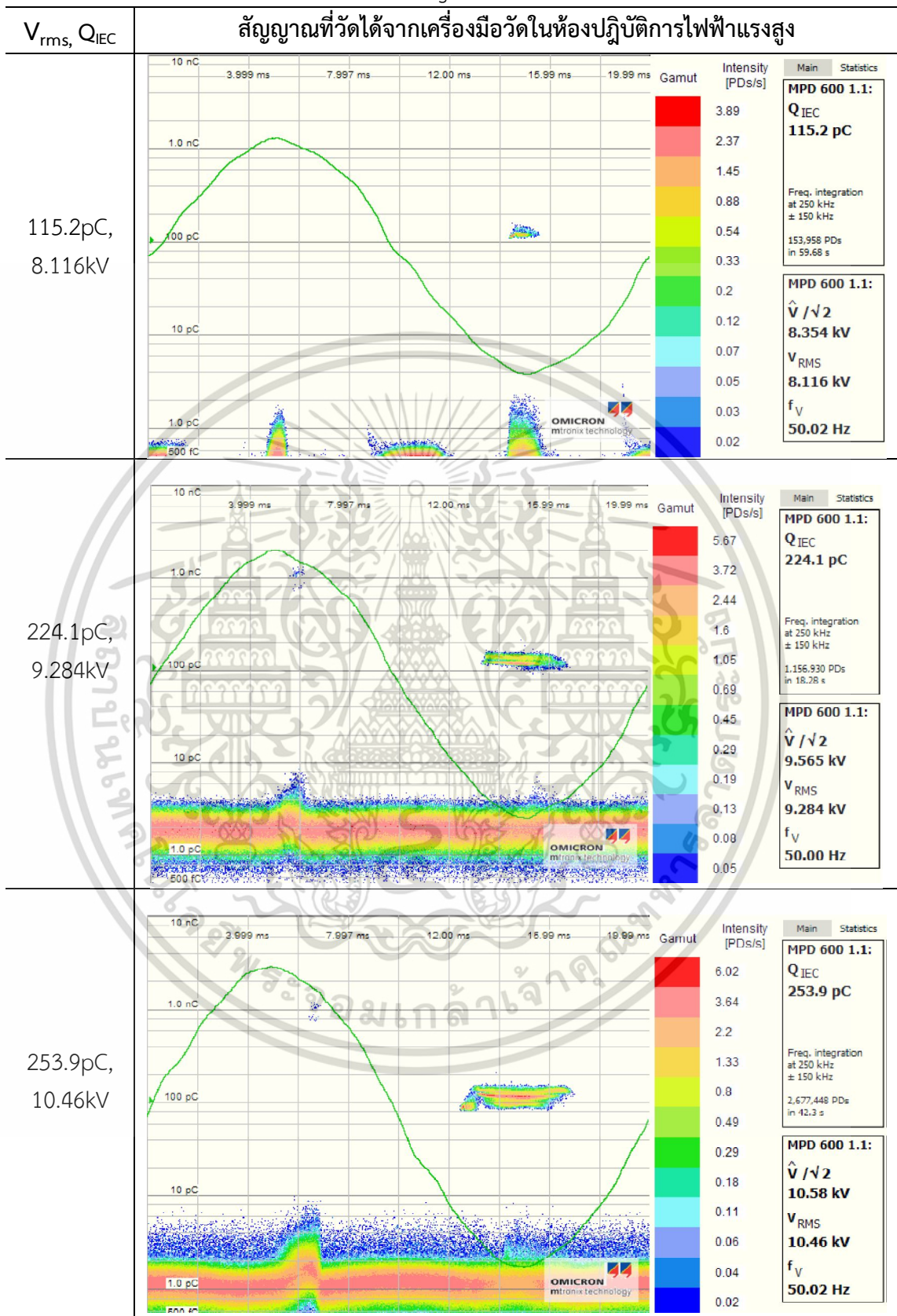
ไฟฟ้าแรงสูง

ตารางที่ 4.1 H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

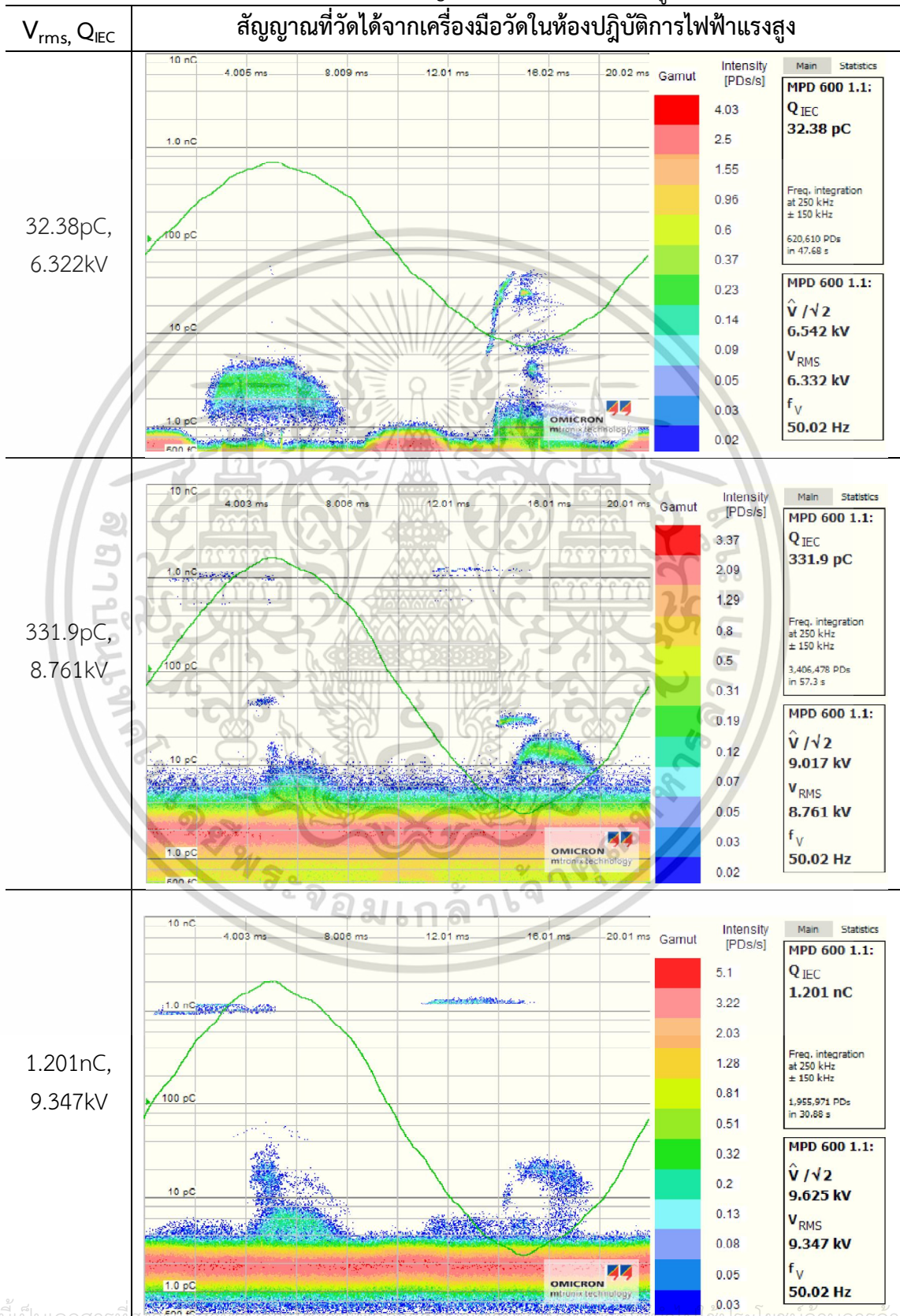
ตารางที่ 4.2 H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 ผลทดสอบ L.V.-electrode corona discharge

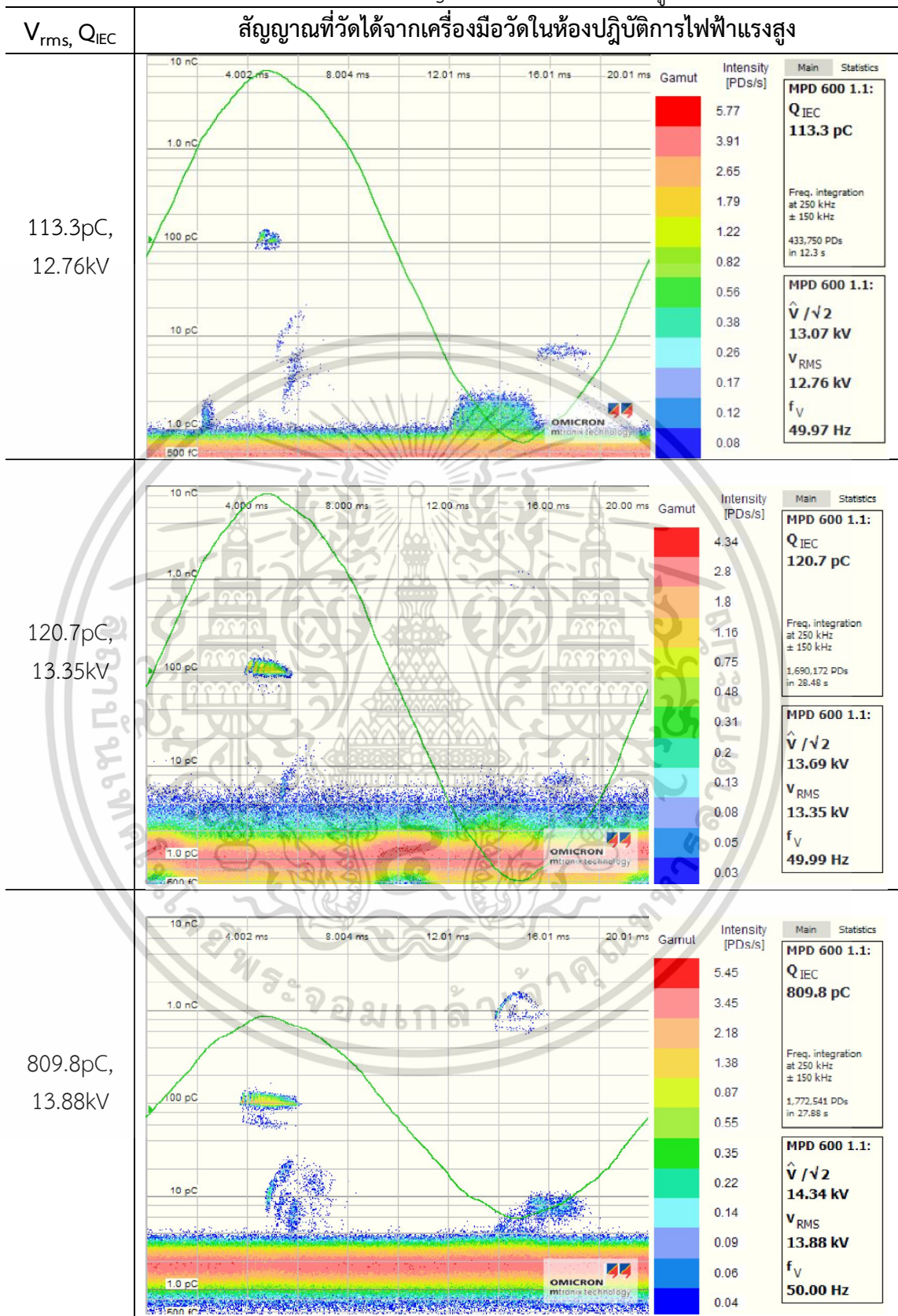
ตารางที่ 4.3 L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... (faint text)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

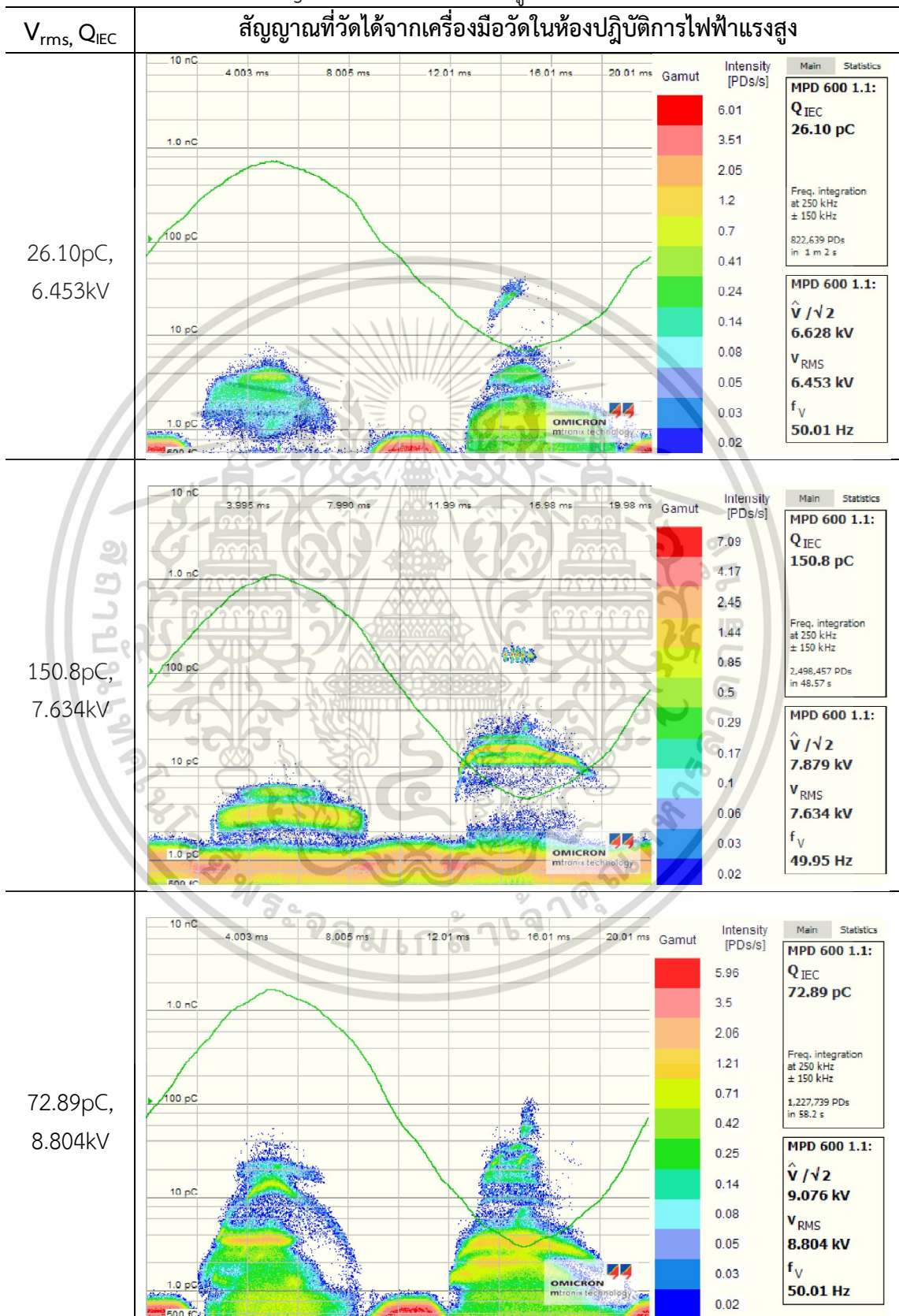
ตารางที่ 4.4 L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

