



ปรากฏการณ์ดีสชาร์จบางส่วน ในฉนวนแข็ง  
PARTIAL DISCHARGE IN SOLIDS



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2534

ปรากฏการณ์ดีสชาร์จบางส่วนในฉนวนแข็ง

( PARTIAL DISCHARGE IN SOLIDS )

จัดทำโดย

นาย อติสร อาศิรภานต์

นาย อานภาพ ชรรรมชาติ

นาย อนกุล เอี่ยมสะอาด

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ศลิ บรรจงจิตร

วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวชิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2534

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ปραกฏการแผ่สสารจางส่วนในฉนวนแข็ง  
( PARTIAL DISCHARGE IN SOLIDS )

ผู้จัดทำ

นาย	อดิศร	อาศิริกานต์	311390
นาย	อนุกุล	เอี่ยมสยะอาด	311395
นาย	อานภาพ	ธรรมผาติ	311411

อาจารย์ที่ปรึกษา

( รองศาสตราจารย์ ศลี บรรจงจิตร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

บทคัดย่อ

Abstract

บทที่ 1 บทนำทั่วไป

1-1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการตรวจวัดตัวต้านทาน

2-1

2.1 พฤติกรรมของตัวต้านทาน

2-1

2.1.1 วงจรสมมูลตัวต้านทานภายใน

2-1

2.1.2 สหสัมพันธ์ของตัวต้านทาน

2-3

2.1.2.1 การเกิดตัวต้านทาน

2-3

2.1.2.2 ลักษณะรูปร่างของกระแสตัวต้านทาน

2-4

2.1.2.3 พลังงานตัวต้านทาน

2-6

2.2 หลักการตรวจวัดตัวต้านทาน

2-7

2.2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจวัดตัวต้านทาน

2-7

2.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจวัดตัวต้านทาน

2-8

2.2.2.1 วงจรสมมูล

2-8

2.2.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจวัดตัวต้านทานโดยวิธี

2-10

2.2.2.3 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity)

2-13

2.2.2.4 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้ตัวกรองออคมคิต

2-18

✓ 2.2.3 การแสดงผลของตัวต้านทาน

2-23

2.2.4 เครื่องปรับเทียบตัวต้านทานมาตรฐาน (Discharge calibrator)

2-24

2.2.5 การอินทิเกรตผลผลิตของเครื่องตรวจวัดตัวต้านทาน

2-27

✓ 2.3 เทคนิคการวัดตัวต้านทาน

2-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1	การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป	2-27
2.3.2	การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิล	2-28
2.3.3	การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีโครงสร้างแบบขดลวด	2-33
2.4	เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน	2-35
2.4.1	สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบในการวัดดิสชาร์จบางส่วน	2-35
2.4.2	การลดสัญญาณรบกวน	2-36
2.4.2.1	การลดสัญญาณรบกวนโดยตรง	2-36
2.4.2.2	การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่น ๆ	2-37
2.5	คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน	2-38
2.5.1	ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC	2-38
บทที่ 3	PARTIAL DISCHARGE DETECTOR(CD-5)	3-1
3.1	บทนำ	3-1
3.1.1	โดยทั่วไป	3-1
3.1.2	หลักในการวัด Partial Discharge.	3-2
3.1.3	วงจรของ Detector.	3-3
3.1.4	Performance.	3-5
3.2	ขั้นตอนในการ operate	3-8
3.2.1	แผง Control ของ detector และ function ในการ control (switch , ปุ่มต่าง ๆ ฯลฯ)	3-8
3.2.2	Battery ที่ติดตั้งอยู่ใน	3-15
3.2.3	ข้อควรระวัง	3-15
3.3	การวัด	3-16
3.3.1	วงจรการวัด	3-16
3.3.2	ขั้นตอนในการวัด	3-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3	Calibration	3-23
3.3.4	Step สำหรับ noise ภายนอก	3-24
บทที่ 4	PARTIAL DISCHARGE CALIBRATOR (NPG-2)	4-1
4.1	บทนำ	4-1
4.1.1	โดยทั่วไป	4-1
4.1.2	Partial discharge	4-1
4.1.3	หลักการในการ calibration ของ discharge load	4-4
4.1.4	Circuit block diagram ของเครื่องมือ	4-7
4.1.5	ข้อกำหนดการใช้งาน	4-8
4.2	ทฤษฎีการปฏิบัติการ Operation method	4-11
4.2.1	ส่วนประกอบและการใช้งาน	4-11
4.2.2	ทฤษฎีการต่อวงจรของวงจรการวัด partial discharge	4-13
4.3	Partical discharge calibration	4-18
4.3.1	การเตรียมก่อนการ calibration	4-18
4.3.2	calibration of discharge load	4-19
4.4	ข้อควรระวังในการปฏิบัติการ	4-20
บทที่ 5	PARTIAL DISCHARGE COUNTER (PDC-2)	5-1
5.1	บทนำ	5-1
5.1.1	โดยทั่วไป	5-1
5.1.2	วงจรการทำงานของเครื่อง	5-2
5.1.3	Performance	5-3
5.2	การใช้งาน	5-6
5.2.1	ส่วนประกอบและการใช้งาน	5-6
5.2.2	ข้อควรระวัง	5-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	6-1
6.1	บทนำ	6-1
6.2	Chamber (กล่องบรรจุ อิเล็กโทรด)	6-2
6.3	การสร้าง electrode	6-2
6.4	หม้อแปลง	6-4
6.5	variac	6-4
6.6	การต่อ Ground หม้อแปลง	6-9
6.7	ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ	6-9
6.8	High Voltage Probe	6-9
6.9	สรุป	6-10
บทที่ 7	ขั้นตอนและผลการทดลอง	7-1
7.1	บทนำ	7-1
7.2	วิธีการทดลอง	7-1
7.3	ผลการทดลอง	7-3
บทที่ 8	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	8-1
*	ภาคผนวก ภาพประกอบเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	
*	Reference book	
*	กิตติกรรมประกาศ	

## สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 1

รูปที่

- |     |  |     |
|-----|--|-----|
| 1.1 | แสดงชนิดของ PD phenomena ในฉนวนที่มีการทดลองขึ้น | 1-1 |
| 1.2 | รูปแบบของ ดิสชาร์จบางส่วน                        | 1-3 |
| 1.3 | แสดงวงจรการทดสอบ PD และการเกิด PD pulse currents | 1-4 |
| 1.4 | วงจรพื้นฐานจาก IEC publication 270(1961)         | 1-6 |
| 1.5 | การแสดงผลของ PD                                  | 1-8 |

บทที่ 2

รูปที่

- |      |  |      |
|------|--|------|
| 2.1  | วงจรสมมูล PD ทั่วไป  | 2-2  |
| 2.2  | วงจรสมมูล PD ในทางปฏิบัติ  | 2-2  |
| 2.3  | วงจรสมมูลของโคโรนาดิสชาร์จและดิสชาร์จตามผิว                        | 2-3  |
| 2.4  | แรงดันคร่อมแก๊ปและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD              | 2-3  |
| 2.5  | การเกิด PD ชั่ว  | 2-4  |
| 2.6  | แสดงลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับแก๊ปเล็ก ๆ            | 2-5  |
| 2.7  | ลักษณะกระแส PD ที่ตรวจจับได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ CFB.                | 2-6  |
| 2.8  | วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD                                     | 2-7  |
| 2.9  | แทน PD ด้วยวงจรสมมูลแบบต่าง ๆ                                      | 2-9  |
| 2.10 | ลักษณะสเปกตรัมสัญญาณและการตอบสนองความถี่ต่างๆ ของเครื่องตรวจจับ PD | 2-11 |
| 2.11 | ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่าง ๆ                 | 2-12 |
| 2.12 | วงจรที่ใช้คำนวณความไวสำหรับวัสดุทดสอบชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์        | 2-13 |

เอกสารนี้ใช้ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ต่อ 2-15 ราคา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14	การเกิด PD ในเคเบิลยาวและวงจรสมมูล	2-16
2.15	วงจรคำนวณความไวสำหรับเคเบิลยาว	2-16
2.16	วงจรคำนวณความไวสำหรับวัสดุทดสอบชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์ เมื่อใช้ตัว กรองอุดมคติ	2-20
2.17	วงจรคำนวณความไวสำหรับเคเบิลยาว เมื่อใช้ตัวกรองอุดมคติ	2-22
2.18	วงจรแสดงความแตกต่างระหว่างเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบกับมิเตอร์กึ่ง คายออก	2-24
2.19	วงจรสำหรับการเปรียบเทียบ	2-25
2.20	วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ	2-28
2.21	การเกิดคลื่นจรรยาเกิด PD ในเคเบิลยาว	2-29
2.22	การเกิดชุปเปอร์โพสิชันสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่าง ๆ	2-30
2.23	วงจรตรวจสอบคุณสมบัติชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ PD	2-31
2.24	ไดอะแกรมฟิลล์คูเมอติคการสูญเสียในสายเคเบิล	2-32
2.26	เปรียบเทียบการวัด PD ภายในหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC และ NEMA	2-35
2.27	ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่าง ๆ	2-35
2.28	ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน	2-37
2.29	การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี "หน้าต่างเวลา"	2-38

### บทที่ 3

#### รูปที่

3.1	วงจรพื้นฐานของการวัดดิสชาร์จบางส่วน	3-2
3.2	แสดง circuit พื้นฐานของการวัด partial discharge & วงจรของ detector	3-3
3.3	แสดงแผง control ของ detector	3-11
3.4	ความถี่ของการตรวจประจุสูงสุด	3-12

3.5 วงจรการวัด Partial discharge การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 3-17  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลับและสงวนลิขสิทธิ์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ 3-17  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6	แสดงการต่อวงจรการวัด partial discharge ตามตัวอย่างนี้จะเป็นวิธีการวัด โดยผ่าน C coupling	3-19
3.7	กราฟความถี่ที่เกิดขึ้นของประจุ Partial discharge	3-22
3.8	แสดงหลักการของ calibrate ของ partial discharge	3-24

บทที่ 4

รูปที่

4.1	วงจร Partial discharge	4-1
4.2	หลัก calibration ของ discharge load	4-4
4.3	แสดงตัวอย่างของวงจรวัดที่ใช้ในการวัด partial discharge จริง	4-6
4.4	บล็อกการทำงานของเครื่องมือนี้	4-7
4.5	องค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือ	4-10
4.6	Rectangular wave voltage wave form	4-12
4.7	Coupling capacitor detection method	4-13
4.8	Sample detection method	4-15
4.9	Bridge Type detection method	4-16
4.10	ตัวอย่างของ indirect calibration method	4-17

บทที่ 5

รูปที่

5.1	บล็อกแสดงการทำงานของเครื่องมือ Counter	5-2
5.2	แสดงโครงสร้างของเคื่อง Counter	5-5

บทที่ 6

รูปที่

6.1	วงจรที่ใช้ในการทดลอง	6-4
6.2	แสดงขนาด chamber	6-5

๘.๔ ลักษณะอิเล็กทรอนิกส์เมื่อประกอบแล้ว

6-7

บทที่ 7

รูปที่

7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Starting Voltage กับประจุ Calibration Load และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Extinction Voltage กับประจุ Calibration Load

7-13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
7.1 ค่าโวลเตจและประจุในการทดสอบที่ 7.3.1	7-3
7.2 ค่าโวลเตจและประจุในการทดสอบที่ 7.3.2	7-5
7.3 ค่าโวลเตจและประจุในการทดสอบที่ 7.3.3	7-7
7.4 ค่าโวลเตจและประจุในการทดสอบที่ 7.3.4	7-9
7.5 ค่าโวลเตจและประจุในการทดสอบที่ 7.3.5	7-11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตรวจหาดีสชาร์จบางส่วนในฉนวนแข็ง

ร.ศ. ศลิ บรรจงจิตร

อดิศร อาศิรกานต์

อานภาพ ชรรรมชาติ

อณกุล เอี่ยมละอียด

### บทคัดย่อ

วิศวกรรมไฟฟ้าในอดีตการตรวจสอบคุณภาพของฉนวน ต้องถูกพิจารณาเฉพาะความต้านทานของฉนวนของฉนวน และ dielectric strength แต่ในปัจจุบันนี้เครื่องมือทาง High Voltage ได้มีการพิจารณาตรวจสอบความสมบูรณ์ของคุณภาพฉนวน การวัดสำหรับตรวจสอบคุณภาพและคุณลักษณะของฉนวนควรมีข้อกำหนดตามข้อมูลที่ทำให้มีช่วงชีวิตที่ยาว และการมีเสถียรภาพนาน

ความเป็นไปได้ทางหนึ่งของเทคนิคการทดสอบ คือ การทำให้เกิดความเค้นมากที่ฉนวนด้วย High AC Voltage และ Surge Voltage ข้อเสียของเทคนิคนี้คือ วัตถุที่ถูกทดสอบสามารถถูกทำให้เสื่อมได้ ถ้าฉนวนมีข้อบกพร่อง ด้วยเหตุผลนี้, non-destructive Testing methods นี้ อนุญาตให้มีการตรวจจุดบกพร่องของฉนวนก่อน ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญมาก :

- การวัดของความต้านทานฉนวนภายใต้ DC Voltage Stress
- การพิจารณา loss factor  $\tan$  และ capacitance  $C$
- การวัดของ ดีสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการทดสอบเหล่านี้, มีเพียงการวัดทางไฟฟ้าของ ดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งในอดีตหลายปีที่ผ่านมาได้ให้ความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะถูกระบายที่นี้, ดิสชาร์จบางส่วนบนฉนวนถูกตรวจจับไม่เพียงลักษณะทางไฟฟ้า แต่ยังมีทางตา, เสียง และวิธีทางเคมีที่ขึ้นกับการออกแบบวัตถุทดสอบที่ถูก Test หลักในการวัดตั้งอยู่บนพื้นฐานบน energy conversion process รวมกับการ discharge, ตัวอย่างเช่น การแผ่ของแสง, เสียง, คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ ปฏิกิริยาของรูปร่างทางเคมี

เมื่อทราบตำแหน่งของ ดิสชาร์จบางส่วน วิธีเหล่านี้ที่มีค่าที่จะใช้ผลต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PARTIAL DISCHARGE IN SOLID

### ABSTRACT

In the early days of electrical engineering the quality of an insulation arrangement was judged purely by its insulation resistance and its dielectric strength. Today, however, high-voltage equipment and installations are subjected to elaborate post-production quality inspections. The measurements for verifying the quality and characteristic of the insulation should also yield information concerning the life expectancy and the long-stability.

One of the possible testing techniques is to overstress the insulation with high AC and surge voltages. The disadvantage of this technique is that the object to be tested can possibly be destroyed if the insulation is faulty. For this reason, non-destructive testing methods ([1]) that permit early detection for insulation faults, are very important :

- Measurement of the insulation resistance under DC voltage stress'
- Determination of the loss factor  $\tan \delta$  and the capacitance C

เอกสารที่ Measurement of the partial discharge (PD) ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Of these testing techniques, only the electrical measurement of partial discharges which in the past years has significantly grown in importance, will be discussed here. PD on insulations can be detected not only electrically but also by optical, acoustic and chemical methods depending on the design of the object to be tested. The measuring principles then are based on the energy conversion process associated with the discharge, such as the emission of light, noise, electromagnetic waves, or formation of chemical reaction.

When locating PDs, these techniques can be a valuable supplement to the electrical measurements. Aural location of PDs in large transformers can be cited as an example.

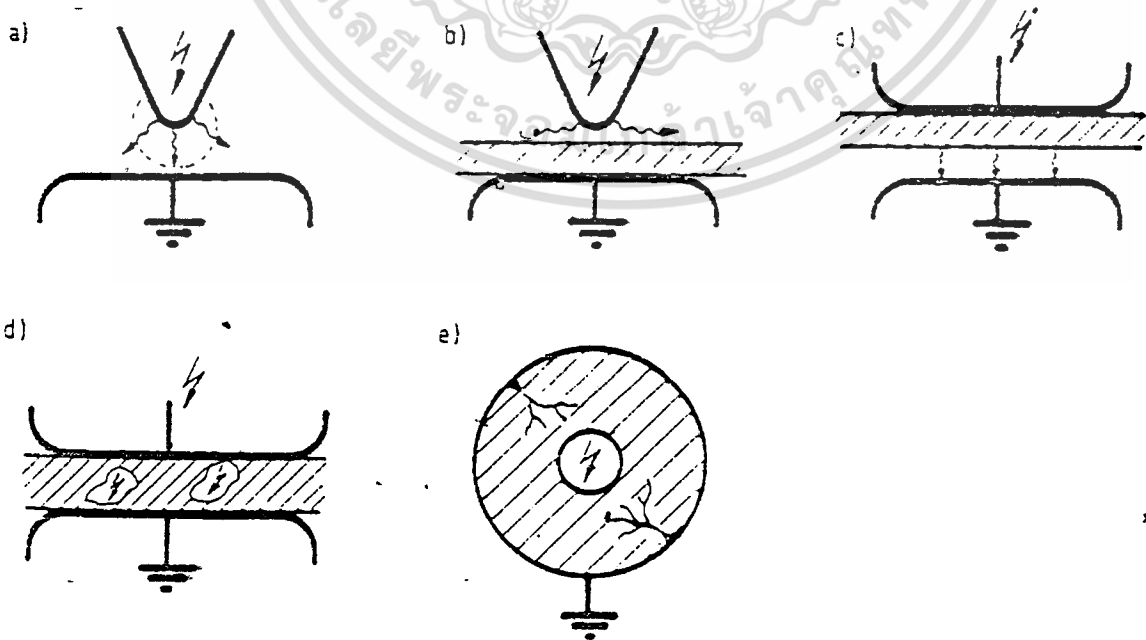
### บทนำทั่วไป

#### 1.1 บทนำ

ดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge = PD) เป็นดีสชาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อกันระหว่างขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้า [1] โดยเกิดการสปาร์กในเนื้อฉนวนเพียงบางส่วนหรือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต

มันเป็นการยากที่จะป้องกัน fault ที่เกิดจากวัสดุฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ช่องว่างหรือ สิ่งที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันในวัสดุฉนวน ซึ่งจะ เป็นข้อบกพร่องของฉนวนใน electrode system ที่อยู่ภายใต้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นเหตุให้เกิดความเข้มของ electric field สูง เป็นเหตุให้เกิดขบวนการ electric discharge ได้ คือ เกิด PD

รูป 1.1 แสดงชนิดของ PD phenomena ในฉนวนที่มีการทดลองขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a) corona discharge
- b) surface or sliding discharge
- c) discharges in laminated material
- d) cavity discharge
- e) partial discharges in solid insulating materials (treeing channels)

a) โครนาดีสชาร์จ (corona discharge) เกิดบนแท่งตัวนำในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงรอบปลาย electrode แหลม ซึ่งต่อกับ high voltage หรือ ground อยู่ในอากาศ หรือ gas ที่ความดันปกติ

b) ดีสชาร์จตามผิว (surface discharge) เกิดขึ้นบริเวณผิวของฉนวนที่มีส่วนของสนามไฟฟ้าในแนวเดียวกับผิวและมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง

c) เป็น PD ในวัสดุที่เป็นแผ่น ซึ่งเกิดที่ระหว่างผิวที่ซึ่งมีวัสดุฉนวนต่างกัน ตัวอย่างเช่น gas กับ solid ที่ระหว่างผิว

d) PD ในช่องว่าง (void) เกิดได้ทั้งในฉนวนแข็งและฉนวนเหลว

e) ฉนวนแข็งที่ซึ่งเกิด PD อย่างต่อเนื่องจะเป็นตัวนำทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของวัสดุฉนวน (treeing channel)

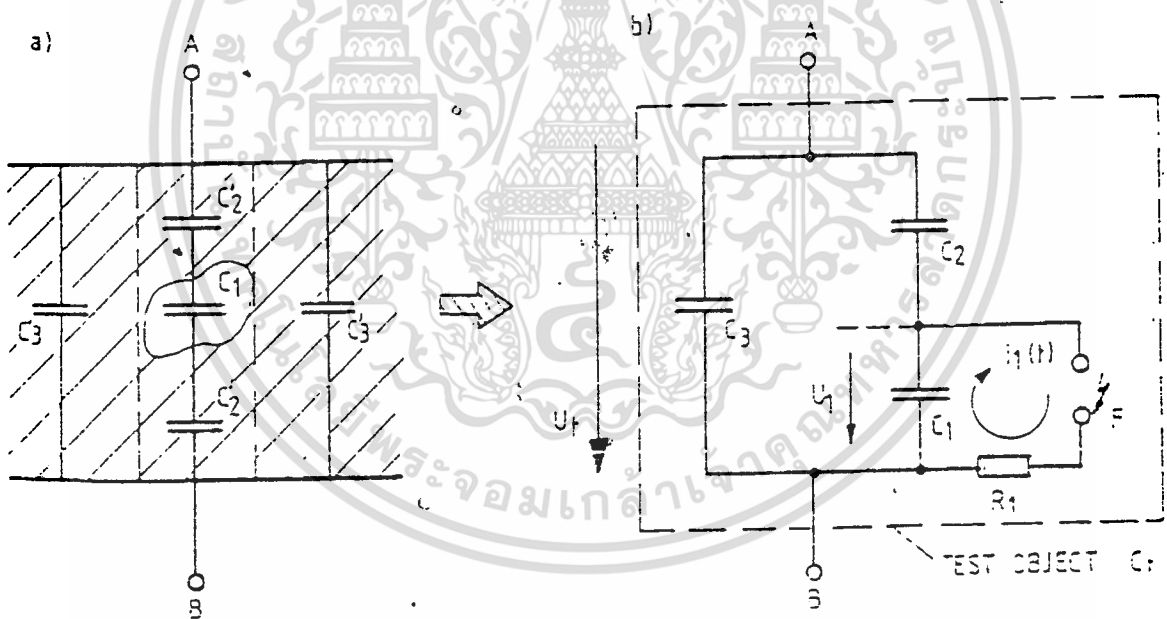
ดีสชาร์จบางส่วนอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น แสง เสียงรบกวน ความร้อน การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานสูญเสียในฉนวนและกระแสรั่วที่ขั้วสายของอุปกรณ์ เป็นต้น [1] ผลของดีสชาร์จบางส่วน หรือ PD อาจก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio Interference Voltage = RIV) เข้าไปรบกวนระบบสื่อสารได้ และในกรณีที่ PD นั้นเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ผลอันนี้จะไปทำลายระบบการฉนวน ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น อายุการใช้งานของอุปกรณ์จะสั้นลงและนำไปสู่การเบรกดาวน์ของฉนวนในที่สุด ดังนั้นเราจึงถือเอา PD เป็นแฟกเตอร์สำคัญที่จะบอกระดับคุณภาพการฉนวนของอุปกรณ์ [2] การออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงต้องป้องกันหรือหลีกเลี่ยงมิให้มี PD เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการออกแบบลักษณะอุปกรณ์ให้มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำกว่าค่าวิกฤต หรือเลือกใช้เทคนิคการฉนวนที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่ออกแบบหรือผลิตอาจมี PD เกิดขึ้นได้โดยมิได้ตั้งใจ ซึ่งอาจเกิดจากความบกพร่องของระบบการฉนวนในระหว่างการผลิต หรือคุณภาพของฉนวนไม่ได้ตามที่กำหนด จึงต้องมีการวัดหรือตรวจจับ PD ก่อนนำอุปกรณ์ไปใช้งานว่ามี PD เกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้หรือไม่ โดยการวัดด้วยเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

เครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจัดเป็นวิธีการทดสอบคุณสมบัติการฉนวนของอุปกรณ์แบบไม่ทำลาย และเป็นข้อกำหนดที่สำคัญของมาตรฐานการทดสอบในปัจจุบัน

1.2 สมการวงจรภาพฉนวนที่เกิด PD



รูปที่ 1.2 รูปแบบของ ดิสชาร์จบางส่วน

a) material background

b) equivalent circuit diagram

การเกิด void ในฉนวนทำให้เกิดค่า C ขึ้นอีกค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงได้ดังรูป

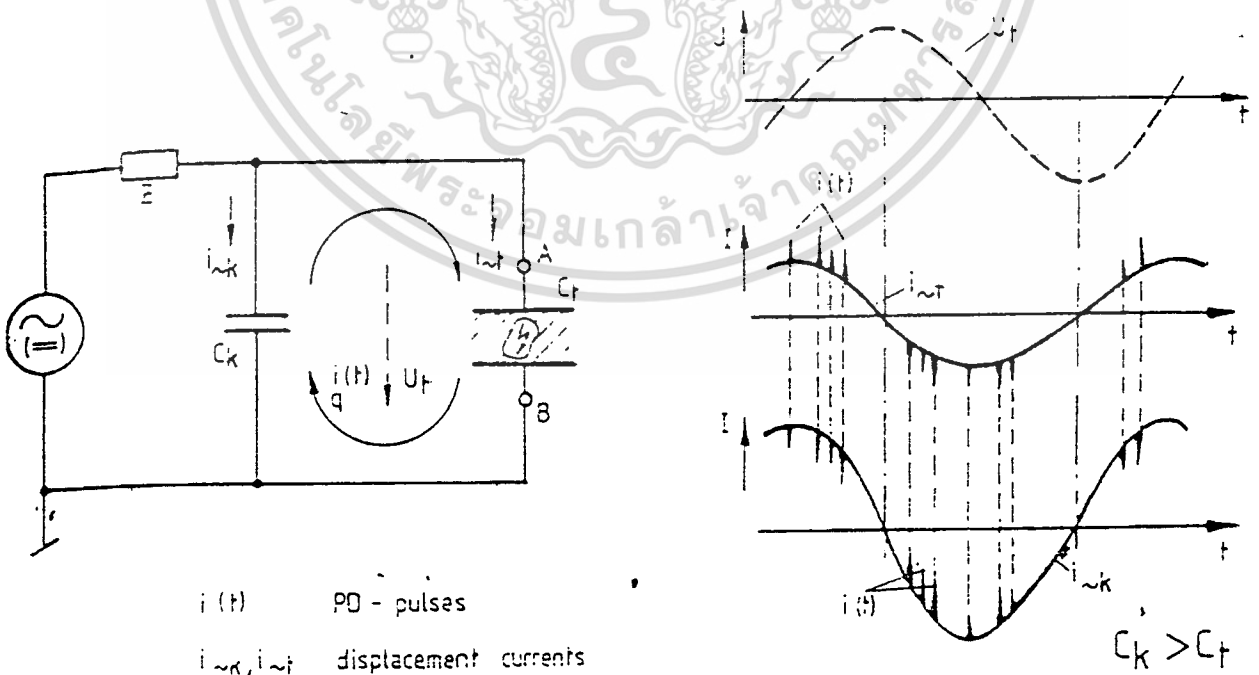
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเกิด breakdown VT. มากขึ้นที่ช่อง cavity capacity  $C_1$ , discharge gap F จะเป็นสะพานให้เกิด discharge  $C_1$  ผ่าน Resistor  $R_1$  ซึ่งในเวลาต่อมาจะเป็นตัวจำกัดขนาดของกระแส discharge (discharge current)  $I_1(t)$  ช่วงเวลา discharge ประมาณ  $1 \text{ ns} (10^{-9} \text{ s})$  จะเกิดในจุดบกพร่องเล็ก ๆ ในฉนวน  $\Delta U_1$  คักคาที่ drop ข้ามช่องว่างเนื่องจาก discharge current  $I_1(t)$  เป็นสาเหตุให้เกิด charge variation  $\Delta q_1$

$$\Delta q_1 = \Delta U_1 \cdot C_1$$

ซึ่งกระแส  $I_1(t)$  ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจาก discharge ของ  $C_1$  คือสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของประจุใน  $C_2$  และ  $C_3$  ที่แสดงดังรูป  $\Delta U_1$  คือ คักคาที่จุด terminal A,B ของตัวอย่างทดสอบที่สามารถวัดได้

### 1.3 พินจาวงจรทดสอบ PD



เอกสารรูปที่ 1.3 ส แสดงวงจรการทดสอบ PD และการเกิด PD pulse currents ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบตัวอย่างทดสอบค่า  $C_u$  ที่มีความสัมพันธ์กันใน terminal A, B ถูกต่อกับ VT. Source และ coupling capacitor CK. ค่า Voltage drop  $\Delta U_u$  ถูกขดเชยสำหรับการขยายโดยกระแสที่วัดได้  $i_{cu}$ , คือกระแสที่ไหลวน (ในรูป 3) เนื่องจาก high frequency process, Impedance  $z$  ปกติถูก decouple กับ voltage source จากวงจรทดสอบจริงๆที่รวมทั้ง  $C_u$  กับ  $C_x$  \* ดังนั้น กระแสรบกวนที่มีความถี่สูงจาก voltage source สามารถเข้ามาในวงจรได้บางส่วน

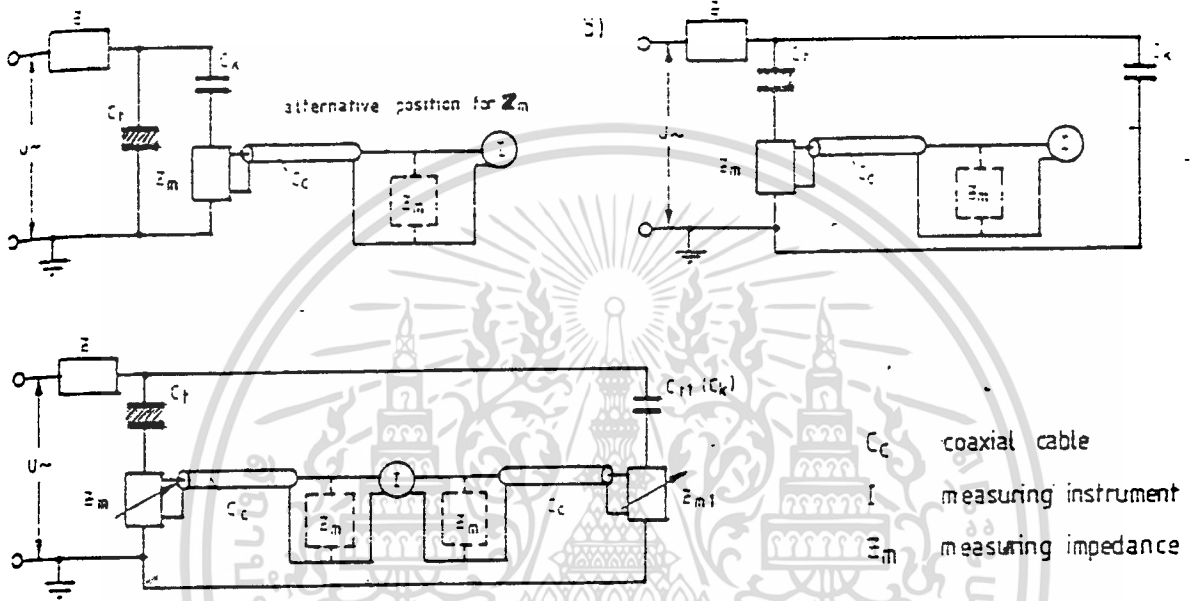
? รูปที่ 1.3 แสดงกระแสที่มีการไหลอย่างสั้น ๆ  $i_{cu}$ , ไม่ได้เป็นผลเพียงจาก discharge ในตัวอย่างทดสอบ  $C_u$  กระแสที่เข้ามาแทนที่ซึ่งมากกว่า คือ  $i_{cu}$  และ  $i_x$  ใน capacitor ที่มี 90 องศา เนื่องจากเฟสของ sine wave voltage  $U_u$

PD current  $i_{cu}$  จะถูกทับบน power frequency current และถูกอธิบายด้วยขนาดที่แสดงในรูป small peak \* จุดที่สังเกต คือ PD current ใน capacitor  $C_x, C_u$  ที่มีขั้วแตกต่างกันแต่บ่อยครั้งที่มีขนาดเท่ากัน (ให้ตัด stray capacitancees ทิ้ง)

ซึ่งอัตราการเกิด pulse (pulse rate) ปรับให้ใหญ่ได้ โดยขึ้นกับ test VT. และ characteristic ของ faults location, PD pulses หลาย ๆ ค่าที่ช่วงเวลา 2-3  $\mu s$  หรือมากกว่าขึ้นถูกวัดได้ \* ในการทดสอบตัวอย่างที่มี fault หลายแห่ง PD จะถูกวัดโดยการเกิดที่ช่วงเวลา 2-3  $\mu s$  หรือน้อยกว่า อัตราการ discharge ที่สูงจะเกิดที่คักตาที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด  $du_u/dt$

pulse polarity เดี่ยว ๆ ขึ้นกับรูปร่างของคักตาที่เปลี่ยนไป  $du_u/dt$  ที่ไม่อยู่บน polarity ของ test VT.  $U_u$ , Corona discharge (PD ภายนอก) แบบอื่น ๆ เกิดที่ peak applied test VT, และ pulse เป็นรูปเดียวกับคักตา  $U_u$

\* \* การตรวจจับ โดยอาศัยผลทางไฟฟ้าให้ผลที่มีความถูกต้องดีกว่าวิธีอื่น ๆ คือ discharge ทำให้เกิดกระแส pulse ไหลผ่านวงจรที่ต่อกับฉนวนจึงวัดแรงดันตกคร่อม Impedances ที่ต่อในวงจรได้ วิธีตรวจจับ discharge มี 2 วิธี คือ วิธีตรง, วิธีสมคณธ์ bridge



รูปที่ 1.4 วงจรพื้นฐานจาก IEC publication 270(1961)

- a,b) วิธีตรง (straight detection)  
c) วิธีสมคณธ์ bridge

1. วิธีตรง กระแส pulse จากโพรงในฉนวนทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

• ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ตกคร่อม impedance จะถูกขยายต่อเข้าเครื่องวัด oscilloscope ดังรูปที่ 1.4 a, b)

ตัวจ่ายแรงดันสูงปกติเป็นหม้อแปลงทดสอบ จะต้องเป็นหม้อแปลงที่ปลอดภัย PD ภายในตัวกรองความถี่สูง  $Z$  จะทำหน้าที่ป้องกันมิให้ PD จากหม้อแปลงหรือตัวจ่ายแรงดันสูงเข้าไปในวงจรวัด แต่ความถี่ต่ำ เช่น แรงดันทดสอบ 50 Hz จะผ่านไม่ได้ และยิ่งกว่านั้นตัวกรอง  $Z$  ยังป้องกัน PD ที่ต้องการวัดเกิดจากตัวอย่างวัสดุทดสอบ  $P$  นี้ไม่ให้ไหลหนีออกไปทางหม้อแปลงหรือตัวจ่ายในกรณีที่ Impedance ของตัวจ่ายมีค่าต่ำ  $\text{coupling capacitor}$  แรงสูง  $C_c$  ทำหน้าที่ <sup>เชื่อมโยง</sup>  $\text{coupling}$  แรงดันทดสอบแรงสูงที่ป้อนให้วัสดุทดสอบกับ Impedance วัตถุภาคแรงต่ำ  $\text{coupling capacitor } C_c$  จะต้องมีความถี่ที่กำหนดทนต่อแรงดันทดสอบได้ ปลอดภัย PD ในช่วงแรงดันทดสอบ และมี capacitance ไม่น้อยกว่า 1000 PF ( *the IEC standard is 1000 pF* )

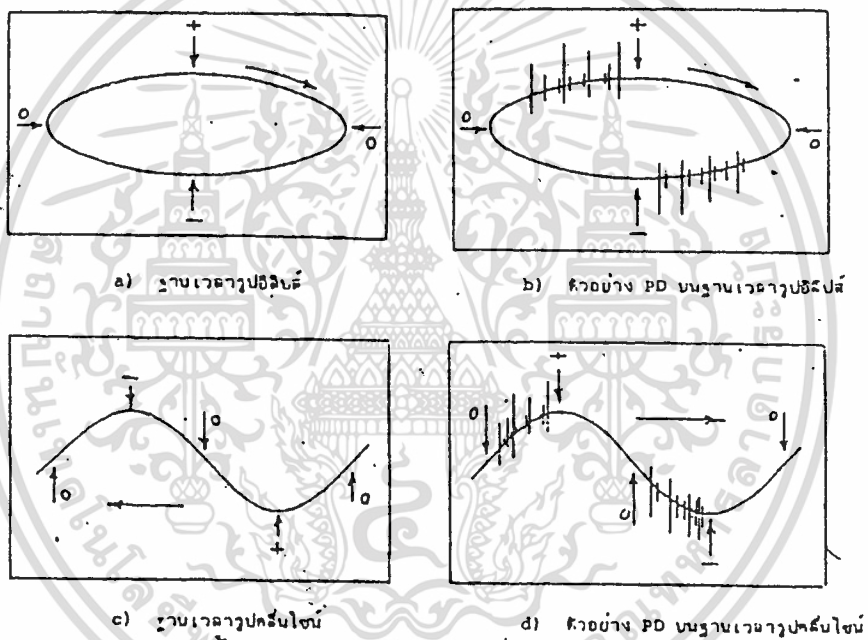
2. วิธีวงจรมดลย์ (bridge) ปัญหาที่ยุงยากในการทดสอบวัด PD คือ เกิดคลื่นรบกวนเนื่องจาก discharge จากวงจรภายนอก จนไม่สามารถแยกได้ว่า discharge นั้นเกิดจากภายในฉนวนที่ทดสอบ หรือ เกิดจากวงจรภายนอก ดังรูป 1.4 c)

คือ อาจเกิดจากตัวจ่ายแรงสูง สายนำแรงสูงก็ได้

ฉะนั้น วิธีวงจรมดลย์จึงแก้ปัญหายุงยากดังกล่าวโดยใช้ bridge เช่น Schering bridge ซึ่งมักมีใช้ในห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงทั่วไป ความต้านทานในวงจร bridge เป็นตัววัด PD เช่นเดียวกับตัว Impedance ในวิธีตรง คือ กระแส discharge ในฉนวนทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทาน  $R$  ตั้งในรูป คลื่นรบกวนจากภายนอกที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานข้างใดข้างหนึ่งของ bridge จะมีค่าต่ำกว่าอิมพัลส์ ที่เกิดจาก discharge ในฉนวน

1.4 การแสดงผลคลื่นรบกวนบางส่วน

การวัดค่า PD อาจวัดได้ด้วยมิเตอร์ความถี่สูงออกมาเป็น  $\mu v$ ,  $\mu c$  แต่จะทราบเพียงขนาด PD เท่านั้น วิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ให้รูปคลื่น pulse ของ PD ปรากฏบนฐานเวลารูปวงรี ซึ่งมีเครื่องหมายแสดงตำแหน่งยอดบวกและยอดลบ และตำแหน่งศูนย์ของรูปคลื่นแรงดันทดสอบได้ ดังรูป a, b หรือแสดงให้รูปคลื่น pulse PD ปรากฏบนฐานเวลารูปคลื่น sine รูป c, d



รูปที่ 1.5 การแสดงผลของ PD

การแสดงผล PD บนฐานเวลารูปคลื่น sine มีผลที่วัดขนาดได้ถูกต้อง และสังเกตตำแหน่งที่เกิดได้แน่นอน การแสดงผลบนฐานเวลารูปวงรี มีข้อดี คือ แยกได้ว่า PD เกิดจากสาเหตุอะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

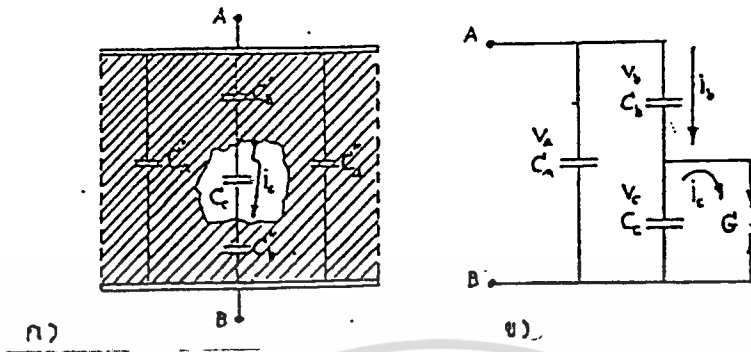
## ทฤษฎีและหลักการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

## 2.1 พฤติกรรมของดีสชาร์จบางส่วน

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะดีสชาร์จภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น ซึ่งมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์โดยตรง ปริมาณของดีสชาร์จบางส่วน จะวัดในเทอมของ "ประจุที่ปรากฏ" (Apparent charge) เนื่องจากมาตรฐานทั่ว ๆ ไปนิยมการวัดปริมาณของ PD ในเทอมนี้มากที่สุด การวัด PD นี้จะไม่รวมถึงดีสชาร์จตามผิวและโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งปกติจะวัดในเทอมของ "คลื่นรบกวนวิทยุ" [12]

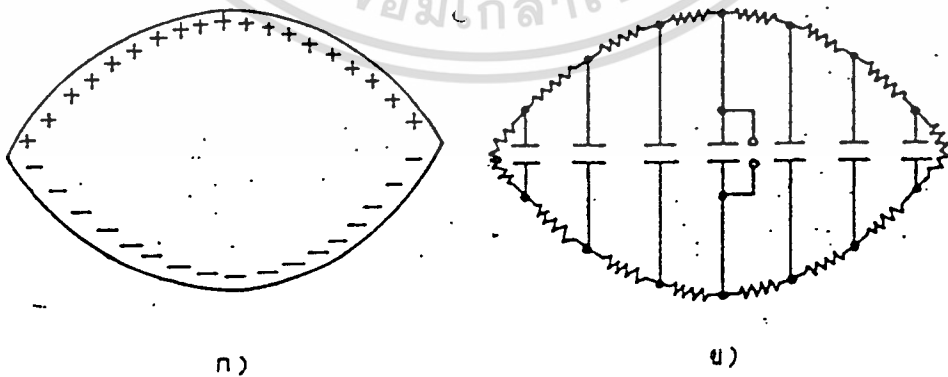
## 2.1.1 วงจรสมมูลดีสชาร์จภายใน

โดยปกติแล้ววงจรสมมูลของดีสชาร์จภายในนั้นจะหมายถึง วงจรสมมูลที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้ากล่าวถึงดีสชาร์จบางส่วนอย่างลอย ๆ ก็ให้หมายถึงดีสชาร์จภายใน [3, 6] วงจรสมมูลสำหรับฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขณะเกิด PD อาจแทนด้วย ตัวเก็บประจุ  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  และแก๊ป G ตามลำดับ โดยที่ แก๊ป G จะแทนการลัดวงจรขณะเกิด PD,  $C_2 = C_2' + C_2''$  และ  $C_3 = C_3' C_3'' / (C_3' + C_3'')$  ดังรูปที่ 2.1 ในทางปฏิบัติจะพบว่า  $C_1 \gg C_2 \gg C_3$



