

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การวิเคราะห์และตรวจจับการดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง

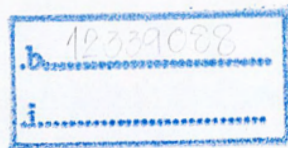
**Analysis and detection of PD using Acoustic Emission Technique**



T117501



เลขหมู่.....**117501**  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....**5 ต.ค. 2554**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การวิเคราะห์และตรวจจับการดิซซาร์จบางส่วน โดยใช้เทคนิคทางเสียง  
Analysis and detection of PD using Acoustic Emission Technique



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว  
รศ.ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

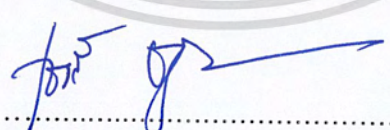
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์และตรวจจับการคิซซาร์จบางส่วน โดยใช้เทคนิคทางเสียง

ผู้จัดทำ

- 
1. นายกิตติพงษ์ เจริญธรรม
  2. นายนกุล ชาวพราย
  3. นายนพดล วงสวัสดิ์
  4. นายนพพล สวนใต้

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชาว์ ชมภูอินไหว )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์และตรวจจับการดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง

นายกิตติพงษ์ เจริญธรรม

นายนกุล ขาวพราย

นายนพดล วงสวัสดิ์

นายนพพล สวนใต้

ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์และตรวจจับการดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับดิสซาร์จบางส่วนที่มีขนาดเล็กสามารถเลือกความถี่ของการตรวจจับให้เหมาะสมกับงานที่จะทดสอบและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกจึงสามารถนำไปติดตั้งที่ตัวทดสอบหรือบริเวณใกล้เคียงกับตัวทดสอบเพื่อทำการตรวจจับการดิสซาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในขณะที่ทำการจ่ายโหลดได้ ซึ่งในปัจจุบันการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วนแบบเดิม (Conventional Method) นั้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และต้องทำในห้องทดสอบส่งผลให้ไม่สะดวกในการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงบางตัวมาตรวจสอบได้ ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์นี้จะส่งผลให้เกิดความสะดวกในการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน โดยนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์จำแนกประเภทการเกิดดิสซาร์จบางส่วนและตำแหน่งการเกิดดิสซาร์จบางส่วนได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Analysis and detection of PD using Acoustic Emission Technique

Mr.Kittipong Charoentham  
Mr.Nagul Kaopari  
Mr.Noppadon Wongsawat  
Mr.Noppon Suantai  
Asst.Prof.Dr.Chow Chompoo-inwai Supervisor  
Assoc.Prof.Dr.Monthon Leelachindakailak Supervisor  
2010

### ABSTRACT

This article presents the design and implementation of the novel PD measuring unit using Acoustic Emission Technique. The main goal is to build a small, portable and accurate PD measuring unit. In the present, detecting partial discharge need to be done in the lab environment. The device that we built can solve this problem and make the PD measurement better and easier than the conventional way. The electrodes were measured by the type of partial discharge and location of the discharge part correctly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าหากขาดความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดี จากบุคคลเหล่านี้

คณะผู้จัดทำขอกราบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ศศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ ไหวและรศ.ดร.มณฑล สีลา-จินดาไกรฤกษ์ ที่คอยดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดเสมอมา ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษา รวมถึงวิชาการความรู้ต่างๆที่ได้สอนแก่ผู้จัดทำโครงการ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงการ โดยมีเห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขปริญญาโทฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ต่อผู้จัดทำโครงการซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ขอบพระคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและห้องศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมส่องสว่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ใช้เป็นสถานที่ในการทดสอบและเป็นที่ยอมรับในกลุ่มเพื่อทำงานต่างๆ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคุณวิจิต พิชัยชาญเลิศ คุณวิษณุ ต่อตระกูล และบริษัทไทย เอ็น ดี ที จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์ในการทดสอบเป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโทประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงคุณปณณวีร์ ทองเขียว และรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานเป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคนสำหรับมิตรภาพที่ดีทั้งในด้านการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนการเรียนและการใช้ชีวิตนอกห้องเรียน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงที่คอยสนับสนุนทางด้านการเรียนตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน รวมทั้งคอยให้กำลังใจที่ดีในทุกเรื่อง

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VIII
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความหมายของดิสซาร์จบางส่วน.....	4
2.2 ชนิดของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน.....	5
2.2.1 โครนาดิสซาร์จ.....	5
2.2.2 ดิสซาร์จตามผิว.....	6
2.2.3 ดิสซาร์จภายใน.....	7
2.3 ผลกระทบของดิสซาร์จบางส่วน.....	7
2.4 สื่อสัญญาณที่ใช้ตรวจจับ PD.....	8
2.5 การตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน.....	8
2.5.1 วงจรสมมูลของการดิสซาร์จภายใน.....	8
2.5.2 ธรรมชาติพัลส์ของดิสซาร์จบางส่วน.....	10
2.6 หลักการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน.....	12
2.6.1 วงจรพื้นฐานและการวิเคราะห์วงจรตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน.....	12
2.6.2 แสดงผลดิสซาร์จบางส่วน.....	13
2.7 หลักการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน.....	14
2.7.1 การวัดดิสซาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป.....	14
2.7.2 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน.....	16
2.7.3 ระบบการวัดดิสซาร์จบางส่วนสำหรับวัตถุที่ปรากฏ.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญ (ต่อ)

2.8	เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน .....	17
2.8.1	สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบในการวัดดิซาร์จบางส่วน .....	17
2.8.2	การลดสัญญาณรบกวน .....	18
2.9	การวิเคราะห์ดิซาร์จบางส่วน .....	18
2.9.1	การวิเคราะห์ PD แบบนิยม .....	18
2.10	สัญญาณที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบดิซาร์จบางส่วน .....	21
2.11	การตรวจวัดที่ไม่ใช้วิธีทางไฟฟ้า .....	22
2.12	ทฤษฎีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย .....	23
2.12.1	การตรวจสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิว .....	23
2.12.2	การตรวจสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องภายใน .....	24
2.13	ทฤษฎีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณเสียง .....	25
2.13.1	สัญญาณทางเสียง .....	25
2.13.2	ตัวแปรสัญญาณทางเสียง .....	27
2.13.3	ทฤษฎีความเร็วเสียง .....	29
บทที่ 3	การออกแบบการทดสอบโดยใช้เทคนิคทางเสียง(Acoustic Emission) .....	31
3.1	ส่วนการตรวจจับสัญญาณ (Detection Part) .....	32
3.2	ส่วนการสรุปผลเปรียบเทียบสัญญาณ (Conclusion Part) .....	32
3.3	ส่วนการวิเคราะห์ (Analysis Part) .....	33
3.4	ส่วนแสดงผลของสัญญาณที่ตรวจจับ (Acquisition Part) .....	34
3.5	วงจรการทดลองและวิธีการทดลอง .....	35
3.5.1	วงจรการทดลองแบบดั้งเดิม (Conventional method) .....	35
3.5.2	ขั้นตอนและวิธีการทดลองแบบดั้งเดิม (Conventional method) .....	35
3.5.3	วงจรการทำวนโดยใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission) .....	36
3.5.4	ขั้นตอนและวิธีการทดลองแบบใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission) .....	37
3.6	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	39
3.6.1	แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิซาร์จบางส่วน (PD Source) .....	39
3.6.2	หัวตรวจจับทางเสียง (Acoustic Emission) .....	41
3.6.3	ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope Tektronix) .....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

3.6.4	สายตัวนำสัญญาณและหัวต่อสัญญาณ BNC.....	44
3.6.5	กล่องทรงลูกบาศก์.....	45
3.6.6	หม้อแปลงทดสอบ .....	46
3.6.7	โวลท์เตจดีไวเดอร์ .....	46

### บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ .....

47

4.1	การตรวจจับ PD ด้วยวิธี Conventional Method.....	48
4.1.1	ผลการทดสอบแบบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง.....	48
4.1.2	ผลการทดสอบแบบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวน์.....	49
4.1.3	ผลการทดสอบแบบดีสชาร์จภายในโพรงอากาศ.....	49
4.1.4	ผลการทดสอบแบบดีสชาร์จตามผิว.....	49
4.2	การวิเคราะห์สัญญาณ PD จากการตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง .....	50
4.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อเลือก Sensor ที่ดีที่สุด .....	56
4.3.1	โคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง .....	58
4.3.2	โคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวน์ .....	58
4.3.3	ดีสชาร์จภายในโพรงอากาศ .....	59
4.3.4	ดีสชาร์จตามผิว .....	59
4.4	การทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแนวระนาบ .....	60
4.5	การตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง .....	63
4.5.1	โคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง .....	63
4.5.2	โคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวน์ .....	64
4.5.3	ดีสชาร์จภายในโพรงอากาศ .....	64
4.5.4	ดีสชาร์จตามผิว .....	65
4.6	การทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ.....	66

### บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....

69

5.1	สรุป.....	69
5.2	อุปสรรคและแนวทางการนำไปพัฒนา.....	71

### ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สัญญาณดีสชาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรม MATLAB .....

72

### ภาคผนวก ข การวัดแรงดันเบรกดาว์นของวัสดุทดสอบ .....

81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ .....	87
บรรณานุกรม.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **VII** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่างภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ดิสซาร์จาบางส่วนแบบต่าง ๆ..... 5
2.2	ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสซาร์จาตามผิว..... 6
2.3	วงจรสมมูลย์การเกิดดิสซาร์จาบางส่วนแบบทั่วไป ..... 9
2.4	ค่าความจุไฟฟ้าที่เกิด PD ..... 10
2.5	แรงดันตกคร่อมโพรงก๊าซและกระแสที่ขั้วสายอุปกรณ์ขณะเกิด PD..... 10
2.6	ลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับแก๊สเล็ก..... 11
2.7	วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสซาร์จาบางส่วน ..... 12
2.8	การแสดงผลดิสซาร์จาบางส่วน ..... 14
2.9	วงจรทดสอบดิสซาร์จาบางส่วนแบบต่าง ๆ ..... 15
2.10	ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ..... 17
2.11	ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน..... 18
2.12	รูปแบบการเกิดโคโรนา..... 19
2.13	รูปแบบการเกิดดิสซาร์จาตามผิว..... 19
2.14	รูปแบบการเกิดดิสซาร์จภายใน..... 20
2.15	สัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการวัด..... 21
2.16	แสดงลักษณะของสัญญาณทางเสียง ..... 25
2.17	แสดงการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณทางเสียง ..... 26
2.18	แสดงการกำหนดระดับขีดจำกัดเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน..... 26
2.19	แสดงตัวแปรของสัญญาณทางเสียง..... 27
3.1	แผนผังการออกแบบ..... 31
3.2	แสดงหลักการทำงานของหัวตรวจจับทางเสียง ..... 32
3.3	Oscilloscope ที่ใช้ในการทดลอง..... 32
3.4	แสดงการแก้มการหาระยะ R ..... 33
3.5	แสดงการแก้มการในระนาบ 3 มิติ..... 34
3.6	แสดงวงจรการทำงานแบบดั้งเดิม (Conventional Method)..... 35
3.7	แสดงวงจรการวัดสัญญาณ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียง..... 36
3.8	แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิสซาร์จาบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงสูง..... 39
3.9	แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิสซาร์จาบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์..... 40
3.10	แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิสซาร์จาบางส่วนแบบภายในโพรงอากาศ ..... 40
3.11	แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิสซาร์จาบางส่วนแบบตามผิว..... 41
3.12	หัวตรวจจับทางเสียง Piezoelectric Sensor ..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

3.13	Vallen Sensor .....	42
3.14	ออสซิลโลสโคป Tektronix MSO4054.....	44
3.15	สายนำสัญญาณและหัวต่อสัญญาณ BNC.....	45
3.16	กล่องทรงลูกบาศก์ขนาด 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร .....	45
3.17	หม้อแปลงทดสอบ .....	46
3.18	โวลท์เตจดีไวเดอร์.....	46
4.1	แผนผังเนื้อหาในบทที่ 4 .....	47
4.2	แผนผังการวิเคราะห์สัญญาณ PD จากการตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง ....	50
4.3	ผลของสัญญาณที่ได้โดยการแปลงค่า Time domain เทียบกับสัญญาณที่ได้จาก Oscilloscope .....	51
4.4	สัญญาณแรงดันทดสอบและสัญญาณ PD ที่แรงดันทดสอบ 12.4 kV.....	52
4.5	สัญญาณ PD ที่แรงดันทดสอบ 12.4 kV.....	52
4.6	FFT ของสัญญาณ PD ที่แรงดันทดสอบ 12.4 kV.....	53
4.7	สัญญาณแรงดันทดสอบและสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset ที่แรงดันทดสอบ 12.4 kV.....	53
4.8	FFT ของสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset ที่แรงดันทดสอบ 12.4kV .....	54
4.9	รูปสัญญาณแรงดันทดสอบและสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset และถูกกรองสัญญาณด้วยวงจรรองความถี่ต่ำผ่านได้.....	54
4.10	FFT ของสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset และถูกกรองสัญญาณด้วยวงจรรองความถี่ต่ำผ่านได้.....	55
4.11	แผนผังการเปรียบเทียบผลการทดสอบ .....	56
4.12	การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดสอบเพื่อเลือก Sensor ที่ดีที่สุด.....	57
4.13	แหล่งกำเนิดดิสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆ.....	57
4.14	ผลการเปรียบเทียบแบบโคโรนาดิสชาร์จด้านแรงสูง.....	58
4.15	ผลการเปรียบเทียบแบบโคโรนาดิสชาร์จด้านกราวด์.....	58
4.16	ผลการเปรียบเทียบแบบดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ .....	59
4.17	ผลการเปรียบเทียบแบบดิสชาร์จตามผิว.....	59
4.18	การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแนวระนาบ..	60
4.19	แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิสชาร์จบางส่วน.....	60
4.20	แสดงตำแหน่งที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	61
4.21	แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิสชาร์จบางส่วน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

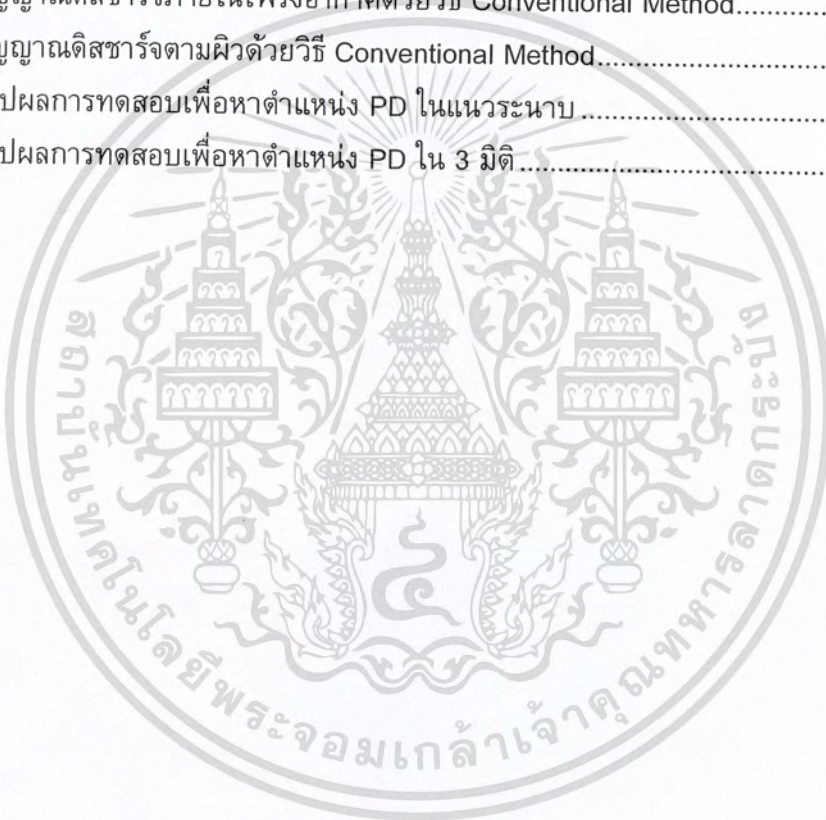
4.22	แสดงตำแหน่งที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	62
4.23	การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง.....	63
4.24	Corona Discharge HV.....	63
4.25	Corona Discharge LV .....	64
4.26	Internal Discharge.....	64
4.27	Surface Discharge .....	65
4.28	การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ.....	66
4.29	แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิสชาร์จบางส่วน.....	66
4.30	แสดงตำแหน่งที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	67
4.31	แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิสชาร์จบางส่วน.....	67
4.32	แสดงตำแหน่งที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน.....	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 1/2552 .....	2
1.2 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 2/2552 .....	3
3.1 แสดงรายละเอียดของหัวตรวจจับPiezoelectric ceramic ring .....	42
3.2 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติการใช้งานของหัวตรวจจับ Vallen Sensor .....	43
4.1 สรุปผลการทดสอบการตรวจจับ PD ด้วยวิธี Conventional method.....	48
4.2 สัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางต้านแรงสูงด้วยวิธี Conventional Method .....	48
4.3 สัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางต้านกราวด์ด้วยวิธี Conventional Method.....	49
4.4 สัญญาณดีสชาร์จภายในโพรงอากาศด้วยวิธี Conventional Method.....	49
4.5 สัญญาณดีสชาร์จตามผิวด้วยวิธี Conventional Method.....	49
4.6 สรุปผลการทดสอบเพื่อหาดำแหน่ง PD ในแนวระนาบ .....	62
4.7 สรุปผลการทดสอบเพื่อหาดำแหน่ง PD ใน 3 มิติ .....	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การฉนวนมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้า หากฉนวนที่ไม่ได้คุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดหรือเกิดความผิดปกติในฉนวน จะทำให้เกิดความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าได้ ซึ่งความผิดปกติของฉนวนนั้นอาจเกิดมาจากการออกแบบการฉนวนที่ไม่ได้มาตรฐาน หรืออาจเกิดจากความบกพร่องในกระบวนการผลิต ความบกพร่องของการฉนวนทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนขึ้นและจะพัฒนาไปสู่การเสียหายของฉนวนอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการตรวจสอบดิสชาร์จบางส่วนก่อนนำไปใช้งานจริงหรือการตรวจสอบเมื่อนำไปใช้งานแล้วเป็นระยะเวลาหนึ่ง จึงเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบถึงมาตรฐานการฉนวนของอุปกรณ์นั้น ๆ ว่าเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหรือไม่

การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนนั้น โดยทั่วไปจะทำการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนได้จากการทดสอบแบบดั้งเดิม (Conventional method, IEC 60270) ซึ่งจะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยความระมัดระวังและต้องอาศัยความเชี่ยวชาญของบุคคลที่ทำการทดสอบ เนื่องจากชุดทดสอบการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนทางไฟฟ้านั้นมีราคาแพง ด้วยขีดจำกัดของการทดสอบแบบดั้งเดิมทางผู้ทำการวิจัยจึงมองเห็นแนวทางการทดสอบแบบใหม่ที่ใช้ในการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งปัจจุบันกำลังมีการวิจัยพัฒนาขึ้นแต่ยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาออกแบบการทดสอบตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดสอบแบบดั้งเดิม เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาและสร้างมาตรฐานการทดสอบต่อไป

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วน เพื่อนำมาใช้ออกแบบการทดสอบการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง
3. เพื่อศึกษารูปแบบกระบวนการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง ซึ่งจำลองลักษณะการเกิดดิสชาร์จบางส่วนขึ้น
4. เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาตำแหน่งและประเภทของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษามาตรฐานและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยการสืบค้นจากฐานข้อมูลของ IEEE, IEC, ปรินซ์นิพนธ์ และวิทยานิพนธ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้โปรแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ
3. ออกแบบการทดสอบตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง
4. ทำการทดสอบตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง
5. ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยวิธีดั้งเดิม เพื่อสรุปเป็นข้อมูลอ้างอิงต่อไป









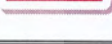
### 1.4 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 1/2552

การทำงาน	ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ค้นคว้ามาตรฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	[Progress bar]				
ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิมและการตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง	[Progress bar]				
ทำการทดสอบการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิม (Conventional Method)		[Progress bar]			
จำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์			[Progress bar]		
จัดทำข้อมูลนำเสนอภาคเรียนที่ 1				[Progress bar]	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 2/2552

การทำงาน	ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553			
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ออกแบบการทดสอบการตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง				
ทำการทดสอบและเก็บผลการทดสอบ				
วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์				
จัดทำข้อมูลนำเสนอภาคเรียนที่ 2				
จัดทำปฏิญญาพันธ				

 แผนงานวิจัย

 ปฏิบัติงานจริง

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดดิซาร์จบางส่วน
2. มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคทางเสียง
3. เป็นการสนับสนุนการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษา เพื่อพัฒนาวิศวกรรุ่นใหม่
4. สามารถสร้างบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ และความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงตรงกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม
5. จากการทดสอบและผลการทดสอบทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ในเรื่องที่ไม่มีสอนในห้องเรียนเกี่ยวกับการวัดดิซาร์จบางส่วนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์และตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นจำเป็นจะต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการทำโครงการและเพื่อการดำเนินโครงการให้มีความถูกต้องและตรงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

#### 2.1 ความหมายของดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วน คือ ดิสชาร์จเบรกดาวนที่ไม่สมบูรณ์ พลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าได้ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโตรดจึงเรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน(Partial Discharge) เพราะฉนวนของอิเล็กโตรดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ ยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์อยู่

Kreuger ได้ให้คำอธิบายไว้ว่า “ดิสชาร์จบางส่วนเป็นการคายประจุทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงกันระหว่างอิเล็กโตรด” ดิสชาร์จบางส่วนจัดอยู่ในกลุ่มใหญ่ของก๊าซดิสชาร์จ ซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า แล้ววิ่งชนโมเลกุลของก๊าซก่อเป็นอะวาลานซ์ของอิเล็กตรอน และทิ้งไอออนบวกนี้ไว้เบื้องหลังที่เคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโตรดอีกด้านหนึ่งอิเล็กตรอนและไอออนบวกนี้จะเป็นเส้นทางให้กระแสไหลผ่านก๊าซได้

ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงหรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่ไม่อาจทำให้เกิดเบรกดาวนโดยสมบูรณ์ได้ หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น ดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับดิสชาร์จจะเกิดขึ้นทุกๆ ไชเคิลของแรงดัน โดยปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปสู่ค่ายอด

พัลส์ดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้ง จะมีพลังงานถ่ายเทให้กับฉนวน ฉนวนในลักษณะชนกระแทกทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุดเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ฉนวนเสียเป็นจุดๆ และเกิดจุดบกพร่องขยายตัวมากขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวนอย่างสมบูรณ์ได้ในที่สุด และอายุการใช้งานของฉนวนก็จะสั้นลง ดังนั้น เพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนาน การออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีคุณภาพเพียงพอ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานปกติ จะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน จะต้องไม่มีดิสชาร์จบางส่วน แม้จะมีแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันกระเพื่อมเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เพื่อความมั่นใจในคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจำเป็นต้องมีการทดสอบตรวจวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ชนิดของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วนอาจแบ่งตามลักษณะที่เกิดขึ้นได้ 3 แบบ คือ

- 1) โคโรนาดิสชาร์จ (Corona discharge or external discharge) เกิดขึ้นบนแท่งตัวนำในสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอรอบปลายอิเล็กโทรดแหลมซึ่งต่ออยู่กับไฟฟ้าแรงดันสูงหรือกราวด์อยู่ในอากาศหรือก๊าซที่ความดันปกติ ดังรูปที่ 2.1 ก)
- 2) ดิสชาร์จตามผิว (Surface discharge) เกิดบริเวณผิวของฉนวนที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวเดียวกับผิวสูง อาจเกิดร่องรอยกัดกร่อนซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้า (tracking) ดังรูปที่ 2.1 ข)
- 3) ดิสชาร์จภายใน (Internal partial discharge) จะเกิดขึ้นในเนื้อฉนวนที่มีค่าความคงทนได้อิเล็กตริกต่ำ มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้เนื้อฉนวนส่วนนี้เกิดเบรกดาวน์ก่อน ดิสชาร์จภายในเกิดขึ้นเนื่องจากมีโพรงอากาศหรือสิ่งแปลกปลอมในเนื้อฉนวนที่เป็นของแข็งหรือของเหลว ดังรูปที่ 2.1 ค)



ก) โคโรนาดิสชาร์จ

ข) ดิสชาร์จตามผิว

ค) ดิสชาร์จภายใน

รูปที่ 2.1 ดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ

### 2.2.1 โคโรนาดิสชาร์จ

โคโรนาดิสชาร์จเป็นดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในอากาศหรือก๊าซที่ยืดแหลมหรือขอบคมของอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจเป็นจุดหรือบริเวณอื่นๆ ของระบบฉนวน โคโรนาดิสชาร์จจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าเกิดค่าสนามไฟฟ้าวิกฤตในอากาศ ผลเนื่องจากโคโรนา คือ

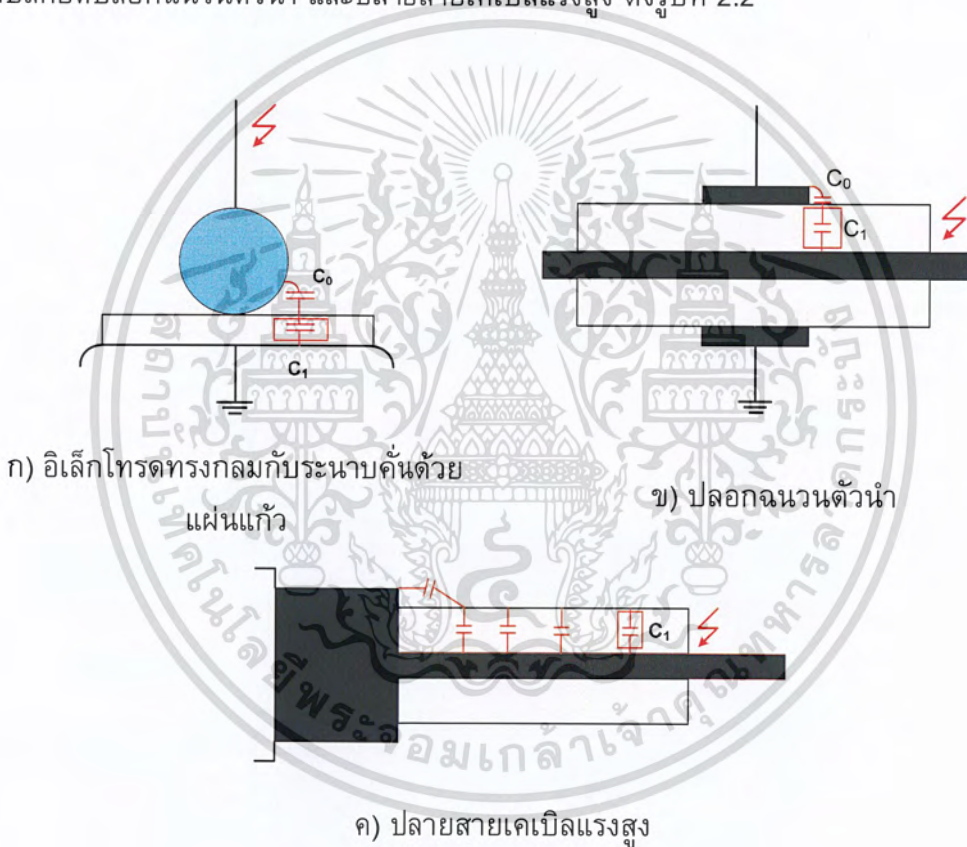
1) เมื่อเกิดโคโรนาในอากาศอาจสังเกตเห็นหรือรับรู้ได้ด้วยร่างกายคน คือ จะได้ยินเสียงฮีสซิ่ง (เสียงแมลงบิน) มีกลิ่นโอโซน ( $O_3$ ) ในยามมืดสนิทจะมีแสงเรืองออกมา โคโรนาดิสชาร์จเกิดขึ้นในรูปพัลส์สั้นๆ ซึ่งมีสเปกตรัมความถี่สูงในย่านของ MHz คลื่นความถี่สูงนี้จะรบกวนระบบสื่อสาร

2) การเกิดโคโรนาย่อมหมายถึง มีพลังงานสูญเสียเกิดขึ้นตลอดเวลาจึงเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา ในการออกแบบระบบสายส่งจึงหลีกเลี่ยงมิให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าค่าสนามวิกฤต

3) พลังงานสูญเสียเนื่องจากโคโรนาขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดของผิวตัวนำ ด้วยเหตุนี้ในระบบสายส่งแรงสูงจึงใช้สายควบ (Bundled conductors) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาวะบรรยากาศ ฝน หมอก น้ำค้าง จะทำให้เกิดโคโรนาได้ง่าย

### 2.2.2 ดิสชาร์จตามผิว

ดิสชาร์จตามผิวอาจเกิดขึ้นตามแนวรอยต่อของฉนวนต่างชนิดกัน เช่น ของแข็งกับก๊าซ หรือของแข็งกับของเหลว เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวรอยต่อของฉนวนสูงเกินค่าวิกฤต ตัวอย่างเช่น ปลอกฉนวนนำสาย ปลายสายเคเบิล หรือดิสชาร์จภายนอกกระทบเข้ากับผิวฉนวน ซึ่งความเครียดสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวนไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดเบรกดาวน์ทะเล่ได้ ตัวอย่างเช่น แผ่นฉนวนคั่นระหว่างอิเล็กโตรดกับแผ่นระนาบที่ปลีกยึดปลอกฉนวนตัวนำ และปลายสายเคเบิลแรงสูง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จตามผิว

ตามรูป ค่าเก็บประจุระหว่างอิเล็กโตรด  $C_0 \ll$  ค่าเก็บประจุของฉนวนแข็ง  $C_1$  ฉะนั้นแรงดันระหว่างอิเล็กโตรดจะตกคร่อม  $C_0$  เกือบทั้งหมด ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบนส่วน  $C_0$  มีค่าสูงเกินค่าวิกฤตได้ จึงเกิดเบรกดาวน์หรือดิสชาร์จในส่วนที่เป็นอากาศ แต่ในส่วนที่เป็นฉนวนแข็ง ซึ่งมีความคงทนต่อแรงดัน  $E_b$  สูง จึงไม่อาจเกิดเบรกดาวน์ทะเล่ได้ แต่จะดิสชาร์จไปตามผิวฉนวนแข็ง

### 2.2.3 ดิสชาร์จภายใน

การเกิดดิสชาร์จภายในจะเกิดในส่วนที่มีความสามารถที่ความต้านทานของฉนวนทางไฟฟ้าต่ำกว่าปกติแล้วจะเกิดที่ช่องกลวงที่มีก๊าซอยู่ แต่ก็สามารถเกิดที่ช่องกลวงที่มีน้ำมันอยู่ได้เหมือนกันและนำไปสู่การเกิดดิสชาร์จในก๊าซ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการเกิดดิสชาร์จภายในได้ดังนี้

1) โพรงอากาศ การเกิดดิสชาร์จภายในจะเกิดขึ้นบ่อยๆ ในโพรงอากาศ ซึ่งสามารถเกิดได้ในทั้งพลาสติก เรซิน หรือกระดาษเคลือบเรซิน แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดดิสชาร์จขึ้นอยู่กับความเครียดในโพรง และความแข็งแรงทางไฟฟ้าของโพรง ความเครียดในโพรงสามารถคำนวณได้ในบางกรณี ถ้าโพรงตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ความเครียดในโพรงก็จะเท่ากับ  $E$  แทนค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฉนวน

2) การปนเปื้อน (Contamination) การปนเปื้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในพลาสติกหรือเรซินขึ้นรูป การปนเปื้อนประกอบไปด้วย ฝุ่น กระดาษ ใยผ้า หรือ วัสดุแปลกปลอมอื่นๆ การปนเปื้อนทำให้ความคงทนต่อการเกิดเบรกดาวน์ของฉนวนลดลงจากเดิม และหลังจากการเบรกดาวน์จากการปนเปื้อน จะเกิดก๊าซภายในฉนวนแล้วทำให้การดิสชาร์จในก๊าซเกิดขึ้นทำให้เกิดการเบรกดาวน์ได้ง่ายขึ้น

3) โพรงที่มีน้ำมัน (Oil-filled cavities) โพรงที่มีน้ำมันจะถูกพบบริเวณระหว่างชั้นและกันของช่องว่างของ oil-impregnated paper insulation เช่นขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้า หรือสายเคเบิล ความเครียดในโพรงที่มีน้ำมันสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับที่ทำได้ในโพรงอากาศ กรณีที่เกิดขึ้นมากที่สุดก็คือโพรงที่มีฉนวนบดตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า

### 2.3 ผลกระทบของดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้งจะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวน ในลักษณะชนกระแทกเป็นเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุด เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ฉนวนเสียเป็นจุดๆ และเกิดผิวดร้งขยายตัวมากขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหาย อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลง

การเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบชิงอากาศ เรียกว่า โครนา ย่อมหมายถึงการเกิดพลังงานสูญเสียตลอดเวลา และยิ่งกว่านั้นการเกิดโครนาพัลส์ดิสชาร์จดังกล่าว ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ เรียกว่า คลื่นรบกวนวิทยุ

ฉะนั้นเพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ การออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีคุณภาพดีพอ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานปกติจะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน จะต้องไม่มีดิสชาร์จบางส่วน แม้จะมีแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันกระเพื่อม

เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การฉนวนอุปกรณ์แรงสูง มีความยุ่งยากซับซ้อน PD อาจเกิดขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหามิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมิได้ตั้งใจ หรืออาจมีความบกพร่องในกระบวนการผลิต ฉะนั้น เพื่อความมั่นใจในคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีการทดสอบตรวจวัดค่า PD วัดค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio Interference Voltage = RIV) ตามที่มาตรฐานกำหนด

## 2.4 สื่อสัญญาณที่ใช้ตรวจจับ PD

การตรวจจับและวัดค่า PD จะอาศัยผลที่เกิดจากดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งจะมีผลสืบเนื่องในรูปแบบต่างๆ คือ

1. ปฏิกริยาทางไฟฟ้า (Electric phenomena)
  - เกิดกำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric losses)
  - เกิดกระแสพัลส์ไฟฟ้าขึ้นขณะที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน (Electric pulses)
2. เกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation)
3. เกิดแสงเรือง (Light) เนื่องจากเกิดไอออนในเซชันเป็นโคโรนา
4. เกิดความร้อน (Heat)
5. เกิดเสียงฮิสซิ่ง (Hissing)
6. เกิดความดันก๊าซเพิ่มสูงขึ้น (Gas pressure)
7. เกิดปฏิกริยาทางเคมี (Chemical transformations)
8. เกิดโคโรนาในอากาศ จะมีกลิ่นโอโซน ( $O_3$ )