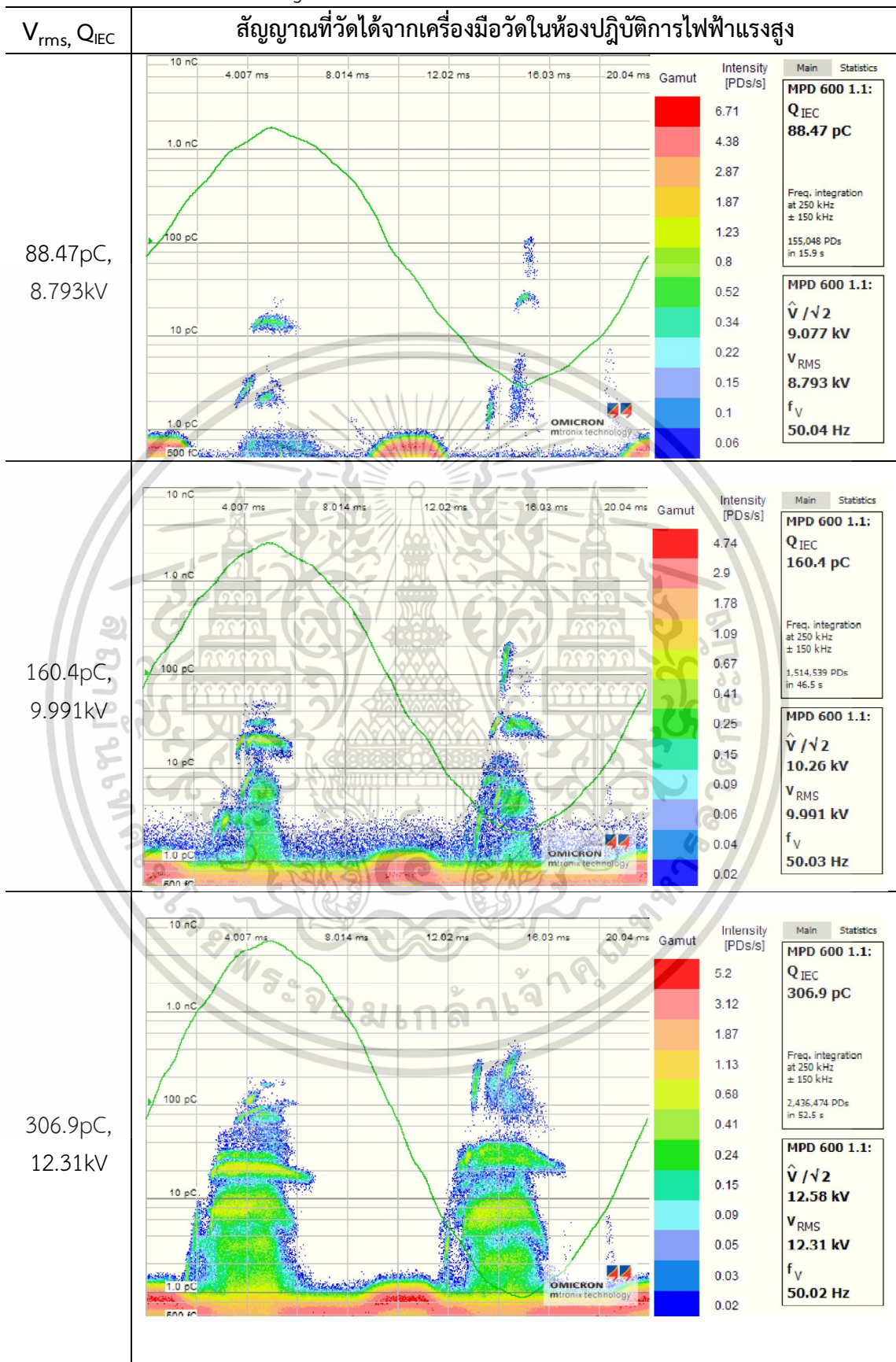
4.1.1.3 ผลทดสอบ Internal discharge

ตารางที่ 4.5 Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

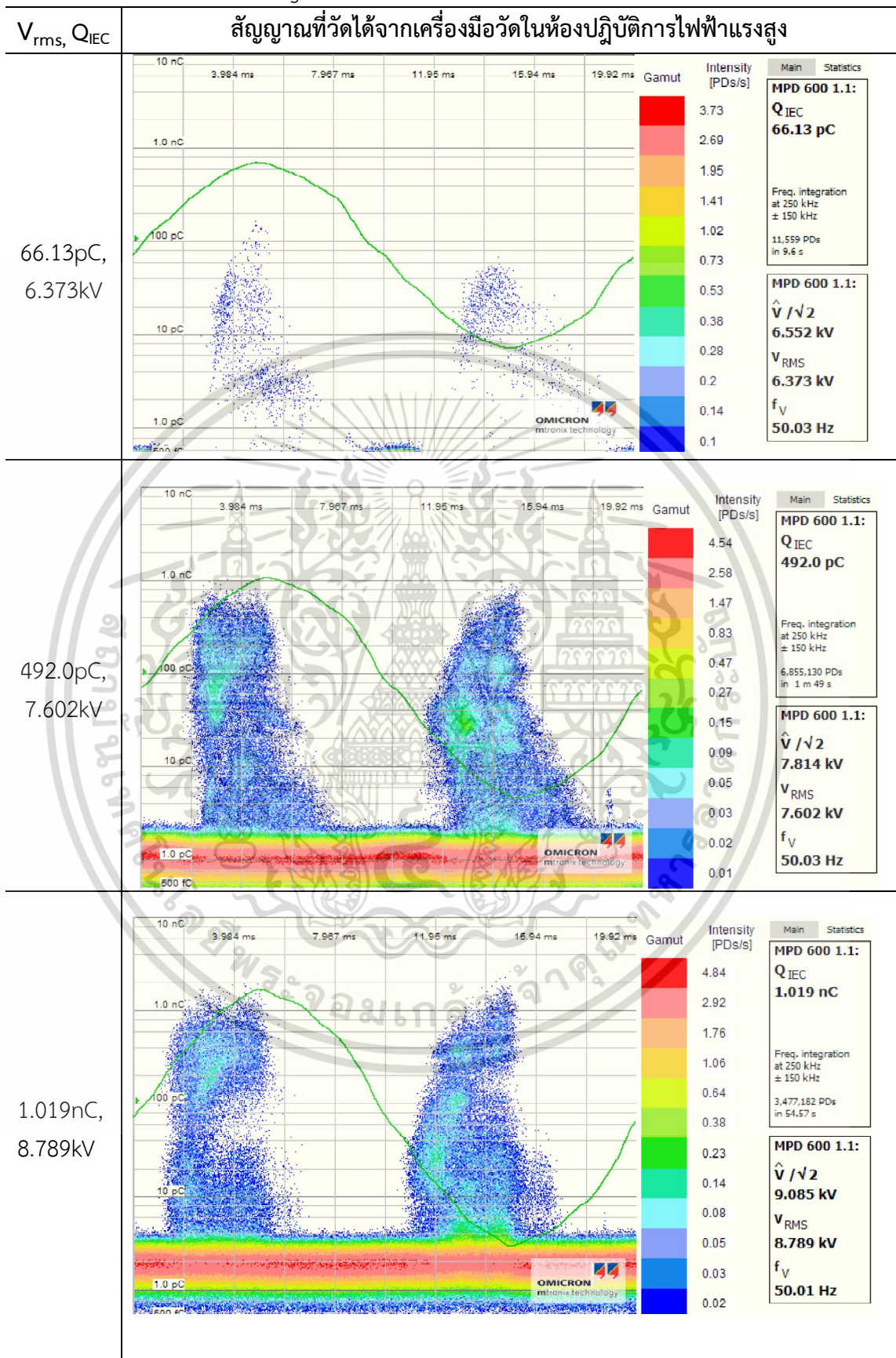
4.1.1.4 ผลทดสอบ Surface discharge

ตารางที่ 4.7 Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)

V _{rms} , Q _{IEC}	สัญญาณที่วัดได้จากเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง																			
43.70p, 5.847kV		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Main</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MPD 600 1.1:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q_{IEC}</td> <td>43.70 pC</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz</td> </tr> <tr> <td colspan="2">66,577 PDs in 5.38 s</td> </tr> <tr> <td>MPD 600 1.1:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\hat{V} / \sqrt{2}$</td> <td>6.049 kV</td> </tr> <tr> <td>V_{RMS}</td> <td>5.847 kV</td> </tr> <tr> <td>f_V</td> <td>50.03 Hz</td> </tr> </tbody> </table>	Main	Statistics	MPD 600 1.1:		Q _{IEC}	43.70 pC	Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz		66,577 PDs in 5.38 s		MPD 600 1.1:		$\hat{V} / \sqrt{2}$	6.049 kV	V _{RMS}	5.847 kV	f _V	50.03 Hz
Main	Statistics																			
MPD 600 1.1:																				
Q _{IEC}	43.70 pC																			
Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz																				
66,577 PDs in 5.38 s																				
MPD 600 1.1:																				
$\hat{V} / \sqrt{2}$	6.049 kV																			
V _{RMS}	5.847 kV																			
f _V	50.03 Hz																			
156.7p, 6.934kV		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Main</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MPD 600 1.1:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q_{IEC}</td> <td>156.7 pC</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz</td> </tr> <tr> <td colspan="2">3,327,785 PDs in 53.37 s</td> </tr> <tr> <td>MPD 600 1.1:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\hat{V} / \sqrt{2}$</td> <td>7.110 kV</td> </tr> <tr> <td>V_{RMS}</td> <td>6.934 kV</td> </tr> <tr> <td>f_V</td> <td>49.98 Hz</td> </tr> </tbody> </table>	Main	Statistics	MPD 600 1.1:		Q _{IEC}	156.7 pC	Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz		3,327,785 PDs in 53.37 s		MPD 600 1.1:		$\hat{V} / \sqrt{2}$	7.110 kV	V _{RMS}	6.934 kV	f _V	49.98 Hz
Main	Statistics																			
MPD 600 1.1:																				
Q _{IEC}	156.7 pC																			
Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz																				
3,327,785 PDs in 53.37 s																				
MPD 600 1.1:																				
$\hat{V} / \sqrt{2}$	7.110 kV																			
V _{RMS}	6.934 kV																			
f _V	49.98 Hz																			
931.5p, 8.956kV		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Main</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MPD 600 1.1:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q_{IEC}</td> <td>931.5 pC</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz</td> </tr> <tr> <td colspan="2">2,837,675 PDs in 44.67 s</td> </tr> <tr> <td>MPD 600 1.1:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\hat{V} / \sqrt{2}$</td> <td>8.956 kV</td> </tr> <tr> <td>V_{RMS}</td> <td>8.682 kV</td> </tr> <tr> <td>f_V</td> <td>50.02 Hz</td> </tr> </tbody> </table>	Main	Statistics	MPD 600 1.1:		Q _{IEC}	931.5 pC	Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz		2,837,675 PDs in 44.67 s		MPD 600 1.1:		$\hat{V} / \sqrt{2}$	8.956 kV	V _{RMS}	8.682 kV	f _V	50.02 Hz
Main	Statistics																			
MPD 600 1.1:																				
Q _{IEC}	931.5 pC																			
Freq. integration at 250 kHz ± 150 kHz																				
2,837,675 PDs in 44.67 s																				
MPD 600 1.1:																				
$\hat{V} / \sqrt{2}$	8.956 kV																			
V _{RMS}	8.682 kV																			
f _V	50.02 Hz																			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ)

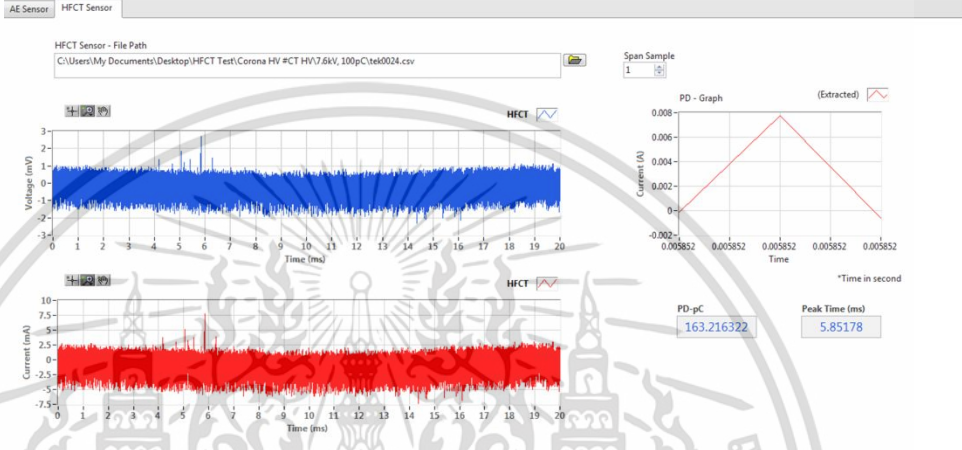
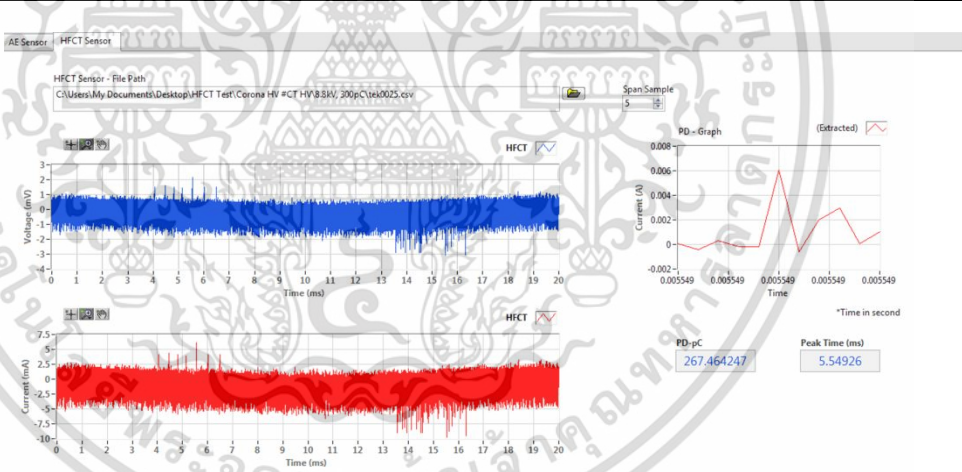
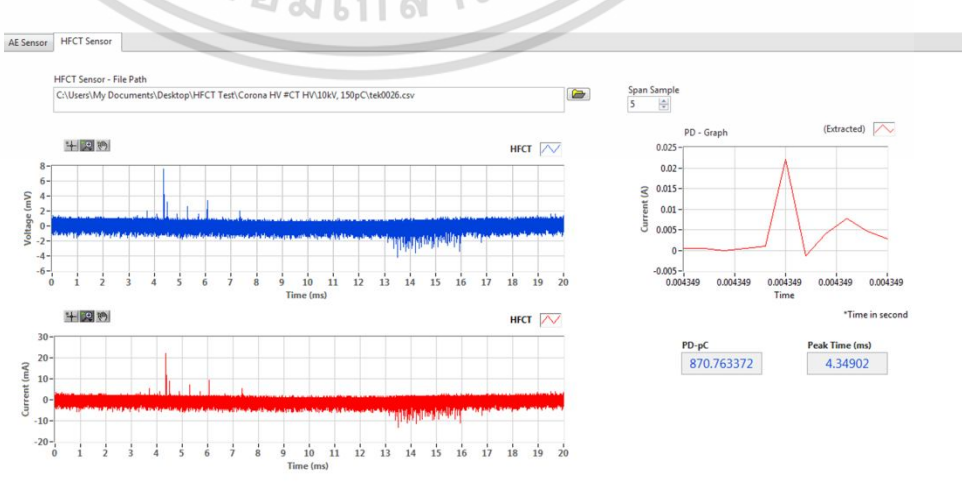