รูปที่-2.1 วงจรสมมูล PD ทั่วไป

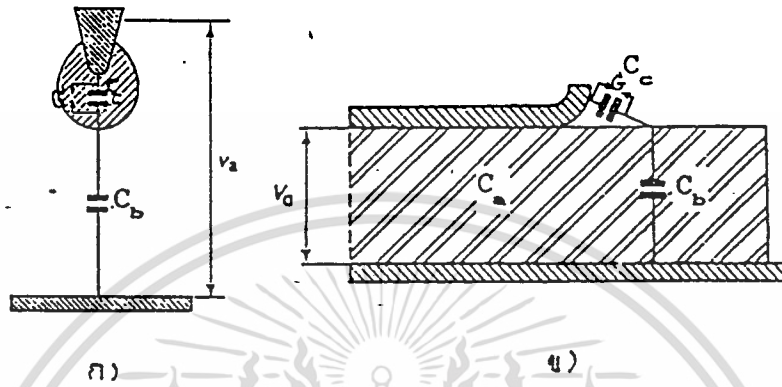
วงจรสมมูลในทางปฏิบัติของ PD เนื่องจากเกิดโพรงอากาศในเนื้อฉนวนแสดงดังรูปที่ 2.2 (13) ซึ่งจะแสดงเฉพาะส่วนของโพรงอากาศและผิวของฉนวนที่อยู่ติดกับโพรงอากาศเท่านั้น โดยในรูปที่ 2.2 ก) แสดงการกระจายของประจุก่อนการเกิดเบรกดาวน์ ในรูปที่ 2.2 ข) แทนผิวของฉนวนรอบโพรงอากาศด้วยความต้านทานที่มีค่าสูงมาก แทนโพรงอากาศด้วยตัวเก็บประจุต่าง ๆ และสับาร์กแก่ปตรงตำแหน่งที่จะเกิดเบรกดาวน์ ดังนั้นถ้าไม่คำนึงถึงผลของความต้านทานที่ผิว ผลที่ได้จึงใกล้เคียงกับวงจรสมมูลในรูปที่ 2.1 นั่นเอง



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูล PD ในทางปฏิบัติ (13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามวงจรสมมูลในรูปที่ 2.1 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโคโรนาดีสชาร์จและดีสชาร์จตามผิวได้ โดยการแทนส่วนต่าง ๆ ของฉนวนหรืออากาศรอบ ๆ ด้วย  $C_u$ ,  $C_b$ ,  $C_v$  และแก๊ป G ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.3

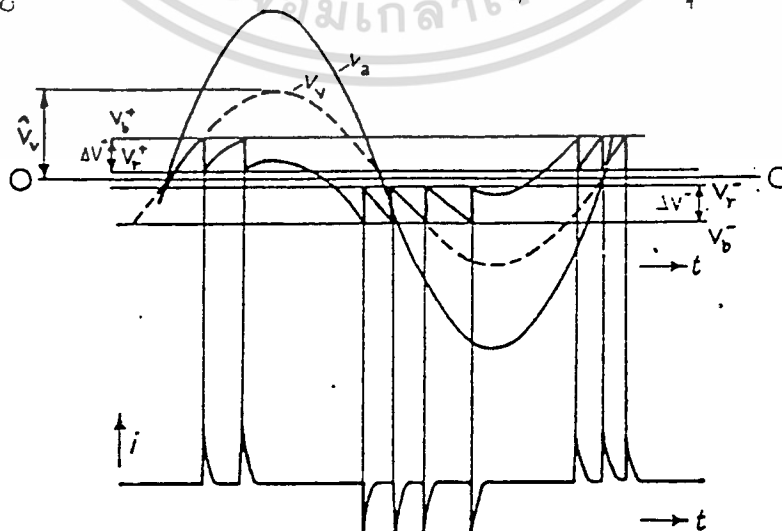


รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของโคโรนาดีสชาร์จและดีสชาร์จตามผิว [1]

2.1.2 อัตรามหาพีลล์ของดีสชาร์จบางส่วน

2.1.2.1 การเกิดดีสชาร์จซ้ำ

ในทางปฏิบัติ PD อาจเกิดซ้ำ ๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลา ดังรูปที่ 2.4 โดยที่  $V_u$  คือ แรงดันคร่อมขั้วของอุปกรณ์  $V_b$  คือ แรงดันเบรกทาว์นของโพรงอากาศหรือแก๊ป  $V_r$  คือ แรงดันหลังการเบรกทาว์นของโพรงอากาศหรือแก๊ป  $V_v$  คือ แรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ปถ้าไม่มีการเกิด PD เลย และ  $i$  คือกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์



รูปที่ 2.4 แรงดันคร่อมแก๊ปและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD [1]  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยพลังงานจลน์ไฟฟ้าของกรมการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้งการเกิด PD สามารถคำนวณได้จากรูปที่ 2.5 โดยสมมติว่า PD เกิดแบบ  
 สม่ำเสมอกับแกนเวลา ดังนั้นจำนวน PD ต่อครั้งคาบเวลา  $N$  คำนวณดังนี้ [13]

$$N = 2 [(V_b - V_r) - Y] / (V_b - V_r) \quad (2.1)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนครั้งการเกิด PD ต่อครั้งคาบเวลา

$V_b$  คือ แรงดันเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส

$V_r$  คือ แรงดันหลังการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส

$V_c$  คือ ค่ายอดของแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊สถ้าไม่มี

การเกิด PD เลส ซึ่งเท่ากับ  $C C_0 / (C_0 + C_0)$  เท่า

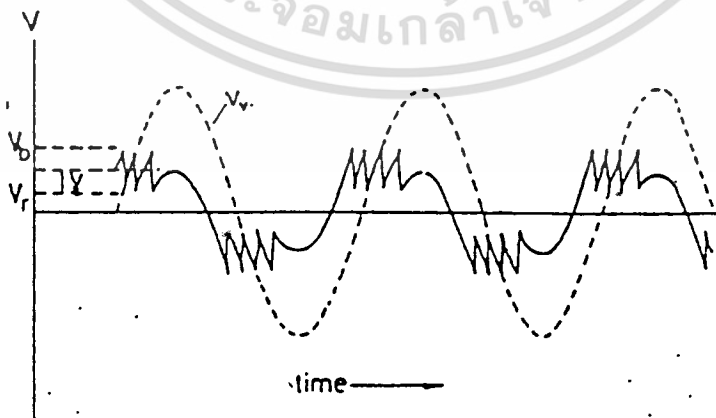
ของค่ายอดของแรงดันคร่อมวัสดุทดสอบ

$Y$  คือ แรงดันใด ๆ ซึ่งมีค่า  $0 \leq Y \leq (V_b - V_r)$

2.1.2.2 ลักษณะรูปร่างของกระแสพัลส์บางส่วน

ลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในแก๊สเล็ก ๆ ในทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 2.5 [14]

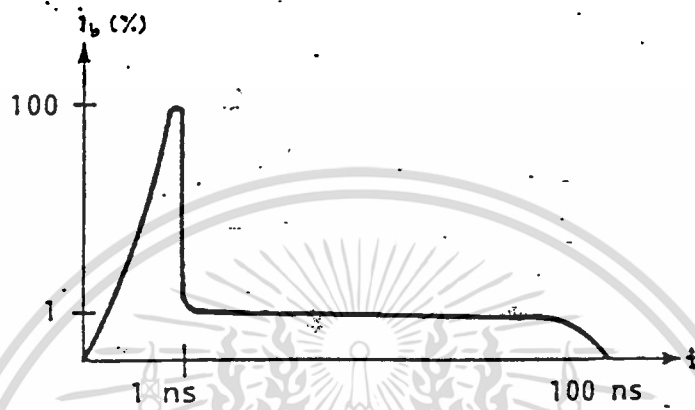
กล่าวคือ ขณะเกิด PD การไหลของกระแสผ่านแก๊สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการ



รูปที่ 2.5 การเกิด PD ซ้ำ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวกผ่านแก๊สอื่น ๆ เมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านแก๊สหมดกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็ว และกระแสที่ลดลงนี้จะยังคงไหลต่อไปอีกเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวก



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับแก๊สเล็ก ๆ [14]

ลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางปฏิบัติ ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้างพิเศษ (Ultra-wide band detector = UWB) ใน Epoxy และ ปลายแหลมในก๊าซ SF<sub>6</sub> จะให้ลักษณะรูปร่างเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.7 จะพบว่ามีความชันประมาณ 0.8 ถึง 0.8 นาโนวินาที ความกว้างของพัลส์ที่ขนาดลงครึ่งหนึ่ง ประมาณ 1.5 นาโนวินาที จากรูปที่ 2.7 สามารถประมาณลักษณะรูปร่างของกระแส PD เป็นรูป "Gaussian" คือ  $i(t)$  ได้ดังนี้ [14]

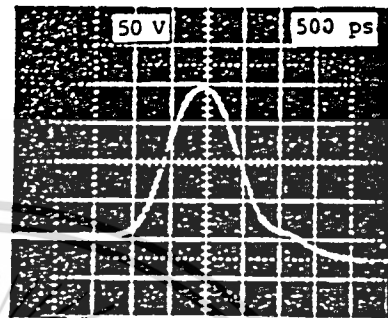
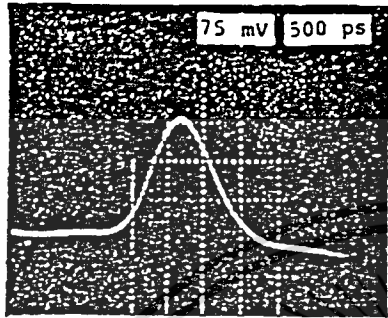
$$i(t) = I_0 \text{EXP}[-t^2 / 2 \delta^2] \tag{2.2}$$

ดังนั้นสเปกตรัมความถี่ของกระแส PD คำนวณได้ดังนี้

$$I(\omega) = I_0 \delta (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}[-\omega^2 \delta^2 / 2] \tag{2.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดความกว้างของพัลส์เท่ากับ 2.36 และ  $I_p$  คือค่ายอดของกระแส PD ดังนั้น  $6.36 \times 10^{-10}$  วินาที ซึ่งการคำนวณพบว่าสเปกตรัมของความถี่มากกว่า 200 เมกะเฮิรตซ์



ก)

ข)

รูปที่ 2.7 ลักษณะกระแส PD ที่ตรวจจับได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ UWB. [14]

ก) กระแส PD ที่เกิดใน Epoxy

ข) กระแส PD ที่เกิดจากปลายแหลมในก๊าซ SF<sub>6</sub>

อย่างไรก็ตามจากการค้นคว้าเอกสารต่าง ๆ เกี่ยวกับช่วงเวลาการเกิด PD ในฉนวนแข็ง และเหลวที่มีโพรงอากาศภายใน จะพบว่ากระแสพัลส์ของ PD จะมีช่วงเวลา < 5 นาโนวินาที เพราะว่า PD เกิดในที่แคบ ๆ ฉนวนเนื้อแข็ง เช่น ก๊าซจะมีช่วงเวลายื่น < 5 นาโนวินาที และ เวลาส่วนหางคลื่นจะยาวกว่าช่วงเวลายื่น สำหรับในอากาศกระแสพัลส์ของ PD มีช่วงเวลาเกิด น้อยกว่า 100 นาโนวินาที [8]

### 2.1.2.3 พลังงานดิสชาร์จบางส่วน

พลังงานดิสชาร์จภายใน W ของวัสดุทดสอบ สามารถคำนวณได้ดังนี้ [4]

$$W = 0.7 q \cdot V_c$$

[2.4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $q$  คือประจุที่ปรากฏของ PD

$V_r$  คือแรงดันเริ่มต้นเกิดตัวชี้รับบางส่วน (ค่า rms)

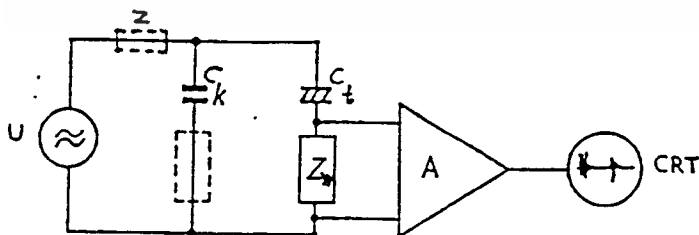
พลังงานตัวชี้รับบางส่วนนี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบจนวัดได้เช่น  $V_r=10$  กิโลโวลต์ และ  $q = 10$  พิโคคูลอมป์ ดังนั้น  $w = 7 \times 10^{-14}$  จูล ซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากพลังงานจำนวนนี้ปล่อยออกมาขณะเกิด PD ในช่วงเวลา  $< 10^{-10}$  วินาที และเกิดในที่แคบ ๆ ทำให้ความหนาแน่นพลังงานบริเวณนั้นสูงพอที่จะทำให้โมเลกุลตึก เช่น PE อาจทำให้เกิดเบรคดาวภายในเวลา 2-8 วัน [8]

### 2.2 หลักการตรวจจับตัวชี้รับบางส่วน

การตรวจจับ PD สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน โดยการสังเกตหรือวัดผลที่เป็นปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของ PD ที่ได้อธิบายในบทที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามการวัดผลของ PD ในเชิงปริมาณที่ได้ผลดีที่สุดคือ การวัดผลทางไฟฟ้าโดยวิธีการตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์ [1]

#### 2.2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับตัวชี้รับบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD ด้วยวิธีตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 2.8



- U คือ แหล่งจ่ายแรงดันสูง
- $C_k$  คือ วัสดุทดสอบ
- $C_x$  คือ ตัวเก็บประจุคัปปลิง
- $Z_x$  คือ อิมพีแดนซ์วัด
- A คือ วงจรขยายสัญญาณ
- CRT คือ ภาคนแสดงผล
- Z คือ ตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.8 ซึ่งวงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายมีค่าสูงมากขณะเกิด PO ดังนั้นจึงต้องมีตัวเก็บประจุ  
คัปปลิงเป็นทางผ่านของกระแสพัลส์หรือคัปปลิงสัญญาณนั่นเอง

## 2.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจวัดตัวเก็บประจุบางส่วน

### 2.2.2.1 วงจรสมมูล

จากวงจรพื้นฐานในรูปที่ 2.8 จะแทนวัสดุทดสอบ  $C_u$  ด้วยวงจรสมมูล ซึ่งประกอบด้วย  
 $C_u$ ,  $C_p$ ,  $C_s$  และแก๊ป  $G$  ดังรูปที่ 2.9 ก) เนื่องจากเบรกดาว์นของโพรงอากาศหรือ  
แก๊ปจะใช้เวลาในการเกิดน้อยกว่า  $10^{-7}$  วินาที ซึ่งถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับคาบ  
เวลาของแหล่งจ่าย ดังนั้นจึงอาจแทนแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ป  $V_u$  ด้วยแหล่งจ่าย  
แรงดันรูปขั้น [1] ดังรูปที่ 2.9 ข) คือ

$$V_u \approx \Delta V U(t) \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\Delta V$  คือ แรงดันตกคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ป  
 $U(t)$  คือ ฟังก์ชันรูปขั้น (Unit step function)

ซึ่งวงจรในรูปที่ 2.9 ข) ก็คือ "วงจรพื้นฐานสำหรับการปรับเทียบ" นั่นเอง เนื่องจาก  
โดยปกติแล้ว  $C_u \gg C_p$  ดังนั้น เมื่อมองอิมพีแดนซ์จากแหล่งจ่ายแรงดัน  $V_u$  จะมอง  
เห็นอิมพีแดนซ์รวมประมาณของ  $C_u$  จึงสามารถประมาณได้ว่า

$$i_u = C_u \cdot dV_u / dt = C_u \Delta V \delta(t) \quad (2.6)$$

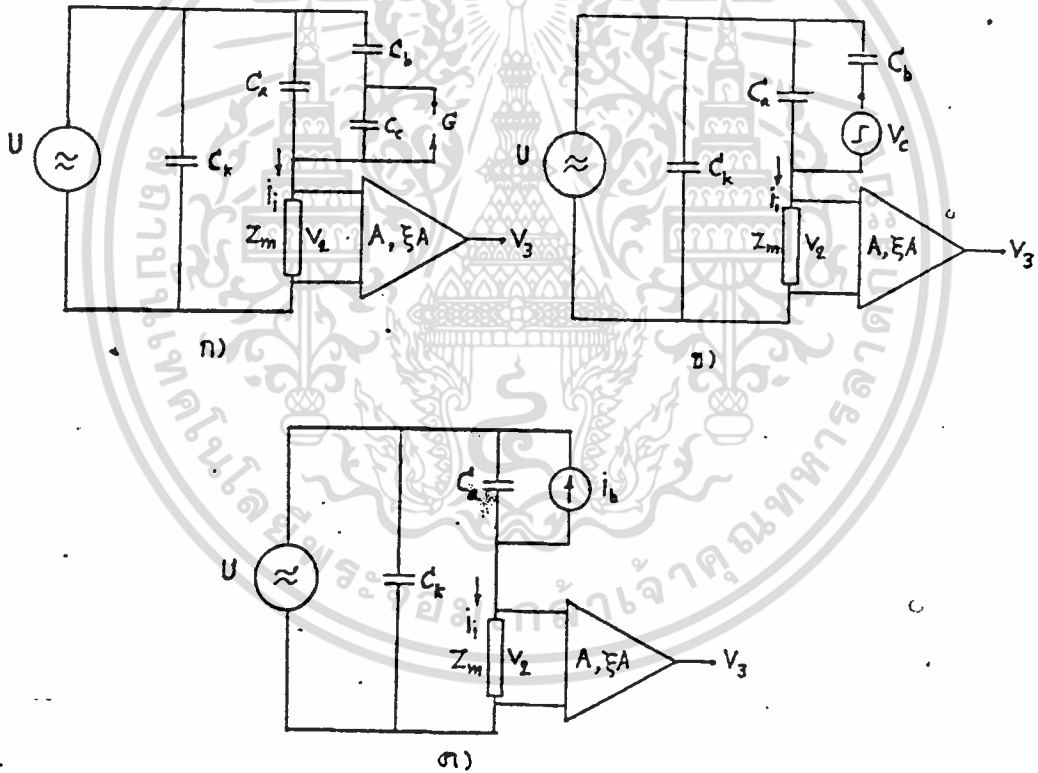
เมื่อ  $U(t)$  คือ "Unit impulse function" หรือ  
"Dirac delta function"



ถ้านิยามให้  $q = C_u \Delta V = \int i_u dt$  คือ ประจุที่ปรากฏของ PD แทนค่า  $q = C_u \Delta V$  ในสมการ (2.6) จะได้

$$i_u \cong q \delta(t) \tag{2.7}$$

ในรูปที่ 2.9 ค) แทนการเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วยแหล่งจ่ายกระแสสั้นๆ ในทางปฏิบัติจะพบว่ากระแสสั้นๆ  $i_u$  มีช่วงเวลาเกิด  $\leq 5$  นาโนวินาที สำหรับฉนวนแข็งและเหลว [11]



รูปที่ 2.9) แทน PD ด้วยวงจรสมมูลแบบต่าง ๆ

ก) แทนวัสดุทดสอบ  $C_u$  ด้วยวงจรสมมูลที่ประกอบด้วย  $C_u$ ,  $C_b$ ,  $C_c$  และ แก๊ป G

ข) แทน  $C_u$  และ G ด้วยแรงดันรูปขึ้น คือ  $V_c \cong \Delta V U(t)$

ค) แทน  $C_u$  และ  $V_c$  ด้วยแหล่งจ่ายกระแสสั้นๆ  $i_u \cong q \delta(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การแจ้งในหอการค้าไทยเพื่อประโยชน์ในด้านวิชาการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

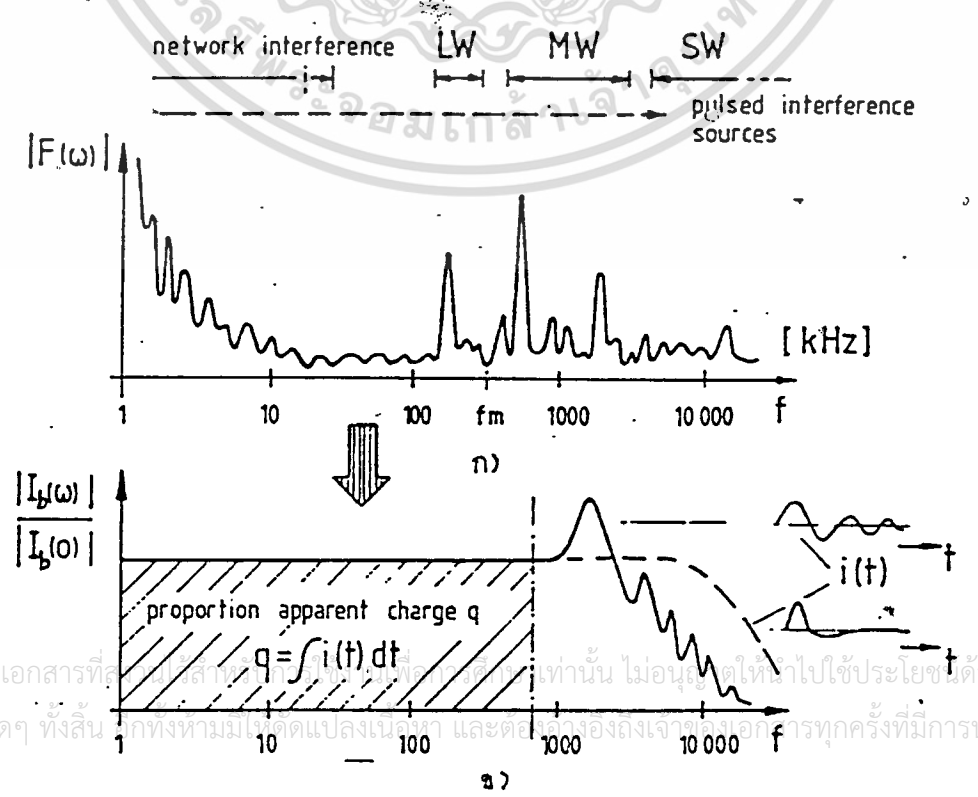
2.2.2.2 การวิเคราะห์ห่วงจรตรวจจับคลื่นรบกวนบางส่วนโดยวิธี

อินทิเกรตด้วยตัวกรองความถี่กลาง

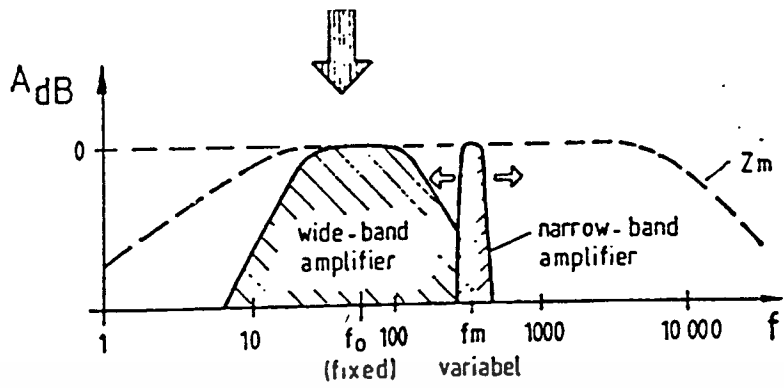
การวิเคราะห์ห่วงจรตรวจจับ PD โดยวิธีอินทิเกรตด้วยตัวกรองความถี่กลาง [15] จะเป็นการวิเคราะห์ห่วงจรในโดเมนความถี่ โดยใช้วงจรรูปที่ 2.9 ค) เป็นหลักคือ

$$I_u(j\omega) = F[i_u(t)] = q \tag{2.8}$$

โดยที่เราจะถือว่า  $|I_u(j\omega)|$  มีค่าคงที่เสมอในช่วงความถี่ที่เราพิจารณาลักษณะของ  $|I_u(j\omega)|$  ในทางปฏิบัติจะเป็นดังรูปที่ 2.10 ข) การตอบสนองความถี่ของอิมพีแดนซ์ตัวกรองหรือวงจรขยายสัญญาณ  $Z_u(j\omega) = V_u(j\omega)/I_u(j\omega)$  (โดยคิดผลกระทบของ  $C_u$  และ  $C_u$  เข้าไปด้วย) และตัวกรองหรือวงจรขยายสัญญาณ  $H_u(j\omega) = V_u(j\omega)/V_u(j\omega)$  ดังรูปที่ 2.10 ค) ในบางกรณีของการออกแบบอาจรวมอิมพีแดนซ์ตัวกรองและตัวกรอง หรือวงจรขยายเข้าด้วยกันเป็น "อิมพีแดนซ์แบบแยกตัว" [16] การเลือกความถี่ที่เหมาะสมนั้นจะต้องเลือกความถี่ในช่วงที่ปลอดภัยสำหรับรบกวนภายนอกให้มากที่สุด ซึ่งลักษณะ (ค่ากลาง ๆ) ของสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่แสดงในรูปที่ 2.10 ก) ดังนั้นการวิเคราะห์สัญญาณเอาต์พุต  $v_u(t)$  ทำได้ดังนี้ คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะสเปกตรัมสัญญาณและการตอบสนองความถี่ต่าง ๆ ของเครื่องตรวจจับ PD [15]

$$\text{กำหนดให้ } H(j\omega) = H_0(j\omega)Z_m(j\omega) \tag{2.9}$$

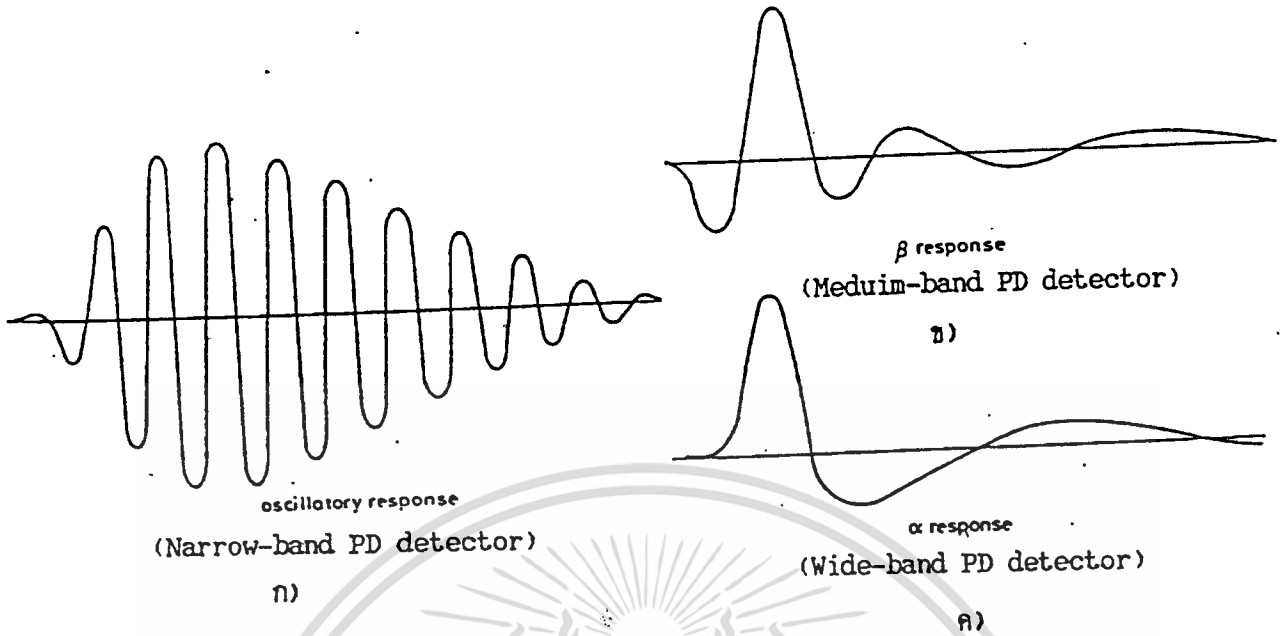
$$V_u(j\omega) = H(j\omega)[C_k / (C_k + C_u)]I_d \tag{2.10}$$

$$V_u(t) = \mathcal{F}^{-1}[V_u(j\omega)] \tag{2.11}$$

$$\approx I_d [C_k / (C_k + C_u)] h(t)$$

เมื่อ  $h(t)$  คือ การตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองและอิมพีแดนซ์ตัวรวมกัน  
 ตามเงื่อนไขสมการ (2.11) สัญญาณเอาต์พุต  $V_u(t)$  อาจเป็นได้ 3 ลักษณะคือ ในกรณีที่  $|H(j\omega)|$  มีแบนด์วิดท์แคบมาก จะให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ "Oscillatory response" จึงเรียกเครื่องตรวจจับ PD แบบนี้ว่า "เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบ" (Narrow-band PD detector) กรณี  $|H(j\omega)|$  มีแบนด์วิดท์กว้างไม่มาก จะให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ "p-response" จึงเรียกเครื่องตรวจจับ PD แบบนี้ว่า "เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกลาง" (Medium-band PD detector) และกรณีที่สุดท้ายคือ  $|H(j\omega)|$  มีแบนด์วิดท์กว้างจะให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ "α-response" จึงเรียกเครื่องตรวจจับ PD แบบนี้ว่า "เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้าง" (Wide-band PD detector)[17] ซึ่งลักษณะสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 3 แบบแสดงดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่าง ๆ [17]

จากสมการ (2.11) จะพบว่าไม่ว่าแบนด์วิดท์ของอิมพีแดนซ์วัตต์และตัวกรองจะเป็นอย่างไร ถ้าแบนด์วิดท์ที่พิจารณาอยู่ในช่วงความถี่ที่  $|I_u(j\omega)|$  มีค่าคงที่แล้ว ผลคือทั้งอิมพีแดนซ์วัตต์และตัวกรองจะทำหน้าที่อื่นที่เกเรตกรรณส์เสมอคือ  $q = \int i_u dt$  ดังนั้นเราจึงเรียกเครื่องตรวจจับ PD ทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้วว่าเครื่องตรวจจับ PD แบบนิยม (Conventional PD detector) [14]

ในกรณีที่การตอบสนองความถี่ของอิมพีแดนซ์วัตต์และตัวกรองมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของ  $|I_u(j\omega)|$  มาก ๆ ซึ่งกรณีนี้จะประมาณได้ว่า  $H(j\omega)$  มีค่าคงที่ คือ

$$H(j\omega) = H_0(j\omega)Z_u(j\omega) = K \tag{2.12}$$

เมื่อ K คือ อัตราขยายรวมของอิมพีแดนซ์วัตต์และตัวกรอง

$$V_u(j\omega) = K C C_x / (C_x + C_u) I_u(j\omega) \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ © 2013 โดย [V\_u(j\omega)] และ K C C\_x / (C\_x + C\_u) I\_u(j\omega) ไม่ให้นำไปใช้ปร (2.14) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.14) สรุปได้ว่า กรณีที่แบนด์วิดท์ของเครื่องตรวจจับ PD กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของ PD มาก ๆ นั้น สัญญาณเอาต์พุตที่ได้คือ ลักษณะของกระแสพัลส์ PD ที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นขีดจำกัดพื้นฐานสำหรับการตรวจจับลักษณะของกระแสพัลส์ PD ที่เกิดจริง จะกำหนดโดย ลักษณะของวงจรทดสอบและเครื่องตรวจจับ PD เอง ( คือคิดผลกระทบของ  $C_u$  หรือ  $C_s$  และ  $C_L$  เข้าไปด้วย ) [14, 18]

2.2.2.3 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity)

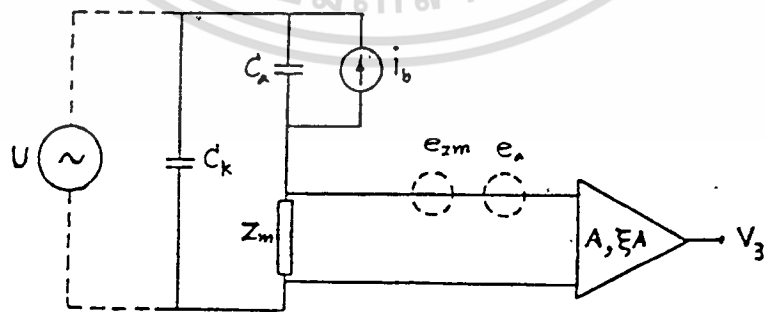
เนื่องจากสัญญาณรบกวน ทำให้ความไวของเครื่องวัดหรือตรวจจับ PD ลดลง ในการคำนวณความไวนั้นจะพิจารณาเฉพาะสัญญาณรบกวนภายในเครื่องวัดเท่านั้น คือ "Thermal noise" ของอิมพีแดนซ์วัด  $e_{zm}$  และ "Input noise" ของวงจรขยายหรือตัวกรอง  $e_n$  โดยการคำนวณความไวจะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

- 1) ความไวสำหรับวงจรทดสอบวัสดุทดสอบชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์

วงจรที่ใช้คำนวณความไวสำหรับกรณีนี้ แสดงในรูปที่ 2.12 คือ

$$V_{n(rms)} = (e_{zm}^2 + e_n^2)^{1/2} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $V_{n(rms)}$  คือ สัญญาณรบกวนรวมที่อินพุตของวงจรขยายหรือตัวกรอง



รูปที่ 2.12 วงจรที่ใช้คำนวณความไวสำหรับวัสดุทดสอบชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามข้อกำหนดของ IEC Publ. No.885-2C71 ได้กล่าวไว้ว่า ความไวของเครื่องตรวจ  
จับหรือวัด PD จะต้องมีความสามารถในการตรวจจับพัลส์ของดิสชาร์จต่ำสุดเป็นสองเท่าของ  
สัญญาณรบกวน ลักษณะสัญญาณรบกวนและ PD แสดงดังรูปที่ 2.13 จากสมการ (2.11) และ  
รูปที่ 2.13 แทนค่าสูงสุดของ  $h(t)$  ด้วย A จะได้

$$V_{S(PD\ min)} = 2V_{S(noise\ peak)} \quad (2.16)$$

โดยที่  $V_{S(PD\ min)} = ACC_n / (C_n + C_u) I q_{min}$  (2.17)

และกำหนดให้ค่ายอดของสัญญาณรบกวนประมาณ 2.5 เท่าของค่า  $rms.[I]$  จะได้

$$V_{S(noise\ peak)} = 2.5AV_{n(rms)} \quad (2.18)$$

แทนค่า (2.17) และ (2.18) ใน (2.16) จะได้

$$q_{min} = 5C(C_n + C_u) / (\beta C_n) IV_{n(rms)} \quad (2.19)$$

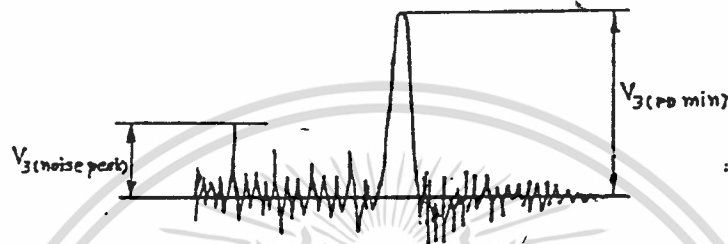
ในกรณีที่  $\sigma_{zn} \gg \sigma_n$  และ  $\sigma_{zn} = (4kTBR_n)^{1/2}$  หรือ Thermal  
noise ของอิมพีแดนซ์ แทนค่าในสมการ (2.19) จะได้

$$q_{min} = 10C(C_n + C_u) / (\beta C_n) (kTBR_n)^{1/2} \quad (2.20)$$

- เมื่อ  $V_{S(PD\ min)}$  คือ พัลส์ของดิสชาร์จต่ำสุดสามารถตรวจจับได้ที่เอาต์พุต
- $V_{S(noise\ peak)}$  คือ ค่ายอดสัญญาณรบกวนที่เอาต์พุต
- A คือ อัตราขยายรวมของอิมพีแดนซ์วัดและวงจรขยายหรือ
- $\beta$  คือ แฟกเตอร์สำหรับการตอบสนองแบบอิมพัลส์
- $V_{n(rms)}$  คือ สัญญาณรบกวนรวมทั้งอินพุตของวงจรขยายหรือตัวกรอง
- $q_{min}$  คือ ความไวหรือความสามารถตรวจจับพัลส์ต่ำสุด
- K คือ ค่าคงตัวโบลต์ซมันน์ =  $1.38 \times 10^{-23}$  joules/ K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อประโยชน์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
คือ อณพหิมสัมพันธ์ ( K )  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ม คือ แบบควิกที่สมมูล
- ม คือ ความต้านทางสมมูลของอินพุตแชนแนลซึ่งวัดเมื่อมองจาก  
อินพุตของวงจรขยายหรือตัวกรอง



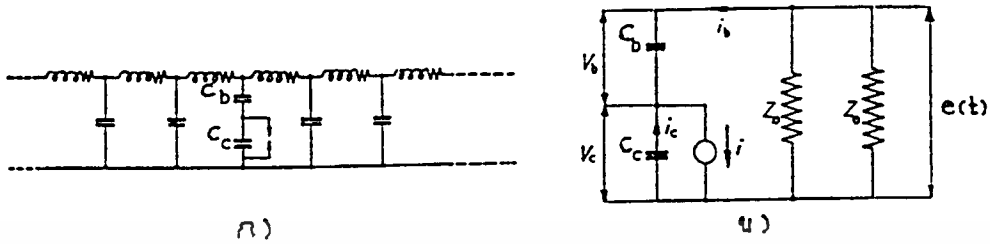
รูปที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD ในขณะที่มีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย

2) ความไวสำหรับการทดสอบเคเบิลยาว

การคำนวณความไวในกรณีนี้พิจารณาเฉพาะเคเบิลยาวเท่านั้น รูปที่ 2.1.4 ก) แสดงการเกิด PD ในเคเบิลยาว รูปที่ 2.14 ข) แสดงวงจรสมมูล PD ในเคเบิลยาว แรงดันของคลื่นจรในเคเบิลยาวเนื่องจาก PD สามารถคำนวณได้ดังนี้

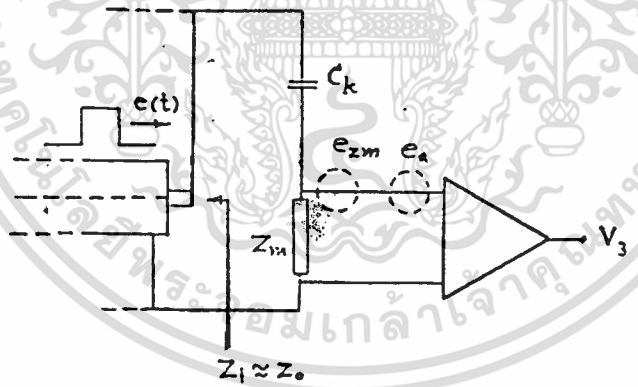
$$e(t) = (Z_0/2) i_p(t) \text{EXP}(-x/\tau) \quad (2.21)$$

- เมื่อ  $\tau$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียในเคเบิล
- $Z_0$  คือ ค่าแรงคเตอร์สติกอินพีแดนซ์ของเคเบิล
- $x$  คือ ระยะใด ๆ ของเคเบิลเมื่อวัดจากปลายด้านใกล้



รูปที่ 2.14 การเกิด PD ในเคเบิลยาวและวงจรสมมูล [1]

เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของ  $C_b \gg Z_0/2$  จึงสามารถแทน PD ด้วยแหล่งจ่ายกระแสอิมพัลส์  $i_b = q \delta(t)$  ได้เช่นเดียวกับกรณีของวัสดุทดสอบชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์ ดังนั้นวงจรสมมูลการเกิด PD ในเคเบิลยาวสำหรับการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรคำนวณความไวสำหรับเคเบิลยาว

จากรูปที่ 2.15 สมมติว่าตัวเก็บประจุคัปปลิงมีอิมพีแดนซ์น้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าแรงเคลื่อนรีซิสติวอิมพีแดนซ์  $Z_0$  และอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์  $Z_L$  ถ้าสมมติว่า  $Z_L = Z$  ซึ่ง  $Z$  เป็นตัวต้านทานล้วน ๆ ดังนั้นแรงดันคร่อมอิมพีแดนซ์วัด  $V_{zx}(t)$  สามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$V_{zx}(t) = 2[Z/(Z+Z_0)] i_c(t) \quad (2.22)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $o(t)$  จากสมการ (2.21) และ  $i_{xm}$  ในสมการ (2.22) จะได้

$$V_{xm}(t) = [Z_o Z / (Z_o + Z)] q \delta(t) \text{EXP}(-x/\gamma) \quad (2.23)$$

จะได้  $i_{xm}(t) = [Z_o / (Z_o + Z)] q \delta(t) \text{EXP}(-x/\gamma) \quad (2.24)$

