

การวัดดิสชาร์จบางส่วนขณะออนไลน์

ON-LINE PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENT



โดย

นายธงชัย ห่อประเสริฐ

นายธนพล กลสมเกลียว

นายธนพล เกตุสร้อย

นายสุกิจ จันทโสภีพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. จงรักษ์ บุญเต็ม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัยให้ติดต่อขอแก้ไขจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เลขที่.....
เลขทะเบียน.....55595.....
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

b.....
1.....

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดดิสชาร์จบางส่วนขณะออนไลน์
ON-LINE PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENT

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-------------|---------------|--------------|----------|
| 1. นายธงชัย | ห่อประเสริฐ | รหัสประจำตัว | 43010156 |
| 2. นายธนพล | กลมเกลียว | รหัสประจำตัว | 43010157 |
| 3. นายธนพล | เกตุสร้อย | รหัสประจำตัว | 43010158 |
| 4. นายสุกิจ | จันทโสภีพันธ์ | รหัสประจำตัว | 43010474 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. จงรักษ์ บุญแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดศิขารัจบางส่วนขณะออนไลน์

นายธงชัย ห่อประเสริฐ

นายธนพล กลมเกลียว

นายธนพล เกตุสร้อย

นายสุกิจ จันทโสภีพันธ์

รศ. จงรักษ์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แสดงการศึกษาวงจรการวัดศิขารัจบางส่วนที่เกิดขึ้นใน
เนื่อฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ทราบถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุฉนวน ภายใน
ห้องปฏิบัติการได้ทำการศึกษาวงจรการวัดศิขารัจบางส่วนจากแผ่นอะคริลิกด้วยเครื่อง
ตรวจจับศิขารัจบางส่วนยี่ห้อ Hipotronics รุ่น DDX-9101 ร่วมกับ การใช้เครื่องออสซิลโลสโคปที่มี
อัตราการสุ่มซัดตัวอย่างที่สูง หลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่วัดได้ใช้กระบวนการประมวลผลสัญญาณด้วย
การแปลงเวฟเล็ด เพื่อหาสัญญาณศิขารัจบางส่วนที่แท้จริงโดยการกำจัดสัญญาณรบกวนออก
นอกจากนั้น ผลการแปลงเวฟเล็ดยังแสดงให้เห็นว่า การให้ตัวกรองเวฟเล็ดในระดับต่างๆกันนั้นสามารถ
ปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของการแยกสัญญาณศิขารัจบางส่วนออกมาจากสัญญาณรบกวนได้ดี
ยิ่งขึ้น

On-Line Partial Discharge Measurement

Thongchai Hoprasert

Thanapol Klomkleow

Thanapol Kedsoi

Sukit Juntasopeephant

Assoc. Prof. Chongrug Boonseng Advisor

ABSTRACT

This paper presents a study of partial discharge (PD) behavior in electrical apparatus is important to know the degradation of insulating materials. In a laboratory test study is measuring PD signal by both PD detector Hipotronics model DDX-9101 and fast sampling high frequency digital oscilloscope, then wavelet signal processing is used to recover the true PD from the obtained signal by eliminating the noises of many natures. Furture more, the different wavelet filters are uesd to improve the efficiency of PD signal extraction.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน และได้รับการสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ทดสอบจากทางภาควิชาไฟฟ้ากำลัง ขอขอบพระคุณ รศ.จรงค์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและแนวทางในการแก้ปัญหการทำปริญญานิพนธ์นี้ รวมทั้ง อาจารย์พร้อมศักดิ์ อภิรติกุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขต คลองหก ปทุมธานี ที่ให้คำปรึกษา ดูแลและเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดสอบ นอกจากนี้ยังมีคุณทิวา แก้ว จันทรานนท์ นักศึกษาปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม MATLAB และ Wavelet และสุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ทุกๆท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องและไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ปรากฏการณ์ดิสซาร์จบางส่วน	4
2.1 ดิสซาร์จบางส่วน	4
2.2 ชนิดการเกิดดิสซาร์จบางส่วน	5
2.2.1 โคโรนาดิสซาร์จ	6
2.2.2 ดิสซาร์จตามผิว	7
2.2.3 ดิสซาร์จภายใน	9
2.3 ผลการเกิดดิสซาร์จบางส่วน	9
2.4 ความสำคัญของการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	10
บทที่ 3 การตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	11
3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นการเกิดดิสซาร์จบางส่วน	11
3.1.1 วงจรสมมูลย์ดิสซาร์จภายใน	11
3.1.2 ธรรมชาติพัลส์ของดิสซาร์จบางส่วน	14
3.2 หลักการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	17
3.2.1 วงจรพื้นฐานการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	17
3.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจจับการดิสซาร์จ	17

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3 เทคนิคการวัดดิซาร์จบางส่วน	19
3.3.1 การวัดดิซาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทั่วไป	19
3.3.2 การวัดดิซาร์จบางส่วนในสายเคเบิล	21
3.4 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน	24
3.4.1 สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบต่อดิซาร์จบางส่วน	24
3.4.2 การลดสัญญาณรบกวน	25
3.5 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วน	26
3.6 การจำแนกชนิดของดิซาร์จบางส่วนในสายเคเบิล	29
3.7 การวิเคราะห์ดิซาร์จบางส่วน	31
3.8 การประเมินสัญญาณรบกวนในดิซาร์จบางส่วน	34
บทที่ 4 การวัดดิซาร์จบางส่วนแบบออนไลน์	38
4.1 การประยุกต์การประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลข	38
4.1.2 สัญญาณดิซาร์จบางส่วนในสัญญาณรบกวน	38
4.1.3 การเปลี่ยน A/D และการตรวจจับดิซาร์จบางส่วน	40
4.1.4 การลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก	41
4.1.5 วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบ Open loop	41
4.2 การได้มาของข้อมูลดิซาร์จบางส่วน	43
4.2.1 กระบวนการแปลง A/D	46
4.2.2 ตัวอย่างการทดสอบการวัดดิซาร์จบางส่วนแบบออนไลน์	47
4.2.3 การลดสัญญาณรบกวน (Signal Denoising)	48
4.3 การประยุกต์ใช้เวฟเล็ตลดสัญญาณรบกวนกับการวัดดิซาร์จบางส่วน	50
4.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วงจรการวัดดิซาร์จบางส่วนแบบออนไลน์	55
บทที่ 5 ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต	62
5.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต	64
5.1.1 การแปลงฟูเรียร์	64
5.1.2 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น	66
5.2 การแปลงเวฟเล็ต	67
5.2.1 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง	70
5.2.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 การวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ	74
5.4 เวฟเล็ตแม่	76
5.5 ขบวนการทำงานของฟังก์ชัน DWT แบบ Multi-Resolution	79
 บทที่ 6 การทดลองและการประยุกต์ใช้เวฟเล็ตมาแปลงสัญญาณ	81
6.1 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Hipotronics	81
6.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบ	82
6.1.2 การต่อ PSF เข้ากับชุดทดสอบ	86
6.2 การติดตั้งระบบของชุด Hipotronics	87
6.3 วิธีการทดลอง	88
6.3.1 การทดลองในระบบ Off – line	89
6.3.2 การทดลองในระบบ On – line	94
6.4 ผลการทดลอง	99
6.4.1 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 6 kV	99
6.4.2 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 8 kV	119
6.4.3 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 9 kV	139
6.4.4 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 10 kV	159
6.4.5 ผลการแตกสัญญาณที่ได้มาจากฮอสซิลโลสโคปด้วยเวฟเล็ต	179
6.4.6 การหาทิศทางบางส่วนโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571	191
 บทที่ 7 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	194
 ภาคผนวก	196
 บรรณานุกรม	200

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2-1 รูปแบบของดิสชาร์จบางส่วน	5
2-2 ลักษณะโคโรนาดิสชาร์จ	6
2-3 ลักษณะแรงดันและกระแสโคโรนาจากอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันแน่น	7
2-4 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว	8
3-1 วงจรสมมูลของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนทั่วไป	11
3-2 (ก) การกระจายของประจุก่อนเกิดเบรกดาวน์ (ข) แทนผิวของฉนวนรอบโพรงอากาศด้วยค่า R และ C	12
3-3 วงจรสมมูลของโคโรนาดิสชาร์จและดิสชาร์จตามผิว	12
3-4 รูปวงจรสมมูลการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิล	13
3-5 รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมแก๊ปและกระแสของอุปกรณ์วัดขณะเกิด PD	14
3-6 การเกิด ดิสชาร์จบางส่วน จำแนกรูปของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในหนึ่งคาบเวลา	15
3-7 ลักษณะกระแส ดิสชาร์จบางส่วน ที่ตรวจจับได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ UWB	16
3-8 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน	17
3-9 แทน ดิสชาร์จบางส่วน ด้วยวงจรสมมูลแบบต่างๆ	18
3-10 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆตามมาตรฐาน IEC 270	20
3-11 การเกิดคลื่นจรรยาเกิด ดิสชาร์จบางส่วน ในเคเบิลยาว	21
3-12 การเกิดรูปเปอร์โพลีกราฟสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่างๆ	22
3-13 วงจรตรวจสอบคุณสมบัติรูปเปอร์โพลีกราฟของเครื่องตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน	23
3-14 ไดอะแกรมพัลส์คู่ของเครื่องตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน แบบต่างๆ	23
3-15 ไดอะแกรมพัลส์คู่เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิล	24
3-16 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ	24
3-17 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน	25
3-18 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี “หน้าต่างเวลา”	26
3-19 การเกิด ดิสชาร์จบางส่วน ที่เกิดจากโพรงอากาศ	29
3-20 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดจากรอยแตก	29
3-21 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดจากเศษวัสดุและสิ่งเจือปน	30
3-22 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดจากการขยายตัวของคาร์บอนแทรก	31
3-23 กระบวนการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน	32
3-24 การเกิด ดิสชาร์จบางส่วน โคโรนาที่เกิดในอากาศหรือ SF ₆	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-25 โครโมนาที่เกิดในน้ำมัน	34
3-26 แสดงผลสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์พวก Thyristor	35
3-27 แสดงผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากโลหะใกล้วงจรทดสอบไม่ต่อกราวด์	35
3-28 แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ที่เข้ามาทางแหล่งจ่าย	36
3-29 แสดงสัญญาณรบกวนเนื่องจากข้อต่อสายไม่แน่น (Contact Noise)	36
3-30 แสดงสัญญาณรบกวนเนื่องจากคลื่นวิทยุ	36
3-31 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในรูปแบบต่างๆ	37
4-1 สัญญาณจริงจากการวัดแบบ on-line	39
4-2 กระบวนการเปลี่ยนจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	40
4-3 แสดงตัวอย่างการ quantization	40
4-4 แสดงการใช้เวฟเลตทำการ denoising ของสัญญาณดั้งเดิมจากรูปที่ 4-1	42
4-5 วงจรพื้นฐานการแปลง ADC	43
4-6 กระบวนการ S/H ในการตอบสนองทางเวลา	43
4-7 คุณลักษณะการ Compander การอัดขยายข้อมูล	45
4-8 แสดงกระบวนการ Compander ของสัญญาณ 3 ขั้นตอน	46
4-9 ตารางการเปรียบเทียบค่า Quantizing Error ของวิธีแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น	47
4-10 แสดงสัญญาณที่ได้รับจากเคเบิล 33 kV	48
4-11 แสดงสัญญาณที่ถูกบีบอัด	48
4-12 (a),(b) แสดงสัญญาณรบกวนที่เอาออกแล้วจากสัญญาณที่ถูกควอนไทซ์แบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น	49
4-13 แสดงระดับการตัดที่ใช้เป็นระดับสัญญาณได้แก่ ตัดแบบหนัก และตัดแบบเบา	50
4-14 เปรียบเทียบการให้ระดับตัดแบบหนักและแบบเบาตามลำดับ	50
4-15 แสดงตัวอย่างการกระจายสัญญาณออกเป็น 5 ระดับใช้ระดับการตัดแบบหนัก	51
4-16 แสดงการแตกสัญญาณที่สเกลต่างๆ	52
4-17 เวฟเลตชนิด Daubechies-2	53
4-18 ระดับการตัดของสเกลที่ใช้หาสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน	53
4-19 (a) สัญญาณจริง (b) สัญญาณหลังจากผ่านกระบวนการ denoising	54
4-20 ขั้นตอนการติดตั้งการทดสอบ On-line PD กับ Air gap มาตรฐาน	55
4-21 สัญญาณ PD ของ Air gap ที่วัดได้จากดิจิตอลสโคปผ่านทางตัวต้านทาน	56
4-22 สัญญาณ PD ของ Air gap ที่ได้จาก HFCT และแสดงผลโดย Spectrum Analyzer	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-23 ขั้นตอนการติดตั้งการทดสอบ On-line PD กับ สายเคเบิล	57
4-24 สัญญาณ PD ของสายเคเบิลที่วัดได้จากดิจิตอลสโคปผ่านทางตัวต้านทาน	57
4-25 สัญญาณ PD ของสายเคเบิลที่ได้จาก HFCT แสดงผลผ่านทาง Spectrum Analyzer	58
4-26 การติดตั้งวงจร RF Monitoring (Radio Frequency) ซึ่ง ดิซาร์จบางส่วน จะเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณและถูกตรวจจับโดย HFCT	58
4-27 วงจรของ PDA (Partial Discharge Analyzer) ที่ติดอยู่กับจุดต่อแยกของ ขดลวดใน Hydrogenerator	59
4-28 วงจร schematic ของ FASE (False Anticipation in Substation Equipment) ที่นำ CT มาต่อเข้ากับบัสบาร์ของโรงไฟฟ้าเพื่อตรวจจับ ดิซาร์จบางส่วน	59
4-29 การวัดแบบ On-line Partial Discharge ในสายเคเบิลและฉนวนของสวิตช์บอร์ด	60
4-30 แสดงการวัด PD แบบ On-line ของสายเคเบิลและสัญญาณที่วัดได้	61
5-1 แสดงการแยกขนาดเม็ดทรายโดยใช้การรวมทรายแต่ละขนาดเข้าด้วยกัน	62
5-2 แสดงการแยกเม็ดทรายโดยแบ่งออกเป็นช่วงๆตามความยาว	63
5-3 แสดงการแยกเม็ดทรายโดยแบ่งช่วงที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดทราย	63
5-4 แสดงการแปลงฟูเรียร์	65
5-5 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นๆ(STFT)	66
5-6 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ดแบบ	67
5-7 แสดงคุณสมบัติการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ด	68
5-8 แสดงการกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ด	69
5-9 แสดงการสร้างสัญญาณกลับด้วยเวฟเล็ด	69
5-10 แสดงขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของการแปลงเวฟเล็ด	70
5-11 แสดงขั้นตอนที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ด	71
5-12 แสดงขั้นตอนที่ 4 ของการแปลงเวฟเล็ด	71
5-13 แสดงการแปลงเวฟเล็ดแบบต่อเนื่อง (CWT)	72
5-14 แสดงการแปลงแยกสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณ	74
5-15 แสดงการแปลงกลับสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณ	74
5-16 แสดงการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย (DWT) ในสเกลที่ 1-4	75
5-17 แสดงเวฟเล็ดแม่แบบไม่มีชนิดย่อย	76
5-18 แสดงเวฟเล็ดแม่แบบมีชนิดย่อย	77
5-19 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวกรองสัญญาณของเวฟเล็ดตระกูล Daubechies ที่ N	78

มีค่าเป็น 4,6,8,10,12,14,16 และ 20.

78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5-20 กระบวนการทำงานของฟังก์ชัน DWT	79
5-21 แสดง Wavelet Decomposition เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้	80
6-1 ชุดทดสอบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ไฟฟ้าแรงสูง	81
6-2 แผงหน้าตู้ของชุดควบคุม	82
6-3 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนของ HIPOTRONICS	83
6-4 หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง แบบ PD Free	84
6-5 Power Separation Filter PSF 100/1/DDX	84
6-6 เครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน รุ่น DDX-9101	85
6-7 การแสดงผล PD แบบต่างๆ	85
6-8 ตัว Calibration Injection Capacitor	86
6-9 วงจรแสดงการต่อ PSF	86
6-10 แสดงแผง connectors ด้านหลัง	87
6-11 อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทำการทดลอง	88
6-12 แผ่นอะคริลิกลักษณะต่างๆ	89
6-13 การต่อวงจรทดสอบแบบ off-line ที่ใช้ในการทดลอง	89
6-14 รูปขณะกด calibrate on	91
6-15 รูปขณะทำการ run calibrate	91
6-16 รูปทำการ calibrate เสร็จแล้ว	92
6-17 รูปขณะกด calibrate off เพื่อดู background noise	92
6-18 รูปขณะทำการจ่ายแรงดัน 50 kV เข้าสู่ระบบเพื่อหาดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้น	93
6-19 ตู้ควบคุมการจ่ายไฟ	94
6-20 จอแสดงผลของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนยี่ห้อ Hae-fly Trence รุ่น TE-571	94
6-21 การต่อวงจรทดสอบแบบ on-line	95
6-22 coupling Quadruple	97
6-23 เครื่องออสซิลโลสโคปที่ใช้มีแบนด์วิธ 100 MHz และมีอัตราการสุ่ม 1.25 Gsa/s	98
6-24 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรูที่แรงดัน 6 kV	99
6-25 ขั้นตอนการปรับเทียบ	99
6-26 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	102
6-27 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รูที่แรงดัน 6 kV	104
6-28 ขั้นตอนการปรับเทียบ	104
6-29 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6-30 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีสิ่งเจือปนที่แรงดัน 6 kV	109
6-31 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	109
6-32 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	112
6-33 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูปทรงแท่งที่แรงดัน 6 kV	114
6-34 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	114
6-35 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	117
6-36 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรูที่แรงดัน 8 kV	119
6-37 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	119
6-38 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	122
6-39 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รูที่แรงดัน 8 kV	124
6-40 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	124
6-41 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	127
6-42 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีสิ่งเจือปนที่แรงดัน 8 kV	129
6-43 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	129
6-44 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	132
6-45 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูปทรงแท่งที่แรงดัน 8 kV	134
6-46 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	134
6-47 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	137
6-48 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรูที่แรงดัน 9 kV	139
6-49 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	139
6-50 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	142
6-51 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รูที่แรงดัน 9 kV	144
6-52 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	144
6-53 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	147
6-54 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีสิ่งเจือปนที่แรงดัน 9 kV	149
6-55 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	149
6-56 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	152
6-57 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูปทรงแท่งที่แรงดัน 9 kV	154
6-58 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	154
6-59 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6-60 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรูที่แรงดัน 10 kV	159
6-61 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	159
6-62 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	162
6-63 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รูที่แรงดัน 10 kV	164
6-64 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	164
6-65 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	167
6-66 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีสิ่งเจือปนที่แรงดัน 10 kV	169
6-67 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	169
6-68 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	172
6-69 วัตถุทดสอบอะคริลิกทดสอบชนิดมีรูพูนที่แรงดัน 10 kV	174
6-70 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ	174
6-71 กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report	177
6-72 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 6 kV	179
6-73 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 12 kV	180
6-74 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 21 kV	181
6-75 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกที่มีรูที่แรงดัน 8 kV	182
6-76 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 8 kV	183
6-77 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกหลายรูที่แรงดัน 8 kV	184
6-78 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกหลายรูที่แรงดัน 6 kV	185
6-79 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกมีเศษเหล็กเจือปนที่แรงดัน 8 kV	186
6-80 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากสายเคเบิลที่แรงดัน 6 kV	187
6-81 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากสายเคเบิลที่แรงดัน 20 kV	188
6-82 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากสายเคเบิลที่แรงดัน 24 kV	189
6-83 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จาก SF ₆ ที่แรงดัน 50 kV	190
6-84 การหาดีซาร์จบางส่วนในสายเคเบิลโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571 ที่ แรงดัน 6 kV พบ PD 12 pC	191
6-85 การหาดีซาร์จบางส่วนในแผ่นอะคริลิกพูนโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571 ที่ แรงดัน 6 kV พบ PD 13 pC	192
6-86 การหาดีซาร์จบางส่วนในแผ่นอะคริลิกอากาศโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571 ที่ แรงดัน 11 kV พบ PD 10 pC	193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในระบบไฟฟ้าจะพบว่าการณ์วนมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุฉนวนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการฉนวน คือถ้าหากความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด เกิดมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต หรือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (dielectric strength) ของฉนวนก็จะทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ หรือเบรกดาวน์เพียงบางส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดแนวขึ้นที่ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าที่มีความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดต่ำพอหรือไม่ อีกนัยหนึ่งก็คือพลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จนั้นมากพอ หรือไม่ ถ้าเกิดเบรกดาวน์ที่สมบูรณ์ไม่ได้ก็จะกลายเป็นดิสชาร์จพัลส์สั้นๆ หรือที่เรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge = PD) เพราะดิสชาร์จนั้นไม่เชื่อมโยงระหว่างอิเล็กโทรด และการดิสชาร์จบางส่วนนี้การฉนวนของอิเล็กโทรดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์มั่นคงอยู่ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้

ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่จะไม่เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้ หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น

ดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ และสนามไฟฟ้ากระแสตรง ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ดิสชาร์จจะเกิดซ้ำทุกๆ ไซเคิลของแรงดัน โดยปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปถึงค่ายอด

พัลส์ดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้งจะมีพลังงานถ่ายเทให้กลับพื้นผิวฉนวน ในลักษณะชนและกระแทก เป็นเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุด เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ฉนวนเสียเป็นจุดๆ และเกิดผิวดร็อกรอยขยาดำมากขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหาย อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลง

การเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบสายชิงอากาศ เรียกว่า โคโรนา ย่อมหมายถึงการเกิดพลังงานสูญเสียตลอดเวลา และยิ่งกว่านั้นการเกิดโคโรนาพัลส์ดิสชาร์จดังกล่าว ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ เรียกว่า คลื่นรบกวนวิทยุ

ฉะนั้นเพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ การออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีคุณภาพเพียงพอ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานปกติจะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน จะต้องไม่มีดิสชาร์จบางส่วน แม้จะมีแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันกระเพื่อมเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อความมั่นใจในคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีการทดสอบตรวจวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน วัดค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio Interference Voltage) ตามมาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบวัดค่าการคายประจุบางส่วนของฉนวนไฟฟ้ามีเรียกว่า “การวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน” (Partial Discharge, PD) เป็นการทดสอบความคงทนของไดอิเล็กตริกของฉนวนแข็ง (Solid Dielectric Insulation) คือฉนวน Cross-linked Polyethylene, XLPE ของสายเคเบิลแรงดันสูงที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าหรือในงานต่างๆ เช่น สาย Single Core และ Tree Cores หรือฉนวนของแข็งประเภทอื่นๆ โดยมีวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบจุดผิพรองเนื่องจากขบวนการผลิตจากโรงงาน โดยหาค่าความคงทนต่อแรงดันใช้งานในระบบไฟฟ้าที่ระดับแรงดันทดสอบต่างๆ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูง (High Electric Stresses) เกิดขึ้นภายใต้สภาวะของการส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังปกติ สามารถทำนายถึงอายุการใช้งานในลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพ โดยการทดสอบแบบไม่ทำลายหรือแตกสลาย (Non - Destructive Testing) เป็นไปตามชนิดของระดับแรงดันทดสอบ เวลาการใช้งานหรือตามระดับแรงดันที่อาจเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะทั่วไปของระบบไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางการตรวจวัดคุณภาพของฉนวนจากการวัดดิสชาร์จบางส่วนขณะออนไลน์ในระบบ และนำสัญญาณที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับ โปรแกรมเวฟเล็ด ในการแปลงสัญญาณ เพื่อหาดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในฉนวนทดสอบ เนื่องจากผลกระทบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนฉนวนนั้นอาจนำไปสู่การเบรคดาวน์ในฉนวนได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทำการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและเทคนิคการตรวจสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆทั้งแบบออนไลน์และออฟไลน์ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น การตรวจสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลและวัตถุทดสอบชนิดอื่นๆ เป็นต้น

1.3.2 ศึกษาการใช้เครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วนในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของภาควิชาไฟฟ้า คือ ชุดทดสอบเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน Hipotronics รุ่น DDX-9101 และวิธีการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นในการทำกรวัด

1.3.3 ศึกษาการใช้งานการแปลงเวฟเล็ดจากโปรแกรม MATLAB เพื่อไปทำการวิเคราะห์สัญญาณดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้น

1.4 วิธีดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูงและปรากฏการณ์ดิสชาร์จบางส่วน รวมไปถึงสาเหตุการเกิดและความสำคัญของการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนในบทที่ 1 จากนั้นจะกล่าวถึงหลักการและเทคนิควิธีการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนในแบบออฟไลน์ และวิธีการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนแบบออนไลน์ซึ่งเป็นวิธีการที่เป็นสมัยใหม่และสะดวกกว่า เพราะเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์จากโปรแกรมเวฟเล็ด มาหาการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้ และเทคนิคการลดสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่มีผลต่อการวินิจฉัยความเสียหายที่เกิดจากดิสชาร์จบางส่วน ดังจะกล่าวถึงในบทที่ 2,3,4 และ 5 หลังจากนั้นจะเป็นการประยุกต์นำเอาโปรแกรมเวฟเล็ดมาวิเคราะห์สัญญาณที่วัดจากออสซิลโลสโคป ประกอบกับผลการทดสอบการวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนจากวัตถุทดสอบที่มีลักษณะต่างๆกันที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำขึ้นมา โดยใช้ชุดเครื่องทดสอบหาดิสชาร์จบางส่วนของ Hipotronics รุ่น DDX-9101 ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงในบทที่ 6 และสุดท้ายจะเป็นการสรุปการทำงานและวิเคราะห์ผลที่ได้รับจากการทดสอบในครั้งนี้



บทที่ 2

ปรากฏการณ์ดิสชาร์จบางส่วน

2.1 ดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge = PD)

ในระบบการฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ไม่ว่าจะเป็นสายส่งจ่าย หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงก็ตาม ถ้าหากความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด เกิดมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต หรือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric Strength) ของฉนวนก็จะทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ หรือเบรกดาวน์เป็นเพียงบางส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดแนวที่ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าที่มีความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดต่ำพอหรือไม่ อีกนัยหนึ่งก็คือ พลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จนั้นมากพอหรือไม่ ถ้าเกิดเบรกดาวน์ที่สมบูรณ์ไม่ได้ก็จะกลายเป็นดิสชาร์จพัลส์สั้นๆ หรือที่เรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge = PD) เพราะดิสชาร์จนั้นไม่เชื่อมโยงระหว่างอิเล็กโทรด และการดิสชาร์จบางส่วนนี้การฉนวนของอิเล็กโทรดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์มั่นคงอยู่ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้

นิยามดิสชาร์จบางส่วน (PD) Kreuger ได้ให้คำอธิบายไว้ว่า ดิสชาร์จบางส่วนเป็นคายประจุทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโทรด ดิสชาร์จบางส่วนจัดอยู่ในกลุ่มใหญ่ของก๊าซดิสชาร์จ ซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าแล้ววิ่งชนโมเลกุลของก๊าซก่อเป็นอะวาลานซ์ของอิเล็กตรอนและทั้งไอออนบวกนี้ไว้เบื้องหลังที่เคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโทรดอีกด้านหนึ่ง อิเล็กตรอนและไอออนบวกนี้จะป็นเส้นทางให้กระแสไหลผ่านก๊าซได้

ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่จะไม่เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้ หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น

ดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ และสนามไฟฟ้ากระแสตรง ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ดิสชาร์จจะเกิดทุกๆ ไซเคิลของแรงดัน ปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปสู่ค่ายอด

พัลส์ดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้งจะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวน ในลักษณะชนกระแทกเป็นเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุด เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ฉนวนเสียเป็นจุดๆ และเกิดผิพร่องขยายตัวมากขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหายได้ อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลง

การเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบขึงอากาศ เรียกว่า โคโรนา ย่อหมายถึงการเกิดพลังงานสูญเสียตลอดเวลา และยิ่งกว่านั้นการเกิดโคโรนาพัลส์ดิสชาร์จดังกล่าว ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ เรียกว่า คลื่นรบกวนวิทยุ

ฉะนั้นเพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ การออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีคุณภาพเพียงพอ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่

แรงดันใช้งานปกติจะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน จะต้องไม่มีดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้จะมีแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันกระเพื่อมเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อความมั่นใจในคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีการทดสอบตรวจวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน วัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio interference voltage = RIV) ตามที่มาตรฐานกำหนด

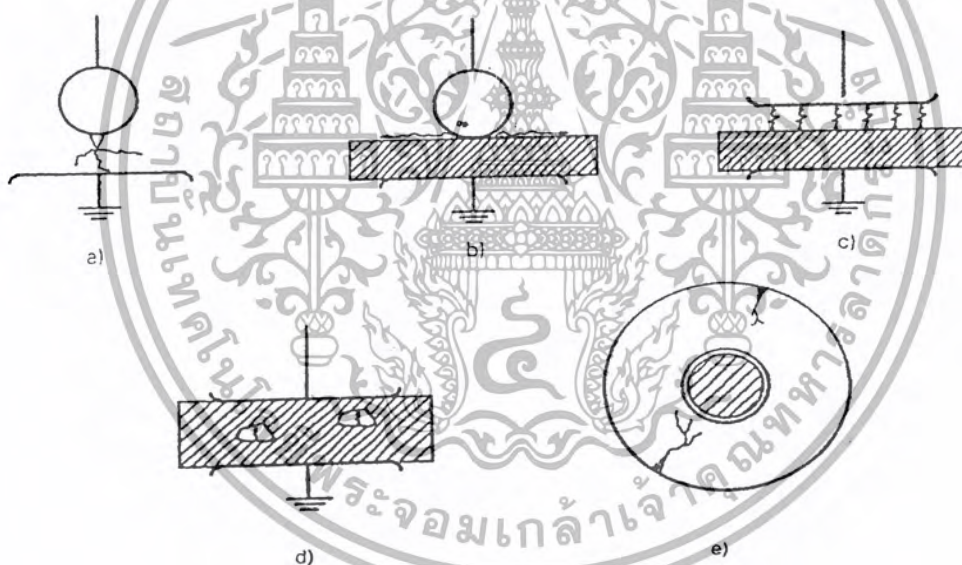
2.2 ชนิดแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วนโดยทั่วไปอาจแบ่งตามลักษณะที่เกิดได้เป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 2-1

1) โคโรนาดิสชาร์จ (Corona discharges or external partial discharges) เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่อิเล็กโทรดปลายแหลมหรือมีขอบคม หรืออิเล็กโทรดขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับระยะห่างอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2-1 a)

2) ดิสชาร์จตามผิว (Surface discharges) เกิดขึ้นที่ผิวของฉนวนที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวสูง ดังรูปที่ 2-1 b) และ c)

3) ดิสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal partial discharges) เกิดขึ้นในโพรงหรือฟองก๊าซในเนื้อฉนวนซึ่งเป็นฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลว ดังรูปที่ 2-1 d) และ e)



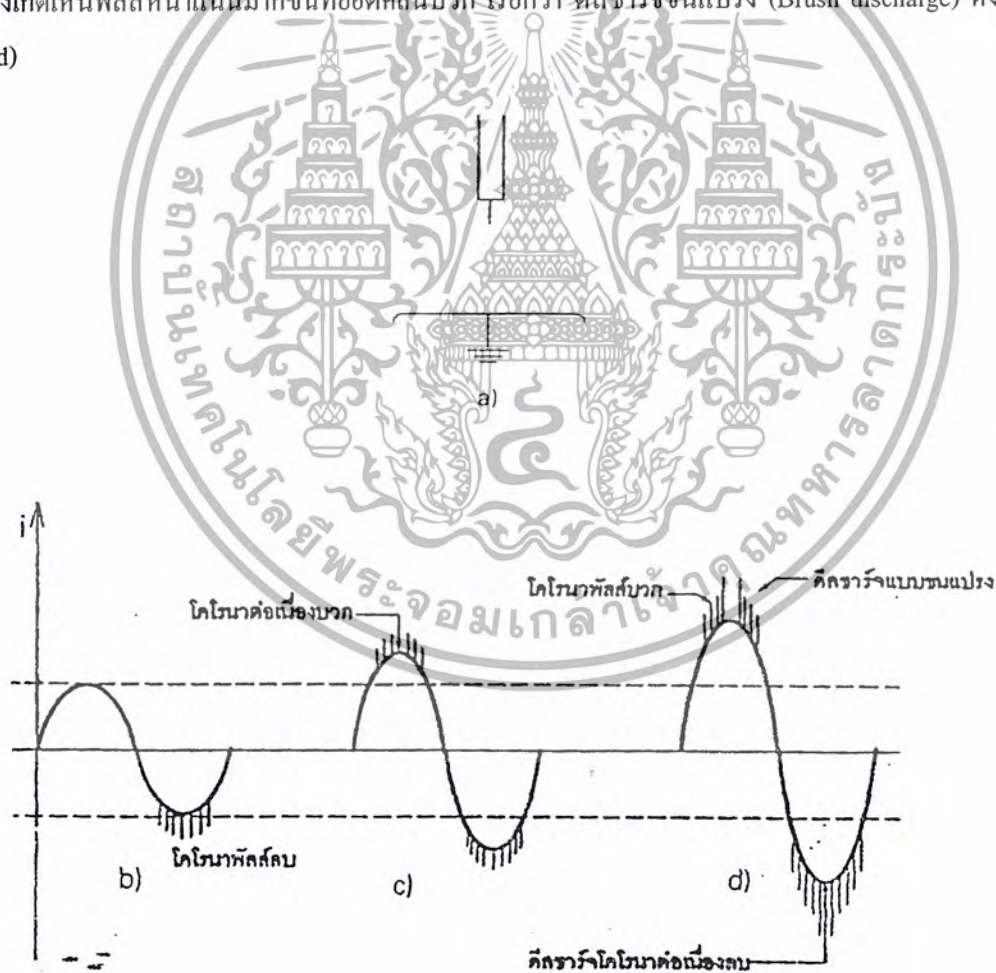
รูปที่ 2-1 รูปแบบของดิสชาร์จบางส่วน

- โคโรนาดิสชาร์จ เกิดที่ปลายอิเล็กโทรดแหลมคมในอากาศ
- ดิสชาร์จตามผิว เกิดขึ้นที่ผิวฉนวนแข็งกั้นระหว่างอิเล็กโทรดวางในก๊าซ
- ดิสชาร์จภายใน เกิดจากชั้นรอยต่อระหว่างฉนวนมีค่าเปอร์มิตติวิตีต่างกัน
- ดิสชาร์จภายใน เกิดจากโพรงก๊าซในเนื้อฉนวน
- ดิสชาร์จภายในเกิดจากสิ่งแปลกปลอม หรือปลายขอบคมในเนื้อฉนวนเรียกว่า ทรี่อิง (Treeing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 โครนาดิสชาร์จ

โครนาดิสชาร์จเป็นดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในอากาศหรือก๊าซ ที่ยอดแหลมหรือขอบคมของอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจเป็นจุดหรือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตก่อนบริเวณอื่นๆ ของระบบฉนวน ตัวอย่างเช่น สายส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบขึงในอากาศที่มีตัวนำไม่เรียบและมีขอบคม เป็นต้น ตัวอย่างในรูปที่ 2-2 a) แสดงถึงสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงด้วยอิเล็กโทรดปลายแหลม เมื่อป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง ถ้าพิจารณารูปคลื่นแรงดันจากออสซิลโลสโคป จะสังเกตเห็นพัลส์ ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นก่อนที่จะยอดแหลมของรูปคลื่นแรงดัน กระแสสลับรูปคลื่นไซน์มีขนาดและช่วงห่างของพัลส์สม่ำเสมอเท่าๆ กัน เรียกว่า “Trichel pulses” (G.W. Trichel ผู้พบในปี 1938) ดังในรูปที่ 2-2 b) มีช่วงกว้างของคลื่นเพียงสิบๆ นาโนวินาที ความถี่อาจถึง 0.5 MHz ถ้าเพิ่มแรงดันสูงขึ้นอีก จะสังเกตเห็นพัลส์ที่ขุดครึ่งคลื่นบวกแต่จะไม่สม่ำเสมอ ทั้งขุดบวกและขุดลบพัลส์อาจจะหายไปหากเพิ่มแรงดันอีก เรียกลักษณะ โครนาเช่นนี้ว่า โครนาต่อเนื่อง (Continuous corona) ดังรูปที่ 2-2 c) คลื่นรบกวนวิทยุจึงลดลง แต่พลังงานสูญเสียโครนากลับเพิ่มมากขึ้น ต่อจากนั้นก็ จะสังเกตเห็นพัลส์หนาแน่นมากขึ้นที่ขุดคลื่นบวก เรียกว่า ดิสชาร์จแบบแปรง (Brush discharge) ดังรูปที่ 2-2 d)



รูปที่ 2-2 ลักษณะโครนาดิสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

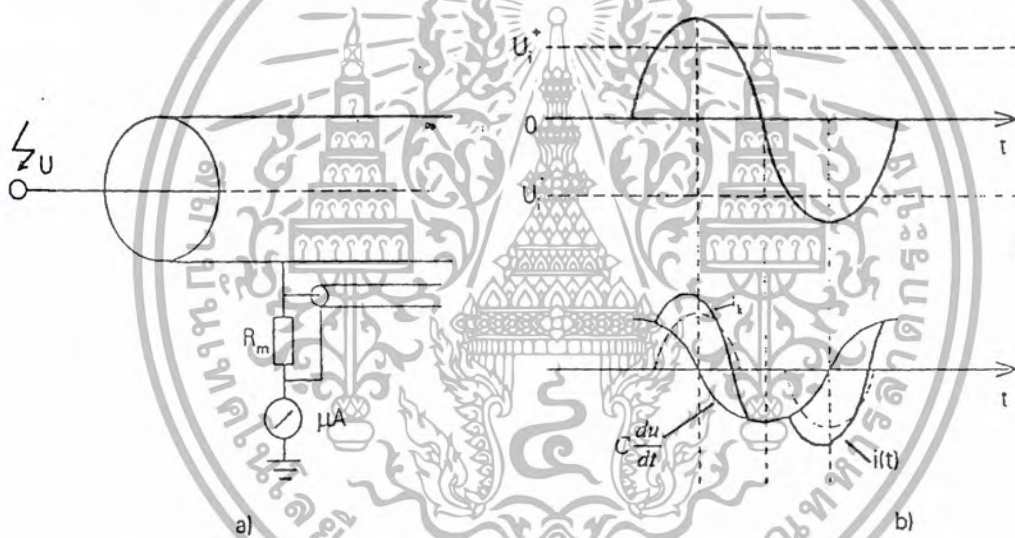
ในกรณีโคโรนาดีสชาร์จบนสายส่งอาจจำลองแบบได้ โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์แบบทรงกระบอกซ้อน แกนร่วมให้ตัวนำในมีขนาดเส้นเล็ก จะทำให้เกิดโคโรนาง่าย กระแสที่วัดได้จากกระบอกนอกที่ต่อลงดิน จะพบว่าประกอบด้วยกระแสประจุ i_c (capacitive current) กับกระแสโคโรนา i_k (Corona current) ดังใน รูปที่ 2-2 กระแสประจุเกิดจากความจุไฟฟ้า C คงที่ คือ

$$i_c = C \frac{du}{dt}$$

ฉะนั้นกระแสรวมที่วัดได้จะเป็น

$$i = i_c + i_k = C \frac{du}{dt} + i_k$$

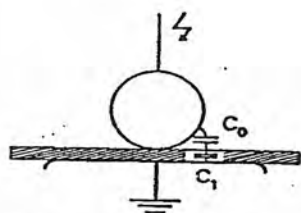
กระแสโคโรนา i_k จะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ป้อน เมื่อแรงดันเกินค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด U_i จึงอาจสังเกตดูจากออสซิลโลสโคป เมื่อเริ่มเกิดรูปคลื่นกระแสไหลผ่านแก๊ป หรืออาจสังเกตดูจาก แอมมิเตอร์ที่ต่ออยู่ระอิเล็กทรอนิกส์กับดิน (ground) ดังรูปที่ 2-3



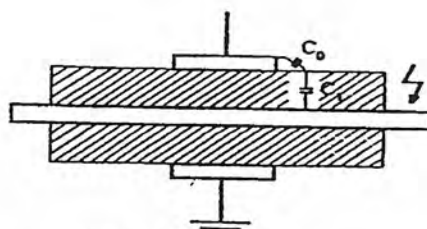
รูปที่ 2-3 ลักษณะแรงดันและกระแสโคโรนาจากอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม

2.2.2 ดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

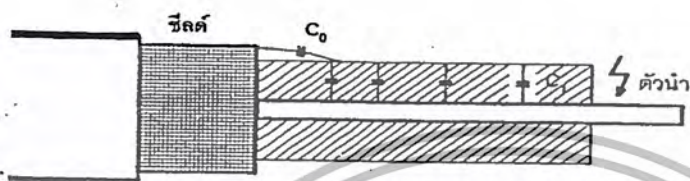
ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวอาจเกิดขึ้นตามแนวรอยต่อของฉนวนต่างชนิดกัน เช่น ของแข็งกับก๊าซ หรือของแข็งกับของเหลว เมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวรอยต่อของฉนวนสูงเกินค่าวิกฤต ตัวอย่างเช่น ปลอกฉนวนนำสาย ปลายสายเคเบิล หรือ ดิสชาร์จภายนอกกระทบบเข้ากับผิวฉนวน ซึ่ง ความเครียดสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวนไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดเบรกดาวน์เฉาะทะลุได้ เช่น แผ่นคั่นระหว่าง อิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2-4



า) อิเล็กโทรดทรงกลมกับระนาบ
คันด้วยแผ่นแก้ว



บ) ปลอกจนวนนำสาย



ค) ปลายสายเคเบิลแรงสูง

รูปที่ 2-4 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

ในรูปที่ 2-4 a) ดิสชาร์จตามผิวจะเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณทรงกลมสัมผัสหรือใกล้กับแผ่นแก้วก่อน เพราะความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณอื่น เมื่อเพิ่มแรงดันหรือความเครียดสูงขึ้น ดิสชาร์จจะขยายตัวกว้างขวางขึ้นห่างออกไปจากทรงกลมสู่ขอบแผ่นแก้ว ถ้าแผ่นแก้วหนามากพอและไม่กว้างเกินไป ก็จะทำให้ความชื้นแผ่นแก้วไปหาอิเล็กโทรดระนาบได้ ถ้าแผ่นแก้วไม่หนามากและแผ่นกว้างใหญ่ การเกิดดิสชาร์จตามผิวก็จะกว้างไประดับหนึ่ง แล้วก็จะเกิดเบรกดาวน์เจาะทะลุแผ่นแก้วได้ ในรูปที่ 2-4 b) ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะเริ่มเกิดที่อิเล็กโทรดแหวนยึดต่อดินและวิ่งขยายตัวออกไปทางปลาย ปลอกจนวนนำสายเข้าหาตัวนำ ทั้งนี้เพราะความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณอื่น ทำนองเดียวกันปลายเคเบิลแรงสูงในรูปที่ 2-4 c) ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะเกิดที่บริเวณซิลด์โลหะซึ่งเป็นอิเล็กโทรดต่อดิน แล้วดิสชาร์จจะขยายตัวออกไปสู่ปลายเคเบิลวิ่งเข้าหาตัวนำเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้น

ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวที่เริ่มเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว อาจอธิบายได้ด้วยลักษณะของสมศักย์หรือศักย์ไฟฟ้าเท่า ในรูปทั้งสามกรณีค่าเปอร์เซ็นต์คิวิตีของฉนวนแข็งจะมีค่าสูงกว่าอากาศหลายเท่า ค่าความจุไฟฟ้า C_1 ย่อมมีค่ามากกว่า C_0 ฉะนั้นตามหลักโวลเตจไดโวลเตอร์ แรงดันตกคร่อมส่วนใหญ่จะอยู่ที่ C_0 นั้นหมายถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนนั้น จะมีค่าสูงกว่าเมื่อป้อนแรงดันถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวมีค่าเกินค่าวิกฤต ดิสชาร์จบางส่วนก็เริ่มเกิดขึ้น เมื่อแรงดันเพิ่มสูงกว่าค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด ดิสชาร์จจะเปลี่ยนจากโคโรนาไปเป็นดิสชาร์จแบบขนแปรงวิ่งกลับหน้าไปตามผิวฉนวนแข็ง ความเข้มของดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้าของฉนวนแข็ง C_1 ถ้าค่า C_1 ยิ่งมาก ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะยิ่งเพิ่มแรงมากขึ้น

ในกรณีของแรงดันกระแสสลับ กระแสดิซาร์จที่ไหลจากปลายดิซาร์จจนแปลงผ่านเนื้อฉนวนเป็นกระแสประจุ (Displacement current) ซึ่งจะทำให้ดิซาร์จตามผิวขยายตัวถี่ขึ้นได้ ในกรณีแรงดันกระแสตรงซึ่งค่าแรงดันคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ดิซาร์จตามผิวจะเกิดได้ยาก หรือไม่เกิดเลย เพราะไม่มีกระแสประจุ การเกิดดิซาร์จบางส่วนตามผิวจะขึ้นอยู่กับสภาพนำไฟฟ้าของผิวและของฉนวน สำหรับแรงดันอิมพัลส์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงรวดเร็วของแรงดันต่อเวลา du/dt นี้เป็นผลให้กระแสประจุมีค่าสูง ด้วยเหตุนี้เองการเกิดดิซาร์จบางส่วนตามผิวเนื่องจากแรงดันอิมพัลส์จึงมีพลังงานสูง จากรูปลักษณะและดิซาร์จบางส่วนตามผิว ทำให้สามารถทราบข้อและขนาดของแรงดันอิมพัลส์ได้

2.2.3 ดิซาร์จบางส่วนภายใน

ดิซาร์จบางส่วนภายในหมายถึง ดิซาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในเนื้อฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลว ที่มีโพรงหรือฟองก๊าซ หรือสิ่งเจือปนแปลกปลอมที่มีค่าเปอร้มิตติวดีต่ำกว่าในเนื้อฉนวนหลัก อันทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงหรือสิ่งเจือปนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าฉนวนรอบๆ ซึ่งอาจพิสูจน์ได้จากการวิเคราะห์ฉนวนที่มีค่าเปอร้มิตติวดีต่างกันวางซ้อนกัน ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเมื่อฉนวนซ้อนได้รับแรงดันถึงระดับหนึ่งแล้วจะทำให้โพรงก๊าซมีความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าวิกฤต และเกิดเบรกดาวน์ในโพรงก๊าซเช่นนี้จะทำให้ฉนวนโดยรอบเสียหาย เกิดการกัดกร่อน การฉนวนเสื่อมสภาพ อายุการใช้งานจะสั้นลง และในบางกรณีอาจนำไปสู่การเบรกดาวน์ได้ในที่สุด การวัดและประเมินค่าดิซาร์จบางส่วนภายใน จะใช้วิธีวิเคราะห์จากวงจรสมมูลดังที่จะได้กล่าวต่อไป

2.3 ผลของการเกิด PD

การเกิดดิซาร์จเป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์หลายอย่าง คือ

1) Electric phenomena

- dielectric losses
- Electric pulses

2) Electro magnetic radiation

3) Light

4) Heat

5) Noise

6) Gas pressure

7) Chemical transformations

2.4 ความสำคัญของการตรวจจับ PD

สิ่งที่ควรคำนึงถึงการตรวจสอบ PD

- 1) Detection ตรวจจับว่ามีหรือไม่มี PD ผลที่ได้คือ U_i (inception voltage)
- 2) Measurement หาขนาดของ PD โดยวิธี electric
- 3) Location ตำแหน่งที่เกิด (ยกตัวอย่าง Transformer, Cable, Transmission Line) ใช้ฟังเสียง ดูแสง
- 4) Evaluation PD ขนาดไหนจะเกิดอันตราย (ตัวอย่างในเคเบิลและในหม้อแปลง) $\leq 5\text{pC} \leq 500\text{pC}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การตรวจจับดิซาร์จบางส่วน

3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเกิดดิซาร์จบางส่วน

ดิซาร์จบางส่วนภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์โดยตรง ปริมาณของดิซาร์จบางส่วน จะวัดในเทอมของ “ประจุที่ปรากฏ” (Apparent Charge) เนื่องจากมาตรฐาน ทั่วๆ ไปนิยมการวัดปริมาณของดิซาร์จบางส่วนในเทอมนี้มากที่สุด การวัดดิซาร์จบางส่วนนี้จะไม่ รวมถึงดิซาร์จตามผิวและโคโรนาดิซาร์จ ซึ่งปกติจะวัดในเทอมของ “คลื่นรบกวนวิทยุ”

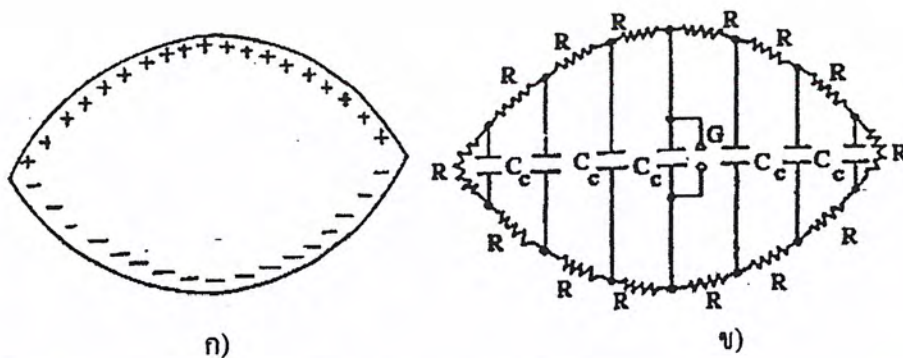
3.1.1 วงจรสมมูลดิซาร์จภายใน

โดยปกติแล้ววงจรสมมูลของดิซาร์จภายในนั้นจะหมายถึง วงจรสมมูลที่ใช้กับไฟฟ้า กระแสสลับ ถ้ากล่าวถึงดิซาร์จบางส่วนอย่างลอยๆ ก็ให้หมายถึงดิซาร์จภายใน วงจรสมมูลสำหรับ ฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขณะเกิดดิซาร์จบางส่วน อาจแทนด้วยตัวเก็บประจุ C_a, C_b, C_c และ แกป G ตามลำดับ โดยที่แกป G จะแทนการลัดวงจรขณะเกิดดิซาร์จบางส่วน, $C_a = C'_a + C''_a$ และ $C_b = C'_b C''_b / (C'_b + C''_b)$ ดังรูปที่ 3-1 ในทางปฏิบัติจะพบว่า $C_a \gg C_c \gg C_b$



รูปที่ 3-1 วงจรสมมูลของการเกิดดิซาร์จบางส่วนทั่วไป

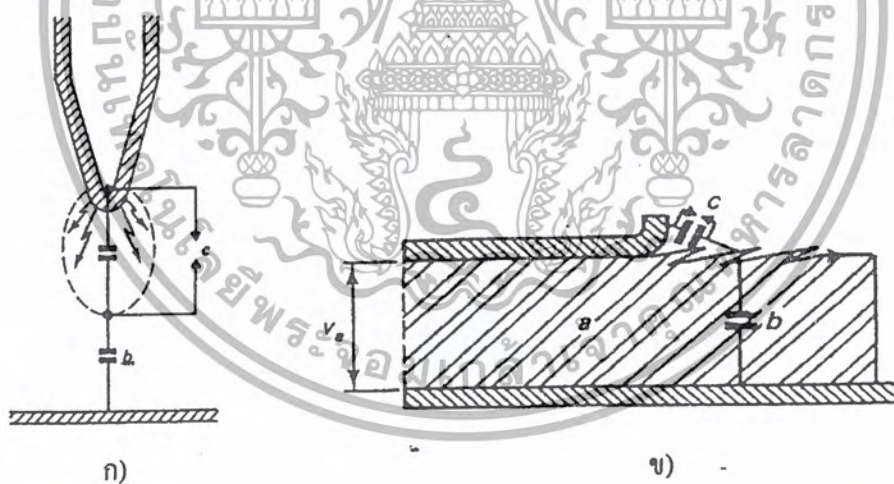
วงจรสมมูลในทางปฏิบัติของดิซาร์จบางส่วน เนื่องจากเกิดโพรงอากาศในเนื้อฉนวนแสดงดังรูปที่ 3-2 ซึ่งจะแสดงเฉพาะส่วนของโพรงอากาศและฉนวนที่อยู่ติดกับโพรงอากาศเท่านั้น โดยในรูปที่ 3-2 ก) แสดงการกระจายของประจุก่อนการเกิดเบรกดาวน์ ในรูปที่ 3-2 ข) แทนผิวของฉนวนรอบโพรงอากาศด้วยความต้านทานซึ่งมีค่าสูงมาก แทนโพรงอากาศด้วยตัวเก็บประจุต่างๆ และสปาร์กแกปตรงตำแหน่งที่จะเกิดเบรกดาวน์ ดังนั้นถ้าไม่คำนึงถึงผลของความต้านทานที่ผิว ผลที่ได้จึงใกล้เคียงกับวงจรสมมูลในรูปที่ 3-1 นั่นเอง



รูปที่ 3-2 (ก) การกระจายของประจุก่อนเกิดเบรกดาวน์

(ข) แทนผิวของฉนวนรอบโพรงอากาศด้วยค่า R และ C

แต่อย่างไรก็ตามวงจรสมมูลในรูปที่ 3-2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโคโรนาดีสชาร์จและดีสชาร์จตามผิวได้ โดยการแทนส่วนต่างๆของฉนวนหรืออากาศรอบๆด้วย C_a, C_b, C_c และแกป G ตามลำดับ ดังรูปที่ 3-3



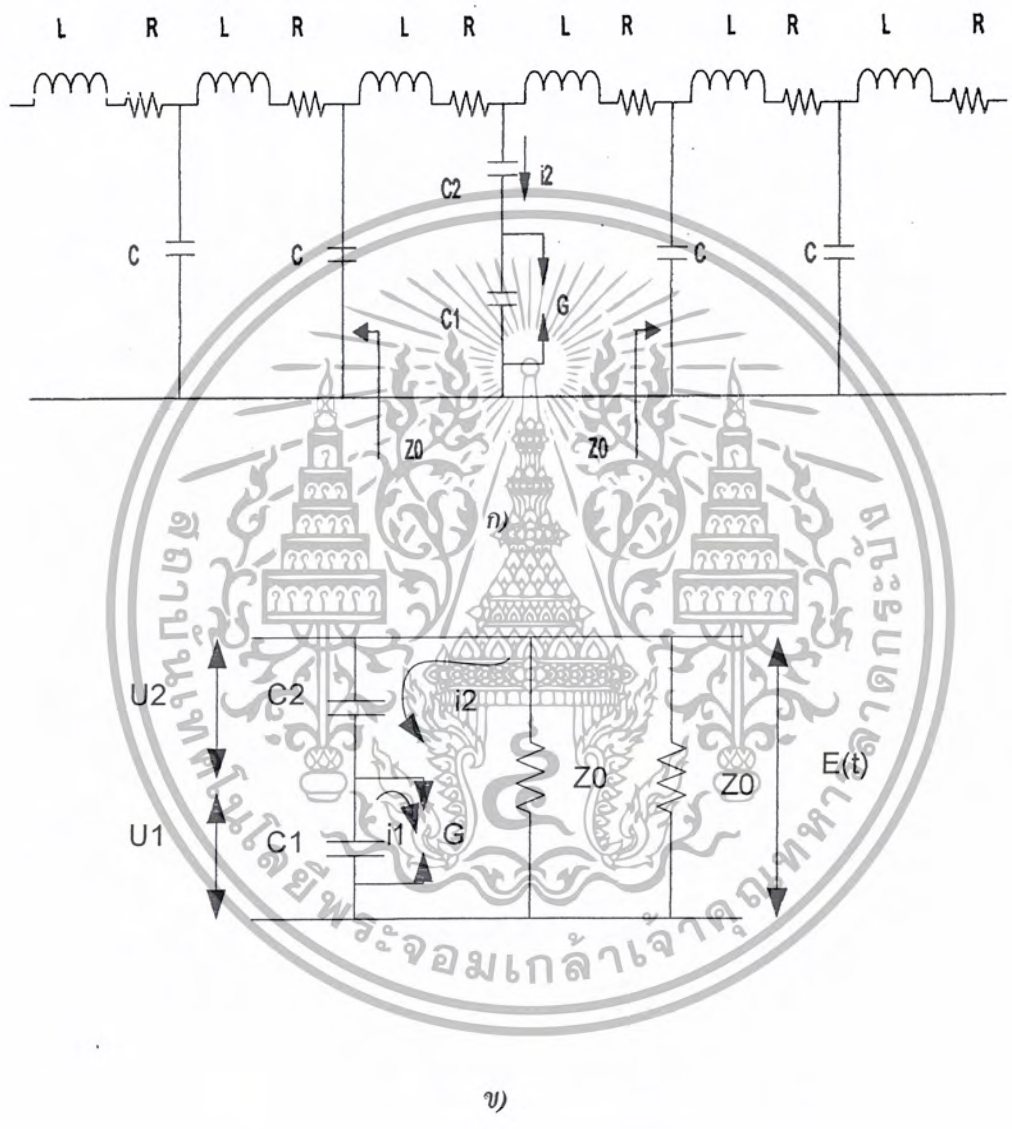
รูปที่ 3-3 วงจรสมมูลของโคโรนาดีสชาร์จและดีสชาร์จตามผิว

ก) การเกิดโคโรนาดีสชาร์จที่วัสดุปลายแหลม

ข) การเกิดโคโรนาดีสชาร์จตามผิว

การดิสซาร์จภายในสายเคเบิลไฟฟ้าแรงดันสูง

ลักษณะวงจรสมมูลการเกิดดิสซาร์จภายในสายเคเบิลไฟฟ้าแรงดันสูง เคเบิลส่วนที่ไม่เกิดดิสซาร์จบางส่วนจะแทนด้วยคาแรกเตอร์สติกอิมพีแดนซ์ Z_0 ฉนวนที่ติดอยู่กับโครงอากาศ จะแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า C_1 , C_2 และสปาร์กแกป G ตามลำดับ ดังแสดงในรูป

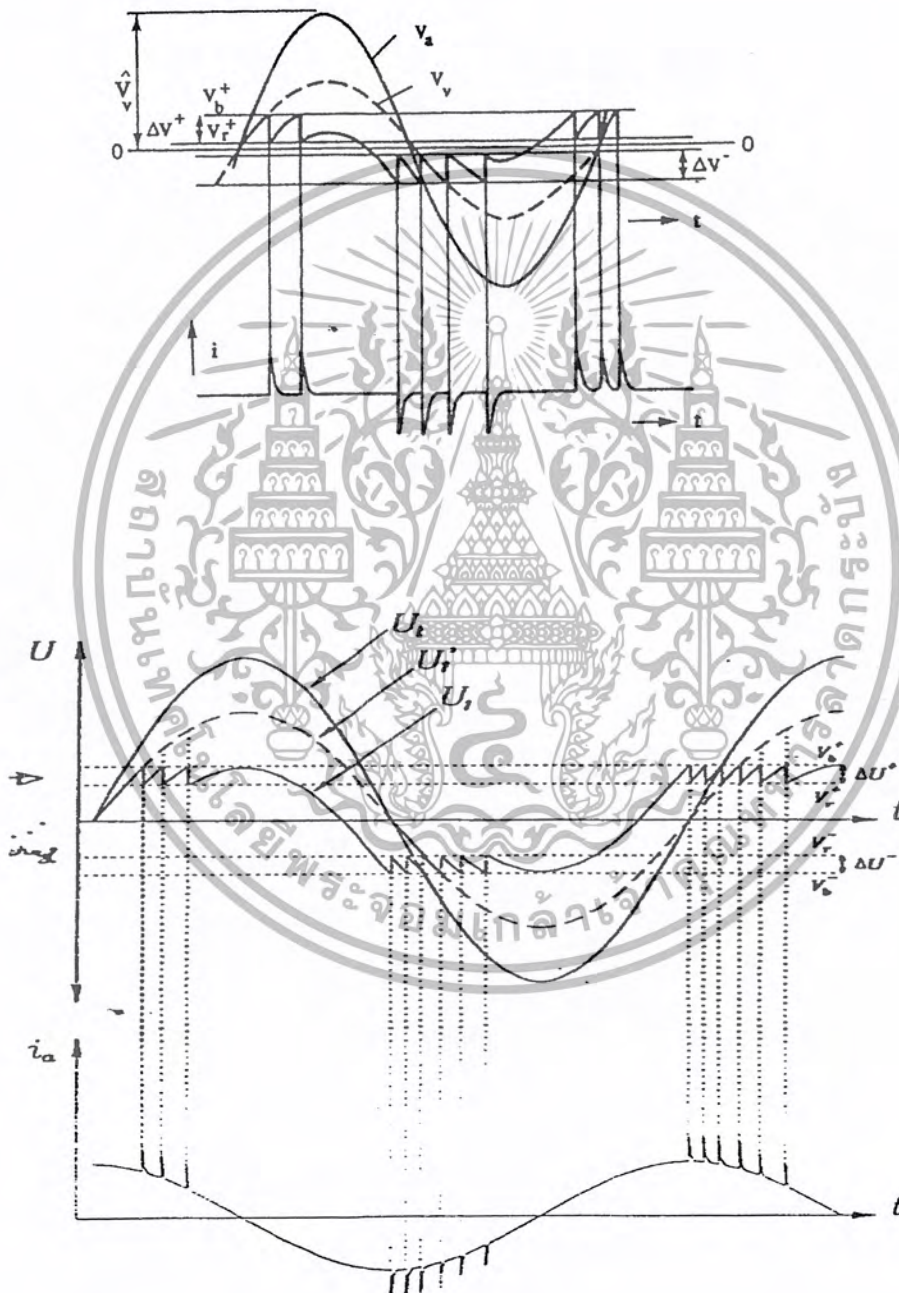


รูปที่ 3-4 วงจรสมมูลการเกิดดิสซาร์จบางส่วนในสายเคเบิล
ก) วงจรสมมูลของสายเคเบิล
ข) วงจรสมมูลของสายเคเบิลขณะเกิดดิสซาร์จบางส่วน

3.1.2 ธรรมชาติพัลส์ของคิซาร์จบางส่วน

3.1.2.1 การเกิดคิซาร์จซ้ำ

ในทางปฏิบัติคิซาร์จบางส่วน อาจเกิดซ้ำๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลา ดังรูปที่ 3-5 โดยที่ V_a คือแรงดันคร่อมขั้วของอุปกรณ์ V_b คือแรงดันเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส V_r คือแรงดันหลังการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส V_v คือแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊สถ้าไม่มีการเกิดคิซาร์จบางส่วนเลย และ i คือกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์



รูปที่ 3-5 รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมแก๊สและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์วัดขณะเกิด คิซาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้งการเกิดดิซาร์จบางส่วน สามารถคำนวณได้จากรูปที่ 3-5 โดยสมมติว่า ดิซาร์จบางส่วนเกิดแบบสมมาตรกับแกนเวลา ดังนั้นจำนวนดิซาร์จบางส่วนต่อครั้งคาบเวลา N คำนวณดังนี้

$$N = \frac{[(\hat{V}_v - V_r) - Y]}{V_b - V_r} \quad (3.1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนครั้งการเกิดดิซาร์จบางส่วนต่อครั้งคาบเวลา

V_b คือ แรงดันเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส

V_r คือ แรงดันหลังการเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส

$\hat{V}_v$ คือค่ายอดของแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊สถ้าไม่มีการเกิดของดิซาร์จบางส่วนเลขซึ่ง

เท่ากับ $[C_b/(C_b + C_c)]$ เท่าของค่ายอดของแรงดันคร่อมวัสดุทดสอบ

Y คือ แรงดันใดๆซึ่งมีค่า $0 \leq Y \leq (V_b - V_r)$

3.1.2.2 ลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วน

ลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วนในแก๊สเล็ๆ ในทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 3-6 กล่าวคือขณะเกิดดิซาร์จบางส่วน การไหลของกระแสผ่านแก๊สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวกผ่านแก๊สอื่นๆ เมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านแก๊สหมดกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็วและกระแสที่ลดลงนี้ยังคงไหลต่อไปอีกเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวก



รูปที่ 3-6 การเกิด ดิซาร์จบางส่วน จำในรูปของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในหนึ่งคาบเวลา

รูปที่ 3-6 แสดงลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วน ในทางทฤษฎีสำหรับแก๊สเล็ๆ ลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วนในทางปฏิบัติ ซึ่งวัดโดยเครื่องตรวจจับ ดิซาร์จบางส่วนแบบแถบกว้างพิเศษ (Ultra-wide band detector = UWB) ใน Epoxy และปลายแหลมในก๊าซ SF_6 จะให้ลักษณะรูปร่างเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 3-7 จะพบว่ามีความถี่ขึ้นประมาณ 0.3 ถึง 0.8 นาโนวินาที ความกว้างของพัลส์ที่ขนาดลดลงครั้งหนึ่ง ประมาณ 1.5 นาโนวินาที จากรูปที่ 3-7 สามารถประมาณลักษณะรูปร่างของกระแส ดิซาร์จบางส่วน เป็นรูป “Gaussian” คือ $i(t)$ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

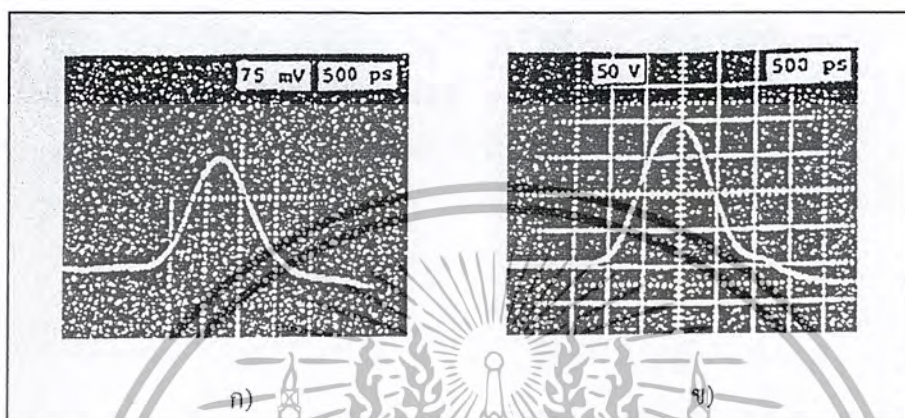
$$i(t) = I_0 \text{EXP}[-t^2/2\sigma^2] \quad (3.2)$$

ดังนั้นสเปกตรัมความถี่ของกระแส ดิสชาร์จบางส่วน คำนวณได้ดังนี้

$$I(w) = I_0 \sigma (2\pi)^{1/2} \text{EXP}(-W^2 \sigma^2 / 2) \quad (3.3)$$

โดยกำหนดความกว้างของพัลส์เท่ากับ 2.36σ และ I_0 คือค่ายอดของกระแส ดิสชาร์จบางส่วน ดังนั้น $\sigma \approx 6.36 \times 10^{-10} \text{ s}$

ซึ่งการคำนวณพบว่าสเปกตรัมของความถี่มากกว่า 200 MHz



รูปที่ 3-7 ลักษณะกระแส ดิสชาร์จบางส่วน ที่ตรวจจับได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ UWB

ก) กระแส ดิสชาร์จบางส่วน ที่เกิดใน Epoxy

ข) กระแส ดิสชาร์จบางส่วน ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในก๊าซ SF₆

จากการค้นคว้าเอกสารต่างๆเกี่ยวกับช่วงเวลากการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ในฉนวนแข็งและเหลวที่มีโพรงอากาศภายใน จะพบว่ากระแสพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วน จะมีช่วงเวล < 5 นาโนวินาที เพราะว่าดิสชาร์จบางส่วน เกิดในที่แคบๆ ฉนวนเนื้อเดียว เช่น แก๊สจะมีช่วงเวลขึ้น < 5 นาโนวินาทีและเวลาส่วนทางคลื่นจะยาวกว่าช่วงเวลขึ้น สำหรับในอากาศกระแสพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วน มีช่วงเวลากการเกิดน้อยกว่า 100 นาโนวินาที

3.1.2.3 พลังงานดิสชาร์จบางส่วน

พลังงานดิสชาร์จภายในของวัสดุทดสอบ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W = 0.7qV_1$$

เมื่อ W คือ พลังงานดิสชาร์จ

q คือ ประจุที่ปรากฏของดิสชาร์จบางส่วน

V_1 คือ แรงดันเริ่มต้นเกิดดิสชาร์จบางส่วน (ค่า rms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

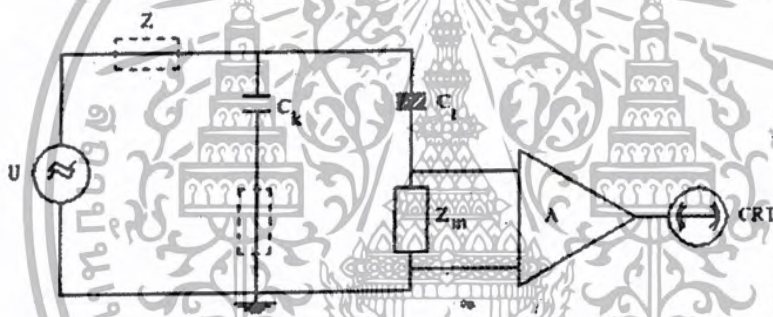
พลังงานดิสชาร์จบางส่วนนี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบฉนวนได้ เช่น $V_1 = 10$ กิโลโวลต์ และ $q = 10$ พิโคคูลอมบ์ ดังนั้น $W = 7 \times 10^{-8}$ จูล ซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากพลังงานจำนวนนี้ปล่อยออกมาขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน ในช่วงเวลา $< 10^{-8}$ วินาที และเกิดในที่แคบๆ ทำให้ความหนาแน่นพลังงานบริเวณนั้นสูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

3.2 หลักการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน โดยการสังเกตหรือวัดผลที่ปรากฏการณ์ต่างๆ ของดิสชาร์จบางส่วน อย่างไรก็ตามการวัดผลของดิสชาร์จบางส่วน ในเชิงปริมาณที่ได้ผลดีที่สุดคือ การวัดผลทางไฟฟ้าโดยวิธีการตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์

3.2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน ด้วยวิธีตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน

U คือ แหล่งจ่ายแรงดันสูง A คือ วงจรขยายสัญญาณ
 C_t คือ วัสดุทดสอบ CRT คือ ภาควัดผล
 C_k คือ ตัวเก็บประจุกับปลิง Z คือ ตัวกรอง
 Z_m คือ อิมพีแดนซ์วัด

เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายมีค่าสูงมากขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน ดังนั้นจึงต้องมีตัวเก็บประจุกับปลิงเป็นทางผ่านของกระแสพัลส์หรือคัปปลิงสัญญาณ

3.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

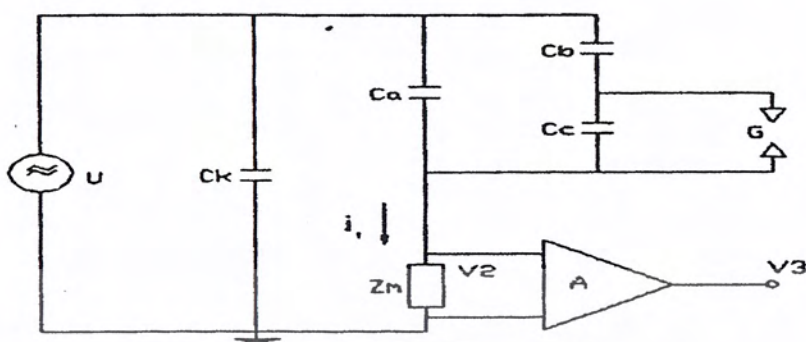
จากวงจรพื้นฐานในรูปที่ 3-8 จะแทนวัสดุทดสอบ C_t ด้วยวงจรสมมูล ซึ่งประกอบด้วย C_s, C_p, C_e และแกป G ดังรูปที่ 3-9 ก) เนื่องจากเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแกปจะใช้เวลาในการเกิดน้อยกว่า 10^{-7} วินาที ซึ่งถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับคาบเวลาของแหล่งจ่าย ดังนั้นจึงอาจแทนแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแกป V_c ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปขั้น ดังรูปที่ 3-9 ข) คือ

$$V_c \approx \Delta V U(t) \quad (3.5)$$

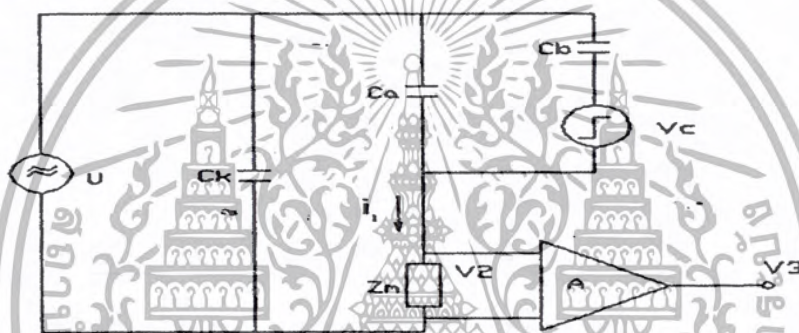
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ΔV คือ แรงดันตกคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ส

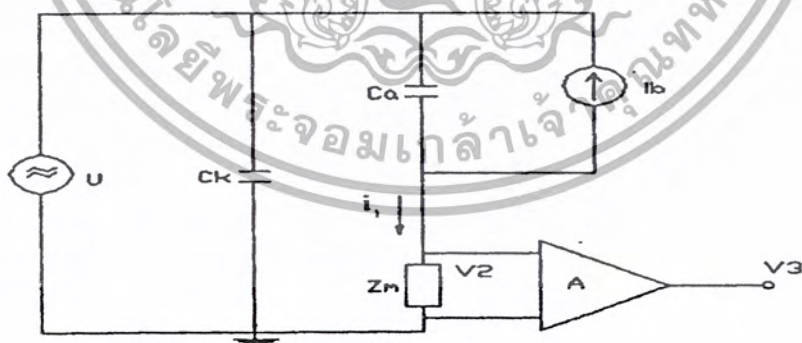
$U(t)$ คือ ฟังก์ชันรูปขั้น (Unit Step Function)



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 3-9 แทน ดิซาร์จบางส่วน ด้วยวงจรสมมูลแบบต่างๆ

ก) แทนวัสดุทดสอบ C_k ด้วยวงจรสมมูลที่ประกอบด้วย C_a, C_b, C_c และแก๊ส G

ข) แทน C_c และ G ด้วยแรงดันรูปขั้น คือ $V_c \approx \Delta V U(t)$

ค) แทน C_b และ V_c ด้วยแหล่งจ่ายกระแสพัลส์ $i_b \approx q\delta(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวงจรในรูปที่ 3-9 ข) ก็คือ “วงจรพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบ” เนื่องจากโดยปกติแล้ว $C_a \gg C_b$ ดังนั้นเมื่อมองอิมพีแดนซ์จากแหล่งจ่ายแรงดัน V_c จะมองเห็นอิมพีแดนซ์รวมประมาณของ C_b จึงสามารถประมาณได้ว่า

$$i_b = C_b d \frac{V_c}{dt} \approx C_b \Delta V \delta(t) \quad (3.6)$$

เมื่อ $\delta(t)$ คือ “Unit Impulse Function”

ถ้านิยามให้ $q = C_b \Delta V = \int_0^\infty i_b dt$ คือ ประจุที่ปรากฏของ ดิสชาร์จบางส่วน จากนั้นเมื่อแทนค่า

$q = C_b \Delta V$ ในสมการ (3.6) จะได้

$$i_b \approx q \delta(t) \quad (3.7)$$

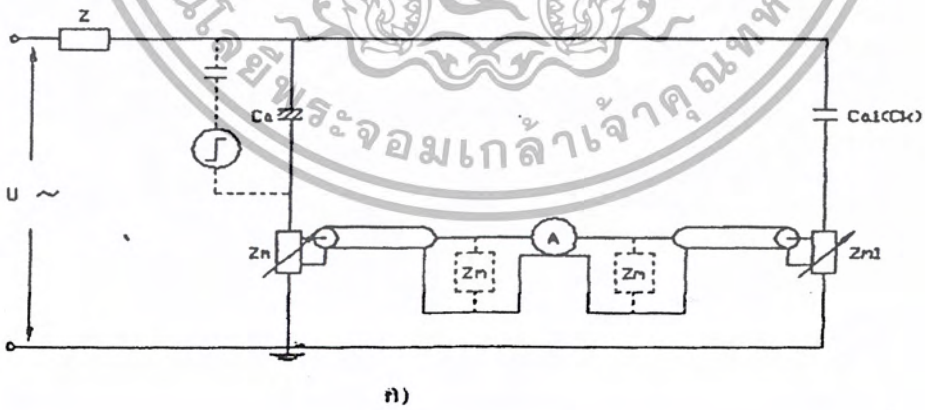
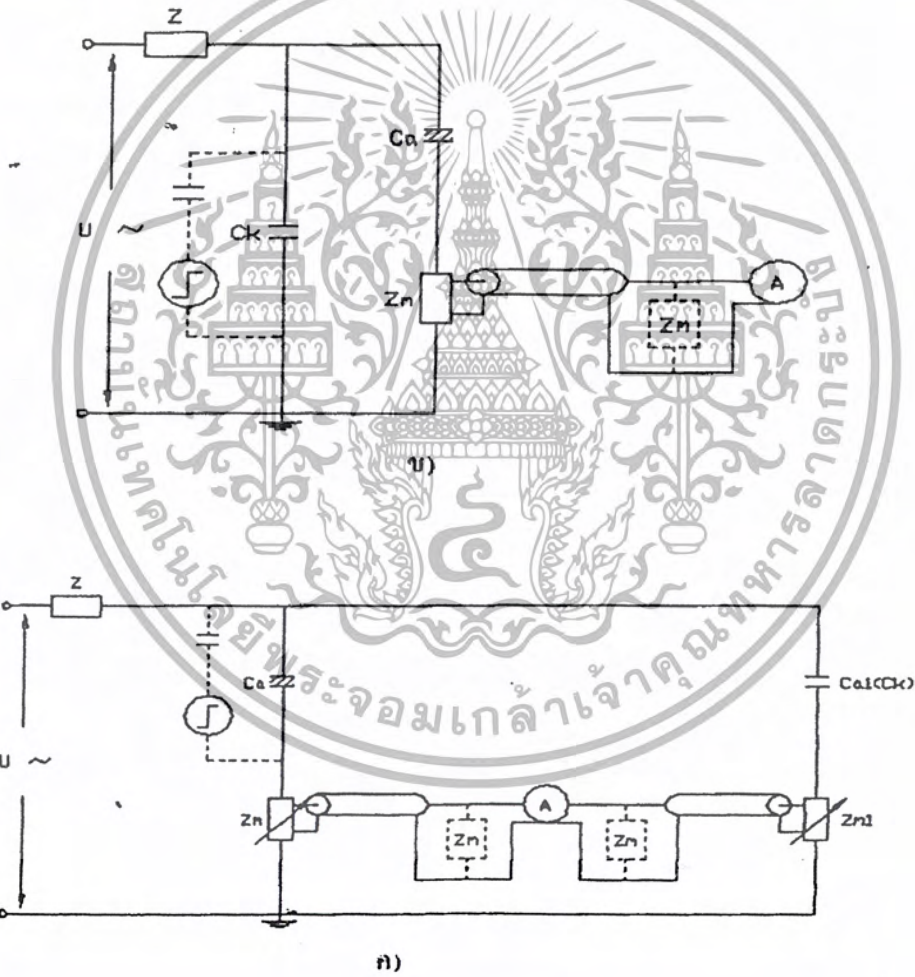
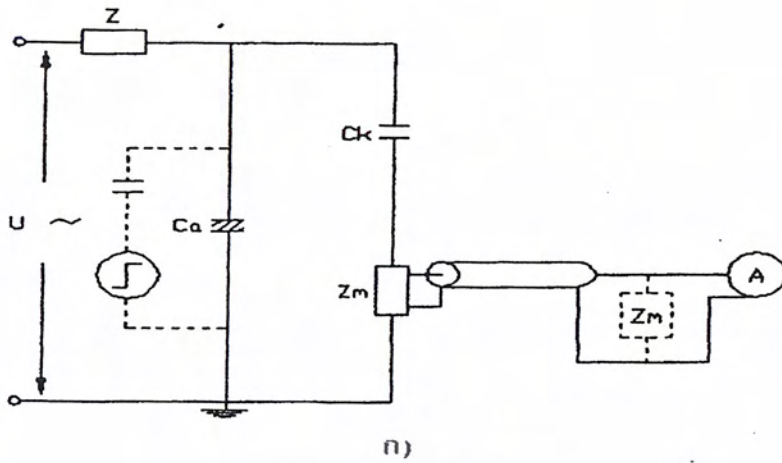
ในรูปที่ 3-9 ค) แทนการเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วยแหล่งจ่ายกระแสอิมพัลส์ ในทางปฏิบัติจะพบว่ากระแสพัลส์ i_b มีช่วงเวลาเกิด ≤ 5 นาโนวินาที สำหรับฉนวนแข็งและเหลว

3.3 เทคนิคการวัดดิสชาร์จบางส่วน

3.3.1 การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป

โดยปกติวัสดุทดสอบทั่วไป อาจแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุชนิดองค์ประกอบแบบสลับปหรือตัวเก็บประจุธรรมดา วงจรทดสอบ ดิสชาร์จบางส่วน ตามมาตรฐานต่างๆจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ในที่นี้ใช้วงจรทดสอบตามมาตรฐาน IEC 270 โดยรูปที่ 3-10 ก) และรูปที่ 3-10 ข) เป็นวงจรทดสอบแบบวิธีตรงข้อดีของวงจรรูปที่ 3-10 ก) คือชั่วแรงดันต่ำของวัสดุทดสอบต่อลงกราวด์โดยตรง ในกรณีวัสดุทดสอบเกิดการเบรกดาวน์อิมพีแดนซ์จะไม่ได้มีความเสียหาย ข้อดีของวงจรในรูปที่ 3-10 ข) จะให้ความไวในการวัดสูงกว่าแบบแรกในกรณีที่วัสดุทดสอบมีขนาดเล็ก เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุทดสอบแบบสเตรย์จะทำให้ตัวเก็บประจุคัปปลิงมีค่าเพิ่มเล็กน้อย ในรูปที่ 3-10 ค) เป็นวงจรทดสอบแบบสมดุล วงจรแบบนี้จะมีข้อได้เปรียบในเรื่องการลดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายหรือสัญญาณแบบ “คอมมอนโหมด”

นั่นเอง



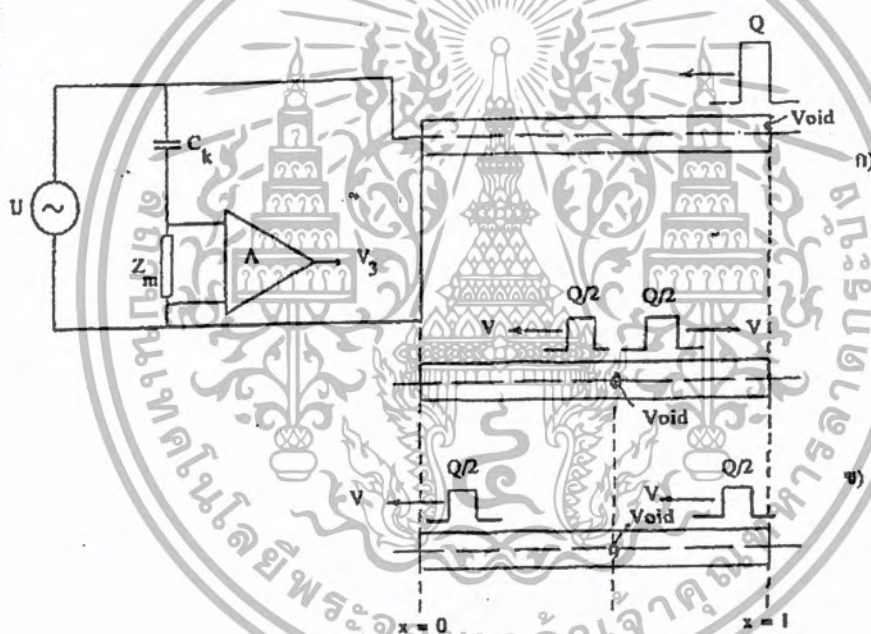
รูปที่ 3-10 วงจรทดสอบดีสชาร์จ์บางส่วนแบบต่างๆตามมาตรฐาน IEC 270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเทียบวงจรทดสอบโดยปกติจะทำก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ โดยใช้เครื่องปรับเทียบดิซาร์จมาตรฐานในการป้อนกระแสพัลส์สั้นๆ ที่มีประจุ (Pulse Area) ซึ่งทราบค่าที่แน่นอนที่ชั่วทั้งสองของวัสดุทดสอบ (เส้นประ) หลังจากทำการปรับเทียบเสร็จแล้วควรเอาเครื่องปรับเทียบดิซาร์จมาตรฐานออกก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ

3.3.2 การวัดดิซาร์จบางส่วนสำหรับสายเคเบิล

การวัดดิซาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิล ถ้าเป็นเคเบิลสั้นการวัดดิซาร์จบางส่วนจะทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 แต่สำหรับเคเบิลยาวนั้นเราจะพิจารณาเคเบิลยาวเป็นลักษณะสายส่งคือดิซาร์จบางส่วนจะทำให้เกิดคลื่นจรเคลื่อนที่ออกไปที่ปลายทั้งสองด้านของเคเบิล วงจรทดสอบแสดงดังรูปที่ 3-11 โดยรูปที่ 3-11 ก) แสดงการเกิด ดิซาร์จบางส่วน ที่ปลายด้านไกล ($x = l$) ของเคเบิล ส่วนในรูปที่ 3-11 ข) แสดงการเกิด ดิซาร์จบางส่วน ที่จุดใดๆภายในเคเบิล

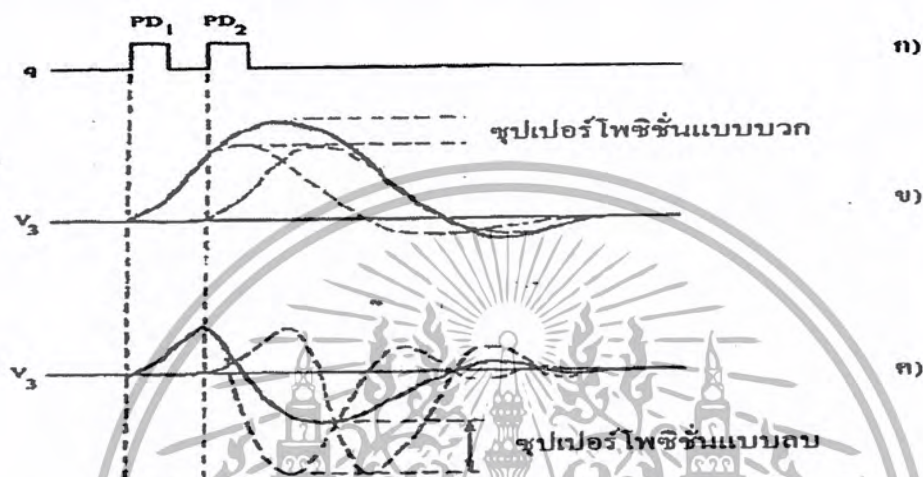


รูปที่ 3-11 การเกิดคลื่นจรขณะเกิด ดิซาร์จบางส่วน ในเคเบิลยาว

ขณะเกิดดิซาร์จบางส่วนจะทำให้คลื่นจรถูกแรกเคลื่อนที่ไปที่เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วนโดยตรง ในขณะที่คลื่นจรที่สองจะเคลื่อนที่ไปปลายด้านไกลก่อนแล้วจึงจะสะท้อนกลับมาที่เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วนในเวลาไล่เลี่ยกัน ผลอันนี้ทำให้เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วน วัดค่าผิดพลาดเนื่องจาก ผลการเกิดรูปเปอร์โพซิชั่นของคลื่นจรที่เกิดขึ้น ในกรณีที่เกิดรูปเปอร์โพซิชั่นแบบบวกจะทำให้ค่าที่อ่านได้มากกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง (ไม่เกิน 2 เท่าของค่าปกติ) ซึ่งเป็นกรณีที่ยอมรับได้ สำหรับกรณีที่คลื่นจรเกิดรูปเปอร์โพซิชั่นแบบลบจะทำให้ค่าดิซาร์จบางส่วนที่อ่านได้น้อยกว่าค่าของ

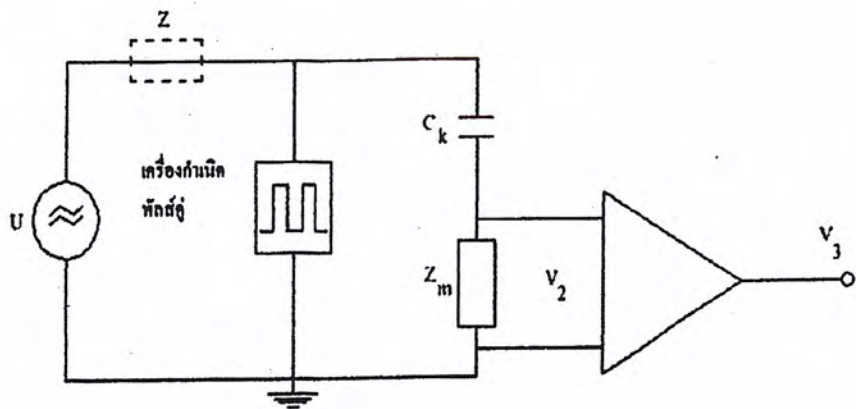
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิศจารังบางส่วนที่เกิดขึ้นจริง กรณีนี้เป็นที่ยอมรับไม่ได้ การทดสอบคิศจารังบางส่วนต้องมีการหลีกเลี่ยง ผลอันนี้ วิธีการแก้ปัญหาที่ง่าย ประหยัดและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ทำได้โดยการใช้เครื่องตรวจจับ คิศจารังบางส่วน แบบแถบกว้าง ซึ่งให้เอาต์พุตเป็นแบบ “ α -response” ดังนั้นขณะที่มีการสะท้อนของ คลื่นจรรจะทำให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบบวกเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 3-12 ก) ส่วนเครื่องตรวจจับคิศจารัง บางส่วน แบบอื่นจะให้เอาต์พุตแบบ “ β -response” ทำให้มีโอกาสเกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบได้ แสดง ดังรูปที่ 3-12 ข) จึงควรหลีกเลี่ยงเครื่องตรวจจับแบบนี้ในการทดสอบสายเคเบิลยาว