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW จากผลการวัดของ HFCT

4.1.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge จากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
113.9pC, 7.662kV	 <p>HFCT Sensor - File Path: C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Corona HV #CT HV7.6kV, 100pC\tek0024.csv</p> <p>Span Sample: 1</p> <p>PD - Graph (Extracted):</p> <p>Current (A) vs Time (ms)</p> <p>PD-pC: 163.216322</p> <p>Peak Time (ms): 5.85178</p>
123.1pC, 8.818kV	 <p>HFCT Sensor - File Path: C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Corona HV #CT HV8.8kV, 200pC\tek0025.csv</p> <p>Span Sample: 5</p> <p>PD - Graph (Extracted):</p> <p>Current (A) vs Time (ms)</p> <p>PD-pC: 267.464247</p> <p>Peak Time (ms): 5.54926</p>
141.9pC, 10.13kV	 <p>HFCT Sensor - File Path: C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Corona HV #CT HV10kV, 150pC\tek0026.csv</p> <p>Span Sample: 5</p> <p>PD - Graph (Extracted):</p> <p>Current (A) vs Time (ms)</p> <p>PD-pC: 870.763372</p> <p>Peak Time (ms): 4.34902</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์หิตสาร์จบางส่วน
115.2pC, 8.116kV	<p>AE Sensor: HFCT Sensor</p> <p>HFCT Sensor - File Path: C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Corona HV #CT LV 8.6kV, 120pC\tek0027.csv</p> <p>Span Sample: 2</p> <p>PD - Graph (Extracted)</p> <p>Current (A)</p> <p>Time</p> <p>*Time in second</p> <p>PD-pC: 184.818482</p> <p>Peak Time (ms): 0.89304</p>
224.1pC, 9.284kV	<p>AE Sensor: HFCT Sensor</p> <p>HFCT Sensor - File Path: C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Corona HV #CT LV 9.3kV, 700pC\tek0028.csv</p> <p>Span Sample: 5</p> <p>PD - Graph (Extracted)</p> <p>Current (A)</p> <p>Time</p> <p>*Time in second</p> <p>PD-pC: 299.805334</p> <p>Peak Time (ms): 5.66516</p>
253.9pC, 10.46kV	<p>AE Sensor: HFCT Sensor</p> <p>HFCT Sensor - File Path: C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Corona HV #CT LV 9.3kV, 700pC\tek0028.csv</p> <p>Span Sample: 5</p> <p>PD - Graph (Extracted)</p> <p>Current (A)</p> <p>Time</p> <p>*Time in second</p> <p>PD-pC: 299.805334</p> <p>Peak Time (ms): 5.66516</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ L.V -electrode corona discharge จากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
<p>32.38pC, 6.322kV</p>	
<p>331.9pC, 8.761kV</p>	
<p>1.201nC, 9.347kV</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ L.V.-electrode Corona discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ)

V _{rms} , Q _{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์หิตสชาร์จบางส่วน
<p>113.3pC, 12.76kV</p>	
<p>120.7pC, 13.35kV</p>	
<p>809.8pC, 13.88kV</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Internal discharge จากโปรแกรมวิเคราะห์ ดิสชาร์จบางส่วน

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Internal discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)

V _{rms} , Q _{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
26.10pC, 6.453kV	
150.8pC, 7.634kV	
72.89pC, 8.804kV	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Internal discharge (HFCT วัดต้านแรงดันต่ำ)

V_{rms}, Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์หิตสาร์จบางส่วน
<p>88.47pC, 8.793kV</p>	<p>AE Sensor HFCT Sensor</p> <p>HFCT Sensor - File Path C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Internal #CT LV18.8kV 60pC\tek0015.csv</p> <p>Span Sample 5</p> <p>PD - Graph (Extracted)</p> <p>Current (A)</p> <p>Time</p> <p>*Time in second</p> <p>PD-pC 18.4172649</p> <p>Peak Time (ms) 3.49378</p>
<p>160.4pC, 9.991kV</p>	<p>AE Sensor HFCT Sensor</p> <p>HFCT Sensor - File Path C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Internal #CT LV19kV 75pC\tek0016.csv</p> <p>Span Sample 2</p> <p>PD - Graph (Extracted)</p> <p>Current (A)</p> <p>Time</p> <p>*Time in second</p> <p>PD-pC 16.2016202</p> <p>Peak Time (ms) 0.00314</p>
<p>306.9pC, 12.31kV</p>	<p>AE Sensor HFCT Sensor</p> <p>HFCT Sensor - File Path C:\Users\My Documents\Desktop\HFCT Test\Internal #CT LV12kV 200pC\tek0017.csv</p> <p>Span Sample 5</p> <p>PD - Graph (Extracted)</p> <p>Current (A)</p> <p>Time</p> <p>*Time in second</p> <p>PD-pC 171.14634</p> <p>Peak Time (ms) 13.0173</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Surface discharge จากโปรแกรมวิเคราะห์
 ดิสชาร์จบางส่วน

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันสูง)

V _{rms} , Q _{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
<p>43.70p, 5.847kV</p>	
<p>156.7p, 6.934kV</p>	
<p>931.5p, 8.956kV</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลส่วนนี้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Surface Discharge (HFCT วัดด้านแรงดันต่ำ)

V_{rms}, Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์หัตติสารจบบางส่วน
<p>66.13pC, 6.373kV</p>	
<p>492.0pC, 7.602kV</p>	
<p>1.019nC, 8.789kV</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง

จากผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW ที่ได้ในส่วนของการนำผลทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT) ในหัวข้อที่ 4.1.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง และ 4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนโดยโปรแกรม LabVIEW จากผลการวัดของ HFCT จะทำการนำผลที่ทดสอบได้ได้จากทั้ง 2 หัวข้อมาทำการเปรียบเทียบร่วมกับผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบผลการวัดของ HFCT โดยใช้ MATLAB [9] ที่ได้ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. เปรียบเทียบผลการทดสอบของการวัด PD ของ HFCT โดยการคล้อง Rogowski Coil ทางด้านแรงดันสูงจากโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW กับผลที่ได้จากการวัด PD ด้วยวิธีวัดตามแบบมาตรฐาน IEC-60270 (MPD600) และ ผลการวิเคราะห์โดยใช้ MATLAB แสดงผลในตารางที่ 4.17 ถึง 4.20

ตารางที่ 4.17 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก H.V.-electrode Corona discharge (ด้าน H.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	HFCT (MATLAB)	Partial Discharge Analyzer Program
7.6kV	113.9pC	147.77pC	163.22pC
8.8kV	123.1pC	385.45pC	267.46pC
10.1kV	141.9pC	1.532nC	870.76pC

ตารางที่ 4.18 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก L.V.-electrode corona discharge (ด้าน H.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	HFCT (MATLAB)	Partial Discharge Analyzer Program
6.3kV	32.38pC	173.24pC	168.48pC
8.7kV	331.9pC	238.58pC	297.15pC
9.3kV	1.201nC	1.6nC	2.004nC

ตารางที่ 4.19 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Internal discharge (ด้าน H.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	HFCT (MATLAB)	Partial Discharge Analyzer Program
6.4kV	26.10pC	55.12pC	886.00pC
7.7kV	150.8pC	22.28pC	162.01pC
8.8kV	72.89pC	46.42pC	211.15pC

ตารางที่ 4.20 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Surface discharge (ด้าน H.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	HFCT (MATLAB)	Partial Discharge Analyzer Program
6.3kV	43.70pC	34.23pC	87.05pC
7.6kV	156.7pC	1.13nC	301.14nC
8.7kV	931.5pC	1.17nC	1.568nC

2. เปรียบเทียบผลการทดสอบของการวัด PD ของ HFCT โดยการคล้อง Rogowski Coil ทางด้านแรงดันสูงจากโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW กับผลที่ได้จากการวัด PD ด้วยวิธีวัดตามแบบมาตรฐาน IEC-60270 (MPD600) และ ผลการวิเคราะห์โดยใช้ MATLAB แสดงผลในตารางที่ 4.21 ถึง 4.24

ตารางที่ 4.21 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก H.V.-electrode Corona discharge (ด้าน L.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	HFCT (MATLAB)	Partial Discharge Analyzer Program
8.1kV	115.2pC	39.28pC	184.81pC
9.2kV	224.1pC	320.9pC	299.80pC
10.4kV	253.9pC	161.45pC	297.90 pC

ตารางที่ 4.22 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก L.V-electrode corona discharge (ด้าน L.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	HFCT (MATLAB)	Partial Discharge Analyzer Program
12.76kV	113.3pC	115.09pC	170.93pC
13.35kV	120.7pC	335.32pC	232.69pC
13.8kV	809.8pC	588.43pC	678.83 pC

ตารางที่ 4.23 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Internal discharge (ด้าน L.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	Rogowski Coil	Partial Discharge Analyzer Program
8.7kV	88.47pC	14.88pC	18.41pC
10kV	160.4pC	12.89pC	16.20pC
12.3kV	306.9pC	253.36pC	171.14 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลเปรียบเทียบค่า PD ที่ได้จาก Surface discharge (ด้าน L.V.)

ระดับแรงดันทดสอบ	MPD 600	Rogowski Coil	Partial Discharge Analyzer Program
6.3kV	66.13pC	23.27pC	30.99pC
7.6kV	492.0pC	404.73pC	434.44pC
8.7kV	1.019nC	1.37nC	914.89pC

จากผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW ที่ได้ในส่วนของการนำผลทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยโดยอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT) ผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบผลการวัดของ HFCT โดยใช้ MATLAB พบว่ามีผลของค่า PD ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW เป็นค่าที่ออกมาโดยมีรูปแบบกระบวนกรคิดอย่างชัดเจนและอธิบายค่า PD ที่มาของรูปสัญญาณนั้นๆ ที่วัดได้ เหมือนเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ผลการทดสอบผลการวัดของ HFCT โดยใช้ MATLAB

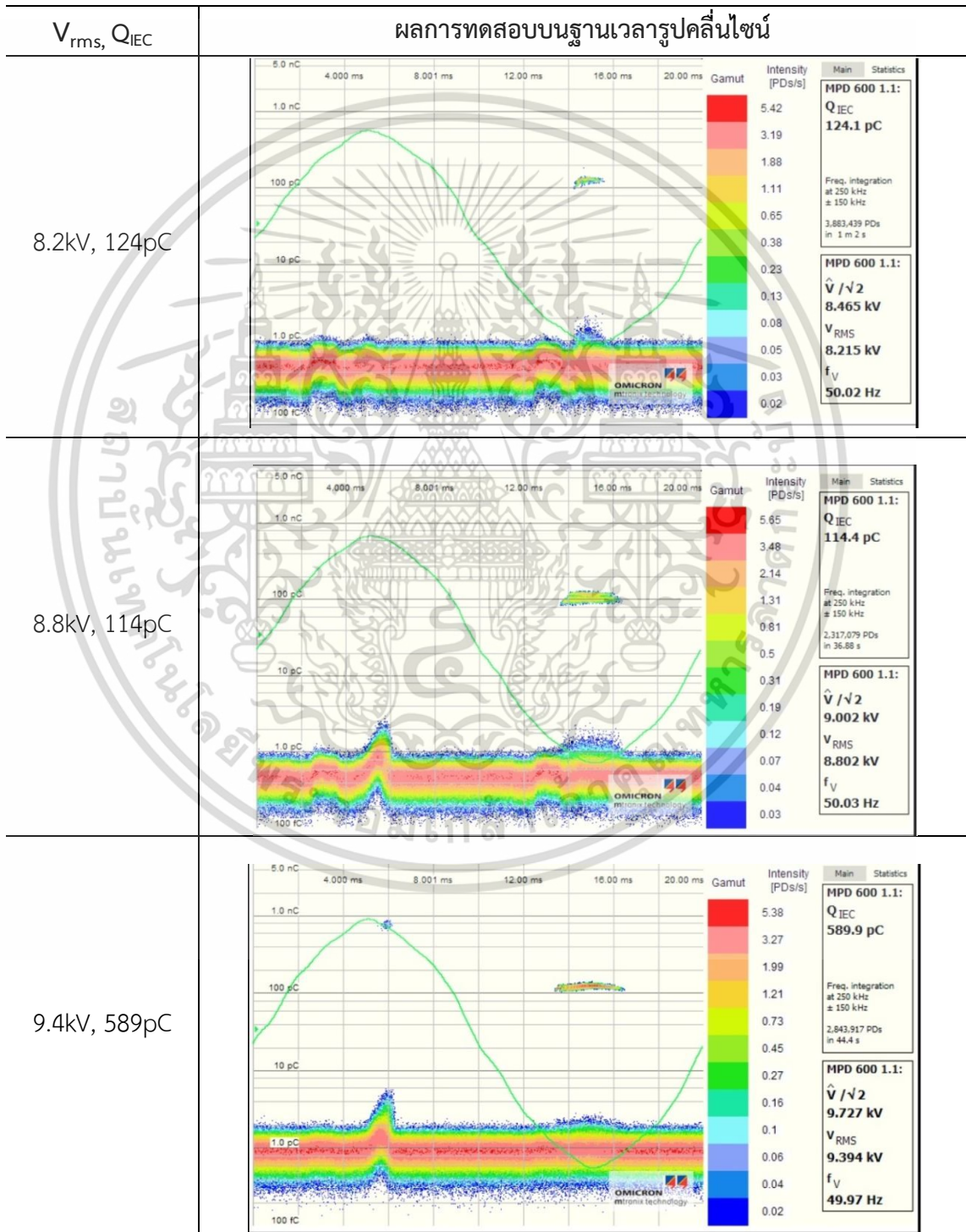
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้วิธีทางเสียง (AE)

4.2.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัด PD ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

4.2.1.1 ผลทดสอบ H.V.-electrode Corona discharge ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ณ อุณหภูมิ 35 °C ความดันบรรยากาศ 767 mmHg

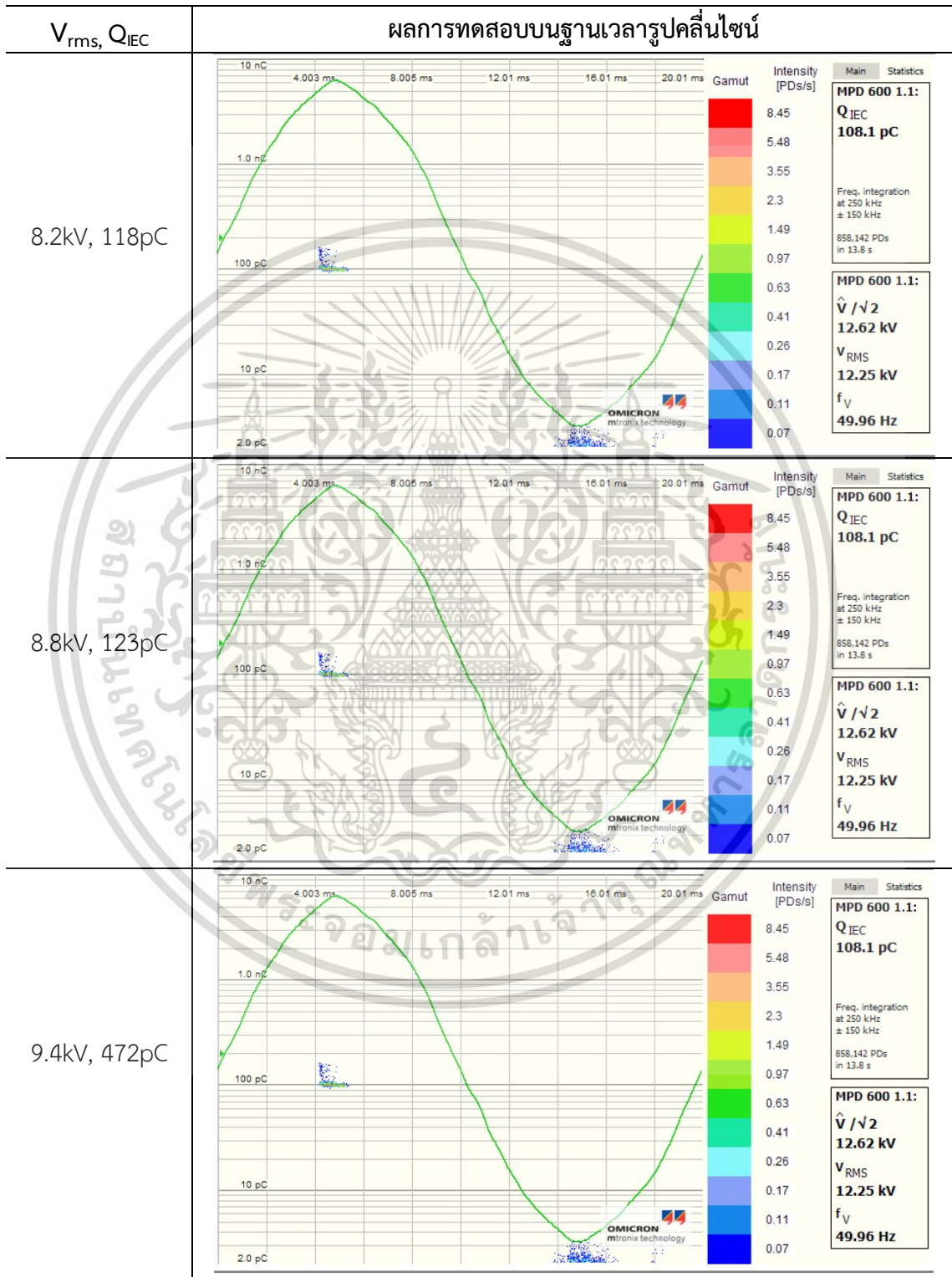
ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบโคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง (AE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 ผลทดสอบ L.V.-electrode corona discharge ในห้องปฏิบัติการ
ไฟฟ้าแรงสูง