การตรวจจับ PD ส่วนมากจะอาศัยผลทางไฟฟ้า ซึ่งให้ผลที่มีความถูกต้องดีกว่าวิธีอื่นๆ คือ ดิสชาร์จทำให้เกิดกระแสพัลส์ไหลผ่านวงจรต่ออันดับกับฉนวนทดสอบ จึงสามารถวัดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ที่ต่ออยู่ในวงจรได้ การใช้สื่อสัญญาณอื่นจะมีความไวน้อยกว่า บางอย่างก็ต้องเกิด PD มากๆ จึงจะตรวจจับได้ การตรวจจับสื่อสัญญาณพัลส์ไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวงจรสมมูลที่มี PD

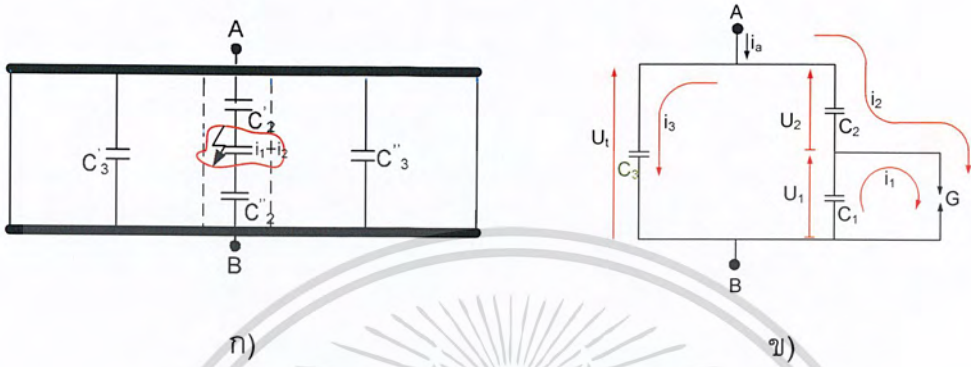
## 2.5 การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

การเกิดดิสชาร์จบางส่วนมีความสัมพันธ์กับอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เมื่อเกิดดิสชาร์จขึ้น พลังงานการกระทบจากอิเล็กตรอนหรือ ไอออนพลังงานสูงจะทำให้ฉนวนเกิดความร้อนและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นเหตุให้ฉนวนเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง นำไปสู่การเบรกดาวน์ได้ในที่สุด ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง นอกจากนั้นแล้วดิสชาร์จบางส่วนยังก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio interference) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสาร มาตรฐานจึงกำหนดให้มีการทดสอบตรวจวัดค่า PD

### 2.5.1 วงจรสมมูลของการดิสชาร์จภายใน

โดยปกติแล้ววงจรสมมูลของดิสชาร์จภายในนั้น จะหมายถึง วงจรสมมูลที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้ากล่าวถึงดิสชาร์จบางส่วนอย่างลอยๆ ก็ให้หมายถึงดิสชาร์จไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน วงจรสมมูลย์สำหรับฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วนอาจแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C_1, C_2, C_3$  และ สปาร์กแกป  $G$  ดังรูปที่ 2.3 โดยฉนวนส่วนที่บกพร่องซึ่งปกติแล้วจะเป็นโพรงอากาศขนาดเล็กๆ จะแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C_1$  และสปาร์กแกป  $G$  ฉนวนที่อยู่ในแนวเดียวกับส่วนที่บกพร่องจะแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C_2$  และฉนวนส่วนที่มีสภาพดีจะแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C_3$



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบทั่วไป

จากรูปที่ 2.3 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสายของอุปกรณ์ (ขั้ว A-B) ในรูปที่ 2.3 ก) จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมส่วนต่างๆ ของฉนวนแสดงดังรูปที่ 2.3 ข) ถ้าเกิดเบรกดาวนหรือดิสชาร์จเฉพาะบริเวณโพรงอากาศนี้ จึงเรียกว่าเกิด “ดิสชาร์จบางส่วน” หรือ “PD” ภายในอุปกรณ์นั้น จากรูปที่ 2.3 ข) จะได้

$$C_3 = C'_3 + C''_3 \tag{2.1}$$

$$C_2 = \frac{C'_2 C''_2}{C'_2 + C''_2} \tag{2.2}$$

$$C_3 \square C_1 \square C_2 \tag{2.3}$$

จากเหตุผลในสมการ (2.3) โดยที่  $C_a$  คือความจุไฟฟ้ารวมของวัสดุทดสอบ จะได้ว่า

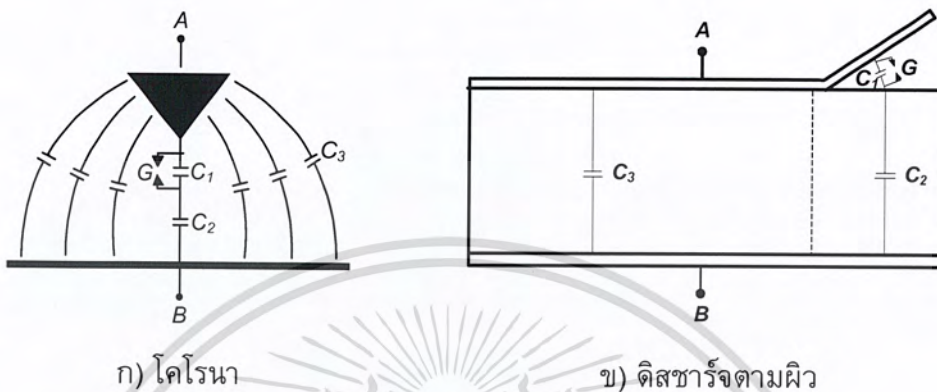
$$C_a = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3 \approx C_3 \tag{2.4}$$

จากรูปที่ 2.3 ข) แรงดันที่ขั้วสาย  $\Delta U$ , เนื่องจากการเกิด PD สามารถคำนวณได้โดยเปรียบเทียบประจุสะสมก่อนและหลังการเกิด PD

$$C_3 U_t + C_2 (U_t - \Delta U_t) = C_3 U'_t + C_2 U'_t \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 จะได้  $\Delta U_t = (U_t - U'_t) = \frac{C_2 \Delta U_t}{(C_2 + C_3)}$  (2.6)  
 ไม่ว่าจะผิดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้อง (C2 + C3) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

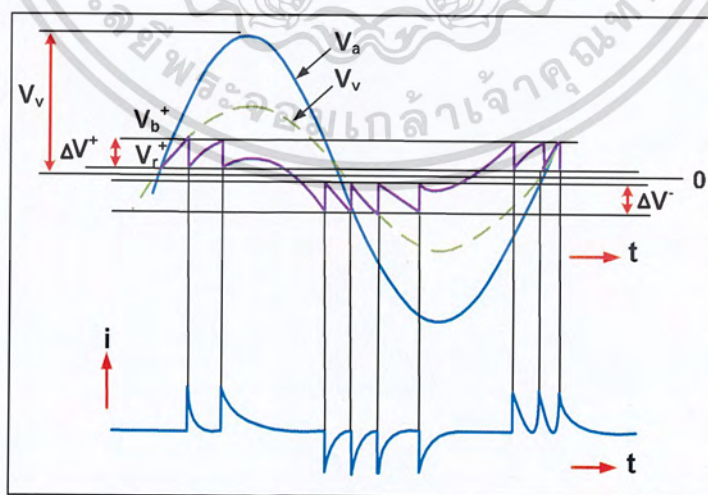
วงจรสมมูลในรูปที่ 2.3 ข) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ PD ที่เกิดในบริเวณปลายแหลมหรือขอบคมของอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่ง PD ลักษณะนี้เรียกว่า “โคโรนา” และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดิสชาร์จตามผิวได้เช่นเดียวกัน โดยสามารถแทนอากาศรอบๆ หรือฉนวนส่วนต่างๆ ด้วยค่าความจุไฟฟ้าดังรูปที่ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ค่าความจุไฟฟ้าของวงจรที่เกิด PD

2.5.2 ธรรมชาติพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วน

1) การเกิดดิสชาร์จซ้ำ ในทางปฏิบัติดิสชาร์จบางส่วน อาจเกิดซ้ำๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลาดังรูปที่ 2.5 โดยที่  $V_a$  คือ แรงดันตกคร่อมขั้วสายของอุปกรณ์,  $V_b$  คือ แรงดันเบรกดาวของโพรงอากาศหรือแก๊ส,  $V_r$  คือ แรงดันหลังเบรกดาวของโพรงอากาศหรือแก๊ส,  $V_v$  คือ แรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊สถ้าไม่มีการเกิดดิสชาร์จบางส่วนเลย และ  $i$  คือ กระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 แรงดันตกคร่อมโพรงก๊าซและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้งการเกิดดิสชาร์จบางส่วน สามารถคำนวณได้จากรูปที่ 2.5 โดยสมมติว่าดิสชาร์จบางส่วนเกิดแบบสมมาตรกับแกนเวลา ดังนั้น จำนวนดิสชาร์จบางส่วนต่อครั้งคาบเวลา  $N$  คำนวณได้ดังนี้

$$N = \frac{\left[ \left( \hat{V}_v - V_r \right) - Y \right]}{V_b - V_r} \quad (2.7)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนครั้งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนต่อครั้งคาบเวลา

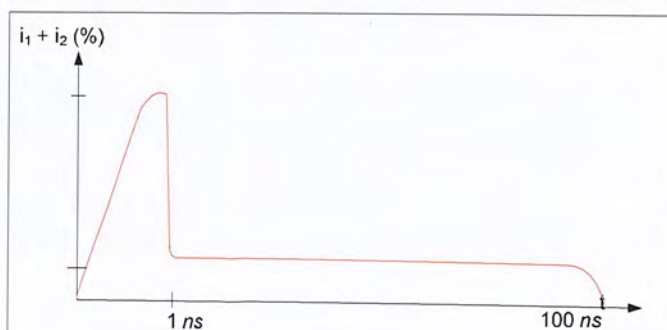
$V_b$  คือ แรงดันเบรกดาว์นของโพรงอากาศหรือแก๊ป

$V_r$  คือ แรงดันหลังการเบรกดาว์นของโพรงอากาศหรือแก๊ป

$\hat{V}_v$  คือ ค่ายอดของแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ปถ้าไม่มีการเกิดของดิสชาร์จบางส่วนเลย ซึ่งเท่ากับ  $\left[ C_b / (C_b + C_c) \right]$  เท่ากับค่ายอดของแรงดันคร่อมวัสดุทดสอบ

$Y$  คือ แรงดันใดๆ ซึ่งมีค่า  $0 < Y < (V_b - V_r)$

2) ลักษณะรูปร่างของกระแสดิสชาร์จบางส่วนในแก๊ปหรือโพรงอากาศเล็กๆ ในทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 2.6 ขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน กระแสที่ไหลผ่านแก๊ปจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวกผ่านแก๊ปสั้นๆ เมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านแก๊ปหมดกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็ว กระแสที่ลดลงจะยังคงไหลต่อไปอีกเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวก แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ จะพบว่าความกว้างของกระแสพัลส์ที่เกิดจากดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนจะอยู่ในช่วงเวลา 1.5 นาโนวินาทีถึงช่วงเป็นหลัก 100 นาโนวินาที ดังนั้นกระแสพัลส์ดังกล่าวจึงมีสเปกตรัมของความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง 10 เมกะเฮิร์ตขึ้นไป และอาจจะมีค่าความถี่ถึง 200 เมกะเฮิร์ต ซึ่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจากลักษณะการเกิดทรีอิง (Treeing) ในเนื้อฉนวนจะมีช่วงเวลาของกระแสพัลส์กว้างที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับแก๊ปเล็กๆ ที่มีการนำไปใช้

## 3) พลังงานดิสชาร์จบางส่วน

พลังงานดิสชาร์จภายในของวัสดุทดสอบ สามารถคำนวณจากสมการ

$$W = 0.7qV_1 \quad (2.8)$$

เมื่อ  $W$  คือ พลังงานดิสชาร์จ

$q$  คือ ประจุที่ปรากฏของดิสชาร์จบางส่วน

$V_1$  คือ แรงดันเริ่มต้นการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (ค่า rms)

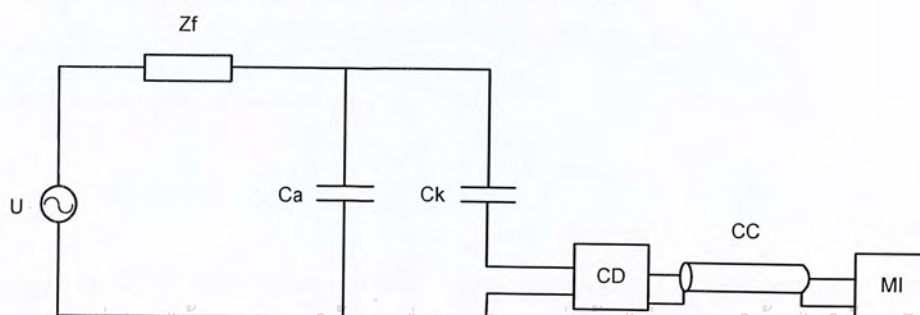
พลังงานดิสชาร์จบางส่วนนี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบฉนวนได้ เช่น  $V_1 = 10$  กิโลโวลต์ และ  $q = 10$  พิโคคูลอมป์ ดังนั้น  $W = 7 \times 10^{-8}$  จูล ซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพลังงานนี้ปล่อยออกมาขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วนในช่วงเวลาน้อยกว่า  $10^{-8}$  วินาที และเกิดในที่แคบๆ ทำให้ความหนาแน่นพลังงานบริเวณนั้นสูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

## 2.6 หลักการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนสามารถทำได้หลายวิธี โดยการสังเกตหรือวัดผลที่เป็นปรากฏการณ์ต่างๆ ของดิสชาร์จบางส่วน อย่างไรก็ตามการวัดผลของดิสชาร์จบางส่วนในเชิงปริมาณที่ได้ผลที่สุด คือ การวัดผลทางไฟฟ้าโดยวิธีตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์

### 2.6.1 วงจรพื้นฐานและการวิเคราะห์วงจรตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล IEC 60270 จะประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงหรือแรงดันทดสอบ :  $U$ , ตัวกรองสัญญาณ (Filter) จากแหล่งจ่ายหรืออิมพีแดนซ์ :  $Z_f$ , วัสดุทดสอบ (Test object) :  $C_a$ , ตัวเก็บประจุคัปปลิง (Connecting capacitor) :  $C_k$ , อุปกรณ์รับสัญญาณ (Coupling device) :  $CD$ , สายเคเบิลนำสัญญาณ (Connecting cable) :  $CC$ , และ เครื่องมือวัด (Measuring instrument) :  $MI$  ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุพิเศษขออนุญาตและต้องขออนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

หน้าที่การทำงานและคุณสมบัติสำคัญของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้

1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง  $U$  ใช้ในการจ่ายแรงดันให้วงจรทดสอบและมีฟังก์ชันกำลังไฟฟ้าเพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้ เช่น หม้อแปลงทดสอบซึ่งควรเป็นหม้อแปลงทดสอบที่ปลอดภัย PD ที่แรงดันทดสอบ เป็นต้น

2) ตัวกรองสัญญาณหรืออิมพีแดนซ์  $Z_f$  ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย เช่น ฮาร์มอนิก และ PD ที่เกิดภายในหม้อแปลงทดสอบเองที่ใช้เป็นแหล่งจ่าย เป็นต้น และหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ป้องกัน PD จากวงจรทดสอบที่ไหลย้อนลงกราวด์ผ่านทางแหล่งจ่าย ตัวกรองดังกล่าวต้องทนแรงดันทดสอบได้และปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบ ตัวอย่างตัวกรอง เช่น ตัวเหนี่ยวนำ (High voltage inductor) หรือตัวกรองชนิดผ่านแถบความถี่ต่ำ (High voltage low-pass filter) เป็นต้น ดังนั้น ในกรณีที่ใช้หม้อแปลงทดสอบปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงจะไม่จำเป็นต้องกรองอีก เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทดสอบมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำอยู่แล้ว

3) ตัวเก็บประจุคัปปลิง  $C_k$  ใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อหรือคัปปลิงสัญญาณความถี่สูงให้ครบวงจรระหว่าง  $C_a$ ,  $C_k$  และ  $CD$  ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำสำหรับ PD ดังนั้น ตัวเก็บประจุคัปปลิงต้องเป็นชนิดที่มีค่าเหนี่ยวนำภายในต่ำ ปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบ

4) อุปกรณ์รับสัญญาณ  $CD$  และเครื่องมือวัด  $MI$  อุปกรณ์ทั้งสองส่วนนี้จะทำงานร่วมกัน คือ ทำหน้าที่อินทิเกรต (Integrate) กระแสพัลส์  $i_i$  ที่ไหลในวงจรทดสอบ เนื่องจากการเกิด PD โดยมีสายนำสัญญาณ  $CC$  เป็นสายที่เชื่อมต่อระหว่าง  $CD$  กับ  $MI$  อุปกรณ์รับสัญญาณจะทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เป็นตัวกรองกระแสความถี่ต่ำ (50 ถึง 400 เฮิรตซ์) และฮาร์มอนิกต่างๆ จากแหล่งจ่ายแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบไม่ให้เข้าไปที่เครื่องมือวัดได้ ส่วนเครื่องมือวัด  $MI$  จะทำหน้าที่อีก 3 ประการ คือ เป็นวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) เป็นวงจรกรองสัญญาณชนิดผ่านแถบ เพื่อลดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบกับสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่มาจากคลื่นวิทยุ และเป็นอุปกรณ์แสดงผล PD หลักการทำงานของวงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD เริ่มจากค่อยๆ ป้อนแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่าย  $U$  ผ่านตัวกรอง  $Z_f$  ให้กับวงจรทดสอบจนกระทั่งเกิด PD ที่วัสดุทดสอบ  $C_a$  (ถ้าฉนวนของวัสดุทดสอบนั้นมีความบกพร่อง) ทำให้เกิดแรงดันตกที่ขั้วของ  $C_a$  ตามสมการ (2.6)  $C_k$ ,  $C_a$ ,  $CD$  และ  $MI$  วัดประจุไฟฟ้าที่ถ่ายเทระหว่าง  $C_a$  กับ  $C_k$  โดยการอินทิเกรตกระแสพัลส์  $i_i$  เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป

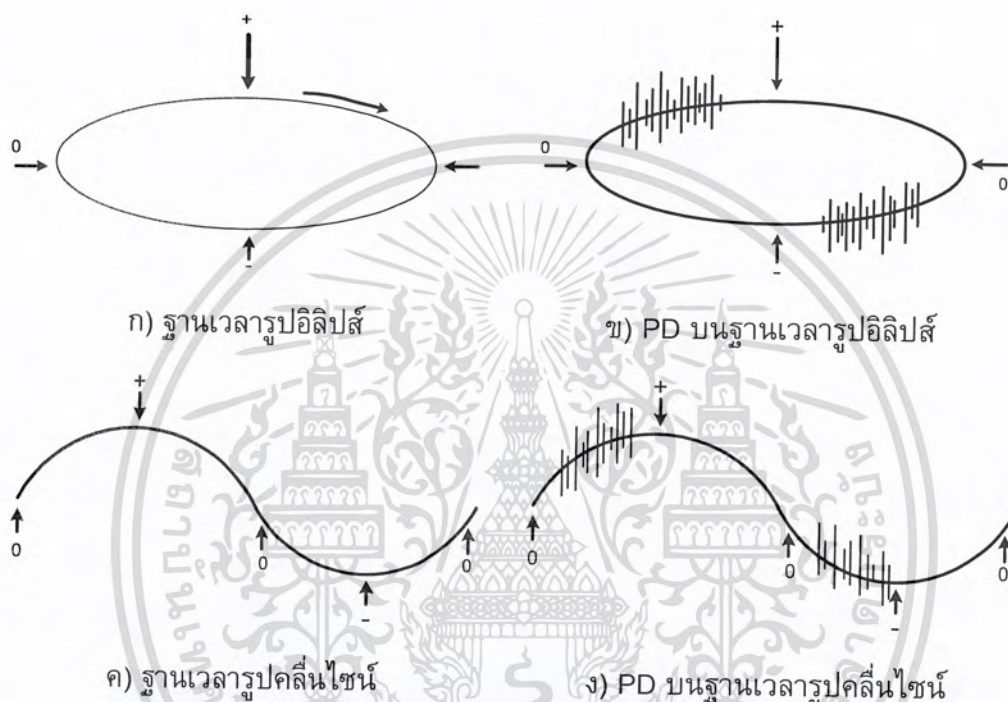
## 2.6.2 แสดงผลดิสชาร์จบางส่วน

การแสดงผลวัดผลของดิสชาร์จบางส่วนสามารถทำได้ทั้งทางมิเตอร์ ทางจอภาพของออสซิลโลสโคป และทางเครื่องบันทึก ค่าของดิสชาร์จบางส่วนที่มาตรฐานกำหนดโดยปกติจะแสดงในเทอมของ “ประจุปรากฏ” ของ PD หรือ “ขนาดของดิสชาร์จ”

(Discharge magnitude) “ $q$ ” มีหน่วยเป็นพิโคคูลอมป์ ( $pC$ ) สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD คือ  $V_2$  จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ  $q$  ดังนั้นค่ายอดของ  $V_2$  คือ  $V_{2(peak)}$  จะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ  $q$  ด้วย จากเหตุผลดังกล่าวการอ่านค่า  $q$  จึงนิยมอ่านจากค่ายอดของ  $V_2$  ซึ่งอ่านได้จากจอภาพของออสซิลโลสโคป หรือมิเตอร์อ่านค่ายอดก็ได้

การแสดงผลของดิซชาร์จบางส่วนนิยมแสดงบนฐานเวลารูปอิลิปส์ ซึ่งมีเครื่องหมายแสดงตำแหน่งยอดบวก ยอดลบ และตำแหน่งศูนย์ของแรงดันทดสอบ ดังรูปที่ 2.8 ก) และ 2.8 ข) หรือการแสดงให้เห็นรูปคลื่นพัลส์ดิซชาร์จบางส่วน ปรากฏบนฐานเวลารูปคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 2.8 ค) และ 2.8 ง)



รูปที่ 2.8 การแสดงผลดิซชาร์จบางส่วน

## 2.7 หลักการตรวจจับดิซชาร์จบางส่วน

### 2.7.1 การวัดดิซชาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป

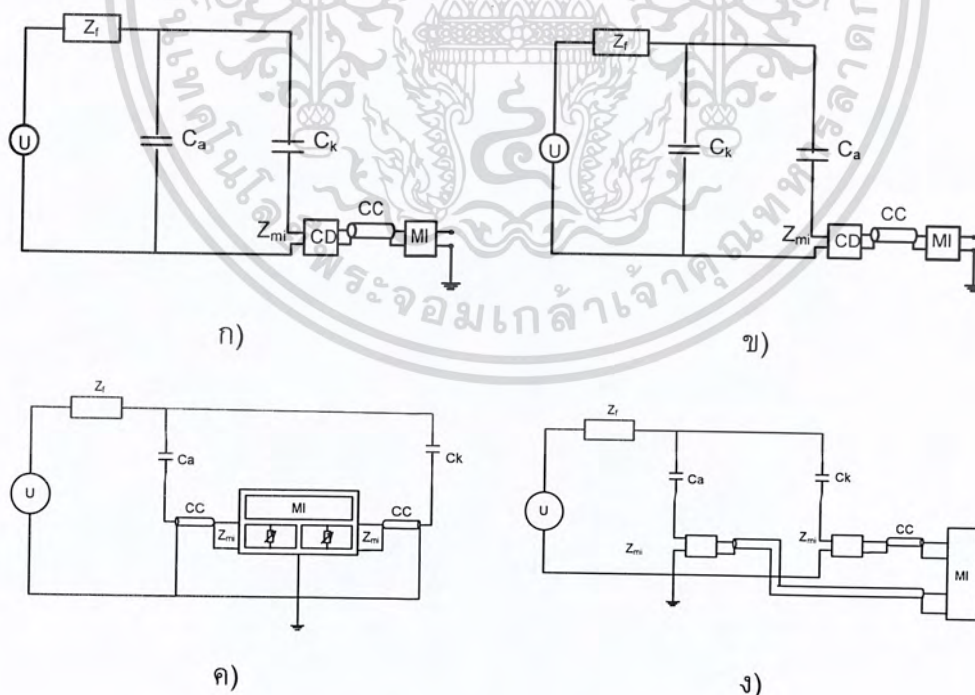
โดยปกติวัสดุทดสอบทั่วไปอาจแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุชนิดองค์ประกอบแบบลัมปีหรือตัวเก็บประจุธรรมดา วงจรทดสอบ PD ตามมาตรฐานต่างๆ จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ในที่นี้ใช้วงจรทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60270 โดยรูปที่ 2.9 ก) และรูปที่ 2.9 ข) เป็นวงจรทดสอบแบบวิธีตรง ข้อดีของวงจรรูปที่ 2.9 ก) และวงจรรูปที่ 2.9 ข) คือ ขั้วแรงดันต่ำของวัสดุทดสอบต่อลงกราวด์โดยตรง ในกรณีที่วัสดุทดสอบเกิดการเบรกดาวน อุปกรณ์รับสัญญาณจะไม่ได้รับความเสียหายและเหมาะสำหรับทดสอบวัสดุที่มีขั้วแรงดันต่ำหรือซีลด์หรือ Screen ขนาดใหญ่ เช่น เคเบิล เป็นต้น เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ซีลด์ของ

เคเบิลจะต่อลงกราวด์โดยตรง ในรูปที่ 2.9 ค) เป็นวงจรทดสอบแบบสมตลวงจรแบบนี้จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ขอได้เปรียบในเรื่องการลดสัญญาฉบับที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายหรือสัญญาฉบับ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

คอมมอนโหมด (Common mode) ในรูปที่ 2.9 ง) เป็นวงจรทดสอบแบบแยกขั้วสัญญาณได้ (Polarity discrimination) มีข้อดีเช่นเดียวกับวงจรทดสอบแบบสมดุล แต่มีความสามารถเพิ่มเติมในการแยกขั้วสัญญาณรบกวนภายนอกออกจาก PD ภายในวงจรทดสอบได้ แต่ข้อเสียของวงจรในรูปที่ 2.9 ข), 2.9 ค) และ 2.9 ง) คืออาจทำให้เครื่องวัดได้รับความเสียหายในกรณีที่วัสดุทดสอบเกิดการเบรกดาวน และไม่เหมาะในการทดสอบวัสดุทดสอบที่มีซิลต์ขนาดใหญ่ เนื่องจากซิลต์ไม่ได้ต่อลงกราวด์โดยตรง ดังนั้น ถ้ามีสัญญาณรบกวนที่มีซิลต์จะทำให้ความไวในการวัด PD ลดลง

การเปรียบเทียบวงจรทดสอบโดยปกติจะทำก่อนการป้อนแรงดันทดสอบเข้าวงจรทดสอบ โดยใช้เครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานในการป้อนกระแสพัลส์สั้น ๆ ที่มีประจุ (Pulse area)  $q_{cal}$  ซึ่งทราบค่าที่แน่นอนที่ขั้วทั้งสองของวัสดุทดสอบ ถ้าเครื่องตรวจจับ PD อ่านค่า PD ได้  $a_1$  ดังนั้น Scale factor  $K_1 = q_{cal}/a_1$  หลังจากทำการปรับเทียบเสร็จแล้ว ต้องเอาเครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานออกก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ (ในกรณีที่  $C_0$  เป็นตัวเก็บประจุแรงดันต่ำ) ขณะทำการทดสอบที่แรงดันมาตรฐานกำหนด ถ้าในขณะนั้นเครื่องตรวจจับ PD อ่านค่าได้  $a_2$  ดังนั้น ประจุที่ปรากฏของ PD คือ  $K_1 a_2$  และความไวของวงจรทดสอบ  $q_{min} = 2K_1 h_n$  เมื่อ  $h_n$  คือ ค่าสูงสุดของระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (Background Noise) ที่อ่านจากเครื่องตรวจจับ PD หลังการปรับเทียบก่อนการจ่ายแรงดันให้วงจรทดสอบ



รูปที่ 2.9 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270

1. เวลาแยกชุดของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน กำหนดไว้ว่าจะต้องไม่เกิน 100 sec ในกรณีที่ไม่เกิดการผิดพลาดเนื่องจากการซ้อนทับของพัลส์ดิสชาร์จบางส่วน
2. เครื่องเปรียบเทียบดิสชาร์จมาตรฐานใช้สำหรับจ่ายกระแสพัลส์ มาตรฐานกำหนดให้ใช้แรงดันที่มีช่วงเวลาขึ้นไม่เกิน 0.1 sec และลดลงด้วยค่าคงตัวอยู่ในช่วง 100 sec
3. ความไวของเครื่องตรวจจับจะต้องมีความสามารถจับพัลส์ต่ำสุดเป็น 2 เท่าของสัญญาณรบกวน
4. เครื่องกำเนิดพัลส์คู่ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติ Superposition ของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนนั้น ต้องสามารถสร้างพัลส์ขนาดเท่ากัน 2 พัลส์ ซึ่งมีช่วงเวลาขาขึ้นไม่เกิน 20 sec และมีความกว้างพัลส์จากค่า 10% ของหน้าคลื่นถึงหางคลื่น ต้องไม่เกิน 150 nsec. โดยทั้ง 25 พัลส์นี้สามารถปรับระยะห่างได้อย่างน้อย 0.2 – 100 sec สำหรับเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ปกติประมาณ 50 – 60 และตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับค่าต้องไม่เกิน 150 pF สำหรับการทดสอบในเคเบิล
5. เครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนที่ใช้ในการทดสอบเคเบิลยอมให้เกิด Superposition ทางลบได้ไม่เกิน 10% ในกรณีที่เกิน 100% จะต้องนำผลอันนี้มาพิจารณาในการวัดด้วย

### 2.7.3 ระบบการวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับวัดประจุที่ปรากฏ

1. ระบบวัดประจุปรากฏ ( $q$ ) นี้จะวัดเฉพาะค่ายอดพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วนที่มีค่าสูงสุดและเกิดซ้ำๆ ทุกคาบเวลาความถี่ที่ใช้ของแรงดันทดสอบ การอ่านค่าของอุปกรณ์วัดจะใช้หลักการเดียวกันกับวงจรตรวจจับค่ายอดแบบอนาล็อกที่มี Electric Charge Time Constant สั้นมากและมี Electric Charge Time Constant  $< 0.44$  วินาที การตอบสนองของระบบวัดที่มีต่อพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วนที่มีระยะห่างระหว่างพัลส์เท่ากันที่ถูกรบกวนด้วย Pulse Repetition Frequency,  $N$  จะทำให้ค่าที่ระบบวัดอ่านได้

2. ระบบวัดดิสชาร์จบางส่วน แถบกว้างจะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆ ของ Transfer Impedance,  $Z(f)$  ดังนี้

$$30\text{kHz} \leq f_1 \leq 100\text{kHz}$$

$$f_2 \leq 500\text{kHz}$$

$$100\text{kHz} \leq \Delta f \leq 400\text{kHz}$$

3. ระบบวัดดิสชาร์จบางส่วน แถบแคบจะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆ ของ Transfer Impedance,  $Z(f)$  ดังนี้

$$9\text{kHz} \leq \Delta f \leq 30\text{kHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $f_m$  สามารถปรับค่าได้ และกำหนดให้ขนาดของ  $Z(f)$  ที่ความถี่  $f_m + f$  มีค่าลดลงต่ำกว่าค่ายอดสูงสุดที่อยู่ในช่วง Pass-band 20 dB

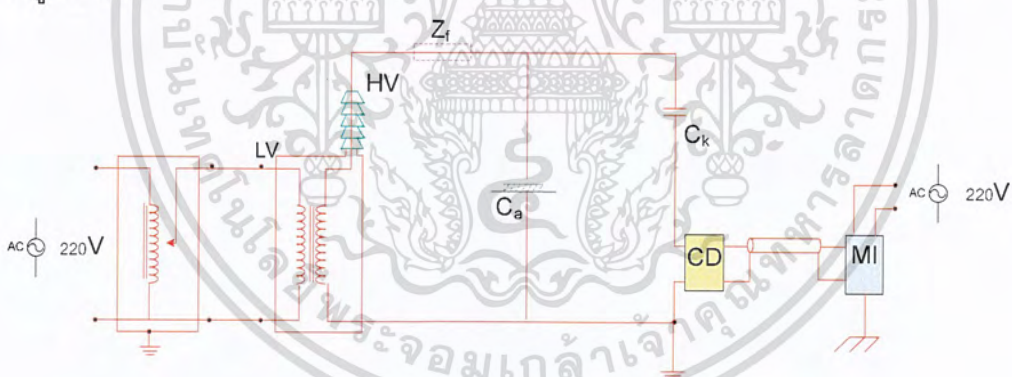
4. ความเป็นเชิงเส้นของระบบวัดยอมให้ Scale Factor,  $k$  ผิดพลาดได้อย่างน้อย 5%

## 2.8 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน

เนื่องจากสัญญาณ PD มีขนาดเล็ก ดังนั้นในการทดสอบ PD สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นย่อมมีผลต่อค่าที่วัดได้ แต่เราสามารถลดสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยลงเพื่อให้วงจรทดสอบมีความไวสูงขึ้นได้ โดยมีรายละเอียดลดสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยลงเพื่อให้วงจรทดสอบมีความไวสูงขึ้น โดยมีรายละเอียดของสัญญาณรบกวนที่มีผลรบกวน และวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

### 2.8.1 สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบในการวัดดิซาร์จบางส่วน

สัญญาณรบกวนประกอบด้วย สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางอากาศ และทางแหล่งจ่ายนอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากการดิซาร์จของอุปกรณ์ที่เป็นโลหะและวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบหรือกราวด์ไม่ดี การเกิดกราวด์ลูป (ground loop) และเกิดสัญญาณออสซิลเลตเนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ไม่ดีหรือหลวม เป็นต้น รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ

โดยที่ HF คือ สัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายได้แก่ ฮาร์โมนิกสูงๆจากเมนโดยตรง จากอุปกรณ์พวกโคริสเตอร์ และ PD จากหม้อแปลงทดสอบ เป็นต้น

RF คือ คลื่นรบกวนวิทยุซึ่งอาจจะเป็นคลื่นวิทยุโดยตรง คลื่นรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่อยู่ใกล้เคียง

EMP คือ สัญญาณรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากการทำงานของสวิตช์หรือโคริสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

