

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาปรับปรุงโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงใหม่ของ สจล.

Development of The New High Voltage Laboratory of KMITL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 55616  
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

ใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
b.....  
i.....

ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การพัฒนาปรับปรุงโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงใหม่ของ สจล.

Development of The New High Voltage Laboratory of KMITL

ผู้จัดทำ

1. นายทวีชัย เทิดไทรรงค์ รหัสนักศึกษา 44015109
2. นายธวัช แดงโสภา รหัสนักศึกษา 44015147
3. นายสุธี บุตรกร รหัสนักศึกษา 44015177



  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ. สิริวัฒน์ โพธิ์วงกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การพัฒนาปรับปรุงโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงใหม่ของ สจล.

นายทวีชัย เทิดไทรรงค์ 44015109

นายธวัช แดงโสภา 44015147

นายสุธี บุตรกร 44015177

รศ. ศิริวัฒน์ โทธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2546

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นผลการศึกษาและพัฒนาโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่ของสถาบัน ซึ่งเป็นการศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องทดสอบและอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่และทำการย้ายและติดตั้ง พร้อมทั้งพัฒนาซอฟต์แวร์เครื่องทดสอบให้อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน จากการพัฒนาและทำการใช้งานทดสอบจะนำผลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC ซึ่งได้แก่เครื่องทดสอบดีสซาร์จบางส่วน ผลการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 270 และ IEC 884, เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 200 กิโลโวลต์ ผลการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60, เครื่องวัดพลังงานสูญเปล่า ไดอิเล็กตริกผลการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 502, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง 100 กิโลโวลต์, หม้อแปลงทดสอบ 400 กิโลโวลต์ 200 กิโลเอิร์ต, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 600 กิโลโวลต์ ได้ทำการตรวจซ่อมและผลการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐานการเบรกคาวน์, เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 กิโลโวลต์ ได้ทำการย้ายและติดตั้งในโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่ อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 52 จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องทดสอบในโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่ได้ผลตามมาตรฐานที่อ้างอิง

ข้อมูลการศึกษาและพัฒนาโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่นี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Development of The New High Voltage Laboratory of KMITL

Taweechai Thirdtrirong

Tawat Tangsopa

Sutee Budgon

Assoc. Prof. Siriwat Potivetjkul Advisor

### ABSTRACT

This project present development of the new high voltage laboratory of KMITL and research how to use the machine test and the equipment in the new high voltage laboratory. Install, check, repair the machine test can use, test and evaluate it. The evaluate is base on the criteria of IEC in order to meet the standard that is partial discharge reference with IEC 270 and IEC 884, impulse generator 200 kV reference with IEC 60, dielectric loss measurement reference with IEC 502, AC high voltage generator 100 kV, tesla transformer 400 kV, DC high voltage generator 600 kV reference with breakdown standard, impulse generator 1500 kV moved and installed in new high voltage laboratory reference with IEC 52, the result of testing meet the machine test in the new high voltage laboratory can be use according to standard in another part.

Data from the study and develop the new high voltage laboratory will is base on the future researching it.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิติกรรมประกาศ

การทำโครงการเรื่องการพัฒนาปรับปรุงโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงของสถาบันได้รับการสนับสนุนและช่วยเหลือด้านคำแนะนำปรึกษาจาก รศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งพี่ไชยพร ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการจัดวางและติดตั้ง Impulse Generator 1500 kV รวมถึงได้รับความอนุเคราะห์ในด้านยานพาหนะที่สำหรับใช้เคลื่อนย้าย อุปกรณ์ต่างๆ ตัวอย่างสายไฟแรงสูงขนาดต่างๆ เพื่อนำมาทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบต่างๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงจาก พี่สาธิต และบริษัท จรุงไทย ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านอย่างที่สุด

นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอพระคุณ พี่สมศักดิ์ ที่คอยดูแลคุ้มครอง Impulse Generator 1500 kV เป็นอย่างดี คอยให้คำปรึกษาทุกเรื่องกับโครงการนี้ ขอขอบคุณลุงยวง ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับนั่งร้านและรอกเพื่อทำการย้ายและติดตั้งเครื่อง Impulse Generator 1500 kV รวมทั้งขอขอบคุณ พี่เอก พี่อิน พี่อนุหมู พี่อนุลก พี่อนุโชค พี่อนุเม็ก พี่อนุเป๊ะ และเพื่อนๆ น้องๆ อีกหลายคนที่ทำให้ความช่วยเหลือในเรื่องใช้แรงยกฐาน Impulse ทั้งฐานซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 200 kg เพื่อย้ายมาติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงห้องใหม่และ Capacitor ทุกๆ ตัวให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติมิตรที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกให้คณะผู้จัดทำเสมอมา

ทวิชัย เกิดไตรรงค์  
ธวัช แดงโสภา  
สุธี บุตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสสลับความถี่ต่ำ	3
2.2 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสสลับความถี่สูง	5
2.3 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	7
2.4 การวัดพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก	9
2.5 หลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์	11
2.5.1 ข้อกำหนดรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์	12
2.5.2 วงจรพื้นฐานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	14
2.5.3 ขนาดแรงดันทดสอบ	16
2.6 ดิซชาร์จบางส่วน (Partial Discharge)	19
2.6.1 รูปแบบการเกิดดิซชาร์จบางส่วน	20
2.6.1.1 โครนาดิซชาร์จ	21
2.6.1.2 ดิซชาร์จบางส่วนตามผิว	22
2.6.1.3 ดิซชาร์จบางส่วนภายใน	24
2.6.2 ผลที่ตามมาของการเกิดดิซชาร์จบางส่วน	24
2.6.3 ความสำคัญของการตรวจจับดิซชาร์จบางส่วน	24
2.6.4 การตรวจจับดิซชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง	25
2.6.5 วงจรสมมูลย์ดิซชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้า	25
2.6.6 ดิซชาร์จบางส่วนภายในสายเคเบิลไฟฟ้าแรงดันสูง	27
2.6.7 ธรรมชาติการเกิดดิซชาร์จบางส่วน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7.1	การเกิดดีสชาร์จซ้ำ	28
2.6.7.2	ลักษณะรูปร่างกระแสดีสชาร์จบางส่วน	29
2.6.8	หลักการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน	30
2.6.9	วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน	30
2.6.10	การวิเคราะห์วงจรตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน	32
2.6.11	การแสดงผลของดีสชาร์จบางส่วน	34
2.6.12	เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน	34
2.6.13	เทคนิคการวัดดีสชาร์จบางส่วน	36
2.6.14	การวัดดีสชาร์จบางส่วนสำหรับสายเคเบิล	38
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีการใช้งานและสิ่งที่ได้ปฏิบัติเกี่ยวกับอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง</b>	<b>42</b>
3.1	เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง (ทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน)	43
3.2	หม้อแปลงเทสตา 400 kV 200 kHz	44
3.3	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	47
3.4	เครื่องวัดพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก	49
3.4.1	พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก	50
3.4.2	มาตรฐานและหัวข้อการทดสอบ	50
3.4.3	การทดสอบในหัวข้อ Accelerated Water Absorption	50
3.4.4	การทดสอบในหัวข้อ Tan $\delta$ Measurement ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 (1998)	51
3.4.5	การทดสอบในหัวข้อ Tan $\delta$ Measurement ตามมาตรฐาน IEC 502 (1994)	51
3.5	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 200 kV)	54
3.6	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 1500 kV)	57
3.6.1	ส่วนประกอบที่สำคัญ	57
3.6.1.1	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator)	58
3.6.1.2	เครื่องอัดประจุ (Charging)	58
3.6.1.3	เครื่องควบคุม (Control Unit)	59
3.6.1.4	ทรงกลมมาตรฐาน (Standard Sphere Gaps)	59
3.6.1.5	ตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน (Capacitor Voltage Divider)	60
3.6.2	วิธีการย้ายเครื่อง	60
3.6.2.1	ตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ	61
3.6.2.2	วิธีการถอดอุปกรณ์แต่ละชิ้น	66
3.6.2.3	วิธีการย้ายอุปกรณ์	68
3.6.2.4	การทดสอบค่า Capacitance และค่า Resistance	68
3.6.2.5	ตำแหน่งและวิธีการติดตั้ง	68
3.7	การใช้งานเครื่อง AC Dielectric Test Set, (Partial Discharge)	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF	71
3.7.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่อง	72
3.7.1.2 ปุ่มควบคุมและหน้าจอแสดงผล	74
3.7.1.3 วิธีการใช้งานเครื่อง	74
3.7.2 Digital PD Detector, DDX-9101	75
3.7.2.1 ลักษณะภายนอกของเครื่อง	78
3.7.2.2 การใช้งานเครื่อง PD Detector, DDX-9101	79
3.7.2.2.1 Display Layout	80
3.7.2.2.2 การกำหนดค่าของระบบขณะทำการวัดสัญญาณ	82
3.7.3 การใช้งานซอฟต์แวร์ Remote 9101	88
3.7.3.1 การกำหนดค่าขณะทำการวัดสัญญาณ	89
3.7.4 การทำรายงานผลการทดสอบอุปกรณ์	92
3.7.4.1 แอปพลิเคชันที่ต้องมีการใช้งาน	92
บทที่ 4 การทดสอบอุปกรณ์และผลการทดสอบ	96
4.1 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง (ทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน)	96
4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (DC Generator 600 kV)	100
4.3 เครื่องวัดพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก	106
4.4 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 200 kV)	108
4.5 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 1500 kV)	111
4.6 เครื่อง AC Dielectric Test Set (partial discharge)	115
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์การดำเนินงานทั้งหมด	129
ภาคผนวก	131
บรรณานุกรม	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรหม้อแปลงเตสลา	6
รูปที่ 2.2 วงจรเรกติฟายเออร์คึ่งคลื่น	8
รูปที่ 2.3 วงจรเรกติฟายเออร์เต็มคลื่น	8
รูปที่ 2.4 เฟสเซอร์แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดัน ในคาปาซิเตอร์	9
รูปที่ 2.5 วงจร Schering bridge	10
รูปที่ 2.6 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะเต็มคลื่น	12
รูปที่ 2.7 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะคลื่นตัดที่หลังคลื่น	13
รูปที่ 2.8 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะคลื่นตัดที่หน้าคลื่น	13
รูปที่ 2.9 แรงดันอิมพัลส์สวิตซิ่ง	14
รูปที่ 2.10 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หนึ่งขั้น	14
รูปที่ 2.11 รูปแบบของดิสชาร์จบางส่วน	20
รูปที่ 2.12 ลักษณะโคโรนาดีสชาร์จ	21
รูปที่ 2.13 ลักษณะแรงดันและกระแส โคโรนาจากไอเสกโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน	22
รูปที่ 2.14 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว	23
รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลย์ PD เฉพาะส่วนของโพรงก๊าซ	26
รูปที่ 2.16 แสดงความจุไฟฟ้าของก๊าซรอบๆ	27
รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลย์การเกิด PD ในสายเคเบิล	28
รูปที่ 2.18 แสดงแรงดันตกคร่อม โพรงก๊าซและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD	29
รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับแคปเล็กๆ	29
รูปที่ 2.20 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจจับ PD	30
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการทดสอบ PD ในสายเคเบิลแรงสูง	31
รูปที่ 2.22 แทน PD ด้วยวงจรสมมูลย์แบบต่างๆ	33
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ	34
รูปที่ 2.24 สัญญาณรบกวนที่แทรกเข้ามาในขณะวัด	35
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างวงจรการลดสัญญาณรบกวน	36
รูปที่ 2.26 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ	37
รูปที่ 2.27 การเกิดคลื่นจรขณะเกิด PD ในสายเคเบิลยาว	38
รูปที่ 2.28 การเกิดชูปเปอร์โพสิชันสัญญาณเอาท์พุทของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่างๆ	39
รูปที่ 2.29 วงจรตรวจสอบชูปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ	40
รูปที่ 2.30 ไดอะแกรมพัลส์คู่เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิล	40
รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมพัลส์คู่เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิลเข้าไปด้วย	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1	แบบแปลนห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงตึกใหม่	42
รูปที่ 3.2	ชุดทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน	43
รูปที่ 3.3	หม้อแปลงเทสลา	45
รูปที่ 3.4	Simulation Model ของวงจรสมมุทธ์หม้อแปลงเทสลา	45
รูปที่ 3.5	ผลการ Simulation ของหม้อแปลงเทสลา	46
รูปที่ 3.6	การวางไฟตามผิวลูกถ้วยทดสอบ	46
รูปที่ 3.7	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	47
รูปที่ 3.8	การต่อสายภายในชุดคอนโทล	47
รูปที่ 3.9	Magnetics Contector ที่ทำการเปลี่ยนเนื่องจากหน้าคอนแทกตัวเก่าเกิดอาร์คติดกัน	48
รูปที่ 3.10	วงจรกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	48
รูปที่ 3.11	วงจรคอนโทลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	49
รูปที่ 3.12	วงจรทดสอบหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังสูญเสียไดอิเล็กตริก	52
รูปที่ 3.13	แสดงการต่อวงจรในการวัดค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก	53
รูปที่ 3.14	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 200 kV	55
รูปที่ 3.15	วงจรสมมุทธ์เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	55
รูปที่ 3.16	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV	57
รูปที่ 3.17	การต่อสายของชุดคอนโทลเข้ากับชุดชาร์จเจอร์	61
รูปที่ 3.18	การต่อสายเอาท์พุทจากชุดชาร์จเจอร์เข้ากับชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	61
รูปที่ 3.19	การติดตั้งฐานเหล็กเพื่อเป็นที่จับยึดของอุปกรณ์ต่างๆ	62
รูปที่ 3.20	แสดงการติดตั้งของลูกถ้วยฉนวนที่ลิ้นระหว่างชั้น	62
รูปที่ 3.21	การจับยึดของคาปาซิเตอร์กับ โครงเหล็ก	63
รูปที่ 3.22	การต่ออนุชิ่งของคาปาซิแตนซ์เข้ากับค่าความต้านทาน	63
รูปที่ 3.23	การต่อ Sphere gap กับความต้านทาน (Damping Resister) และตัวยึด	64
รูปที่ 3.24	การยึด Supportor กับ โครงเหล็กเพื่อเป็นตัวดึงทั้ง 4 มุม	64
รูปที่ 3.25	การต่อฉนวนแผ่นพลาสติกระหว่าง โครงเหล็กกับตัวยึด Sphere gap	65
รูปที่ 3.26	การต่อตัวต้านทาน (Charging Resister) เข้ากับ โครงเหล็ก	65
รูปที่ 3.27	การเชื่อมต่อ Sphere gap ตัวแรก	66
รูปที่ 3.28	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ก่อนการย้าย	67
รูปที่ 3.29	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขณะทำการย้าย	67
รูปที่ 3.30	การทดสอบค่า Capacitance	68
รูปที่ 3.31	แบบแปลนในการติดตั้งเครื่อง (Impulse Generator 1500 kV)	70
รูปที่ 3.32	PD Test System	71
รูปที่ 3.33	แสดงตำแหน่งด้านหน้าของเครื่อง AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF	72
รูปที่ 3.34	แสดงการทำงานในระบบอัตโนมัติ	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.35 จุดต่อสายทางด้านหลังเครื่อง	78
รูปที่ 3.36 แสดงการเชื่อมต่อของเครื่อง PD Detector รุ่น DDX-9101 กับ PSX100/1/DDX	78
รูปที่ 3.37 ลักษณะด้านหน้าของเครื่อง PD Detector, DDX-9101	79
รูปที่ 3.38 Status Area Indicators	80
รูปที่ 3.39 การแสดงผลเชิงตัวเลข	81
รูปที่ 3.40 การแสดงผลในรูปแบบของกราฟ	82
รูปที่ 3.41 แสดง Main menu ซึ่งเป็นหน้าแรกในการเปิดเครื่อง	83
รูปที่ 3.42 แสดงการต่อ C-calibrator	83
รูปที่ 3.43 แสดงหน้าจอขณะทำการคาลิเบรต	84
รูปที่ 3.44 แสดงหน้าจอในเมนูคาลิเบรต	84
รูปที่ 3.45 แสดงเมนูในหน้า Amplifier	85
รูปที่ 3.46 Gating mode off	86
รูปที่ 3.47 Gating mode ON	86
รูปที่ 3.48 เมนูที่ให้เราได้ใส่ค่า PD ที่เรายอมรับได้สำหรับอุปกรณ์ทดสอบ	87
รูปที่ 3.49 เมนู configure	87
รูปที่ 3.50 แสดงหน้าจอตอนเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้ว	89
รูปที่ 3.51 ทำการบันทึกกราฟที่วัดค่าได้	90
รูปที่ 3.52 แสดงการใช้งานการบิคช่วงสัญญาณ	91
รูปที่ 3.53 แสดงการคาลิเบรตเสร็จเรียบร้อยแล้ว	92
รูปที่ 3.54 แถบเครื่องมือที่ต้องมีการใช้งาน (Foolbar)	92
รูปที่ 3.55 หน้าต่าง Test report	93
รูปที่ 3.56 หน้าต่างขณะทำการบันทึกผลการทดสอบ	93
รูปที่ 4.1 แรงดันเบรกคาวนของเครื่องจ่ายแรงดันกระแสสลับแรงสูง	99
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดันเบรกคาวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	105
รูปที่ 4.3 วงจรทดสอบหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสีย ไอเดียเลกตริก	106
รูปที่ 4.4 กราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้าที่แรงดันอัดประจุ $62.5 \text{ kV/stage } R_0 = 65 \Omega$	110
รูปที่ 4.5 กราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้าที่แรงดันอัดประจุ $-62.5 \text{ kV/stage } R_0 = 65 \Omega$	110
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะแกบกับแรงดันเบรกคาวน	112
รูปที่ 4.7 กราฟแสดง Starting Characteristic สำหรับแรงดันอัดประจุบวก	113
รูปที่ 4.8 กราฟแสดง Starting Characteristic สำหรับแรงดันอัดประจุลบ	114
รูปที่ 4.9 การต่อคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบเพื่อทำการคาลิเบรต	115
รูปที่ 4.10 แสดงหน้าจอขณะทำการเชื่อมต่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว	116
รูปที่ 4.11 แสดงหน้าจอขณะทำการคาลิเบรตเสร็จเรียบร้อยแล้ว	116
รูปที่ 4.12 หน้าต่าง Test report	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงกระแสสูงสุดที่ใช้ทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำ	5
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการฉนวนระดับ $1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$	16
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการฉนวนระดับ $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$	17
ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการฉนวนระดับ $U_m \geq 300 \text{ kV}$	18
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่อง AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF	72
ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของระบบอัตโนมัติ	74
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลทางเทคนิคทั่วไปของเครื่อง PD Detector, DDX-91101	76
ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคทั่วไปของเครื่อง PD Detector, DDX-91101	77
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลการทดสอบที่โปรแกรมบันทึกในรูปแบบของไฟล์ HTML	94
ตารางที่ 3.4 (ต่อ) ตัวอย่างผลการทดสอบที่โปรแกรมบันทึกในรูปแบบของไฟล์ HTML	95
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม	97
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม	97
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม	98
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม	98
ตารางที่ 4.5 แรงดันเบรกควานอนวนน้ำมัน	99
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม	101
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม	102
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม	103
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม	104
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบสายเคเบิลแรงสูง	107
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าคาปาซิแตนซ์ของ Impulse Generator 1500 kV	107
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ Impulse Generator 200 kV	109
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	118
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	119
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	120
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	121
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	122
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	123
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	124
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	125
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโพลีเอทิลีน	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโหลดทดสอบ	127
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโหลดทดสอบ	128



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นสิ่งที่สำคัญมากในระบบส่งจ่าย เพราะค่าความสูญเสียในสายส่งจะมีค่าน้อยกว่าในกรณีการส่งจ่ายด้วยไฟฟ้าแรงดันต่ำ ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้าแรงดันสูงจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบก่อนทุกครั้ง ก่อนนำไปใช้งานจะทำให้ระบบการส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับภาควิศวกรรมไฟฟ้ากำลังที่มีโรงประลองไฟฟ้าแรงดันสูงแห่งใหม่จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดสอบทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง รวมถึงการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อให้อุปกรณ์ทดสอบสามารถใช้งานได้ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

### 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

จะเป็นการศึกษาและเรียนรู้วิธีการทดสอบฉนวนด้วยเครื่อง Partial Discharge รวมไปถึงการย้ายและติดตั้งเครื่อง Impulse Generator 1500 kV 11 stages และทำการซ่อมแซมบำรุงรักษาเครื่องทดสอบทุกตัวให้อยู่ในสถานะพร้อมใช้งานแล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบไปเทียบกับมาตรฐาน เช่น IEC 270 , IEC 60 และ IEC 884

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อเครื่องทดสอบทุกเครื่องอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและวิจัยในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงดันสูง อีกทั้งยังทำให้นักศึกษาภาควิศวกรรมไฟฟ้าได้เรียนรู้ถึงวิธีการใช้และขั้นตอนการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆก่อนนำไปใช้งาน

### 1.4 วิธีดำเนินงาน

#### ภาคเรียนที่ 1

- ศึกษาทฤษฎีและวิธีการทดสอบของเครื่องทดสอบในโรงประลองไฟฟ้าแห่งใหม่
- ศึกษามาตรฐานการทดสอบอุปกรณ์ IEC
- นำผลการทดสอบของแต่ละเครื่องมาเทียบกับค่าที่มาตรฐานกำหนด
- ทำการซ่อมแซมเครื่องทดสอบที่มีสภาพใช้การไม่ได้
- ทำการทดสอบหลังทำการซ่อมแซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคเรียนที่ 2

- ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องทดสอบคิซซาร์บางส่วน
- ทำการซ่อมมอสซิสไดสโคปของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 200 kV
- ศึกษาส่วนประกอบต่างๆ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV เพื่อเตรียมการย้ายไปติดตั้งที่โรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่
- วางแผนการถอดอุปกรณ์ การเคลื่อนย้าย การเตรียมการติดตั้งเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV
- ทำการย้ายเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV
- ทำการติดตั้งและทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV
- เก็บผลการทดสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าแรงสูงของทุกเครื่อง
- จัดทำปฏิญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการหรือแนวความคิดที่นำไปใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องมือเครื่องวัดทางไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้ในห้องทดลอง เพื่อทำการทดสอบอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อเรามีความเข้าใจถึงหลักการสร้างและหลักการงานเกี่ยวกับเครื่องมือทดสอบเป็นอย่างดีแล้วจะทำให้การใช้งานเครื่องเหล่านี้ได้อย่างถูกต้อง การดำเนินการทดสอบก็จะสามารถทำให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้องเช่นกัน

### 2.1 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสสลับความถี่ต่ำ

แรงดันสูงกระแสสลับความถี่ต่ำอาจได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือได้มาจากการแปลงแรงดันให้สูงขึ้นด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า

#### เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีการฝังขดลวดหุ้มฉนวนลงไปในร่องแกนเหล็ก การฉนวนดังกล่าวนี้ไม่เหมาะสำหรับการสร้างแรงดันสูงๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ขดลวดของสเตเตอร์จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง ทำให้เกิดฉีกขาดตามผิวได้ง่าย การเพิ่มความหนาของฉนวนเพื่อความคงทนต่อแรงดันมีขีดจำกัดในเรื่องอุณหภูมิอันเนื่องมาจากกำลังงานสูญเสียในฉนวน ฉนวนเหล่านี้ไม่อาจจะใช้ได้ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไปจะสามารถสร้างแรงดันได้สูงเพียง 30-35 kV เท่านั้น โชคดีที่เรายังสามารถแปลงแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

#### หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับถ่ายทอดกำลังงานไฟฟ้าจากแรงดันระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่งอาจสูงขึ้นหรือต่ำลง หรือแรงดันอาจเท่าเดิมก็ได้ เช่น หม้อแปลงขดลวดแยก (Isolating transformer) การทำงานของหม้อแปลงอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของขดลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

#### หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

หม้อแปลงที่ใช้ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังแรงสูงส่วนใหญ่จะเป็นหม้อแปลงสามเฟส ในกรณีแรงดันระบบสูงมาก เช่น ในระบบ EHV หรือ UHV จะใช้หม้อแปลงเฟสเดียว 3 ตัวมาต่อรวมเข้าด้วยกันเป็นสามเฟส หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปกติแกนแม่เหล็กจะต่อลงดินขดลวดแรงดันต่ำจะพันอยู่ติดกับแกนเหล็ก ส่วนขดลวดแรงดันสูงจะพันอยู่รอบนอก คือ จะอยู่ห่างจากแกนแม่เหล็กมากกว่าขดลวดแรงดันต่ำเพื่อวัตถุประสงค์ในการฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเท่าที่ใช้กันส่วนมากในปัจจุบันนี้เป็นคำนวณผสมระหว่างน้ำมันหม้อแปลงกับกระดาษอัด การคำนวณดังกล่าวมีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 3 ประการ คือ

- เพื่อเป็นการคำนวณทางไฟฟ้าระหว่างรอบขดลวดและระหว่างชั้นขดลวด
- รับแรงกลจากน้ำหนักโครงสร้างและแรงกลไดนามิกส์ที่เกิดจากการสั่นพ้อง
- เป็นตัวระบายความร้อน

### หม้อแปลงทดสอบ

หม้อแปลงทดสอบเป็นหม้อแปลงใช้สร้างแรงดันสูงสำหรับใช้ทดสอบวัสดุฉนวนหรืออุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ในระบบส่งจ่ายแรงสูง เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับแรงสูง อุปกรณ์วัดแรงดันและกระแสที่ระดับสูง วิจัยปัญหาความเปราะโผล่บนลูกถ้วยฉนวน หากคุณลักษณะของลูกถ้วยที่สภาวะบรรยากาศต่างๆ วัสดุสารฉนวนบางส่วนในวัสดุฉนวน ก๊าซ ฉนวนเหลวและฉนวนแข็งหรือผสมกัน แรงดันของหม้อแปลงทดสอบสามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ค่าต่ำๆ ขึ้นไปจนถึงค่าที่ต้องการ