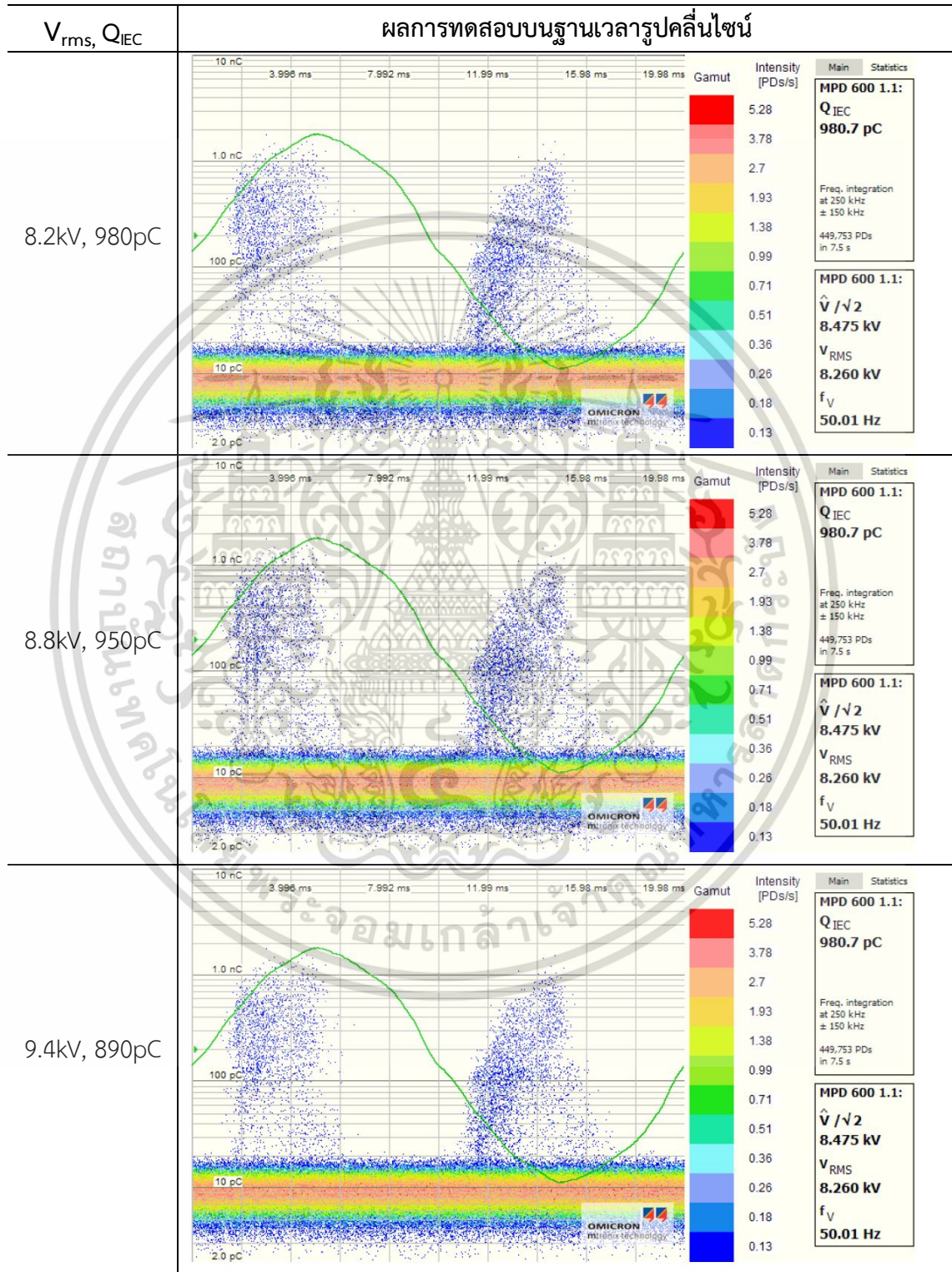
ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (AE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ผลทดสอบ Surface discharge ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

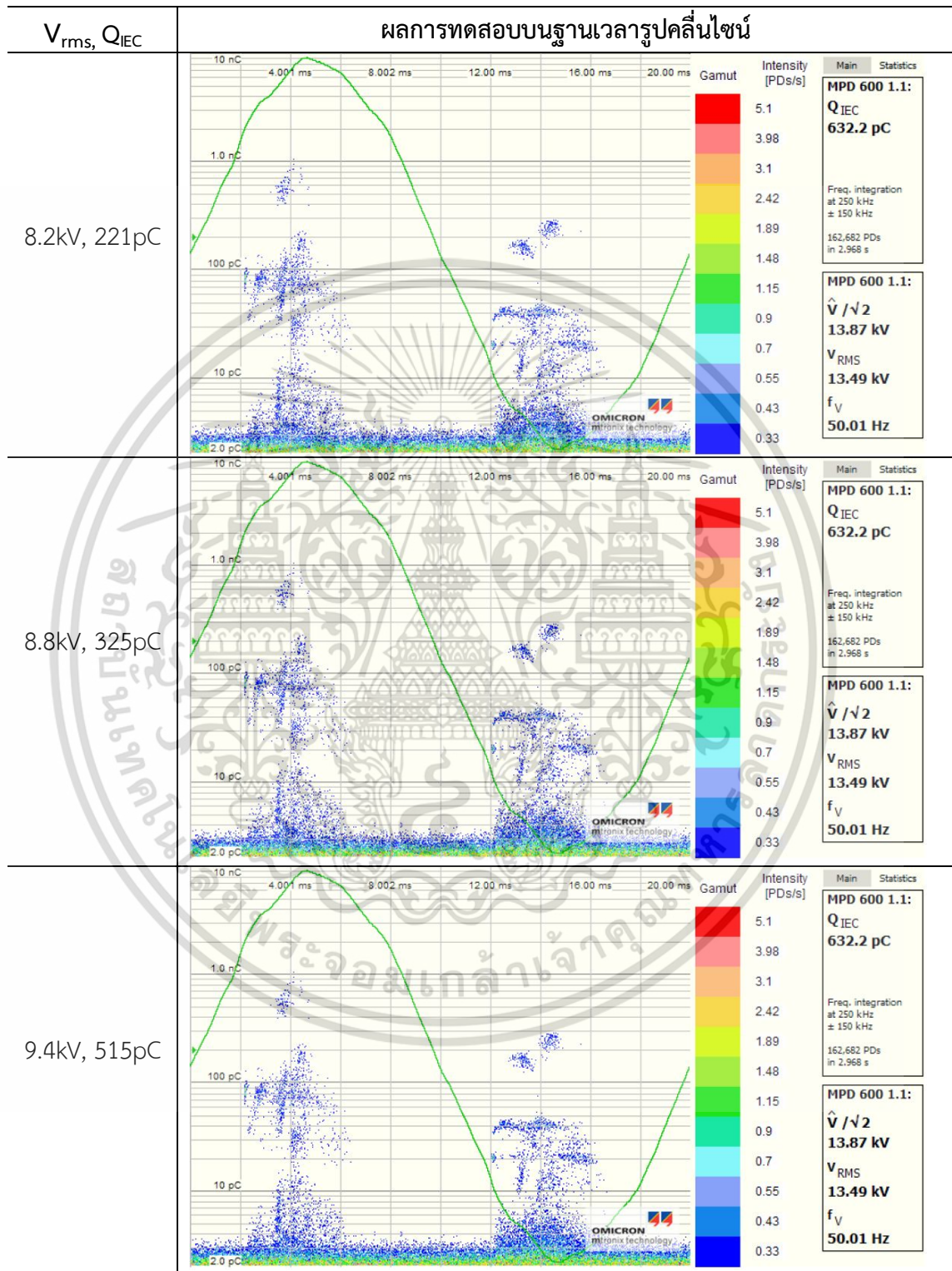
ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบดิสชาร์จบนผิว (AE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 ผลทดสอบ Internal discharge ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบดิสชาร์จภายใน (AE)

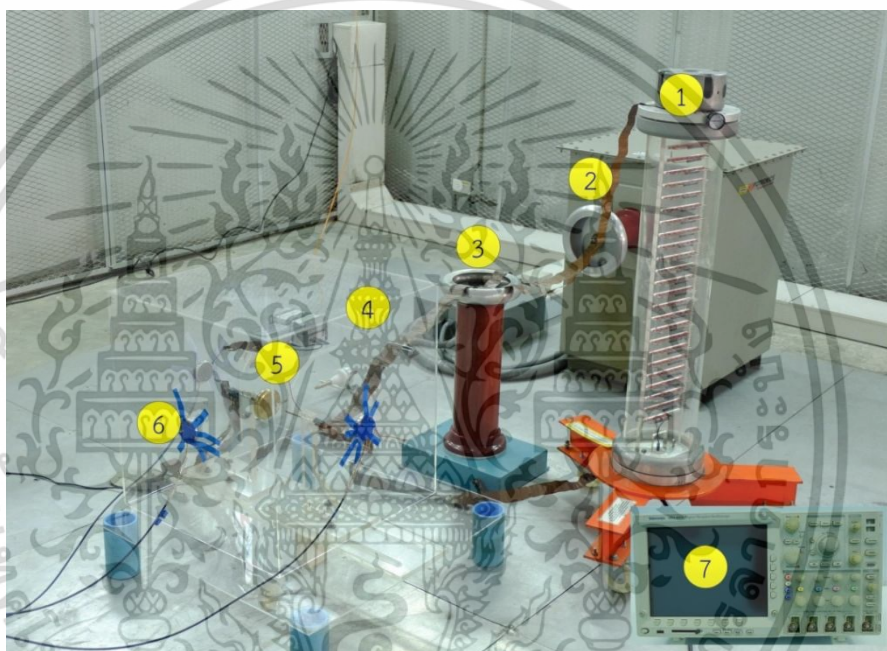


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz

ในงานวิจัยนี้จะทดสอบดิสชาร์จบางส่วนทั้งหมด 4 รูปแบบโดยทำการต่อวงจรตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงแสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งทำการทดสอบกับชุดอุปกรณ์ทดสอบตามทฤษฎีทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

1. โคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง (H.V.-electrode Corona Discharge)
2. โคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (L.V.-electrode corona Discharge)
3. ดิสชาร์จบางส่วนตามผิว (Surface Discharge)
4. ดิสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal Discharge)



รูปที่ 4.7 วงจรการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง (1MHz)

โดยอุปกรณ์ในวงจรดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงมีดังนี้

1. Voltage divider 1000V/1V
2. หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง AC พิกัด 460V/75V, 40kVA, 50Hz
3. Coupling capacitor (Ck) พิกัด 0.001 microfarad 100kV
4. หม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือนที่สร้างขึ้น ขนาด (60cmx60cmx60cm)
5. ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Object)
6. หัวตรวจจับทางเสียงทางเสียงขนาด 1 MHz (Acoustic Sensor)
7. Oscilloscope รุ่น Tekronic DPO 4054

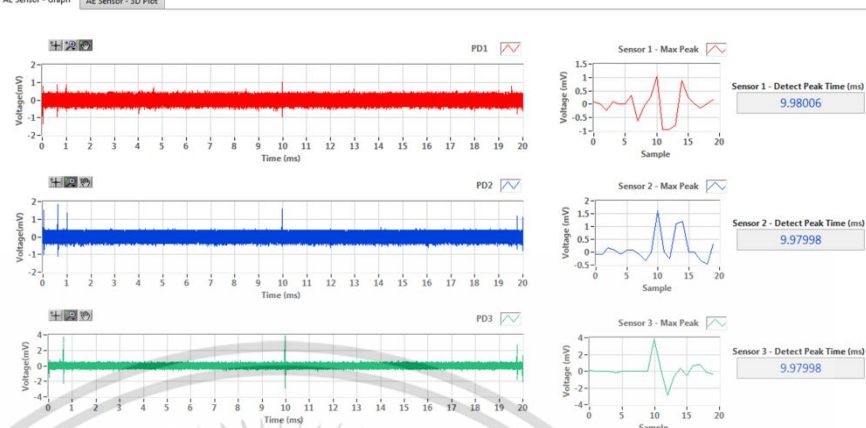
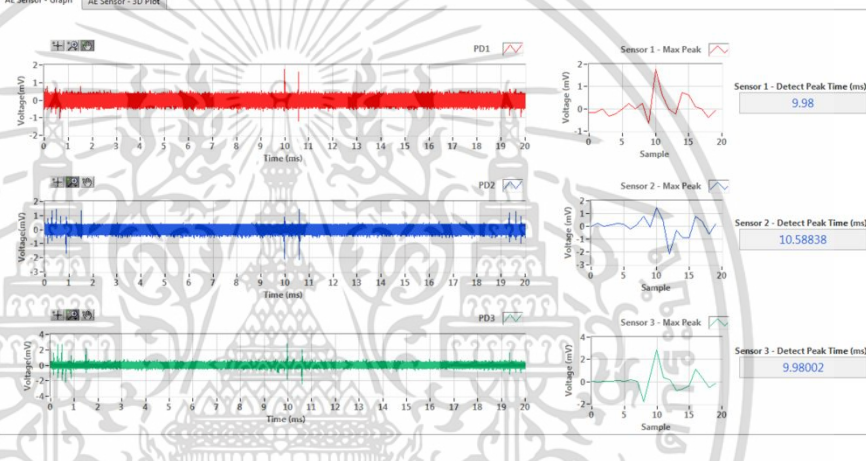
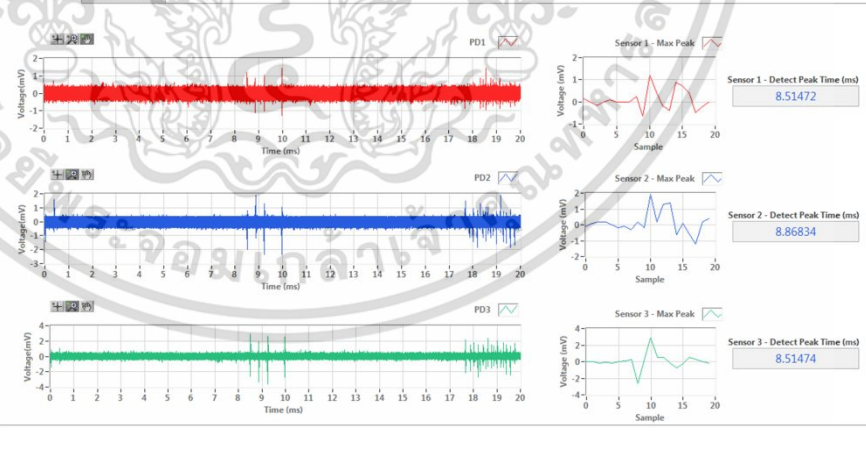
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง (ความถี่ 1 MHz)

V_{rms}, Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
8.2kV, 134pC	
8.8kV, 140pC	
9.4kV, 450pC	