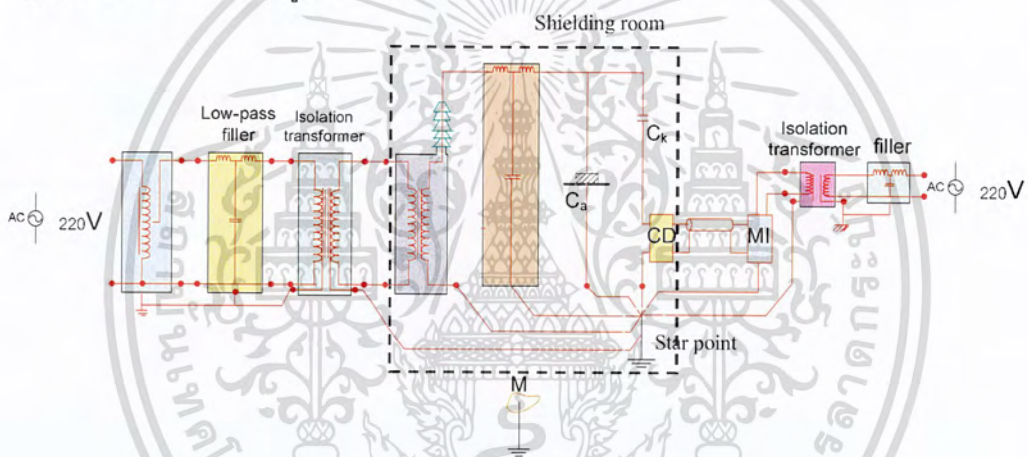
Interference on screen คือ สัญญาณรบกวนที่ซิลด์ หรือ กรีน หรือที่ชั่ว แรงดันต่ำของวัสดุทดสอบที่มีซิลด์ขนาดใหญ่ เช่น เคเบิล เป็นต้น

Ground loop คือ การเกิดครบวงรอบของสายดิน

M คือ โลหะที่ไม่ได้ต่อลงดินและวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบ

## 2.8.2 การลดสัญญาณรบกวน

การลดสัญญาณความถี่สูง เช่น พวกรังสีเอกซ์สูงๆ จะให้ตัวกรองแรงดันต่ำ และอาจจะเพิ่มหม้อแปลงขดลวดแยก (Isolation Transformer) ช่วย โดยต่อทางด้าน ขดลวดแรงดันต่ำ ของหม้อแปลงทดสอบ ในกรณีที่เกิด PD ในหม้อแปลงทดสอบจะต้องใช้ ตัวกรองแรงดันสูงต่อทางด้านขดลวดแรงดันสูงของหม้อแปลงทดสอบ การลดสัญญาณรบกวน RF และ EMP ซึ่งเข้ามาทางอากาศ ทำได้โดยการทดสอบในห้องซิลด์ การแก้ปัญหาเรื่องกราวด์ลูปทำได้โดยการต่อกราวด์ร่วมกันเพียงจุดเดียว ตัวอย่างการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวน แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน

## 2.9 การวิเคราะห์หัตถ์สหาร์จบบางส่วน

เมื่อตรวจพบ PD ในการฉนวนของอุปกรณ์ ในการวิเคราะห์ PD มีคำถามที่สำคัญ 2 ประการ คือ

- 1) สามารถวิเคราะห์และบอกลักษณะสำคัญของข้อมูล จากรูปคลื่นการกระจายอย่างไร
- 2) สามารถแยกความแตกต่างของความบกพร่องที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่มีอย่างไร

### 2.9.1 การวิเคราะห์ PD แบบนิยม

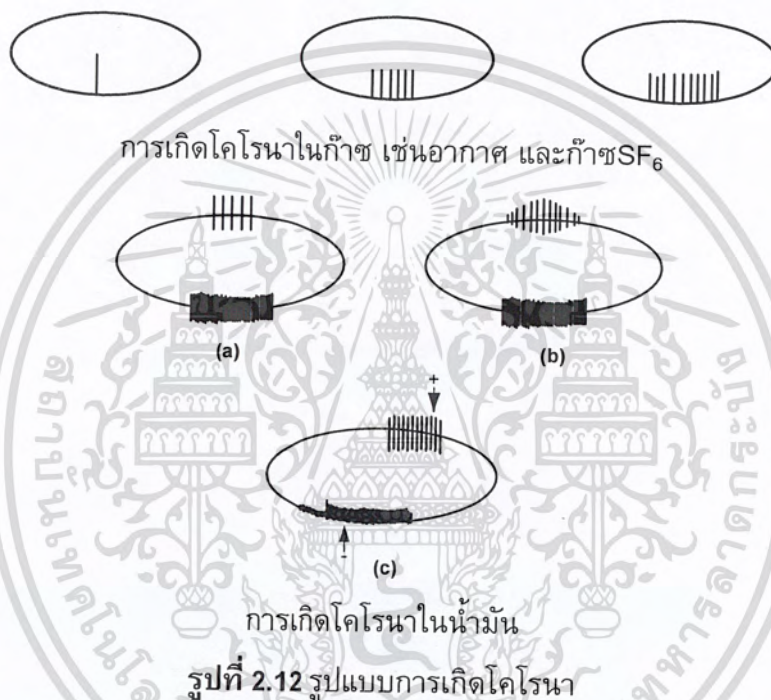
โดยทั่วไปการวิเคราะห์จากสัญญาณรูปวงรีที่ได้จากการตรวจจับ PD โดยดู ลักษณะของพัลส์ PD ที่ปรากฏบนรูปวงรีซึ่งในแต่ละรูปแบบของการเกิด PD จะมีตำแหน่งของ พัลส์ที่เกิดขึ้นในเฟสแรงดันแตกต่างกัน รูปแบบของการเกิด PD แต่ละรูปแบบที่มีความ

ไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันจะเป็นตัวบอกถึงชนิดและแหล่งกำเนิดของการเกิด PD ทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์และวินิจฉัยหาสาเหตุของการเกิดได้ดังนี้

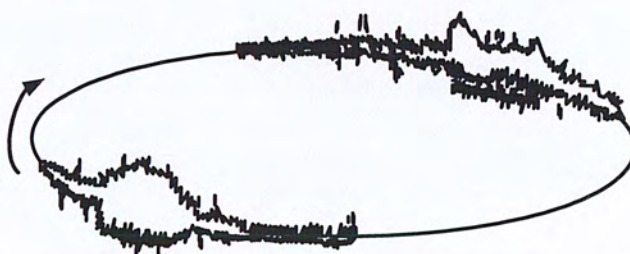
### 1) รูปแบบ PD แบบโคโรนา

การเกิดโคโรนาจะแสดงดังรูปที่ 2.12 ถ้าดีสชาร์จปรากฏทางด้านลบของรูปคลื่น แสดงว่าเกิดโคโรนาทางด้านแรงสูง แต่ถ้าดีสชาร์จปรากฏทางด้านบวกของรูปคลื่น แสดงว่าเกิดโคโรนาทางด้านกราวด์ ลักษณะของโคโรนาทางด้านแรงสูงที่แสดงบนฐานเวลารูปวงรี PD จะเกิดในช่วงมุมเฟส 270 องศา สำหรับในกรณีแรงดันเริ่มต้น และเมื่อแรงดันสูงขึ้น PD จะเกิดในช่วง 90 องศาด้วย โดยขนาดของ PD จะมีค่าใกล้เคียงกัน



### 2) รูปแบบ PD แบบดีสชาร์จตามผิว

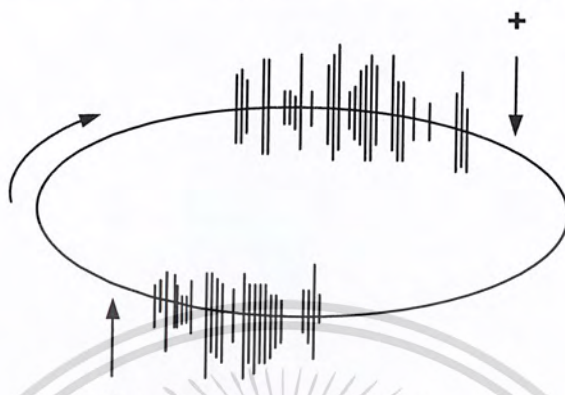
ดีสชาร์จตามผิว จะแสดงดังรูปที่ 2.13 ลักษณะของดีสชาร์จตามผิวที่แสดงบนฐานเวลารูปวงรี PD จะเกิดในช่วงมุมเฟสระหว่าง 0-90 องศา และ 180-270 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.13 รูปแบบการเกิดดีสชาร์จตามผิว  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) รูปแบบ PD แบบดิซาร์จภายใน

ดิซาร์จภายใน จะแสดงดังรูปที่ 2.14 ลักษณะของดิซาร์จภายในที่แสดงบนฐานเวลารูปวงรี PD จะเกิดในช่วงมุมเฟสระหว่าง 0-90 องศา และ 180-270 องศา เช่นเดียวกับดิซาร์จตามผิวแต่ลักษณะการกระจายของพัลส์ PD จะน้อยกว่า



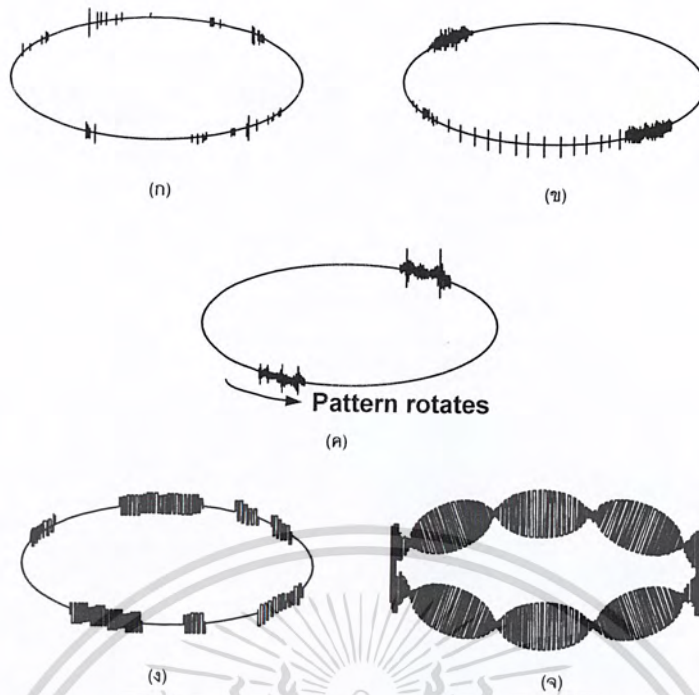
รูปที่ 2.14 รูปแบบการเกิดดิซาร์จภายใน

### 4) รูปแบบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

สัญญาณรบกวน จะแสดงดังรูปที่ 2.15 ในการตรวจจับ PD บ่อยครั้งที่สัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามาจนทำให้การวัดค่า PD ผิดพลาด และได้ผลมากกว่าความเป็นจริงทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นไม่ได้คุณภาพ กล่าวคือ ค่า PD ที่วัดได้สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบการวัด PD แบบต่างๆ มีดังนี้

- สัญญาณรบกวนเนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังแสดงในรูป 2.15 ข)
- สัญญาณรบกวนเนื่องจากโทรทัศน์ ดังแสดงในรูป 2.15 ก) ลักษณะของสัญญาณรบกวนชนิดนี้จะเกิดเป็นพัลส์คู่
- สัญญาณรบกวนเนื่องจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส ดังแสดงในรูป 2.15 ง)
- สัญญาณรบกวนเนื่องจากของคลื่นรบกวนในการส่งสัญญาณสื่อสาร ดังแสดงในรูป 2.15 จ) ลักษณะของสัญญาณรบกวน คือ จะมีคลื่นรบกวนความถี่สูงเข้ามาในวงจรวัด
- สัญญาณรบกวนเนื่องจากของคลื่นรบกวนวิทยุ ดังแสดงในรูป 2.15 ฉ) ลักษณะของสัญญาณรบกวน คือ จะมีคลื่นรบกวนความถี่สูงเข้ามาในวงจรวัด เช่นเดียวกับสัญญาณรบกวนเนื่องจากของคลื่นรบกวนในการส่งสัญญาณสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 สัญญาณรบกวนแบบต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนกราวัด

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจวัด PD เป็นการเปิดโอกาสให้สามารถทำการรู้จำรูปแบบของการเกิด PD โดยอัตโนมัติได้ ระบบการฉนวนของอุปกรณ์ก็ต้องทำการหาสาเหตุโดยสังเกตจากลักษณะของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ การหาสาเหตุของการเกิด PD นี้มีความสำคัญสำหรับผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง และใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ในกระบวนการวิเคราะห์ PD จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์คือ สามารถบ่งบอกถึงสาเหตุของการเกิด PD ในเนื้องนวนเนื่องจากผลของดิสชาร์จ ตัวอย่างเช่น การเกิดดิสชาร์จภายใน ดิสชาร์จตามผิว และการเกิดโคโรนา เพื่อนำข้อมูลนี้มาประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการดิสชาร์จ หรือแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตฉนวน

## 2.10 สัญญาณที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบดิสชาร์จบางส่วน

สัญญาณที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบดิสชาร์จบางส่วนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดดิสชาร์จบางส่วนนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตรวจวัดทางไฟฟ้า โดยการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสายตัวนำ การตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การตรวจวัดคลื่นเสียง และการตรวจวัดทางแสง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็จะให้รูปแบบของสัญญาณแตกต่างกันออกไป

ลักษณะของสัญญาณพัลส์ดิสชาร์จบางส่วน จะทำการตรวจวัดสัญญาณโดยใช้เทคนิคการแยกชดช่วงเวลา (Time Resolution Technique) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้จะมีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ประมาณ 500 MHz ลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่ตรวจจับได้จะแตกต่างกันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันไปตามสาเหตุของดิสชาร์จบางส่วน เช่น วัตถุแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในเนื้อฉนวนเกิดการนำไฟฟ้าโลหะที่อยู่ในบริเวณทดสอบไม่ต้องต่อลงกราวด์และการเกิดทรีอิง (Treeing) ใน GIS เป็นต้น รูปร่างของสัญญาณพัลส์ดิสชาร์จบางส่วนที่ตรวจวัดได้โดยวิธีนี้ยังแตกต่างจากรูปร่างของพัลส์ที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ทำให้สามารถแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.11 การตรวจวัดที่ไม่ใช้วิธีทางไฟฟ้า

ตัวอย่างการตรวจวัดด้วยวิธีอื่นๆ นอกเหนือจากวิธีทางไฟฟ้าที่สามารถใช้ในการจำแนกสาเหตุของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้มีตัวอย่างดังต่อไปนี้

1. สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการบันทึกสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ 10 kHz - 2 GHz ซึ่งพบว่าสเปกตรัมที่บันทึกได้จากสาเหตุต่างๆ ของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนใน GIS จะได้สเปกตรัมที่แตกต่างกันออกไป และพบว่าสเปกตรัมในช่วงความถี่วิทยุของดิสชาร์จบางส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตรวจจับโดยแคลมป์กระแสสายนิวตรอน สามารถนำมาจำแนกในการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ และการเกิดอาร์คระหว่างปลายขดลวดสองชุดที่อยู่ติดกันได้

2. การกระจายความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแสดงถึงเวลาระหว่างพัลส์ที่เกิดขึ้นติดกัน การกระจายนี้ใช้ในการพิจารณาความเป็นไปได้ที่วัตถุอิสระซึ่งนำไฟฟ้าได้ใน GIS จะสามารถเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับสับบาร์จะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน

3. รูปลักษณ์ของคลื่นส่วนใหญ่ใช้ในการรู้จำความผิดพร่องใน GIS

4. สเปกตรัมความถี่ของคลื่นเสียง มักตรวจในย่านความถี่ไม่เกิน 2 MHz ซึ่งพบว่าสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้จากการเกิดดิสชาร์จบางส่วน จากสาเหตุต่างๆ ในน้ำมัน เช่น โคโรนา วัตถุอิสระที่นำไฟฟ้า และโพรงอากาศมีความแตกต่างกัน และพบว่าลักษณะสเปกตรัมกับขนาดของโพรงอากาศในเนื้อฉนวนมีความสัมพันธ์กัน

5. การกระจายของขนาดพัลส์ของแสงตามมุมเฟสใช้การสังเกตการณ์เกิดเบรกดาวนในระยะแรก ซึ่งการเกิดการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้า (Electroluminescence) จะมีความสัมพันธ์กับการฉีดประจุ (Charge Injection) การเกิด Micro channel และการขยายตัวของทรี (Tree)

6. สัญญาณพัลส์ที่ตรวจวัดได้ในย่านรังสีอินฟราเรดร่วมกับค่าแรงดันทดสอบ ใช้ในการตรวจจับการก่อตัวของลีดเดอร์ของดิสชาร์จใน GIS

จากวิธีการตรวจจับสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนที่ได้กล่าวมานี้ จะพบว่าสัญญาณที่สามารถใช้ในการจำแนกแหล่งกำเนิดของดิสชาร์จบางส่วนมีหลายแบบ จะต้องเลือกวิธีการตรวจวัดที่สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้หลายประเภท และต้องมีความสามารถในการจำแนกดิสชาร์จบางส่วนจากสาเหตุต่างๆ ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 ทฤษฎีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing : NDT) เป็นการทดสอบวัสดุชิ้นงานโดยไม่ทำลายสภาพเดิมของชิ้นงานให้เกิดความเสียหาย รอยขีดข่วน การแยกส่วน หรือการแตกหักเสียหาย เพื่อตรวจสอบลักษณะสมบัติสมรรถภาพโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่อยู่ภายใน โดยใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานทดสอบ เช่น แสง ความร้อน รั้งสี คลื่นเสียง ไฟฟ้า หรืออำนาจแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ซึ่งการตรวจสอบแบบไม่ทำลายดังกล่าวจะเป็นการวัดลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์เพื่อประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ซึ่งการตรวจสอบแบบไม่ทำลายดังกล่าวจะเป็นการวัดลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์เหล่านี้เพื่อประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้ การตรวจสอบแบบไม่ทำลายนั้นมีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน โดยวิธีที่ทำได้ง่าย รวดเร็วที่สุด ประหยัดที่สุด และ ประสิทธิภาพ คือ วิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Testing) [4] ซึ่งจัดได้ว่าเป็นการตรวจสอบขั้นแรกของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับการแบ่งประเภทของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

### 2.12.1 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิว

1) การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Testing) ใช้ในการตรวจสอบหาตำแหน่งที่ผิวงานทั้งด้านนอกและด้านใน โดยทั่วไปจะใช้สายตาดู แต่บางกรณีจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วย เช่น แว่นขยาย ไม้บรรทัด เวอร์เนียร์ หรือเกจวัดพิเศษ เพื่อใช้วัดหาขนาดของรอยแตก สิ่งบกพร่องรอยเหลื่อม (Overlapped) หลุมบ่อต่างๆ ความสูงของตะเข็บเชื่อม หรือระยะของการกัดของงาน (Undercut) เป็นต้น

2) การตรวจสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) ใช้ในการตรวจสอบหาตำแหน่งที่ผิวงานรอยแตก ร้าว และตำแหน่งใต้ผิวงานที่อยู่ลึกลงไป 2 – 3 มิลลิเมตร จากผิวหน้าของชิ้นงานที่ไม่มีปากเปิดสู่ผิวบน สามารถบอกให้รู้ถึงตำแหน่ง รูปร่าง และขนาดของรอยบกพร่องที่มีอยู่ แต่ไม่สามารถบอกถึงรูปร่าง ขนาด และทิศทางในแนวลึกของรอยบกพร่องนั้น ข้อจำกัด คือ ต้องใช้กับชิ้นงานที่เป็นเหล็ก หรือสามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้เท่านั้น และบางครั้งอาจจำเป็นต้องคลายอำนาจแม่เหล็กหลังจากตรวจสอบด้วย

3) การตรวจสอบโดยใช้ของเหลวแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing) ใช้ในการตรวจสอบหารอยแตก ร้าว เฉพาะที่บริเวณผิวเท่านั้น และต้องเป็นตำแหน่งที่เป็นปากเปิดออกสู่ภายนอก ไม่สามารถใช้ตรวจสอบกับวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุนได้ มีหลักการ คือ ทาสารละลายทดสอบบนผิวหน้าของชิ้นงานที่จะตรวจสอบเพื่อให้สารละลายแทรกซึมเข้าสู่รอยบกพร่อง แล้วใช้สารละลายสร้างภาพซึ่งจะทำหน้าที่ดูดซับสารละลายที่แทรกซึมอยู่ในรอยบกพร่องออกมา ทำให้เกิดรูปร่างของรอยบกพร่องได้อย่างชัดเจนจนสามารถพบด้วยสายตาเปล่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การตรวจสอบโดยใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing) ใช้ตรวจสอบหาค่าหินของผิวงานรอยแตกร้าวและตำหนิที่อยู่ใต้ผิวงานลงไปเล็กน้อย มีข้อได้เปรียบ คือ สามารถตรวจสอบได้โดยไม่ต้องทำ Couplant และสามารถตรวจสอบได้โดยหัวตรวจสอบไม่ต้องสัมผัสใกล้ชิด แต่ข้อจำกัด คือ วัสดุที่จะตรวจสอบต้องเป็นตัวนำเท่านั้น เนื่องจากการตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าว อาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลวนบริเวณรอบๆ ชิ้นงานทดสอบ และรอยแตกร้าวหรือสิ่งบกพร่องที่มีอยู่จะเป็นตัวขัดขวางการไหลวนของกระแสทำให้ทราบได้ว่าชิ้นงานมีตำหนิ รอยแตกร้าวหรือสิ่งบกพร่องดูจากค่ากระแสที่เปลี่ยนไป

#### 2.12.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องภายใน

1) การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing) ใช้ในการตรวจสอบหาค่าหินที่อยู่ลึกเข้าไปตามแนวรังสีโดยใช้รังสีเอกซ์ (X-Ray) หรือรังสีแกมมา (Gamma-Ray) ฉายผ่านเนื้อวัสดุและไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มที่อยู่ด้านหลัง จึงสามารถตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องภายในได้ เช่น รุพ-run รอยแตกร้าว การหลอมละลายไม่เพียงพอ เป็นต้น โดยรังสีเอกซ์จะได้มาจากกระแสไฟฟ้าที่กระตุ้นให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดที่บรรจุอยู่ให้หลุดออกมาด้วยความเร็วสูงและก่อให้เกิดลำของรังสีเอกซ์ขึ้นมา ส่วนรังสีแกมมาจะได้จากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตภาพรังสีโดยตรง ปริมาณของรังสีฉายผ่านชิ้นงานหรือวัสดุจะถูกดูดกลืนไว้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน และความหนาแน่นของวัสดุ รังสีที่ผ่านจุดบกพร่องจะถูกดูดกลืนได้น้อยเนื่องจากจุดบกพร่องมีความหนาแน่นต่ำกว่าเนื้อโลหะ รังสีจะผ่านมากทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้มาก เมื่อนำฟิล์มไปล้างจะพบว่าตำแหน่งที่มีตำหนิหรือจุดบกพร่องจะมีสีดำเข้มมากกว่าบริเวณอื่นที่วัสดุมีความหนาเท่ากัน ในลักษณะเดียวกัน ชิ้นงานที่บางจะมีความเข้มที่ปรากฏบนฟิล์มมากกว่าชิ้นงานหนา

2) การตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing) เป็นวิธีหนึ่งของกระบวนการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในการตรวจสอบหาจุดบกพร่องที่อยู่ภายในชิ้นงานลึกโดยการส่งคลื่นความถี่สูงแพร่เข้าไปภายในเนื้อของชิ้นงานตรวจสอบ คลื่นที่ผ่านเข้าไปในชิ้นงานนั้นจะกระทบกับจุดบกพร่องหรือตำหนิและสะท้อนไปยังแหล่งกำเนิดคลื่น ส่วนคลื่นที่ไม่กระทบกับจุดบกพร่องจะผ่านเลยไปยังผนังด้านหลังของชิ้นงานคลื่นที่สะท้อนกลับ และผ่านเลยไปนั้นจะนำมาวิเคราะห์หาจุดบกพร่อง เช่น รอยแตกร้าว รุพ-run การหลอมละลายไม่เพียงพอ ตลอดจนสิ่งบกพร่องอื่นๆ

3) การตรวจสอบแบบทำลายวิธีอื่นๆ คือ กระบวนการตรวจสอบแบบไม่ทำลายดังที่กล่าวมานั้นเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ ยังมีวิธีการตรวจสอบแบบอื่นๆ อีก เช่น การตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติคอิมิชชัน (Acoustic Emission Testing) การตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Testing) การทดสอบการรั่วซึม (Leakage Testing) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

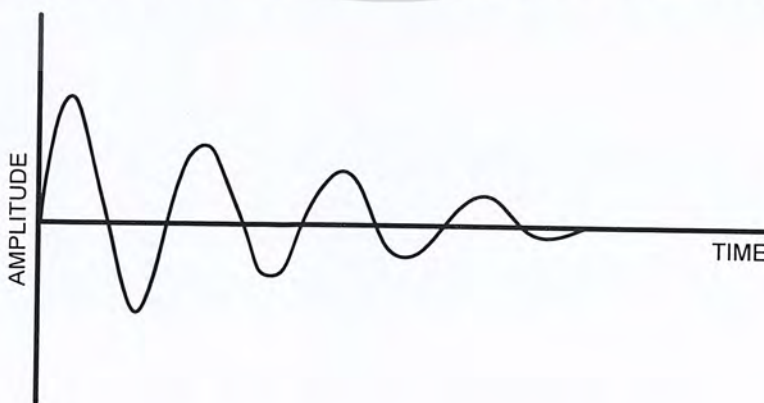
การวัดความเครียด (Strain Measurement Testing) เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีตลอดจนรายละเอียดของการตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอิมิชชันนั้น จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

### 2.13 ทฤษฎีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณทางเสียง

การตรวจสอบด้วยสัญญาณทางเสียง (Acoustic Emission Testing) จัดเป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ค่อนข้างใหม่ และอาจจะยังไม่เป็นที่รู้จักและแพร่หลายนักซึ่งการตรวจสอบด้วยสัญญาณทางเสียงนี้แตกต่างจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing) การตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing) การตรวจสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) การตรวจสอบโดยใช้ของเหลวแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing) การตรวจสอบโดยใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing) เนื่องจากการตรวจสอบด้วยวิธีแบบดั้งเดิมนั้น เป็นการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องหรือตำหนิที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุแล้วต้องการตรวจสอบด้วยสัญญาณทางเสียงเป็นการตรวจหาสิ่งบกพร่องในขณะที่กำลังเกิดขึ้นหรือขยายตัวโดยรอยบกพร่องจะเป็นตัวแพร่สัญญาณออกมาในลักษณะของสัญญาณทางเสียงดังนั้นข้อได้เปรียบของการตรวจสอบด้วยวิธีนี้เมื่อเทียบกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีดั้งเดิมอื่นๆ คือ เป็นการตรวจสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สามารถใช้เฝ้าระวังหรือเตือนล่วงหน้าก่อนที่ความเสียหายจะลุกลาม นอกจากนี้ยังครอบคลุมผลการตรวจสอบเป็นบริเวณกว้างในการตรวจสอบคราวเดียว

#### 2.13.1 สัญญาณทางเสียง

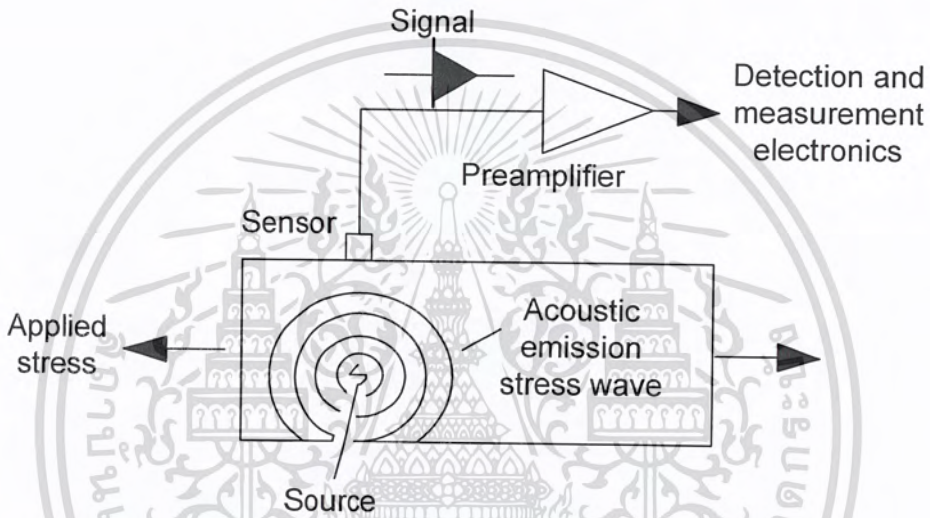
สัญญาณทางเสียง (Acoustic Emission) เป็นสัญญาณคลื่นที่มีความยืดหยุ่น (Elastic Wave) แบบชั่วคราวที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยพลังงานอย่างรวดเร็วจากภายในวัสดุหรือผิวของวัสดุภายใต้ความเค้นในการปล่อยคลื่นเสียงนี้เกิดจากกลไกของการเปลี่ยนรูปทรง เช่น การคราก (Yielding) การเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) การขยายตัวของรอยแตก (Crack Growth) การเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase Transformation) การแข็งตัว (Solidification) และการแตกร้าวขณะแข็งตัว (Solidification Cracking) เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

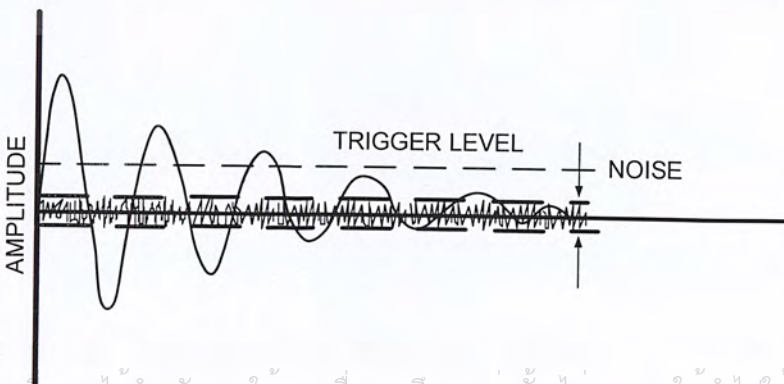
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของสัญญาณทางเสียง

การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณทางเสียงนั้น อาศัยหลักการในการตรวจจับคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นซึ่งจะขยายตัวออกเป็นวงกว้างออกสู่ผิวงาน และสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางเสียง (AE Sensor) ที่มีการติดตั้งไว้ที่ผิวของชิ้นงาน สัญญาณที่ตรวจจับได้จะนำไปจัดสัญญาณรบกวน นำไปขยายให้สูงขึ้นและถูกนำไปแปลผลเพื่อวิเคราะห์รอยบัพหรือความเสียหายที่เกิดขึ้น สามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย อาทิเช่น ใช้ในการประเมินความผิดปกติรอยแตกร้าวหรือสิ่งบัพหรือในเนื้อวัสดุ การควบคุมระดับคุณภาพในกระบวนการเชื่อม การตรวจสอบรอยร้าวในท่อก๊าซ และการตรวจสอบการเกิดแผ่นดินไหว (Seismic Analysis) เป็นต้น



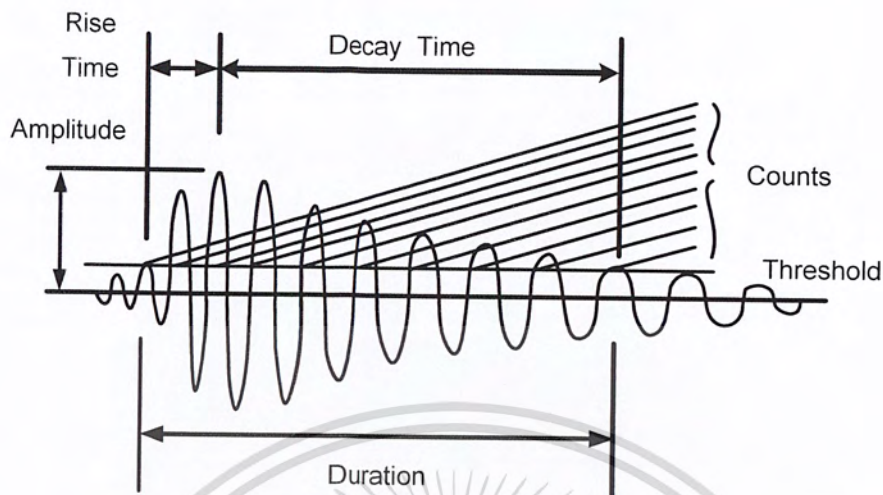
รูปที่ 2.17 แสดงการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยสัญญาณทางเสียง

สำหรับสัญญาณทางเสียงที่ใช้ในการตรวจสอบนั้นโดยปกติต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยการตั้งระดับขีดจำกัด (Threshold) ให้มีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวน ซึ่งผลจากการตั้งระดับขีดจำกัดกล่าว จะทำให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะบางประการของสัญญาณทางเสียงนั้นๆ อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.18 แสดงการกำหนดระดับขีดจำกัดเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.13.2 ตัวแปรสัญญาณทางเสียง



รูปที่ 2.19 แสดงตัวแปรของสัญญาณทางเสียง

ตัวแปรสัญญาณทางเสียงดังแสดงในรูปที่ 2.19 มีลักษณะและส่วนประกอบดังนี้

- 1) สัญญาณที่ปรากฏ (Event)
- 2) จำนวนสัญญาณทางเสียง (Counts)
- 3) พลังงานทางเสียง (Energy)
- 4) ขนาดของสัญญาณทางเสียง (Amplitude)
- 5) เวลาที่เริ่มนับตั้งแต่สัญญาณมีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจนถึงเวลาที่สัญญาณต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Duration Time)
- 6) เวลาที่เริ่มนับตั้งแต่สัญญาณมีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจนถึงเวลาที่สัญญาณมีขนาดของสัญญาณทางเสียงสูงที่สุด (Rise Time)

1. อีเวนท์ (Event) คือ สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุขณะที่เกิดขึ้นในเฉพาะที่ในอุดมคติดังรูปที่ 3.1 สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$V = V_0^{(-Bt)} \sin \omega t \quad (2.9)$$