รูปที่ 3-12 การเกิดชุปเปอร์โพสิชันสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ คิศจารังบางส่วน แบบต่างๆ

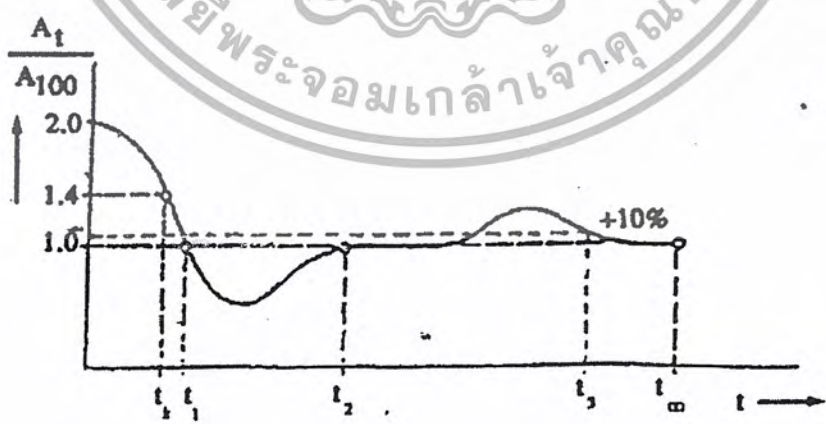
ในการทดสอบสายเคเบิล เช่น NEMA publ. No. W8-1976 (ICEA publ. No. 5-68-516) และ IEC publ. No. 885-3 ได้กำหนดการตรวจสอบคุณสมบัติชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ คิศจารังบางส่วน สำหรับใช้ในการทดสอบเคเบิล ซึ่งวงจรทดสอบดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3-13 โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “เครื่องกำเนิดพัลส์คู่” ในการจำลองคลื่นจรรลักษณะเดียวกันกับที่เกิดในเคเบิล แต่สามารถปรับระยะเวลา ของคลื่นจรรทั้งสองที่เวลาต่างๆตั้งแต่ 0.2 ถึง 100 ไมโครวินาที แล้วเขียน “ไดอะแกรมพัลส์คู่” เพื่อดู ลักษณะการเกิดชุปเปอร์โพสิชันคลื่นจรรที่เวลาต่างๆ ในรูปที่ 3-14 แสดงไดอะแกรมพัลส์คู่ที่เกิดชุปเปอร์ โพสิชันแบบลบในช่วงเวลา t_1 และ t_2 (β -response) อย่างไรก็ตาม IEC publ. No. 885-3 ขอมให้เกิด ชุปเปอร์โพสิชันแบบลบได้ไม่เกิน 10% ส่วน NEMA publ. No. WC8-1976 ขอมให้เกิดการรวมกันแบบ ลบได้ไม่เกิน 15% นอกจากนี้ NEMA ยังกำหนดอีกด้วยว่า “เวลาแยกชัด” (Pulse Resolution Time) ของ เครื่องตรวจจับ คิศจารังบางส่วน ควรมีค่าประมาณ 4 ถึง 6 ไมโครวินาที (เวลาแยกชัดจะคิดที่เวลาที่ทำให้ เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบบวกไม่เกิน 10%)



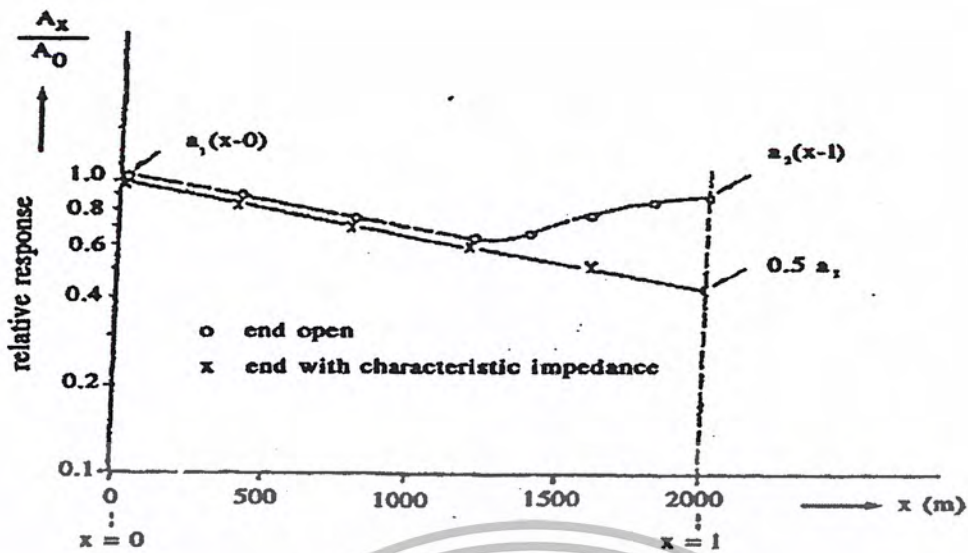
รูปที่ 3-13 วงจรตรวจสอบคุณสมบัติซูเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ ดิสอาร์บางส่วน

การพิจารณาว่าสายเคเบิลที่ทดสอบเป็นแบบเคเบิลยาวหรือเคเบิลสั้นนั้น จะพิจารณาที่ระยะ $x = l_k$ เป็นเกณฑ์ คือ ถ้า $x = l_k$ จะถือว่าเป็นเคเบิลยาว โดยที่ $l_k = 0.5vt_k$ เมื่อ v คือ ความเร็วของคลื่นจร (150 ถึง 170 เมตรต่อไมโครวินาทีสำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวนชนิด XLPE) และ t_k คือเวลาที่เกิดซูเปอร์โพสิชันแบบบวกเท่ากับ 1.4 เท่าของค่าปกติ

ในทางปฏิบัติจะพบว่า ในการทดสอบเคเบิลยาวจะมีผลการสูญเสียพลังงานของคลื่นจรมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย คือขณะที่คลื่นจรมเคลื่อนที่ไปจะทำให้มีขนาดลดลงเรื่อยๆ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาด สำหรับ IEC publ. No. 885-3 จะยอมให้ค่าที่อ่านได้ในกรณีนี้เมื่อรวมผลของซูเปอร์โพสิชันเข้าไปด้วย จะต้องผิดพลาดน้อยกว่าความเป็นจริงไม่เกิน 30% ในรูปที่ 3-15 แสดงไดอะแกรมพัลส์คู่ เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิลเข้าไปด้วย



รูปที่ 3-14 ไดอะแกรมพัลส์คู่ของเครื่องตรวจจับ ดิสอาร์บางส่วน แบบต่างๆ

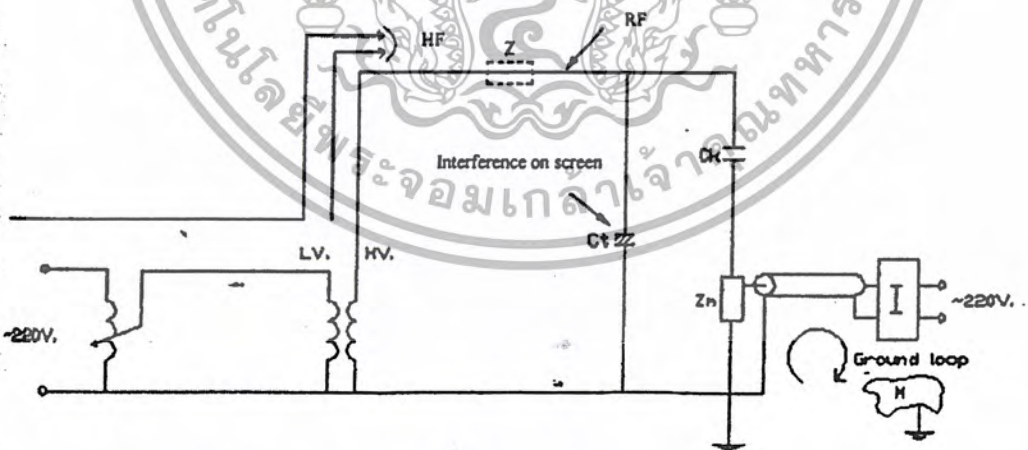


รูปที่ 3-15 ไดอะแกรมพัลส์สัญญาณเมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิล

3.4 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน

3.4.1 สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบในการวัดคลื่นบางส่วน

สัญญาณรบกวนจะประกอบด้วย สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางอากาศ และทางแหล่งจ่าย นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากการดิสร่างของอุปกรณ์ที่เป็นโลหะและวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบ หรือกราวด์ไม่ดี การเกิดกราวด์ลูป (Ground Loop) และเกิดสัญญาณฮิสเทรีซิสเนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ไม่ดี (หลวม) เป็นต้น รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3-16



รูปที่ 3-16 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ

HF คือ สัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายได้แก่ ฮาร์โมนิกสูงๆจากเมน โดยตรงจาก อุปกรณ์พวกไทรสเตอร์ และ ดิสชาร์จบางส่วน จากหม้อแปลงทดสอบ เป็นต้น

RF คือ คลื่นรบกวนวิทยุซึ่งอาจจะเป็นคลื่นวิทยุโดยตรง คลื่นรบกวนจากอุปกรณ์ ไฟฟ้าแรงสูง หรือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่อยู่ใกล้เคียง

EMP คือ สัญญาณรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากการทำงานของ สวิตช์หรือไทรสเตอร์ Interference on screen คือสัญญาณรบกวนที่สกรีนหรือที่ขั้วแรงดันต่ำของวัสดุทดสอบที่มีสกรีนขนาดใหญ่ เช่น เคเบิล เป็นต้น

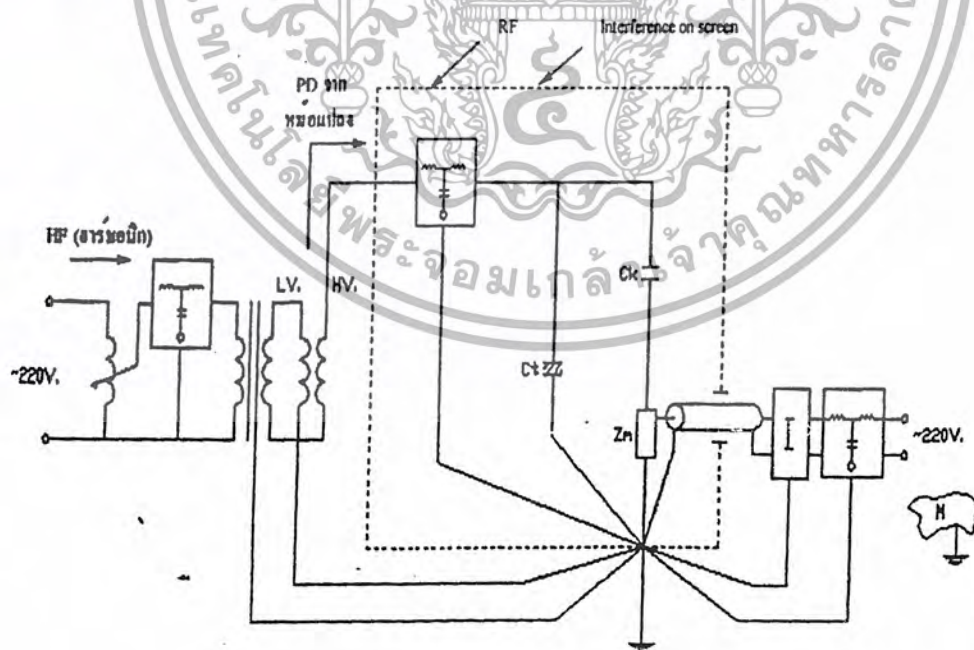
Ground Loop คือ การเกิดครบวงจรของสายดิน

Ungrounded metal (M) คือ การดิสชาร์จของพวกโลหะที่ไม่ได้ต่อลงดินวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบ

3.4.2 การลดสัญญาณรบกวน

3.4.2.1 การลดสัญญาณรบกวนโดยตรง

การลดสัญญาณความถี่สูง เช่น พวก ฮาร์โมนิกสูงๆ จะใช้ตัวกรองแรงดันต่ำ และอาจจะเพิ่มหม้อแปลงขดลวดแยกช่วยด้วยก็ได้ โดยต่อไว้ทางด้านขดลวดแรงดันต่ำของหม้อแปลงทดสอบ ในกรณีที่เกิด ดิสชาร์จบางส่วน ในหม้อแปลงทดสอบจะต้องใช้ตัวกรองแรงดันสูงต่อทางด้านขดลวดแรงดันสูงของ หม้อแปลงทดสอบ การลดสัญญาณรบกวน RF และ EMP ซึ่งเข้ามาทางอากาศ ทำได้โดยการทดสอบใน ห้องชีลด์ การแก้ปัญหาเรื่องกราวด์ลูปทำได้โดยการต่อกราวด์ร่วมกันเพียงจุดเดียว ตัวอย่างการแก้ปัญหา สัญญาณรบกวนในข้อ 3.4.1 แสดงในรูปที่ 3-17



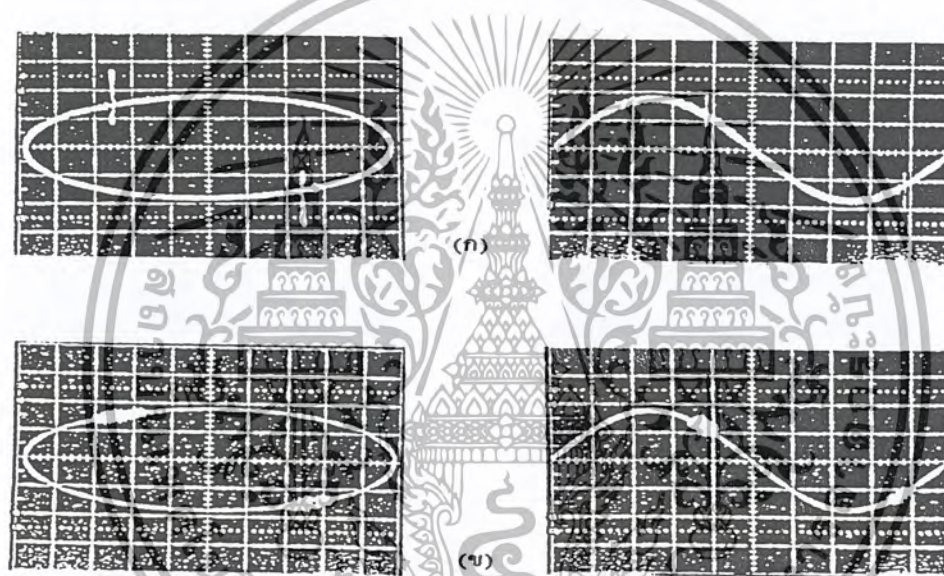
รูปที่ 3-17 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ

การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่นมีหลายวิธีด้วยกัน ที่นิยมใช้กันมากคือ

- 1) วงจรทดสอบแบบสมดุ ใช้ลดสัญญาณรบกวนแบบ “คอมมอนโหมด” เช่น สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางแหล่งจ่าย เป็นต้น
- 2) การลดสัญญาณรบกวนโดยวิธี “หน้าต่างเวลา” (Time Window Method) วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน โดยจะลดสัญญาณรบกวนที่ซิงโครไนซ์ กับความถี่ของแหล่งจ่ายเท่านั้น เช่น สัญญาณรบกวนเนื่องจากการทำงานของไทรสเตอร์ เป็นต้น ด้วยการสวิตซ์ตัดหรือเปิดวงจรตรงตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวน เพื่อไม่ให้ไปปรากฏที่เอาต์พุตของเครื่องจับ ดิสชาร์จบางส่วน รูปที่ 3-18 ก) แสดงตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากไทรสเตอร์ รูปที่ 3-18 ข) แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยวิธี “หน้าต่างเวลา” และเพิ่มความสว่างของจอภาพ ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อบอกตำแหน่งของ “หน้าต่างเวลา” ให้ทราบ



รูปที่ 3-18 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี “หน้าต่างเวลา”

3.5 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน

ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน ตามมาตรฐาน IEC 270

- 1.) เวลาแยกตัวของเครื่องตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน $100 \mu\text{sec}$ ในกรณีที่ไมเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการซ้อนทับของพัลส์ ดิสชาร์จบางส่วน
- 2.) เครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐาน ใช้สำหรับจ่ายกระแสพัลส์มาตรฐาน กำหนดให้ใช้แรงดันที่มีช่วงเวลานขึ้นไม่เกิน $0.1 \mu\text{sec}$ และลดลงด้วยค่าคงตัวเวลาอยู่ในช่วง $100 - 100 \mu\text{sec}$
- 3.) ความไวของเครื่องตรวจจับ จะต้องมีความสามารถตรวจจับพัลส์ต่ำสุดเป็น 2 เท่าของสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) เครื่องกำเนิดพัลส์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ
ดิซาร์จบางส่วน นั้นต้องสามารถสร้างพัลส์ขนาดเท่ากัน 2 พัลส์ ซึ่งมีช่วงเวลาขึ้นไมเกิน
20 nsec และมีความกว้างของพัลส์จากค่า 10 % ของหน้าคลื่นถึงหางคลื่นต้องไม่เกิน 150
nsec โดยทั้ง 2 พัลส์นี้สามารถปรับระยะห่างได้อย่างน้อย 0.2 – 100 μ sec สำหรับเอาท์พุท
อิมพีแดนซ์ปกติประมาณ 50 – 60 Ω ตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับเทียบต้องมีค่าไม่เกิน 150
pF สำหรับการทดสอบในเคเบิล
- 5.) เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วนที่ใช้ในการทดสอบเคเบิล ยอมให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันทาง
ลบได้ไม่เกิน 10% ในกรณีที่เกิน 10 % จะต้องนำผลอันนี้มาพิจารณาในการวัดด้วย

ระบบวัดดิซาร์จบางส่วนสำหรับวัดประจุที่ปรากฏ(Apparent Charge)

- 1) ระบบวัดประจุปรากฏ(q)นี้จะวัดเฉพาะค่ายอดพัลส์ของ PD ที่มีค่าสูงสุดและเกิดซ้ำๆทุก
คาบเวลาความถี่ที่ใช้ของแรงดันทดสอบ การอ่านค่าของอุปกรณ์วัดจะใช้หลักการ
เดียวกันกับวงจรตรวจจับค่าขอบแบบอะนาล็อกที่มี Electric Charge Time Constant สั้นมาก
และมี Electric Discharge Time Constant ≤ 0.44 วินาที การตอบสนองของระบบวัดที่มีต่อ
พัลส์ของ PD ที่มีระยะห่างระหว่างพัลส์เท่ากันที่ถูกป้อนด้วย Pulse Repetition Frequency, N
จะทำให้ค่าที่ระบบวัดอ่านได้
- 2) ระบบวัด PD แบบกว้าง จะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆของ Transfer
Impedance, $Z(f)$ ดังนี้

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

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

$$100 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 400 \text{ kHz}$$
- 3) ระบบวัด PD แบบแคบ จะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆของ Transfer
Impedance, $Z(f)$ ดังนี้

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

$$50 \text{ kHz} \leq f_m \leq 1 \text{ MHz}$$

โดยที่ f_m สามารถปรับค่าได้ และกำหนดให้ขนาดของ $Z(f)$ ที่ความถี่ $f_m \pm \Delta f$ มีค่าลดลง
ต่ำกว่าค่ายอดสูงสุดที่อยู่ในช่วง Pass-band 20 dB

- 4) ความเป็นเชิงเส้นของระบบวัดยอมให้ Scale Factor, k ผิดพลาดได้น้อยกว่า 5%

ระบบวัด PD แบบดิจิตอลสำหรับวัดประจุที่ปรากฏ

ระบบนี้จะต้องใช้หลักการระบบวัดแบบอะนาล็อกที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนภาคดิจิตอลนั้นจะวัด
ประจุที่ปรากฏโดยใช้ Digital Acquisition ในการอ่านข้อมูลสัญญาณเพื่อนำไปแสดงผลวิเคราะห์ต่อไป

- 1) ข้อกำหนดต่ำสุดของระบบวัด PD แบบดิจิตอล คือ ต้องสามารถแสดงผลค่าประจุที่ปรากฏ

ได้ โดยค่าที่อ่านได้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น โดยเวลาแสดงผลใหม่แต่ละครั้งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Display ต้องไม่เกิน 1 วินาที และในกรณีที่มีการใช้ Bipolar Sensitivity Threshold นั้น จะต้องมีการบันทึกค่า Threshold Level ด้วย

- 2) ข้อกำหนดในการวัดขนาดแรงดันและมุมเฟสของแรงดันทดสอบ ถ้าระบบวัดนี้สามารถวัดระดับแรงดันของแรงดันทดสอบได้ ค่าที่อ่านได้จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน IEC 60060-2 (1994) และถ้าระบบวัดนี้มีความสามารถวัดมุมเฟสของแรงดันทดสอบได้ จะยอมให้มุมเฟสผิดพลาดได้ไม่เกิน 5 % และถ้าหากระบบวัดนี้สามารถวัด Instantaneous Value ของแรงดันทดสอบได้ ค่าที่อ่านได้ยอมให้ผิดพลาดได้น้อยกว่า 5 % ของค่ายอดแรงดันทดสอบ Quantization ของแรงดันทดสอบจะต้องมี Resolution อย่างน้อย 8 บิต และต้องมีอัตราการชักตัวอย่าง (Sample Rate) ไม่น้อยกว่า 100 ตัวอย่างใน 1 คาบเวลาของความถี่แรงดันทดสอบ

เครื่องปรับเทียบดิซาร์จมาตรฐาน

- 1) แรงดันรูปขึ้น U_0 ต้องมีช่วงเวลานขึ้น $t_r \leq 60$ ns และกรณีเครื่องปรับเทียบดิซาร์จมาตรฐานนี้สร้างพัลส์ของแรงดันแบบ Unipolar นั้น ค่าเวลาตลอดยที่แรงดันลดลงจะต้องมีค่ามากเมื่อเทียบกับ $1/f_r$ ของระบบวัด กรณีเป็นระบบ Bipolar แรงดัน U_0 จะต้องไม่มีการเปลี่ยนของขนาดไม่เกิน 5 % ในช่วงเวลาระหว่างพัลส์ ขนาดของพัลส์ทั้ง 2 จะต้องผิดพลาดไม่เกิน 5 % และช่วงเวลาระหว่างพัลส์ต้องมากกว่าเวลาแยกชัดของพัลส์ ขนาดแรงดัน และช่วงเวลามาขึ้นยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกิน 10%
- 2) ค่าประจุมาตรฐานจะผิดพลาดได้ไม่เกิน 5% หรือ 1 pC โดยให้ถือค่าที่สูงกว่าเป็นเกณฑ์
- 3) Pulse Repetition Frequency, N ยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกิน 1%
- 4) ในกรณีที่ C_0 ของเครื่องปรับเทียบดิซาร์จมาตรฐานเป็นชนิดแรงดันต่ำ(ต้องปลดเครื่องดังกล่าวออกก่อนป้อนแรงดันทดสอบ) จะต้องมี $C_0 \leq 0.1C_u$ และกรณีทดสอบสายเคเบิล $C_0 \leq 150$ pF

เครื่องกำเนิดพัลส์คู่

1) เครื่องกำเนิดพัลส์คู่ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติรูปเปอร์โพซิชันของเครื่องตรวจจับ PD นั้น กำหนดไว้ใน IEC 885-3 (1998) ว่าต้องสามารถสร้างพัลส์ขนาดเท่ากัน 2 พัลส์ ซึ่งมีช่วงเวลามาขึ้นไม่เกิน 20 ns และมีความกว้างของพัลส์จากค่า 10 % ของหน้าคลื่นถึงหางคลื่นต้องไม่เกิน 150 ns โดยพัลส์ทั้งสองนี้สามารถปรับระยะห่างได้อย่างน้อย 0.2 – 100 μ s

2) เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วนที่ใช้ในการทดสอบเคเบิลตามมาตรฐาน IEC ยอมให้เกิดรูปเปอร์โพซิชันแบบลบได้ไม่เกิน 10 % กรณีที่เกิน 10 % จะต้องนำผลอันนี้มาพิจารณาในการวัดด้วย

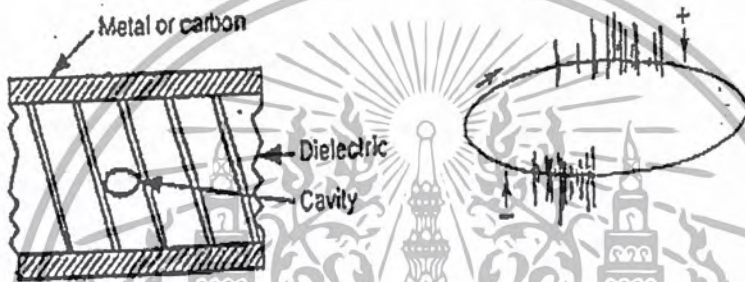
3.6 การจำแนกชนิดของดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิล

สามารถแยกออกเป็นชนิดต่างๆได้ดังนี้

1.) การดิสรจรงที่เกดจากโพรงอากาศภายในไคอเล็กตริก

โพรงอากาศชนิดนี้มักจะพบในฉนวนแข็ง มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิต เช่น การหล่อ การหุ้ม การดิสซาร์จนี้จะเกิดขึ้นก่อนค่าแรงดันสูงสุด และจะหยุดการดิสซาร์จเมื่อถึงค่าแรงดันสูงสุดทั้ง ไซเคลบวกและลบของแรงดันรูปไซน์

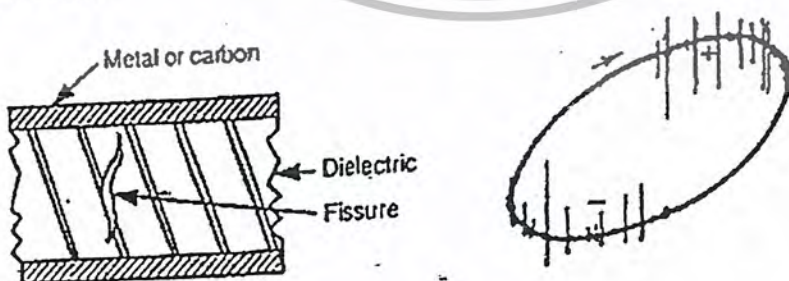
ตำแหน่งของการคิซาร์จที่แสดงในออสซิลโลสโคป มีลักษณะเป็นเส้นตั้งฉากบนรูปวงรี ในช่วงที่แสดงผล ขนาดของการคิซาร์จขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของโพรงอากาศ การคิซาร์จชนิดนี้มีผลกระทบจากแรงดันและช่วงเวลาน้อยมาก กล่าวคือเมื่อแรงดันและช่วงเวลาเพิ่มขึ้น ขนาดของการคิซาร์จบางส่วนจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก



ก.) โพรงอากาศที่เกิดขึ้นในไดอิเล็กตริก ข.) ตำแหน่งของดีสชาร์จบางส่วนบนฐานเวลารูปวงรี
รูปที่ 3-19 การเกิดดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดจากโพรงอากาศ

2.) การดิษฐ์ารังที่เกดจากรอยแตกภายในไดอัสเทรริก

การพิจารณาข้อนี้โดยมากจะพบในไดอิเล็กตริกที่มีความยืดหยุ่น เช่น เทอร์โมพลาสติก รอยแตกที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า สาเหตุโดยทั่วไปจะเกิดจากสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นในไดอิเล็กตริกและฟองอากาศที่เกิดใกล้เคียงกัน และขยายตัวไปรวมกัน ปรากฏการณ์นี้จะพบบ่อยในสายเคเบิลที่ใช้ งานไประยะหนึ่งแล้ว



ก.) รอยแตกภายในไดอิเล็กตริก ข.) ตำแหน่งของ ดิสชาร์จบางส่วน บนฐานเวลารูปวงรี

รูปที่ 3-20 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดจากรอยแตก

การคิสซาร์จชนิดนี้จะเกิดขึ้นในระหว่างค่าแรงดันสูงสุด โดยจะเกิดขึ้นก่อนและหลังค่าแรงดันสูงสุดเล็กน้อยทั้งไซเคิลบวกและลบของแรงดันรูปไซน์

ค่าของการคิสซาร์จบางส่วนนอกจากจะขึ้นอยู่กับแรงดันและช่วงเวลาแล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดของรอยแตกด้วย หากรอยแตกมีขนาดใหญ่ ขนาดของการคิสซาร์จก็จะมีมาก แต่เมื่อแรงดันสูงมากขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 30 นาที ขนาดของการคิสซาร์จจะค่อยๆ ลดลง

3.) การคิสซาร์จที่เกิดจากเสววัสดุและสิ่งเจือปนภายในไดอิเล็กตริก

เสววัสดุและสิ่งเจือปนนี้โดยมากจะมีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิต เสววัสดุ จะหมายถึงเสววัสดุที่ใช้ทำฉนวนที่เกิดการไหม้และเกิดการตกค้างจากกระบวนการผลิต เช่น เซมิคอนดักเตอร์ที่ไหม้หรือเศษไฮไฟเบอร์ ส่วนสิ่งเจือปนจะหมายถึง สิ่งเจือปนภายนอก ได้แก่ ฝุ่นละออง เศษผงต่างๆ ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนี้จะแทรกเข้าไปอยู่ในไดอิเล็กตริก และการคิสซาร์จชนิดนี้ยังรวมไปถึงส่วนที่ขรุขระและตำหนิของไดอิเล็กตริก



ก.) เสววัสดุและสิ่งเจือปนภายในไดอิเล็กตริก ข.) ตำแหน่งของ คิสซาร์จบางส่วน บนฐานเวลารูปวงรี

รูปที่ 3-21 การเกิดคิสซาร์จบางส่วนที่เกิดจากเสววัสดุและสิ่งเจือปน

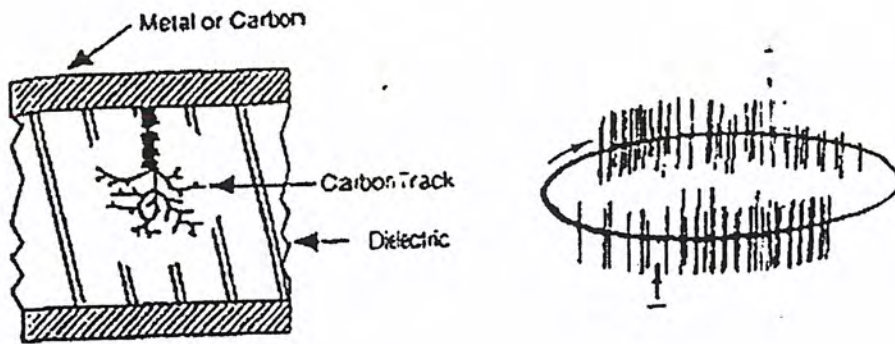
การคิสซาร์จชนิดนี้จะเกิดขึ้นในระหว่างค่าแรงดันสูงสุด แต่หลังค่าแรงดันสูงสุดไปเล็กน้อย จะมีการคิสซาร์จเพิ่มมากขึ้น จะเกิดทั้งไซเคิลบวกและลบของแรงดันรูปไซน์ โดยก่อนที่จะถึงค่าแรงดันสูงสุดขนาดของการคิสซาร์จจะน้อยกว่าหลังค่าแรงดันสูงสุด

4.) การคิสซาร์จที่เกิดจากการขยายตัวของคาร์บอนแทรก

การคิสซาร์จชนิดนี้จะเกิดในสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ทำฉนวน เช่น XLPE เอทิลีน และโพลีเมอร์ต่างๆ สาเหตุโดยทั่วไปเกิดจากการที่ไดอิเล็กตริกมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงมาก ทำให้เกิดรอยแตกเป็นเส้น Treeing ภายในไดอิเล็กตริก

การคิสซาร์จชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่แรงดันต่ำจนถึงแรงดันสูง โดยเฉพาะก่อนที่จะถึงค่าสูงสุดขนาดของการคิสซาร์จจะมีปริมาณมาก ทั้งไซเคิลบวกและลบของแรงดันรูปไซน์ ขนาดการคิสซาร์จจะขึ้นอยู่กับขนาดของคาร์บอนแทรก โดยทั่วไปการคิสซาร์จชนิดนี้จะเกิดขึ้นทุกค่าของแรงดัน ยกเว้นค่าแรงดันต่ำศูนย์หรือไม่มีการคิสซาร์จ ขนาดของการคิสซาร์จจะมีขนาดใหญ่และเกือบจะเท่ากันในทุกๆ ตำแหน่ง แรงดันและช่วงเวลามีผลต่อการขยายตัวของรอยแตกและขนาดของการคิสซาร์จ ที่แรงดันสูงมากๆ จะทำให้ขนาดของการคิสซาร์จเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ขนาดของการคิสซาร์จจะไม่คงที่ การทดสอบที่ซ้ำๆ กันจะทำให้ขนาดของคาร์บอนแทรกขยายตัวใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.) คาร์บอนแทรคภายในไดอิเล็กตริก ข.) ตำแหน่งของคิซาร์จบางส่วนบนฐานเวลารูปวงรี

รูปที่ 3-22 การเกิดคิซาร์จบางส่วนที่เกิดจากการขยายตัวของคาร์บอนแทรค

จากการจำแนกชนิดของคิซาร์จบางส่วน จากความบกพร่องของไดอิเล็กตริกภายในสายเคเบิล สามารถใช้เป็นการตั้งข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับการคิซาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นว่ามีสาเหตุมาจากอะไร แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่าการแสดงผลของคิซาร์จบางส่วน จะประกอบไปด้วยสาเหตุหลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วรวมไปถึงสัญญาณรบกวนจากทั้งภายในและภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนเหล่านี้ออก เพื่อที่จะแสดงขนาดของคิซาร์จบางส่วนได้อย่างถูกต้อง

3.7 การวิเคราะห์คิซาร์จบางส่วน

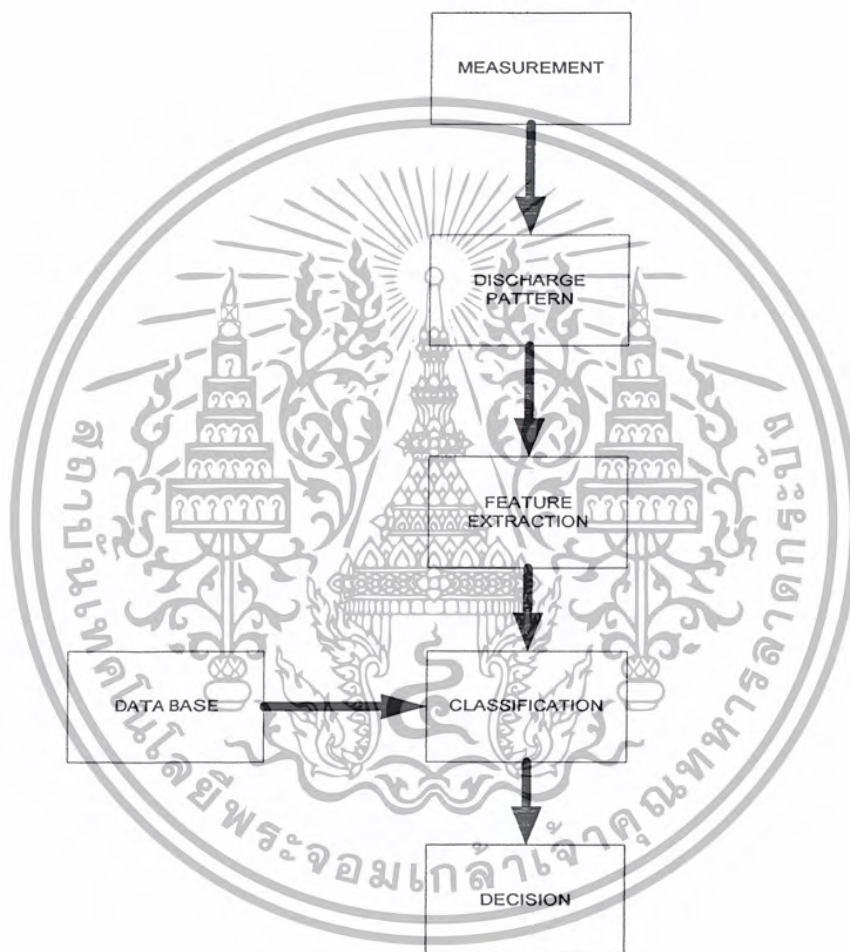
เมื่อตรวจพบ PD ในระบบงานก็จะต้องทำการหาสาเหตุโดยการสังเกตจากลักษณะของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ การหาสาเหตุนี้มีความสำคัญสำหรับผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เป็นเวลาหลายสิบปีที่มีการวิเคราะห์และการรู้จำ (Recognition) รูปแบบของการเกิด PD กระทำโดยใช้สายดาส่งสัญญาณที่แสดงแบบวงรีบนจอของออสซิลโลสโคป ซึ่งการแปลความหมายจะขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้ทดสอบ

การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจวัด PD เป็นการเปิดโอกาสให้สามารถทำการรู้จำรูปแบบของการเกิด PD โดยอัตโนมัติ ในกระบวนการวิเคราะห์ PD จุดประสงค์ของหลักการวิเคราะห์คือการรู้จำรูปแบบการเกิด PD ในเนื้อฉนวนเนื่องจากผลของคิซาร์จ ตัวอย่างเช่น การเกิดคิซาร์จภายใน คิซาร์จภายนอกและการเกิดโคโรนา โดยข้อมูลของการรู้จำนี้จะสำคัญมากสำหรับนำมาประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากคิซาร์จ

ในการวิเคราะห์ PD มีคำถามที่สำคัญ 2 คำถาม คือ

1. จะสามารถวิเคราะห์และ Quantify Information จากรูปคลื่นการกระจายที่ได้รับได้อย่างไร
- และ 2. จะสามารถแยกความแตกต่างของความบกพร่องที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่มีอย่างไร

กระบวนการรู้จำรูปแบบและการวิเคราะห์การเกิด PD โดยอัตโนมัติแสดงดังแผนภูมิ ประกอบด้วย Measurement คือ การตรวจวัด ซึ่งจะได้อารมณ์ของการเกิด PD Pattern ส่วน Feature Extraction คือการคำนวณหาคุณลักษณะจากรูปแบบที่ได้ Classification คือการจำแนกประเภทโดยอ้างอิงจากฐานข้อมูล ซึ่งจะนำมาสู่การ Decision คือการตัดสินใจในที่สุด



รูปที่ 3-23 กระบวนการการวิเคราะห์การเกิดคิซาร์จบางส่วน

สัญญาณที่ใช้ในการจำรูปแบบ PD

การตรวจวัดสัญญาณ PD เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดคิซาร์จบางส่วนนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตรวจวัดทางไฟฟ้า โดยการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสายตัวนำ การตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การตรวจวัดคลื่นเสียง และการตรวจวัดทางแสง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็จะให้รูปแบบของสัญญาณแตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสัญญาณพัลส์ PD จะทำการตรวจวัดสัญญาณโดยใช้เทคนิคการแยกชัดทางเวลา (Time Resolution Technique) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีแบนด์วิธประมาณ 500 MHz ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ตรวจจับได้จะแตกต่างกันไปตามสาเหตุของ PD เช่น วัตถุแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ภายในเนื้อฉนวนเกิดการนำไฟฟ้า โลหะที่อยู่ในบริเวณทดสอบไม่ได้ต่อลงกราวด์และการเกิดทรีอิงใน GIS เป็นต้น รูปร่างของสัญญาณพัลส์ PD ที่ตรวจวัดได้โดยวิธีนี้ยังแตกต่างจากรูปร่างของพัลส์ที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ทำให้สามารถแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณ PD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจวัดที่ไม่ใช้วิธีการทางไฟฟ้า

ตัวอย่างการตรวจวัดด้วยวิธีอื่นๆนอกเหนือจากวิธีทางไฟฟ้า ที่สามารถใช้ในการจำแนกสาเหตุของการเกิด PD ได้มีตัวอย่างดังต่อไปนี้

- 1.) สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการบันทึกสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ 10 kHz – 2 GHz ซึ่งพบว่าสเปกตรัมที่บันทึกได้จากสาเหตุต่างๆของการเกิด PD ใน GIS จะให้สเปกตรัมที่ต่างกันออกไป และพบว่าสเปกตรัมในช่วงความถี่คลื่นวิทยุของ PD ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตรวจวัดโดยการแคลมป์กระแสในสายนิวทรัล สามารถนำมาใช้จำแนกการเกิด PD ในฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ และการเกิดอาร์กกระหว่างปลายขดลวดสองชุดที่อยู่ติดกันได้
- 2.) การกระจายความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงถึงเวลาระหว่างพัลส์ที่เกิดขึ้นติดกัน การกระจายนี้ใช้ในการพิจารณาความเป็นไปได้ที่วัตถุอิสระซึ่งนำไฟฟ้าได้ใน GIS จะสามารถเคลื่อนที่ไปสัมผัสสับบาร์ อันจะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์
- 3.) รูปคลื่นของคลื่นเสียง ส่วนใหญ่ใช้ในการรู้จำความผิดปกติใน GIS
- 4.) สเปกตรัมความถี่ของคลื่นเสียง มักตรวจในย่านความถี่ไม่เกิน 2 MHz ซึ่งพบว่าสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้จากการเกิด PD จากสาเหตุต่างๆในน้ำมัน เช่น โคโรนา วัตถุอิสระที่นำไฟฟ้า และพองอากาศมีความแตกต่างกัน และพบว่าลักษณะของสเปกตรัมกับขนาดของโพรงอากาศในเนื้อฉนวนมีความสัมพันธ์กัน
- 5.) การกระจายของขนาดพัลส์ของแสงตามมุมเฟส ใช้ในการสังเกตการเกิดเบรกดาวน์ในระยะแรก ซึ่งการเกิดการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้า (Electroluminescence) จะมีความสัมพันธ์กับการฉีดประจุ (Charge Injection) การเกิด Microchannel และการขยายตัวของทรี
- 6.) สัญญาณพัลส์ที่ตรวจวัดได้ในย่านรังสีอินฟราเรดร่วมกับค่าแรงดันทดสอบ ใช้ในการตรวจจับการก่อตัวของลีดเดอร์ของคิซาร์จใน GIS

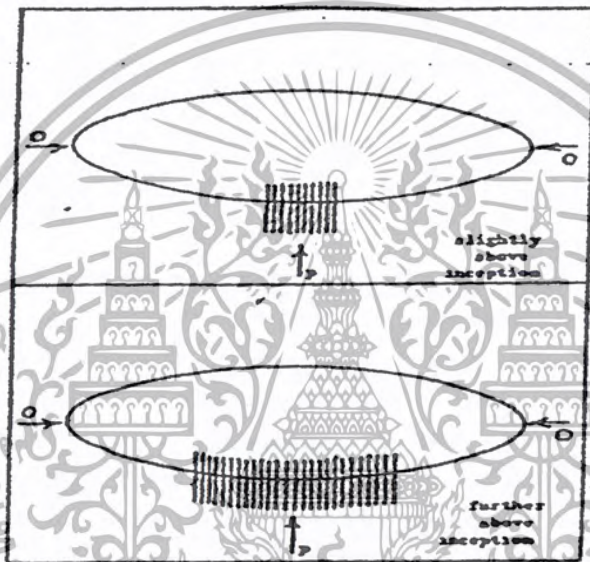
จากวิธีการตรวจวัดสัญญาณ PD ที่ได้กล่าวมานี้ จะพบว่าสัญญาณที่สามารถใช้ในการจำแนกแหล่งกำเนิดของ PD มีหลายแบบ แต่ละแบบมีความสามารถในการจำแนกสาเหตุในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ต่างกันไป จะต้องเลือกวิธีการตรวจวัดที่สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้หลายประเภท และต้องมีความสามารถในการจำแนก PD ที่เกิดจากสาเหตุต่างๆได้ดี

3.8 การประเมินสัญญาณรบกวนในคิซาร์จบางส่วน

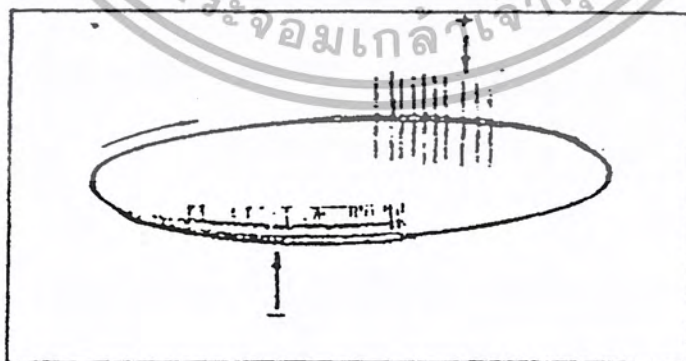
การประเมินค่าของ คิซาร์จบางส่วน ที่อาจมีผลต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ต้องทำการพิจารณาจาก คิซาร์จบางส่วน Pattern นี้ได้จากการแสดง การวิเคราะห์ห้วงนิจลยสรุปได้ดังนี้

1) โครโนนา

การเกิดโครโนนาภายนอกอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะไม่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานต่ออุปกรณ์นั้น ซึ่งอาจยอมให้เกิด คิซาร์จบางส่วน ได้ถึงหลักร้อยพิโคคูลอมป์ แต่ถ้าเป็นโครโนนาที่เกิดภายในอุปกรณ์ เช่น โครโนนาที่เกิดภายในก๊าซ SF_6 เพียงไม่กี่พิโคคูลอมป์ ก็อาจจะทำให้ระบบฉนวนนั้นเสียหายได้ ตัวอย่าง Pattern ส่วนการเกิด คิซาร์จบางส่วน โครโนนาที่เกิดในอากาศหรือ SF_6 แสดงดังรูปที่ 3-24 และ โครโนนาที่เกิดในน้ำมันแสดงดังรูปที่ 3-25



รูปที่ 3-24 การเกิด คิซาร์จบางส่วน โครโนนาที่เกิดในอากาศหรือ SF_6



รูปที่ 3-25 โครโนนาที่เกิดในน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ดิสชาร์จตามผิว

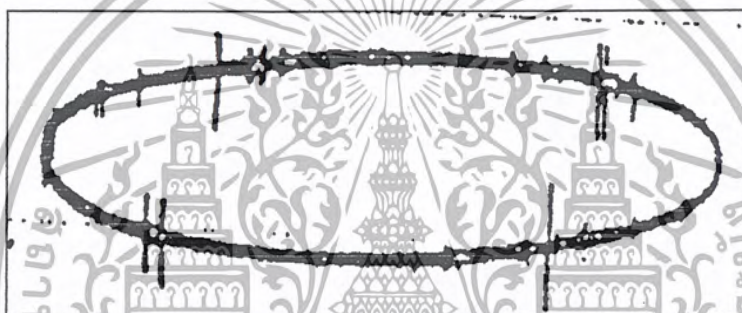
ดิสชาร์จตามผิวที่เกิดกับระบบฉนวนจะอันตรายน้อยกว่าดิสชาร์จภายในฉนวน เนื่องจากพลังงานต่อปริมาตรน้อยกว่า จึงยอมให้เกิด ดิสชาร์จบางส่วน ได้สูงกว่า

3) ดิสชาร์จภายใน

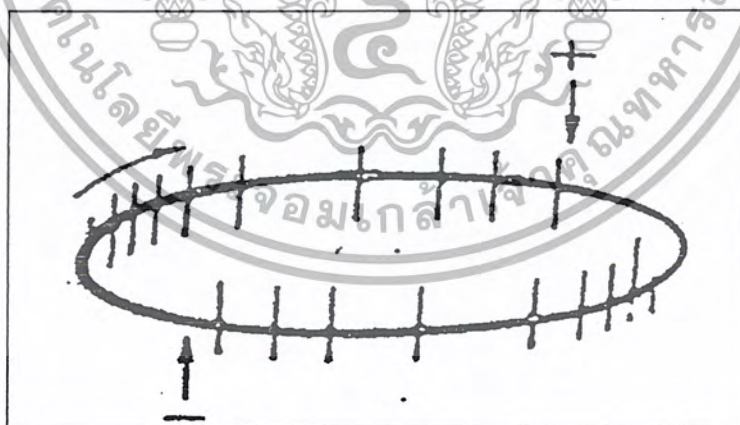
ดิสชาร์จภายในจะเกิดอันตรายต่อระบบฉนวนมากที่สุด ขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้าภายในฉนวน ซึ่งฉนวนแต่ละชนิดจะทนทานต่อ ดิสชาร์จบางส่วน ไม่เท่ากัน

4) สัญญาณรบกวน

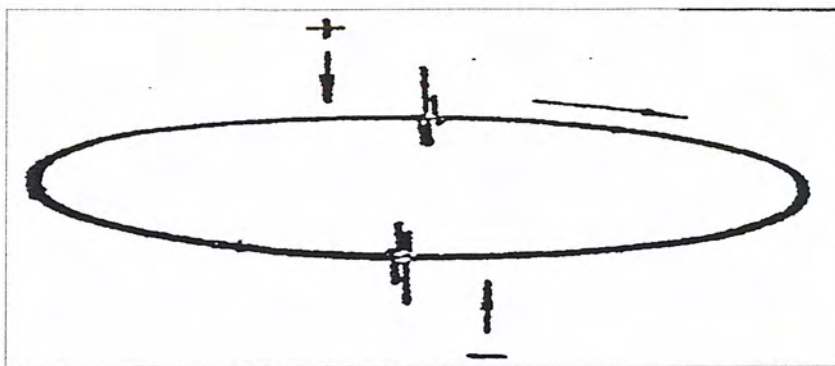
ในการตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน บ่อยครั้งที่มิมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามาจนทำให้การวัด ดิสชาร์จบางส่วน ผิดพลาดและได้ผลมากกว่าความเป็นจริง ทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าอุปกรณ์แรงสูงนั้นไม่ได้คุณภาพกล่าวคือค่า ดิสชาร์จบางส่วน ที่วัดได้สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ตัวอย่างสัญญาณรบกวนหรือเกิดปัญหาจากสาเหตุอื่นๆแสดงดังรูปที่ 3-26 ถึง 3-31



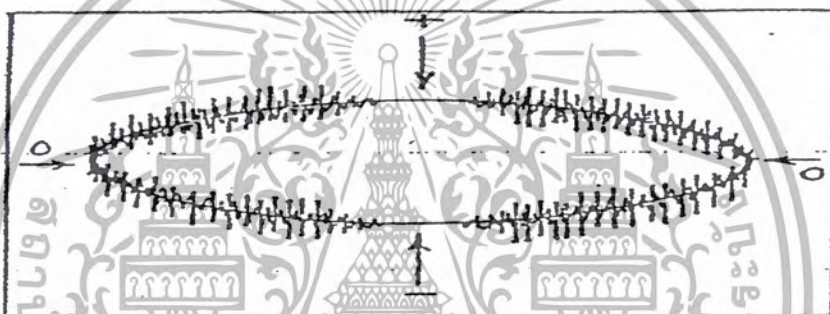
รูปที่ 3-26 แสดงผลสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ Thyristor



รูปที่ 3-27 แสดงผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากโลหะใกล้วงจรทดสอบไม่ต่อลงกราวด์



รูปที่ 3-28 แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ที่เข้ามาทางแหล่งจ่าย



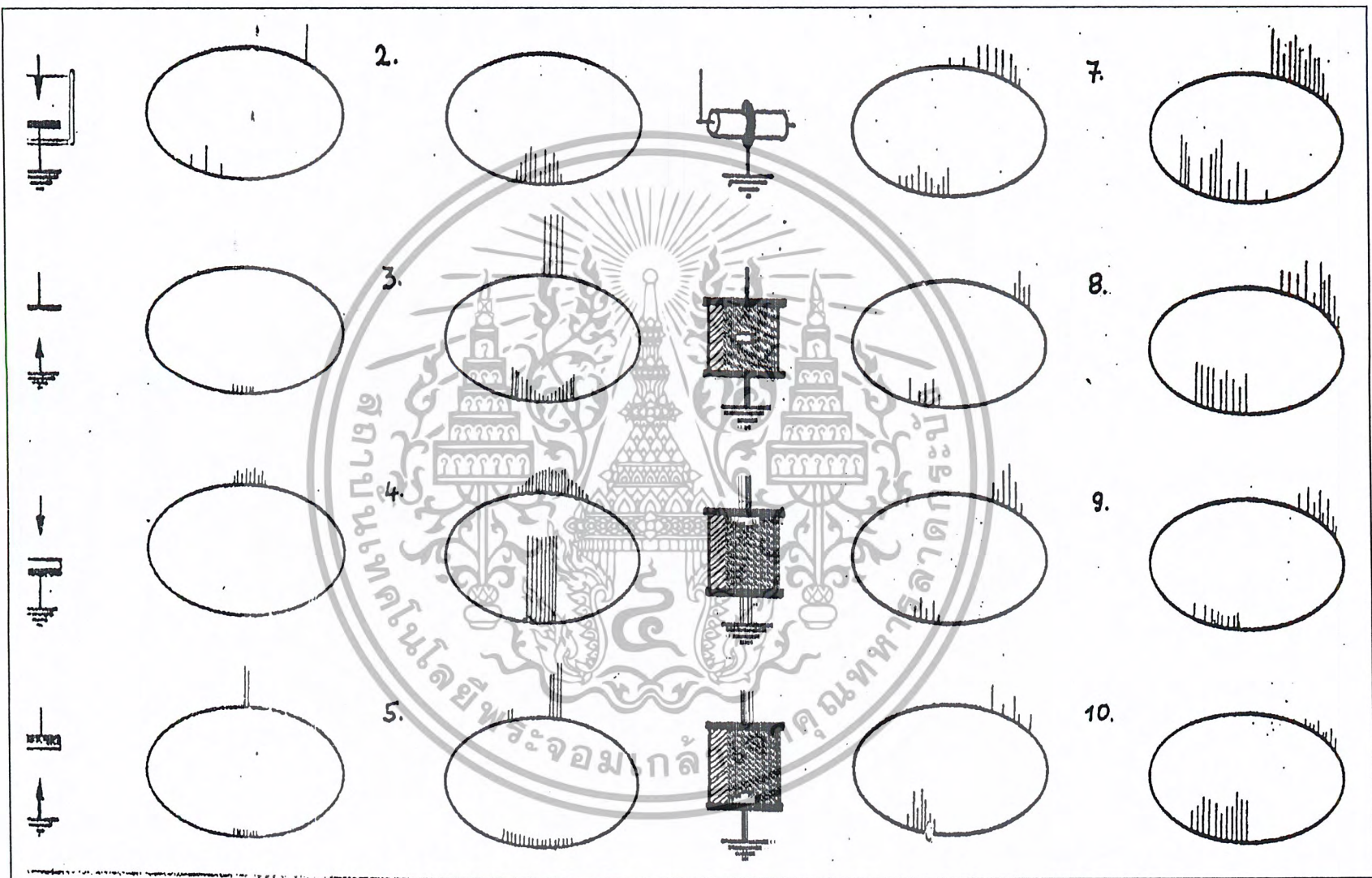
รูปที่ 3-29 แสดงสัญญาณรบกวนเนื่องจากข้อต่อสายไม่แน่น (Contact Noise)



รูปที่ 3-30 แสดงสัญญาณรบกวนเนื่องจากคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-31 การเกิดคลื่นบางส่วนในรูปแบบต่างๆ



บทที่ 4

การวัดคิซาร์จบางส่วนแบบ On-line

4.1 การประยุกต์ใช้วิธีประมวลสัญญาณเชิงตัวเลขตรวจจับคิซาร์จบางส่วน [1]

การตรวจจับคิซาร์จบางส่วนเป็นสิ่งสำคัญที่จะระบุถึงความเสี่ยงของฉนวนที่เกิดจากการคิซาร์จ ซึ่งความรุนแรงของการคิซาร์จจะใช้พื้นฐานของลักษณะคิซาร์จบางส่วนถ้าสามารถหาสาเหตุของการคิซาร์จได้ ดังนั้นผู้ผลิตและผู้ใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้ให้ความสนใจในการ On-line และ Off-line บริเวณหน้างาน เพื่อวิเคราะห์หาและระบุตำแหน่งของการเกิดคิซาร์จบางส่วนในฉนวน

การแก้ปัญหาเกี่ยวกับคิซาร์จบางส่วนได้มีวิธีการต่างๆหลายวิธี ซึ่งวิธีการทั่วไปที่ใช้คือ Neural Network และวิธีการส่วนใหญ่จะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือได้สัญญาณจากการ Off-line ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม วิธีการแบบ On-line สามารถใช้ในปัญหานี้ได้ ซึ่งมีมาประมาณ 40 ปีแล้ว ถึงแม้ว่าจะมีการแทรกสอดของสัญญาณรบกวนจากแหล่งต่างๆ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Solid State Switching ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะทำการกำจัดลดสัญญาณรบกวนในห้องชุด, Power line Filter, Isolation Transformer, และตัวกรองลดทอนสัญญาณรบกวนแรงสูง ซึ่งวิธีการลดสัญญาณต่างๆเหล่านี้ได้รับการพัฒนามาใช้ในการวัดคิซาร์จบางส่วนบริเวณหน้างาน

บทความนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้เทคนิค Digital Signal Processing ในการหา PD pulse ที่อยู่ในสัญญาณรบกวน รวมถึงการเปลี่ยน A/D และการใช้ Discrete Wavelet Transform เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสัญญาณคิซาร์จบางส่วน และใช้ Transfer Function ทำจลสัญญาณรบกวน

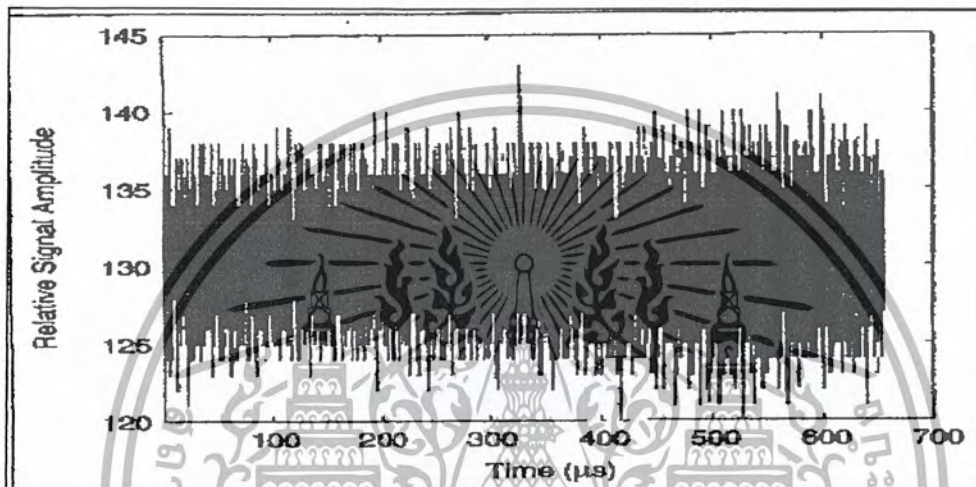
4.1.2 สัญญาณคิซาร์จบางส่วนที่อยู่ในสัญญาณรบกวน

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ลำดับของ PD pulse ที่เกิดซ้ำๆกันจะเกิดขึ้นจากการที่สนามไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าค่าของ PD inception ซึ่งลักษณะโครงสร้างที่เกิดจากคิซาร์จบางส่วน รูปแบบต่างๆ จะบ่งบอกถึงข้อมูลลักษณะของแหล่งที่เกิด คิซาร์จบางส่วน ซึ่งการหาจุดที่เกิด คิซาร์จบางส่วน ได้มีการศึกษาเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม จะทำสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อแต่ละวิธีนั้นจะต้องมีการสกัดแยกสัญญาณคิซาร์จบางส่วน ออกจากสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวน (Noise) คือ สัญญาณอะไรก็ตามที่เราไม่ต้องการที่ไม่มีความสัมพันธ์กันกับสัญญาณที่ป้อนเข้าไป แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเบื้องต้นได้แก่ คลื่นวิทยุ, Electrostatic Discharge, ทรานเซียนด์, โคโรนา, ฟ้าผ่าและอุณหภูมิความร้อน สิ่งรบกวนเหล่านี้จะปรากฏในระบบไฟฟ้าผ่านทางตัวนำและการแผ่รังสีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการตรวจ PD pulse ในสถานีไฟฟ้าย่อยและสายเคเบิลจะอยู่ที่สายส่งที่อยู่เหนือศีรษะ จะผลิตทั้งโคโรนาและทำตัวเปรียบเสมือนเสาอากาศที่คอยดักจับการแผ่รังสีจากแหล่งที่ต่างๆ รวมด้วยโคโรนา, คลื่นวิทยุ, SCR Switching เป็นต้น เครื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบแถบความถี่กว้างมีความ

จำเป็นที่จะใช้ตรวจจับหา PD pulse และเก็บรักษาข้อมูลทางเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของคิซาร์จบางส่วนที่เกิดจาก White Noise

เมื่อทำการวัดแบบ On-line สัญญาณรบกวนจะติดมากับสัญญาณคิซาร์จบางส่วนด้วย ซึ่งระดับความรุนแรงของสัญญาณรบกวนจะทำให้การระบุตำแหน่งที่เกิดคิซาร์จบางส่วนนั้นผิดพลาดได้ ดังรูปที่ 4-1 แสดงถึงสัญญาณคิซาร์จบางส่วนแบบ on-line ที่บันทึกจากระบบไฟ 1 เฟส, 33 kV ของสายเคเบิลใต้ดิน 3 เฟสที่ทราบว่ามีคิซาร์จบางส่วน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนจะครอบคลุมสัญญาณคิซาร์จบางส่วนที่เห็น



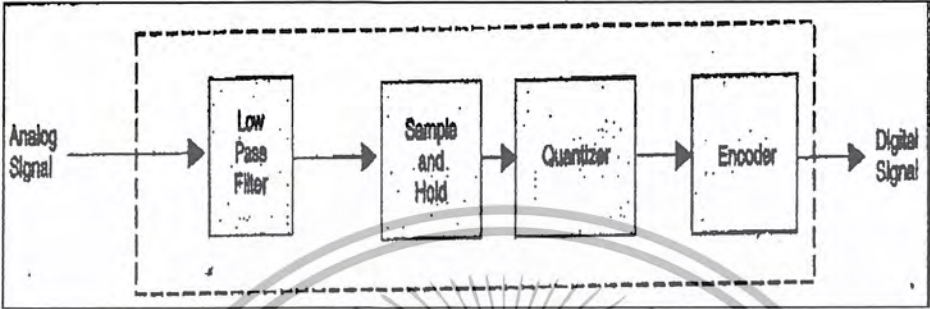
รูปที่ 4-1 สัญญาณจริงจากการวัดแบบ on-line

ความสามารถในการแยกสัญญาณออกจากสัญญาณรบกวน จะต้องมีความรู้พื้นฐานทางแหล่งจ่ายสัญญาณเช่น แบนความถี่ (bandwidth) ความสัมพันธ์ของเฟสกับการอ้างอิง ลักษณะของรูปคลื่น ในกรณีของสัญญาณคิซาร์จบางส่วน จะต้องทราบถึงตำแหน่งของเฟสที่สัมพันธ์กับความถี่ แบนความถี่ของสัญญาณหรือรูปคลื่น ตัวอย่างเช่น ความน่าจะเป็นและขนาดของสัญญาณ คิซาร์จบางส่วน ที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นฟังก์ชันของเฟส ความทางค่านี้นี้จะสามารถตรวจหาความไวของแหล่งกำเนิด คิซาร์จบางส่วน ได้ การใช้เทคนิควิธี Digital Signal Processing ในการหาคิซาร์จบางส่วน ที่อยู่ในสัญญาณรบกวนมีหลายวิธี เช่น การหาค่าเฉลี่ย, สถิติขั้นสูง, ตัวกรองแบบปรับปรุงและเวฟเลต

PD pulse จะเกิดขึ้นในเวลาสั้นๆช่วง 1-10 ns อย่างไรก็ตาม PD pulse จะแผ่ขยายจากจุดที่เกิดไปยังอุปกรณ์ตรวจจับ เนื่องจากมีความถี่ที่สูงสูญเสียไปในสายส่ง สำหรับการวัดของเคเบิลจึงต้องใช้แบนความถี่ระหว่าง 10-50 MHz อย่างไรก็ตาม แบนความถี่ที่ใช้ใน GIS จะอยู่ระหว่าง 10 – 100 MHz ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน

4.1.3 ช่วงระยะการเปลี่ยน A/D และการตรวจจับดิซาร์จบางส่วน

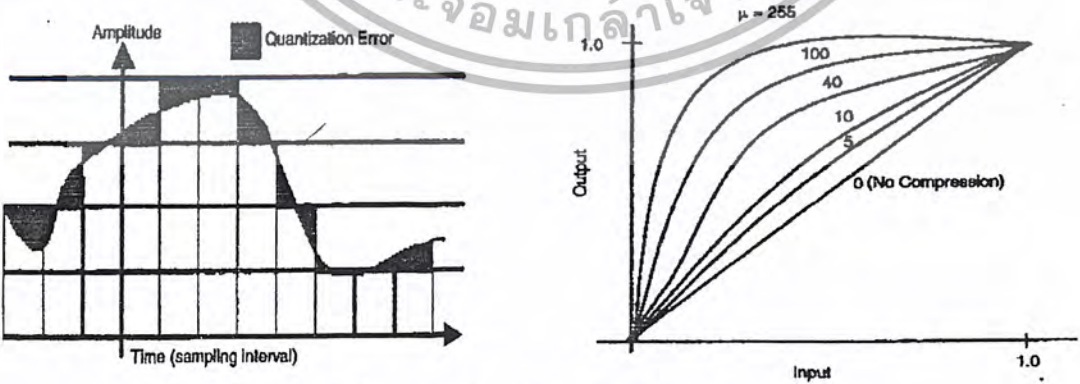
แถบความถี่ของสัญญาณดิซาร์จบางส่วน มีความสำคัญของระบบการแปลงเป็น Digital ในทางเฉพาะเจาะจงการเปลี่ยนจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล จะให้ความสำคัญกับข้อจำกัดของช่วงแถบความถี่ที่ต้องการ ดังรูปที่ 4-2 แสดงกระบวนการเปลี่ยนจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 4-2 กระบวนการเปลี่ยนจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล

จากทฤษฎีของไนควิสต์ (Nyquist) ได้ระบุถึงความถี่ที่น้อยที่สุดที่ต้องการจะเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้อย่างถูกต้องแม่นยำว่า “ความถี่ส่วนน้อยจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ที่มีองค์ประกอบสูงที่สุดของสัญญาณเริ่มต้น” ดังนั้นถ้าความถี่สูงยิ่งสูง ก็จะแสดงถึงสัญญาณได้ดี แต่ในทางกลับกัน ยิ่งความถี่สูงขึ้นจะยิ่งทำให้การประมวลผลที่มากขึ้นด้วย องค์ประกอบของความถี่ใดๆก็ตามที่อยู่ถัดจากความถี่ไนควิสต์ของสัญญาณเข้าสู่ A/D จะทำให้เกิด การอะไลซิง (Aliasing) ทางด้านสัญญาณที่ออกมา และตัวกรองความถี่ต่ำของแอนติอะไลซิง (Low Pass Antialiasing filter) จะใช้ลดทอนความถี่ที่อยู่เหนือเกินจากความถี่ไนควิสต์ จะถูกใช้ก่อนเข้าสู่กระบวนการแปลง A/D

สัญญาณที่ได้ถูกกรองแอนติอะไลซิงออกแล้วจะถูกกระบวนการนำป้อนหน่วยการสุ่มและหยุด (Sample and Hold) ไว้ก่อนที่จะเข้าสู่การควอนไทเซชัน (Quantization)



รูปที่ 4-3 แสดงตัวอย่างการ quantization

4.1.4 การลดสัญญาณรบกวนภายนอกของการวัด ดิสชาร์จบางส่วน

โดยทั่วไป วิธีการลดสัญญาณรบกวนทำได้โดยวิธีวงปิด(closed loop)และวงเปิด(open loop) ในวิธีแบบวงปิดนั้น เสาอากาศใช้ตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มารบกวนในขณะที่สัญญาณรบกวนของดิสชาร์จบางส่วนที่ถูกวัด และทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับสัญญาณรบกวนที่วัดจากเสาอากาศจะแสดงในรูปของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน และใช้ลดผลที่เกิดจากสัญญาณรบกวนภายนอกขณะที่วัดดิสชาร์จบางส่วน จะเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณจากวัตถุทดสอบและเป็นองค์ประกอบเล็กของสัญญาณรบกวนทั้งหมด และไปเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณที่ละทิ้งได้ภายในแหล่งอ้างอิง

ในแบบวิธีวงเปิด กระบวนการก่อนหน้านี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวัด ดิสชาร์จบางส่วน เพื่อปรับปรุง S/N ที่ใช้พื้นฐานของลักษณะสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน เช่น ในกระบวนการต่างๆอาจจะใช้พื้นฐานของรูปร่าง PD Pulse

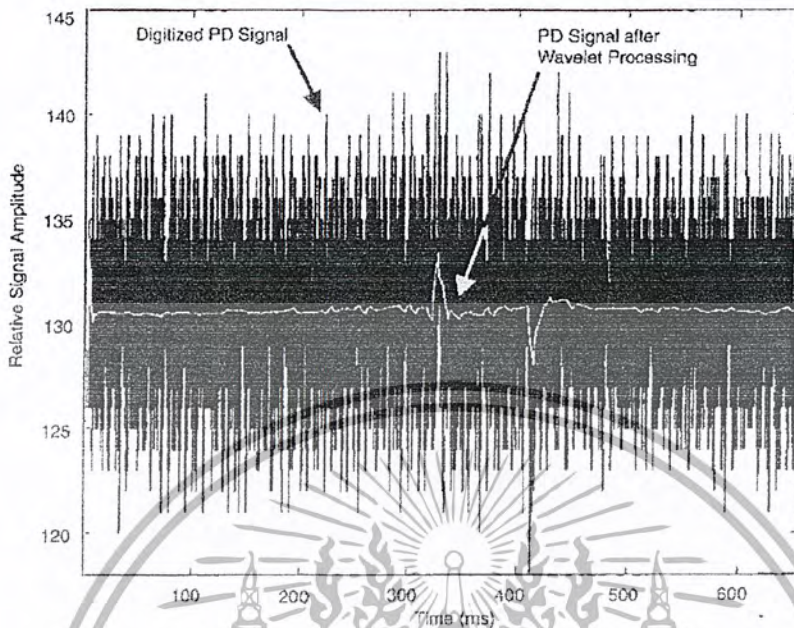
วิธีการลดสัญญาณรบกวนสามารถใช้พื้นฐานลักษณะของระบบที่ใช้วัดดิสชาร์จบางส่วน เช่น ใช้ตัวกลับป้อนชนิดความถี่สูงพิเศษในเครื่องจักรชนิดหมุน, GIS, และข้อต่อของสายเคเบิล ซึ่งแต่ละวิธีเหล่านี้จะใช้ลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวนที่จุดที่จะวัด จะสังเกตได้ว่า แต่ละวิธีจะใช้ประโยชน์ได้เพียงแค่การหาดิสชาร์จบางส่วนเฉพาะที่ (local PD detection) เช่น เครื่องจักรชนิดหมุนและอุปกรณ์ต่อเสริมของสายเคเบิล หรือว่าอาจจะต้องใช้ตัวเซ็นเซอร์เป็นจำนวนมาก

4.1.5 วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบ Open loop

วิธีการนี้จะเป็นการปรับปรุงสัญญาณที่วัดได้จากวิธีแบบวงปิด แต่ละวิธีก็จะใช้ความรู้พื้นฐานต่างกัน ในประเภทธรรมชาติของดิสชาร์จบางส่วน และธรรมชาติของสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเพื่อจะมาปรับปรุงอัตราส่วน S/N ของการหาดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบวงเปิดนี้มีหลายวิธีเช่น การใช้ตัวกรอง, การใช้สหสัมพันธ์(Correlation), การลบสเปกตรัมและการใช้เวฟเลต

ในกรณีของการใช้การกรอง จะต้องมีความถี่ที่เหมาะสมที่จะต้องสามารถกรองสัญญาณที่อยู่เหนือแถบความถี่ออกไปได้ ในกรณีของสหสัมพันธ์ จะต้องมีความถี่และพื้นฐานทางด้านรูปร่างของสัญญาณเพื่อใช้แยกความแตกต่างระหว่างสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนกับสัญญาณรบกวน ส่วนในกรณีของการลบสเปกตรัม สัญญาณรบกวนจะถูกลบออกจากสัญญาณไม่ต้องการออกในโดเมนความถี่

ในงานของเรา ได้เลือกใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลต เพื่อมาปรับปรุงอัตราส่วน S/N ของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน ความได้เปรียบของวิธีเวฟเลตคือ การลดสัญญาณรบกวน(denoising) และไม่เพียงแค่ใช้ได้กับสัญญาณที่เรียบเท่านั้น ยังใช้ได้กับสัญญาณที่สูงทันทีทันใดหรือทรานเซียนด์ หรือการ spike ได้นอกจากนั้น การวิเคราะห์เวฟเลตยังสามารถทำแบบ on-line ในแบบชนิด real-time ได้อีกด้วยดังรูป 4-4



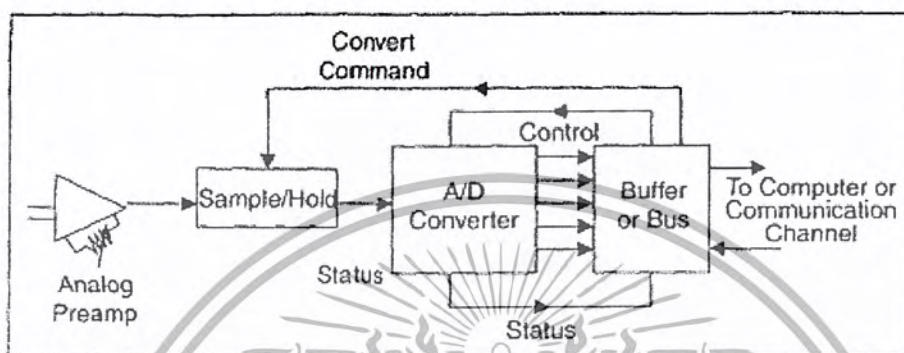
รูปที่ 4-4 แสดงการใช้เวฟเลตทำการ *denoising* ของสัญญาณดั้งเดิมจากรูปที่ 4-1

การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนใช้ประเมินการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ภายใต้การดำเนินงานที่เน้นให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด เครื่องมือวัดดิสชาร์จบางส่วนสมัยใหม่และเทคนิคทางดิจิทัลสามารถแก้ปัญหาได้กว้างขึ้น สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณดิสชาร์จบางส่วนใน Spite ของทรานเซียนด์ธรรมชาติ

ดิสชาร์จบางส่วนที่เริ่มเกิดในช่องอากาศภายในของแข็งสามารถกระตุ้นกระแสพัลส์สั้นๆ ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ns และช่วง rise time น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ns พัลส์ดิสชาร์จบางส่วนของโคโรนาในชั้นอากาศอยู่ในช่วงน้อยกว่า 100 ns กฎเกณฑ์พื้นฐานจำกัดความไวในการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน ของวัตถุองค์ประกอบล้มพ้อยในพิกต์ การลดทอนความถี่สูงของแคเบิลซีลด์มีพิกต์มากกว่า 1 km

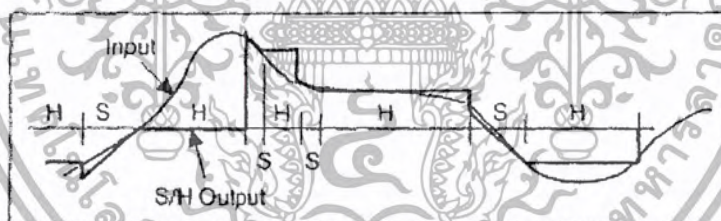
4.2 การได้มาของข้อมูลดิจิทัลบางส่วน : การเปลี่ยนแปลง A/D [2]

พื้นฐานการใช้งานของ A/D Converter เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ Analog ต่อเนื่องเป็นชุด Discrete ของรหัสดิจิทัล การเปลี่ยนแปลงรวมถึงกระบวนการของ Quantizing และการเข้ารหัส (Coding) รูปที่ 4.5 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของ A/D converter



รูปที่ 4-5 วงจรพื้นฐานการแปลง ADC

วงจร Sample-and-Hold (S/H) แสดงการสุ่มสัญญาณอนาล็อกในช่วงการสุ่ม (Sample Mode) , วงจร S/H ตามเส้นทางสัญญาณ Input Analog ต่อจากนั้นหยุดระดับอนาล็อกทันทีในช่วงการเปลี่ยนเป็นดิจิทัล, ดังที่เห็นในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 กระบวนการ S/H ในการตอบสนองทางเวลา

Convert Command, A/D Converter เริ่มการเปลี่ยนแปลง , ในช่วงที่สัญญาณทดสอบ(Sample Signals) ถูก Quantized และเปลี่ยนเป็นรูปแบบเชิงตัวเลข (Digital Form) กระบวนการเข้ารหัสใน A/D Converter กำหนดเลขฐานสองเฉพาะไปแต่ละระดับการ Quantization เลขระดับ quantum, N ,คือ

$$N = 2^b$$

b คือความยาวบิตของรหัสเลขฐานสอง ถ้า q ให้เป็นขนาดขั้น (step size) ของระดับ , พิกัดขณะนั้น, R ของ quantizer

$$q = R/N = R \times 2^{-b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantizing เป็นสาเหตุให้เกิด “ สัญญาณรบกวน ” เพราะค่าตัวอย่างที่อยู่แทนไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องแน่นอนของสัญญาณอนาล็อก

Quantized Waveform สามารถถูกจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$S(t) = \tilde{s}(t) + e(t)$$

แอมพลิจูดของสัญญาณ Error วางอยู่ระหว่าง $-q/2$ และ $q/2$ สำหรับ A/D Converter ในอุดมคติ Quantization Error เล็กมากเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในสัญญาณขนาดใหญ่ เทียบกับ Quantizing Step หรือ เมื่อสัญญาณถูก Quantized ที่อัตราสูงมาก เทียบกับความถี่ของไนควิสต์ (Nyquist Frequency) ของสัญญาณ สัญญาณ Error เปรียบเสมือนการรวมกันของสัญญาณที่เป็นแต่ละรูปแบบจากส่วนของเส้นตรง , ค่า Mean Square ของ Quantization Error ของสัญญาณรูปไซน์ ความกว้าง

$$E\{e^2(t)\} = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} e^2(t) dt = \frac{1}{\tau} \left(\frac{q}{\tau}\right)^2 \int_{-\tau/2}^{\tau/2} t^2 dt = \frac{q^2}{12}$$

ในระดับเดซิเบล , Quantization Noise คือ

$$10 \log_{10} \frac{q^2}{12} = 10 \log_{10} \frac{2}{12} 2^{-2b} = -6b - 10.8 \text{ db}$$

จาก Quantization Noise ลดลงโดยคูณ dB / bit โดยประมาณ ที่ใช้ใน Quantizer

การเพิ่มของระดับควอนตัม , Quantizing Noise Power ลดลงอย่างรวดเร็ว Maximum Signal – to – Quantizing – Noise (SQNR max) ของ Linear Quantizing เมื่อ สัญญาณ Maximum Power เท่ากับ PC (กำลังสองของค่าสัญญาณระหว่าง $-A_m$ และ A_m) คือ

$$SQNR_{\max} = \frac{P_c}{q^2/12} = \frac{\frac{1}{2} A_m^2}{q^2/12} = \frac{3}{2} N^2$$

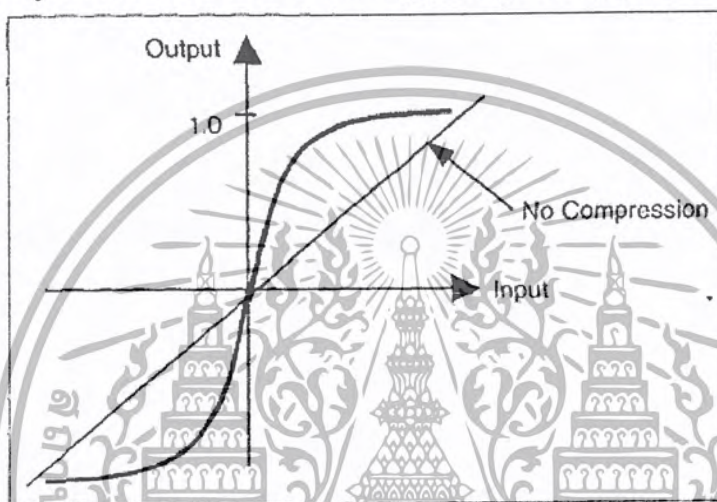
สมการแสดงความสัมพันธ์กับจำนวนบิตในการเข้ารหัสไปยังพิกัดแอมพลิจูดที่สามารถถูกถอดรหัสได้ ยกตัวอย่างเช่น รหัส 7-bit , SQNR 46.8 dB ที่เปรียบเทียบกับ 42.8 dB ของรหัส 8-bit แต่ละบิตที่บวกเข้ามา เพิ่ม SQNR โดยคูณ 6 dB ค่าของ SQNR ขึ้นอยู่กับพิกัดการเคลื่อนที่ (dynamic) ที่เก็บไว้สำหรับสัญญาณสูงสุดเพื่อหลีกเลี่ยงการ Dipping ของสัญญาณและการบิดเบือนอย่างรุนแรง Linear Quantization ไม่ใช่การแก้ปัญหาที่เหมาะสม เพราะสำหรับสัญญาณขนาดเล็ก , Quantization Noise (Distortion) ทำให้เกิด SQNRmax ที่เล็ก การเข้ารหัสพิกัด Dynamic จำนวนบิตที่ได้รับสามารถเพิ่มขึ้นอย่างมากถ้าขนาด Quantizing Step เปลี่ยนแปลงความต้องการนี้เว้นระดับควอนตัมโดยไม่สม่ำเสมอ

ระบบในทางปฏิบัติ , ความถูกต้องแน่นอนและแถบความถี่สำหรับการสุ่ม (Sampling) ถูกจำกัด ฟังก์ชันการสุ่มมีความกว้าง(width)ที่แน่นอนและการสุ่มในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่น่าเป็นไปได้ นี่ถูกเรียกว่า

Aperture Effect (ผลกระทบจากช่วง) Non-zero Aperture Time (ช่วงเวลาสุ่ม) จำกัดความถูกต้องและความถี่สัญญาณสูงสุดที่สามารถถูก Digitize เพราะสัญญาณอาจจะเปลี่ยนแปลงขณะถูกทดสอบ Fast ADC ที่ใช้ในการตรวจจับคิซซาร์บางส่วนกับ 8 bit A/D บ่อยครั้งมีความถูกต้องเพียง 7 บิตเนื่องจากผลกระทบนี้

Nonuniform Quantizing

Companding คือกระบวนการบีบอัดสัญญาณ เพื่อยกระดับให้ต่ำ และประมวลผล ต่อจากนั้นขยายสัญญาณ ดังรูปที่ 4-7 ถูกใช้โดยทั่วไปในการประมวลผลสัญญาณคำพูดและสัญญาณเสียง



รูปที่ 4-7 คุณลักษณะการ Compander การอัดขยายข้อมูล

Linear quantizing ถูกแสดงตามกระบวนการบีบอัด ในด้านโทรคมนาคม เทคนิคนี้ถูกใช้ที่กระบวนการเข้ารหัส ซึ่งสัญญาณถูกบีบอัดที่ปลายการส่งผ่าน และถูกขยายที่ปลายตัวรับเพื่อปรับการแสดงผลเข้ารหัส และลดระดับสัญญาณรบกวน ในช่วงการส่งผ่านที่ปลายตัวรับ Linear Quantizing ถูกใช้เพื่อถ่ายทอดสัญญาณที่ถูกบีบอัดแล้ว สัญญาณถูกขยายหลังจากตอบสนองการบีบอัดที่ปลายการส่งผ่านความคิดเห็นในการขยายนั้น, สัญญาณระดับต่ำ (Low - Level Signal) ถูกถ่ายทอดไปยังค่าเดิมและ Quantizing Noise ถูกลดทอนด้วยเหตุที่ปรับปรุง SQNR ที่ระดับต่ำ, กระบวนการ Companding ถูกแสดงในรูปที่ 4-7 เกณฑ์สำหรับการออกแบบเพื่อเก็บ SQNR โดยประมาณเหมือนกันทุกระดับสัญญาณ, ที่ซึ่งต้องการ Logarithmic Curve ที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง

ITU ถูกทำให้เป็นมาตรฐาน 2 แบบสำหรับ Nonlinear Coding ของ Speech คือ A - law และ μ - law Coding

A - law ถูกใช้ในมาตรฐานยุโรป และ μ - law ในอเมริกาเหนือและญี่ปุ่น รูปแบบสมการที่ใช้ใน μ - law และ A - law ถูกใช้โดย Companding สามารถนำไปดำเนินการ 3 วิธีผ่านสัญญาณไปในวงจร Nonlinear ก่อนไปถึง Linear ADC (Analog - to - Digital converter); ใช้ ADC ที่เว้น Steps ภายในอย่างไม่

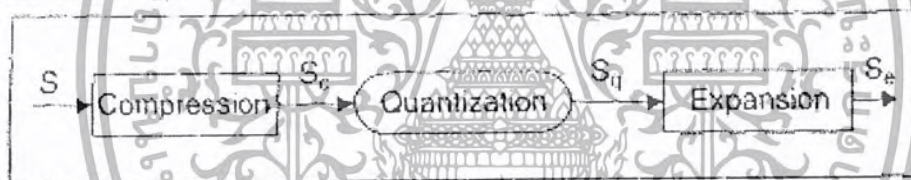
เท่ากัน ใช้ linear ADC ผลลัพธ์ (resolution) สูงกว่า (12 – bit สูงกว่า 8 – bit) โดยพิจารณาจากตาราง (digital lockup table) แต่ละทางเลือกต้องการ Nonlinearity เหมือนกัน, นั้นเหมาะในที่ที่แตกต่างกัน: Analog Circuit , ADC , หรือ Digital Circuit

สำหรับสัญญาณคิซาร์จบางส่วน , Companding อาจจะถูกใช้เมื่อต้องการข้อมูลใช้งานเพื่อขยายสัญญาณคิซาร์จบางส่วนขนาดใหญ่, แสดงสัญญาณ สัญญาณรบกวน ส่วนถัดไปแสดงบางการทดสอบที่ดำเนินการบนสัญญาณคิซาร์จบางส่วน ที่ได้รับจากส่วนที่เกี่ยวข้อง

4.2.1 การเปลี่ยนแปลง A/D

เคเบิลใต้ดิน 33 kV ฉนวน กระดาษชุบน้ำมันอัดตัว (PILC) ยาว 1.76 km ถูกทดสอบ การจัดทำแบบ On – line พร้อมกับ Self Oscilloscope ให้ Trigger เห็นระดับสัญญาณรบกวน การรวมสัญญาณรบกวน กับสัญญาณคิซาร์จบางส่วน ทำให้เกิด peak ซึ่งทำให้ตำแหน่งของบริเวณที่เกิดคิซาร์จบางส่วน (PD site) เทคนิคสำหรับคัดสัญญาณรบกวนออกใน time และ frequency domain

สัญญาณคิซาร์จบางส่วนมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระดับสัญญาณรบกวน เพื่อข้สัญญาณคิซาร์จบางส่วน , สัญญาณถูก Compand สัญญาณถูกบีบอัดด้วยอัตราบีบอัดแบบ μ - law (μ - law Compression Characteristics) ดังที่เห็นในรูปที่ 4-8 สัญญาณถูก Quantized และขยายอีกครั้งหลังจากนั้นโดยการนำ inverse ของ ลักษณะการบีบอัดเหมือนกัน ,



รูปที่ 4-8 แสดงกระบวนการ Compander ของสัญญาณ 3 ขั้นตอน

Quantization error ของสัญญาณคือ

$$E[e^2] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - s_{q,i})^2$$

ตาราง 1 (Table 1) เปรียบเทียบ quantization error สำหรับสัญญาณด้วย linear quantization และ nonlinear quantization และชี้ให้เห็นว่า quantizer 12 – bit ที่ใช้ในการเชื่อมโยงกับ $\mu = 255$ logarithmic compressor ทำให้เกิด quantization noise power - 85.88 dB โดยประมาณเปรียบเทียบกับ - 79.75 dB สำหรับ linear quantization , การลดลงประมาณ 6 dB