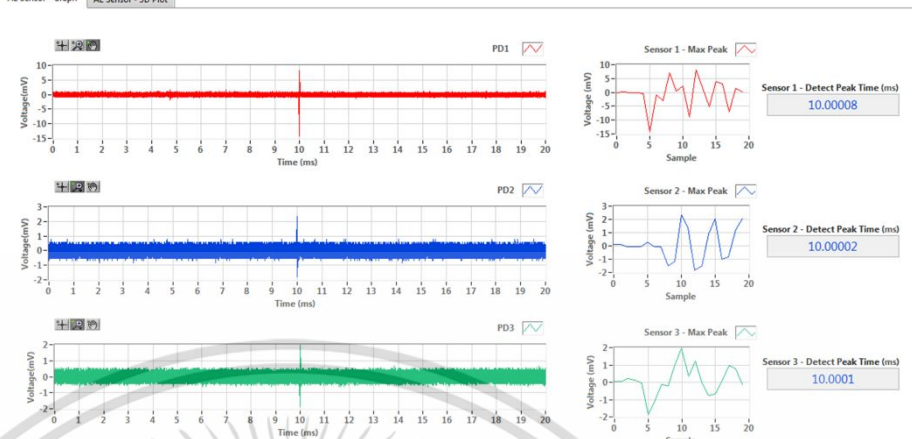
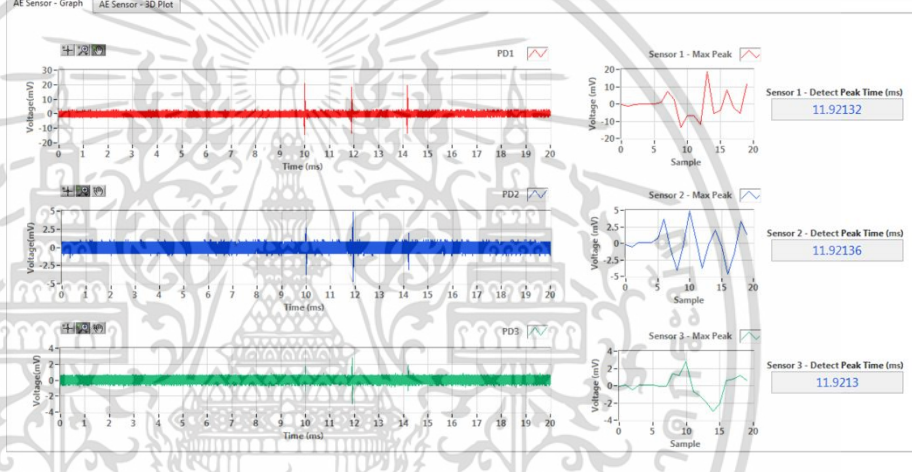
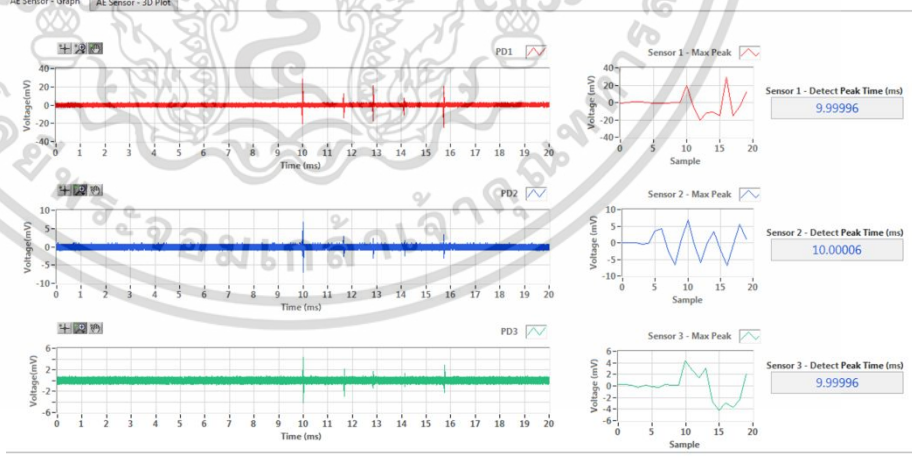
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (ความถี่ 1 MHz)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วน
11.8kV, 138pC	
12.3kV, 123pC	
12.8kV, 472pC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 การวิเคราะห์ผลการทดสอบดิสชาร์จบนผิว (ความถี่ 1 MHz)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
6.4kV, 122pC	 <p>AE Sensor - Graph AE Sensor - 3D Plot</p> <p>PD1 Sensor 1 - Max Peak Sensor 1 - Detect Peak Time (ms): 10.00008</p> <p>PD2 Sensor 2 - Max Peak Sensor 2 - Detect Peak Time (ms): 10.00002</p> <p>PD3 Sensor 3 - Max Peak Sensor 3 - Detect Peak Time (ms): 10.0001</p>
7.6kV, 425pC	 <p>AE Sensor - Graph AE Sensor - 3D Plot</p> <p>PD1 Sensor 1 - Max Peak Sensor 1 - Detect Peak Time (ms): 11.92132</p> <p>PD2 Sensor 2 - Max Peak Sensor 2 - Detect Peak Time (ms): 11.92136</p> <p>PD3 Sensor 3 - Max Peak Sensor 3 - Detect Peak Time (ms): 11.9213</p>
8.7kV, 515pC	 <p>AE Sensor - Graph AE Sensor - 3D Plot</p> <p>PD1 Sensor 1 - Max Peak Sensor 1 - Detect Peak Time (ms): 9.99996</p> <p>PD2 Sensor 2 - Max Peak Sensor 2 - Detect Peak Time (ms): 10.00006</p> <p>PD3 Sensor 3 - Max Peak Sensor 3 - Detect Peak Time (ms): 9.99996</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

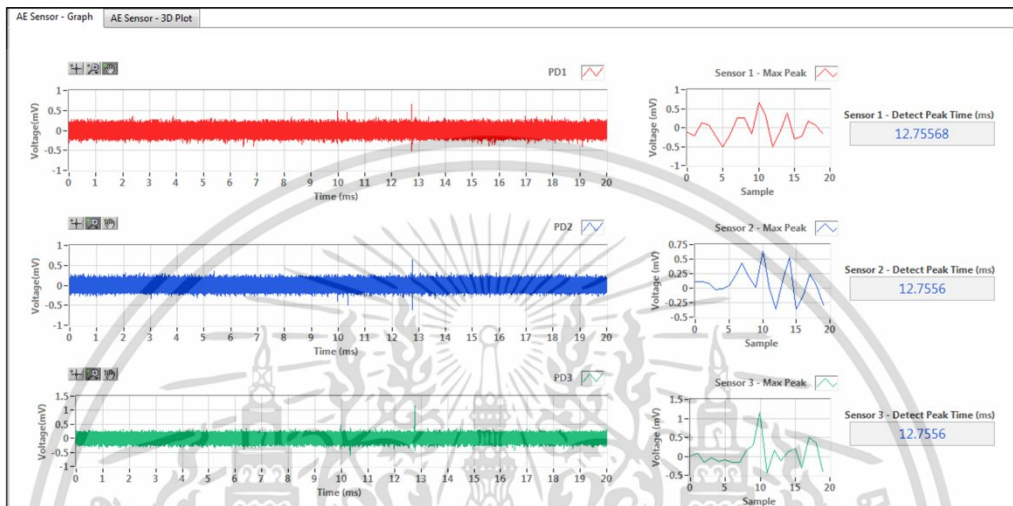
ตารางที่ 4.32 การวิเคราะห์ผลการทดสอบดีสชาร์จภายใน (ความถี่ 1 MHz)

V_{rms}, Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วน
14.1kV, 421pC	
15.2kV, 525pC	
15.8kV, 915pC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

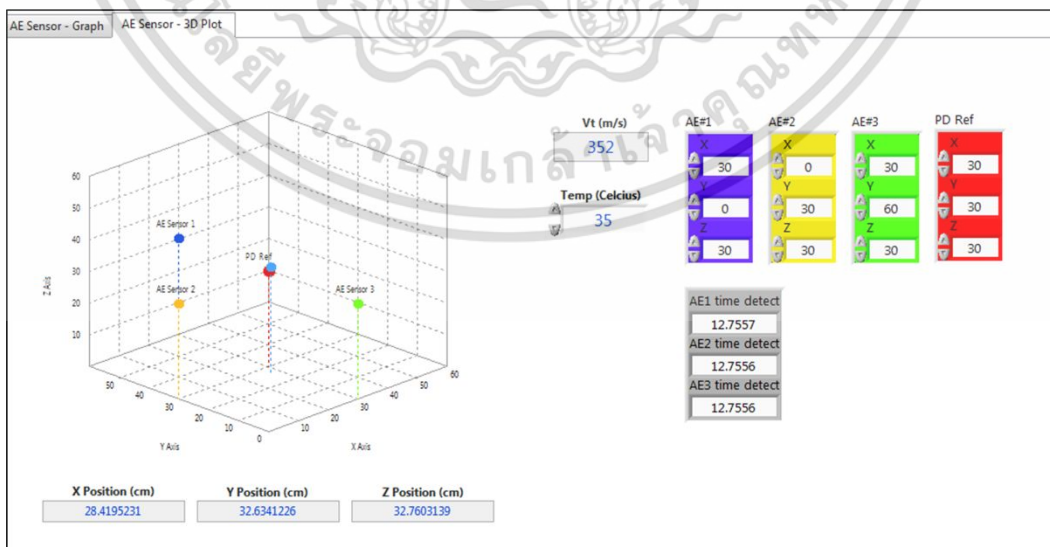
4.2.2.1 การระบุตำแหน่งของการเกิดดิซาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 1 MHz

โดยใช้หัวตรวจจับทางเสียงจำนวน 3 ตัวไปติดตั้งยังอุปกรณ์หม้อแปลงทดสอบจำลอง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดดิซาร์จบางส่วน (PDsource) อยู่ที่พิกัด PD Ref. (30, 30, 30) โดยพิกัดของหัวตรวจจับ คือ AE#1 (30, 0, 30), AE#2 (0, 30, 30), AE#3 (30, 60, 30) ในแนวระนาบ 3 มิติแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เวลาการเกิดสัญญาณเพื่อนำมาหาตำแหน่งดิซาร์จบางส่วน (1 MHz)

จากผลการทดลองที่ได้สามารถระบุตำแหน่งการเกิดดิซาร์จบางส่วนได้มีค่าคือ PD Source (28.43, 32.62, 32.76) โดยมีค่า Error ที่ตำแหน่ง $x = 5.52\%$, $y = 8.03\%$, $z = 8.42\%$ แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งดิซาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 1 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ผลการหาตำแหน่งของดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 1 MHz

PD Type	V_{rms} (kV)	ระยะ PD Source (cm)	ระยะจากการคำนวณ (cm)	%Error
H.V. Corona	8.2	(30, 30, 30)	(28.43, 32.62, 32.76)	(5.52%, 8.03%, 8.42%)
L.V. Corona	11.8	(30, 30, 30)	(28.35, 31.65, 32.30)	(5.82%, 5.21%, 7.12%)
Surface	7.6	(30, 30, 30)	(31.97, 30.00, 30.82)	(6.16%, 0.00%, 2.66%)
Internal	14.1	(30, 30, 30)	(30.41, 29.59, 30.36)	(1.35%, 1.39%, 1.19%)

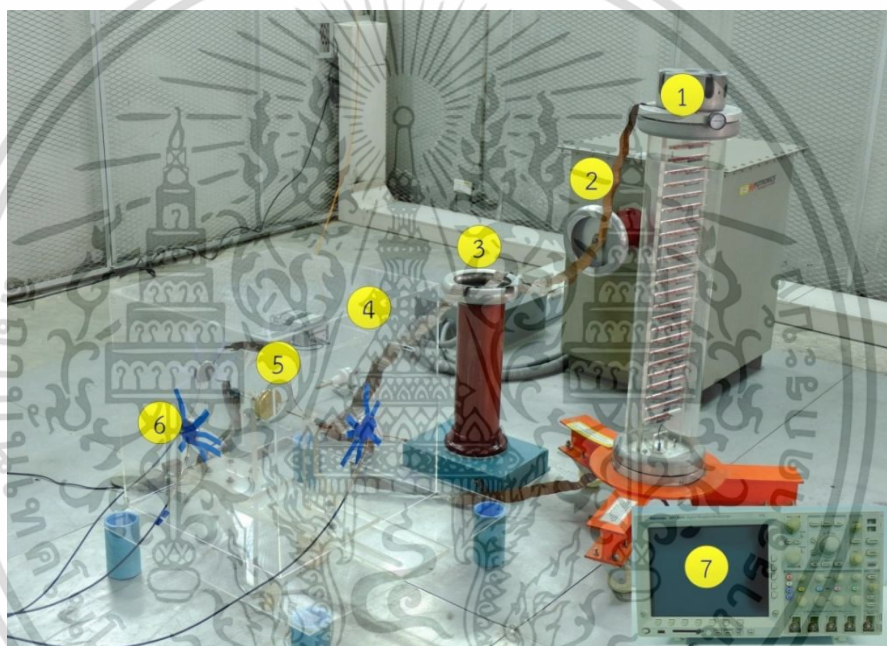


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 3 MHz

ในงานวิจัยนี้จะทดสอบดิสชาร์จบางส่วนทั้งหมด 4 รูปแบบโดยทำการต่อวงจรตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงแสดงดังรูปที่ 4.6 เพียงแต่ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz เป็น 3 MHz ซึ่งทำการทดสอบกับชุดอุปกรณ์ทดสอบตามทฤษฎีทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

1. โคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง (H.V.-electrode Corona Discharge)
2. โคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (L.V.-electrode corona Discharge)
3. ดิสชาร์จบางส่วนตามผิว (Surface Discharge)
4. ดิสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal Discharge)



รูปที่ 4.10 วงจรการวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียง (3MHz)

โดยอุปกรณ์ในวงจรดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงมีดังนี้

1. Voltage divider 1000V/1V
2. หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง AC พิกัด 460V/75V, 40kVA, 50Hz
3. Coupling capacitor (Ck) พิกัด 0.001 microfarad 100kV
4. หม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือนที่สร้างขึ้น ขนาด (60cmx60cmx60cm)
5. ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Object)
6. หัวตรวจจับทางเสียงทางเสียงขนาด 3 MHz (Acoustic Sensor)
7. Oscilloscope รุ่น Tektronic DPO 4054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง (ความถี่ 3 MHz)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วน
8.2kV, 134pC	
8.8kV, 150pC	
9.4kV, 430pC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35 การวิเคราะห์ผลการทดสอบโคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (ความถี่ 3 MHz)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
11.8kV, 128pC	
12.3kV, 131pC	
12.8kV, 482pC	

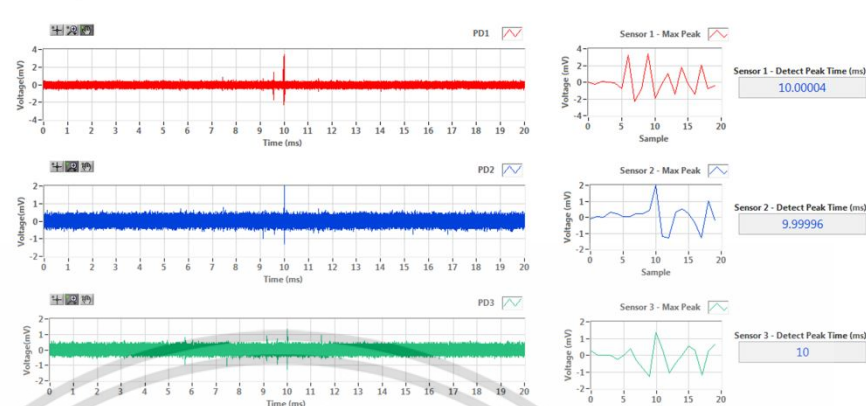
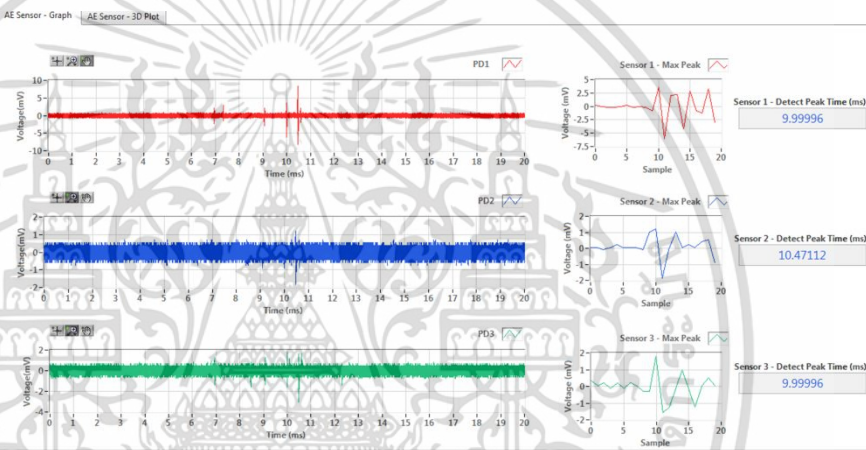
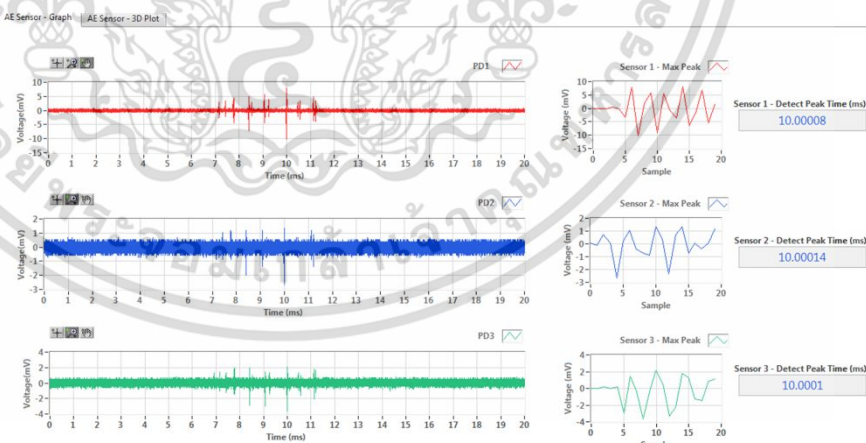
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 การวิเคราะห์ผลการทดสอบดิสชาร์จบนผิว (ความถี่ 3 MHz)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
7.6kV, 171pC	
8.8kV, 185pC	
9.4kV, 315pC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