- โดยที่  $V$  คือ ค่าของโวลต์ที่ได้จากหัวตรวจสอบ  
 $V_0$  คือ สัญญาณแอมพลิจูดตัวแรก  
 $B$  คือ ค่าลดลงที่คงที่ (มากกว่า 0)  
 $t$  คือ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การนับ (Counts) คือ จำนวนครั้งของสัญญาณอะคูสติกในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในเวลาที่กำหนดที่มีระดับสูงกว่าขีดกำหนด (Threshold) ที่กำหนดไว้ สัญญาณที่เกินขีดขึ้นหากมีค่าของแอมพลิจูดที่สูงและมีช่วงเวลายาวนานมากพอ ก็จะสามารถก่อให้เกิด Counts ที่จำนวนมากตามไปด้วย จำนวนครั้งของเค้ท์ (Number of Counts) ที่เกิดขึ้นในเวลาที่กำหนดขึ้นอยู่กับความถี่ของหัวตรวจสอบ คุณลักษณะการแดมป์ (Damp) ของหัวตรวจสอบ คุณลักษณะการแดมป์ของโครงสร้าง และระดับการตั้งขีดกำหนด เค้ท์สามารถหาได้จากสมการ

$$N = \frac{\omega}{2\pi B} + \ln \frac{V_0}{V_t} \quad (2.10)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนครั้งของเค้ท์  
 $V_t$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขีดกำหนดของเค้ท์

3. พลังงานเสียง (Energy) คือ พลังงานเสียงที่ได้จากการปลดปล่อยออกมาชั่วขณะของวัสดุ หรือพลังงานของเสียงที่ได้จากสัญญาณมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาและสามารถวัดได้หลายวิธี การหาพลังงานที่ถูกต้องหาได้จากปฏิภาคโดยตรงของพื้นที่ใต้สัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ ซึ่งพลังงานทางไฟฟ้า  $U$  สามารถหาได้จากสมการ

$$U = \frac{1}{R} \int V^2(t) dt \quad (2.11)$$

โดยที่  $U$  คือ พลังงานทางไฟฟ้า  
 $R$  คือ ค่าความต้านทานกระแสในวงจร  
 $V$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า

4. ขนาดของสัญญาณทางเสียง (Amplitude) สัญญาณแอมพลิจูดสูงสุดสัมพันธ์กับสัญญาณทางเสียงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุและความหนาแน่นของแหล่งกำเนิดพลังงานอะคูสติกอิมพัลส์ การวัดแอมพลิจูดสูงสุดจากสัญญาณทางเสียงเป็นผลมาจากการทดสอบที่เหมือนกับพารามิเตอร์ของเค้ท์ สัญญาณของแอมพลิจูดที่วัดได้นั้นจึงส่งผลโดยตรงกับค่าของเค้ท์ ปกติการวัดแอมพลิจูดสูงสุดกระทำโดยการใช้คณิตศาสตร์เพื่อความแน่นอนของการวัดทั้งสัญญาณที่ใหญ่และเล็ก การแพร่ของแอมพลิจูดมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุที่ทำให้เกิดการเสียรูป ซึ่งในทางปฏิบัติการหาแอมพลิจูดหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{Pf\tau}{b} \quad (2.12)$$

โดยที่	$N$	คือ	ค่าที่เพิ่มขึ้น
	$P$	คือ	อีเวนท์ที่เพิ่มขึ้น
	$f$	คือ	ความถี่เรโซแนนซ์ของหัวตรวจสอบ
	$\tau$	คือ	เวลาในช่วงของอีเวนท์
	$b$	คือ	แอมพลิจูดพารามิเตอร์ที่ลดลง

5. เวลาที่เริ่มนับตั้งแต่สัญญาณที่มีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจนถึงเวลาที่สัญญาณต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Duration Time)

6. เวลาที่เริ่มนับตั้งแต่สัญญาณที่มีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจนถึงเวลาที่สัญญาณมีขนาดของสัญญาณทางเสียงสูงสุด (Rise Time)

### 2.13.3 ทฤษฎีความเร็วเสียง

คลื่นเสียง (Sound Wave) คือการสั่นไหวเชิงความดัน (Pressure Disturbance) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปในตัวกลาง (Medium) ด้วยลักษณะกิริยาการส่งผ่านพลังงานจากการสั่นไหวระหว่างอนุภาค (Particle) ที่อยู่ติดกันของตัวกลางนั้น ดังนั้นคำว่า "ความเร็วของคลื่นเสียง (Speed of sound wave)" ก็จะหมายถึงความเร็วของการส่งผ่านการสั่นไหวที่ว่านี้ โดยจำนวนรอบการสั่นไหวของอนุภาคตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลาก็คือ "ความถี่ (Frequency)" ของระรอกคลื่นนั่นเอง

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.13)$$

โดยที่	$v$	คือ	ความเร็วของเสียง
	$s$	คือ	ระยะทาง
	$t$	คือ	เวลา

แต่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางที่ระรอกคลื่นนั้นเคลื่อนที่ผ่านไป โดยคุณสมบัติหลักๆ ของตัวกลางที่มีผลต่อความเร็วของคลื่นก็คือ "ความเฉื่อย (Inertia)" และ "ความยืดหยุ่น (Elastic)" ในกรณีของตัวกลางที่เป็นก๊าซ (Gases) ก็จะมีคความหนาแน่น (Density) ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักทางความเฉื่อยที่มีผลต่อความเร็วในการส่งผ่านคลื่นเสียง หากปัจจัยอื่นๆ เหมือนกันแล้ว คลื่นเสียงจะเดินไม่ช้ากว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางผ่านก๊าซที่มีความหนาแน่นน้อยได้เร็วกว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า ส่วนกรณีของตัวกลางที่เป็นของแข็งนั้น ตัวกลางที่มีความเหนียวแน่นสูงเช่นเหล็กจะมีความสามารถในการส่งผ่านคลื่นเสียงได้เร็วกว่าตัวกลางที่มีความหยุ่นอ่อน

ทั้งนี้ปัจจัยจากความยืดหยุ่นจะมีผลต่อความเร็วของเสียงมากกว่าปัจจัยจากความเฉื่อย ด้วยเหตุนี้ความเร็วของเสียง ( $V$ ) ที่เดินทางผ่านของแข็ง (Solids) จะมากกว่าของเหลว (Liquids) และในของเหลวจะมากกว่าก๊าซ (Gases)

$$V \text{ solids} > V \text{ liquids} > V \text{ gases}$$

ด้วยเหตุนี้ความเร็วของเสียงที่เดินทางในอากาศ (Air) จึงขึ้นกับคุณสมบัติของมวลอากาศ ซึ่งคุณสมบัติหลักที่มีผลต่อความเร็วเสียงก็คืออุณหภูมิและความดันของอากาศ ความดันของอากาศจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของมวลอากาศ (คุณสมบัติทางความเฉื่อย) ในขณะที่อุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อความรุนแรงของปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคของอากาศ (คุณสมบัติทางความยืดหยุ่น) ซึ่งหมายความว่าหากคิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของอากาศต่อความเร็วของเสียงแล้ว อากาศที่มีระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าจะยอมให้เสียงเดินทางผ่านไปไ้เร็วกว่า ตามสมการ

$$v = 331 + 0.6T$$

(2.14)

โดย  $T$  คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศในหน่วยองศาเซลเซียส  
 $v$  คือ ความเร็วในหน่วย เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

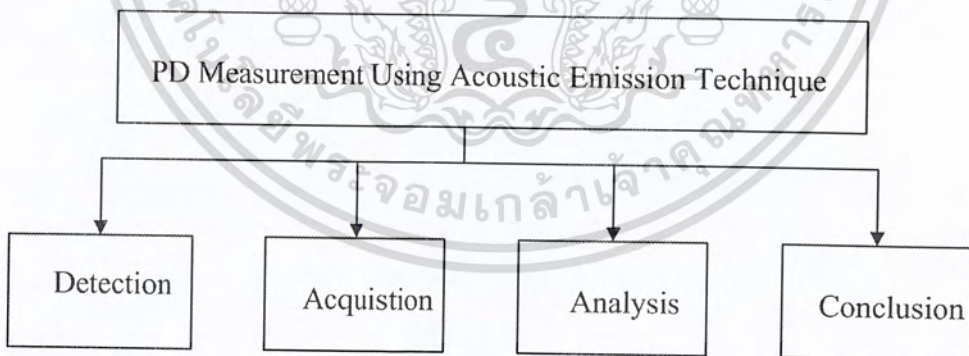
### บทที่ 3

#### การออกแบบการทดสอบโดยใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission)

การวิเคราะห์และตรวจวัดการดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงเพื่อศึกษาหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วน ปริมาณความเข้มของสัญญาณที่เกิดมีขนาดความเข้มมากเพียงใด ตลอดจนสามารถแยกชนิดของแหล่งกำเนิดสัญญาณว่าเป็นชนิดใดเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขและเฝ้าระวังการดิสซาร์จบางส่วนไปสู่การเบรกดาวนที่สมบูรณ์ต่อไป

ดังนั้นแล้วเพื่อให้การทดลองเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้จำเป็นต้องมีการออกแบบการทดลองการและเลือกใช้อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลองการตรวจวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนให้เหมาะสมตลอดจนขั้นตอนและวิธีการทดลองรวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ด้วย โดยในการทดลองนี้จะมีส่วนประกอบหลักที่ใช้ประกอบเป็นแนวทางการทดลองด้วยกันทั้งหมด 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนการตรวจจับสัญญาณ (Detection Part)
2. ส่วนแสดงผลของสัญญาณที่ตรวจจับ (Acquisition Part)
3. ส่วนการวิเคราะห์ (Analysis Part)
4. ส่วนการสรุปผลเปรียบเทียบสัญญาณ (Conclusion Part)

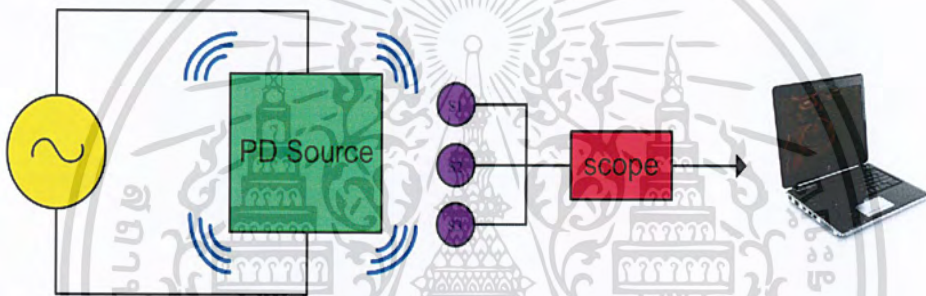


รูปที่ 3.1 แผนผังการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 ส่วนการตรวจจับสัญญาณ (Detection Part)

Detection Part คือส่วนของการตรวจจับสัญญาณดิซซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงซึ่งหัวตรวจจับทางเสียงที่เลือกใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดคือ Piezoelectric Sensor และ Vallen Sensor โดยหัวตรวจจับ Vallen Sensor แบ่งเป็นสองย่านความถี่คือ 30 KHz และ 150 KHz ในการทดลองนั้นจะเลือกหัวตรวจจับที่สามารถตรวจวัดสัญญาณ PD Source ได้ดีที่สุดเพื่อนำหัวตรวจจับสัญญาณนั้นมาใช้เพื่อตรวจวัดตำแหน่งของสัญญาณ PD Source ซึ่งหัวตรวจจับทางเสียงทั้งสองชนิดอาศัยหลักการทำงานโดยเปลี่ยนสัญญาณทางเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากหัวตรวจจับทางเสียงทั้งสองชนิดจะผ่านเข้าออสซิลโลสโคปและนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์สัญญาณดิซซาร์จบางส่วนต่อไปโดยใช้โปรแกรม Mat lab โดยหลักการทำงานของหัวตรวจจับทางเสียงและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูป



รูปที่ 3.2 แสดงหลักการทำงานของหัวตรวจจับทางเสียง

### 3.2 ส่วนแสดงผลของสัญญาณที่ตรวจจับ (Acquisition Part)

เมื่อได้สัญญาณทางไฟฟ้าจากหัวตรวจจับทางเสียงยังไม่สามารถแสดงผลหรือดึงข้อมูลออกมาใช้ได้โดยตรงจำเป็นต้องมีส่วนแสดงผลสัญญาณและบันทึกข้อมูลโดยใช้ Oscilloscope รุ่น Tektronix 4 Channel เพื่อมาใช้ในการเก็บค่าข้อมูลของสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากหัวตรวจจับทางเสียงและแสดงรูปคลื่นสัญญาณเพื่อมาทำการเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากวิธี Conventional Method ซึ่งอุปกรณ์ Oscilloscope แสดงดังรูป



รูปที่ 3.3 Oscilloscope ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

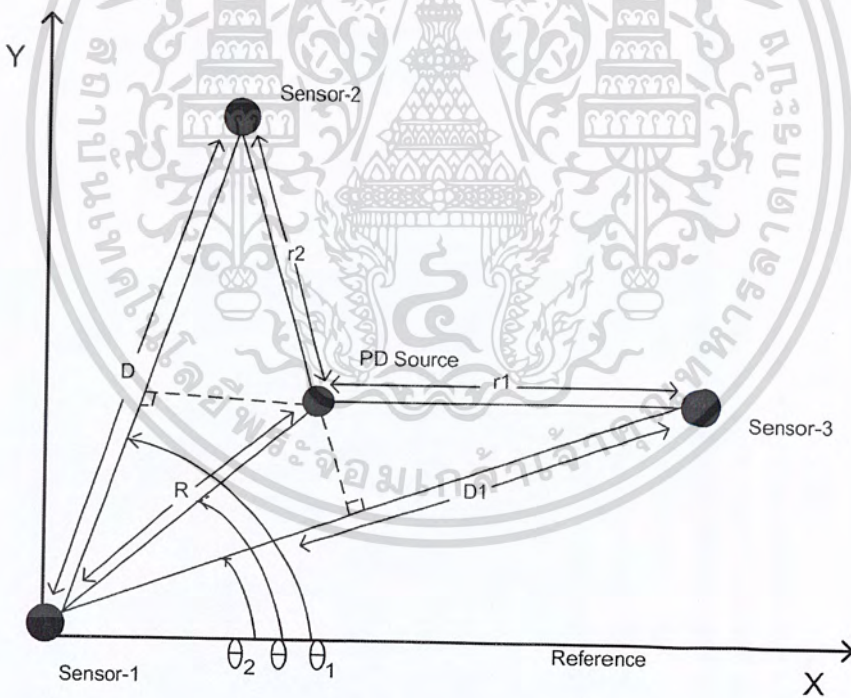
### 3.3 ส่วนการวิเคราะห์ (Analysis Part)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้ออสซิลโลสโคปมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อจำแนกชนิดของสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนและตำแหน่งที่เกิดการดิสซาร์จบางส่วน

เมื่อนำข้อมูลและรูปคลื่นสัญญาณการดิสซาร์จบางส่วนที่ได้จาก Oscilloscope มาแล้วจากนั้นเราจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ MATLAB ซึ่งหลักการวิเคราะห์จะนำข้อมูลที่ได้ออสซิลโลสโคปมาวาดรูปคลื่นสัญญาณเพื่อแสดงรูปคลื่นสัญญาณว่าเป็นชนิดใดบ้างซึ่งจะแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ โครนาดิสซาร์จด้านแรงสูง, โครนาดิสซาร์จด้านกราวด์, การดิสซาร์จตามผิวและการดิสซาร์จภายในโพรงอากาศ จากนั้นเมื่อทราบชนิดของสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนแล้วก็นำสัญญาณดังกล่าวมาวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดการดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งจะสามารถหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณในระนาบต่างๆ ดังนี้

#### 1) ระนาบ 2 มิติ

สามารถคำนวณหาตำแหน่งแหล่งกำเนิด PD ได้จากการแก้สมการหาระยะ R จากสมการที่ 3.1 และ 3.2



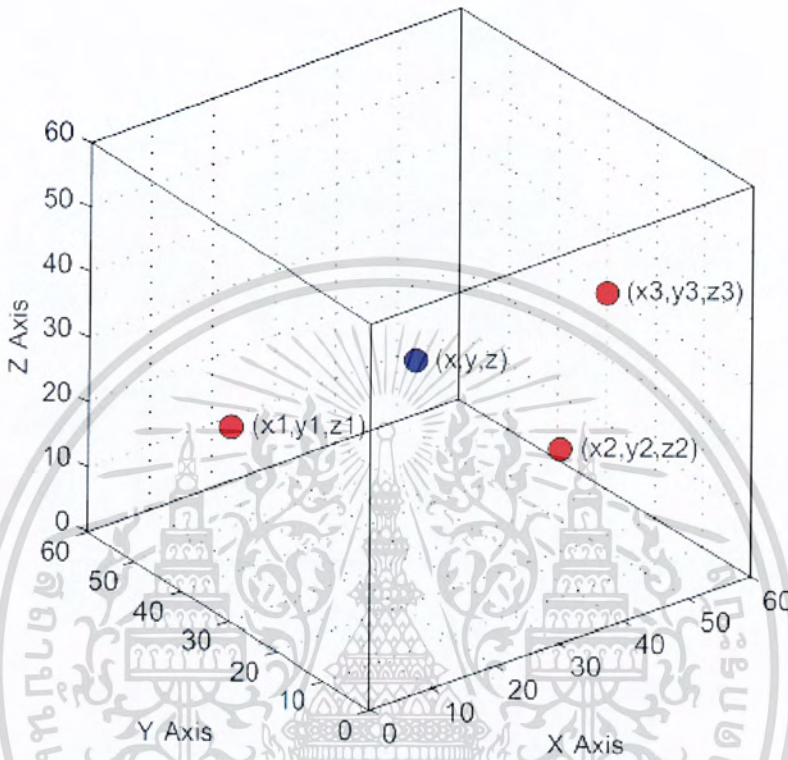
รูปที่ 3.4 แสดงการแก้สมการหาระยะ R

$$R = \frac{1}{2} \frac{D_1^2 - v^2 \Delta t_1^2}{v \Delta t_1 + D_1 \cos(\theta - \theta_1)} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ D<sub>2</sub><sup>2</sup> - v<sup>2</sup> Δt<sub>2</sub><sup>2</sup> ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 (3.2)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) ระนาบ 3 มิติ

สามารถคำนวณหาตำแหน่งแหล่งกำเนิด PD ได้จากการแก้สมการที่ 3.3, 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการแก้สมการในระนาบ 3 มิติ

$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = (vt_1)^2 \quad (3.3)$$

$$(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = (vt_2)^2 \quad (3.4)$$

$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 = (vt_3)^2 \quad (3.5)$$

### 3.4 ส่วนการสรุปผลเปรียบเทียบสัญญาณ (Conclusion Part)

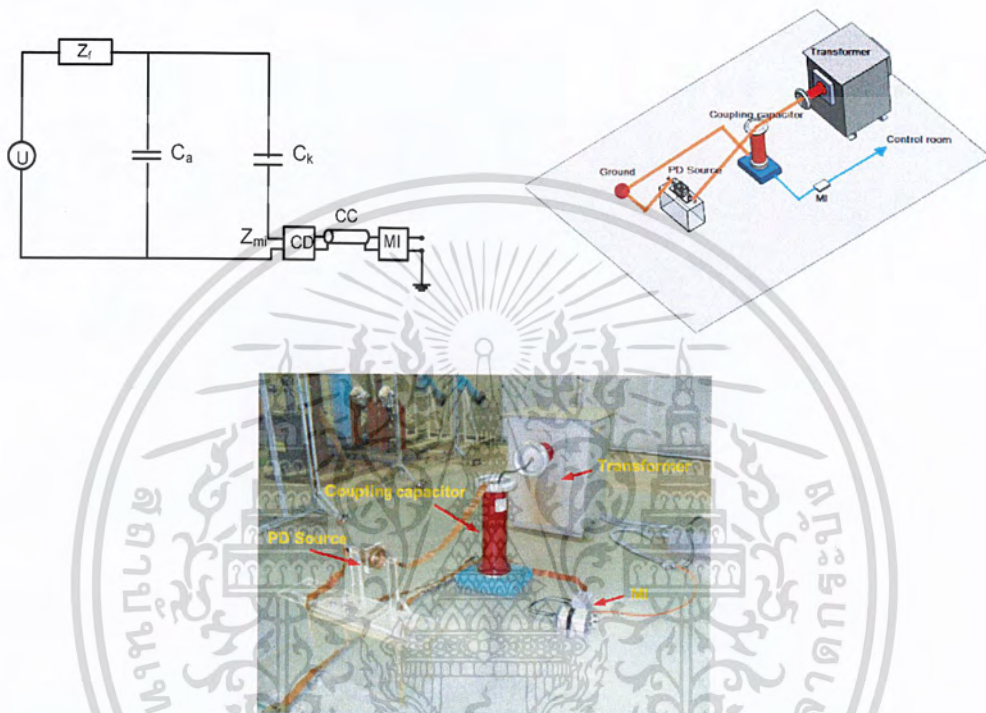
ในส่วนนี้จะเป็นการนำผลการทดลองการตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนที่ได้จากวิธีเทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission) มาวิเคราะห์ชนิดและตำแหน่งของสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนเพื่อเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจจับจากห้องทดสอบที่ใช้การตรวจจับโดยวิธีแบบดั้งเดิม Conventional method โดยต่อวงจรตามมาตรฐาน IEC 60270 และ

เอกสารเปรียบเทียบกับการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้หัวตรวจจับทางเสียง Piezoelectric Sensor และ Vallen Sensor ที่ตำแหน่งของ PD Source ต่างๆ

### 3.5 วงจรการทดลองและวิธีการทดลอง

#### 3.5.1 วงจรการทำงานแบบดั้งเดิม (Conventional Method)

การทดสอบการตรวจจับสัญญาณดิสชาร์จโดยใช้เทคนิคการตรวจจับแบบดั้งเดิม (Conventional Method) ตามมาตรฐาน IEC-60270 ที่เป็นการวัดดิสชาร์จบางส่วนในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงมีวงจรแสดงดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรการทำงานแบบดั้งเดิม (Conventional Method)

#### 3.5.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลองแบบดั้งเดิม (Convention Method)

1. การทดสอบในขั้นตอนแรกต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการวัดและหลักการป้องกันเกี่ยวกับการวัดแรงดันสูงก่อนที่จะทำการวัดเนื่องจากการวัดแรงดันสูงมีอันตรายถึงชีวิต ดังนั้นควรปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ทางห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงกำหนดไว้
2. ตรวจสอบอุปกรณ์และเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์แล้วต่อวงจรตามที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นในข้างต้น
3. เมื่อตรวจสอบและต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการปรับเทียบชุดวัด PD โดยนำ C Calibration มาต่อแล้วทำการปรับเทียบ เมื่อทำการปรับเทียบเสร็จจะต้องนำ C Calibration ออกจากวงจรทดสอบทุกครั้ง

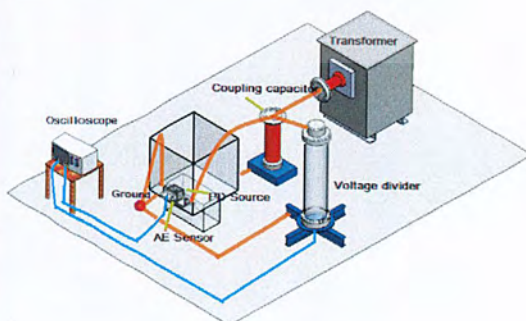
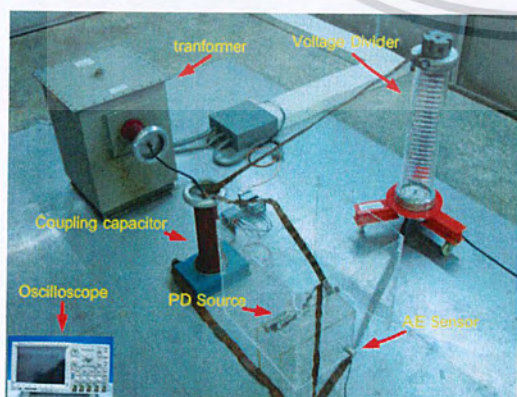
4. ก่อนขึ้นแรงดันควรค่าของ Background noise จากวงจรที่ต่อขึ้นทั้งนี้ถ้าหาก Background noise มีค่ามากเกินไปไม่ควรทำการทดสอบเพราะจะไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลถึงค่าของ PD ที่วัดได้นั้นมีความผิดพลาด ผลนั้นอาจมาจากการต่อวงจรหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่รอบตัวในระหว่างการทดสอบ ซึ่ง Background noise ไม่ควรเกิน 5% ของค่า PD ที่วัดได้

5. บันทึกค่าอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ขณะทำการทดสอบ
6. ทำการป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสังเกตว่าดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดที่แรงดันเท่าไร หลังจากพบดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดทำการเพิ่มแรงดันขึ้นอีกเล็กน้อย ทั้งนี้ในการทดสอบจะมีการวัด 2 ส่วนด้วยกันคือการวัดจากชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD แบบดั้งเดิม (Conventional Method) และการวัดจากชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียง จากการทดสอบเราจะสามารถจับสัญญาณ แรงดันเริ่มเกิด และขนาด PD ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับแบบดั้งเดิม (Conventional Method) ส่วนชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียงจะได้ข้อมูลออกมาเป็นรูปสัญญาณ PD ที่ได้จาก Oscilloscope
7. บันทึกค่าของ PD ที่ได้ดังนี้คือ
  - รูปสัญญาณของ PD
  - ค่า Background noise
  - ขนาดแรงดัน
  - ขนาด PD

### 3.5.3 วงจรการทำงานโดยใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission)

ในส่วนของวงจรการทดลองโดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นจะเพิ่มส่วนของชุดแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และหัวตรวจจับสัญญาณ (Piezoelectric Sensor และ Vallen Sensor) ดิสชาร์จบางส่วนเข้ามาซึ่งวงจรแสดงดังรูป



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรการวัดสัญญาณ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเป็นหนังสือสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการอ้างอิงใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเทคนิคการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงที่ เมื่อต่อวงจรในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงตามที่ออกแบบไว้ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2 ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง AC พิกัด 460V/75kV 40kVA 50/60Hz
2. Coupling capacitor (Ck) พิกัด 0.001microfarad 100kV
3. ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Object)
4. Voltage divider 980V/1V
5. ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง

#### 5.1 AE Sensor

##### 5.1.1 Piezoelectric Sensor

##### 5.1.2 Vallen Sensor

#### 5.2 กรอบทรงลูกบาศก์สำหรับวาง PD Source และติด Sensor

#### 6. Oscilloscope Tektronix DPO4054

#### 3.5.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลองแบบใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission)

1. การทดสอบในขั้นตอนแรกต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการวัดและหลักการป้องกันเกี่ยวกับการวัดแรงดันสูงก่อนที่จะทำการวัดเนื่องจากการวัดแรงดันสูงมีอันตรายถึงชีวิต ดังนั้นควรปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ทางห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงกำหนดไว้
2. ตรวจสอบอุปกรณ์และเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์แล้วต่อวงจรตามที่ยังออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นในข้างต้น
3. เมื่อตรวจสอบและต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการปรับเทียบชุดวัด PD โดยนำ C Calibration มาต่อแล้วทำการปรับเทียบ เมื่อทำการปรับเทียบเสร็จจะต้องนำ C Calibration ออกจากวงจรทดสอบทุกครั้ง
4. ก่อนขึ้นแรงดันควรดูค่าของ Background noise จากวงจรที่ต่อขึ้นทั้งนี้ ถ้าหาก Background noise มีค่ามากเกินไปไม่ควรทำการทดสอบเพราะจะส่งผลถึงค่าของ PD ที่วัดได้นั้นมีความผิดพลาด ผลนั้นอาจมาจากการต่อวงจรหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่รอบตัวในระหว่างการทดสอบ ซึ่ง Background noise ไม่ควรเกิน 5% ของค่า PD ที่วัดได้
5. บันทึกค่าอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ขณะทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และสังเกตว่าดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดที่แรงดันเท่าไร หลังจากพบดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดทำการเพิ่มแรงดันขึ้นอีกเล็กน้อย ทั้งนี้ในการทดสอบจะมีการวัด 2 ส่วนด้วยกันคือการวัดจากชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD แบบดั้งเดิม (Conventional Method) และการวัดจากชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียง จากการทดสอบเราจะสามารถจับสัญญาณ แรงดันเริ่มเกิด และขนาด PD ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับแบบดั้งเดิม (Conventional Method) ส่วนชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียงจะได้ข้อมูลออกมาเป็นรูปสัญญาณ PD ที่ได้จาก Oscilloscope
7. บันทึกค่าของ PD ที่ได้ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ
  - 7.1 ชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD แบบดั้งเดิม (Conventional Method)
    - รูปสัญญาณของ PD
    - ค่า Background noise
    - ขนาดแรงดัน
    - ขนาด PD
  - 7.2 ชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียง
8. การทดสอบจะใช้ชุดอุปกรณ์ทดสอบตามทฤษฎีทั้งหมด 4 ประเภท คือ
  - 8.1 โครนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง
  - 8.2 โครนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์
  - 8.3 ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ
  - 8.4 ดิสชาร์จตามผิว
 เมื่อเก็บค่าได้ตามที่กำหนดไว้เสร็จตามต้องการก็จะเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ทดสอบ แล้วทำการทดสอบตามข้อที่ 1 ถึง 6 อีกครั้งจนครบทั้ง 4 ประเภท
9. เมื่อเก็บผลการทดสอบที่ได้จาก Oscilloscope แล้วจะนำมาวิเคราะห์ผลในโปรแกรม MATLAB เพื่อดูค่าต่างๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการดีสชาร์จบางส่วนแบบวิธีแบบดั้งเดิม (Conventional Method) และใช้เทคนิคทางเสียงนั้นอุปกรณ์ที่ใช้หลักๆประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณดีสชาร์จบางส่วน (PD Source) หัวตรวจจับทางเสียง ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope Tektronix) กล้องทรงลูกบาศก์สายตัวนำสัญญาณและชุดอุปกรณ์การทดลองการดีสชาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิม

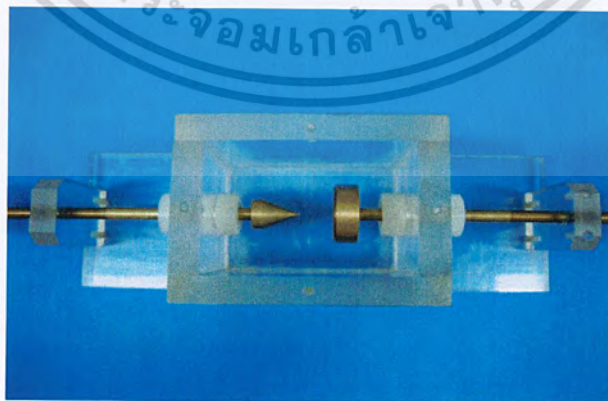
#### 3.6.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณการดีสชาร์จบางส่วน (PD Source)

แหล่งกำเนิดสัญญาณดีสชาร์จบางส่วน (PD Source) เป็นส่วนที่จำลองขึ้นแทนอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกิดการดีสชาร์จ โดยส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เกิดการดีสชาร์จนั้นจะพบในพวกหม้อแปลงและสายเคเบิล ซึ่งโดยธรรมชาติของชนิดการดีสชาร์จแบ่งเป็น 4 ชนิด ดังนั้นแล้วในการทดลองนี้จึงมีชนิดของแหล่งกำเนิดสัญญาณการดีสชาร์จบางส่วนทั้ง 4 ชนิดคือ

- 1) โคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง (Highvolt-electrode Corona Discharge)
- 2) โคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงต่ำ (Ground-electrode Corona Discharge)
- 3) ดีสชาร์จบางส่วนในโพรงอากาศ (Internal Discharge)
- 4) ดีสชาร์จบางส่วนตามผิว (Surface Discharge)

- 1) แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงสูง (Highvolt-electrode Corona Discharge)

โดยด้านปลายแหลมของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะต่อเข้ากับด้านแรงสูงของระบบไฟฟ้าส่วนด้านกราวด์ของระบบไฟฟ้าจะต่อเข้ากับด้านเพลทของแหล่งกำเนิดสัญญาณแสดงดังรูป

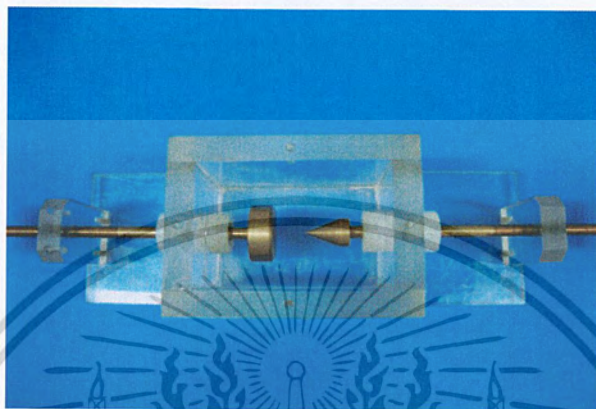


รูปที่ 3.8 แหล่งกำเนิดสัญญาณการดีสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบโคโรนาดีสชาร์จด้านกราวด์ (Ground-electrode Corona Discharge)

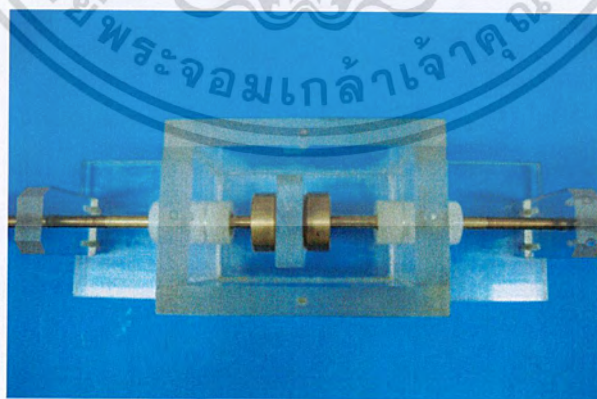
โดยด้านปลายแหลมของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะต่อเข้ากับด้านกราวด์ของระบบไฟฟ้าในส่วนด้านเพลทของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะต่อเข้ากับด้านแรงสูงของระบบไฟฟ้าแสดงดังรูป



รูปที่ 3.9 แหล่งกำเนิดสัญญาณการดีสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาด้านกราวด์

3) แหล่งกำเนิดสัญญาณการดีสชาร์จบางส่วนแบบภายในโพรงอากาศ (Internal Discharge)

โดยแหล่งกำเนิดดีสชาร์จบางส่วนชนิดนี้จะประกอบด้วยด้านเพลททั้งสองด้านโดยจะต่อด้านเพลทด้านหนึ่งกับด้านไฟฟ้าแรงสูงส่วนเพลทอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับด้านกราวด์ของระบบไฟฟ้าแสดงดังรูป