หม้อแปลงทดสอบมักจะเป็นเฟสเดียว มีพลังงานต่ำเมื่อเทียบกับหม้อแปลงกำลังแต่มีแรงดันสูง แรงดันทางด้านจ่ายออกอาจปรับ โดยการปรับแรงดันทางด้านที่ป้อนเข้าด้วยหม้อแปลงปรับแรงดัน (regulator)

หม้อแปลงทดสอบจะกำหนดด้วย

- แรงดันที่ป้อนเข้าและแรงดันที่จ่ายออก
- กระแสที่ป้อนเข้าและกระแสที่จ่ายออก
- กำลังงานที่กำหนดของหม้อแปลง
- แรงดันลัดวงจรเมื่อเกิดวาบไฟตามผิว (short circuit voltage or impechance voltage) หรือเกิดเบรกควาน์ที่วัสดุทดสอบ
- ระดับแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด (Corona inception level)
- ความถี่ (อยู่ในย่านความถี่พลังงาน)
- ลักษณะการฉนวนและโครงสร้าง ซึ่งทั่วไปการฉนวนจะเป็นแบบกระดาษและน้ำมันหรือก๊าซอัดความดัน เช่น SF<sub>6</sub> เป็นต้น ถ้าแรงดันสูงไม่มากนักก็อาจจะเป็นสารสังเคราะห์

การกำหนดขนาดแรงดันของหม้อแปลงทดสอบขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันทดสอบสูงสุดที่มีโอกาสจะใช้ อย่างน้อยที่สุดจะต้องสูงกว่าค่าแรงดันคงทนอยู่ได้ของวัสดุทดสอบที่ใช้กับระบบแรงดันที่กำหนด ในกรณีที่ต้องการทดสอบให้เกิดการวาบไฟตามผิว เกิดเบรกควาน์หรือเจาะผ่าทะลุ แรงดันที่ใช้ทดสอบจะต้องสูงมากขึ้นให้เพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์นั้น เมื่อคำนึงถึงประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน แรงดันที่กำหนดของหม้อแปลงทดสอบควรจะสูงกว่าแรงดันทดสอบประมาณ 10 ถึง 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่กำหนดของหม้อแปลงทดสอบขึ้นอยู่กับวัสดุทดสอบ กล่าวคือวัสดุทดสอบบางอย่างใช้กระแสมาก บางอย่างใช้กระแสน้อย ฉะนั้นหม้อแปลงทดสอบจะต้องสามารถจ่ายกระแสให้กับวัสดุทดสอบได้อย่างพอเพียงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงกระแสสูงสุดที่ใช้ทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำ

วัสดุทดสอบ	กระแสที่ต้องการใช้ทดสอบ
ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า (insulators) ปลอกฉนวนสายไฟ (bushing) หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับมิเตอร์ (CT, PT) เครื่องตัดต่อวงจร (C.B.)	0.1 ถึง 0.5 A
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	0.5 ถึง 1 A
เคเบิล	1 A หรือมากกว่า

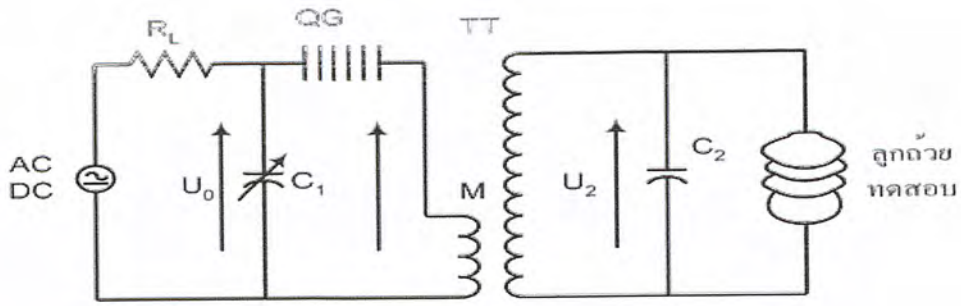
## 2.2 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสสลับความถี่สูง

โดยปกติแรงดันความถี่สูงมีใช้ในระบบสื่อสาร ฉะนั้นการทดสอบอุปกรณ์สื่อสารนั้นจึงทดสอบด้วยความถี่สูงเหมือนเมื่อใช้งานปกติแต่แรงดันจะต่ำ ทางสาขาไฟฟ้ากำลังนั้นมีที่ใช้น้อย ในทางภาคปฏิบัติแรงดันสูงความถี่สูงนี้จะใช้ในการทดสอบลูกถ้วย ปลอกฉนวนนำสาย โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตลูกถ้วยต้องมีการทดสอบด้วยแรงดันความถี่สูงเป็นการทดสอบประจำ (Routine test) คือ ทำการทดสอบลูกถ้วยทุกลูก เพื่อทำการตรวจสอบความบกพร่องในเนื้อเซรามิกส์ หากมีความบกพร่องมากแรงดันความถี่สูงจะทำให้เกิดความร้อนและทำให้เกิดการผ่าทะลุลูกถ้วย ไม่เกิดวาวไฟตามผิว ลักษณะเช่นนี้ถือว่าลูกถ้วยบกพร่อง แต่ถ้าเป็นลูกถ้วยดีมีเนื้อเซรามิกส์ดีก็จะสังเกตเห็นประกายไฟตามผิวภายนอก และที่แรงดันทดสอบมีความถี่สูง จะช่วยให้สายตาคนเราสามารถสังเกตเห็นประกายวาวไฟตามผิวได้ง่าย โดยจะใช้งานที่ความถี่ในช่วง 100-200 kHz

### วงจรสร้างแรงดันสูงความถี่สูง

แรงดันความถี่สูงในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้กันอยู่ในทางภาคปฏิบัตินั้นได้จากหม้อแปลงเทสลา (Tesla transformer) ซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดป้อนแรงดันเข้าเป็นด้านแรงดันต่ำ ส่วนอีกด้านหนึ่งที่เป็นขดลวดจ่ายแรงดันออกเป็นขดลวดแรงสูง ขดลวดทั้งสองถ่ายทอดพลังงานทางสนามแม่เหล็กผ่านแกนอากาศ ซึ่งจะทำให้ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance) มีค่าต่ำ ขดลวดทางด้านป้อนแรงดันเข้าจะต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ทางด้านแรงสูงจะมีขดลวดแรงสูง ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นค่าความจุไฟฟ้ารวมของขดลวดแรงสูงของวัสดุทดสอบและของอุปกรณ์วัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรหม้อแปลงเทสลา

จากรูป 2.1 ตัวจ่ายกำลังอาจจะเป็นกระแสสลับหรือกระแสตรงก็ได้ ป้อนแรงดันประมาณ 20-30 กิโลโวลต์ ให้กับตัวเก็บประจุ  $C_1$  ผ่าน  $R_L$  ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสอัดประจุให้  $C_1$  เมื่ออัดประจุให้  $C_1$  จนได้แรงดันตามที่ต้องการ ซึ่งจำกัดด้วยระยะห่างของช่องว่างดับสปาร์ก QG (Quenching Gap) เป็นตัวกำหนดแรงดันที่เพี้ยนให้กับขดลวดแรงต่ำของหม้อแปลงเทสลา นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่ตัดอาร์คหรือสปาร์กด้วยเมื่อเกิดสปาร์กที่ QG พลังงานที่เก็บไว้ใน  $C_1$  ในรูปสนามไฟฟ้าก็จะถ่ายเทประจุให้กับขดลวด  $L_1$  และ  $L_1$  จะเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กเต็มที่แล้ว  $L_1$  ก็จะถ่ายทอดพลังงานกลับไปให้  $C_1$  ใหม่ ถ่ายทอดกลับไปกลับมาระหว่าง  $C_1$  และ  $L_1$  จึงทำให้เกิดการออสซิลเลชันความถี่สูงทางด้านแรงต่ำ

ถ้าไม่มีวงจรทางด้านจ่ายแรงดันออกความถี่ของออสซิลเลชันจะเท่ากับความถี่ธรรมชาติ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$f_{ot} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

แต่เนื่องจากมีขดลวดทางด้านแรงสูงประกอบอยู่ ฉะนั้นความถี่ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$f_1 = \frac{f_{ot}}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1-K^2}} + \frac{1}{\sqrt{1+K}} \right)$$

เมื่อ 
$$K = \frac{M^2}{L_1 L_2}$$

ฉะนั้นถ้า  $K \ll 1$  จะได้ความถี่

$$f_1 = f_{ot} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

กระแสออสซิลเลชันทางด้านแรงต่ำจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นทางด้านแรงสูง ซึ่งมีความถี่ธรรมชาติ

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

ถ้าปรับวงจรให้  $L_1 C_1 = L_2 C_2$  จะทำให้ความถี่ทั้งสองข้างมีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง (DC High Voltage)

แรงดันสูงกระแสตรงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในขณะที่เกิดพายุฝนฟ้าคะนองมีการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ในทางปฏิบัติเราสามารถสร้างแรงดันสูงกระแสตรงขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ได้โดย

- เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic generator)
- เปลี่ยนแรงดันกระแสสลับเป็นกระแสตรงด้วยเรกติฟายเออร์

### เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์

เป็นวิธีการเปลี่ยนพลังงานกลไปสู่พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยสนามไฟฟ้าเก็บประจุไฟฟ้าไว้บนพื้นโลหะที่ขีดยึดอยู่บนฉนวน ฉะนั้นถ้าใส่พลังงานกลเข้าไปทำงานเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าไปรวมตัวกันอยู่ในที่ที่กำหนดให้ได้มากที่สุด ก็จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งอาจหาได้จากความสัมพันธ์

$$U = Q/C$$

เมื่อ  $U$  คือ ศักย์ไฟฟ้า (Volt)

$Q$  เป็น ประจุไฟฟ้า (Coulomb)

$C$  เป็น ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ (Farad)

จะเห็นว่าศักย์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุและถ้าหากสามารถทำให้ค่าความจุไฟฟ้าลดลงได้โดยรักษาปริมาณประจุให้คงที่อยู่เท่าเดิมก็จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นได้

### สร้างแรงดันกระแสตรงด้วยวิธีเรกติฟายเออร์

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงด้วยวงจรเรกติฟายเออร์ที่ใช้กันในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงนั้น ในสมัยก่อนนั้นใช้หลอดสูญญากาศเป็นตัวเรียงกระแสแต่ในปัจจุบันนี้โดยทั่วไปจะใช้ไดโอดสารกึ่งตัวนำมาต่ออันดับกัน นอกเสียจากในกรณีที่ต้องการใช้กระแสสูงๆ หลายแอมแปร์และแรงดันไม่เกิน 10 kV มักจะใช้เรกติฟายเออร์ไอปรอท

### วงจรสร้างแรงดันกระแสตรง

วงจรทั้งหลายที่ใช้เรกติฟายเออร์สำหรับเรียงกระแสสร้างแรงดันกระแสตรงทั้งแรงดันต่ำและแรงดันสูง จะมีวงจรพื้นฐานเป็นแบบ

- วงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่น
- วงจรเรกติฟายเออร์เต็มคลื่น

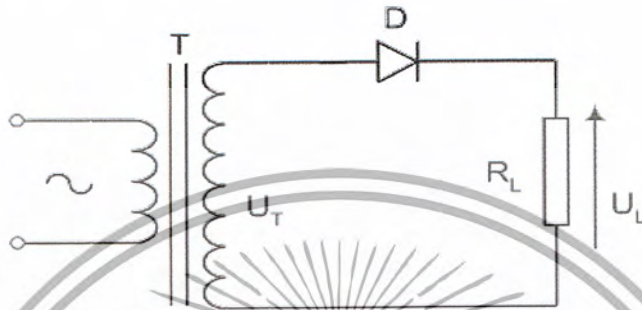
ในกรณีที่มิตัวจ่ายกระแสสลับแรงดันไม่สูงนัก จะสร้างแรงดันกระแสตรงสูงมากๆ ได้โดยใช้

วงจรพื้นฐานมาต่อขึ้นบันได ในห้องทดลองแรงสูงทั่วไปจะใช้วงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่น

วงจรที่ใช้สร้างแรงดันกระแสตรงที่ง่ายที่สุดเป็นแบบเรียงกระแสเพียงครึ่งหนึ่งของคลื่นที่ป้อนเข้าไป อาจจะเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบขึ้นอยู่กับขั้วของไดโอดที่ต่อไว้ วงจรประกอบด้วยหม้อแปลงแรงสูง เป็นตัวจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ มีค่าแรงดันทางด้านจ่ายกำลังออกเท่ากับ  $U_T$  ต่อผ่านไดโอด D เรียงกระแสจ่ายให้กับโหลด  $R_L$

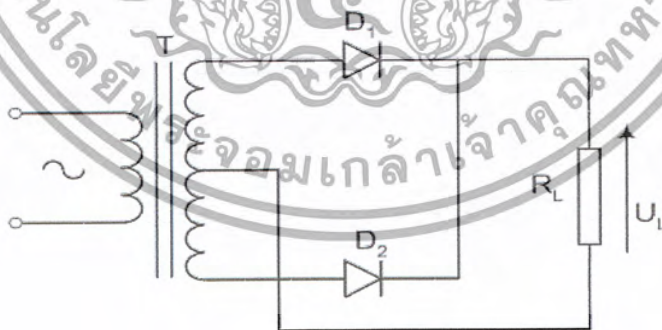


รูปที่ 2.2 วงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่น

### วงจรเรกติฟายเออร์เต็มคลื่น

วงจรจะประกอบไปด้วยไดโอด 2 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เรียงกระแสในช่วงซีกบวกและลบสลับกัน

ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 วงจรเรกติฟายเออร์เต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

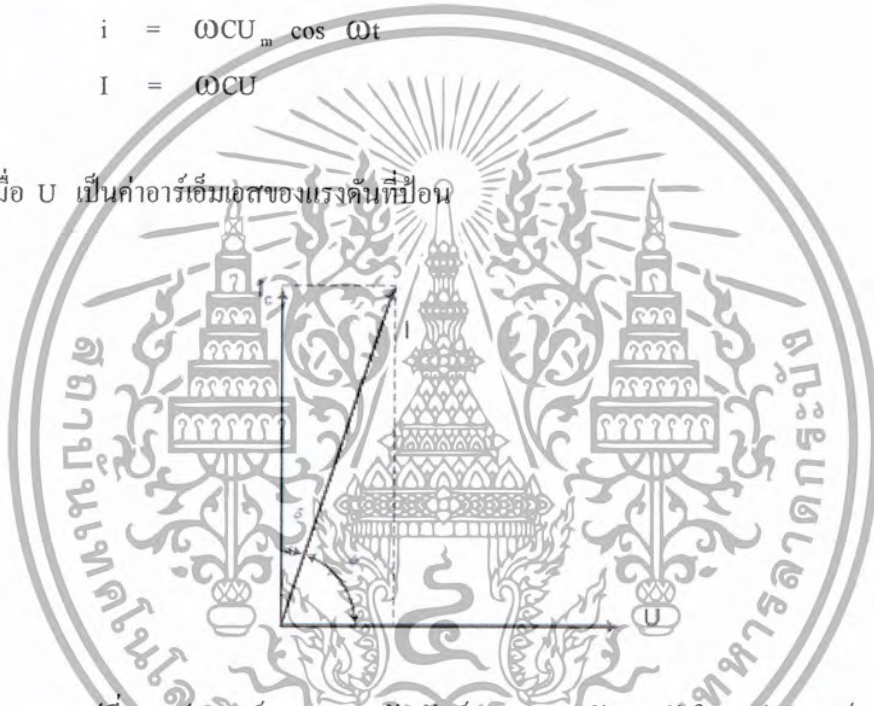
## 2.4 การวัดพลังงานสูญเสียเปล้าไดอิเล็กตริก

พลังงานสูญเสียเปล้าไดอิเล็กตริกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือพลังงานสูญเสียเปล้าเนื่องจากสภาพนำไฟฟ้าของไดอิเล็กตริกที่ความต้านทานไม่ถึงค่าอนันต์ และอีกส่วนหนึ่งเป็นพลังงานสูญเสียเปล้าเนื่องจากโพลารีเซชันของไดอิเล็กตริก จัดเป็นพลังงานสูญเสียเปล้าทางกลไฟฟ้าเพราะโมเลกุลของไดอิเล็กตริกต้องกลับขั้วไปมาตามการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าภายใต้แรงดันกระแสสลับ

ถ้าป้อนแรงดันรูปคลื่นไซน์ให้กับคาปาซิเตอร์ที่สมบูรณ์ (Ideal capacitor) กระแสที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์จะมีเฟสหน้าแรงดันเป็นมุม 90 องศา

$$\begin{aligned} \text{ถ้าให้ } u &= U_m \sin \omega t \\ i &= \omega C U_m \cos \omega t \\ I &= \omega C U \end{aligned}$$

เมื่อ  $U$  เป็นค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันที่ป้อน



รูปที่ 2.4 เฟสเซอร์แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันในคาปาซิเตอร์

ในทางปฏิบัติกระแสที่ไหลในคาปาซิเตอร์จะนำหน้าแรงดันน้อยกว่า 90 องศา ดังรูปที่ 2.4 โดยที่  $\phi$  เป็นมุมเฟสของคาปาซิเตอร์ ดังนั้นเพาเวอร์แฟกเตอร์จะมีค่าเท่ากับ  $\cos \phi$  ฉะนั้นกำลังสูญเสียเปล้าในคาปาซิเตอร์

$$\begin{aligned} \text{คือ } UI \cos \phi & \text{ หรือ } UI \sin \delta \\ \text{แต่ } \delta &= 90^\circ - \phi \\ \delta &= \text{มุมพลังงานสูญเสียเปล้าไดอิเล็กตริก} \\ \tan \delta &= \text{แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล้าไดอิเล็กตริก} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.4 จะได้  $\tan \delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{U/R_p}{\omega C_p U} = \frac{1}{\omega C_p R_p}$

ฉะนั้นพลังงานสูญเสียเปล่า  $P_d = \frac{U^2}{R} = U^2 \omega C_p \tan \delta$  (2.1)

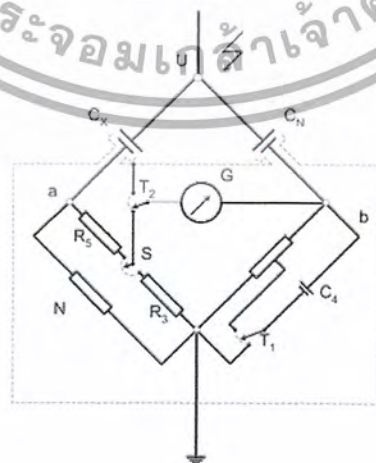
หรือ  $P_d' = E^2 \omega \mathcal{E} \tan \delta$

เมื่อ  $P_d'$  เป็น พลังงานสูญเสียเปล่าต่อปริมาตร  
 E เป็น ความเครียดสนามไฟฟ้า  
 ถ้า C เป็น ฟาร์ด  
 U เป็น โวลต์  
 จะได้  $P_d$  เป็น วัตต์

#### การวัดพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก

พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกในวัสดุฉนวนหรือในอุปกรณ์อาจหาได้จากสมการ (2.1) โดยการวัดค่า  $\tan \delta$  และค่าคาปาซิแตนซ์การวัดค่าทั้งสองนี้ โดยทั่วไปที่ใช้กันมี 2 วิธี คือ วิธีวัดดีมิเตอร์และวิธีบริดจ์ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีบริดจ์ เพราะวงเครื่องที่ทำการติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการของเราใช้หลักการนี้ บริดจ์ที่ใช้กันทั่วไปก็คือ Schering bridge ที่ใช้กับความถี่พลังงานตั้งแต่ 50 ถึง 100 kHz ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับความถี่ในย่านปานกลาง คือ 10 ถึง  $10^6$  Hz

Schering bridge วัดค่าคาปาซิแตนซ์และมุมพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกของคาปาซิเตอร์ โดยการเปรียบเทียบกับคาปาซิเตอร์มาตรฐาน ซึ่งเป็นแบบอากาศหรือก๊าซอัด (compressed gas standard capacitor) มีพลังงานสูญเสียเปล่าที่ความถี่พลังงานหรือความถี่อื่นๆ วงจรของ Schering bridge แสดงในรูป



รูปที่ 2.5 วงจร Schering bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่  $C_x$  คือ คาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบหรือที่ต้องการวัด  
 $R_x$  คือ ความต้านทานสมมูลกับกำลังสูญเสียเปล่านในไดอิเล็กตริก  
 $C_N$  คือ คาปาซิแตนซ์มาตรฐาน  
 $R_3$  คือ ความต้านทานไร้ความเหนียวนำและปรับค่าได้  
 $R_4$  คือ ความต้านทานไร้ความเหนียวนำ  
 $C_4$  คือ คาปาซิแตนซ์ปรับค่าได้  
 $G$  คือ กัลวานอมิเตอร์ความไวสูง

การปรับบริดจ์ให้สมดุลทำได้โดยการปรับค่า  $R_3$  และ  $R_4$  จนกระทั่งเข็มของกัลวานอมิเตอร์ชี้ศูนย์ เมื่อบริดจ์สมดุลแล้วจึงเขียนสมการได้ว่า

จะได้

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$C_x = \frac{C_N R_4}{R_3}$$

$$\tan \delta = \omega C_4 R_4$$

ในทางปฏิบัติ  $R_4$  มักจัดไว้เป็นกำลังตัวเฉพาะที่มีสวิตช์เลือกให้เปลี่ยนได้หลายค่า เพื่อให้สามารถวัดได้ละเอียดถูกต้องในช่วงกว้างของค่า  $C$  ส่วน  $R_3$  นั้นเป็นความต้านทานที่ปรับได้เป็นเด็คเกท (decade) ซึ่งมักมีค่าสูงสุดไม่เกิน  $10^4$  โอห์ม ทั้งนี้เพื่อขจัดค่าสแตตคาปาซิแตนซ์ (static capacitor) ให้มีน้อยที่สุด ส่วน  $C_4$  นั้นเป็นคาปาซิแตนซ์ที่ปรับได้เป็นเด็คเกทเช่นกัน และมีค่าสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าน  $\tan \delta$

## 2.5 หลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์

แรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่มีรูปคลื่นเลียนแบบมาจากแรงดันที่เกิดจากเหตุภายนอกคือเกี่ยวข้องกับฟ้าผ่า เรียกว่าแรงดันอิมพัลส์คลื่นฟ้าผ่า และแรงดันที่เกิดจากสาเหตุภายในระบบส่งจ่ายเอง ก็เกิดจากการทำงานของสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์เมื่อมีความผิดปกติหรือเกิดขึ้นในระบบ เรียกว่าแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ ความมุ่งหมายของการสร้างแรงดันอิมพัลส์ขึ้นในห้องทดลองก็เพื่อที่จะนำไปทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน เพื่อที่จะดูว่าทนต่อแรงดันเกินเหล่านี้ได้ไหม ความคงทนต่อแรงดันหรือความเครียดสนามไฟฟ้าอิมพัลส์ของฉนวน มิได้ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันสูงสุดเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับอัตราการแปรของแรงดันไปตามเวลาอีกด้วย ฉะนั้นเพื่อความสะดวกต่อการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะขึ้นตามการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ จึงมีการกำหนดรูปคลื่นอิมพัลส์ให้เป็นมาตรฐานขึ้น โดยยึดเอารูปคลื่นที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติเป็นเกณฑ์

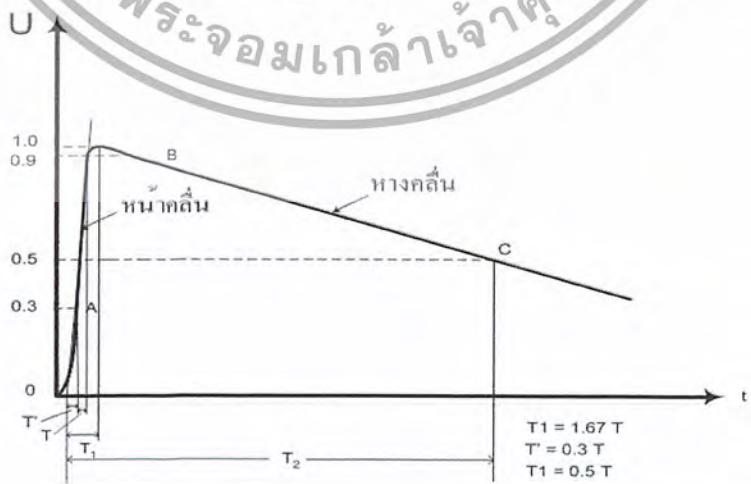
รูปลักษณะของคลื่นอิมพัลส์อาจกำหนดด้วย

- ขนาดของแรงดัน โดยปกติจะหมายถึงค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันในกรณีที่มีคลื่นระลอกซ้อน ซึ่งเกิดจากออสซิลเลชันใกล้ๆ ยอดรูปคลื่นให้ถือเอาค่าเฉลี่ยจากค่ายอดรูปคลื่นระลอก
- ขั้วของแรงดันอาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้เมื่อเทียบกับดิน
- เวลาช่วงหน้าคลื่น  $T_1$  หมายถึงช่วงเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นจากศูนย์จนถึงค่ายอด
- เวลาช่วงหลังคลื่น  $T_2$  หมายถึงช่วงเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นจากศูนย์ผ่านค่ายอดจนกระทั่งขนาดลดลงหรือครึ่งหนึ่งของค่ายอด

**2.5.1 ข้อกำหนดรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์**

ลักษณะของแรงดันอิมพัลส์ทั้งสอง จะมีรูปคลื่นและคาบเวลาที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ทดสอบขึ้นมา คือ มาตรฐาน IEC 60-1(1989) HIGH VOLTAGE TEST TECHNIQUES Part 1 (Section 6-Section 7).