ดังนั้น  $V_{xm}(t)$  ได้จากการ Conjugate ระหว่าง  $h(t)$  กับ  $i_{xm}(t)$  คือ

$$\begin{aligned} V_{xm}(t) &= h(t) * i_{xm}(t) \\ &= [Z_o / (Z_o + Z)] q \text{EXP}(-x/\gamma) h(t) \end{aligned} \quad (2.25)$$

ในทางปฏิบัติ เราไม่สามารถหาตัวเก็บประจุกับปลิงขนาดใหญ่ได้ จึงต้องมีแฟกเตอร์ลดทอน  $f(C_k, Z_o)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $C_k$  และ  $Z_o$  จากสมการ (2.25) จะได้

$$V_{xm}(t) = f(C_k, Z_o) [Z_o / (Z_o + Z)] q \text{EXP}(-x/\gamma) h(t) \quad (2.25)$$

แทนค่าสูงสุดของ  $h(t)$  ด้วย  $\delta A$  ในสมการ (2.25) จะได้

$$V_{v(rpm)} = f(C_k, Z_o) [Z_o / (Z_o + Z)] q \text{EXP}(-x/\gamma) \delta A \quad (2.27)$$

และ

$$V_{v(notice peak)} = 2.5 A V_{v(rpm)} \quad (2.28)$$

จากสมการ (2.27) และ (2.28) แทนค่า  $V_{v(rpm)} = 2V_{v(notice peak)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{n(n)} = 5C(Z_0 + Z) / \{ \xi f(C_x, Z_0) \} \text{EXP}(x/\gamma) V_{n(n)} \quad (2.29)$$

ในกรณีที่  $\theta_{x_n} \gg \theta_n$  จะได้

$$q'_{n(n)} = [10 / \{ \xi f(C_x, Z_0) \} \text{EXP}(x/\gamma) [KT B Z (Z_0 + Z) / Z_0]^{1/2} \quad (2.30)$$

- เมื่อ  $\gamma$  คือ แผงเทอร์สำหรับการตอบสนองแบบอิมพัลส์
- X คือ ระยะใด ๆ ของเคเบิลเมื่อวัดจากปลายด้านใกล้
- $\gamma$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียในเคเบิล
- K คือ ค่าคงตัวโบลต์มันน์ =  $1.38 \times 10^{-23}$  Joules/ K
- T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ ( K )
- Z คือ ความต้านทานอินพุตของอิมพีแดนซ์วัดในช่วงความถี่พิจารณา
- $Z_0$  คือ ค่าแรงเคลื่อนที่อิมพีแดนซ์ของเคเบิล ( $Z_0 = 10$  ถึง  $60$  โอห์ม)
- $V_{n(n)}$  คือ สัญญาณรบกวนที่อินพุตของวงจรขยายหรือตัวกรอง
- $f(C_x, Z_0)$  คือ แผงเทอร์ลทอนเนื่องจากตัวเก็บประจุคัปปลิงมีขนาดเล็ก

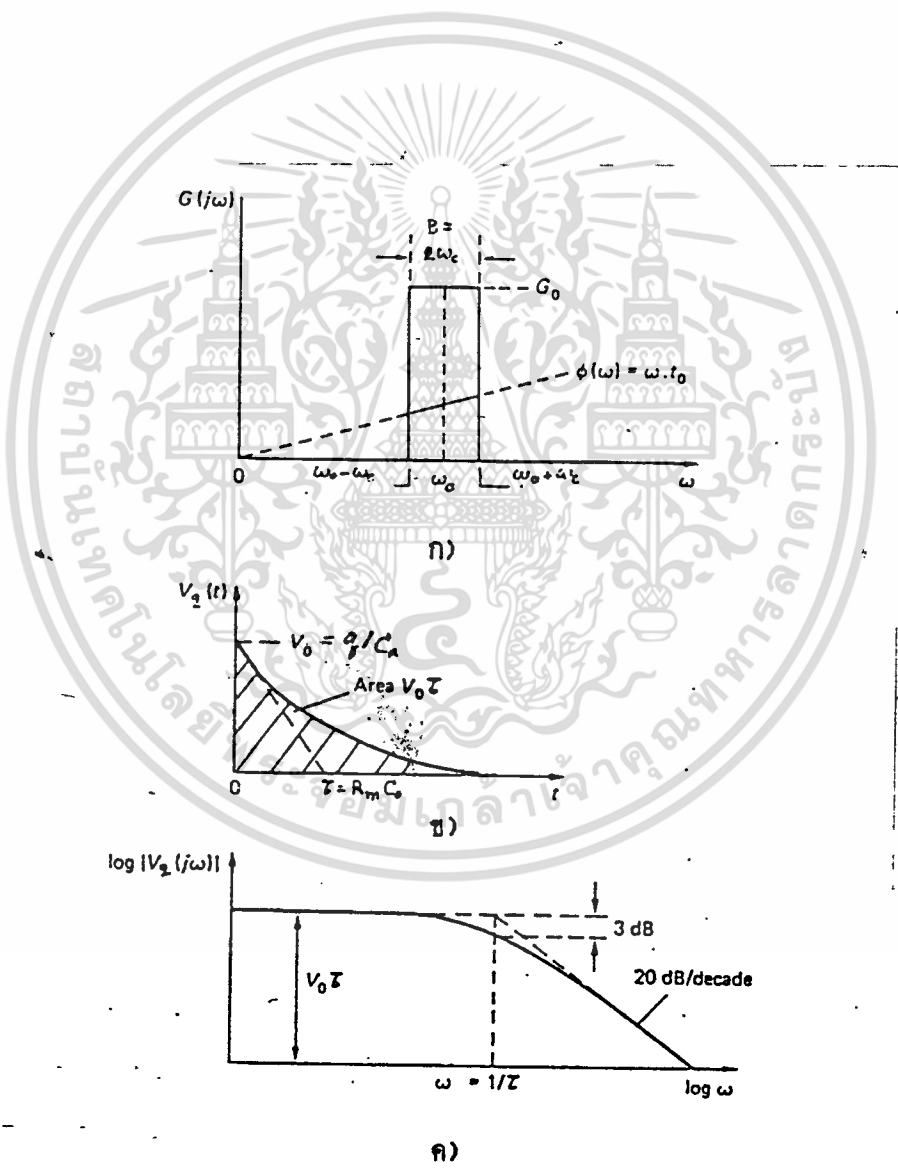
#### 2.2.2.4 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้ตัวกรองออคมคติ

การวิเคราะห์ความไวเครื่องตรวจจับ PD โดยใช้ตัวกรองออคมคติ ในที่นี้ก็เพื่อใช้เป็นแนวทางในการชี้แนะและแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการออกแบบในบทต่อไป การวิเคราะห์วงจรวิธีนี้เรา จะลดความยุ่งยากต่าง ๆ ในการคำนวณ โดยสมมติว่า ตัวกรองเป็นแบบออคมคติและถือว่าสัญญาณรบกวนของวงจรเกิดจาก "Thermal noise" ของอิมพีแดนซ์วัดเป็นตัวต้านทานลวิน ๆ เท่านั้น

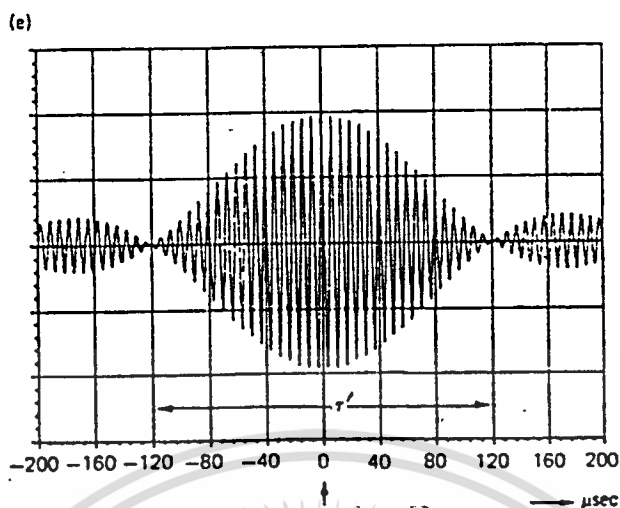
1) ความไวสำหรับวงจรถอดสอบวัสดุทดสอบชนิด

องค์ประกอบแบบลัมป์

วงจรที่ใช้คำนวณความไวสำหรับกรณีนี้จะใช้วงจรรูปที่ 2.9ค) โดยแทนวงจรถอดสอบด้วยตัวกรองออกมคติ ในรูปที่ 2.16 ก) แสดงตัวกรองออกมคติ รูปที่ 2.16 ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอิมพีแดนซ์  $V_2(t)$  รูปที่ 2.16 ค) แสดงสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ  $V_2(t)$  รูปที่ 2.16 ง) แสดงลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วงจรคำนวณความไวสำหรับวัดคัตออฟชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์ เมื่อใช้ตัวกรองอุดมคติ [3]

จากรูปที่ 2.16 สามารถคำนวณ  $V_u(t)$  ได้ดังนี้

$$V_u(t) = (q/C_u) \text{EXP}(-t/R_u C_u) \tag{2.31}$$

โดยที่  $C_u = C_u C_k / (C_u + C_k)$  (2.32)

$$= C_u C_k / (C_u + C_k)$$

ดังนั้น  $|V_u(j\omega)| = (qR_u C_u / C_u) / [1 + (\omega R_u C_u)^2]^{1/2}$  (2.33)

ในกรณีที่  $(\omega_0 + \omega_u) \ll 1/R_u C_u$  จะสามารถประมาณได้ว่า  $|V_u(j\omega)|$  มีค่าคงที่คือ

$$|V_u(j\omega)| \approx qR_u C_k / (C_u + C_k) \tag{2.34}$$

ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุต  $V_u(t)$  คำนวณได้ดังนี้

$$V_u(t) = F^{-1} [G(j\omega) V_u(j\omega)]$$

$$\approx G(t) R_u q C_k / (C_u + C_k)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\approx G(t)R_{\infty}qC_x / (C_u + C_x) \quad (2.35)$$

โดยที่  $G(t) = 2G_0[\cos w_0(t-t_0) + \sin w_c(t-t_0)] / r(t-t_0)$  (2.35)

$G(t)$  คือ การตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองอุดมคติ

จากสมการ (2.35) เมื่อเทียบกับสมการ (2.11) จะได้

$$h(t) = R_{\infty}G(t) \quad (2.37)$$

เนื่องจากค่าสูงสุดของ  $h(t)$  คือ  $2G_0w_cR_{\infty}/r$  ดังนั้น  $\approx 2w_cR_{\infty}/r = 2BR_{\infty}$  แทนค่าในสมการ (2.20) จะได้

$$q_{n+1} = 5C(C_k + C_u) / C_k \sqrt{CKT / BR_{\infty} I^{1/2}} \quad (2.38)$$

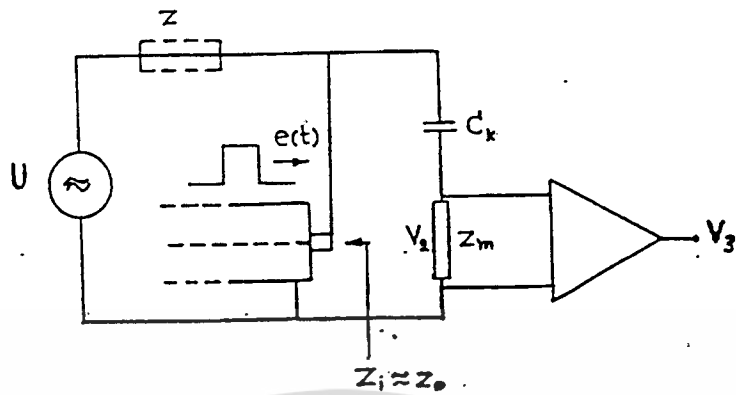
ขีดจำกัดของสมการ (2.38) จะใช้ได้เมื่อ  $1/R_{\infty}C_u \gg (w_0 + w_c)$  เท่านั้น และสมการนี้บอกให้เราทราบว่า การเพิ่มความไว สามารถทำได้โดยการเพิ่ม  $R_{\infty}$  และ  $B$  เท่านั้น (ความไวมีค่าสูงเมื่อ  $q_{n+1}$  มีค่าต่ำ ๆ) โดยที่ค่า  $R_{\infty}$  และ  $B$  ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด การคำนวณความไวอย่างคร่าว ๆ สามารถใช้สมการนี้เช่น

ถ้า  $C_u = C_k = 1$  นาโนฟารัด  $B=400$  กิโลเฮิรตซ์ และ  $R_{\infty}=40$  โอห์ม จะได้

$$q_{n+1} = 0.15 \text{ นิโคลอมบี้}$$

## 2) ความไวสำหรับวงจรทดสอบเคเบิลยาว

วงจรที่ใช้คำนวณความไวสำหรับกรณีนี้ แสดงดังรูปที่ 2.17 โดยกำหนดให้  $Z_{\infty} = R_{\infty}$  เป็นตัวความต้านทานสั้น ๆ



รูปที่ 2.17 วงจรคำนวณความไวสำหรับเคเบิลยาว  
เมื่อใช้ตัวกรองอดมคติ

จากรูปที่ 2.17 สามารถคำนวณ  $V_2(t)$  ได้ดังนี้

$$V_2(t) = q[R_m Z_o / (R_m + Z_o)] \{ [\delta(t) - \text{EXP}\{-t/C_k (R_m + Z_o)\}] \text{EXP}\{-x/\gamma\} \} \quad (2.39)$$

จากสมการ (2.39) ถ้า  $1/C_k (R_m + Z_o) \gg (\omega_o + \omega_c)$  เราจะประมาณ  $\text{EXP}\{-t/C_k (R_m + Z_o)\}$  ด้วย "Unit impulse function" ดังนั้น  $V_2(t) = 0$  นั่นคือ ถ้าตัวเก็บประจุขั้วปลิงมีขนาดเล็กจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกน้อยมาก ส่วนในกรณีที่  $1/C_k (R_m + Z_o) \ll (\omega_o + \omega_c)$  นั้น  $\text{EXP}\{-t/C_k (R_m + Z_o)\}$  จะไม่มีผลต่อเอาต์พุต  $V_2(t)$  เนื่องจากไม่มีสเปกตรัมความถี่ของ  $\text{EXP}\{-t/C_k (R_m + Z_o)\}$  อยู่ในในช่วง "Pass band" จึงประมาณ  $V_2(t)$  ได้ดังนี้

$$V_2(t) = q[R_m Z_o / (R_m + Z_o)] \delta(t) \text{EXP}\{-x/\gamma\} \quad (2.40)$$

$$V_u(t) = G(t)qCR_u Z_o / (R_u + Z_o) ] \text{EXP}(-x/\gamma) \quad (2.41)$$

ในทำนองเดียวกับสมการ (2.37) จะได้  $x \approx 2BR_u$  และจากสมการ (2.30) จะได้

$$q_{u, \text{min}} = [5/f(C_u, Z_o)] \text{EXP}(x/\gamma) [KT(R_u + Z_o)]^{1/2} \quad (2.42)$$

ตัวอย่างการคำนวณความไวอย่างคร่าว ๆ จากสมการ (2.42) เช่น

$f(C_u, Z_o) = 0.1$ ,  $R_u = 40$  โอห์ม,  $Z_o = 10$  โอห์ม และ  $B = 400$  กิโลเฮิรตซ์  
 จะได้  $q_{u, \text{min}} = 1.8$  นีโคลอมป์

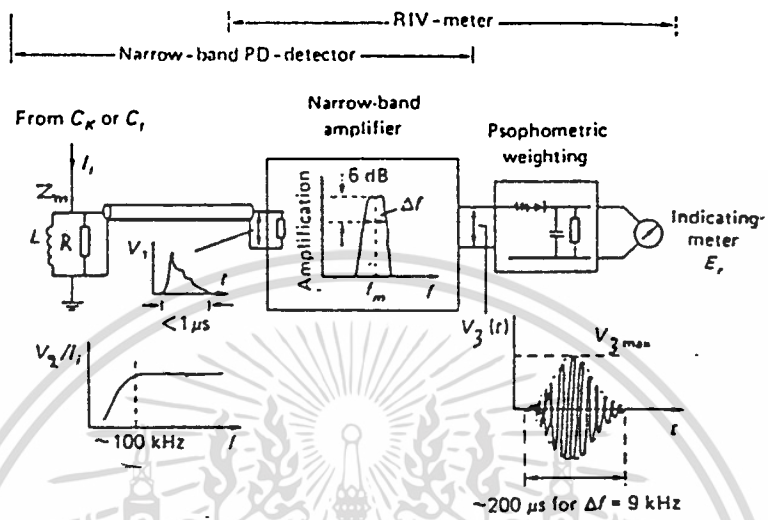
### 2.2.3 การแสดงผลของดิสชาร์จบางส่วน

การสังเกตหรือวัดผลของดิสชาร์จบางส่วนสามารถทำได้ทั้งทางมิเตอร์ จอภาพของออสซิลโลสโคป และทางเครื่องบันทึก ค่าของดิสชาร์จบางส่วนที่มาตรฐานกำหนดโดยปกติจะแสดงในเทอมของ "ประจุที่ปรากฏ" (Apparent Charge) ของ PD หรือ "ขนาดของดิสชาร์จ" (Discharge magnitude) "q" ซึ่งมีหน่วยเป็นนิกูลอมป์ (nC) จากสมการ(2.11)และ (2.25) สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD คือ  $V_u(t)$  จะปฏิบัติโดยตรงกับ q ดังนั้นค่ายอดของ  $V_u(t)$  คือ  $V_{u, \text{max}}$  จะปฏิบัติโดยตรงกับ q ด้วย จากเหตุผลดังกล่าว การอ่านค่า q จึงนิยมอ่านจากค่ายอดของ  $V_u(t)$  ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากจอภาพของออสซิลโลสโคป หรือมิเตอร์อ่านค่ายอดก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามการวัดผลของ PD อาจจะวัดในเทอมที่เกี่ยวข้องกับเทอมของประจุที่ปรากฏของ PD เช่น Average discharge current, Quadratic rate และ Discharge power เป็นต้น

นอกจากนี้การวัด PD อาจแสดงในเทอมของ "คลื่นรบกวนวิทยุ" หรือ RIV เช่น การวัดคลื่นรบกวนวิทยุของลูกถ้วยฉนวน เป็นต้น โดยใช้มิเตอร์กึ่งค่ายอด ซึ่งเครื่องมือวัดชนิดนี้ถือได้ว่าเป็นเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบชนิดหนึ่ง โดยค่าของคลื่นรบกวนวิทยุแสดงในหน่วยไมโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ ( $\mu V$ ) ซึ่งปริมาณที่วัดนี้จะมีคุณสมบัติตามลักษณะการสนองการได้ยินของมนุษย์ [81] ข้อแตกต่างระหว่างเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบและมีเทอร์กิ้งค่ายอดแสดงในรูปที่ 2.18 [81]



รูปที่ 2.18 วงจรแสดงความแตกต่างระหว่างเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบกับมีเทอร์กิ้งค่ายอด [81]

#### 2.2.4 เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน (Discharge calibrator)

จากสมการ (2.11) สัญญาณเอาต์พุต  $V_u(t)$  ของเครื่องตรวจจับ PD แปรตามขนาดของตัวเก็บประจุคัปปลิง และวัสดุทดสอบคือ

$$V_u(t) = q[C_x / (C_x + C_u)] I h(t) \quad (2.43)$$

$$\text{หรือ } V_{u(\text{max})} = q[C_x / (C_x + C_u)] I \xi_A \quad (2.44)$$

เมื่อ  $V_{u(\text{max})}$  คือ ค่ายอดของสัญญาณเอาต์พุต  $V_u(t)$

จากสมการ (2.44) จะเห็นว่า สัญญาณเอาต์พุต  $V_u(t)$  จะแปรตามค่า

$[C_x / (C_x + C_u)] I \xi_A$  กล่าวคือ ประจุที่ปรากฏหรือขนาดของดีสชาร์จของ PD ค่าเดียวกันอาจ

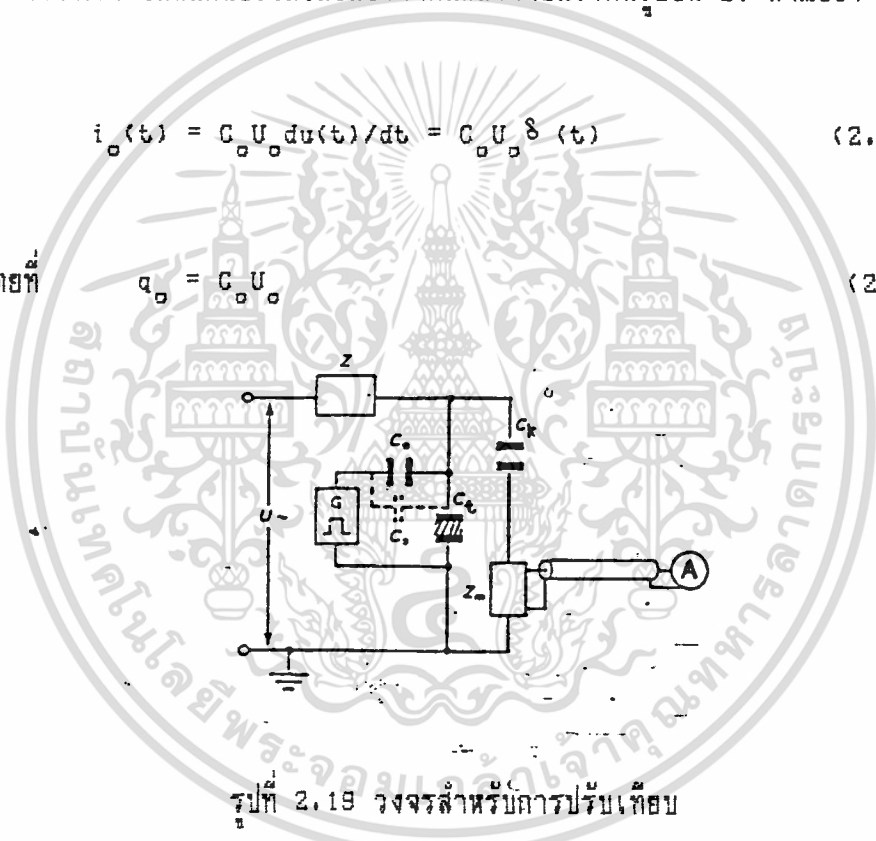
เอกสารให้สัญญาณเอาต์พุตไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุคัปปลิงและวัสดุทดสอบ จึงต้องมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเทียบด้วยค่า PD มาตรฐานก่อนทำการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบโดยใช้ "เครื่องปรับเทียบคัสซาร์จมาตรฐาน" (Discharge calibrator) เพื่อใช้ในการจำลองการเกิด PD ด้วยการส่งผ่านกระแสพัลส์ที่มีขนาดของคัสซาร์จค่ามาตรฐาน  $q_0$  ที่ขั้วทั้งสองของวัสดุทดสอบ ดังรูปที่ 2.19 เครื่องปรับเทียบคัสซาร์จมาตรฐานประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปขึ้น หรือแรงดันแบบสี่เหลี่ยม  $U_0$  ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุขนาดเล็ก (Calibrating capacitor)  $C_0$  ซึ่งขนาดของกระแสพัลส์และประจุสามารถคำนวณได้

โดยสมมติว่า อิมพีแดนซ์รวมเมื่อมองจากแหล่งจ่ายแรงดันรูปขึ้น ประมาณของ  $C_0$  คือ

$$i_0(t) = C_0 U_0 \frac{du(t)}{dt} = C_0 U_0 \delta(t) \quad (2.45)$$

โดยที่  $q_0 = C_0 U_0 \quad (2.46)$



รูปที่ 2.19 วงจรสำหรับการปรับเทียบ

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแรงดันรูปขึ้นอาจสร้างไม่ได้ ดังนั้นมาตรฐาน IEC (IEC Pub1. No. 270 (1991)) [6] สอนให้แรงดันดังกล่าว มีช่วงเวลาขึ้นไม่เกิน 0.1 ไมโครวินาที ถ้าสมมติเวลาช่วงเวลารูขึ้นและเวลาลดลงเป็นฟังก์ชันแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีค่าคงตัวเวลา และ ตามลำดับ โดยที่  $\gg$  ดังนั้นกระแสพัลส์และประจุคำนวณได้ดังนี้

$$i_o(t) = C_o U_o \frac{d}{dt} [\text{EXP}(-t/\tau_2) - \text{EXP}(-t/\tau_1)] \quad (2.47)$$

$$i_o(t) = C_o U_o [\text{EXP}(-t/\tau_1)/\tau_1 + \text{EXP}(-t/\tau_2)/\tau_2] \quad (2.48)$$

เนื่องจาก  $\tau_2 \gg \tau_1$  จะได้

$$i_o(t) \approx C_o U_o [\text{EXP}(-t/\tau_1)/\tau_1] \quad (2.49)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} q_o &= \int_0^\infty i_o(t) dt \\ &= C_o U_o \int_0^\infty [\text{EXP}(-t/\tau_1)/\tau_1] dt \\ &= C_o U_o \end{aligned} \quad (2.50)$$

เนื่องจากช่วงเวลาขึ้น  $t_r < 0.1$  ไมโครวินาที หรือ  $< 45.5$  นาโนวินาที จากสมการ (2.49) แทน  $q_o = C_o U_o$  จะได้สเปกตรัมความถี่ของ  $i_o(t)$  คือ

$$I_o(j\omega) = F[i_o(t)] = q_o / (1/\tau_1 + j\omega) \quad (2.51)$$

$$\text{หรือ} \quad |I_o(j\omega)| = q_o / [ (1/\tau_1)^2 + \omega^2 ]^{1/2} \quad (2.52)$$

จากสมการ (2.52) จะได้แบนด์วิดท์ของ  $|I_o(j\omega)|$  (ที่ -3 ดีบี) คือ  $f_{3dB} \gg 1.59$  เมกกะเฮิรตซ์ แต่เนื่องจากแบนด์วิดท์ของเครื่องตรวจจับ PD นั้นอยู่ในย่านความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 1 เมกกะเฮิรตซ์ จึงประมาณได้ว่า  $|I_o(j\omega)|$  มีค่าคงที่ คือ  $|I_o(j\omega)| = q_o$  เมื่อความถี่ตัดสูง  $f_{3dB} \ll 1.59$  เมกกะเฮิรตซ์ โดยที่  $\omega = 2\pi f$

ดังนั้น ในกรณีนี้จึงสามารถประมาณ  $i_o(t)$  จากสมการ (2.47) ด้วยกระแสอิมพัลส์ได้เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู/อาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 เกี่ยวกับกรณณ์ของแรงดันรูปขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5 การอินทิเกรตผิดพลาดของเครื่องตรวจจับดีเอสอาร์บางส่วน

การอินทิเกรตผิดพลาด (Integration Errors) ของเครื่องตรวจจับ PD จะแปรตามช่วงเวลาการเกิด PDC 15, 181 หรือถ้าพิจารณาในโดเมนความถี่ก็คือ การอินทิเกรตจะผิดพลาดมากหรือน้อยขึ้นกับความกว้างของแบนด์วิดท์ของกระแสพัลส์ PD และของเครื่องตรวจจับ PD นั้นเอง กล่าวคือ เครื่องตรวจจับ PD จะทำหน้าที่อินทิเกรตกระแสพัลส์ PD อย่างสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อ แบนด์วิดท์ของเครื่องตรวจจับ PD วางอยู่ในช่วงที่สเปกตรัมความถี่ของกระแสพัลส์ PD มีขนาดคงที่เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบเครื่องตรวจจับ PD จึงไม่ควรออกแบบให้ความถี่ตัดสูง  $f_u$  มีค่าสูงมากนัก ปกติ  $f_u \ll 3f_m$  เมื่อ  $f_u$  คือ ความถี่สูงสุดที่ทำให้ขนาดของสเปกตรัมความถี่ของกระแสพัลส์ PD ที่ลดลง -3 ดบี จากข้อ 2.2.4 แบนด์วิดท์ของสัญญาณปรับเทียบ (-3 ดบี) มีความถี่ต่ำสุดคือ 1.59 เมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นเครื่องตรวจจับ PD ควรมีความถี่ตัดสูง  $f_u < 530$  กิโลเฮิรตซ์

## 2.3 เทคนิคการวัดดีเอสอาร์บางส่วน

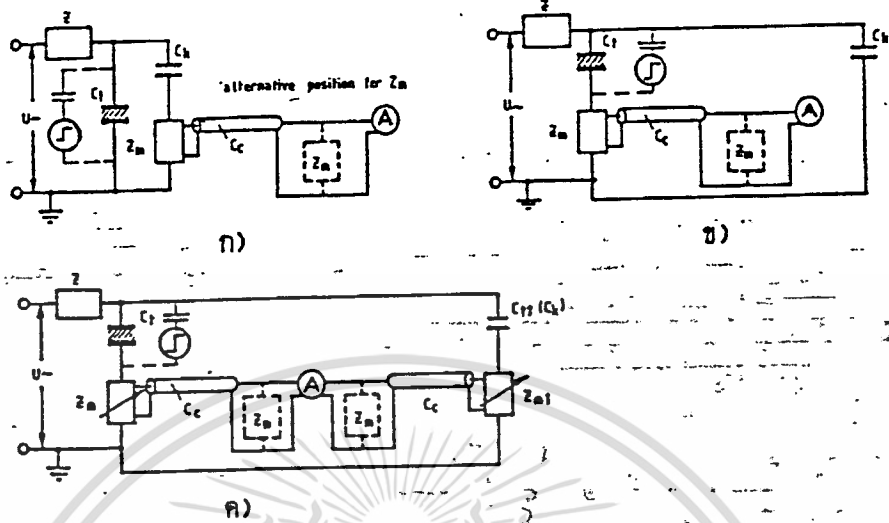
### 2.3.1 การวัดดีเอสอาร์บางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป

โดยปกติวัสดุทดสอบทั่วไป อาจแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุชนิดองค์ประกอบแบบลัมป์ หรือตัวเก็บประจุธรรมดา วงจรทดสอบ PD ตามมาตรฐานต่าง ๆ จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ในที่นี้ใช้วงจรทดสอบตามมาตรฐาน IEC (IEC Publ. No. 270 (1981)) โดยรูปที่ 2.20 ก) และรูปที่ 2.20 ข) เป็นวงจรทดสอบแบบวิธีตรง ข้อดีของวงจรรูปที่ 2.20 ก) คือขั้วแรงดันคัมค่าของวัสดุทดสอบต่อลงกราวด์โดยตรง ในกรณีที่วัสดุทดสอบเกิดการเบรคความอิมพีแดนซ์วัด จะไม่ได้รับความเสียหาย ข้อดีวงจรรูปที่ 2.20 ข) จะให้ความไวในการวัดสูงกว่าแบบแรกในกรณีที่วัสดุทดสอบมีขนาดเล็ก เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุแบบสเตรย์จะทำให้ตัวเก็บประจุคัปปลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในรูปที่ 2.20 ค) เป็นวงจรทดสอบแบบสมมูล วงจรแบบนี้จะมีข้อได้เปรียบใน

เรื่องการลดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายหรือสัญญาณแบบ "คอมมอนโมด" นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



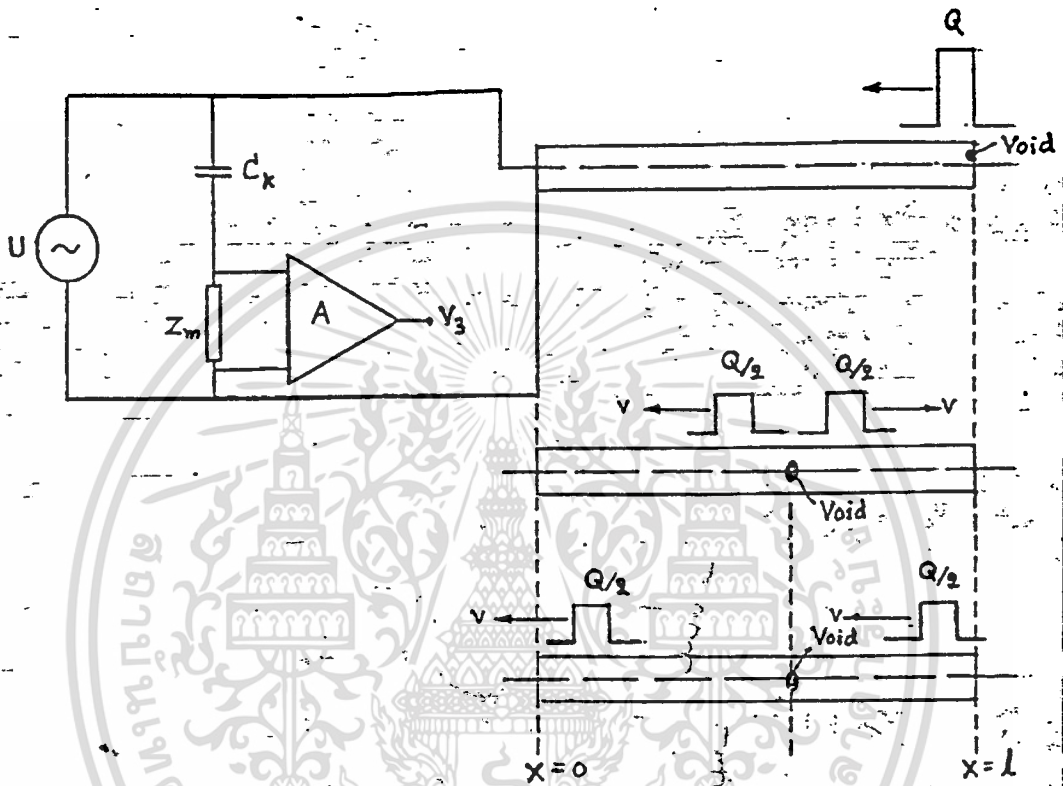
รูปที่ 2.20 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ

การปรับเทียบวงจรถดสอบโดยปกติจะทำก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรถดสอบ โดยใช้เครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานในการป้อนกระแสพัลส์สั้น ๆ ที่มีประจุ (Pulse area)  $q_{cz1}$  ซึ่งทราบค่าที่แน่นอนที่ขั้วทั้งสองของวัสดุทดสอบ (เส้นประ) ถ้าเครื่องตรวจจับ PD อ่านค่า PD ได้  $a_1$  ดังนั้น Scale factor  $K_1 = q_{cz1}/a_1$  หลังจากทำการปรับเทียบเสร็จแล้วควรเอาเครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานออกก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรถดสอบ (ในกรณี  $C_u$  เป็นตัวเก็บประจุแรงดันต่ำ) ขณะทำการทดสอบที่แรงดันตามมาตรฐานกำหนด ถ้าในขณะนั้นเครื่องตรวจจับ PD อ่านค่าได้  $A_1$  ดังนั้นประจุที่ปรากฏของ PD คือ  $q = K_1 A_1$  ความไวของวงจรถดสอบ  $q_{min} = \frac{2k_1 h_n}{2K_1 h_n}$  เมื่อ  $h_n$  คือระดับ "Background noise" ที่อ่านจากเครื่องตรวจจับ PD หลังจากการปรับเทียบ (ก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรถดสอบ)

### 2.3.2 การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิล

การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิล ถ้าเป็นเคเบิลสั้น การวัด PD จะทำเช่นเดียวกับข้อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 2.3.1 แต่สำหรับเคเบิลยาวนั้นเราจะพิจารณาเคเบิลยาวเป็นลักษณะสายส่งคือ PD จะทำให้เกิดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นจรเคลื่อนที่ออกไปที่ปลายทั้งสองด้านของเคเบิล วงจรทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.21 โดยรูปที่ 2.21 ก) แสดงการเกิด PD ที่ปลายด้านไกล ( $x = l$ ) ของเคเบิลส่วนในรูปที่ 2.21 ข) แสดงการเกิด PD ที่จุดใด ๆ ภายในเคเบิล

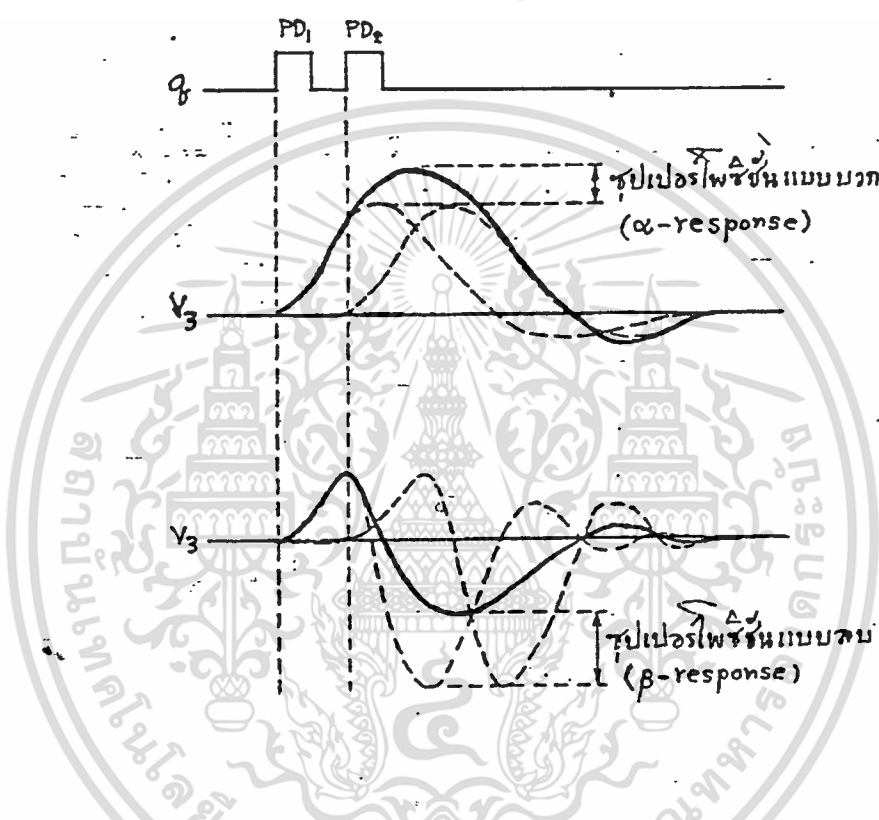


รูปที่ 2.21 การเกิดคลื่นจรขณะเกิด PD ในเคเบิลยาว

ขณะเกิด PD จะทำให้คลื่นจรลูกแรกเคลื่อนที่ไปที่เครื่องตรวจจับ PD โดยตรง ในขณะที่คลื่นจรลูกที่สองจะเคลื่อนที่ไปที่ปลายด้านไกลก่อน แล้วจึงสะท้อนกลับมาที่เครื่องตรวจจับ PD ในเวลาไล่เลี่ยกัน ผลอันนี้ทำให้เครื่องตรวจจับ PD วัดค่าผิดพลาดเนื่องจากผลการเกิดซุเปอร์โพสิชันของคลื่นจรที่เกิดขึ้น ในกรณีที่คลื่นจรเกิดซุเปอร์โพสิชันแบบบวกจะทำให้ค่าที่อ่านได้มากกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง (ไม่เกิน 2 เท่าของค่าปกติ) ซึ่งเป็นกรณีที่ยอมรับได้ สำหรับกรณีที่คลื่นจรเกิดซุเปอร์โพสิชันแบบลบจะทำให้ค่า PD ที่อ่านได้น้อยกว่าค่าของ PD ที่เกิดขึ้นจริง กรณีนี้เป็นกรณีที่ยอมรับไม่ได้ การทดสอบ PD ต้องมีการหลีกเลี่ยงผลอันนี้ วิธีแก้ปัญหาก็ง่าย ประหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ทำได้โดยการใช้เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้าง ซึ่งให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตเป็นแบบ " $\alpha$ -response" ดังนั้นขณะที่มีการสะท้อนของคลื่นจรจะทำให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบบวกเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.22 ก) ส่วนเครื่องตรวจจับ PD แบบอื่นจะให้เอาต์พุตแบบ " $\beta$ -response" ทำให้มีโอกาสเกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบได้ แสดงดังรูปที่ 2.22 ข) จึงควรหลีกเลี่ยงเครื่องตรวจจับแบบนี้ ในการใช้ทดสอบสายเคเบิลยาว



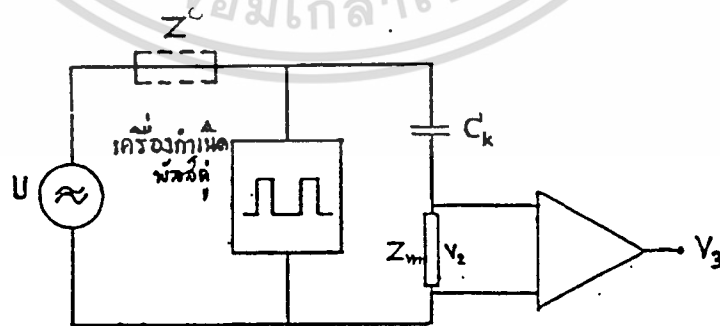
รูปที่ 2.22 การเกิดชุปเปอร์โพสิชันลักษณะเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่าง ๆ