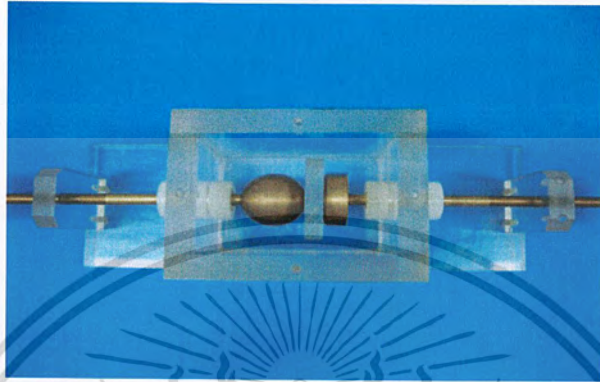


รูปที่ 3.10 แหล่งกำเนิดสัญญาณการดีสชาร์จบางส่วนแบบภายในโพรงอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4) แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิซชาร์จบางส่วนแบบตามผิว (Surface Discharge)

โดยอิเล็กทรอนิกส์ตรงกลของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะต่อเข้ากับด้านแรงสูงของระบบไฟฟ้าส่วนต้านเพลทของแหล่งกำเนิดสัญญาณจะต่อเข้ากับด้านกราวด์ของระบบไฟฟ้าซึ่งแสดงดังรูป



รูปที่ 3.11 แหล่งกำเนิดสัญญาณการดิซชาร์จบางส่วนแบบตามผิว

#### 3.6.2 หัวตรวจจับทางเสียง Acoustic Sensor

ในการทดลองเพื่อตรวจวัดสัญญาณการดิซชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นจำเป็นต้องมีตัวแปลงสัญญาณทางเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้หัวตรวจจับทางเสียงชนิดคือ Piezoelectric Sensor และ Vallen Sensor ซึ่งหัวตรวจจับทางเสียงทั้งสองชนิดจะมีย่านความถี่ในการตรวจจับที่ย่านต่างๆ

##### 1) หัวตรวจจับทางเสียง Piezoelectric Sensor

หัวตรวจจับทางเสียงมีหลายชนิด ซึ่งสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัดซึ่งการทดลองนี้ใช้หัวตรวจจับทางเสียงแบบ Piezoelectric sensor โดยคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อได้รับแรงกดเป็นหัวงๆ แล้วจะปล่อยพลังงานไฟฟ้าออกมาจึงสามารถนำไปประยุกต์วัดความดันที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาวัดได้สูงกว่า 100 kHz ข้อดีของหัวตรวจจับแบบ Piezoelectric คือ มีความไวสูง ได้สัญญาณเอาร์ทพุทที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linearity) และให้ผลตอบสนองในงานที่มีความถี่สูง (High Frequency Response) ได้ดีกว่าหัวตรวจจับแบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 หัวตรวจจับทางเสียง Piezoelectric Sensor PED1205T20

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของหัวตรวจจับ Piezoelectric ceramic ring

Model	Dimensions			Resonant Frequency (kHz)	Static Capacitance (pF)
	Outer Diameter (mm)	Inner Diameter (mm)	Thickness (mm)		
PED1205T20	10	5	2	$142 \pm 4$	$350 \pm 15\%$
PED1206T20	12	6	2	$116 \pm 3$	$600 \pm 15\%$
PED3813T63	38	12.7	6.3	$44 \pm 2$	$2000 \pm 15\%$

## 2) หัวตรวจจับทางเสียง Vallen Sensor

หัวตรวจจับทางเสียงแบบ Vallen Sensor ที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดความถี่ คือ 30 KHz และ 150 KHz ซึ่งหัวตรวจจับทางเสียงดังกล่าวมีความไวสูงในการตรวจจับมีวงจรรขยายสัญญาณภายในตัวของหัวตรวจจับเองคุณลักษณะดังกล่าวทำให้หัวตรวจจับทางเสียงเหมาะสมกับงานภาคสนามที่งานเกี่ยวกับงานที่มีความดันสูงและงานระบบท่อทางโครงสร้างอื่นๆ และงานเกี่ยวกับสายเคเบิลยาวๆ ได้



30 kHz



150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อมีเหตุเห็นประโยชน์ของเอกสารนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบ่งไปขายหรือแจกจ่ายแก่ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 Vallen Sensor

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติการใช้งานของหัวตรวจจذب Vallen Sensor

Sensor Model	Frequency Range/KHz	Case	Temperature Range/C	Capacity In pF	Comments
VSC30-V	25-80	V	-5 to +85	140	Flat response
VA30-SI-40dB	25-80	SI	-5 to +85	-	Integral preamp 40dB
VA30-SIC-34/40/46dB	25-80	SI	-5 to +85	-	Integral preamp 30/40/46dB
VS45-H	20-450	H	-20 to +100	270	Multi purpose
VS75-V	30-120	V	-5 to +85	140	Resonance at 75 KHz
VS75-SI-40dB	30-120	SI	-5 to +85	-	Integral preamp 40dB
VS75-SIC-34/40/46dB	30-120	SI	-5 to +85	-	Integral preamp 30/40/46dB
VS150-M	100-450	M	-50 to +100	350	Resonance at 150 KHz
VS150-L	100-450	L	-50 to +100	350	Full metal case Contact face not isolated
VS150-RIC	100-450	R	-40 to +85	-	Integral preamp 34dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.3 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope Tektronix)

ออสซิลโลสโคปจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากหัวตรวจจับทางเสียงเพื่อมาแสดงผลของรูปคลื่นสัญญาณและเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ถูกบันทึกไปทำการวิเคราะห์ต่อไปในส่วนของการทดลองนี้ใช้ออสซิลโลสโคป รุ่น Tektronix 4 channel DPO4054 Series ซึ่งเป็นออสซิลโลสโคปที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัลพร้อมกันซึ่งมีข้อมูลจำเพาะดังนี้

- Bandwidth 500 MHz
- 4 Channels
- Sample Rates Up to 5 GS/s on All Channels
- 10 Megasample Record Length on All Channels
- 3,700 wfms/s Maximum Waveform Capture Rate

โดยอุปกรณ์แสดงดังรูป

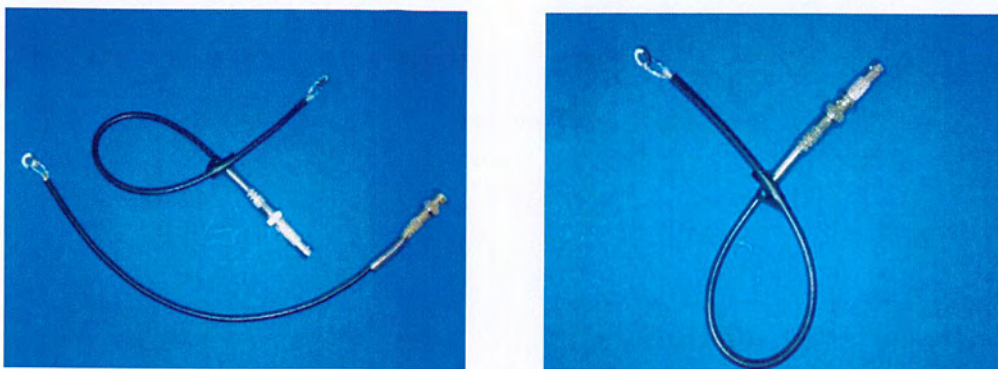


รูปที่ 3.14 ออสซิลโลสโคป Tektronix DPO4054

### 3.6.4 สายตัวนำสัญญาณและหัวต่อสัญญาณ BNC

ในการส่งสัญญาณจากหัวตรวจจับทางเสียงผ่านไปยังออสซิลโลสโคปนั้นจำเป็นต้องมีสายนำสัญญาณที่ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณโดยสายสัญญาณที่ใช้ในการทดลองนั้นมีค่าอิมพีแดนซ์  $50 \Omega$  และเนื่องจากสายสัญญาณไม่สามารถต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปได้โดยตรงจำเป็นต้องมีหัวต่อสัญญาณระหว่างสายสัญญาณโดยการต่อสายสัญญาณเข้ากับหัวตรวจจับจะปลดปล่อยสายสัญญาณทั้งสองข้าง ชั้นแรกคือ สายกราวด์ ส่วนชั้นในสุดคือ สายตัวนำ เราจะนำสายทั้งสองเส้นนี้มาทำการต่อเข้ากับหัวตรวจจับทั้งสองด้านจากนั้นปล่อยสายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับหัวต่อ BNC โดยนำสายกราวด์และสายตัวนำที่แยกออกมาจากอีกปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับฐานและรูรับสัญญาณของหัว BNC ลักษณะของสายสัญญาณและการต่อหัวต่อ BNC แสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 สายนำสัญญาณและหัวต่อสัญญาณ BNC

### 3.6.5 กล่องทรงลูกบาศก์

ในการติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียงนั้นไม่สามารถที่จะติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียงเข้ากับแหล่งกำเนิดสัญญาณการดิซาร์จบางส่วนได้โดยตรงเพราะอาจเกิดอันตรายกับหัวตรวจจับทางเสียงได้ ดังนั้นแล้วจำเป็นต้องติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียงกับกล่องทรงลูกบาศก์โดยภายในกล่องลูกบาศก์จะวางแหล่งกำเนิดสัญญาณการดิซาร์จบางส่วนไว้ภายในและติดหัวตรวจจับทางเสียงบริเวณผิวด้านนอกของกล่องทรงลูกบาศก์ขนาด 60 cm \* 60 cm \* 60 cm เนื่องจากเป็นรูปทรงดังกล่าวซึ่งเราสามารถติดหัวตรวจจับที่พิกัดต่างๆได้เพื่อหาตำแหน่งของสัญญาณดิซาร์จแล้วยังสามารถเลื่อนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณดิซาร์จบางส่วนได้อีกด้วย โดยกล่องทรงลูกบาศก์แสดงดังรูป



รูปที่ 3.16 กล่องทรงลูกบาศก์ขนาด 60 cm \* 60 cm \* 60 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.6 หม้อแปลงทดสอบ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุดต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มีชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม โดยหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบขนาด 460 V, 75KV @ 40KVA FREQ: 50/60 Hz จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.17 หม้อแปลงทดสอบ

### 3.6.7 โวลต์เตจดีไวเดอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหารแรงดันซึ่งในการทดสอบนั้นมีอัตราส่วนเท่ากับ 980 : 1 มีลักษณะดังรูป



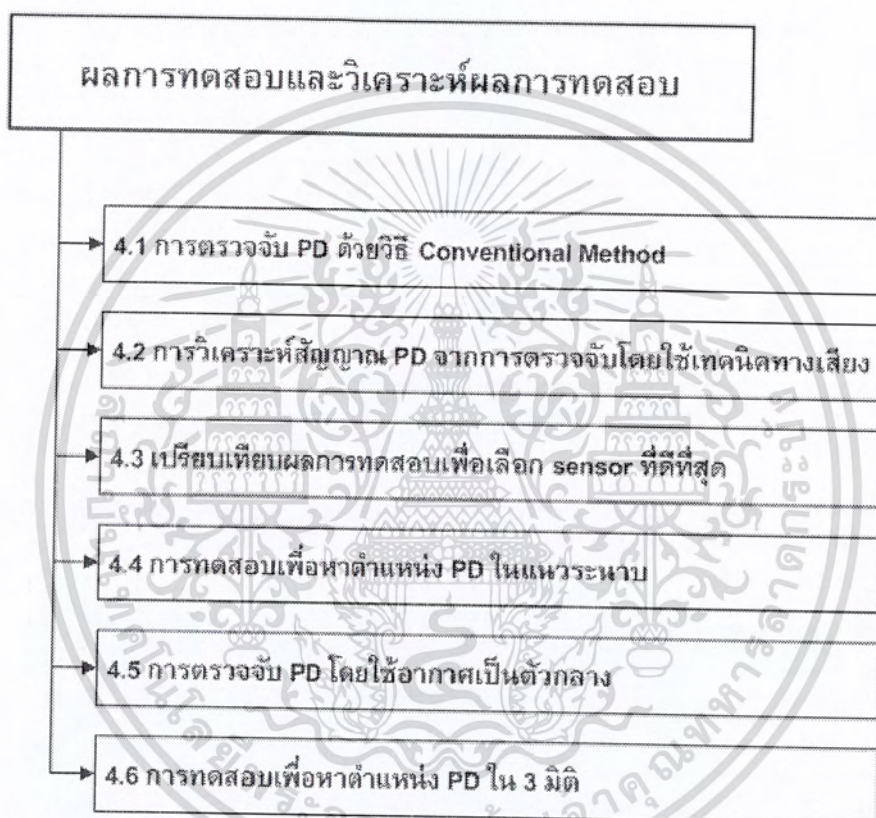
รูปที่ 3.18 โวลต์เตจดีไวเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในส่วนของการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงในบทที่ 4 จะแสดงให้เห็นเนื้อหาซึ่งแบ่งออกเป็น 6 หัวข้อใหญ่ๆ ด้วยกัน ดังแสดงให้เห็นในแผนภาพรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังเนื้อหาในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี Conventional Method

จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อหาขนาดของแรงดันเริ่มเกิดและค่าดิสชาร์จของสัญญาณ PD ชนิดต่างๆ

สภาพบรรยากาศการทดลอง

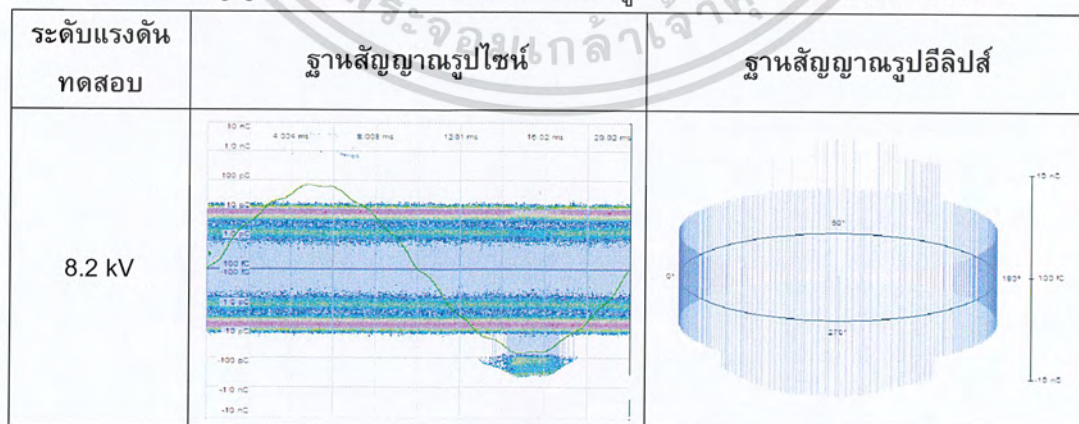
อุณหภูมิ	28 °C	ความชื้นสัมพัทธ์	59 %
ความดันบรรยากาศ	764 mmHg	ความชื้นสมบูรณ์	16 gm <sup>-3</sup>

**ตารางที่ 4.1** สรุปผลการทดสอบการตรวจจับ PD ด้วยวิธี Conventional method

ชนิดของ PD	ระดับแรงดันทดสอบ (kV)	Inception Voltage (kV)	Extinction Voltage (kV)	ค่าดิสชาร์จ (pC)	Background noise (fC)
โคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง	8.2	6.817	6.081	450	893.6
โคโรนาดิสชาร์จทางด้านกราวด์	10.6	8.365	8.068	180	884.3
ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ	11.2	10.760	8.356	442	865.8
ดิสชาร์จตามผิว	9.4	8.523	5.851	829	867.2

##### 4.1.1 ผลการทดสอบแบบโคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง

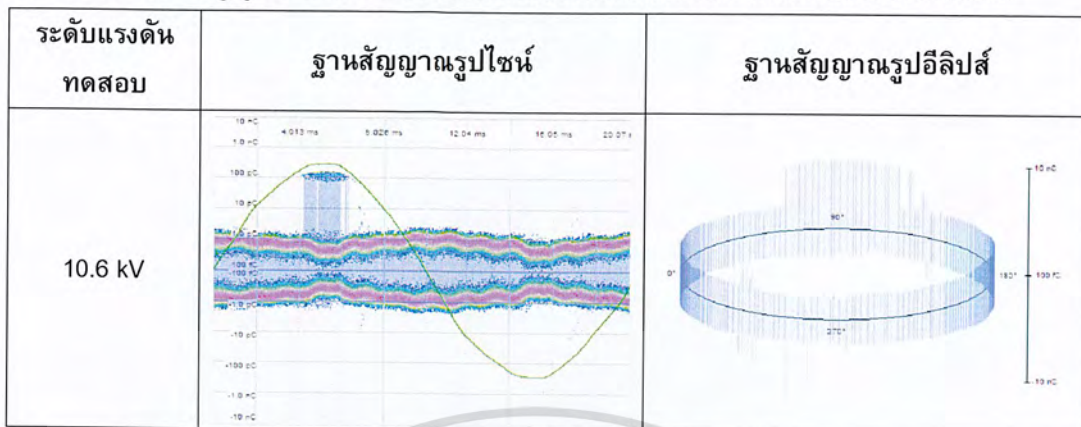
**ตารางที่ 4.2** สัญญาณโคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูงด้วยวิธี Conventional Method



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

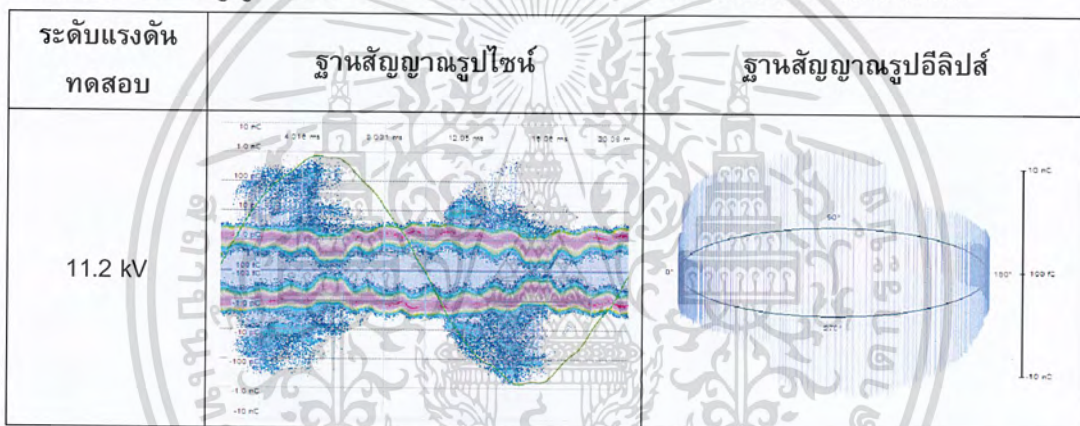
4.1.2 ผลการทดสอบแบบโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์

ตารางที่ 4.3 สัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์ด้วยวิธี Conventional Method



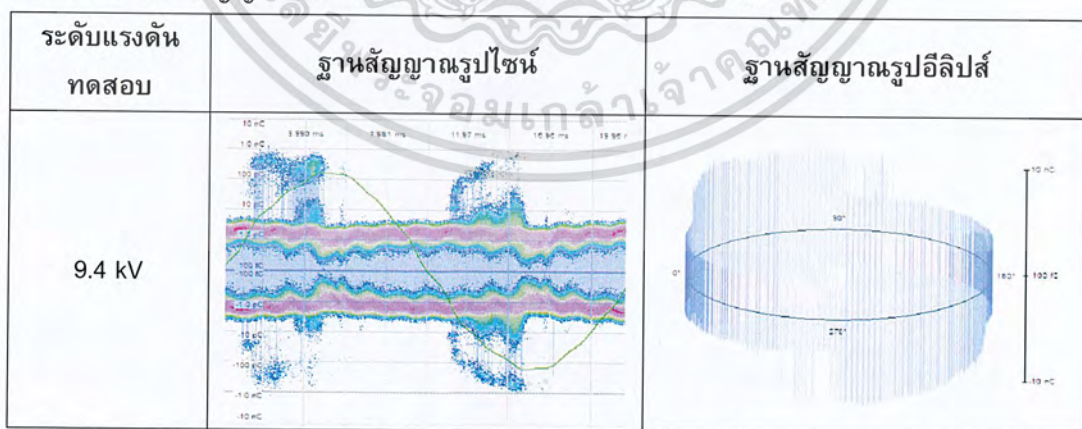
4.1.3 ผลการทดสอบแบบดีสชาร์จภายในโพรงอากาศ

ตารางที่ 4.4 สัญญาณดีสชาร์จภายในโพรงอากาศด้วยวิธี Conventional Method



4.1.4 ผลการทดสอบแบบดีสชาร์จตามผิว

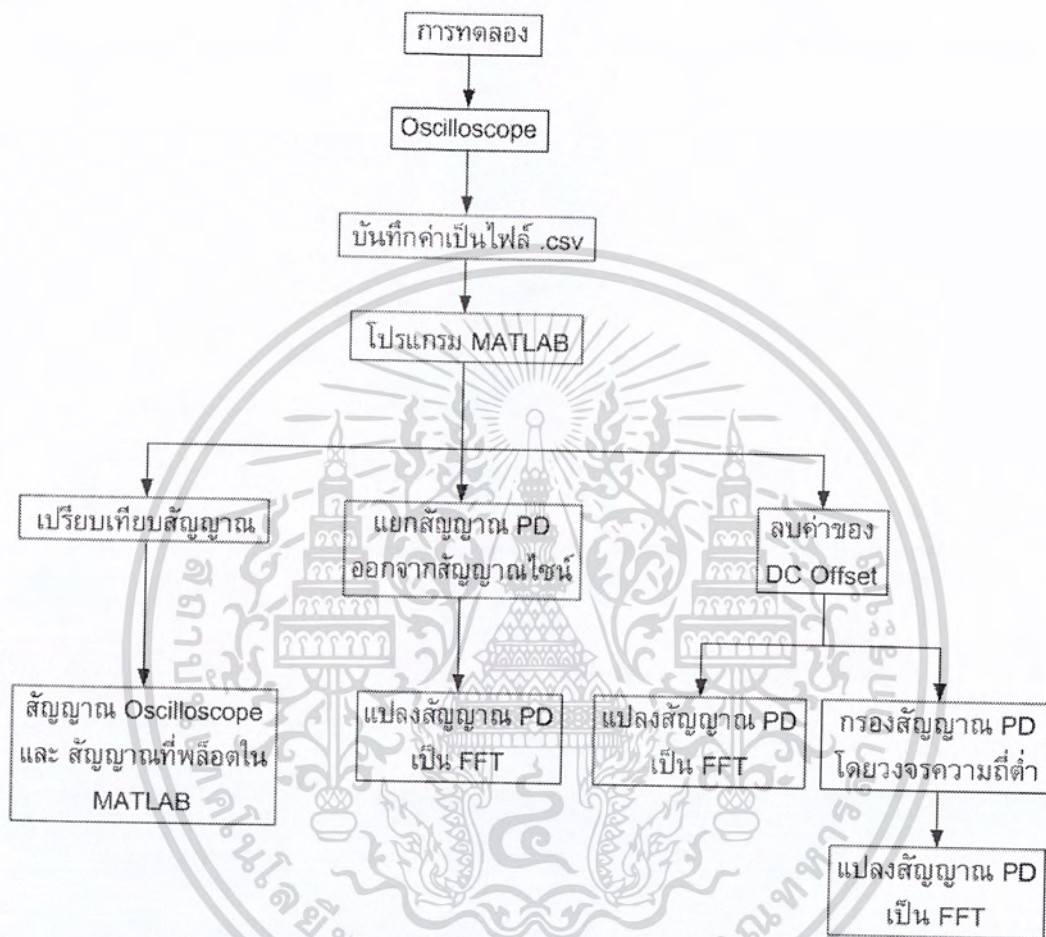
ตารางที่ 4.5 สัญญาณดีสชาร์จตามผิวด้วยวิธี Conventional Method



จากผลการทดสอบในส่วนของชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD แบบดั้งเดิม (Conventional Method) จะเป็นผลที่นำไปใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบของชุดอุปกรณ์ตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียง ซึ่งจะแสดงวิธีการตรวจจับและวิเคราะห์ผลการทดสอบในหัวข้อเอกสารต่อไป เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การวิเคราะห์สัญญาณ PD จากการตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง

การตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียงจะจับสัญญาณโดย Oscilloscope แล้วเก็บผลในรูปแบบไฟล์รูปภาพและไฟล์ข้อมูลเป็นไฟล์ .csv ซึ่งจะนำข้อมูลที่เป็นไฟล์ .csv มาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.2 แผนผังการวิเคราะห์สัญญาณ PD จากการตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง

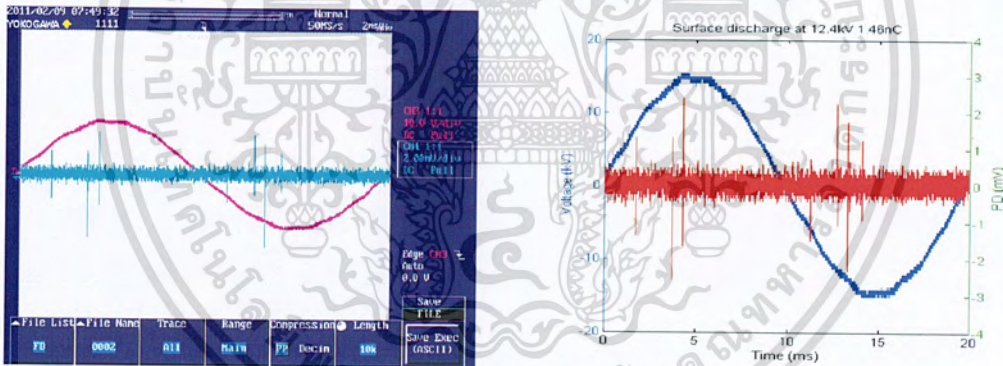
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนที่นำผลที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่บันทึกมาจาก Oscilloscope ที่เป็นไฟล์รูปภาพว่ามีความเหมือนกันกับผลที่วัดได้จริง โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

เมื่อได้ไฟล์ .csv จาก Oscilloscope มาแล้วจะนำมาพล็อตกราฟโดยส่วนสำคัญจะต้องทราบค่า Sampling rate ของตัว Oscilloscope และจำนวนของข้อมูลทั้งหมดในการทดสอบ ซึ่งถ้าหากว่าพล็อตข้อมูลที่วัดได้จาก Oscilloscope เรายุ่่นกราฟที่ได้จะไม่เหมือนกับผลที่ได้จาก Oscilloscope ที่แกนนอนจะเป็นค่าของตัวเลขเชิงเวลา แต่การพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB แกนเวลาจะใช้ผลของตำแหน่งมาเป็นตัวพล็อต ดังนั้นจึงต้องหาค่าของเวลาที่จะนำมาพล็อตในแกนนอนจากค่าของ Sampling rate และดูตำแหน่งทั้งหมดเพื่อทราบค่าของ Time interval แล้วหาค่าของเวลาจากสมการ

$$T = nT_s \quad \text{เมื่อ} \quad T_s = \frac{1}{f_s}$$

ดังนั้นเราจะได้ค่าเวลาที่แท้จริงในการพล็อตกราฟออกมาจากค่า  $T$  แล้วนำไปพล็อตในแกนเวลาก็จะได้รูปสัญญาณเหมือนกับที่วัดได้ใน Oscilloscope ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.2



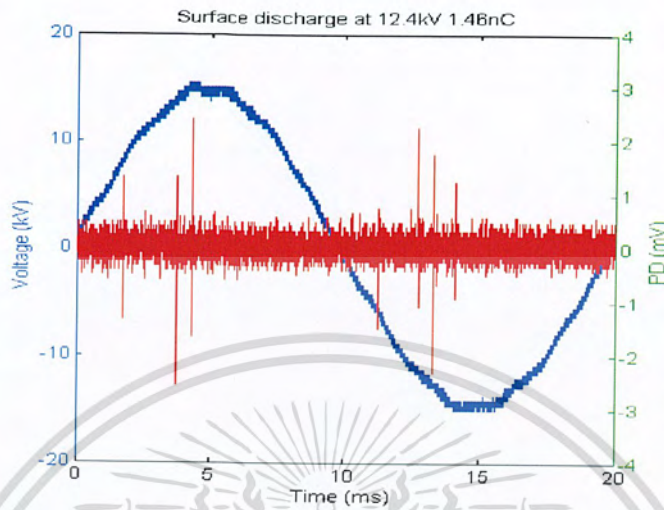
สัญญาณจาก Oscilloscope

สัญญาณจากการพล็อตใน MATLAB

**รูปที่ 4.3** ผลของสัญญาณที่ได้โดยการแปลงค่า Time domain เทียบกับสัญญาณที่ได้จาก Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

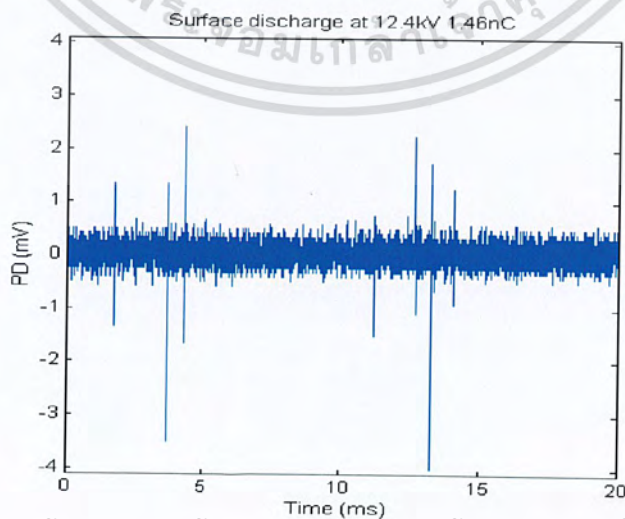
จากรูปที่ 4.2 เมื่อได้รูปสัญญาณที่มีลักษณะเหมือนกันผลที่ได้จาก Oscilloscope แล้วจะแยกสัญญาณที่จะนำมาใช้คือ เป็นรูปคลื่นเต็มคลื่นหนึ่งลูกคลื่น ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดันทดสอบและสัญญาณ PD ที่แรงดันทดสอบ 12.4 kV

ขั้นตอนที่ 2 สัญญาณจะมีด้วยกัน 2 ส่วนคือ สัญญาณแรงดันทดสอบกับสัญญาณ PD ในขั้นตอนนี้จะทำการแยกสัญญาณ PD แล้วนำไปแปลงเป็น FFT เพื่อดูช่วงของความถี่ที่มีอยู่ในสัญญาณ เพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าสัญญาณ PD มีความถี่ในช่วงใดบ้างและช่วงใดเป็นสัญญาณ PD ช่วงใดเป็นสัญญาณรบกวน โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

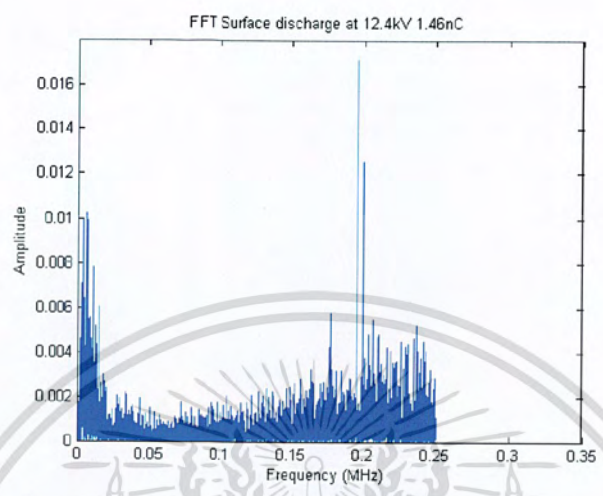
เมื่อได้รูปสัญญาณที่ต้องการ จากรูปที่ 4.3 ทำการแยกส่วนของ PD ออกมาเพียงส่วนเดียวเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่มีเหตุใดที่ตนเองเฝ้าและต้องอยู่เบื้องหลังเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

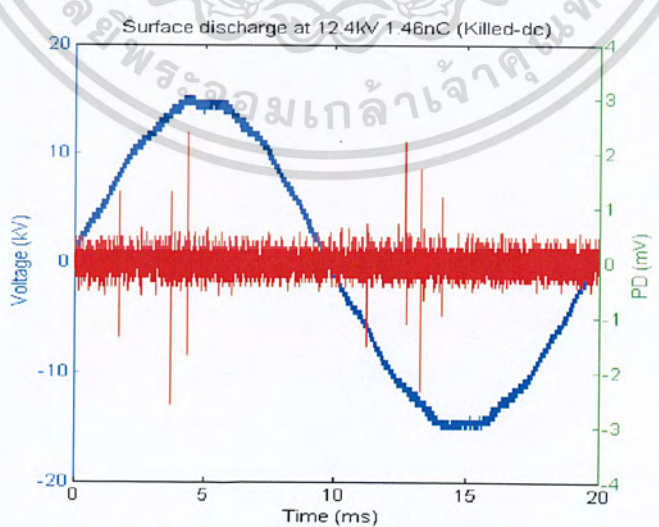
รูปที่ 4.5 สัญญาณ PD ที่แรงดันทดสอบ 12.4 kV

นำสัญญาณ PD ที่ได้จากรูปที่ 4.4 ไปแปลง FFT เพื่อดูสัญญาณ PD ว่าประกอบไปด้วยความถี่ใดบ้าง การดูองค์ประกอบความถี่เป็นการบอกถึงช่วงของความถี่ที่เกิด PD และดูว่าผลของสัญญาณรบกวนเกิดในช่วงความถี่เท่าไร ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 FFT ของสัญญาณ PD ที่แรงดันทดสอบ 12.4 KV

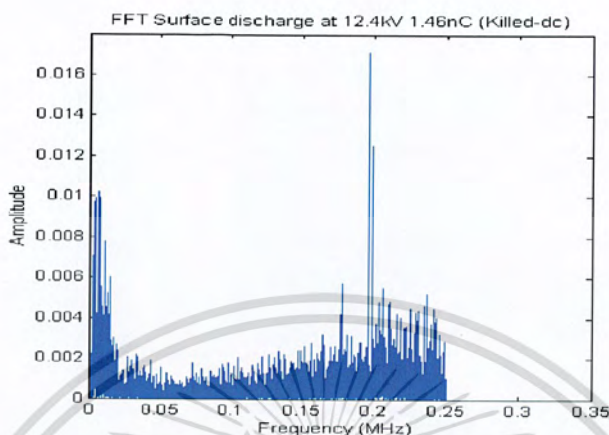
ขั้นตอนที่ 3 จากผลของ Oscilloscope จะมีผลของ DC Offset ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดันในสัญญาณที่วัดได้จาก Oscilloscope โดยถ้าหากว่าไม่มีการลบค่าของ DC Offset ออกจะทำให้ค่าของสัญญาณ PD ที่วัดได้มีค่าผิดเพี้ยน ในขั้นตอนนี้จะนำสัญญาณมาแก้เรื่องผลของ DC Offset โดยใช้โปรแกรม MATLAB ลบค่าของ DC Offset ออก เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันทดสอบและสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset

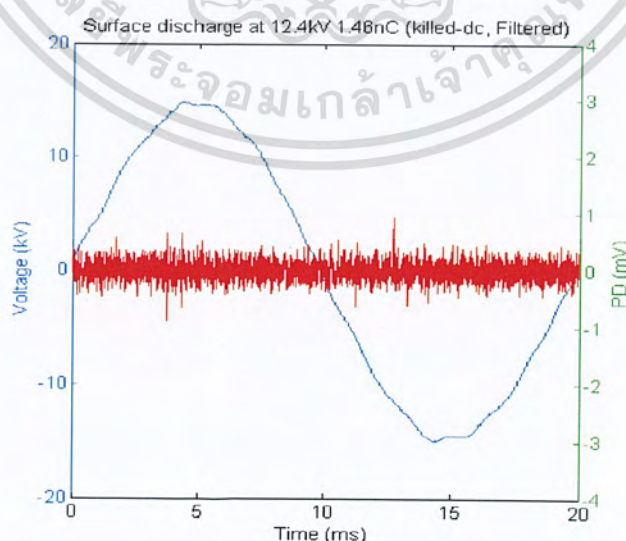
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 เป็นส่วนที่ต้องการดูผล FFT ของสัญญาณ PD ที่ถูกลบผลจาก DC Offset แล้วว่ามีลักษณะและผลแตกต่างหรือเปลี่ยนไปจากผล FFT ของสัญญาณ PD ที่ไม่ได้ถูกลบผลจาก DC Offset ทั้งนี้ผลที่ได้ในการแปลง FFT จะแสดงในรูปที่ 4.7



**รูปที่ 4.8** FFT ของสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset ที่แรงดันทดสอบ 12.4kV

ขั้นตอนที่ 5 เนื่องจากสัญญาณ PD มีผลของสัญญาณรบกวนดังนั้นต้องการกรองสัญญาณรบกวนออกโดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้โดยใช้ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งในการเลือกค่าความถี่คัตออฟเพื่อนำไปใส่ค่าในฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้เพื่อกรองสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสัญญาณ PD ถูกกรองให้หายออกไปโดยจะเลือกค่าความถี่คัตออฟ  $f_c$  ที่ความถี่ 1 MHz โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะแสดงผลในรูปที่ 4.8



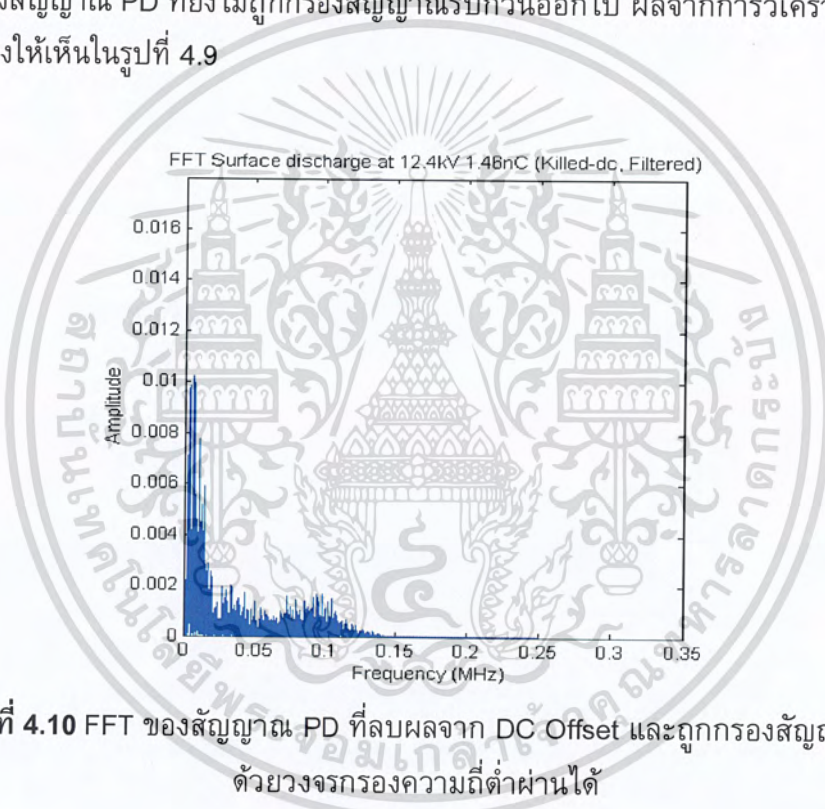
**รูปที่ 4.9** รูปสัญญาณแรงดันทดสอบและสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset โดยขั้นตอนการคำนวณที่กล่าวมาข้างต้น และถูกกรองสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้ในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณนั้นมีขนาดลักษณะที่ดีขึ้นสัญญาณรบกวนลดลง เมื่อเทียบจากรูปที่ 4.3 และ 4.6 ที่ยังไม่ได้ถูกรองสัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชันของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านได้ในโปรแกรม MATLAB และเพื่อความแน่ใจจะนำสัญญาณที่ได้นี้ไปแปลง FFT อีกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณรบกวนนั้นได้ถูกลบออกไปแล้วด้วยความถี่คัตออฟที่เรากำหนด

ขั้นตอนที่ 6 เป็นส่วนที่ตรวจสอบว่าผลของสัญญาณรบกวนนั้นได้ถูกลบออกไปแล้วจึงนำสัญญาณในรูปที่ 4.8 มาแปลง FFT เพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณที่ได้ประกอบด้วยความถี่ใดบ้างในสัญญาณ ทั้งนี้ผลของ FFT ที่ได้นั้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับที่กับผล FFT ของสัญญาณ PD ที่ยังไม่ได้ถูกรองสัญญาณรบกวนออกไป ผลจากการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.9



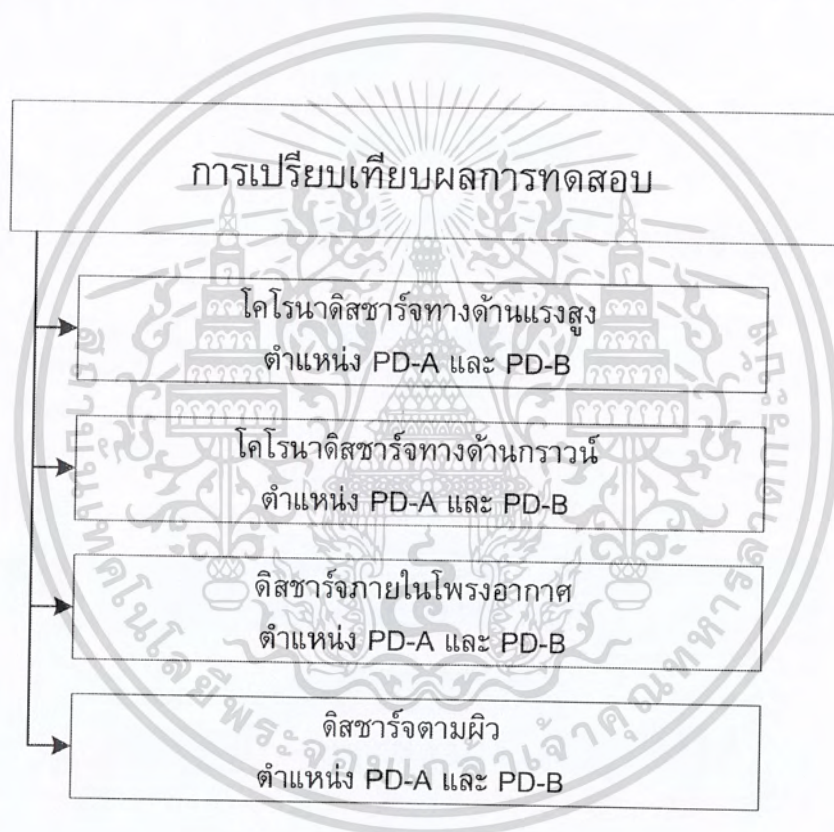
รูปที่ 4.10 FFT ของสัญญาณ PD ที่ลบผลจาก DC Offset และถูกรองสัญญาณด้วยวงจรรองความถี่ต่ำผ่านได้

จากผลที่ได้ในรูปที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.5 และ 4.7 ทำให้เห็นว่าสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4.9 นั้นจะไม่มีส่วนประกอบของความถี่ในช่วง 150 kHz ขึ้นไปเลยหรืออาจจะมีแต่น้อยมาก ทั้งนี้จากผลที่ได้นั้นจึงสามารถบอกได้ว่าสัญญาณรบกวนได้ถูกรองออกจากสัญญาณ PD แล้ว ดังนั้นสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4.9 จะเป็นสัญญาณที่สมบูรณ์แบบที่สุดในการที่จะนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อเลือก Sensor ที่ดีที่สุด

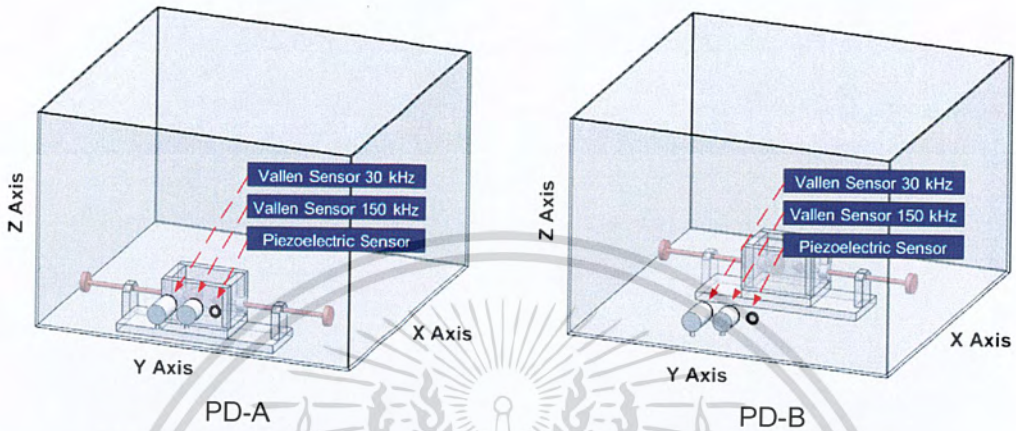
การตรวจจับ PD โดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นมีตำแหน่งในการติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียงหลายตำแหน่ง ด้วยขีดจำกัดของ Sensor แต่ละชนิดบางครั้งในตำแหน่งที่แหล่งกำเนิด PD อยู่ไกลจากหัวตรวจจับมากเกินไปกว่าความสามารถในการตรวจจับสัญญาณของ Sensor ทำให้สัญญาณที่ได้มีขนาดเล็กหรือไม่สามารถตรวจจับสัญญาณอะไรได้เลย จึงเป็นสาเหตุให้ต้องทำการทดสอบเพื่อเลือกชนิดของ Sensor ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานต่อไป ตามแผนผังการเปรียบเทียบผลการทดสอบดังรูปที่ 4.10 โดยทำการทดสอบวางอุปกรณ์ทดสอบห่างจากหัวตรวจจับที่ระยะตำแหน่ง PD-A และ PD-B ดังรูปที่ 4.11 และทำการตรวจจับโดยใช้ Piezoelectric sensor, Vallen sensor 30 kHz และ Vallen sensor 150 kHz พร้อมกัน



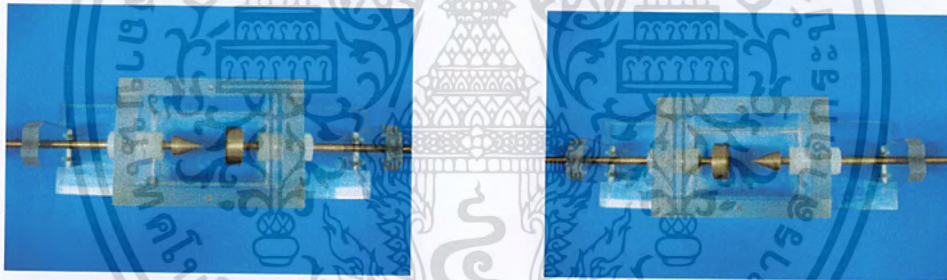
รูปที่ 4.11 แผนผังการเปรียบเทียบผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งสำหรับเปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อเลือก Sensor ที่ดีที่สุด  
การทดสอบนี้เราจะติดตั้งหัวตรวจจับ 3 ชนิด คือ Piezoelectric Sensor, Vallen Sensor 30 kHz และ Vallen Sensor 150 kHz โดยวาง PD Source ที่ตำแหน่ง PD-A และ PD-B ลักษณะดังรูปที่ 4.11

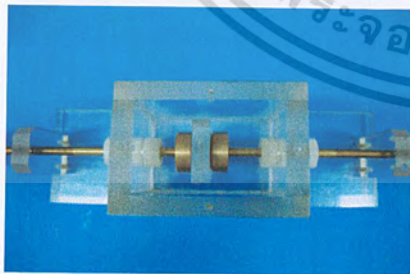


รูปที่ 4.12 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดสอบเพื่อเลือก Sensor ที่ดีที่สุด

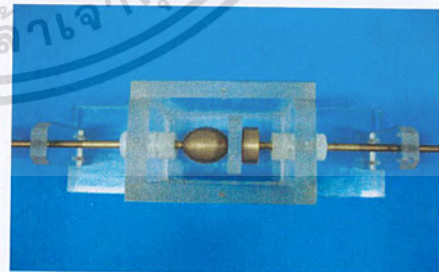


โคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง

โคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์



ดีสชาร์จภายในโพรงอากาศ

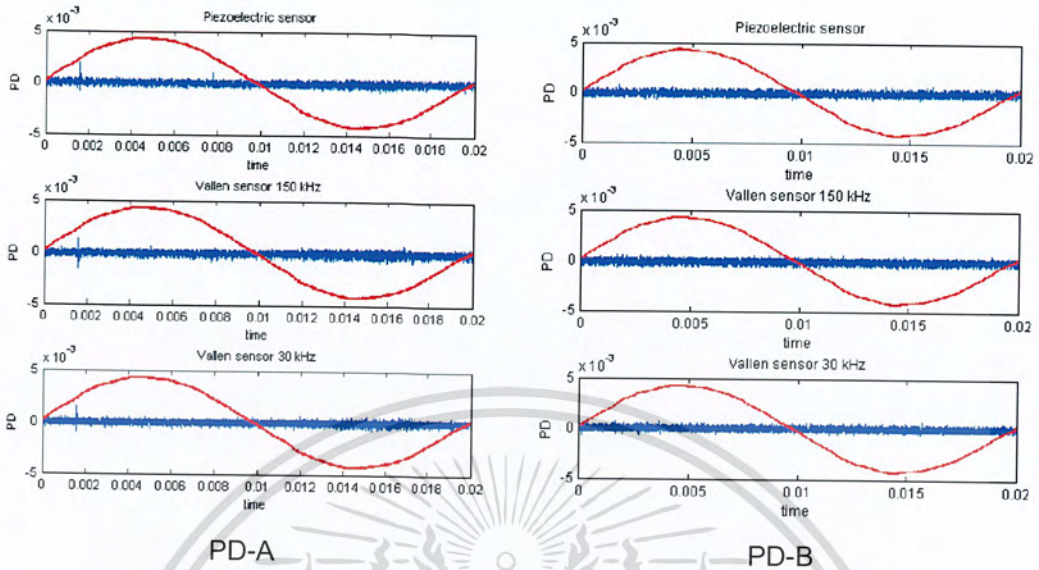


ดีสชาร์จตามผิว

รูปที่ 4.13 แหล่งกำเนิดดีสชาร์จบางส่วนชนิดต่างๆ

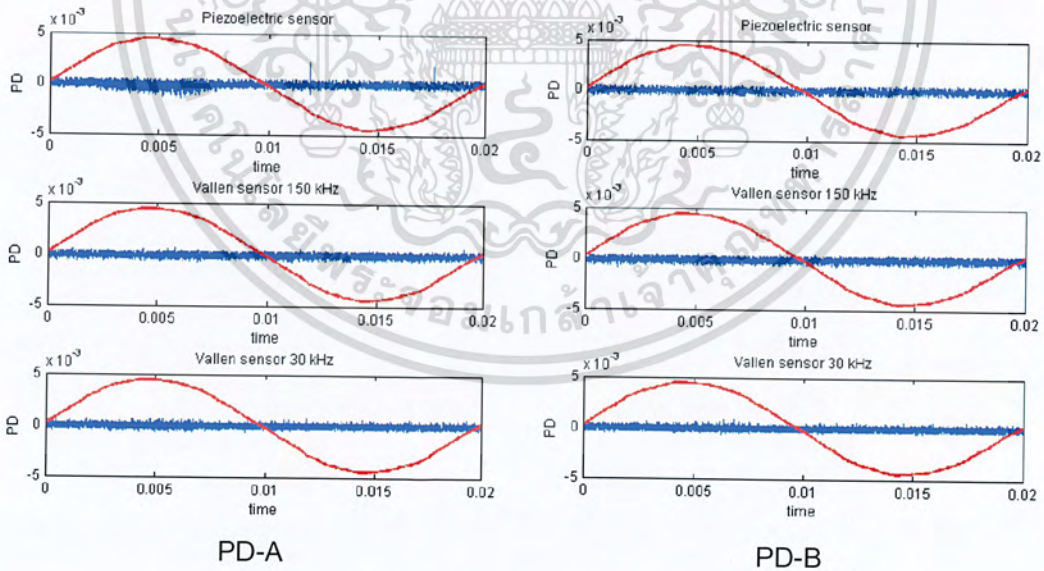
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.1 โครนาติสซาร์จทางด้านแรงสูง



รูปที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบแบบโครนาติสซาร์จด้านแรงสูง

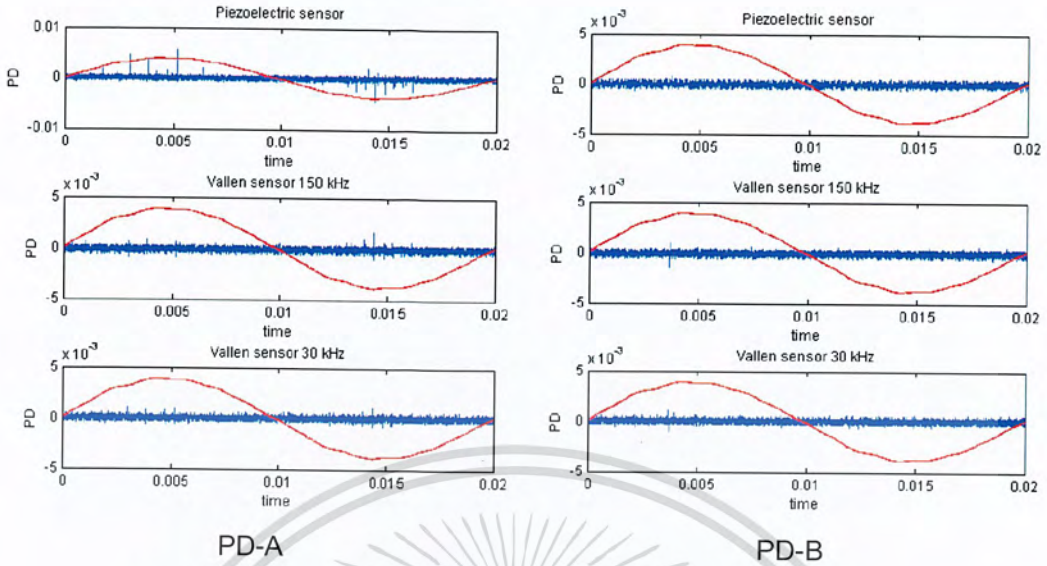
### 4.3.2 โครนาติสซาร์จทางด้านกราวด์



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบแบบโครนาติสซาร์จด้านกราวด์

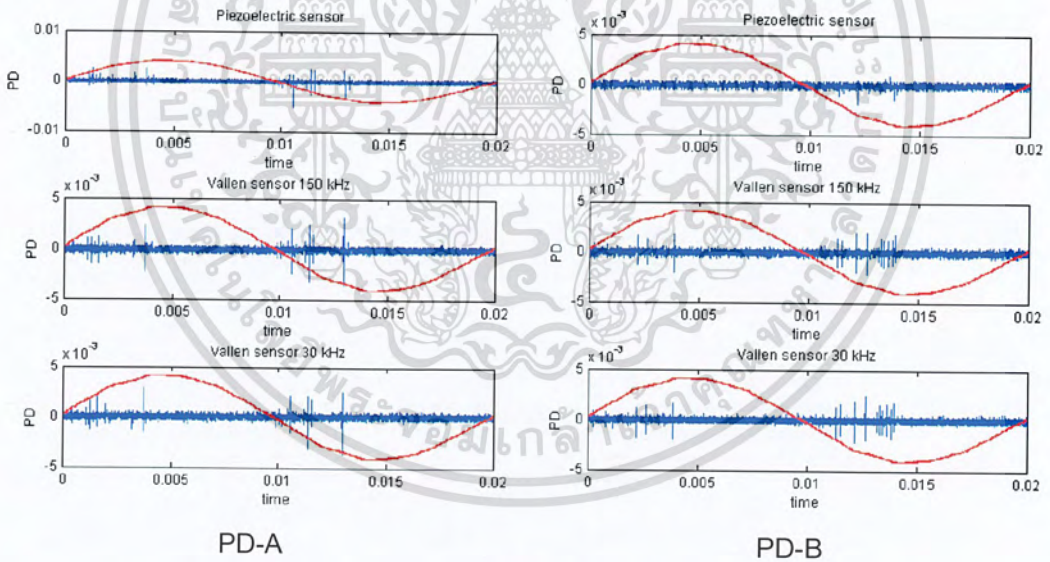
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 ดิสซาร์จภายในโพรงอากาศ



รูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบแบบดิสซาร์จภายในโพรงอากาศ

### 4.3.4 ดิสซาร์จตามผิว



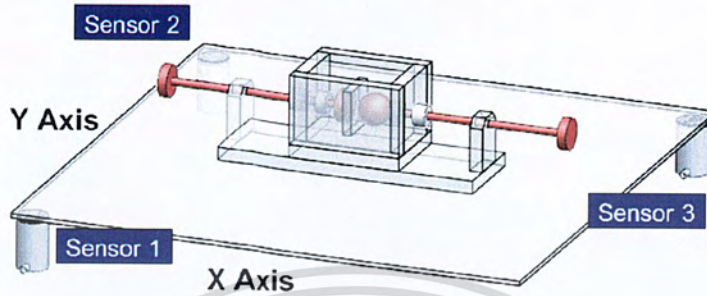
รูปที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบแบบดิสซาร์จตามผิว

จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3 ทำให้ทราบวาระยะติดตั้งหัวตรวจจับนั้นมีผลต่อการตรวจจับสัญญาณ PD โดยที่ระยะตำแหน่ง PD-A สัญญาณที่วัดได้นั้นจะมีขนาดสัญญาณ PD ใหญ่กว่าที่ระยะตำแหน่ง PD-B ซึ่งทำให้ต้องคำนึงถึงผลของระยะการติดตั้งหัวตรวจจับในการทดลองตรวจจับ PD เพื่อความถูกต้องในการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วนด้วย และจากการเปรียบเทียบใช้ Sensor ทั้ง 3 ตัว พบว่า Vallen Sensor 30 kHz สามารถตรวจจับ PD ได้ดีที่สุด สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแหวน

การติดตั้งสำหรับการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแหวน

การทดสอบนี้เราจะทำการติดตั้งหัวตรวจจับ Vallen Sensor 30 kHz 3 ตัวที่พิกัด  $(X_1, Y_1)$ ,  $(X_2, Y_2)$ ,  $(X_3, Y_3)$  ในแหวน ลักษณะดังรูปที่ 4.17

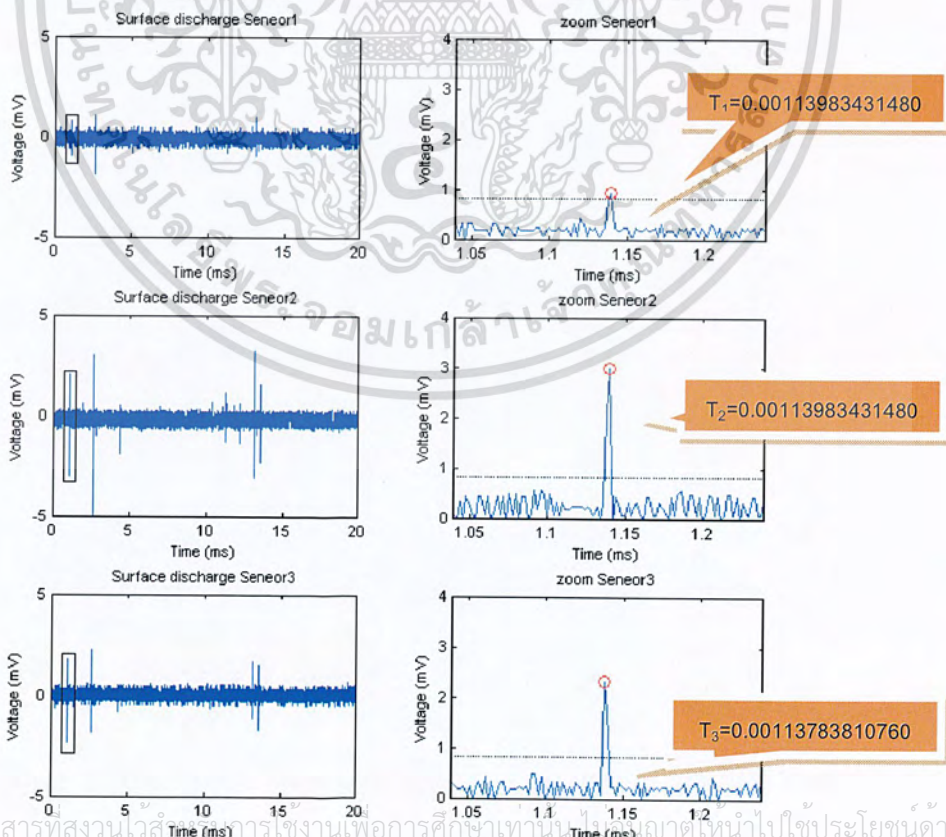


รูปที่ 4.18 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแหวน

การทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแหวน โดยใช้ของแข็งเป็นตัวกลางในการเดินทางของเสียงจะประยุกต์ใช้ทฤษฎีความเร็วเสียงและแนวคิดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ซึ่งแสดงผลการทดสอบให้เห็น 2 ตำแหน่ง ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 พิกัด PD Source (30,30)

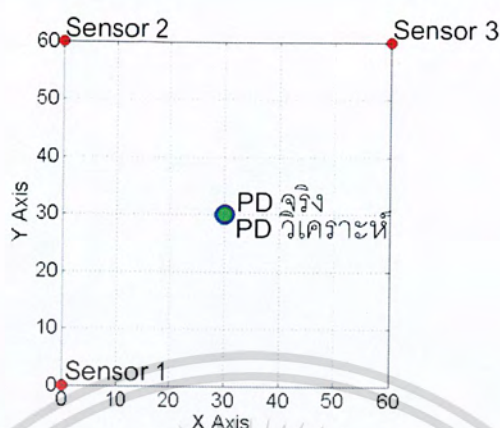
พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,0)$ ,  $S_2(0,60)$ ,  $S_3(60,60)$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 4.19 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิสรจาร์จบางส่วนทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

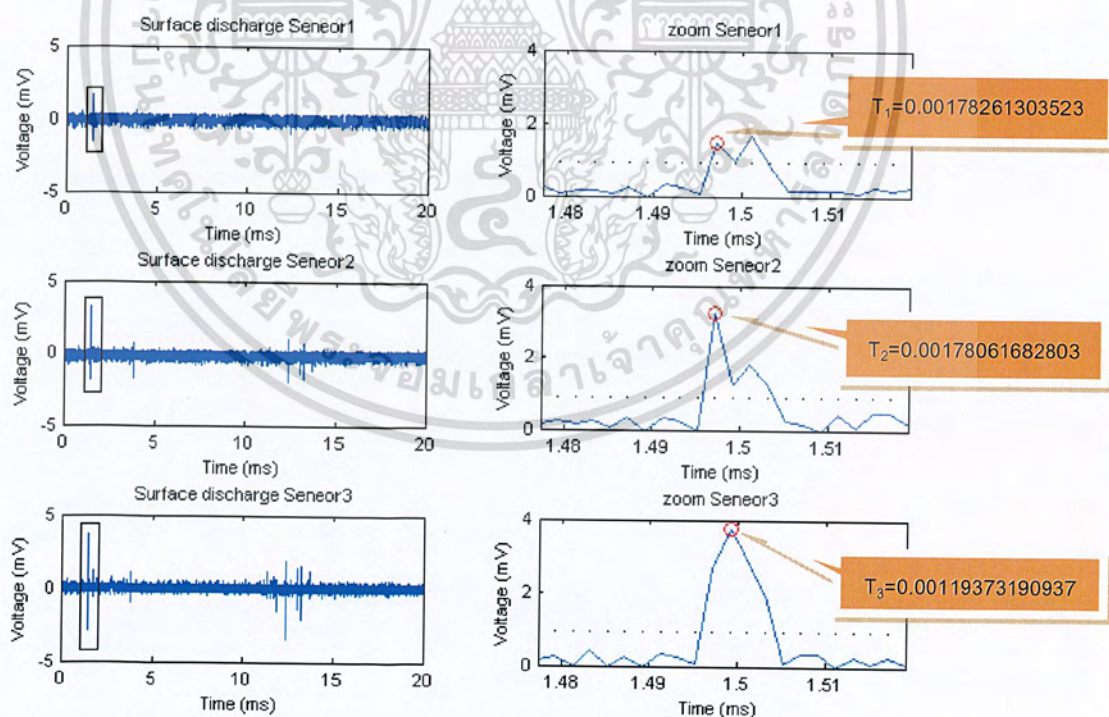
การคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซาร์จบางส่วน

ตำแหน่งที่ 2 พิกัด PD Source (60,30)

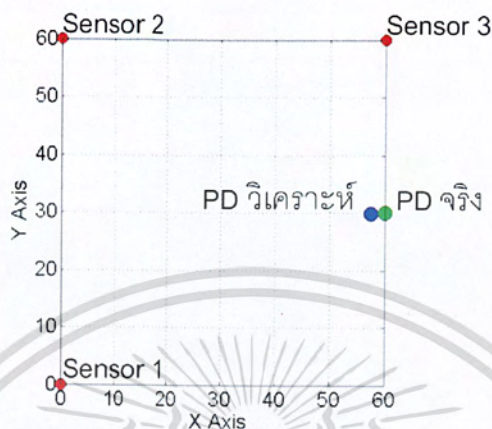
พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1$  (0,0) ,  $S_2$  (0,60) ,  $S_3$  (60,60)



รูปที่ 4.21 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิซาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิสซาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.22 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิสซาร์จบางส่วน

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ในแนวระนาบ

	ตำแหน่งจริง	ตำแหน่งที่วิเคราะห์	Error (%)
ตำแหน่งที่ 1	( 30 , 30 )	( 30.08 , 29.99 )	0.14
ตำแหน่งที่ 2	( 60 , 30 )	( 57.41 , 29.87 )	2.38

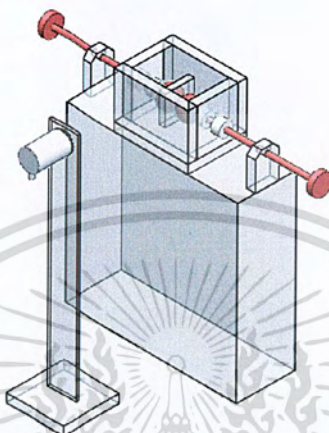
จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ในแนวระนาบได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิด PD จริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ :

#### 4.5 การตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง

การติดตั้งสำหรับการตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง

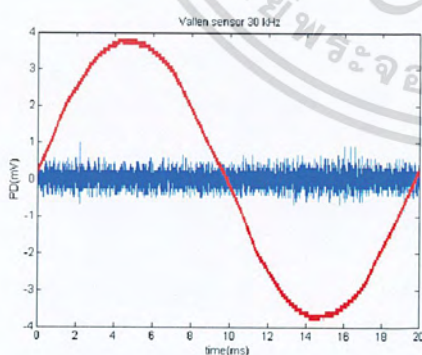
การทดสอบนี้เราจะติดตั้งหัวตรวจจับ Vallen Sensor 30 kHz ติดกับขาตั้งห่างจาก PD Source ประมาณ 20 cm. ลักษณะดังรูปที่ 4.22



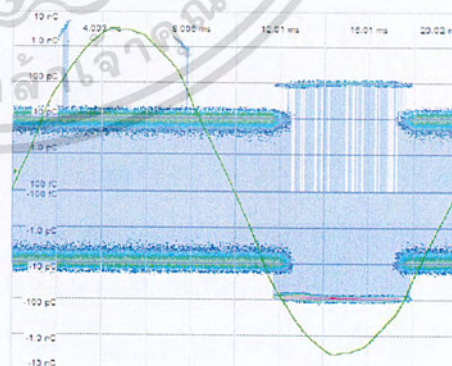
รูปที่ 4.23 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง

การตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางเป็นการทดสอบว่าคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิด PD สามารถเดินทางผ่านอากาศและหัวตรวจจับสามารถตรวจจับสัญญาณนั้นได้ เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติต่อไป