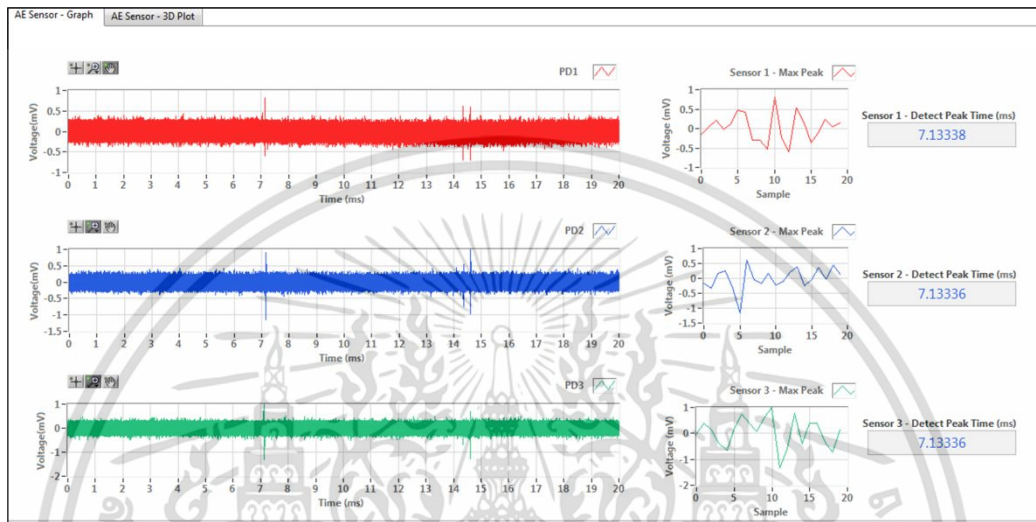
ตารางที่ 4.37 การวิเคราะห์ผลการทดสอบดิสชาร์จภายใน (ความถี่ 3 MHz)

V_{rms} , Q_{IEC}	สัญญาณจากโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วน
14.6kV, 721pC	
15.7kV, 925pC	
16.2kV, 875pC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

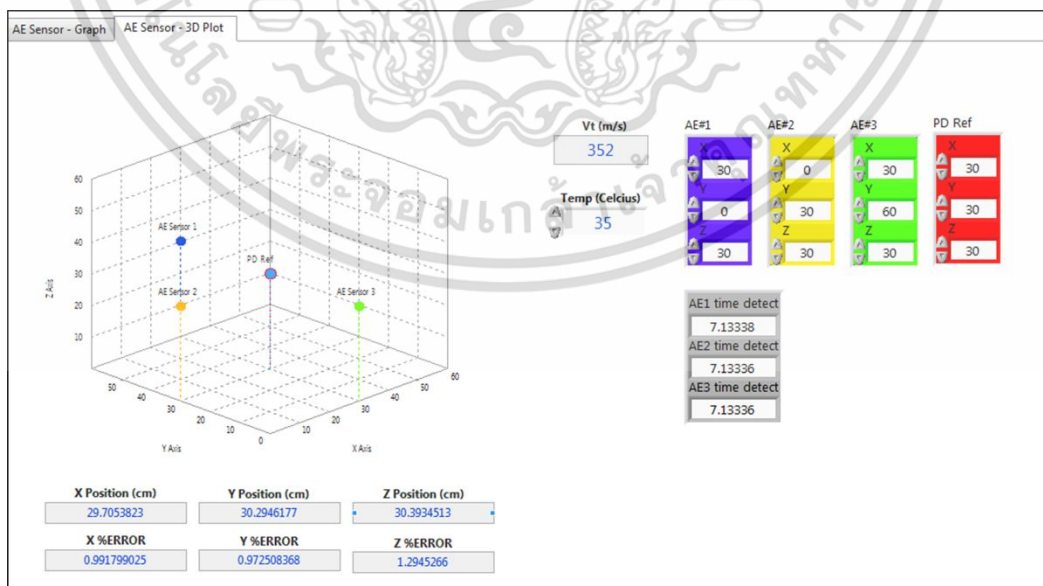
4.2.3.1 การระบุตำแหน่งของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 3 MHz

โดยใช้หัวตรวจจับทางเสียงจำนวน 3 ตัวไปติดตั้งยังอุปกรณ์หม้อแปลงทดสอบจำลอง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วน (PDsource) อยู่ที่พิกัด PD Ref. (30, 30, 30) โดยพิกัดของหัวตรวจจับ คือ AE#1 (30, 0, 30), AE#2 (0, 30, 30), AE#3 (30, 60, 30) ในแนวระนาบ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.11 เวลาการเกิดสัญญาณเพื่อนำมาหาตำแหน่งดิสชาร์จบางส่วน (3 MHz)

จากผลการทดลองที่ได้สามารถระบุตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้มีค่าคือ PD Source (29.7053, 30.2946, 30.3934) โดยมีค่า Error ที่ตำแหน่ง $x = 0.9917\%$, $y = 0.92750\%$, $z = 1.2945\%$ แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 3 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 ผลการหาตำแหน่งของดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 3 MHz

PD Type	V_{rms} (kV)	ระยะ PD Source (cm)	ระยะจากการคำนวณ (cm)	%Error
H.V. Corona	8.2	(30, 30, 30)	(29.71, 30.29, 31.23)	(0.98%, 0.96%, 3.93%)
L.V. Corona	11.8	(30, 30, 30)	(29.21, 30.00, 30.88)	(2.70%, 0.00%, 2.85%)
Surface	7.6	(30, 30, 30)	(30.41, 29.59, 30.02)	(1.34%, 1.38%, 0.07%)
Internal	16.2	(30, 30, 30)	(32.48, 30.00, 30.39)	(7.64%, 0.00%, 1.28%)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้วิธีทางเสียง

จากผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW ที่ได้ในส่วนของการนำผลทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้วิธีทางเสียง (Acoustic Emission) ในหัวข้อที่ 4.2.1 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz และ 4.2.2 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 3 MHz จะทำการนำผลที่ทดสอบได้ได้จากทั้ง 2 หัวข้อมาทำการเปรียบเทียบร่วมกับผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบผลการวัดโดยใช้วิธีทางเสียงโดยใช้ MATLAB [14] ที่ได้ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน (%Error) ของผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz จากโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW กับผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz โดยใช้ MATLAB วิเคราะห์แสดงผลในตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ผลเปรียบเทียบตำแหน่งของดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 1MHz

PD Type	V_{rms} (kV)	ระยะ PD Source (cm)	MATLAB 1 MHz (%Error)	Partial Discharge Analyzer Program 1 MHz (%Error)
H.V. Corona	8.2	(30, 30, 30)	(0.03%, 0.00%, 0.00%)	(5.52%, 8.03%, 8.42%)
L.V. Corona	11.8	(30, 30, 30)	(0.00%, 0.00%, 0.03%)	(5.82%, 5.21%, 7.12%)
Surface	7.6	(30, 30, 30)	(0.00%, 0.00%, 0.00%)	(6.16%, 0.00%, 2.66%)
Internal	14.1	(30, 30, 30)	(0.03%, 0.00%, 0.00%)	(1.35%, 1.39%, 1.19%)

2. เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน (%Error) ของผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 3 MHz จากโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW กับผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 3 MHz โดยใช้ MATLAB วิเคราะห์แสดงผลในตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 ผลเปรียบเทียบตำแหน่งของดิสชาร์จบางส่วนโดยหัวตรวจจับ 3MHz

PD Type	V_{rms} (kV)	ระยะ PD Source (cm)	MATLAB 3 MHz (%Error)	Partial Discharge Analyzer Program 3 MHz (%Error)
H.V. Corona	8.2	(30, 30, 30)	(0.00%, 0.03%, 0.00%)	(0.98%, 0.96%, 3.93%)
L.V. Corona	11.8	(30, 30, 30)	(0.00%, 0.00%, 0.00%)	(2.70%, 0.00%, 2.85%)
Surface	7.6	(30, 30, 30)	(0.00%, 0.00%, 0.00%)	(1.34%, 1.38%, 0.07%)
Internal	16.2	(30, 30, 30)	(0.00%, 0.00%, 0.00%)	(7.64%, 0.00%, 1.28%)

จากผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW ที่ได้ในส่วนของการนำผลทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้วิธีทางเสียง (Acoustic Emission) ในหัวข้อที่ 4.2.1 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1 MHz และ 4.2.2 การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 3 MHz โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดย LabVIEW สามารถระบุตำแหน่งการเกิดของ PD ได้ซึ่งจากผลที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอยู่เนื่องด้วยการหาตำแหน่ง PD จากสมการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่ใน 3 มิติซึ่งเป็นสมการวงกลมยังมีข้อจำกัดในการวางตำแหน่งของหัวตรวจจับอยู่ซึ่งต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม LabVIEW โดยการนำไฟล์ข้อมูลจาก Oscilloscope มาประมวลผลผ่านโปรแกรม ผลที่ได้คือโปรแกรมสามารถทำการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้จริง

เมื่อนำผลการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจากโปรแกรม LabVIEW มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม MATLAB นั้นได้ผลของการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกันจึงสามารถสรุปได้คือ

1. ด้านการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยข้อมูลจากอุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (HFCT) ทำให้ทราบถึงรูปร่างของดิสชาร์จบางส่วนอย่างละเอียด และระบุถึงขนาดที่แท้จริงดิสชาร์จบางส่วนและบอกช่วงความถี่ในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ และเมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จาก MATLAB จะเห็นได้ว่ามีผลของการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกัน แต่อาจมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เพราะวิธีการหาพื้นที่ใต้กราฟจากสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน เพื่อให้ได้ทราบถึงปริมาณของดิสชาร์จบางส่วนนั้นด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม LabVIEW ทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่ตั้งแต่จุดที่ตัดที่มากกว่าศูนย์หรือน้อยกว่าศูนย์ในการอ้างอิงจากค่าสัญญาณสูงสุดที่หาค่าได้โดยโปรแกรมจะทำการหาเป็นการกำหนด sampling ทางด้านซ้ายและขวาของสัญญาณสูงสุดแทนจึงทำให้ผลการหาปริมาณของดิสชาร์จบางส่วน มีความคลาดเคลื่อนจาก การวิเคราะห์จาก MATLAB

2. ด้านการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยข้อมูลการใช้เทคนิคทางเสียง (AE) จากอุปกรณ์หัวตรวจจับทางเสียงย่านความถี่ 1MHz และ 3MHz โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนสามารถวิเคราะห์สัญญาณดิสชาร์จบางส่วนได้จริงสามารถทราบถึงตำแหน่งของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้แต่ยังมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่ซึ่งเกิดจากการหาตำแหน่งโดยใช้สมการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่ใน 3 มิติซึ่งเป็นสมการวงกลมยังมีข้อจำกัดในการวางตำแหน่งของหัวตรวจจับอยู่ซึ่งต้องอยู่ในระนาบเดียวกันเพื่อไม่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการระบุหาตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการนำไปพัฒนาในอนาคต

1. โปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิซาร์จบางส่วนโดย LabVIEW ที่นำเสนอเป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาการเกิดดิซาร์จบางส่วนจากข้อมูลที่ถูกบันทึกมาจากเครื่องมือวัดจากผลการวัดเพียงเท่านั้น

2. ด้านการวิเคราะห์หาสัญญาณของการเกิดดิซาร์จบางส่วนอาจมีแนวทางที่จะนำการวิเคราะห์สัญญาณแบบ Wavelet มาประยุกต์ใช้เพื่อให้สัญญาณที่ได้รับมามีความละเอียดมากยิ่งขึ้นทำให้เพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการระบุค่าสูงสุดของการหาดิซาร์จบางส่วนในอนาคต

3. แนวทางการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การเกิดดิซาร์จบางส่วนโดย LabVIEW ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอาจจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์ Data Acquisition (DAQ) ซึ่งมีความสามารถในการนำฮาร์ดแวร์เข้ามาใช้บนโปรแกรม LabVIEW เพื่อการวัดค่าสัญญาณและอ่านค่าจากเซ็นเซอร์หลายชนิดเหมาะสมกับงานที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถตรวจจับสัญญาณแบบ Real time ได้เพื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาการเกิดดิซาร์จบางส่วนและสามารถนำมาวิเคราะห์ได้อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kreuger, F.H., Discharge Detection in High Voltage Equipment, Temple Press Books Ltd., London, 1964, pp. 13-25.
- [2] Kuffel, E. and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering, Pergamon Press, 1984, pp. 423-430.
- [3] สำรวย สังข์สะอาด, "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง".ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [4] Edward Gulski, "Computer – Aided Recognition of Partial Discharge Using Statistical Tools " Ph.D.thesis, Delft University, 1991.
- [5] Kuffel, E., Zaengl, W.S., and Kuffel, J., High Voltage Engineering Fundamentals, 2nd Ed., Newnes,Oxford, 2000, pp. 421-453.
- [6] Weber, H.J., Partial Discharge Measuring Techniques, Tettex Instruments Informations No. 21,1987, p. 10
- [7] IEC Standard 60270-1998, Partial discharge measurements.
- [8] IEEE Std 1434-2000, IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery
- [9] ศักดิ์กมล ลีลาจินดาไกรฤกษ์, การออกแบบสร้างและวิเคราะห์เทคนิคการวัดดิสชาร์จ บางส่วนโดยใช้อุปกรณ์วัดกระแสความถี่สูง (NOVEL DESIGN, IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF PD MEASUREMENT USING THE HIGH FREQUENCY CURRENT TRANSFORMER TECHNIQUE), ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558
- [10] IEEE Std. C57.127: 2007, "Guide for the Detection and Location of Acoustic Emission from Partial Discharge in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors"
- [11] Nasser, E., Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics, Wiley-Interscience, 1971, pp. 14-17, 189.
- [12] กิจไพบุลย์ ชิวพันธ์ุศรี, "LabVIEWซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาาระบบการวัดและควบคุม" , กรุงเทพฯ : SE-Education Public Company Limited ,2554
- [13] National Instrument, LabVIEW, "Measurement Manual", July 2000 Edition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] วิษณุ ต่อดระกุล ,การตรวจจับและระบุตำแหน่งของการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง (PARTIAL DISCHARGE IDENTIFICATION AND LOCATION USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE) ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา ,วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