จากข้อกำหนดลักษณะของรูปคลื่นนั้นเป็นลักษณะของคลื่นเต็ม (Full wav) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งหมายถึงรูปคลื่นที่มีขนาดเพิ่มขึ้นถึงค่ายอดแล้วค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์ แรงดันรูปคลื่นเต็มนี้อาจเกิดเป็นรูปคลื่นตัด ซึ่งเกิดจากการป้อนแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มเข้าไปที่วัสดุทดสอบและการฉนวนของวัสดุทดสอบนั้นทนต่อแรงดันที่ป้อนเข้าไปไม่ได้จึงเกิดการสปาร์กเกิดวาฟไฟตามผิวหรือเกิดเบรกดาวนผ่าทะลุทำให้เกิดลัดวงจร ณ จุดนั้น การเกิดคลื่นตัดนี้อาจจะเกิดขึ้นที่ส่วนหางคลื่นหรือส่วนหน้าคลื่นก็ได้ดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 ตามลำดับ ลักษณะของรูปคลื่นตัดจะมีส่วนมีส่วนกำหนดที่สำคัญ คือ เวลาช่วงคลื่นตัด ( $T_c$ )



**รูปที่ 2.6 แรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้าลักษณะเต็มคลื่น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_1 / T_2 = 1.2 / 50 \mu\text{sec}$$

เวลาช่วงหน้าคลื่น  $T_1 = 1.2 \mu\text{sec} \pm 30\%$

เวลาช่วงหลังคลื่น  $T_2 = 50 \mu\text{sec} \pm 20\%$

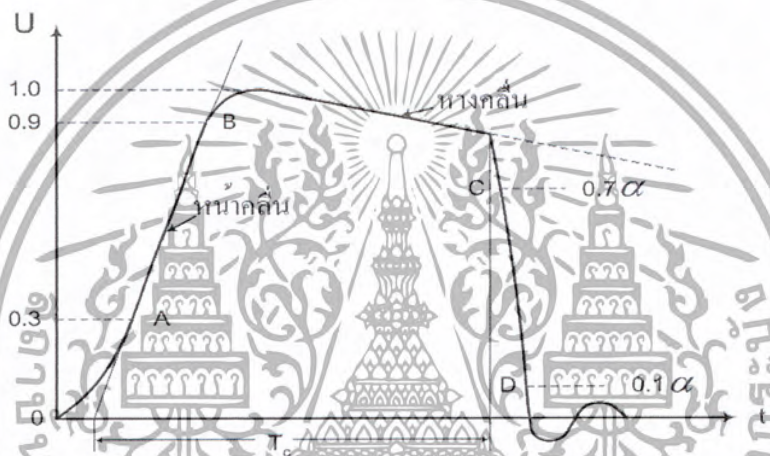
ค่ายอดแรงดันทดสอบ  $U_m = \pm 3\%$

โดยที่ จุด A คือจุดที่ 30% ของค่ายอด

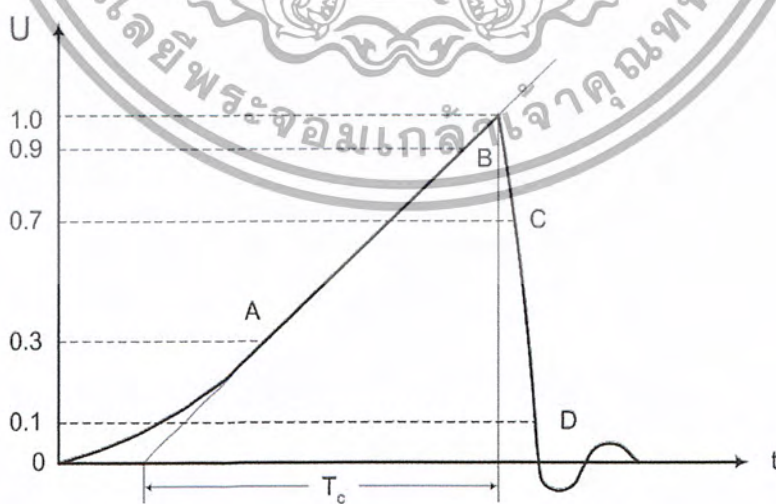
จุด B คือจุดที่ 90% ของค่ายอดขาขึ้น

จุด C คือจุดที่ 50% ของค่ายอดขาลง

จุด  $O_1$  คือจุดที่เส้นตรง AB ตัดกับแกน t (จุดเริ่มต้นของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์)

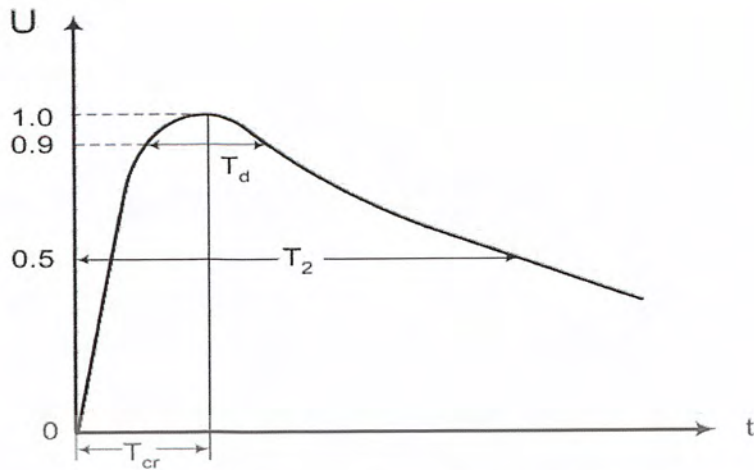


รูปที่ 2.7 แรงดันอิมพัลส์ที่ผ่าลักษณะคลื่นตัดที่หลังคลื่น



รูปที่ 2.8 แรงดันอิมพัลส์ที่ผ่าลักษณะคลื่นตัดที่หน้าคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แรงดันอิมพัลส์สวิตชิ่ง

เวลาช่วงหน้าคลื่น  $T_{cr} = 250 \mu\text{sec} \pm 20\%$   
 เวลาช่วงหางคลื่น  $T_2 = 2500 \mu\text{sec} \pm 60\%$   
 เวลาช่วงยอดคลื่น  $T_d$  คือช่วงเวลาที่ 90% ของหน้าคลื่น

2.5.2 วงจรพื้นฐานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์



รูปที่ 2.10 รูปวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หนึ่งขั้น วงจร (a) และวงจร (b)

- โดยที่  $U_0$  = แรงดันประจุกะแสตรง  
 $U(t)$  = แรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้น  
 $C_s$  = ตัวเก็บประจุอิมพัลส์เป็นตัวเก็บพลังงาน  
 $C_b$  = โหลดฉนวนทดสอบ  
 $R_d$  = ความต้านทานหน้าคลื่น (wave front time resistance)  
 $R_c$  = ความต้านทานหลังคลื่น (wave tail time resistance)  
 $S$  = สปรັกเกปทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลย์แสดงดังรูปที่ 2.10 โดยที่เวลา  $t < 0$  ตัวเก็บประจุ  $C_s$  มีค่าแรงดันเท่ากับ  $U_0$  และที่เวลา  $t > 0$  จะเกิดการดีสชาร์จผ่านแกปทรงกลม พลังงานสูงสุดที่เกิดจากการถ่ายเทประจุจาก  $C_s$  จึงมีค่าเท่ากับ

$$W = \frac{1}{2} C_s U_{0(\max)}^2 \quad J \quad (2.2)$$

### การหาขนาดส่วนประกอบของวงจร

ในการหาค่า  $R_d$  และ  $R_c$  โดยทั่วไปจะต้องทราบค่า  $C_s$  และ  $C_b$  ก่อน สำหรับเครื่องกำเนิดขนาดใหญ่มักจะต้องมีค่าตัวเก็บประจุดีสชาร์จที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูง โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ  $C_s/(C_s+C_b)$  ทั้งนี้เราสามารถคำนวณค่าความต้านทานที่ยังไม่ทราบค่าได้ซึ่งจะมีค่าดังนี้

สมการวงจร (a) (เป็นสมการเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หนึ่งขั้น)

$$R_c = \frac{1}{2(C_s + C_b)} \left[ \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 \cdot C_b}} \right] \quad (2.3)$$

$$R_d = \frac{1}{2C_s} \left[ \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 \cdot C_b}} \right] \quad (2.4)$$

สมการวงจร (b)

$$R_c = \frac{1}{2(C_s + C_b)} \left[ \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 \cdot C_b}} \right] \quad (2.5)$$

$$R_d = \frac{1}{2C_b} \left[ \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 \cdot C_s}} \right] \quad (2.6)$$

สมการที่ (2.5) และ (2.6) ประกอบไปด้วยค่าคงตัวเวลา  $1/\alpha_1$  และ  $1/\alpha_2$  ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนคงที่ (K) กับช่วงเวลา  $T_1$  และ  $T_2$  ตามชนิดของรูปคลื่นแบบต่างๆ สามารถประมาณค่าได้ตามสมการที่ (2.7) และ (2.8) โดย

$$T_1 = K_2 \cdot \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.7)$$

$$T_2 = K_1 \cdot \frac{1}{\alpha_1} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอิมพัลส์หนึ่งขั้นจะได้

$$U(t) = \frac{U_0}{k} \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)} [e^{(-\alpha_1 t)} - e^{(-\alpha_2 t)}] \quad ; \quad k = R_d C_b \quad (2.9)$$

สมการเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายๆ ขั้น เมื่อ n คือจำนวนขั้น จะได้

$$R_d = R_0 + \sum^n R_f \quad (2.10)$$

$$R_e = nR_f = \sum^n R_f \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{C_s} = \sum^n \frac{1}{C} \quad (2.12)$$

$$C_b = D \quad (2.13)$$

$$U(t) = \frac{U_0}{k} \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)} [e^{(-\alpha_1 t)} - e^{(-\alpha_2 t)}] \quad (2.14)$$

### 2.5.3 ขนาดแรงดันทดสอบ

การเลือกขนาดแรงดันทดสอบขึ้นอยู่กับระดับการฉนวน (Insulation level) นั่นคือขึ้นอยู่กับระบบแรงดันที่จะนำเอาอุปกรณ์หรือวัสดุนั้นๆ ไปใช้งาน โดยแต่ละประเทศจะกำหนดมาตรฐานการทดสอบของตนเอง อย่างไรก็ตามอาจใช้มาตรฐานสากล (IEC Recommendation) ซึ่งเป็นที่ยอมรับของหลายประเทศเป็นค่าอ้างอิงหรือตกลงกันระหว่างประเทศ IEC Publ.71-1976 : Insulation Co-ordination Part 1. ได้กำหนดระดับแรงดันทดสอบตามช่วงระบบแรงดันสูงสุดออกเป็น 3 ช่วง แสดงไว้ในตารางที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการฉนวนระดับ  $1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$

Highest voltage for equipment $U_m$ (r.m.s.)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)		Rated power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
	List 1	List 2	
kV	kV	kV	kV
3.6	20	40	10
7.2	40	60	20
12	60	75	28
17.5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lists 1 and 2 to VDE 0110 or IEC 71-1 (selection of lightning impulse withstand level in relation to degree of risk)

$U_m$  maximum continuous system operating voltage (rms value between conductor)

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการฉนวนระดับ  $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

1	2	3	4
Highest voltage for equipment $U_m$ (r.m.s.)	Base for p.u. values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)	Rated power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
kV	kV	kV	kV
52	42.5	250	95
72.5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	220
170	139	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1050	460

In this range lightning overvoltages are the prime consideration when selecting insulation levels

123 kV, also for existing networks with  $U_m = 125$

245 kV, also for existing networks with  $U_m = 250$

Note. If more then one insulation level is indicated, the highest level is to be selected for an earth-fault factor  $> 1.4$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการฉนวนระดับ  $U_m \geq 300$  kV

1	2	3	4	5	6
Highest voltage for equipment $U_m$ (rms)	Base for p.u. values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)		Rated switching impulse withstand voltage (peak)	Ratio between rated lightning and switching impulse withstand voltages	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)
kV	kV	p.u.	kV		kV
300	245	3.06	750	1.13	850
				1.27	950
		3.47	850	1.12	
362	296	2.86			
				1.24	1050
		3.21	950	1.11	
420	343	2.76			
				1.24	1175
		3.06	1050	1.12	
		2.45		1.24	1300
525	428			1.11	
		2.74	1175	1.36	1425
				1.21	
				1.10	
		2.08	1300	1.32	1550
				1.19	
				1.09	
765	625				
		2.28	1425	1.38	1800
				1.26	
				1.16	
		2.48	1550	1.26	1950
				1.47	2100
				1.55	2400

The table is based on the assumption that in this voltage range switching overvoltages are the prime consideration when selecting insulation levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 จะพบว่ามีความถี่ที่ใช้ในการทดสอบมี 3 อย่างคือ

- 1) Power frequency withstand voltage คือการทดสอบความทนอยู่ได้ของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สูงกว่าปกติประมาณ 2 เท่า (หรือต่ำกว่านี้ถ้า  $U_m \geq 400$  kV) นาน 1 นาทีที่ความถี่ปกติ 50-60 Hz
- 2) Lightning impulse withstand voltage คือ การทดสอบความทนอยู่ได้ของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า
- 3) Switching impulse withstand voltage คือ การทดสอบความทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสวิตชิง (ทดสอบเฉพาะอุปกรณ์ที่มีพิกัดแรงดันใช้งาน 200 kV และสูงกว่า)

## 2.6 ดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD)

ในระบบการฉนวนไฟฟ้าแรงสูงไม่ว่าจะเป็นสายส่งจ่ายหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงก็ตามถ้าหากความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด เกิดมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต หรือค่าความทนต่อแรงดันไฟฟ้า (dielectric strength) ของฉนวน ก็จะทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ หรือเบรกดาวน์เพียงบางส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดแนวที่ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพที่นำไฟฟ้าที่มีความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดต่ำพอหรือไม่ อีกนัยหนึ่งก็คือ พลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จนั้นมากพอหรือไม่ ถ้าเกิดเบรกดาวน์ที่สมบูรณ์ไม่ได้ก็จะกลายเป็นดิสชาร์จพัลส์สั้นๆ หรือที่เรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน

นิยามดิสชาร์จบางส่วนได้ให้คำอธิบายไว้ว่า ดิสชาร์จบางส่วนเป็นดิสชาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโทรด ดิสชาร์จบางส่วนจัดอยู่ในกลุ่มใหญ่ของก๊าซดิสชาร์จซึ่งอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าแล้ววิ่งชนโมเลกุลของก๊าซ จะก่อตัวเป็นอะวาลันซ์ของอิเล็กตรอนและทิ้งไอออนบวกนี้ไว้หลังที่เคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโทรดอีกด้านหนึ่ง อิเล็กตรอนและไอออนบวกนี้จะเป็นเส้นทางให้กระแสไหลผ่านก๊าซได้

ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวน ที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงหรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่จะไม่เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น

ดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับและสนามไฟฟ้ากระแสตรงภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ดิสชาร์จจะเกิดซ้ำๆ ซ้ำๆ โดยปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปถึงค่ายอด

พัลส์ดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้งจะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวน ในลักษณะชนกระแทกเป็นเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุด ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ฉนวนเสียเป็นจุดๆ และเกิดการขยายตัวมากขึ้น อาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหาย อายุการใช้งานของฉนวนสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดดีสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบชิงอากาศ เรียกว่า โครนา ย่อหมายถึงการเกิดพลังงานที่สูญเสียตลอดเวลาและยิ่งกว่านั้นการเกิดโครนาพัลส์ดีสชาร์จดังกล่าว ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ เรียกว่า คลื่นรบกวนวิทยุ

ฉะนั้นเพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ การออกแบบฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีคุณภาพเพียงพอ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานปกติจะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน จะต้องไม่มีดีสชาร์จบางส่วน

### 2.6.1 รูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วน

ดีสชาร์จบางส่วนโดยทั่วไปอาจแบ่งตามลักษณะที่เกิดได้เป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 2.11

- โครนาดีสชาร์จ (Corona discharges or external partial discharges) ที่เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง ตรงอิมัลชันหรือปลายแหลมหรือมีขอบคมหรืออิมัลชันหรือปลายแหลมขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับของระยะห่างระหว่างอิมัลชันหรือปลายแหลมดังรูปที่ 2.11a
- ดีสชาร์จตามผิว (Surface discharges) เกิดขึ้นที่ผิวฉนวนที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวสูง ดังรูปที่ 2.11b และ c
- ดีสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal partial discharge) เกิดขึ้นในโพรง หรือฟองก๊าซในเนื้อของฉนวนซึ่งเป็นฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลว ดังรูปที่ 2.11d และ e



รูปที่ 2.11 รูปแบบของดีสชาร์จบางส่วน

- a) โครนาดีสชาร์จ เกิดที่ปลายอิมัลชันหรือปลายแหลมคมในอากาศ
- b) ดีสชาร์จตามผิว เกิดขึ้นที่ผิวฉนวนแข็งคั่นระหว่างอิมัลชันหรือปลายแหลมในก๊าซ
- c) ดีสชาร์จบางส่วนภายใน เกิดจากชั้นรอยต่อระหว่างฉนวนมีค่าเปอร์มีตติวิตีต่างกัน
- d) ดีสชาร์จบางส่วนภายใน เกิดจากโพรงก๊าซในเนื้อฉนวน
- e) ดีสชาร์จบางส่วนภายใน เกิดจากสิ่งแปลกปลอม หรือปลายขอบคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1.1 โครนาดีสชาร์จ

โครนาดีสชาร์จเป็นดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในอากาศหรือก๊าซที่ขดแหลมหรือขอบคมของอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจเป็นจุดหรือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต ก่อนบริเวณอื่นๆ ของระบบการฉนวนเมื่อป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง ถ้าพิจารณารูปคลื่นแรงดันจากออสซิลโลสโคป จะสังเกตเห็นพัลส์ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นก่อนที่ขดลวดของรูปคลื่นแรงดันกระแสสลับรูปคลื่นไซน์มีขนาดและช่วงห่างของพัลส์สม่ำเสมอเท่าๆ กัน เรียกว่า “Trichel Pulse” ดังรูป มีช่วงกว้างของคลื่นเพียงสิบล้านนาโนวินาที



รูปที่ 2.12 ลักษณะโครนาดีสชาร์จ

ในกรณีโครนาดีสชาร์จบนสายส่งอาจจำลองแบบได้ โดยใช้อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันโดยให้ตัวนำมีขนาดเล็กจะทำให้เกิดโครนาง่ายกระแสที่วัดได้จากกระบอกนอกที่ต่อลงดินจะพบว่าประกอบด้วยกระแสประจุ  $i_c$  (capacitive current) กับกระแสโคโรนา  $i_k$  (Corona current) ดังในรูป 2.13 กระแสประจุเกิดจากประจุไฟฟ้า C ลงที่ คือ

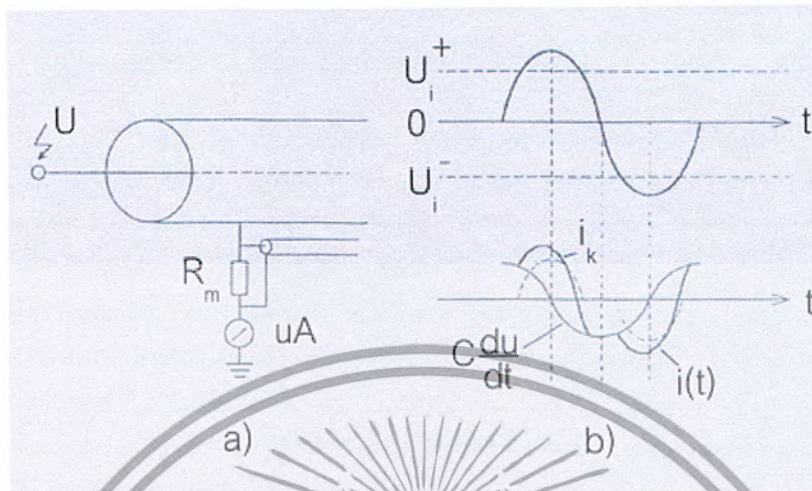
$$i_c = C \frac{du}{dt} \quad (2.15)$$

ฉะนั้นกระแสรวมที่วัดได้จะเป็น

$$i = i_c + i_k = C \frac{du}{dt} + i_k \quad (2.16)$$

กระแสโคโรนา  $i_k$  จะเพิ่มตามแรงดันที่ป้อน เมื่อแรงดันเกินค่าแรงดันโคโรนาจะเกิด  $U_i$  (corona inception voltage) ฉะนั้นการตรวจจับหรือวัดแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด  $U_i$  จึงอาจสังเกตจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสซิลโลสโคป เมื่อเริ่มเกิดรูปคลื่นกระแสไหลผ่านแก๊ปหรืออาจสังเกตดูจากแอมมิเตอร์ที่ต่ออยู่ระหว่างอิเล็กโทรดกับดิน (ground) ดังรูปที่ 2.13

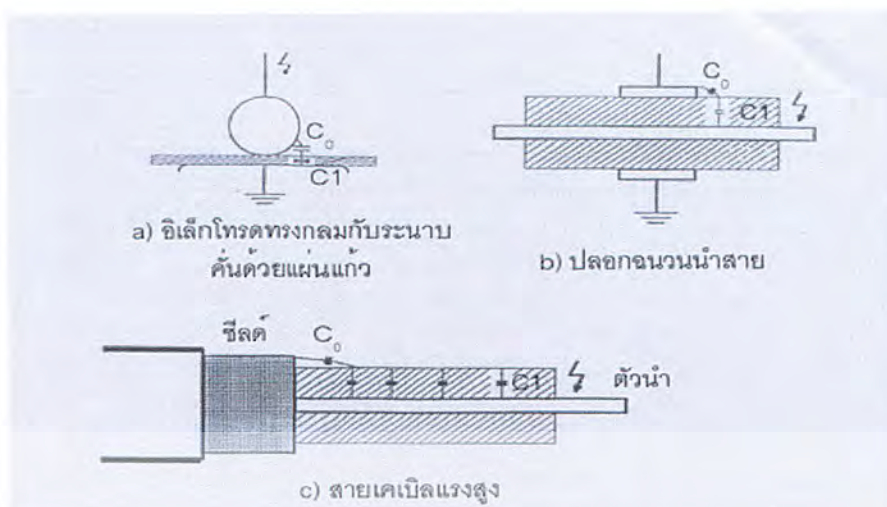


รูปที่ 2-13 ลักษณะแรงดันและกระแสโคโรนาจากอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันร่วม

#### 2.6.1.2 ดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

ดิสชาร์จตามผิวอาจเกิดขึ้นตามแนวรอยต่อของฉนวนต่างชนิดกัน เช่น ของแข็งกับก๊าซ หรือของแข็งกับของเหลว เมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวรอยต่อของฉนวนสูงเกินค่าวิกฤต ตัวอย่างเช่น ปลายฉนวนนำสาย ปลายสายเคเบิล หรือดิสชาร์จภายนอกกระทบเข้ากับผิวฉนวน ซึ่งความเครียดสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวนไม่สูงพอที่จะทำให้เบรกดาวน์เจาะทะลุได้ เช่น แผ่นคั่นระหว่างอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดีสชาร์จบางส่วนตามผิว

ดีสชาร์จตามผิวจะเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณทรงกลมสัมผัสหรือใกล้กับแผ่นแก้วก่อนเพราะความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นจะสูงกว่าบริเวณอื่น เมื่อเพิ่มแรงดันหรือความเครียดสูงขึ้น ดีสชาร์จจะขยายตัวกว้างยาวขึ้นห่างออกไปจากทรงกลมสู่ขอบแผ่นแก้ว ถ้าแผ่นแก้วหนามากพอและแผ่นไม่กว้างเกินไป ก็จะเกิดวาบไฟข้ามแผ่นแก้วไปหาอิเล็กโทรดระนาบได้ ถ้าแผ่นแก้วไม่หนามากแต่แผ่นกว้างใหญ่ การเกิดดีสชาร์จตามผิวก็จะกว้างไประดับหนึ่งแล้วก็จะเกิดเบรคความถี่จะทะลุแผ่นแก้วได้ ในรูปที่ 2.14b ดีสชาร์จบางส่วนตามผิวจะเกิดที่อิเล็กโทรดแหวนยึดต่อลงดินและวิ่งขยายออกไปทางปลายปลอกฉนวนนำสายเข้าหาตัวนำ ทั้งนี้เพราะความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณอื่น ทำนองเดียวกันปลายเคเบิลแรงสูงในรูปที่ 2.14c ดีสชาร์จบางส่วนตามผิวจะเกิดที่บริเวณชีลด์โลหะซึ่งเป็นอิเล็กโทรดต่อลงดิน ดีสชาร์จจะขยายตัวออกไปสู่ปลายเคเบิลวิ่งเข้าหาตัวนำเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้น

ดีสชาร์จบางส่วนตามผิวที่เริ่มต้นขึ้นในบริเวณดังกล่าว อาจอธิบายได้ด้วยลักษณะของเส้นสมศักย์หรือศักย์ไฟฟ้าเท่า ในรูปทั้งสามกรณีค่าเปอร์มิตติวิตีของฉนวนแข็งจะมีค่าสูงกว่าอากาศหลายเท่า ค่าความจุไฟฟ้า  $C_1$  ย่อมมีค่ามากกว่า  $C_0$  ฉะนั้นตามหลักของโวลเตจดิโวลเคอร์แรงดันตกคร่อมส่วนใหญ่จะอยู่ที่  $C_0$  นั่นหมายถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนนั้นจะมีค่าสูงกว่าเมื่อมีการป้อนแรงดันถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวมีค่าเกินค่าวิกฤตดีสชาร์จบางส่วนก็เริ่มเกิดขึ้นเมื่อแรงดันเพิ่มสูงกว่าค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด ดีสชาร์จจะเปลี่ยนจากโคโรนาไปเป็นดีสชาร์จแบบขนแปรง วิ่งคืบหน้าไปตามผิวฉนวนแข็ง ความเข้มของดีสชาร์จบางส่วนของผิวจะขึ้นอยู่กับความจุของฉนวนแข็ง  $C_1$  ถ้าค่า  $C_1$  ยังมีค่ามาก ดีสชาร์จก็จะยิ่งเข้มแรงมากขึ้น

ในกรณีของแรงดันกระแสสลับ เมื่อกระแสดีสชาร์จที่ไหลจากปลายดีสชาร์จขนแปรงผ่านเนื้อฉนวนเป็นกระแสประจุ (Displacement current) ซึ่งจะทำให้ดีสชาร์จตามผิวขยายตัวคืบหน้ามากขึ้นก็ได้ ในกรณีแรงดันกระแสตรงซึ่งค่าแรงดันคงที่ไม่ขึ้นอยู่กัเวลา ดีสชาร์จตามผิวจะเกิดได้ยาก หรือไม่เกิดเลยเพราะว่าไม่มีกระแสประจุ การเกิดดีสชาร์จบางส่วนตามผิวจะขึ้นอยู่กัสภาพการนำไฟฟ้า