ในการทดสอบสายเคเบิล เช่น NEMA Publ. No. W8-1976 (ICEA Publ. No. 5-68-616)[19] และ IEC Publ. No. 885-3 (ฉบับร่าง)[8] ได้กำหนดการตรวจสอบคุณสมบัติชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ PD สำหรับใช้ในการทดสอบเคเบิล ซึ่งวงจรทดสอบดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.23 โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "เครื่องกำเนิดพัลส์คู่" ในการจำลองคลื่นจรลักษณะเดียวกันกับที่เกิดในเคเบิล แต่สามารถปรับระยะเวลาของคลื่นจรทั้งสองที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.2 ถึง 100 ไมโครวินาที แล้วเขียน "ไดอะแกรมพัลส์คู่" เพื่อคุณลักษณะการเกิดชุปเปอร์โพสิชันคลื่นจรที่เวลาต่าง ๆ รูปที่ 2.24 ก) แสดงไดอะแกรมพัลส์คู่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบ <sup>บวก</sup> ( $\alpha$ -response) ส่วนในรูปที่ 2.24 ข) แสดง โดยแอมพลิจูดที่เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบในช่วงเวลา  $t_1$  ถึง  $t_2$  ( $\beta$ -response) อย่างไรก็ตาม IEC Publ. No 885-3 (ฉบับร่าง) ยอมให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบได้ไม่เกิน 10% ส่วน NEMA Publ. No. WC8-1975 ยอมให้เกิดการรวมกันแบบลบได้ไม่เกิน 15% นอกจากนี้ NEMA ยังกำหนดอีกด้วยว่า "เวลาแยกชัด" (Pulse resolution time) " $t_r$ " ของเครื่องตรวจจับ PD ควรมีค่าประมาณ 4 ถึง 6 ไมโครวินาที (เวลาแยกชัดจะคิดที่เวลาที่ทำให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบบวกไม่เกิน 10%)

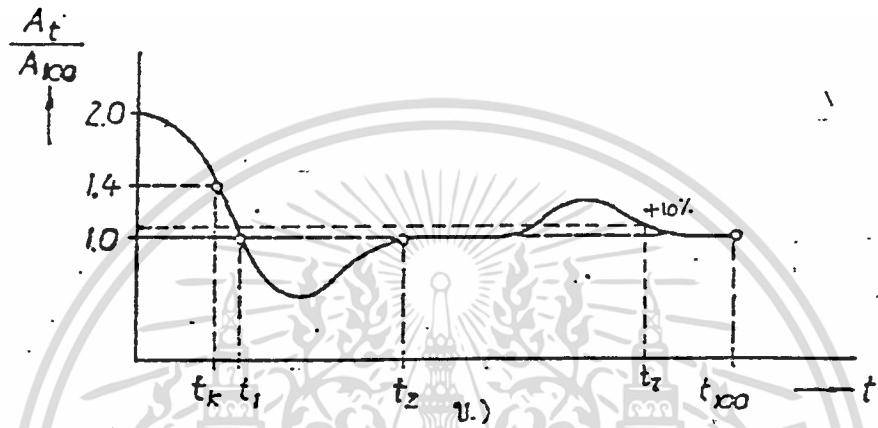
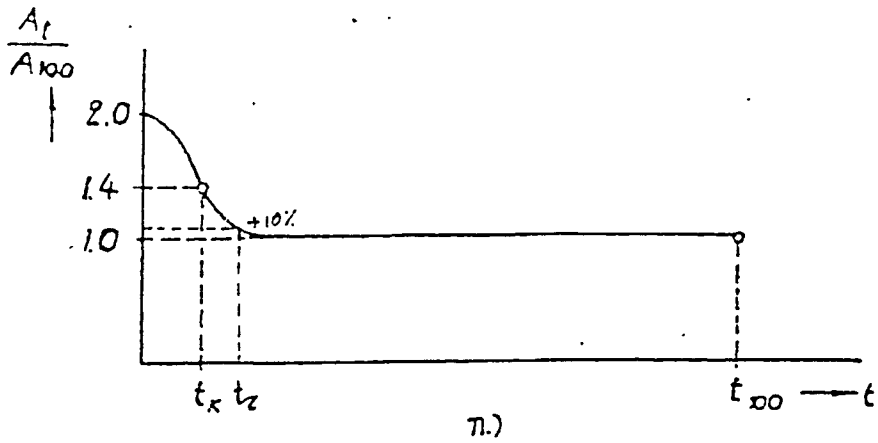
การพิจารณาว่าสายเคเบิลที่ทดสอบเป็นแบบเคเบิลยาว หรือเคเบิลสั้นนั้น จะพิจารณาที่  $x = 1$  เป็นเกณฑ์ คือ ถ้า  $x > 1$  จะถือว่าเป็นเคเบิลยาวโดยที่  $I_x = 0.5vct_x$  เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วของคลื่นจร (150 ถึง 170 เมตรต่อไมโครวินาที สำหรับเคเบิลที่มีฉนวนชนิด XLPE) และ  $t_x$  คือเวลาที่เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบบวกเท่ากับ 1.4 เท่าของค่าปกติ

ในทางปฏิบัติจะพบว่า ในการทดสอบเคเบิลอาจจะมีผลการสูญเสียพลังงานของคลื่นจรเข้ามาเกี่ยวข้องกับตัว คือขณะที่คลื่นจรเคลื่อนที่ไปจะทำให้มีขนาดลดลงเรื่อย ๆ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาด สำหรับ IEC Publ. No. 885-3 (ฉบับร่าง) จะยอมให้ค่าที่อ่านได้ในกรณีนี้เมื่อรวมผลของชุปเปอร์โพสิชันเข้าไปด้วยจะต้องผิดพลาดน้อยกว่าความเป็นจริงไม่เกิน 30% ในรูปที่ 2.25 แสดง โดยแอมพลิจูด เมื่อคิดการสูญเสียในเคเบิลเข้าไปด้วย

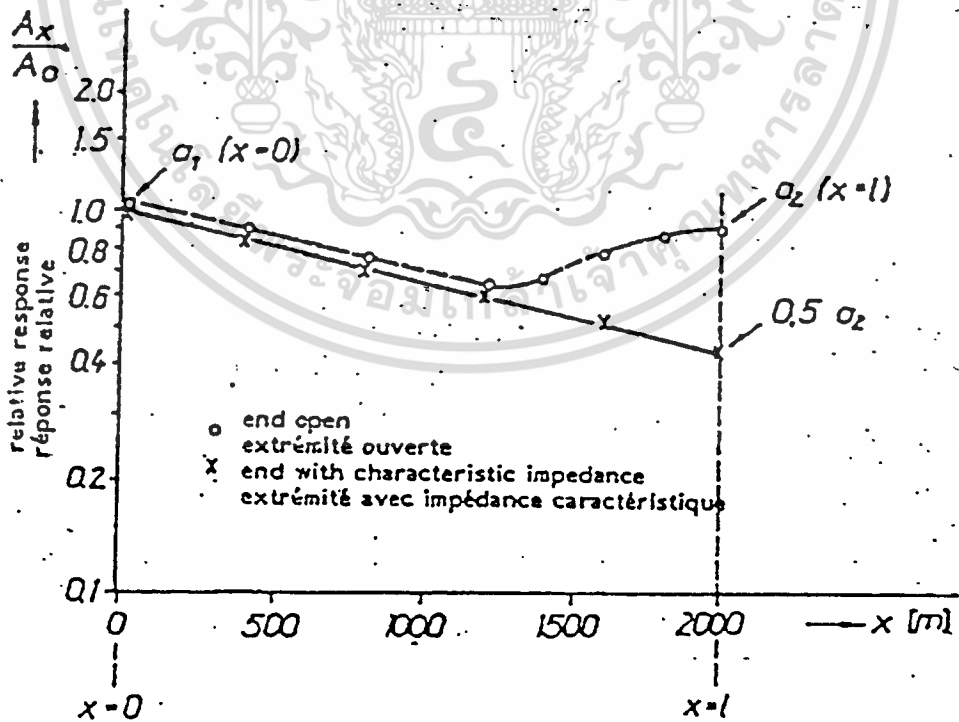


รูปที่ 2.23 วงจรตรวจสอบคุณสมบัติชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 โดยแกรมพล็อตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่าง ๆ (81)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ช่วยให้อาจารย์ช่วยพิมพ์และคิดค้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.25 โดยแกรมพล็อตเมื่อคิดการสูญเสียในเคเบิล (81)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว IEC Publ. No. 885-3 (ฉบับร่าง) ได้กำหนดดังนี้คือ การหาค่าความไวของเครื่องตรวจจับ PD ระหว่างการทดสอบทำได้โดยการทำการป้อนดิสชาร์จมาตรฐาน  $q_{c_{u1}}$  ที่ปลายด้านไกล ทำให้เครื่องตรวจจับ PD อ่านค่า  $a_u$  และที่เงื่อนไขเดียวกันก็เปลี่ยนมาป้อนดิสชาร์จมาตรฐานที่ปลายด้านใกล้ ทำให้เครื่องตรวจจับ PD อ่านค่า  $a_l$  ดังนั้น Scale factor  $K_L = q_{c_{u1}}/a_l$  การหา Correction factor  $F$  (เพื่อชดเชยการสูญเสียในเคเบิล) ทำได้ดังนี้ คือ ถ้า  $a_u \geq a_l$  จะถือว่า  $F = 1$  แต่ถ้า  $a_u < a_l$  จะกำหนดให้  $F = (a_l/a_u)^{1/2}$  ความไวของเครื่องวัดสามารถคำนวณได้คือ  $q_{min} = 2K_L h_n F$  โดยที่  $h_n$  คือ "Background noise" การวัดค่า PD ที่เกิดขึ้นจริงในเคเบิลจะต้องทำการทดสอบสองครั้ง โดยครั้งแรกจะทำการทดสอบที่ปลายด้านใกล้ และ ครั้งที่สองจะทำการทดสอบที่ปลายด้านไกล ค่า PD ที่อ่านได้คือ  $A_L$  และ  $A_U$  ตามลำดับ และเรียกค่า  $A_L$  หรือ  $A_U$  ที่อ่านได้มากที่สุดว่า  $A_{max}$  ดังนั้นค่า PD ที่ต้องการวัดคือ  $q = K_L A_{max} F$

2.3.3 การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีโครงสร้างแบบขดลวด

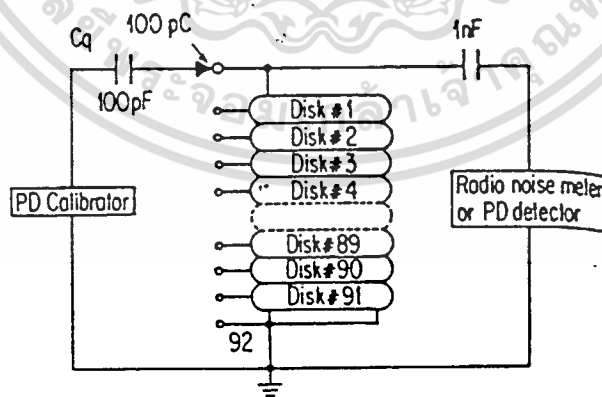
อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีโครงสร้างแบบขดลวด ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า รีแอกเตอร์ มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น การวัดดิสชาร์จบางส่วนในกรณีนี้จะมีการสูญเสียภายในอุปกรณ์ เกิดเรโซแนนซ์ และเกิดคลื่นจรเข้ามาเกี่ยวข้อง การทดสอบจึงทำให้ยุ่งยากพอสมควร ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะการทดสอบ PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น

การตรวจจับ PD ในหม้อแปลงไฟฟ้า มาตรฐาน IEC (IEC Publ. No. 76-3) [9] ยอมให้มีการทดสอบ PD โดยใช้เครื่องตรวจจับ PD ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้วแต่ NEMA Publ. No. 170 และ NEMA Publ. No. TR1 [20,21] จะใช้มิเตอร์กึ่งค่ายอด ซึ่งเป็นเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบชนิดหนึ่งในการวัด ปกติจะทำการทดสอบที่ความถี่กึ่งกลาง 1 เมกกะเฮิรตซ์ เนื่องจากหม้อแปลงมีคุณสมบัติเป็นองค์ประกอบแบบกระจาย ดังนั้นจึงเกิดคลื่นจร และการเกิดเรโซแนนซ์บางความถี่ขณะเกิด PD ภายในหม้อแปลง เมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการทดลองเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าระบบการดำเนินงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าไปจนกว่าจะนำไปใช้ประโยชน์ด้วยมูลค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

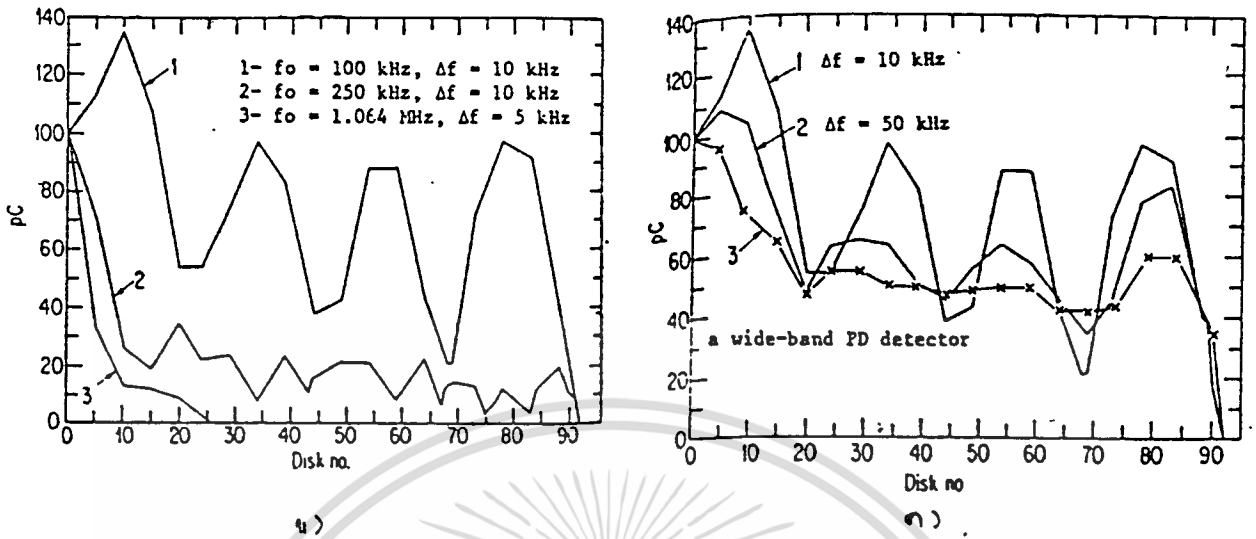
โครงสร้างแบบ "Disk" โดยการป้อน PD ที่ Disk ต่าง ๆ ของหม้อแปลง แล้วใช้เครื่องตรวจ  
 จับ PD แบบต่าง ๆ ในการวัดแสดงดังรูปที่ 2.26 (222) ในรูปที่ 2.26 ก) ทำการป้อน "PD  
 จำลอง" ขนาด 100 พิโคคูลอมป์ที่ Disk ต่าง ๆ แล้วทำการวัด PD โดยใช้เครื่องตรวจจับ  
 PD แบบแถบแคบที่ความถี่กึ่งกลางหรือ  $f_0$  ต่าง ๆ กัน จะพบว่า PD ที่วัดได้โดยใช้เครื่อง  
 ตรวจจับ PD ตามมาตรฐาน NEMA จะสามารถตรวจจับ PD ที่ Disk ต่าง ๆ ได้เพียงบางส่วน  
 เท่านั้น เนื่องจาก PD เกิดการสูญเสียอย่างมากที่ความถี่สูง ดังรูปที่ 2.26 ข) ดังนั้น  
 การทดสอบ PD ตามมาตรฐาน NEMA จึงควรหลีกเลี่ยง [222] รูปที่ 2.26 ค) แสดงการตรวจ  
 จับ PD ด้วยเครื่องตรวจจับ PD ที่มีแบนด์วิดท์ที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อแบนด์วิดท์กว้างขึ้น IEC โดย  
 ใช้เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้างจะเหมาะสมที่สุด [222]

วิธีการทดสอบ PD ในหม้อแปลงจะใช้การทดสอบวิธีเดียวกับ ข้อ 2.3.1 แต่การต่อ  
 วงจรอาจมีความแตกต่างกันบ้าง ซึ่งสามารถดูรายละเอียดจาก IEC Publ. No. 270 หรือ  
 มาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง



ก).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

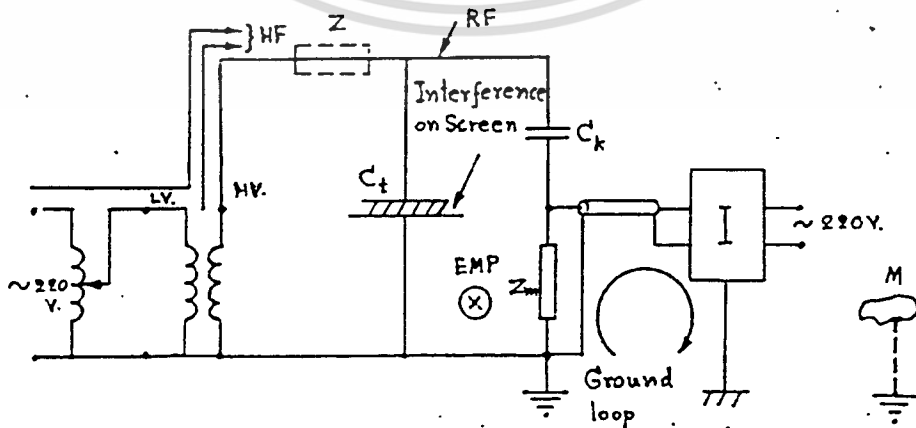


รูปที่ 2.26 เปรียบเทียบการวัด PD ภายในหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC และ NEMA

2.4 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน

2.4.1 สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบในการวัดตัวชี้แจงบางส่วน

สัญญาณรบกวนจะประกอบด้วย สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางอากาศ และทางแหล่งจ่าย นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวน เนื่องจากกริดสกรีนของอุปกรณ์ที่เป็นโลหะและวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบหรือกราวด์ไม่ดี การเกิดกราวด์ลูป (Ground loop) และเกิดสัญญาณเอมซีแอลเนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ไม่ดี (หลวม) เป็นต้น รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2.27 [6, 23]



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่าง ๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

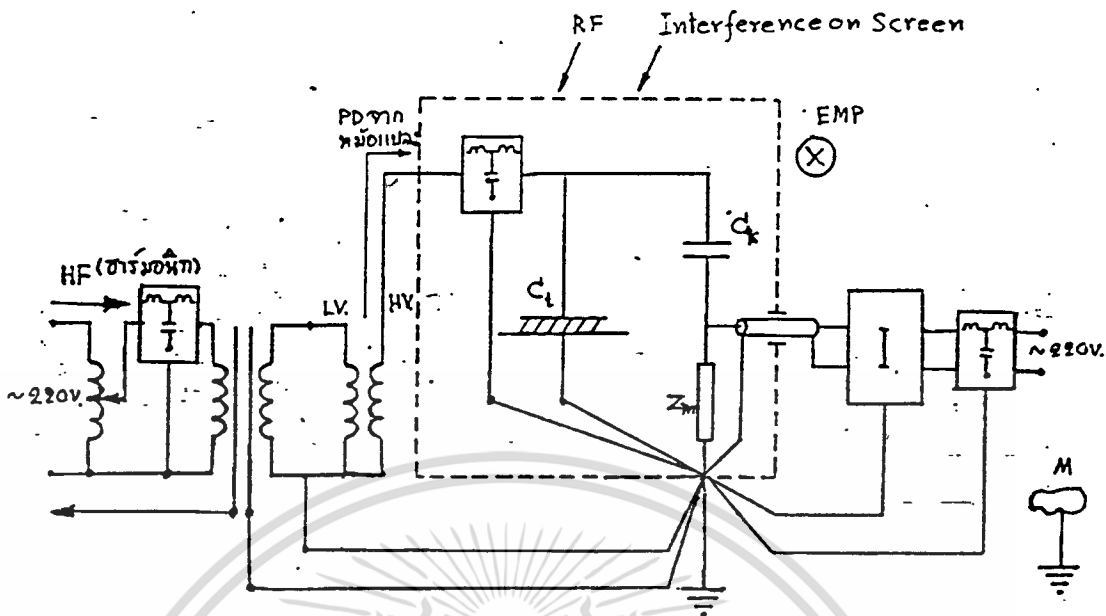
- HF คือ สัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายไฟแก่ อาร์มอริกสูง ๆ จากเมน โดยตรง จากอุปกรณ์พวกไธริสเตอร์ และ PD จากหม้อแปลงทดสอบ เป็นต้น
- RF คือ คลื่นรบกวนวิทยุซึ่งอาจจะเป็นคลื่นวิทยุโดยตรง คลื่นรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง หรือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่อยู่ใกล้เคียง
- EMP คือ สัญญาณรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากการทำงาน ของ สวิตช์หรือไธริสเตอร์

- Interference on screen คือ สัญญาณรบกวนที่สกรีน หรือที่ขั้วแรงดันต่ำของวัสดุ ทดสอบที่มีสกรีนขนาดใหญ่ เช่น เคเบิ้ล เป็นต้น
- Ground loop คือ การเกิดครวงจรของสายดิน
- Ungrounded metal (M) คือ การคัสซาร์จของพวกโลหะที่ไม่ได้ต่อดินวางอยู่ใกล้วงจร ทดสอบ

### 2.4.2 การลดสัญญาณรบกวน

#### 2.4.2.1 การลดสัญญาณรบกวนโดยตรง

การลดสัญญาณความถี่สูง เช่น พวกอาร์มอริกสูง ๆ จะใช้ตัวกรองแรงดันต่ำและอาจจะเพิ่ม หม้อแปลงขดลวดแยกช่วยตัวก็ได้ โดยต่อไว้ทางด้านขดลวดแรงดันต่ำของหม้อแปลงทดสอบ ใน กรณีที่เกิด PD ในหม้อแปลงทดสอบจะต้องใช้ตัวกรองแรงดันสูงต่อทางด้านขดลวดแรงดันสูงของ หม้อแปลงทดสอบ การลดสัญญาณรบกวน RF และ EMP ซึ่งเข้ามาทางอากาศ ทำได้โดย การทดสอบในห้องซีลด์ การแก้ปัญหาเรื่องกราวด์ลูปทำได้โดยการต่อกราวด์ร่วมกันเพียงจุดเดียว ตัวอย่างการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนในข้อ 2.4.1 แสดงในรูปที่ 2.28

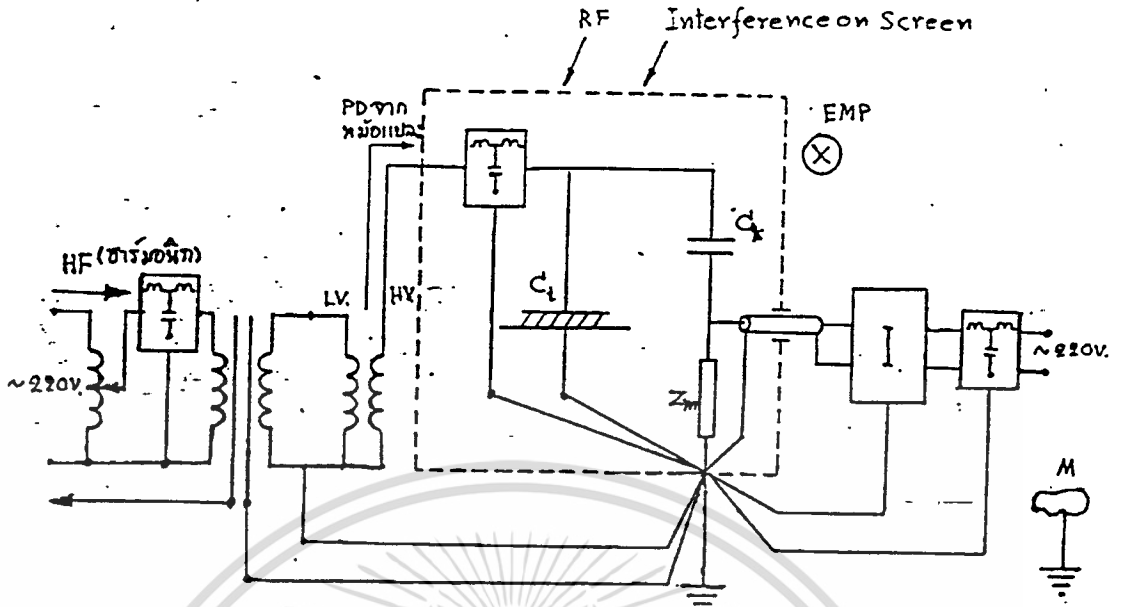


รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน

2.4.2.2 การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่น ๆ

การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่นมีหลายวิธีด้วยกัน ที่นิยมใช้กันมากคือ

- 1) วงจรทดสอบแบบสมมูล [6] ใช้ลดสัญญาณรบกวนแบบ "คอมมอนโมด" เช่น สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางแหล่งจ่าย เป็นต้น
- 2) การลดสัญญาณรบกวนโดยวิธี "หน้าต่างเวลา" (Time window method) [6] วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน โดยจะลดสัญญาณรบกวนที่ซิงโครไนซ์กับความถี่ของแหล่งจ่ายเท่านั้น เช่น สัญญาณรบกวนเนื่องจากการทำงานของไคริสเตอร์ เป็นต้น ด้วยการสวิตซ์ตัดหรือเปิดวงจรตรงตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวน เพื่อไม่ให้ไปปรากฏที่เอาต์พุตของเครื่องจับ PD รูปที่ 2.29 ก) แสดงตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากไคริสเตอร์ รูปที่ 2.29 ข) แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยวิธี "หน้าต่างเวลา" และเพิ่มความสว่างของจอภาพ ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อบอกตำแหน่งของ "หน้าต่างเวลา" ให้เราทราบ

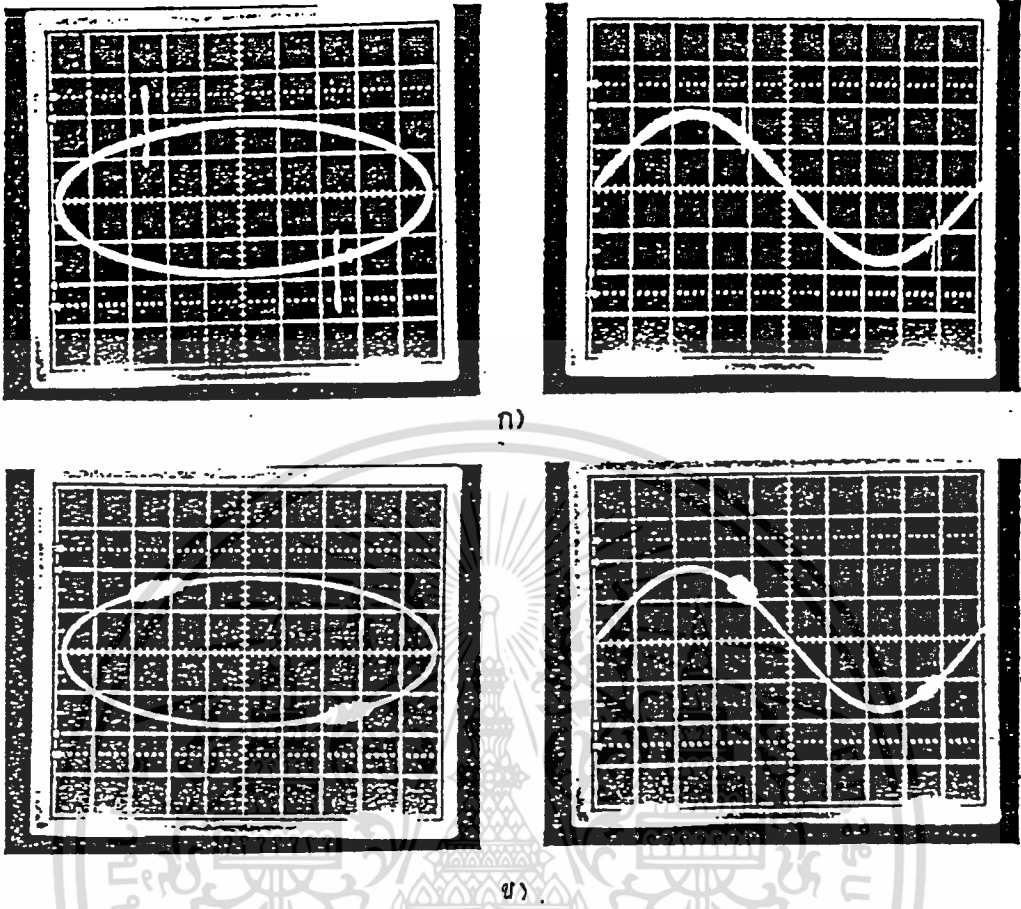


รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน

2.4.2.2 การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่น ๆ

การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่นมีหลายวิธีด้วยกัน ที่นิยมใช้กันมากคือ

- 1) วงจรทดสอบแบบสมมูล [6] ใช้ลดสัญญาณรบกวนแบบ "คอมมอนโหมด" เช่น สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางแหล่งจ่าย เป็นต้น
- 2) การลดสัญญาณรบกวนโดยวิธี "หน้าต่างเวลา" (Time window method) [6] วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน โดยจะลดสัญญาณรบกวนที่ซิงโครไนซ์กับความถี่ของแหล่งจ่ายเท่านั้น เช่น สัญญาณรบกวนเนื่องจากการทำงานของไคริสเตอร์ เป็นต้น ด้วยการสวิตช์ตัดหรือเปิดวงจรตรงตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวน เพื่อไม่ให้ไปปรากฏที่เอาต์พุตของเครื่องจับ PD รูปที่ 2.29 ก) แสดงตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากไคริสเตอร์ รูปที่ 2.29 ข) แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยวิธี "หน้าต่างเวลา" และเพิ่มความสว่างของจอภาพ ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อบอกตำแหน่งของ "หน้าต่างเวลา" ให้เราทราบ



ก)

ข)

รูปที่ 2.29 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี "หน้าต่างเวลา"

2.5 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับพัลส์บางส่วน

2.5.1 ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับพัลส์บางส่วนตามมาตรฐาน IEC

เครื่องตรวจจับพัลส์บางส่วนตามมาตรฐาน IEC กำหนดให้คุณสมบัติโดยสรุปไว้ดังนี้คือ

1) เวลาแยกขีด ของเครื่องตรวจจับ PD กำหนดไว้ใน IEC Publ. No. 270 (1981)[6] ว่าต้องไม่เกิน 100 ไมโครวินาที ในกรณีที่ไมเกิดความผิดพลาดเนื่องจากเกิดการซ้อนทับของพัลส์ PD

2) เครื่องปรับเทียบพัลส์มาตรฐาน ใช้สำหรับจ่ายกระแสพัลส์มาตรฐาน IEC Publ. No. 270 (1981)[6] กำหนดให้ใช้แรงดันที่มีช่วงเวลานับไม่เกิน 0.1 ไมโครวินาที

เอกสารวินาทีและลทงค้วค่าคงตัวเวลาอยู่ในช่วง 100 ถึงเป็น 1000 ไมโครวินาทีประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความไวของเครื่องตรวจจับหรือวัด PD จะต้องมีความสามารถตรวจจับพัลส์ต่ำสุดเป็นสองเท่าของสัญญาณรบกวน ซึ่งกำหนดไว้ใน IEC Publ. No. 885-2(1981)[7]

4) เครื่องกำเนิดพัลส์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติชุปเปอร์โพสิชัน ของเครื่องตรวจจับ PD นั้น กำหนดไว้ใน IEC Publ. No. 885-3 (ฉบับร่าง) [8] ว่าต้องสามารถสร้างพัลส์ขนาดเท่ากันสองพัลส์ ซึ่งมีช่วงเวลาขึ้นไม่เกิน 20 นาโนวินาที และมีความกว้างของพัลส์จากค่า 10% ของหน้าคลื่นถึงหางคลื่นต้องไม่เกิน 150 นาโนวินาที โดยพัลส์ทั้งสองนี้สามารถปรับระยะห่างได้อย่างน้อย 0.2 ถึง 100 ไมโครวินาที สำหรับเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ปกติประมาณ 50 ถึง 60 โอห์ม

5) ตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับเทียบต้องมีค่าไม่เกิน 150 พิโคฟารัด (สำหรับการทดสอบ PD ในเคเบิล) เรื่องนี้กำหนดไว้ใน IEC Publ. No. 885-3 [8] เช่นกัน

6) เครื่องตรวจจับตัวชี้บางส่วนที่ใช้ในการทดสอบเคเบิล ตามมาตรฐาน IEC ยอมให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันทางลบได้ไม่เกิน 10% ในกรณีที่เกิน 10% จะต้องนำผลอันนี้มาพิจารณาในการวัดด้วย

## Partial Discharge Detector (CD-5)

## 3.1 บทนำ

## 3.1.1 โดยทั่วไป

detector นี้ใช้สำหรับการทดสอบดีสชาร์จบางส่วน (corona discharge) เพื่อหาคุณลักษณะของฉนวนของสายเคเบิล, insulating material, partial discharge จะเกิดขึ้นในส่วนของ insulation ของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หม้อแปลง, power cable ซึ่งจะทำให้ความเสียหายแก่ฉนวนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการวัด partial discharge ของ insulation เพื่อตรวจสอบคุณภาพ และความปลอดภัย

การใช้ detector นี้ เรียกว่าวิธี medium band tuning ซึ่งจะไม่มผลของ noise จาก broadcast wave & radio wave. จาก band อื่น

indicator unit จะประกอบไปด้วย peak value voltmeter ซึ่งสามารถวัดค่า maximum charge ของ partial discharge ได้

ที่ o/p terminal จะมี pulse o/p terminal, recorder terminal และ counting rate meter terminal (ใช้ชนิด PDC-2 counting rate meter ที่ทำโดย NKS) เมื่อใช้ PDC-2 counting rate meter ร่วมด้วย มันจะสามารถวัดความถี่ของการเกิด partial discharge และบันทึก characteristic ที่เปลี่ยนไปตามเวลา และ characteristic ของ applied voltage.

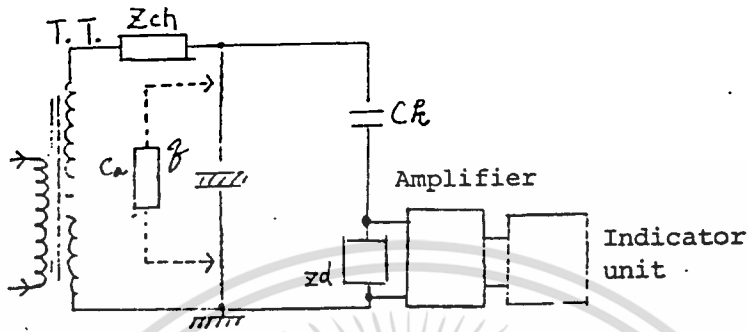
power source แบ่งเป็น 2 ระบบ

1. 100 VAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
2. battery NI-CAD 100 VAC

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 หลักในการวัด Partial Discharge.



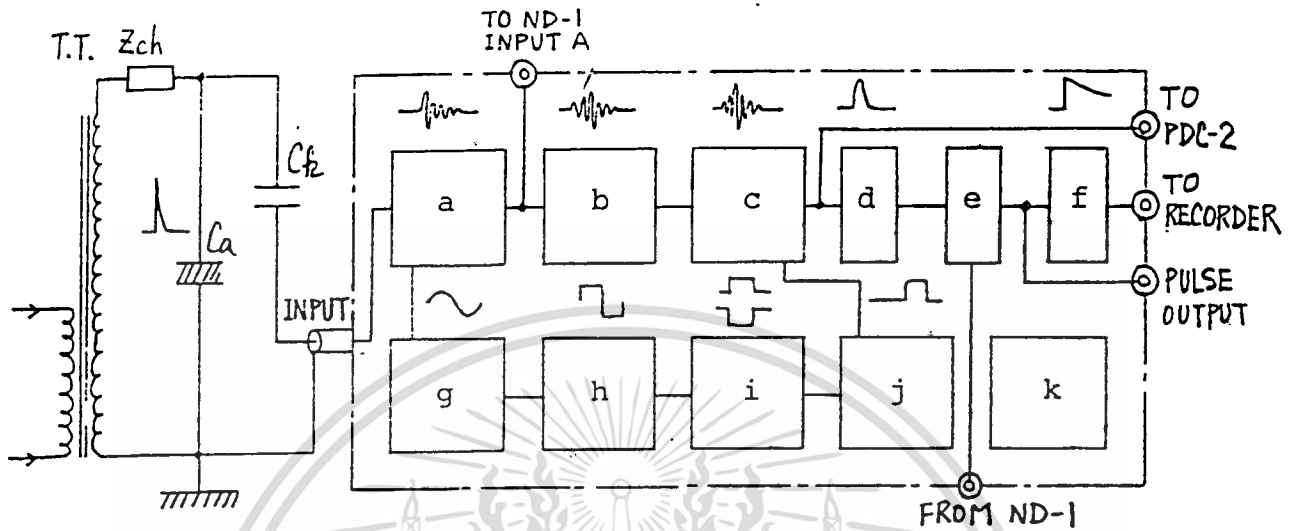
รูปที่ 3.1 วงจรพื้นฐานของการวัด Partial discharge

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| Ca : วัตต์ทุกทดสอบ       | Ck : Coupling condenser     |
| Zd : Detection impedance | T.T. : Testing transformer. |
| Zch : Blocking impedance | Q : Know electric charge.   |

รูปที่ 3.1 แสดง basic circuit สำหรับการวัด partial discharge เมื่อเกิด partial discharge ขึ้นในวัตต์ทุกทดสอบ Ca. จะเกิด sharp pulse current ไหลใน closed circuit ที่ประกอบด้วยวัตต์ทุกทดสอบ Ca, Zd และ Ck กระแสนี้จะทำให้เกิด voltage  $e$  ครอบคลุม Zd ซึ่งจะถูกขยายโดย amplifier แล้วส่งไปยัง indicator unit เพื่อแสดงค่านี้ออกมา

โดยทั่วไปขนาดของ partial discharge หาได้จากค่าของ electric charge เมื่อเปลี่ยนวัตต์ทุกทดสอบ คือ เปลี่ยน Ca และเปลี่ยน Ck แม้ว่าค่า electric charge ของ partial discharge ที่เกิดในวัตต์ทุกทดสอบจะเท่าเดิม แต่ค่า voltage ครอบคลุม Zd จะเปลี่ยน

3.1.3 วงจรของ Detector.



- a. Tuning detector
- b. Wide-band attenuator
- c. Tuning amplifier, Gate circuit.
- d. Detector
- e. Analogue switch
- f. Peak value circuit
- g. Commercial frequency detector
- h. Amplifier
- i. Polarity selector
- j. Phase adjuster
- k. Power circuit

Ca: Test object

CK: Coupling condenser

T.T: Testing transformer

Zch: Blocking impedance

รูป 3.2 แสดง circuit พื้นฐานของการวัด partial discharge & วงจรของ detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิด partial ขึ้นในวัตถุทดสอบ Ca กระแส pulse จะไหลเข้า tuning detector โดยทาง Ck. วงจรของ tuning detector ก็คือวงจรที่มีหม้อแปลงความถี่สูง (high frequency transformer) ที่มีวงจร tuning อยู่ทางด้าน secondary และ partial discharge pulse ที่จะถูกเปลี่ยนเป็น damp oscillation waveform ที่ความถี่คงที่ ที่ด้าน secondary ของหม้อแปลงความถี่สูง pulse จะถูกยกขึ้นโดยการลดเวลาของ damped oscillation wave form ด้วย damping resistance.

o/p ของ tuning detector จะผ่านเข้า wide-band attenuator แล้วส่งต่อไปยัง tuning amplifier ซึ่งจะมีวงจร gate รวมอยู่ด้วย

tuning amplifier จะประกอบไปด้วย ตัวเก็บประจุ 4 stage, coupling double tuning circuit และวงจร gate ความถี่ตรงกลางจะถูก set ไปที่ 400 KHz เพื่อหลีกเลี่ยง radio broadcast wave และ tuning band width จะถูก set ไปที่  $\pm 45$  KHz เพื่อปรับ pulse resolution ซึ่งกว้างประมาณมากกว่า 10 เท่าของความกว้าง โดยวิธี conventional narrow band และ decay time ของ damp oscillation wave form จะถูก set ที่ประมาณ 20 us เพื่อเพิ่ม pulse resolution

amplified damped oscillation waveform pulse จะถูก detect และ rectified โดย detector เพื่อแปลงเป็น envelope pulse ซึ่ง pulse นี้จะถูกขยายอีกครั้ง และส่งไปที่ pulse o/p terminal โดยทาง analogue switch หลังจากที่มีการสลับตำแหน่งของ impedance

บางส่วนของ envelope pulse จะถูกส่งเข้าไปใน peak value circuit เพื่อขยาย และเปลี่ยนไปเป็น discharge wave form ด้วยค่า time constant 150 ms แล้ว pulse ก็จะถูกส่งไปที่ TO RECORDER terminal

ที่ TO COUNTER terminal, damp oscillation wave form pulse จะถูกส่งเป็น o/p ออกไป

ในอีกทางหนึ่ง กระแส charge ของ commercial frequency ที่ไหลโดยทาง

C-coupling (Ck) จะถูกแยกจาก detection pulse หลังจากผ่านเข้า partial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อคุณเห็นหน้าของเอกสารฉบับนี้ กรุณาอย่าเผยแพร่หรือแจกจ่ายเอกสารนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

discharge detector และจะถูกขยายหลังจากถูก commercial frequency detector เปลี่ยนไปเป็น square wave voltage และกระแสจะไหลเข้าสู่วงจร gate ใน tuning amplifier โดยจะผ่าน phase adjuster

วงจรทางด้าน power จะประกอบไปด้วย ni-cad 2 ก้อน และวงจร charge ด้าน ni-cad, วงจร 100 VAC และวงจร stabilizing

### 3.1.4 Performance.

#### 1. Input terminal

maximum i/p current 1 A

volt คร่อม input terminal ไม่เกิน 1 V

ตัว project ติดตั้งอยู่ใน hermetic button arrester TOB-90B

connector ต่อเชื่อมกับ balance i/p ชนิด coronadetector (type BL-1)

#### 2. ตัววัดสัญญาณ

มี 9 range 1/1 ถึง 1/500 error ไม่เกิน 5%

#### 3. Amplifier

frequency ที่ตำแหน่งตรงกลาง	400 KHz
band width (น้อยกว่า - 6 db)	$\pm$ 45 KHz
gain (ที่ sine wave ความถี่ 400 KHz)	84 db
pulse resolution power	20 us

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Pulse output terminal

- detection sensitivity ของ charge ของ partial discharge (ที่ 1000 pF ของทั้งวัตถุทดสอบ และ C coupling) : ไม่เกิน 1 pc/1V
- detectable charge น้อยสุด (ที่ 1000 pF ของทั้งวัตถุทดสอบและ C coupling) : ไม่เกิน 0.2 pc
- ไม่มี distortion output : ประมาณ 1V ถึง 10V
- Output pulse half width : ประมาณ 15 us
- Internal noise ของ detector : ประมาณ 0.05 V
- Output impedance : ประมาณ 5 Kohm

5. detectable charge indicator สูงสุด

- ความไว : ในส่วนของ 100 p.p.s. ที่ 1000 pF ของทั้งวัตถุทดสอบและ C coupling : ไม่เกิน 10 pc/full scale  
 ในส่วนของ 100 p.p.s., 10V ของ pulse output terminal : Full scale
- Discharge time constant : ประมาณ 150 ms.