Voltage divider 1000V/1V

หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง AC 460V/75kV 40kVA 50/60H

Coupling capacitor (Ck) 0.001microfarad 100kV

ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Object)

หัวตรวจจับ Piezoelectric ceramic ring (PED1205T20) ความถี่ใช้งาน 1 MHz

หัวตรวจจับ Piezoelectric ceramic ring (PED1206T20) ความถี่ใช้งาน 3 MHz

Rogowski Coil

Oscilloscope Tektronic DPO 4054

หม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือนที่สร้างขึ้น (60cmx60cmx60cm)

สายส่งสัญญาณ BELDEN RG58 C/D 50 Ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวตรวจจับ Piezoelectric ceramic ring (PED1205T20)

ความถี่ใช้งาน 1 MHz

หัวตรวจจับ Piezoelectric ceramic ring (PED1206T20)

ความถี่ใช้งาน 3 MHz



Type	Frequency (MHz)	Power (W)	Size		Dimension Drawing
			Diameter (mm)	High (mm)	
HNB-4P1-4325	1±15%	20	43.2	14	
HNB-4P3-6545	3±15%	30	65	11	

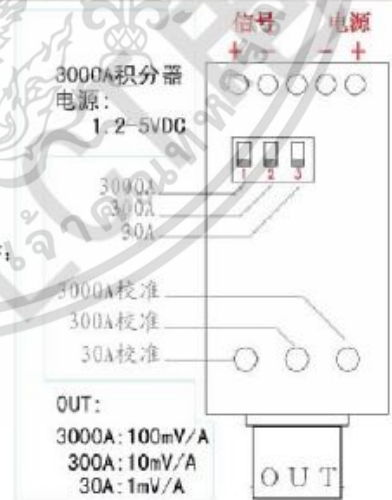
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rogowski Coil

LCT 柔性罗氏线圈



- 积分器 - 允许使用 1 只 AA 电池或 1 节 18650 电池;超低功耗,或附加 1.2-5V 直流插座,可与 MCU 使用同一电源。
- 主要特点:
- 测量范围: 300mA~3,000A, 测量精度达 5%-10%
 - 典型带宽: 1Hz~1MHz;
 - 纤细、柔软的高性能感应套环;
 - 近乎为零的干扰: 在测量过程中, 实际负载电流仅为几个皮亨;
 - 轻而易举地与实际的测量对象相连接;
 - 感应套环的峰值电压绝缘能力可达 5KV;
 - 感应套环周长由 0.2m~2m, 超出该范围的, 可以根据顾客的实际需求定制;
 - 瞬时电压输出峰—峰值±5V, 可直接与示波器、数据采集器、数字电压表等连接, 并做触发输出



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5、技术指标（典型标准产品）

电流测量指标			
量程	30A	300A	3000A
使用时电流峰峰值	45A peak	450A peak	4500A peak
使用时电流有效值	AC 0.5~30A	AC 5~300 A	AC 50~3000A
规定测量有效值范围	AC 0.5~30A	AC 1~300A	AC 5~3000A
输出/输入比	33.3 mV/A 或 100mV/A	3.33 mV/A 或 10mV/A	0.33 mV/A 或 1mV/A
电压输出信号精度	±0.5%		
电流表显示精度	≤量程的±1%±5个字		
相移(50Hz)	≤0.1°		
波形输出线性(量程的10%至100%)	≤读数的±0.5%		
残余电流(噪声, I=0 时)	≤0.5A RMS		
负载阻抗	≥10kΩ		
频率测量指标			
带宽(-3dB)	2Hz~2MHz	2Hz~2MHz	2Hz~2MHz
上升时间(10~90%)	0.3 μs(典型值)	0.24 μs(典型值)	0.2 μs(典型值)
下降时间(10~90%)	0.3 μs(典型值)	0.24 μs(典型值)	0.2 μs(典型值)
传播时间(-10%)	0.4 μs(典型值)	0.3 μs(典型值)	0.2 μs(典型值)
电气指标			
操作电压	600V RMS (Cat. II)		
供电电源	1.2-5VDC 1 节 AA (5号) 碱性电池或 1 节 18650 电池		
电池寿命	70 小时(典型值)		
正常消耗	1.6mA(典型值)		
温度影响	≤0.2%/10K		
湿度影响	≤0.5%(10%~90%无冷凝)		
传感器内导体位置影响	≤0.5%		
传感器变形影响	≤0.5%		
机械指标			
钳口能力	最大直径 200mm		
操作温度	-20℃~+55℃		
保存温度	-40℃~+70℃		
钳口最大测量温度	≤90℃		
工作湿度	大于 35℃时, 从 0%RH 到 85%RH 线性减少		
尺寸规格	连接线长度 2.5 米		
电缆长度(从测量头到电子元件)	2.5 米带屏蔽线		
输出	带绝缘 BNC 插座		
备注: 参考测试条件: 23℃±5℃, 20~75%RH; 电池电压: 3.8V±0.5V; 连续直流外磁场(地场)<40A/m, 无交流外磁场, 外电场<1V/m; 导体测量位置: 测量线圈中心, 测量线圈形状: 准圆形; 测量仪器输入阻抗(示波器)≥1MΩ;			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ห้องทดสอบแรงดันสูงควรทำตามข้อปฏิบัติดังนี้

- จะต้องลงชื่อบันทึกการใช้เครื่องมือทุกครั้งในการลงมือปฏิบัติเพื่อรับผิดชอบหากเครื่องมือเกิดความเสียหาย
- ผู้ทดสอบต้องแต่งกายเรียบร้อย รัดกุม และสวมรองเท้าหุ้มส้นเท่านั้น
- การต่อวงจรและทดสอบต้องถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
- การทดสอบต้องมีผู้ร่วมปฏิบัติอย่างน้อย 2 คนทุกครั้ง
- สถานที่ทดสอบและบริเวณทดสอบจะต้องมีระยะป้องกันและระยะปลอดภัยให้ถูกต้องตามมาตรฐานดังนี้

ในกรณีที่แรงดันทดสอบน้อยกว่า 1MV


ระยะปลอดภัยในการทดสอบแรงดันกระแสตรงหรือกระแสสลับคือ 50cm/1kV

ระยะปลอดภัยของการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ 25cm/100kV

ระยะปลอดภัยของการทดสอบทุกระดับแรงดันคือ 50cm

- ต้องตรวจสอบเครื่องมือวัดและเครื่องมืออื่น ๆ ก่อนการใช้งานหากพบความผิดปกติควรแจ้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่มีฉะนั้นจะถือว่าผู้ทดสอบทำให้เกิดความเสียหาย
- ต้องตรวจสอบการรัดอุปกรณ์ก่อนสัมผัสอุปกรณ์ทุกครั้งก่อนเข้าไปปฏิบัติงาน
- ก่อนทำการทดสอบจะต้องตรวจสอบและให้สัญญาณเตือนก่อนทุกครั้งถ้าหากเกิดอุบัติเหตุต่อผู้ร่วมปฏิบัติงานหรือบุคคลที่อยู่ในบริเวณการทดสอบผู้ทดสอบจะต้องรับผิดชอบ
- อุบัติเหตุใดๆที่เกิดขึ้นอยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของห้องทดสอบแรงดันสูง
- หากทำการยืมเครื่องมือต้องตรวจสอบสภาพก่อนนำไปใช้งานหากนำมาคืนแล้วพบความเสียหายผู้ยืมต้องรับผิดชอบ
- ผู้ทำการทดสอบต้องรักษาความสะอาดในห้องทดสอบแรงดันสูงและเมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นจะต้องเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบเข้าที่เดิมทุกครั้ง
- ในการทดสอบทุกครั้งผู้ทดสอบควรมีสติในการทดสอบห้ามทดสอบด้วยความประมาทโดยเด็ดขาด
- หากผู้ทดสอบคนใดไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดจะถูกลงโทษโดยเด็ดขาดในการห้ามใช้ห้องทดสอบแรงดันสูงตามเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
บทความทางวิชาการ

ตรัยจักร ปัทมนาวัน, วิษณุ ต่อตระกูล, ศักดิ์กมล สีสลาจินดาไกรฤกษ์และเชาว์ ชมภูอินทร์, “การตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนเพื่อหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคทางเสียงและโปรแกรมแลปวิว”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON 38)*, P. 205-208, 18-20 พฤศจิกายน 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘
The 38th Electrical Engineering Conference (EECON-38)



UTCC University of
the Thai Chamber
of Commerce
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย



วันที่ ๑๘ - ๒๐ พฤศจิกายน - พ.ศ. ๒๕๕๘
โรงแรมวอร์ลด์ อโยธยา คอนเวนชัน รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



UTCC
School of Engineering
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

MAN
MANAGEABLE
INSULATOR

QTC
QTC ENERGY PCL

CROWN
CERAMICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PW47	สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกระตุ้นตัวเองผนวกอิเล็กทรอนิกส์โพลคอนโทรลเลอร์ภายใต้การสับโพลชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำ พิชัย อารีย์ และ สมบูรณ์ หลักทรัพย์	185
PW48	การศึกษาการสร้างพลังงานไฟฟ้าด้วยการออกแบบร่วมระหว่าง กังหันลมเซโรเนียช กับ โซลโรบิล ภูซงค์ เจริญประสาทสุข, วันชัย อุดมมงคลกิจ และ เซาว์ ชมภูอิน ไหว	189
PW49	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เวลาจริงของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับเทคโนโลยีผลึก คชพงศ์ สุมานนท์, พิสิทธิ์ ถิ่นชนกุล, และ พลสิทธิ์ สุวรรณภักดี	193
PW50	ชุดสาธิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กโพลตามแนวแกนเพลลา พูนศรี วรรณการ และ อธิศักดิ์ วิจัยกรรม	197
PW51	Harmonic Distortion Analysis of the Existing Industries and Reference signal for Harmonics Simulator Pasist Suwanapingsakul, Arnon Singhasathein, Naruebet Srinuan, Sanchai Ketampom, Sophonwit Tipprapai and Kabin Jongkhavadee	201
PW52	การตรวจวัดดิซฮาร์โมนิกบางส่วนเพื่อหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคทางเสียงและโปรแกรมแลปวิวดิจิทัล ศรัยจักร ปัทมนาวัน, วิษณุ ต่อตระกูล, ศักดิ์กมล สิลาลินลาไกรฤกษ์ และ เซาว์ ชมภูอิน ไหว	205
PW53	กรณีศึกษาของการปรับปรุงระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้พีแอลซี บัญชา ทรงศักดิ์ศรี, รุจิรา สะกะเด็ม และ เซาว์ ชมภูอิน ไหว	209
PW54	การประเมินสมรรถนะการป้องกันฟ้าผ่าระบบสายส่งย่อยของ กฟน. อรุณ ชลิ่งสุวาร์, ทง ฉานธารทอง, นัฐโชค รักไทยเจริญชีพ และ อรรถล พยอมหอม	213
GN01	ปัจจัยที่มีผลต่อธุรกิจพลังงานไทยสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล ศรวิวัฒน์ วรจันทร์ และ วันชัย จิมฉวี	217
GN02	การออกแบบเครื่องกีดขวางวงจรสายนำสัญญาณไมโครสตริปสำหรับระบบสื่อสารยานความถี่ไมโครเวฟ นิลมนต์ สันตวไมตรี, สมชาย สุพรรณ, อนุวัฒน์ มณีพรหม และ ศักดิ์ชัย ต้นดีวิวัฒน์	221
GN03	การเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์บนหลังคาชนิดเชื่อมต่อสายส่งโดยใช้ฟิล์มน้ำ ไพศาล เป็องบน, สายชล ลาพรม, สุวรรณ งามกระโทก, กฤติเดช ปวีใหญ่ และ กายณ์ เกิดชื่น	225
GN04	การติดตามกำลังสูงสุดสำหรับระบบแปลงผันพลังงานลมขนาดเล็กแบบอิสระ โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, กองทัน อารีรักษ์ และ กองพล อารีรักษ์	229
GN05	Parameter Estimation of Stochastic Volatility Models using Particle Method and EM Algorithm Tamt Malakorn and Thanapat Imatan	233
GN06	เครื่องจ่ายไฟแรงดันสูงกระแสตรงสำหรับการสร้างพลาสมา คณิศร์ มาตรา และ เกริกเกียรติ พนชการ	237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนเพื่อหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคทางเสียงและโปรแกรมแลปวิว

Partial Discharge Identification and Location Using Acoustic Emission Technique and LabVIEW Program

PW52

ศรัทธา ปรภมกรวิณ, วิษณุ พงศ์ระดม, ศักดิ์กมล สัจจจินหาโรภรณ์และชัชวาลย์ ชุมภูอินทร์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 เขตพหลองกรุง 1 ถนนพหลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร 0 2326 9902 E mail: rajjak33@hotmail.com, wissanu.tornakul@rh.abb.com, chompoooc@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาการวัดระยะห่างตำแหน่งคิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงร่วมกับ โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้อะคูสติกเซ็นเซอร์ (AE Sensors) ในย่านความถี่ 1 MHz และ 3 MHz จำนวน 3 ตัวไปติดตั้งที่หม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือนที่สร้างขึ้นเพื่อตรวจจับสัญญาณคิซาร์จบางส่วนและคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคิซาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรมแลปวิว โดยอุปกรณ์ตรวจจับนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปติดตั้งที่แหล่งกำเนิดคิซาร์จบางส่วนหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนโดยไม่ต้องทำการปิดระบบหรือแบบออนไลน์ (On-line Monitoring) ซึ่งมีความทันสมัยติดตั้งง่ายและสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก อีกทั้งสามารถนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งการเกิดคิซาร์จบางส่วนได้อย่างถูกต้องและนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนในหม้อแปลงได้ในอนาคต

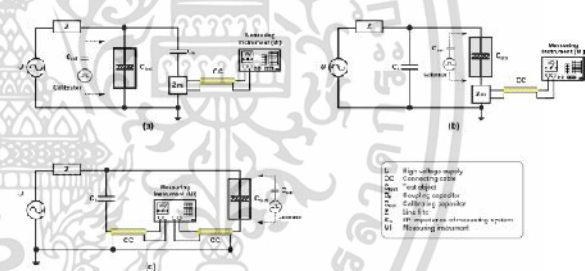
Abstract

This research paper proposes the technique of how to identify and locate partial discharge (PD) using acoustic emission (AE) technique. Along with the identifying and locating techniques, AE transducer were experimented 1kHz and 3MHz to be used in this research. Three almost identical AE transducers were installed outside such enclosure. For PD location experiment, the artificial model of the transformer has been built in the High Voltage Laboratory to represent the actual transformer's shape and dimension. The acquired analog signals from three AE transducers were gathered for computing and analyzing in LabVIEW program. From the experimental results, it is clear to be seen that the proposed technique is able to accurately identify PD pulses and locate the PD source at any position in the transformer model.