ของผิวและของฉนวน สำหรับแรงดันอิมพัลส์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอันรวดเร็วการเปลี่ยนแปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงดันต่อเวลา  $dw/dt$  นี้เป็นผลให้กระแสประจุมีค่าสูง ด้วยเหตุนี้เองการเกิดดีสชาร์จบางส่วนตามผิวเนื่องจากแรงดันอิมพัลส์จึงมีพลังงานสูง รูปลักษณะและดีสชาร์จบางส่วนตามผิวทำให้ทราบชื่อและขนาดของแรงดันอิมพัลส์ได้

### 2.6.1.3 ดีสชาร์จบางส่วนภายใน

ดีสชาร์จบางส่วนภายในหมายถึง ดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในเนื้อฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลวที่ซึ่งมีโพรงหรือโพรงก๊าซหรือสิ่งเจือปนแปลกปลอมที่มีค่าเปอร์mittivityต่ำกว่าในเนื้อฉนวนหลัก อันทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงหรือสิ่งเจือปนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าฉนวนรอบๆ ซึ่งอาจพิสูจน์ได้จาก การวิเคราะห์ได้จากค่าเปอร์mittivityต่างกันวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเมื่อชั้นฉนวนได้รับแรงดันถึงระดับหนึ่งแล้ว จะทำให้โพรงก๊าซมีความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าวิกฤต และเกิดเบรกดาวน์ในโพรงก๊าซเช่นนี้จะทำให้ฉนวนโดยรอบเสียหาย เกิดการกัดกร่อน การฉนวนเสื่อมสภาพ อายุการใช้งานจะสั้นลง และในบางกรณีอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์ได้ในที่สุด การวัดและประเมินค่าดีสชาร์จบางส่วนภายในจะใช้วิธีวิเคราะห์จากวงจรสมมูล

### 2.6.2 ผลที่ตามมาของการเกิดดีสชาร์จบางส่วน

การเกิดดีสชาร์จเป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์หลายอย่าง คือ

- Electric phenomena
- Electromagnetic
- Radiation
- Light
- Heat
- Noise
- Gas pressure
- Chemical transformations

### 2.6.3 ความสำคัญของการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

การเกิด PD ย่อมหมายถึง คุณภาพของการฉนวน (เทคนิคการออกแบบและวัสดุฉนวน) ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งาน มาตรฐานทางอุตสาหกรรมกำหนดให้มีการให้ตรวจสอบ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ควรคำนึงถึงการตรวจสอบคิซาร์จบางส่วน

- 1) Detection ตรวจจับว่ามีหรือไม่มี PD ผลที่ได้คือ U (inception voltage)
- 2) Measurement หาขนาดของ PD
- 3) Location ตำแหน่งที่เกิด (ยกตัวอย่าง Transformer, Cable, Transmission line) ใช้ฟังเสียงคูแอส
- 4) Evaluation PD ขนาดไหนจะเกิดอันตราย (ยกตัวอย่าง ในเคเบิลและในหม้อแปลง)

#### 2.6.4 การตรวจจับคิซาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

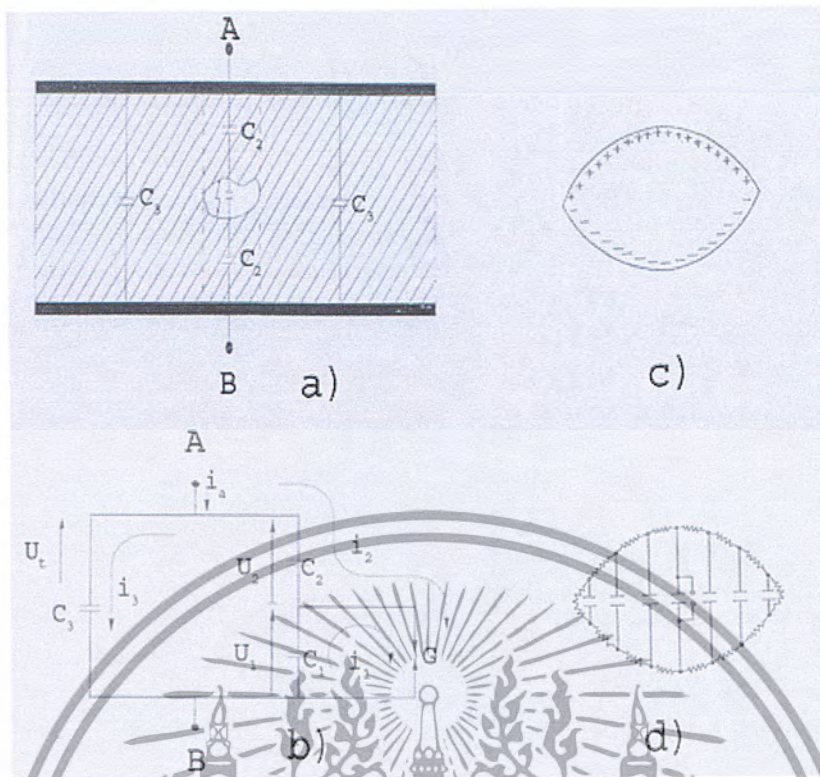
ฉนวนเป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่สำคัญภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง คือ กั้นระหว่างส่วนที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันไม่ให้สัมผัสกัน การที่ฉนวนเสื่อมสภาพอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น จากการเกิดคิซาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน จากแรงกลไฟฟ้า จากการสูญเสียเสถียรภาพทางเคมี เป็นต้น โดยที่การเกิดคิซาร์จบางส่วน จะทำให้พลังงานจากศักย์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานจลน์ของประจุไฟฟ้า หากความหนาแน่นเชิงปริมาตรของพลังงานจลน์ มีค่าเกินความหนาแน่นเชิงปริมาตรของพลังงานการสลายตัวของพันธะเคมี (dissociation energy) ของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนแล้ว ฉนวนก็จะเริ่มกระบวนการเสื่อมสภาพ ซึ่งมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานโดยตรง และอาจก่อให้เกิด คลื่นรบกวนวิทยุไปรบกวนอุปกรณ์ระบบสื่อสารได้ ซึ่งมาตรฐานสากลได้กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับ PD เอาไว้

อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงต่างๆ เช่น เคเบิล หม้อแปลง ปลอกฉนวนสาย และกับดักฟ้าผ่า เป็นต้น จะต้องได้รับการทดสอบ PD ก่อนนำไปใช้งานเพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีคุณภาพการฉนวนที่เหมาะสมสามารถทำงานได้ตามปกติตลอดอายุการใช้งาน

#### 2.6.5 วงจรสมมูลคิซาร์จภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป

โดยปกติแล้ววงจรสมมูลของวงจรคิซาร์จภายในนั้นจะหมายถึง วงจรสมมูลที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้ากล่าวถึงคิซาร์จบางส่วนอย่างลอยๆ ก็ให้หมายถึงคิซาร์จภายใน วงจรสมมูลสำหรับฉนวนของอุปกรณ์ขณะเกิด PD อาจแทนด้วยค่าจุไฟฟ้า  $C_1$ ,  $C_2$  และ  $C_3$  และ สปาร์กแกป ดังรูปที่ 2.15 โดยฉนวนที่บกพร่องซึ่งปกติแล้วจะเป็นโพรงก๊าซขนาดเล็กๆ จะถูกแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C_1$  และสปาร์กแกป G และค่าความจุไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงหรือวัสดุทดสอบเท่ากับ  $C_0$

จากรูปที่ 2.15 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสายของอุปกรณ์ (ขั้ว A-B) ในรูปที่ 2.15a จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมส่วนต่างๆ ของฉนวนดังแสดงที่รูปที่ 2.15b ถ้าเกิดแรงดันตกคร่อมโพรงก๊าซสูงเกินกว่าค่าแรงดันที่โพรงก๊าซสามารถทนได้ จะทำให้เกิดประกายหรือคิซาร์จเฉพาะบริเวณ โพรงก๊าซนี้จึงเรียกว่าเกิด “คิซาร์จบางส่วน” หรือ “PD” ภายในอุปกรณ์



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูล PD เฉพาะส่วนของโพรงฟ้า

จากรูปที่ 2.15a, b จะได้

$$C_3 = C_3' + C_3''$$

$$C_2 = \frac{C_2' C_2''}{C_2' + C_2''}$$

$$C_3 \gg C_1 \gg C_2$$

$$C_n = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3 \approx C_3$$

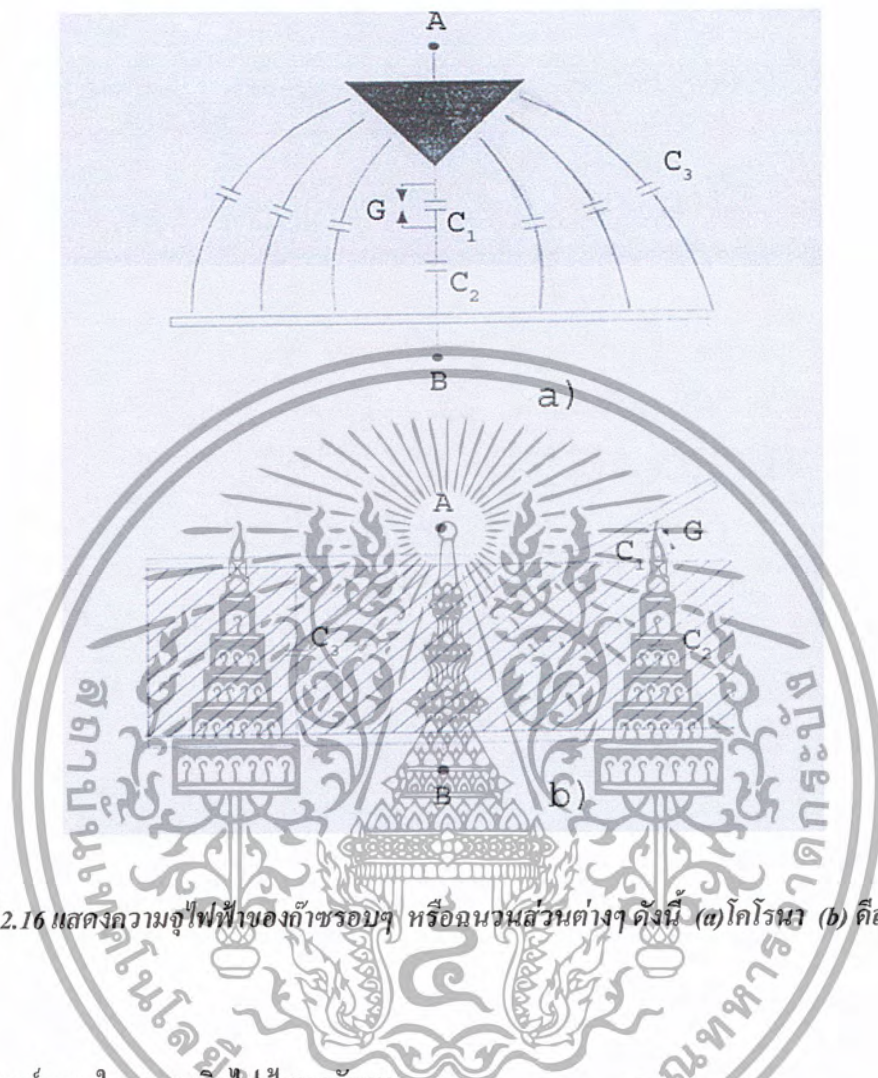
และ

อนึ่งวงจรสมมูลในทางปฏิบัติของ PD เนื่องจากเกิดโพรงฟ้าหรืออากาศในเนื้อฉนวนที่แสดงในดังรูปที่ 2.15c และ 2.15d นั้นจะแสดงเฉพาะส่วนโพรงฟ้าและผิวของฉนวนที่อยู่ติดกับโพรงฟ้าเท่านั้น โดยในรูปที่ 2.15c แสดงการกระจายของประจุก่อนการเกิด PD หรือเบรกดาวน์ ส่วนในรูปที่ 2.15d จะแทนผิวของฉนวนรอบโพรงฟ้าด้วยความต้านทานที่มีค่าสูงมากและแทนโพรงฟ้าด้วยตัวเก็บประจุต่างๆ และสปาร์กแกปตรงตำแหน่งที่จะเกิดเบรกดาวน์

วงจรสมมูลในรูปที่ 2.15b สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ PD ที่เกิดในบริเวณปลายแหลมของอิเล็กโทรดหรือขอบคม ซึ่ง PD ลักษณะนี้เรียกว่า “โคโรนา” (corona) นอกจากนี้ยังสามารถนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้กับดิสชาร์จตามผิว (surface discharge) ได้เช่นเดียวกัน โดยแทนอากาศรอบๆ หรือฉนวนส่วนต่างๆ ด้วยค่าความจุไฟฟ้าดังรูปที่ 2.16 ตามลำดับ

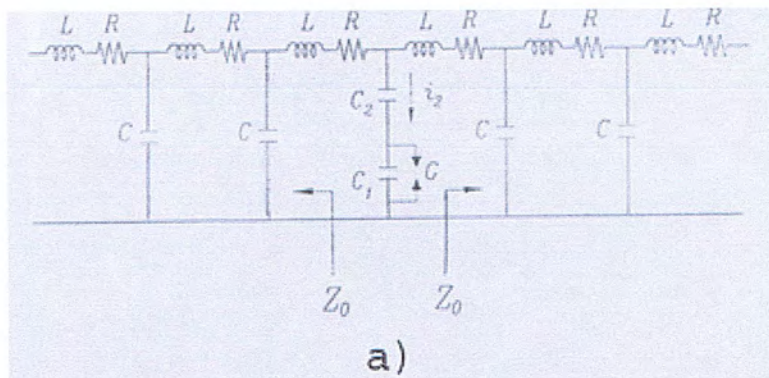


รูปที่ 2.16 แสดงความจุไฟฟ้าของก๊าซรอบๆ หรือฉนวนส่วนต่างๆ ดังนี้ (a) โครโมนา (b) ดิสชาร์จ

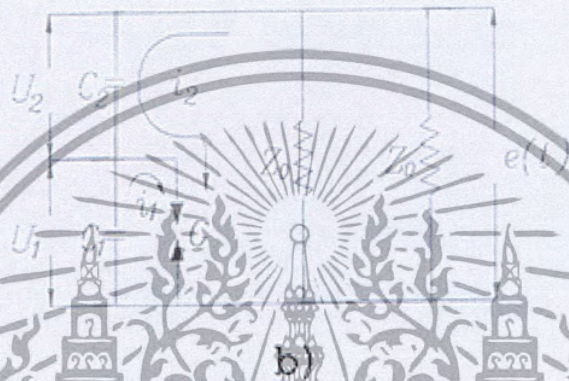
### 2.6.6 ดิสชาร์จภายในสายเคเบิลไฟฟ้าแรงดันสูง

ลักษณะวงจรสมมูลการเกิดดิสชาร์จภายในสายเคเบิลแรงดันสูง เคเบิลในส่วนที่ไม่เกิด PD จะแทนด้วยคาร์แรกเตอร์เรซิสติวิมพีแดนซ์  $Z_0$  ฉนวนที่อยู่ติดกับโพรงก๊าซหรืออากาศ จะแทนด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C_1$ ,  $C_2$  และสปาร์กแกป  $G$  ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a)



b)

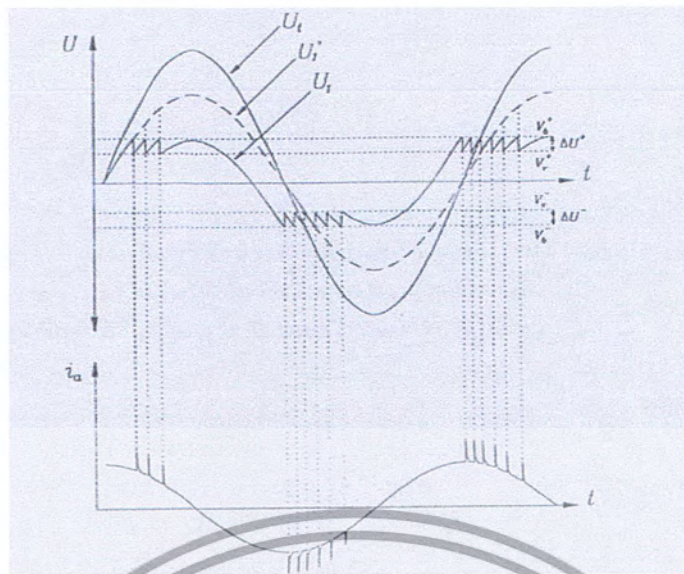
รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลการเกิด PD ในสายเคเบิล (a) วงจรสมมูลของสายเคเบิล (b) วงจรสมมูลของสายเคเบิลขณะเกิด PD

## 2.6.7 ธรรมชาติการเกิดดีสชาร์จบางส่วน

### 2.6.7.1 การเกิดดีสชาร์จซ้ำ

ในทางปฏิบัติ PD อาจเกิดซ้ำๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลา ดังรูปที่ 2.18 โดยที่  $U_0$  คือแรงตกคร่อมขั้วสายของอุปกรณ์  $V_b$  คือแรงดันเบรคความถี่ของโพรงก๊าซ  $v_b$  คือแรงดันหลังเบรคความถี่ของโพรงก๊าซ  $U_1$  คือแรงดันคร่อมโพรงก๊าซ  $U_1'$  คือแรงดันคร่อมโพรงก๊าซถ้าไม่มีการเกิด PD เลย และ  $i_d$  คือกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ ตามลำดับ

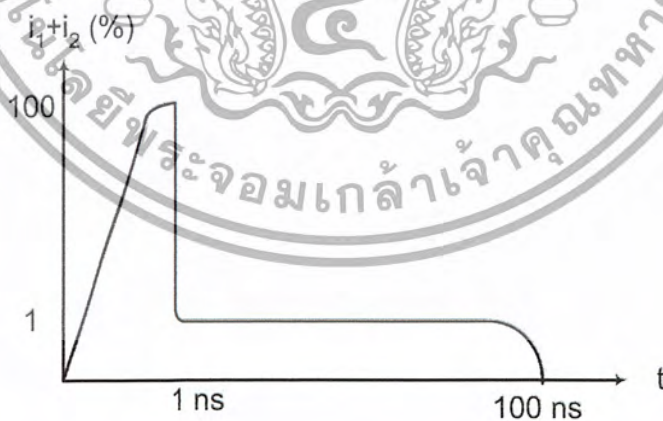
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงแรงดันตกคร่อมโฟรงก้าชและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD

#### 2.6.7.2 ลักษณะรูปร่างกระแสที่ขั้วสายบางส่วน

ลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในแก๊ปหรือโฟรงก้าชเล็ก ในทางทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 2.19 ขณะเกิด PD การไหลของกระแสผ่านแก๊ปจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวกผ่านแก๊ปสั้นๆ เมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านแก๊ปหมด กระแสจะลดลงอย่างรวดเร็วและกระแสที่ลดลงนี้จะยังคงไหลต่อไปอีกเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวก



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะรูปร่างของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับแก๊ปเล็ก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

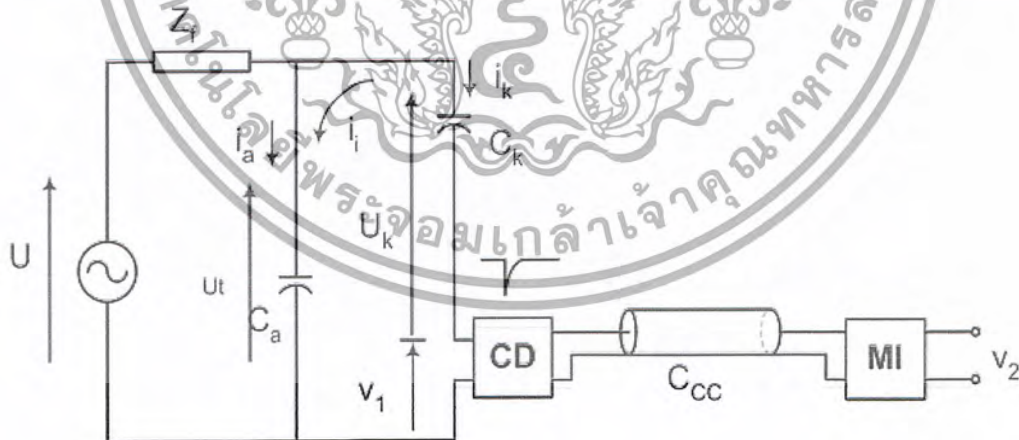
แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ จะพบว่าความกว้างของกระแสพัลส์ที่เกิดจาก PD ในฉนวน จะอยู่ในช่วงเวลา 1.5 นาโนวินาทีถึงช่วงเวลาเป็นหลัก 100 นาโนวินาที ดังนั้นกระแสพัลส์ดังกล่าว จึงมีสเปกตรัมของความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว่า 10 เมกะเฮิร์ตขึ้นไปและอาจจะมีความกว้างถึง 200 เมกะเฮิร์ต ซึ่งการเกิด PD จากลักษณะ “Tree” ในเนื้อฉนวนจะมีช่วงเวลาของกระแสพัลส์กว้างที่สุด

## 2.6.8 หลักการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

การตรวจจับ PD สามารถทำหลายวิธีด้วยกัน โดยการสังเกตหรือการวัดผลที่เป็นปรากฏการณ์ต่างๆ ของ PD การวัดผลของ PD ในเชิงปริมาณที่ได้ผลมากที่สุดคือการวัดผลทางไฟฟ้าโดยวิธีการตรวจจับกระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์

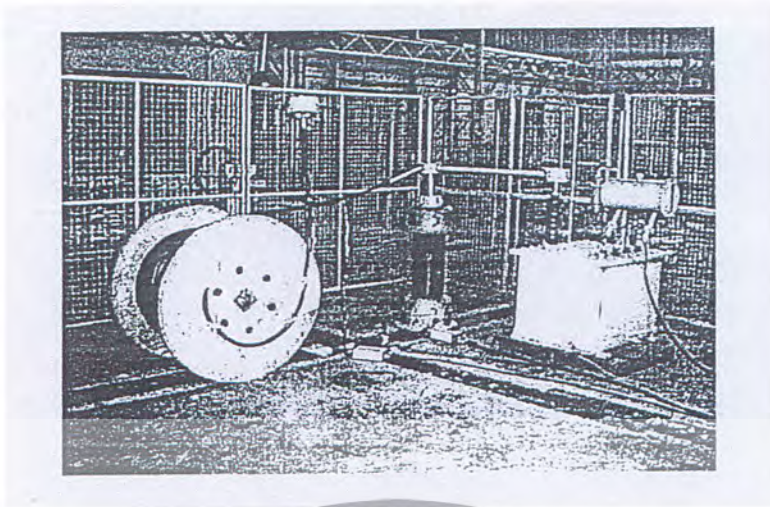
## 2.6.9 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD ตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล IEC-60270 Third Edition จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงหรือแรงดันทดสอบ  $U$  ตัวกรองสัญญาณ (Filter) จากแหล่งจ่ายหรืออิมพีแดนซ์  $Z_f$  วัสดุทดสอบ  $C_a$  (test object) ตัวเก็บประจุคัปปลิง (coupling capacitor) อุปกรณ์รับสัญญาณ (coupling device) สายเคเบิลนำสัญญาณ (connecting cable) และเครื่องมือวัด (measuring instrument) MI ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการทดสอบ PD ในสายเคเบิลดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการทดสอบ PD ในสายเคเบิลแรงสูง

หน้าที่การทำงานและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทดสอบเป็นดังนี้

- 1) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง  $U$  ใช้ในการจ่ายแรงดันให้วงจรทดสอบและมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดได้ เช่น หม้อแปลงทดสอบ เป็นต้น
- 2) ตัวกรองสัญญาณหรืออิมพีแดนซ์  $Z$  ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย เช่น ฮาร์โมนิกส์และ PD ที่เกิดภายในหม้อแปลงทดสอบเอง เป็นต้น และหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ป้องกัน PD จากวงจรทดสอบไหลย้อนลงกราวด์ผ่านทางแหล่งจ่าย ตัวกรองดังกล่าวต้องทนแรงดันทดสอบได้และปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบ ตัวอย่างตัวกรอง เช่น ตัวเหนี่ยวนำ (High voltage inductor) หรือตัวกรองชนิดผ่านแถบความถี่ต่ำ (High voltage low-pass filter) เป็นต้น ดังนั้น ในอุปกรณ์ที่ใช้หม้อแปลงทดสอบปราศจาก PD เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกรองก็ได้ เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทดสอบมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหม้อแปลงทดสอบที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก
- 3) ตัวเก็บประจุคัปปลิง  $C_k$  ใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อหรือคัปปลิงสัญญาณความถี่สูงให้ครบวงจรระหว่าง  $C_a$ ,  $C_k$  และ CD ดังนั้นตัวเก็บประจุคัปปลิงต้องเป็นชนิดที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน (Stray Inductance) ต่ำ ทนแรงดันได้โดยปราศจาก PD ที่แรงดันทดสอบ ตัวเก็บประจุคัปปลิงอาจเรียกว่า (Blocking Capacitor)
- 4) อุปกรณ์รับสัญญาณ CD และเครื่องมือวัด MI อุปกรณ์ทั้งสองส่วนนี้จะทำงานร่วมกันคือ ทำหน้าที่อินทิเกรต (Integrate) กระแสพัลส์  $i$ , ที่ไหลในวงจรทดสอบเนื่องจากการเกิด PD โดยมีสายนำสัญญาณ CC เป็นสายที่เชื่อมต่อระหว่าง CD และ MI อุปกรณ์รับสัญญาณจะทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ เป็นตัวกรองกระแสความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขังนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยู่เห็นเข้าใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดได้ ส่วนเครื่องมือวัด PD จะทำหน้าที่สำคัญอีก 3 ประการคือ เป็น วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) เป็นวงจรกรองสัญญาณชนิดผ่านแถบเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบและลดสัญญาณความถี่สูงที่มาจากคลื่นวิทยุ และใช้ในการแสดงผล PD

หลักการทำงานของวงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD เริ่มจากการค่อยๆ ป้อนแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่าย  $U$  ผ่านตัวกรอง  $Z_f$  ให้กับตัวกรองทดสอบจนกระทั่งเกิด PD ที่วัสดุทดสอบ  $C_k$  (ถ้าจำนวนของวัสดุทดสอบนั้นมีความบกพร่อง) ทำให้เกิดแรงดันตกที่ขั้วของตามสมการ  $C_k$  จะดีสชาร์จประจุไปที่  $C_a$  เพื่อชดเชยแรงดันตก ผลดังกล่าวทำให้เกิดกระแสพัลส์  $i_i$  ไหลวนครบวงจรระหว่าง  $C_a$  และ  $C_k$

ดังนั้น CD และ MI จะวัดประจุไฟฟ้าที่ถ่ายเทระหว่าง  $C_a$  และ  $C_k$  โดยการอินทิเกรตกระแสพัลส์  $i_i$  เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป

#### 2.6.10 การวิเคราะห์วงจรตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานในรูปที่ 2.20 จะแทนวัสดุทดสอบ  $C_k$  ด้วยวงจรสมมูลซึ่งประกอบด้วย  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  และสปาร์กแคป  $G$  ดังรูปที่ 2.22a เนื่องจากเบรกดาวน์ในโพรงก๊าซจะใช้เวลาในการเกิดน้อยกว่า  $10^{-7}$  นาทีก ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับคาบเวลาของแหล่งจ่าย (50 ถึง 400 Hz)

ดังนั้นจึงอาจแทนแรงดันคร่อมโพรงก๊าซด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปขั้นบันได ดังรูปที่ 2.22b

$$U_1 \approx \Delta U_1 U(t)$$

เมื่อ  $\Delta U_1$  คือ แรงดันตกคร่อมโพรงก๊าซและสปาร์กแคป

$U(t)$  คือ ฟังก์ชันรูปขั้นบันได (Unit step function)

ซึ่งวงจรในรูปที่ 2.22b คือ “วงจรพื้นฐานสำหรับเทียบ” นั่นเอง เนื่องจากโดยปกติแล้ว  $C_3 \gg C_2$  ดังนั้นเมื่อมองอิมพีแดนซ์จากแหล่งจ่ายแรงดัน  $U_1$  จะมองเห็นอิมพีแดนซ์รวมประมาณเท่ากับของ  $C_2$  เพียงตัวเดียว จึงสามารถประมาณได้ว่า

$$i_2 \approx C_2 \frac{dU_1}{dt} \approx C_2 \Delta U_1 \delta(t) \quad (2.17)$$

เมื่อ  $\delta(t)$  คือ ฟังก์ชันแบบอิมพัลส์

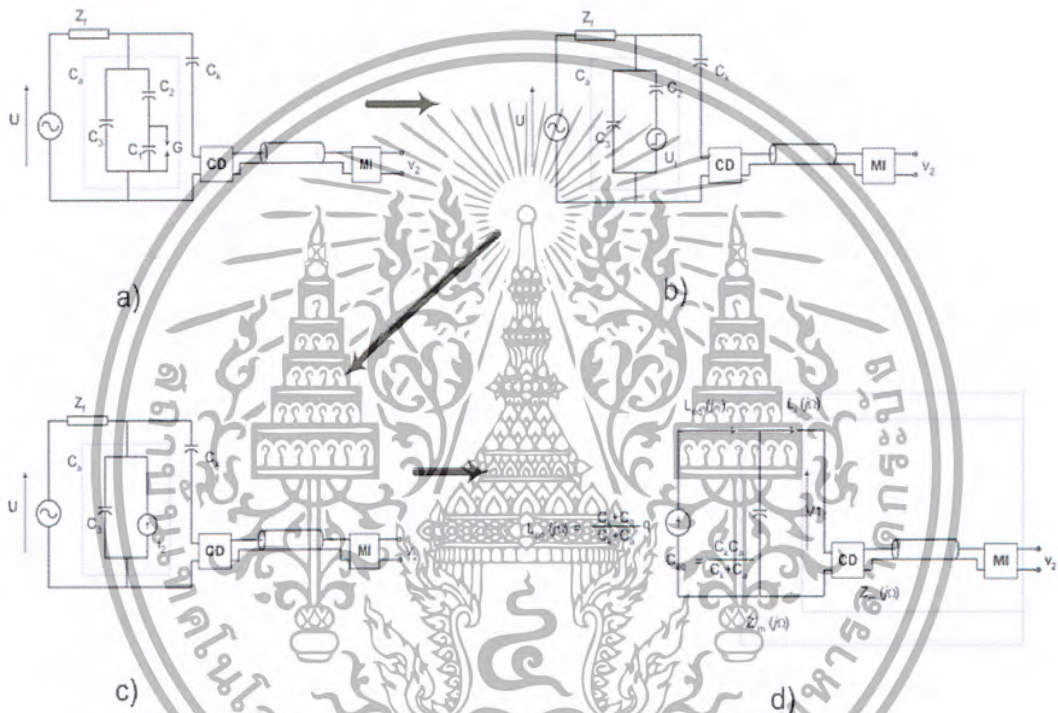
ถ้านิยามให้  $q = C_2 \Delta U_1 = \int_0^{\infty} i_2 dt$  คือ “ประจุที่ปรากฏ” (Apparent Charge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $q = C_2 \Delta U_1$  ในสมการ (2.17) จะได้

$$i_2 \approx q \delta(t) \quad (2.18)$$

จากสมการ (2.18) จึงสามารถแทนการเกิดดีสชาร์จบางส่วนด้วยแหล่งจ่ายกระแสอิมพัลส์ ดังรูปที่ 2.22c ในทางปฏิบัติจะพบว่ากระแสพัลส์  $i_2$  มีช่วงเวลาการเกิด  $\leq 5$  นาโนวินาทีสำหรับฉนวนของแข็งและเหลว



รูปที่ 2.22 แทน PD ด้วยวงจรสมมูลแบบต่างๆ

- แทนวัสดุทดสอบ  $C_a$  ด้วยวงจรสมมูลที่ประกอบด้วย  $C_1, C_2, C_3$  และสปาร์กแกป  $G$
- แทน  $C_1$  และ  $G$  ด้วยแรงดันรูปขั้นบันได คือ  $U_1 \approx \Delta U_1 U(t)$
- แทน  $C_2$  และ  $U_1$  ด้วยแหล่งจ่ายกระแสพัลส์  $i_2 \approx q \delta(t)$
- วงจรสมมูลที่ใช้ในการคำนวณวงจรตรวจจับ PD โดยไม่คิดผลของ  $Z_f$  และ  $U$  เนื่องจาก  $Z_f$  มีอิมพีแดนซ์สูงเสมือนเปิดวงจร (Open circuit) ขณะเกิด PD

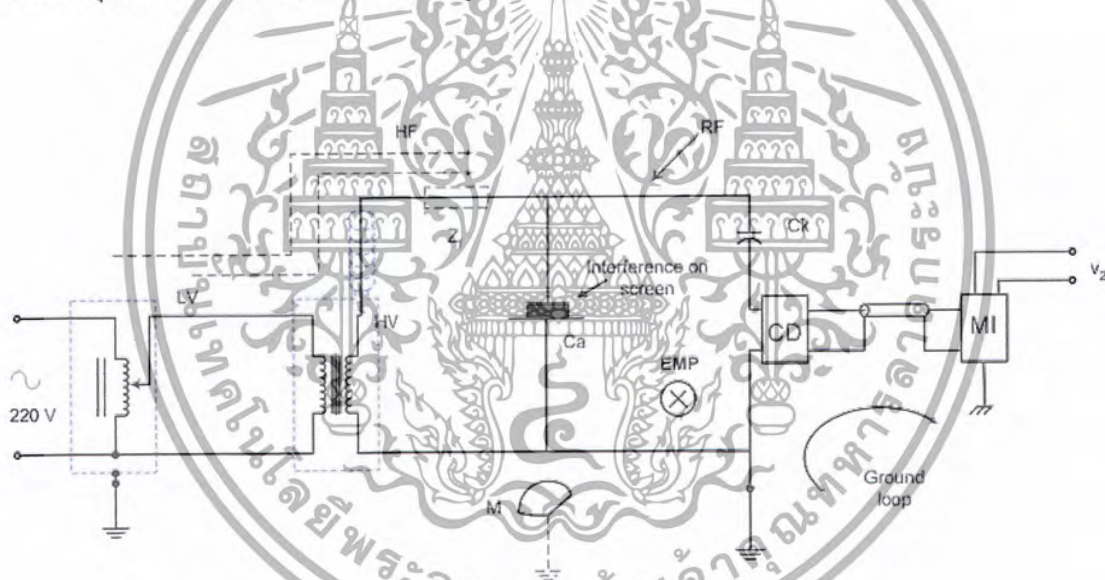
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.11 การแสดงผลของดีสชาร์จบางส่วน

การแสดงผลของดีสชาร์จบางส่วนสามารถทำได้ทั้งทางมิเตอร์ทางจอภาพของออสซิลโลสโคป และทางเครื่องบันทึกค่าของดีสชาร์จบางส่วนที่มาตรฐานกำหนด โดยปกติจะแสดงในเทอมของ “ประจุที่ปรากฏ” (Apparent Charge) ของ PD หรือ “ขนาดของดีสชาร์จ” มีหน่วยเป็นพิโคคูลอมม์ (pC) จากเหตุผลดังกล่าวการอ่านค่า  $q$  จึงนิยมอ่านจากค่ายอดของ  $v_2$  ซึ่งอาจได้จากจอภาพของออสซิลโลสโคป หรือมิเตอร์ที่อ่านค่ายอดได้ด้วยตัวอย่างการแสดงผลหรือวัดผลของดีสชาร์จบางส่วนทางจอภาพและทางเครื่องบันทึก

### 2.6.12 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนจะประกอบด้วย สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางอากาศ และทางแหล่งจ่าย นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากการดีสชาร์จของอุปกรณ์ที่เป็นโลหะและวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบ หรือกราวด์ไม่ดี การเกิดกราวด์ลูป (Ground loop) และเกิดสัญญาณออสซิลเลชันเนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ไม่ดี (หลวม) รายละเอียดดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ

- โดยที่ HF คือ สัญญาณความถี่สูงที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายได้แก่ ฮาร์มอนิกควมถี่สูง  
 RF คือ คลื่นรบกวนวิทยุซึ่งอาจจะเป็นคลื่นวิทยุโดยตรง คลื่นรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจาก อุปกรณ์แรงดันสูง หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่อยู่ใกล้วงจร  
 EMP คือ สัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากการทำงานของสวิทช์หรือ ไซริสเตอร์

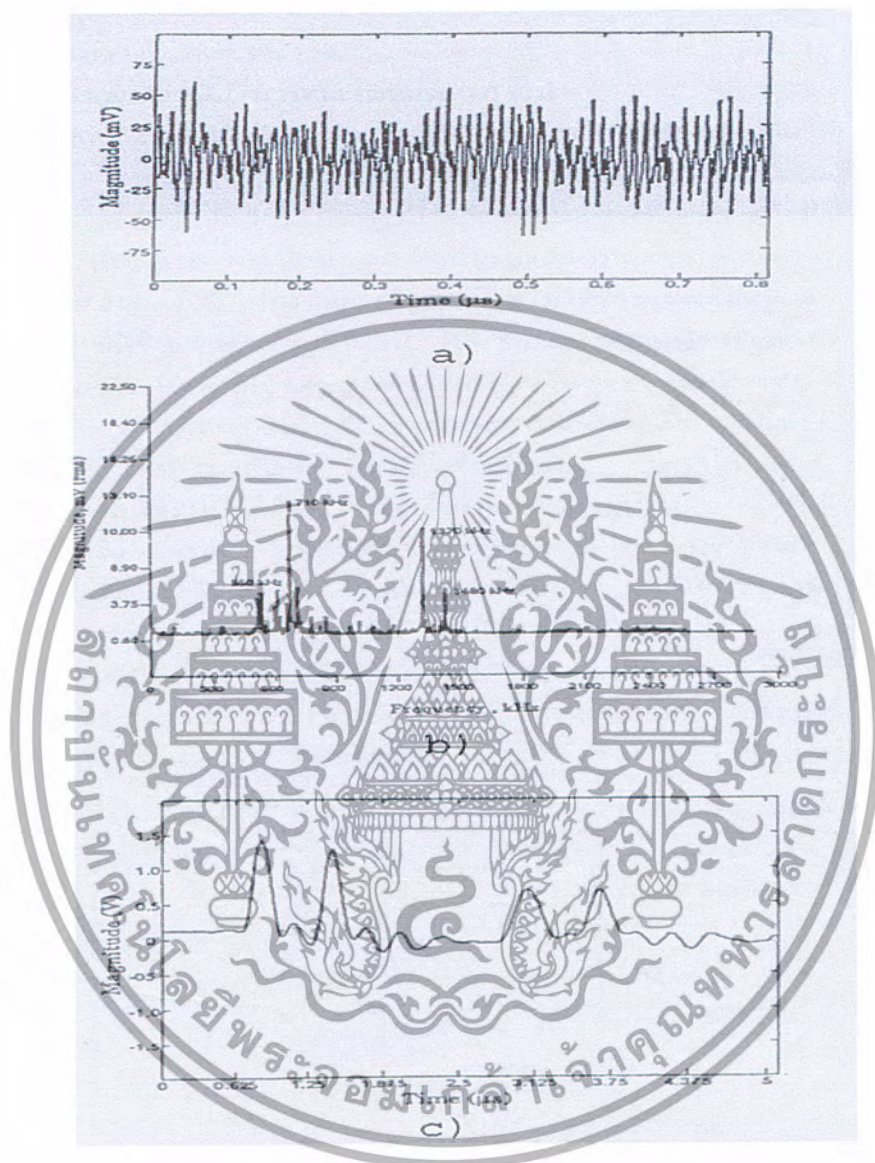
Interference On Screen คือ สัญญาณรบกวนที่ซิลด์ หรือสกรีน หรือที่ขั้วแรงดันต่ำของวัสดุ

ทดสอบที่มีซิลด์ขนาดใหญ่ เช่น เกลบิล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ground loop คือ การเกิดครบวงรอบของสายดิน

Ungrounded คือ เกิดคิฮซาร์จของโลหะที่ไม่ได้ต่อลงดินวางอยู่ใกล้วงจรทดสอบ

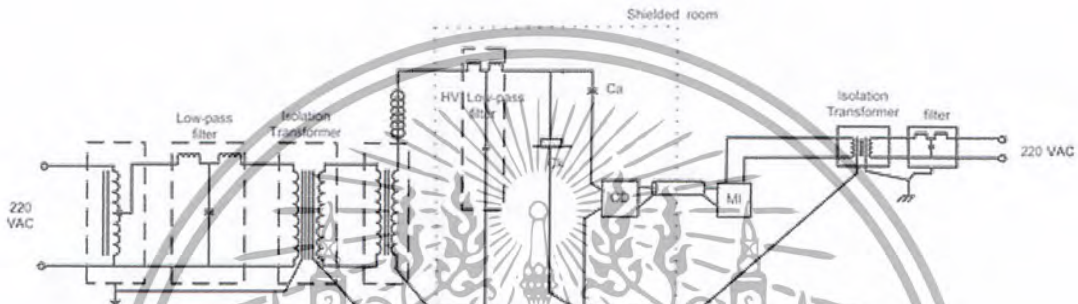


รูปที่ 2.24 สัญญาณรบกวนที่แทรกเข้ามาในขณะวัด

- a) สัญญาณ PD และสัญญาณรบกวนที่ปะปนเข้ามา
- b) Frequency Spectrum ของสัญญาณรบกวนในรูป
- c) สัญญาณ PD ที่ได้หลังจากผ่านการลดสัญญาณรบกวนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดสัญญาณความถี่สูง เช่น พวกรบกวนความถี่สูงๆ จะใช้ตัวกรองแรงดันต่ำและอาจจะเพิ่มหม้อแปลงขดลวดแยก (Isolation Transformer) ช่วยก็ได้ โดยต่อไว้ทางด้านขดลวดแรงดันต่ำของหม้อแปลงทดสอบในกรณีที่เกิด PD ในหม้อแปลงทดสอบจะต้องใช้ตัวกรองแรงดันสูงต่อทางด้านขดลวดแรงดันสูงของหม้อแปลงทดสอบ การลดสัญญาณรบกวน RF และ EMP ซึ่งเข้ามาทางอากาศทำได้โดยการทดสอบในห้องชีลด์ การแก้ปัญหาเรื่องกราวด์รูปทำได้โดยการต่อกราวด์ร่วมกันเพียงจุดเดียว ตัวอย่างการแก้ปัญหากรบกวน แสดงในรูปที่ 2.24



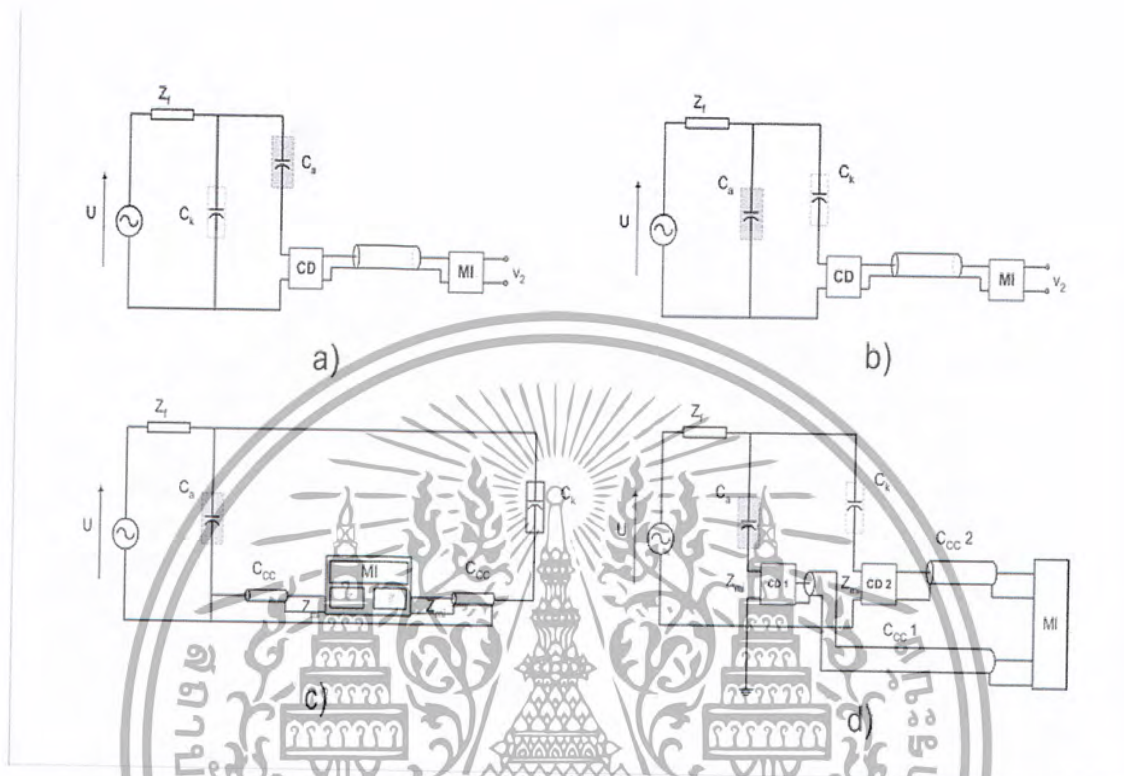
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน

### 2.6.13 เทคนิคการวัดคัสซาร์บางส่วน

โดยปกติวัสดุทดสอบทั่วไป อาจแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุชนิดองค์ประกอบแบบลัม (lump) หรือเก็บประจุธรรมดา วงจรทดสอบ PD ตามมาตรฐานต่างๆ จะมีลักษณะเช่นเดียวกันในที่นี้ใช้วงจรทดสอบตามมาตรฐาน IEC โดยรูปที่ 2.26a และรูปที่ 2.26b เป็นวงจรทดสอบแบบวีธีตรง ข้อดีของวงจรรูปที่ 2.26a คือขั้วแรงดันต่ำของวัสดุทดสอบต่อลงกราวด์โดยตรง ในกรณีที่วัสดุทดสอบเกิดการเบรคดาวน์อุปกรณ์รับสัญญาณจะไม่ได้ได้รับความเสียหายและเหมาะสมสำหรับทดสอบวัสดุทดสอบที่มีขั้วแรงดันต่ำหรือชีลด์หรือ Screen ขนาดใหญ่ เช่น สายเคเบิล เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ชีลด์ของเคเบิลจะถูกต่อลงกราวด์โดยตรง ข้อดีของวงจรรูปที่ 2.26b จะให้ความไวในการวัดสูงกว่าแบบแรกในกรณีที่วัสดุทดสอบมีขนาดเล็ก เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุแบบสตรีจะทำให้ตัวเก็บประจุคัปปลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในรูปที่ 2.26c เป็นวงจรทดสอบแบบสมดุลย์ วงจรแบบนี้จะมีข้อได้เปรียบในเรื่องการลดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายหรือสัญญาณแบบ “คอมมอนโหมด” ในรูปที่ 2.26d เป็นวงจรทดสอบแบบแยกขั้วสัญญาณได้ (Polarity Discrimination) มีข้อดีเช่นเดียวกับวงจรทดสอบแบบสมดุลแต่มีความสามารถเพิ่มเติมในการแยกขั้วสัญญาณภายนอกออกจาก PD ภายในวงจรทดสอบได้ แต่ข้อเสียของวงจรรูปที่ 2.26b, 2.26c และ 2.26d อาจทำให้เครื่องวัดได้รับความเสียหายในกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุทดสอบเกิดเบรคความถี่และไม่เหมาะในการทดสอบวัสดุที่มีขนาดใหญ่มาก เนื่องจากซีลด์ไม่ได้ต่อลงกราวด์โดยตรง ดังนั้นถ้ามีสัญญาณรบกวนที่ซีลด์จะทำให้ความไวในการวัด PD ลดลง



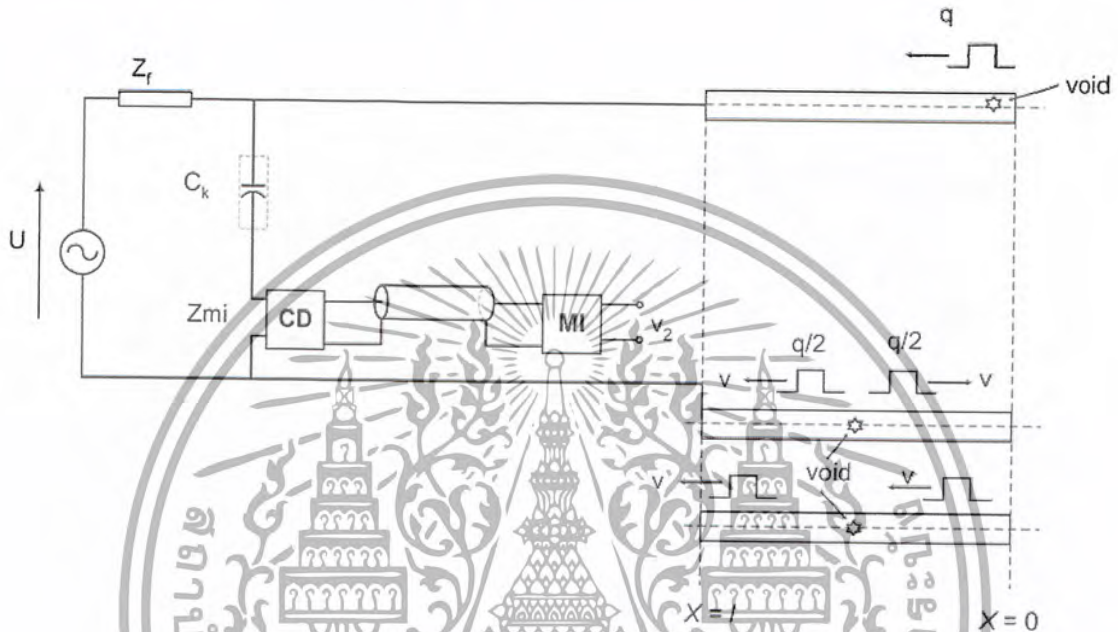
รูปที่ 2.26 วงจรทดสอบดิสซาร์จบางส่วนแบบต่างๆ

การปรับเทียบวงจรทดสอบโดยปกติจะทำก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ โดยใช้เครื่องปรับเทียบดิสซาร์จมาตรฐานในการป้อนกระแสพัลส์สั้นๆ ที่มีประจุ (Pulse area)  $q_{cal}$  ซึ่งทราบค่าที่แน่นอนที่ขั้วทั้งสองของวัสดุทดสอบถ้าเครื่องตรวจจับ PD อ่านค่า PD ได้  $a_1$  ดังนั้น Scale Factor =  $q_{cal} / a_1$  หลังจากทำการปรับเทียบเสร็จแล้วต้องเอาเครื่องปรับเทียบดิสซาร์จมาตรฐานออกก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ (ในกรณีที่เป็นตัวเก็บประจุแรงดันต่ำ) ขณะทำการทดสอบที่แรงดันตามมาตรฐานกำหนด ถ้าในขณะนั้นเครื่องตรวจจับ PD อ่านค่าได้  $A_1$  ดังนั้นความจุที่ปรากฏของ PD คือ  $q = K_1 A_1$  และความไวของวงจรทดสอบ  $q_{min} = 2K_1 h_0$  เมื่อ  $h_0$  คือค่าสูงสุดของระดับ "Background noise" ที่อ่านจากเครื่องตรวจจับ PD หลังการปรับเทียบ (ก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.14 การวัดคิสร่างบางส่วนสำหรับสายเคเบิล