6. Output terminal สำหรับการบันทึก detectable charge สูงสุด

- ความไว : ในส่วนของ 100 p.p.s. ที่ 1000 pF ของทั้งวัตถุทดสอบ และ C coupling : ไม่เกิน 10 pc/5V  
 Output peak voltage ในส่วนของ 10V ของ pulse output terminal : 5V
- Discharge time constant (wave tail time constant ของ output pulse) : ประมาณ 150 ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Output terminal: สำหรับ counting rate meter (ใช้เฉพาะ PDC-2 counting rate meter ที่ทำโดย NKS)

เมื่อใช้ counting meter โดยทั่วไป, pulse output terminal ต้องใช้ด้วย

#### 8. Polarity selection gate

สามารถวัด AC positive และ negative polarity ซึ่งแยกโดย applied voltage synchronous system.

- กระแส input ต่ำสุด : ไม่เกิน 25  $\mu$ A
- Gate phase variable range : มากกว่า  $\pm 35$  ถึง  $\pm 55$  ที่ความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz

#### 9. Power Supply

- Voltage และความจุของ battery ที่ติดตั้งภายใน x 2 : 12 V DC x 1800m AH
- AC power supply : 50/60 Hz x 90 ถึง 110 V
- Power ที่ใช้ : ประมาณ 2 W.
- เวลาที่ใช้ในการ discharge : ประมาณ 16 ช.ม. ( แต่ถ้าใช้ PDC-2 counting rate meter รวมด้วย จะประมาณ 12 ช.ม. )
- เวลาที่ใช้ในการ charge : ประมาณ 16 ช.ม. ที่ความถี่ 50/60 Hz x 100 V

#### 10. ขนาดและน้ำหนัก

ประมาณกว้าง 300 mm x สูง 130 mm x ยาว 2.50 mm น้ำหนักประมาณ 7 Kg.

#### 11. อื่น ๆ

สาย cable 3C-2V สำหรับวัดยาว 10 m. : 1pc

เอกสารนี้เป็นเอกสารภายในของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๒. ขั้นตอนในการ operate

๓.๒.๑ แผง Control ของ detector และ function ในการ control (switch ,  
ปุ่มต่าง ๆ ฯลฯ)

รูป ๓.๓ แสดงแผง control ของ detector

(1) i/p attenuator

เป็น switch ใช้ในการลดสัญญาณ i/p เพื่อให้ได้ magnitude ที่เหมาะสม และ เลือก  
ได้ 9 stage range จาก 1/1 ถึง 1/1500 range "0" คือเมื่อ attenuation factor  
มีค่า infinity

(2) i/p attenuator-variable

ใช้ fine adjust (ปรับละเอียด) เพื่อให้การลดสัญญาณเป็นไปอย่างต่อเนื่อง  
attenuator factor จะประมาณ 1/3 เมื่อหมุนปุ่มทวนเข็มนาฬิกาเต็มที่ ( เมื่อ scale  
เป็น 0 ) ซึ่งก็คือ max.level ดังนั้น จึงสามารถ vary INPUT ATTENUATOR (1) ได้  
อย่างต่อเนื่อง

เมื่อวัด partial discharge หน้าปัทม์จะใช้หมุนเพื่อเปลี่ยน coefficient ของ  
electric charge value และ voltage value ของ indicator หรือ PULSE  
OUTPUT voltage ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม.

## (3) GATE ADJUSTMENT - POLARITY

เมื่อวัด partial discharge ด้วยกระแส AC ของ commercial frequency ซึ่งจะใช้วัด partial discharge ที่เกิดที่ positive หรือ negative half cycle โดยจะแยกด้วย gate pulse ที่ synchronizing อยู่กับ test power supply เมื่อหมุนไปที่ "+" ทั้ง positive และ negative polarity จะถูกวัด ถ้าหมุนไปที่ "+" positive polarity ก็จะถูกวัด, ถ้าหมุนไปที่ "-" negative polarity ก็จะถูกวัด สัญญาณของ gate pulse จะมาจากกระแสของ input terminal และ กระแส operate ต่ำสุดจะน้อยกว่า  $25 \mu A$

## (4) GATE ADJUSTMENT - PHASE

เมื่อวัดเพียง partial discharge ของ positive หรือ negative อย่างใดอย่างหนึ่ง ปุ่มนี้จะใช้ตัด (cut off) half cycle partial discharge ของ polarity อื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ โดยการปรับ phase ของ gate pulse - range ของ phase จะอยู่ในช่วง  $\pm 35$  ถึง  $\pm 55$  ที่ความถี่ 50 หรือ 60 Hz ควรจะปรับปุ่มที่ตำแหน่งตรงกลางที่สุดและเพื่อความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น ควรจะห่อ oscilloscope เข้าไปด้วย เพื่อให้การปรับละเอียดขึ้น

## (5) PULSE OUTPUT

โดยทั่วไปจะต่อ pulse o/p เข้ากับ oscilloscope

เมื่อเกิด partial discharge ในวัตถุทดสอบ voltage pulse นี้เกิดจะเป็นสัดส่วนกับ electric charge voltage pulse จะปรากฏที่ oscilloscope เมื่อ detection sensitivity ของ charge ของ partial discharge ของวัตถุทดสอบ และ coupling condenser เท่ากับ 1000 pF ทั้งคู่ และปุ่ม ATTENUATOR set ไปที่ "1/1" partial discharge ที่ generate pulse 1 V จะน้อยกว่า 1 pc noise ภายใน detector ภายใต้อุปกรณ์เดียวกัน จะเท่ากับ partial discharge ที่น้อยกว่า 0.1 pc เมื่อคำนวณใน

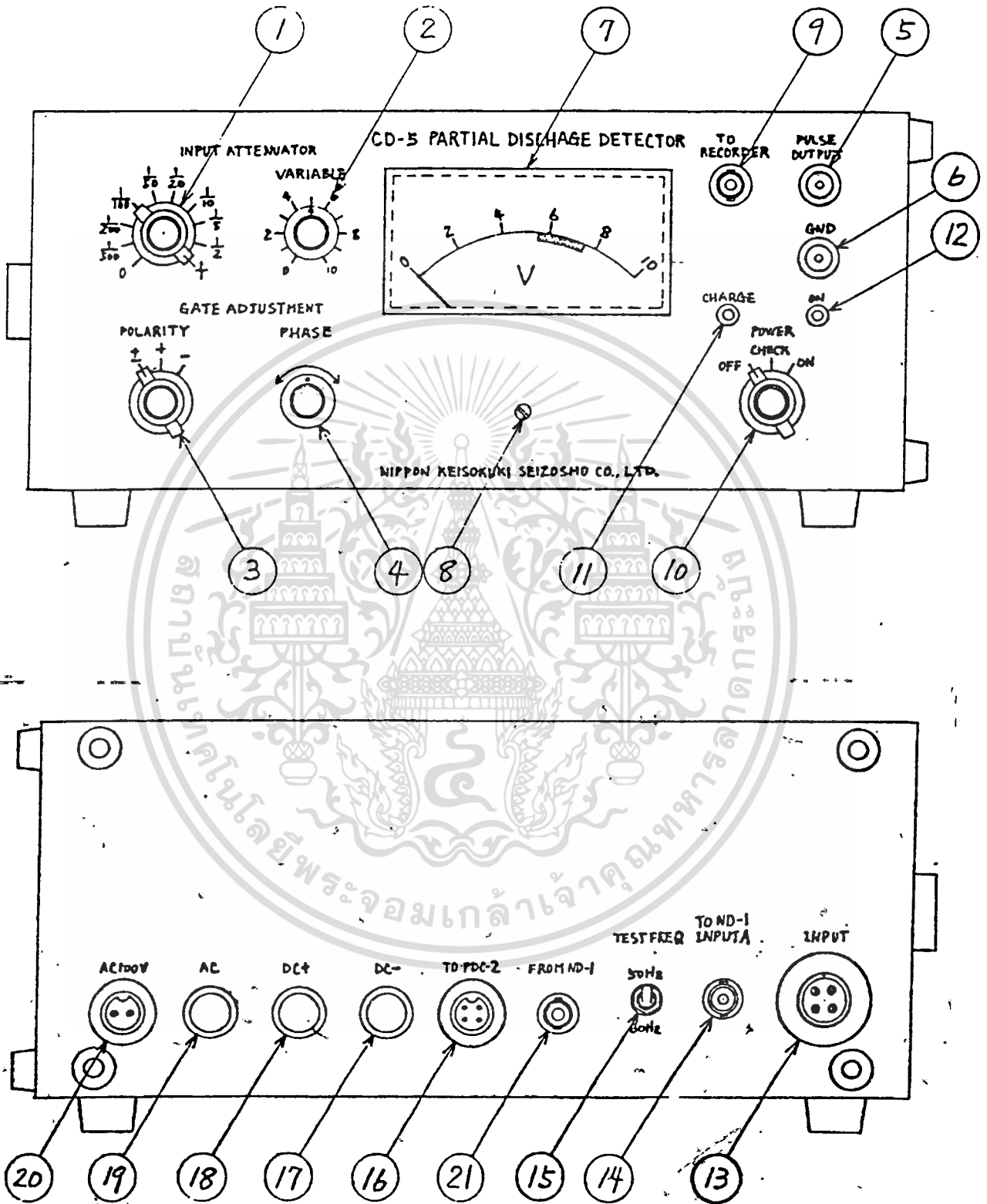
เอกสารของกรมการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่อง การตรวจวัด partial discharge ด้วยวิธี partial discharge ดังนั้น detectable charge ต่ำสุดโดยคร่าว ๆ ไม่ต่ำกว่า 100 pC อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CRT จะน้อยกว่า 0.2 gc (assume ว่า S/N = 2)

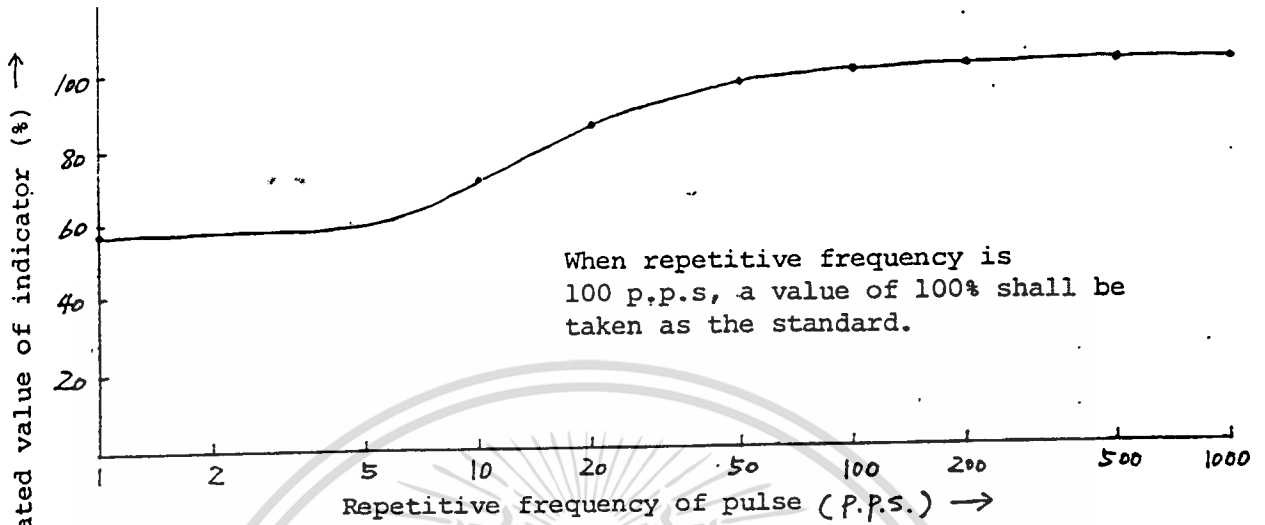
pulse ของ terminal นี้ จะเป็นสัดส่วนกับ charge ของ partial discharge ที่ range 1V ถึง 10V แต่จะไม่เป็นสัดส่วนกันที่น้อยกว่า 1V หรือ มากกว่า 10V เนื่องจาก nonlinear ของวงจร o/g impedance ของ terminal นี้ ประมาณ 5 Kohm

(6) GND จะ common กับ case ของ partial discharge detector ในการป้องกัน external noise ที่มาจาก ground และ ความปลอดภัย ขณะเกิดการ breakdown ของวัตถุทดสอบ จะต้องแน่ใจว่าต่อ ground ถูกต้อง ด้วยสายที่หนาพอ ขณะใช้งาน partial discharge detector

(7) Indicator เมื่อปรับ switch power ไปที่ "check" แสดงว่าขณะนั้น battery ภายในกำลัง charge อยู่ เมื่อ switch ไปที่ "ON" แสดงถึง peak value ของ pulse voltage ของ PULSE OUTPUT terminal ดังนั้น detection sensitivity ของ charge ของ partial discharge จะเหมือนกับของ OUTPUT terminal และถ้าปรับ partial discharge calibrator ไปข้างหน้า detectable charge สูงสุด จะสามารถอ่านได้โดยตรงจาก indicator indicator จะเปลี่ยน partial discharge pulse เป็น discharge wave form ด้วยค่า time const 150 ms. indicated value จะเปลี่ยนแปลงตาม repetitive frequency ของ pulse อย่างไรก็ตาม ถ้า test ด้วย commercial frequency จะถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง กราฟคุณลักษณะของความถี่ของ indicated value จะแสดงดังรูปที่ 3.4.



รูป 3.3 แสดงแผง control 100V detector  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในพิธีการทักขีเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 ความถี่ของการตรวจหาประจุสูงสุด

(8) Zero adjust ของ Indicator

ใช้ adjust หาด้านหนึ่ง "0" ของ indicator และ adjust ต้องปรับ switch power ไปที่ "OFF"

(9) TO RECORDER

เป็น o/p terminal สำหรับ recorder และโดยทั่วไป pen recorder หรือ xy recorder จะต่อกับ terminal จะมี o/p ก็ต่อเมื่อ เปลี่ยนค่าของ 1/2 ของค่า peak value ของ pulse voltage ของ PULSE OUTPUT terminal เป็น discharge wave form ด้วยค่าของ indicated value จะเกิดเมื่อ pen recorder ถูกต่อ ซึ่งออกมาจะ คล้ายของ indicator และ maximum detectable charge สามารถบันทึกบนกระดาษได้

(10) POWER

ถ้าปรับไปที่ "CHECK" จะทำให้อุปกรณ์ได้รับไฟจาก battery ซึ่ง battery นี้จะถูก  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยมูลค่า  
charge อยู่ตลอดเวลาด้วยวงจรภายใน แต่ถ้าปรับไปที่ "ON" ไฟ AC 100V ก็จะทำหน้าที่เป็น  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

power supply แทน battery

นอกจากนั้น battery ยังสามารถ charge ได้โดยจ่ายไฟ 100 v.AC ไปที่ 100 v. AC terminal ที่ด้านหลังของแผงควบคุมโดยไม่ว่าตำแหน่งของ switch ไม่ว่าจะอยู่ในตำแหน่งใด (OFF, CHECK, หรือ ON)

ถ้าปรับ switch ไปที่ "OFF" จะเป็นการ charge battery อย่างเดียว

(11) CHARGE

lamp นี้จะติดขณะกำลัง charge battery อยู่

(12) ON lamp นี้จะติดเมื่อวงจรภายในทำงาน

(13) INPUT

สายเคเบิลสำหรับวัด (3C-2V, ยาว 10 m.) จะถูกตัดเข้ากับ partial discharge detector หรือจะใช้ตัวต่อสายเคเบิลของ NKS ชนิด BL-1 ต่อเข้า terminal INPUT นี้ กระแส i/p สูงสุด ที่ยอมได้ = 1 A. (commercial frequency current)

(14) TO ND-1 INPUT A

เมื่อมีการใช้ NKS type ND-1 terminal นี้ก็จะถูกต่อเข้ากับ INPUT A ของ ND-1

(15) TEST FREQUENCY

จะใช้เปลี่ยนความถี่ที่จ่ายให้กับวัตถุทดสอบขณะทำการทดสอบ partial discharge ทั้งนี้ เนื่องจาก gate pulse width จะถูกหาจากค่า time constant ภายในของ detector ค่า pulse width จะเปลี่ยนไปตามความถี่

ดังนั้นเมื่อวงจร gate ไม่ได้ใช้ (ปรับป้อน polarity ไปที่ "±") หรือ voltage ที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ใช้ test เป็น DC switch นี้ก็อาจปรับไปด้านใดด้านหนึ่ง แม้ว่าเมื่อความถี่นั้นมากกว่าความถี่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

commercial (commercial frequency) จะทำให้การ operate ของวงจร gate ไม่สามารถเชื่อถือได้ก็ตาม ดังนั้นด้วยเหตุนี้จึงไม่ใช้วงจร gate

(16) TO PDC-2

terminal นี้ใช้สำหรับ NKS type PDC 2 ซึ่งเป็น counting rate meter

(17) DC- เป็นช่องใส่ fuse สำหรับขั้ว - ของ power supply ใน detector จะใช้ fuse 0.2 A

(18) DC+ เป็นช่องใส่ fuse สำหรับขั้ว + ของ power supply ใน detector จะใช้ fuse 0.5 A

(19) AC เป็น fuse สำหรับ 100 VAC จะใช้ fuse 0.5 A

(20) 100 VAC

terminal นี้ มีไว้สำหรับจ่าย power 100 VAC ซึ่งมาจากไฟ 100 VAC หรือจาก battery

(21) FROM ND-1

เป็น i/p terminal ใช้สำหรับต่อเข้ากับ TO CD-5 c/p terminal ของ ND-1  
เมื่อใช้ NKS type ND-1

### 3.2.2 Battery ที่ติดตั้งอยู่ภายใน

เป็นชนิด Ni-Cad 12V DC และ capacity 1800 mA.H เมื่อ charge จนเต็ม จะมี voltage 15V

เมื่อ switch power มาที่ "CHECK" battery จะทำให้ indicator ติด ซึ่งมันจะติดอยู่ในช่วง 11V ถึง 15V ถ้า volt ตกลงน้อยกว่า 11V จะทำให้วงจรภายในทำงานผิดปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการ charge battery

เวลาในการ discharge ของ battery ประมาณ 16 ช.ม. (แต่ถ้าใช้ Type PDC-2 รวมด้วย จะเหลือ 12 ช.ม.) จากที่ charge ไว้เต็ม ๆ

### 3.2.3 ข้อควรระวัง

(1) partial discharge detector จะต้องทำการปรับรูปร่าง ๆ ให้ถูกต้อง รวมทั้งสาย cable สำหรับวัด

ดังนั้น จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้สาย cable ชนิดอื่น

(2) กระแส i/p สูงสุด ที่ยอมได้ของ commercial frequency เท่ากับ 1A

(3) จะต้องให้มี arrester ขนาดเล็กระหว่าง input terminal กับ ground เพราะขณะวัดทุกทดสอบเกิดการ breakdown จะมีกระแสไหลผ่าน detector มาก หรือ อาจติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ protect ต่าง ๆ เช่น วงจรจำกัดกระแส หรือ arrester ขนาดใหญ่ที่ด้านนอก

(4) เมื่อใช้ battery เป็น Supply ถ้า Indicator ตกจากเครื่องหมาย BATT

ต้อง charge ทันที

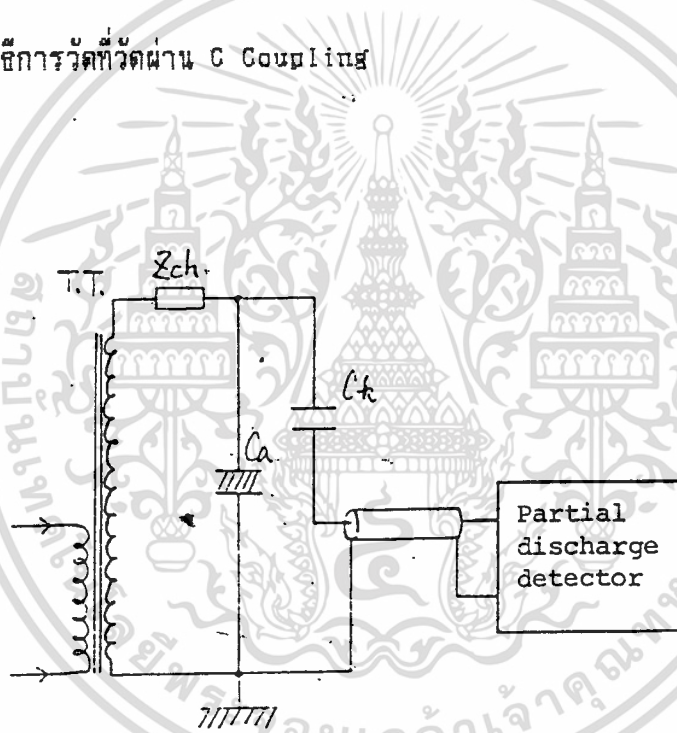
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3. การวัด

#### 3.3.1 วงจรการวัด

มีวิธีการวัดหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุทดสอบ หรือ condition ของ noise จากภายนอก และภายใน ตามรูปที่ 5 จะเป็น 3 วิธี

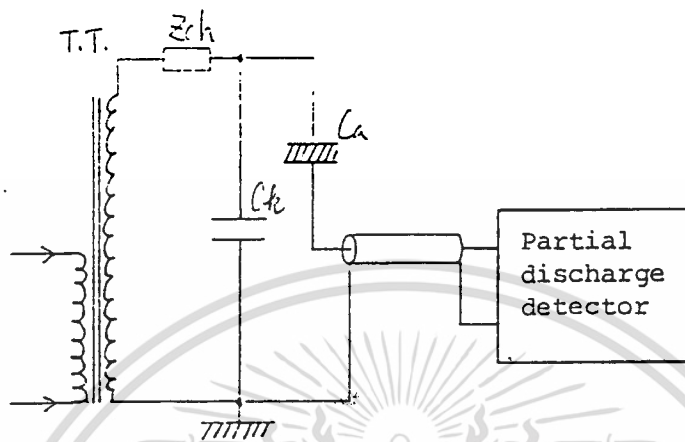
##### (1) วิธีการวัดที่วัดผ่าน C Coupling



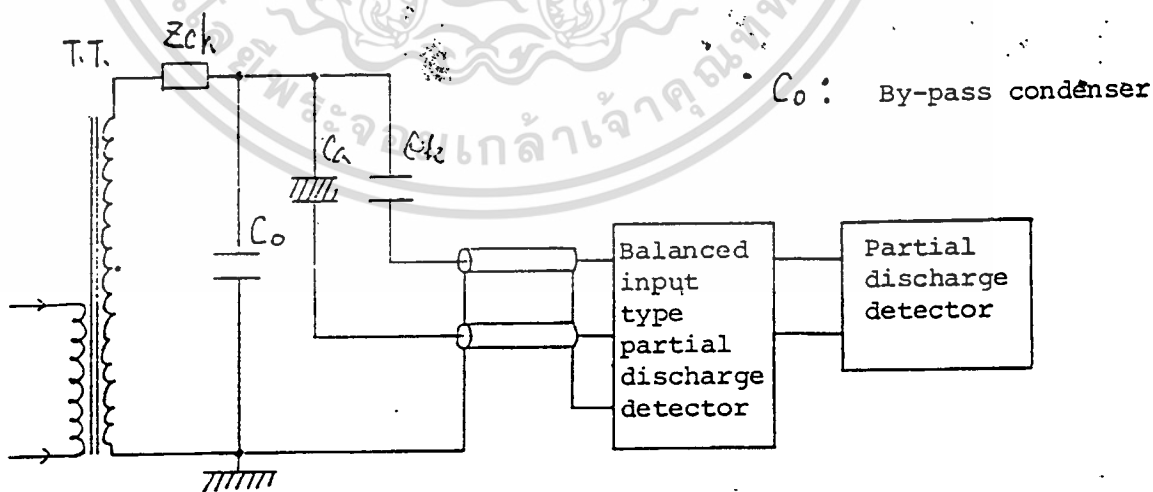
- Ca : Test object  
 Ck : Coupling condenser  
 T.T: Testing transformer  
 Zch: Blocking impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) วิธีการวัดที่วัดกับ ground terminal ของวัตถุทดสอบ



(3) วิธีการวัดด้วยวงจรสมดุล (balance circuit)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูป 3.5 วงจรการวัดของ Partial discharge  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing Transformer - ไม่ควรใช้เกิน rate voltage, blocking impedance  $Z_{ch}$  ใช้ป้องกันการเกิด noise ที่มาจาก Power Supply หรือป้องกัน partial discharge pulse current ไหลเข้าสู่ supply โดยทั่วไปจะ impedance  $Z_{ch}$  เป็น L ที่มีค่า mH น้อย ๆ หรือค่า R ประมาณ 1-100 Kohm

C coupling CK เป็น by-pass impedance ใช้เป็น closed circuit ของ pulse current และยังกัน partial discharge ออกข้างนอกด้วย แม้ว่า CK นี้จะใช้ งานที่ F สูงก็ตาม โดยทั่วไปจะใช้ CK 1000-2000 pF

(1) ตามรูป 5 เป็นวิธีที่วัดผ่าน C coupling (CK) และจะเหมาะสมสำหรับ วัตถุทดสอบที่มีค่า electrostatic capacity มาก ๆ เช่น สายเคเบิลที่วางบนพื้น

(2) ตามรูป 5 เป็นวิธีที่วัดผ่าน grounding terminal ของวัตถุทดสอบ เมื่อ วัตถุทดสอบ  $C_a$  มีการฉนวนป้องกันการลง ground และมันเหมาะสมสำหรับการทดสอบวัตถุที่ non-grounded ที่มีค่า electrostatic capacity น้อย ๆ

ในวิธีที่ 2 ตามรูป 5 blocking impedance  $Z_{ch}$  และ C coupling (CK) สำหรับ ตัดออกไปได้ เนื่องจาก noise ภายนอก จะผ่านเข้า power supply โดยตรง

วิธีที่ (1) และ (2) ตามรูป 5 มีหลักการที่เหมือนกัน เนื่องจาก  $C_a$  และ CK จะสลับตำแหน่งกัน จะใช้วิธีทั้งสองเมื่อวัตถุทดสอบเป็นแบบ non-grounded

จะใช้วิธีที่ 1 เมื่อ  $C_a > CK$

วิธีที่ 2 เมื่อ  $C_a < CK$

เนื่องจาก detecting sensitivity ของ noise ภายนอกจะต่ำกว่า เมื่อเทียบกับ internal discharge ของวัตถุทดสอบ  $C_a$

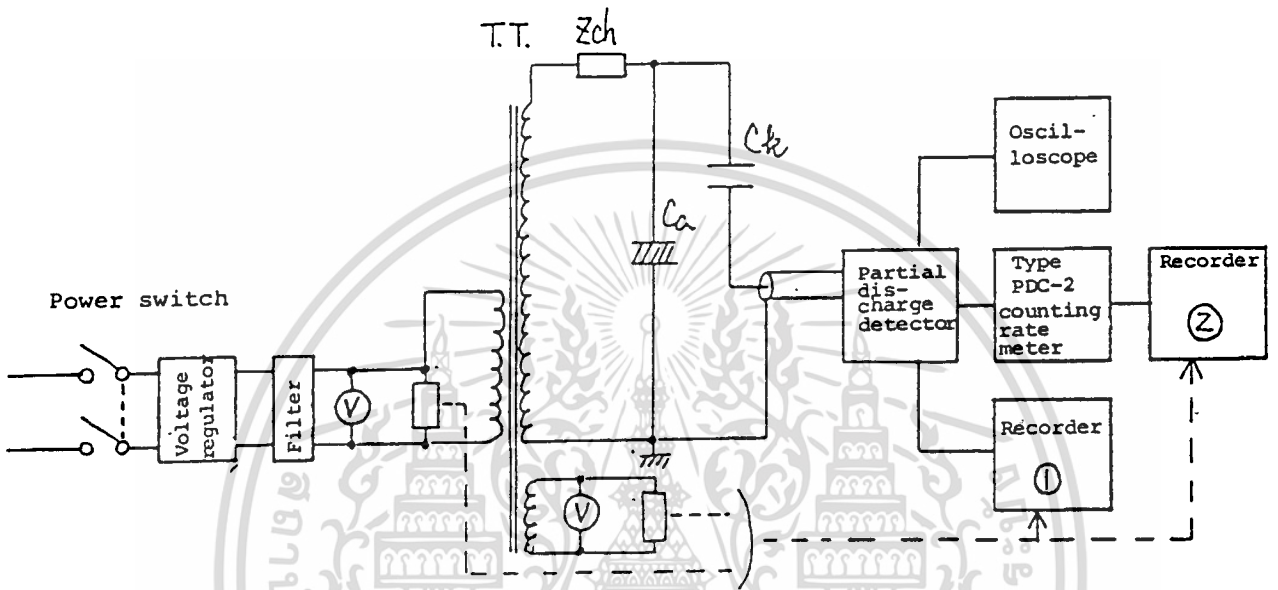
(3) ตามรูป 5 เป็นวิธีที่วัดด้วยวงจร balance detection เป็นวิธีที่ยกระดับ internal discharge โดย balance noise ภายนอกด้วย NKS type BL-1 (balance i/p type partial discharge detector) เมื่อ electrostatic capacity ของ

วัตถุทดสอบ  $C_a$  และ C coupling (CK) เกือบจะเท่ากัน จะทำให้ผลของ noise มีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ขั้นตอนในการวัด

เลือกวงจรการวัดที่เหมาะสมตามแต่ชนิดของวัตถุทดสอบ และสภาพของ noise ภายนอก แล้วจึงทำตามวงจร



- Ca : Test object
- Ck : Coupling condenser
- T.T : Testing Transformer
- Zch : Blocking impedance

รูป 3.6 แสดงการต่อวงจรการวัด partial discharge ตามตัวอย่างนี้จะเป็วิธีการวัด โดยผ่าน C coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (1) การเตรียมการก่อนการวัด

ต่อตามวงจรรูป 5 ปรับปุ่ม control ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

Detector :	INPUT ATTENUATOR	0
	VARIABLE	10
	POLARITY	+
	PHASE	ตำแหน่งตรงกลาง
	POWER	ON
	TEST FREQ	50 Hz หรือ 60 Hz (ปรับตาม F ที่ทดสอบ)
Type PDC-2 counting rate meter :		
	RANGE	$0.1 \times 10^3$ P.P.S.
Oscilloscope		
	V/cm	1V/cm
	ms/cm	5 ms/cm
RECORDER (1)	V/cm	10 V/full scale
RECORDER (2)	V/cm	0.2 V/full scale

หลังจากปรับทุกปุ่มเสร็จแล้ว เปิด power switch ในตำแหน่งที่ voltage regulator เป็น 0 ให้หมุน attenuator (ตัวลดสัญญาณ) ของ detector นี้ ในทิศทางที่ทำให้ค่า sensitivity สูงขึ้น ถ้าไม่มี noise ภายนอก ค่า sensitivity จะเพิ่มถึงค่า max (1/1) แต่ถ้า noise จากภายนอก เข็มของ counting rate meter จะ swing ไปข้างหน้าก่อนการดำเนินการ และ เข็มของ indicator ของ detector ก็จะมี swing ด้วย

(2) การวัด partial discharge ขณะเริ่ม Start voltage และ ขณะตัด voltage ออก (extinction voltage)

ใส่ electric charge ที่รู้ค่าเข้าไปเท่ากับค่าของ partial discharge นี้เกิดกับ วัตถุประสงค์ของเข้ากับ partial discharge calibrator และปรับ attenuator และ VARIABLE ของ detector ตั้งเข็มของ indicator ของ detector จะ swing ไปที่ 1V ต่อจากนั้นเอา calibrator ออก, เพิ่ม apply voltage ทีละน้อย จากค่าต่ำ ๆ ถึงค่าที่ วัดคือ ค่าที่เข็มของ indicator ของ detector swing ไม่เกิน 1V หรือ เข็มของ counting rate meter เริ่ม swing นี้คือ percharge ที่ Starting voltage

นอกจากนั้น หลังจากการเพิ่มของ voltage มากกว่า 10% ของ Starting voltage ก็ให้ลด voltage ลง และวัดระดับ voltage ที่เข็มของ indicator swing อยู่ต่ำกว่า 1V หรือ เข็มของ counting rate meter swing ไม่นาน นี้คือ partial discharge ขณะ extinction voltage

เนื่องจาก partial discharge starting voltage และ extinction voltage vary ไปตามค่าของ charge ของ partial discharge ที่ถูก detect มันจึงจำเป็นต้องบันทึกค่าของ charge ที่ starting voltage and extinction voltage นี้

(3) การวัด partial discharge ที่ voltage เฉพาะค่า

ใส่ค่า electric charge ที่รู้ค่า และเท่ากับค่าของ partial discharge ของวัตถุประสงค์ของ แล้วปรับค่า calibrator ร่วมกับ attenuator และ VARIABLE ของ detector จนเข็ม indicator ของ detector swing ไปที่ 1V

ต่อไปเอา calibrator ออก เพิ่ม apply voltage ให้วัตถุประสงค์ของให้ voltage อยู่ในระดับต่ำ ๆ ก่อน วัดระดับ voltage นี้ไว้ระยะหนึ่ง และดูว่า ถ้าเข็มของ indicator swing เกิน 1V ก็ให้ลดระดับ voltage

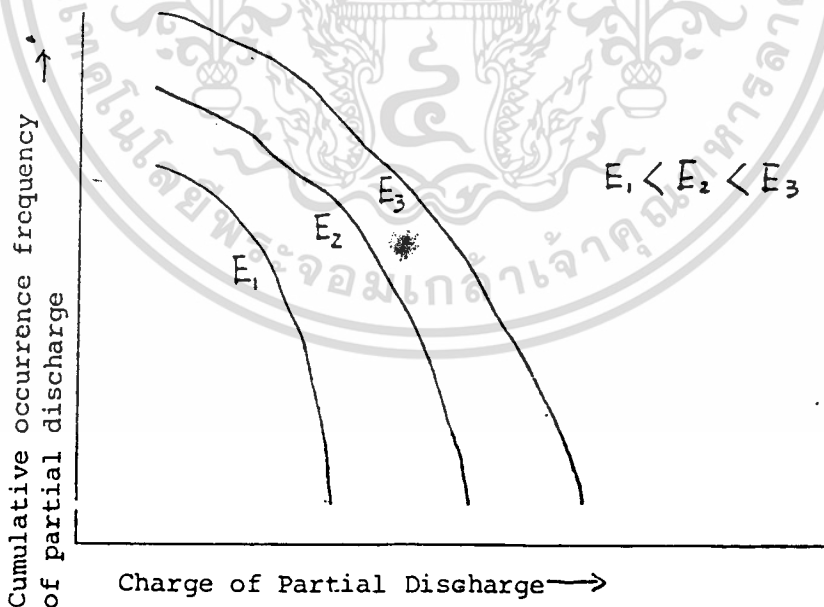
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดการวัดแบบนี้เหมาะสมสำหรับวัตถุประสงค์หลายอย่าง

(4) การวัด charge ของ partial discharge กับ ความถี่สะสมที่เกิดขึ้นของ partial discharge ที่ค่า apply voltage ค่าหนึ่ง

เพิ่ม sensitivity ของ partial discharge detector ถึงค่า maximum ภายใน range ที่เข็มของ counting rate meter ไม่ swing เนื่องจาก noise ภายนอก ต่อไป apply voltage ที่ไม่เกิน Starting voltage อ่าน meter ขณะเพิ่ม attenuation factor

ต่อไป จ่ายค่า electric charge ให้กับวัตถุทดสอบโดย calibrator ด้วยค่า apply voltage = 0 และ จะได้รับ charge ของ partial discharge ของ counting Start ของ counting rate meter สัมพันธ์กับ range ต่าง ๆ ของ attenuator ของ detector

ดังนั้น ก็จะได้ voltage characteristic ของการกระจายของ partial discharge ตามรูป 3.7.