##### 4.5.1 โครนาดีสชาร์จทางด้านแรงสูง



Acoustic Emission Technique

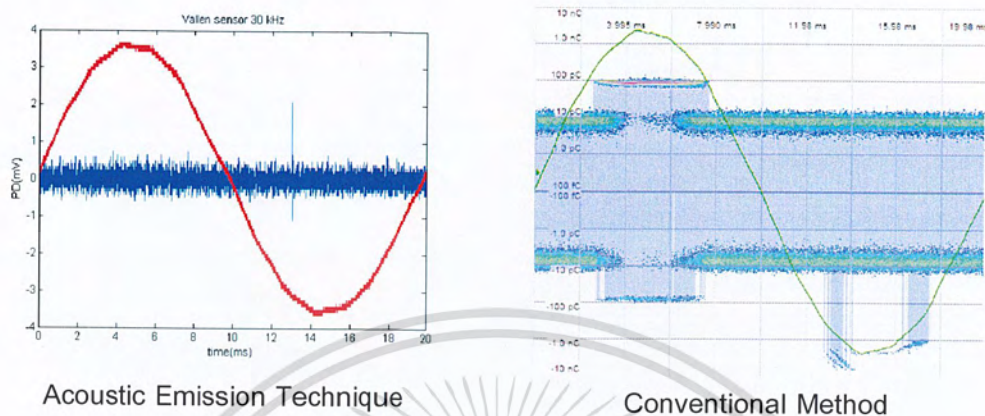


Conventional Method

รูปที่ 4.24 Corona Discharge HV

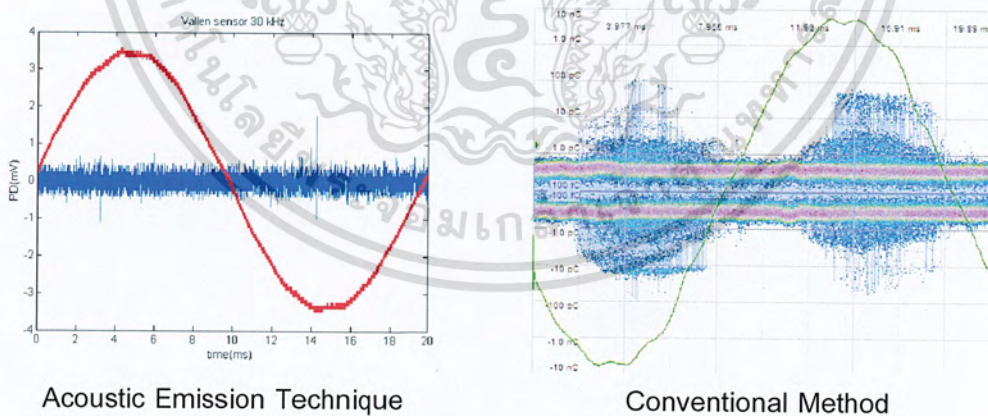
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 โครนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์



รูปที่ 4.25 Corona Discharge LV

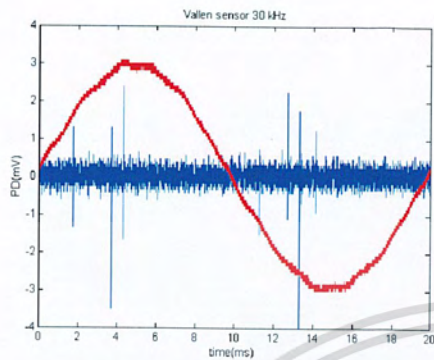
#### 4.5.3 ดิสชาร์จภายในโพรงอากาศ



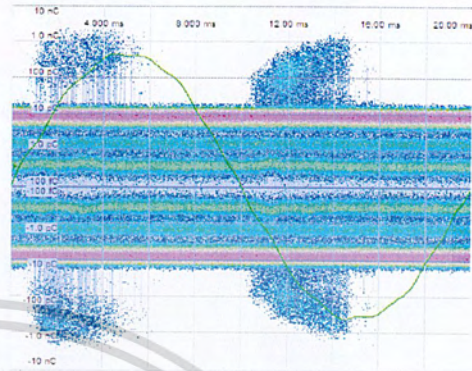
รูปที่ 4.26 Internal Discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 ดิสชาร์จตามผิว



Acoustic Emission Technique



Conventional Method

#### รูปที่ 4.27 Surface Discharge

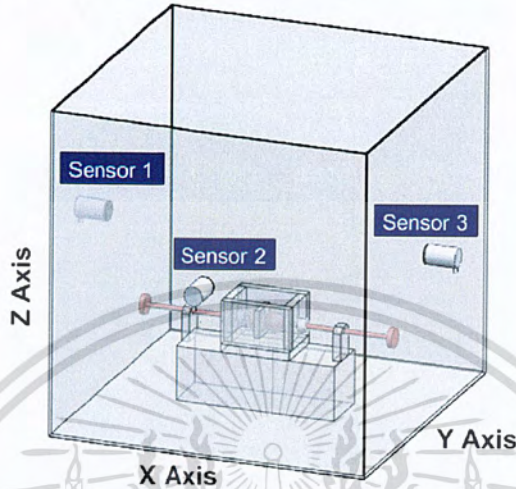
จากผลการทดสอบพบว่า Sensor สามารถตรวจจับคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิด PD ที่เดินทางผ่านอากาศได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจจับด้วยวิธี Conventional Method แล้วยังสามารถแยกประเภทของการเกิด PD ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ

การติดตั้งสำหรับการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ

การทดสอบนี้เราจะติดตั้งหัวตรวจจับ Vallen Sensor 30 kHz 3 ตัวที่พิกัด  $(X_1, Y_1, Z_1)$ ,  $(X_2, Y_2, Z_2)$ ,  $(X_3, Y_3, Z_3)$  ลักษณะดังรูปที่ 4.27

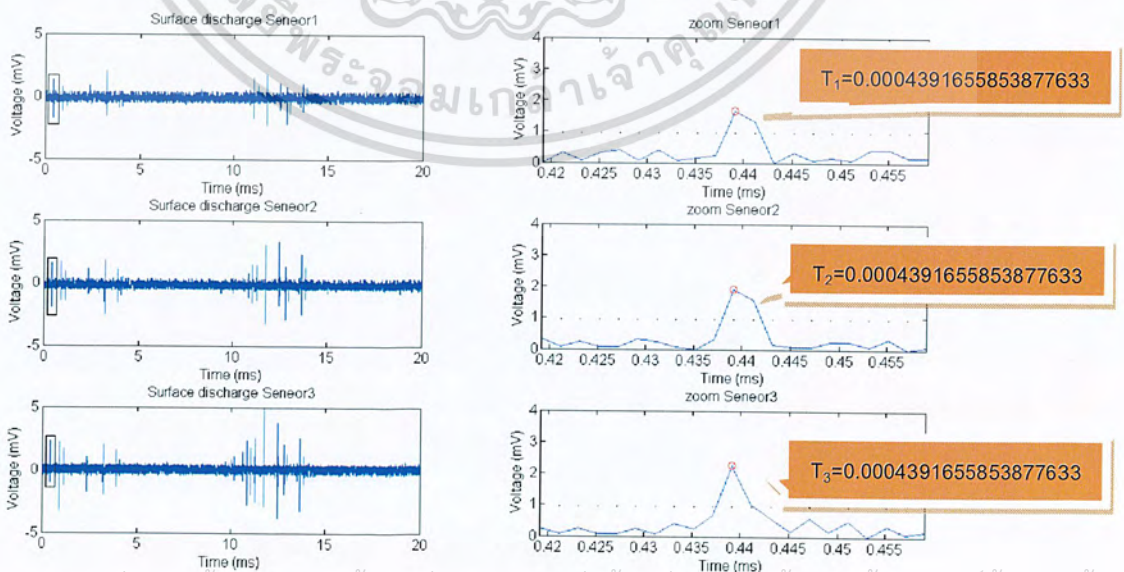


รูปที่ 4.28 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ

การทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ โดยใช้สมมติฐานที่ว่าเสียงใช้อากาศเป็นตัวกลางในการเดินทาง จะประยุกต์ใช้ทฤษฎีความเร็วเสียงและแนวคิดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ซึ่งแสดงผลการทดสอบให้เห็น 2 ตำแหน่ง ดังนี้

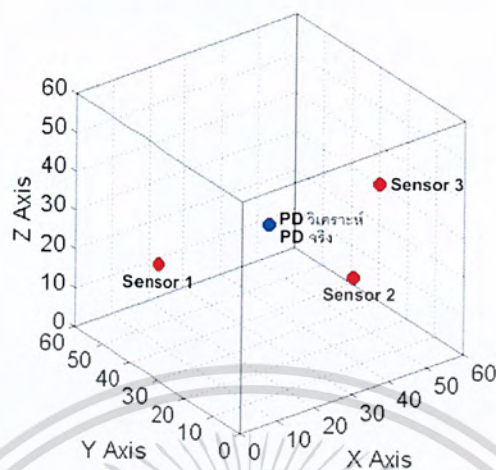
ตำแหน่งที่ 1 พิกัด PD Source (30,30,30)

พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,30,30)$   $S_2(30,0,30)$   $S_3(60,30,30)$

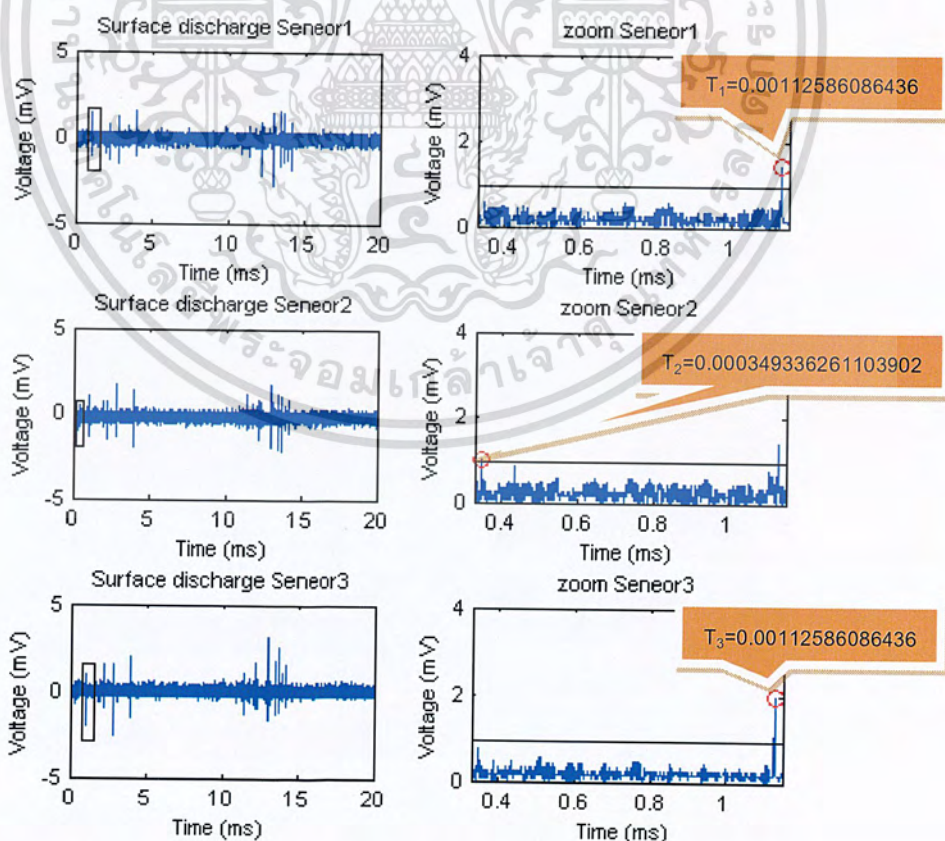


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4.29 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิสนาร์ดิจบางส่วน ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซชาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.24

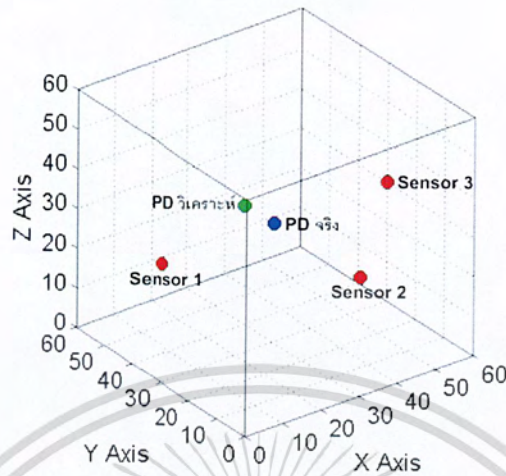


รูปที่ 4.30 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซชาร์จบางส่วน  
ตำแหน่งที่ 2 พิกัด PD Source (30,40,30)  
พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,30,30)$   $S_2(30,0,30)$   $S_3(60,30,30)$



รูปที่ 4.31 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิซชาร์จบางส่วน  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.32 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซาร์จบางส่วน

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่ง PD ใน 3 มิติ

	ตำแหน่งจริง	ตำแหน่งที่วิเคราะห์	Error (%)
ตำแหน่งที่ 1	( 30 , 30 , 30 )	( 30 , 30 , 30 )	0
ตำแหน่งที่ 2	( 30 , 40 , 30 )	( 30 , 29.998 , 30 )	8.34

จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ใน 3 มิติได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิด PD จริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่มากนัก ซึ่งผลของความคลาดเคลื่อนนั้น อาจเกิดจากการที่คลื่นเสียงเดินทางในตัวกลางที่เป็นอากาศได้ไม่ดีเท่าตัวกลางที่เป็นของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

จากการออกแบบการทดสอบการตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง เพื่อทำการวัดจำแนกชนิดของสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วน พบว่าเมื่อนำหัวตรวจจับทางเสียงทั้งสองชนิดคือ Piezoelectric Sensor และ Vallen Sensor มาติดตั้งที่พิกัดต่างๆ เพื่อตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนและตำแหน่งของแหล่งที่เกิดการดิสซาร์จบางส่วนปรากฏว่าหัวตรวจจับทางเสียงมีคุณสมบัติสามารถตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนได้จริง เมื่อนำผลตรวจจับดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงมาเปรียบเทียบกับ การตรวจจับดิสซาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิม (Conventional Method) นั้นได้ผลของสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนที่ใกล้เคียงกัน และสามารถสรุปผลการทดลองต่างๆ ได้ดังนี้

#### การทดลองที่ 1

จากการทดลองพบว่า การติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียง Vallen Sensor และ Piezoelectric Sensor ที่ตำแหน่งเดียวกันและแหล่งกำเนิด PD-A สามารถตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนได้ทั้งสองชนิดที่ปริมาณความเข้มของสัญญาณที่สูงระดับหนึ่งและเวลาที่จับได้ของสัญญาณที่ใช้ในการเดินทางจะใช้เวลาเร็วมาก ส่วนการติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียง Vallen Sensor และ Piezoelectric Sensor ที่ตำแหน่งเดียวกันและแหล่งกำเนิด PD-B พบว่า Piezoelectric Sensor ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้แต่ Vallen Sensor สามารถตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนได้แต่ระดับความเข้มของสัญญาณจะลดลงตามระยะทางที่แหล่งกำเนิด PD ห่างออกไปและเวลาที่จับได้ของสัญญาณที่ใช้ในการเดินทางจะใช้เวลามากกว่าที่ตำแหน่ง PD-A เพราะที่ตำแหน่งมีระยะทางในการเดินทางของคลื่นเสียงสั้นกว่านั่นเอง ดังนั้นจากการทดลองที่ 1 จึงเลือกหัวตรวจจับทางเสียง Vallen Sensor 30 KHz เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งสัญญาณดิสซาร์จบางส่วน

#### การทดลองที่ 2

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ในแนวระนาบ 2 มิติโดยใช้ของแข็ง (แผ่นพลาสติกอิวลิก) เป็นตัวกลางในการเดินทางของคลื่นเสียงหรือสัญญาณการดิสซาร์จบางส่วนได้และสามารถหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณบางส่วนได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิด PD จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 3

จากการทดลองพบว่าแหล่งกำเนิดสัญญาณ PD หรือคลื่นสัญญาณเสียงสามารถเคลื่อนที่ในตัวกลางผ่านอากาศได้และหัวตรวจจับทางเสียง Vallen Sensor สามารถจำแนกสัญญาณดิซาร์จบางส่วนแต่ละประเภทดังนี้

1. โครนาดิซาร์จด้านแรงสูง การเกิดดิซาร์จบางส่วนที่แสดงบนรูปคลื่นไซน์และบนฐานเวลารูปอิลิปสัญญาณดิซาร์จบางส่วนจะเกิดในช่วงมุมเฟส 90 องศา สำหรับการวัดแบบดั้งเดิม และเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงจะเกิดในช่วง 90 องศาเช่นเดียวกัน

2. โครนาดิซาร์จด้านกราวด์ การเกิดดิซาร์จบางส่วนที่แสดงบนรูปคลื่นไซน์และบนฐานเวลารูปอิลิปสัญญาณดิซาร์จบางส่วนจะเกิดในช่วงมุมเฟส 270 องศา สำหรับการวัดแบบดั้งเดิมและเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ ดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงจะเกิดในช่วง 270 องศาเช่นเดียวกัน

3. ดิซาร์จตามผิว การเกิดดิซาร์จที่แสดงบนรูปคลื่นไซน์ และบนฐานเวลารูปอิลิปสัญญาณดิซาร์จบางส่วนจะเกิดในช่วงมุมเฟส 0-90 องศาและ 180-270 องศา สำหรับการวัดแบบดั้งเดิม และเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงจะเกิดขึ้นในช่วงมุมเฟสระหว่าง 0-90 องศา และ 180-270 องศาเช่นเดียวกัน

4. ดิซาร์จภายใน การเกิดดิซาร์จที่แสดงบนรูปคลื่นไซน์และบนฐานเวลารูปอิลิปสัญญาณ ดิซาร์จบางส่วนจะเกิดในช่วงมุมเฟส 0-90 องศาและ 180-270 องศา สำหรับการวัดแบบดั้งเดิม และเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง จะเกิดขึ้นในช่วงมุมเฟสระหว่าง 0-90 องศา และ 180-270 องศาเช่นเดียวกันดังรูป ซึ่งคล้ายกับดิซาร์จตามผิวแต่ลักษณะการกระจายพัลส์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนจะน้อยกว่า

### การทดลองที่ 4

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ในระนาบ 3 มิติ โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการเดินทางของคลื่นเสียงหรือสัญญาณการดิซาร์จบางส่วนได้และสามารถหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณบางส่วนได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิด PD จริง

จากผลการทดลองทั้ง 4 การทดลองนั้นชี้ให้เห็นว่า ผลการทดสอบการตรวจจับดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นสามารถตรวจจับดิซาร์จบางส่วนได้และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจจับดิซาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิมและจากการทดลองพบว่าสัญญาณคลื่นเสียงสามารถเดินทางผ่านอากาศและของแข็งได้และสามารถหาตำแหน่งของสัญญาณของแหล่งกำเนิดสัญญาณการดิซาร์จบางส่วนได้ และที่ระยะของหัวตรวจจับต่างๆสามารถตรวจจับสัญญาณได้ที่ขนาดของสัญญาณต่าง ซึ่งเนื่องจากความ


เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารนี้ถือว่าผิดกฎหมาย

หัวตรวจจับไกลออกจากแหล่งกำเนิดสัญญาณนั่นเอง การตรวจจับสัญญาณการดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง (Acoustic Emission) มีข้อได้เปรียบคือสามารถหาตำแหน่งของแหล่งที่เกิดการดิซาร์จบางส่วนได้สามารถแยกประเภทของการเกิดการดิซาร์จบางส่วนได้โดยทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองยังมีขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสามารถทำการตรวจวัดสัญญาณในระบบเปิดได้ การทดสอบดิซาร์จนั้นสามารถทำงานได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าสัญญาณดิซาร์จมีความคงที่ของสัญญาณรบกวนน้อยจนตรวจจับไม่ซับซ้อนอีกด้วย

## 5.2 อุปสรรคและแนวทางการนำไปพัฒนา

1. การตรวจจับโดยใช้เทคนิคทางเสียง Acoustic Emission ยังไม่มีมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาสนับสนุนทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองอาจไม่ได้รับความน่าเชื่อถือ
2. หัวตรวจจับทางเสียงสามารถจับสัญญาณได้ที่ความถี่ต่าง ๆ สูงมากซึ่งความถี่ต่าง ๆ เหล่านี้อยู่ในคลื่นความถี่ของสัญญาณต่าง เช่น สัญญาณวิทยุ และสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งในระหว่างการทดลองต้องปิดอุปกรณ์การสื่อสารเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นทำให้การตรวจจับสัญญาณที่ได้นั้นเกิดความผิดพลาดได้นั่นเอง
3. การนำสัญญาณดิซาร์จบางส่วนที่วัดได้นั้นยังไม่สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณดิซาร์จบางส่วนได้ เนื่องจากการตรวจจับดิซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นยังเป็นงานวิจัยอยู่จึงไม่มีมาตรฐานเพื่อนำมารองรับการเปรียบเทียบหาปริมาณดิซาร์จได้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
การวิเคราะห์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์สัญญาณดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้โปรแกรม MATLAB

## ตัวอย่างการวิเคราะห์ H.V.-electrode Corona discharge, L.V.-electrode Corona discharge, Internal discharge, Surface discharge

```

clc;
clear;
load ชื่อไฟล์.csv
A1= ชื่อไฟล์(:,2); % PD signal
B1= ชื่อไฟล์(:,3); % Sinusoidal Signal
Fs = 50e6; % Sampling Rate
Ts = 1/Fs; % Time interval
n = [0:1e6-1]; % Number of sample
t = 1000*n*Ts; % time
t = t'; % row to column vector
f= (1/1e6)*Fs*(0:500e3)/1e6; % frequency
fs=Fs/2;
fcp=10e6; % cutoff frequency PD
Wnp=fcp/fs;
[b,a] = CHEBY1(3,0.5,Wnp,'low'); % Chebychev PD
fcs=1e6; % cutoff frequency sinusoidal
Wns=fcs/fs;
[c,d] = CHEBY1(3,0.5,Wns,'low'); % Chebychev sinusoidal
dc1 = A1 - mean(A1); % killed dc PD signal
sin1 = B1 - mean(B1); % killed dc sinusoidal signal
Fp1 = filter (b,a,dc1); % killed dc & filter PD signal
Fs1 = filter (c,d,sin1); % killed dc & filter sinusoidal
% รูปสัญญาณจาก Oscilloscope
figure,[Ax,H1,H2] = plotyy(t,B1,t,A1,'plot');
set(get(Ax(1),'Ylabel'),'String','Voltage (kV)');
set(get(Ax(2),'Ylabel'),'String','PD (mV)');xlabel('Time (ms)');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โดยไม่ % รูปสัญญาณ PD ทั้งหมดมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

figure,plot(t,A1);
xlabel('Time (ms)');
ylabel('PD (mV)');
title('XXXXXX discharge at XXX kV XXX C')
% รูปสัญญาณ PD และ Sinusoidal ที่ตัดค่า DC component
figure,[Ax,H1,H2] = plotyy(t,sin1,t,dc1,'plot');
set(get(Ax(1),'Ylabel'),'String','Voltage (kV)');
set(get(Ax(2),'Ylabel'),'String','PD (mV)');
xlabel('Time (ms)');
title('XXXXXX discharge at XXX kV XXX C (Killed-dc)');
% รูปสัญญาณ PD และ Sinusoidal ที่ตัดค่า DC และ Filter แล้ว
figure,[Ax,H1,H2] = plotyy(t,Fs1,t,Fp1,'plot');
set(get(Ax(1),'Ylabel'),'String','Voltage (kV)');
set(get(Ax(2),'Ylabel'),'String','PD (mV)');
xlabel('Time (ms)');
title('XXXXXX discharge at XXX kV XXX C (Killed-dc, Filtered)');
% FFT ของที่ได้จาก Oscilloscope
FFT1 = fft(A1);
Pyy1 = FFT1.* conj(FFT1);
figure,plot(f,Pyy1(2:500002));
xlabel('Frequency (MHz)');
ylabel('Amplitude');
title('FFT XXXXX discharge at XXX kV XXX C')
% FFT สัญญาณ PD และ Sinusoidal ที่ตัดค่า DC component
FFTdc1 = fft(dc1);
Pyydc1 = FFTdc1.* conj(FFTdc1);
figure,plot(f,Pyydc1(2:500002));
xlabel('Frequency (MHz)');
ylabel('Amplitude');
title('FFT XXXXX discharge at XXX kV XXX C (Killed-dc)');
% FFT สัญญาณ PD และ Sinusoidal ที่ตัดค่า DC และ Filter แล้ว
FFTFp1 = fft(Fp1);
PyyFp1 = FFTFp1.* conj(FFTFp1);
figure,plot(f,PyyFp1(2:500002));

```

```

xlabel('Frequency (MHz)');
ylabel('Amplitude');
title('FFT XXXXX discharge at XXX kV XXX C (Killed-dc, Filtered)');

```

### ตัวอย่าง การคำนวณหาตำแหน่ง PD source ในระนาบ 2 มิติ

```

clc;
clear;
load ชื่อไฟล์noise.csv % load noise signal
A1= ชื่อไฟล์noise(:,2); %piezoelectric PD signal
A2= ชื่อไฟล์noise(:,3); % vallen 150kHz PD signal
A3= ชื่อไฟล์noise(:,5); % vallen 30kHz PD signal
Fs = 50e6; % Sampling Rate
Ts = 1/Fs; % Time interval
n = [0:1.002e4-1]; % # of sample
t = 1000*n*Ts; % time
t = t'; % row to column vector
a=[max(q1) max(q2) max(q3)]; % find max noise value
thr=max(a); % fix threshold
load ชื่อไฟล์PD.csv % load PD signal
Q1= ชื่อไฟล์PD(:,2);Q1=abs(Q1); % piezoelectric PD absolute
signal
Q2= ชื่อไฟล์PD(:,3);Q2=abs(Q2); % vallen 150kHz PD absolute
signal
Q3= ชื่อไฟล์PD(:,5);Q3=abs(Q3); % vallen 30kHz PD absolute
signal
% หาเวลาของสัญญาณ PD1
a=thr; % fix threshold level
i=1;
while q1(i,1)<a
    i=i+1;
end
while q1(i,1)<q1(i+1,1)
    i=i+1;
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

t1=t(i,1) % Time vallen 30kHz sensor 1
% หาเวลาของสัญญาณ PD2
b=thr; % fix threshold level
i=1;
while q2(i,1)<b
    i=i+1;
end
while q2(i,1)<q2(i+1,1)
    i=i+1;
end
t2=t(i,1) % Time vallen 30kHz sensor 2
% หาเวลาของสัญญาณ PD3
c=thr; % fix threshold level
i=1;
while q3(i,1)<c
    i=i+1;
end
while q3(i,1)<q3(i+1,1)
    i=i+1;
end
t3=t(i,1) % Time vallen 30kHz sensor 3
% กำหนดหา มุม และ ระยะทาง ของ PD source
t11=t1-t2;
t22=t1-t3;
d1=input('d1=');
d2=input('d2=');
v=input('v=');
z1=input('z1=');
z2=input('z2=');
k1=d1^2-(v^2*t11^2);
k2=d2^2-(v^2*t22^2);
k3=v*t11;
k4=v*t22;
k5=k2/k1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k6=k5*k3-k4;$$

$$k7=(k5*d1)/d2;$$

$$k8=\cos(z2*(\pi/180))-k7*\cos(z1*(\pi/180));$$

$$k9=k7*\sin(z1*(\pi/180))-\sin(z2*(\pi/180));$$

$$k10=k6/d2;$$

$$k11=2*k10*k9;$$

$$k12=4*(k9^2+k8^2)*(k10^2-k8^2);$$

$$k13=k9^2+k8^2;$$

$$xn=(-k11-\text{sqrt}(k11^2-k12))/(2*k13);$$

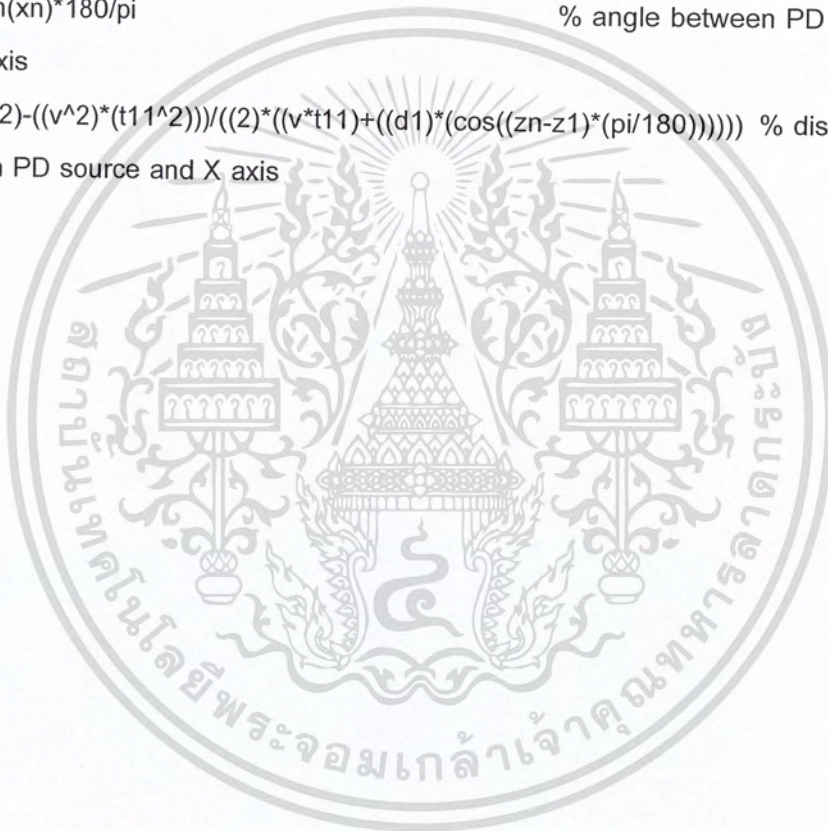
$$zn=-\text{asin}(xn)*180/\pi$$

% angle between PD source

and x axis

$$R=((d1^2)-((v^2)*(t11^2)))/((2)*((v*t11)+((d1)*(\cos((zn-z1)*(\pi/180))))))$$

% distance  
between PD source and X axis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่าง การคำนวณหาตำแหน่ง PD source ใน 3 มิติ

```

clc;
clear;
load ชื่อไฟล์noise.csv % load noise signal
A1= ชื่อไฟล์noise(:,2); % piezoelectric PD noise
signal
A2= ชื่อไฟล์noise(:,3); % vallen 150kHz PD noise
signal
A3= ชื่อไฟล์noise(:,5); % vallen 30kHz PD noise
signal
Fs = 50e6; % Sampling Rate
Ts = 1/Fs; % Time interval
n = [0:1.002e4-1]; % # of sample
t = 1000*n*Ts; % time
t = t'; % row to column vector
a=[max(A1) max(A2) max(A3)]; % Max noise value
thr=max(a); % fix threshold
load ชื่อไฟล์PD.csv % load PD signal
q1= ชื่อไฟล์PD(:,2);q1=abs(q1); % piezoelectric PD absolute
signal
q2= ชื่อไฟล์PD(:,3);q2=abs(q2); % vallen 150kHz PD absolute
signal
q3= ชื่อไฟล์PD(:,5);q3=abs(q3); % vallen 30kHz PD absolute
signal
% หาเวลาของสัญญาณ PD1
a=thr; % fix threshold level
i=1; % Find time PD 1
while q1(i,1)<a
    i=i+1;
end
while q1(i,1)<q1(i+1,1)
    i=i+1;
end
end
t1=t(i,1) % Time vallen 30kHz sensor 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% หาเวลาของสัญญาณ PD2
b=thr; % fix threshold level
i=1; % Find time PD 2
while q2(i,1)<b
    i=i+1;
end
while q2(i,1)<q2(i+1,1)
    i=i+1;
end
t2=t(i,1) % Time vallen 30kHz sensor 2
% หาเวลาของสัญญาณ PD3
c=thr; % fix threshold level
i=1; % Find time PD 3
while q3(i,1)<c
    i=i+1;
end
while q3(i,1)<q3(i+1,1)
    i=i+1;
end
t3=t(i,1) % Time vallen 30kHz sensor 3
% กำหนดค่าพิกัดของเซนเซอร์ต่างๆ และความเร็วเสียง
x1=input('x1 =');
y1=input('y1 =');
z1=input('z1 =');
x2=input('x2 =');
y2=input('y2 =');
z2=input('z2 =');
x3=input('x3 =');
y3=input('y3 =');
z3=input('z3 =');
Va=input('Va =');
% คำนวณหาพิกัดของ PD source

```

```
syms 'x' 'y' 'z'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $s1=(x-x1)^2+(y-y1)^2+(z-z1)^2-(Va*t1)^2;$   
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s2=(x-x2)^2+(y-y2)^2+(z-z2)^2-(Va*t2)^2;$$

$$s3=(x-x3)^2+(y-y3)^2+(z-z3)^2-(Va*t3)^2;$$

$$[x \ y \ z]=\text{solve}(s1,s2,s3)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## การวัดแรงดันเบรกดาว์นของวัสดุทดสอบ

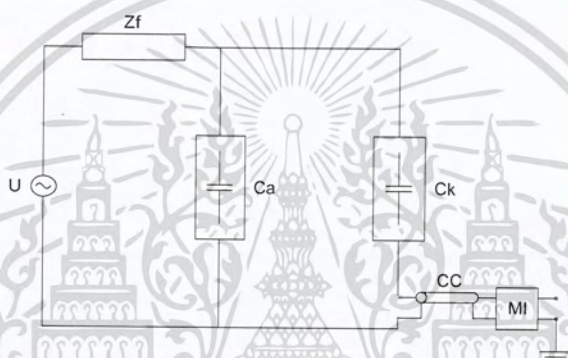
## จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อหาค่าแรงดันที่ทำให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ PD เกิดการเบรกดาว์นเพื่อนำมาใช้ประกอบในการทดลองให้เกิดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนโดยไม่ทำให้แหล่งกำเนิดสัญญาณเกิดการเบรกดาว์น

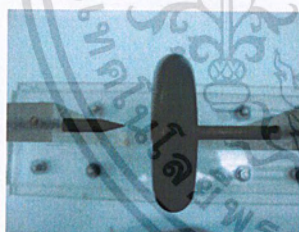
## สภาพบรรยากาศการทดลอง

อุณหภูมิ	27	°C	ความชื้นสัมพัทธ์	76	%
ความดันบรรยากาศ	763	mmHg	ความชื้นสมบูรณ์	19	gm <sup>-3</sup>

## วงจรการทดลอง



## วัสดุทดสอบ



วัสดุทดสอบที่ 1



วัสดุทดสอบที่ 2

## ผลการทดลองโดยสรุป

## โคโรนาดิสชาร์จทางด้านแรงสูง

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันเบรกดาว์น (kV)	
	วัสดุทดสอบที่ 1	วัสดุทดสอบที่ 2
1.0	14.31	10.32
1.5	16.87	12.34
2.0	19.85	15.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โคโรนาดีสชาร์จทางต้านกราวด์

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันเบรกดาวน์ (kV)	
	วัสดุทดสอบที่ 1	วัสดุทดสอบที่ 2
1.0	14.74	10.29
1.5	17.46	12.86
2.0	20.75	16.32

## การทดลองตอนที่ 1

ตอนที่ 1.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบเป็น โคโรนาดีสชาร์จทางต้านแรงสูง

ตารางผลการทดลอง

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงดันต่ำ (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.0	14.27	14.55	14.99	14.60
1.5	17.08	17.44	17.13	17.22
2.0	20.93	19.70	20.15	20.26