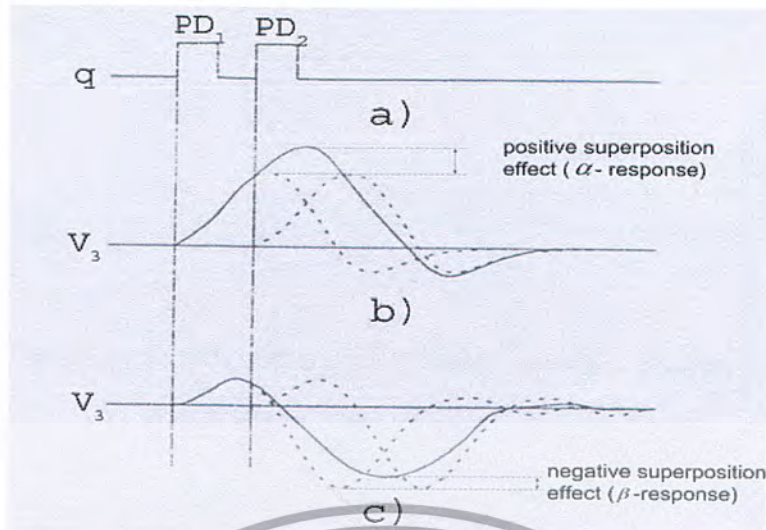
การวัดคิสร่างบางส่วนสำหรับเคเบิลถ้าเป็นเคเบิลสั้นการวัด PD จะทำเช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ทดสอบอื่นๆ แต่สำหรับเคเบิลยาวนั้นเราจะพิจารณาเคเบิลยาวเป็นลักษณะสายส่งคือ PD จะทำให้เกิดคลื่นจรเคลื่อนที่ออกไปปลายทั้งสองด้านของเคเบิล วงจรทดสอบดังแสดงรูปที่ 2.27 เกิด PD ที่ปลายด้านไกล ( $x = l$ ) และแสดงการเกิด PD ที่จุดใดๆ ภายในเคเบิล



รูปที่ 2.27 การเกิดคลื่นจรขณะเกิด PD ในเคเบิลยาว

ขณะเกิด PD จะทำให้คลื่นถูกจรรูกแรกเคลื่อนที่ไปที่เครื่องตรวจจับ PD โดยตรง ในขณะที่คลื่นจรที่สองจะเคลื่อนที่ไปที่ปลายด้านไกลก่อนแล้วจึงสะท้อนกลับออกมาที่เครื่องตรวจจับ PD ในเวลาไล่เลี่ยกัน ดังรูปที่ 2.28a ทำให้เครื่องตรวจจับ PD วัดค่าผิดเนื่องจากการเกิดซูเปอร์โพสิชันของคลื่นจร ในกรณีที่คลื่นจรเกิดซูเปอร์โพสิชันแบบบวกจะทำให้ค่าที่อ่านได้มากกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง (ไม่เกิน 2 เท่าของค่าปกติ) ซึ่งเป็นกรณีที่ยอมรับได้ สำหรับกรณีที่คลื่นจรเกิดซูเปอร์โพสิชันแบบลบจะทำให้ค่า PD ต้องมีการหักล้างผลอันนี้ วิธีการแก้ปัญหาที่ง่าย ประหยัดและเป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไปทำได้ โดยการใช้เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้าง เครื่องดังกล่าวจะให้เอาต์พุตเป็นแบบ " $\alpha$ -response" ดังนั้นขณะที่มีการสะท้อนของคลื่นจรจะทำให้เกิดเฉพาะซูเปอร์โพสิชันแบบบวกเท่านั้นดังแสดงรูปที่ 2.28b ส่วนเครื่องตรวจจับ PD แบบอื่นจะให้เอาต์พุตแบบ " $\beta$ -response" ทำให้มีโอกาสเกิดซูเปอร์โพสิชันแบบลบได้ แสดงดังรูปที่ 2.28c จึงควรหลีกเลี่ยงเครื่องตรวจจับ PD แบบนี้ในการทดสอบสายเคเบิลยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

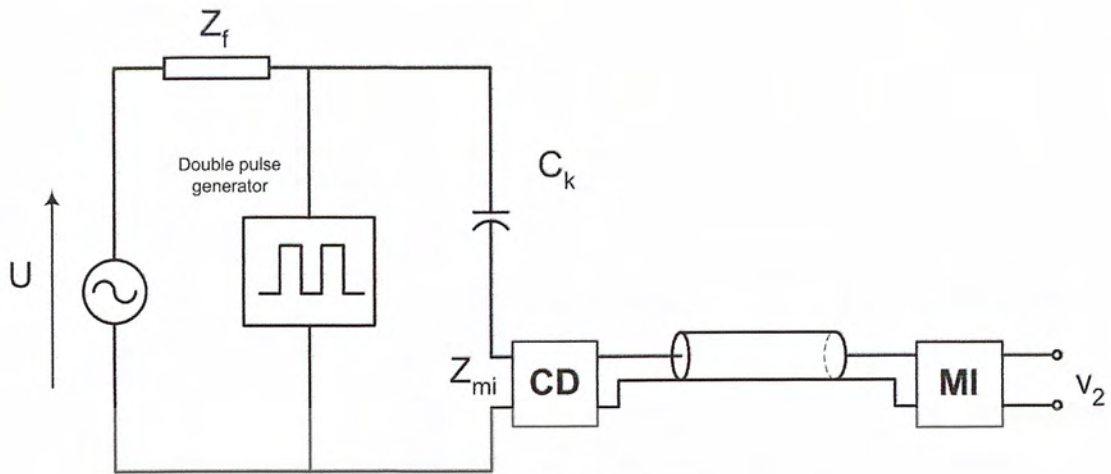


รูปที่ 2.28 การเกิดชุปเปอร์โพสิชันสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่างๆ

มาตรฐานในการทดสอบสายเคเบิล เช่น IEC 885-3 และ NEMA W8-1976 ได้กำหนดการตรวจสอบคุณภาพชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ PD สำหรับใช้ในการทดสอบเคเบิล ซึ่งวงจรทดสอบดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.29 โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “เครื่องกำเนิดพัลส์คู่” ในการจำลองคลื่นจลลักษณะเดียวกันกับที่เกิดขึ้นที่สายเคเบิล แต่สามารถปรับระยะห่างระหว่างคลื่นจลทั้งสองเวลาที่ต่างๆ ตั้งแต่ 0.2 ถึง 100 ไมโครวินาที แล้วเขียน “ไดอะแกรมพัลส์คู่” เพื่อดูลักษณะการเกิดชุปเปอร์โพสิชันของคลื่นจลที่เวลาต่างๆ รูปที่ 2.30a แสดงไดอะแกรมพัลส์คู่ที่ไม่เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบ ส่วนรูปที่ 2.30b แสดงไดอะแกรมพัลส์คู่ที่เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบในช่วงเวลา  $t_1$  ถึง  $t_2$  ใดๆก็ตาม IEC 885-3 ยอมรับให้เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบลบได้ไม่เกิน 10% ส่วน NEMA WC8-1976 ยอมรับให้เกิดการรวมกับแบบลบได้ไม่เกิน 15% นอกจากนี้ NEMA ยังกำหนดด้วยว่า “เวลาแยกซัดของพัลส์” (Pulse Resolution time) “ $T_r$ ” ของเครื่องตรวจจับ PD ควรีประมาณ 4 ถึง 6 ไมโครวินาที

การพิจารณาว่าสายส่งที่ทดสอบเป็นแบบเคเบิลยาวหรือเคเบิลสั้นจะพิจารณาที่ระยะ  $x = l_k$  เกณฑ์ คือ ถ้า  $x > l_k$  จะถือว่าเป็นเคเบิลยาวโดยที่  $l_k = 0.5vt_k$  เมื่อ  $v$  คือความเร็วของคลื่นจล (150 ถึง 170 เมตรต่อวินาที สำหรับเคเบิลที่มีฉนวนชนิด (XLPE) และ  $t_k$  คือเวลาที่เกิดชุปเปอร์โพสิชันแบบบวกเท่ากับ 1.4 เท่าของค่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



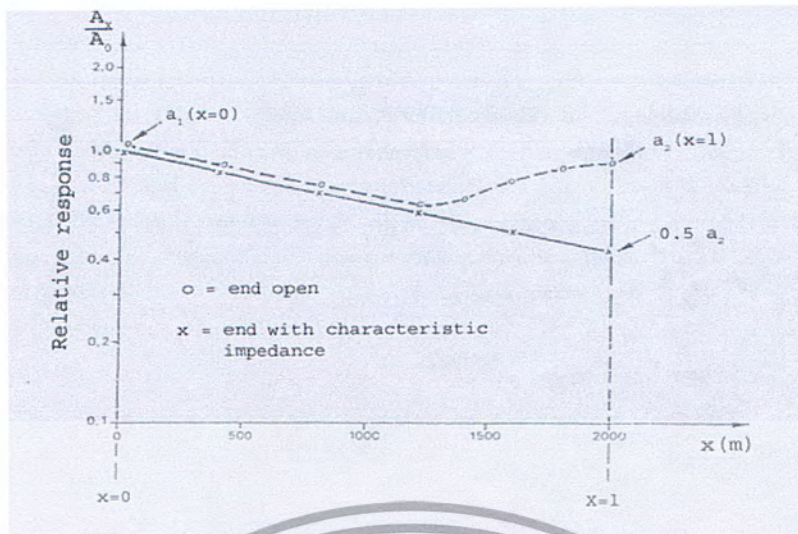
รูปที่ 2.29 วงจรตรวจสอบคุณสมบัติซูบเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ



รูปที่ 2.30 ไดอะแกรมพัลส์คู่เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิล

ในทางปฏิบัติจะพบว่า การทดสอบเคเบิลยาวจะมีผลของการสูญเสียพลังงานของคลื่นจรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย คือขณะที่คลื่นจรเคลื่อนที่ไปจะทำให้มีขนาดลดลงเรื่อยๆ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาด สำหรับ IEC 885-3 จะยอมให้ค่าที่อ่านได้ในกรณีเมื่อรวมผลของซูบเปอร์โพสิชันเข้าไปด้วยจะต้องน้อยกว่าความเป็นจริงไม่เกิน 30% ในรูปที่ 2-31 แสดงไดอะแกรมพัลส์คู่ เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิลเข้าไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 โค้ดแกรมพัลส์สัญญาณเมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิลเข้าไปด้วย

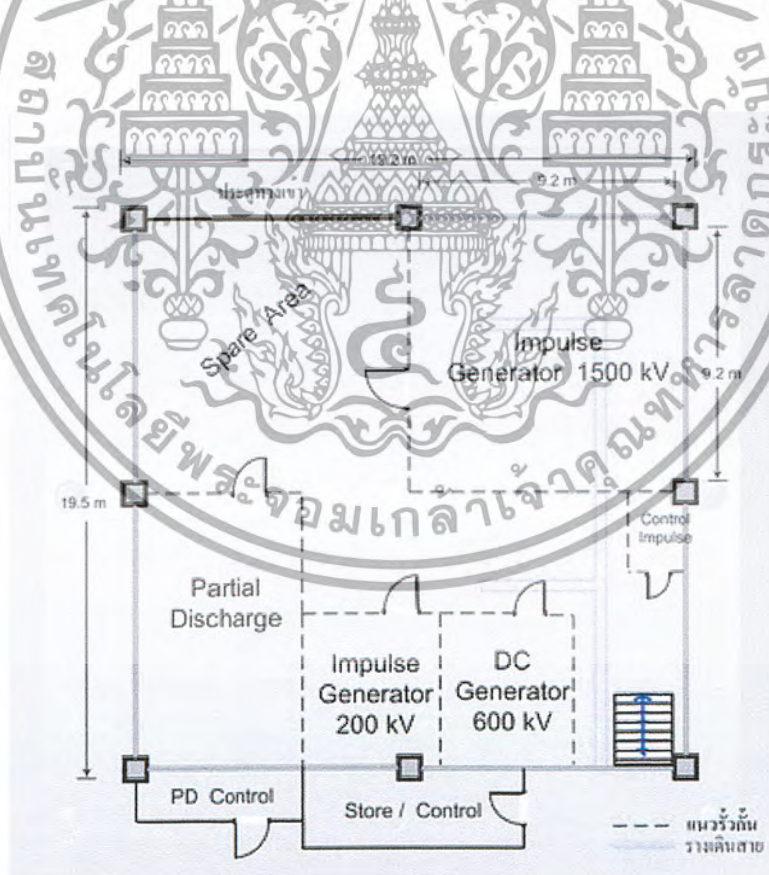
จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว IEC 885-3 ได้กำหนดการหาค่าความไวของเครื่องตรวจจับ PD ระหว่างการทดสอบทำได้โดยการป้อนประจุมาตรฐาน  $q_{cal}$  ที่ปลายด้านไกลทำให้เครื่องตรวจจับ PD อ่านค่า  $a_2$  ดังนั้น Scale Factor  $K_1$  เท่ากับ  $q_{cal} / a_1$  การหา Correction Factor  $F$  (เพื่อชดเชยการสูญเสียในเคเบิล) ทำได้ดังนี้ คือ ถ้า  $a_2 \geq a_1$  จะถือว่า  $F=1$  แต่ถ้า  $a_2 < a_1$  จะทำให้  $F = (a_1 / a_2)^{1/2}$  ความไวของเครื่องวัดสามารถคำนวณได้ คือ  $q_{min} = 2k_1 h_0 F$  โดยที่  $h_0$  ค่าสูงสุดระดับ "Background Noise" การวัดค่า PD ที่เกิดขึ้นจริงในเคเบิลจะต้องทำการทดสอบสองครั้ง โดยครั้งแรกจะทำการทดสอบที่ปลายด้านใกล้ และครั้งที่สองจะทำการทดสอบที่ปลายด้านไกล ค่า PD ที่อ่านได้คือ  $A_1$  และ  $A_2$  ตามลำดับ และเรียกค่า  $A_1$  หรือ  $A_2$  ที่อ่านได้มากที่สุดว่า  $A_{max}$  ดังนั้นค่า PD ที่ต้องการวัดคือ  $F = K_1 A_{max}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## วิธีการใช้งานและสิ่งที่ได้ปฏิบัติเกี่ยวกับอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

ในบทนี้เราจะกล่าวถึง อุปกรณ์ที่มีการติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของเราทั้งหมด คือ อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งอยู่ก่อนแล้วกับอุปกรณ์ที่กำลังอยู่ระหว่างการทำการติดตั้ง โดยที่เราจะทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่แล้วว่าสามารถใช้งานได้เป็นปกติหรือไม่ ด้วยการนำผลการทดสอบที่ได้ไปเทียบกับมาตรฐานในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง (IEC) ถ้าผลการทดสอบที่ได้มา มีความผิดพลาดมากกว่าที่สามารถยอมรับได้ (ค่าความผิดพลาดมากกว่าที่มาตรฐานกำหนด) ก็จะทำการตรวจสอบหาสาเหตุพร้อมกับซ่อมแซมให้ใช้งานได้ตามปกติและทำการติดตั้งอุปกรณ์ (Impulse Generator 1500 kV) ที่ทำการย้ายมาจากห้องปฏิบัติการเก่า เพื่อนำมาติดตั้งยังห้องปฏิบัติการใหม่พร้อมกับทำการซ่อมแซมให้ใช้งานได้ตามปกติ ในส่วนของอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งใหม่ (partial discharge) เราก็ทำการศึกษาถึงวิธีการใช้งาน ทำคู่มือการใช้งานเครื่องขึ้นบนแล้วติดตั้งภายในห้องปฏิบัติการเพื่อความสะดวกต่อผู้ที่จะต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องต่อไป



รูปที่ 3.1 แบบแปลนห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงตึกใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง (ทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน)

#### ขนาดพิกัดของเครื่อง

- แรงดันไฟฟ้าอินพุต (Input Voltage)	220 V	50	Hz
- แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (Output Voltage)		100	kV
- กระแสอินพุต (Input Current)		45.45	A
- กระแสเอาต์พุต (Output Current)		100	mA



รูปที่ 3.2 ชุดทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน

เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงขณะนี้ได้ใช้ในการทดสอบฉนวนเหลว เช่น น้ำมันที่ใช้ในเป็นฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อหาค่าความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งในทางปฏิบัติเมื่อนำฉนวนเหลวไปใช้เป็นฉนวนในหม้อแปลง เมื่อหม้อแปลงมีการจ่ายโหลดสูงสุดซึ่งจะทำให้ขดลวดและแกนเหล็กของหม้อแปลงร้อน และความร้อนนี้จะถูกนำพาโดยน้ำมันที่อยู่ในหม้อแปลงเพื่อระบายความร้อนไปสู่โครงของหม้อแปลง เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะทำให้ความเป็นฉนวนของน้ำมันลดลงและอาจจะทำให้เกิดการเบรคดาวนี้ได้ ดังนั้นเรื่องการทดสอบฉนวนน้ำมันเป็นเรื่องที่สำคัญมากในภาคอุตสาหกรรมเพราะว่าเมื่อหม้อแปลงเกิดความผิดพลาดขึ้นมานั้นหมายถึงจะทำให้การจ่ายไฟฟ้าต้องหยุดลงไป ทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อการดำเนินงานในภาคอุตสาหกรรมและกิจการห้างร้านต่างๆ

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V/100 kV 10 kVA
- ชุดปรับแรงดันไฟฟ้า (regulator) 0 – 220 V
- ฉนวนน้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลง
- ก่อหล่อก่อหุ้มน้ำมันและอีเลคโตรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์
- เซอร์กิตเบรกเกอร์

### วิธีการทดสอบ

- 1) ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์แต่ละตัวก่อนจะทำการทดสอบ
- 2) ปรับระยะห่างของเก็ปให้มีค่าระยะที่ห่างแตกต่างกันในการทดลองแต่ละครั้ง
- 3) ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยทำการปรับจากชุดปรับแรงดันจนถึงค่าที่ฉนวนน้ำมันเกิดการเบรกดาวน์
- 4) ทำการเปลี่ยนน้ำมันแล้วทำการปรับระยะห่างของเก็ปให้มีระยะตามที่ต้องการทดสอบต่อไป

### 3.2 หม้อแปลงเทสลา 400 kV 200 kHz (Tesla transformer 400 kV 200 kHz)

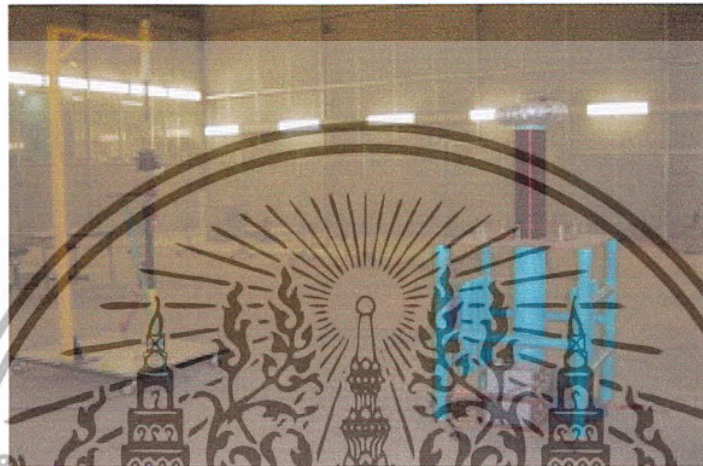
ในอดีตประเทศไทยต้องสั่งซื้อลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูงจากต่างประเทศเข้ามาใช้ด้วยราคาที่แพง เมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชาชนเพิ่มมากขึ้นก็จำเป็นต้องใช้ลูกถ้วยจำนวนมากเช่นกัน จึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อทำลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าพอร์ซเลนขึ้นเป็นอุตสาหกรรมยังผลให้ปัจจุบัน มีโรงงานผลิตลูกถ้วยแรงสูงแบบพอร์ซเลนหลายแห่ง โดยวัสดุที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นวัสดุในประเทศ ในทางอุตสาหกรรมการผลิตลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าพอร์ซเลนจะใช้หม้อแปลงเทสลาเป็นตัวจ่ายแรงดัน สำหรับทดสอบลูกถ้วยทุกๆ ลูกที่ผลิตขึ้นในโรงงาน เพื่อทดสอบคุณภาพ ขั้นตอนของลูกถ้วยว่ามีความบกพร่องภายในเนื้อฉนวนลูกถ้วยหรือไม่ ด้วยวิธีการทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ โดยใช้แรงดันสูงและความถี่สูงในการตรวจสอบความบกพร่องภายในลูกถ้วยฉนวน หากลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าพอร์ซเลนมีรอยแตกร้าว รูพรุนหรือมีความบกพร่องภายในจะไม่เกิดการวาวไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวน แต่จะเกิดการเจาะทะลุซึ่งเป็นผลเนื่องจากความร้อนและความถี่สูง ฉะนั้นโรงงานผลิตลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าพอร์ซเลนทุกแห่งจะต้องมีหม้อแปลง เทสลาสำหรับใช้ทดสอบลูกถ้วยที่ผลิตขึ้น แต่หม้อแปลงเทสลาที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศนั้นมีราคาแพงมาก จึงได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในด้านนี้ในสถาบันการศึกษาต่างๆ เพื่อประกอบสร้างหม้อแปลงเทสลาขึ้นเองโดยใช้วัสดุภายในประเทศ ซึ่งจะสามารถช่วยให้สร้างหม้อแปลงเทสลาขึ้นในราคาที่ประหยัดและมีขีดความสามารถในการใช้ทดสอบลูกถ้วยฉนวนได้จริงและมีประสิทธิภาพ

### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ทำการเปิดสวิตซ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของชุดมอเตอร์ก่อนเพื่อให้สปาร์กเก็ปทำงาน
- 2) ทำการเปิดสวิตซ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของชุด Variac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

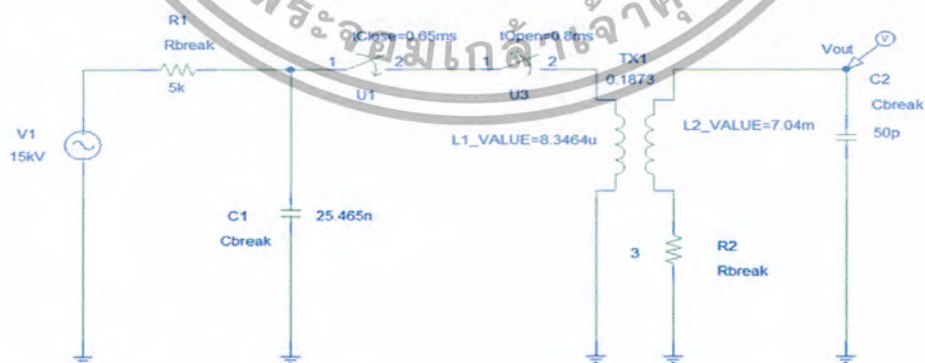
- 3) ทำการปรับขนาดแรงดันที่ Variac
- 4) เมื่อมีการวาวไฟตามหัวที่ลูกถ้วยเป็นเวลาประมาณ 3 – 5 วินาที จึงทำการปรับขนาดแรงดันให้ลดลงจนเป็นศูนย์
- 5) ปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งสองตัว
- 6) ทำการคายประจุให้กับคาปาซิเตอร์เพื่อเตรียมพร้อมในการทดสอบครั้งต่อไป



รูปที่ 3.3 หม้อแปลงทดสอบ

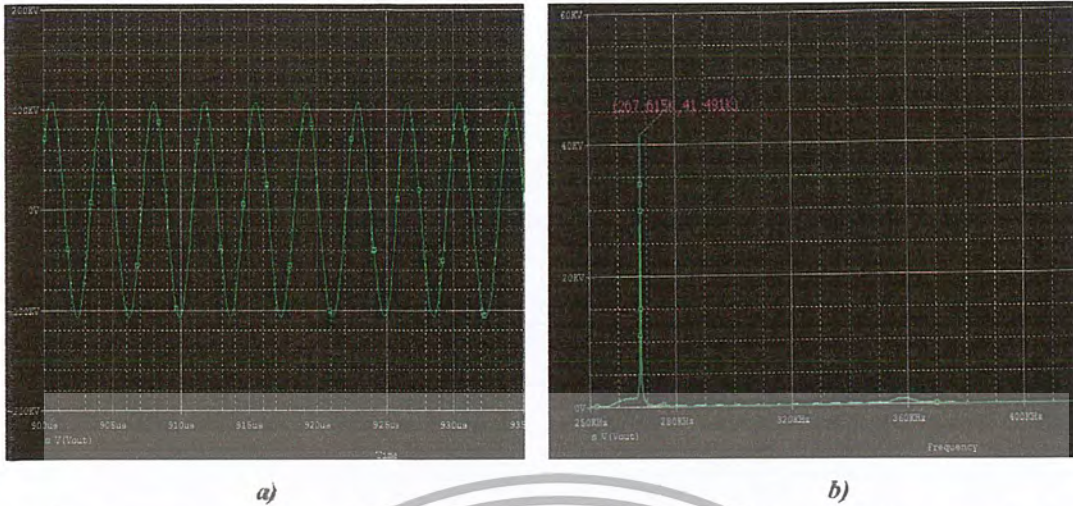
#### การทดสอบและประเมินผล

เนื่องจากทางห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของเราไม่มีเครื่องมือที่สามารถทำการทดสอบรูปแบบของรูปคลื่นที่ออกมาจากหม้อแปลงทดสอบได้ ทำให้เราไม่สามารถทดสอบด้วยออสซิลโลสโคปที่มีอยู่ได้ จึงทำให้เราต้องทดสอบด้วยแบบจำลองของหม้อแปลงทดสอบในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม pspice แทน



รูปที่ 3.4 Simulation model ของวงจรสมมูลหม้อแปลงทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ผลการ Simulation ของหม้อแปลงเทสลา (a) แรงดันเอาต์พุตที่ได้ (b) แรงดันเอาต์พุตในรูปแบบสเปกตรัมความถี่

#### ผลการทดสอบลูกถ้วยฉนวน

การทดสอบเราจะทำการสังเกตการฉาบไฟตามผิวของลูกถ้วย โดยที่การฉาบไฟบนลูกถ้วยฉนวนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อลูกถ้วยฉนวนนั้นมีคุณสมบัติเป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดีและไม่เกิดความบกพร่องภายในลูกถ้วย แต่ถ้าไม่เกิดการฉาบไฟตามผิวลูกถ้วยฉนวนแสดงว่าลูกถ้วยมีความบกพร่องภายใน เช่น เกิดฟองอากาศภายในเนื้อสารของลูกถ้วย หรือลูกถ้วยเกิดการบิ่น แตกหัก ในขบวนการผลิตทำให้ขาดคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ลูกถ้วยแต่ละชนิดจะเกิดการฉาบไฟตามผิวที่ระดับแรงดันที่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฉาบไฟตามผิวลูกถ้วยประมาณ 60-200 kV ดังนั้นจึงต้องปรับระยะสปาร์กแกปตามชนิดของลูกถ้วยที่นำมาทดสอบกับหม้อแปลงเทสลา เพื่อให้เกิดการฉาบไฟที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 3.6 การฉาบไฟตามผิวลูกถ้วยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (DC Generator 600 kV)