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.7 กราฟความถี่ที่เกิดขึ้นของประจุ Partial discharge ระเบียบชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) การวัด apply voltage characteristic และ characteristic ที่เปลี่ยน  
เมื่อเวลาผ่านไป ถึงค่า max detectable charge

เพิ่มค่า sensitivity ของ detector ถึงระดับสูงสุด ภายใน range ที่ noise  
 ภายนอกตัดทิ้งได้ จ่าย voltage ไปวงจร ป้อน voltage เข้าที่แกนของ recorder (1)  
 ดังนั้นก็จะได้ recording chart ของ apply voltage characteristic ของ  
detectable charge สูงสุด โดย starting voltage และ extinction voltage จะ  
 ต้องอ่านอย่างละเอียด

### 3.3.3 Calibration

ในการวัด partial discharge แม้ว่า detecting sensitivity ของ  
detector จะถูกกำหนดตายตัว แต่ของระบบรวมทั้ง detector จะต่างกันไปตาม  
electrostatic capacity ของวัตถุทดสอบ และ C coupling หรือต่างกับวงจรการ  
 วัดอื่น ๆ

ดังนั้นสำหรับการวัด charge ของ partial discharge จึงมีความจำเป็นต้องใช้  
charge ที่รู้ค่าของ partial discharge ให้วัตถุทดสอบ ก็จะได้ coefficient ของ  
charge ของ partial discharge เป็น indicator และเปลี่ยน indicated value  
 ของ indicator เป็น charge ของ partial discharge

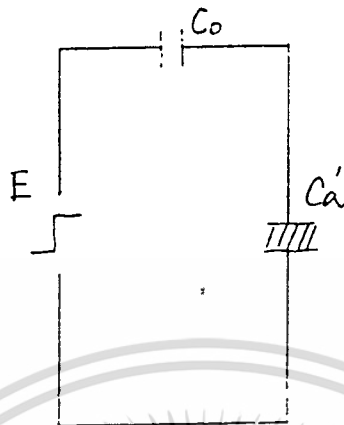
โดยทั่วไป electric charge ที่รู้ค่า จะถูกจ่ายด้วย pulse son ที่มี rise time  
 เท่ากัน

รูป 3.8 แสดงหลักการของ calibrate ของ partial discharge

ตามรูป 3.8 สมมติว่า E คือ pulse voltage

(รูป 3.8)  $C_0$  คือ ค่า electrostatic capacity มาตรฐานขนาดเล็ก, และ  $C_a$  คือ  
 ส่วนที่ประกอบด้วย capacitance ของวัตถุทดสอบ  $C_a'$  และ capacity อื่น ๆ ที่ขนาน อยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8 แสดงหลักการของ calibrate ของ partial discharge

$$Q = \frac{Ca' \cdot Co}{Ca + Co} \cdot E$$

เมื่อ  $Co \ll Ca'$   $Q = Co \cdot E$

ในการ calibrate จริง ๆ partial discharge calibrator จะมี  $Co$  ทำให้ electric charge ถูก generate ได้ เพื่อจวัดได้โดยตรง ดังนั้น ด้วยการต่อ calibrator กับวัดทดสอบแบบขนานกัน จะย electric charge ที่รู้ค่าให้วัดทดสอบและอ่านค่าเบื้องต้นของเชิงของ indicator ทำให้ coefficient สามารถรู้ได้ง่าย

3.3.4 Step สำหรับ noise ภายนอก

เมื่อวัด partial discharge noise ภายนอก จะทำให้เกิดอุปสรรคในการวัด ซึ่งจะ มีผลต่อการวัด 2 ข้อ

(1) มีนจรบกวนวงจร electrostatic and electromagnetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น (1) ทั้งจะเกิด noise นี้แม้ว่า voltage regulator ที่ด้าน primary ของ

testing transformer จะไม่ถูกต้องเข้ากับ power supply และ

(2) เป็น noise ที่รบกวนเมื่อ regulator ถูกต่อเข้ากับ power supply ดังนั้น Step สำหรับ noise (1) คือ จะต้องลดพื้นที่ของ pulse circuit ที่ประกอบด้วย C coupling และวัตถุทดสอบหรือวงจรการวัดต้องมีการ shield Step สำหรับ noise (2) คือ ต้องใช้ transformer ที่มีการ shield หรืออาจติดตั้ง filter การจะไม่ให้เกิด noise ทั้ง 2 จะต้องทำการ balance circuit เนื่องจาก ground ของวงจรการวัดจะมีผลของ noise มาก ดังนั้น จึงต้องมีการ grounding 1 จุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARTIAL DISCHARGE CALIBRATOR (NPG-2)

4.1 บทนำ

4.1.1 โดยทั่วไป

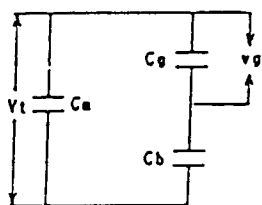
Partial discharge calibrator ถูกออกแบบให้เป็นตัวกำเนิดโหลด เพื่อการวัดในการทดสอบการเกิด partial discharge ในวัสดุฉนวน

ชุดนี้กำเนิดรูปคลื่นที่มี rise time เหมือนกับรูปคลื่นของ air partial discharge และ oil partial discharge ที่มีค่าถึง 100 p.p.e. มันสร้างโหลดเพื่อการวัดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2,500 pC และอ่านได้โดยตรงจากเข็มชี้

เนื่องจากชุดนี้มีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานเพื่อลด ground capacitance มันจึงสามารถทำการวัดกับตัวอย่างที่ไม่มีกราวด์ (non-grounded sample) ได้อย่างแม่นยำ

4.1.2 Partial discharge

จะอธิบาย partial discharge โดยการอ้างถึงวงจรเสมือน



$C_g$  : ความจุไฟฟ้าของช่องอากาศ

$C_b$  : ความจุไฟฟ้าของชั้นฉนวนที่แทรกอนุกรมกับช่องอากาศ

$C_m$  : ความจุไฟฟ้าของตัวอย่างที่นอกเหนือจาก  $C_g$  และ  $C_b$

$V_c$  : ศักย์ค่าไฟฟ้าภายนอกที่ป้อน

$V_g$  : discharge voltage ของช่องอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
รูป 4.1 วงจร Partial discharge  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด  $C_a$  เป็นความจุไฟฟ้ารวมของตัวอย่างในวงจรเสมือน partial discharge ในรูปที่ 4.1 และเราได้ว่า

$$C_a = C_m + C_g \cdot C_b / (C_g + C_b) \quad (4.1)$$

ถ้าป้อนไฟ AC voltage (instantaneous value)  $V_b$  ให้ตัวอย่าง  $C_a$  จะได้ voltage  $V_u$  (instantaneous value) ที่ป้อนให้กับ  $C_g$  เป็น

$$V_u = V_b \cdot C_b / (C_g + C_b) \quad (4.2)$$

กำหนดว่า  $V_u$  มีค่ามากขึ้นในขณะที่เพิ่ม  $V_b$  และ  $C_g$  จะคิดชำระหลังจากที่มันเข้าใกล้ค่า discharge voltage  $V_g$  ศักย์ตกคร่อม  $V$  ที่สร้างขึ้นในตัวอย่าง  $C_a$  หาได้โดย

$$\Delta V = V_g \cdot C_b / (C_m + C_b) = V_g \cdot C_b / C_m \quad (4.3)$$

(ในสภาพของ  $C_m \gg C_b$  แล้ว  $C_g$  เป็นโดยปกติทั่วไป) จะได้ discharge load  $q_r$  ที่เคลื่อนที่ในช่วงอากาศ อันเนื่องมาจาก partial discharge

$$q_r = V_g \{ C_g + C_m \cdot C_b / (C_m + C_b) \} = V_g \cdot (C_g + C_b) \quad (4.4)$$

ดังนั้นจะได้ load  $q$  ที่สูญหายจากอิเล็กโทรดของตัวอย่างเนื่องมาจาก partial discharge เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกที่  $q = \Delta V \cdot C_a = \Delta V \cdot (C_m + C_g \cdot C_b / (C_g + C_b)) = \Delta V \cdot C_m$  (4.5) ไปใช้

จากสมการ (4.3),  $V = V_g.C_b/C_m$ , และ เราสามารถแสดงถึง  $q$  อีกครั้งได้ดังนี้

$$q = V_g.C_b \quad (4.6)$$

จากสมการ (4.4)  $V_g = q_r/(C_g+C_b)$

$$q = q_r.C_b/(C_b+c_g) \quad (4.7)$$

ดังนั้น โหลด  $q$  ที่สูญหายจากขั้วอิเล็กโทรดของตัวอย่างอันผลของ partial discharge แตกต่าง คิซาร์จโหลด  $q_r$  ที่เคลื่อนที่ในช่องอากาศ ดังนั้น  $q$  ถูกเรียกว่า apparent discharge load ขณะที่  $q_r$  เรียกว่า true discharge load เนื่องจากในวัด partial discharge เราสามารถวัด  $C_b$  และ  $V$  เราสามารถวัด apparent discharge load  $q$  จากสมการที่ (5) แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถที่จะวัดทั้ง  $C_g$  และ  $C_b$  ได้ เราจึงไม่สามารถวัด true discharge load  $q_r$  สามารถที่จะหา discharge energy  $W$  โดยการเปรียบเทียบพลังงานคิซาร์จของวงจรก่อนและหลังเกิด partial discharge เราหา discharge energy เมื่อคิซาร์จของวงจรมานของ  $C_g$  และ  $C_m.C_b/(C_m+C_b)$  ลดลงจาก  $V_g$  คู่ศูนย์

discharge energy หาได้โดย

$$W = \{ C_g + C_m.C_b/(C_m+C_b) \}.V_g^2/2 = q_r.V_g/2 \quad (4.8)$$

จากสมการที่(4.7)  $q_r = q(C_g+C_b)/C_b$  ดังนั้นเราได้  $V_g = V_s.c_b/(C_g+C_b)$  จากสมการ (4.2)กำหนดว่า  $V_s$  (ค่าของ partial discharge start voltage) เป็นค่าของโวลเตจภายนอกที่ขั้ว เมื่อ  $C_g$  คิซาร์จ เราจึงได้ว่า

$$W = q.V_s/2 \quad (4.9)$$

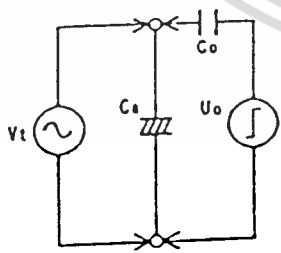
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหา  $W$  และ  $q$  จาก partial discharge start voltage  $V_i (=V_s/1.414)$  ในการวัด partial discharge นั้น apparent discharge load โดยทั่วไปมักจะถูกเรียกว่า discharge load และก็สามารถวัดได้

#### 4.1.3 หลักการในการ calibration ของ discharge load

การกระทำเพื่อจะวัดคิตซ์ชาร์จ์ไหล โดยหลักการแล้วจะกระทำโดย (4) the series calibration method โดยที่ rectangular wave voltage จะถูกป้อนให้ตัวอย่างแบบอนุกรม (2) the parallel calibration method โดยที่ป้อน discharge load ขนานกับตัวอย่างผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่าเล็กมาก หรือ (3) the indirect calibration method โดยการป้อน discharge load ที่ขั้วอินพุทของเครื่องมือวัด partial discharge ผ่านตัวเก็บประจุขนาดเล็กลง

ด้วยวิธีต่างๆ นี้ the parallel calibration method ถูกใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด เพราะว่ามันสามารถ calibrate discharge load ได้อย่างแม่นยำและง่าย ถึงแม้ว่าจะไม่รู้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่างก็ตาม



- $C_c$  : ความจุรวมของตัวอย่าง
- $V_t$  : External applied voltage
- $C_o$  : Standard capacitance
- $U_o$  : Rectangular wave voltage

รูป 4.2 หลัก calibration

ของ discharge load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงหลักการ calibration ของ the discharge load กำหนดว่า internal discharge เกิดขึ้นที่ช่องอากาศภายในตัวอย่าง เป็นเหตุให้ไหลด  $q$  สูญหายจาก  $C_a$  เมื่อป้อนโวลเตจภายนอก  $v_c$  ให้กับ  $C_a$  โวลเตจคร่อม  $v = q/C_a$  ถูกสร้างขึ้นระหว่างคู่ อิเล็กโทรด

โดยการลดโวลเตจภายนอกที่ป้อน  $v_c$  ถึง  $0V$  และป้อนคลื่นโวลเตจ  $U_0$  ให้กับ  $C_a$  ผ่านตัวเก็บประจุมาตรฐานที่รู้ค่า  $C_0$  โวลเตจระหว่างคู่อิเล็กโทรดของ  $C_a$  กลายเป็น  $U_0 \cdot C_0 / (C_a + C_0)$  และใส่ไหลด  $q_0$  เข้าไปใน  $C_a$  หาได้โดย

$$q_0 = U_0 \cdot C_a \cdot C_0 / (C_a + C_0) \quad (4.10)$$

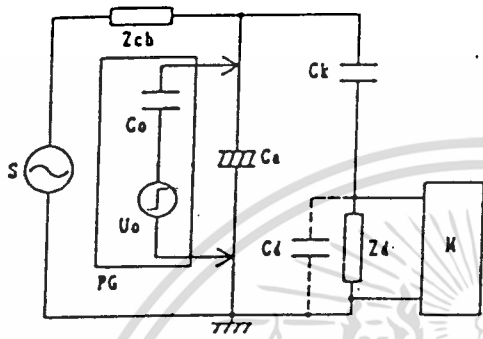
โดยการปรับ  $U_0$  จนกระทั่ง  $q_0 = q$  ผลลัพธ์ที่ได้เหมือนกับเมื่อตอนที่ไหลด  $q$  สูญหายจาก  $C_a$  ถึงแม้ว่าขั้วจะตรงข้ามกับเมื่อตอนเกิด partial discharge ดังนั้น จึงสามารถ calibrate ดิสชาร์จไหลด

เล็ก  $C_0$  จึงได้  $C_0 \ll C_a$  และเราได้ว่า

$$q_0 = C_0 \cdot U_0 \quad (4.11)$$

ดังนั้น ดิสชาร์จไหลดสามารถถูก calibrate โดยการรู้ค่า  $C_0$  และ  $U_0$  เพียงเท่านั้น โดยไม่เกี่ยวข้องกับค่าของ  $C_a$

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของวงจรวัดที่ใช้ในการวัด partial discharge จริง



Ca : ความจุรวมของตัวอย่าง

Ck : ความจุของ coupling capacitor

Cd : ความจุในอิมพีแดนซ์วัด

Zd : Detection impedance

M : เครื่องมือวัด partial discharge

PG : Partial discharge calibrator

Co : Standard capacitance

ใน PG

Uo : Rectangular wave voltage ของ PG

Zcb : Blocking impedance

S : Power supply

รูป 4.3 ตัวอย่างวงจรการวัด partial discharge

เมื่อทำการวัด partial discharge ระบบวงจรวัดทั้งหมด ถูก Calibrate เพื่อจะหาตัวประกอบของค่าแสดงผลของตัวชี้ค่า ภายในเครื่องมือวัด และ discharge load ที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้น การวัดสามารถทำได้อย่างแม่นยำ โดยไม่มีผลรบกวนโดย stray capacitance, self-inductance เป็นต้น ซึ่งมันยากที่จะทำการวัด ถึงแม้ว่าจะไม่รู้ค่าความจุของ Ca, Ck, Cd เป็นต้น

อ้างอิงรูปที่ 4.3 กำหนดว่า Ca' เป็นความจุไฟฟ้ารวมของ ความจุที่ป้อนให้ Ca และความจุของ Ca เราได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_a' = C_a + C_k \cdot C_d / (C_k + C_d) \tag{4.12}$$

กำหนดว่า  $C_a'$  รวมเอา stray capacitance ของวงจรวัดและอื่น  
ไหลด  $q_0$  ที่ใส่ให้กับ  $C_a'$  เป็น

$$q_0 = U_0 \cdot C_a' \cdot C_0 / (C_a' + C_0) \tag{4.13}$$

เนื่องจาก  $C_0 \ll C_a'$  เป็นจริงในเกือบทุกกรณีในการวัดจริง เราจึงได้

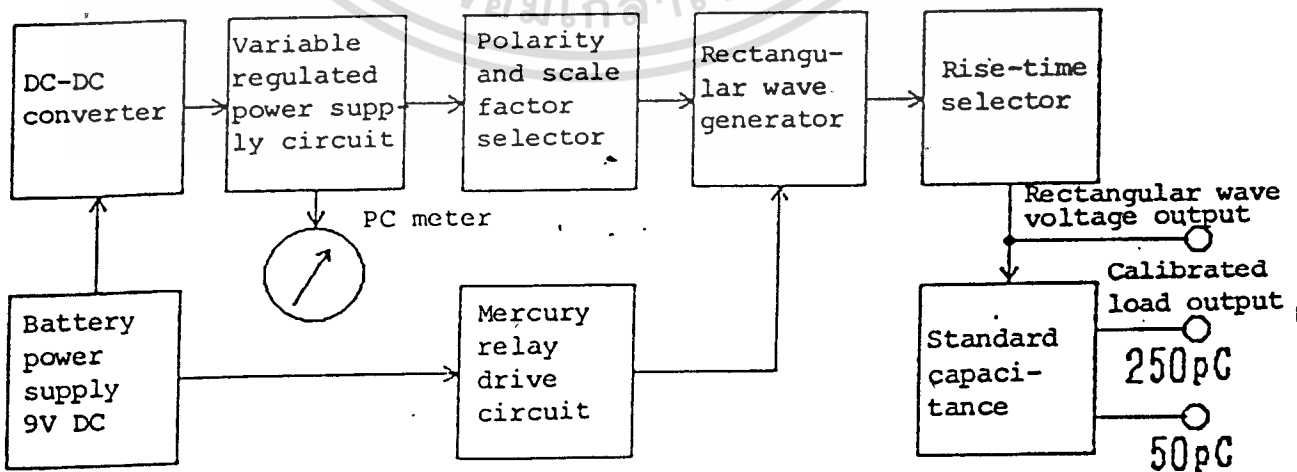
$$q_0 = C_0 \cdot U_0 \tag{4.14}$$

ดังนั้น สามารถ calibrate คิวชาร์จ์ไหลดโดยรู้ค่า  $C_0$  และ  $U_0$  เพียงเท่านั้น

เนื่องจาก สเกล แสดงค่า  $q_0$  จึงสามารถอ่านค่า the calibrate load ได้โดยตรง

4.1.4 circuit block diagram ของชุดนี้

รูปที่ 4.4 แสดง block diagram ของชุดนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูป 4.4 บล็อกการทำงานของเครื่องมือนี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเตอรี่ 9 V ถูกเพิ่มโดย DC-DC converter และปรับให้มีความ 0-50V โดยวงจร variable regulated power supply circuit แล้วนำไปยัง rectangular wave generator ชนิด mercury relay หลักการที่มีการเลือกช่วงบวกและลบแล้ว และ x1 range (0-5V), x10 range (0-50V) rectangular wave ถูกส่งออกเป็น calibrated load โดยผ่านตัวเก็บประจุมาตรฐาน มีค่า 10pF หรือ 50pF ในวงจร mercury relay 100 pps. ถูก ออสซิลเลตเพื่อสร้าง rectangular wave โดย an astable multivibrator

#### 4.1.5 ข้อกำหนดการใช้งาน

##### (1) Pulse output

Output voltage	0 - 5V, 0 - 50V, 2 range
Error	น้อยกว่า + 2.5%
Polarity	บวก,ลบ 2 range
Risetime	สั้นกว่า 30ns, 1, 2, 5µs, 4 range
Repetition frequency	ประมาณ 100 pps.
Output impedance	50 ohm (unbalanced)

##### (2) Generating load

Calibration load	0-50, 0-250, 0-500 ,0-2,500pF ,4 range
Standard capacitance	10, 50pF
Error	น้อยกว่า + 3%

##### (3) Power supply

Voltage DC 9 V (six dry cell) .

Power consumption ประมาณ 400 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) Dimension and weight

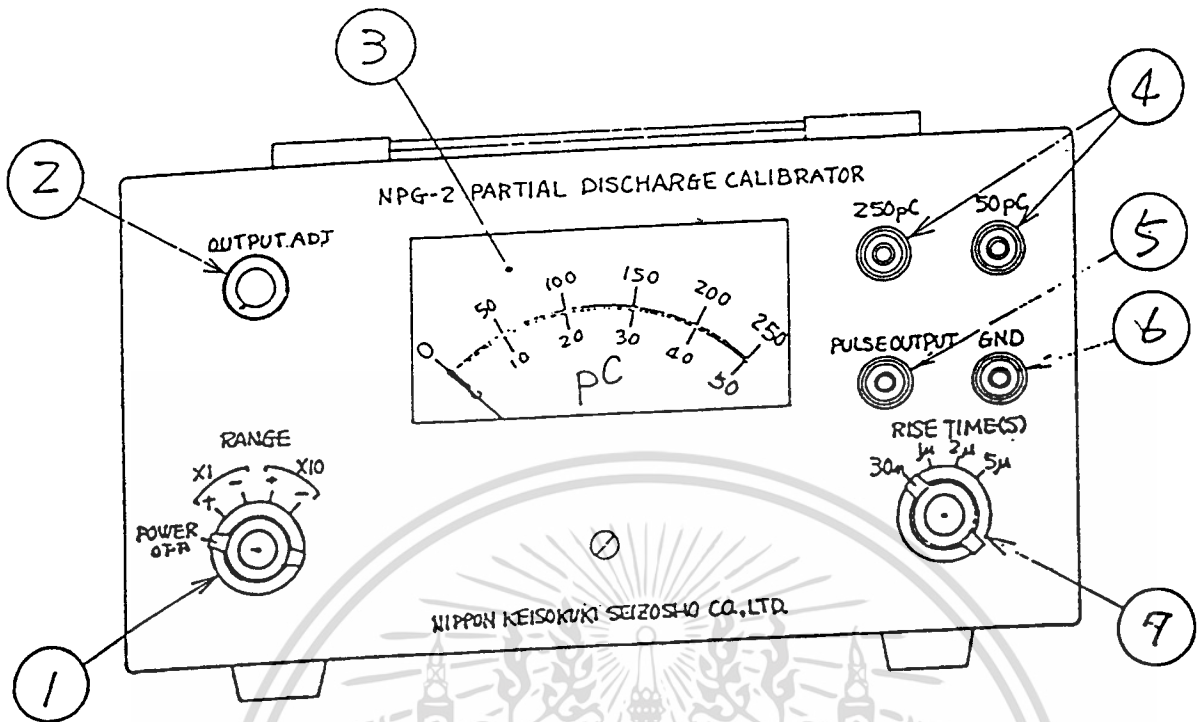
Dimension                      ประมาณกว้าง 250mm. x สูง 130mm. x ยาว 150mm.  
Weight                            ประมาณ 2.2 kg.

(5) Attachments

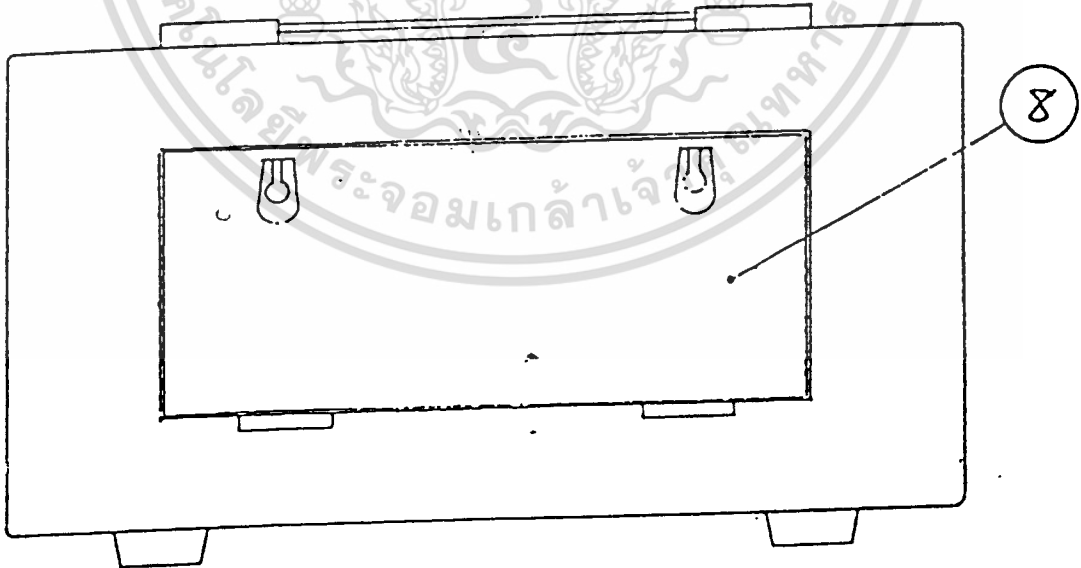
Attached lead wire            30.cm x 2  
Instrument manual            1 copy  
Test data                        1 copy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Front view



รูปที่ 4.5 องค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือนี้  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2. ทฤษฎีการปฏิบัติการ Operation method

### 4.2.1 ส่วนประกอบและการใช้งาน

รูปที่ 4.5 แสดงส่วนประกอบของชุดนี้ ต่อไปจะอธิบายถึงการใช้งานของปุ่มเหล่านี้ สวิตช์ และขั้วสาย

#### (1) RANGE

สวิตช์นี้ใช้เปิดเครื่องเลือกขั้วของ calibration load (rectangular wave voltage) และยังเลือกค่าตัวประกอบสเกลของตัวอ่านค่า และขั้วเอาต์พุต

#### (2) OUTPUT ADJ

ใช้เพื่อปรับ calibration load (rectangular wave voltage) ไปที่ค่าที่เหมาะสมที่ 0 - 50, หรือ 0 - 250 PC เมื่อตั้ง RANGE ที่  $\times 1$  หรือที่ 0 - 500 หรือ 0 - 2,500 PC เมื่อตั้ง RANGE ที่  $\times 10$

#### (3) PC meter (ตัวบอกค่า)

มิเตอร์นี้บอกค่าของ calibration load เป็น PC จึงอ่านค่าได้โดยตรง อย่างไรก็ตามสามารถอ่านค่าของ rectangular wave voltage ได้โดยการกลับค่าเต็มสเกลเป็น 5V หรือ 50V

#### (4) 250PC, 50PC

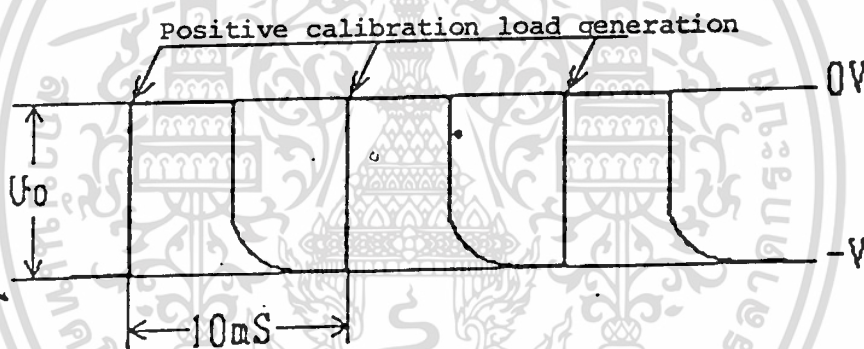
Calibration load ถูกส่งออกมาทางขั้วเอาต์พุตจาก rectangular wave voltage ผ่าน ตัวเก็บประจุค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) PULSE OUTPUT

rectangular wave voltage ถูกส่งออกมาทางขั้วนี้ ขั้วนี้จึงใช้เพื่อศึกษาทั้งค่าและรูปคลื่นของการ calibrate (rectangular wave voltage) ใช้ oscilloscope หรือเครื่องมือวัดที่เหมือนกัน ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์ มีค่าสูงหลาย Mohm

รูปที่ 4.6 แสดง รูปคลื่นของ rectangular voltage wave form เมื่อขั้วของ calibration load เป็นบวก รูปคลื่นนี้จะกลับรอบ 0 V เป็นศูนย์กลาง เมื่อขั้วของ calibration load เป็นลบ ความถี่ถูกตั้งไปที่ประมาณ 100 cps.



รูป 4.6 Rectangular wave voltage wave form

(6) GND

ขั้วกราวด์นี้ ถูกทำเป็นกราวด์กับตัวถังของชุดนี้ และวงจรไฟฟ้าภายใน สำหรับการทำการ calibrate ดิสชาร์จโหลด โดย parallel calibration method ให้ต่อขั้วGND นี้เข้ากับด้าน low-voltage ของตัวอย่าง

(7) RISE TIME

เอกสารนี้เป็นสวิทช์ใช้เพื่อเลือกหรือ rise-time ของ the calibration load (rectangular wave voltage) สำหรับ air partial discharge ตั้ง rise-time ที่ 30ns. หรือตั้งที่

1 - 5μs สำหรับ oil partial discharge

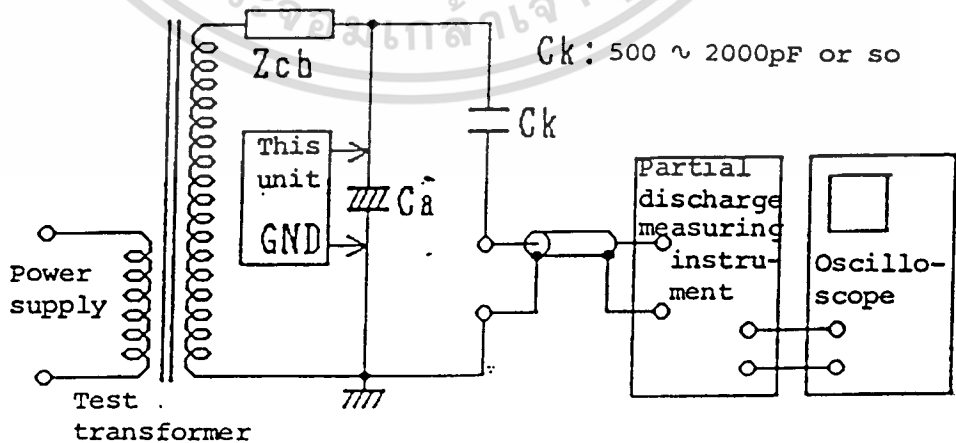
(B) BATTERY CASE

เมื่อเข็มของตัวบอกค่าไม่ชี้เต็มสเกลถึงแม้ว่าจะหมุนปุ่ม OUTPUT ADJ ตามเข็มนาฬิกาจนสุด หรือ ไม่ปรากฏค่าของ calibration load (rectangular voltage) ในกรณีนี้ให้เปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ ได้โดยเปิดฝาครอบออก

4.2.2 ทฤษฎีการต่อวงจรของวงจรการวัด partial discharge และชุดนี้

ทฤษฎีการวัด partial discharge ทำได้หลายแบบตามชนิดของตัวอย่างที่จะวัดและลักษณะของกราวนด์ จะอธิบายทฤษฎีการต่อวงจรวัด 3 แบบ โดยใช้ทฤษฎีแบบ parallel calibration method เป็นหลัก

4.2.2.1 coupling capacitor detection method

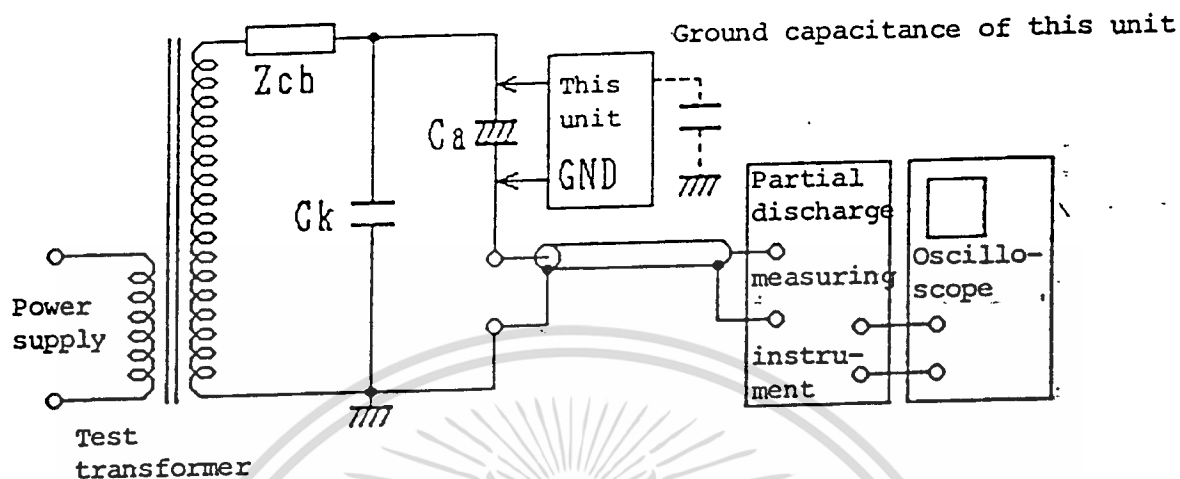


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูป 4.7 Coupling capacitor detection method  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงการต่อชุดนี้เข้ากับวงจรวัดพาร์เทียลดิสชาร์จ์ในแบบ coupling capacitor detection method โดยหลักแล้ววงจรมีใช้สำหรับการวัดพาร์เทียลดิสชาร์จ์ของตัวอย่างที่มีค่าความจุขนาดใหญ่ และมีการวัดถ้าค่าความจุของตัวอย่าง  $C_a$  มีค่าใหญ่กว่า ความจุของคัปปลิงคาปาซิเตอร์  $C_k$  สิ่งรบกวนผ่านเพาเวอร์ซัพพลายและสิ่งรบกวน เนื่องมาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกลดลงไปมากกว่าในแบบ sample detection method โดยใช้ทฤษฎีที่ต้องการ blocking impedance  $Z_{ch}$  เพื่อป้องกันพาร์เทียลดิสชาร์จ์พัลส์ที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่างไหลไปยังด้านพาวเวอร์ซัพพลายต่อชุดนี้เข้ากับด้าน high-voltage และ low-voltage ของตัวอย่างตามรูปที่ 7 โดยไม่มีการป้อนโวลเตจทดสอบเลือกคาปาซิเตอร์มาตรฐานภายในของชุดนี้ให้เล็กกว่าค่าของความจุรวม  $C_a + C_k \cdot C_d / (C_k + C_d)$  (โดยที่  $C_d$  เป็นค่าความจุของ ความต้านทานการวัดของเครื่องมือวัดพาร์เทียลดิสชาร์จ์ แบบ tuning ซึ่งมีค่าประมาณ 370 pF เมื่อใช้สาย 3C-2V (10m. ต่อเข้ากับเครื่องมือวัด) ของ  $C_a$  และความจุที่ต่อขนาดกับ  $C_a$  10 เท่าเป็น อย่างน้อย

ในการวัดพาร์เทียลดิสชาร์จ์ขณะกำลังป้อนศักดาทดสอบ เพื่อไม่ให้มีคลื่นลาดออกชุดนี้ออกจากวงจรวัด ด้วยวิธีการ coupling capacitor detection method นี้ พัลส์อินพุทของ เครื่องวัดพาร์เทียลดิสชาร์จ์ ถูกอัดให้มีขั้วเหมือนกับขั้วพัลส์ของชุดนี้ในกรณีที่ เครื่องวัด เป็นชนิด tuning ไม่มีอุปสรรคในเรื่องของขั้ว แต่มันจะเป็นปัญหาเมื่อเครื่องวัดพาร์เทียลดิสชาร์จ์แบบ low-frequency หรือ wide-band

4.2.2.2 Sample detection method



รูป 4.8 Sample detection method

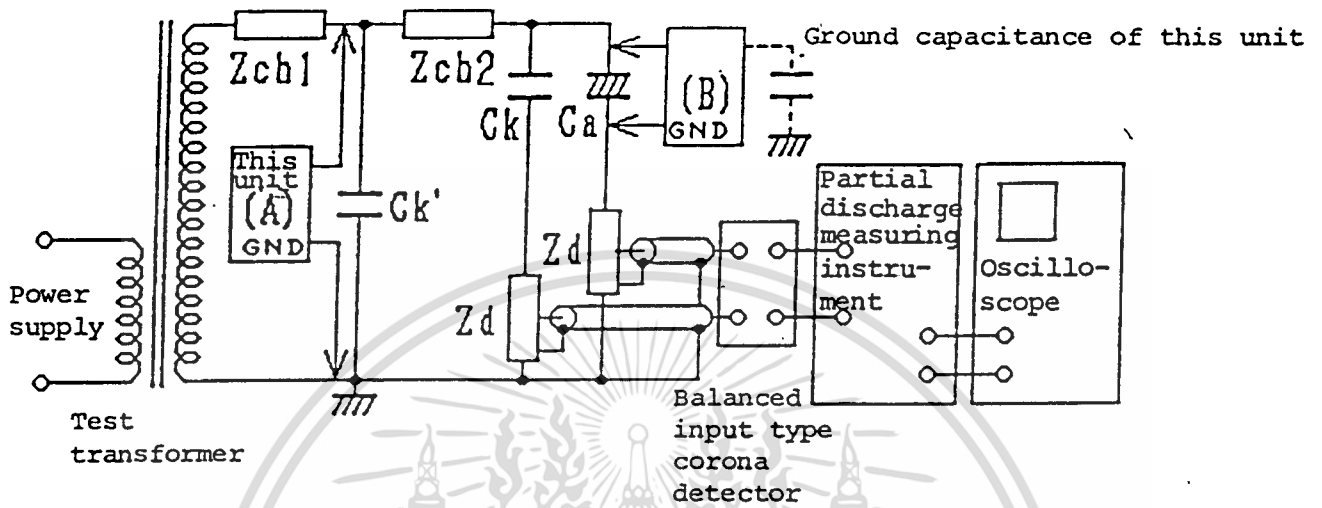
รูปที่ 4.8 แสดงการต่อชุดนี้และวงจรวัดพาร์เทียลดีสชาร์จในแบบ sample detection method จะใช้สำหรับการวัด พาร์เทียลดีสชาร์จที่ตัวอย่าง มีความจุขนาดเล็กหรือตัวอย่างที่ไม่มีกราวนด์ ถ้าค่าความจุของตัวอย่าง  $C_a$  น้อยกว่า ค่าความจุของคัปปลิงคาปาซิเตอร์  $C_k$  ด้วย ทฤษฎีการต่อแบบ sample detection method นี้จะลด noise จาก power supply circuit noise เนื่องจากจากการเห็นอวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดพาร์เทียลดีสชาร์จ ในอากาศจากขั้ว high-voltage to ground ได้มากกว่าด้วยวิธี coupling capacitor detection method ถ้า noise จาก power supply มีขนาดเล็ก การวัดสามารถทำได้ โดยใช้ความจุไฟฟ้าภายในของ test transformer เป็น coupling capacitor โดยที่ไม่ต้องมี blocking impedance  $ch$  และ coupling capacitor  $C_k$

ต่อชุดนี้เข้ากับด้าน high-voltage และ low-voltage ของตัวอย่างโดยที่ไม่มีการป้องกันทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ในวิธีการ sample detection method ผลส์อินพุทของเครื่องวัดเทียลดีสชาร์จ ถูกวัดให้มีขั้วกลับเมื่อเปรียบเทียบกับผลส์ของชุดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 Equilibrium detection method (Bridge type detection method)



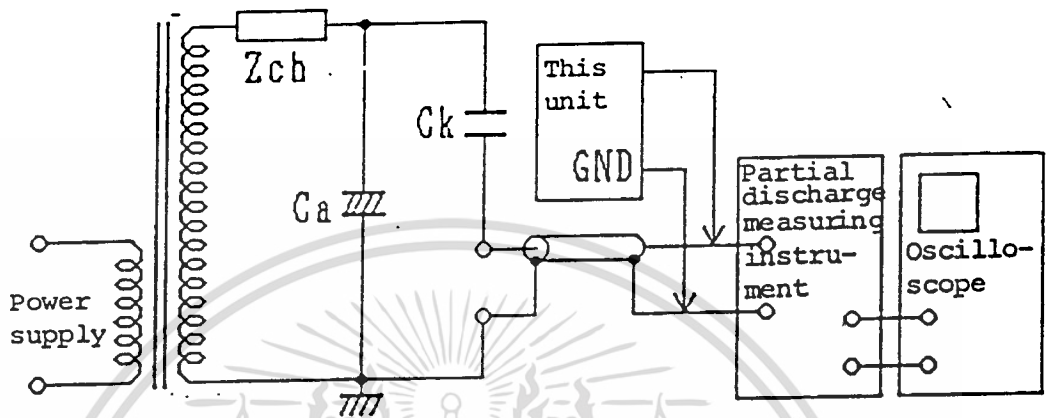
รูป 4.9 Bridge Type detection method

วงจรนี้กำจัด สิ่งรบกวนภายนอกโดยการใช้เครื่องมือวัด corona ชนิดทำอินพุทให้สมดุล และยังควบคุมการดีสชาร์จของอากาศลงกราวนด์ ลากขั้วโวลเตจสูง และดีสชาร์จอื่น ๆ ดังนั้น พาร์เทียลดีสชาร์จของตัวอย่างเพียงอย่างเดียวที่ถูกวัดด้วยความไวสูง เป็นคุณลักษณะเด่น

ต่อชุดนี้ระหว่างด้าน high-voltage และ ground โดยไม่มีคีย์คัททดสอบ แสดงใน รูปที่ 4.9 ชุด A ใส่ calibration load โดยเลียนแบบ external noise, air discharge partial discharge of  $C_k$  เป็นต้น แล้วปรับ balance input type corona detector เพื่อให้สมดุล เอาท์พุทโวลเตจของเครื่องวัดพาร์เทียลดีสชาร์จจะน้อยที่สุด ทำให้แน่ใจได้ว่าถ้าไม่สมดุลเอาท์พุทโวลเตจจะสูงมาก แล้วต่ออีกชุดเข้ากับด้าน high-voltage และ low-voltage ของตัวอย่างดังแสดงในชุด B และทำการ calibration เหมือนกับในแบบ sample detection method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 Outline of indirect calibration method



รูป 4.10 ตัวอย่างของ indirect calibration method

การต่อแบบที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 10 นี้ ใช้กับทฤษฎีการวัดแบบอื่น ๆ ด้วยทฤษฎีการวัดโดยทางอ้อมนี้สามารถที่จะใส่ calibration load ได้ถึงแม้ว่าจะมีการป้อนค่าทดสอบให้กับตัวอย่าง จึงสามารถเปรียบเทียบดิชาร์จที่เกิดขึ้นจริงกับ calibration load แต่ calibration load q<sub>0</sub> ต้องถูกกลับกันกับ discharge load q ตามสมการที่ (15) ต้องวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่าง C<sub>a</sub> และค่าความจุไฟฟ้าของ coupling capacitor C<sub>k</sub> เพื่อจะได้ อัตราส่วนที่ถูกต้องตามที่ต้องการในทฤษฎีการวัดโดยวิธี indirect calibration method ของ calibration load ใน parallel calibration method กับ calibration load ใน the indirect calibration method

$$q = ( 1 + C_a / C_k ) \cdot q_0 \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 Partial discharge calibration

#### 4.3.1 การเตรียมก่อนการ calibration

(1) ตั้งปุ่มต่าง ๆ ตามนี้

RANGE	POWER OFF
OUTPUT ADJ	หมุนปุ่มนี้ทวนเข็มนาฬิกาจนสุด
RISE TIME(S)	30ns.