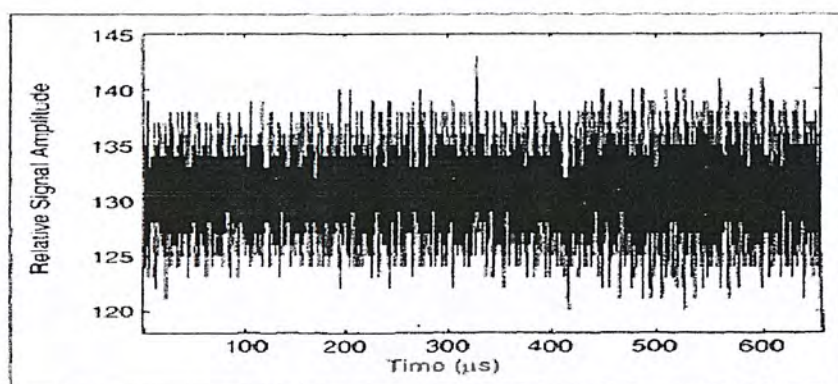
บันทึกด้วยว่าการลดลงใน quantization noise power ผันแปร กับจำนวน quantizing bits ในกรณีของสัญญาณคิซาร์จบางส่วน , quantizer 12 – bit ทำให้เกิดการปรับปรุงสูงสุดใน SQNR ในการถอดรหัสของ Speech Waveforms ด้วย $\mu = 255$, 7- bit nonlinear quantizing ทำให้เกิดการลดลงประมาณ 24 dB ใน Noise Power ดังรูป โดย Jayant

Table I: Comparing Linear and Nonlinear Quantization Errors		
Number of Bits	Linear Quantization Error	Nonlinear Quantization Error
1	-16.58	11.76
2	-29.35	-22.49
3	-29.35	-24.44
4	-31.58	-35.20
5	-43.58	-41.05
6	-46.76	-47.08
7	-58.80	-50.57
8	-58.80	-57.96
9	-62.27	-64.43
10	-72.59	-66.85
11	-78.08	-74.33
12	-79.76	-85.89
13	-92.47	-88.13
14	-95.95	-96.52
15	-100.08	-97.29
16	-105.22	-109.26

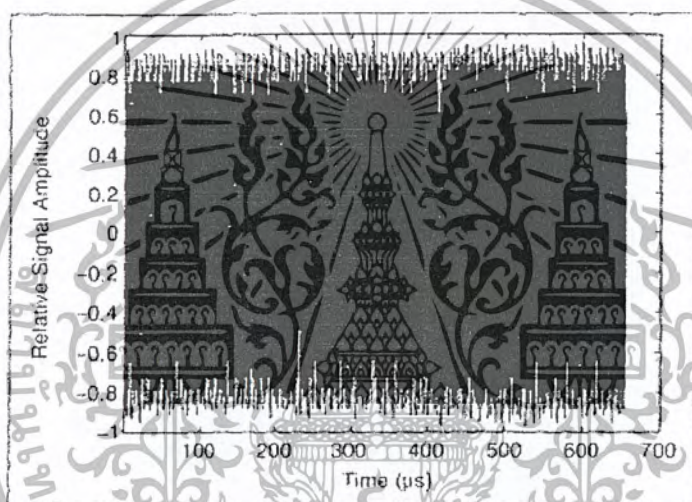
รูปที่ 4-9 ตารางการเปรียบเทียบค่า *Quantizing Error* ของวิธีแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

4.2.2 การทดสอบ(Test)

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล(A/D Conversion) การวัดทำการวัดแบบ on-line กับ ตั้งทริกเกอร์ของออสซิลโลสโคปเหนือระดับสัญญาณรบกวน การรวมกันของสัญญาณรบกวนกับ สัญญาณ ดิสซาร์จบางส่วน ทำให้เกิดค่าสูงสุดของสัญญาณสูงกว่าทริกเกอร์ที่ตั้งไว้ สัญญาณในขณะนั้นจะถูก โอนย้ายข้อมูลและผ่านกระบวนการเพื่อที่จะกรองเอาสัญญาณรบกวนออก เพื่อจะทำการตรวจจับ ดิสซาร์จ บางส่วน และทำการหาด้านหนึ่งของบริเวณที่เกิด ดิสซาร์จบางส่วน รูปที่ 4-10 แสดงสัญญาณที่ได้รับจากการวัด แบบ online ที่ปลายด้านหนึ่งของสายเคเบิลสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับระดับของ สัญญาณรบกวน เพื่อที่จะเน้นสัญญาณ ดิสซาร์จบางส่วน สัญญาณจะถูกทำให้หดลงดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-10 แสดงสัญญาณที่ได้รับจากเคเบิล 33 kV



รูปที่ 4-11 แสดงสัญญาณที่ถูกบีบอัด

4.2.3 การลดสัญญาณรบกวน (Signal Denoising)

สัญญาณสามารถถูกลดสัญญาณรบกวนได้โดยใช้การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยเวลา (Discret Wavelet Transforms) รูปที่ 4-12(a) แสดงสัญญาณที่ได้รับหลังจากผ่านกระบวนการลดสัญญาณรบกวนโดยการควอนไทซ์แบบเชิงเส้น (linear quantization) รูปที่ 4-12(b) แสดงสัญญาณที่ได้รับหลังจากผ่านกระบวนการลดสัญญาณรบกวนโดยการควอนไทซ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear quantization)

บางครั้งระดับของสัญญาณรบกวน (noise level) สูงเกินกว่าสัญญาณคิซาร์บางส่วน โดยใช้ฮอสซิลโลสโคปที่มีความไวเหมาะสมเป็นตัวจับสัญญาณ

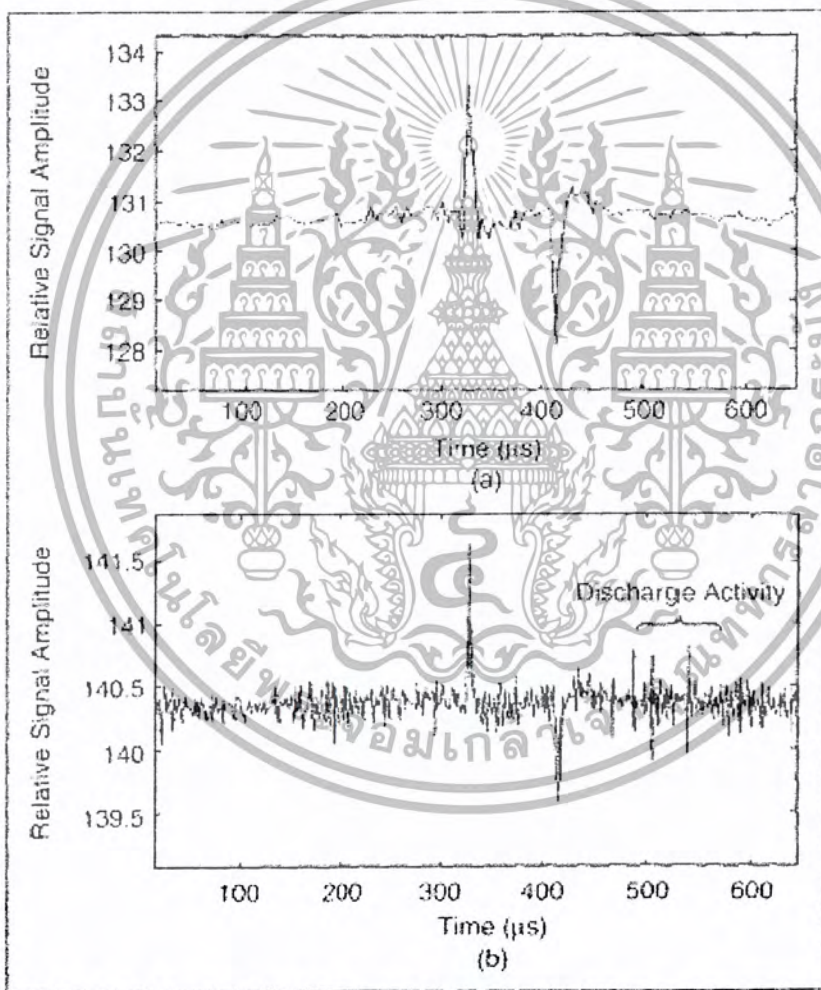
สัญญาณคิซาร์บางส่วนอาจสูญหายขณะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข เนื่องจากฮอสซิลโลสโคปมี A/D คอนเวอร์เตอร์ที่กำหนดไว้แล้ว จำนวนบิตที่กำหนดไว้จะถูกใช้เพื่อที่จะ

ถอดรหัสของสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบเชิงตัวเลข สัญญาณดิจิทัลบางส่วน ระดับต่ำอาจถูกควอนไทซ์ให้อยู่ในระดับที่ต่ำสุดและถูกทำให้สูญหายไปในที่สุด

การหดรหัสของสัญญาณ (Companding) ถูกนำมาใช้กับสัญญาณอะนาล็อกหรือสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะจำกัดข้อผิดพลาด (error) ในสัญญาณระดับต่ำ

ในอุดมคติการหดรหัสทำกับสัญญาณอะนาล็อกก่อนไปยัง A/D คอนเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะรักษาและขยายสัญญาณ ดิจิทัลบางส่วน

ในปัจจุบันการได้มาของระบบภายใต้การพัฒนาที่ซึ่งสัญญาณอะนาล็อกจะถูกบีบอัดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นที่ละส่วนไปยังฟังก์ชันการหดรหัสก่อนที่จะทำการเปลี่ยนแปลงเชิงตัวเลข (digitization) โดยออสซิลโลสโคป



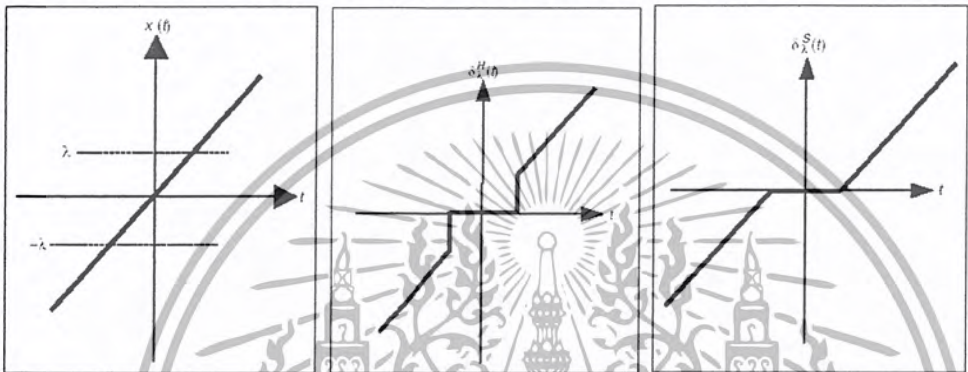
รูปที่ 4-12 (a) แสดงสัญญาณรบกวนที่เอาออกแล้วจากสัญญาณที่ถูกควอนไทซ์แบบเชิงเส้น

(b) แสดงสัญญาณรบกวนที่เอาออกแล้วจากสัญญาณที่ถูกควอนไทซ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น

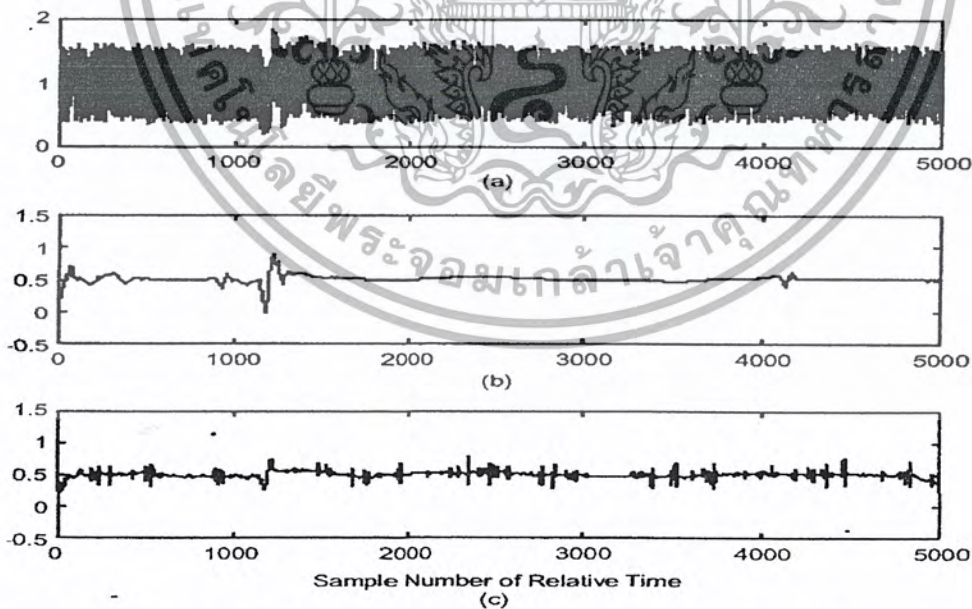
4.3 การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลตทำการลดสัญญาณรบกวนของสัญญาณคิซาร์จบางส่วน [3]

การแปลงเวฟเลตใช้ในการแยกสัญญาณ คิซาร์จบางส่วน ออกจากสัญญาณที่วัดได้ขณะ on-line ในการทำงานปกติของสายเคเบิลในระบบ 33 kV วัตถุประสงค์หลักของการ denoising คือ การลดขจัดในส่วน ของสัญญาณรบกวนจนกว่าจะพบสัญญาณ คิซาร์จบางส่วน ที่แท้จริงดังกระบวนการต่อไปนี้

- การแปลงเวฟเลตในการสร้างสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ
- ระดับการตัด(threshold)แบบหนักหรือเบาบาง เพื่อลดระดับของสัญญาณรบกวน
- การแปลงกลับเวฟเลตของสัมประสิทธิ์เวฟเลต เพื่อให้ได้สัญญาณที่ได้รับการ denoising แล้ว

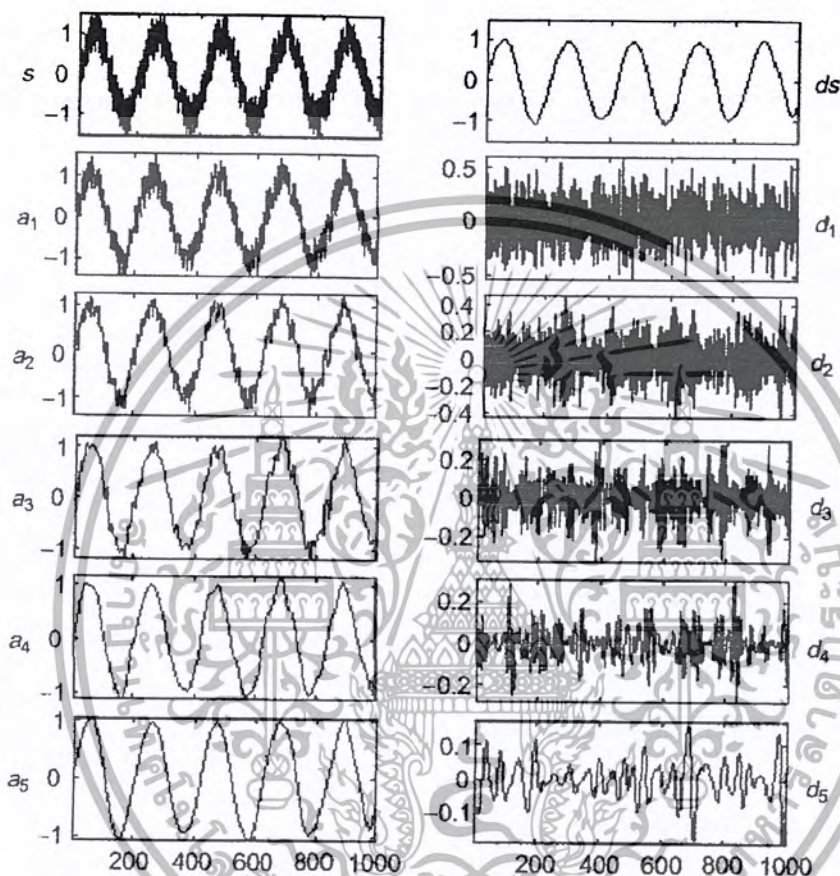


รูปที่ 4-13 แสดงระดับการตัดที่ใช้เป็นระดับสัญญาณได้แก่ สัญญาณดั้งเดิม ระดับการตัดแบบหนัก และระดับการตัดแบบเบาตามลำดับ



รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบการให้ระดับตัดแบบหนักและแบบเบาตามลำดับ

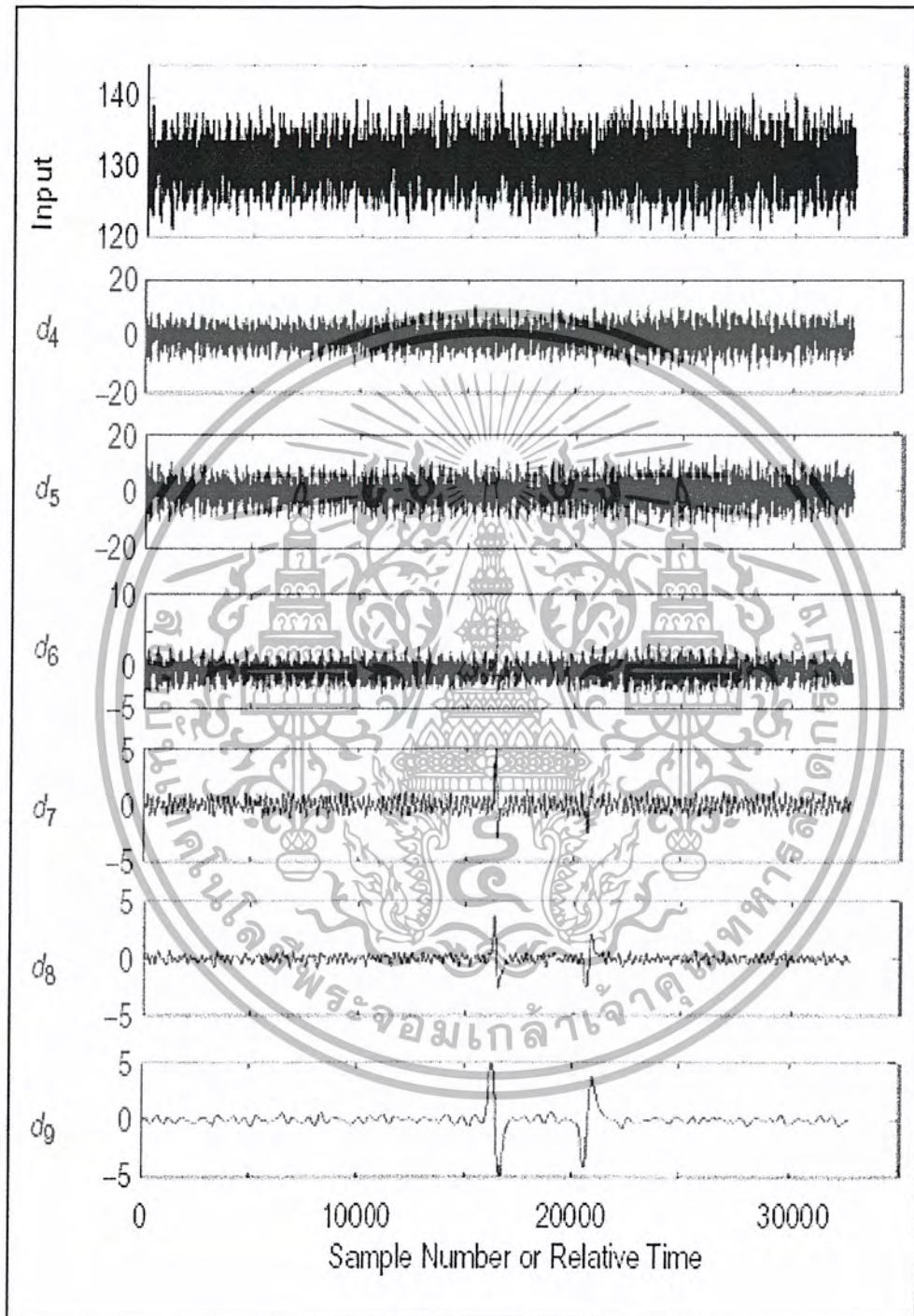
จากการเปรียบเทียบการเลือกระดับการตัดทั้ง 2 วิธี จะพบว่า การใช้ระดับแบบเบาจะลดขนาดของคิซาร์จบางส่วน pulse ได้ไม่ค่อยชัดเจนนัก ขณะที่ระดับการตัดแบบหนักจะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนกว่า แต่ทั้งนี้ก็ไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป ไม่ว่าจะใช้แบบหนักหรือแบบเบาก็ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของสัญญาณและสิ่งรบกวน



รูปที่ 4-15 แสดงตัวอย่างการกระจายสัญญาณออกเป็น 5 ระดับจากการใช้ระดับการตัดแบบหนัก

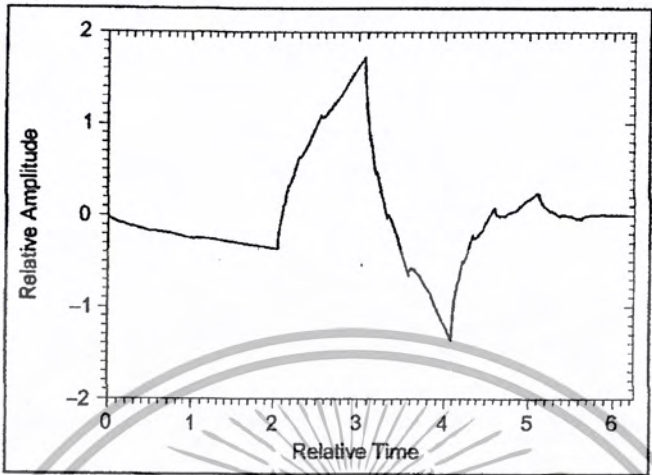
ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่บันทึกได้เป็นการวัด คิซาร์จบางส่วน ของสายเคเบิลในระบบขณะทำงาน ที่มีความยาว 1.8 เมตร ขนาด 33 kV 3 ตัวนำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทริกของ PD pulse เหนือระดับของ สัญญาณรบกวน ซึ่งสัญญาณที่ได้มาเกิดจากการนำหม้อแปลงกระแสความถี่สูงไปคล้องไว้ที่บริเวณปลายสายทั้ง 2 ด้าน และสัญญาณที่ได้จะถูกการแปลงเวฟเล็ดทำการ denoise ถึง 9 ระดับดังรูปที่ 4-16 โดยการใช้เวฟเล็ดชนิด daubechies-2 ดังรูปที่ 4-17 เพราะว่าเวฟเล็ดชนิดนี้แทนสัญญาณ คิซาร์จบางส่วน ได้ดีที่สุด จะเห็นว่าสเกล 3 ระดับแรกถูกตัดทิ้งไปเนื่องจากยังมีสัญญาณรบกวนจำนวนมากอยู่



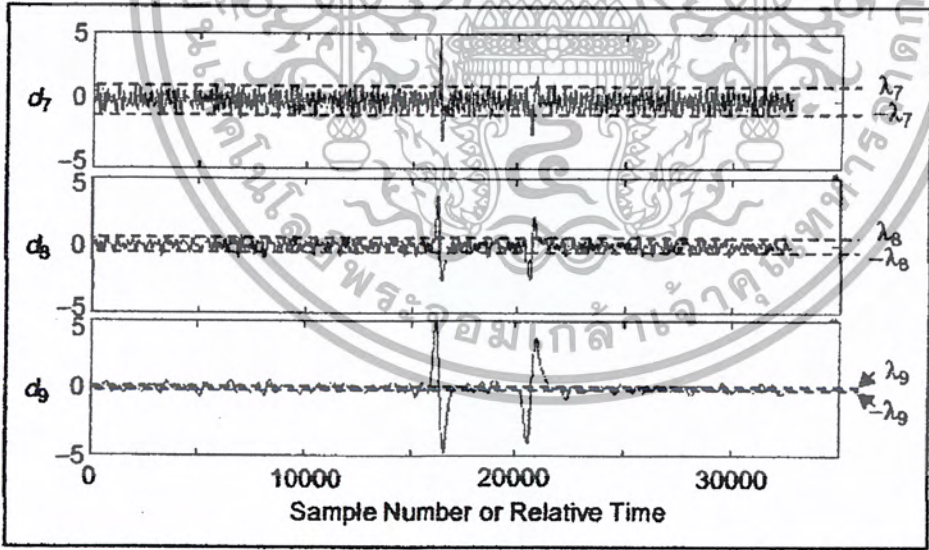
รูปที่ 4-16 แสดงการแตกสัญญาณที่สเกลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



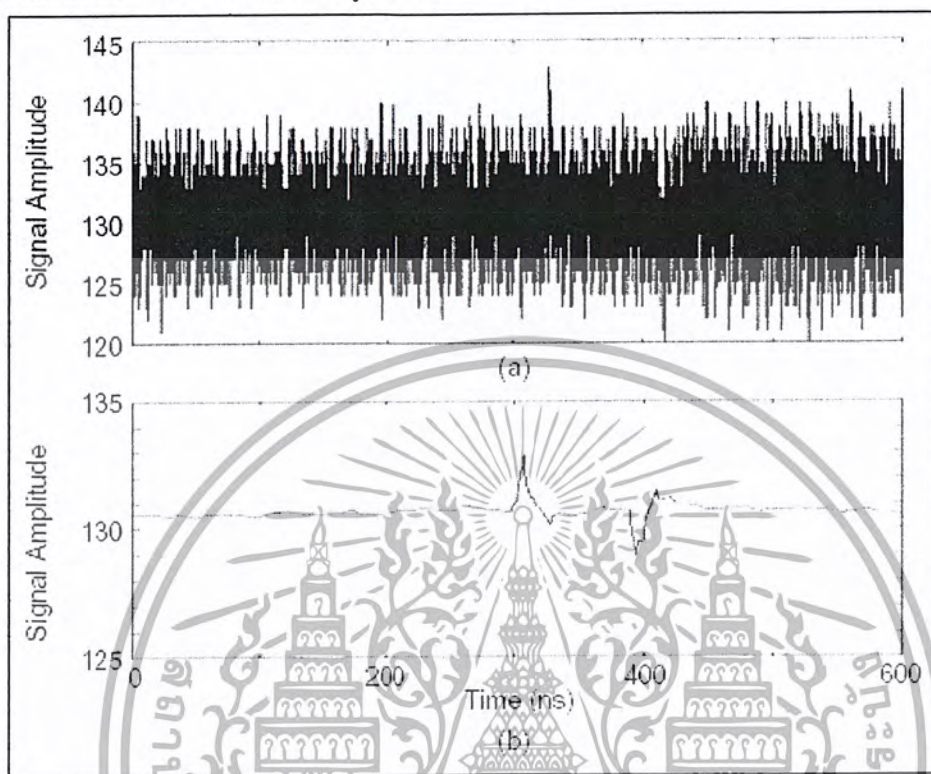
รูปที่ 4-17 เวก์เล็ชชนิด Daubechies-2

ระดับการตัดได้ถูกแสดงในระดับที่ 7-9 เพราะว่า PD pulse สังเกตเห็นได้ชัดเจนในสเกลเหล่านี้ ซึ่งระดับตัดต่างๆจะถูกตั้งในแต่ละสเกลดังรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-18 ระดับการตัดของสเกลที่ใช้หาสัญญาณ ดิสซาร์จบางส่วน

หลังจากผ่านกระบวนการตัดสัญญาณ สัญญาณจะถูกสร้างรวบรวมขึ้นมาใหม่โดยใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบผกกลับ และจะได้ผลแสดงดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-19 (a) สัญญาณจริง (b) สัญญาณหลังจากผ่านกระบวนการ denoising

จะสังเกตได้ว่า การใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบ denoising ในการแยกสัญญาณ PD pulse ออกจากสัญญาณรบกวนประสบความสำเร็จด้วยดี

สรุป

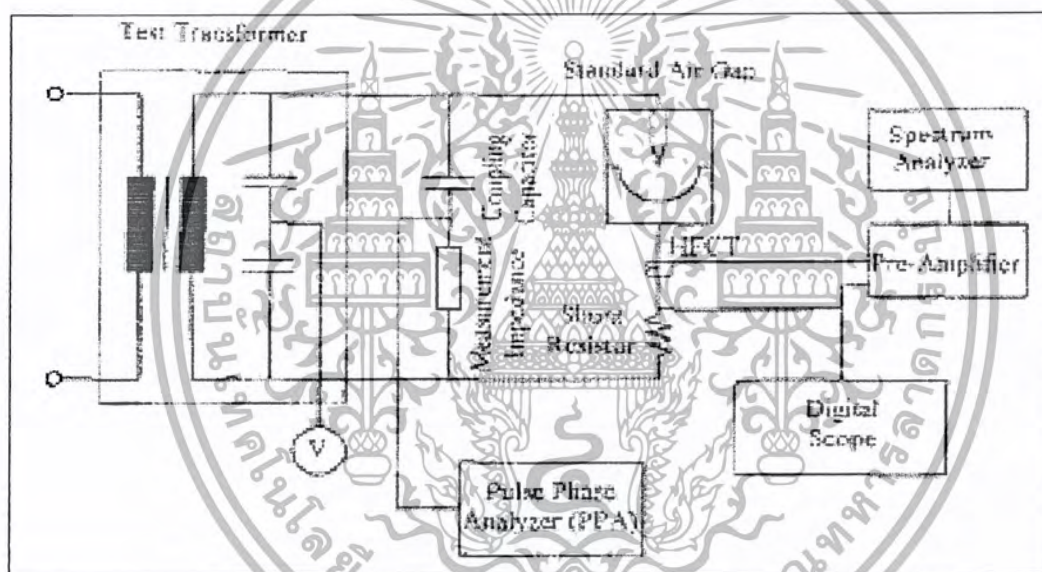
เทคนิควิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบวงเปิด สามารถใช้แยกสัญญาณ ดิสซาร์จบางส่วน ออกจากสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้เทคนิคการ denoising โดยเวฟเล็ด ด้วยการใช้ระดับของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ดจะให้ผลการลดระดับสัญญาณรบกวนใกล้เคียงระดับที่เหมาะสม ซึ่งทั้งนี้จะต้องเลือกชนิดของเวฟเล็ดและใช้ระดับสเกลให้เหมาะสมด้วย

Pulse Code Modulation (PCM) คือวิธีที่ใช้กันทั่วไปมากที่สุด ซึ่งสัญญาณอนาล็อก จะถูกส่งผ่านใน digital mode เหมือนกับการ nonlinear quantization ถูกแสดงในกระบวนการเข้ารหัส เพื่อส่งผ่านข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากที่สุด

เราเริ่มแนวความคิดที่เหมือนกันคือสัญญาณดิสซาร์จบางส่วน ที่ได้รับจากบริเวณที่ถูกบีบอัดเพื่อเสริมแอมพลิจูดที่น้อยกว่าของสัญญาณดิสซาร์จบางส่วน ในการหาที่เกี่ยวข้องและในผลที่แสดงนอกเหนือจากนี้สัญญาณ

คิซาร์จบางส่วนระดับต่ำกว่าถูกเสริมโดยใช้ $\mu - 255$, quantizer 12 – bit นอกจากนี้การทดสอบควรถูกทำให้เกิดขึ้น เพื่อให้มั่นใจว่าค่าของ μ และจำนวน bit ที่เลือกสำหรับ quantizater ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสม ค่า μ ที่เหมาะสมผันแปรกับลักษณะของสัญญาณ , quantizer 7 – bit ด้วย compander $\mu - 255$ ที่เพียงพอสำหรับการตรวจจับ Companding เสริมตำแหน่งคิซาร์จบางส่วน อย่างมากโดยใช้ Time domain reflectometry , สัญญาณคิซาร์จบางส่วน จากปลายของเคเบิลต้องถูกบีบอัดก่อนถึง linear A/D Converter ส่วน non linear A/D Converter สามารถถูกใช้เพื่อนำไปใช้กระบวนการบีบอัดในช่วงกระบวนการ A/D Conversion อย่างไรก็ตาม เพราะ A/D Converter ทางการค้าเป็นแบบ linear ซึ่งการบีบอัดแบบ analog ก่อน A/D Conversion โดยทั่วไปจะสะดวกกว่า.

4.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วงจร On-line Partial Discharge [5]



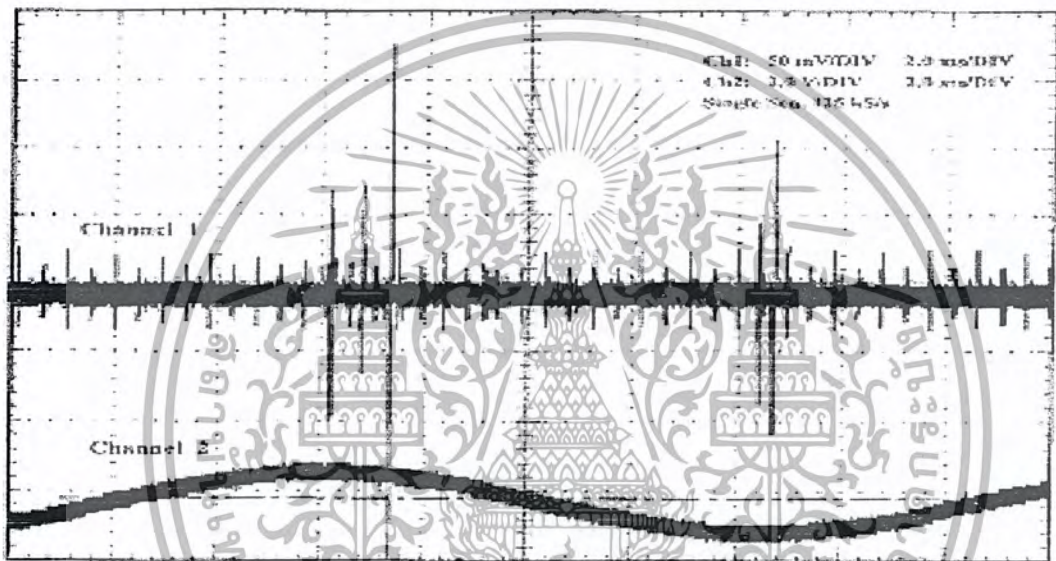
รูปที่ 4-20 ขั้นตอนการติดตั้งการทดสอบ On-line PD กับ Air gap มาตรฐาน

จากรูปที่ 4-20 เป็นวงจรการทดสอบคิซาร์จบางส่วน(พัลส์ของโคโรนา)ที่อยู่ในช่องอากาศโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบกับความไวของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม(Spectrum Analyzer) อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นแบบแท่งกับทรงกลม(Point-to-Sphere)แบบมาตรฐานใช้สำหรับสร้างโคโรนาพัลส์ที่ระดับมากกว่า 5% ของแรงดันที่ใช้(15 kV) มีการใช้หม้อแปลงกระแสความถี่สูง(HFCT)ติดตั้งทางด้านแรงดันต่ำของช่องอากาศ ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจาก HFCT จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องขยายสัญญาณ(Pre-Amplifier)ในอัตราขยายเท่ากับ 28 dB

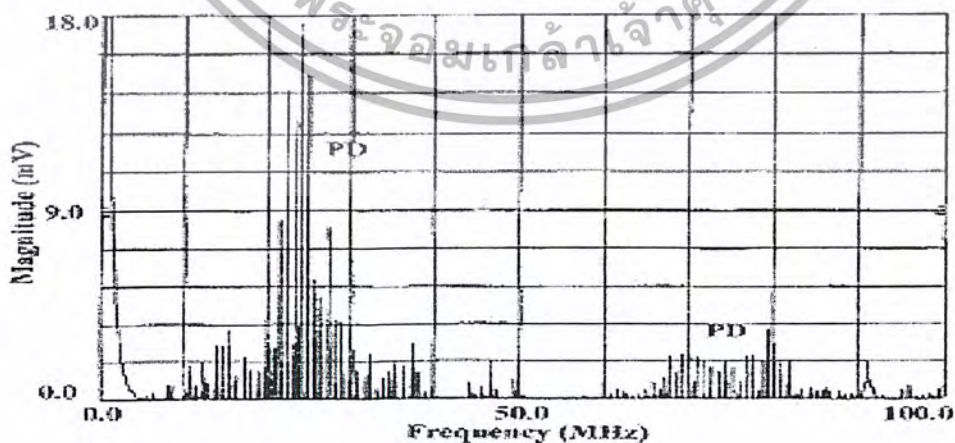
ส่วนเทคนิคการวัดคิซาร์จบางส่วนอีกวิธีหนึ่งจะใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิงขนาด 80 pF ต่อทางด้านแรงดันสูงของช่องอากาศ สัญญาณคิซาร์จบางส่วนที่ได้จาก C-Coupling จะถูกแสดงเป็นค่าเฉลี่ยโดยเครื่อง

PPA ส่วนสัญญาณที่ตกคร่อมตัวต้านทานขนาด $500\ \Omega$ ที่ต่ออยู่ระหว่างช่องอากาศกับกราวด์จะถูกแสดงบนช่องต่างๆของดิจิตอลสโคปเพื่อหาความถี่ของรูปคลื่นที่ถูกป้อนแรงดันเข้าไป

เมื่อพิจารณาถึงแถบกว้างความถี่(Bandwidth)ที่ใช้ของอุปกรณ์แต่ละตัว เพื่อใช้หา PD Pulse ตามทฤษฎีแล้วจะมีดังต่อไปนี้ SA ใช้ Bandwidth 10 kHz – 200 MHz, PPA ใช้ Bandwidth ที่ 40 MHz – 200 MHz, ดิจิตอลสโคปใช้ Bandwidth ที่ 1 kHz – 1000 MHz เพราะว่าความไวของสัญญาณที่จับได้ขึ้นอยู่กับ PD Pulse ที่อยู่ในช่วง 40 MHz – 200 MHz ที่สามารถหาได้จากวิธีการนี้ แต่หากว่าถ้า PD Pulse มีความถี่น้อยกว่า 40 MHz ความไวของ PPA จะน้อยกว่าของ SA และดิจิตอลสโคปมาก

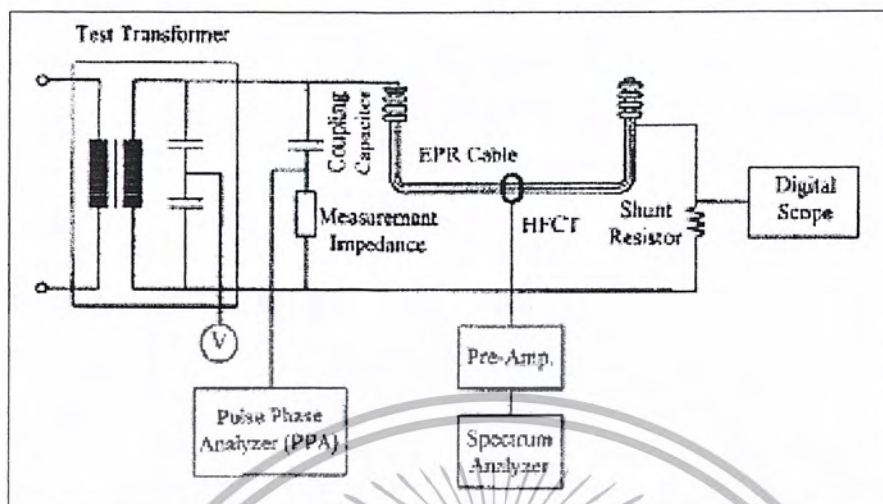


รูปที่ 4-21 สัญญาณ PD ของ Air gap ที่วัดได้จากดิจิตอลสโคปผ่านทางตัวต้านทาน



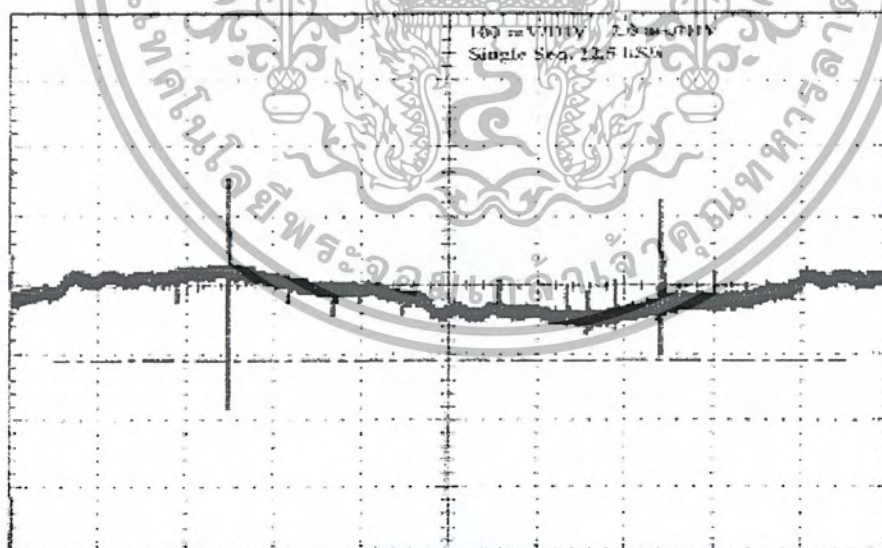
รูปที่ 4-22 สัญญาณ PD ของ Air gap ที่ได้จาก HFCT และแสดงผลโดย Spectrum Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



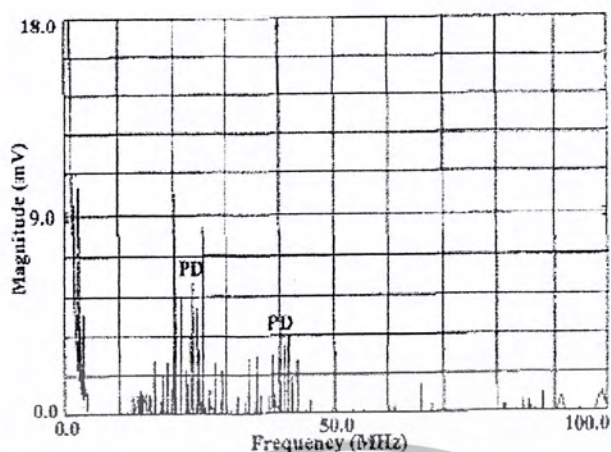
รูปที่ 4-23 ขั้นตอนการติดตั้งการทดสอบ On-line PD กับ สายเคเบิล

จากรูป 4-23 แสดงการหาทิศทางบางส่วนในเคเบิลประเภท EPR ที่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ที่บริเวณกึ่งกลางของสายเคเบิลที่มีความยาว 15 เมตร และทำการจ่ายไฟที่ 13 kV โดยมีวงจรการต่อเหมือนกับที่ทดลองดังรูปข้างบน

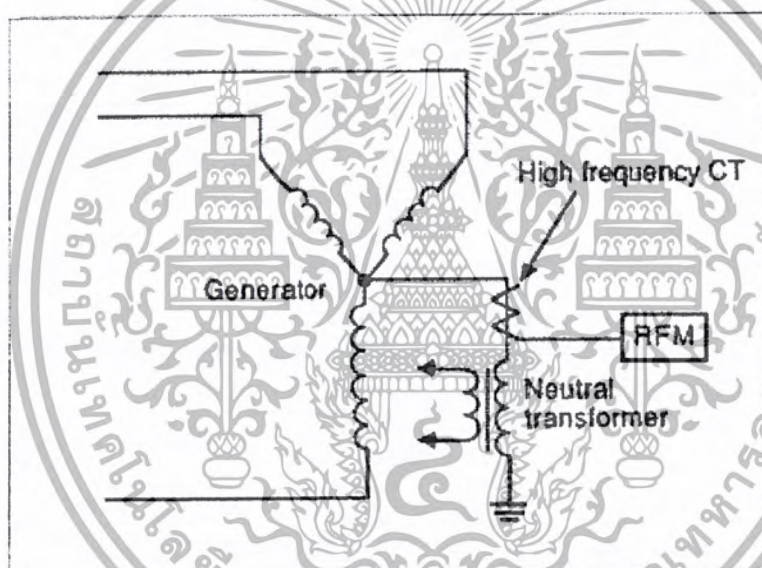


รูปที่ 4-24 สัญญาณ PD ของสายเคเบิลที่วัดได้จากดิจิตอลสโคปผ่านทางตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



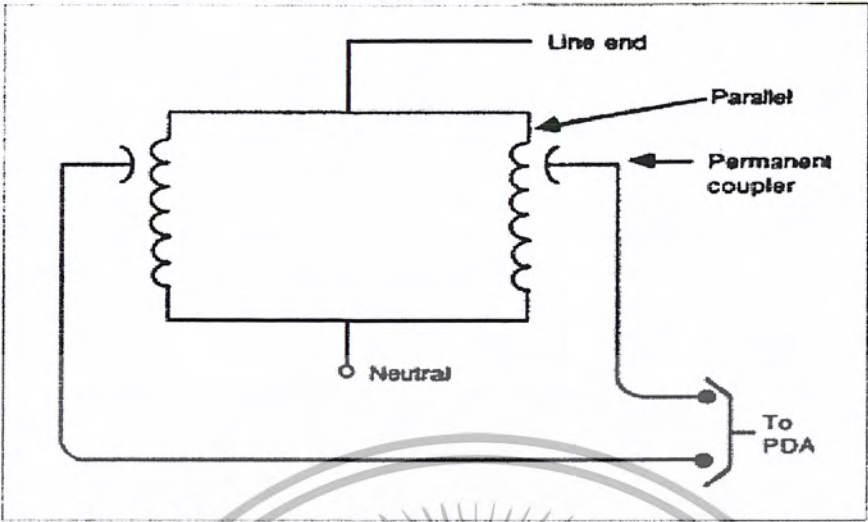
รูปที่ 4-25 สัญญาณ PD ของสายเคเบิลที่ได้จาก HFCT และแสดงผลผ่านทาง Spectrum Analyzer



รูปที่ 4-26 การติดตั้งวงจร RF Monitoring (Radio Frequency) ซึ่ง ดิสชาร์จบางส่วนจะเหนี่ยวนำให้เกิด สัญญาณและถูกตรวจจับโดย HFCT [7]

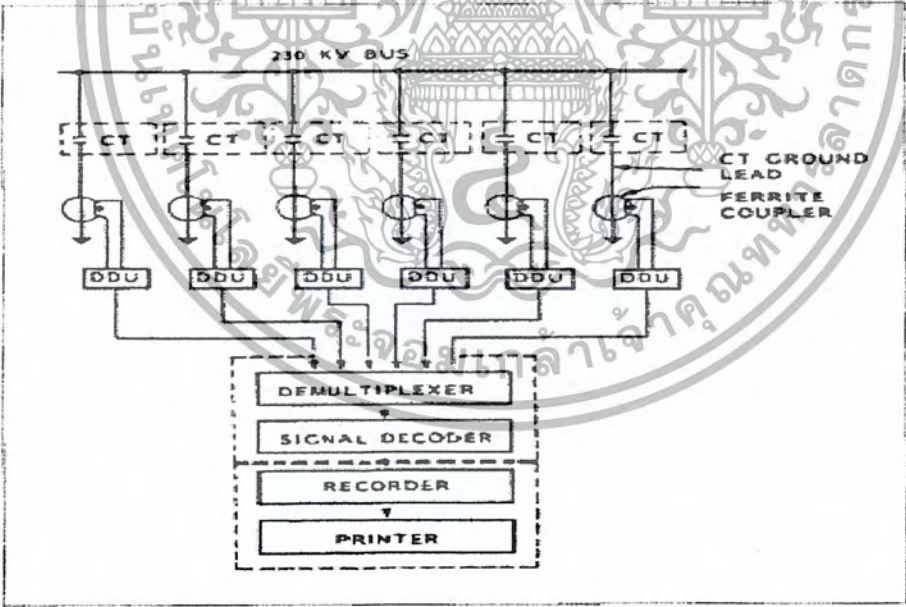
จากรูปที่ 4-26 เป็นการวัดสัญญาณ PD จะถูกตรวจจับบริเวณจุดต่อฉนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วย HFCT และจะได้สัญญาณออกมา ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ได้โดยตรงจาก Spectrum Analyzer และ PD จะถูกแยกออกจากสัญญาณรบกวนด้วยความถี่ของ SA แบบแถบความถี่แคบผ่านได้ (Narrow Band pass Filter) และทำการสังเกต pulse ที่ความถี่เฉพาะในโดเมนของเวลา จะเห็นว่าจะต้องใช้ทั้งความถี่และรูปแบบของการเกิด PD ทำการแยกสัญญาณรบกวนออก ซึ่งทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช่วิธีการและประสบการณ์ของผู้ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



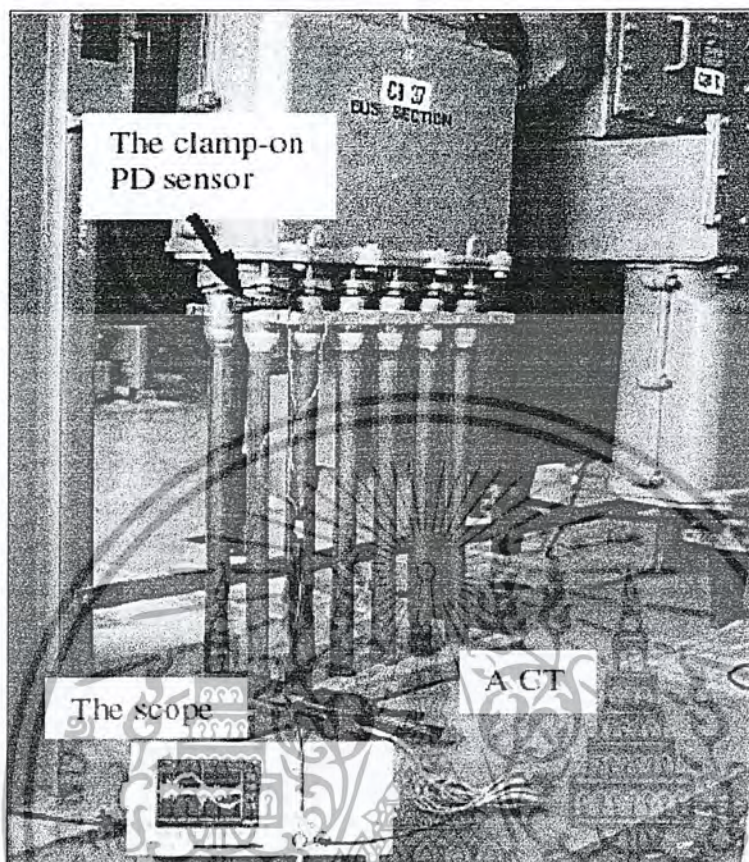
รูปที่ 4-27 วงจรของ PDA (Partial Discharge Analyzer) ที่ติดตั้งกับจุดต่อแยกของขดลวดใน Hydrogenerator [7]

รูปที่ 4-27 ในเครื่อง PDA จะมีตัวเก็บประจุแรงดันสูง ขนาด 80 pF อย่างน้อย 2 ตัวในแต่ละเฟส ต่อบริเวณส่วนปลายของ Ring Bus ที่ต่ออยู่กับขดลวดในแต่ละเฟส



รูปที่ 4-28 วงจร schematic ของ FASE (False Anticipation in Substation Equipment) ที่นำ CT มาต่อเข้ากับบัสบาร์ของโรงไฟฟ้าเพื่อตรวจจับ ดิสชาร์จบางส่วน [7]

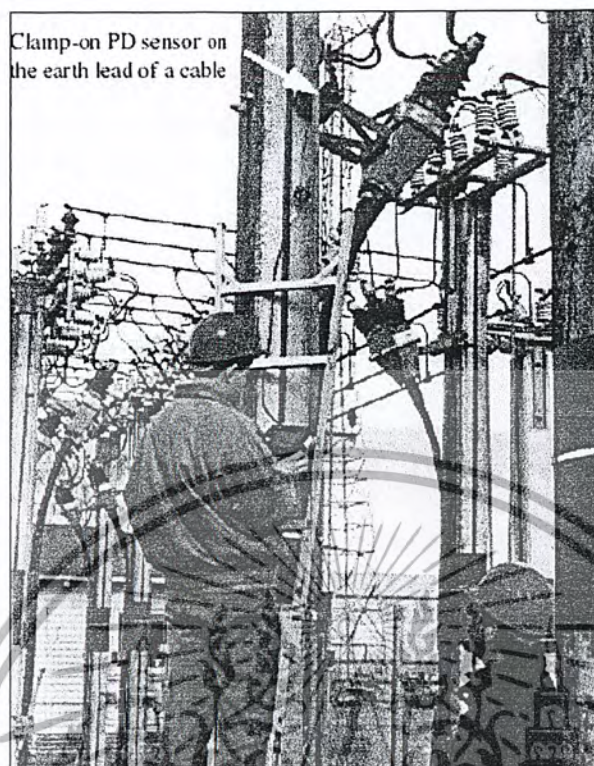
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



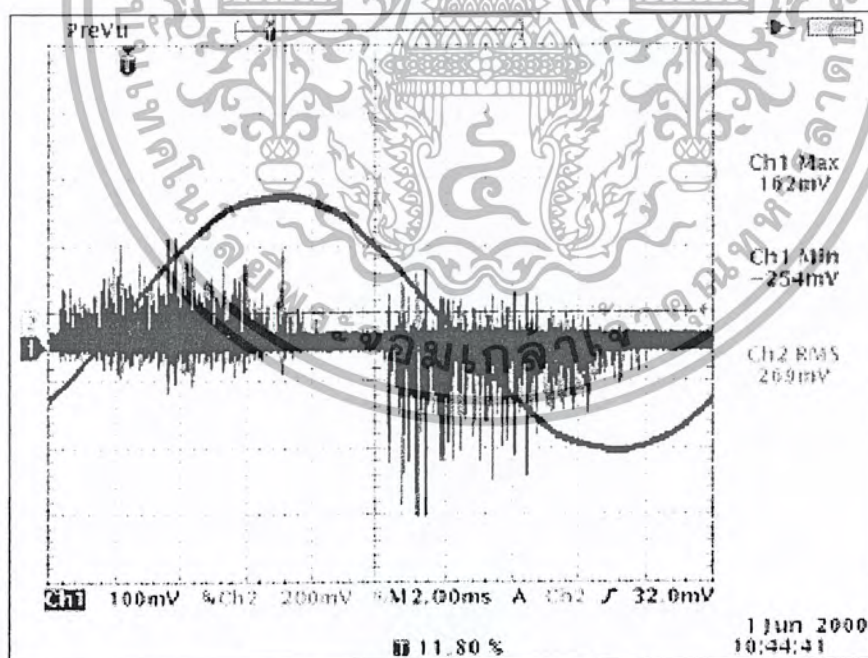
รูปที่ 4-29 การวัดแบบ *On-line Partial Discharge* ในสายเคเบิลและฉนวนของสวิตช์บอร์ด

จากรูปข้างบนเป็นการวัดคิสรังบางส่วนแบบพกพาซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องตรวจจับ PD แบบเกาะคล้อง(Clamp-on) และดิจิตอลสโคปแบบพกพาซึ่งสามารถบันทึกเก็บข้อมูลได้ซึ่งมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา และมีหิ้วไปในที่ต่างๆเช่น บริเวณหน้างาน ได้

ตัวตรวจจับ(Sensor) สามารถเกาะคล้องกับวัตถุทดสอบที่ใช้ไฟฟ้าแรงสูงได้ทั้งแบบชั่วคราวหรือแบบถาวร เพื่อเป็นการประหยัดและหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายในเวลาระบบหยุดจ่ายไฟ



(ก) การวัดคิสรจางส่วนบริเวณหน้างานจริง



(ข) สัญญาณของคิสรจางส่วนที่วัดได้

รูปที่ 4-30 แสดงการวัด PD แบบ On-lineของสายเคเบิลและสัญญาณที่วัดได้

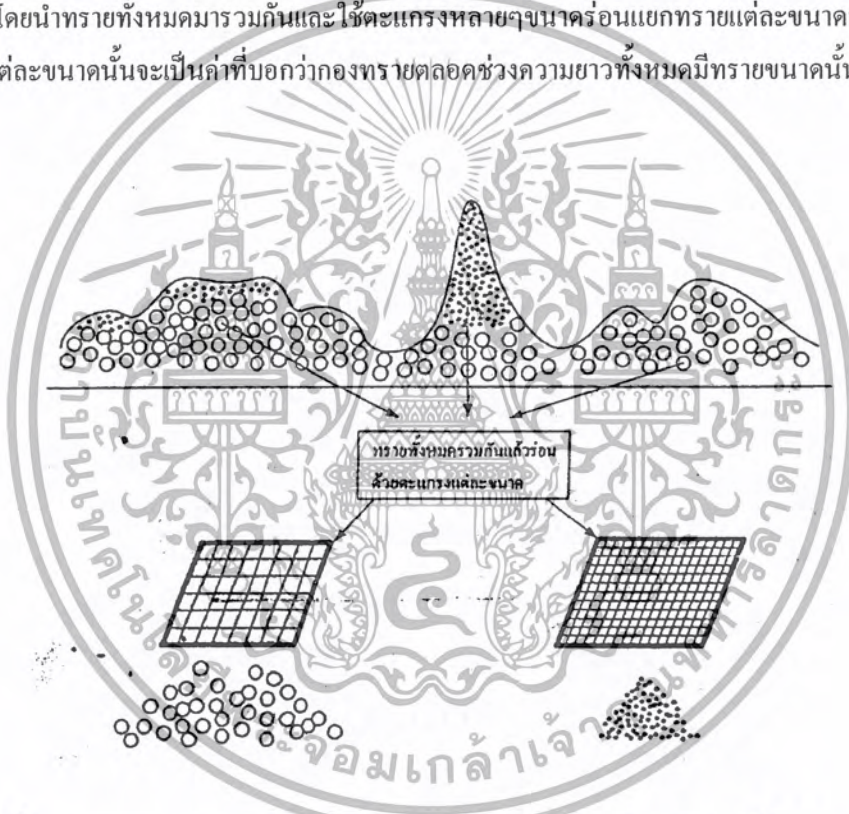
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีการแปลงเวฟเลต

เพื่ออธิบายถึงทฤษฎีการแปลงเวฟเลตให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และเป็นแนวทางสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงทำการยกตัวอย่างของการแยกขนาดเม็ดทรายดังต่อไปนี้

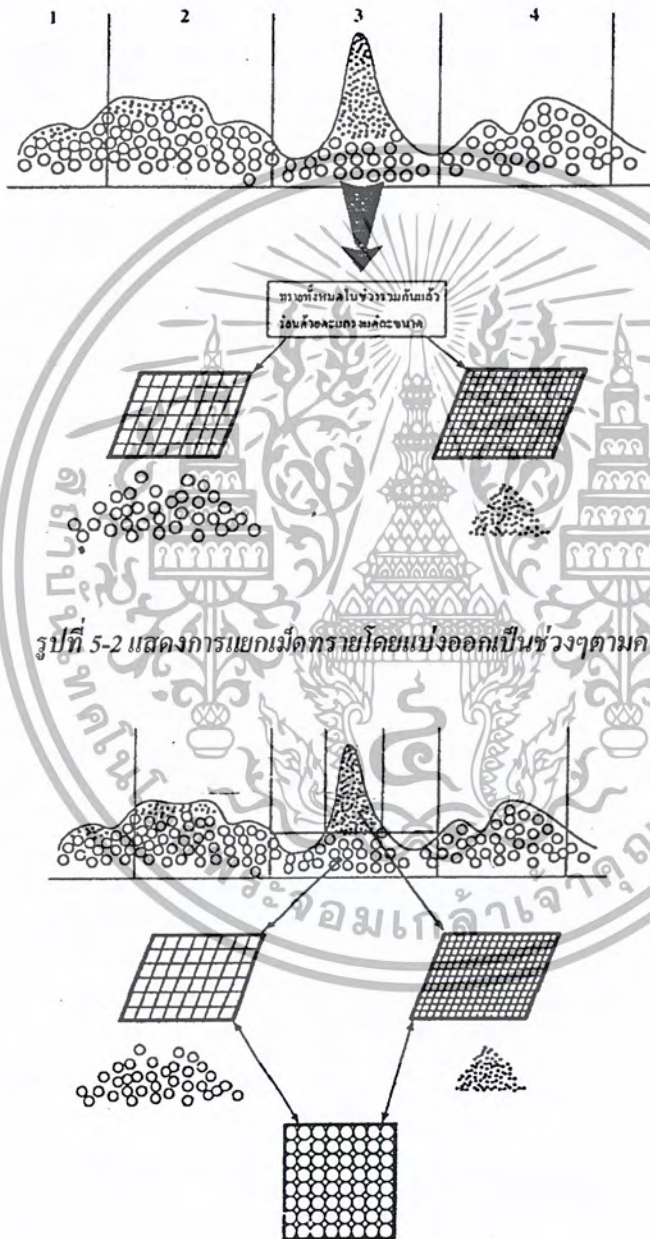
เมื่อพิจารณากองทรายกองทรายกองหนึ่งซึ่งสมมติให้มีเม็ดทรายขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน โดยกำหนดให้ทรายที่มีขนาดใหญ่อยู่ด้านล่าง ส่วนทรายที่มีขนาดเล็กอยู่ด้านบน และมีการกระจายตัวของทรายแต่ละขนาดตามความยาวของกองทรายตามรูปที่ 5-1 เมื่อต้องการแยกทรายแต่ละขนาดออกจากกัน วิธีทั่วไปสามารถทำได้โดยนำทรายทั้งหมดมารวมกันและใช้ตะแกรงหลายๆขนาดร่อนแยกทรายแต่ละขนาดออกมา ซึ่งปริมาณทรายแต่ละขนาดนั้นจะเป็นค่าที่บอกว่างกองทรายตลอดช่วงความยาวทั้งหมดมีทรายขนาดนั้นมากน้อยอยู่เพียงใด



รูปที่ 5-1 แสดงการแยกขนาดเม็ดทรายโดยการใช้การรวมทรายแต่ละขนาดเข้าด้วยกัน

สิ่งหนึ่งที่ขาดหายไปคือ ไม่สามารถทราบได้เลยว่าแต่ละช่วงของกองทรายนั้นมีทรายแต่ละขนาดอยู่มากน้อยเพียงใด ทางแก้ไขที่ช่วยลดข้อบกพร่องดังกล่าวคือการแบ่งกองทรายนี้ออกเป็นช่วงๆตามความยาวดังรูปที่ 2 แล้วทำการร่อนทรายในแต่ละช่วงออกมา ซึ่งจะทำให้ทราบว่าแต่ละช่วงหรือตำแหน่งของกองทรายมีปริมาณทรายแต่ละขนาดอยู่เท่าใดบ้าง และเมื่อพิจารณาในช่วงที่ 3 ซึ่งมีทรายขนาดเล็กอยู่เพียงช่วงสั้นๆ แต่การแบ่งช่วงที่กว้างนั้นทำให้ผลการร่อนทรายที่ได้บอกว่ามีทรายขนาดเล็กอยู่ตลอดช่วงที่ 3 ซึ่งไม่ถูกต้องนัก ดังนั้น

เพื่อให้สามารถทราบปริมาณทรายแต่ละขนาดในแต่ละตำแหน่งที่ต้องการ ควรมีการแบ่งช่วงของกองทรายให้มีความกว้างที่แตกต่างกันคือ ช่วงที่แคบสำหรับการร่อนทรายขนาดเล็ก และช่วงที่กว้างสำหรับการร่อนทรายขนาดใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 5-3 และการร่อนจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถ้าสามารถเลือกรูปแบบ ของตะแกรงที่เหมาะสมกับเม็ดทรายที่จะนำมาร่อน เช่น ถ้าเม็ดทรายเป็นทรงกลมก็ควรใช้ตะแกรงที่มีตาเป็นวงกลม หรือถ้าเม็ดทรายเป็นทรงสี่เหลี่ยมก็ควรใช้ตะแกรงที่มีตาเป็นสี่เหลี่ยม เป็นต้น



รูปที่ 5-2 แสดงการแยกเม็ดทรายโดยแบ่งออกเป็นช่วงๆตามความยาว

รูปที่ 5-3 แสดงการแยกเม็ดทรายโดยแบ่งช่วงที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างการแยกเม็ดทรายที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบลักษณะของกองทรายกับลักษณะของสัญญาณทรานเซียนด์เซ็น สัญญาณพอลด์พบว่ามีความคล้ายคลึงกันคือ กองทรายมีเม็ดทรายที่มีหลายขนาดและกระจายออกไปตามแนวยาวในปริมาณที่แตกต่างกัน ในขณะที่สัญญาณทรานเซียนด์จะมีองค์ประกอบของความถี่ที่แตกต่างกันรวมอยู่ด้วยกันและกระจายอยู่ในขนาดที่ไม่เท่ากันตามแนวแกนเวลา ดังนั้นถ้าสามารถนำรูปแบบของการแยกทรายตามรูปที่ 5-3 มาประยุกต์ใช้กับการแยกองค์ประกอบของสัญญาณในแต่ละความถี่ของสัญญาณทรานเซียนด์ออกจากกัน รวมทั้งการเลือกฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์ที่เหมาะสมก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ของแต่ละความถี่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นปริิฏญานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษากระบวนการประมวลผลสัญญาณที่มีลักษณะการวิเคราะห์ตามรูปแบบที่ได้กล่าวมาเพื่อที่จะนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งพบว่ากระบวนการแปลงเวฟเลตเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานโดยมีรายละเอียดในทางปฏิบัติดังต่อไปนี้

5.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเลต

การแปลงเวฟเลตเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ที่ได้มีการพัฒนามาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม แต่ได้พัฒนารูปแบบให้มีความเหมาะสมกับงานที่ใช้เฉพาะทางมากยิ่งขึ้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายความหมายและความแตกต่างของการแปลงเวฟเลตกับการแปลงสัญญาณในแบบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจและนำไปใช้งานต่อไป

5.1.1 การแปลงฟูเรียร์(Fourier Transform : FT)

เป็นรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลา (Time domain) ไปเป็นโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นการหาสเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณนั่นเอง บางครั้งสามารถกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยฟังก์ชันพื้นฐาน (basic function) ในรูปของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปของการแสดงองค์ประกอบของสัญญาณใดๆ ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน โคไซน์และไซน์ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกันตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง ∞ ดังแสดงในสมการที่ 1

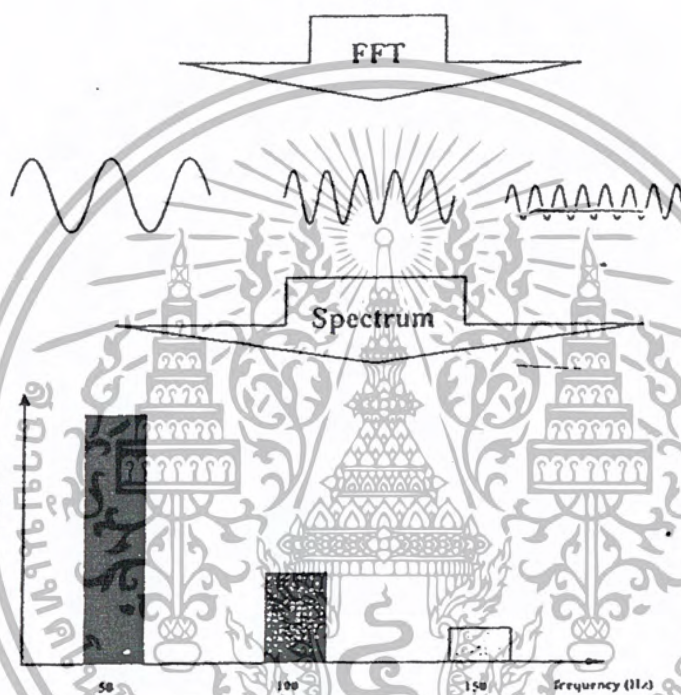
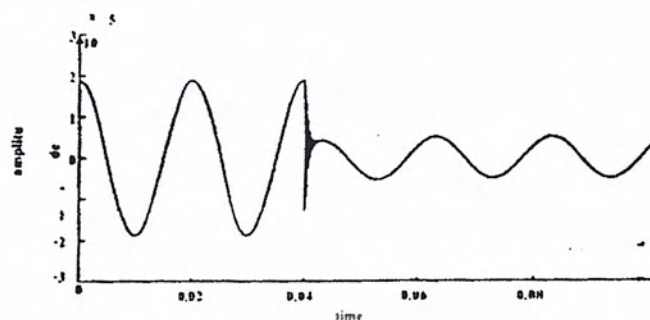
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

ซึ่งมีสมการในเทอมของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสุ่ม (Sampling data) ที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) ดังสมการที่ 2

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k)e^{-\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right)} \quad (2)$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots, N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-4 แสดงการแปลงฟูเรียร์

ผลการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงฟูเรียร์ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 5-4 (เทียบได้กับการร่อนทรายรูปที่ 5-1) ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์จะมีความแม่นยำด้านความถี่ และเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบเวลาที่แน่นอน (Stationary signal) แต่ข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์คือ ในกรณีที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ (Non-stationary signal) เช่น สัญญาณทรานเซียนต์รูปแบบต่างๆ การวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นรวมทั้งข้อมูลทางด้านเวลาที่ขาดหายไป ซึ่งข้อมูลทางด้านเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์สัญญาณในลักษณะทรานเซียนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

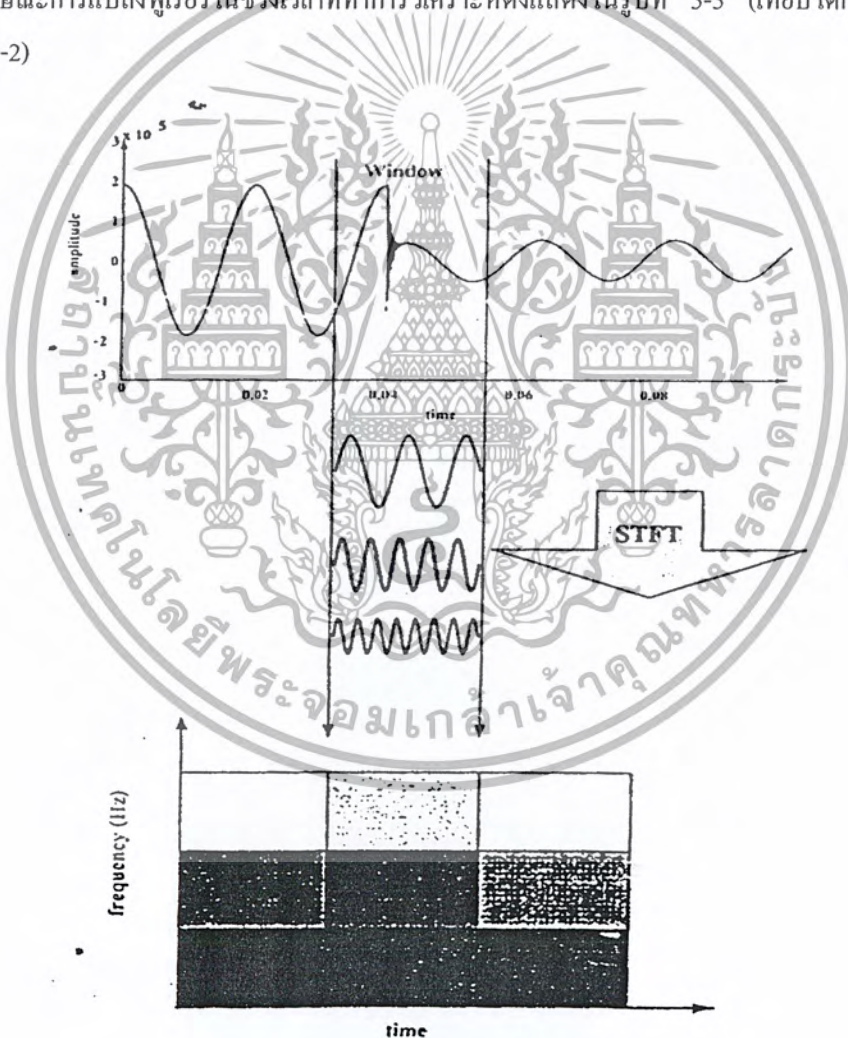
5.1.2 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short-Time Fourier Transform : STFT)

จากข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์ จึงมีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณมาสู่การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่เลือกการใช้ฟังก์ชันหน้าต่าง(Windows function) จึงทำให้มีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์สัญญาณมากยิ่งขึ้น ดังสมการที่ 3

$$STFT(f, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - \tau)e^{-j2\pi ft} dt \quad (3)$$

เมื่อ $w(t - \tau)$ = Windows function ที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์ถูกกำหนดโดยค่า τ และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์กำหนดด้วยความถี่หรือความกว้างของฟังก์ชันหน้าต่างนั้นๆ ผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของการแตกองค์ประกอบสัญญาณในลักษณะการแปลงฟูเรียร์ในช่วงเวลาที่ทำกรวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 5-5 (เทียบได้กับการร่อนทรายในรูปที่ 5-2)



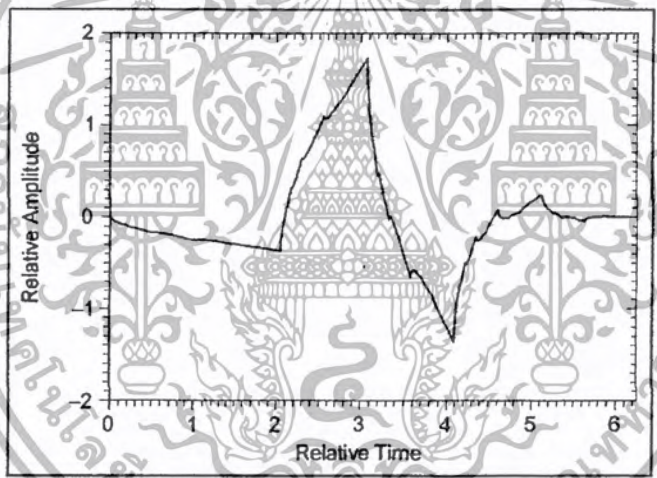
รูปที่ 5-5 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น(STFT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้ว่าการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้น มีลักษณะของช่วงเวลาคงที่ (Fixed resolution transform) ดังนั้นการใช้ช่วงการวิเคราะห์สัญญาณที่คงที่ การวิเคราะห์สัญญาณทุกช่วงความถี่จึงอาจไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว จึงควรใช้ช่วงเวลาที่แคบในการวิเคราะห์ ในขณะที่สัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้า จึงควรใช้ช่วงเวลาที่กว้างกว่าในการวิเคราะห์ เทียบได้กับการร่อนทรายในรูปที่ 5-3 จากเหตุผลนี้จึงได้มีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่มีการปรับระดับความละเอียดในการวิเคราะห์ ซึ่งเรียกว่า “ การแปลงเวฟเลต ”

5.2 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Tranform : WT)

ทฤษฎีเวฟเลต (Wavelet Theory) เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยเฉพาะสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า “เวฟเลต” ลักษณะของเวฟเลตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วดังรูปที่ 5-6

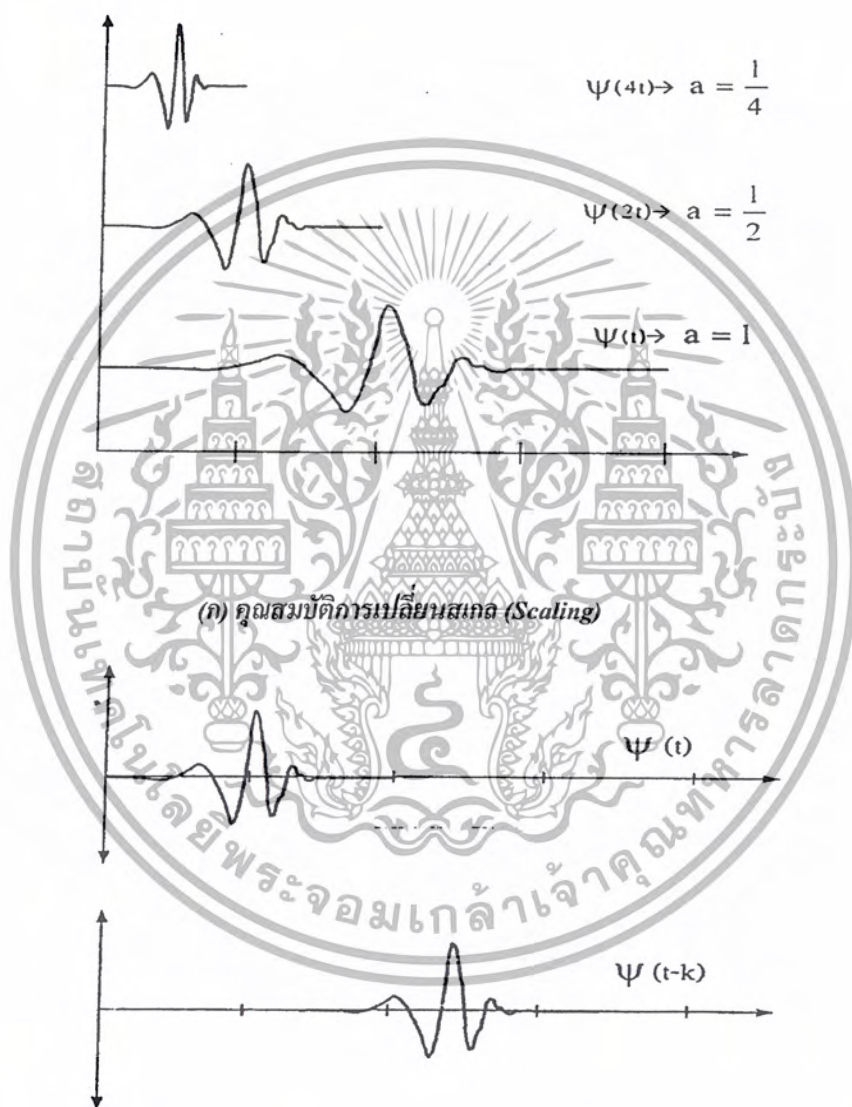


รูปที่ 5-6 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเลตแบบ

ดังนั้นการอธิบายสัญญาณใดๆ ด้วยการแปลงเวฟเลตคือการนำกลุ่มของเวฟเลตที่มีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะมีเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่า “เวฟเลตแม่” (Mother wavelets) โดยที่คลื่นเวฟเลตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการสเกล (Scaling : a) หรือเป็นการยืดหรือหดของตัวเวฟเลตแม่นั่นเอง และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting : b) ซึ่งการเปลี่ยนตำแหน่งบนการแกนเวลาดังกล่าว ดังนั้นถ้าให้ $\Psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของพจน์ต่างๆ ได้ดังนี้

$$(\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi(\frac{t-b}{a})$$

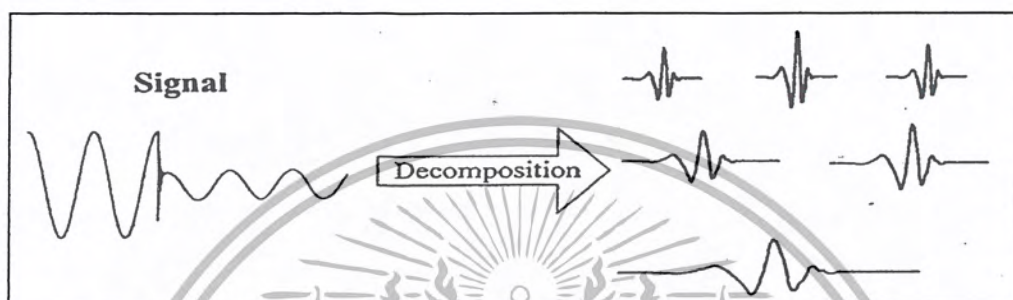
$\Psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ที่มีการปรับเปลี่ยนสเกลและตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ โดยที่เวฟเล็ดแม่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามการเปลี่ยนแปลงค่า a และ b แต่ยังคงอยู่ในเซตหรือมีความสัมพันธ์กับเวฟเล็ดแม่เดิมอยู่ดังรูปที่ 5-7 และเพื่อให้เวฟเล็ดที่ถูกสเกลไปมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ดแม่ จึงต้องทำการนอร์มัลไลซ์(Normalize) ด้วย $1/\sqrt{a}$ เสมอ



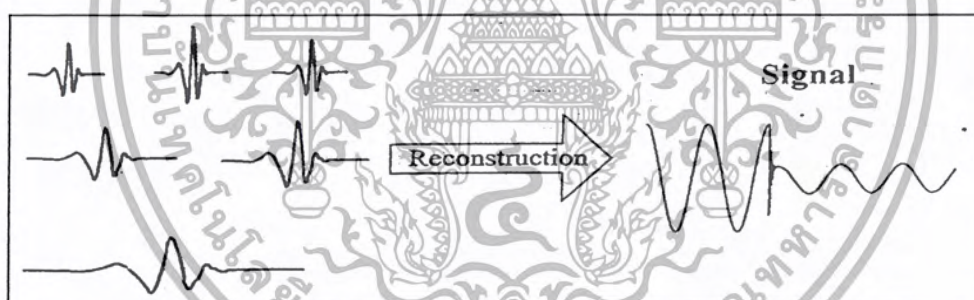
(ข) คุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

รูปที่ 5-7 แสดงคุณสมบัติการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ด

และเมื่อนำสัญญาณใดๆมาผ่านการแปลงเวฟเลตก็เปรียบเสมือนการแตกสัญญาณนั้นออกมาอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่มีตำแหน่งทางเวลาและสเกลที่แตกต่างกันออกไป โดยที่เวฟเลตแต่ละตัวจะมีค่าน้ำหนัก(Weight)คูณอยู่ ซึ่งรูปแบบในการแตกกระจายสัญญาณนี้เรียกว่า การกระจายเวฟเลต (Wavelet decomposition) ดังรูปที่ 5-8 และในทางกลับกัน การรวมกลุ่มของเวฟเลตแต่ละตัวมาประกอบขึ้นเป็นสัญญาณเดิมนั้นเรียกว่า การรวมกลับเวฟเลต (Wavelet reconstruction) ซึ่งก็คือการแปลงกลับเวฟเลต (Inverse wavelet transform) ดังรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-8 แสดงการกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลต



รูปที่ 5-9 แสดงการสร้างสัญญาณกลับด้วยเวฟเลต

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของการแปลงเวฟเลตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง(Continuous Wavelet Transform : CWT)

รูปแบบของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องนั้นมีลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเวฟเลตแม่ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่แคบในการวิเคราะห์ความถี่สูง และช่วงในการวิเคราะห์ที่กว้างในการวิเคราะห์ห้วงที่ประกอบความถี่ต่ำ ซึ่งก็เป็นการปรับระดับความละเอียดในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องให้เหมาะสมกับความถี่ที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแสดงสมการสำหรับการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

เมื่อ $f(t)$ = สัญญาณที่ทำการแปลง

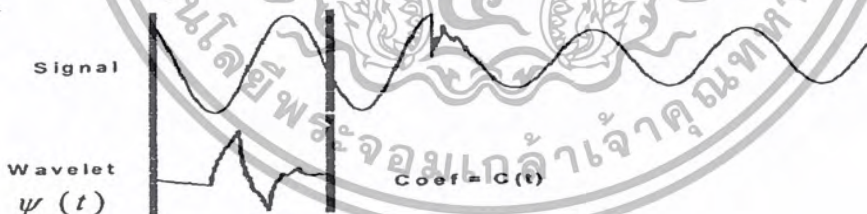
$\Psi(t)$ = เวฟเลตแม่

a = แפקเตอร์สเกล (scale)

b = แפקเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (shifting)

เมื่อพิจารณาเทอมของ $\Psi(t)$ ซึ่งเป็นเทอมของเวฟเลตแม่ที่เทียบกับเทอมของฟังก์ชันหน้าต่างๆ ในการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้นเอง แต่เมื่อพิจารณาเทอมของ $\Psi(t)$ จะมีการเปลี่ยนคุณสมบัติไปตามพารามิเตอร์ a และ b ซึ่งสามารถแสดงลักษณะในการวิเคราะห์ได้ดังนี้

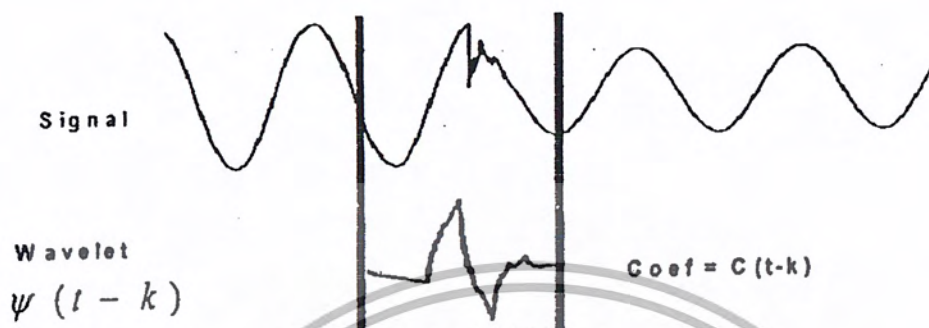
1. นำเวฟเลตแม่มาเปรียบเทียบกับส่วนแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณในสเกลแรก



รูปที่ 5-10 แสดงขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของการแปลงเวฟเลต

2. กำหนดสัมประสิทธิ์(C) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวฟเลตแม่ในสเกลแรกกับสัญญาณในส่วนแรก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์นี้ขึ้นอยู่กับกรเลือกใช้รูปร่างของเวฟเลตแม่ด้วย

3. เลื่อนตำแหน่งการวิเคราะห์ไปทางขวาและทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 และ 2 จนกระทั่งครอบคลุมช่วงสัญญาณทั้งหมด ซึ่งจากขั้นตอนที่ 1 – 3 นี้จะเป็นการแปลงเวฟเลตตลอดช่วงสัญญาณในสเกลแรก



รูปที่ 5-11 แสดงขั้นตอนที่ 3 ของการแปลงเวฟเลต

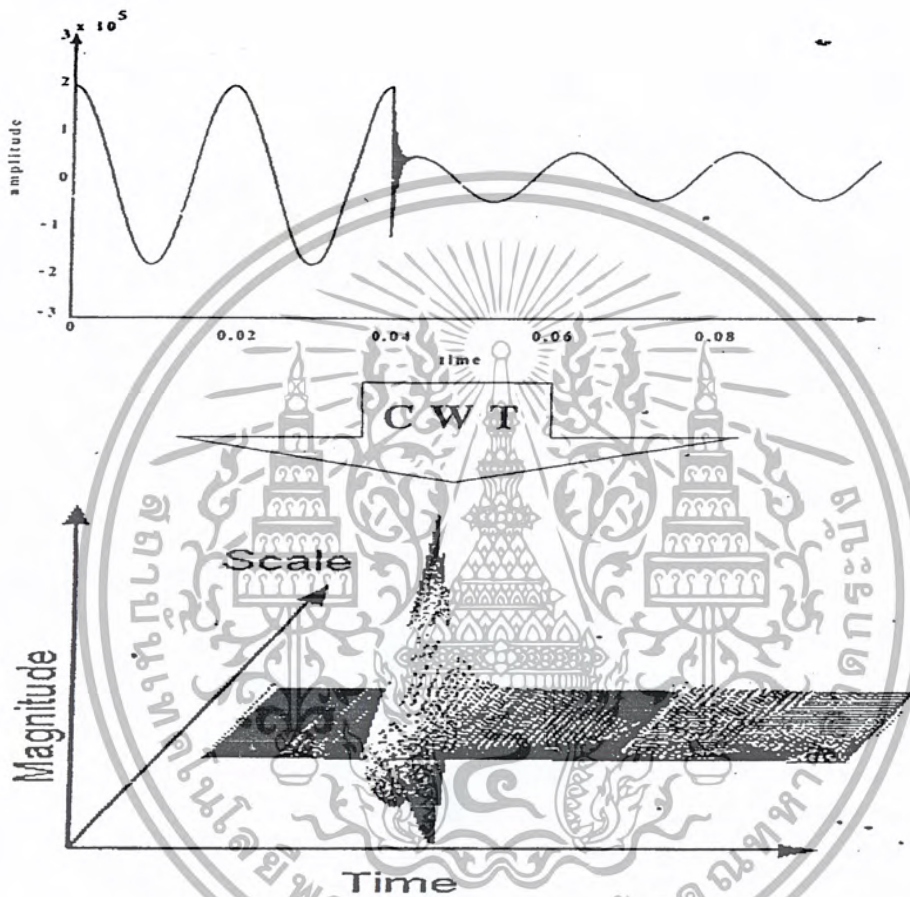
3. เปลี่ยนสเกลในการวิเคราะห์โดยการขยายสเกลทำตามขั้นตอน 1-3 ใหม่



รูปที่ 5-12 แสดงขั้นตอนที่ 4 ของการแปลงเวฟเลต

4. ทำตามขั้นตอน 1- 4 จนครบทุกสเกล

จากขั้นตอนทั้งหมดผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปสัมประสิทธิ์ที่ได้รับการวิเคราะห์ของแต่ละสเกลในแต่ละส่วนของสัญญาณ และเนื่องจากการแปลงเป็นไปในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เมื่อนำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของเวลาและความถี่ ได้ดังรูป



รูปที่ 5-13 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (CWT)

จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลการวิเคราะห์เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟจะออกมาในรูปของพื้นผิวที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งการปรับเปลี่ยนสเกลในการวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องจะให้ความแม่นยำทางด้านเวลาและความถี่ที่ดี แต่จะมีข้อเสียคือ การนำไปใช้งานที่ต้องการความเร็วในการวิเคราะห์การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องอาจจะไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างมากและบางครั้งให้ข้อมูลที่ซ้ำซ้อนมากเกินไปจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform:DWT)

จากข้อจำกัดของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องจึงมีการพัฒนารูปแบบการแปลงเวฟเลตมาสู่การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย ที่มีลักษณะการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน และก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยจำเป็นต้องกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการอธิบายก่อน

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis:MRA)

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด คือการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกกระดัดความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็กๆที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี b หลายๆตำแหน่งมารวมกันให้เกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เล็กลง และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันก็จะได้สัญญาณอินพุทจริง ซึ่งหลักการของการวิเคราะห์สัญญาณหลายระดับความละเอียดนั้นสามารถอธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีของสเปซเวกเตอร์

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) dt$$

โดยที่ a_0^m คือ การสเกล
 $nb_0 a_0^m$ คือ การเลื่อนตำแหน่ง
 m,n คือ เลขจำนวนเต็มบวก