Keywords: Partial Discharge, Acoustic Emission, LabVIEW

1. บทนำ

ในปัจจุบันการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนนั้นสามารถทำได้โดยการต้องตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนของตามมาตรฐาน IEC 60270:2000 [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจากการวัดแบบดั้งเดิมนั้นต้องใช้พื้นที่มาก อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ดังนั้นจึงมีงานการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนโดยใช้หัวตรวจจับทางเสียงร่วมกับโปรแกรมแลปวิวเพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณคิซาร์จบางส่วนที่สามารถรองรับการทำงานแบบออนไลน์อีกด้วย



รูปที่ 1 วงจรวัดคิซาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270:2000 [1]

2. ทฤษฎีและหลักการ

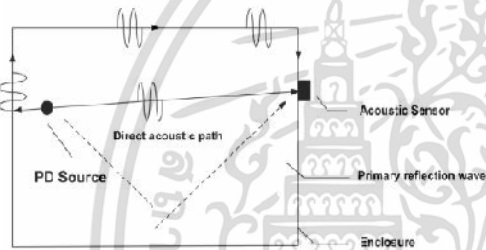
2.1 คิซาร์จบางส่วน (Partial Discharge: PD)

คิซาร์จบางส่วนคือ การเบรคตามันที่ไม่สมบูรณ์หลังงน ทำให้เกิดคิซาร์จบางส่วนไม่มากพอจนทำให้จำนวนคลื่นสกลาไฟฟ้าไม่เต็มตัวนำไฟฟ้าได้ โดยจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงจึงทำให้สนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติแต่ไม่อาจทำให้เกิดการเบรคควาอย่างสมบูรณ์ได้หากแต่เกิดบางส่วนเท่าๆ การเกิดคิซาร์จบางส่วนจะทำให้จำนวนเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วและอายุการใช้งานจะสั้นลง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการนำไปสู่การเบรคตามันก่อให้เกิดการเสียหายต่อระบบฉนวนได้ในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การตรวจสอบโดยใช้เทคนิคทางเสียง

การตรวจสอบโดยใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission Testing) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่แตกต่างกันจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีดั้งเดิมเนื่องจากการตรวจสอบด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นจะเป็นการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องหรือตำหนิที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุแล้ว แต่การตรวจสอบโดยใช้เทคนิคทางเสียงเป็นการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องในขณะที่กำลังเกิดขึ้นหรือกำลังขยายตัว โดยรอยบกพร่องจะเป็นตัวแพร่สัญญาณออกมาในลักษณะของสัญญาณอะคูสติกหรือสัญญาณเสียงเป็นการตรวจสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สามารถใช้เฝ้าระวังและเตือนล่วงหน้าก่อนที่ความเสียหายจะลุกลาม นอกจากนี้ยังมีโครงการผลการตรวจสอบลงในบริเวณทั่วไปในการตรวจสอบในครัวเรือน



รูปที่ 2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคทางเสียง

2.3 อัตราเร็วของเสียง (Velocity of sound)

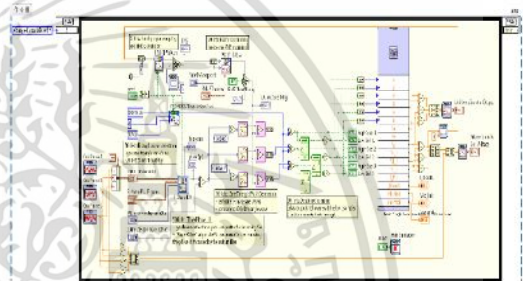
อัตราเร็วของเสียง คือ ระยะทางที่เสียงเดินทางไปในตัวกลางใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยทั่วไปเสียงเดินทางในอากาศที่อุณหภูมิ 25°C ได้ประมาณ 346 เมตร/วินาที และในอากาศที่อุณหภูมิ 20°C ได้ประมาณ 343 เมตร/วินาที ดังนั้นอัตราเร็วที่เสียงเดินทาง ได้อาจมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางเป็นหลักและการเดินทางของเสียงยังอาศัยการสั่นของโมเลกุลของตัวกลาง โดยเสียงจะเดินทางได้เร็วขึ้นหากตัวกลางมีความหนาแน่นมาก ดังนั้นเสียงจะเดินทางได้เร็วในของแข็ง

ตารางที่ 1 อัตราความเร็วเสียงในหน่วยเมตรต่อวินาที

Type of conductor	Velocity (m/s)
Carbon dioxide	258
Air (25C°)	346
Hydrogen	1,339
Water	1,493
Aluminium	5,000
Steel	5,200

2.4 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

ปัจจุบันโปรแกรมแลปวิวถูกนำมาเพื่อใช้ในการสร้างระบบการวัดเพื่อทดสอบและควบคุม โดยมีการต่อสายส่งค่าข้อมูลต่อกับการวัดแผนภาพที่เข้าใจได้ง่าย ซึ่งจุดพัฒนาจะมาพร้อมกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์ ประมวลผลและแสดงข้อมูล ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์อื่นๆ ได้อีกด้วยซึ่งทำให้สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อต้องการย้าย การทำงาน บนคอมพิวเตอร์ไปเป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัวโดยใช้การเขียน โปรแกรม โดยภาษาได้รูปภาพ (Graphical programming) ที่สามารถเข้าใจง่ายและสะดวกแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเขียน โปรแกรมโดยภาษาได้รูปภาพ (Graphical programming)

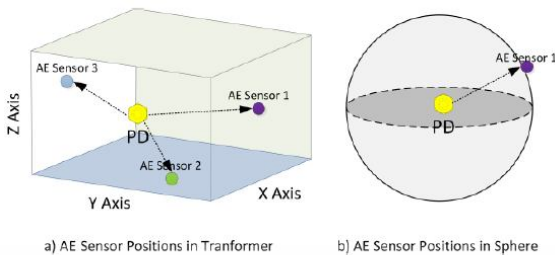
3. การออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 หลักการวิเคราะห์หาตำแหน่งการเกิดคลื่นขั้วบางส่วน

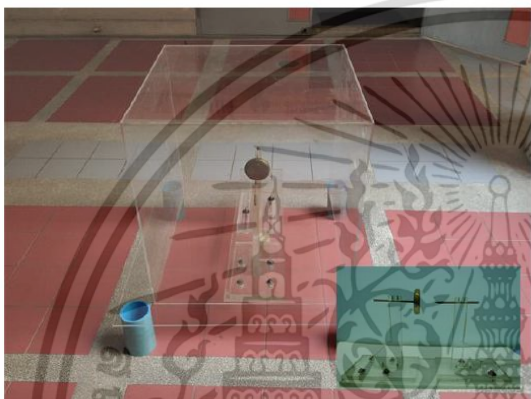
ในการระบุตำแหน่งนั้นจะใช้หลักการของสมการทรงกลมเพื่อระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นขั้วบางส่วน ซึ่งระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดคลื่นขั้วบางส่วนกับเซ็นเซอร์สามารถแทนได้ด้วยรัศมีของทรงกลมค่าหนึ่ง โดยสมการหาตำแหน่งในระนาบ 3 มิตินั้นจะต้องทราบอัตราความเร็วเสียงของตัวนำ (v) และเวลา (t) จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4

3.2 หม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือน

จากการทดลองได้สร้างหม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือนขึ้นเพื่อหาตำแหน่งคลื่นขั้วบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงแสดงดังรูปที่ 5 โดยการนำอะคูสติกเซ็นเซอร์ไปติดตั้ง โดยมีแหล่งกำเนิดคลื่นขั้วบางส่วนอยู่ภายในเมื่อเซ็นเซอร์ที่หนึ่งจับสัญญาณ PD และส่งสัญญาณผ่านสายส่ง BELDEN RG58 และนำสัญญาณที่ตรวจวัดได้ไปวิเคราะห์และแสดงผลที่หน้าจอแสดงผลต่อไปโดยใช้ร่วมกับโปรแกรมแลปวิว



รูปที่ 4 การติดตั้งหัวตรวจจับสัญญาณคิซาร์จบางส่วน





รูปที่ 5 หม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์จำลอง

3.3 การเลือกใช้หัวตรวจจับทางเสียง

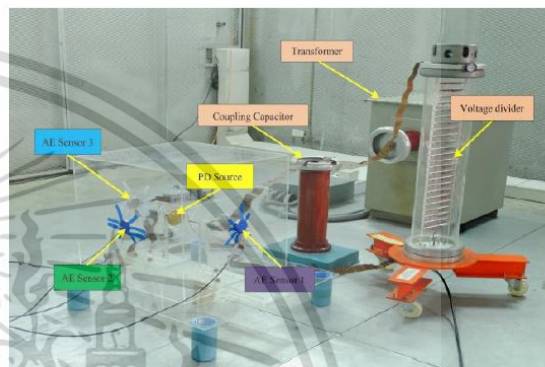
หัวตรวจจับทางเสียงมีหลายชนิด สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัดซึ่งการทดลองนี้ใช้หัวตรวจจับทางเสียงแบบ Piezoelectric sensor ในย่านความถี่ 1 MHz และ 3 MHz ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีสัญญาณขาออกที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linearity) และให้ผลตอบสนองในงานที่มีความถี่สูง (High Frequency Response) ได้ดีกว่าหัวตรวจจับแบบอื่นๆ

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของหัวตรวจจับทางเสียง (Piezoelectric sensor)

Type	Model	Frequency (MHz)	Power (W)	Size	
				Diameter (mm)	High (mm)
HNB-4P1-4325		1±15%	20	43.2	14
HNB-4P3-6545		3±15%	30	65	11

4. ผลการทดลอง

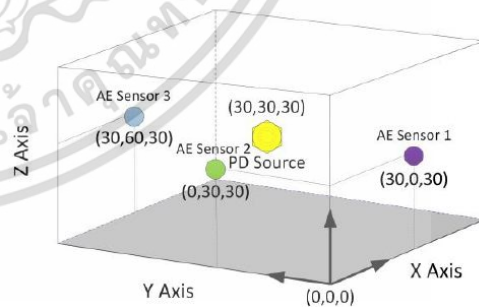
การตรวจวัดคิซาร์จบางส่วน โดยใช้เทคนิคทางเสียง โดยมีแหล่งกำเนิดคิซาร์จบางส่วนคือ วงจรทดสอบตามมาตรฐาน IEC-60270 ดังรูปที่ 6 นำหัวตรวจจับทางเสียงจำนวน 3 ตัว ติดตั้งกับหม้อแปลงรูปทรงลูกบาศก์เสมือน โดยตรงเมื่อจับสัญญาณได้แล้วนั้นจึงนำมาวิเคราะห์และหาตำแหน่งคิซาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรมแลปวิว ค่าความเร็วเสียงในอากาศมีค่าคือ 350.2 m/s ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 วงจรตรวจวัดหาตำแหน่งคิซาร์จบางส่วน โดยใช้เทคนิคทางเสียง

4.1 ผลการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนโดยใช้หัวตรวจจับทางเสียง ในย่านความถี่ 1 MHz

ทำการติด Piezoelectric sensor 3 ตัวที่พิกัด PD source (30, 30, 30) โดยพิกัดหัวตรวจจับ คือ S1 (30, 0, 30), S2 (0, 30, 30), S3 (30, 60, 30) ในแนวระนาบ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 7 การคำนวณหาตำแหน่งพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคิซาร์จบางส่วนได้นั้นจะต้องทราบเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบสัญญาณคิซาร์จบางส่วนที่แรงดัน 8.8 kV

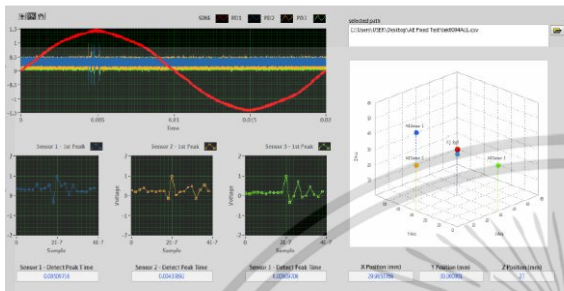


รูปที่ 7 การติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียงเพื่อหาตำแหน่งเกิดคิซาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38) 18 - 20 พฤศจิกายน 2558 มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

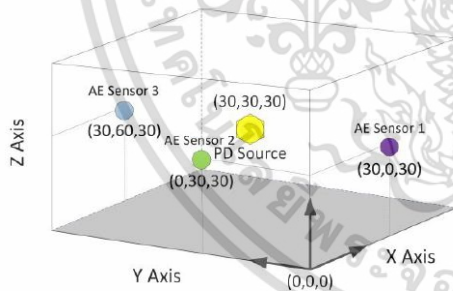
โดยผลการทดลองที่ได้สามารถระบุตำแหน่งการเกิดคิซาร์จบางส่วนได้มีค่าคือ PD Source (29.9854, 30.0000, 27.0000) โดยมีค่า Error ที่ตำแหน่ง $x = 0.0487\%$, $y = 0.0000\%$, $z = 10.0000\%$ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ตำแหน่งการเกิดคิซาร์จบางส่วน H.V.-electrode Corona discharge at 8.8 kV

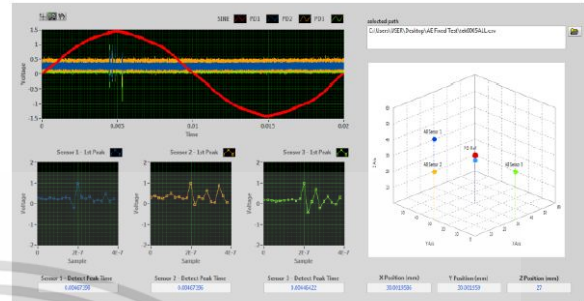
4.2 ผลการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนโดยใช้หัวตรวจจับทางเสียงในย่านความถี่ 3 MHz

การติดตั้ง Piezoelectric sensor 3 ตัวที่พิกัด PD source (30, 30, 30) โดยพิกัดหัวตรวจจับ คือ S1 (30, 0, 30), S2 (0, 30, 30), S3 (30, 60, 30) ในแนวระนาบ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 9 การคำนวณหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคิซาร์จบางส่วนได้นั้นจะต้องทราบเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบสัญญาณคิซาร์จบางส่วนที่แรงดัน 8.8 kV



รูปที่ 9 การติดตั้งหัวตรวจจับเพื่อหาตำแหน่งการเกิดคิซาร์จบางส่วน

โดยผลการทดลองที่ได้สามารถระบุตำแหน่งการเกิดคิซาร์จบางส่วนได้มีค่าคือ PD Source (30.0019, 30.0019, 27.0000) โดยมีค่า Error ที่ตำแหน่ง $x = 0.0063\%$, $y = 0.0063\%$, $z = 10.0000\%$ แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การวิเคราะห์ตำแหน่งการเกิดคิซาร์จบางส่วน H.V.-electrode Corona discharge at 8.8 kV

5. สรุป

จากการศึกษาและออกแบบการตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนโดยใช้หัวตรวจจับทางเสียงร่วมกับโปรแกรมแลปวิว นั้น สามารถตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนได้จริง โดยสามารถนำสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้นไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของการเกิดคิซาร์จบางส่วนว่าเป็นชนิดใดได้โดยใช้โปรแกรมแลปวิว ซึ่งการใช้หัวตรวจจับทางเสียงในย่านความถี่ 3 MHz มีความแม่นยำกว่าหัวตรวจจับทางเสียงในย่านความถี่ 1 MHz โดยเครื่องมีวัดคิซาร์จบางส่วนมีข้อผิดพลาดอยู่เล็กน้อยแต่มีจุดเด่นคือ อุปกรณ์ตรวจวัดมีขนาดกะทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก, ง่ายตรวจวัดไม่ซับซ้อนมีความปลอดภัยสูงสามารถส่งข้อมูลออนไลน์ได้ทันทีและมีความทันสมัยกว่าอุปกรณ์ของการตรวจวัดคิซาร์จแบบดั้งเดิมอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC-60270:2000, "High-Voltage test techniques-Partial discharge measurement"
- [2] IEEE Std. C57.127:2007, "Guide for the Detection and Location of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors"
- [3] IEC-60156:1995-07, "Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage at power frequency - Test method"
- [4] Dr. Kay Rethmeier, Partial Discharge Measurements on Power Transformers: Case studies, OMICRON, Austria, 2007
- [5] IEC-60156:1995-07, "Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage at power frequency - Test method"
- [6] กิจไฟบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี, LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาระบบวัดและควบคุม, National Instruments Corporation, 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายตรัยจักร ปัทมนาวัน
วัน เดือน ปีเกิด	10 มกราคม 2530 ที่จังหวัดแพร่
ที่อยู่	11 ถ.คุ้มเดิม ต.โนเวียง อ.เมืองแพร่ จ.แพร่ 54000
ประวัติการศึกษา	2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	2553 - 2554 Field Engineer, Thai Nondestructive Testing Co.,Ltd 2558 - 2559 FDA&FPS - L&E Engineer, BEM Co.,Ltd

ผลงานทางวิชาการ

1. ตรัยจักร ปัทมนาวัน, วิษณุ ต่อตระกูล, ศักดิ์กมล สีสัจจินดาไกรฤกษ์และเชาว์ ชมภูอินไหว, “การตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนเพื่อหาตำแหน่งรอยใช้เทคนิคทางเสียงและโปรแกรมแลบวิว”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON 38), P. 205-208, 18-20 พฤศจิกายน 2558