(2) ต่อดวงจรวัดพาร์เทียลดีสชาร์จ ในทางที่ทำให้วงจรปิดประกอบด้วย sample, coupling, capacitor สายวัดของเครื่องวัด และอื่น ๆ ที่ partial discharge pulse ผ่านน้อยที่สุด และ blocking impedance ต้องไม่จ่ายต่อการรบกวนจากสิ่งรบกวนภายนอก โดยจัดให้มันอยู่เป็นกลุ่มใกล้เคียงกับ coupling capacitor, sample เป็นต้น

(3) ตั้งปุ่มลดสัญญาณ (attenuator) ของเครื่องวัดพาร์เทียลดีสชาร์จที่ "0" เปิดพาวเวอร์ขึ้นพลาย และรอนจนกว่าแน่ใจว่ามีงานอยู่ในสถานะสเก็พ

(4) ต่อขั้วเอาต์พุต 250 PC หรือ 50 PC ของชุดนี้เข้ากับคาน high-voltage และต่อขั้ว GND เข้ากับคาน low-voltage ของตัวอย่าง โดยใช้สายนำชุดเดียวกันนี้

เลือกความจุมาตรฐานภายในให้มีค่าน้อยกว่าค่าความจุ ที่รวมในวงจรขนานกับตัวอย่าง อย่างน้อย 10 เท่า และมันต้องใหญ่พอที่จะมากกว่า stray capacitance ของสายนำ เมื่อตัวอย่างไม่มีกราวด์ในการวัด ต้องลด ground capacitance ของชุดนี้ให้มีค่าน้อยที่สุด

(5) โดยการตั้ง RANGE SWITCH ของชุดนี้ที่ "x1" (+) จะได้ยินเสียงการทำงานเป็นเสียง mercury relay เลื่อนและเครื่องนี้เข้าสู่สถานะสเก็ชได้เร็ว

#### 4.3.2 calibration of discharge load

(1) ตั้งตัวลคสัญลักษณ์ของเครื่องวัดพาร์ทิเคิลสชาร์จไฟที่พิกัดที่เหมาะสม ตั้งพิกัดของ counting rate meter ที่ "0.1x10<sup>3</sup> c.p.s." เมื่อเพิ่ม calibration load โดยการหมุนปุ่ม OUTPUT ADJ อย่างช้า ๆ ตามเข็มนาฬิกา จะเห็นที่ counting rate meter เริ่มเปลี่ยนแปลง สมมติว่า calibration load เป็น 120 PC เป็นตัวอย่างที่แสดง calibration load ในพิกัดของตัวลคสัญลักษณ์ที่ตั้งเข็มของตัวบวกค่าของ voltmeter ที่ที่ 1V ที่พิกัดของ attenuator นี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง calibration load เป็น 120 PC = 1V ดังนั้น output pulse voltage สามารถวัดและรู้ค่าได้ตามที่ calibrated discharge load

(2) โดยการเลือกพิกัดของการลคสัญลักษณ์ (attenuator range) ทำให้ calibration load ที่ทำให้ counting rate meter เริ่มเปลี่ยนแปลงมีค่าเปลี่ยนตามไปด้วย เพื่อทำการวัดขนาดการลคสัญลักษณ์รวมด้วยต้องอ่านค่าขนาดการลคสัญลักษณ์ (attenuator range) ทุกครั้ง

(3) ถ้าตั้งตัวลคสัญลักษณ์ของเครื่องวัดโบห์ที "VARIABLE" (ถ้ามี) โดยการปรับ VARIABLE ให้มีค่าที่กำหนดไม่มีเศษส่วน ทำให้ calibration load มีค่าที่แน่นอน (10PC, 100PC, หรือ 1000PC) ทำให้ discharge load สามารถอ่านได้โดยง่าย

(4) โดยการเลือก "RISE TIME(S)" เป็น 1-5μS สามารถวัด oil partial discharge ได้โดยง่าย โดยเลือกที่ 1, 2, 5μS ผลมาจากสัญญาณของเครื่องวัดจะต่างกันไปตาม

rise-time ที่ต่างกัน สามารถทดสอบการเกิด partial discharge ได้

(5) Output wave form ที่ได้ต้องกลับโดยใช้ oscilloscope หรือ เครื่องมือที่คล้ายกัน ปัญหาในเรื่องของขั้ว จะกำจัดให้หมดไปแต่ด้วยการใช้ tuning type partial discharge measuring instrument

#### 4.4. ข้อควรระวังในการปฏิบัติการใช้

(1) ในการวัด wave form ของ rectangular wave ใช้ oscilloscope หรือ เครื่องมือที่คล้ายกันวัดระหว่าง PULSE OUTPUT และ GND โดยใช้ probe ทำให้ input impedance มีค่าหลาย ๆ Mohm

(2) ห้ามวางเครื่องมือนี้เอียงเกินกว่า 30 องศา ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

(3) ให้เปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ เมื่อเข็มของ FC meter ไม่ใช่เต็มสเกลถึงแม้จะหมุนปุ่ม OUTPUT ADJ ตามเข็มนาฬิกาจนสุด หรือไม่มีค่าของ calibration load (rectangular wave voltage) ปรากฏ

(4) ถอดแบตเตอรี่ออก เมื่อไม่ได้ใช้เครื่องนี้เป็นเวลานาน

## PARTIAL DISCHARGE COUNTER (PDC-2)

## 5.1. บทนำ

## 5.1.1 โดยทั่วไป

Partial discharge counter ถูกพัฒนาเพื่อใช้สำหรับพาร์เทียลดีสชาร์จพัลส์กับเครื่อง CD-5 partial discharge detector ในการทดสอบพาร์เทียลดีสชาร์จ จะทำการวัดทั้งค่าดีสชาร์จไหลตสูงสุด และความถี่ในการเกิดพาร์เทียลดีสชาร์จ

เมื่อใช้เครื่อง PDC-2 ร่วมกับเครื่อง CD-5 (partial discharge detector) ทำให้สามารถวัด partial discharge start voltage, partial discharge extinction voltage, maximum discharge load at the specified applied voltage, and the discharge load to accumulated generation frequency

เครื่องนี้จะเก็บทางเดินขึ้นลงของความถี่ที่เกิดขึ้น แสดงบนตัวบอกค่าทางไฟฟ้าเป็นความถี่เฉลี่ยต่อวินาที สามารถที่จะอ่านได้โดยง่าย

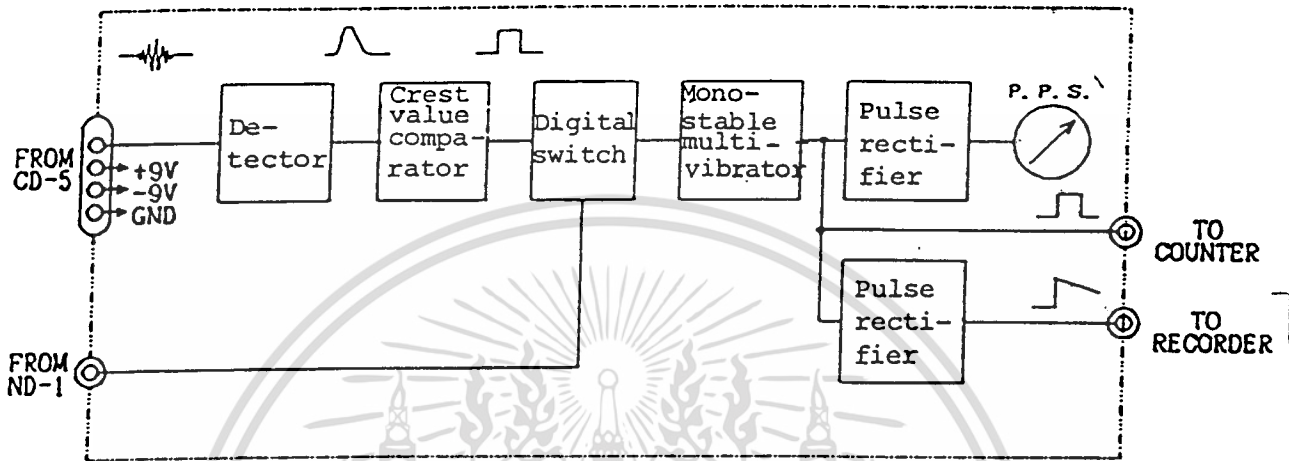
ชุดนี้มีขั้วหนีภายนอก และขั้วบันทึกเป็นขั้วทางออก มันจึงสามารถอ่านค่าที่นับบนเครื่องนับดิจิทัล คุณลักษณะประจักษ์ของความถี่ที่เกิดพาร์เทียลดีสชาร์จและคุณลักษณะของโวลเตจป้อน

ชุดนี้ใช้แหล่งพลังงานจาก CD-5 (partial discharge detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 วจรกรทำงานของเครื่อง

รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดนี้



รูป 5.1 บล็อกแสดงการทำงานของเครื่องมีดังนี้

The damping oscillation wave from pulse จาก CD-5 ป้อนเข้ามาที่ขั้วทางเข้าของชุดนี้ และมันถูกตรวจวัดและแปลงกลับไปเป็น envelope pulse (พัลส์ที่เหลือแต่ขอบ) พัลส์ขอบนี้ถูกเปรียบเทียบกับศักย์ค่าอ้างอิง โดย the crest value comparator และ ศักย์ค่าอ้างอิงถูกป้อนไปยัง the monostable multivibrator เป็น square wave pulse ผ่าน digital switch

คลื่น square wave pulse มีค่ายอดคงที่และความกว้างคงที่ที่สร้างโดย the monostable multivibrator ในแต่ละ range ถูกแปลงโดย pulse rectifier และ แสดงค่าบน indicator

คลื่น square wave pulse ที่สร้างโดย the monostable multivibrator ถูกป้อนไปยังขั้ว TO COUNTER ขณะที่ศักย์ค่าที่มีการแปลงจาก square wave pulse ที่สร้างโดย the pulse rectifier ส่งออกที่ขั้ว TO RECORDER + 9V และ - 9V เป็นแหล่งพลังงาน

ถูกทำให้เสถียรภาพโดยวงจรทำให้เสถียรภาพของ CD-5 (partial discharge detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงาน  
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 Performance

(1) Counting rate meter

Range : 100 p.p.s., 500 p.p.s., 3,000 p.p.s., 3 ranges

Counting Rate error : Less than 5%

Pulse resolution

100 p.p.s. range : Less than 150µs.

500 p.p.s. range : Less than 30µs.

3000 p.p.s. range : Less than 15µs.

CD-5 pulse output terminal voltage at the counting start

: Approx. 1V

ค่าประจุตัวเก็บประจุที่เสียบเมื่อค่าความจุของทั้งตัวอย่าง และ coupling capacitor เป็น 1000 pF : Less than 1 pC

(2) External counter output terminal

Output voltage : Approx. 2.4V

Pulse width

100 p.p.s. range : Approx. 130µs.

500 p.p.s. range : Approx. 25µs.

3000 p.p.s. range : Approx. 4µs.

(3) Recorder output terminal

Output voltage (เมื่อเข็มชี้เต็มสเกลในแต่ละพิกัด)

: Approx. 0.1V DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) Power supply

Power consumption : approx. 0.4W.

(5) Dimensions and weight

Dimensions : Approx. 230 mm(w) x 130mm(H) x 200mm

Weight : Approx. 2.2 kg.

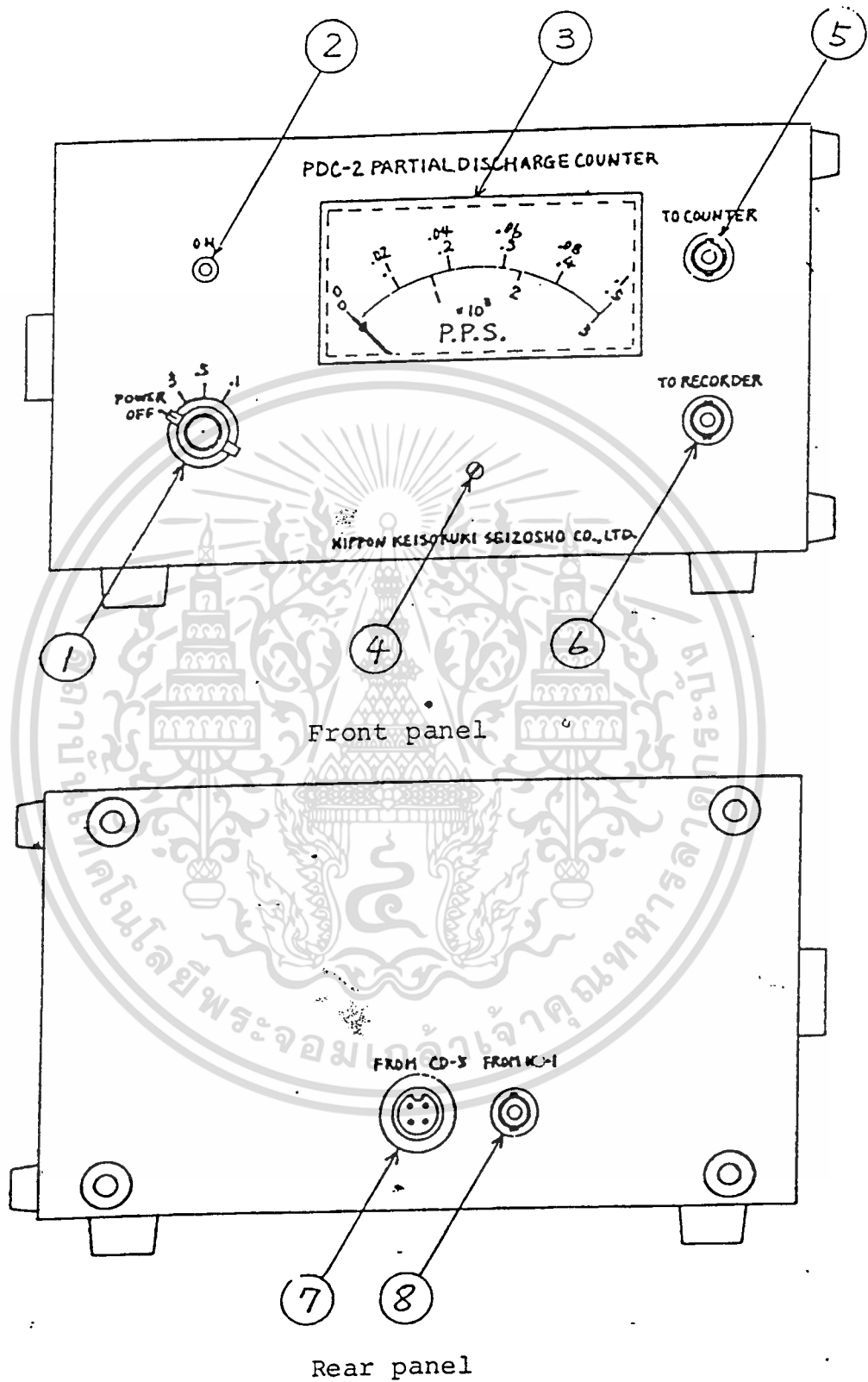
(๖) สิ่งที่ใช้ประกอบ

Connection lead (500cm.) : 1 PC

Operation manual : 1 copy

Test data : 1 copy





รูป 5.2 แสดงภายนอกของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. การใช้งาน

5.2.1 ส่วนประกอบและการใช้งาน

(1) RANGE

power on และ counter range selector มีให้เลือก 3 พิกัด

(3000 p.p.s., 500 p.p.s., 100 p.p.s.)

(2) ON

ติดไฟเมื่อวงจรภายในทำงาน

(3) Indicator

นับความถี่ที่เกิด partial discharge pulse ขณะที่คีย์คัทที่ขั้ว PULSE

OUTPUT ของ CD-5 สูงขึ้นมากเกินค่าคงที่ (approx. 1v)

อ่านค่าสเกลตามพิกัด (RANGE) ที่ตั้งไว้ p.p.s. แสดงค่าเป็น PULSE PER

SECOND ซึ่งขี้ออกค่าเฉลี่ยของจำนวนของ partial discharge pulse ต่อวินาที

(4) Indicator zero control knob

ปรับตำแหน่งศูนย์ของเข็มชี้ด้วยทางกล

เมื่อปรับตั้งปุ่มนี้ต้องกระทำที่ POWER OFF range

(5) TO COUNTER

ต่อกับเครื่องนับดิจิทัลที่ขั้ว TO COUNTER นี้ pulse ถูกสร้างมีค่าสอดคล้องที่

(Approx. 2.4V) มีจำนวนเดียวกับ partial discharge pulse ที่ถูกนับได้โดยชุดนี้ เมื่อ

ความถี่ที่เกิด partial discharge เล็กมาก ๆ การวัดจะถูกต้องมากขึ้น

(6) TO RECORDER

ต่อเครื่องบันทึกปากกา (pen recorder) หรือ X-Y recorder ที่ชื่อ TO RECORDER เอาที่พ่วงประมาณ 0.1V DC เมื่อเข็มชี้เต็มสเกล

เมื่อบันทึกเป็นความสัมพันธ์กับเวลาจะได้คุณลักษณะตลอดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่เกิดขึ้น และศักดาที่ป้อน

(7) FROM CD-5

ต่อสัญญาณและพลังงานที่ชื่อ TO PDC-2 ของ CD-5 โดยใช้สาย (attached connection lead) หน้า

(8) FROM ND-1

ต่อไปที่ ND-1 ที่ชื่อ TO PDC-2 เมื่อใช้ ND-1 logically controlled noise - discriminator

5.2.2 ข้อควรระวัง

(1) เครื่องมือชุดนี้ทำขึ้นโดยเฉพาะเพื่อใช้กับเครื่อง CD-5 partial discharge detector ห้ามต่อชุดนี้กับเครื่องวัดอื่น ๆ

(2) ห้ามปล่อยทิ้งเครื่องนี้ไว้เป็นเวลานาน เมื่อจำนวนของ input pulse มากเกินจนทำให้เข็มชี้เกินสเกล

## อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

### 6.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึง ขั้นตอนการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ทั้งที่มีอยู่แล้วในการทดลองในปีที่ผ่านมา และ อุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเอง รวมทั้งวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง เช่น เครื่องตรวจจับ Partial discharge (Detector, Calibrator, Countor) หม้อแปลงไฟฟ้า, Variac, ฉนวนที่ใช้ในการทดสอบ, Chamber (กล่องบรรจุอิเล็กทรอนิกส์) C coupling (C<sub>n</sub>) ขนาด 1000 PF, ความต้านทาน high voltage แบบเซรามิก 11 Kohm

อนึ่งการทดลองเรื่อง การเกิด Partial discharge ในของแข็งนี้ เป็นการทดลองที่ยังไม่เคยมีการจัดเป็น project สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 4 มาก่อน ดังนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงจัดทำขึ้นโดยการศึกษาข้อมูล จากหลาย ๆ แหล่งมาประกอบกัน เช่น จากวารสาร IEEE เป็นต้น เรื่องการดิสชาร์จบางส่วนในของแข็งนี้ ยังไม่มีข้อมูลที่เป็มาตรฐาน ดังนั้น มาตรฐานของอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงยังไม่มีข้อกำหนดออกมาอย่างแน่นอน หากแต่เป็นการอาศัยรูปแบบ ตามแต่ความเหมาะสม รวมทั้งวัสดุที่จะใช้ทดสอบที่จัดว่าเป็นของแข็ง ที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้านั้นยังหาได้ไม่หลากหลายเท่าที่ควร เนื่องจากการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ภายในประเทศยังไม่สามารถผลิตอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ๆ ได้

ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้วัสดุทดสอบที่สามารถหาได้ เท่านั้น

## 6.2 Chamber (กล่องบรรจุ อิเล็กโทรด)

กล่องใส่อิเล็กโทรดนี้ประกอบขึ้นจาก แผ่นอะคริลิก ที่มีขนาดตามรูปที่ 6.2 โดยใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 12 mm ที่สามารถซื้อได้ทั่วไป นำมาตัดเป็นขนาดตามต้องการแล้วเชื่อมด้วยน้ำยาเชื่อมพลาสติก ด้านหน้ามีช่องเปิดเป็นวงกลม สำหรับอำนวยความสะดวกในการเปลี่ยนวัสดุทดสอบ โดยไม่ต้องยกอิเล็กโทรดออกทุกครั้งที่ทำการศึกษาทดลอง

ช่องด้านหน้าเจาะรูใส่โอริง เพื่อกันอากาศออก ใช้สำหรับการเปลี่ยน chamber ให้สามารถบรรจุก๊าซชนิดต่าง ๆ เพื่อการทดสอบในอนาคต เช่น การทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนที่ความดันต่าง ๆ

อนึ่งในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบการดิสชาร์จใน dry air จึงไม่มีการ seal chamber

## 6.3 การสร้าง electrode

อิเล็กโทรดที่ใช้ทำจากทองเหลือง นำมาลึงให้มีลักษณะตามรูปที่ 6.3 การออกแบบอิเล็กโทรดชนิดนี้ไม่ได้สร้างขึ้นจากมาตรฐานใดที่แน่นอน ดังนั้น จึงไม่สามารถใช้การออกแบบอิเล็กโทรดของ Rokowsky และสมการต่าง ๆ มาใช้ในการคำนวณ แต่อิเล็กโทรดชนิดนี้เป็นการปรับปรุงลักษณะของอิเล็กโทรดเพื่อป้องกันหรือลดผลของการเกิด flash over ขณะทำการทดสอบ โดยในการปรับปรุงนี้ เราได้สมการการคำนวณรัศมีของความโค้งของขอบบน และขอบล่าง ของอิเล็กโทรด จากหนังสือการออกแบบอิเล็กโทรด เพื่อใช้ในการทดสอบดิสชาร์จ ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อให้นักศึกษาใช้เท่านั้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทดลองในประเทศญี่ปุ่น โดยมีการคำนวณรัศมีความโค้ง ( $r$ ) ดังนี้

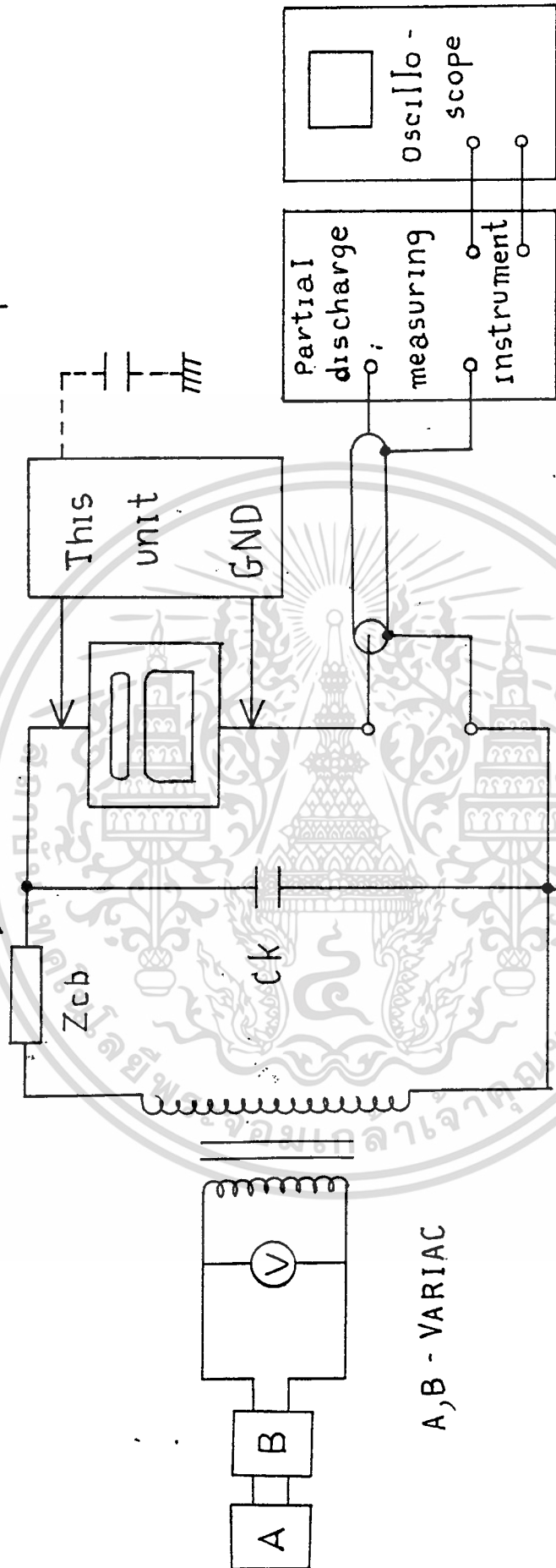
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r = 0.5 \text{ dm} \quad (6.1)$$

เมื่อ  $d_m = \text{max. gap}$  (ความหนาของวัสดุทดสอบ ที่มากที่สุด) ในการทดลองนี้วัสดุ  
ขนาดหนาสั้นที่สุดที่ใช้ในการทดลองมีความหนาเพียง 1 mm ดังนั้น  $r$  ที่ได้จากการคำนวณ คือ 0.5  
mm แต่ในการกลึงอิเล็กทรอนิกส์เราได้เพื่อรัศมีถึงประมาณ 2 mm เพื่อความแน่ใจว่า จะไม่เกิดการ  
flash over ขณะทำการทดสอบ

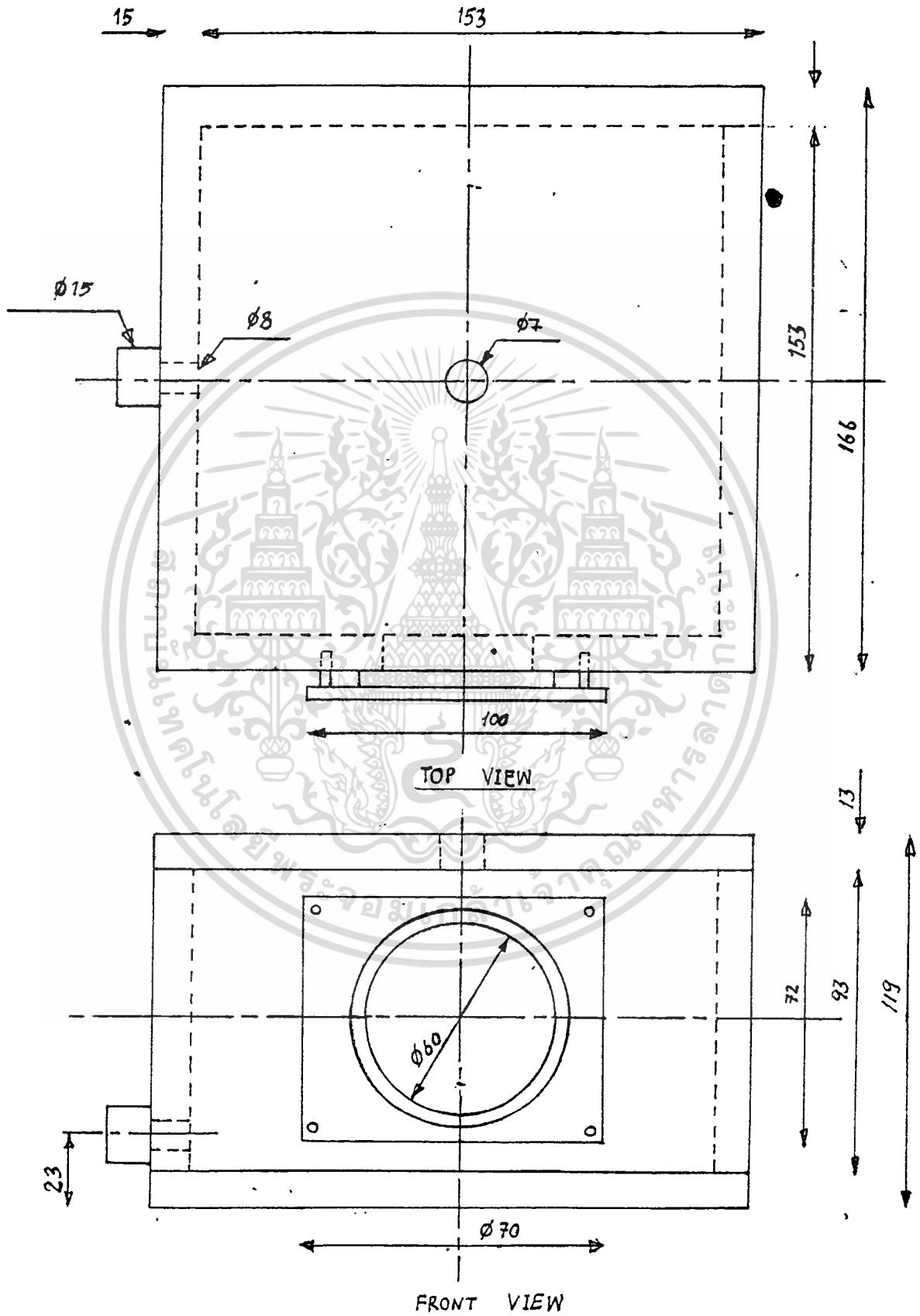


Ground capacitance of this unit

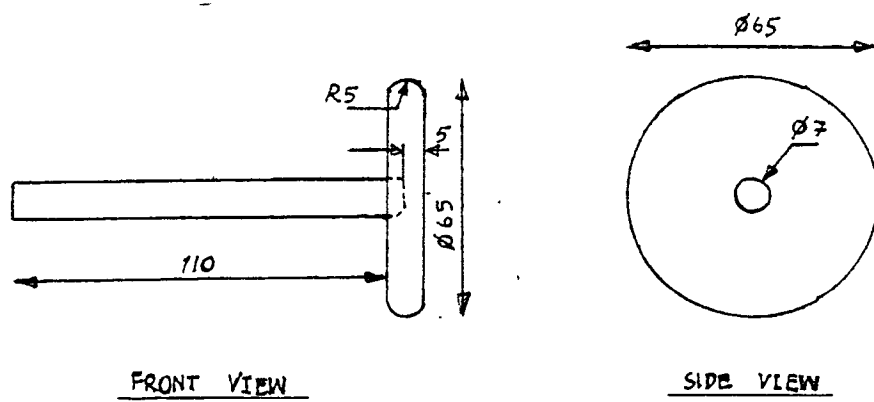


รูปที่ 6.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

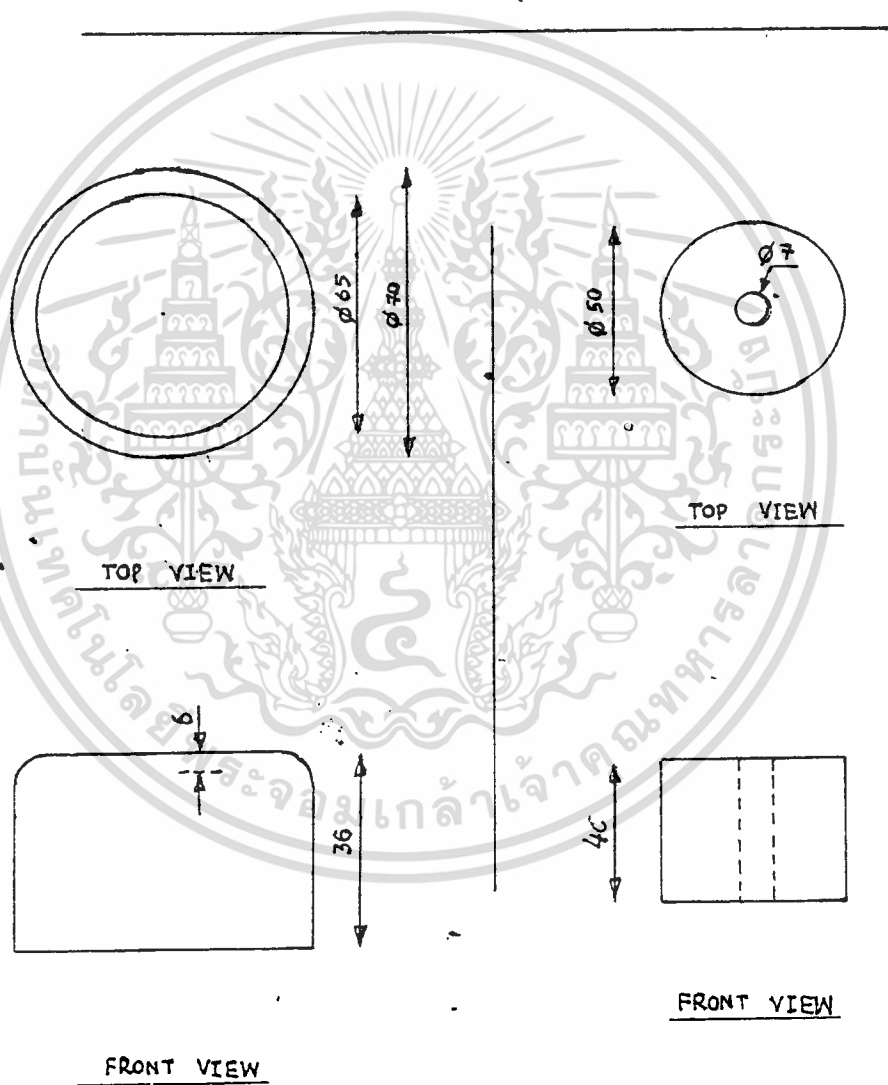
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และห้องเรียนของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1

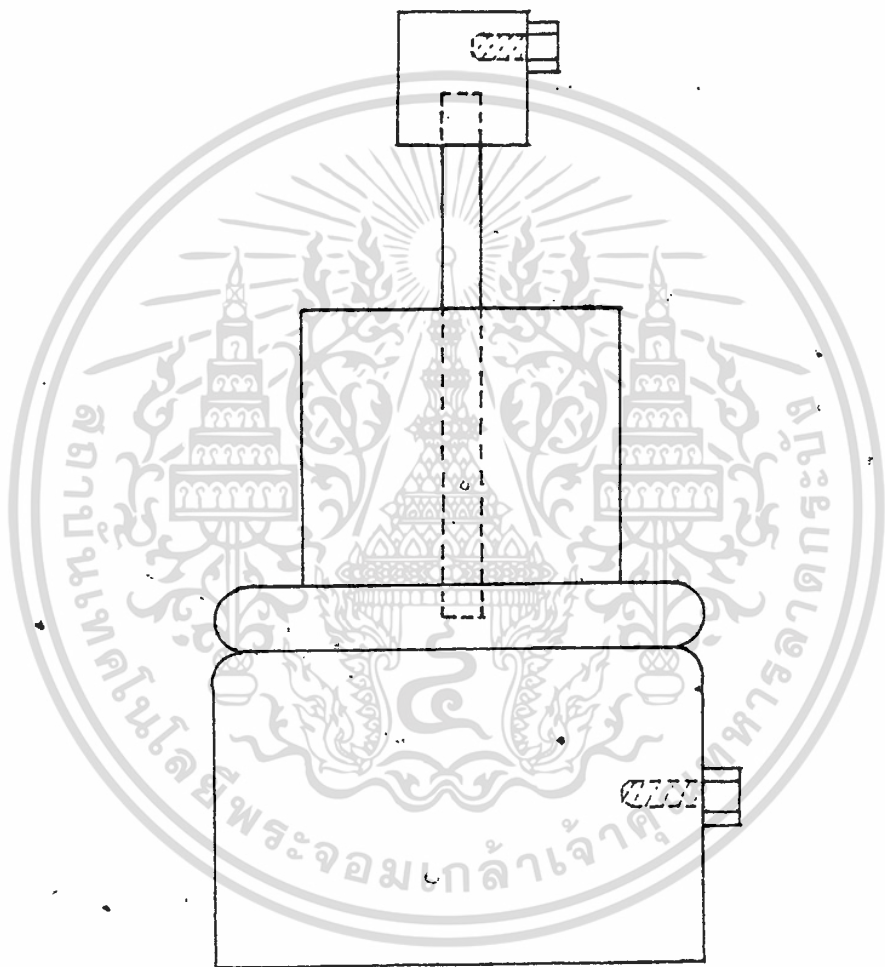


2

3

รูปที่ 6.3 แสดง dimension of electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 ลักษณะอิเล็กทรอนิกส์เมื่อประกอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4 หม้อแปลง

หม้อแปลงที่ใช้เป็นหม้อแปลง AC 1 KVA 1 PHASE 50 Hz

โวลเตจ 220 v / 10 KV

กระแส 4.5 A / 0.1 A

#### 6.5 variac

ในการทดลองใช้ variac 2 ตัวต่อกัน เพื่อช่วยในการปรับโวลเตจช่วงอินพุต เข้าหม้อแปลงให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น โดยเราจะตั้ง range ของ variac ที่ตัว 2 ไว้ที่ค่า ๆ หนึ่ง ก่อนแล้วจึงปรับโวลเตจตัวแรกให้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเมื่อปรับตัวแรกจนสุดสเกลก็จะมีค่ามากที่สุดคือเท่ากับ range ของตัวที่ 2 ที่ตั้งไว้ การที่ต้องใช้ variac 2 ตัวต่อกัน ก็เนื่องจากถ้าใช้ variac เพียง 1 ตัว อาจทำให้โวลเตจที่เข้าหม้อแปลงเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อ่านค่าโวลเตจดิซชาร์จได้ไม่ละเอียดเท่าที่ควร

ในการต่อ variac นี้ต้องใช้ฟิวส์ ขนาด 5 A ต่อเพื่อป้องกัน variac ด้วย เนื่องจาก variac ที่ใช้นี้ไม่มีฟิวส์ในตัว ซึ่งเมื่อเกิดการดิซชาร์จโวลเตจจะตกต่ำมาก กระแสจะพุ่งเข้าสู่ variac อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ variac เสียหายได้

## 6.6 การต่อ Ground หม้อแปลง

ในการใช้หม้อแปลงขนาด 10 KV นี้ เราต้องต่อสาย ground โดยตรงจากตัวหม้อแปลงลงดิน โดยใช้สายทองแดงเกลียวขนาด 10 sq.mm เดินในท่อ PVC โดยยึดลงดินกับ ground rod ขนาดความยาว 6 ฟุต ซึ่งการ ground นั้น สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้

## 6.7 ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ เราต้องการฉนวนซึ่งเป็นของแข็งซึ่งก็มีพวก PVC, PP, PE, ไมก้า, กระจก, แผ่นฟิล์มต่าง ๆ แต่การหาฉนวนไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ นี้ ที่ใช้อยู่ภายในประเทศมีหลายชนิด แต่บางชนิดไม่สามารถนำมาทดสอบได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านรูปร่างของฉนวนที่หาได้ เพราะพลาสติกบางชนิดที่ใช้หุ้มสายไฟไม่ได้ผลิตขึ้นมาเป็นแผ่น ๆ แล้วจึงนำไปพันกับสายไฟ แต่จะผลิตโดยการหลอมเม็ดพลาสติกลงในเตาหลอม แล้วค่อยๆ ฉายไฟ ลงในพลาสติกที่หลอมละลายอีกที ดังนั้น เราจึงไม่สามารถนำพลาสติกเหล่านี้มาทดสอบได้

ดังนั้นในการทดสอบ จะใช้แผ่น Ethylene Propylene ขนาดความหนา 50 um. เป็นวัสดุทดสอบแทน

## 6.8 High Voltage Probe

จะใช้ High Voltage RF Probe ในการวัด voltage ด้าน output ของหม้อแปลง เพื่อหา voltage ขณะเกิด partial discharge ซึ่ง probe นี้สามารถทน Voltage ได้ถึง 15 KV peak-peak มันสามารถใช้ได้กับเครื่องมือวัดที่มี input resistance 1<sup>1</sup> หรือ 10 Mohm ซึ่งสามารถ match ให้เข้ากับเครื่องมือด้วย switch เลือกที่ตัว probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.9 สรุป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถหามาได้ภายในประเทศและนำมาประกอบขึ้นตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วแต่เป็นที่น่าเสียดายว่าฉนวนของแข็ง บางประเภทไม่สามารถหาได้ในลักษณะที่ต้องการ จึงไม่สามารถนำมาทดสอบด้วยเครื่องมือที่ได้ออกแบบนี้ -



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

## ขั้นตอนและผลการทดลอง

## 7.1 บทนำ

ภายหลังจากการศึกษาทฤษฎีการดีสซาร์จบางส่วน ในของแข็ง และกลไกการดีสซาร์จบางส่วนในของแข็งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการทดสอบในขั้นต่อไป ซึ่งจะอธิบายถึงขั้นตอนในการทดสอบฉนวนของแข็งที่มีอยู่ และแสดงตารางบันทึกผลการทดสอบที่ได้ตามลำดับดังนี้

## 7.2 วิธีการทดลอง

## 1. Set ปุ่มของ Calibration ดังนี้

Range Set ไปที่ power off

Output Adj หมุนทวนเข็มนาฬิกาจนสุด

Rise time (s) 30 ns

## 2. ต่อวงจรวัดดีสซาร์จบางส่วน ตามรูป 6.1

## 3. Set ปุ่ม input attenuator ไปที่ "0" เปิด power supply รอมั่นคง Stable

## 4. ต่อ output terminal ของ 50 pc ของ Calibration และ ground คร่อม

วัตถุทดสอบ ปรับ Range ของ Calibration ไปที่  $\times 1$  Set input attenuator ของ

Detector ไปที่ Range ที่เหมาะสม Set range ของ Couter ไปที่ " $0.1 \times 10^3$  p.p.s"

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็ calibrate load โดยปรับปุ่ม output adj ตามเข็มนาฬิกา ปรับจนเข็ม counter เริ่มกระดิก หรือ voltmeter ของ detector ชี้ไปที่ 1 v. โดยสามารถปรับละเอียดที่ปุ่ม variable ของ detector ได้

ถ้าหมุน output adj จนสุดแล้วเข็มยังไม่กระดิก ก็ให้ปรับ range ไปที่  $\times 10$  ถ้าปรับจนสุดแล้วเข็มยังไม่กระดิกอีก ก็ให้เปลี่ยน output terminal ไปที่ 250pc range  $\times 1$  ค่อย ๆ vary output adj ไป ถ้า adjust ไปสุดแล้วเข็มยังไม่กระดิกอีก ก็ปรับไปที่ range  $\times 10$  แล้ว adjust ใหม่ เมื่อเริ่มกระดิกแล้วก็เอา output terminal และ ground terminal ที่พร้อมวัดทดสอบออก

การวัด Partial Discharge Starting Voltage และ Extinction Voltage ทำตามข้อ 5, 6

5. Apply voltage ที่ละน้อย จนเข็มของ detector swing เกิน 1 v หรือเข็มของ counter เริ่มกระดิก ที่จุดนี้คือ Starting Voltage บันทึกค่านี้ไว้

6. หลังจากนั้นให้ apply voltage เพิ่มเข้าไปจน voltage เพิ่มไปอีก 10% ของ Starting Voltage แล้วก็ลด voltage ที่ apply เข้าไป จนเข็มของ detector swing ต่ำกว่า 1 v. ที่จุดนี้ voltage ที่วัดได้คือ Extinction Voltage บันทึกค่านี้ไว้

## 7.3 ผลการทดลอง

7.3.1 ทดสอบด้วย แผ่นฟิล์ม Ethylene Propylene หนาแผ่นละ 50  $\mu\text{m}$  มีลักษณะเป็นแผ่น พลาสติกบาง ๆ ซ้อนกัน 3 แผ่น โดยมีแผ่นกลางที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ ดังในตาราง และแผ่นขนาบคู่ไม่เจาะรู โดยปรับ Calibration load ขนาด 350 pc

ตารางที่ 7.1 ค่าโวลเตจในผลการทดสอบ

ครั้งที่	รูขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		รูขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage (V <sub>p</sub> )	Extinction Voltage (V <sub>p</sub> )	Starting Voltage (V <sub>p</sub> )	Extinction Voltage (V <sub>p</sub> )
1	1050	1000*	1100	900
2	1050	900	1100	900
3	1000	900	1050	900
4	1000	900	1100	975
5	1000	900	1000	900
6	1000	900	1050	900
7	980	900	1050	900
8	950	880	1100	1000
9	1100*	900	1050	900
10	1000	900	1050	900
11	1000	900	1100	975
12	1050	900	1200*	1050*
13	1000	900	1100	1000
14	1000	900	1100	1000
15	1000	900	1100	975
16	1000	900	1100	975
17	950	850	1100	975
18	980	900	1100	975
19	980	900	1050	950
20	950	850	900*	850*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		ขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>st</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )	Starting Voltage(V <sub>st</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )
21	1000	900	1100	1050*
22	900*	800*	1000	900
23	980	900	1050	900
24	1050	950	1100	950
25	1200*	1050*	1250*	1100*
26	1000	900	1100	1000
27	1000	900	1100	975
28	980	900	1000	900
29	1000	900	1000	900
30	1000	900	1100	900
31	950	850	1050	900
32	980	900	1150	1000
33	1000	900	1100	950
34	1000	900	1000	880*
35	1050	950	1150	1000
36	1000	900	1150	900
37	950	880	1000	900
38	1050	950	1100	900
39	1000	900	1100	900
40	1050	900	1000	900
Ave	997	900	1070	940