และในทางปฏิบัติการนำมาใช้งานจริง สัญญาณที่เข้ามาจะอยู่ในรูปของการสุ่ม (sample) ดังนั้นสมการที่แล้วจึงพัฒนามาสู่สมการ

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k f(t) \psi\left[\frac{n - kb_0 a_0^m}{a_0^m}\right]$$

เมื่อ m,n,k เป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่
 n คือ จำนวนข้อมูล
 m คือ เลขแสดงการเปลี่ยนแปลงของสเกล
 k คือ เลขแสดงการเลื่อนตำแหน่ง

เมื่อพิจารณาในรูปแบบของการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดแล้ว โดยมีการเปลี่ยนแปลงสเกลในการวิเคราะห์ให้ลดลงครึ่งละ 2 เท่า ($a_0 = 2; b_0 = 1$) แล้วจะได้รูปแบบการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า dyadic wavelet transform ดังสมการต่อไปนี้

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_k f(k) \psi\left[\frac{n - k2^m}{2^m}\right]$$

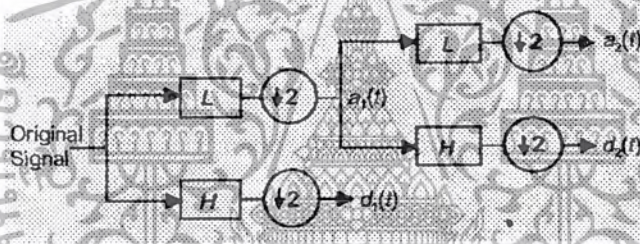
ซึ่งสามารถอธิบายหลักการทำงานได้โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ของฟิลเตอร์แบงค์ดังนี้

5.3 การวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis)

ก่อนที่จะอธิบายการสร้างการแปลงเวฟเลตในลักษณะฟิลเตอร์แบงก์นั้น ขออธิบายหลักการพื้นฐานของฟิลเตอร์แบงก์ก่อน ฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณ (two channel filter banks) จะเป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูงของสัญญาณ โดยจะถูกวิเคราะห์ด้วยคู่ชุดกรองซึ่งมีการลดความถี่ออกมาครั้งหนึ่งดังรูปที่ 5-14 ซึ่งเทอมของ $\downarrow 2$ แสดงการลดอัตราสุ่มลง (Downsampling) ด้วย 2 หรือลดผลการวิเคราะห์จากตัวกรองออกครั้งหนึ่งในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์ เมื่อนำสัญญาณอินพุตมาผ่านการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วยสัญญาณจะถูกแยกองค์ประกอบ (Decomposition) โดยตัวกรองแบบ 2 ช่อง (Two channel filter banks) ซึ่งจะแยกความถี่ในแบนด์ที่ต้องการออกเป็น 2 ส่วน คือ

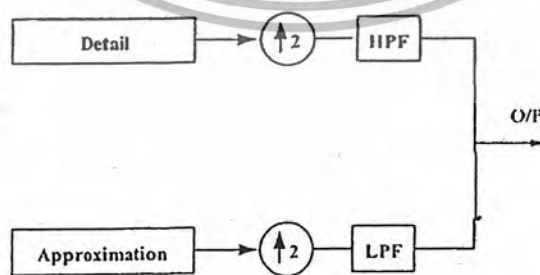
องค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งจะผ่านตัวกรองความถี่สูง (High-Pass Filter : HPF) ที่เรียกว่า “Detail (cD)”

องค์ประกอบความถี่ต่ำ ซึ่งจะผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter : LPF) ที่เรียกว่า “Approximation (cA)”



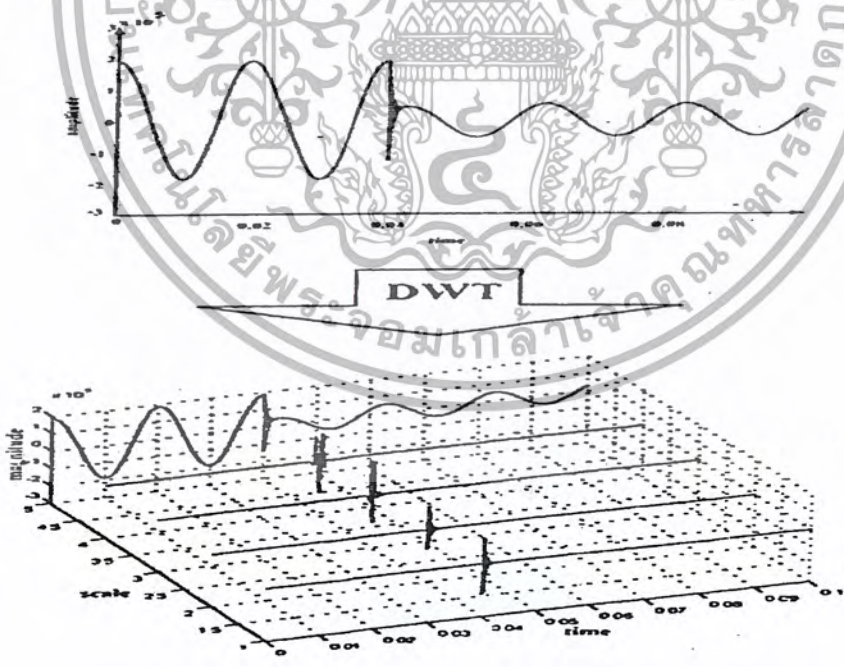
รูปที่ 5-14 แสดงการแปลงแยกสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณ

และในทางกลับกันก็สามารถสังเคราะห์เพื่อสร้างกลับฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณโดยการนำส่วนของความถี่ต่ำและความถี่สูงมารวมกันเป็นสัญญาณเดิมได้ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 5-15 จะสังเกตได้ว่าเทอม $\uparrow 2$ แสดงการเพิ่มอัตราสุ่มขึ้น (Upsampling) เป็น 2 เท่า



รูปที่ 5-15 แสดงการแปลงกลับสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณ

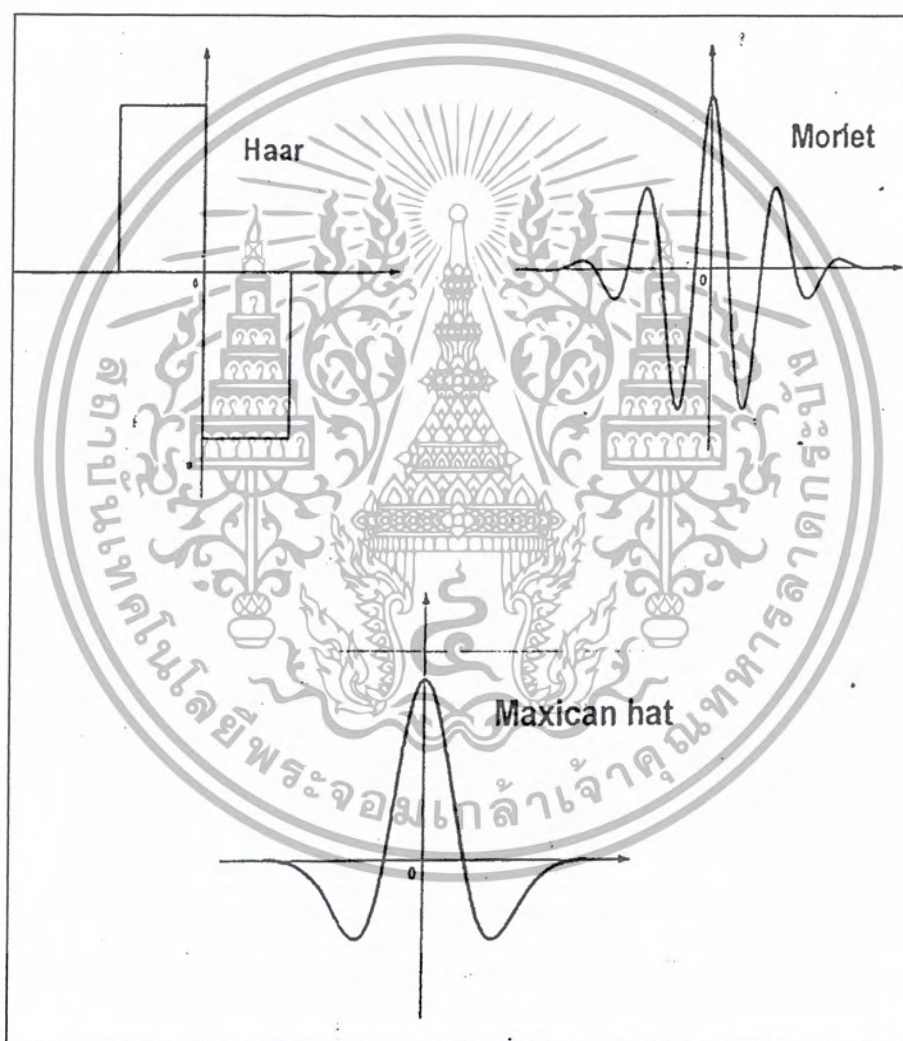
ลักษณะของตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณในลักษณะนี้เรียกว่า “Quadrature mirror filters (QMF)” ในลักษณะของ dyadic wavelet transform จะเป็นการนำฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณมาเรียงต่อกันในลักษณะโครงสร้างแบบต้นไม้ โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตในส่วนความถี่ต่ำมาทำการแยกความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์แบบออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์ (Octave analysis filter banks) โดยที่แต่ละขั้นตอนจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละ 2 เท่า ซึ่งเป็นลักษณะของการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในลักษณะของ dyadic tree structure โดยมีสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกสุ่มด้วยความถี่การสุ่ม $= f_s$ (sampling rate) จะถูกวิเคราะห์ด้วยฟิลเตอร์ 2 ช่องสัญญาณในสเกลที่ 1 (2^1) ซึ่งสัญญาณจะถูกแยกออกเป็น 2 ช่วงความถี่คือส่วนความถี่สูงหรือ detail 1 มีความถี่อยู่ในช่วง $\frac{f_s}{2} - \frac{f_s}{4}$ Hz และส่วนความถี่ต่ำ หรือ Approximation 1 มีความถี่ในช่วง $\frac{f_s}{4} - 0$ Hz และในการวิเคราะห์ในสเกลที่ 2 (2^2) ก็ทำได้โดยการนำเอาสัญญาณเดิมมาวิเคราะห์ต่อจาก Approximation 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ก็จะออกมาเป็น ส่วนความถี่สูงสเกลที่ 2 หรือ detail 2 ซึ่งมีความถี่ในช่วง $\frac{f_s}{4} - \frac{f_s}{8}$ Hz และส่วนความถี่ต่ำสเกลที่ 2 หรือ Approximation 2 มีความถี่อยู่ในช่วง $\frac{f_s}{8} - 0$ Hz ถ้าทำการวิเคราะห์ต่อไปในสเกลที่ 3 ก็ยังสามารถทำซ้ำในลักษณะเดิม ในทางกลับกันก็สามารถที่จะรวมสัญญาณที่ทำการกระจายในหลายช่วงความถี่ให้กลับมาเป็นสัญญาณเดิมได้ ซึ่งผลการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยได้แสดงอยู่ในรูปที่ 5-16



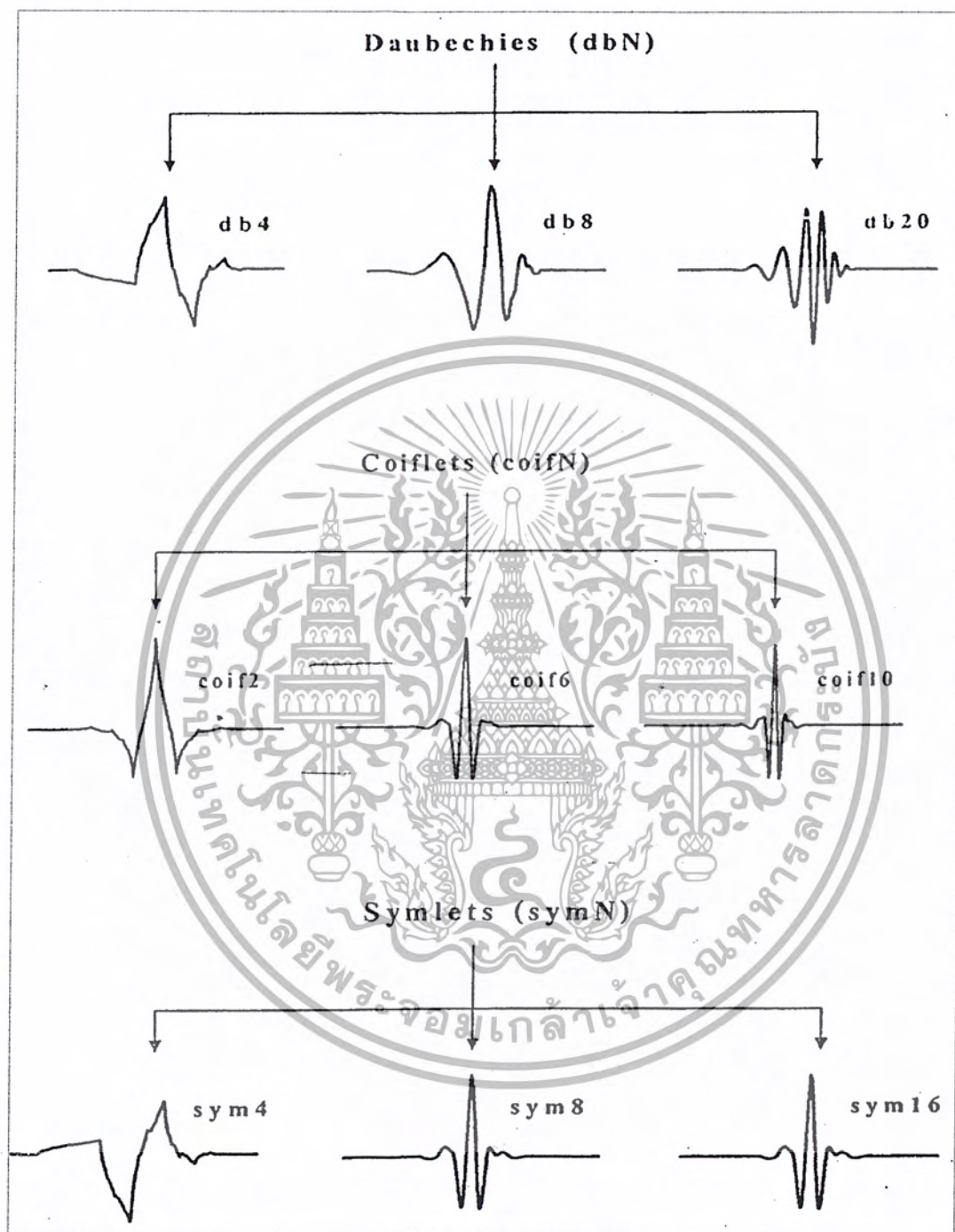
รูปที่ 5-16 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) ในสเกลที่ 1-4

5.4 เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet)

ในการวิเคราะห์สัญญาณใดๆก็ตามนอกจากการเลือกรูปแบบในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมแล้วยังมีความจำเป็นที่ต้องเลือกลักษณะของตัวกรองสัญญาณนั้นๆให้เหมาะสมด้วย สำหรับการแปลงเวฟเล็ตนั้นตัวกรองสัญญาณที่ใช้คือเวฟเล็ตแม่นั่นเอง ซึ่งจะอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบและแต่ละแบบยังมีชนิดย่อยๆลงไปอีก และเนื่องจากรูปแบบของเวฟเล็ตแม่ที่หลากหลายนี้เองจึงทำให้การแปลงเวฟเล็ตมีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยเลือกเวฟเล็ตแม่ให้เหมาะสมกับสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของเวฟเล็ตแม่ได้ดังรูปที่ 5-17 ถึง 5-18



รูปที่ 5- 17 แสดงเวฟเล็ตแม่แบบไม่มีชนิดย่อย



รูปที่ 5-18 แสดงเวฟเลตแม่แบบมีชนิดย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-19 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวกรองสัญญาณของเวฟเลตตระกูล Daubechies ที่ N มีค่าเป็น 4,6,8,10,12,14,16 และ 20.

Order	n	Filter coefficients	Order	n	Filter coefficients	Order	n	Filter coefficients
N=4	0	0.4829629131	N=14	0	0.0778520541	N=18	0	0.0380779474
	1	0.8365163037		1	0.3965393195		1	0.2438346746
	2	0.2241438680		2	0.7291320908		2	0.6048231237
	3	-0.1294095226		3	0.4697822874		3	0.6572880781
N=6	0	0.3326705530		4	-0.1439060039		4	0.1331973858
	1	0.8068915093		5	-0.2240361850		5	-0.2932737833
	2	0.4598775021		6	0.0713092193		6	-0.0968407832
	3	-0.1350110200		7	0.0806126092		7	0.1485407493
	4	-0.0854412739		8	-0.0380299369		8	0.0307256815
	5	0.0352262919		9	-0.0165745416		9	-0.0676328291
N=8	0	0.2303778133		10	0.0125509986		10	0.0002509471
	1	0.7148465706		11	0.0004295780		11	0.0223616621
	2	0.6308807679		12	-0.0018016407		12	-0.0047232048
	3	-0.0279837694		13	0.0003537138		13	-0.0042815037
	4	-0.1870343117	N=16	0	0.0544158422		14	0.0018476469
	5	0.0308413818		1	0.3128715909		15	0.0002303858
	6	0.0328830117		2	0.6756307363		16	-0.0002519632
	7	-0.0105074018		3	0.5853546837		17	0.0000393473
N=10	0	0.1601023980		4	-0.0158291053	N=20	0	-0.0266700579
	1	0.6038292698		5	-0.2840155430		1	0.1881768001
	2	0.7243085284		6	0.0004724846		2	0.5272011889
	3	0.1384281459		7	0.1287474266		3	0.6884590395
	4	-0.2422948871		8	-0.0173693010		4	0.2811723437
	5	-0.0322448696		9	-0.0440882539		5	-0.2498464243
	6	0.0775714938		10	0.0139810279		6	-0.1959462744
	7	-0.0062414902		11	0.0087460930		7	0.1273693403
	8	-0.0125807520		12	-0.0048703530		8	0.0930573646
	9	0.0033357253		13	-0.0003917404		9	-0.0713941472
N=12	0	0.1115407434		14	0.0006754494		10	-0.0294575368
	1	0.4946238904		15	-0.0001174768		11	0.0332126741
	2	0.7511339080					12	0.0036065536
	3	0.3152503517					13	-0.0107331755
	4	-0.2262646940					14	0.0013953517
	5	-0.1297668676					15	0.0019924053
	6	0.0975016056					16	-0.0006858567
	7	0.0275228655					17	-0.0001164669
	8	-0.0315820393					18	0.0000935887
	9	0.0005538422					19	-0.0000132642
	10	0.0047772575						
	11	-0.0010773011						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

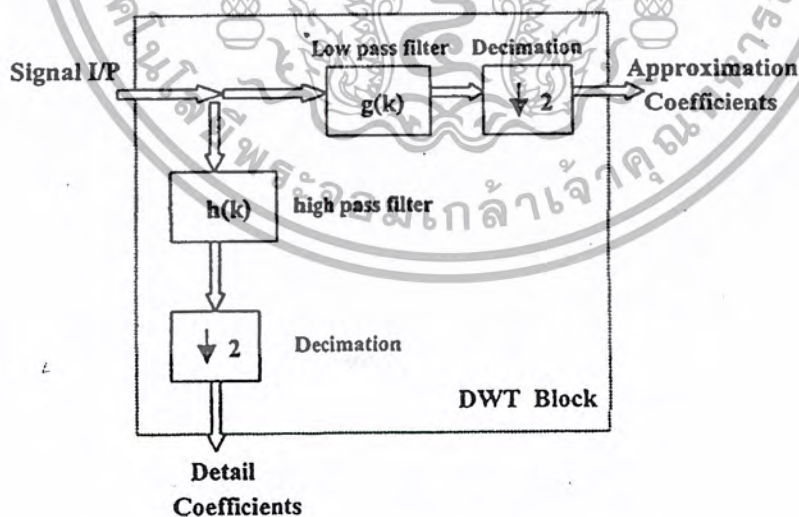
จากรูปที่ 5-19 ค่า N เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่แสดงถึงลำดับ (Order) ของเวฟเลตแม่ชนิดนั้นๆ ในบางครั้งได้มีคำจำกัดความว่า N เป็นตัวเลขที่ใช้แสดงจำนวนของสัมประสิทธิ์ตัวกรอง (Filter) ของเวฟเลตแม่ตัวนั้นๆ และยังแสดงความราบเรียบ (Smooth) ของเวฟเลตแม่ตัวนั้นๆ อีกด้วย เช่น db4 หมายถึงเวฟเลตแม่แบบ daubechies ที่มีสัมประสิทธิ์การกรอง 4 ตัว , db20 หมายถึงเวฟเลตแม่แบบ daubechies ที่มีสัมประสิทธิ์การกรอง 20 ตัว โดยที่ db20 จะมีรูปร่างที่ราบเรียบกว่า db4 ซึ่งค่าของสัมประสิทธิ์ได้แสดงในตาราง

5.5 ขบวนการทำงานของฟังก์ชัน DWT

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกเวฟเลตแม่ที่จะใช้ในการแปลงเวฟเลต

ขั้นตอนที่ 2 นำสัญญาณที่ต้องการแตกกระจายสัมประสิทธิ์ผ่านกระบวนการ คอนโวลูชันกับสัญญาณเวฟเลตแม่ที่ได้เลือกไว้ ซึ่งสัญญาณเวฟเลตแม่ที่ได้ต้องประกอบไปด้วยฟังก์ชันตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass Filter) ที่ใช้สำหรับ คอนโวลูชัน กับสัญญาณอินพุต ก็จะได้สัมประสิทธิ์ในส่วนของ Approximations (มีลักษณะเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ) และฟังก์ชันตัวกรองความถี่สูง (High pass Filter) ที่ใช้สำหรับ คอนโวลูชัน กับสัญญาณอินพุต ก็จะได้สัมประสิทธิ์ในส่วนของ Details (มีลักษณะเป็นสัญญาณความถี่สูง)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการ Down Sampling สัญญาณที่ผ่านกระบวนการคอนโวลูชันแล้ว ลงครึ่งหนึ่ง (หารด้วย 2) เมื่อผ่านขบวนการดังกล่าวเราก็จะได้สัมประสิทธิ์ของการแตกกระจายเวฟเลตด้วยวิธีการของฟังก์ชัน DWT หรือเรียกว่าการแปลงเวฟเลต



รูปที่ 5-20 กระบวนการทำงานของฟังก์ชัน DWT

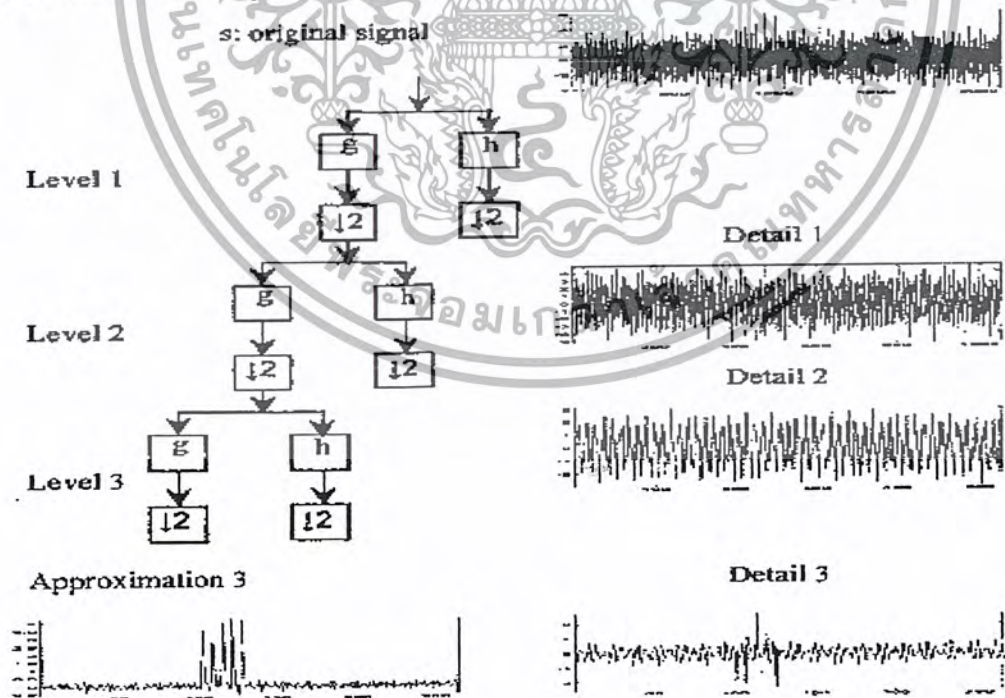
Multiresolution Wavelet Transform (การแปลงเวฟเลตหลายระดับความละเอียด)

จากการทำการแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) แบบที่เงื่อนไขเฉพาะต่างๆ การทำการแปลงเวฟเลตหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Wavelet Transform) จะเป็นกรณีที่ใช้กันมากที่สุด ในการทำการแปลงเวฟเลตแบบหลายระดับความละเอียด นั้นฟังก์ชันที่นำมาเป็นเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet Transform) อาจจะมีคุณสมบัติแบบ Non Orthogonal หรืออื่นๆก็ได้

ข้อกำหนดเบื้องต้นของตัวเวฟเลตแม่ (mother wavelet) หรือตัวกรองความถี่สูง (High pass Filter) มันจะต้องสัมพันธ์กับฟังก์ชันที่เป็นสเกล (Scaling Function) หรือตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass Filter) ด้วยการทำการแปลงเวฟเลตแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Wavelet Transform) นี้มีคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์ ที่ได้ออกแบบมาเป็นแบบ Pyramid Structure อยู่ในตัว ซึ่งคุณสมบัตินี้ไม่จำเป็นสำหรับการแปลงเวฟเลต โดยทั่วไป แต่ด้วยคุณสมบัติ Pyramid Structure นี้ทำให้การแปลงเวฟเลต ที่ระดับสเกล (Scale) ต่างๆสามารถที่จะทำได้โดยใช้ Scaling Function (Low pass Filter) และ Wavelet Function (High pass Filter) เพียงตัวเดียวได้ ซึ่งสามารถทำงานโดยง่ายในทางปฏิบัติด้วยการทำงานซ้ำ

Multiple-Level Decomposition

กระบวนการในการทำการแตกสัมประสิทธิ์ สามารถทำการแตกซ้ำกันได้ ด้วยการนำส่วนของ Approximation ที่ได้ทำการแตกกระจายสัมประสิทธิ์นั้นกลับมาทำการแตกกระจายสัมประสิทธิ์อีกครั้ง ดังนั้น สัญญาณ สัญญาณหนึ่งที่ถูกทำการแตกกระจายสัมประสิทธิ์จนกระทั่งแตกสัมประสิทธิ์ได้เป็นส่วนประกอบทางความถี่ต่ำหลายๆส่วน จะถูกเรียกว่า Wavelet Decomposition Tree ซึ่งมีลักษณะดังรูป



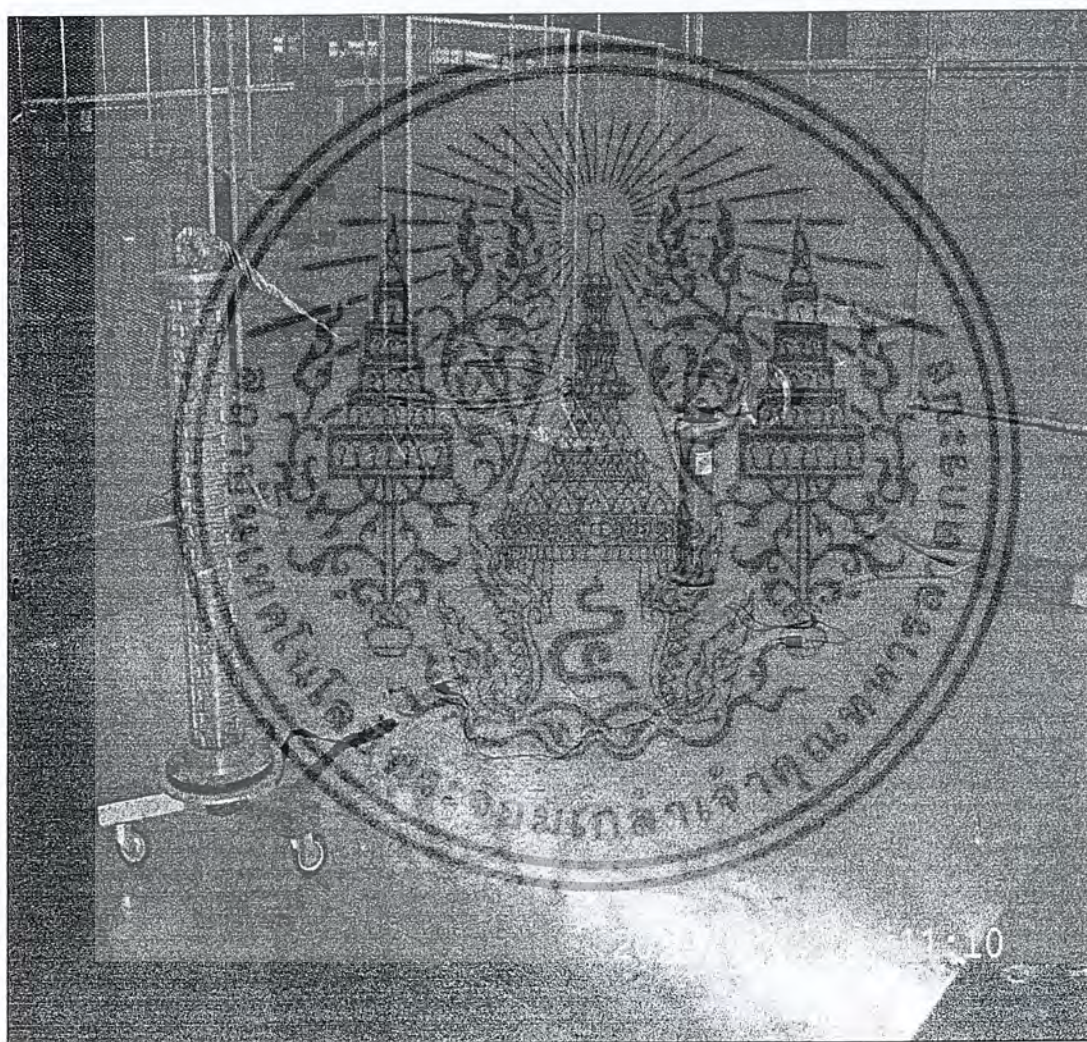
รูปที่ 5-21 แสดง Wavelet Decomposition เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้

บทที่ 6

การทดลองและการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าเพื่อมาแปลงสัญญาณ

6.1 ชุดทดสอบคุณภาพของฉนวนไฟฟ้า แบบแรงดันสูงกระแสสลับ

ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ติดตั้งชุดทดสอบคุณภาพของฉนวนไฟฟ้าแบบแรงดันสูงกระแสสลับหรือ AC Dielectric test set ขนาด 75 kV 40 kVA และใช้หม้อแปลงแรงดันสูงแบบปราศจากการคายประจุบางส่วนในเนื้อฉนวน (PD Free) กล่าวคือมีค่า PD < 2 pC ชุดทดสอบนี้ได้ทำการออกแบบตามมาตรฐาน IEC 60, IEEE std 4 และ IEC 270



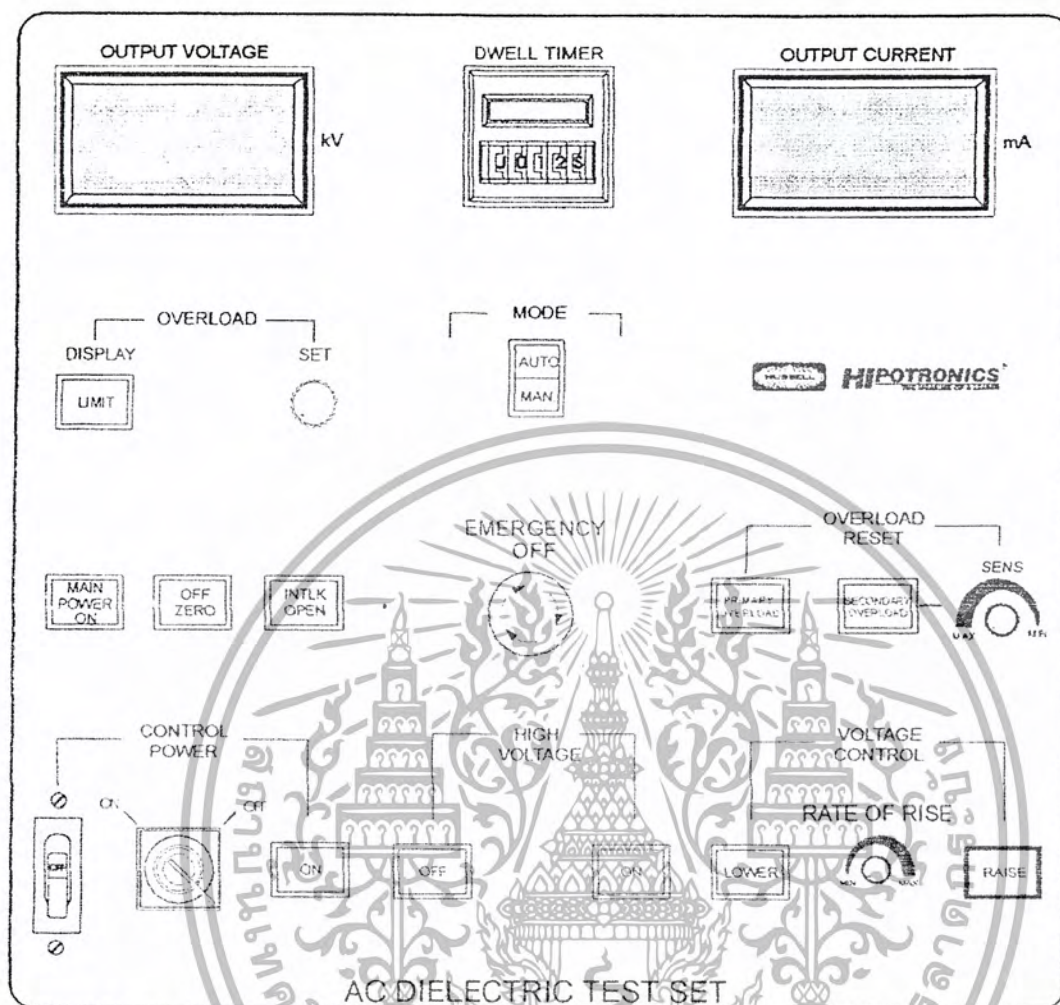
รูปที่ 6-1 ชุดทดสอบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 ส่วนประกอบของชุดทดสอบคุณภาพของฉนวนไฟฟ้าแบบแรงดันสูงกระแสสลับ



รูปที่ 6-2 แผงหน้าตู้ของชุดควบคุม

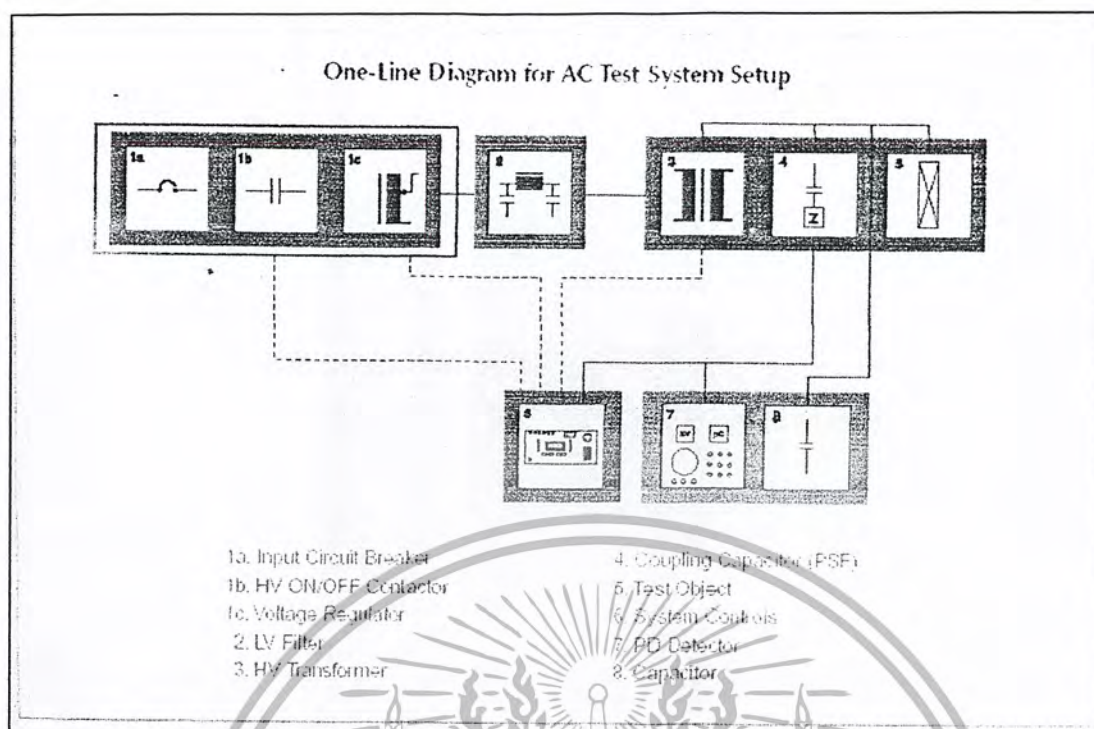
ชุดควบคุมหม้อแปลงทดสอบ รุ่น 775-40-AM-D-CF

Input Voltage 380 V

Power Rating 40 kVA

Auto/Manual Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-3 วงจรทดสอบดิซาร์บางส่วนของ HIPOTRONICS

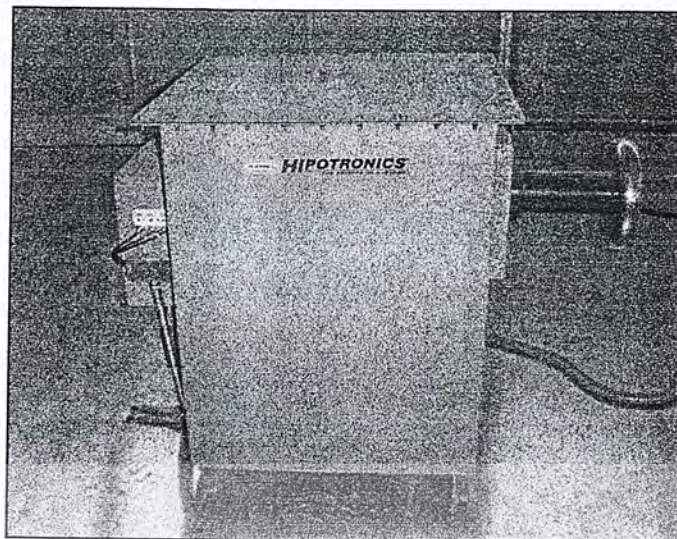
(1) ชุดควบคุมทดสอบ (Converter)

ส่วนประกอบภายในของชุดควบคุมดังกล่าวประกอบด้วย

1. ส่วนประกอบที่ได้ทำการติดตั้ง Circuit Breaker, Noise Filter และ Transient Filter ที่จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ทดสอบได้รับความเสียหายเมื่อเกิดการเบรคตัวนี้ รวมถึงป้องกันสัญญาณรบกวนจากมอเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. แผงควบคุมประกอบด้วย โวลต์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์ ที่จะรับสัญญาณมาจากหม้อแปลงทดสอบ เพื่อแสดงค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังทดสอบอยู่ในขณะนั้น นอกจากนั้นยังมีส่วนควบคุมแรงดัน output ที่ควบคุมแรงดันทดสอบที่ต้องการระยะเวลาทดสอบ อัตราการเพิ่มแรงดันปรับได้ตั้งแต่ 30 – 300 วินาที
3. Auto Transformer ที่บรรจุอยู่ภายในเป็น Pachel Variable Transformer ปรับระดับแรงดันด้วยมอเตอร์ ระบายความร้อนด้วยอากาศ สามารถทนกระแสเกินได้สูงสุดถึง 10 เท่าของระดับกระแสปกติได้นาน 10 Cycle

(2) หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง (Test Transformer)

หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูงเป็นหม้อแปลงแบบ Oil type ระบายความร้อนด้วยอากาศฉนวนของลวดทองแดงที่ใช้เป็น Enamel สังกะสี และใช้ฉนวนกั้นระหว่างชั้นด้วย Cellulose Insulation ส่วน HV Output เป็นแบบ Bushing พร้อม Corona Shield หม้อแปลงทดสอบนี้สามารถตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแส Output รวมทั้งสัญญาณ Overload จากชุดควบคุมได้



รูปที่ 6-4 หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง แบบ PD Free

Output Voltage 75 kV
 Power Rating 40 kVA
 PD < 2 pC at Full Voltage Output

(3) Coupling Capacitor หรือ Blocking Capacitor

มีหน้าที่ Integrate กระแสพัลส์ที่ไหลในวงจรทดสอบเนื่องจากการเกิด PD โดยจะนำสัญญาณที่ได้ไปยังเครื่องตรวจจับดิซชาร์จบางส่วน ผ่านสายนำสัญญาณแบบ RG-58 Coupling Capacitor รุ่น PSF 100/1/DDX มีชื่อทางการค้าว่า Power Separation Filter มีขนาดพิกัดทนแรงดันได้สูงสุด 100 kV

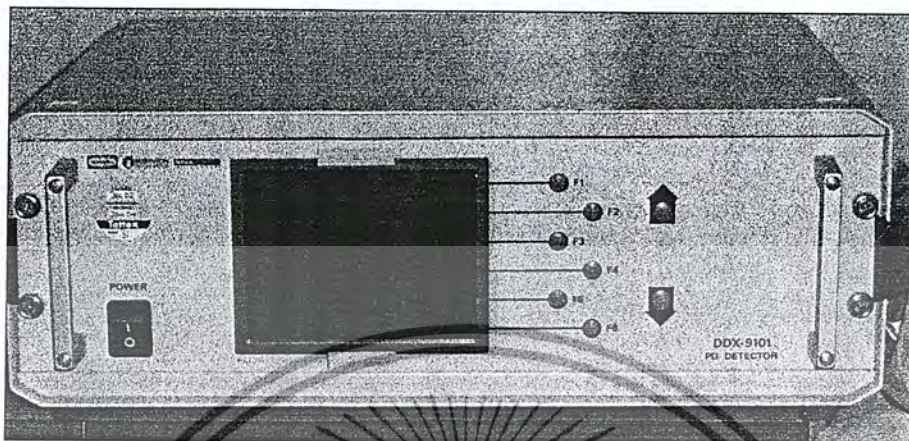


รูปที่ 6-5 Power Separation Filter PSF 100/1/DDX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) PD Detector

ที่ใช้รุ่น DDX-9101 สามารถแสดงผลแบบอนาล็อก (Analog) ได้ ผู้ผลิตได้รวมเอา PD Calibrator ไว้ด้วย ทำให้สามารถทำการ Calibrate เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วนได้

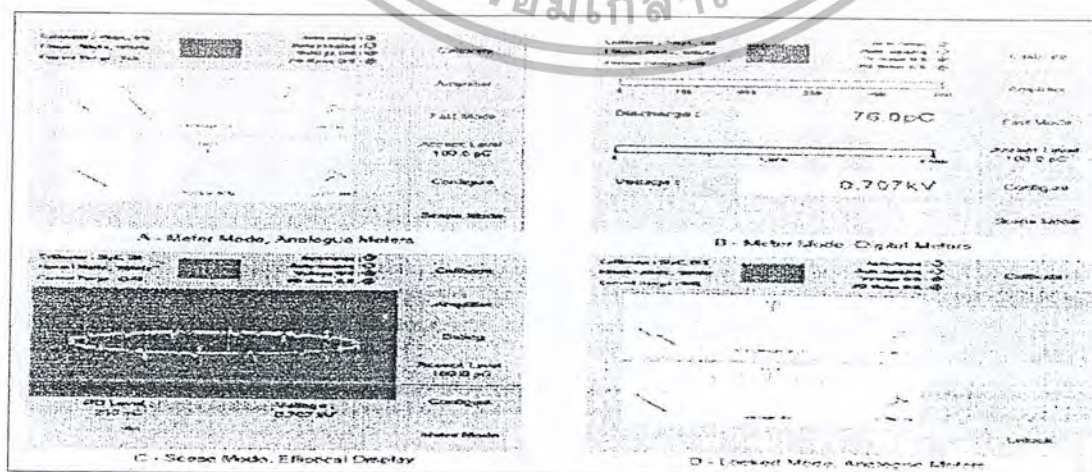


รูปที่ 6-6 เครื่องตรวจจับดิซาร์จบางส่วน รุ่น DDX-9101

เป็นเครื่องมือที่มีรากฐานคล้ายเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ระบบ Window 95 เพื่อประมวลผลและแสดงผลสัญญาณที่ตรวจจับได้ สามารถแสดงผล PD ได้หลายลักษณะ คือ Ellipse, sin, Analog meter, Bar Graph เพื่อให้ง่ายต่อการอ่าน

วงจรส่วนตรวจจับสัญญาณ PD มีวงจรกรองผ่านแถบที่สามารถปรับตั้งค่าได้ทั้งทางด้านความถี่ต่ำสูง (20,50,80 kHz) และด้านความถี่ตัดต่ำ (100,200,400,500 kHz) เพื่อให้สามารถปรับตั้งได้ตามความเหมาะสม ในส่วนของการแสดงผลยังสามารถเลือกให้เครื่องทำการเฉลี่ยค่า PD ในมุมที่ไม่ต้องการ (Gating) เพื่อทำการตัดการแสดงผล PD ในช่วงที่เกิดสัญญาณรบกวนเข้ามาได้

การต่อสายสัญญาณเพื่อใช้งานกับ Coupling Capacitor แบบ PSF เข้าสู่ตัวเครื่องจะมีสัญญาณมาสองสัญญาณด้วยกันคือ PD Measurement และ Voltmeter Input ส่วนสัญญาณ PD Calibrator เมื่อไม่ใช้งานควรปลดออกจาก Calibrating Capacitor เพื่อป้องกันแรงดันสูงสร้างความเสียหายต่อ PD Detector และ Calibrating Capacitor เอง

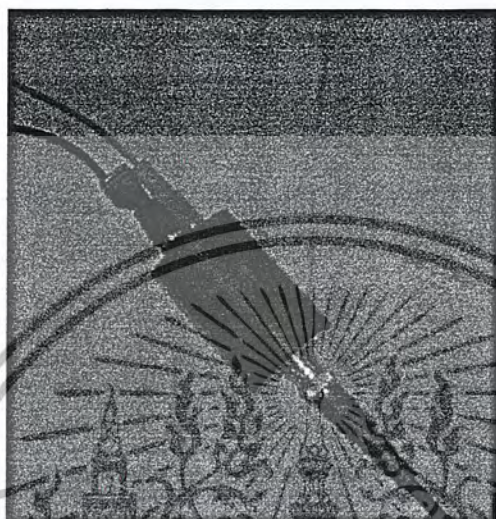


รูปที่ 6-7 การแสดงผล PD แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

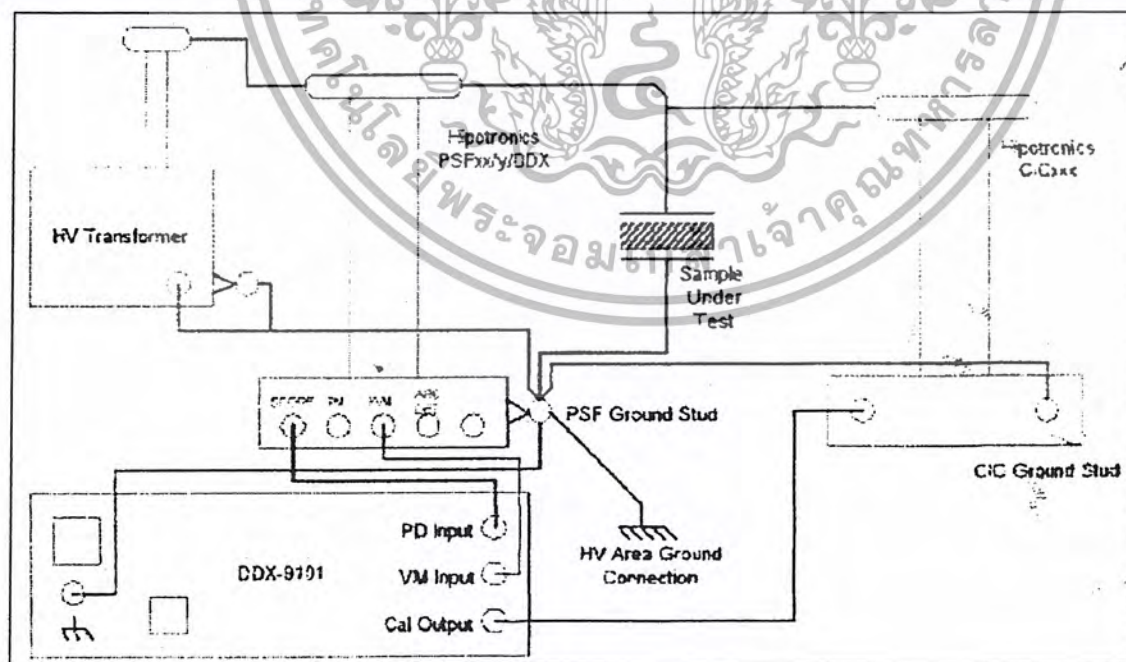
(5) Calibrating Capacitor

ที่ใช้ร่วมกับ PD Detector เป็นรุ่น CIC – LV จะ Calibrating Capacitor ด้านแรงต่ำ โดยต้องถอดสายแรงสูงออกจากวงจรเสียก่อนโดยจะมีหน้าที่จ่ายกระแสพัลส์ที่ทราบค่าเลียนแบบสัญญาณกระแสพัลส์ที่เกิดจาก PD กลับไปในวงจรทดสอบ แล้วให้ PD detector ตรวจจับสัญญาณดังกล่าวขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบความไวของ Detector ให้สามารถแสดงผลการตรวจจับ PD ได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 6-8 ตัว Calibration Injection Capacitor

6.1.2 การต่อเข้ากับ Hipotronics PSF (Power Separation Filter)



รูปที่ 6-9 วงจรแสดงการต่อ PSF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้จะต่อ DDX-9101 เข้ากับ PSF ของ Hipotronics ดังรูป และสิ่งสำคัญสำหรับ PSF ที่ใช้มีรหัสเป็น PSF/ xx/ y/ DDx คือ xx คือ พิกัดของแรงดัน kV / y คือค่า nF แต่ถ้า PSF ที่นำมาต่อไม่ใช่รุ่นของ DDX (เช่น PSF/ y หรือ PSF xx/ y/ 700) ให้ติดต่อกับทางโรงงานเพื่อทำการอัปเดต PSF ให้มีสเปกที่ถูกต้อง รูปนี้มี Calibration Injection Capacitor (CIC) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมเสริม ใช้สำหรับการปรับเทียบทางแรงดันสูง และต้องทำการติดตั้งตัวปรับเทียบภายในที่อยู่ในเครื่อง DDX-9101 แต่ถ้าอุปกรณ์เสริมตัวนี้ไม่ได้ติดตั้งหรือใช้ไฟแรงดันต่ำจ่ายเข้าไปเพื่อทำการปรับเทียบ ในส่วนนี้ก็สามารถละไว้ไม่จำเป็นต้องใช้ได้

เพื่อช่วยลดผลที่เกิดจาก Ground Loop และลดความเสี่ยงที่จะเกิดจากความเสียหายจากการวางไฟตามผิว จะต้องติดตั้งจุดต่อลงดินแบบสตาร์ กับจุดต่อลงดินทั้งหมดที่ต่อถึงกัน

ในการต่อสายดินควรจะต้องด้วยสายฟอยล์ทองแดงหรือสายถักให้เหมาะสม ซึ่งจุดนี้ควรจะต้องกับไฟแรงดันสูงที่จุดต่อลงดินหรือผนังของห้องป้องกัน

**** หมายเหตุ ขั้วต่อลงดินทางด้านหลังของเครื่อง DDX-9101 ได้จัดไว้สำหรับต่อเครื่อง DDX กับระบบต่อลงดินแบบสตาร์เท่านั้น ไม่ได้มีไว้สำหรับต่อลงดินที่ส่วนอื่นๆของระบบ

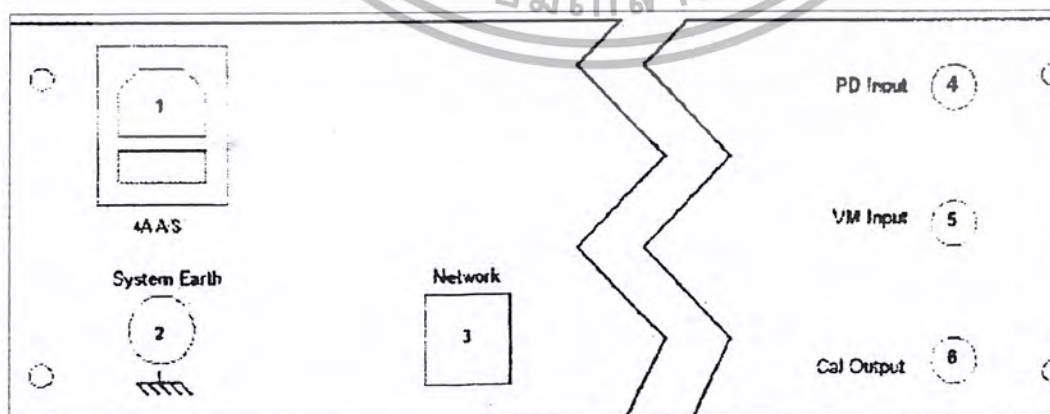
6.2 การติดตั้งระบบ

หลักการโดยทั่วไป

การติดตั้งที่ถูกต้องของระบบที่วัดคิสร่างบางส่วนต้องการทำให้เกิดความสมดุลของความต้องการ 2 สิ่งที่ขัดแย้งกัน : การเตรียมการทดสอบวงจรเพื่อที่การวัดค่าของวงจรจะมีค่ามากที่สุด และการเตรียมการทดสอบวงจรเพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่จะเสียหายจาก flash-over น้อยที่สุด การติดตั้งระบบการวัด PD ต้องการความเข้าใจในกลไกของการวัด PD

ระบบ HV ถูกจัดเตรียมไว้กับ ground/earth อิมพีแดนซ์ต่ำ ที่ซึ่งแยกออกจากระบบ main earth ที่สร้างขึ้น และมีอิมพีแดนซ์น้อยกว่า 1 Ω แถบเรียบหรือทองแดงเปลือยเรียบควรมีไว้สำหรับการเชื่อมต่อทุกๆ ground/earth เพื่อที่จะลดผลกระทบจาก skin effect

ตัวกล่องของ DDX-9101 ถูกออกแบบเพื่อที่จะต่อไปยัง HV earth ตัวกล่องเชื่อมโยงไปยัง main earth ผ่านตัวเหนี่ยวนำ 300 μH และ varistor (สำหรับการป้องกัน)



รูปที่ 6-10 แสดงแผง connectors ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อ Main (1) ต้องต่อกับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิกัดเหมาะสมและต้องต่อกับ protective earth ที่เหมาะสมด้วยเพื่อป้องกันเสี่ยงสำหรับผู้ควบคุม

การเชื่อมต่อกาวด์ระบบ “System Earth” ต้องต่อไปยังตำแหน่ง main HV ground/earth โดยใช้แถบที่เหมาะสมหรือฟอยล์ทองแดงในการเชื่อมต่อ

Network connector (3) จัดเตรียมการเชื่อมต่อไปยัง 10BaseT Ethernet network ในการใช้ TCP/IP protocol ถ้านำมาใช้ต่อกับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ต้องเดินเครื่องพร้อมกันกับ main supply ของ DDX-9101 และต้องเชื่อมถึงกันด้วยสายแถบ ground/earth ที่เหมาะสมยาวน้อยกว่า 50 cm.

PD input (4) จับพัลส์ดีซิสซาร์จจาก input unit, power separation filter หรือ quadripole

VM input (5) ต่อไปยัง HV divider เพื่อที่จะยอมให้ DDX-9101 วัดค่า HV ที่จ่ายออกไป

Calibrator output (6) นำมาใช้ถ้าติดตั้ง internal calibrator แล้วเท่านั้น

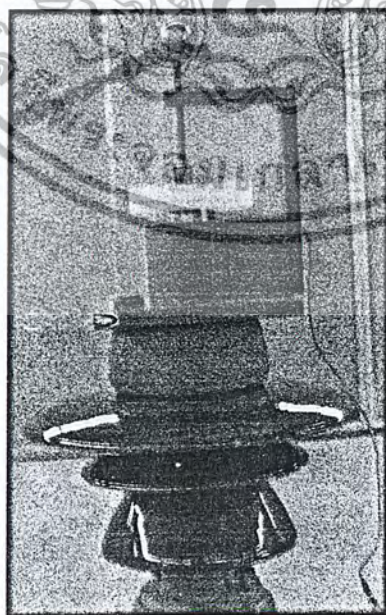
6.3 วิธีการทดลอง

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองหาค่าดีซิสซาร์จบางส่วนบนอะคริลิกทดสอบลักษณะต่างด้วยเครื่อง PD Detector ทำการวิเคราะห์และบันทึกผล
2. จับสัญญาณที่วัดได้จากการทดสอบอะคริลิกต่างๆ ไปทำการแปลงสัญญาณด้วย โปรแกรมเวฟเล็ค
3. วิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากการแตกสัญญาณด้วยโปรแกรมเวฟเล็ค เพื่อหาดีซิสซาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นบนวัสดุทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

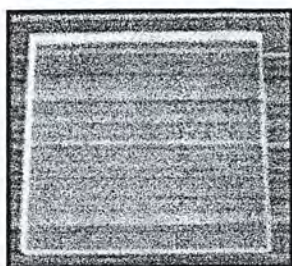
1. แท่นอิเล็กโตรดแบบ Plate – to – Plate



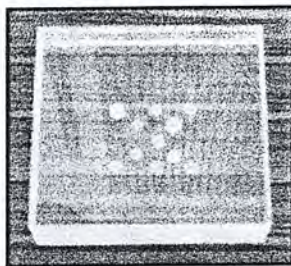
รูปที่ 6-11 อิเล็กโตรดที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

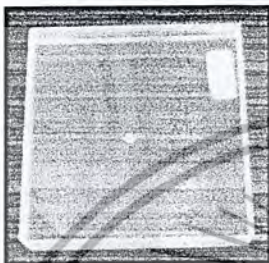
2. แผ่นอะคริลิก 100 x 100 x 20 mm ลักษณะต่างๆ



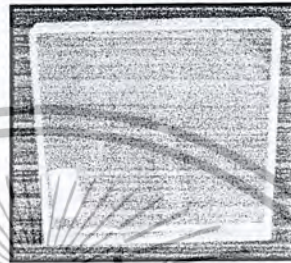
แผ่นอะคริลิกดี



แผ่นอะคริลิกรุพุน



แผ่นอะคริลิกมีรูอากาศ



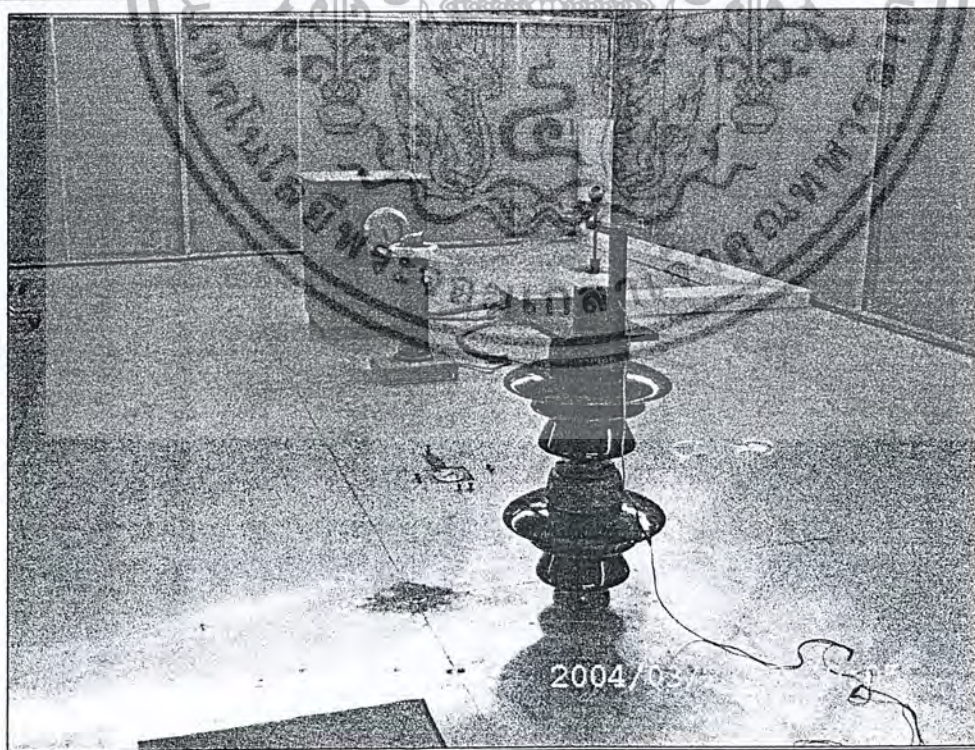
แผ่นอะคริลิกมีเศษเหล็ก

รูปที่ 6-12 แผ่นอะคริลิกลักษณะต่างๆที่ใช้ทำการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

6.3.1 การทดลองในระบบ Off-line (ทำการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนด้วยเครื่อง PD Detector Hipotronics)

วงจรการทดสอบแบบ Off-line



รูปที่ 6-13 การต่อวงจรทดสอบแบบ Off-lineที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต่อวงจรดังรูป 6-13 เสร็จแล้วปฏิบัติตามขั้นตอนข้างล่าง ดังนี้

1. เปิดเครื่อง PD Detector และ เปิดคอมพิวเตอร์เพื่อทำการควบคุมเครื่อง
2. เรียกโปรแกรม DDX-9101 Remote Control บนเดสก์ท็อปของหน้าจอคอมพิวเตอร์
3. คลิกที่ Menu แล้วเข้าไปที่ Set up แล้วเข้าไปที่ System characteristic เพื่อที่จะตั้งค่าที่เราต้องการจะบันทึกโดยจะมี

- Test file จะเป็นการบันทึกค่าข้อมูลที่เราเคยตั้งค่า Information Field ไว้แล้วว่าจะให้ไปเก็บไว้ในที่ที่ต้องการ
- Report file จะเป็นการบันทึกผลที่ได้จากการวัด Partial discharge

4. ที่ Task bar ให้เข้าไปที่ Edit the current test แล้วเข้าไปที่

- General เพื่อย้ายตัว Detector จากตัว Available ไป Detector User (เพื่อที่จะทำการทดสอบจากเครื่องคอมพิวเตอร์ได้)
- Test Info เพื่อที่จะใช้ ตั้งค่า Information Field (ช่องข้อความหัวกระดาษที่จะให้ปรากฏอยู่ใน Test Report) และสามารถที่จะตั้งค่า Failure threshold (pC) และ ค่า Nominal DUT Voltage (kV) ได้
- HTML report เพื่อเลือกผลที่จะทำการรายงานผล

**** หมายเหตุ** ไม่จำเป็นต้องทำข้อที่ 4 หากเรามีข้อมูลค่าเก็บไว้แล้ว โดยทำการโหลดค่าได้ที่ Load test procedure **

5. การปรับเทียบเครื่อง PD Detector

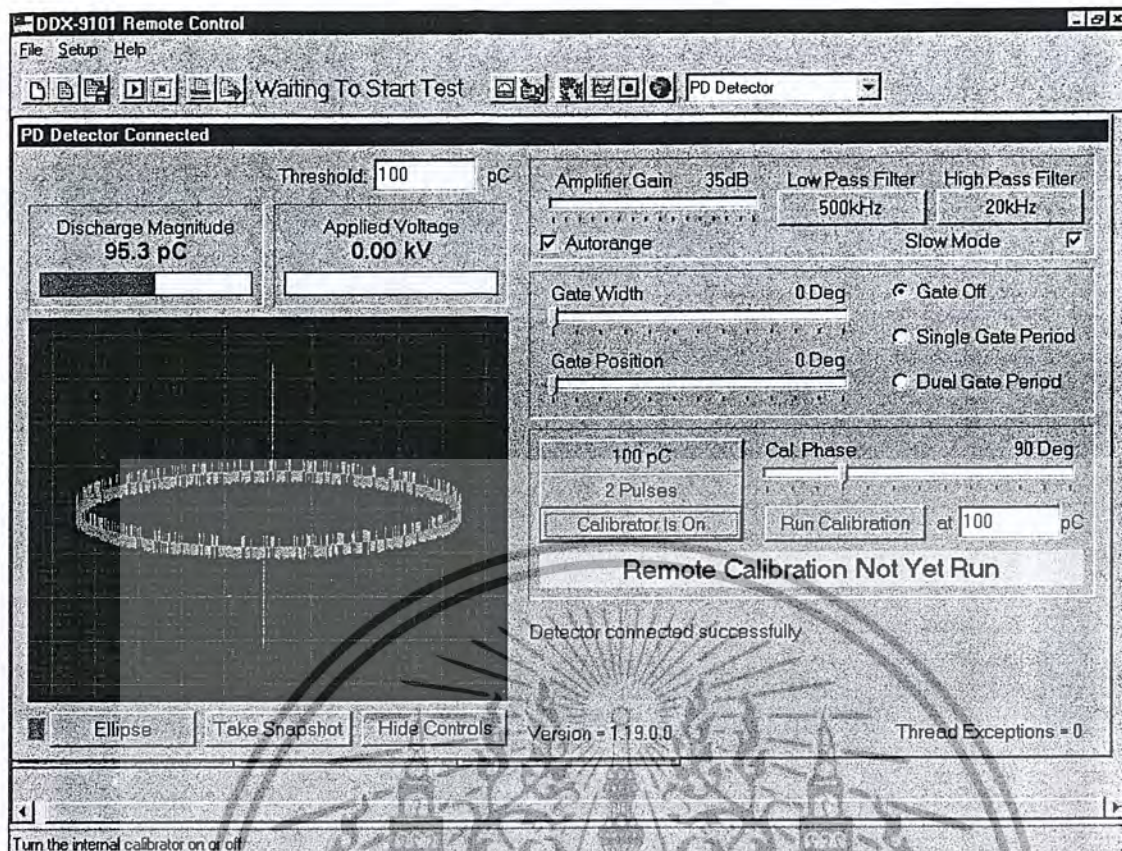
5.1 ตั้งแถบ Bandwidth ตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ถ้าตั้งความถี่ไว้ที่ 500 kHz ที่ LF (ถ้าความถี่ต่ำกว่า 500 จะผ่านได้) และ ถ้าตั้งความถี่ไว้ที่ 20 kHz ที่ HF (ถ้าความถี่สูงกว่า 20 จะผ่านได้)

5.2 ตั้งค่า PD ที่ต้องการจะทำการปรับเทียบ (ค่า PD ที่ตั้งจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง ± 2 เท่าของค่า PD ที่น่าจะเกิดกับวัตถุที่จะนำมาทำการทดสอบ)

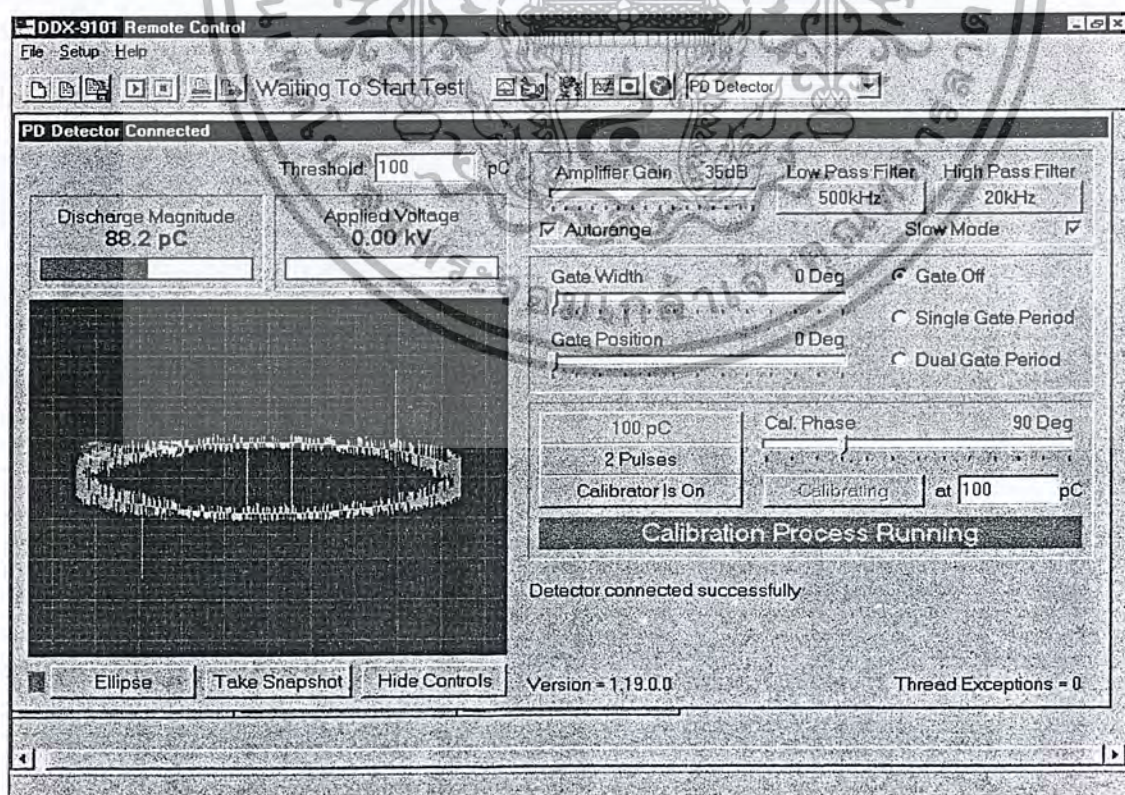
5.3 เลือกจำนวนพัลส์และทำการเลือกตำแหน่ง (นุ่มเฟิส) ของสัญญาณปรับเทียบ

5.4 ทำการติดตั้งตัว Calibration Injection Capacitor (ถอดกุญแจที่ชุดควบคุมแรงดันติดตั้งไปด้วยเพื่อความปลอดภัย)

5.5 กด Calibrate On และทำการ Run Calibrate



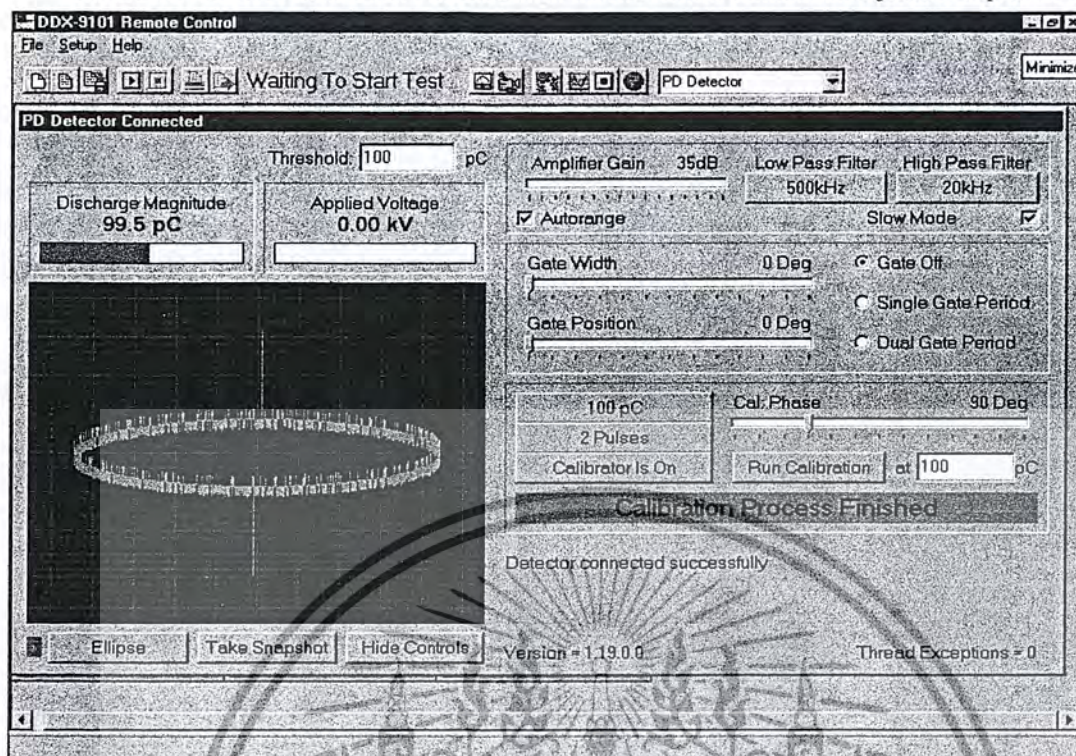
รูปที่ 6-14 ขณะกด calibrate on



รูปที่ 6-15 ขณะทำการ run calibrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

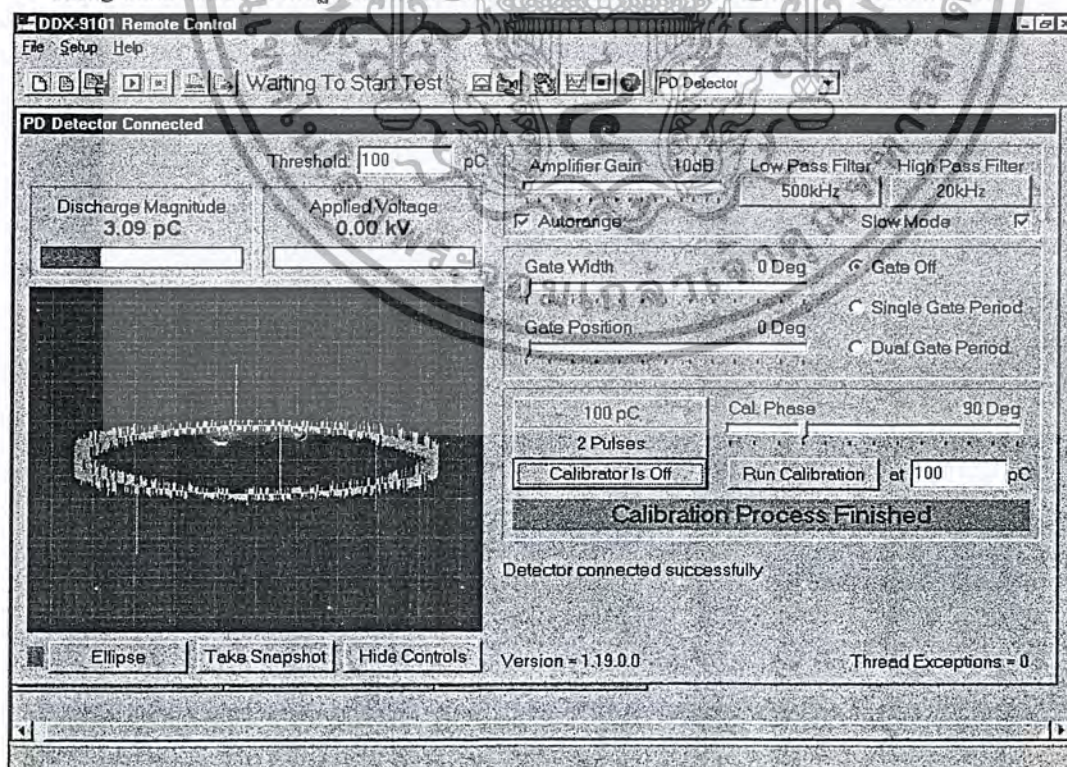
5.6 เมื่อนำจอขึ้นว่า Calibration Process Finish แล้วลงไปกด Calibration Injection Capacitor ออก



รูปที่ 6-16 ทำการ calibrate เสร็จแล้ว

5.7 กด calibration off เพื่อที่จะดู background noise

**** background noise ที่มาตรฐานยอมรับจะต้องมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่า PD ที่จะทำการวัด****

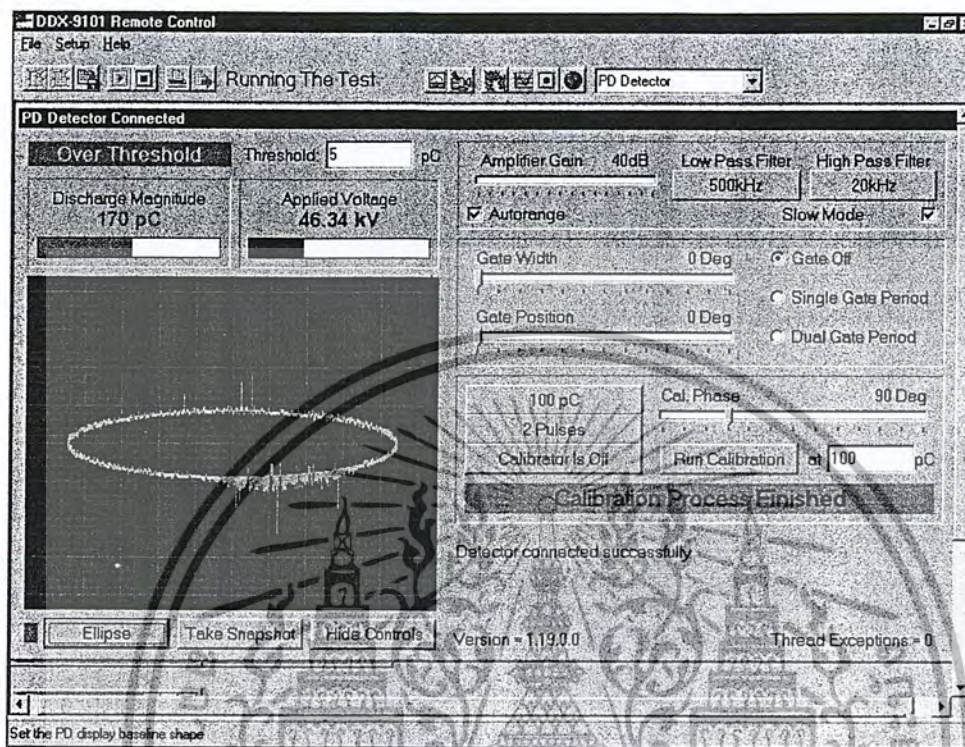


รูปที่ 6-17 ขณะกด calibrate off เพื่อดู background noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนวัตถุทดสอบเราจะต้องทำการ calibrate ทุกครั้ง เพื่อความแม่นยำในค่าที่ได้จากการทดลอง

6. จ่ายแรงดันเข้าไปอ้างอิงตามการใช้งานของ High Volt Regulator ทำการบันทึกผลที่เกิดขึ้น

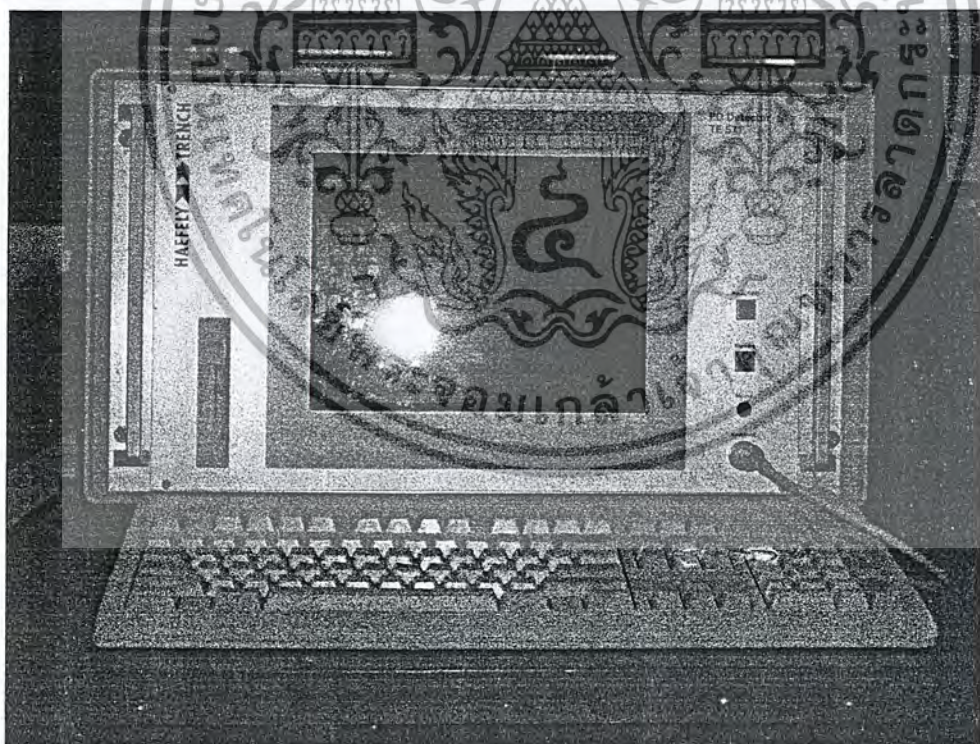


รูปที่ 6-18 ขณะทำการจ่ายแรงดัน 50 kV เข้าสู่ระบบเพื่อหาดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้น

6.3.2 การทดลองในระบบ On – line (เก็บสัญญาณจาก PD Detector ด้วยออสซิลโลสโคป)

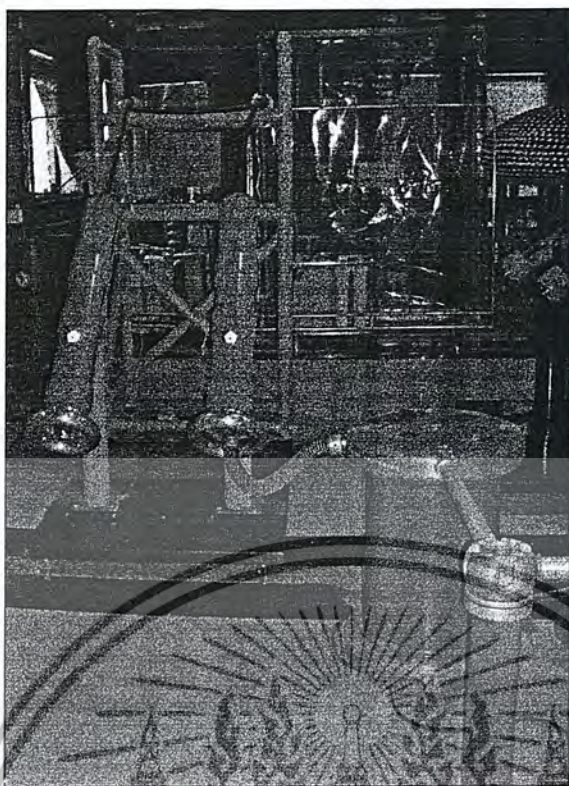


รูปที่ 6-19 ตู้ควบคุมการจ่ายไฟ

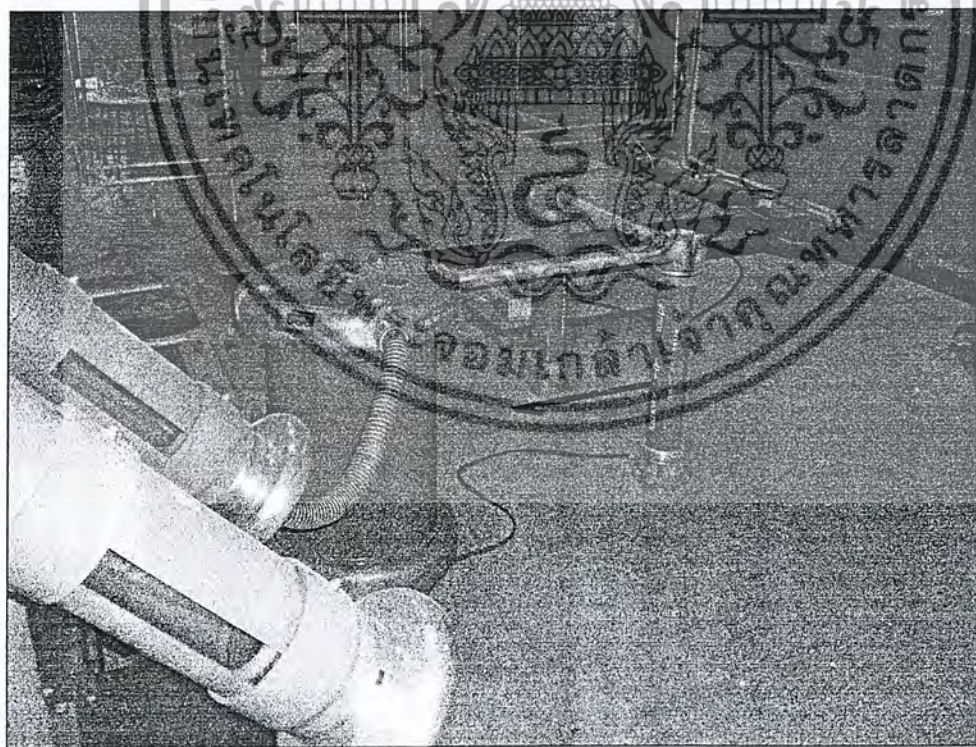


รูปที่ 6-20 จอแสดงผลของเครื่องตรวจจับดิซาร์บบางส่วนยี่ห้อ Haefly Trench รุ่น TE-571

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

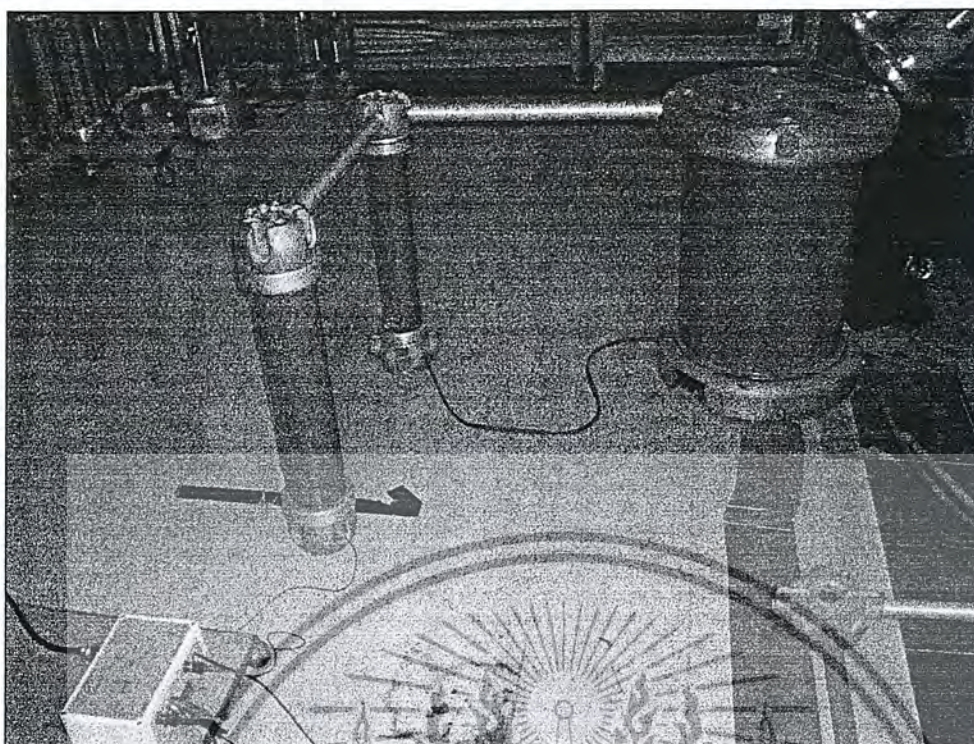


(ก) การต่อจากขั้วปลายสายเคเบิลเข้าหม้อแปลง

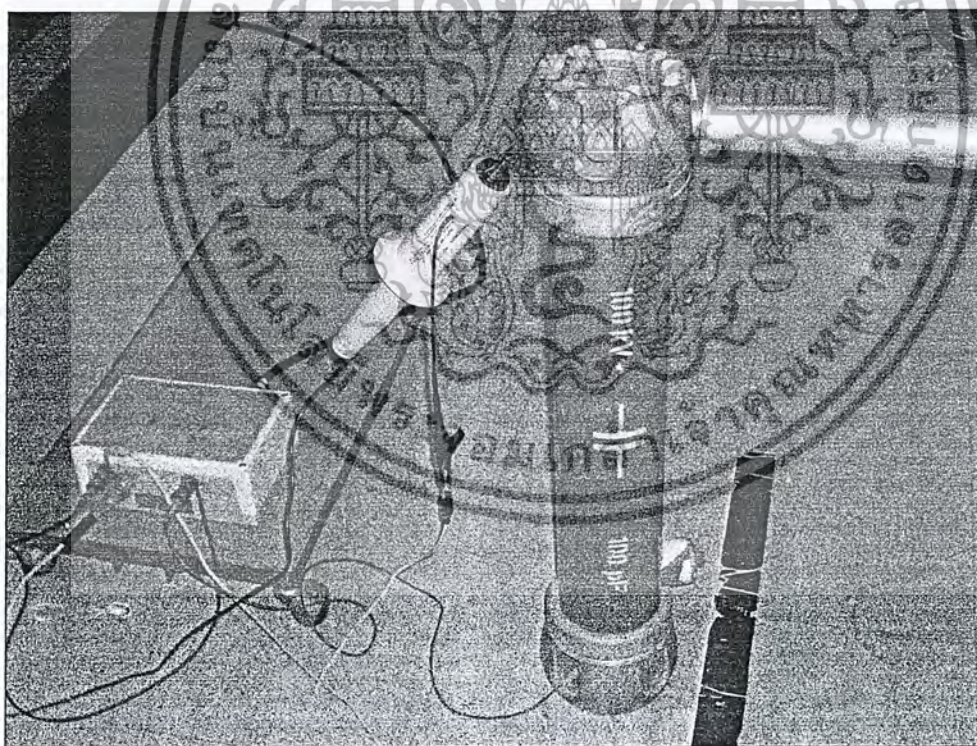


(ข) การต่อจากหม้อแปลงไปยังตัวเก็บประจุคัปปลิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