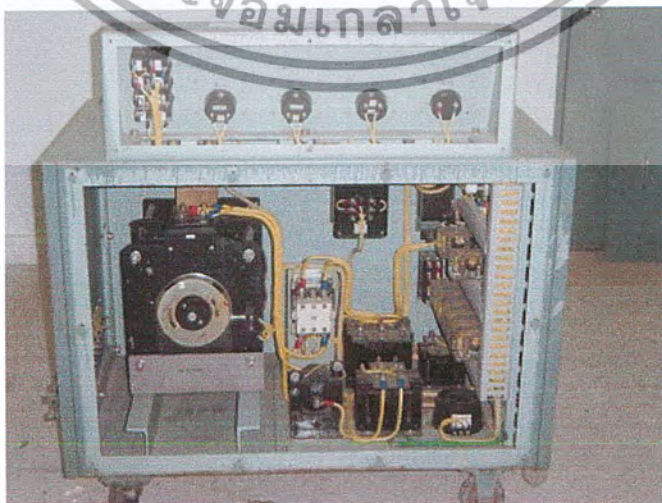
#### ขนาดพิกัดของเครื่อง

- อินพุทแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	0-220	V
- เอาท์พุทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	600	kV
- กระแสเอาท์พุทสูงสุด	10	mA
- ชนิดของแรงดันเอาท์พุทเป็นแบบ		Negative



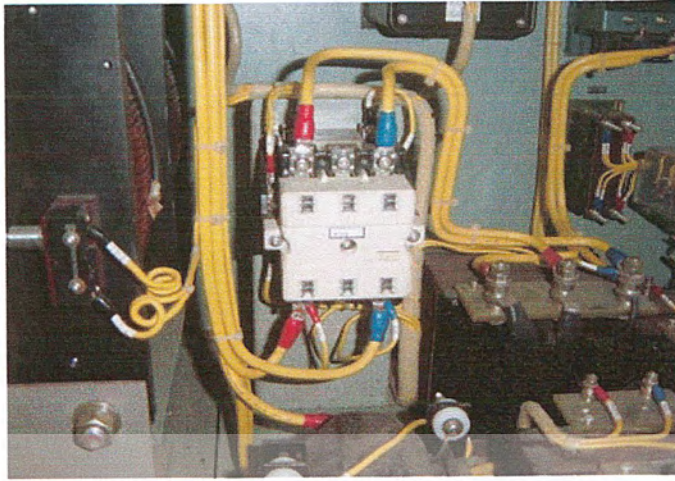
รูปที่ 3.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

เนื่องจากก่อนหน้านี้ชุดคอนโทรลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ได้รับความเสียหายใช้การไม่ได้จึงได้กระทำการซ่อมแซม โดยการเปลี่ยนเมคเนติกคอนแทคเตอร์ที่ทำการตัดต่อวงจร (MC) ในรูปที่ 3.14 หลังจากนั้นจึงได้จึงได้ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงว่าแรงดันเอาท์พุทของเครื่องตรงกับแรงดันมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่



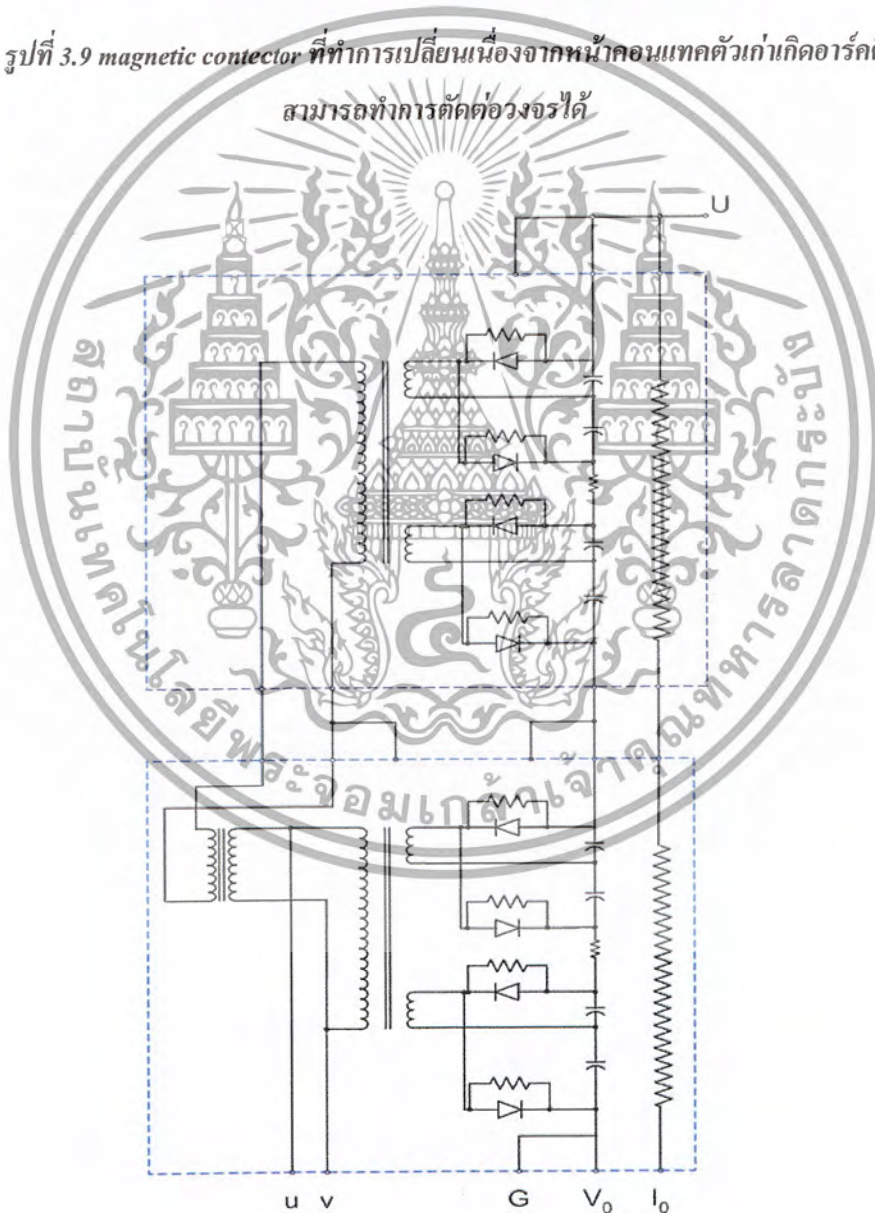
รูปที่ 3.8 แสดงการต่อสายภายในชุดคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



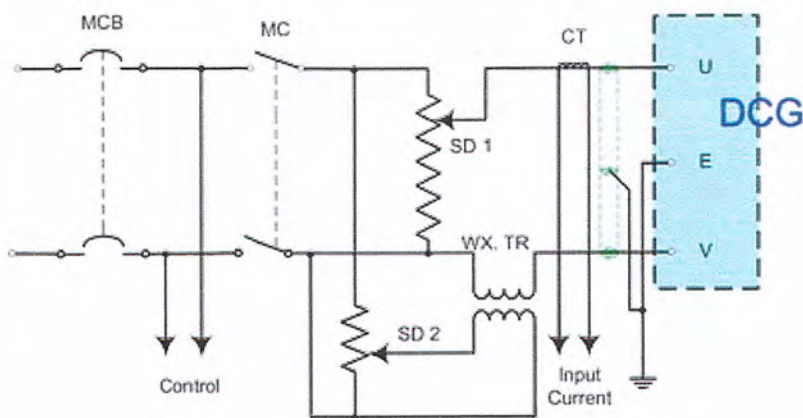
รูปที่ 3.9 magnetic contactor ที่ทำการเปลี่ยนเนื่องจากหน้าคอนแทคตัวเก่าเกิดอาร์คติดกันไม่

สามารถทำการตัดต่อวงจรได้



รูปที่ 3.10 วงจรกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรคอนโทรลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

#### ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

- 1) เปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์เมน
- 2) เปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรกำลัง
- 3) เปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรชุดคอนโทรล
- 4) ทำการปรับระยะแกปให้มีระยะห่างที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งประมาณ 1 cm
- 5) ทำการเปิดไฟสัญญาณว่าจะทำการทดสอบเพื่อให้ผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้นทราบ
- 6) ทำการหมุนชุดปรับขนาดแรงดันให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ทุกครั้งก่อนทำการทดสอบ
- 7) กดปุ่ม Prepare
- 8) กดปุ่ม ON
- 9) ทำการปรับขนาดแรงดันจากชุดปรับหยาบ จนได้แรงดันที่ใกล้เคียงกับแรงดันเบรกคาวนี้ ดูได้จากตารางแรงดันมาตรฐานของแต่ละระยะห่างของแกป แล้วจึงทำการปรับละเอียดจนเกิดการเบรกคาวนี้
- 10) กดปุ่ม OFF และกดปุ่ม Indicator reset

#### 3.4 เครื่องวัดพลังงานความสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss Measurement)

ในปัจจุบันการหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก (Capacitance and Dissipation  $\tan \delta$ ) ซึ่งเป็นหัวข้อหนึ่งของการทดสอบฉนวนของ ภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการตรวจวัด ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะฉนวนสายเคเบิลในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งในปัจจุบันจะทำการทดสอบอยู่ 2 มาตรฐาน คือมาตรฐาน ICEA S-66-524 และมาตรฐาน IEC 60502-2 ซึ่งจะทำการทดสอบตามมาตรฐานและหัวข้อใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับประเภทของสายเคเบิลนั้นๆ โดยในการทดสอบหัวข้อต่างๆ ของแต่ละมาตรฐานจะมีขั้นตอนและวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันไป ซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ก่อนข้างมากในการทดสอบ จึงทำให้เกิดความยุ่งยากและต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์ในการทดสอบเพื่อควบคุมการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน

### 3.4.1 พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss)

พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก ของฉนวนขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันและสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ เวลาและคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกเอง ในฉนวนนอกจากพลังงานสูญเสียเนื่องจากสภาพนำไฟฟ้าแล้วยังมีพลังงานสูญเสียเนื่องจากโพลาไรเซชันและไอออนไนเซชัน จัดเป็นพลังงานสูญเสียทางกลไฟฟ้าเพราะโมเลกุลของไดอิเล็กตริกต้องกลับหัวไปตามการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า ฉะนั้นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกจะมีค่าจริงอย่างเดียว หากแต่มีจินตภาพด้วย ถ้าป้อนแรงดันในรูปคลื่นไซน์ให้กับคาปาซิเตอร์ที่สมบูรณ์ กระแสที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์จะมีเฟสหน้าหน้าแรงดันเป็นมุม  $90$  องศา ซึ่งในทางปฏิบัติกระแสที่ไหลจะนำหน้าแรงดันน้อยกว่า  $90$  องศาเพราะมีพลังงานสูญเสียที่สูญเสียไปในรูปของค่าความต้านทาน ซึ่ง  $\phi$  จะเป็นมุมเฟสคาปาซิเตอร์เพราะฉะนั้น  $\delta$  จึงเป็นมุมพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกหรือ  $\delta = 90^\circ - \phi$  (loss angle) ดังนั้นพาวเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ  $\cos \phi$  หรืออีกทางหนึ่งเท่ากับ  $\sin \delta$  ฉะนั้นแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกจึงเป็น  $\tan \delta$  (loss tangent) ซึ่งกระแส I จะแบ่งเป็นสองส่วนคือกระแสแอดที่  $i_r$  ไหลผ่าน R และกระแสแอดที่  $i_c$  ไหลผ่าน C

### 3.4.2 มาตรฐานและหัวข้อการทดสอบ

หัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบหาค่าคาปาซิแตนซ์และพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก ที่อุณหภูมิสถานะปกติ โดยแรงดันและระยะเวลาความยาวสายที่ทำการทดสอบจะขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันของสายเคเบิลที่นำมาทดสอบ โดยสายเคเบิลที่นำมาทดสอบนั้นต้องมีพิกัดแรงดันของสายไม่ต่ำกว่า  $5001$  โวลต์ ซึ่งระยะเวลาความยาวสายที่นำมาทดสอบเท่ากับ  $13$  ฟุต และถ้าสายที่นำมาทดสอบมีพิกัดแรงดันตั้งแต่  $15,000$  โวลต์ขึ้นไปจะต้องใช้สายในการทดสอบ  $17$  ฟุต โดยสายที่จะนำมาทดสอบนั้นต้องทำการแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา  $1$  วัน ก่อนทำการทดสอบเพื่อให้เป็นสื่อนำกระแสที่ไหลผ่านฉนวนไปยังเครื่องมือทดสอบและปลายสายจะต้องอยู่เหนือระดับน้ำข้างละ  $2 \frac{1}{2}$  ฟุต ตามมาตรฐานเพื่อป้องกันการเกิด (leakage) โดยผลของการทดสอบนั้นค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก ( $\tan \delta$ ) ต้องมีค่าไม่เกิน  $2\%$  และค่าพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ของฉนวนสายเคเบิลจะต้องมีค่าไม่เกิน  $3.5$  ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

### 3.4.3 การทดสอบในหัวข้อ Accelerated Water Absorption

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบในลักษณะของการเร่งอายุการใช้งาน โดยวิธีการดัมสายเคเบิล โดยจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $75 \pm 1^\circ \text{C}$  เป็นระยะเวลา  $14$  วัน โดยสายเคเบิลที่นำมาทดสอบต้องมีความหนาของฉนวนไม่น้อยกว่า  $1.14 \text{ mm}$  โดยระยะเวลาความยาวสายในการทดสอบที่  $15$  ฟุต ตามมาตรฐาน ซึ่งจะต้องทำการดัมสายทิ้งไว้เป็นระยะเวลา  $1$  วัน ก่อนทำการทดสอบเพื่อให้เป็นสื่อนำกระแสที่ไหลผ่านฉนวนไปยังเครื่องมือทดสอบและปลายสายจะต้องอยู่เหนือระดับน้ำข้างละ  $2 \frac{1}{2}$  ฟุต ตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันการเกิดลิกเกตุ ดังนั้นระยะในการทดสอบจริงจะเป็นที่ระยะเวลาความยาว  $10$  ฟุต และจะต้องมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาชนะปิดเพื่อป้องกันไอน้ำขึ้นมาจับบริเวณสายที่ไม่ได้ทำการทดสอบ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความชื้นและทำให้ค่าที่ทดสอบนั้นเกิดความผิดพลาด สำหรับแรงดันที่ใช้ในการทดสอบจะทำการทดสอบที่แรงดัน 40 V/mil และ 80 V/mil ซึ่งจะทำการทดสอบในวันที่ 1, 7 และ 14 จะต้องมีค่าไม่เกิน 1.5 % และเปอร์เซ็นต์ในการเพิ่มขึ้นของคาปาซิแตนซ์ในวันที่ 1-14 จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า 3 % และค่าเพอร์มิทิวิตีสัมพัทธ์ของสายฉนวนสายเคเบิลจะต้องมีค่าไม่เกิน 3.5 ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

#### 3.4.4 การทดสอบในหัวข้อ Tan $\delta$ Measurement ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 (1998)

ในการทดสอบหัวข้อ tan  $\delta$  Measurement ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 สายเคเบิลที่นำมาทดสอบจะต้องมีพิกัดแรงดันของสายไม่ต่ำกว่า 6/10 (12) kV โดยระยะความยาวสายที่นำมาทดสอบจะต้องอยู่ในช่วง 10-15 เมตร ซึ่งตามมาตรฐานนั้นจะมีวิธีการทดสอบอยู่ 3 วิธี คือวิธีการดัม วิธีการรอบ และวิธีการจ่ายกระแส โดยการทดสอบที่อุณหภูมิสูงกว่าสภาวะการทำงานปกติ 5-10 °C หรือประมาณ 95-100 °C (ฉนวน XLPE อุณหภูมิการใช้งานที่พิกัดของสายเท่ากับ 90 °C) โดยทำการทดสอบที่แรงดันไม่ต่ำกว่า 2 kV ผลของการทดสอบที่ได้นั้นค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก (tan  $\delta$ ) จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า  $80 \times 10^{-4}$

#### 3.4.5 การทดสอบในหัวข้อ Tan $\delta$ Measurement ตามมาตรฐาน IEC-502(1994)

สำหรับการทดสอบนี้ตัวอย่างของสายที่นำมาทดสอบจะมีพิกัดแรงดันและระยะความยาวรวมทั้งวิธีการทดสอบเป็นไปตามหัวข้อทดสอบก่อนหน้านี้ แต่จะแตกต่างกันในสภาวะของการทดสอบ ซึ่งจะทำการทดสอบในอุณหภูมิสถานะปกติ โดยทำการทดสอบที่แรงดัน  $0.5U_0$ ,  $U_0$  และ  $2U_0$  โดยผลการทดสอบที่ได้นั้นค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก (tan  $\delta$ ) ที่แรงดันทดสอบ 2 kV และ  $U_0$  จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า  $40 \times 10^{-4}$  และเปอร์เซ็นต์ในการเพิ่มขึ้นของค่า tan  $\delta$  ที่แรงทดสอบ  $0.5 U_0$  และ  $2 U_0$  จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า  $20 \times 10^{-4}$

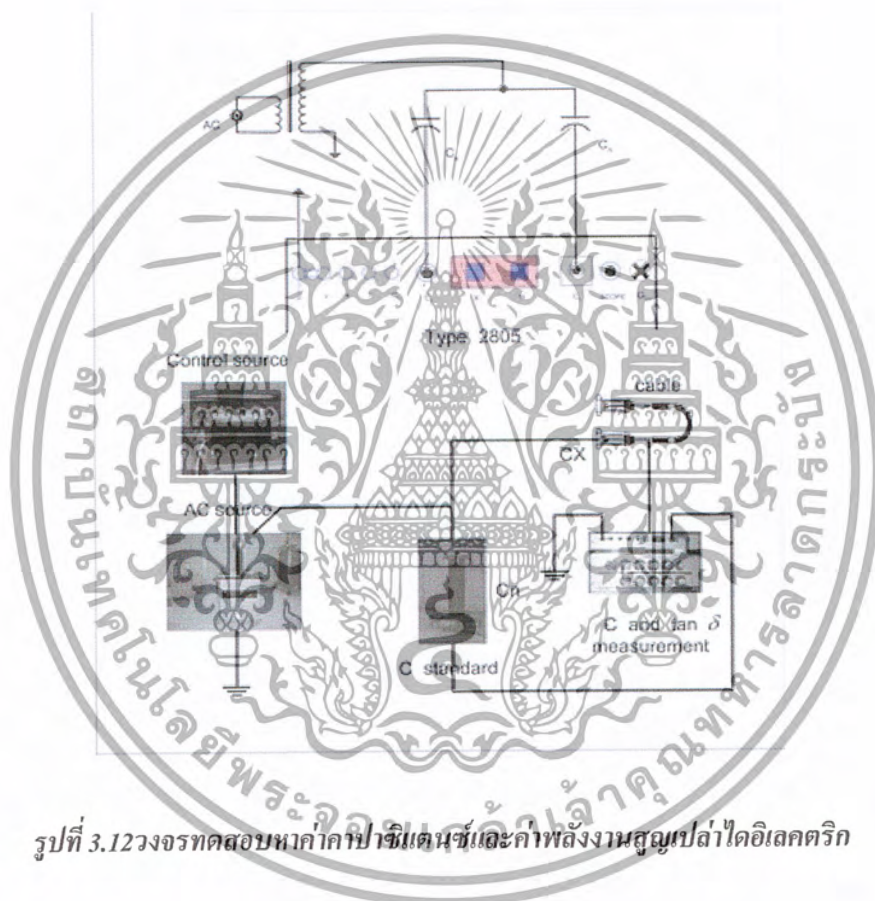
#### อุปกรณ์การทดสอบ

- หม้อแปลงกระแสสลับ 100 kV 50 Hz
- คาปาซิเตอร์มาตรฐานของ Tettex AG รุ่น 3370 ขนาดความจุ 99.91 pF
- เครื่องวัดคาปาซิแตนซ์และพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก Tettex AG รุ่น 2805
- ชุดควบคุมแรงดันทดสอบอัตราส่วนเทิร์นเรโระระหว่างหม้อแปลง 235 V/ 100 kV
- โวลท์มิเตอร์หรือสโคป
- สายเคเบิลแบบต่างๆ หรืออุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบค่าพลังงานสูญเสียเปล่าคาปาแตนซ์
- เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

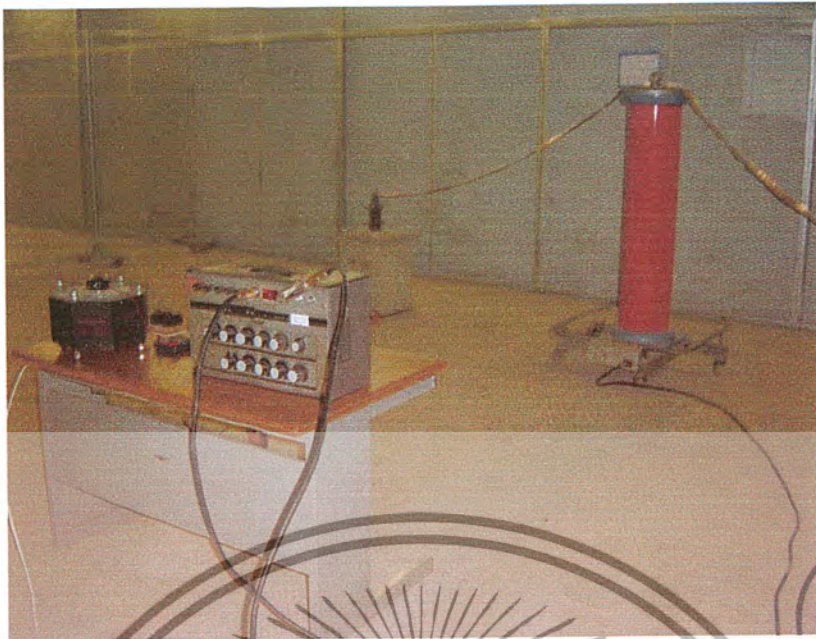
### วิธีและขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ตรวจสอบไฟเลี้ยงเครื่องมือวัดค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกของ Tettex AG รุ่น 2805 ว่ามีหรือไม่ โดยปรับไปที่สวิตช์ปรับค่าความแม่นยำการวัดโดยหมุนไปที่ตำแหน่งเซ็คเบคเตอร์ ถ้ามีไฟเลี้ยงพอเชื่อมบนหน้าปัดมัลติมิเตอร์จะเคลื่อนไปที่ค่า 100
- 2) ต่ วงจรดังรูป



รูปที่ 3.12 วงจรทดสอบหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการต่อวงจรในการวัดค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริก

- 3) ปรับสวิตช์ค่าแฟคเตอร์ผลคูณของคาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบให้อยู่ที่ค่า  $I_{\max} = 50A$
- 4) ปรับสวิตช์ค่าความแม่นยำในการวัดให้มาอยู่ที่สเกลที่แรกซึ่งมีระดับความแม่นยำต่ำสุด
- 5) ป้อนโวลท์เตจเข้าวงจรทดสอบ
- 6) ปรับสวิตช์แฟคเตอร์ตัวคูณค่าคาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบและสวิตช์ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบ รวมทั้งปรับสวิตช์แฟคเตอร์ตัวคูณของแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริกและสวิตช์ปรับค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริก โดยจะต้องปรับให้เข็มมัลติมิเตอร์ชี้ที่ 0
- 7) เพิ่มระดับความแม่นยำในการวัดไปที่สเกลที่ 2 และปรับค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริกตามข้อ (6) จนถึงระดับความแม่นยำในการวัด สเกลที่ 7
- 8) บันทึกค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริกที่อ่านจากผลการปรับข้อ (7) ไปคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริกของวัสดุทดสอบ
- 9) นำค่าคาปาซิแตนซ์และค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริกของวัสดุทดสอบ มาคำนวณหาค่าพลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริก ได้จากสมการ

$$P = U^2 \omega C \tan \delta \quad \text{Watt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10) นำค่าคาปาซิแตนซ์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าเพอร์มิทิวิตีและค่าคาปาซิแตนซ์เมื่ออิเล็กโทรมีลักษณะทรงกระบอกซ้อนกันและมีแกนร่วมสามารถคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วมได้จาก

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\epsilon_r = \frac{C \times \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi\epsilon_0 l}$$

ค่าเพอร์มิทิวิตีสัมพัทธ์ของฉนวนเคลือบได้จาก

เมื่อ

- $\epsilon_r$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกหรือเพอร์มิทิวิตีสัมพัทธ์ของฉนวน  
 $\epsilon_0$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสุญญากาศมีค่าเท่ากับ  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m  
 $r_1$  คือ ค่ารัศมีของตัวนำ (รวม conductor shield ถ้ามี)  
 $r_2$  คือ รัศมีของฉนวน (ไม่รวม insulation shield)  
 $l$  คือ ระยะความยาวสายเคเบิล (m)

### 3.5 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 200 kV)

เครื่องกำเนิดแรงดันสูงอิมพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นของ PASSONI VILLA โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- พิกัด 200 kV / 2 stage, 5 kJ
- ระดับแรงดันที่ใช้ในการชาร์จสูงสุด (100 kV/ stage) 200 kV
- ระดับแรงดันอิมพัลส์เอาต์พุตสูงสุดที่ 1.2/50  $\mu$ sec คือ 180 kV ที่ 250/2500  $\mu$ sec คือ 155 kV
- พลังงานจ่ายสูงสุด 5 kJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 200 kV



รูปที่ 3.15 วงจรสมมุติเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

โดยที่

G เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

T ระบบกราวด์

$R_f$  ความต้านทานหน้าคลื่น 12  $\Omega$

$R_r$  ความต้านทานหลังคลื่น 150  $\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