หมายเหตุ \* ไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 ทดสอบด้วย แผ่นฟิล์ม Ethylene Propylene หนาแผ่นละ 50  $\mu\text{m}$  มีลักษณะ เป็นแผ่น พลาสติกบาง ๆ ซ้อนกัน 3 แผ่น โดยมีแผ่นกลางที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ ตั้งในตาราง และแผ่นขนาบคู่ไม่เจาะรู โดยปรับ Calibration load ขนาด 400 pc

ตารางที่ 7.2 ค่าโวลเตจในผลการทดสอบ

ครั้งที่	รูขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		รูขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>s</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )	Starting Voltage(V <sub>s</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )
1	1000	900	1200*	1100*
2	1050	950	1100	1000
3	1050	950	1100	1000
4	1000	900	1100	1000
5	1000	900	1000	900
6	1000	900	1000	900
7	1000	900	1050	925
8	1050	925	1100	975
9	1050	950	1050	950
10	1050	950*	1050	950
11	1200*	1100*	1050	900
12	1000	900	1000	900
13	1000	900	900*	850*
14	1050	950	1050	925
15	1000	900	1050	925
16	900*	900	1000	900
17	1050	925	1100	975
18	1200*	1100*	1250*	1150*
19	1000	900	1100	1050*
20	1050	900	1050	950

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		ขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>u</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>u</sub> )	Starting Voltage(V <sub>u</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>u</sub> )
21	1050	950	1150	950
22	1050	900	1000	950
23	1050	900	1100	975
24	1000	900	1100	975
25	1000	900	1100	900
26	1000	900	1150	975
27	1050	950	1150	975
28	1100	1000	1050	925
29	1100	1000	1050	900
30	1000	900	1100	1000
31	1050	925	1050	950
32	1050	950	1100	950
33	1000	900	1050	925
34	950*	850*	1050	925
35	950*	900	1050	950
36	1000	900	1100	975
37	1050	950	1100	950
38	1000	900	1100	950
39	1000	900	1000	900
40	1000	925	1100	900
Ave	1025	920	1092	965

หมายเหตุ \* ไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 ทดสอบด้วย แผ่นฟิล์ม Ethylene Propylene หนาแผ่นละ 50  $\mu\text{m}$  มีลักษณะ เป็นแผ่น พลาสติกบาง ๆ ซ้อนกัน 3 แผ่น โดยมีแผ่นกลางที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ ตั้งในตาราง และแผ่นขนาบคู่ไม่เจาะรู โดยปรับ Calibration load ขนาด 450 pc

ตารางที่ 7.3 ค่าโวลเตจในผลการทดสอบ

ครั้งที่	รูขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		รูขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage (V <sub>u</sub> )	Extinction Voltage (V <sub>u</sub> )	Starting Voltage (V <sub>u</sub> )	Extinction Voltage (V <sub>u</sub> )
1	1050	950	1150	1000
2	1050	950	1200*	1100*
3	1050	950	1100	1000
4	1100	975	1100	1000
5	1000	900	1125	950
6	1000	925	1100	975
7	1050	925	1100	975
8	1100	1000	1100	975
9	1050	950	1125	1000
10	1050	950	1150	1000
11	1050	950	1100	950
12	1100	975	1100	950
13	1100	1000	1100	975
14	1200*	1150*	1050	950
15	1100	1000	1000	900
16	1050	975	1050	925
17	1000	925	950*	850*
18	1050	950	1000	925
19	1050	950	1100	950
20	1250*	1150*	1125	1000

ครั้งที่	ขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		ขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>s</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )	Starting Voltage(V <sub>s</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )
21	1100	950	1100	1000
22	1000	900	1125	950
23	950*	875*	1050	950
24	1150*	1100*	1250*	1125*
25	1150	1000	1100	1000
26	1000	900	1000	900
27	1000	925	1150	1000
28	950*	850*	950*	850*
29	1100	975	1100	1000
30	1050	975	1100	1000
31	1000	900	1100	1000
32	1000	925	1100	1000
33	1100	975	1150	975
34	1050	950	1100	975
35	1050	950	1125	1000
36	1050	950	1150	1000
37	1100	950	1100	975
38	1050	950	1150	1000
39	1000	900	1150	1000
40	1000	900	1100	1000
Ave	1054	948	1100	976

หมายเหตุ \* ไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4 ทดสอบด้วย แผ่นฟิล์ม Ethylene Propylene หนาแผ่นละ 50  $\mu\text{m}$  มีลักษณะ เป็นแผ่น พลาสติกบาง ๆ ซ้อนกัน 3 แผ่น โดยมีแผ่นกลางที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ ดังในตาราง และแผ่นขนาบคู่ไม่เจาะรู โดยปรับ Calibration load ขนาด 500 pc

ตารางที่ 7.4 ค่าโวลเตจในผลการทดสอบ

ครั้งที่	รูขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		รูขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>0</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>0</sub> )	Starting Voltage(V <sub>0</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>0</sub> )
1	1150	1050	1100	1000
2	1100	1000	1250*	1150*
3	1100	1000	1200	1100
4	1100	1000	1150	1100
5	1050	950	1100	1100
6	1100	1000	1100	1050
7	1100	1000	1100	1000
8	1150	1050	1100	1000
9	1125	1050	1150	1000
10	1100	1000	1150	1050
11	1100	1000	1175	1050
12	1050	950	1100	1000
13	1000*	900	1050	975
14	1025	900	1100	1025
15	1025	900	1150	1050
16	1100	1000	1200	1075
17	1150	1050	1175	1075
18	1200*	1100*	1100	1000
19	1100	950	1050	975
20	1150	1050	1000*	900*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		ขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>st</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )	Starting Voltage(V <sub>st</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>e</sub> )
21	1000*	900*	1100	1050
22	1150	1050	1150	1050
23	1100	1000	1150	1050
24	1100	975	1100	1000
25	1050	975	1100	1000
26	1050	950	1100	1000
27	1250*	1150*	1100	1050
28	1100	1000	1100	1050
29	1100	975	1100	1050
30	1100	975	1100	1050
31	1100	975	1300*	1200
32	1100	1000	1100	1000
33	1025	1000	1100	1000
34	1000	900*	1175	1025
35	950*	900*	1125	1000
36	1050	950	1125	1025
37	1050	950	1150	1000
38	1100	1000	1125	1025
39	1100	1000	1125	1000
40	1050	975	1100	1025
Ave	1085	980	1125	1030

หมายเหตุ \* ไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.5 ทดสอบด้วย แผ่นฟิล์ม Ethylene Propylene หนาแผ่นละ 50  $\mu\text{m}$  มีลักษณะ เป็นแผ่น พลาสติกบาง ๆ ซ้อนกัน 3 แผ่น โดยมีแผ่นกลางที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ ดังในตาราง และแผ่นขนาดที่ไม่เจาะรู โดยปรับ Calibration load ขนาด 550  $\mu\text{c}$

ตารางที่ 7.5 ค่าโวลเตจในผลการทดสอบ

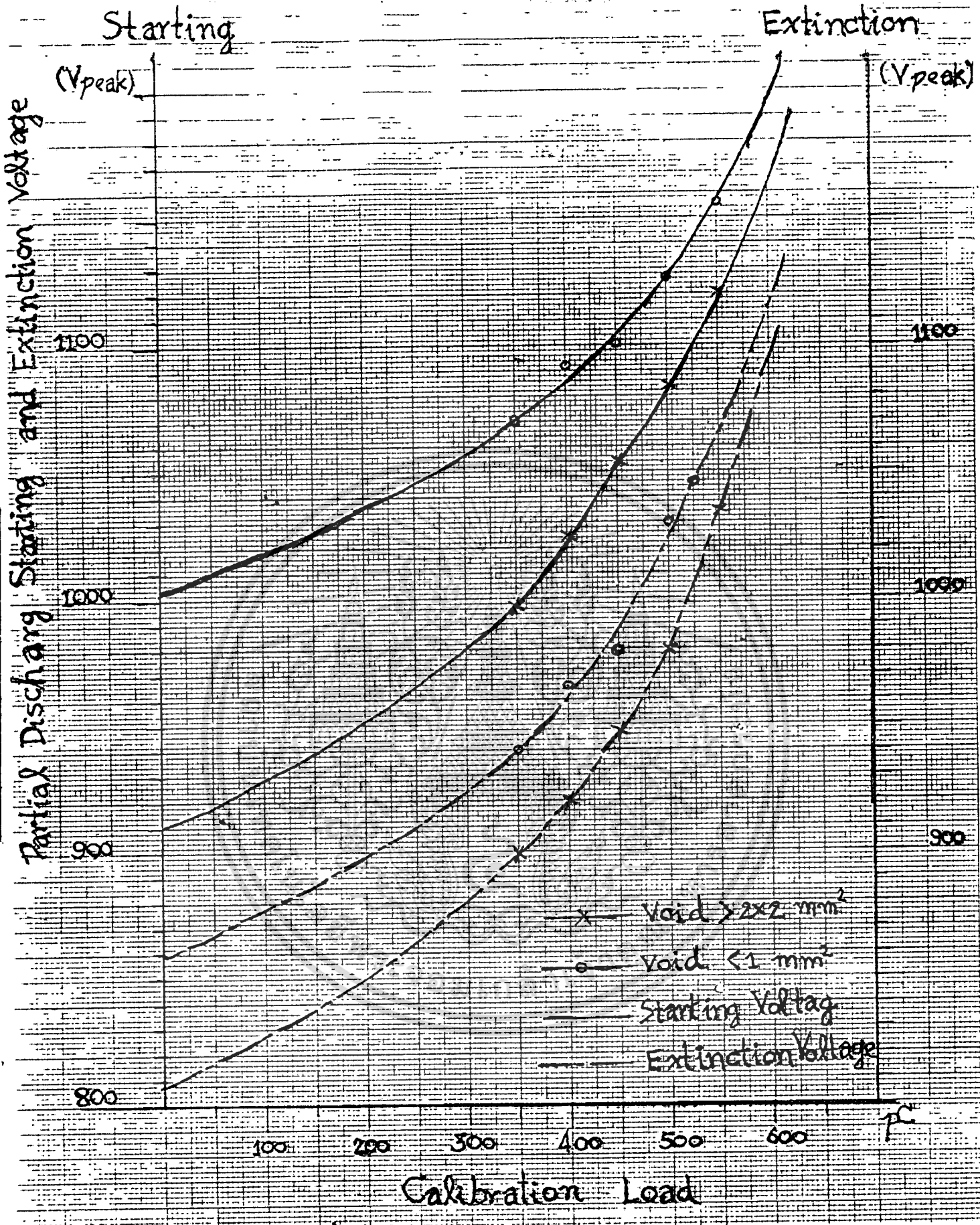
ครั้งที่	รูขนาด 2 x 2 $\text{mm}^2$ .		รูขนาดน้อยกว่า 1 $\text{mm}^2$ .	
	Starting Voltage ( $V_p$ )	Extinction Voltage ( $V_p$ )	Starting Voltage ( $V_p$ )	Extinction Voltage ( $V_p$ )
1	1100	975	1200	1100
2	1125	1000	1150	1050
3	1150	1000	1150	1000
4	1150	1000	1150	1050
5	1150	1000	1150	1050
6	1175	1050	1100	1000
7	1175	1050	1125	1025
8	1150	1050	1150	1025
9	1150	1050	1200	1100
10	1125	1050	1200	1125
11	1200	1100	1150	1050
12	1250	1100	1000*	950*
13	1175	1050	1150	1000
14	1150	1000	1150	1000
15	1150	1000	1100	1000
16	1300*	1200*	1150	1075
17	1200	1100	1150	1050
18	1150	1050	1125	1050
19	1100	1000	1175	1075
20	1125	1000	1200	1110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด เครื่องที่	ขนาด 2 x 2 mm <sup>2</sup> .		ขนาดน้อยกว่า 1 mm <sup>2</sup> .	
	Starting Voltage(V <sub>๒</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>๒</sub> )	Starting Voltage(V <sub>๒</sub> )	Extinction Voltage(V <sub>๒</sub> )
21	1175	1050	1200	1125
22	1100	1000	1150	1050
23	1150	1050	1150	1050
24	1100	1000	1100	1000
25	1050*	950*	1100	1000
26	1100	1000	1300*	1200*
27	1125	1025	1150	1050
28	1125	1025	1150	1050
29	1000*	900*	1100	1025
30	1150	1050	1150	1025
31	1150	1050	1150	1050
32	1150	1000	1175	1075
33	1125	1000	1200	1125
34	1175	1075	1150	1050
35	1175	1075	1150	1000
36	1125	1025	1125	1025
37	1100	1000	1150	1050
38	1150	1075	1150	1050
39	1150	1075	1150	1050
40	1150	1100	1150	1050
Ave	1120	1035	1155	1048

หมายเหตุ \* ไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Starting Voltage กับประจุ Calibration Load และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Extinction Voltage กับประจุ Calibration Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการวัดทดสอบการเกิดพาร์เทียลดิสชาร์จในวัสดุฉนวน Ethylene Propylene ที่มีการทำให้เกิดโพรงอากาศด้วยการเจาะรูขนาดแตกต่างกัน และทดสอบการเกิด Starting Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ และ Extinction Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ ที่ Calibration Load ต่าง ๆ กัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

### - ประจุ (q) เท่ากัน

วัสดุฉนวนที่มีโพรงอากาศขนาดใหญ่ ( $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ) จะเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ ได้ง่ายกว่าวัสดุฉนวนเดียวกันที่มีโพรงอากาศขนาดเล็ก (น้อยกว่า  $1 \text{ mm}^2$ ) ที่ขนาดประจุ (Calibration Load) ที่เท่ากัน

ตามที่ได้จากการทดลอง วัสดุฉนวนที่มีโพรงอากาศขนาดใหญ่ ( $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ) จะมีค่า Starting Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จต่ำกว่าวัสดุฉนวนที่มีโพรงอากาศขนาดเล็ก (น้อยกว่า  $1 \text{ mm}^2$ )

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความถี่ที่เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จวัสดุฉนวนที่มีโพรงอากาศขนาดใหญ่ มีความถี่ที่เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จน้อยกว่าวัสดุฉนวนที่มีโพรงอากาศขนาดเล็ก ซึ่งอ่านได้จากมิเตอร์ของ Counting rate meter (PDC-2) แต่ไม่สามารถแสดงค่านี้ได้เนื่องจากไม่มี Recorder บันทึกผลลัพท์ออกมา และเข็มชี้มีการสวิตช์ไม่สามารถอ่านค่านี้แน่นอนได้

### - ประจุ (q) ไม่เท่ากัน

เมื่อทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าประจุที่ปรับตั้ง เพื่อการเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ ให้มีค่าแตกต่างกัน

โดยการเปลี่ยน Calibration Load และปรับตั้ง input attenuator ของ Detector (CD-5) ให้มีช่วงตั้งแต่ 350 pc - 550 pc

ทำให้ผลลัพท์ออกมา สามารถสรุปได้ว่า ถ้ากำหนดให้ประจุในการตรวจจับการเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ มีค่าสูงขึ้นแล้ว จะได้ค่า Starting Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ และ Extinction Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ มีค่าสูงขึ้นดังที่แสดงด้วยกราฟ

นอกจากนี้รายละเอียดที่สามารถอ่านค่าได้จากมิเตอร์แสดงค่า Detector และ Counting rate meter พอจะสรุปได้ว่า ถ้าค่าประจุที่ใช้ตรวจจับพาร์เทียล ดิสชาร์จ ยิ่งสูงขึ้นเมื่อเกิดการดิสชาร์จแล้วเข็มชี้ของ Detector จะสวิงขึ้นไปสูงกว่า นั่นคือแสดงว่า ประจุที่เกิดจากการดิสชาร์จมีค่ามาก นอกจากนั้นเข็มชี้ของ Counting rate meter จะสวิงไปมาก แสดงว่าความถี่ที่เกิดการดิสชาร์จมีความถี่สูง

แต่อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวนี้ไม่สามารถแสดงได้เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ Recorder ในการบันทึกค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ เหล่านี้ เนื่องจากค่าที่เกิดขึ้นเป็นการสวิงของเข็มชี้ไม่สามารถอ่านเป็นค่าที่แน่นอนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 8.1 บทสรุปและวิจารณ์

ตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ ในวัสดุฉนวน เกิดจากการที่มีโพรงอากาศในฉนวน ทำให้ฉนวนนั้นมีความอ่อนแอไม่สามารถทนต่อ Voltage break down ถึงค่าที่กำหนดได้ เนื่องจากโพรงอากาศนี้จะเป็นตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่กว่าฉนวนที่ไม่มีโพรงอากาศ และการเกิดดิสชาร์จนั้นก็เกิดที่โพรงอากาศในฉนวนนี้

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้มีความสนใจที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ ของขนาดโพรงอากาศในฉนวนกับการทนต่อ Voltage ที่ไม่เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ โดยแบ่งความแตกต่างของโพรงอากาศในฉนวนเป็น 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ ( $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ) และขนาดเล็ก (เล็กกว่า  $1 \text{ mm}^2$ ) ทำการทดสอบขนาดประจุในการเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จที่เปลี่ยนไป ตั้งแต่ 350pc - 550pc

โดยใช้เครื่องมือตรวจจับพาร์เทียล ดิสชาร์จของ NKS

- CD-5 PARTIAL DISCHARGE DETECTOR
- NPG-2 PARTIAL DISCHARGE CALIBRATOR
- PDC-2 PARTIAL DISCHARGE COUNTER

ทำให้ได้ผลการทดลองแสดงตั้งกราฟ และพอที่จะสรุปได้ว่า โพรงอากาศขนาดใหญ่กว่า จะทำให้เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จได้ง่ายกว่าโพรงอากาศขนาดเล็ก ตามที่ผลการทดลองแสดงว่า โพรงอากาศขนาดใหญ่ มีค่า Starting Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ ต่ำกว่าฉนวนที่มีโพรงอากาศขนาดเล็ก

และเมื่อทำการเปลี่ยนค่าประจุที่ทำให้เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ สรุปลงได้ว่าเมื่อค่าประจุที่กำหนดให้เป็นพาร์เทียล ดิสชาร์จมากขึ้น คักตาที่ทำให้เกิด Starting Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ และ Extinction Voltage พาร์เทียล ดิสชาร์จ มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ผลที่สำคัญคือ ที่ค่าประจุที่กำหนดสูงขึ้น เมื่อเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ ประจุที่เกิดจากการดิสชาร์จจะมีค่ามากกว่า และความถี่ที่เกิดจากการดิสชาร์จจะมีค่าสูงกว่า

## 8.2 วิจารณ์

ในการทดลองได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของขนาดโพรงอากาศ ในวัสดุฉนวนกับค่าการทนต่อโวลเตจที่ไม่ทำให้เกิดการพาร์เทียล ดิสชาร์จได้ จำแนกขนาดของโพรงอากาศเป็นขนาดใหญ่ ( $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ) และขนาดเล็ก (เล็กกว่า  $1 \text{ mm}^2$ ) ทำให้ได้ผลของความแตกต่างของโวลเตจที่เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ แต่ไม่สามารถกระทำที่ขนาดของโพรงอากาศที่ต่อเนื่องมากกว่านี้ได้ เนื่องมาจากการทดสอบมีสิ่งรบกวน (noise) ทำให้ไม่สามารถปรับตั้งให้เครื่องวัดมีความไวมากกว่าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ผลที่ได้จากการทดลองที่ขนาดโพรงอากาศมีความต่อเนื่องจนไม่เห็นความแตกต่าง

นอกจากนี้ยังไม่สามารถทำการทดสอบวัสดุฉนวนที่โพรงอากาศ ขนาดใหญ่กว่า  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  ได้ เป็นเพราะในการทดสอบมีการเตรียมฉนวนมีการใช้แผ่น Ethylene Propylene (EP) หนา 50  $\mu\text{m}$ . ซ้อนกัน 3 แผ่น และแผ่นตรงกลางเจาะเป็นรูตามขนาดที่กำหนด ดังนั้นถ้ารูที่เจาะมีขนาดใหญ่กว่านี้ เพื่อนำมาซ้อนกันแผ่น EP ที่ใช้ขนาดข้าง 2 แผ่นจะอ่อนตัวลงในตำแหน่งที่แผ่นตรงกลางเจาะรู จึงทำให้ขนาดโพรงอากาศมีค่าไม่เป็นจริงตามจุดประสงค์ที่จะศึกษา

ตามที่กล่าวมา จึงเป็นขีดจำกัดของการศึกษา ผลที่ได้จากการทดสอบนี้จึงใช้เพื่อเป็นแนวทางที่จะคาดเดาความสัมพันธ์ของขนาดของโพรงอากาศในวัสดุฉนวน กับค่าความถี่ที่ความถี่ไม่เกิดการพาร์เทียล ดิสชาร์จ จะได้ว่าถ้าวัสดุฉนวนมีโพรงอากาศใหญ่จะมีความอ่อนแอในการเป็นฉนวนสูงกว่าวัสดุฉนวนที่มีโพรงอากาศเล็ก ดังนั้นในการผลิตวัสดุฉนวนจึงต้องระมัดระวังไม่ให้มีโพรงอากาศ

ในกรณีศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าประจุที่กำหนดให้เป็นเกณฑ์ในการเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ กับค่าความถี่ที่ทำให้เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ ไม่สามารถทำที่ค่าประจุต่ำกว่านี้ได้ เนื่องจากว่าในการทำการวัดที่ค่าประจุที่กำหนดนั้นจะทำได้โดยการ Calibrate Discharge Load แล้วปรับความไวของเครื่องวัด (input attenuator adjust) นั้น ถ้าทำการวัดที่ Calibration Load ต่ำกว่าที่ทำการทดลองครั้งนี้ จะไม่สามารถที่จะวัดค่าที่แม่นยำได้เนื่องจากสิ่งรบกวน (noise) จะมีผลต่อเครื่องมือวัดในการทดลองครั้งนี้ นอกจากนี้ไม่สามารถทำการวัดที่ดิสชาร์จไหลต่ำกว่าที่ทำการทดลองครั้งนี้ ก็เพราะถึงแม้ว่าจะปรับความไวของเครื่องวัดจนต่ำสุดแล้วก็ตาม ไม่สามารถที่จะทำการป้อน Calibration load ให้มีค่ามากกว่านี้ได้

### 8.3 ประเมินผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้ ทำให้คาดเดาถึงความสัมพันธ์ของการเกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จ กับขนาดโพรงอากาศและค่าประจุที่กำหนดให้ เป็นเกณฑ์ที่เกิดพาร์เทียล ดิสชาร์จดังในตารางจะมีค่าที่เป็นกลุ่มอยู่ส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นค่าที่กระจายออกไป และจะมีเพียงบางค่าที่กระจายออกไปนอกกลุ่มในการหาค่าเฉลี่ย จึงใช้วิธีการไม่นำค่าที่ออกจากกลุ่มไปมาคำนวณ และจากค่าที่ได้ถือได้ว่าค่าที่ได้มีความเชื่อถือพอสมควรในการศึกษา เพราะได้ทำการทดสอบถึง 40 ครั้งในแต่ละแบบ และมีการปรับค่าที่ป้อนโดยใช้ Variac 2 ตัวในการปรับค่า อัตราการเพิ่มของศักย์มีความละเอียดมากพอสมควร โดยใช้อัตราการเพิ่ม 10 V/s โดยประมาณ แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการเพิ่ม Voltage ป้อนก็ยังมีผลคลาดเคลื่อน เนื่องจากความผิดของ

แกนหมุนของ Variac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 8.4 อุปสรรคและทางแก้ไข

1. การป้อนศักดา ต้องใช้ความชำนาญและความละเอียดอ่อนของผู้ทำการทดลองมากจึงจะได้ค่าที่แม่นยำ จึงควรจะมีอุปกรณ์จ่ายศักดาป้อนที่สามารถเพิ่มศักดาได้อย่างละเอียด และเรียบ ไม่มี Surge เนื่องมาจากการเพิ่มของศักดา

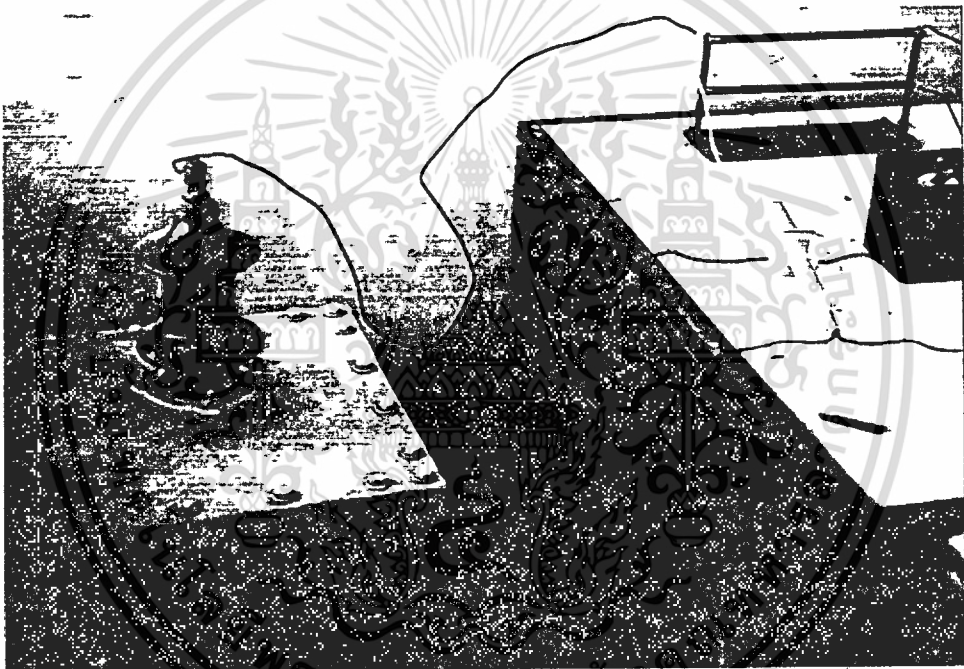
2. สิ่งรบกวน (noise) เนื่องจากการวัดพาร์เทียล ดิสชาร์จ เป็นการทดลองที่ละเอียดอ่อนมาก ดังนั้นการมีสิ่งรบกวนจึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด และในการทดลองนี้กระทำในบริเวณที่มีอุปกรณ์การประลองทางไฟฟ้าแรงสูงรวมอยู่ด้วย จึงมีปัญหาในเรื่องสิ่งรบกวนมาก ในการทดลองนี้จึงแก้ไขปัญหาลงของสิ่งรบกวนนี้ด้วย การใช้ค่าความไวของเครื่องวัดต่ำ ๆ (input attenuator = 1/500)

ทางแก้ไขที่ดีก็คือ ควรจะตั้งส่วนที่เป็นระบบไฟฟ้าแรงสูงกับส่วนที่เป็นเครื่องวัดให้ห่างอย่างน้อย 10 m. และมี Shield ป้องกันการรบกวน

3. เครื่องมือที่ใช้ไม่เพียงพอ สิ่งที่ขาดไปก็คือเครื่องบันทึก (Recorder) จึงทำให้ไม่สามารถบันทึกและแสดงผลให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของประจุที่เกิดจากการดิสชาร์จ กับความถี่ที่เกิดดิสชาร์จได้ ในการทดลองนี้ได้แก้ไขโดยการประมาณ ช่วงของเข็มชี้ที่สวิงไป

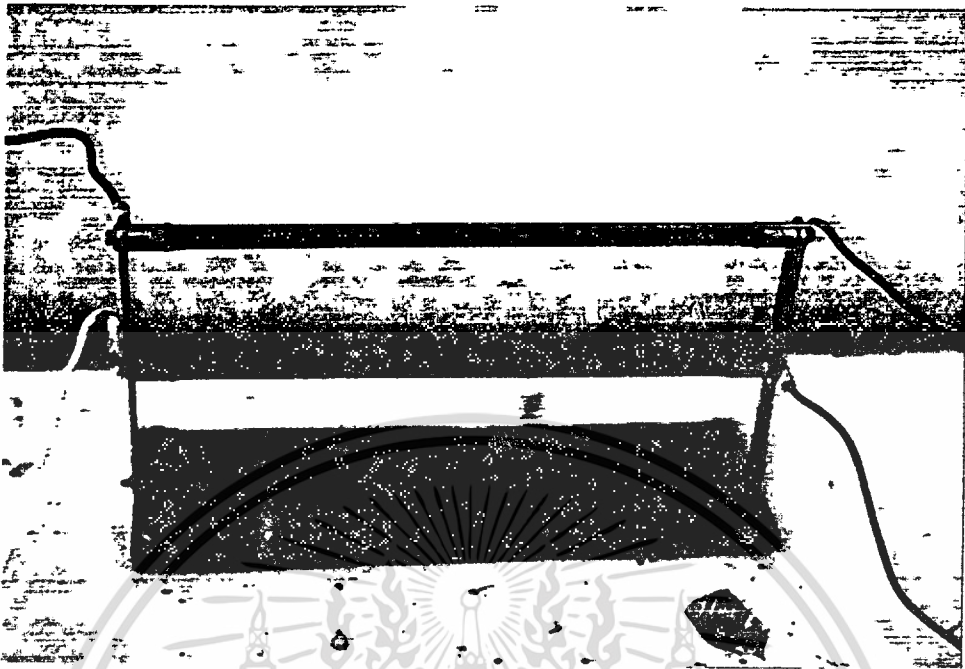
## ภาคผนวก

### ภาพประกอบเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

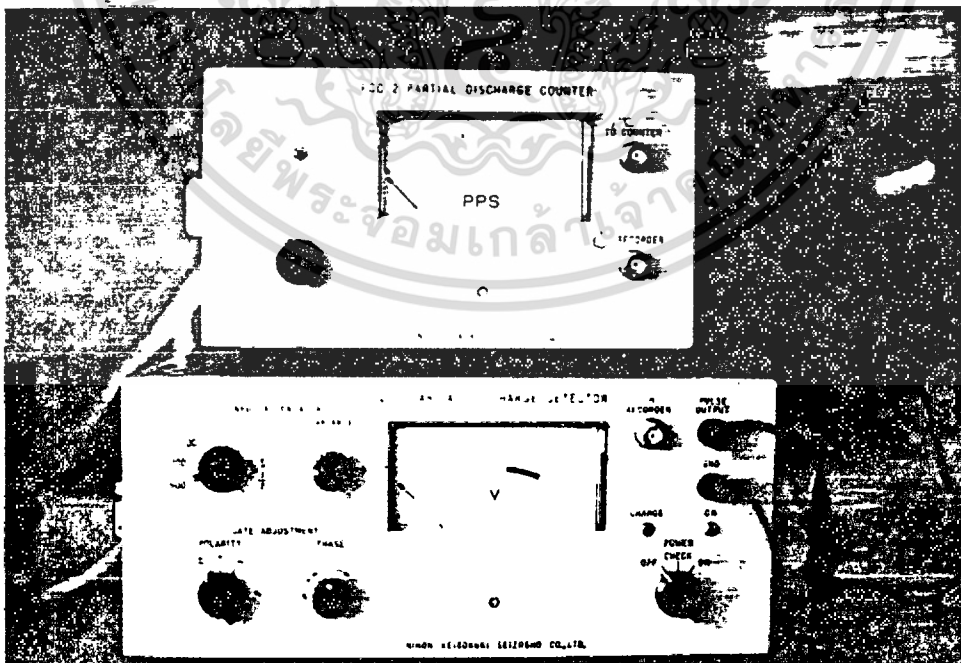


รูปที่ 1 แสดงหม้อแปลงที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งต่อเข้ากับความต้านทานเซรามิกและ C coupling ซึ่งมี High Voltage Probe จับที่ output ของหม้อแปลง

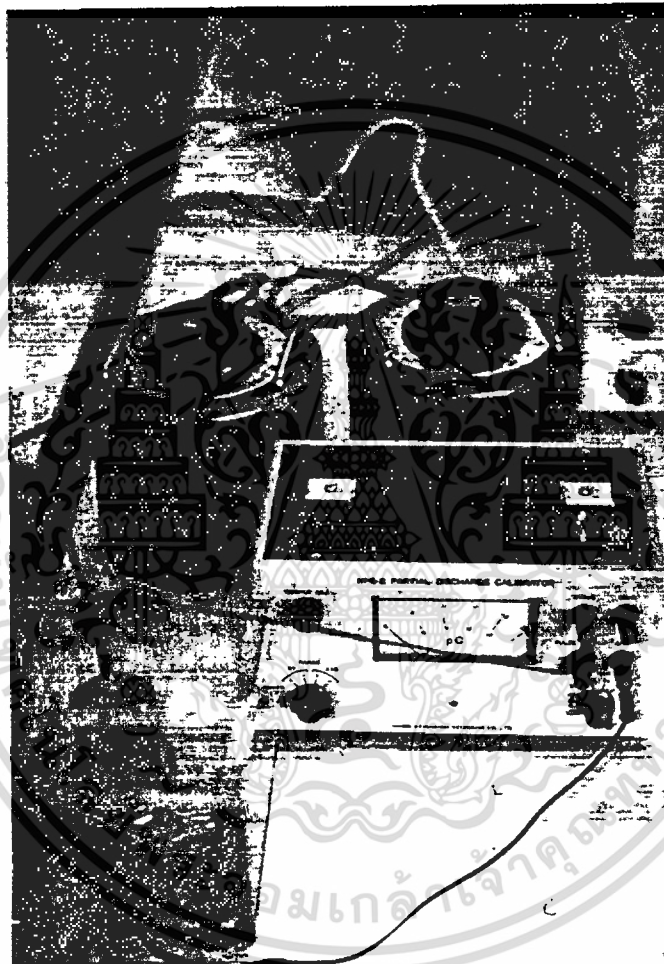
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงความต้านทานแบบเซรามิก 23 Kohm 2 ต่อขนานกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ารูปที่ 3 แสดง Partial Discharge Counter และ Partial Discharge Detector ไปใช้



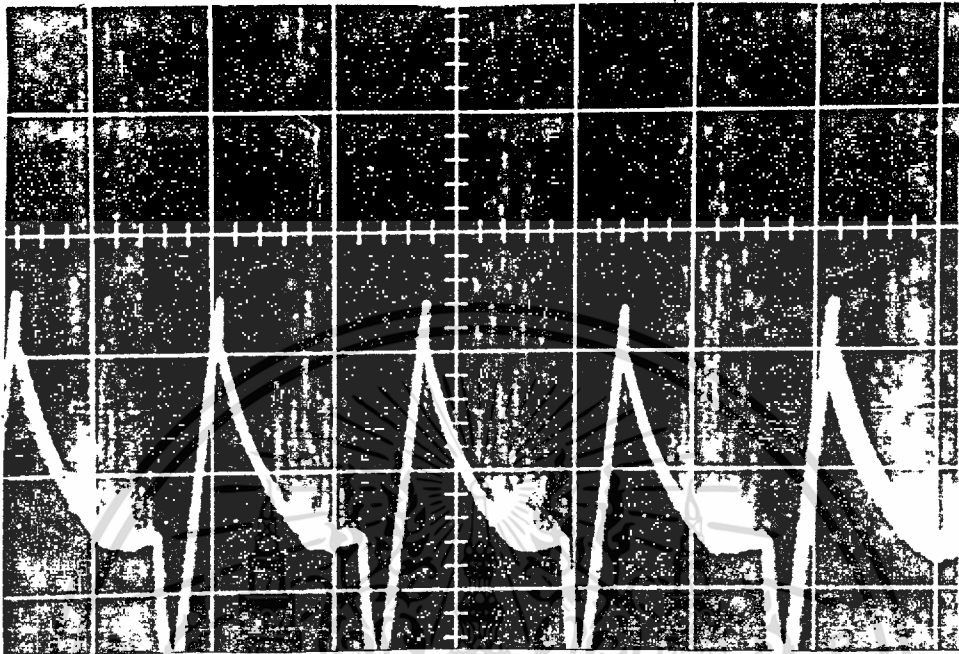
รูปที่ 4 แสดงการ Calibrate load เข้าไปในวัตต์ทดสอบที่วางอยู่ระหว่าง electrode ด้านหลังเป็น Variac ที่ใช้ในการ apply voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดง C coupling และ High Voltage Probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงภาพการตรวจจับ Partial Discharge ที่จับออกมาจากเครื่อง Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCE BOOK

๑๗๗๖๖๖๖๖ → ๖๗๖๖  
→ ๖๗๖๖๖๖  
๖๗๖๖๖๖๖๖

1. Kreuger, E.H., Discharge Detection in High Voltage Equipment.,  
pp. 7-85, Temple press Books Ltd., London, 1964.
2. คมสัน เพ็ชรรัตน์, สำรวอ สังข์สะอาด, "การศึกษาการเกิดดีสชาร์จบางส่วน  
ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ๘ สถาบัน  
อุดมศึกษา ครั้งที่ 7, หน้า ก-70-ก-78, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
วิทยาเขตธนบุรี, 2527. ( 10005 30 or -32 )  
( 1000 20 -32 ) → ๖๗๖๖๖๖, P.P.
3. Kuffel, E., and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering I  
Fundamentals, pp. 433-461, Pergamon Press Ltd., Oxford,  
1st ed., 1984.
4. Gallagher, T.J., Pearmain, A.J., High Voltage I Measurement.  
Testing and Design, John Wiley and Sons, 1st ed., 1983.
5. นุชากร ภูมิวัฒน์, "การวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง."  
วิทยานิพนธ์ปริศนาคามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2525.
6. IEC Standard Publ.No.270(1981), Partial Discharge Measurements
7. IEC Standard Publ.No.885-2(1987), Electrical Test Methods  
for Electric Cable, Part 2 I Partial Discharge Tests
8. IEC Standard Publ.No.885-3(Draft), Test Methods for Partial  
Discharge Measurements on Lengths of Extruded Power-cable
9. IEC Standard Publ.No.76-3(1980), Power Transformers  
Part 3 I Insulation levels and dielectric tests
10. IEC Standard Publ.No.44-4(1980), Instrument Transformat  
Part 4 I Measurement of Partial Discharges

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. IEC Standard Publ.No.540(1980), Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables for Rated Voltages from 1kV up to 30 kV.
12. IEEE Committee Report., "Review of Technical Considerations on Limits to interference from Power Lines and Substations," Trans. IEEE PAS-99(1980), pp. 365-388.
13. Burnley, K.G., and Exon, J.L.T., "Relationship Between Various Measurement Techniques for Void Discharges," IEE Proc. vol.126,Pt.A, No.8(1982), pp. 593-606
14. Boggs, S.A. and Stone, G.C., "Fundamental Limitations in the Measurement of Corons and Partial Discharge," Trans. IEEE EI-17(1982), pp. 143-150
15. Osvath, P., "Perspective of Partial Discharge Detection and Location," IEEE-Thailand Section Seminar, Chulalongkorn University, 1988
16. Robinson Instruments Limited, "Pulse Discrimination Partial Discharge Detector Model 803 : Manual (Test specification),"
17. Mold, G., "Three-Phase Coupling Unit for Partial discharge Test on Cables," Power Engineering Journal (1997), pp. 311-315
18. Zaengl, W.S., Osvath P. and Weber, H.J., "Correlation Between the Bandwidth of PD-detectors and its Inherent Integration Errors," RGE-N 4, Tellex AG Instruments Zurich Switzerland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. NEMA Publ.No. WC8-1976, Ethylene-Propylene-Rubber

Insulated wire and Cable for the Transmission and  
Distribution of Electrical Energy

20. NEMA Publ.No.170-1964, Methods of Measurement for Radio

Influene Voltage of High Voltage Apparatus

21. NEMA Publ.No.TR 1-1974, Transformers, Regulators and

Reactors, Part 3

22. Vaillancourt, G.H., Malewski, R., and Train, D., 'Comparison

of Three Techniques of Partial Discharge Measurements in

Power Transformers,"Trans. IEEE PAS-104(1985), pp. 900-905

23. Robinson Instruments Limited, "Pulse Discrimination-Partial

Discharge Detector Model 803 : Manual (Operation),"

24. Wieringa, L., "Location of Small Discharges in Plastics

Insulated High Voltage Cable,"Trans. IEEE PAS-104(1985),

pp. 2-8

25. ตรงศ ทองฉิม: "การตรวจวัดสภาวะบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง"

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย, 2533.

26. ปุ้ย พู่แสง मुख: "ปรากฏการณ์เบรคดาวน์ในของแข็ง," วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533.

27. Bonar Robinson Limited, "Discharge Detector Series 800 Type 803,"

IDS-03-86, England

28. Haefely, "Partial Discharge Detector Type 561," E175-21,

Haefely Basel Switzerland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศุภี บรรจงจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำการค้นคว้าวิจัย ที่กรุณาให้การช่วยเหลือในด้านเครื่องมืออุปกรณ์และคำแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง และคณาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ช่วยให้คำแนะนำในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ ปริญญาโท และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจเมื่อมีปัญหิต่าง ๆ ถ้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีส่วนดีอยู่บ้างก็ขอมอบให้แก่ บิดา มารดาของข้าพเจ้า แต่ถ้ามีข้อบกพร่องผู้จัดทำขอน้อมรับไว้ ณ. ที่นี้

อดิศร อาศิรกานต์

อานุภาพ ชรรรมชาติ

อนกุล เอี่ยมสะอาด

10 มี.ค 2535