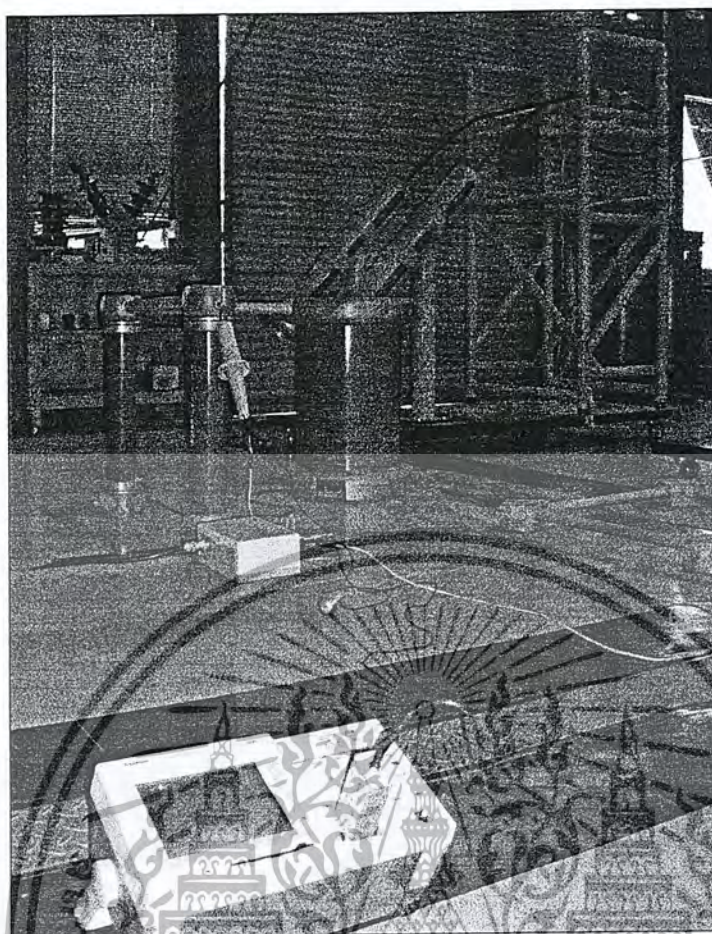


(ก) การต่อจากตัวเก็บประจุคัปปลิงเข้าตัว Coupling Quadruple



(ง) การใช้สายโพรบแรงดันสูงจับสัญญาณจากตัวเก็บประจุคัปปลิงด้านแรงดันสูง

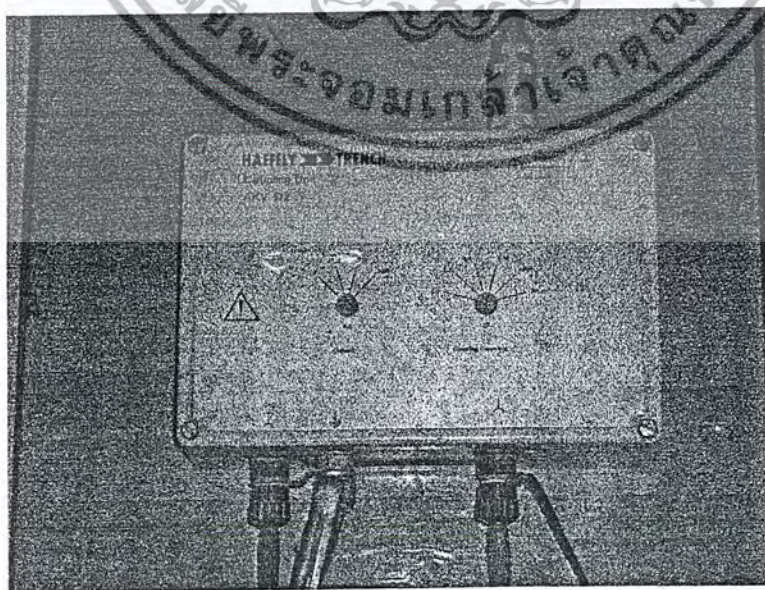
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) การใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณ

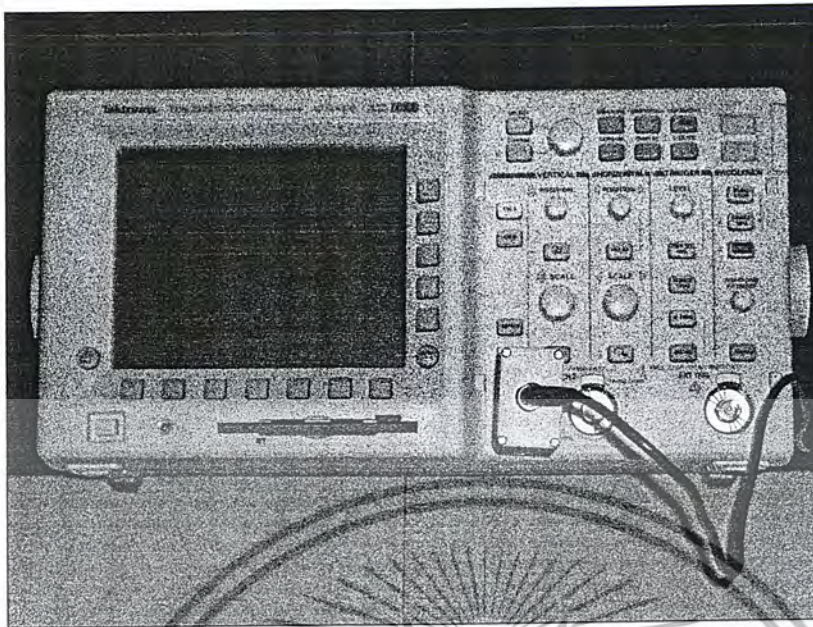
รูปที่ 6-21 (ก)-(จ) การต่อวงจรทดสอบแบบ On-line

(สถานที่ทดลอง : ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตคลองหก จ.ปทุมธานี)



รูปที่ 6-22 Coupling Quadruple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-23 เครื่องออสซิลโลสโคปที่ใช้มีแบนด์วิธ 100 MHz และมีอัตราการสุ่ม 1.25 Gsa/s

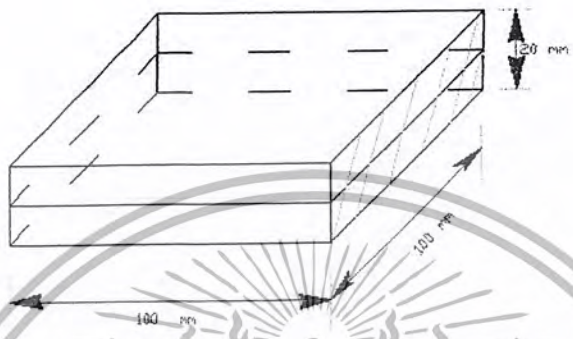
เมื่อต่อวงจรดังรูปข้างบนแล้วปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. นำสายสัญญาณด้านหลัง PD Detector ต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปเพื่อที่จะดึงสัญญาณดิจิทัลบางส่วนออกมา แล้วนำสัญญาณที่ได้บันทึกเก็บไว้
2. นำสัญญาณที่บันทึกไว้ มาทำการแปลงสัญญาณด้วยโปรแกรมเวฟเล็ด
3. นำสัญญาณที่ได้จากการแตกด้วยโปรแกรมเวฟเล็ดมาวิเคราะห์ผลว่ามีสัญญาณดิจิทัลบางส่วนเกิดขึ้นบนวัสดุทดสอบหรือไม่ โดยการดูความถี่ที่เกิดขึ้น ในสัญญาณที่แตกมาได้แต่ละสัญญาณ ว่าอยู่ในช่วงความถี่ของสัญญาณดิจิทัลบางส่วนหรือไม่ และทำการบันทึกผล
4. เปลี่ยนอะคริลิกทดสอบ เป็น อะคริลิกไม่มีรู, อะคริลิกรูขนาดใหญ่, อะคริลิก รูที่มีสิ่งเจือปน, อะคริลิกรูพรุน ตามลำดับ ทำตามขั้นตอนแล้วบันทึกผล

6.4 ผลการทดลอง

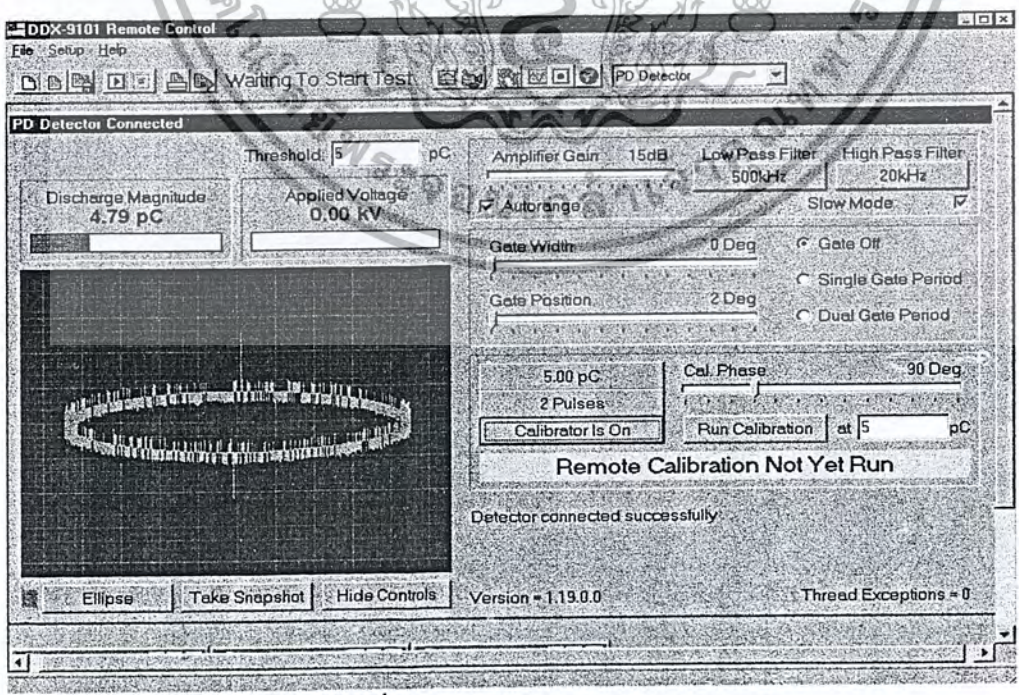
6.4.1 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 6 kV

1. อะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรู



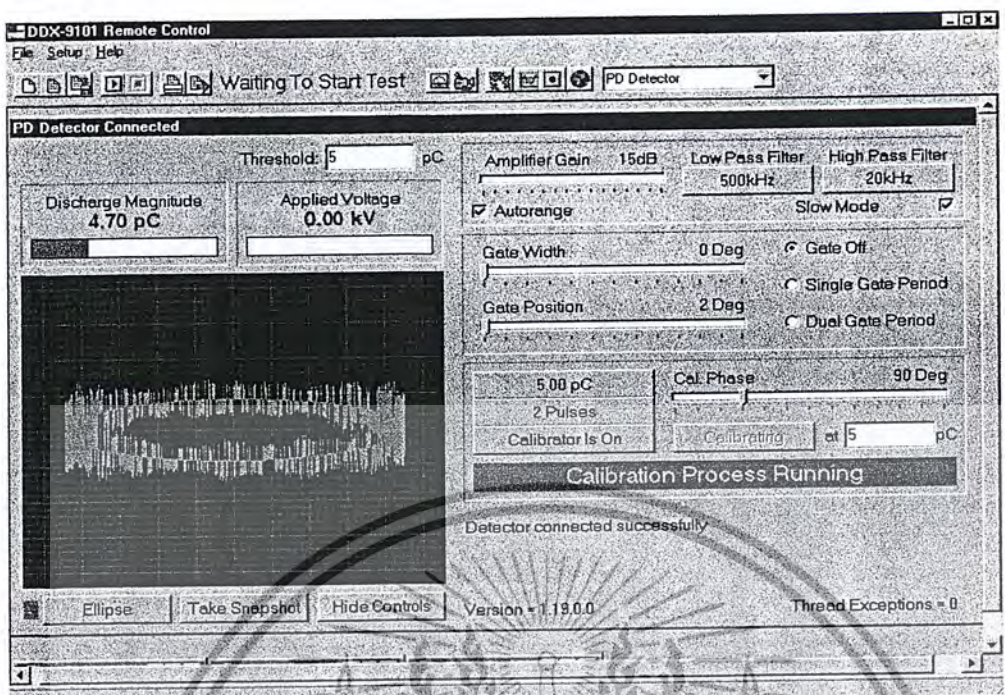
รูปที่ 6-24 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดไม่มีรู

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 5 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

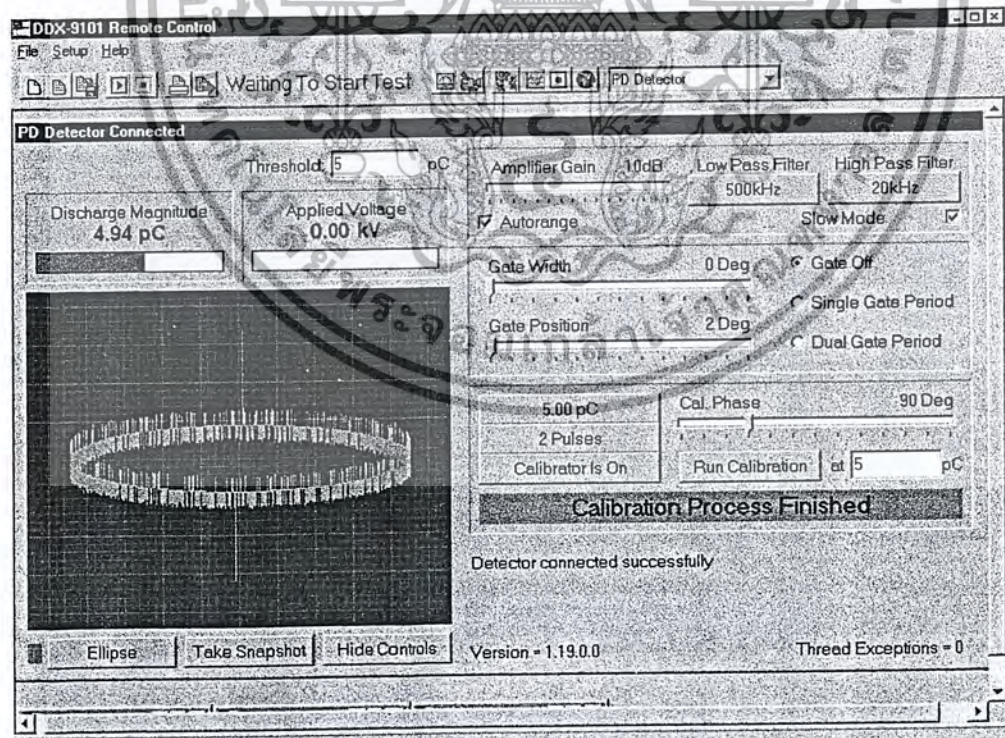


รูปที่ 6-25 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

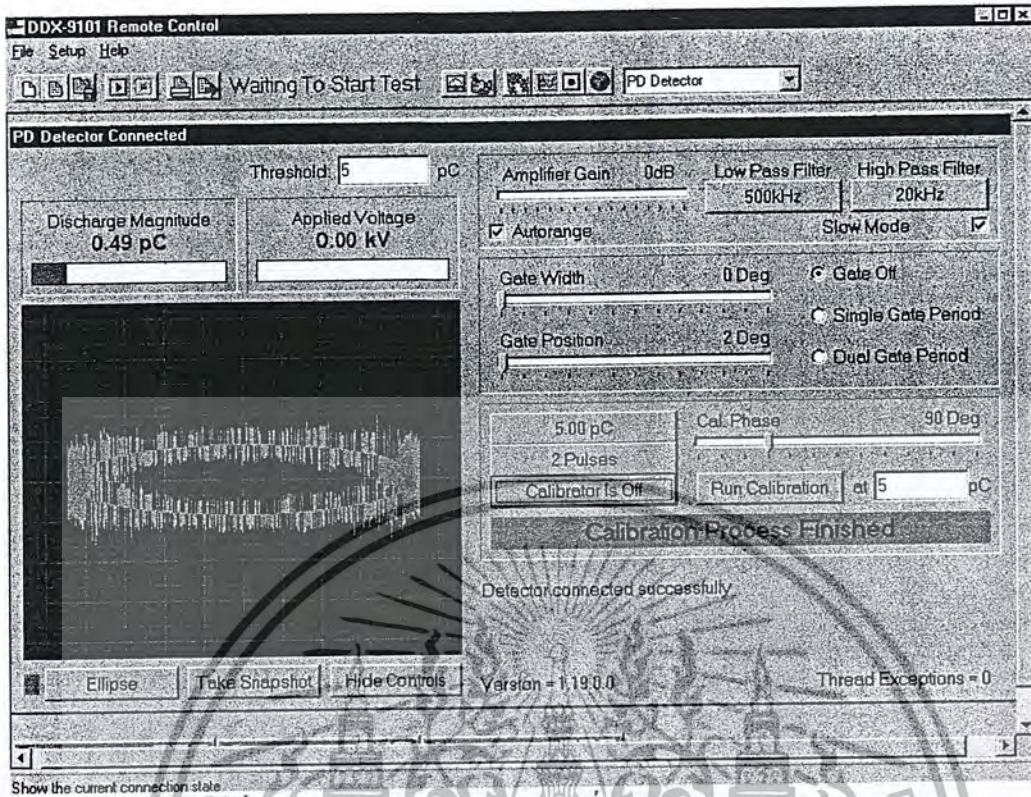


รูปที่ 6-25 b) ขณะทำการ Run Calibrate

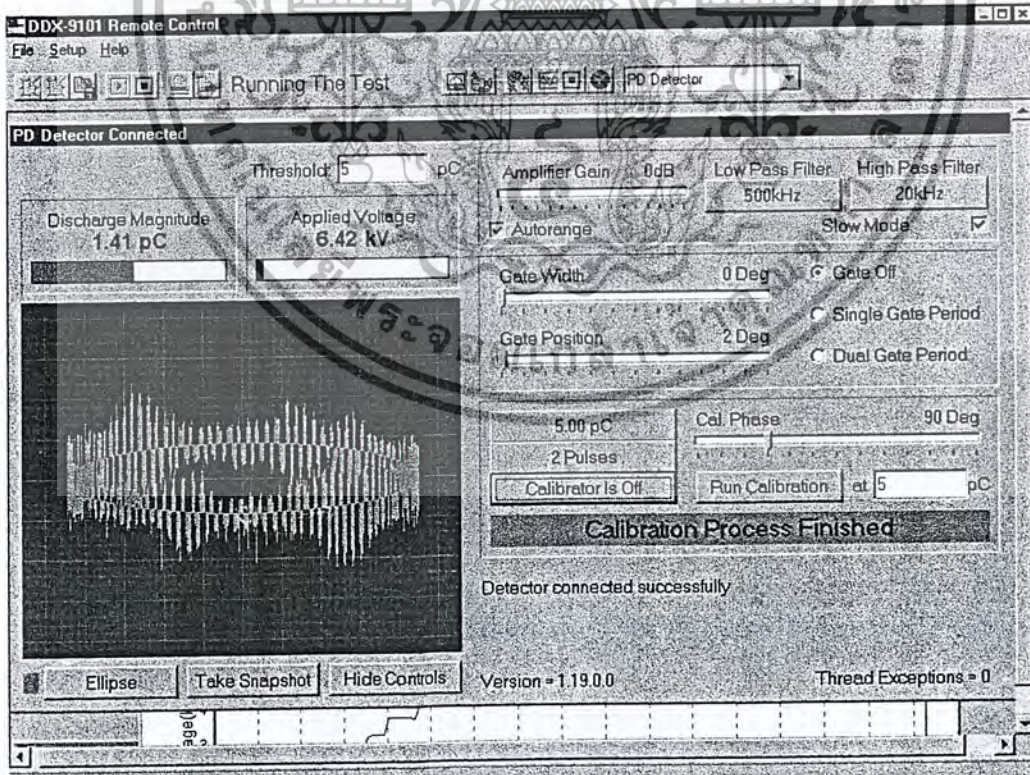


รูปที่ 6-25 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

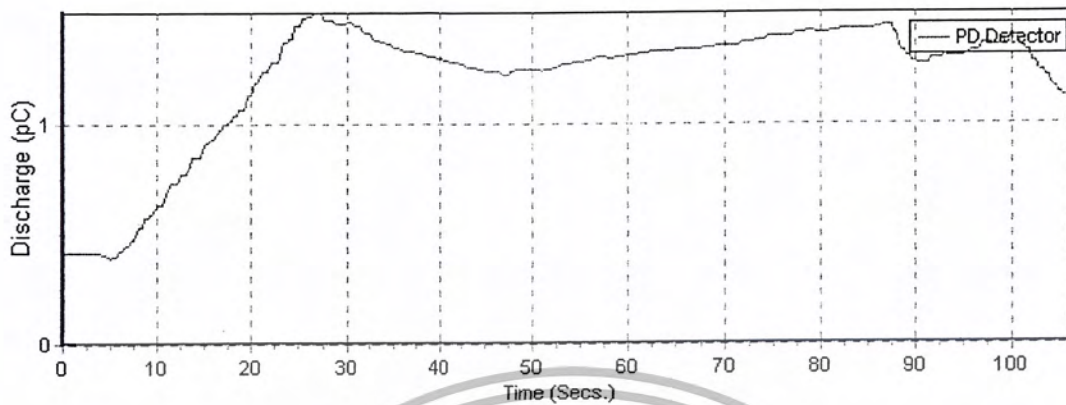


รูปที่ 6-25 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

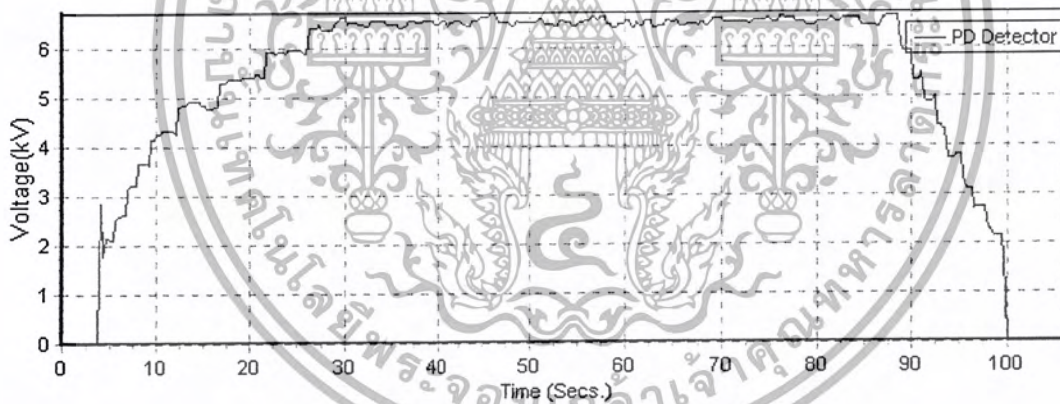


รูปที่ 6-25 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันกับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

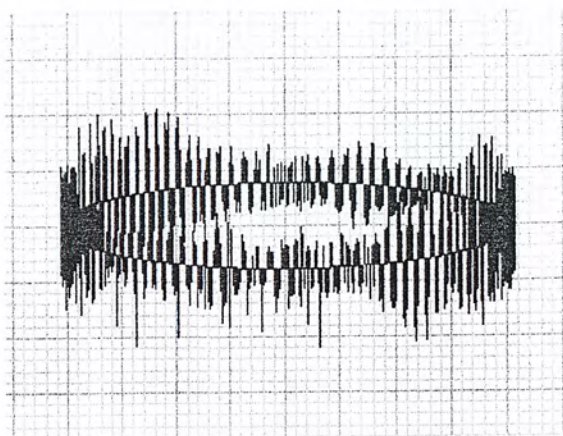


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์บางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 18:12:24

Discharge =1.33 pC, Voltage =6.50 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Ellipse*



PD Detector - 23/3/04 18:12:43

Discharge =1.30 pC, Voltage =6.61 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Sine*

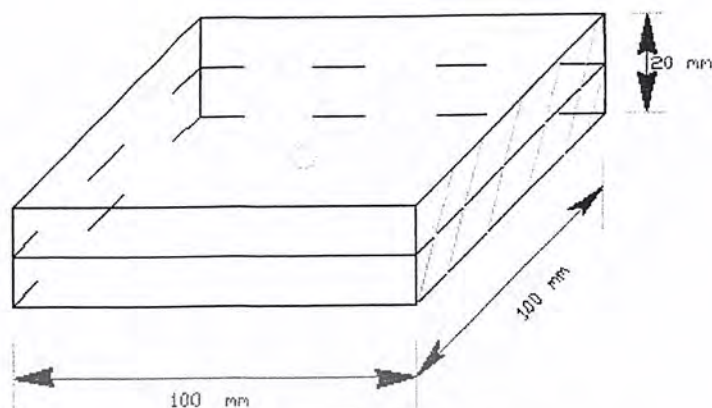
รูปที่ 6-26 (ก) - (ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ

วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 6 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.40 pC

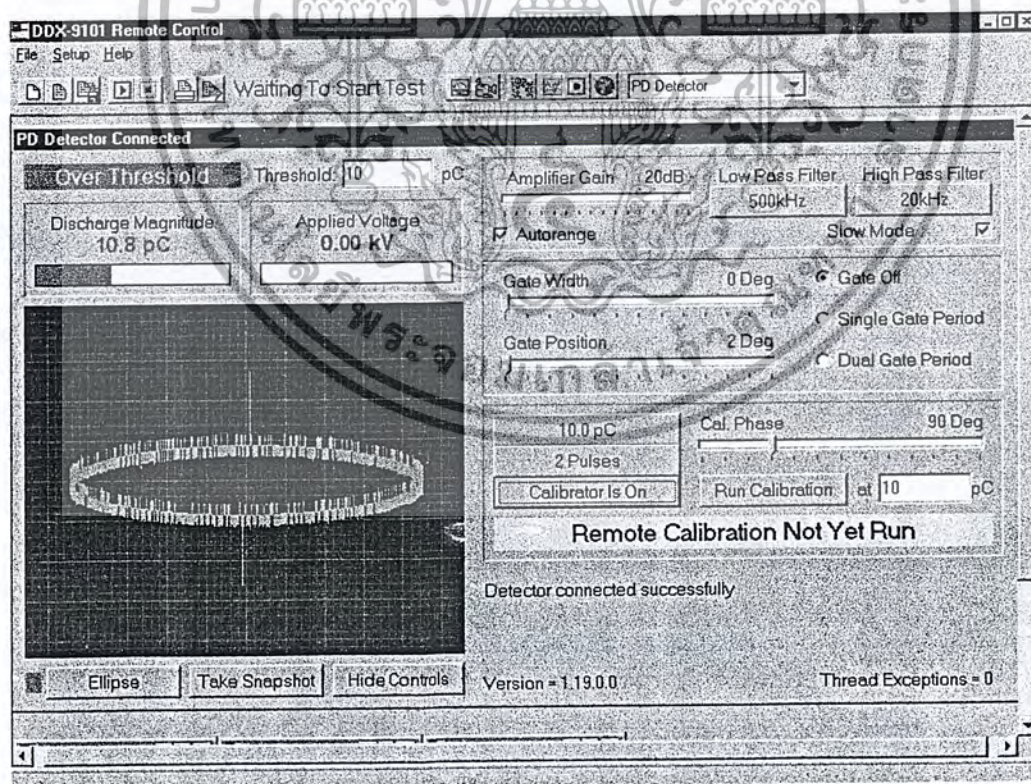
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รู



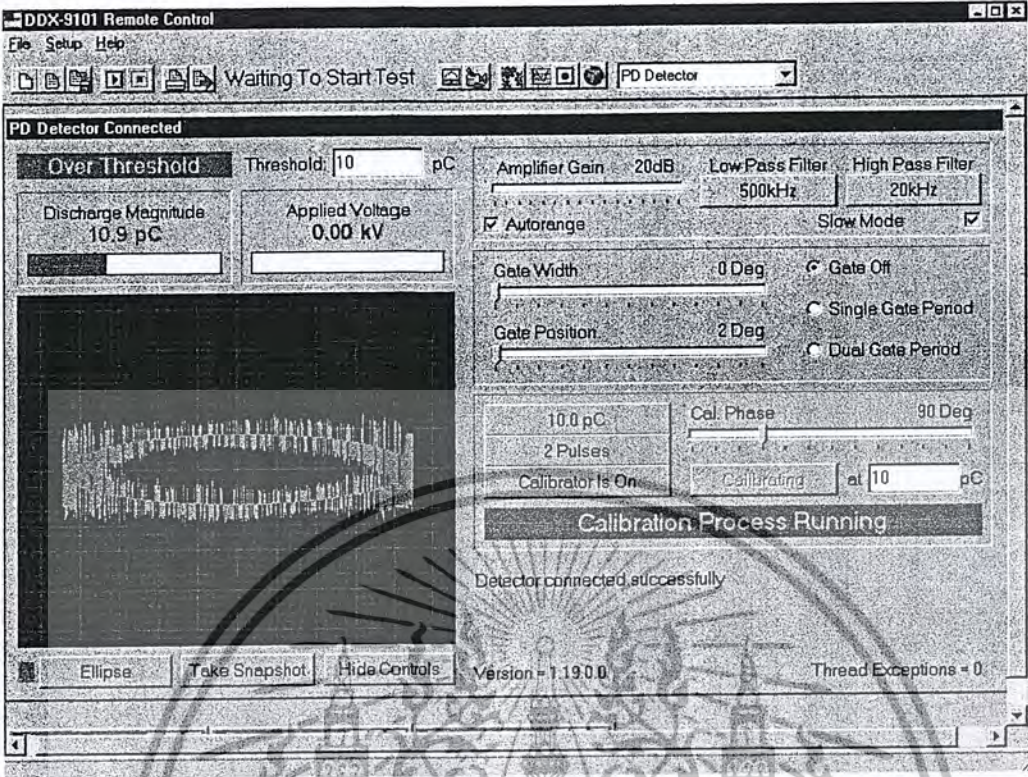
รูปที่ 6-27 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูใหญ่ 1 รู

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

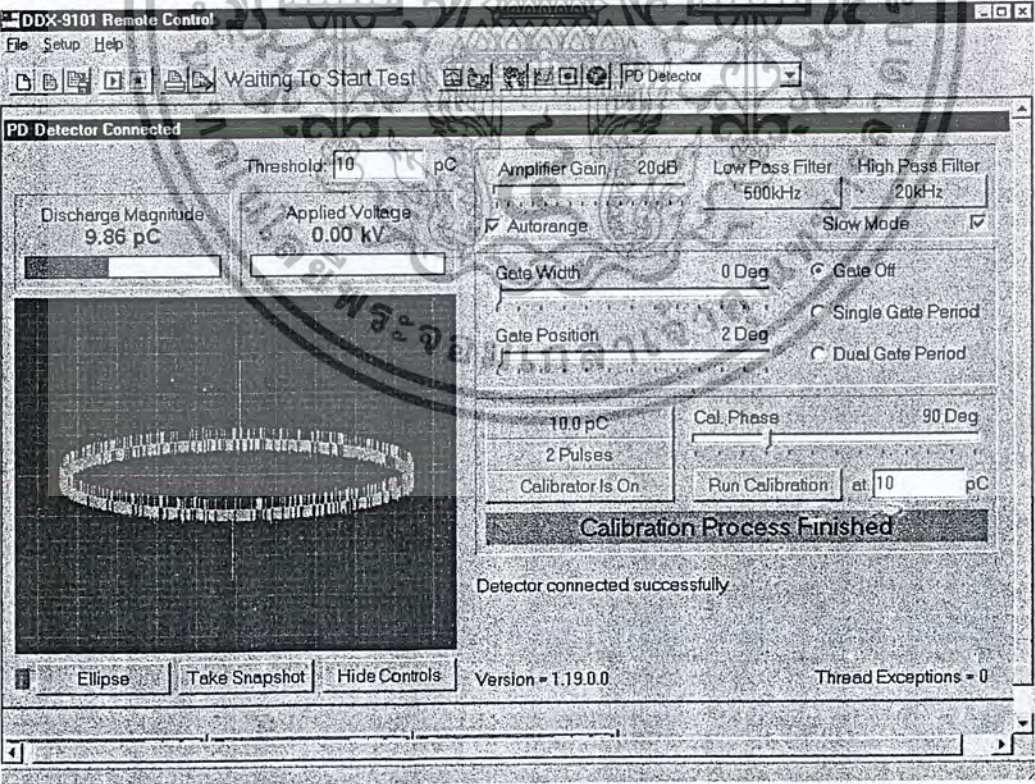


รูปที่ 6-28 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

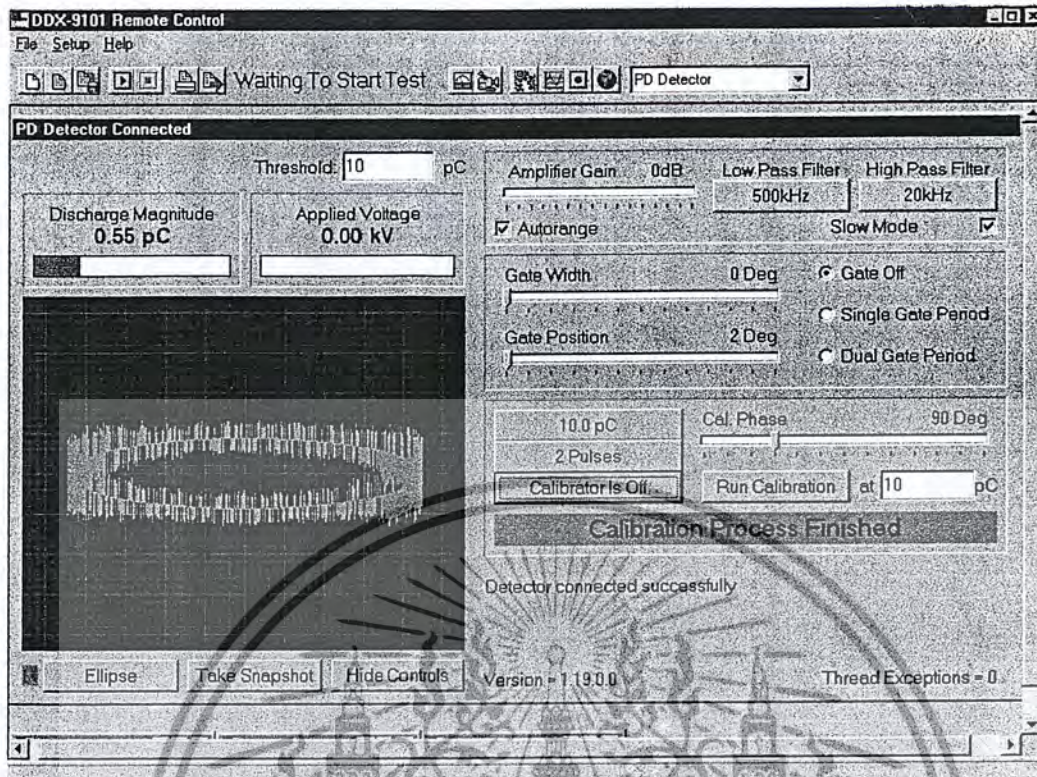


รูปที่ 6-28 b) ขณะทำการ Run Calibrate

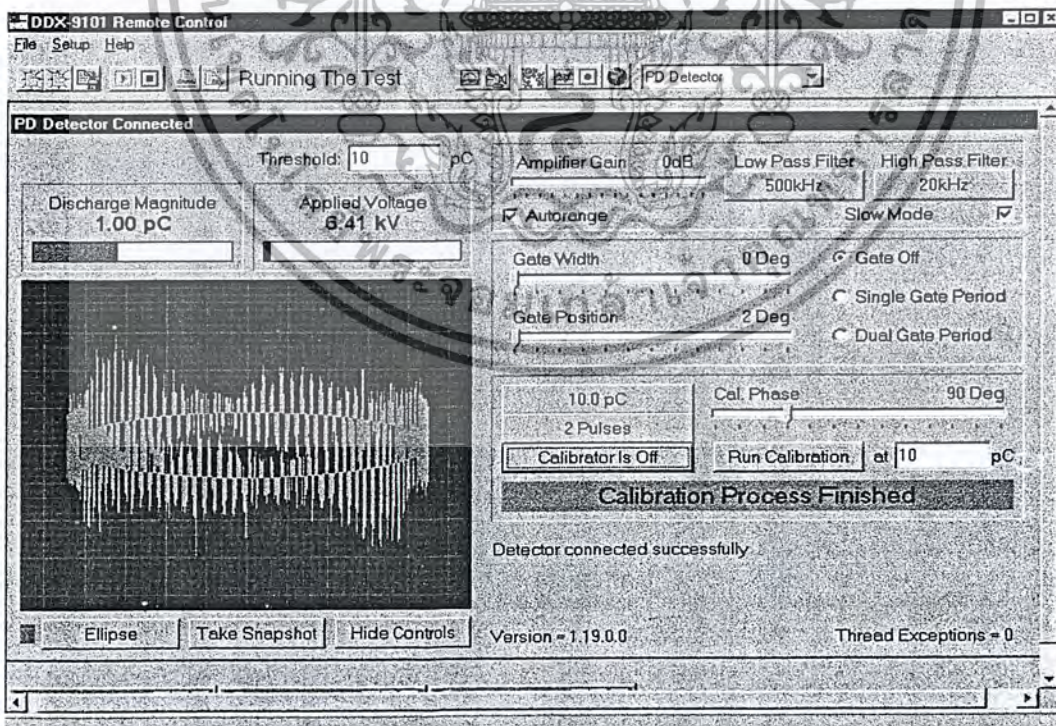


รูปที่ 6-28 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

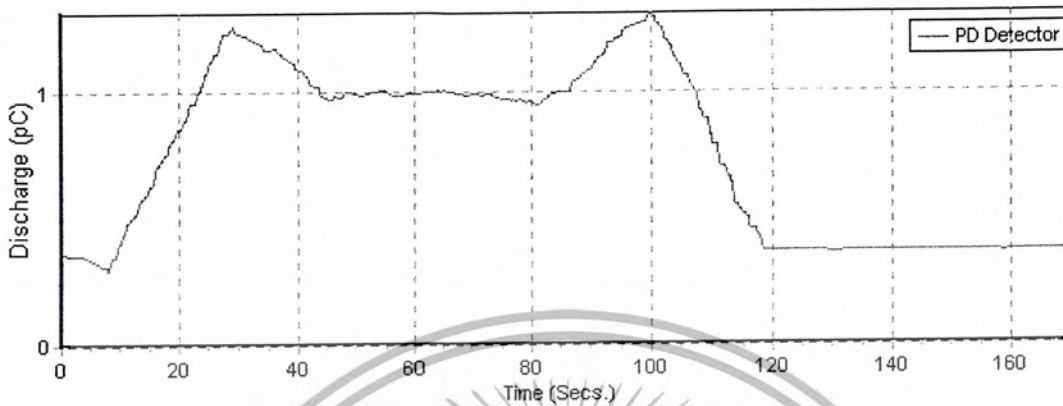


รูปที่ 6-28 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

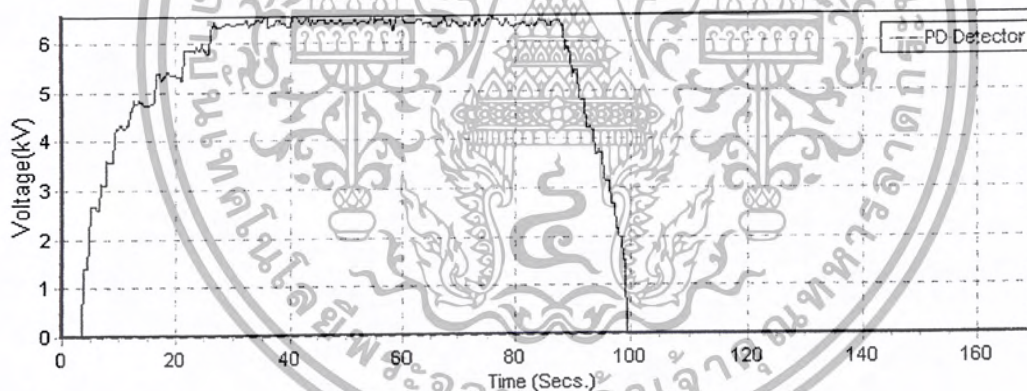


รูปที่ 6-28 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

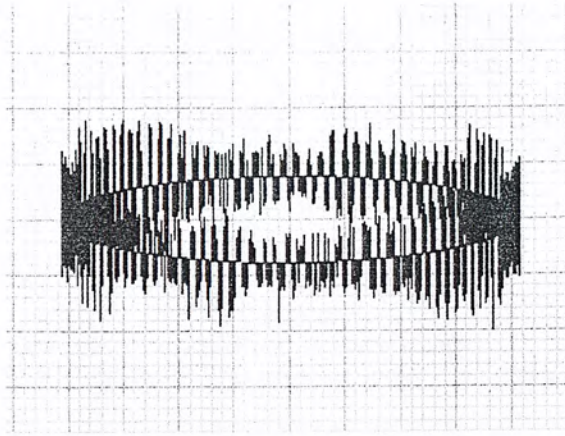


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 18:30:35

Discharge =1.01 pC, Voltage =6.52 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Elipse



PD Detector - 23/3/04 18:30:47

Discharge =1.00 pC, Voltage =6.32 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

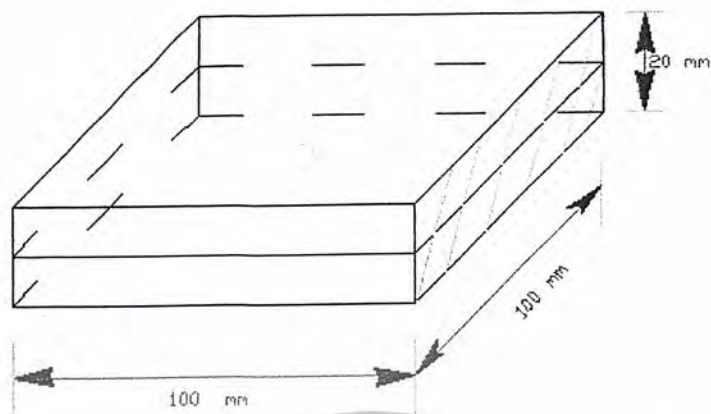
แบบ Sine

รูปที่ 6-29 (ก) - (ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 6 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.32 pC

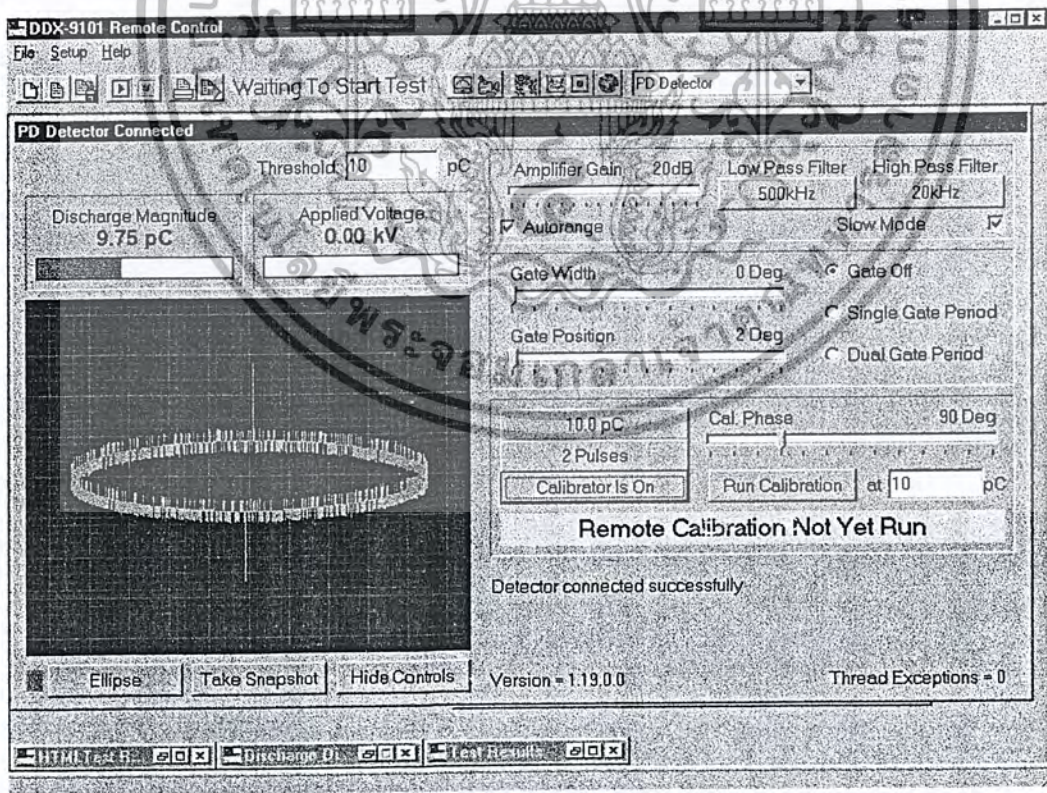
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรู 1 รู และมีสิ่งเจือปนอยู่ภายใน



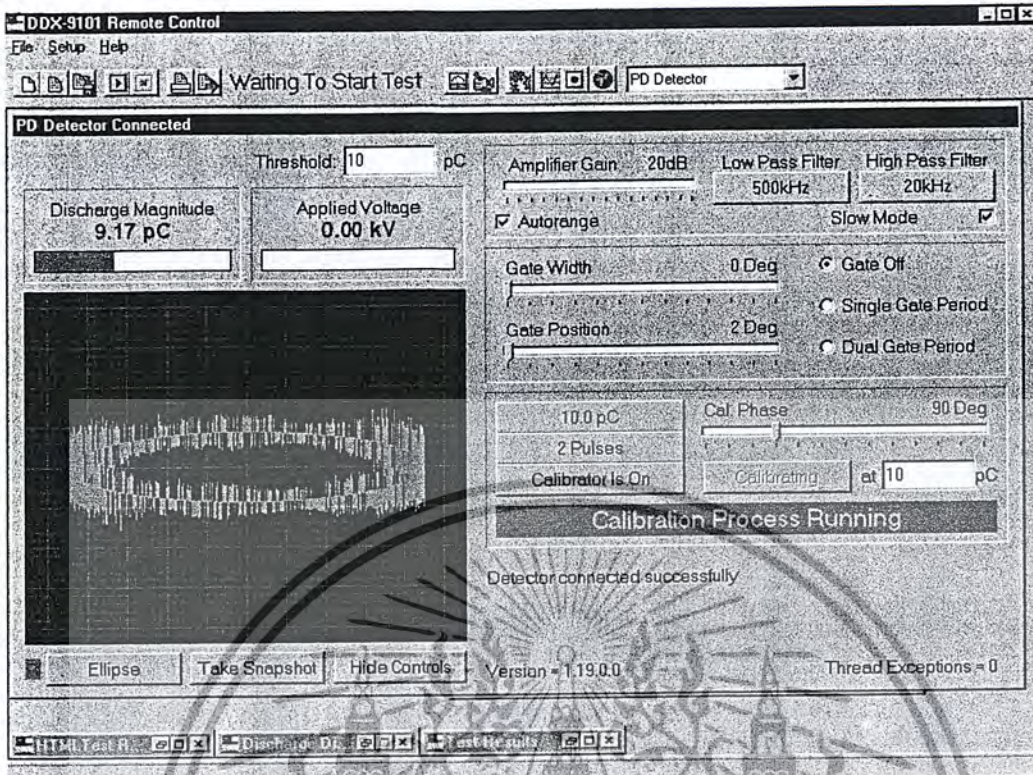
รูปที่ 6-30 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดมีรูที่มี
สิ่งเจือปนคือเศษเหล็ก

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pc และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

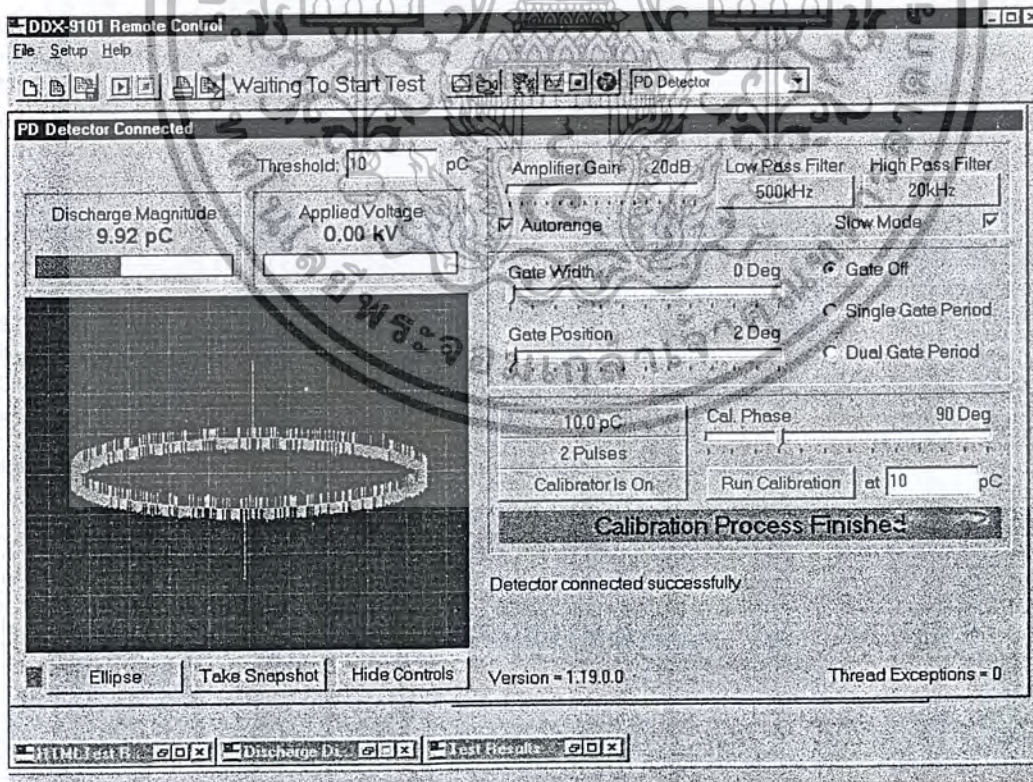


รูปที่ 6-31 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

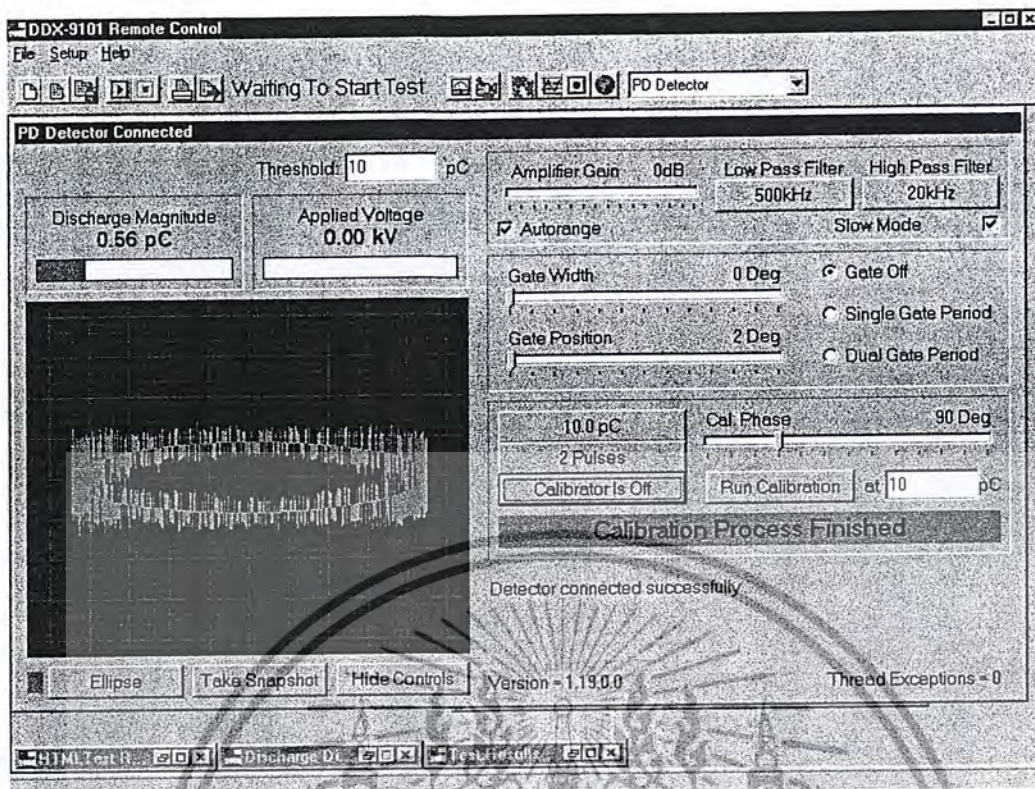


รูปที่ 6-31 b) ขณะทำการ Run Calibrate

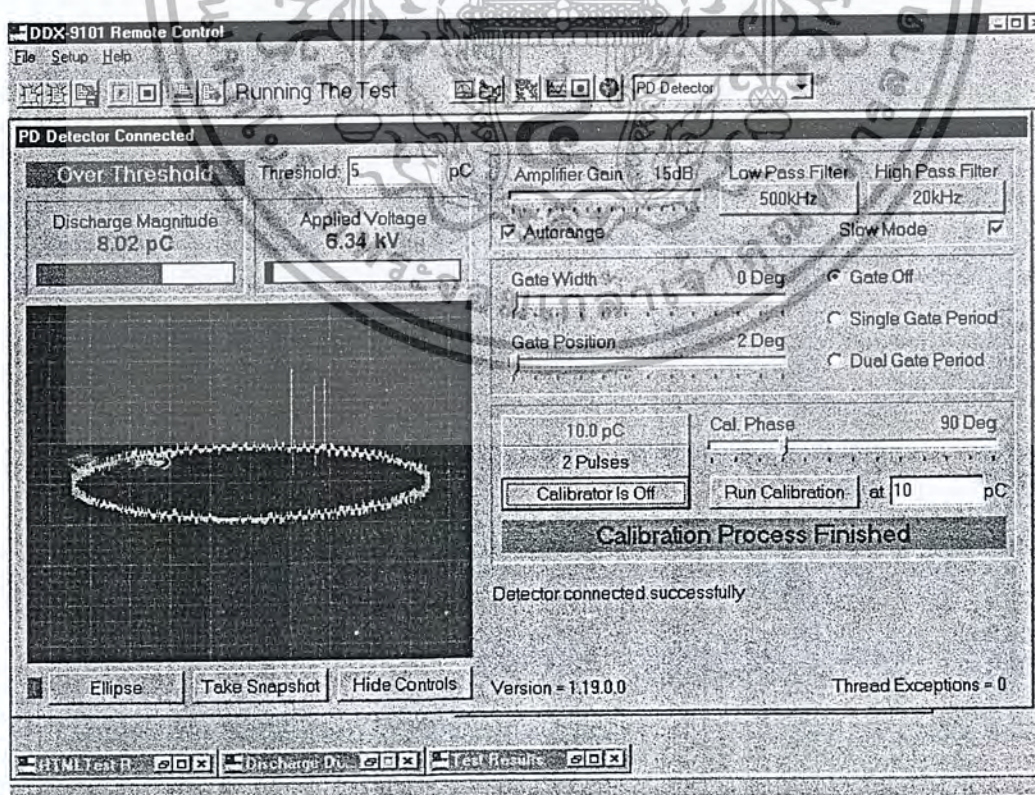


รูปที่ 6-31 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

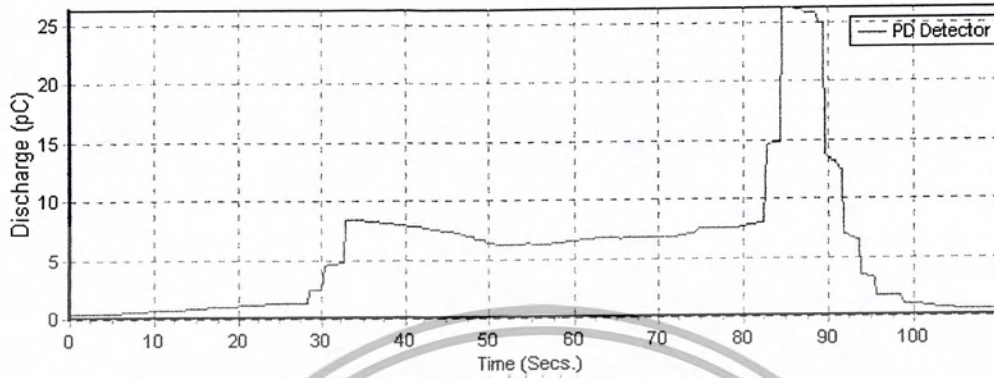


รูปที่ 6-31 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise



รูปที่ 6-31 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

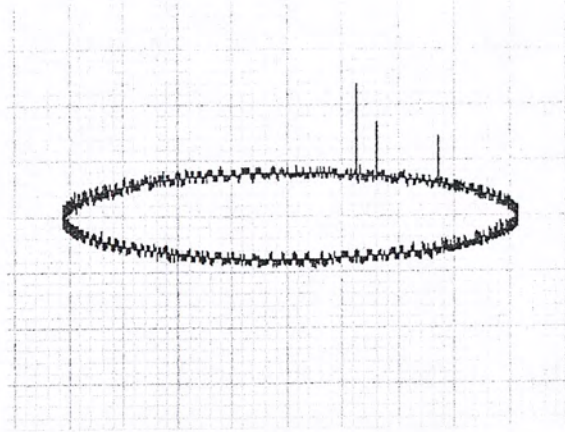


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์บางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 20:02:03

Discharge = 7.81 pC, Voltage = 6.37 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Elipse



PD Detector - 23/3/04 20:02:18

Discharge = 6.27 pC, Voltage = 6.48 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Sine

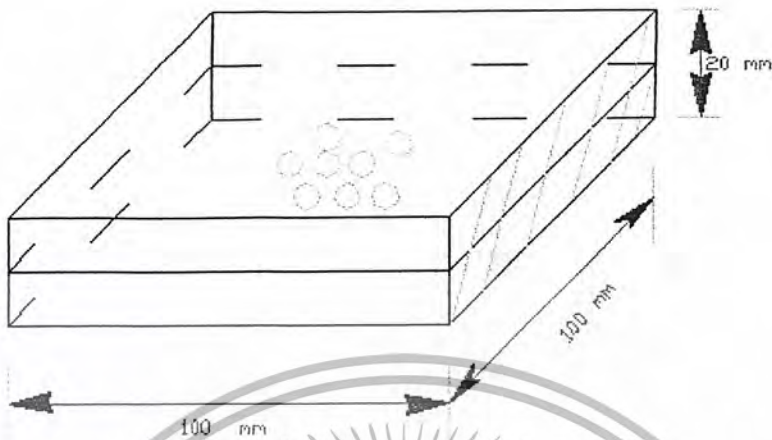
รูปที่ 6-32 (ก) – (ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ

วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 6 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 26.26 pC

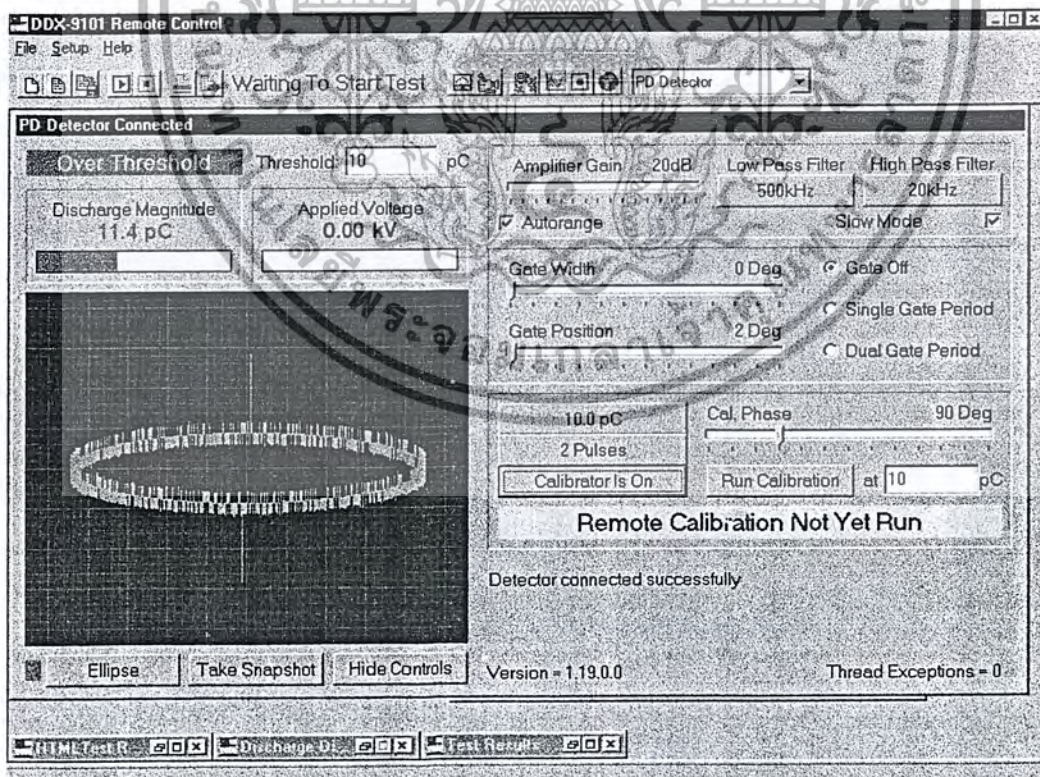
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อะคริลิกทดสอบชนิดรูปทรงแปดเหลี่ยม



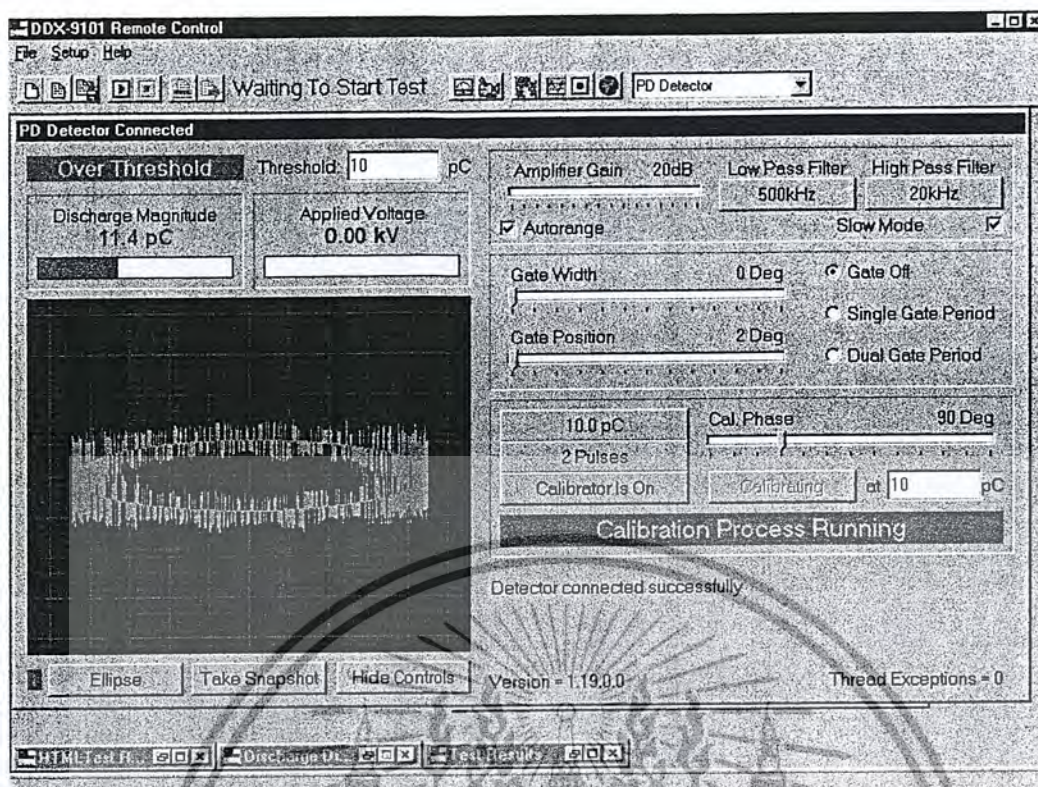
รูปที่ 6-33 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูปทรงแปดเหลี่ยม

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาระยะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

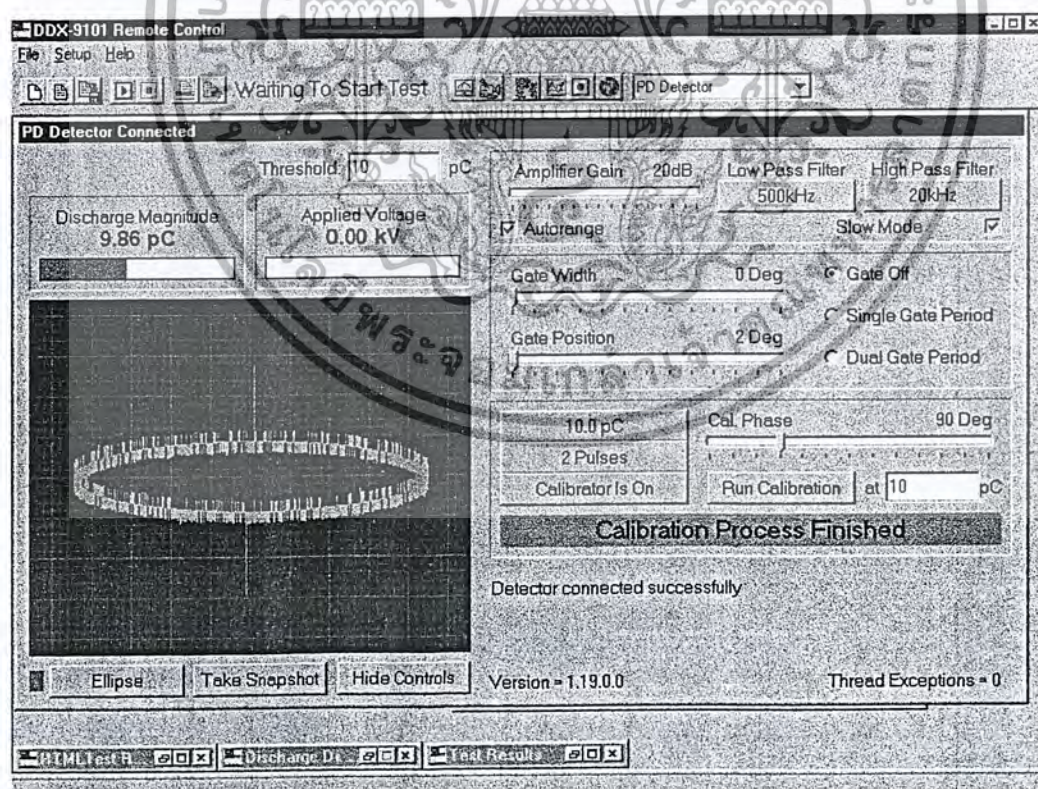


รูปที่ 6-34 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

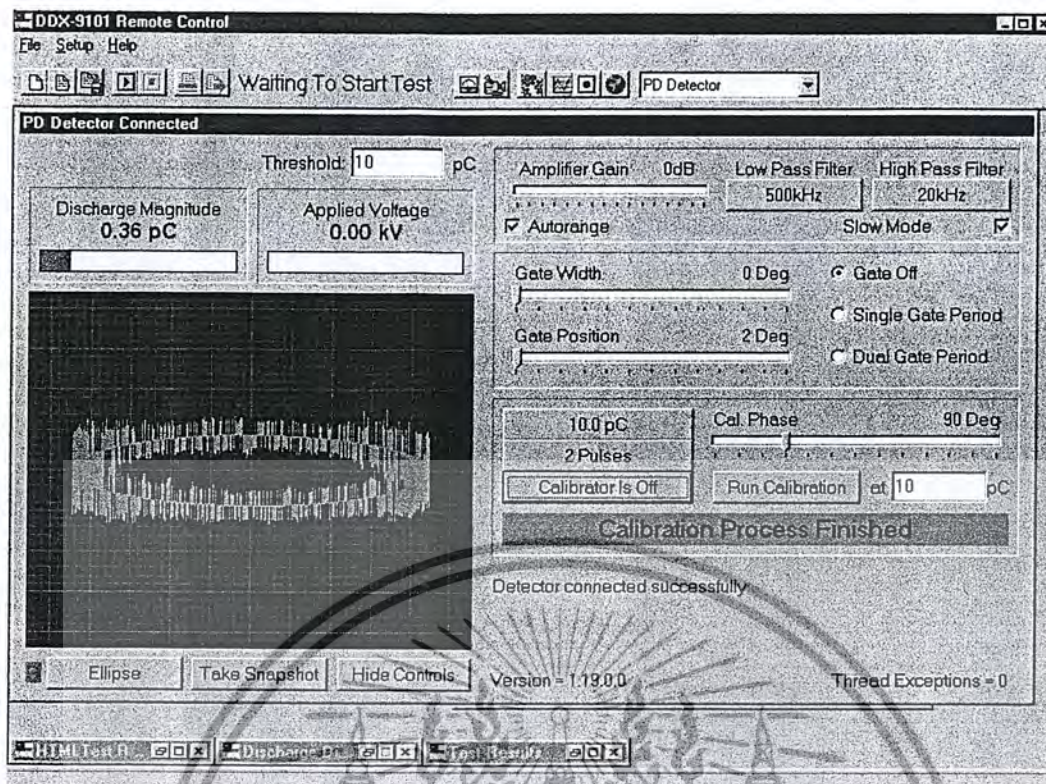


รูปที่ 6-34 b) ขณะทำการ Run Calibrate

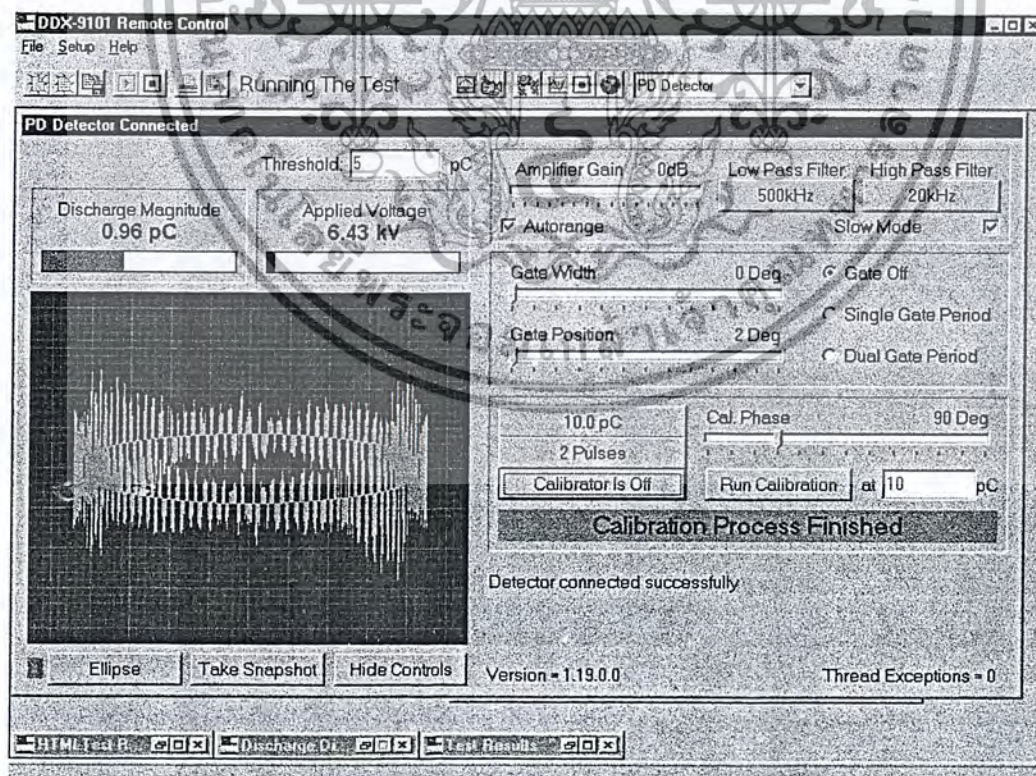


รูปที่ 6-34 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

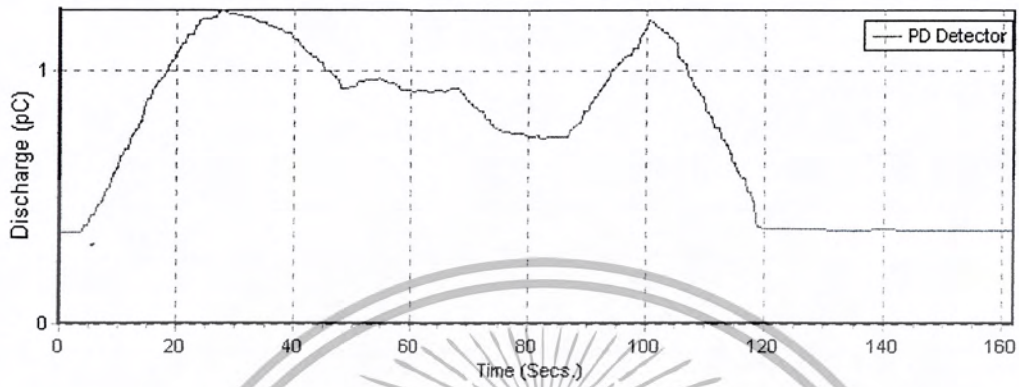


รูปที่ 6-34 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise

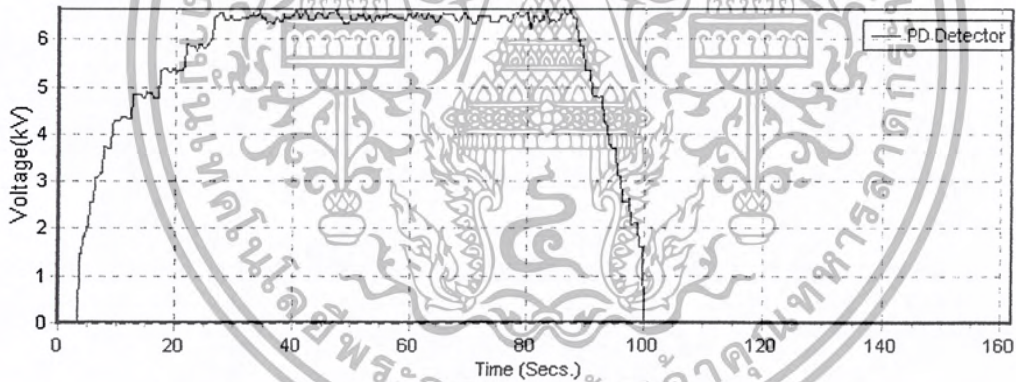


รูปที่ 6-34 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

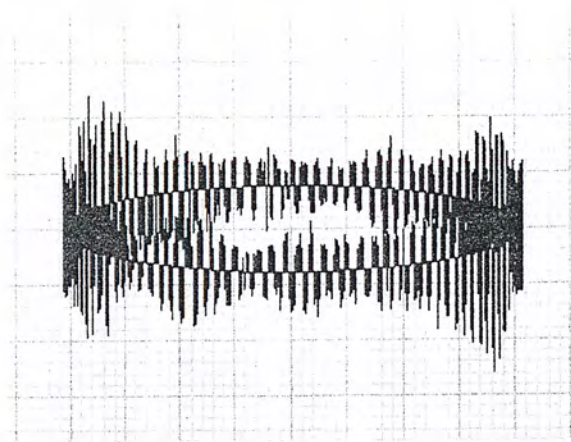


(ก) กราฟแสดงสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 19:49:36

Discharge =0.97 pC, Voltage =6.51 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD



PD Detector - 23/3/04 19:49:46

Discharge =0.92 pC, Voltage =6.40 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Sine

รูปที่ 6-35 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

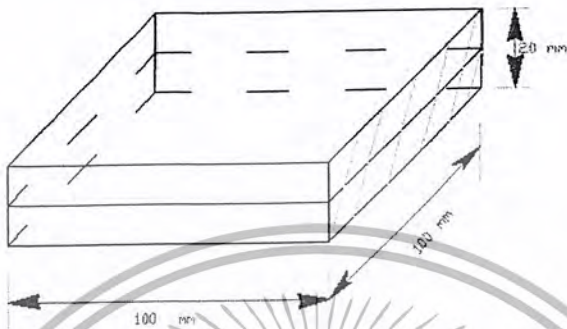
ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ

วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 6 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.24 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

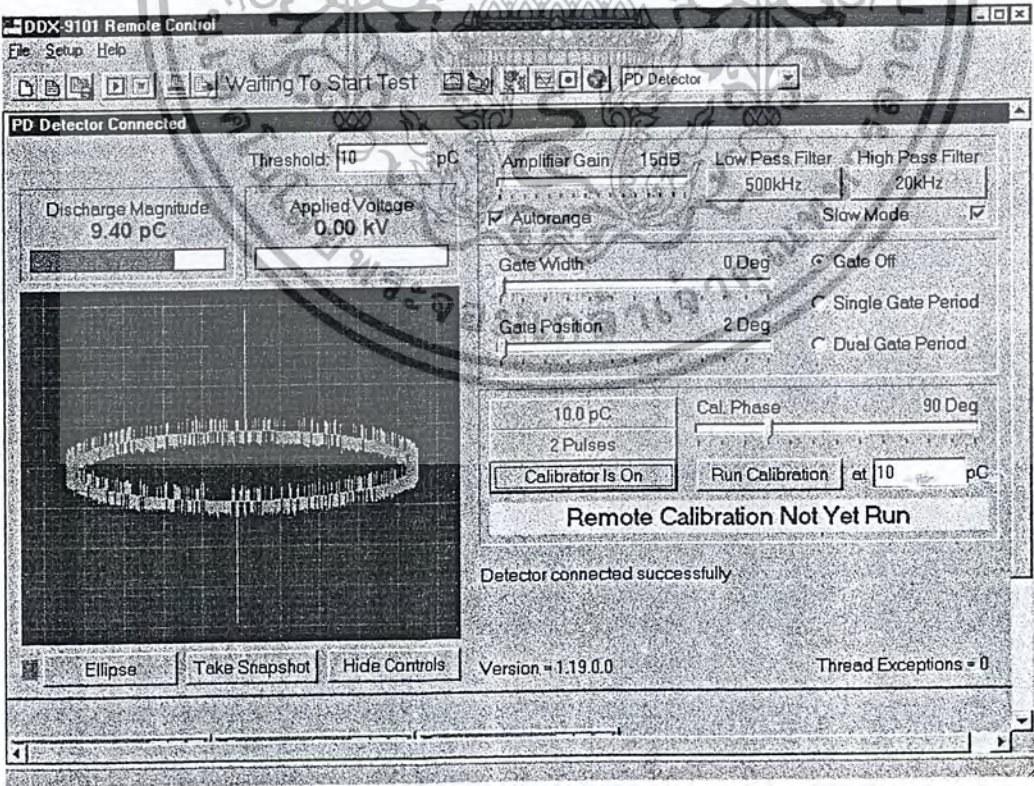
6.4.2 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 8 kV

1. อะคริลิกทดสอบชนิด ไม่มีรู



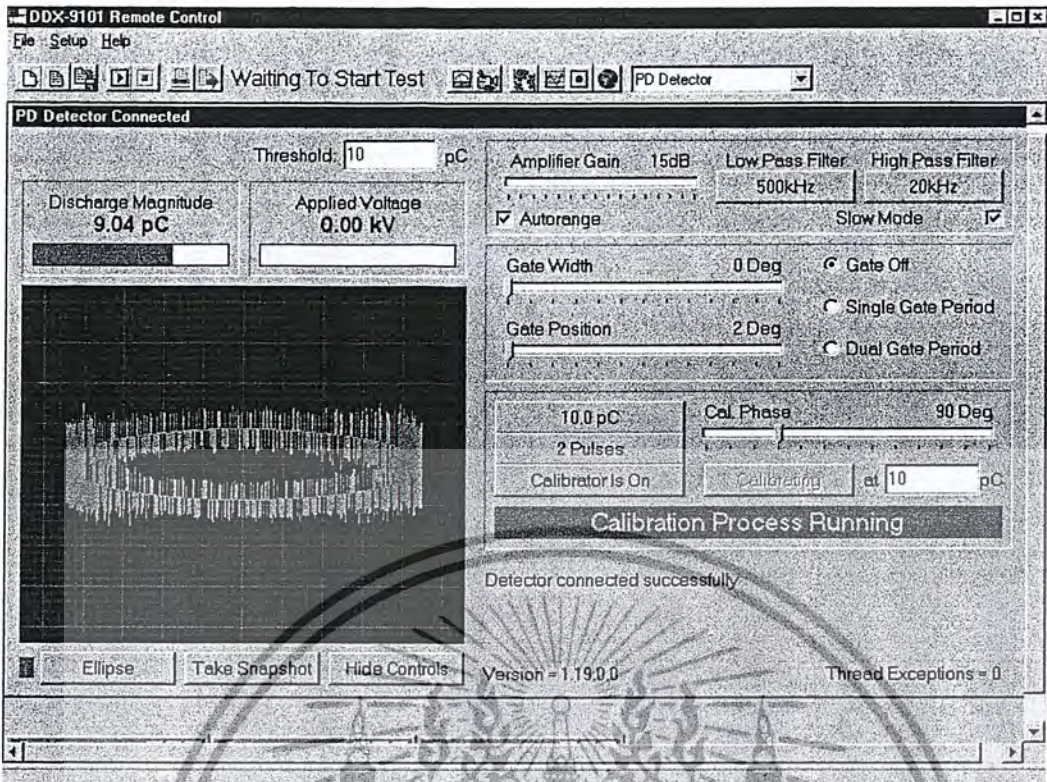
รูปที่ 6-36 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดไม่มีรู

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

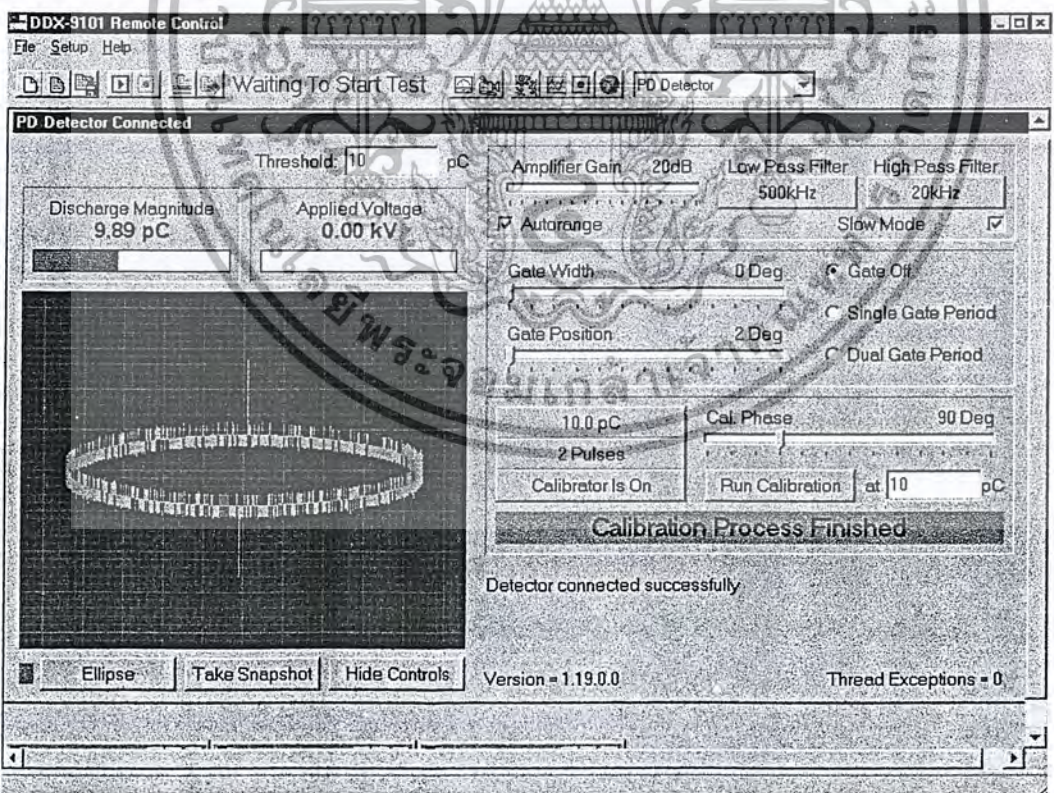


รูปที่ 6-37 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

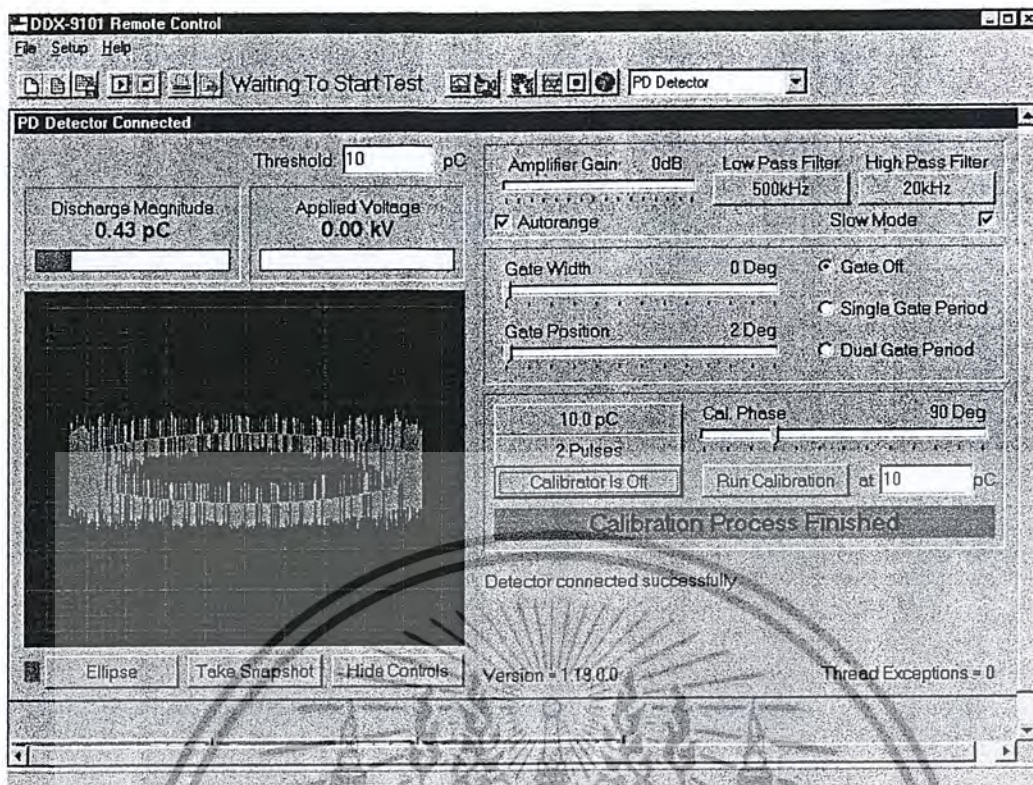


รูปที่ 6-37 b) ขณะทำการ Run Calibrate

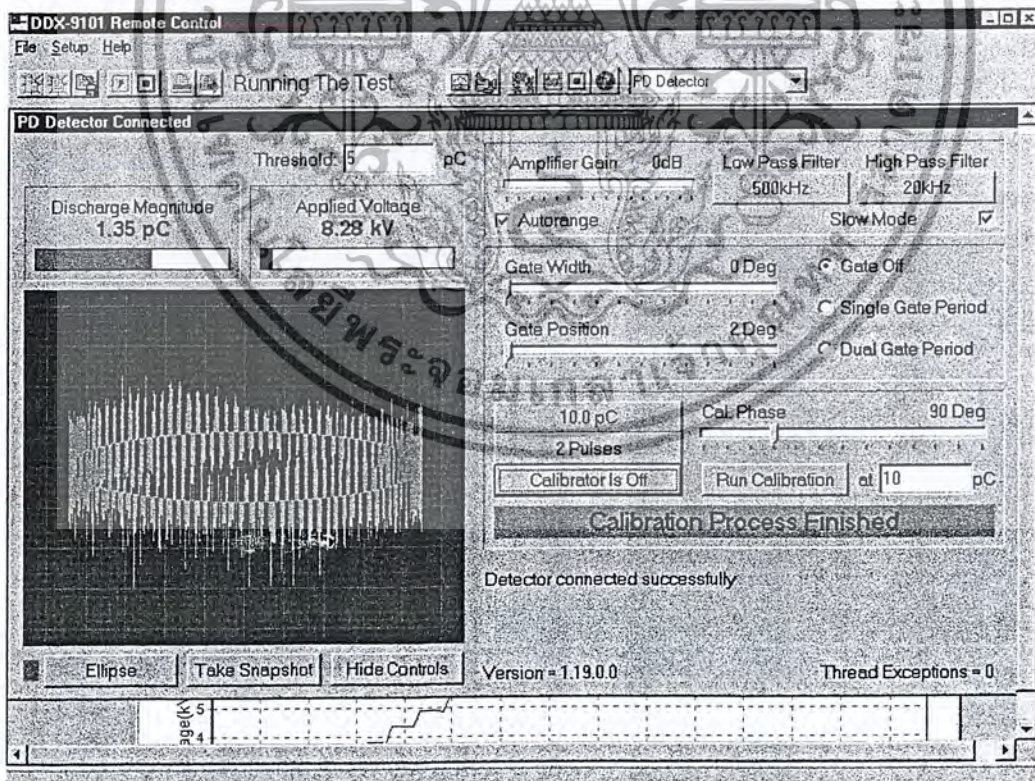


รูปที่ 6-37 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

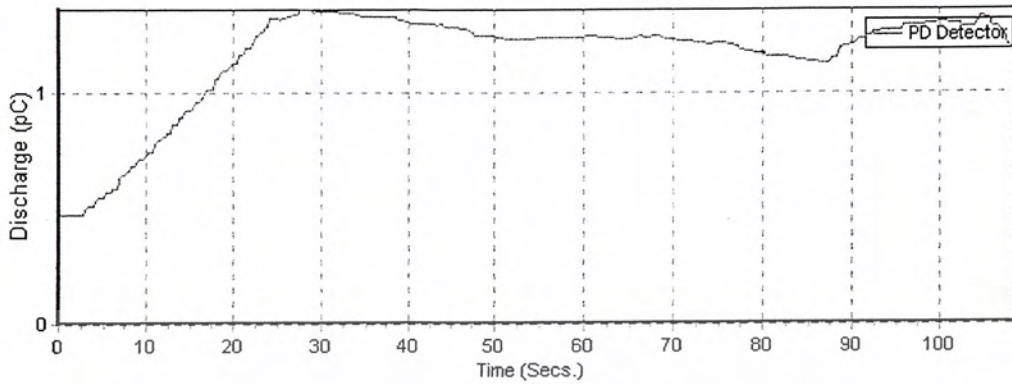


รูปที่ 6-37 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

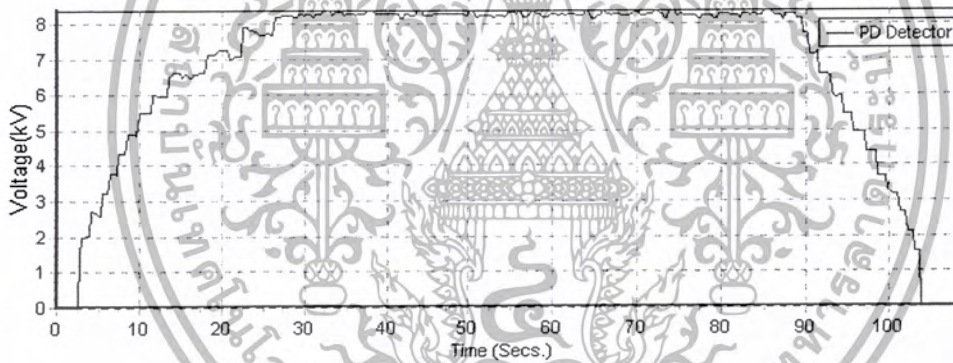


รูปที่ 6-37 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

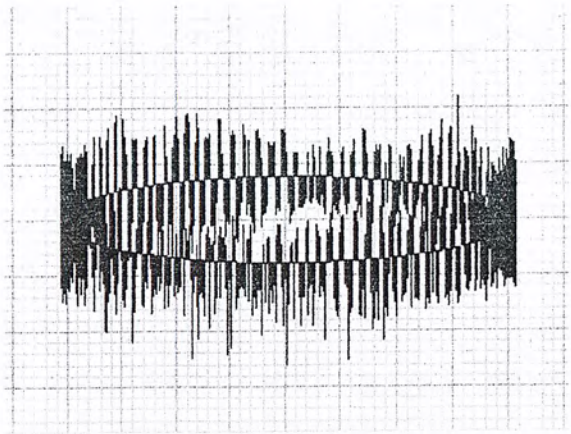


(ก) กราฟแสดงสัญญาณดิชาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 2:31:56