ตารางผลการทดลองการปรับเทียบระบบวัด

โวลต์เตจดีไวเดอร์มีอัตราส่วนเท่ากับ 980 : 1

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงต่ำ (V)	ค่าแรงดันเบรกดาวน์ (kV)
1.0	14.60	14.31
1.5	17.22	16.87
2.0	20.26	19.85

ตอนที่ 1.2 วัสดุที่ใช้ทดสอบเป็น โคโรนาดีสชาร์จทางต้านกราวด์

ตารางผลการทดลอง

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงดันต่ำ (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.0	15.09	15.01	15.01	15.04
1.5	17.65	17.86	17.82	17.78
2.0	21.49	21.18	20.84	21.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองการปรับเทียบระบบวัด  
โวลต์เดจดีไวเดอร์มีอัตราส่วนเท่ากับ 980 : 1

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงต่ำ (V)	ค่าแรงดันเบรกดาวน์ (kV)
1.0	15.04	14.74
1.5	17.78	17.46
2.0	21.17	20.75

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการวัดแรงดันเบรกดาวน์ที่ระยะแกปต่างๆ พบว่าที่ระยะแกป 1 cm. วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวน์ที่ค่าแรงดัน 14.74 KV ที่ระยะ 1.5 cm. วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวน์ที่ค่าแรงดัน 17.46 KV และที่ระยะแกป 2 cm. วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวน์ที่ค่าแรงดัน 20.75 KV จากการทดลองพบว่าที่ระยะแกปต่างๆ วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวน์ที่ค่าแรงดันต่างๆ กัน โดยที่ระยะแกปใกล้ๆ จะเกิดการเบรกดาวน์ที่ค่าแรงดันต่ำกว่าที่ระยะแกปไกลออกไป และยังพบว่าชนิดของวัสดุทดสอบยังมีผลต่อค่าของการเกิดแรงดันเบรกดาวน์ โดยวัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นโคโรนาดีสซาร์จทางด้านแรงสูงจะเกิดการเบรกดาวน์ที่ค่าแรงดันต่ำกว่าวัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นโคโรนาดีสซาร์จทางด้านกราว์เนื่องจากโคโรนาดีสซาร์จทางด้านแรงสูงมีความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติมากกว่าโคโรนาดีสซาร์จทางด้านกราว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองตอนที่ 2

ตอนที่ 2.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบเป็น โครนาดีสซาร์จทางด้านแรงสูง

ตารางผลการทดลอง

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงดันต่ำ (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.0	10.56	10.60	10.42	10.53
1.5	12.67	12.75	12.34	12.59
2.0	15.62	15.68	15.70	15.67

ตารางผลการทดลองการปรับเทียบระบบวัด

โวลท์เตจดีไวเดอร์มีอัตราส่วนเท่ากับ 980 : 1

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงดันต่ำ (V)	ค่าแรงดันเบรกดาวนีย์ (kV)
1.0	10.53	10.32
1.5	12.59	12.34
2.0	15.67	15.36

ตอนที่ 2.2 วัสดุที่ใช้ทดสอบเป็น โครนาดีสซาร์จทางด้านกราวนด์

ตารางผลการทดลอง

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงดันต่ำ (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.0	10.78	10.36	10.36	10.50
1.5	13.28	13.13	12.95	13.12
2.0	16.65	16.62	16.72	16.66

ตารางผลการทดลองการปรับเทียบระบบวัด

โวลท์เตจดีไวเดอร์มีอัตราส่วนเท่ากับ 980 : 1

ระยะแกป (cm)	ค่าแรงดันที่อ่านได้จากด้านแรงดันต่ำ (V)	ค่าแรงดันเบรกดาวนีย์ (kV)
1.0	10.50	10.29
1.5	13.12	12.86
2.0	16.66	16.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการวัดแรงดันเบรกดาวนที่ระยะแกปต่างๆ พบว่าที่ระยะแกป 1 cm. วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวนที่ค่าแรงดัน 10.29 KV ที่ระยะ 1.5 cm. วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวนที่ค่าแรงดัน 12.86 KV และที่ระยะแกป 2 cm. วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวนที่ค่าแรงดัน 16.32 KV พบว่าขนาดของแรงดันที่ทำให้เกิดการเบรกดาวนนั้นมีขนาดน้อยกว่าผลการทดลองที่ 1 เพราะขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุทดสอบมีขนาดน้อยกว่าวัสดุทดสอบของการทดลองตอนที่ 1 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุทดสอบมีผลต่อขนาดของแรงดันที่ทำให้เกิดการเบรกดาวนโดยวัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าแรงดันที่ทำให้เกิดการเบรกดาวนน้อยกว่าวัสดุทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ จากการทดลองพบว่าที่ระยะแกปต่างๆ วัสดุทดสอบจะเกิดการเบรกดาวนที่ค่าแรงดันต่างๆ กัน โดยที่ระยะแกปใกล้ๆ จะเกิดการเบรกดาวนที่ค่าแรงดันต่ำกว่าที่ระยะแกปไกลออกไป และยังพบว่าชนิดของวัสดุทดสอบยังมีผลต่อค่าของการเกิดแรงดันเบรกดาวน โดยวัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นโคโรนาดีซาร์จทางด้านแรงสูงจะเกิดการเบรกดาวนที่ค่าแรงดันต่ำกว่าวัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นโคโรนาดีซาร์จทางด้านกราวน เนื่องจากโคโรนาดีซาร์จทางด้านแรงสูงมีความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติมากกว่าโคโรนาดีซาร์จทางด้านกราวน ซึ่งนอกเหนือจากนั้นยังพบว่าค่าแรงดันที่จะเกิดการเบรกดาวนที่ระยะแกปเท่ากันและขนาดของวัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันจะได้ค่าของแรงดันการเบรกดาวนที่ไม่เท่ากันอีกด้วย ซึ่งผลต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความชื้นของบรรยากาศและความดันของบรรยากาศระหว่างการทดลองของแต่ละวันอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การวิเคราะห์และตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง

## Analysis and detection of PD using Acoustic Emission Technique

กิตติพงษ์ เจริญธรรม นกุล ขาวพราย นพดล วงสวัสดิ์ และนพพล สวนใต้

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาหัว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

### บทคัดย่อ

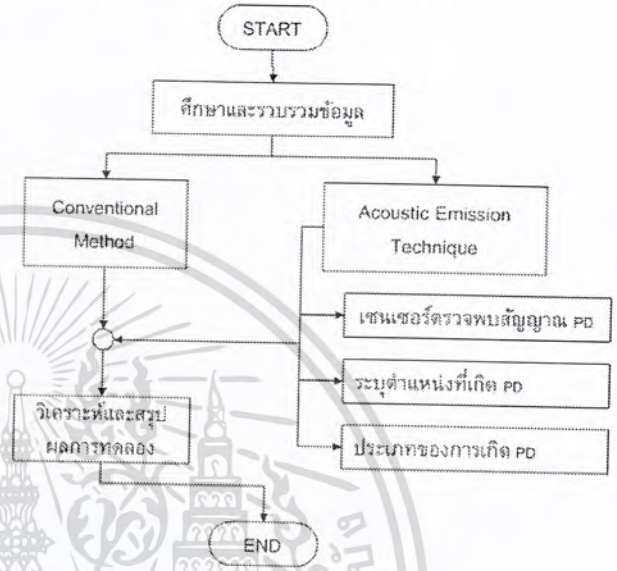
โครงการวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์และตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนที่มีขนาดเล็กสามารถเลือกความถี่ของการตรวจจับให้เหมาะสมกับงานที่จะทดสอบและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกจึงสามารถนำไปติดตั้งที่ตัวทดสอบหรือบริเวณใกล้ๆ กับตัวทดสอบเพื่อทำการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ในขณะที่ทำการจ่ายโหลดได้ ซึ่งในปัจจุบันการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนแบบเดิม (Conventional Method) นั้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และต้องทำในห้องทดสอบส่งผลให้ไม่สะดวกในการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงบางตัวมาตรวจสอบได้ ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์นี้จะส่งผลให้เกิดความสะดวกในการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน โดยนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์จำแนกประเภทการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและตำแหน่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้อย่างถูกต้อง

### Abstract

This article presents the design and implementation of the novel PD measuring unit using Acoustic Emission Technique. The main goal is to build a small, portable and accurate PD measuring unit. In the present, detecting partial discharge need to be done in the lab environment. The device that we built can solve this problem and make the PD measurement better and easier than the conventional way.

### 1. บทนำ

การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนนั้นสามารถใช้การตรวจจับโดยต่อวงจรมาตรฐาน IEC-60270 ซึ่งการวัดแบบ Conventional Method นั้นต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงนำเสนอการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงซึ่งปัจจุบันกำลังมีการวิจัยพัฒนาขึ้นแต่ยังไม่แพร่หลาย ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาออกแบบการทดสอบตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงเพื่อนำไปวิเคราะห์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดสอบแบบดั้งเดิม เนื่องจากการทดลองดังกล่าวมีข้อได้เปรียบคือมีขนาดเล็กสามารถรองรับการทำงานแบบ online-network เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาและสร้างมาตรฐานการทดสอบต่อไป ซึ่งอธิบายภาพรวมการดำเนินงานของโครงการ ดังรูปที่ 1 ที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น



รูปที่ 1 แผนการดำเนินโครงการ

### 2. ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge : PD)

การดิสชาร์จบางส่วน คือ การเบรกดาวน์ที่ไม่สมบูรณ์พลังงานที่ทำให้เกิดการดิสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นตัวนำไฟฟ้าได้โดยจะเกิดขึ้นในระบอบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงหรือมีสิ่งเจือปนจึงทำให้สนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติแต่ไม่อาจทำให้เกิดการเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้หากแต่เกิดบางส่วนเท่านั้น ซึ่งการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะทำให้ฉนวนเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วอายุการใช้งานฉนวนจะสั้นลงทำให้เกิดการนำไปสู่การเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ในที่สุด

#### 2.2 การวิเคราะห์การดิสชาร์จบางส่วน

เมื่อตรวจพบการดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นในการวิเคราะห์การดิสชาร์จบางส่วนจะวิเคราะห์สิ่งที่สำคัญ 2 ประการ คือ

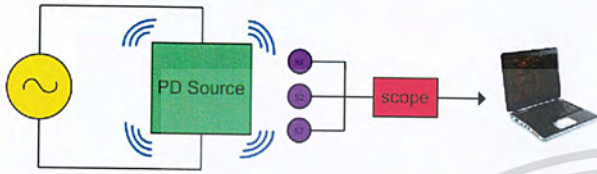
- 2.2.1 การวิเคราะห์ชนิดของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน
- 2.2.2 การวิเคราะห์และหาตำแหน่งที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วน

### 3. แนวคิดและหลักการที่นำเสนอ

การวิเคราะห์และตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงจะมีการใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนจำลองแทน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดการดิสราร์จบางส่วนแบบต่างๆ และในส่วนของการตรวจจับสัญญาณดิสราร์จบางส่วนจะใช้หัวตรวจจับทางเสียง (AE Sensor) จำนวน 3 ตัว ติดกับกรอบอ้างอิงรูปทรงลูกบาศก์ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อตรวจจับหาตำแหน่งที่เกิดการดิสราร์จบางส่วนโดยนำข้อมูลที่ได้จาก Oscilloscope ไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อแสดงตำแหน่งและชนิดของรูปคลื่นสัญญาณการดิสราร์จบางส่วนต่อไป โดยหลักการทำงานการตรวจจับการดิสราร์จบางส่วนแสดงดังรูป



รูปที่ 2 แผนภาพการตรวจจับการดิสราร์จบางส่วน

หลักการวิเคราะห์หาตำแหน่ง

1. การหาตำแหน่งในระนาบ 2 มิติ

การคำนวณหาตำแหน่งแหล่งกำเนิด PD สามารถคำนวณได้จาก

จากการแก้สมการหาระยะ R จากสมการ 1 และ 2

$$R = \frac{1}{2} \frac{D_1^2 - v^2 \Delta t_1^2}{v \Delta t_1 + D_1 \cos(\theta - \theta_1)} \quad (1)$$

$$R = \frac{1}{2} \frac{D_2^2 - v^2 \Delta t_2^2}{v \Delta t_2 + D_2 \cos(\theta_2 - \theta)} \quad (2)$$

2. การหาตำแหน่งในระนาบ 3 มิติ

การคำนวณหาตำแหน่งแหล่งกำเนิด PD สามารถคำนวณได้จาก

จากการแก้สมการ 3, 4 และ 5

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = (vt_1)^2 \quad (3)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = (vt_2)^2 \quad (4)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = (vt_3)^2 \quad (5)$$

4. การเลือกหัวตรวจจับและการออกแบบการทดสอบ

4.1 หัวตรวจจับทางเสียง

หัวตรวจจับทางเสียงมีหลายชนิดซึ่งสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัดจากการทดลองนี้เลือกใช้หัวตรวจจับทางเสียง 2 ชนิด คือ Piezoelectric Sensor และ Vallen Sensor ซึ่งหัวตรวจจับทางเสียงทั้งสองชนิดมีหลักการการทำงานที่เหมือนกันคือเปลี่ยนพลังงานทางเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า

4.1.1 หัวตรวจจับทางเสียง Piezoelectric Sensor



รูปที่ 3 Piezoelectric Sensor

4.1.2 หัวตรวจจับทางเสียง Vallen Sensor

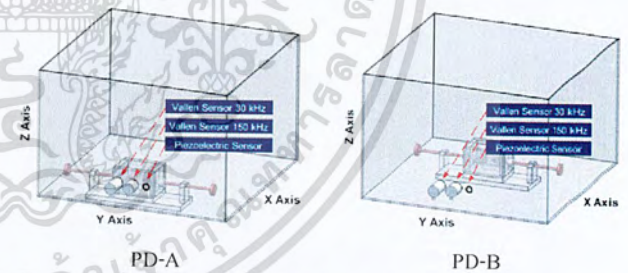


รูปที่ 4 Vallen Sensor ชนิด 30 kHz และ 150 kHz

4.2 การติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียง

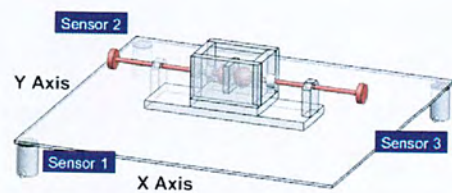
ในการวัดสัญญาณการดิสราร์จบางส่วนนั้นจำเป็นต้องติดตั้งหัวตรวจจับทางเสียงที่ตำแหน่งที่กีดต่างๆบนกล่องทรงลูกบาศก์เพื่อทำการตรวจจับสัญญาณให้ได้เวลาที่สัญญาณ PD ใช้ในการเคลื่อนที่จนถึงตัวตรวจจับและความเข้มของสัญญาณที่จับได้ ดังนั้นจึงออกแบบติดตั้งหัวตรวจจับที่ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

4.2.1 Piezoelectric Sensor, Vallen Sensor 30 kHz และ Vallen Sensor 150 kHz ที่ตำแหน่ง PD-A และ PD-B



รูปที่ 5 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดลองที่ 1

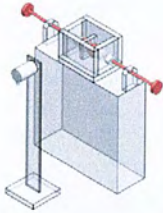
4.2.2 Vallen Sensor 30 kHz 3 ตัวที่พิกัด (X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>), (X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>), (X<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>) ในแนวระนาบ



รูปที่ 6 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดลองที่ 2

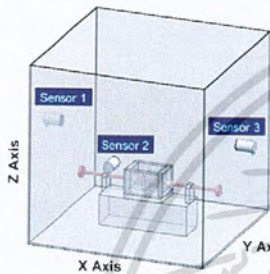
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 Vallen Sensor 30 kHz ติดกับขาตั้งห่างจาก PD Source ประมาณ 20 cm.



รูปที่ 7 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดลองที่ 3

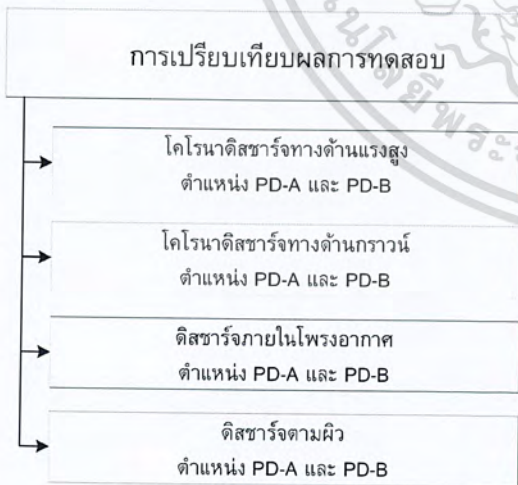
4.2.4 Vallen Sensor 30 kHz 3 ตัวที่ติดตั้ง ( $X_1, Y_1, Z_1$ ), ( $X_2, Y_2, Z_2$ ), ( $X_3, Y_3, Z_3$ )



รูปที่ 8 การติดตั้งหัวตรวจจับสำหรับการทดลองที่ 4

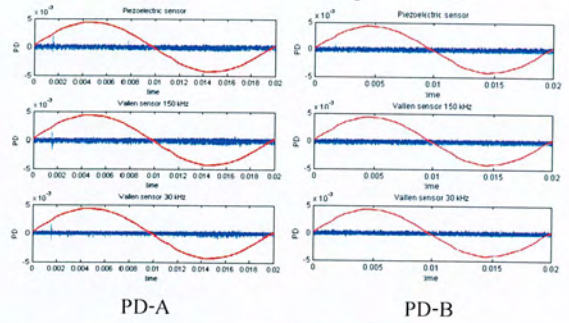
5. การทดลอง และผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อเลือก Sensor ที่ดีที่สุด การทดลองเปรียบเทียบผลการตรวจจับของ Sensor แต่ละตัวเพื่อเลือก Sensor ที่จะนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาตำแหน่งต่อไป

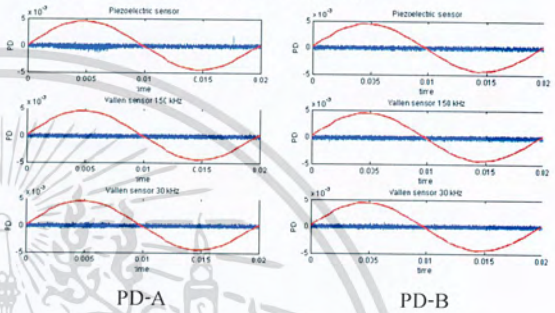


รูปที่ 9 แผนผังการเปรียบเทียบผลการทดสอบ

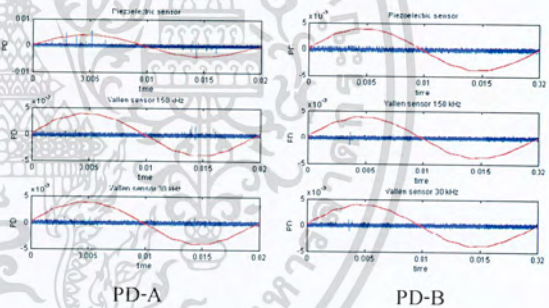
1) โครนาติสซาร์จทางด้านแรงสูง



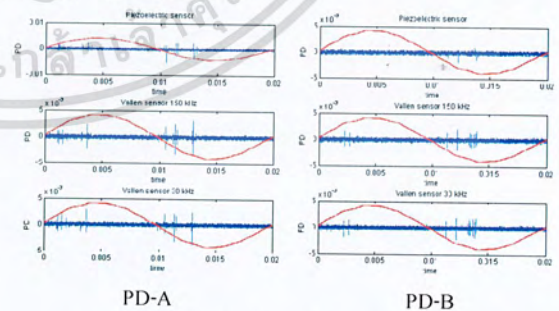
2) โครนาติสซาร์จทางด้านกราวน์



3) ดิสซาร์จภายในโพรงอากาศ



4) ดิสซาร์จตามผิว



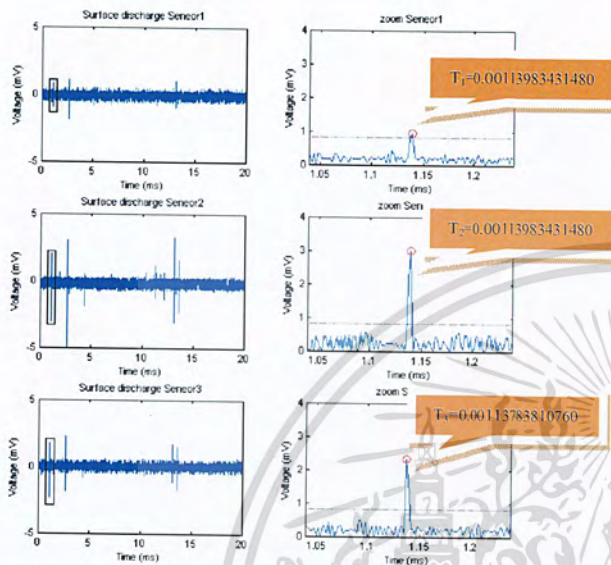
จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าที่ตำแหน่ง PD-A Sensor ทั้ง 3 ตัว สามารถตรวจจับ PD ได้ทุกประเภท แต่ที่ระยะไกลออกไปพบว่า Vallen Sensor 30 kHz สามารถตรวจจับ PD ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การทดลองที่ 2** การหาตำแหน่งในแนวระนาบ

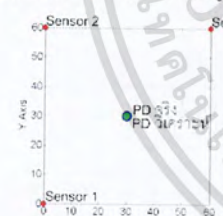
การทดลองเพื่อตรวจจับตำแหน่ง PD ในแนวระนาบ โดยใช้ของแข็งเป็นตัวกลางในการเดินทางของเสียง

- 1) พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,0)$   $S_2(0,60)$   $S_3(60,60)$   
พิกัด PD Source (30,30)



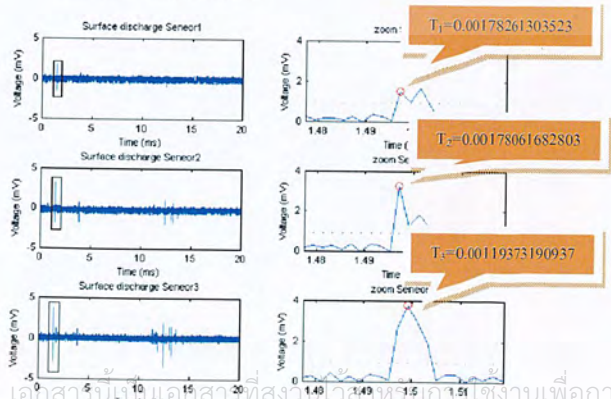
รูปที่ 10 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิซชาร์จบางส่วน

คำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซชาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูป



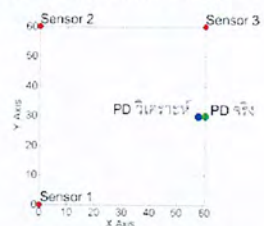
รูปที่ 11 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซชาร์จบางส่วน

- 2) พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,0)$   $S_2(0,60)$   $S_3(60,60)$   
พิกัด PD Source (60,30)



รูปที่ 12 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิซชาร์จบางส่วน

คำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซชาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูป



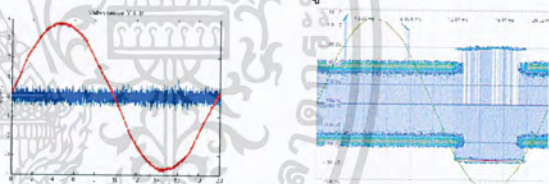
รูปที่ 13 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซชาร์จบางส่วน

	ตำแหน่งจริง	ตำแหน่งที่วิเคราะห์	Error (%)
แบบที่ 1	( 30 , 30 )	( 30.08 , 29.99 )	0.14
แบบที่ 2	( 60 , 30 )	( 57.41 , 29.87 )	2.38

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ในแนวระนาบได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิด PD จริง

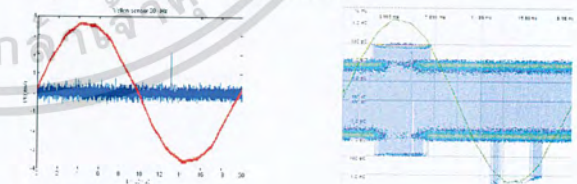
**การทดลองที่ 3** การตรวจจับ PD โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง การทดลองเพื่อทดสอบว่าคลื่นเสียงจาก PD สามารถเดินทางผ่านอากาศได้ และสามารถนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาตำแหน่งในระนาบ 3 มิติต่อไป

- 1) โครนาดิซชาร์จทางด้านแรงสูง



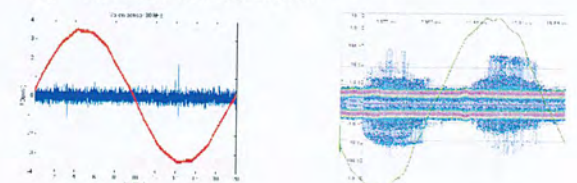
รูปที่ 14 Corona Discharge HV

- 2) โครนาดิซชาร์จทางด้านกราวด์



รูปที่ 15 Corona Discharge LV

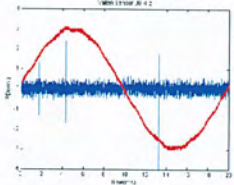
- 3) ดิซชาร์จภายในโพรงอากาศ



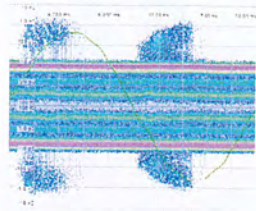
รูปที่ 16 Internal Discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการวิจัยและเรียนรู้อย่างเป็นกลางเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4) ดิซชาร์จตามผิว



Acoustic Emission Technique



Conventional

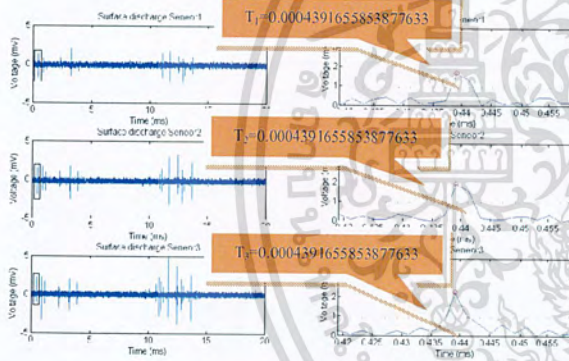
รูปที่ 17 Surface Discharge

จากการทดลองพบว่า Sensor สามารถตรวจจับคลื่นเสียงจาก PD ที่เดินทางผ่านอากาศได้

การทดลองที่ 4 การหาตำแหน่งใน 3 มิติ

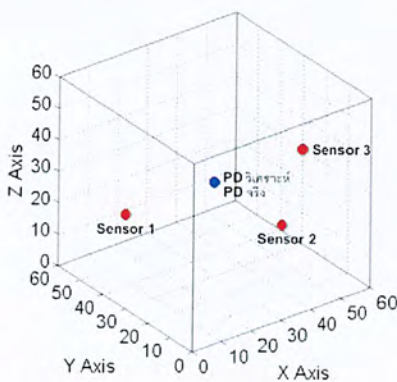
การทดลองเพื่อตรวจจับตำแหน่ง PD ในระนาบ 3 มิติ โดยใช้ อากาศเป็นตัวกลางในการเดินทางของเสียง

- 1) พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,30,30)$   $S_2(30,0,30)$   $S_3(60,30,30)$
- พิกัด PD Source (30,30,30)

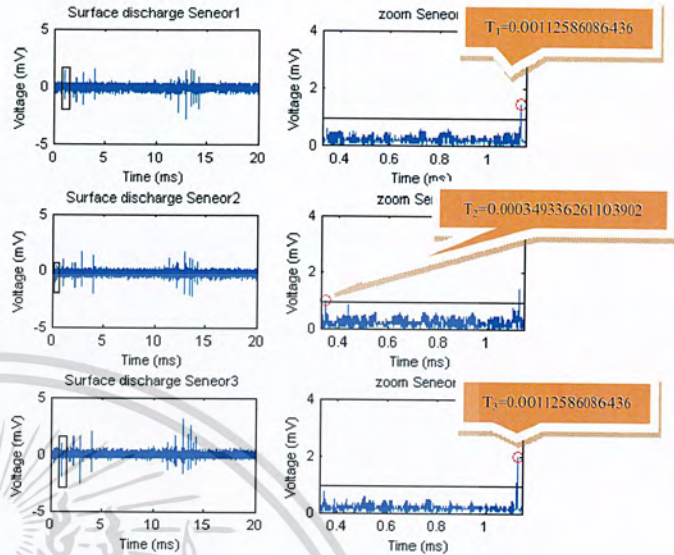


รูปที่ 18 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิซชาร์จบางส่วน

คำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซชาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูป

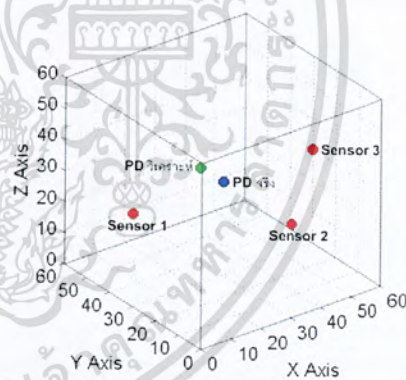


- 2) พิกัดหัวตรวจจับ  $S_1(0,30,30)$   $S_2(30,0,30)$   $S_3(60,30,30)$
- พิกัด PD Source (30,40,30)



รูปที่ 20 แสดงเวลาที่หัวตรวจจับแต่ละตัวพบดิซชาร์จบางส่วน

คำนวณหาพิกัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดดิซชาร์จบางส่วน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ผลการทดลอง ดังรูป



รูปที่ 21 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซชาร์จบางส่วน

	ตำแหน่งจริง	ตำแหน่งที่วิเคราะห์	Error (%)
แบบที่ 1	( 30 , 30 , 30 )	( 30 , 30 , 30 )	0
แบบที่ 2	( 30 , 40 , 30 )	( 30 , 29.998 , 30 )	8.34

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิด PD ในระนาบ 3 มิติ ได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิด PD จริง

เอกสารรูปที่ 19 แสดงตำแหน่งที่เกิดดิซชาร์จบางส่วนใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. สรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับดิสราร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง โดยการนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจจับดิสราร์จบางส่วนแบบดั้งเดิม จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการตรวจจับดิสราร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงสามารถตรวจจับดิสราร์จบางส่วนได้จริง สามารถวิเคราะห์หาชนิดและตำแหน่งที่เกิดการดิสราร์จบางส่วนได้ โดยการตรวจจับการเกิดดิสราร์จโดยใช้เทคนิคทางเสียงนั้นมีจุดเด่นดังนี้ สามารถทำการตรวจจับได้ในขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงทำการจ่ายโหลดจึงสามารถได้ค่าการตรวจจับการเกิดดิสราร์จเวลาจริง (Real time) จึงมีความน่าเชื่อถือ อีกทั้งอุปกรณ์ตรวจจับมีขนาดกะทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวกและการตรวจจับไม่ซับซ้อน มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานสูงและราคาถูกกว่าอุปกรณ์ของการตรวจจับดิสราร์จแบบดั้งเดิมอีกด้วย และคาดหวังว่าการตรวจจับดิสราร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียงจะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาและสร้างมาตรฐานการทดสอบเพื่อนำมาใช้งานจริงต่อไป

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ไทย เอ็น ดี ที จำกัด (มหาชน) ห้องปฏิบัติการ High Voltage และ ESIRC ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้ให้คำปรึกษาแนะนำการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC 60270:2001, "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] Stefan Tenbohlen, Kurt Feser, "Detection and Location of Partial Discharge in Power Transformers using acoustic and electromagnetic signals" Stuttgart University.
- [4] Dr.Boris Muravin, "Acoustic Emission Wave Propagation and Source Location"
- [5] สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง,ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [6] ทิพรัตน์ กมลพัฒนานันท์, วิจิต พิชัยชาญเลิศ และวิษณุ ต่อตระกูล, "การวิเคราะห์และตรวจวัดการดิสราร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง," ปรียญานันท์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่วารณี่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บรรณานุกรม

- [1] IEC60270:2001, "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] Kreuger, F. H., **Discharge Detection in High Voltage Equipment**, Temple Press Book Ltd., London, 1964.
- [4] Y Tian, P L Lewin, A E Davies, G Hathaway, "Acoustic Emission Techniques for Partial discharge detection within cable insulation"
- [5] Stefan Tenbohlen, Kurt Feser, "Detection and Location of Partial Discharge in Power Transformers using acoustic and electromagnetic signals" Stuttgart University.
- [6] Dr.Boris Muravin, "Acoustic Emission Wave Propagation and Source Location"
- [7] สำรวัย สังข์สะอาด, **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [8] มนัส สังวรศิลป์และวรรธน์ ภัทรอมรกุล, **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์**, กรุงเทพฯ, สนพ. อินโฟเพรส, 2543.
- [9] ธงชัย ศิริประยูกต์, **ฟิสิกส์ทั่วไป 2**, กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตพระนครเหนือ, 2526.
- [10] ทิพรรัตน์ กมลพัฒนานันท์, วิจิต พิชัยชาญเลิศ และวิษณุ ต่อตระกูล, "การวิเคราะห์และตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคทางเสียง", **ปริญาญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นายกิตติพงษ์ เจริญธรรม รหัสนักศึกษา 50010115  
 เกิดวันที่ 3 ตุลาคม 2531 ที่จังหวัดกาฬสินธุ์  
 เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
 ทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2550  
 ฝึกงานที่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จ.กาฬสินธุ์  
 E-mail address: Topcharoentham\_37@hotmail.com  
 Telephone: 080-441-5738



นายณกุล ขาวพราย รหัสนักศึกษา 50010723  
 เกิดวันที่ 30 เมษายน 2531 ที่จังหวัดนครสวรรค์  
 เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
 ทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2550  
 ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (บางกรวย) จ.นนทบุรี  
 E-mail address: Nagul.manu@hotmail.com  
 Telephone: 089-788-0784



นายนพดล วงสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 50010736  
 เกิดวันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 ที่จังหวัดราชบุรี  
 เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
 ทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2550  
 ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (บางกรวย) จ.นนทบุรี  
 E-mail address: Wongsawat.n@hotmail.com  
 Telephone: 087-678-0841



นายนพพล สอนใต้ รหัสนักศึกษา 50010739  
 เกิดวันที่ 19 กันยายน 2531 ที่จังหวัดเชียงใหม่  
 เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
 ทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2550  
 ฝึกงานที่ บริษัท เอ็ม อี ซี ที จำกัด จ.กรุงเทพมหานคร  
 E-mail address: dreamnoppon@hotmail.com  
 Telephone: 085-018-3801

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้