Discharge =1.34 pC, Voltage =8.22 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD
แบบ *Elipse*



PD Detector - 24/3/04 2:32:13

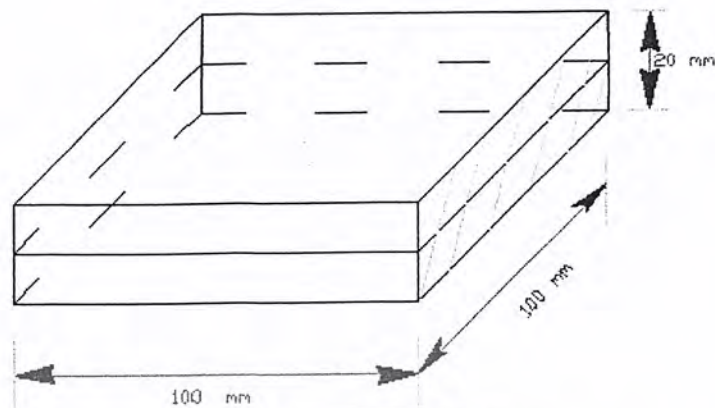
Discharge =1.24 pC, Voltage =8.36 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD
แบบ *Sine*

รูปที่ 6-38 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

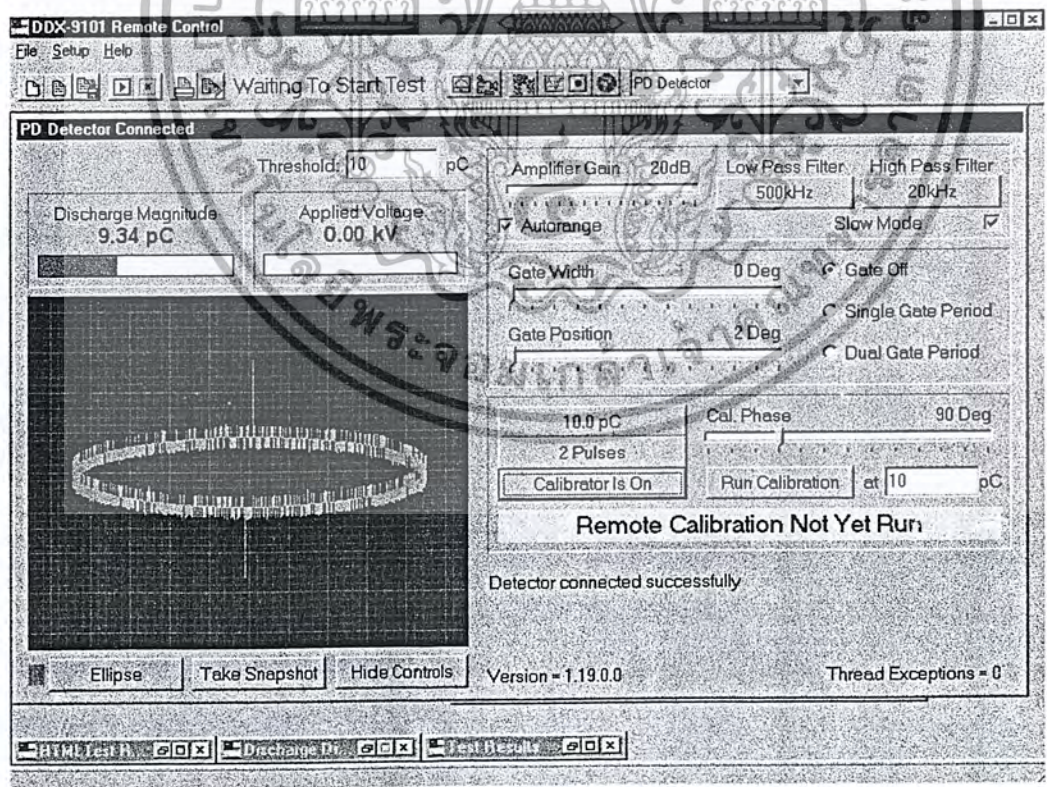
ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุนิดนี้เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 8 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.36 pC
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รู



รูปที่ 6-39 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูใหญ่ 1 รู

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

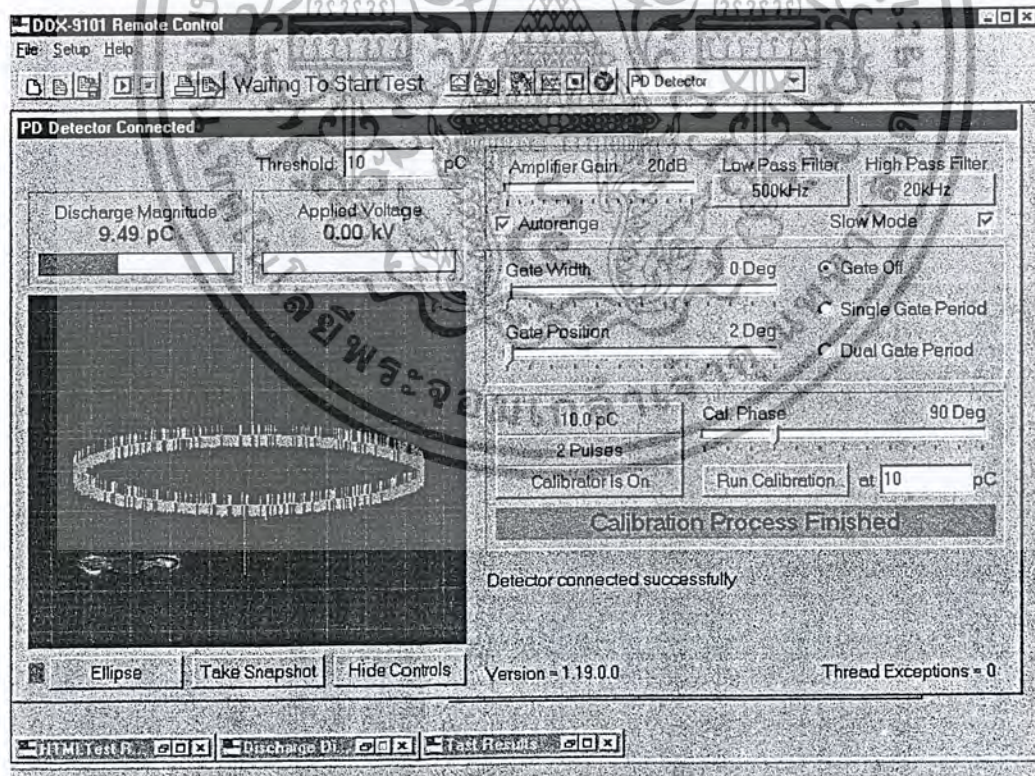


รูปที่ 6-40 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

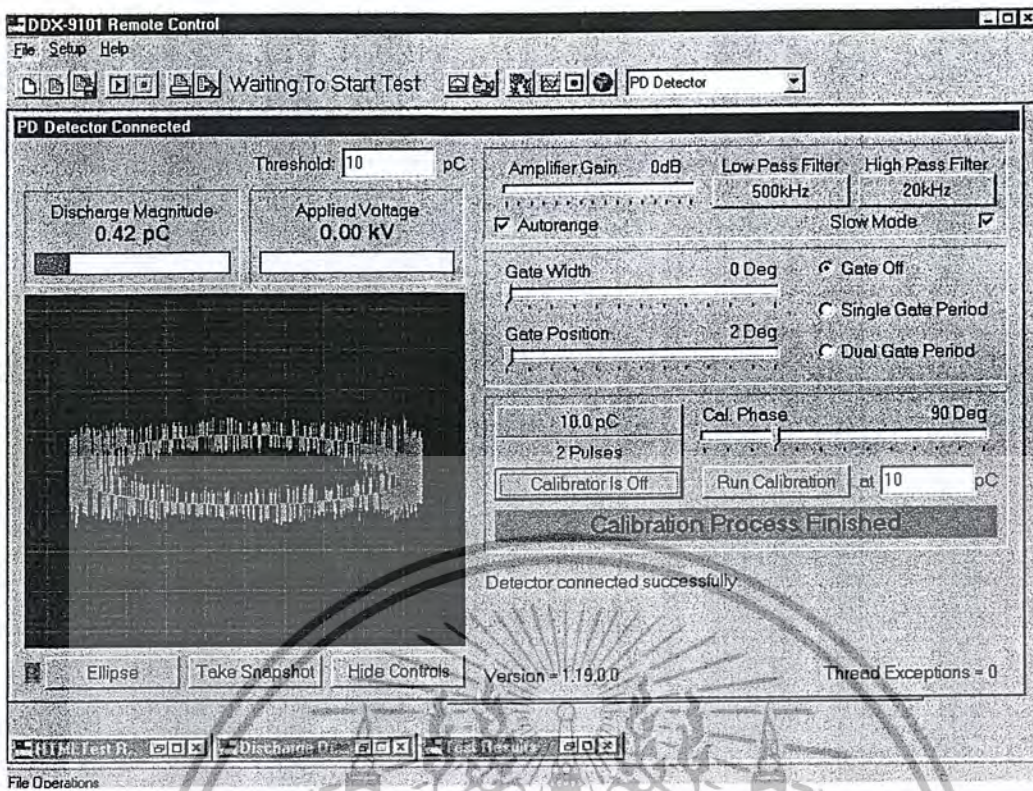


รูปที่ 6-40 b) ขณะทำการ Run Calibrate

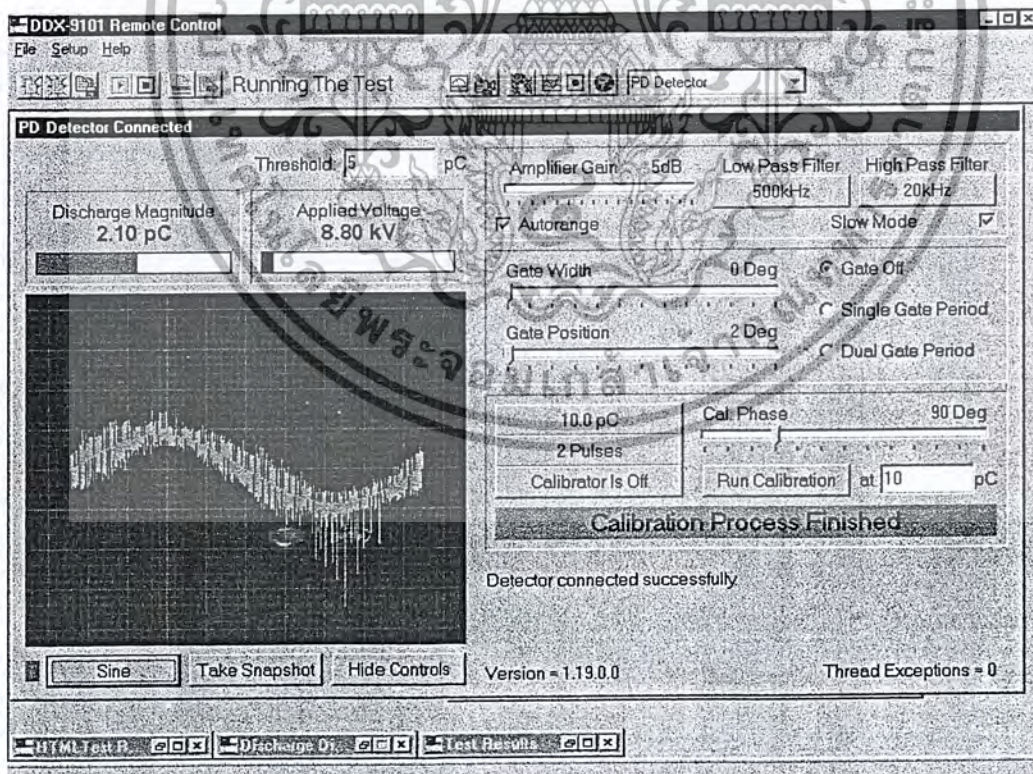


รูปที่ 6-40 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

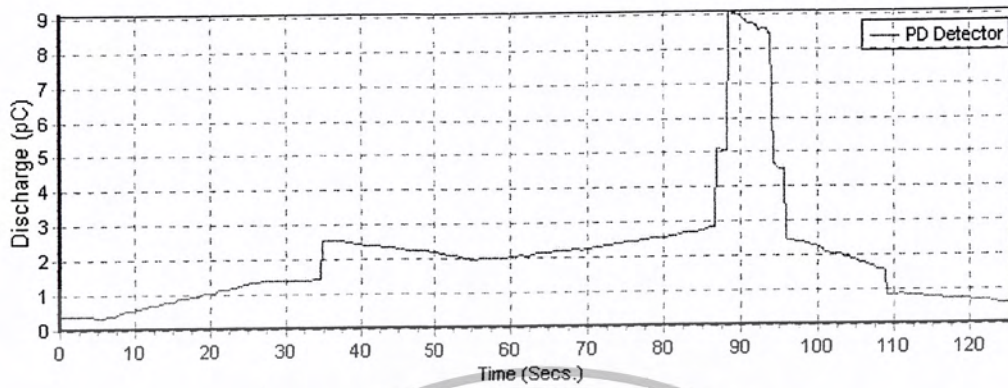


รูปที่ 6-40 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

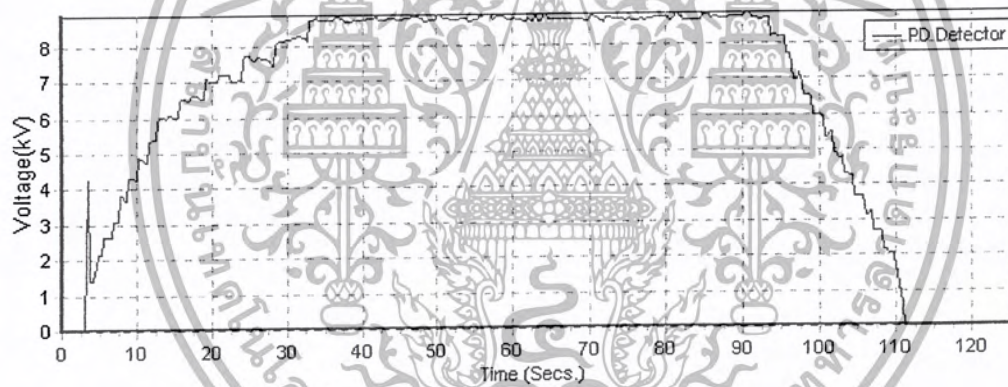


รูปที่ 6-40 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

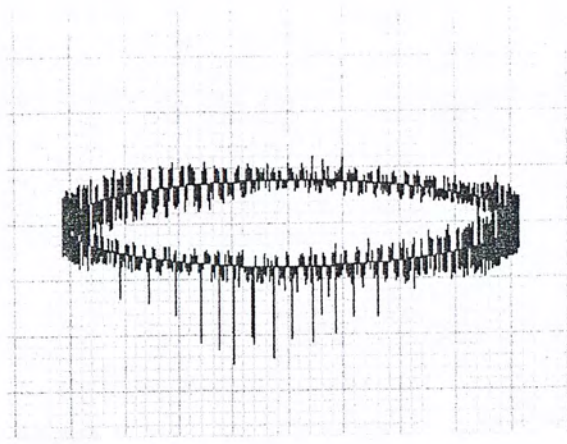


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 23:07:01

Discharge = 2.31 pC, Voltage = 8.73 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Ellipse*



PD Detector - 23/3/04 23:07:29

Discharge = 2.34 pC, Voltage = 8.79 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

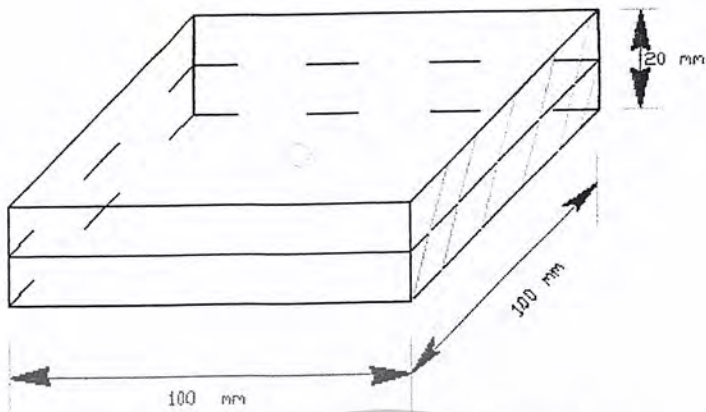
แบบ *Sine*

รูปที่ 6-41 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 8 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 9.10 pC

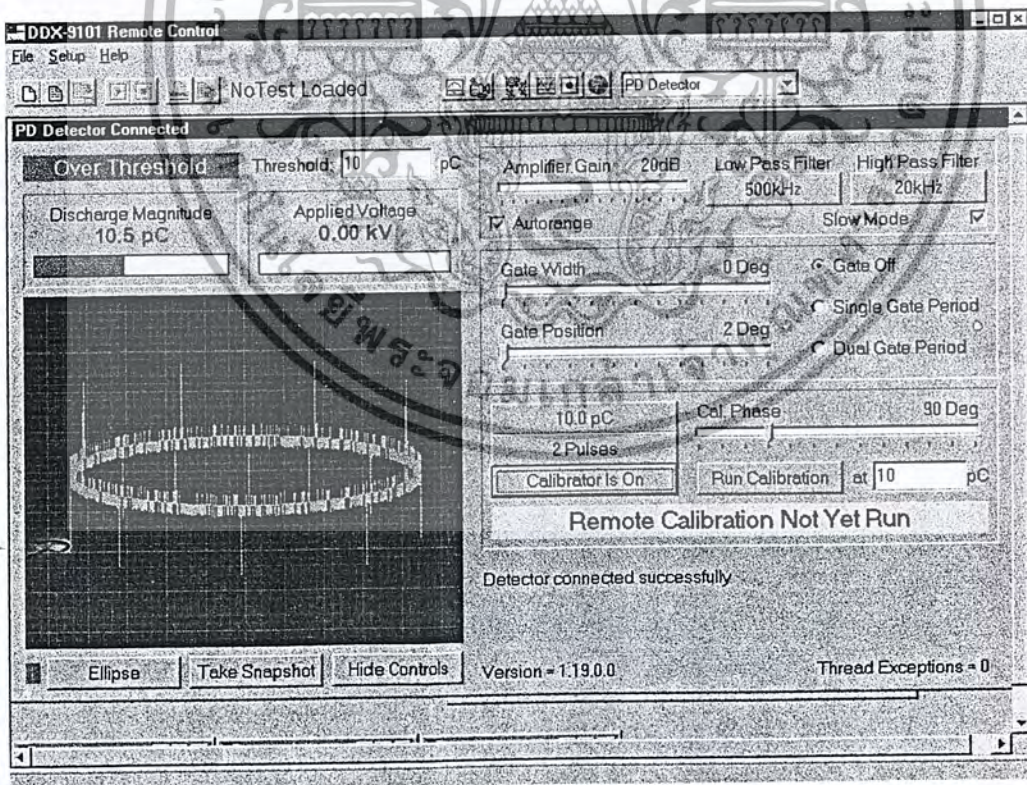
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรู 1 รู และมีสิ่งเจือปนอยู่ภายใน



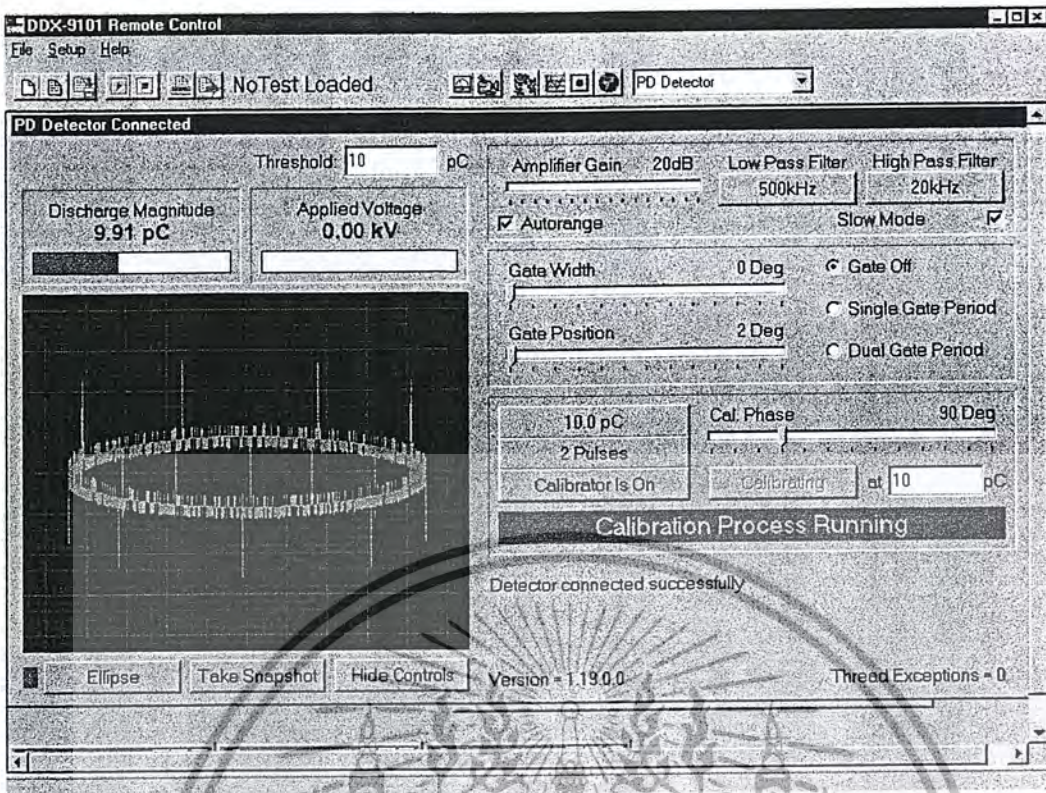
รูปที่ 6-42 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดมีรูที่มี
สิ่งเจือปนคือเศษเหล็ก

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

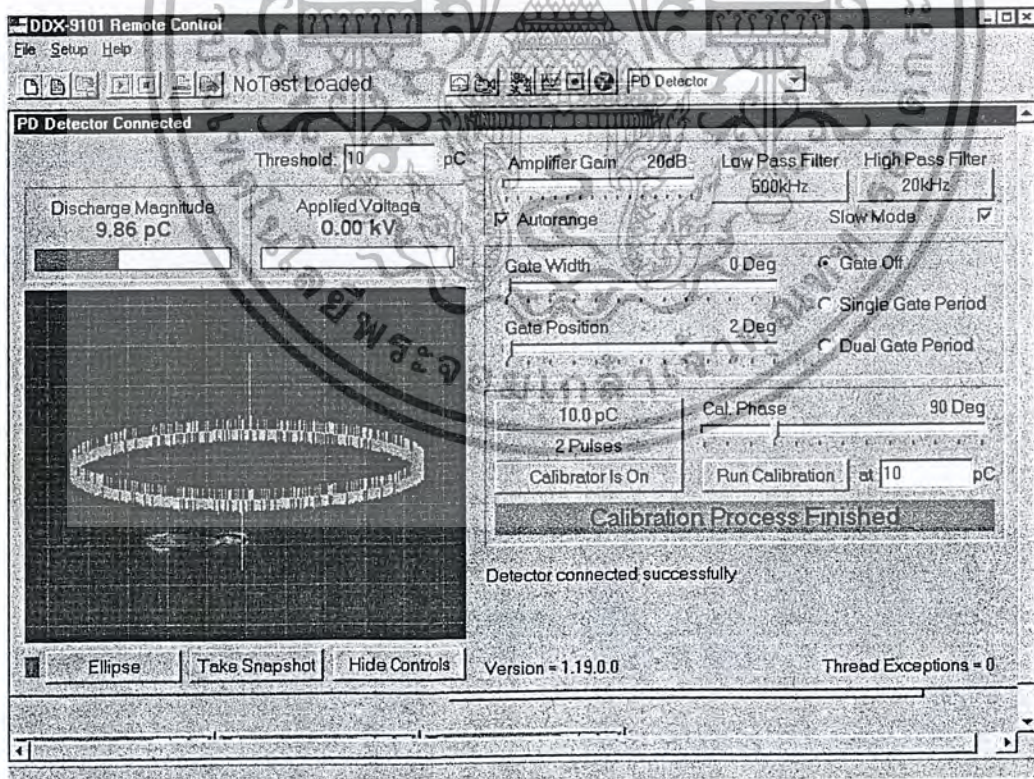


รูปที่ 6-43 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-43 b) ขณะทำการ Run Calibrate

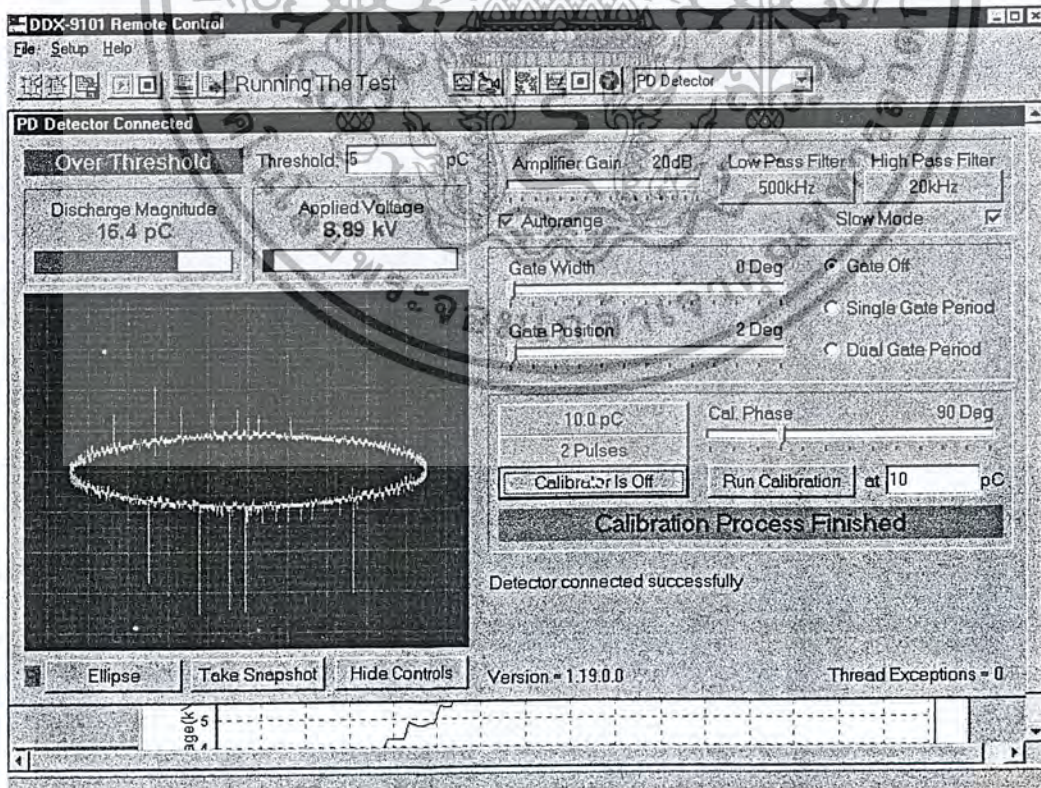


รูปที่ 6-43 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

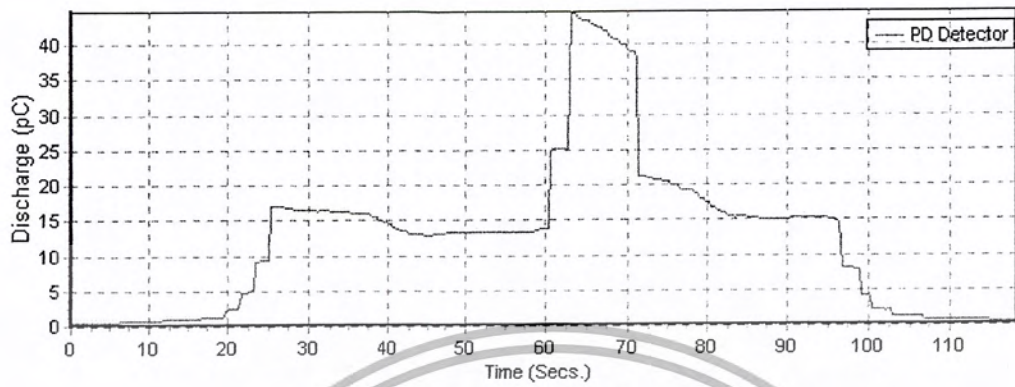


รูปที่ 6-43 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อที่ Background Noise

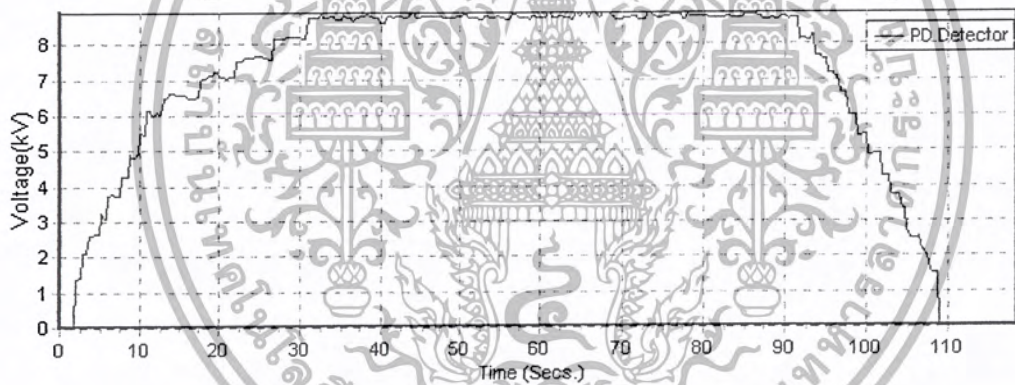


รูปที่ 6-43 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 23:27:12

Discharge =15.97 pC, Voltage =8.67 kV

(ก) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD



PD Detector - 23/3/04 23:27:26

Discharge =13.37 pC, Voltage =8.80 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

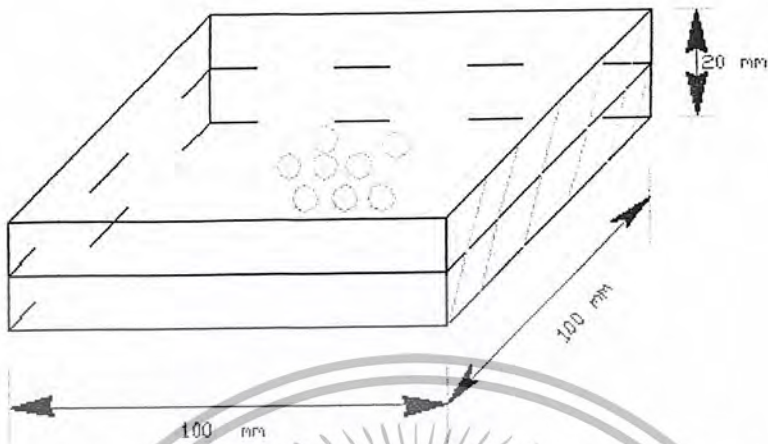
แบบ Sine

รูปที่ 6-44 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 8 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 44.72 pC

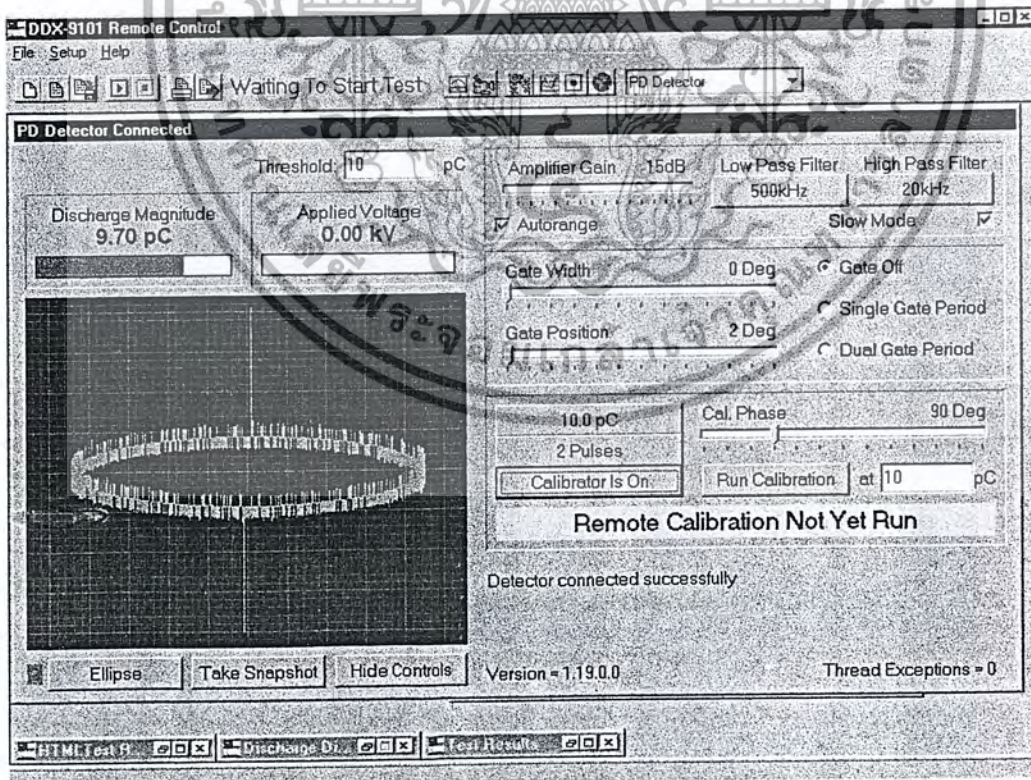
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อะคริลิกทดสอบชนิดรูปทรงแปดหน้า



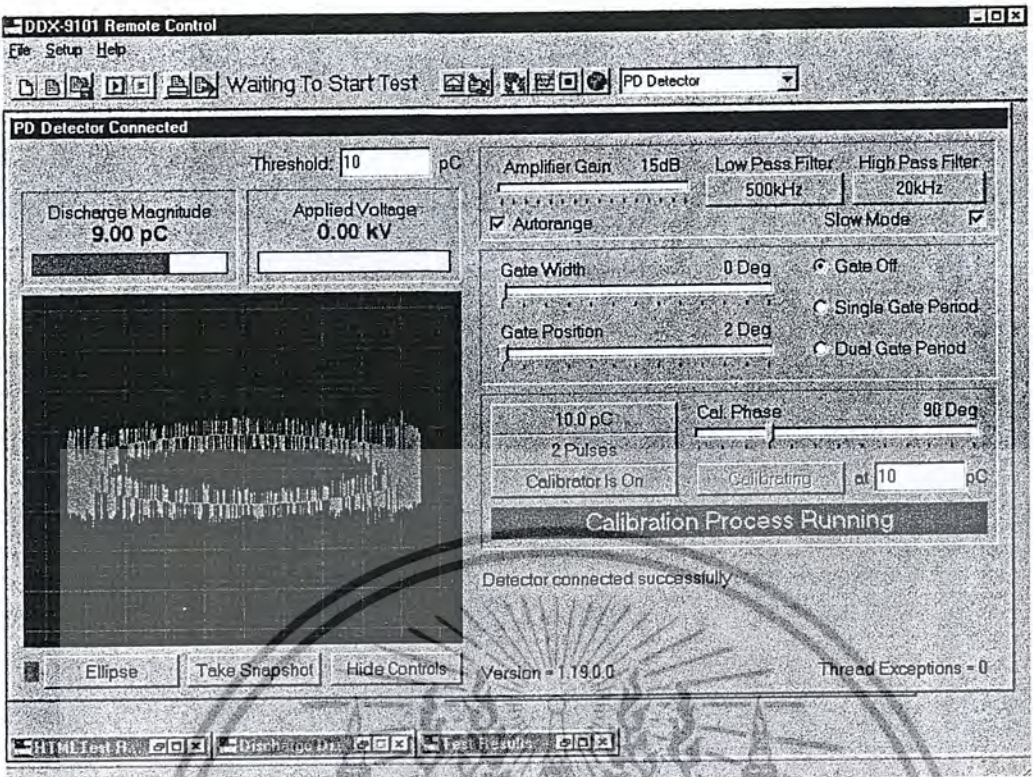
รูปที่ 6-45 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูปทรงแปดหน้า

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

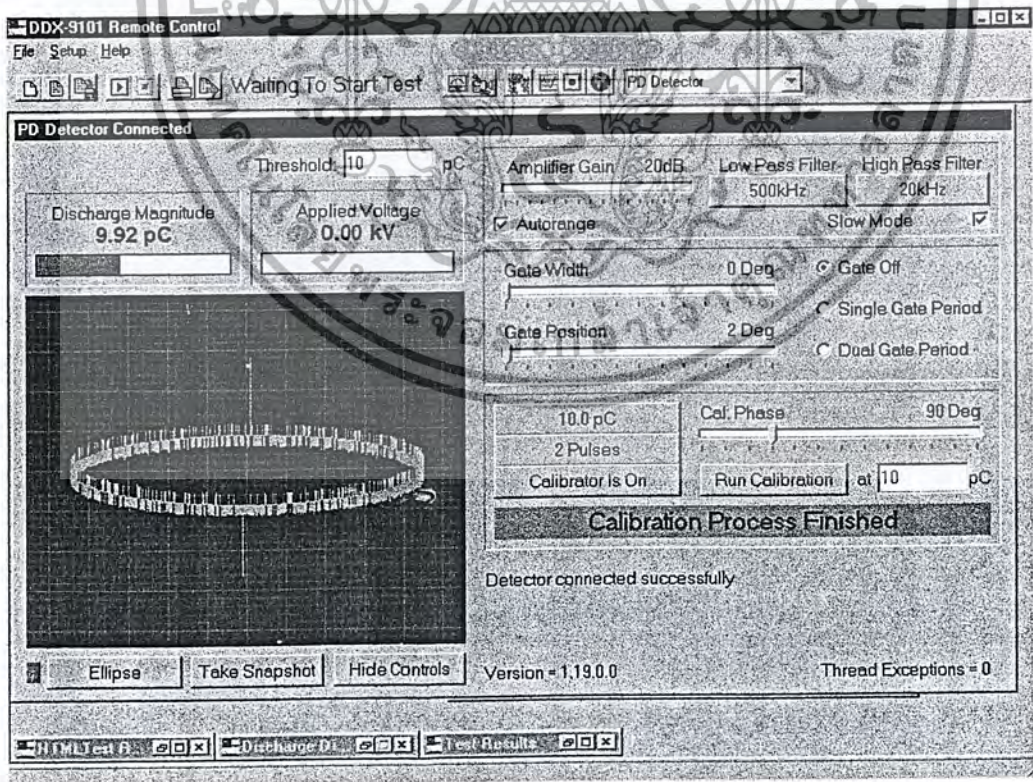


รูปที่ 6-46 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

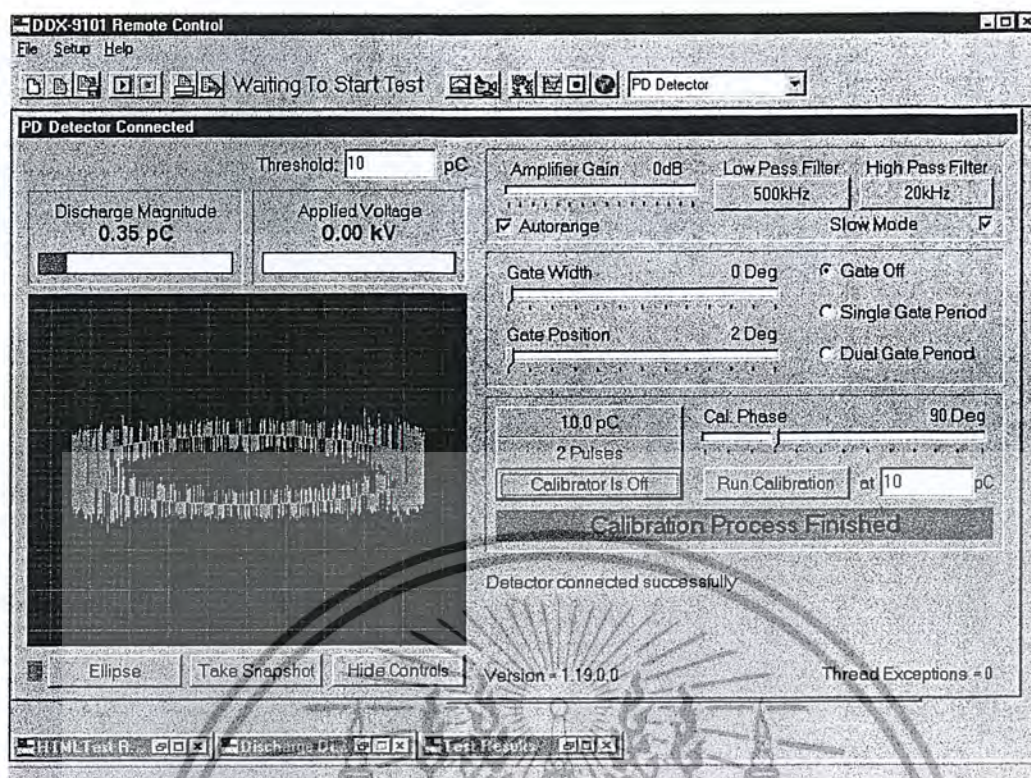


รูปที่ 6-46 b) ขณะทำการ Run Calibrate

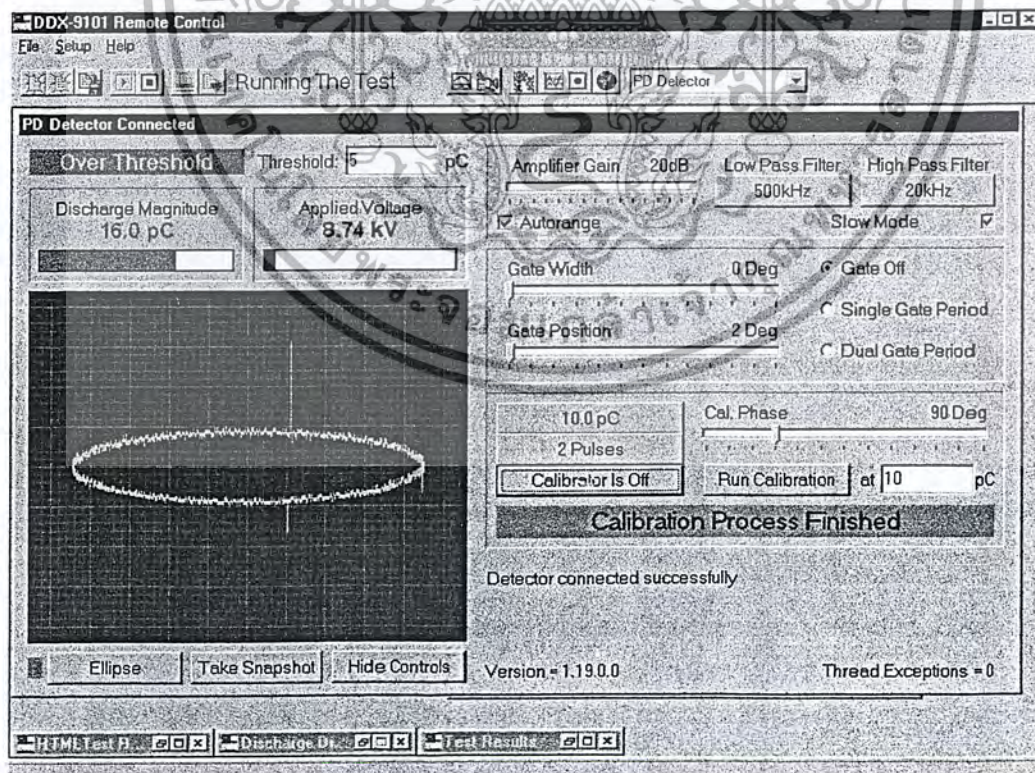


รูปที่ 6-46 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

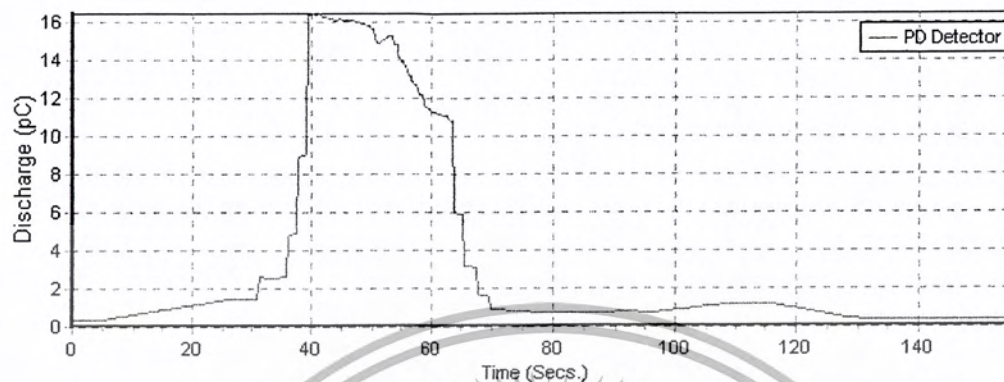


รูปที่ 6-46 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise

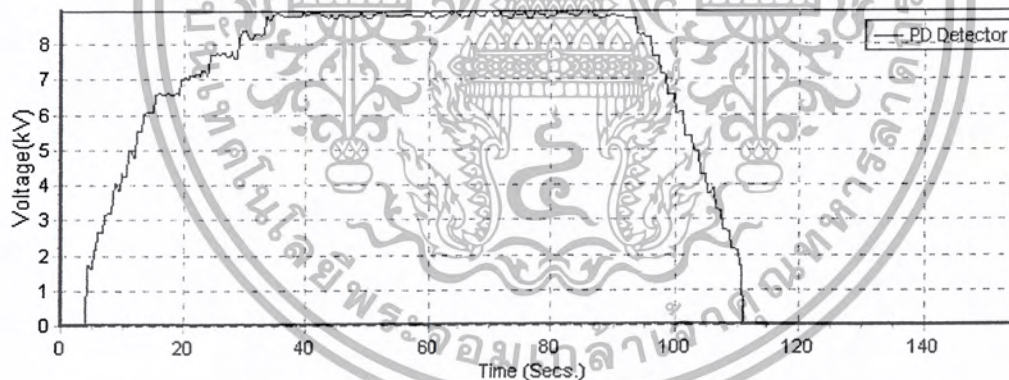


รูปที่ 6-46 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

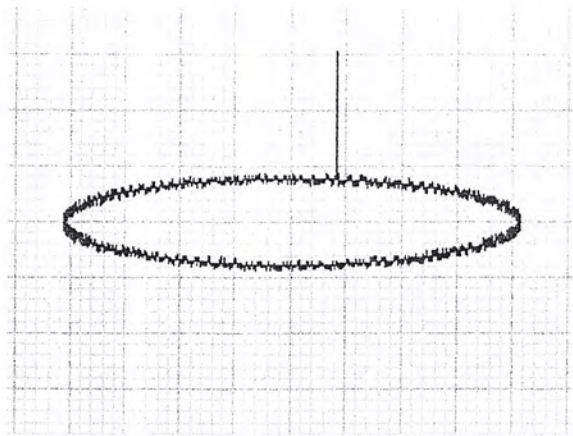


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 23/3/04 22:45:54

Discharge =15.27 pC, Voltage =8.81 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Elipse



PD Detector - 23/3/04 22:45:57

Discharge =13.40 pC, Voltage =8.81 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Sine

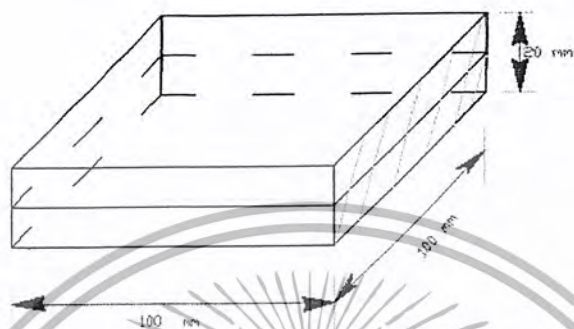
รูปที่ 6-47 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของวัตถุชนิดนี้
เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 8 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 16.41 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

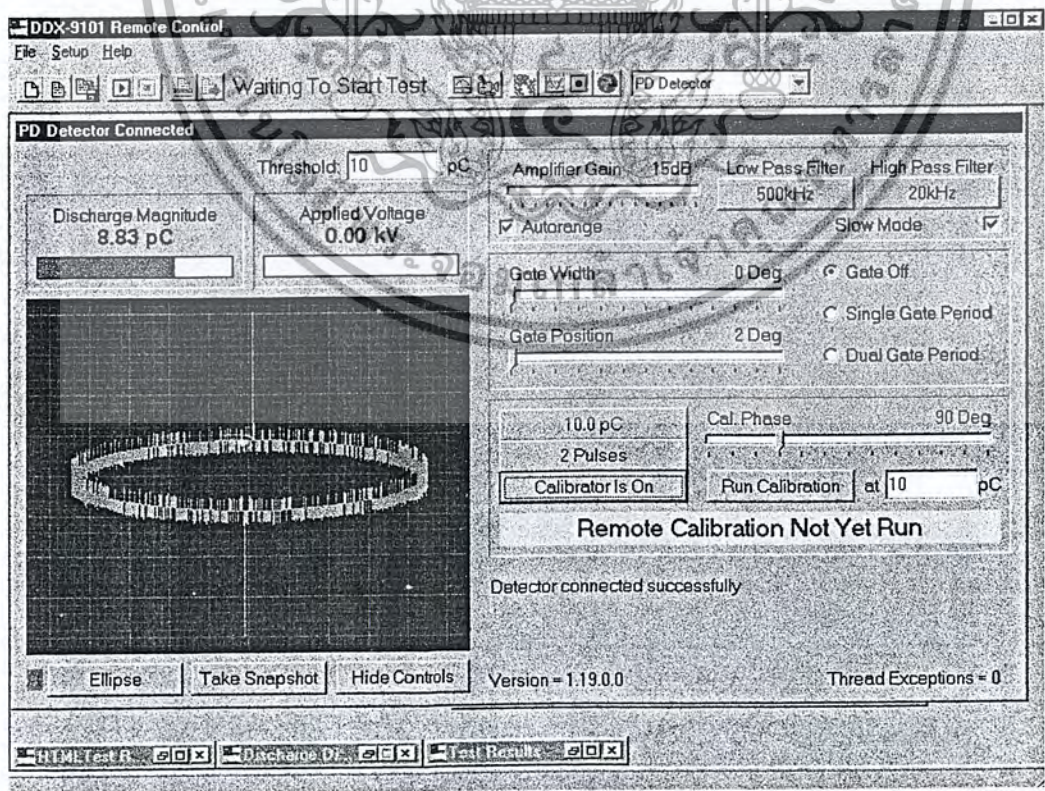
6.4.3 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 9 kV

1. อะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรู



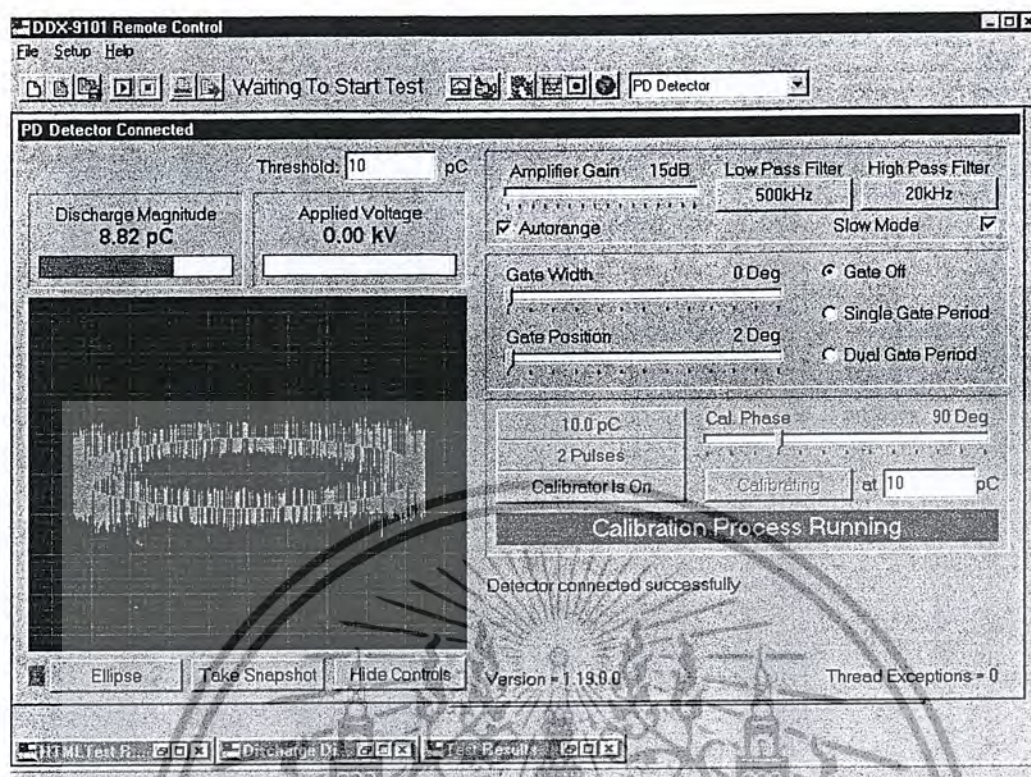
รูปที่ 6-48 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดไม่มีรู

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

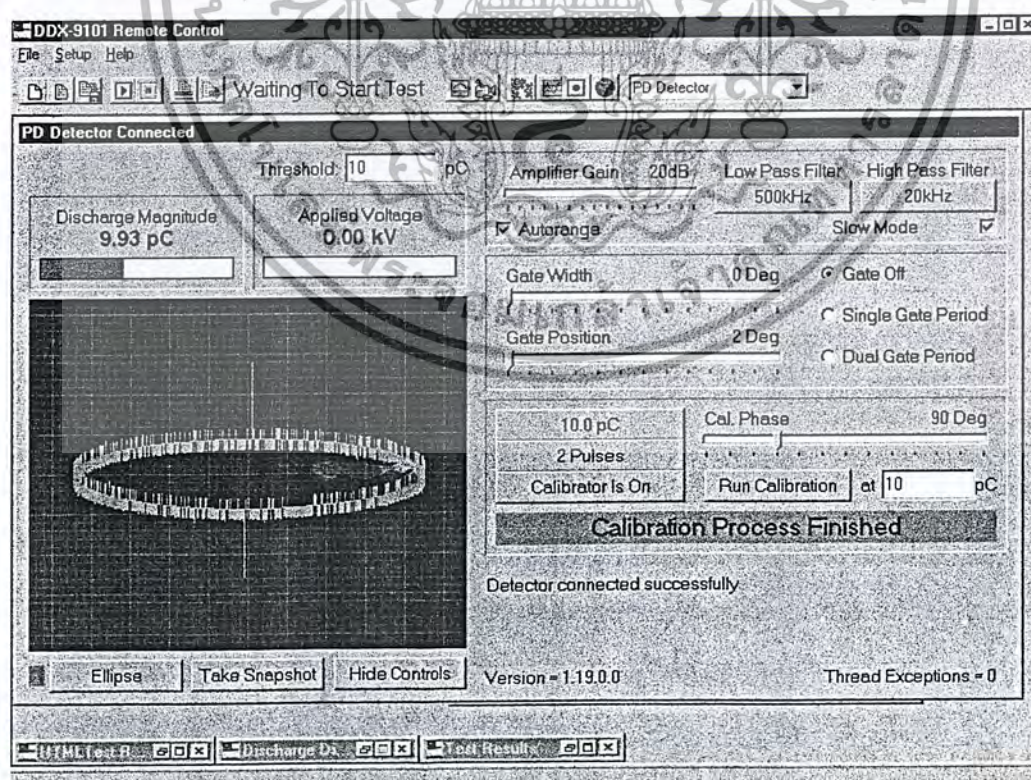


รูปที่ 6-49 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

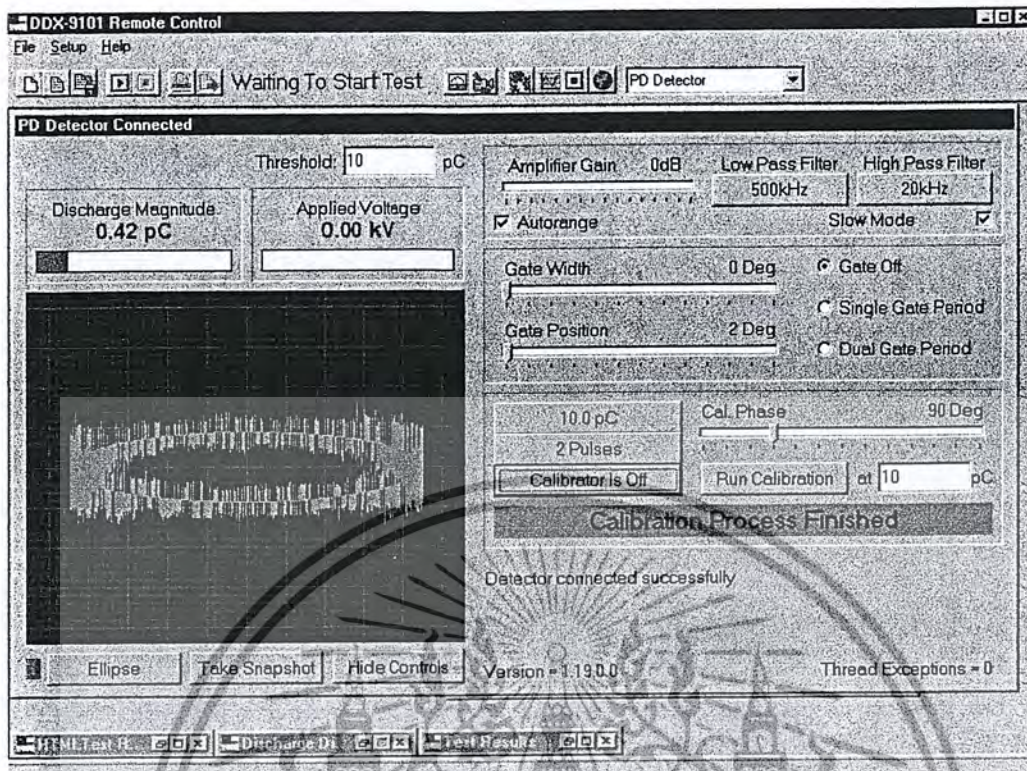


รูปที่ 6-49 b) ขณะทำการ Run Calibrate

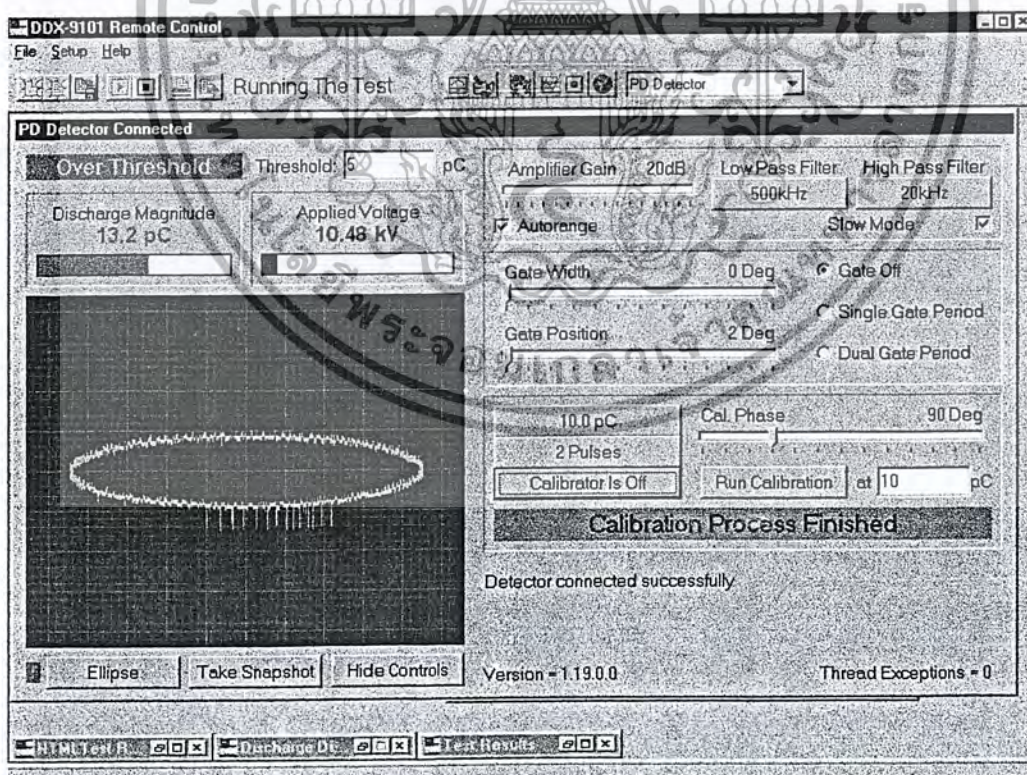


รูปที่ 6-49 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

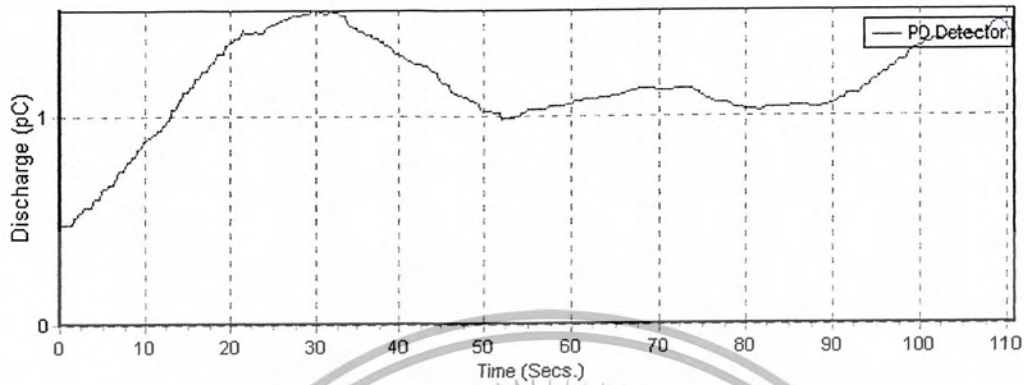


รูปที่ 6-49 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise

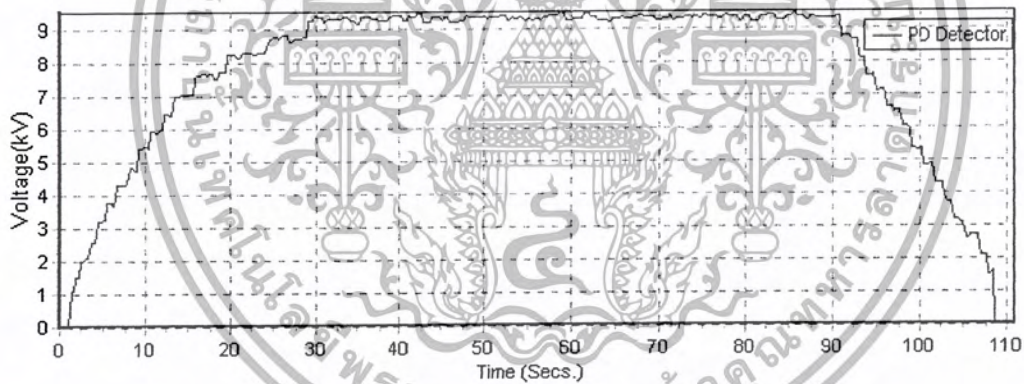


รูปที่ 6-49 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

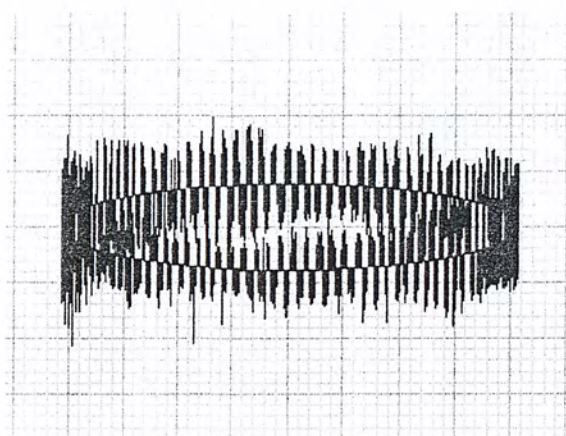


(ก) กราฟแสดงสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 14:49:00

Discharge = 1.12 pC, Voltage = 9.24 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Ellipse*



PD Detector - 24/3/04 14:49:19

Discharge = 1.10 pC, Voltage = 9.40 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

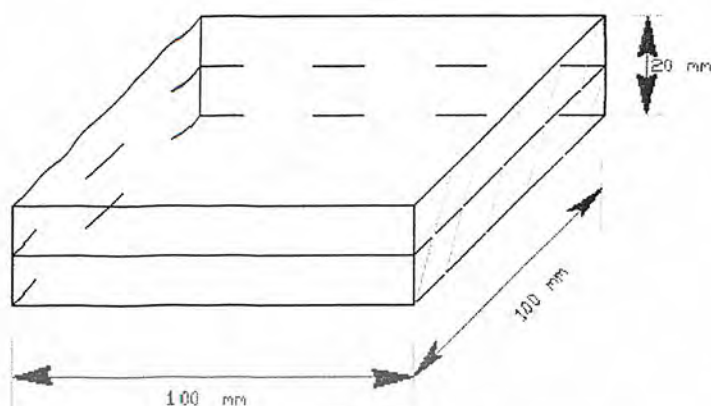
แบบ *Sine*

รูปที่ 6-50 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุชนิดนี้เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 9 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.51 pC

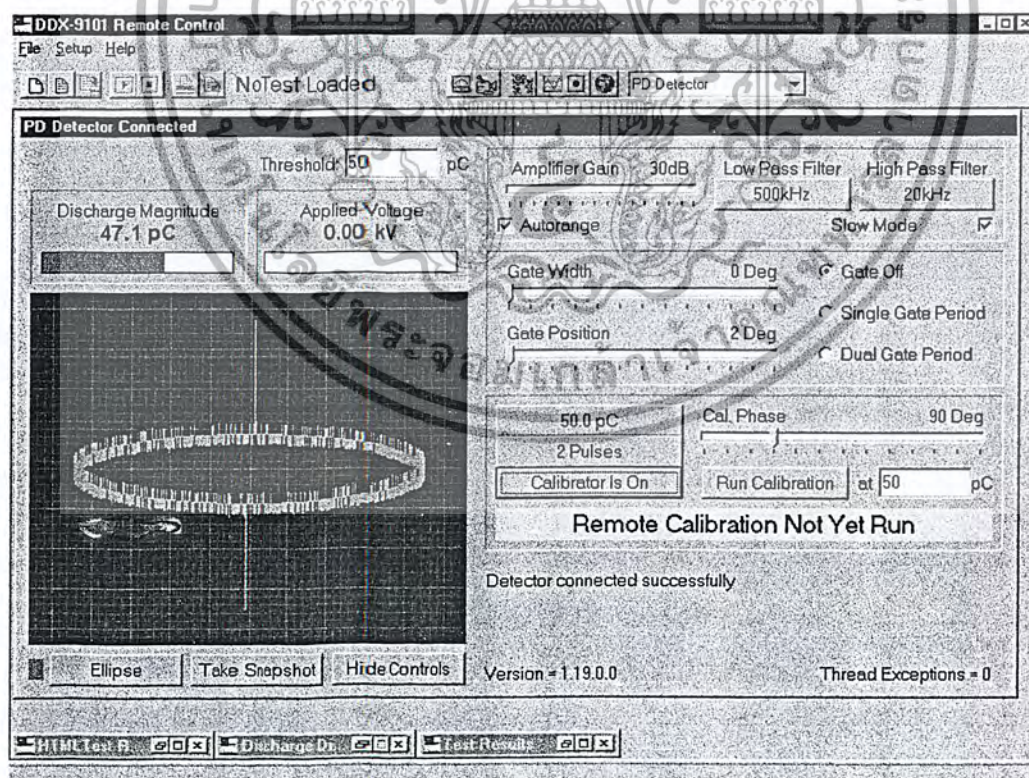
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รู



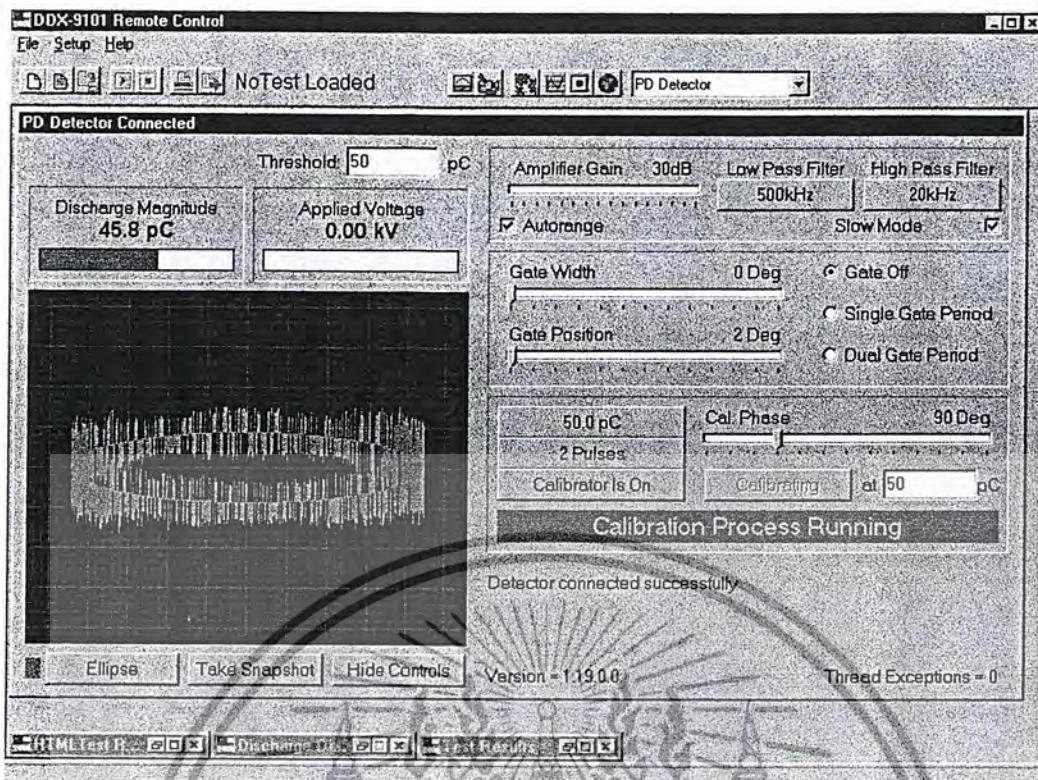
รูปที่ 6-51 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูใหญ่ 1 รู

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 50 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจูนแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

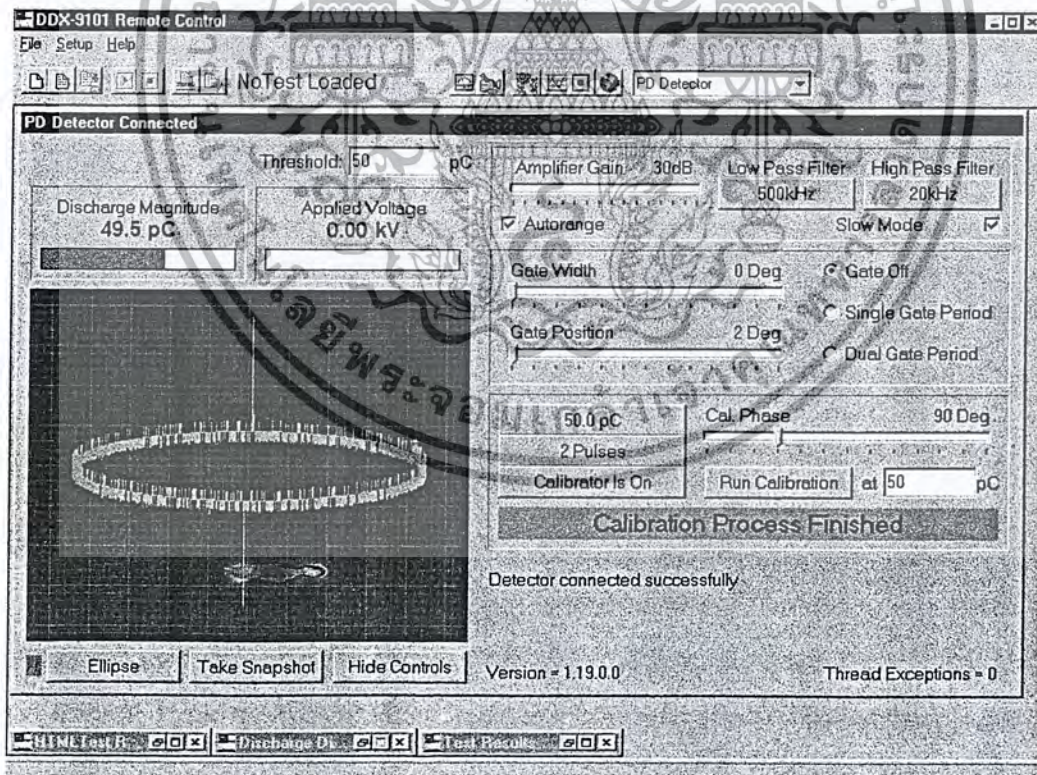


รูปที่ 6-52 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

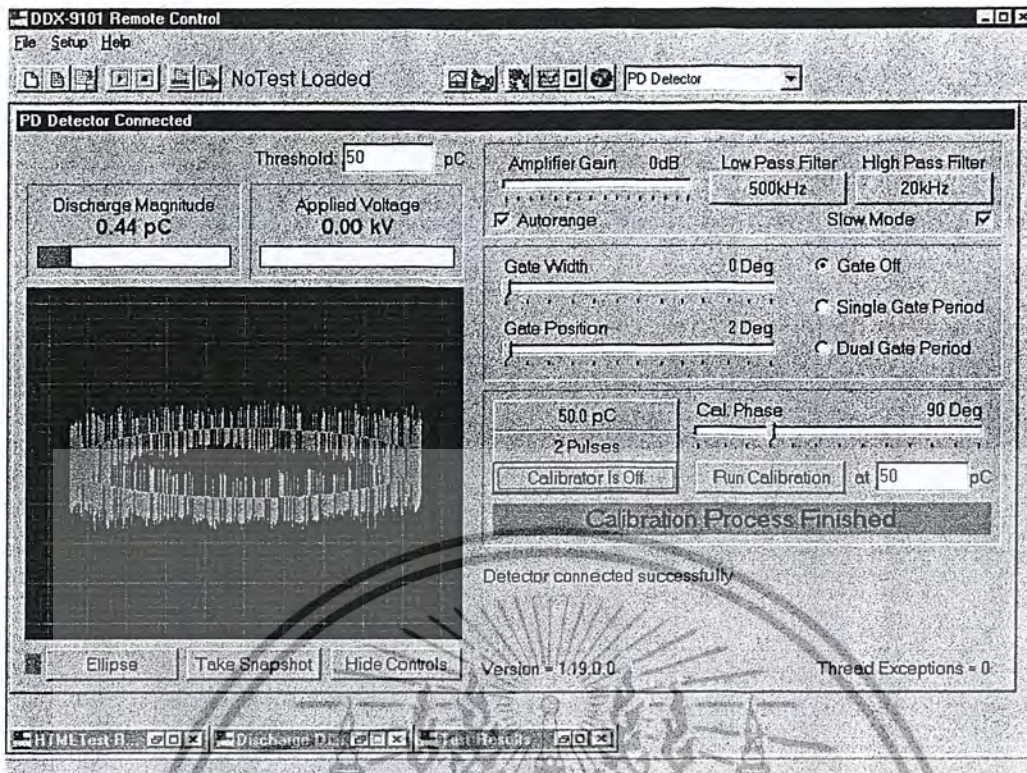


รูปที่ 6-52 b) ขณะทำการ Run Calibrate

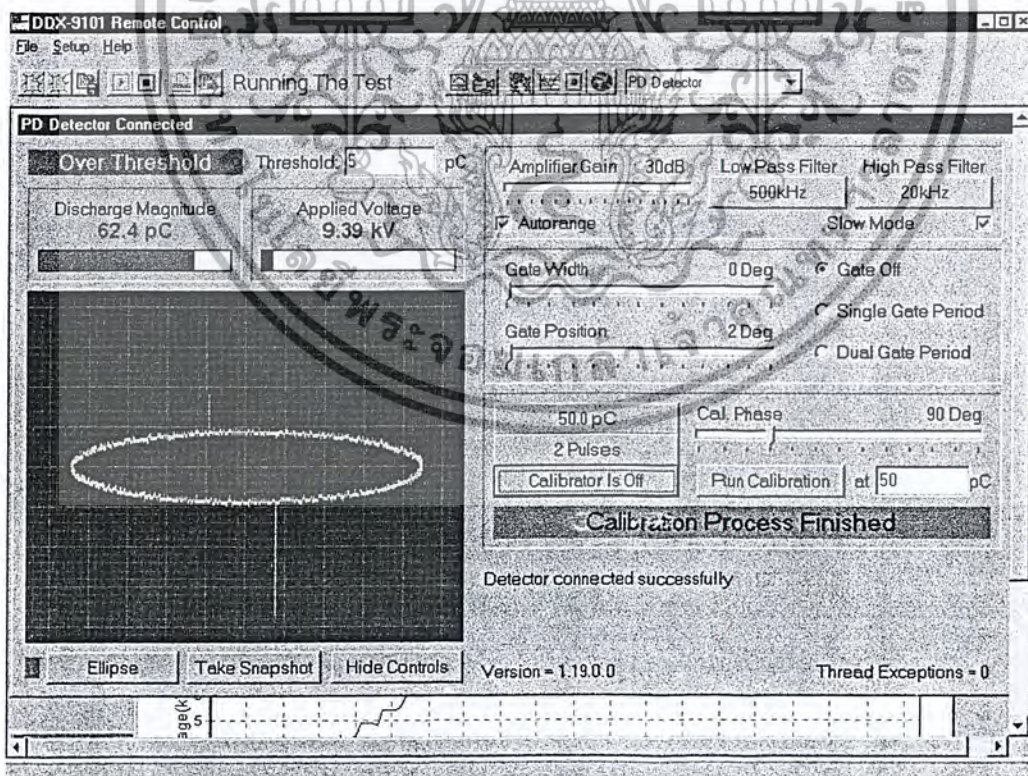


รูปที่ 6-52 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

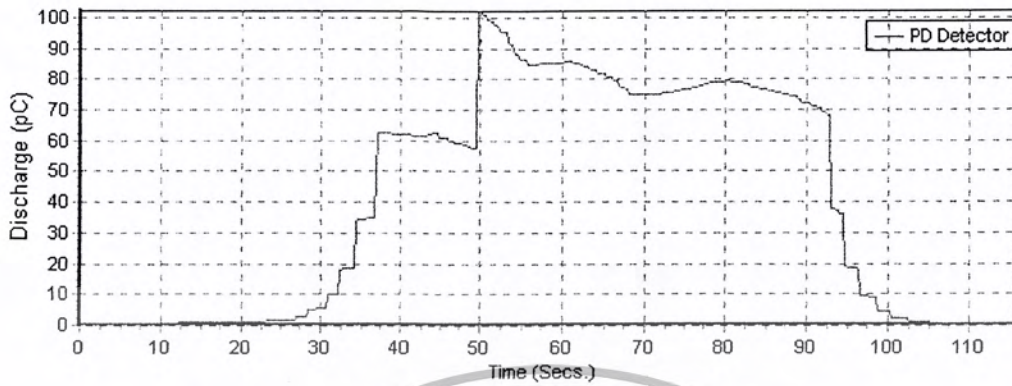


รูปที่ 6-52 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

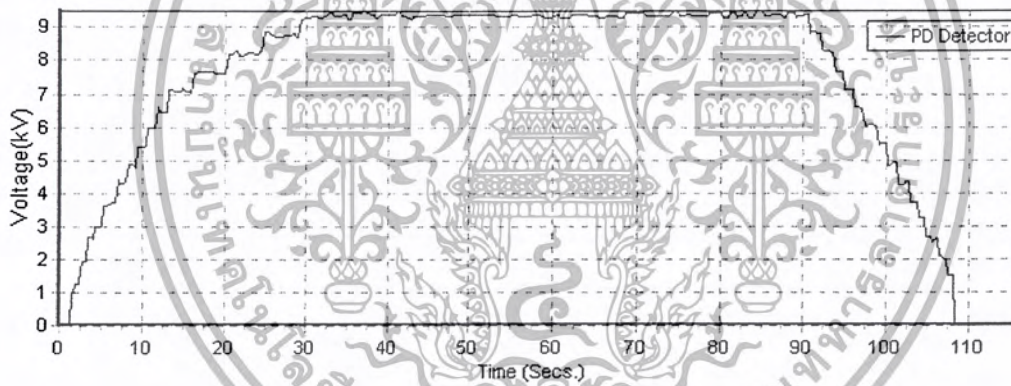


รูปที่ 6-52 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

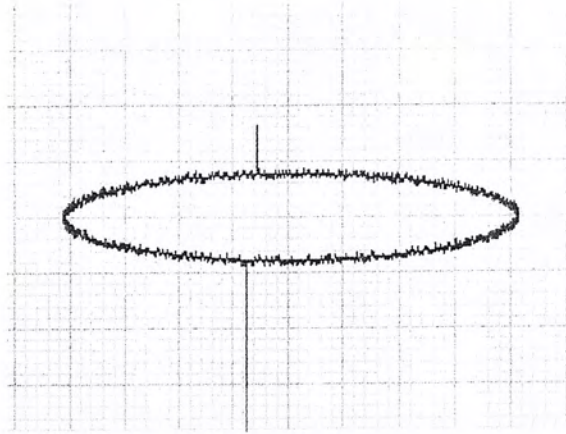


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์บางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 17:53:16

Discharge = 62.51 pC, Voltage = 9.34 kV

(ก) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Ellipse*



PD Detector - 24/3/04 17:53:25

Discharge = 97.45 pC, Voltage = 9.36 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Sine*

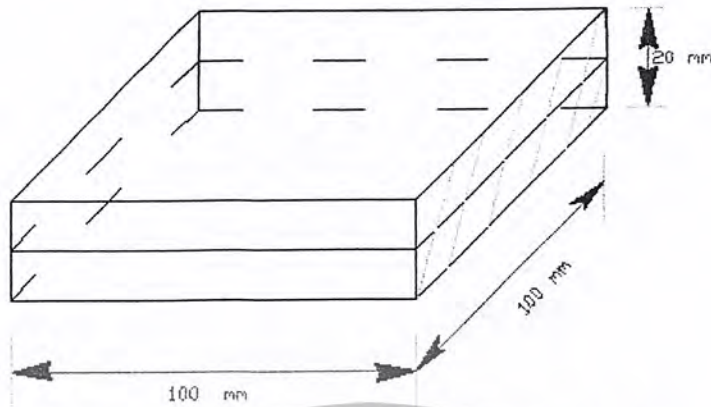
รูปที่ 6-53 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ

วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 9 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 102.17 pC

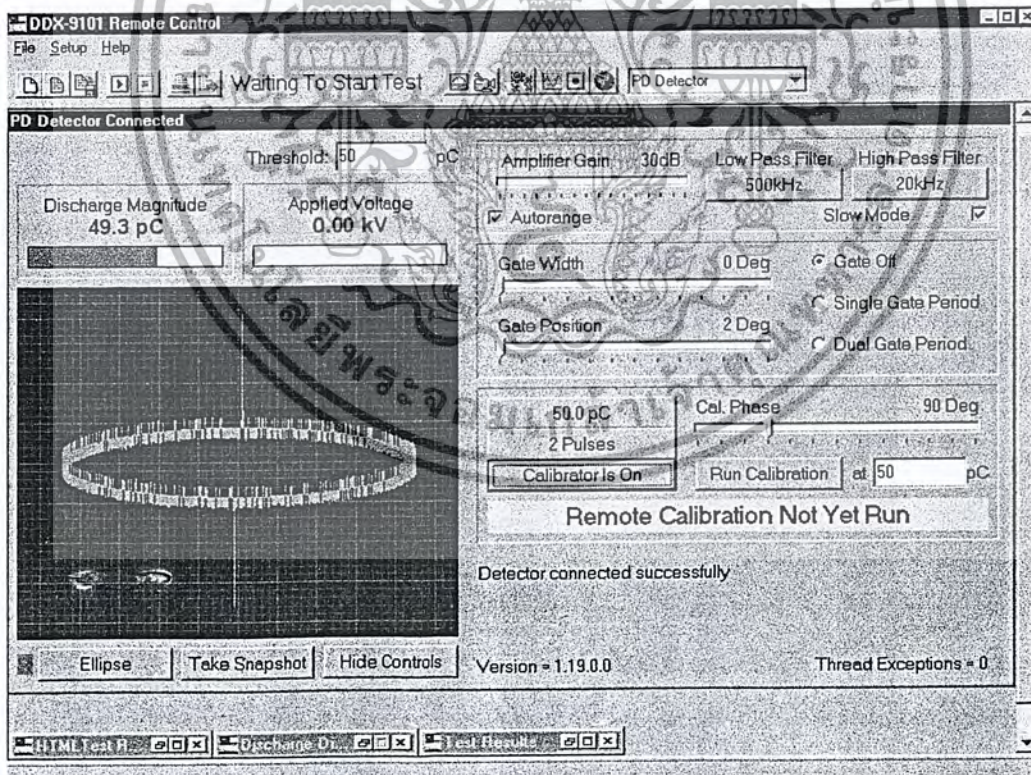
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรู 1 รู และมีสิ่งเจือปนอยู่ภายใน

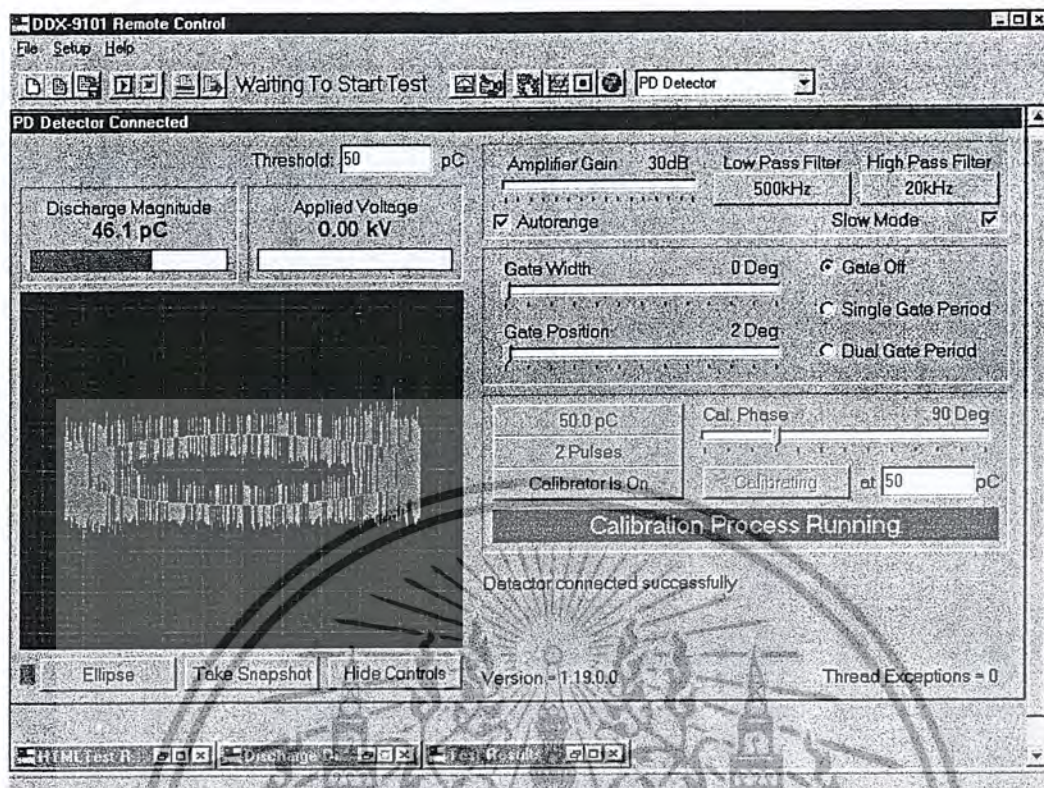


รูปที่ 6-54 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดมีรูที่มี
สิ่งเจือปนคือเศษเหล็ก

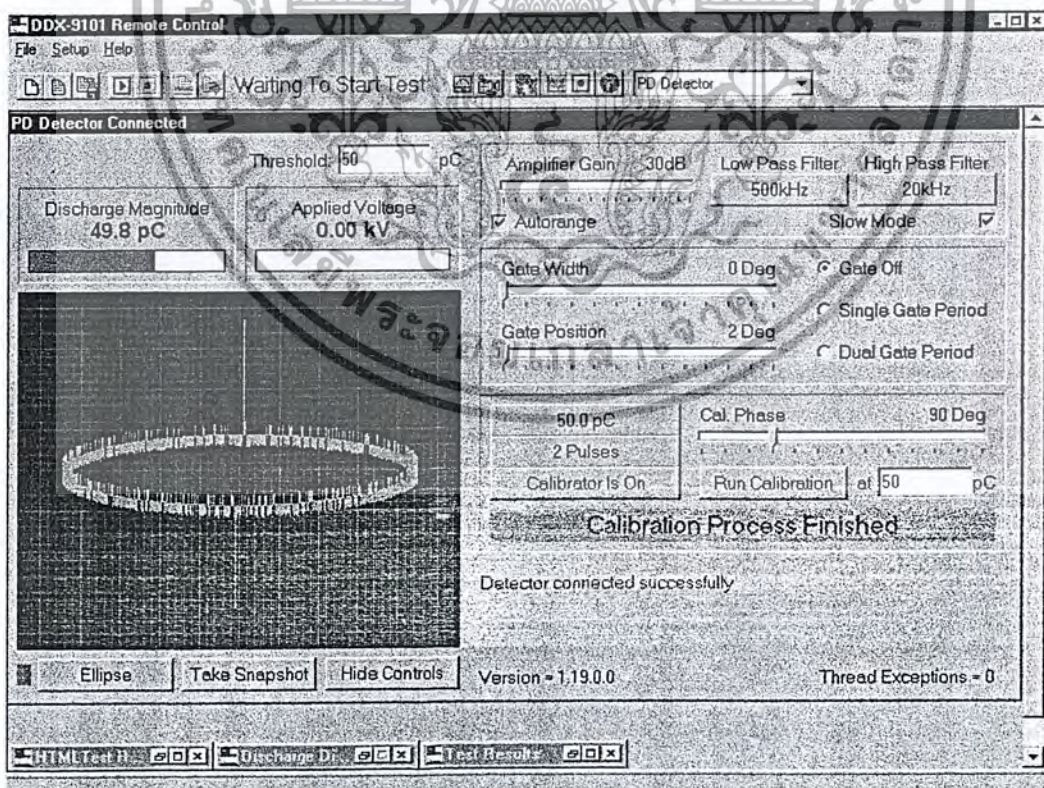
วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 50 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ



รูปที่ 6-55 a) ขณะทำการกด Calibrate On

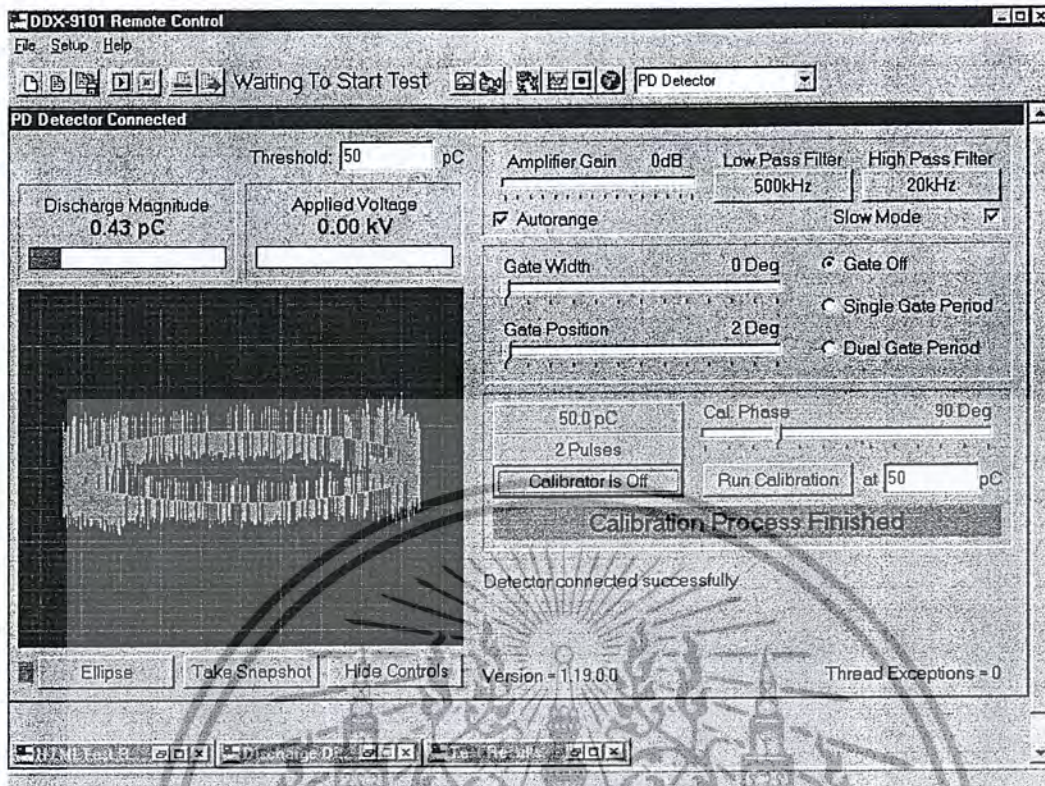


รูปที่ 6-55 b) ขณะทำการ Run Calibrate

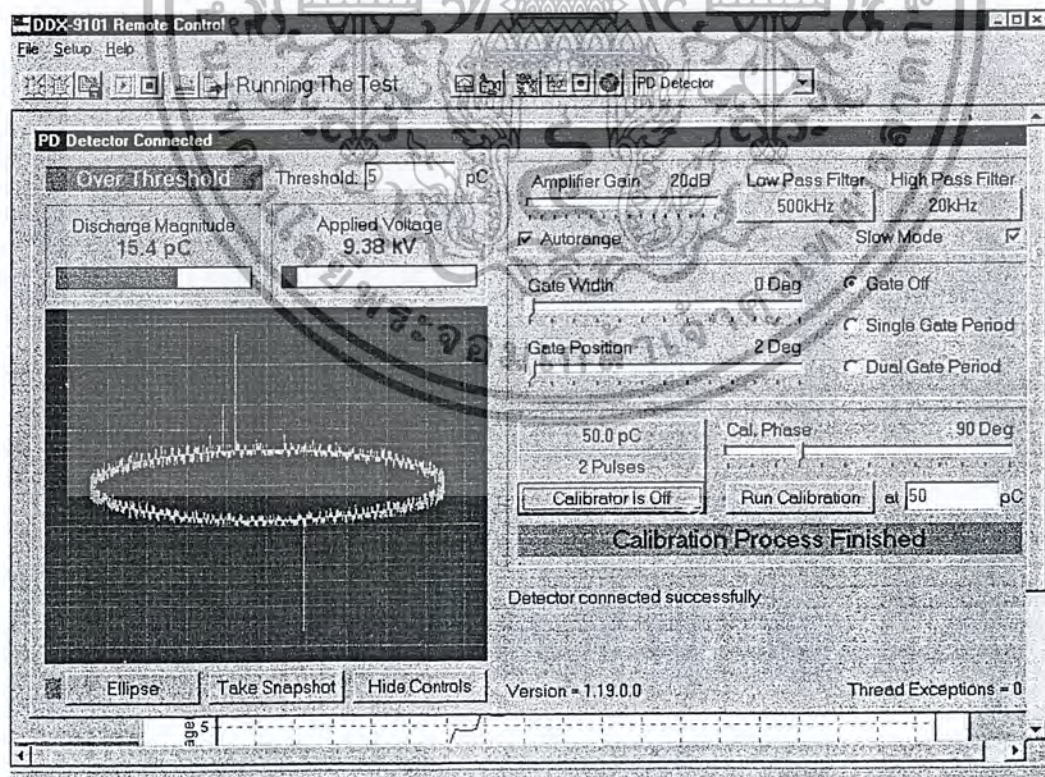


รูปที่ 6-55 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

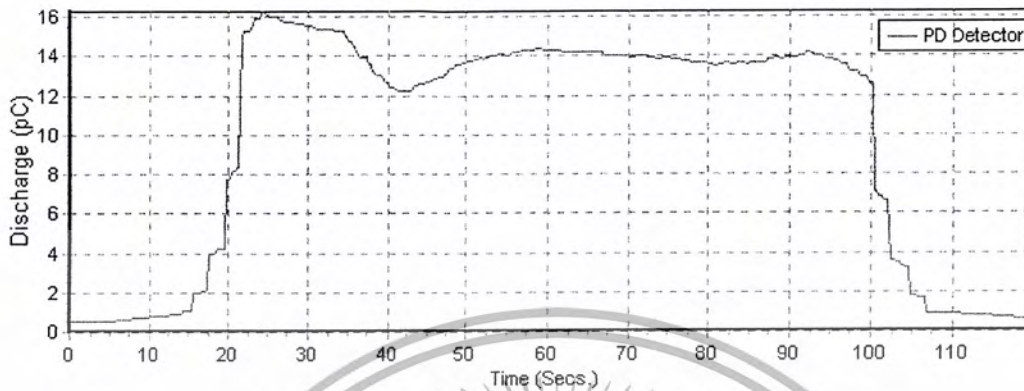


รูปที่ 6-55 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

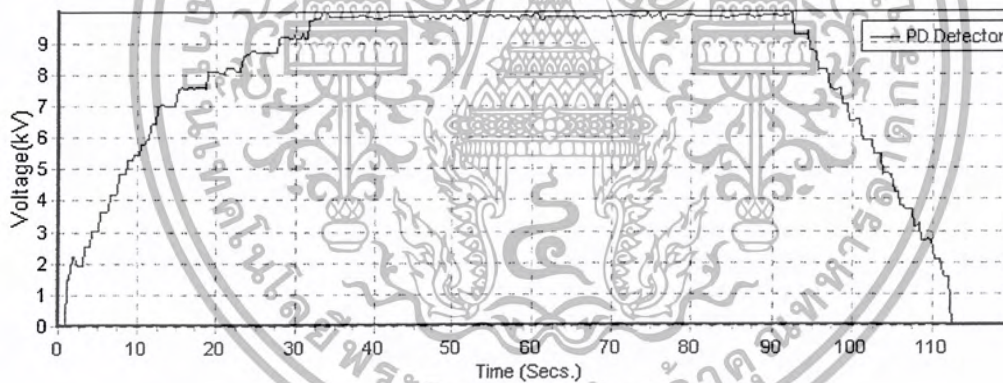


รูปที่ 6-55 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

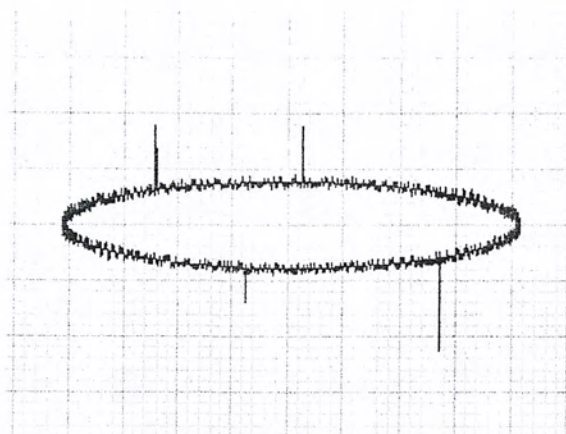


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 17:15:04

Discharge = 15.57 pC, Voltage = 9.23 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Ellipse*



PD Detector - 24/3/04 17:15:32

Discharge = 14.32 pC, Voltage = 9.86 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

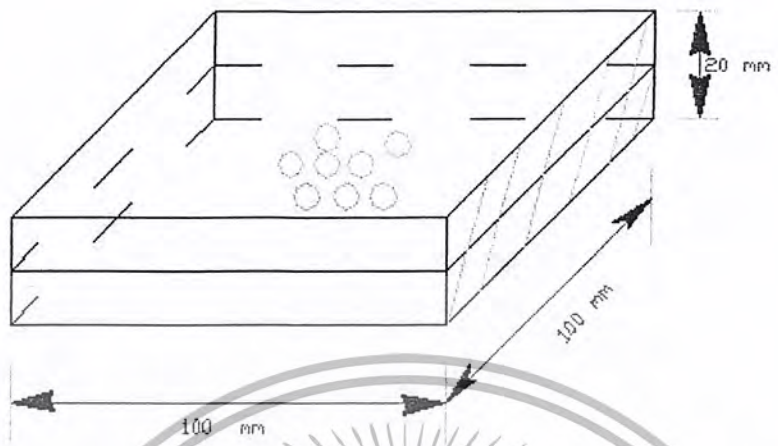
แบบ *Sine*

รูปที่ 6-56 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุชนิดนี้เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 9 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 16.29 pC

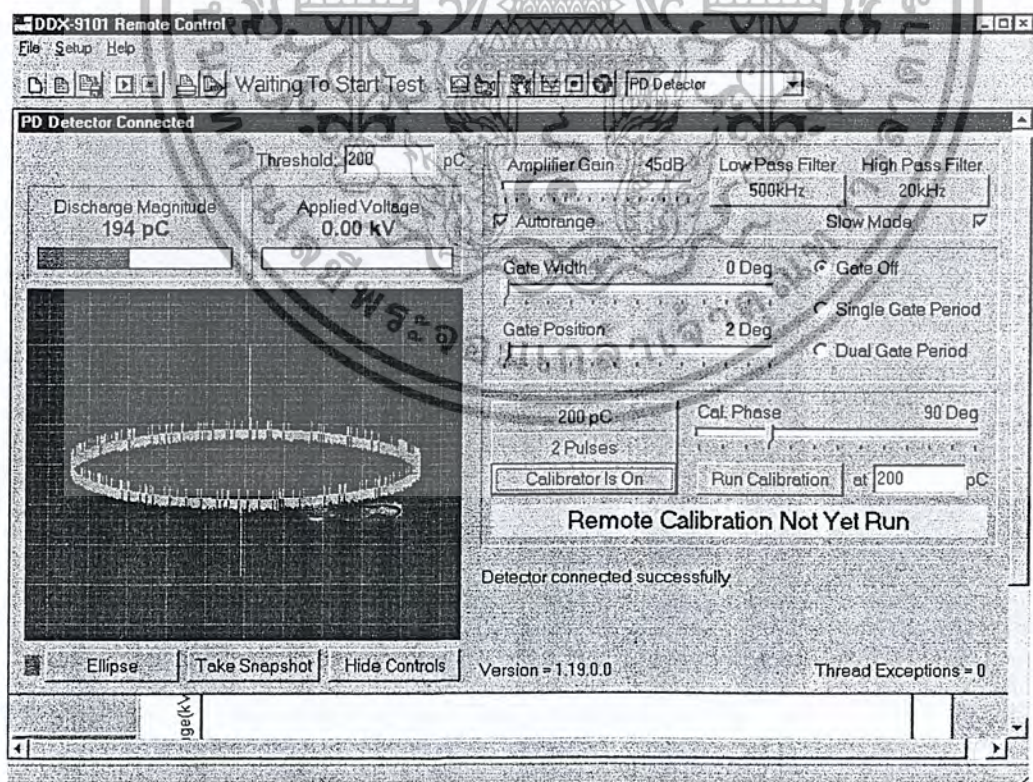
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อะคริลิกทดสอบชนิดรูปวง



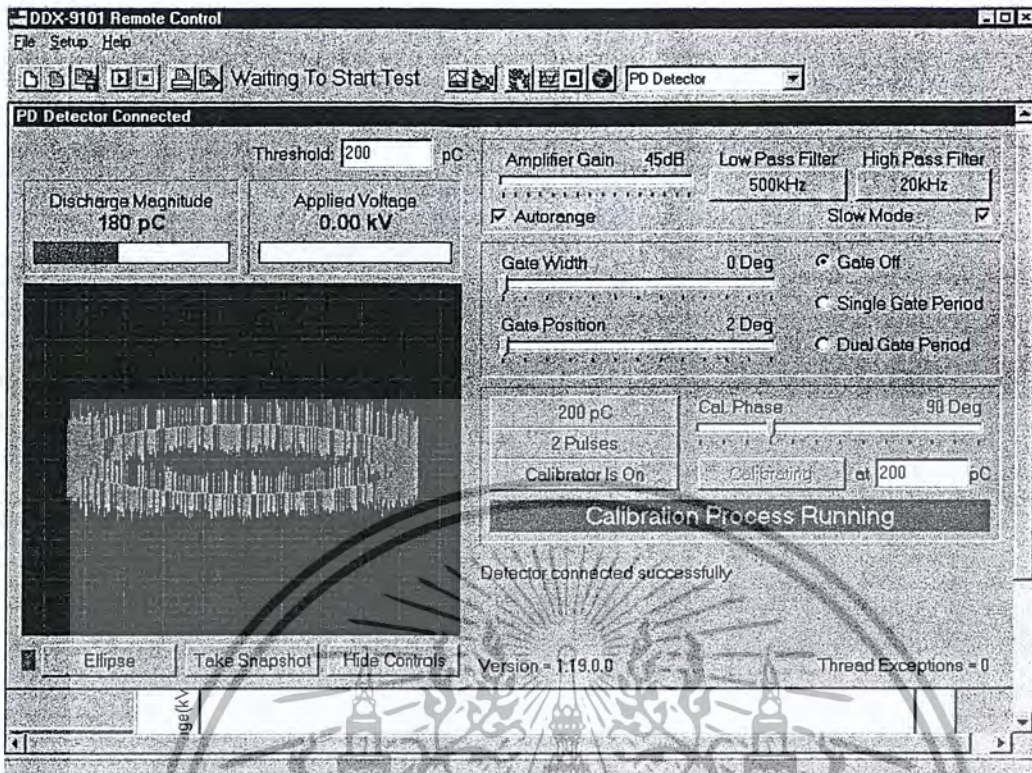
รูปที่ 6-57 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูปวง

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 200 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาระยะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

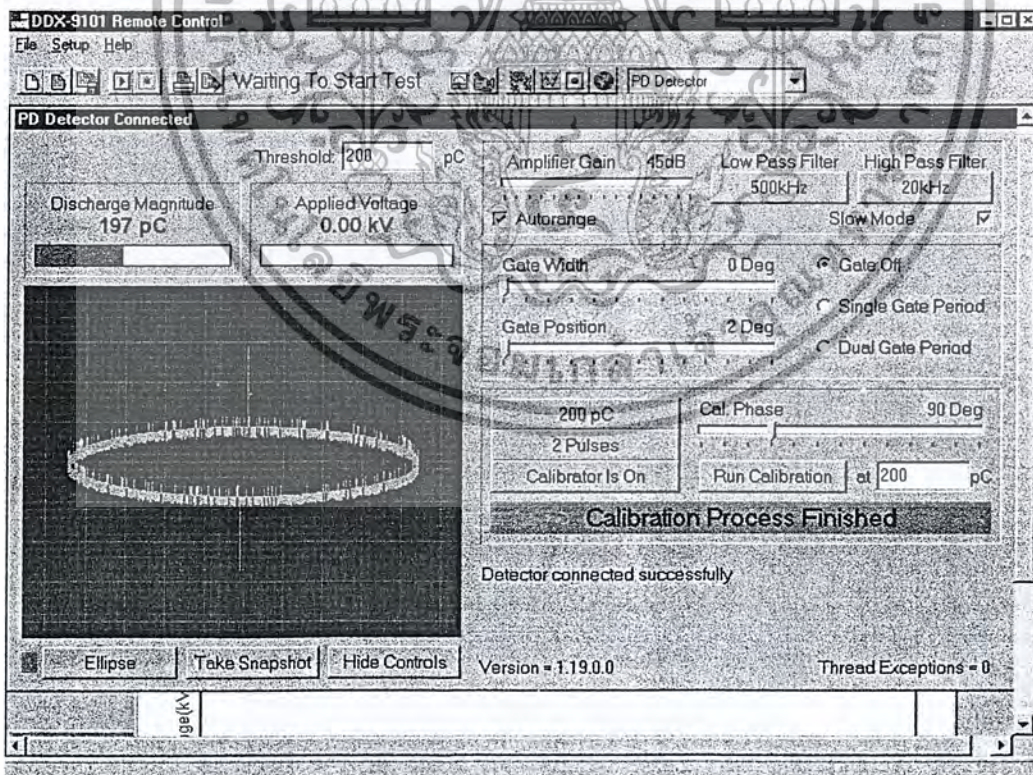


รูปที่ 6-58 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

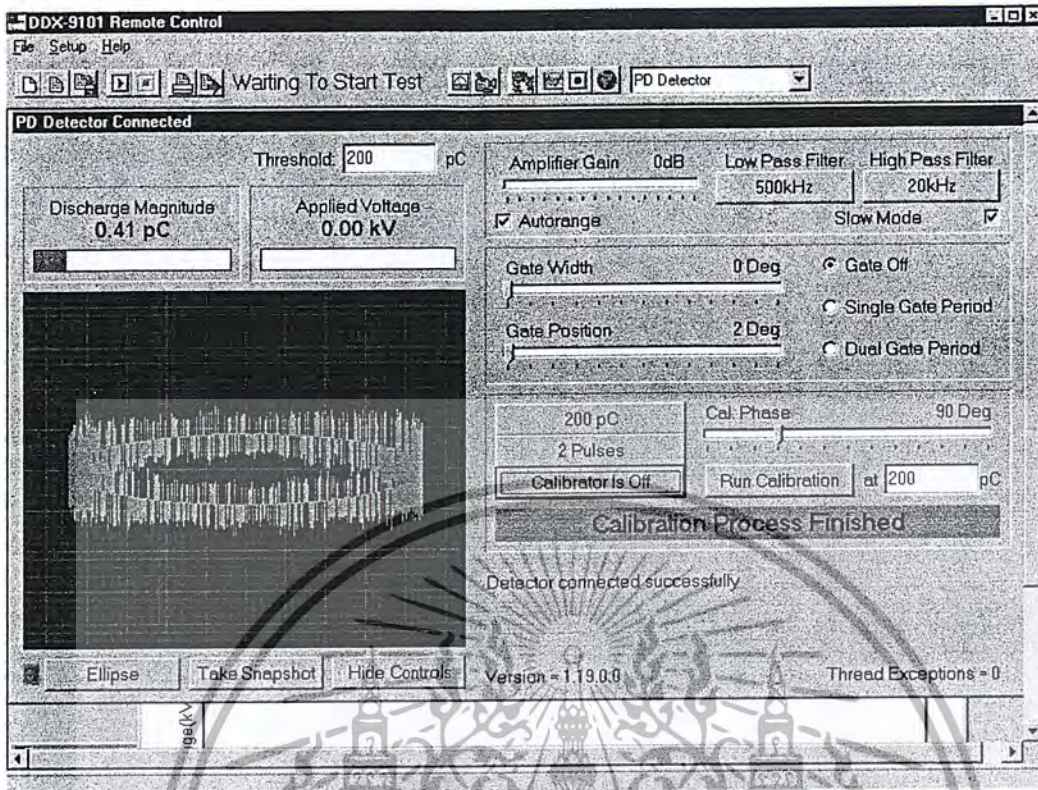


รูปที่ 6-58 b) ขณะทำการ Run Calibrate

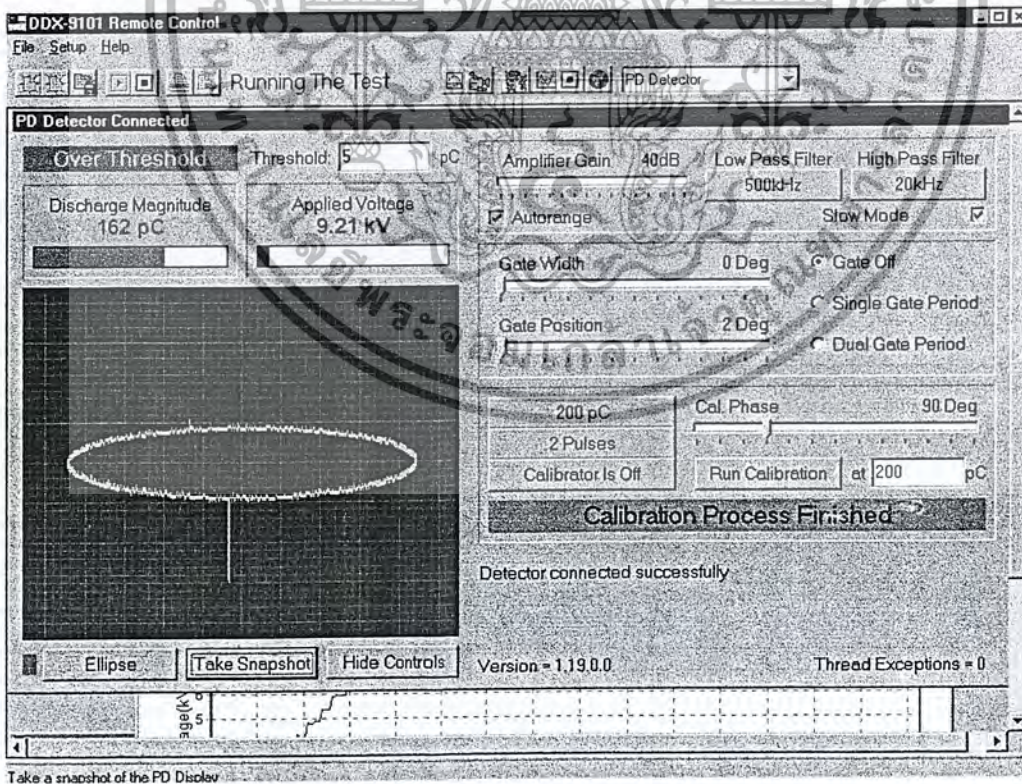


รูปที่ 6-58 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

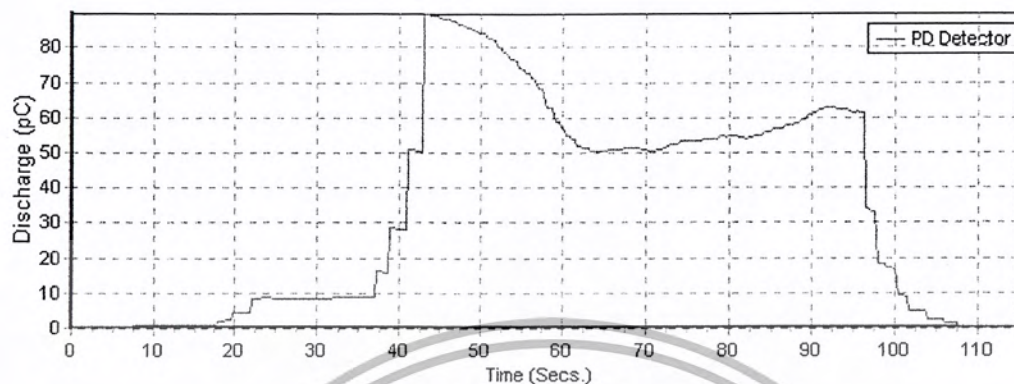


รูปที่ 6-58 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise

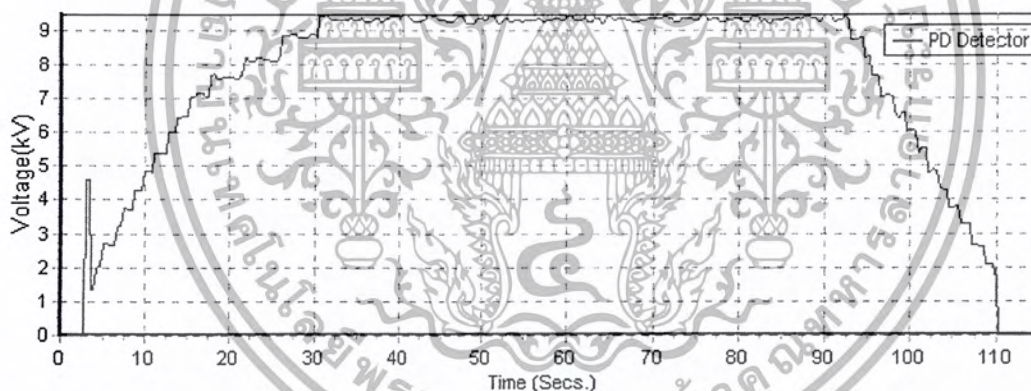


รูปที่ 6-58 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

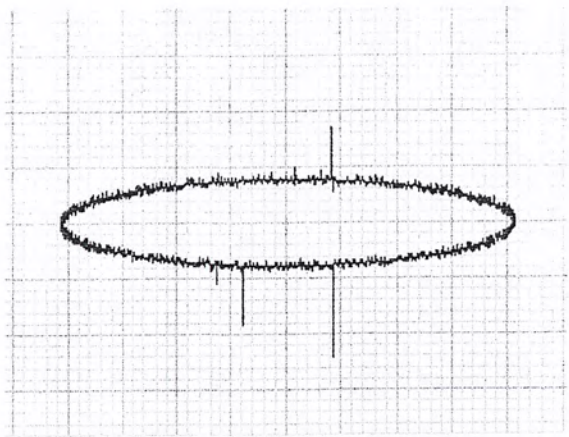


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์บางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 15:37:44

Discharge =89.61 pC, Voltage =9.31 kV

(ก) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD
แบบ *Ellipse*



Discharge =68.08 pC, Voltage =9.29 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD
แบบ *Sine*

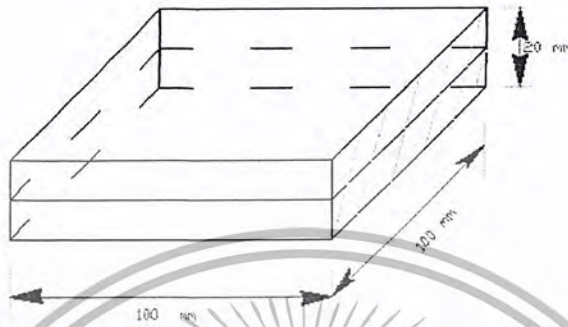
รูปที่ 6-59 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุชนิดนี้เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 9 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 89.61 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

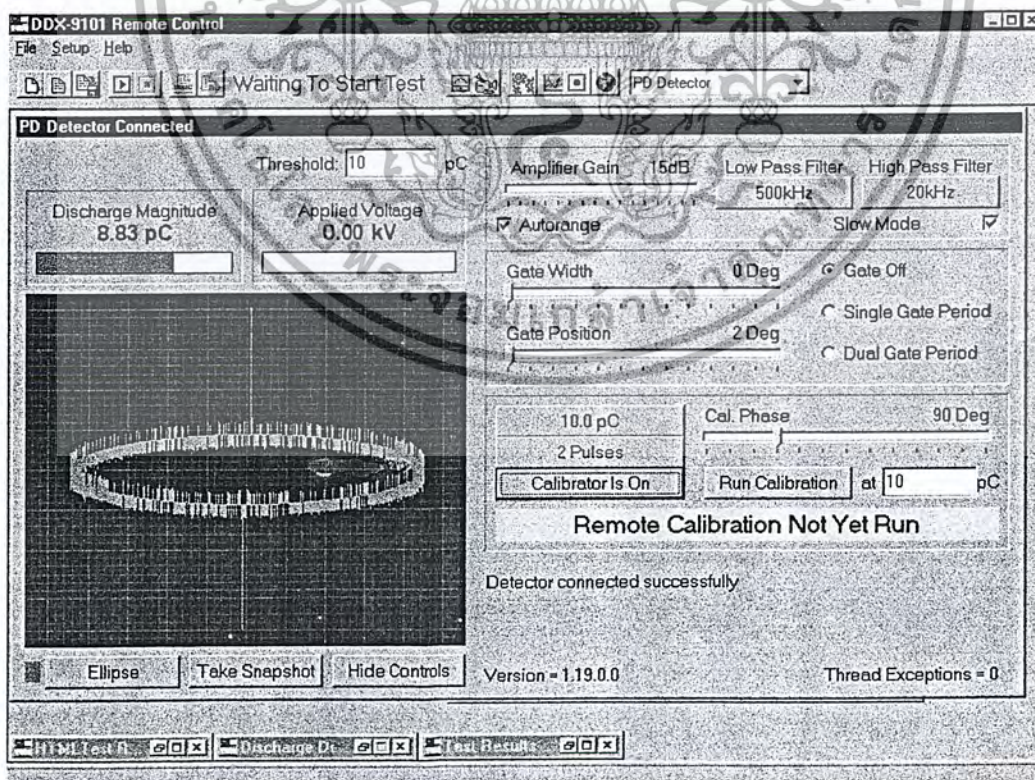
6.4.4 ผลการทดลองกับวัตถุทดสอบที่แรงดัน 10 kV

1. อะคริลิกทดสอบชนิดไม่มีรู



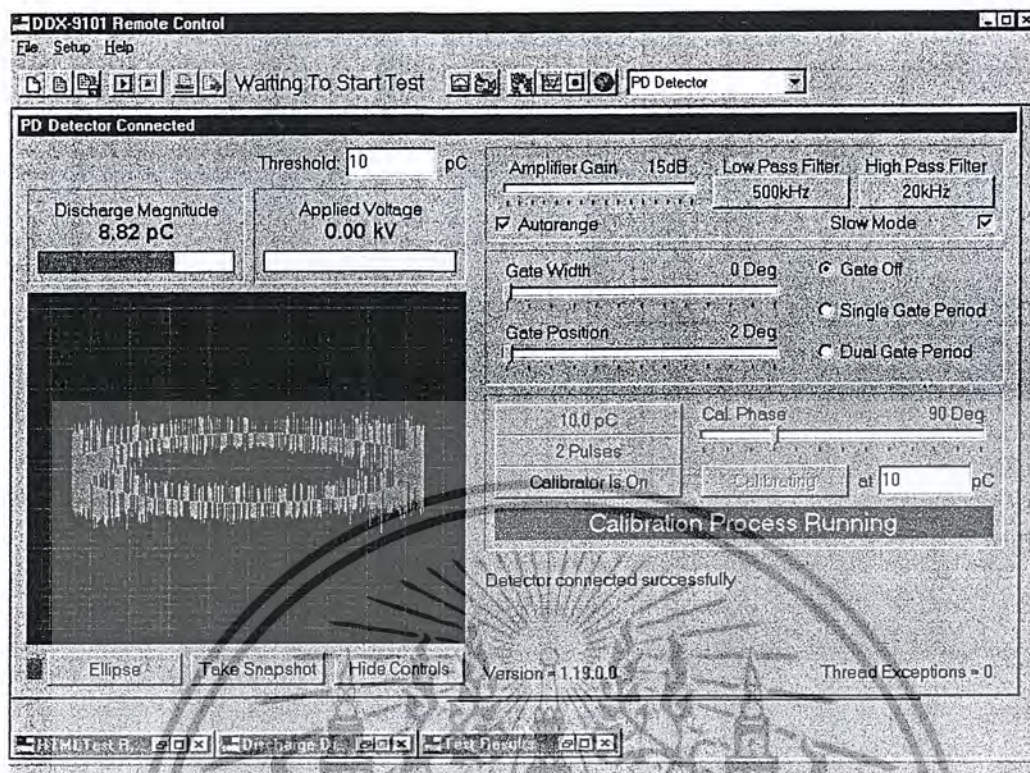
รูปที่ 6-60 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดไม่มีรู

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 10 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

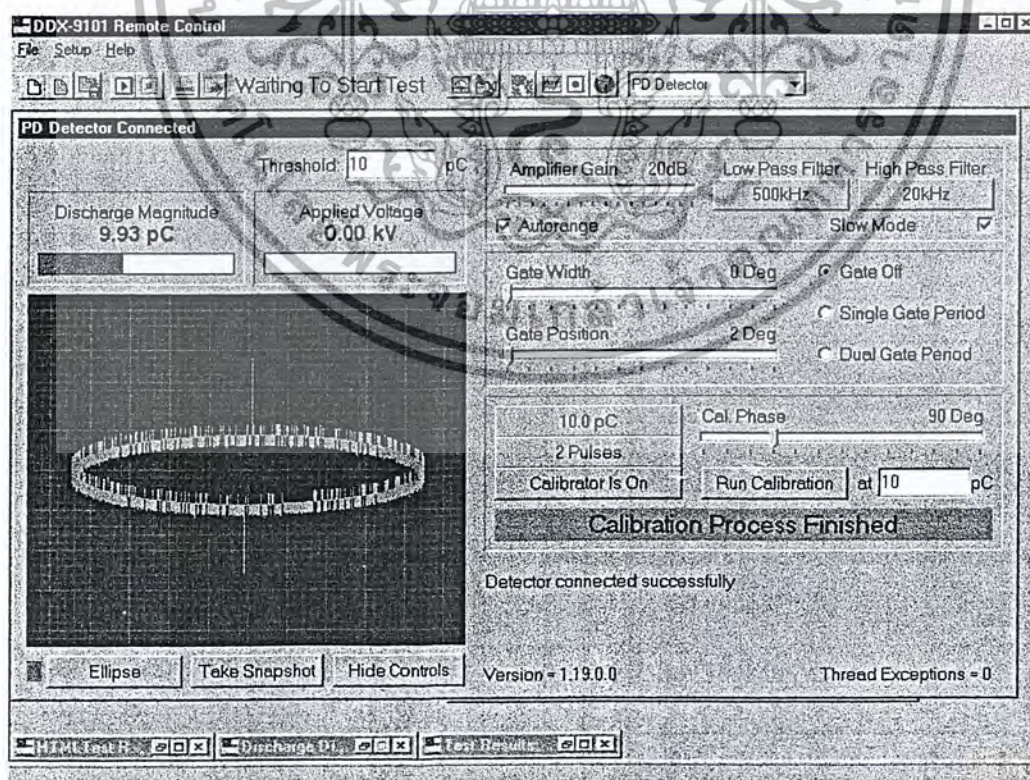


รูปที่ 6-61 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

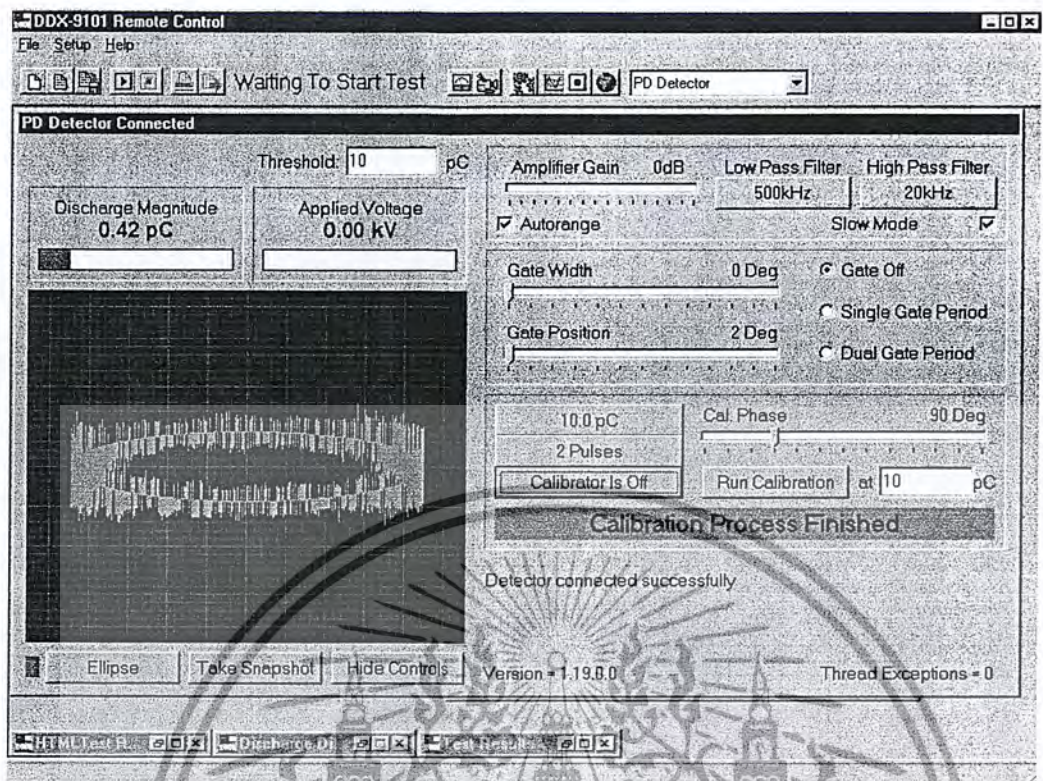


รูปที่ 6-61 b) ขณะทำการ Run Calibrate

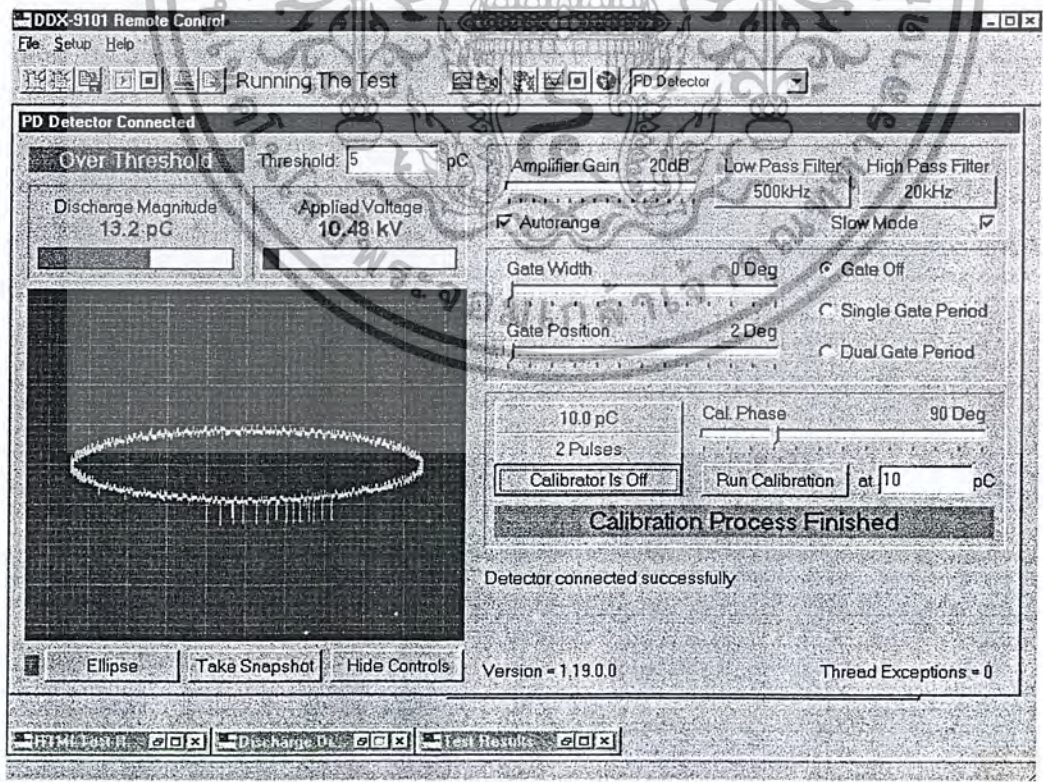


รูปที่ 6-61 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

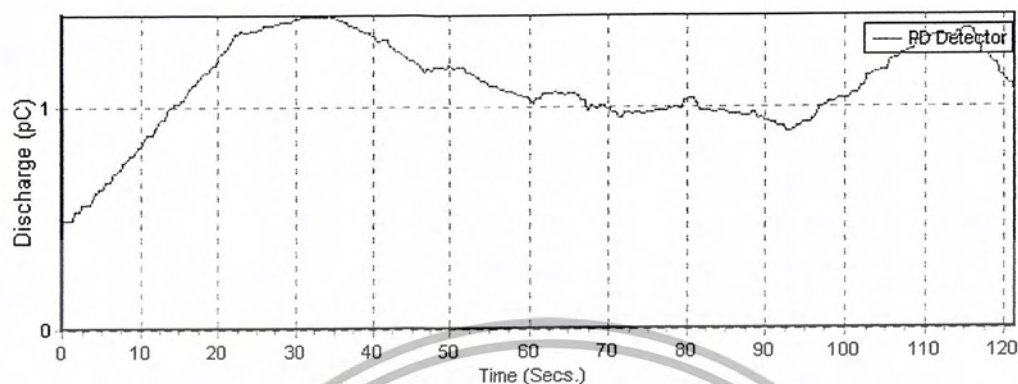


รูปที่ 6-61 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise

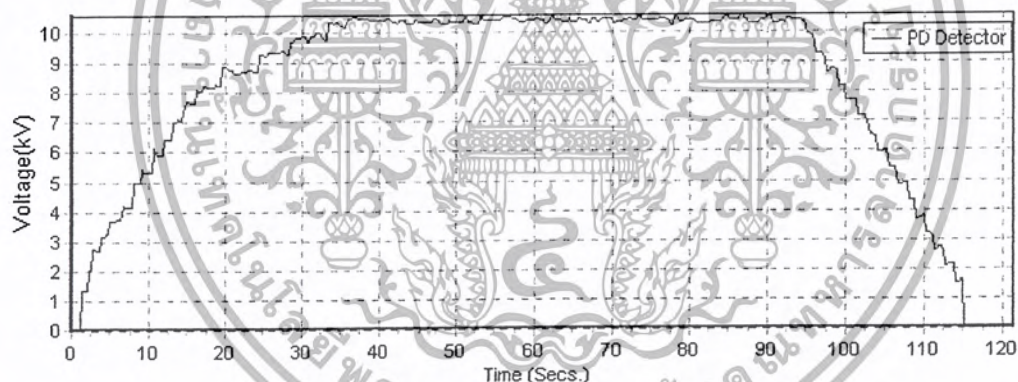


รูปที่ 6-61 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

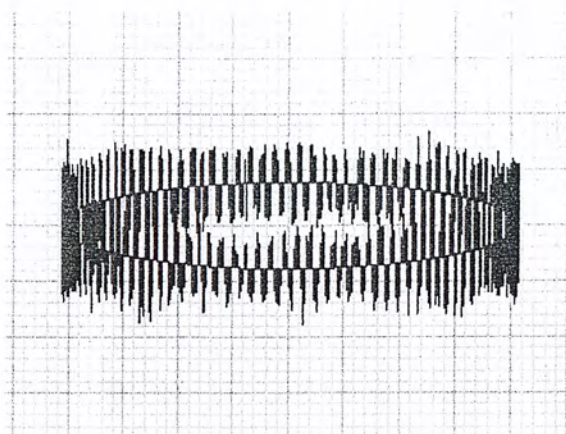


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์บางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 14:59:04

Discharge = 1.26 pC, Voltage = 10.32 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Elipse*



PD Detector - 24/3/04 14:59:15

Discharge = 1.15 pC, Voltage = 10.53 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

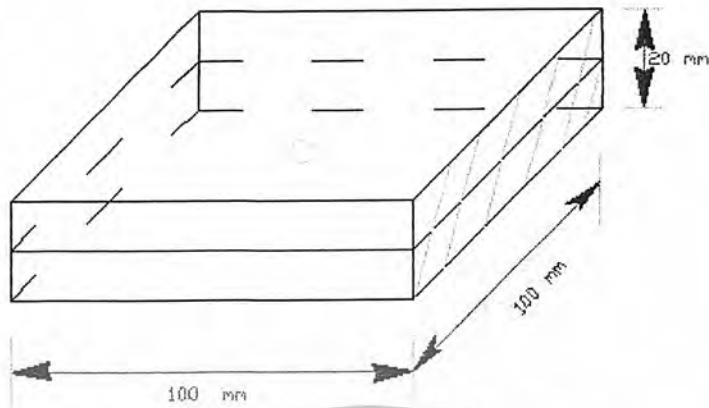
แบบ *Sine*

รูปที่ 6-62 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 10 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.41 pC

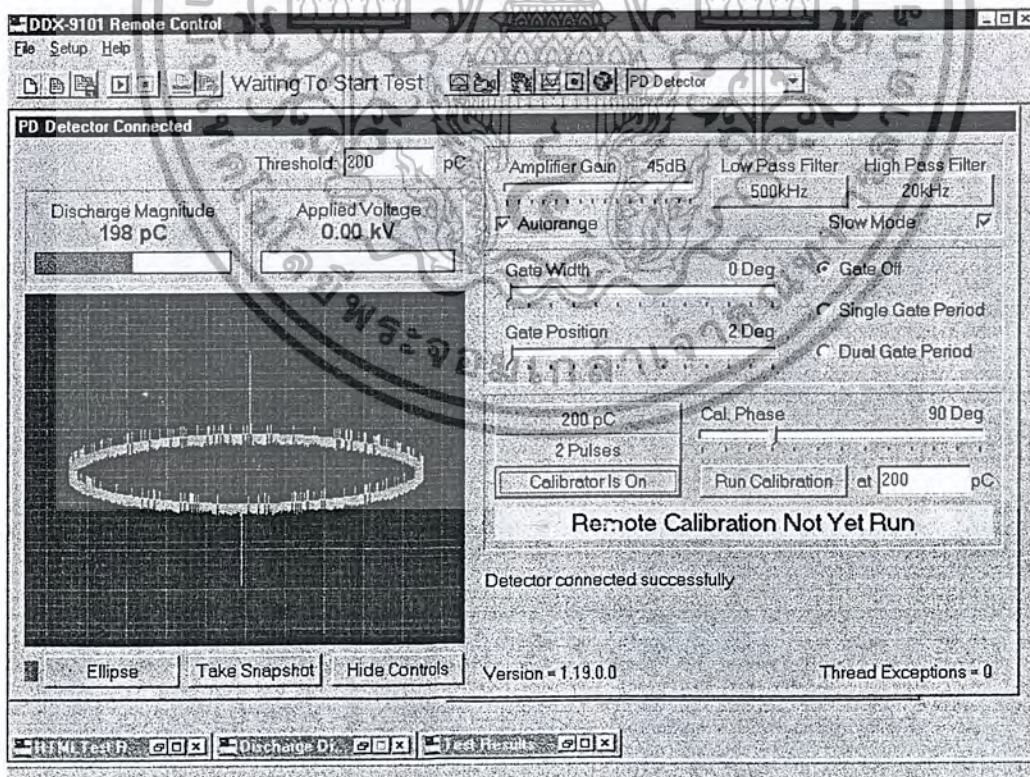
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรูใหญ่ 1 รู



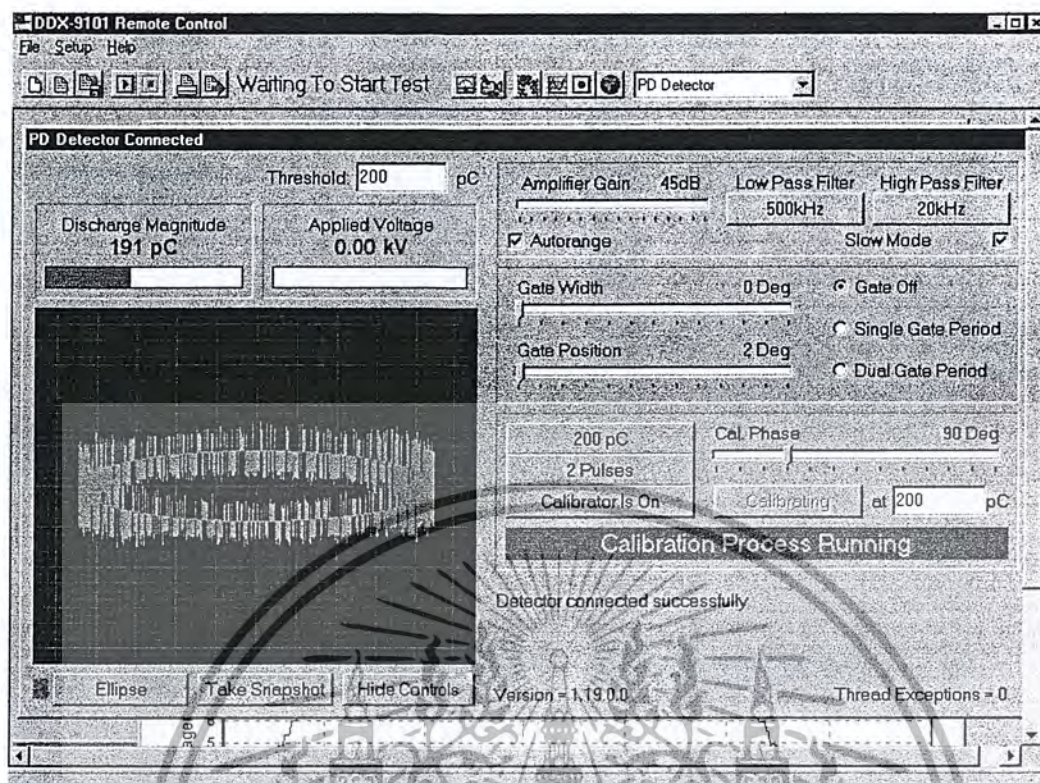
รูปที่ 6-63 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูใหญ่ 1 รู

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 200 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

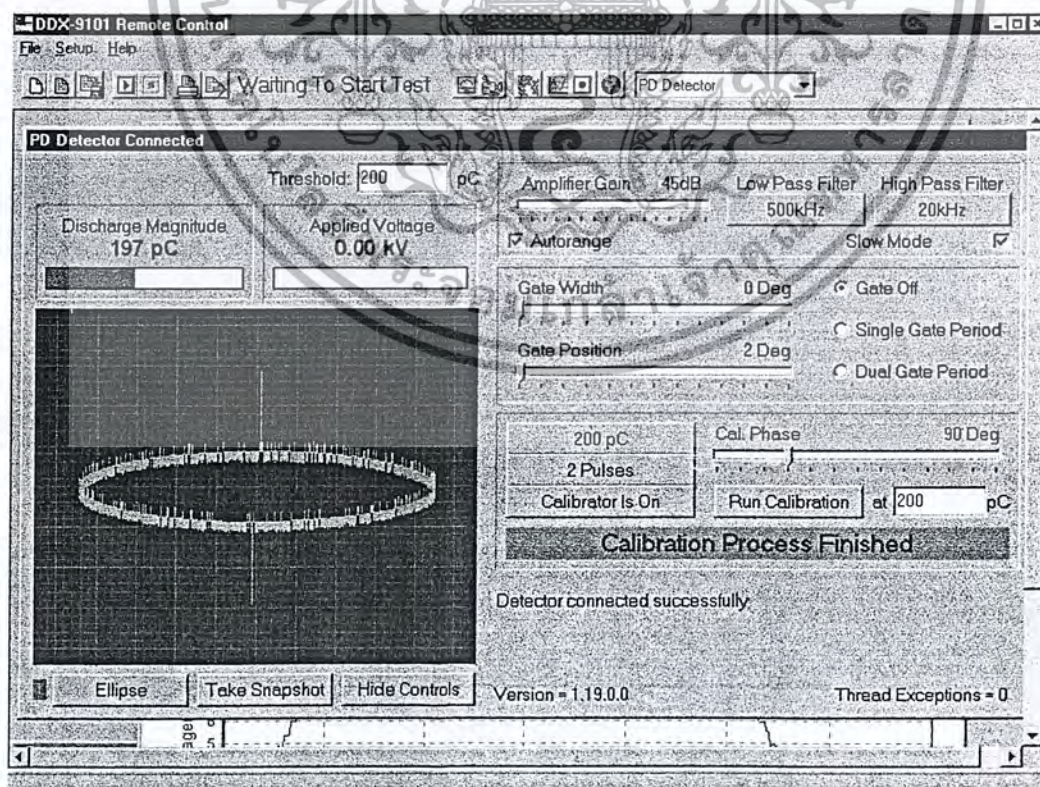


รูปที่ 6-64 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

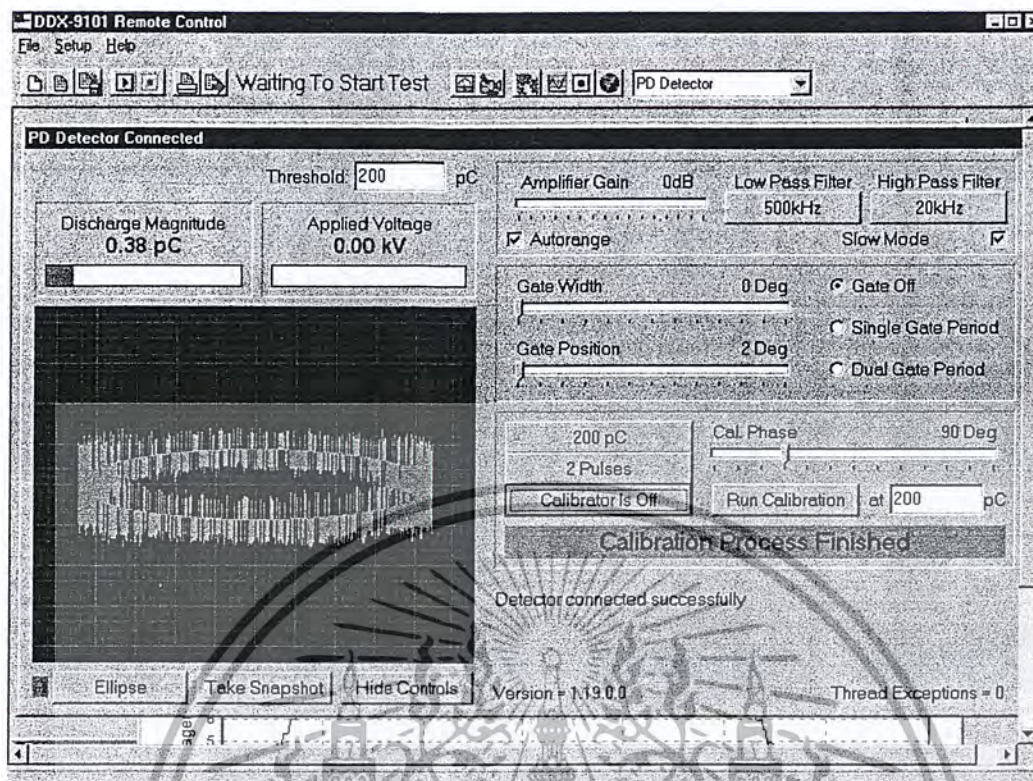


รูปที่ 6-64 b) ขณะทำการ Run Calibrate

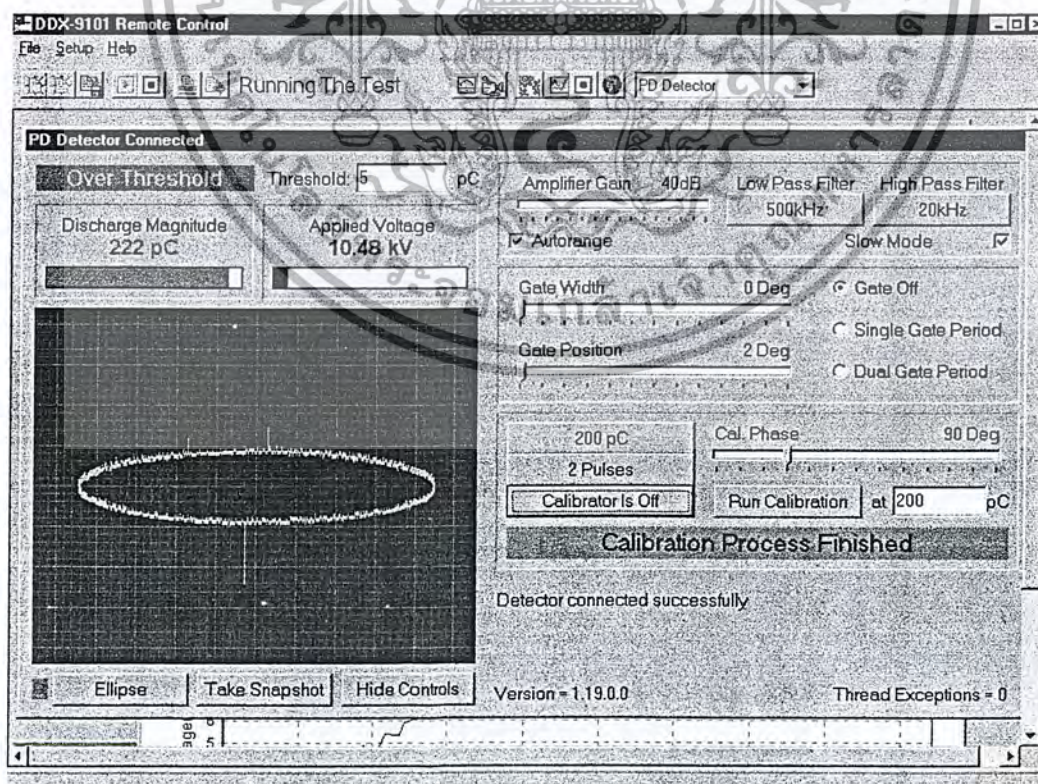


รูปที่ 6-64 c) ขณะทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

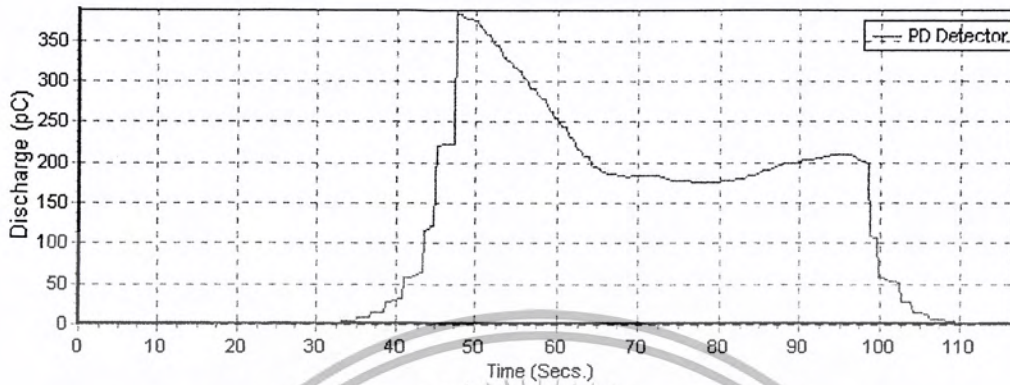


รูปที่ 6-64 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise

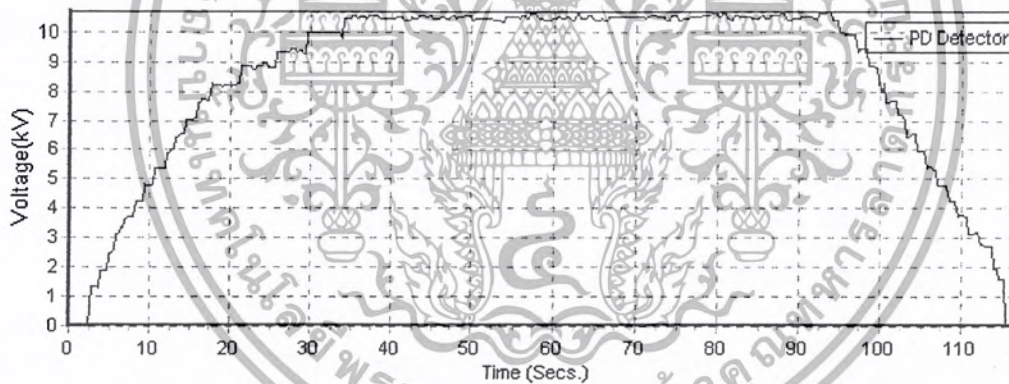


รูปที่ 6-64 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

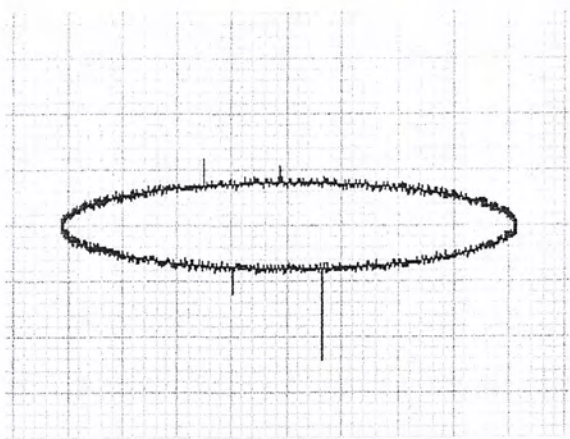


(ก) กราฟแสดงสัญญาณเคสชาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 18:09:48

Discharge =325.01 pC, Voltage =10.36 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD
แบบ *Elipse*



PD Detector - 24/3/04 18:09:58

Discharge =207.67 pC, Voltage =10.48 kV

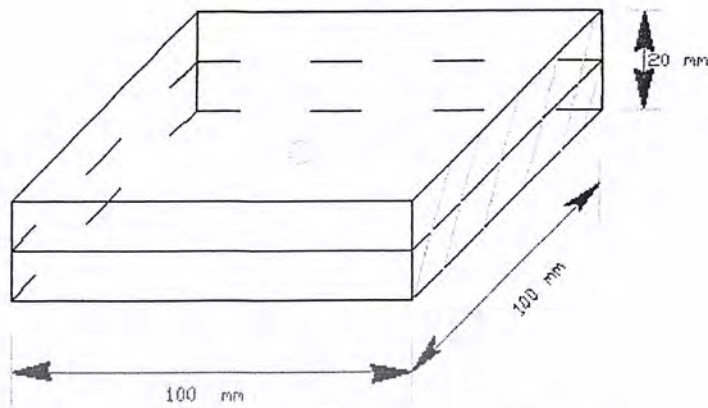
(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD
แบบ *Sine*

รูปที่ 6-65 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก *test report*

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ *test file* แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดัน 10 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 387.72 pC

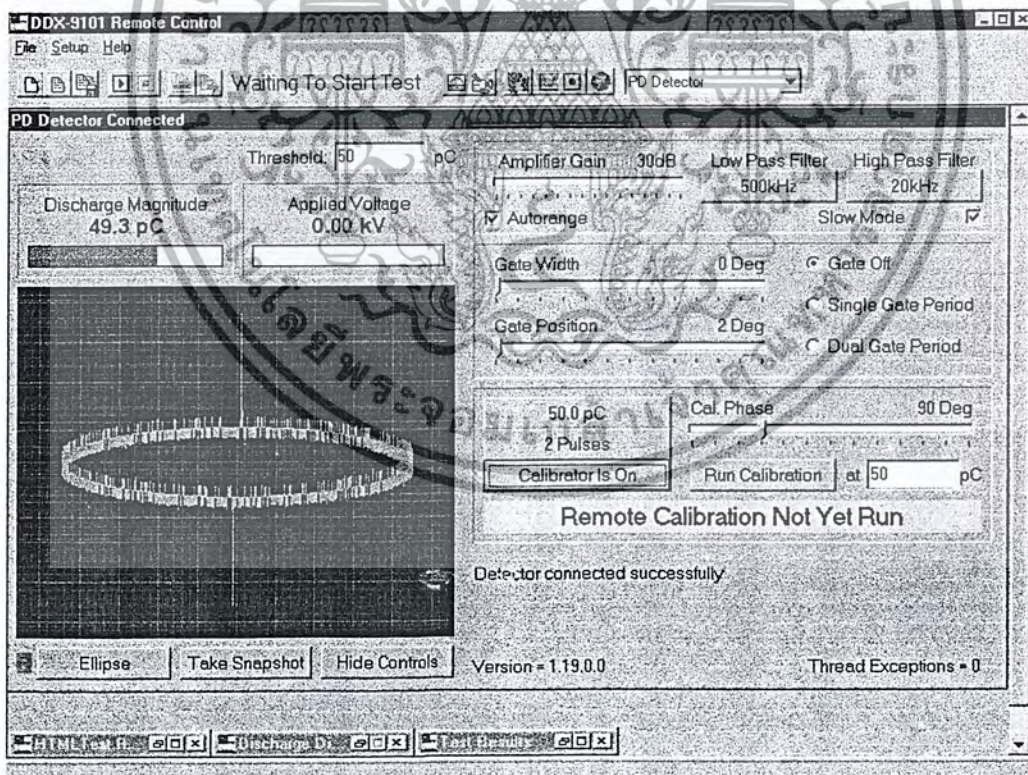
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อะคริลิกทดสอบชนิดมีรู 1 รู และมีสิ่งเจือปนอยู่ภายใน



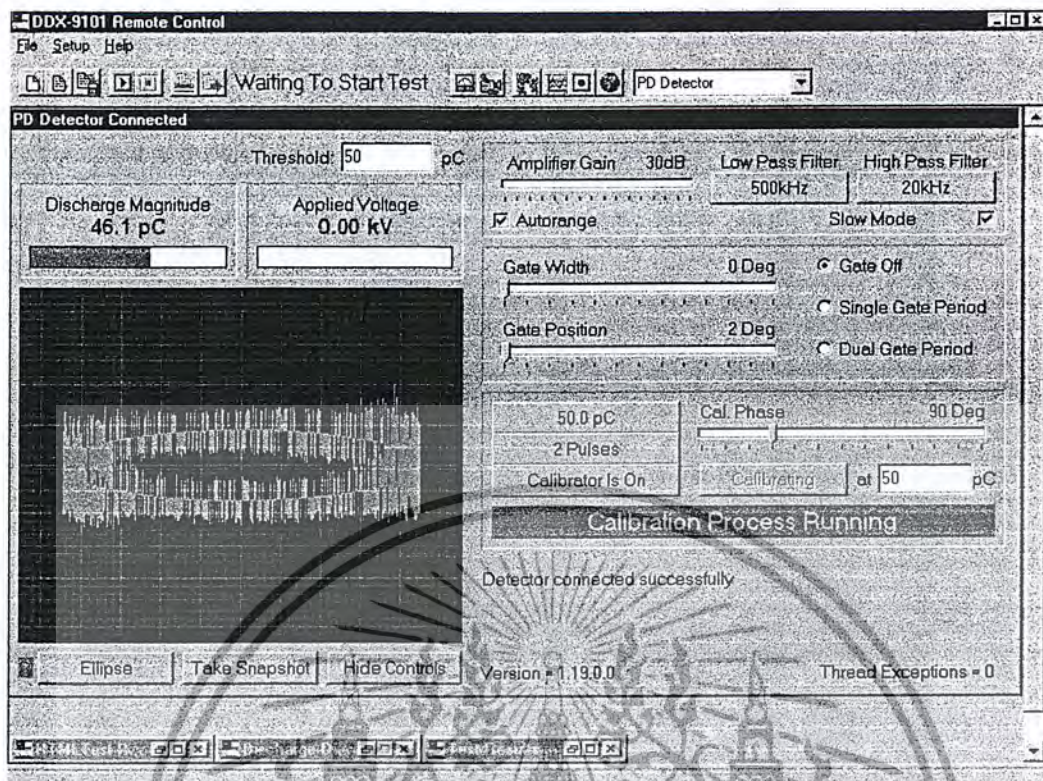
รูปที่ 6-66 วัตถุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกชนิดมีรูที่มี
สิ่งเจือปนคือเศษเหล็ก

วัตถุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 50 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัตถุทดสอบ

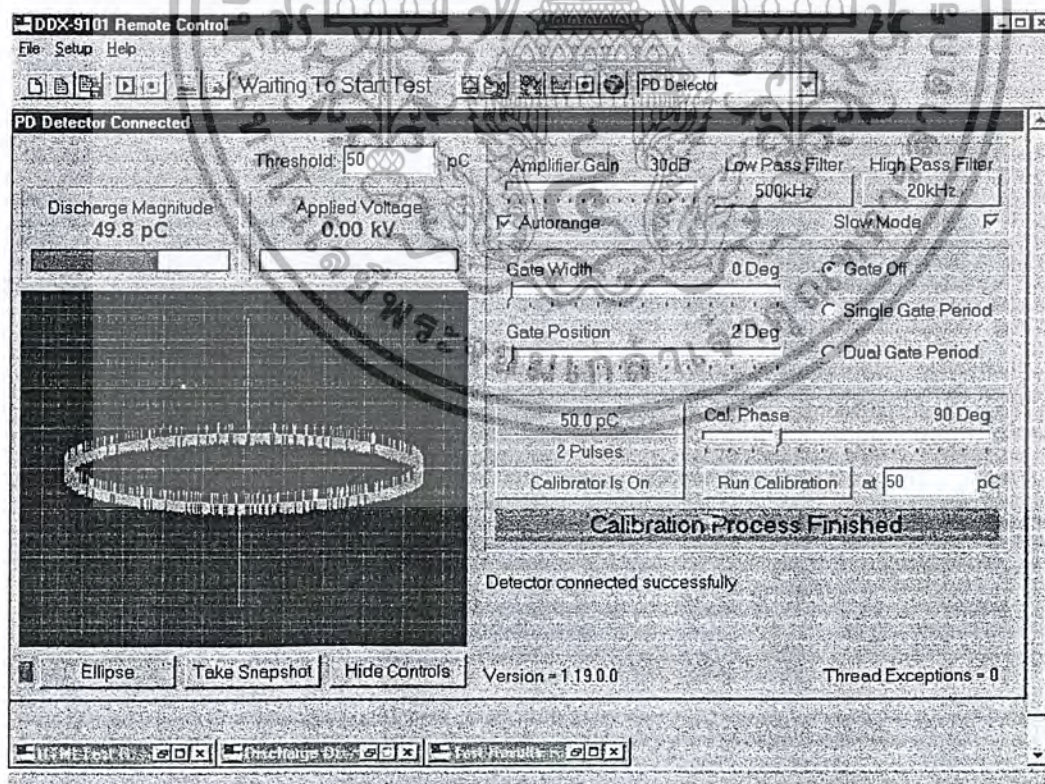


รูปที่ 6-67 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

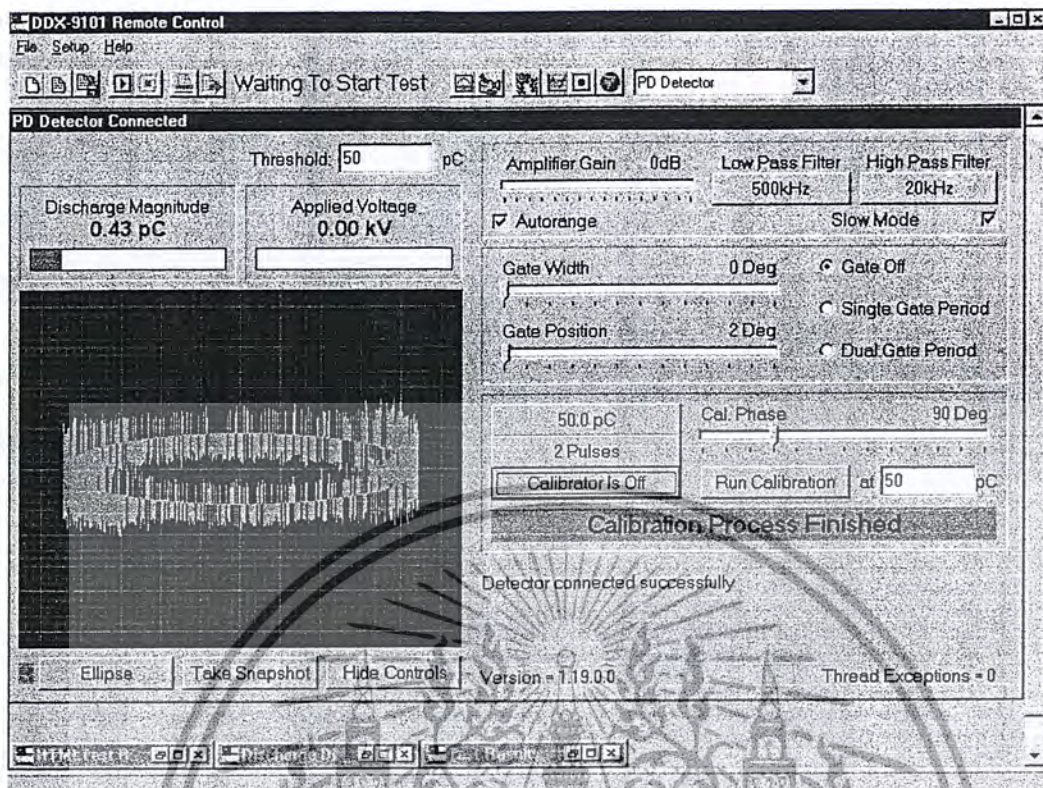


รูปที่ 6-67 b) ขณะทำการ Run Calibrate

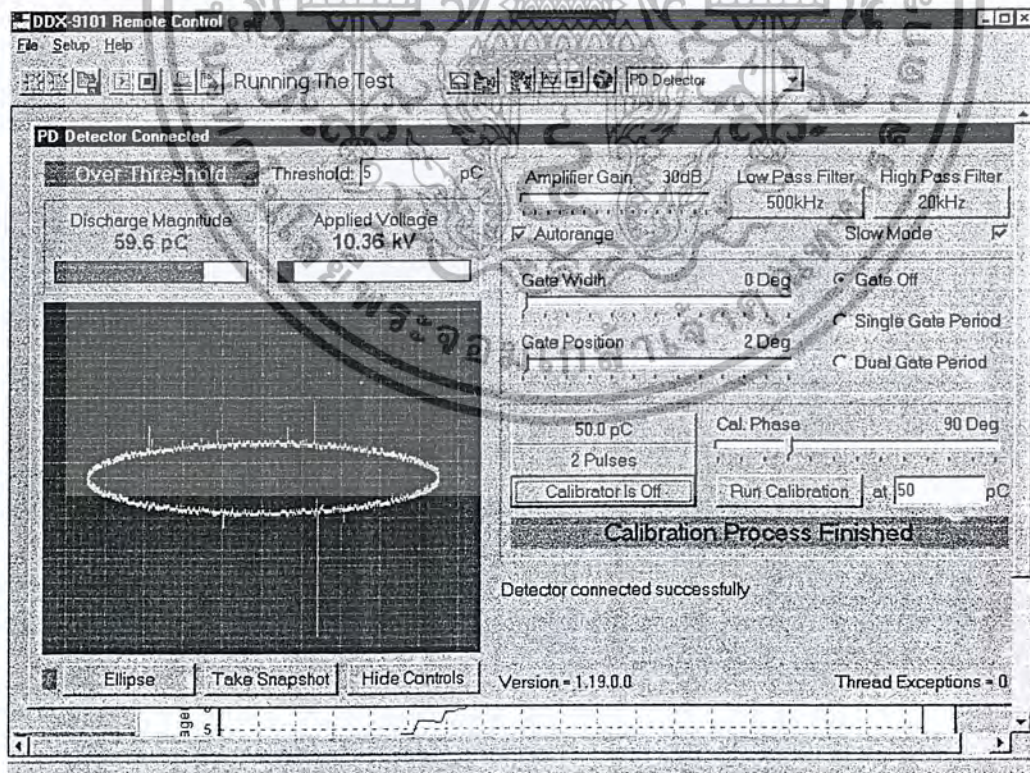


รูปที่ 6-67 c) ขณะที่ทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

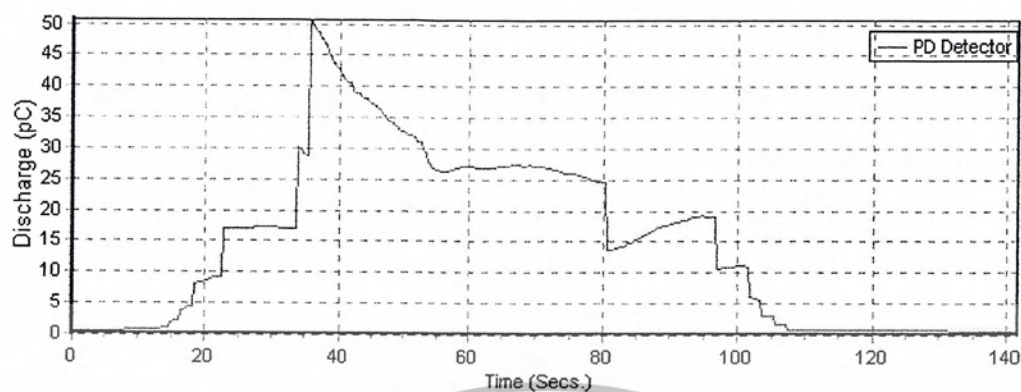


รูปที่ 6-67 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อทำ Background Noise



รูปที่ 6-67 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

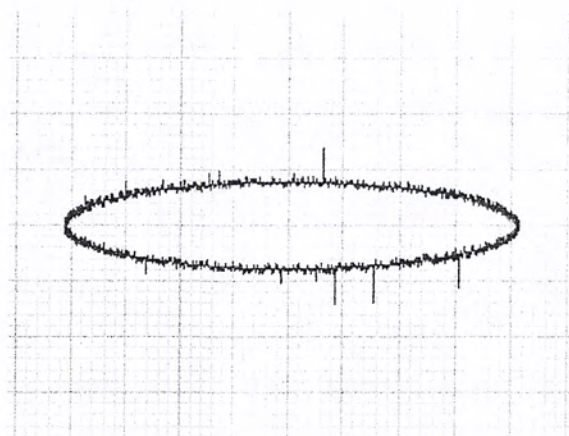


(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 17:18:18

Discharge = 35.31 pC, Voltage = 10.34 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ Elipse



PD Detector - 24/3/04 17:18:31

Discharge = 27.17 pC, Voltage = 10.48 kV

(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

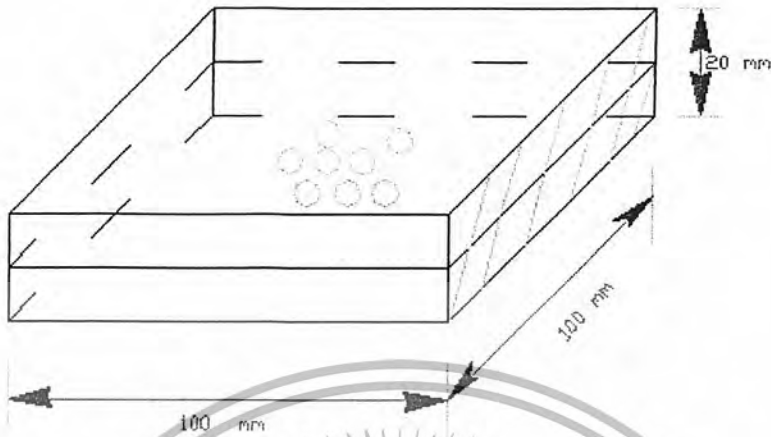
แบบ Sine

รูปที่ 6-68 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุชนิดนี้เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 10 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 50.73 pC

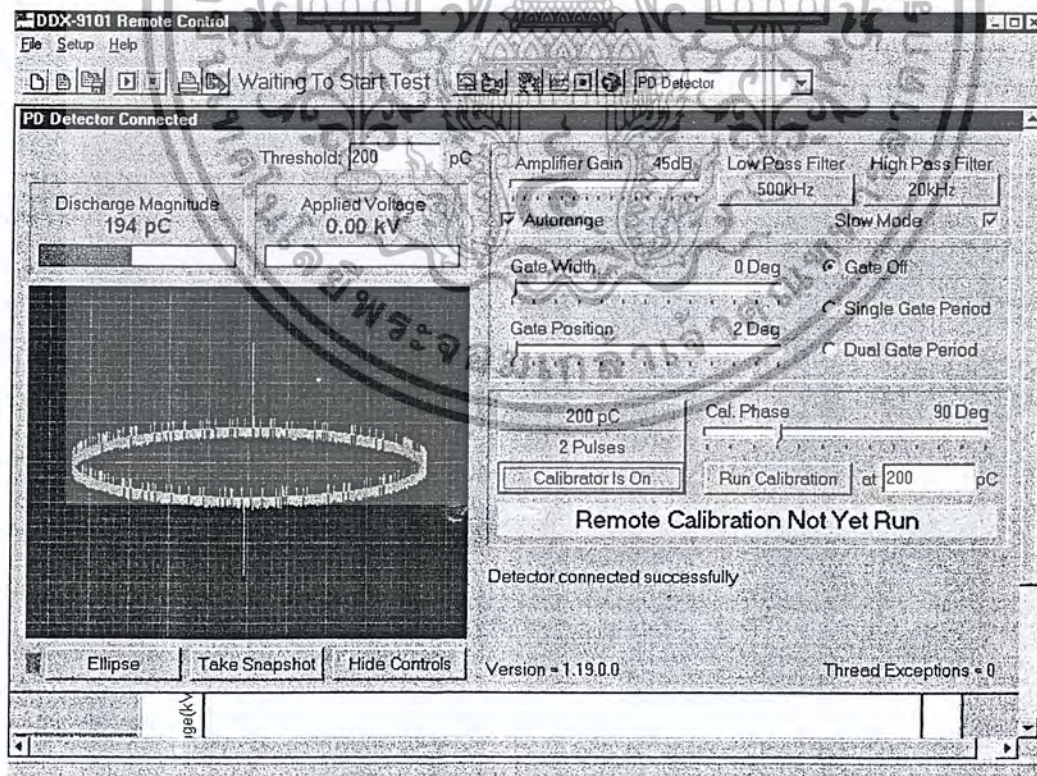
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อะคริลิกทดสอบชนิดรูปทรงแปดเหลี่ยม



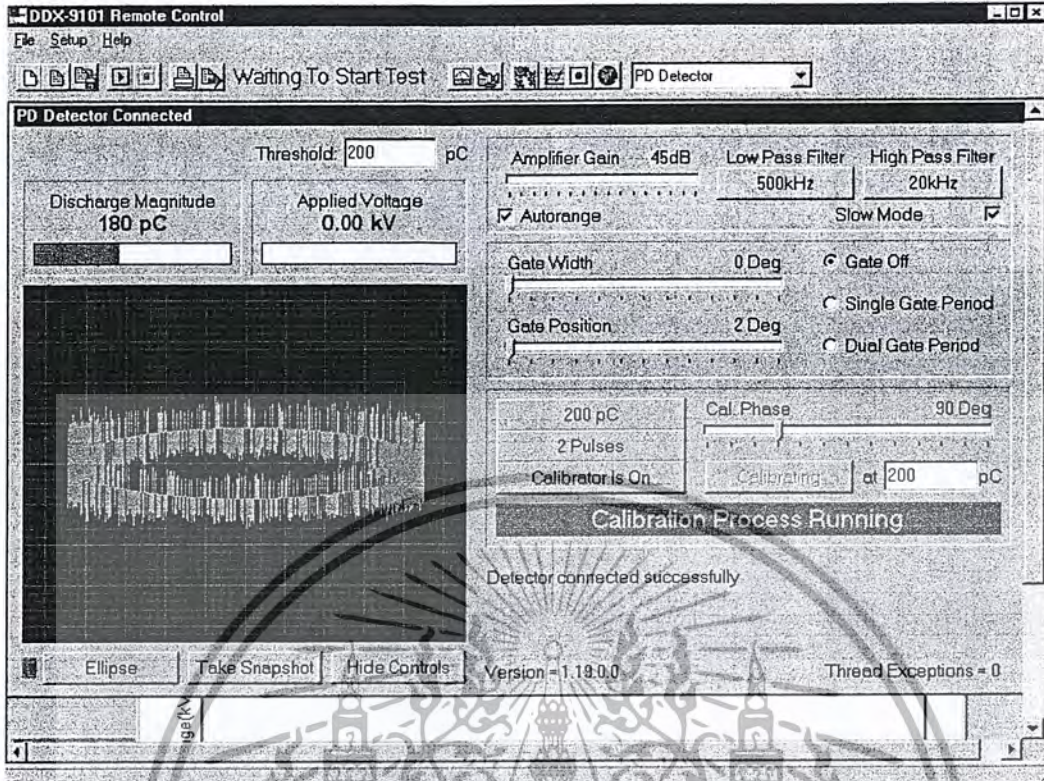
รูปที่ 6-69 วัสดุทดสอบชนิดที่เป็นแผ่นอะคริลิกมีรูปทรงแปดเหลี่ยม

วัสดุทดสอบชนิดนี้เราจะนำไปทำการ calibrate โดยใช้ค่า calibrate ที่ 200 pC และเมื่อเราทำการ calibrate เสร็จแล้วต่อมาเราจะทำการจ่ายแรงดันเข้าไปให้กับวัสดุทดสอบ

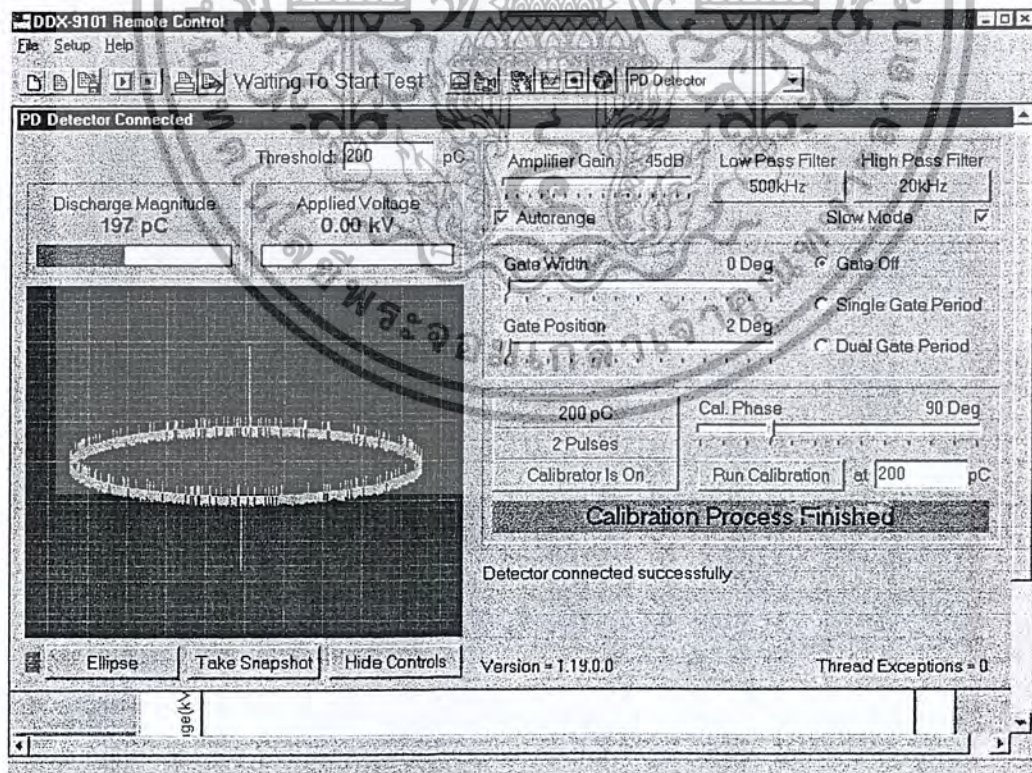


รูปที่ 6-70 a) ขณะทำการกด Calibrate On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

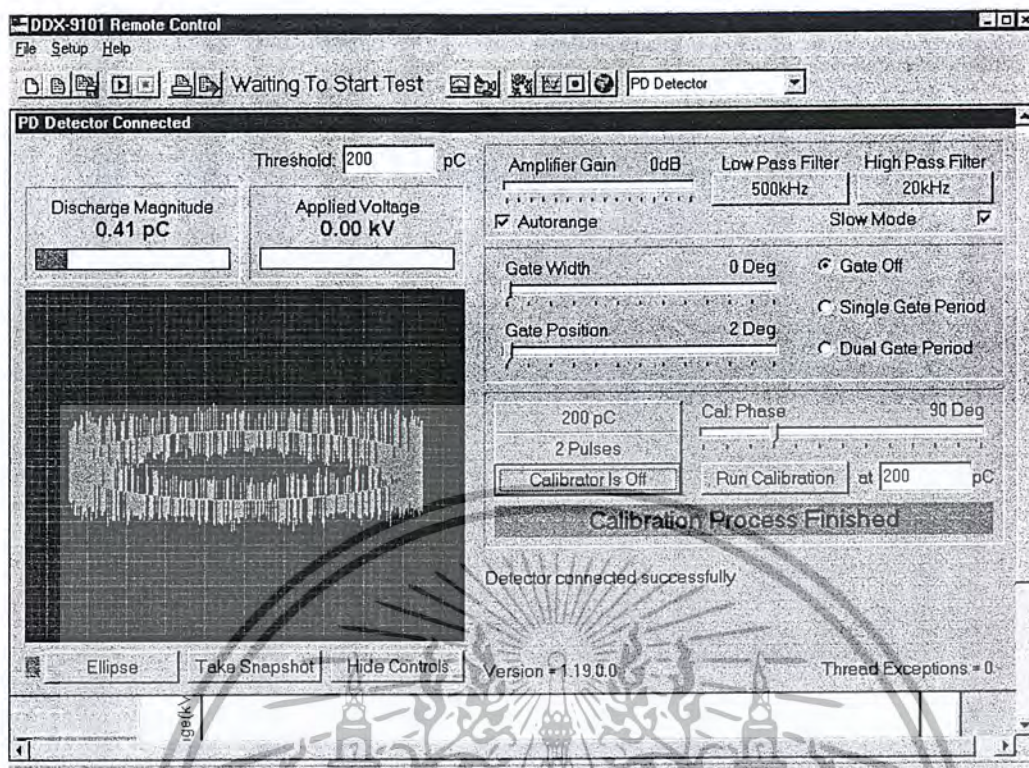


รูปที่ 6-70 b) ขณะทำการ Run Calibrate

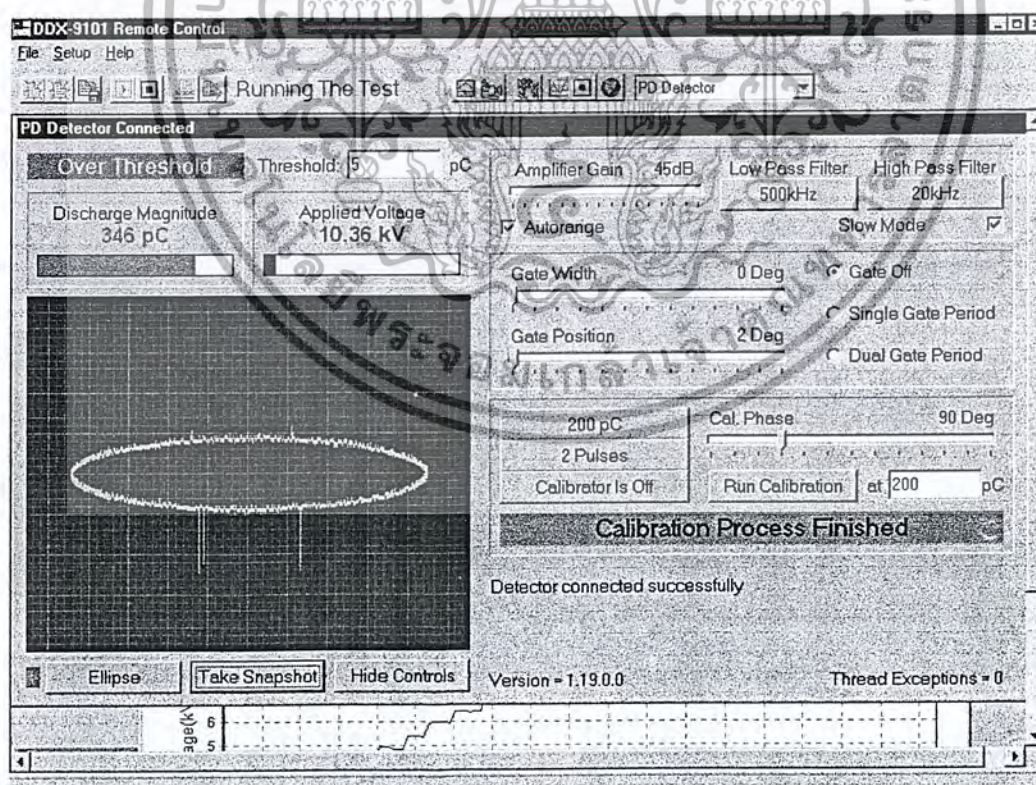


รูปที่ 6-70 c) ขณะทำการ Calibrate เสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

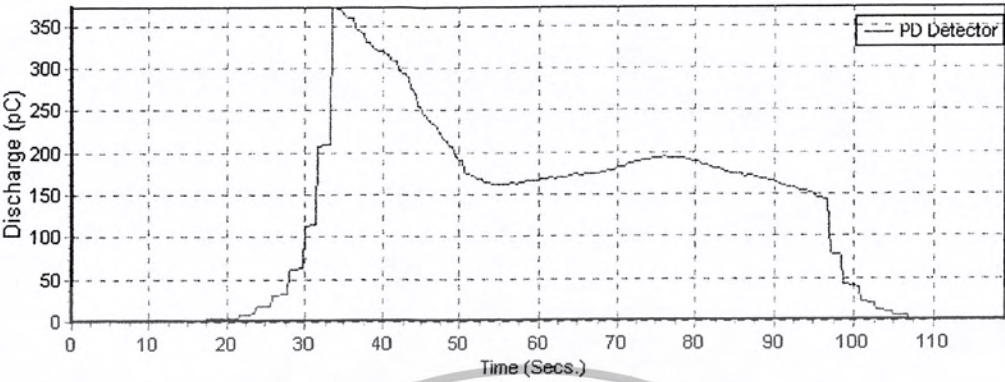


รูปที่ 6-70 d) ขณะกด Calibrate Off เพื่อหา Background Noise

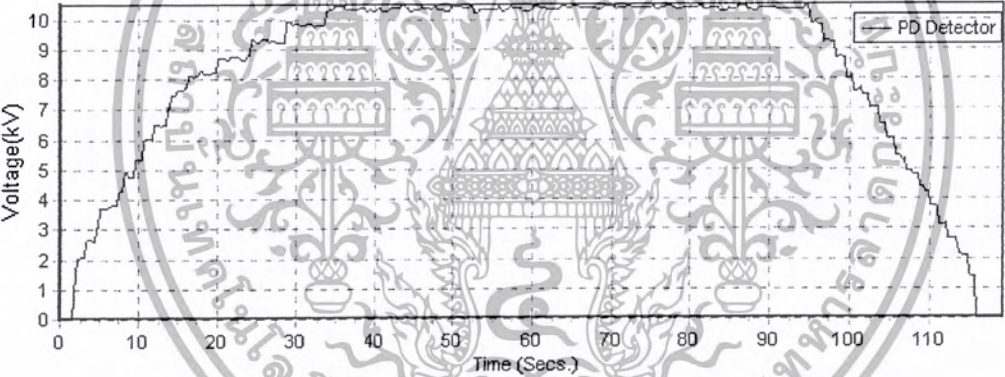


รูปที่ 6-70 e) ขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟแสดงสัญญาณคิซาร์จบางส่วน



(ข) กราฟแสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PD Detector - 24/3/04 15:33:07

Discharge =323.38 pC, Voltage =10.32 kV

(ค) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Ellipse*



PD Detector - 24/3/04 15:33:18

Discharge =190.36 pC, Voltage =10.51 kV

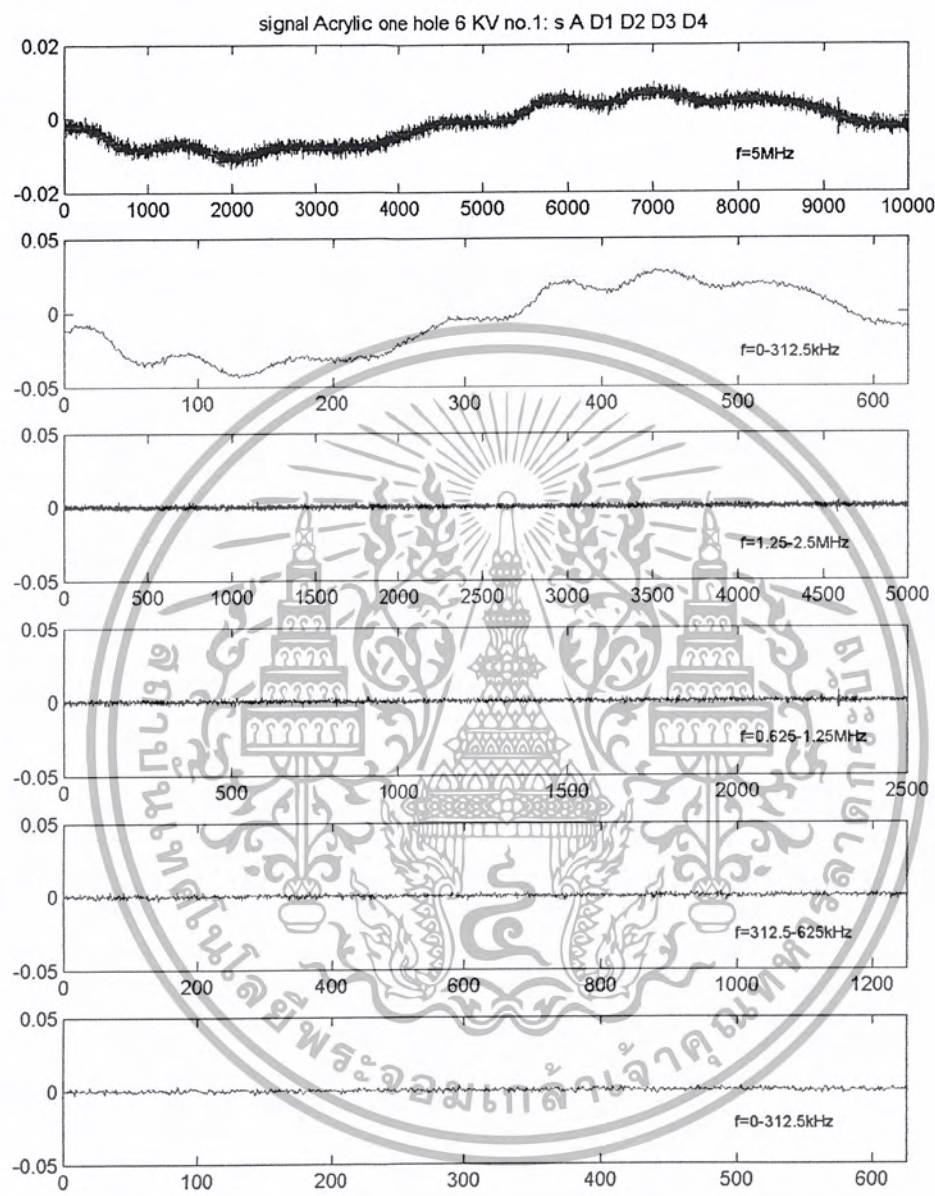
(ง) กราฟนี้จะแสดงภาพลักษณะของสัญญาณแรงดันกับสัญญาณ PD

แบบ *Sine*

รูปที่ 6-71 (ก)-(ง) กราฟผลการทดลองที่ได้จาก test report

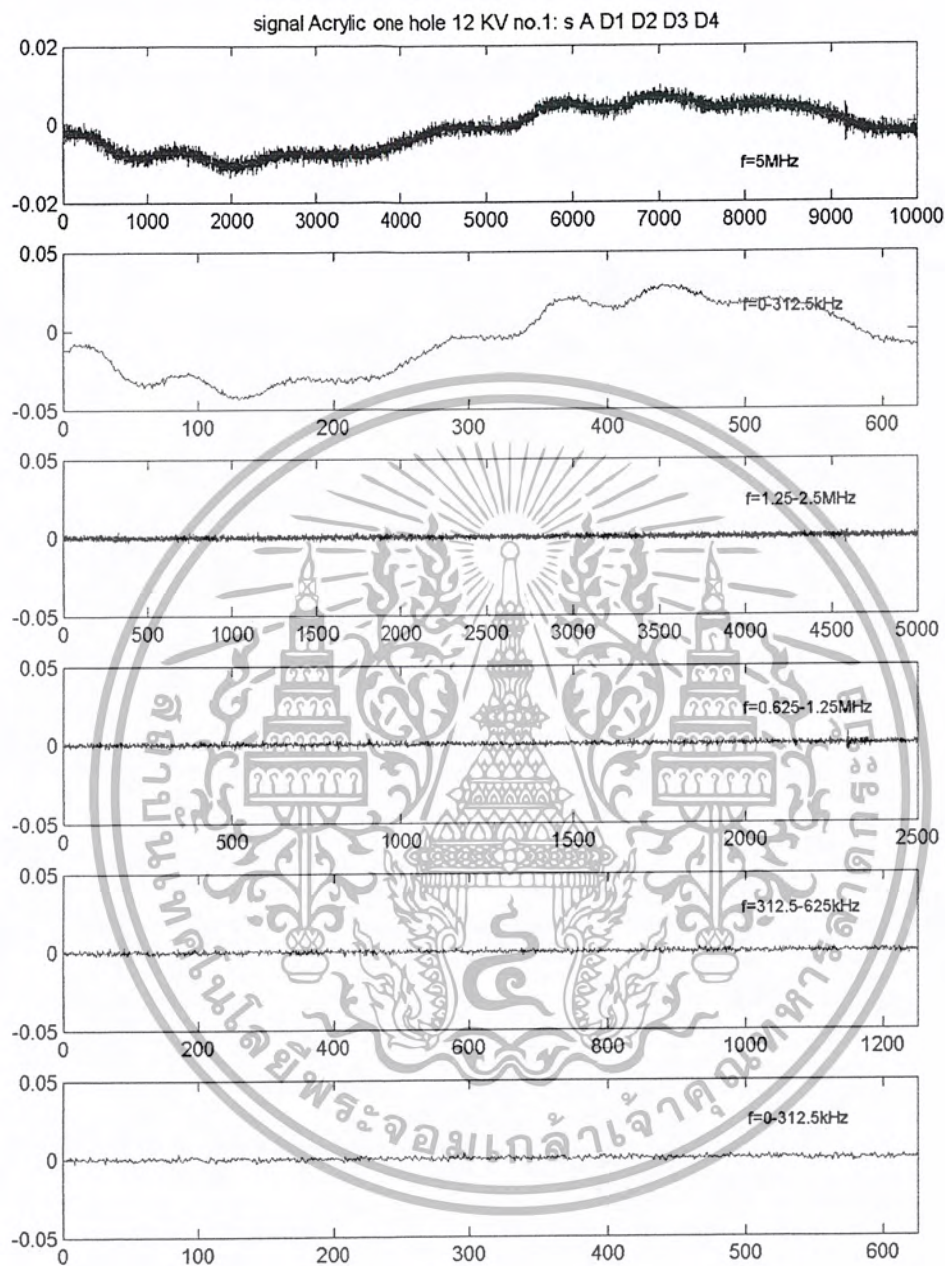
ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเราไปทำการดูที่ test file แล้วเราจะพบว่าค่า PD ที่มีค่ามากที่สุดของ
วัตถุชนิดนี้เมื่อทำการจ่ายแรงดัน 10 kV นั้นจะมีค่าเท่ากับ 372.21 pC
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.5 ผลการแตกสัญญาณที่ได้มาจากออสซิลโลสโคป



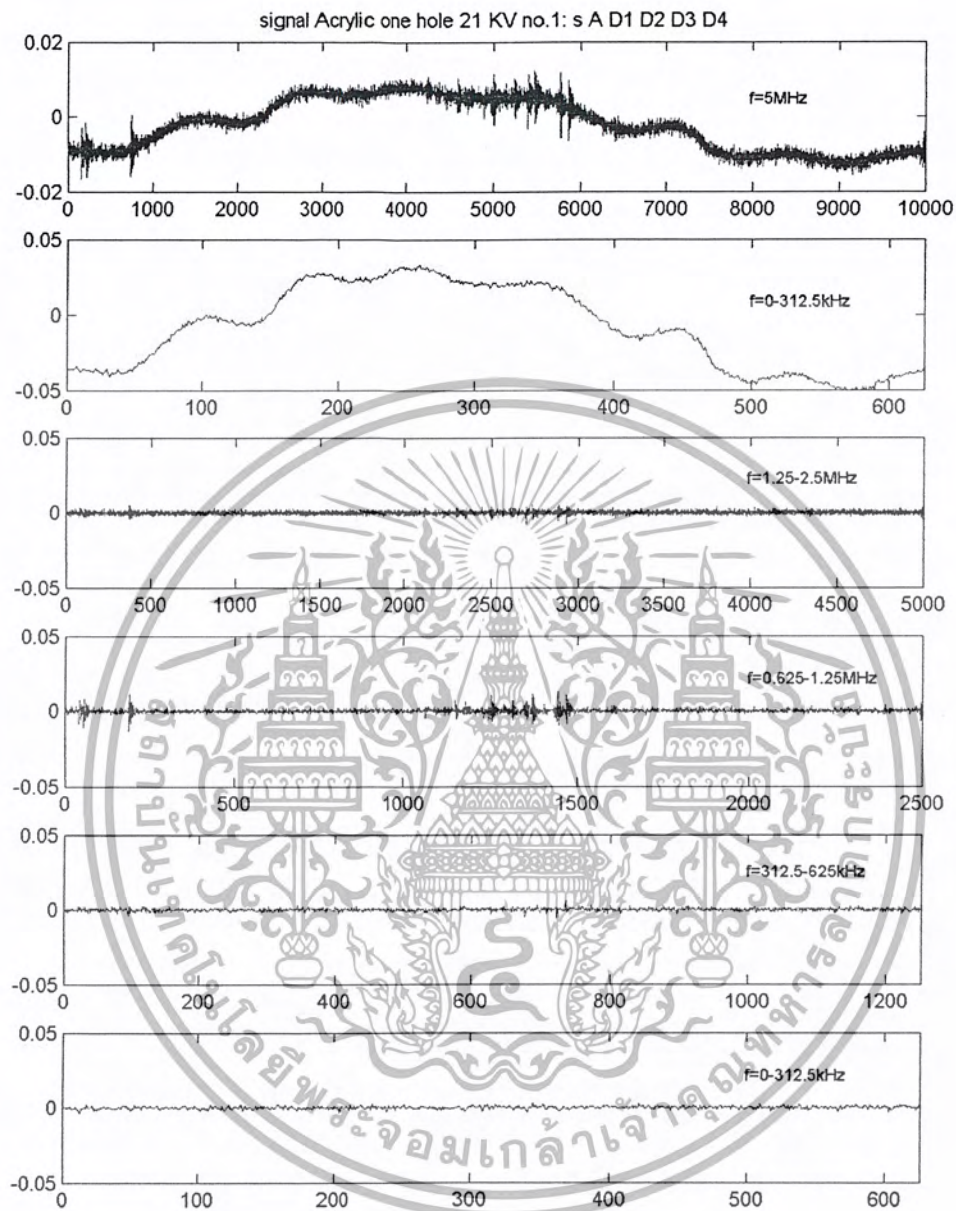
รูปที่ 6-72 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 6 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



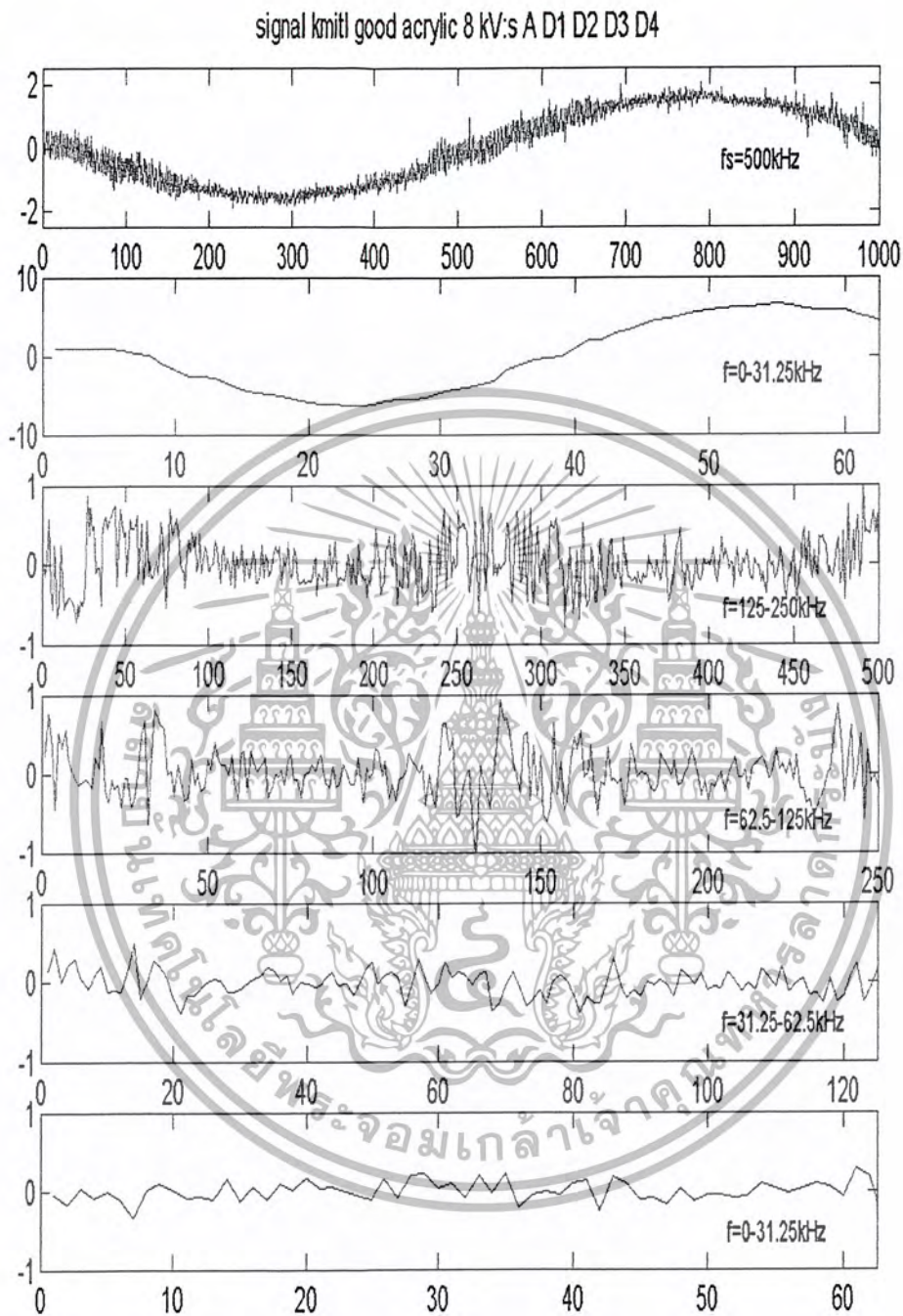
รูปที่ 6-73 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 12 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



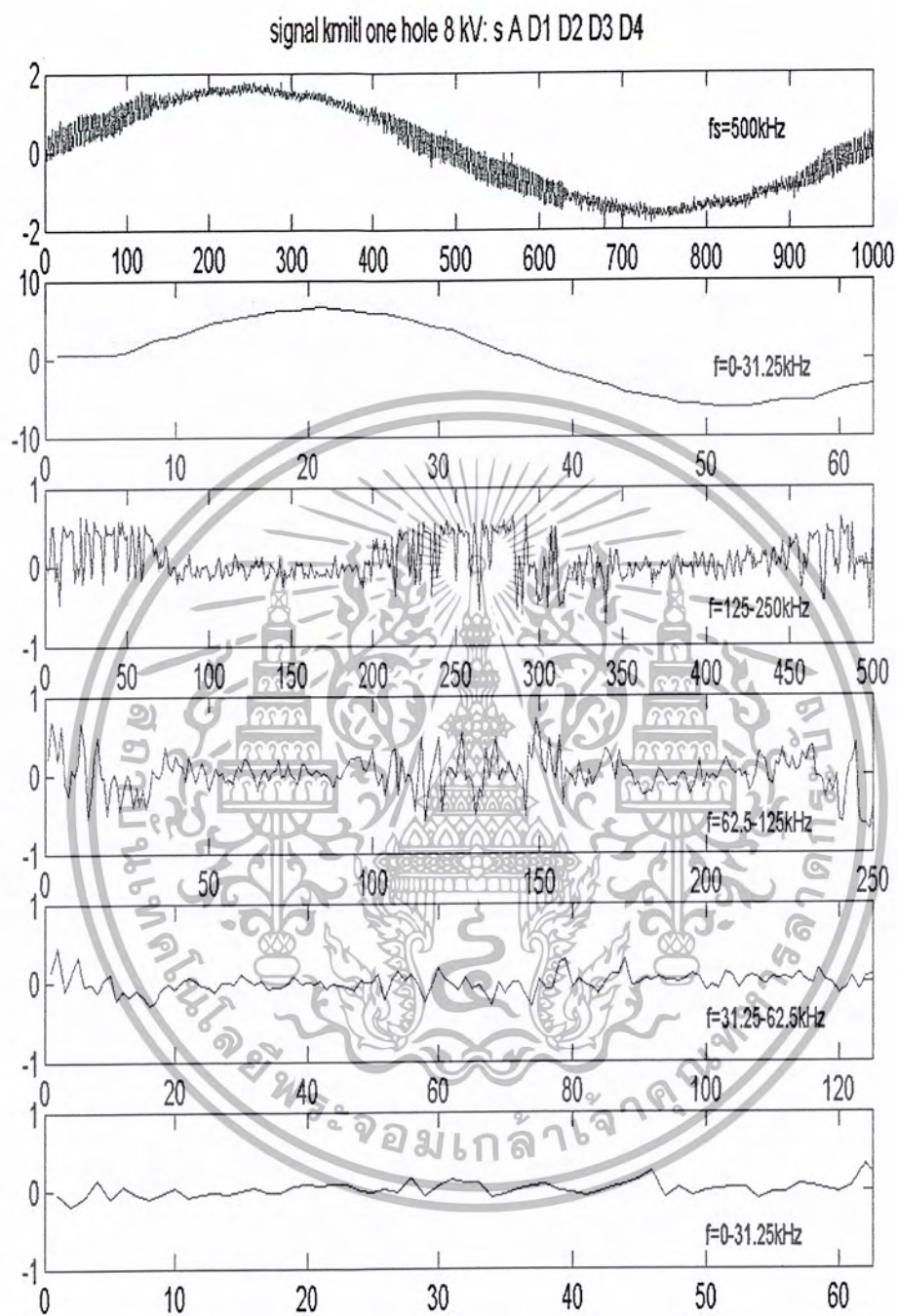
รูปที่ 6-74 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 21 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



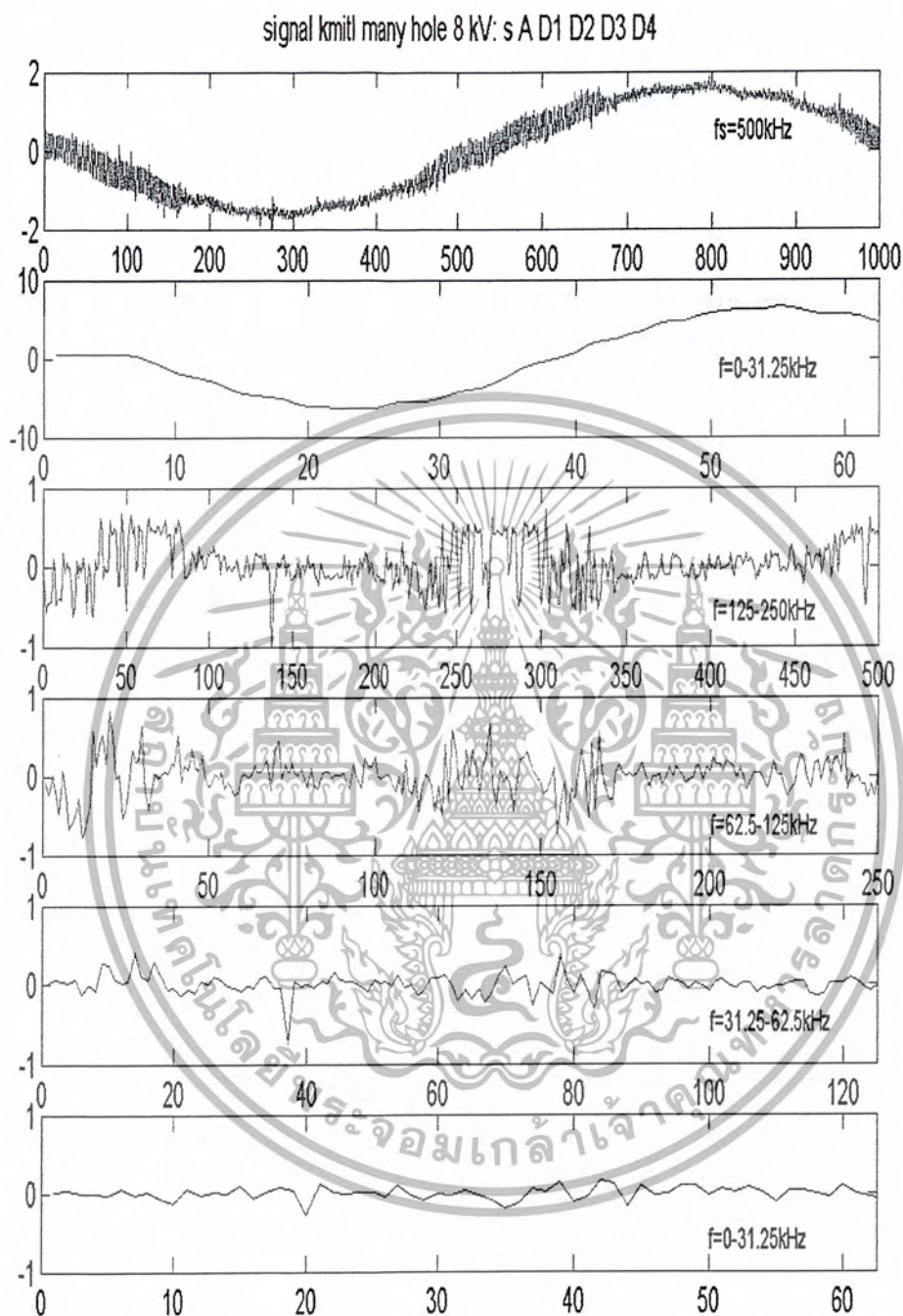
รูปที่ 6-75 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกดีที่แรงดัน 8 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



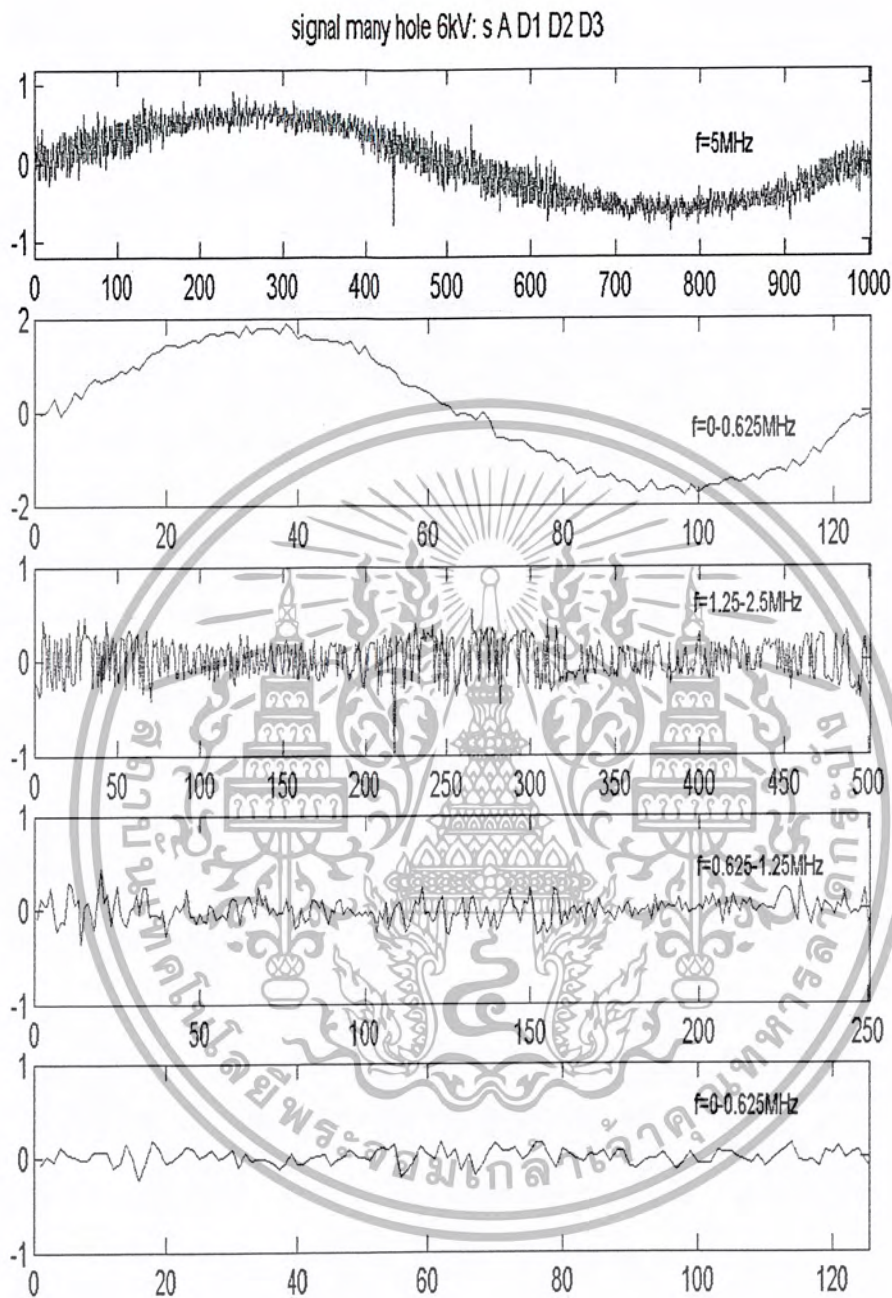
รูปที่ 6-76 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิก 1 รูที่แรงดัน 8 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



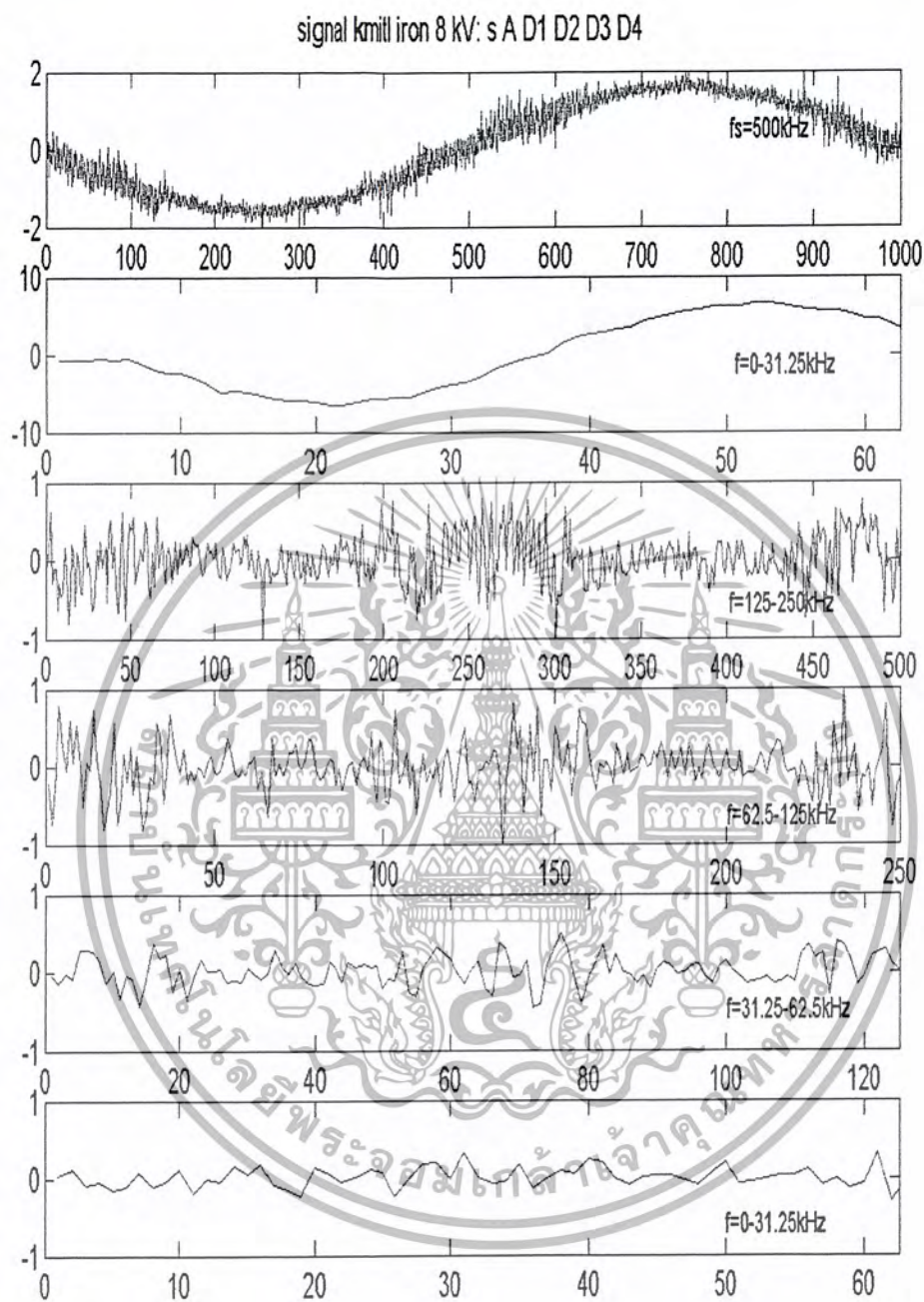
รูปที่ 6-77 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกหลายรูที่แรงดัน 8 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



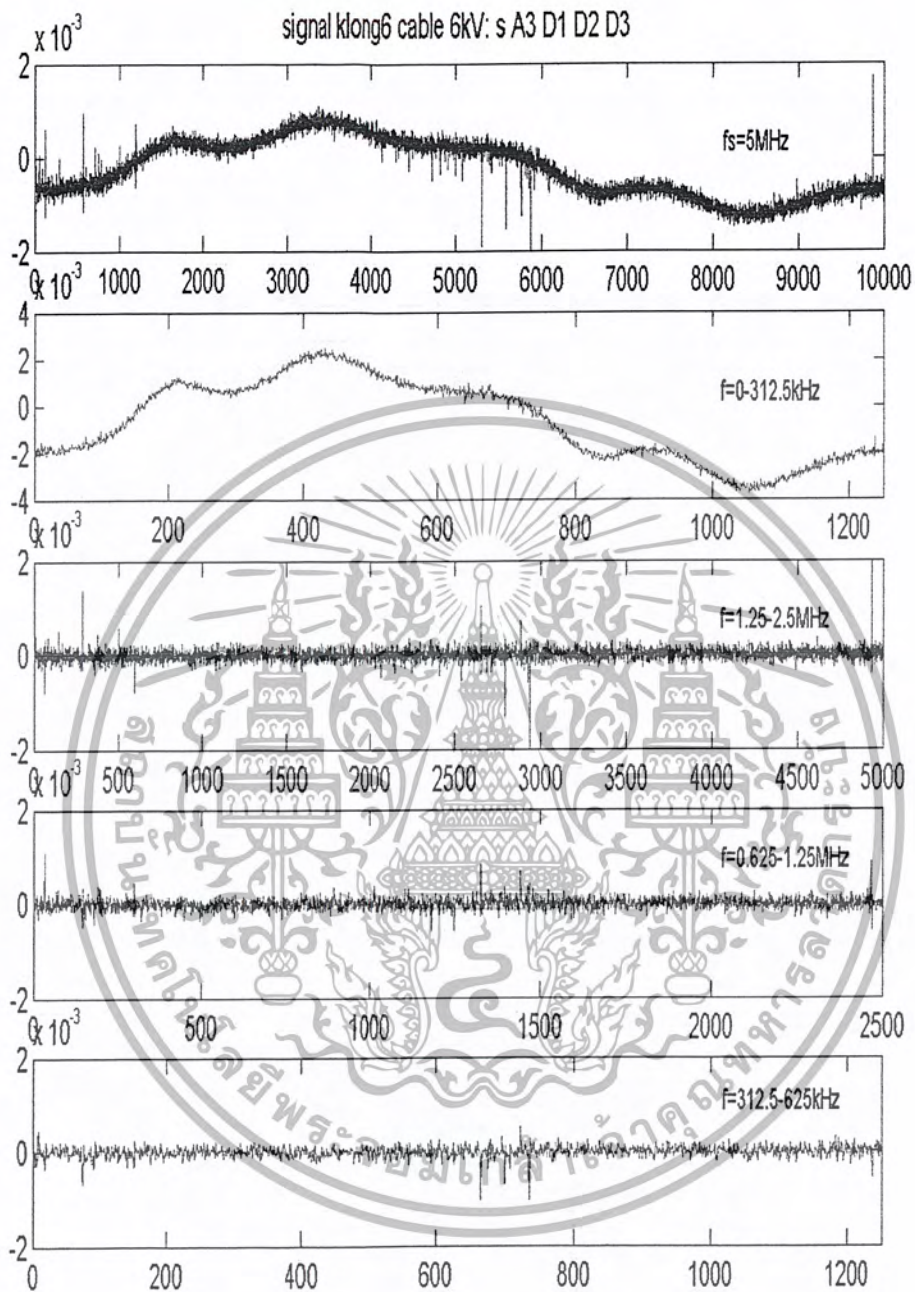
รูปที่ 6-78 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกหลายรูที่แรงดัน 6 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



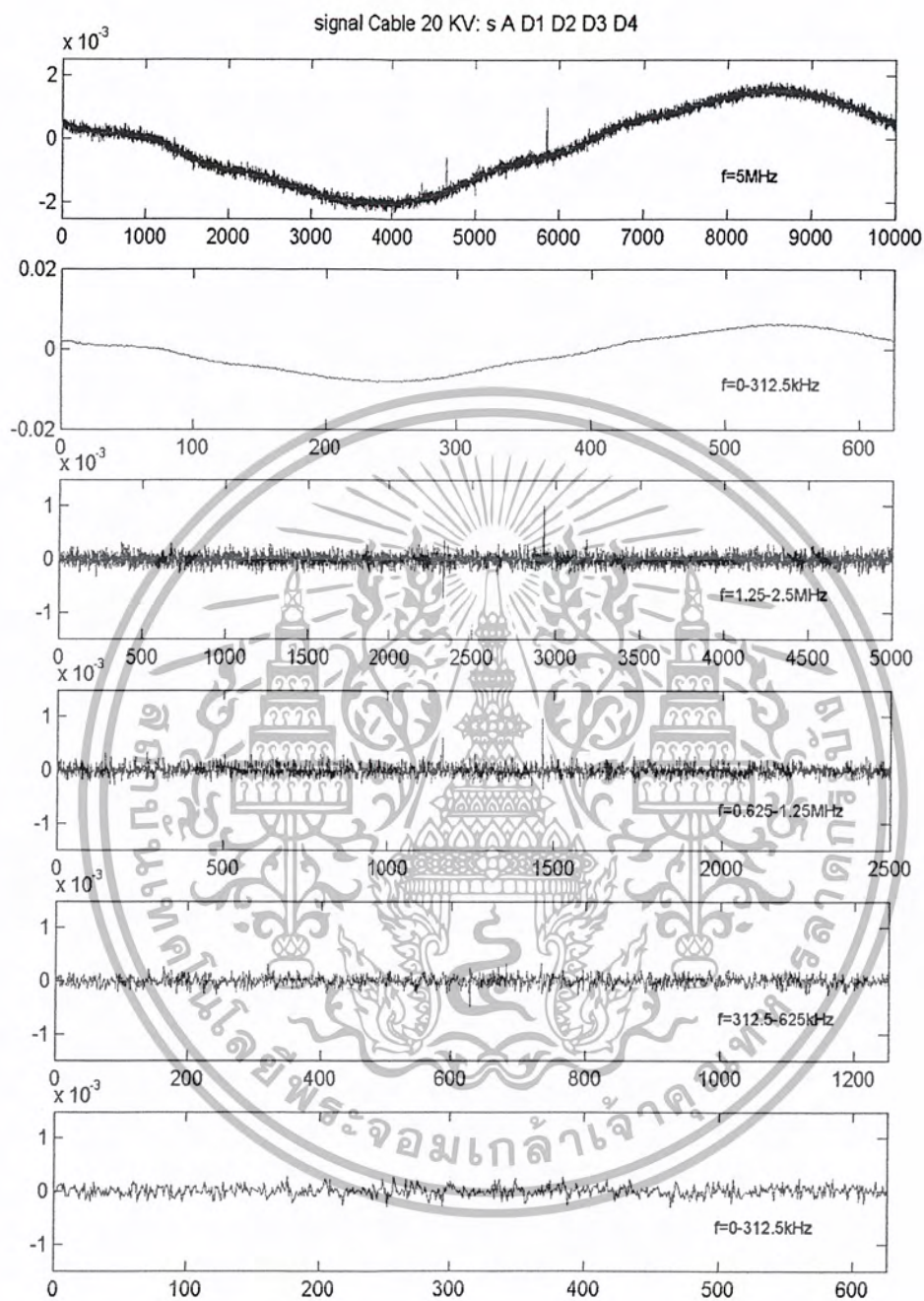
รูปที่ 6-79 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากอะคริลิกมีเศษเหล็กเจือปนที่แรงดัน 8 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



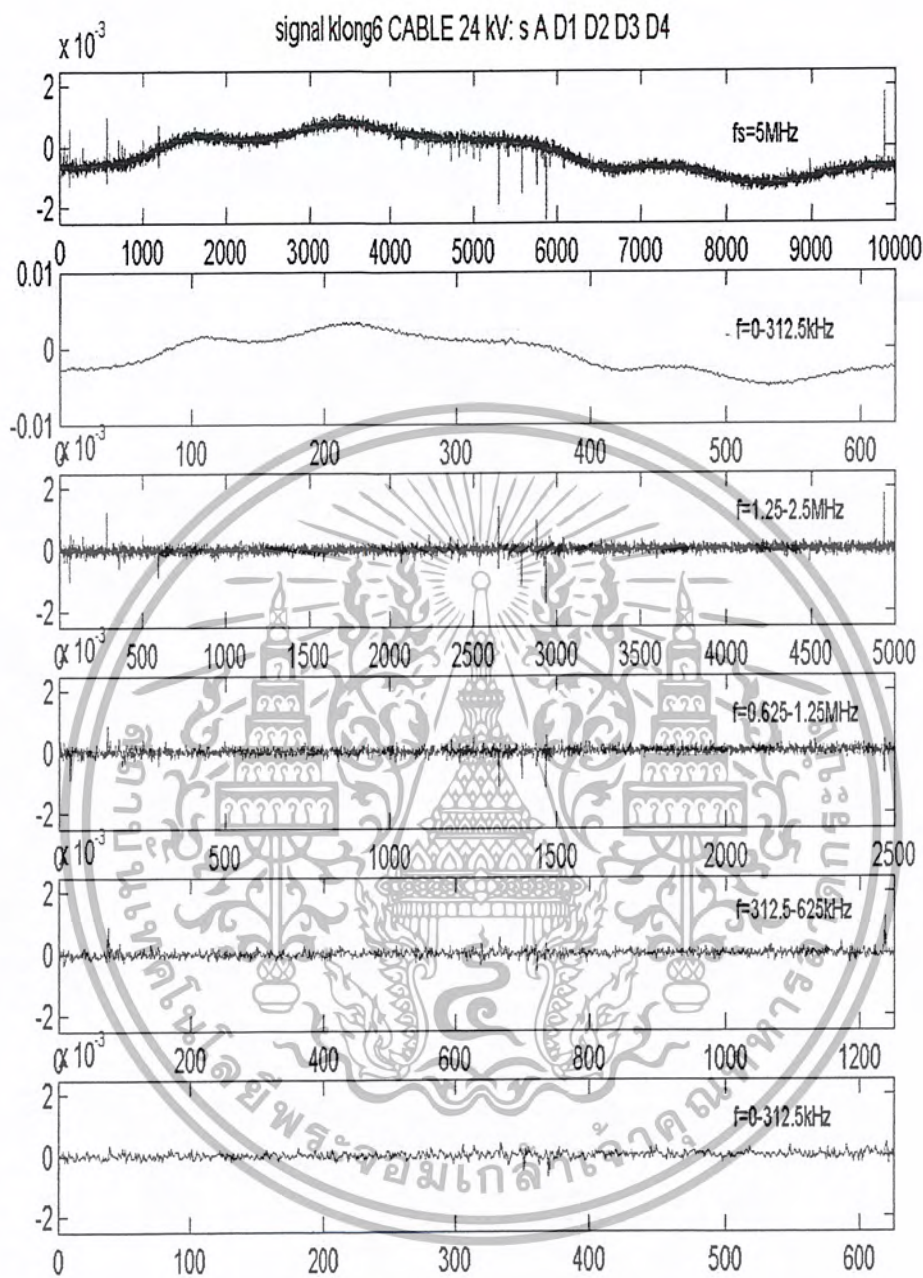
รูปที่ 6-80 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากสายเคเบิลที่แรงดัน 6 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



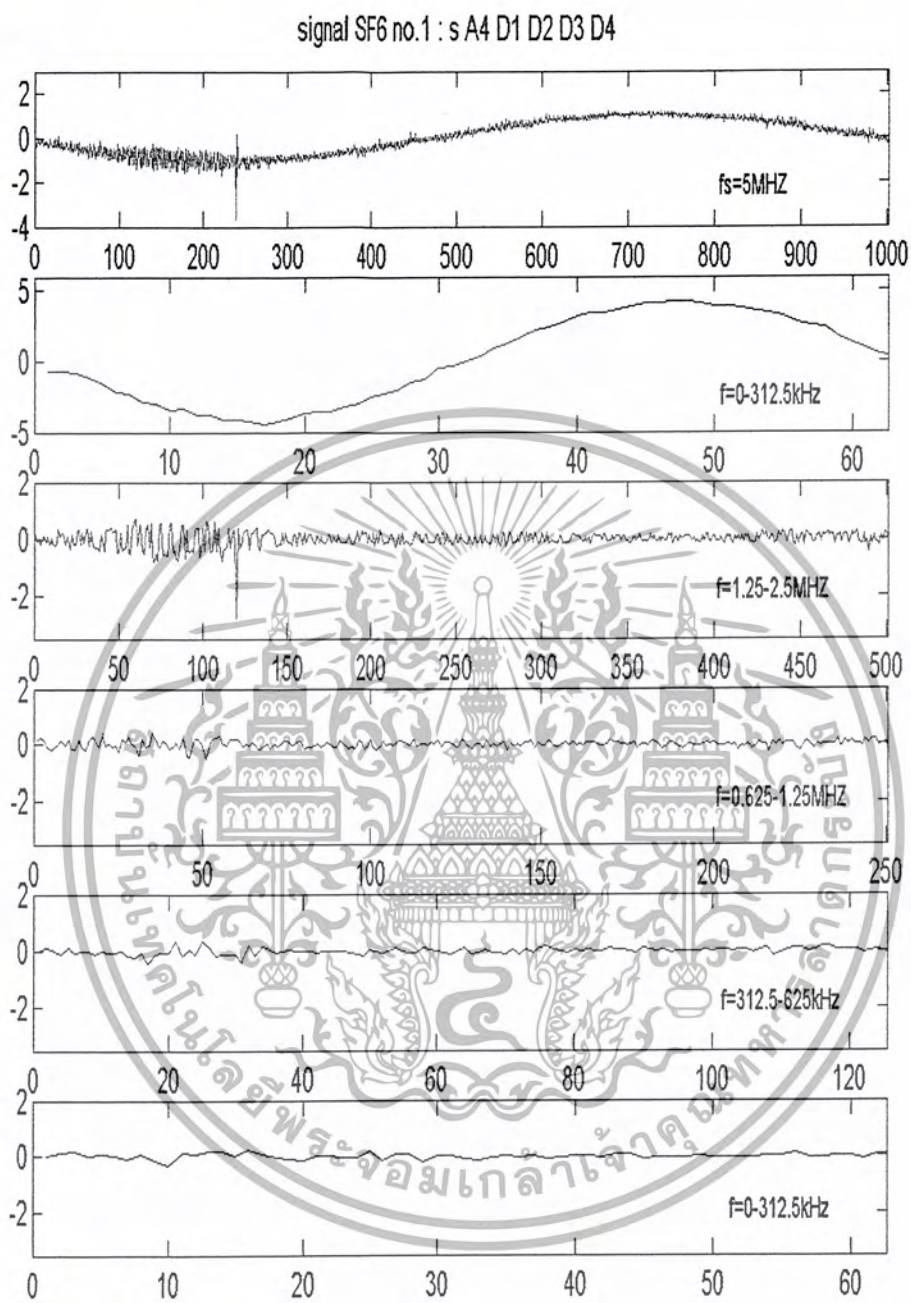
รูปที่ 6-81 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากสายเคเบิลที่แรงดัน 20 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-82 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จากสายเคเบิลที่แรงดัน 24 kV

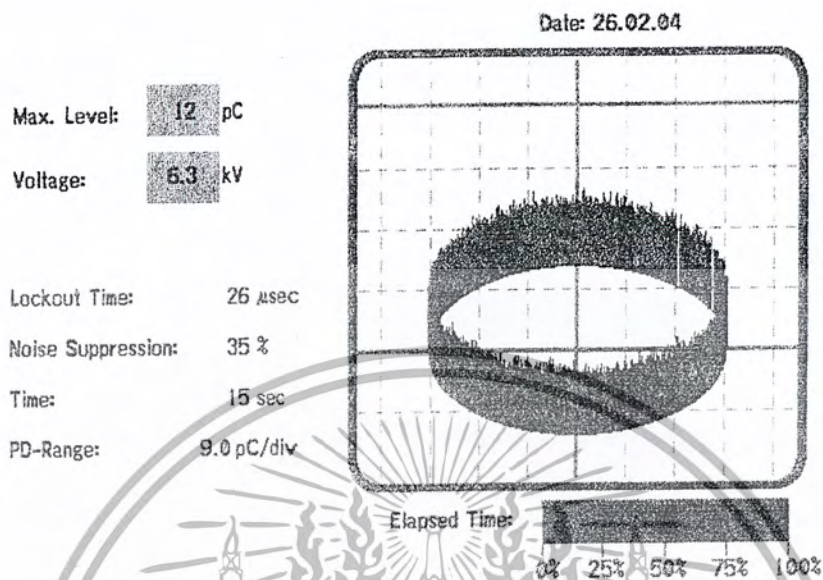
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



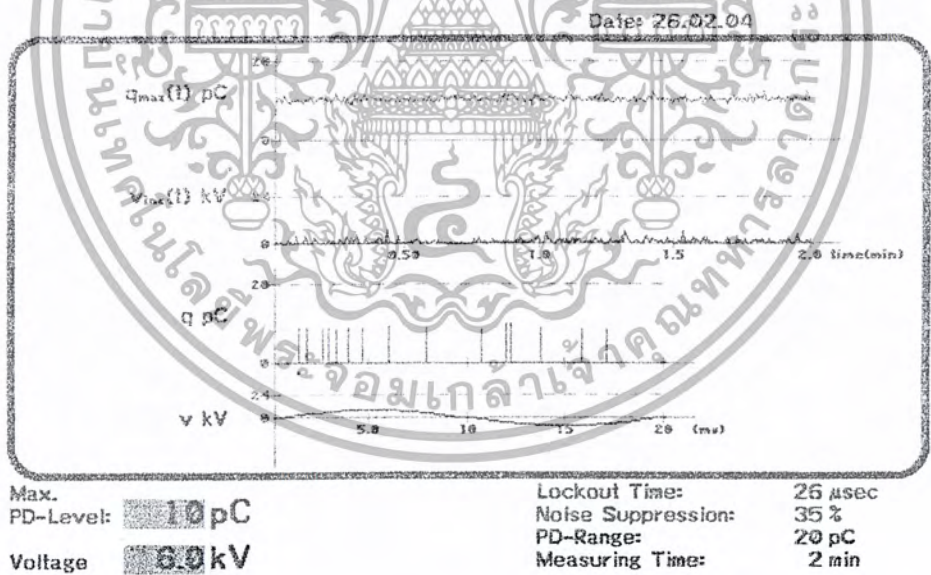
รูปที่ 6-83 แสดงการแตกสัญญาณที่ได้จาก SF₆ ที่แรงดัน 50 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.6 การหาดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571



(ก) การทดสอบหาค่าดีสชาร์จบางส่วนแบบ Measurement Routine : 15 sec ของสายเคเบิล

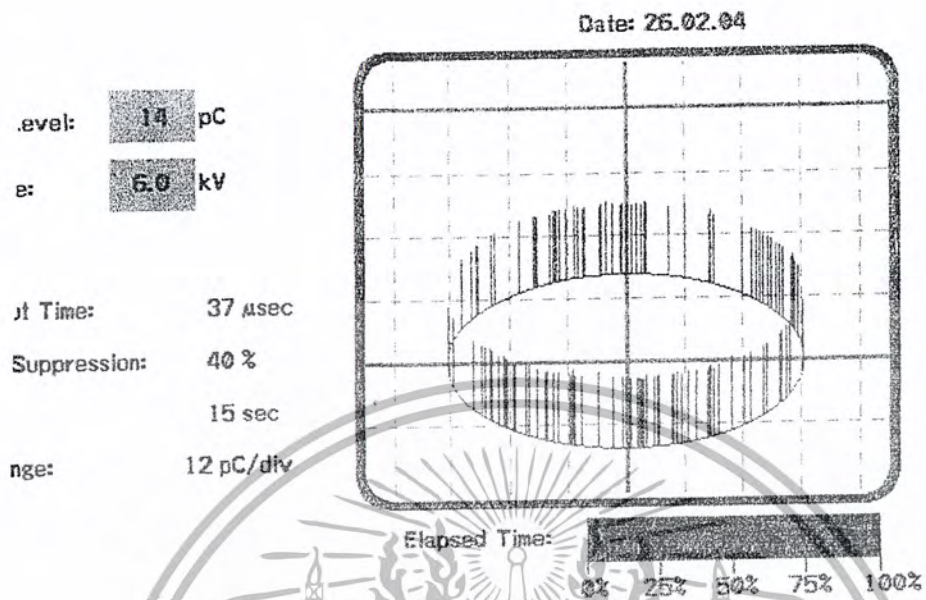


(ข) การทดสอบหาค่าดีสชาร์จบางส่วนแบบ Measurement Analyzer : 2 min ของสายเคเบิล

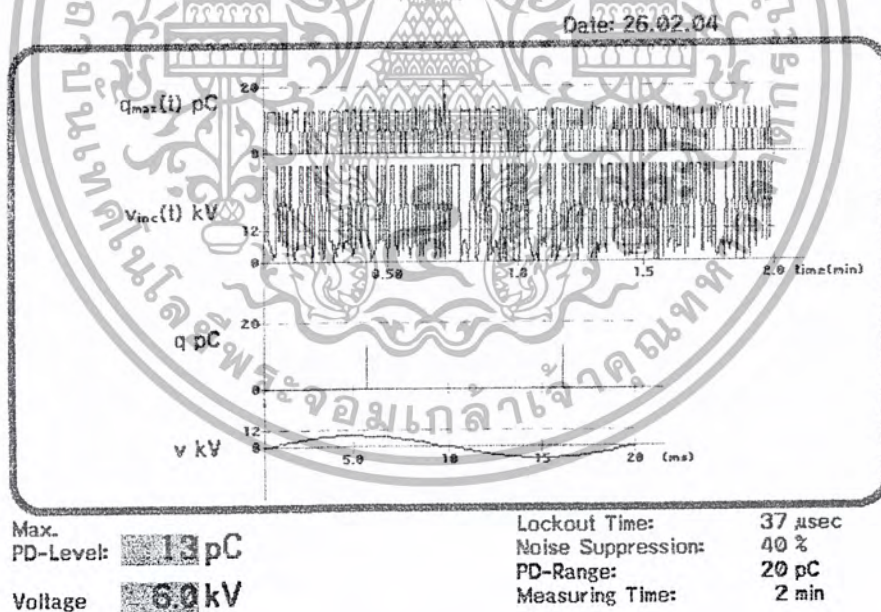
รูปที่ 6-84 การหาดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571 ที่ แรงดัน 6 kV

พบ PD 12 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนแบบ Measurement Routine : 15 sec ของสายเคเบิล

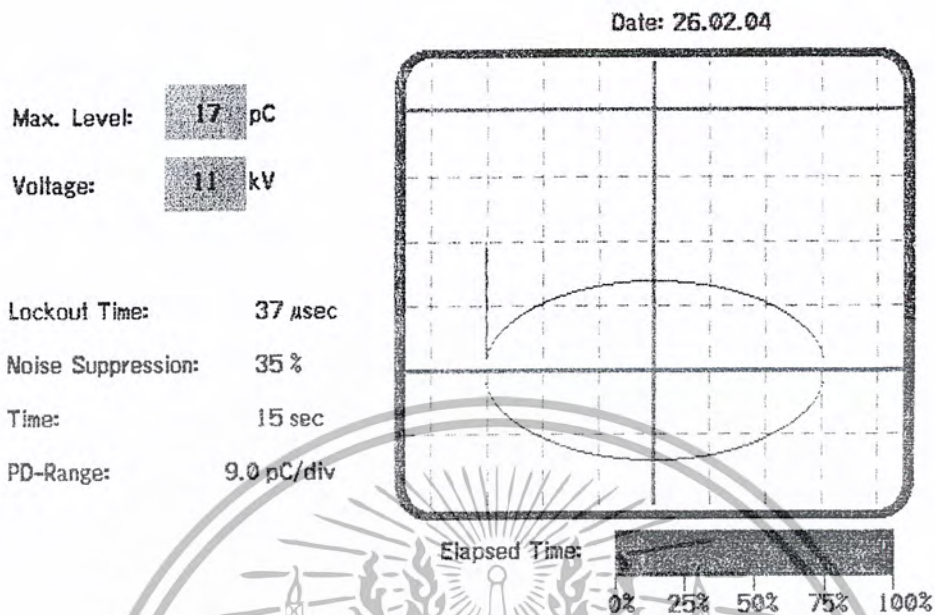


(ข) การทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนแบบ Measurement Analyzer : 2 min ของสายเคเบิล

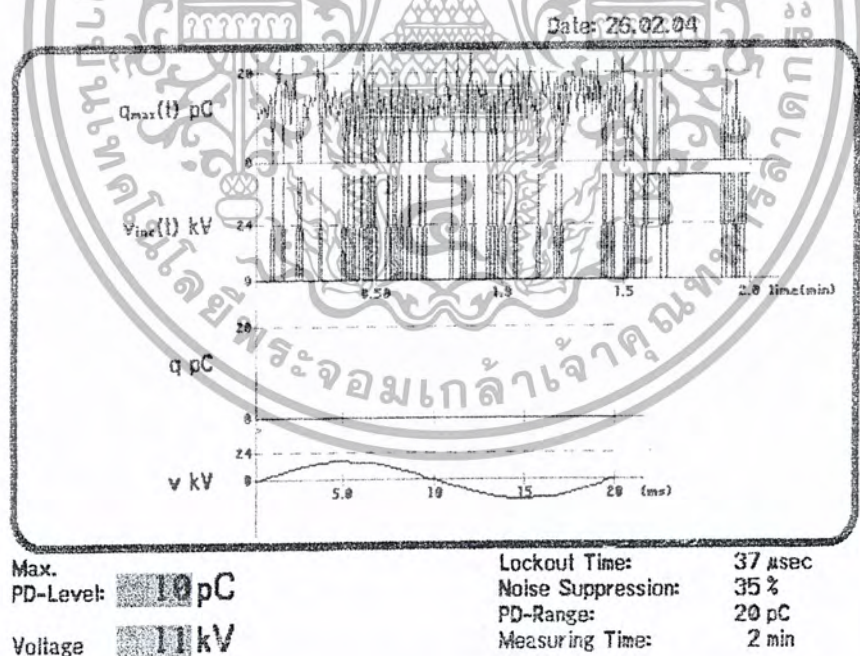
รูปที่ 6-85 การหาดิสชาร์จบางส่วนในแผ่นอะคริลิกพูนโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571 ที่ แรงดัน 6 kV

พบ PD 13 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนแบบ Measurement Routine : 15 sec ของสายเคเบิล



(ข) การทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนแบบ Measurement Analyzer : 2 min ของสายเคเบิล

รูปที่ 6-86 การหาดิสชาร์จบางส่วนในแผ่นอะคริลิกอากาศโดยใช้เครื่อง Haefely TE-571 ที่ แรงดัน 11 kV

พบ PD 10 pC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองในแบบ Off – line

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดนั้นเกณฑ์ในการทดสอบของเรานั้นจะอยู่ที่ตัวอะคริลิกที่ประกบกัน ซึ่งไม่ได้มีการเจาะรูหรือใส่สิ่งเจือปนลงไป ซึ่งในกรณีนี้เราจะถือว่าแผ่นอะคริลิกที่ประกบกันแบบนี้ว่ามันเป็นฉนวนที่อยู่ในสภาพที่ดี แต่ถ้าเราทำการเจาะรูแล้ว ทำการประกบอะคริลิกไม่ว่าจะเป็นรูเดียวหรือหลายรู (รูพรุน) หรือมีสิ่งเจือปนอยู่ในรูที่ทำการเจาะ (ในที่นี้เราจะใช้เศษเหล็กเป็นสิ่งที่เจือปน) ในกรณีแบบนี้เราจะถือว่าฉนวนนั้นไม่ดี หรือก็คือฉนวนนั้นไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ ดังนั้น เมื่อเราทำการทดสอบเราจะต้องหาค่าแรงดันเริ่มเกิด(voltage inception)ของฉนวนที่ดีก่อน ในที่นี้เราทราบว่ามีความเท่ากับ 9 kV ซึ่งมันจะหมายความว่าค่าแรงดันที่น้อยกว่า 9 kV นั้นฉนวนจะสามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้โดยไม่มีการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (ในที่นี้เราจะใช้ค่าแรงดันที่ใกล้กับค่าแรงดันเริ่มเกิด = 6, 8, 9, 10 kV) แล้วลองใช้ค่าแรงดันนี้กับวัตถุทดสอบที่มีขนาดเท่ากัน หนาเท่ากันแต่จะต่างกันโดยมันจะเป็นฉนวนที่ไม่ดี และตามผลจากการทดลองจะทำให้ทราบว่าฉนวนที่เกิดจากอะคริลิกที่มีรู กับอะคริลิกที่มีสิ่งเจือปน จะมีการดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นที่แรงดันเริ่มเกิดที่ต่ำกว่า 9 kV

การประยุกต์ใช้แบบ On-line

ในที่นี้เมื่อเราทำการวัดแบบ Off-line เสร็จแล้วต่อมาเราจะลองประยุกต์มาทำการวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนแบบ On-line โดยการใช้ การแปลงแอมป์เป็นโวลต์โดยในขั้นตอนการทำงานจะมีดังนี้

1. ทำการจ่ายแรงดันให้กับวัตถุฉนวนที่ไม่ดีซึ่งมีค่าเท่ากับ 8 kV
2. นำสัญญาณที่เป็นสายโพรบ 2 สายที่ต่อออกมาจากกล่องรวมสัญญาณสี่เหลี่ยมที่อยู่ใต้ C coupling โดยสายแรกจะเป็นสัญญาณแรงดันที่ถูกทำการแบ่งแรงดันมาแล้วจะถูกส่งต่อไปเข้ากับตัว PD Detector ต่อมาสายที่2 จะเป็นสายของสัญญาณสโคป ที่จับได้ โดยเราจะนำสายทั้ง2 มาต่อเข้ากับออสซิลโลสโคป แล้วทำการรวมสัญญาณทั้งสองโดยการใช้ฟังก์ชัน MATH (1) + (2) (probe ช่อง 1 บวก ช่อง2) ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นค่าของ PD รวมกันอยู่

3. นำสัญญาณที่ได้ไปทำการแตกกระจายสัมพันธ์กับโวลต์เพื่อที่จะสังเกตดูว่ามีสัญญาณพัลส์เกิดที่ความถี่ในช่วงที่เป็น PD อยู่หรือไม่ (ในที่นี้ย่านความถี่ของ PD ภายในจะอยู่ที่ 120 - 400 MHz) ถ้ามีอยู่ก็จะแสดงว่าการแปลงแอมป์ของเรานั้นสามารถที่จะหาได้ว่าวัตถุฉนวนชนิดใดมี PD หรือไม่

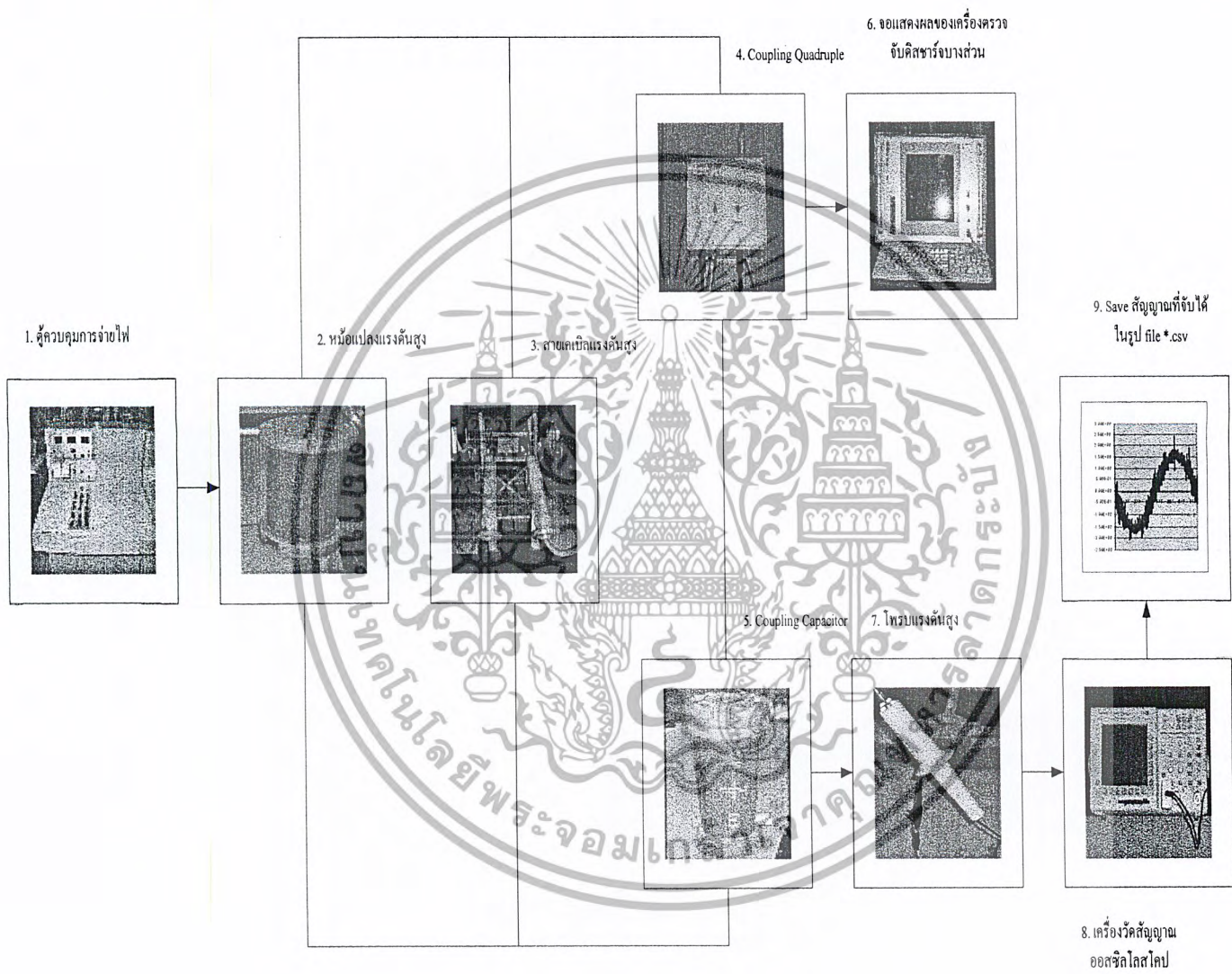
*****หมายเหตุ แต่เราไม่สามารถที่จะทำการเก็บสัญญาณไปทำการแปลงแอมป์แล้วดูช่วงความถี่ PD ได้ ก็เพราะว่าความถี่ที่เราต้องการที่จะจับนั้นมีความถี่สูงมากซึ่งการที่เราจะทำการจับสัญญาณนี้ได้นั้นเราจะต้องใช้ออสซิลโลสโคปที่มีความถี่สูงมากๆ

สรุปผลการทดลองแบบ On-line

จากการศึกษาและค้นคว้าจากเอกสารอ้างอิง[12] ซึ่งได้ใช้ spectrum analyzer model HP8595E ทำให้ทราบว่า การเกิดการดีสชาร์จแบบสุ่มในย่านความถี่เดียวกัน โคโรนาจะอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 138 MHz ถึง 410 MHz , ดีสชาร์จภายในจะอยู่ในย่านความถี่ 120 MHz ถึง 392 MHz และดีสชาร์จภายนอกจะสามารถมองเห็นได้ที่ย่านความถี่ตั้งแต่ 53 MHz 1.6 GHz และจากทฤษฎีการ Sampling ทำให้ทราบว่า สัญญาณควรจะถูก Sampling อย่างน้อยด้วยความถี่ Sampling มากกว่าหรือเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สูงสุดที่เราจะทำการประมาณผล และจากเอกสารอ้างอิง[5] ทำให้ทราบว่าแบนวิดท์ ที่ต้องใช้ในออสซิลโลสโคปจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง 1 kHz ถึง 1 GHz ดังนั้น ออสซิลโลสโคปที่จะนำมาใช้ในการจับสัญญาณดีสชาร์จภายในได้นั้นจะต้องมีความถี่ Sampling (fs) และแบนวิดท์ที่มีค่าดังกล่าว มาใช้ในการจับสัญญาณ แต่เนื่องจากว่า ออสซิลโลสโคปที่มีค่าดังกล่าว นั้น ทางคณะผู้ทดลองไม่สามารถหามาได้ ดังนั้นผู้ทดลองจึงไม่สามารถจับสัญญาณดีสชาร์จบางส่วนได้ แต่ถ้ามีออสซิลโลสโคปที่มีค่าดังกล่าวมานี้ แนวทางในการนำไปใช้นั้นจะนำสัญญาณที่ได้จากออสซิลโลสโคปไปทำการแตกสัญญาณโดยใช้วิธีเวฟเลทจากโปรแกรม Matlab แล้วดูความถี่ของสัญญาณที่เกิดขึ้นว่ามีความถี่ของสัญญาณดีสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นหรือไม่ ดังวิธีการทดลองที่ได้ทำมาแล้วข้างต้น

การนำประโยชน์ของ On-line ไปประยุกต์ใช้

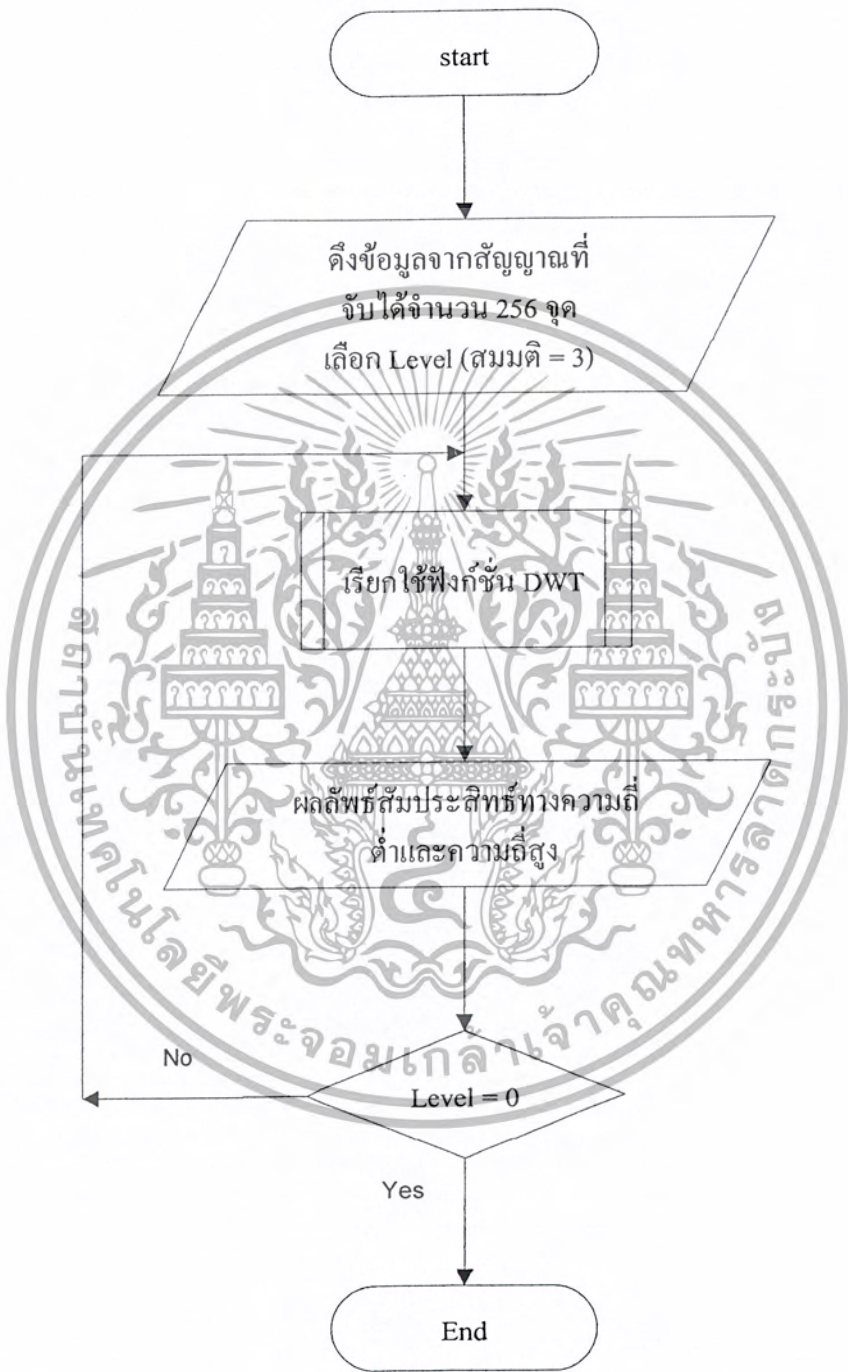
จากการศึกษาทดลองข้างต้น จะเห็นว่าเราสามารถนำประโยชน์จาก On-line partial discharge มาใช้ในทางอุตสาหกรรมได้ เช่น หากทางโรงงานต้องการตรวจสอบหาค่า PD ของอุปกรณ์ไฟฟ้า เราสามารถที่จะตรวจสอบได้โดยไม่ต้องทำการถอดอุปกรณ์ไฟฟ้าไปทำการทดสอบในห้องทดสอบ และยังถ้ามีอุปกรณ์ที่ต้องทำการตรวจสอบเป็นจำนวนมาก จะยังมีประโยชน์อย่างมากในเรื่องของการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายที่จะต้องถอดอุปกรณ์ไฟฟ้าไปทำการทดสอบในห้องทดสอบอีกด้วย



ก. แผนผังการต่อวงจรทดสอบหาคิสรูปร่างทั่ว

ภาคผนวก

ข. แผนผังการใช้โปรแกรมเวฟเล็ต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การเขียนโปรแกรมแปลงเวฟเล็ท

```
>> signal=signal4;
>> [C,L] = wavedec(signal,3,'db3');
A = appcoef(C,L,'db3',3);
D1 = detcoef(C,L,1);
D2 = detcoef(C,L,2);
D3 = detcoef(C,L,3);
>> plot(signal);
>> plot(signal);
>> subplot(5,1,1);plot(signal);axis([0 1002 -3 2]);
>> subplot(5,1,1);plot(signal);axis([0 1002 -3 2]);title('signal iron 8kV :s A3 D1 D2 D3');
>> subplot(5,1,2);plot(A3);axis([0 125.25 -3 2]);
>> subplot(5,1,2);plot(A3);axis([0 125.25 -5 5]);
>> figure(2);plot(D1);
>> subplot(5,1,3);plot(D1);axis([0 125.25 -1.5 1]);
>> subplot(5,1,3);plot(D1);axis([0 501 -1.5 1]);
>> subplot(5,1,4);plot(D2);axis([0 250.5 -1.5 1]);
>> subplot(5,1,5);plot(D3);axis([0 125.25 -1.5 1]);
```



จ. สรุปฟังก์ชันต่างๆที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเวฟเล็ต

ฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การกระจาย (Decomposition)

ฟังก์ชัน	ลักษณะการใช้งาน
dwt	การกระจายเวฟเล็ตหนึ่งระดับ
wavedec	การกระจายเวฟเล็ต
detcoef	การหาค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในส่วน detail
appcoef	การหาค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในส่วน approximation

ฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการสร้างกลับ (Reconstruction)

ฟังก์ชัน	ลักษณะการใช้งาน
idwt	การสร้างกลับเวฟเล็ตหนึ่งระดับ
upcoef	การสร้างกลับเดี่ยว (single reconstruction)
wrcoef	การสร้างกลับด้วยการเลือกระดับต่างๆ
waverec	การสร้างกลับเต็มระดับ (ตามระดับทั้งหมดที่กำหนด)

บรรณานุกรม

- [1] I. Shim, J.J. Soraghan, and W.H. Siew : “*Digital Signal Processing Applied to the Detection of Partial Discharge : An Overview*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 10, No. 5, pp. 6-12, May-June 2000.
- [2] I. Shim, J.J. Soraghan, and W.H. Siew : “*Application of Digital Signal Processing to the Detection of Partial discharge Part 2 : Optimized A/D Conversion*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 16, No. 4, pp. 11-15, July-August 2000.
- [3] I. Shim, J.J. Soraghan, and W.H. Siew : “*Detection of PD Utilizing Digital Signal Processing Methods Part 3 : Open-Loop Noise Reduction*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 17, No. 1, pp. 6-12, January-February 2001.
- [4] Partial Discharge Measurement, IEC Standard Publication 270, 1981.
- [5] N.H. Ahmed and N.N. Srinivas, “*On-line Partial Discharge Detection in Cables*”, IEEE Trans. Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 2, pp. 182-188, 1998.
- [6] N.H. Ahmed, O. Morel, N.N. Srinivas, “*Partial Discharge Measurement in Transmission Cable Terminations*”, IEEE Trans. Dielectric and Electrical Insulation, Nov., pp. 14-24, 1993.
- [7] Stone G.C., “*Partial Discharge-Part VII : Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 7, No. 4, pp. 9-16, July-August 1991.
- [8] S.A. Boggs and G.C. Stone, “*Fundamental Limitations in the Measurement of Corona and Partial Discharge*”, IEEE Trans. EI 17, pp. 143-150, 1982.
- [9] E. Kuffel and W.S. Zaengl, “*High Voltage Engineering : Fundamentals*”, Pergamon Press Ltd., 1st ed., 1984.
- [10] F.H. Kreuger, “*Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment*”, Temp Press Books Ltd., London, 1981.
- [11] J.C. Chan, P. Duffy, L.J. Hiivala, “*Partial Discharge Part VIII : PD Testing of Solid Dielectric Cable*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 7, No. 5, pp. 9-20, sept.-Oct., 1991.
- [12] Yu Ming and S. Birlasekaran, “*Characterization of Partial Discharge Signals Using Wavelet and Statistical Techniques*”, Conference IEEE Int.Symp. On EI, Boston, USA, April 7-10, 2002.
- [13] Y. Tian, A.E. Davies, “*Partial Discharge Detection in Cables Using VHF Capacitive Couplers*”, IEEE Trans. DEI, Vol.10, No.2, pp. 343-353, April 2003.
- [14] L.Satish and B.Nazneen, “*Wavelet-based Denoising of Partial Discharge Signals Buried in Excessive Noise and Interference*”, IEEE Trans. DEI, Vol.10, No.2, pp. 354-367, April 2003.

- [15]พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล, จงรักษ์ บุญเส็ง, กนกพล นาคะวิวัฒน์, “ข้อต่อสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE สำหรับการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ตอนที่ 1: การออกแบบและสร้างข้อต่อสายเคเบิล”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, พ.ย. 2544, หน้า 77-82.
- [16]พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล, จงรักษ์ บุญเส็ง, กนกพล นาคะวิวัฒน์, “ข้อต่อสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE สำหรับการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ตอนที่ 2: การทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิล”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, พ.ย. 2544, หน้า 83-88.
- [17]ทิวา แก้วจันทร์นันทน์ และ จงรักษ์ บุญเส็ง, “การประยุกต์ใช้งานการแปลงเวฟเล็ดแบบต่อเนื่องและเวฟเล็ดฟิลเตอร์แบบกึ่งเพื่อวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณทรานเซียนต์ซึ่งเกิดจากคาปาซิเตอร์สวิตชิง”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 26, พ.ย. 2546, หน้า 357-362.
- [18]ทิวา แก้วจันทร์นันทน์ และ จงรักษ์ บุญเส็ง, “การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของเตาหลอมเหนียวนา 3 เฟสในระบบไฟฟ้ากำลังโดยการแปลงเวฟเล็ดแบบต่อเนื่อง”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 26, พ.ย. 2546, หน้า 56-62.
- [19]สมชาย ภิญโญ, จงรักษ์ บุญเส็ง และ มณฑล ลีสานจินดาไกรฤกษ์, “การศึกษาทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการแยกสัญญาณโดยวิธีเวฟเล็ดแบบหลายระดับความละเอียด”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, พ.ย. 2544, หน้า 106-111.
- [20]ณรงค์ ทองลิ้ม, ดร. ตำรวัย ตั้งษ์สะอาด, “การพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, หน้า 33-42.
- [21]มนัส ตั้งวรศิลป์ และวรัณณ์ ภัทรอมรกุล, “คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์”, พิมพ์ครั้งที่ 1, นนทบุรี : อินโฟเพรส, 2543