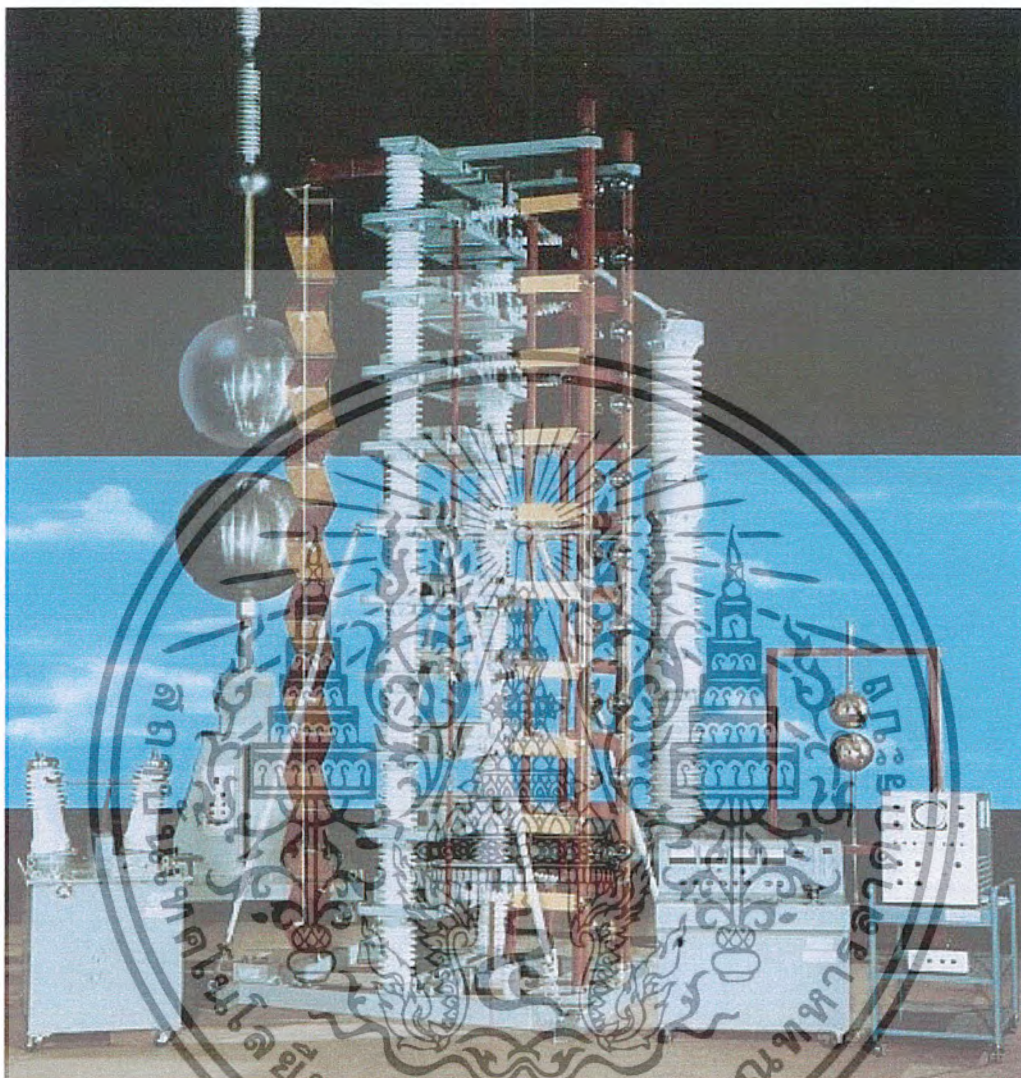
$R_m$	ความต้านทานการวัดแรงดันอัดกระแสตรง	200	M $\Omega$
R	ความต้านทานอัดประจุ	1450	$\Omega$
$R_o$	ความต้านทานเอาต์พุต	100 (65 + 35)	$\Omega$
C	คาปาซิเตอร์หลัก	0.5	$\mu$ F
$C_t$	ทรานซิสเตอร์คาปาซิเตอร์	850	pF
D	โวลต์เตจดีไวเดอร์	4200	pF

### ขั้นตอนและวิธีการใช้เครื่องอิมพัลส์

- 1) เปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ควบคุมอิมพัลส์เจนเนอเรเตอร์
- 2) ต่อสาย Probe Channel A เข้ากับ CHI ของออสซิลโลสโคป จะใช้เวลาประมาณ 15 วินาที ถ้าเครื่องไม่ใช้งานให้รอประมาณ 3-5 นาที
- 3) เปิด Power สวิตช์ของคอมพิวเตอร์ รอจนกว่ากระทั่งคอมพิวเตอร์เข้าโปรแกรม Window 3.1 เสร็จ
- 4) ดับเบิลคลิกที่ไอคอน Program manager แล้วดับเบิลคลิกที่ไอคอน Vcsda จากนั้นประมาณ 5 วินาที จะเข้าสู่โปรแกรม
- 5) หลังจากนั้นหน้าจอจะขึ้นมาแล้วคลิกที่ปุ่มลูกศร สีน้ำเงิน สีแดง และ สีเหลือง
- 6) หลังจากนั้นหน้าจอจะขึ้นมาให้แล้วดับเบิลคลิก Acquisition
- 7) แล้วทำการคลิกที่ Setup  $\rightarrow$  Open เลือกเพิ่มข้อมูลที่ต้องการเปิด แล้วคลิกที่ Ok หลังจากนั้นไปที่ Setup  $\rightarrow$  Modify
- 8) หลังจากที่ได้เลือก Setup  $\rightarrow$  Modify แล้วเลือกค่าต่างตามที่ต้องการทดสอบ ImpulseType ให้กำหนดประเภทแรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการทดสอบ Att.Int = 100, Att.Ext = 230.5 Polarity เลือกตามขั้วของไดโอด Window Time เลือกตามชนิดของแรงดันอิมพัลส์ (Switching = 5 ms, Lightning = 100  $\mu$ sec, Chopped = 10  $\mu$ sec) Expected Current เลือกตามชนิดของแรงดันอิมพัลส์ (Switching = 200 A, Lightning = 0 A, Chopped = 200 A )
- 9) จากนั้นให้คลิก Start
- 10) หลังจากนั้นก็คลิก OK
- 11) ให้ปลด Emergency Switch ปลด Earthing Switch โดยกดปุ่มสีแดง เริ่มการเบรกคาว์นคัปเปิล ON แล้วเครื่องก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ จนกว่าจะเกิดเบรกคาว์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 1500 kV)



รูปที่ 3.16 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (1500 kV)

#### 3.6.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ

- เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
- เครื่องอัดประจุ
- ตู้ควบคุม
- ลูกทรงกลมมาตรฐาน
- ตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.1.1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator)

#### ขนาดพิกัด

- Nominal Voltage	1500(1200)	kV
- Generating Voltage	1200(1000)	kV
- Static Capacitance	0.025	$\mu\text{F}$
- Maximum Charging Energy	28.1	kJ
- Charging Voltage	$\pm 75$	kV
- Wave form		
Lightning	1.2/50	$\mu\text{s}$
Switching	250/2500	$\mu\text{s}$
- Polarization	Positive / Negative	
- Trigger System	Needle Gap	
- Operation	Manual	

#### ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

- Insulated Stages	11	stage
- Unit Capacitor	20	pcs.
- Nominal Voltage	75	kV
- Test Voltage	100	kV
- Static Capacitance	0.5	$\mu\text{F}$
- Damping Resistor	10	$\Omega$
- Charging Resistor	30 k $\Omega$	29 pcs.
	100 k $\Omega$	2 pcs.
- Discharge Resistor	91.1 $\Omega$	20 pcs.
- Matching Resistor	(5+75) $\Omega$	1 pcs.
- Divided Resistor	(0.5+0.5) $\Omega$	2 pcs.
- Shunt Capacitor For WaveForm	2000 pF	1 pcs.
- Discharge Gap	125 mm.	20 pcs.

### 3.6.1.2 เครื่องอัดประจุ (charging)

เครื่องอัดประจุเป็นตัวสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงเพื่อทำการอัดประจุให้กับ capacitor ทุกๆ ตัวในแต่ละสเตจ (stage) โดยมีแรงดันขาเข้า (input voltage) เป็น 220 Vac แล้วไปผ่านชุดเรียงกระแส (rectifier) ซึ่งเป็นแบบ full wave โดยใช้ไดโอด 2 ตัว ทำงานสลับกันในแต่ละ cycle แรงดันขาออกจะอัดประจุให้กับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์อีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เครื่องอัดประจุมีส่วนประกอบดังนี้

- หม้อแปลง 1 ชุดมีพิกัดดังนี้
 

Primary	220	Vac
Secondary	60	kV
Capacity	5	kVA
- Rectifier ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมัน
 

Peak Reverse Voltage	250	kV
Nominal Current	5	mA
- Pulse Suppressing Capacitor 2 ตัว
 

Nominal Voltage	75	kV
Static Capacitor	0.1	$\mu$ F
ความต้านทาน	800	M $\Omega$

#### 3.6.1.3 ตู้ควบคุม (control unit)

ตู้ควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทุกอย่างของวงจร รวมถึงแสดงสถานะของแต่ละขั้นตอนการทดสอบ เริ่มตั้งแต่ป้อนแรงดันขนาด 220 Vac เข้าที่ชุด charging voltage ไปจนถึงเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันอิมพัลส์

ตู้ควบคุมจะประกอบด้วย

- Voltage Controller 7.5 kVA 1 ชุด
- มิเตอร์
 

มิเตอร์วัดแรงดันกระแสตรงขนาด	300	V
มิเตอร์วัดระยะช่องว่าง (Gap meter) ขนาด	100	mm
ตัวกำเนิดสัญญาณ trigger pulse	10	kV
มิเตอร์วัดแรงดันกระแสสลับขนาด	80(160)	kV
- อุปกรณ์อื่นๆ

#### 3.6.1.4 ทรงกลมมาตรฐาน (Standard sphere gap)

ทรงกลมมาตรฐานมีไว้เพื่อเป็นภาระ (load) ของวงจรทดสอบ โดยจะกำหนดค่าแรงดันเบรกดาวนให้ผ่านอากาศ ค่าแรงดันเบรกดาวนนี้สามารถหาได้จากเส้นกราฟค่าแรงดันเบรกดาวน 50 % แต่ในทางปฏิบัติเราสามารถคาดคะเนแรงดันเบรกดาวนนี้ผ่านอากาศของทรงกลมมาตรฐานได้อย่างคร่าวๆ โดยคิดว่าแรงดันเบรกดาวนผ่านอากาศจะมีค่าเท่ากับ 25 kV/cm

ดังนั้นถ้าเราต้องการค่าแรงดันเบรกดาวนเท่าไรก็สามารถคาดคะเนได้คร่าวๆ แต่ทั้งนี้ระยะห่างของ stand sphere gap จะต้องสอดคล้องกับระยะห่างของ spark gap ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ด้วย

#### พิกัดของทรงกลมมาตรฐาน

- Diameter 1000 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.1.5 ตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน (Capacitor voltage divider)

คาปาซิเตอร์โวลเตจดีไวเดอร์ทำหน้าที่เป็นตัววัดขนาดและรูปร่างของแรงดันที่เกิดขึ้น ด้านขาออกของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยสัญญาณที่ได้จะถูกต่อไปยัง oscilloscope อีกทีหนึ่งเพื่อแสดงรูปคลื่นสัญญาณและขนาดแรงดัน

คาปาซิเตอร์โวลเตจดีไวเดอร์ มีพิกัดดังนี้

- ขนาด	1600	kVA
- HV. Capacitor	2000	pF
- LV. Capacitor	100	$\mu\text{F}$ / 50 $\mu\text{F}$
with matching resistance	75 $\Omega$	1 ตัว

### 3.6.2 วิธีการย้ายเครื่องกำเนิดแรงดัน Impulse 1500 kV

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

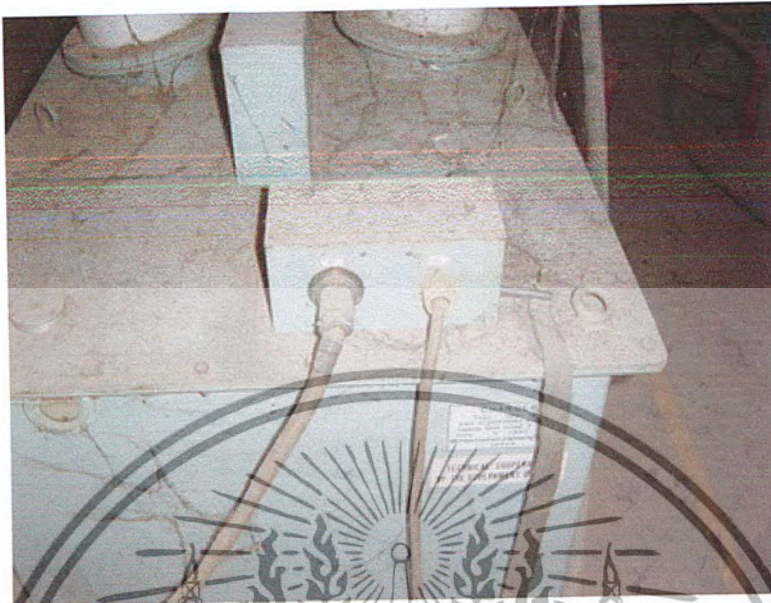
- ตรวจสอบการต่อของอุปกรณ์ต่างๆ
- วิธีการถอดอุปกรณ์แต่ละชิ้น
- วิธีการย้ายอุปกรณ์
- วิธีการทดสอบค่า capacitor และค่า resistor
- ตำแหน่งและวิธีการติดตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2.1 ตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ

- 1) การต่อสายคอนโทรลเข้ากับชุดชาร์จเจอร์



รูปที่ 3.17 การต่อสายชุดคอนโทรลเข้ากับชาร์จเจอร์

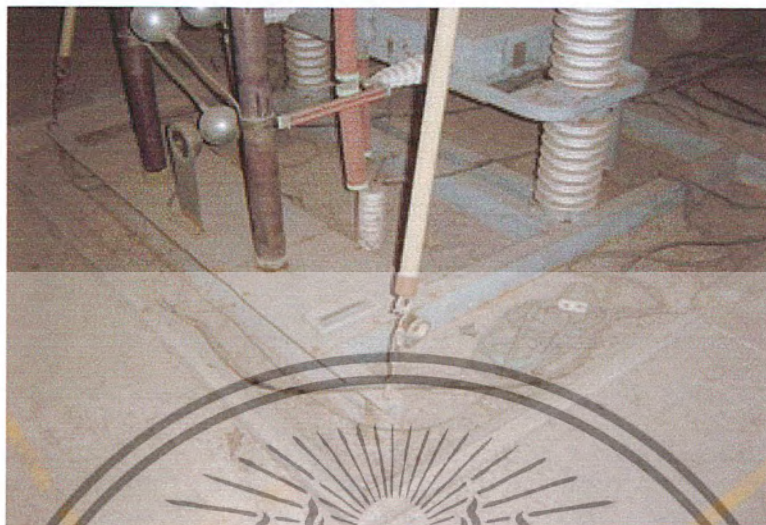
- 2) การต่อสายไฟด้าน Output ของชุดชาร์จเจอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยต่อเข้ากับความต้านทานกับบูชิ่งเพื่อจ่ายไฟให้กับวงจร ซึ่งบูชิ่งจะเป็นตัวยืดสายไฟเพื่อความแข็งแรง พร้อมทั้งยังช่วยจับยึดสายไม่ให้ต่อกับดิน



รูปที่ 3.18 การต่อสายเอาต์พุตจากชุดชาร์จเจอร์เข้ากับชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) การติดตั้งฐานเหล็กเพื่อเป็นที่จับยึดของอุปกรณ์ต่างๆ โดยการใช้นอตฝังลงไปในพื้นที่และยึดติดกับฐาน โครงเหล็ก



รูปที่ 3.19 การติดตั้งฐานเหล็กเพื่อเป็นที่จับยึดของอุปกรณ์ต่างๆ

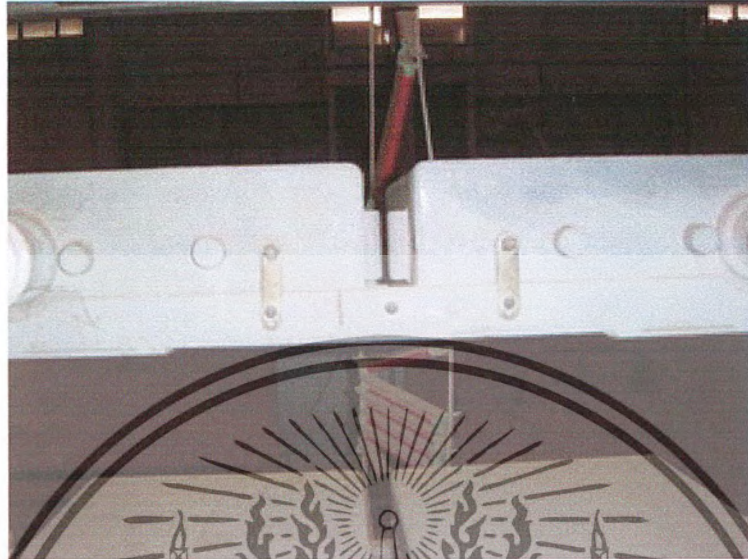
- 4) การติดตั้งฉนวนลูกถ้วยกั้นระหว่างชั้นเพื่อแยกระดับของแรงดันที่แตกต่างกันไม่ให้มีการลัดวงจรระหว่างชั้น ทั้งยังทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างของเครื่อง



รูปที่ 3.20 แสดงการติดตั้งของลูกถ้วยฉนวนที่กั้นระหว่างชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) การจับยึดคาปาซิเตอร์เข้ากับโครงเหล็กที่คั่นระหว่างชั้นเพื่อไม่ให้คาปาซิเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ และเป็นจุดต่อขั้วลบของคาปาซิเตอร์เข้ากับโครงเหล็กในแต่ละชั้นด้วย



รูปที่ 3.21 การจับยึดของคาปาซิเตอร์กับโครงเหล็ก

- 6) การต่อขั้วของคาปาซิเตอร์เข้ากับค่าความต้านทาน การต่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์จะไม่ใช้สายไฟ เพราะมีผลต่อสนามไฟฟ้า



รูปที่ 3.22 การต่อขั้วของคาปาซิเตอร์เข้ากับค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) การต่อ Sphere gap กับความต้านทาน (Damping resister ) และตัวยึด Sphere gap โดยแถบจะมีที่ขีดที่สามารถปรับระยะห่างของแถบได้ โดยการปรับระยะห่างของแถบสามารถปรับค่าได้โดยตัวปรับที่ด้านข้างของฐานเหล็ก หรือการสั่งงานที่ชุดคอนโทรลก็ได้



รูปที่ 3.23 การต่อ Sphere gap กับความต้านทาน (Damping resister) และตัวยึด

- 8) การต่อ Supportor กับโครงเหล็กเพื่อเป็นตัวตั้งทั้ง 4 มุม โดยใช้ Supportor จำนวนทั้งหมด 4 ตัว และจะติดกับโครงเหล็กในชั้นที่ 6 ด้าน



รูปที่ 3.24 การยึด Supportor กับโครงเหล็กเพื่อเป็นตัวตั้งทั้ง 4 มุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9) การต่อฉนวนแผ่นพลาสติกระหว่างโครงเหล็กกับตัวยึด Sphere gap จะต้องใช้ ฉนวนแผ่นพลาสติกทั้งหมดจำนวน 2 อัน โดยมีหน้าที่ยึดในบริเวณระหว่างข้อต่อของตัวยึด Sphere gap เพื่อสร้างความแข็งแรง



รูปที่ 3.25 การต่อฉนวนแผ่นพลาสติกระหว่างโครงเหล็กกับตัวยึด Sphere gap

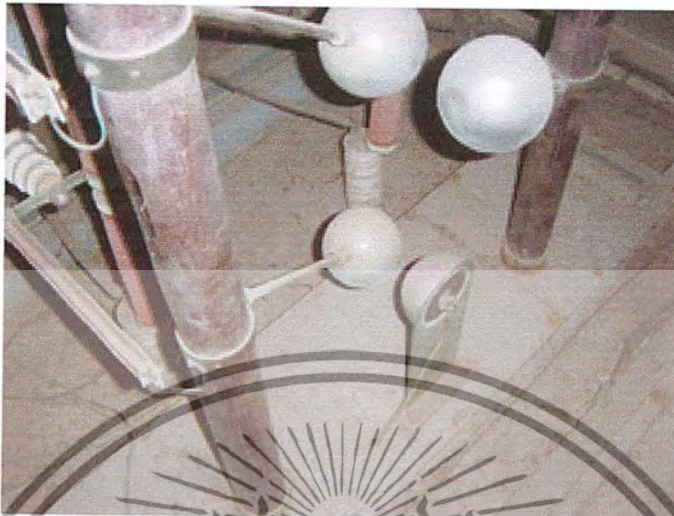
- 10) การต่อตัวต้านทาน (Charging resister) กับโครงเหล็กที่ต่อมาจากความปายเตอร์เพื่อจะต่อลงกราวด์ซึ่งมีทั้งหมด 11 ตัว



รูปที่ 3.26 การต่อตัวต้านทาน (Charging resister) กับโครงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11) การต่อ Sphere gap โดยระยะห่างของแกปสามารถปรับได้จากปุ่มปรับที่แท่นด้านล่างของฐาน ซึ่ง Sphere gap ครึ่งลูกละทำหน้าที่เป็นตัว Trigger



รูปที่ 3.27 การเชื่อมต่อ Sphere gap ตัวแรก

### 3.6.2.2 วิธีการถอดอุปกรณ์แต่ละชั้น

- 1) จัดทำสัญลักษณ์ระหว่างอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันของอุปกรณ์แต่ละชั้น โดยใช้สัญลักษณ์แยกเป็นชั้นๆ โดยให้ชั้นล่างเป็น A ต่อไปเป็น B และ C ตามลำดับจนครบทุกชั้น
- 2) ถอดอุปกรณ์ของแต่ละชั้นแล้วทำการใช้เชือกผูกมัดให้แน่นแล้วทำการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ลงมาข้างล่างโดยใช้รอกกับคาน
- 3) ทำการแยกอุปกรณ์ที่ส่งมาข้างล่างแล้วแยกบรรจุใส่ลังไม้เพื่อเตรียมย้ายไปโรงประลองไฟฟ้าแรงสูงแห่งใหม่ โดยทำการแยกใส่ลังไม้เป็นชั้นๆ
- 4) ในการถอดอุปกรณ์จะใช้ประแจขนาดต่างๆ และนั่งร้านจำนวน 4 ชั้นจำนวน 2 ชุด ซึ่งนั่งร้านทั้ง 2 ฝั่งจะต้องทำการยึดติดกันด้วยเพื่อความแข็งแรงและไม่เกิดอันตรายได้ง่ายในขณะที่ทำการถอดอุปกรณ์แต่ละชั้น
- 5) ใช้รอกและคานในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์แต่ละชั้นลงมาสู่พื้น โดยจะทำการลดจำนวนชั้นนั่งร้านลงมาเรื่อยๆ เมื่อเราทำการถอดและเคลื่อนย้ายลงมาจนเหลือจำนวนชั้นที่ต่ำลงมา
- 6) เมื่อถึงขั้นสุดท้ายเราจะทำสัญลักษณ์ที่อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดกับฐานก่อนถอดพร้อมเขียนวงจรถ่ายของอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย เนื่องจากในขั้นสุดท้ายหรือชั้น A นั้นจะมีอุปกรณ์ต่างจากชั้นอื่นๆ หลายชิ้นด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) ทำสัญลักษณ์ที่ฐานเหล็กว่าด้านไหนเป็นด้านหน้า หรือด้านหลังและส่วไหนทำการต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่ในชั้นที่ A แล้วทำการถอดฐานเหล็กจากพื้นปูน



รูปที่ 3.28 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ก่อนทำการย้าย

รูปที่ 3.29 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขณะทำการย้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2.3 วิธีการย้ายอุปกรณ์

- 1) ทำเรื่องขอขี้มพาหนะของสถาบันในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์จากอาคารปฏิบัติการ HV ตึกเก่ามายังห้องปฏิบัติการ HV ตึกใหม่
- 2) ในการเอาถังไม้ที่บรรจุอุปกรณ์ขึ้น และลงจากรถจะต้องใช้รถเพื่อยกถังไม้ขึ้นบนรถ และลงสู่พื้นในห้องปฏิบัติการ HV ตึกใหม่

### 3.6.2.4 การทดสอบค่า capacitance และค่า resistance

การทดสอบค่าคาปาซิแตนซ์ของ Capacitor ว่ามีค่าเปลี่ยนไปจากเดิมหรือไม่ ทั้งยังเป็นการตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ขึ้นใดชำรุดเสียหายบ้าง ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบ  $C \tan \delta$  ดังในรูป



รูปที่ 3.30 การทดสอบค่า capacitance

### 3.6.2.5 ตำแหน่งและวิธีการติดตั้ง

ในการที่เราจะติดตั้งเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV เราต้องทราบค่าระยะห่างเพื่อความปลอดภัย (Safety Clearances) ของเครื่อง

- 1) ระยะห่างสำหรับการทดสอบ Lightning Impulse

จากการคำนวณโดยใช้สมการ Impulse flashover เมื่อใช้ rod-plane gap คือ

$$V_{50} = 500.d \quad (3.1)$$

$$1500/0.8 = 500.d$$

$$d = 3.75 \text{ m.}$$

เราจึงใช้ระยะห่างน้อยสุดสำหรับทดสอบ Lightning impulse เป็น 3.75 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ระยะห่างสำหรับการทดสอบ Switching Impulse

จากการคำนวณโดยใช้ positive 50 % switching impulse voltage สำหรับระยะห่าง 2-8 m  
 ดังสมการ Paris' formula

$$V_{50} = k \cdot 500 \cdot d^{0.6} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $k = 1$  สำหรับ rod-plane gap จะได้

$$V_{50} = 500 \cdot d^{0.6}$$

ทดสอบแบบ 80 % ของ  $V_{50}$  CFO (Critical Flashover)

$$\begin{aligned} 1200/0.8 &= 500 \cdot d^{0.6} \\ d^{0.6} &= 1200/(500 \times 0.8) \\ d^{0.6} &= 3 \\ d &= 6.25 \text{ m.} \end{aligned}$$

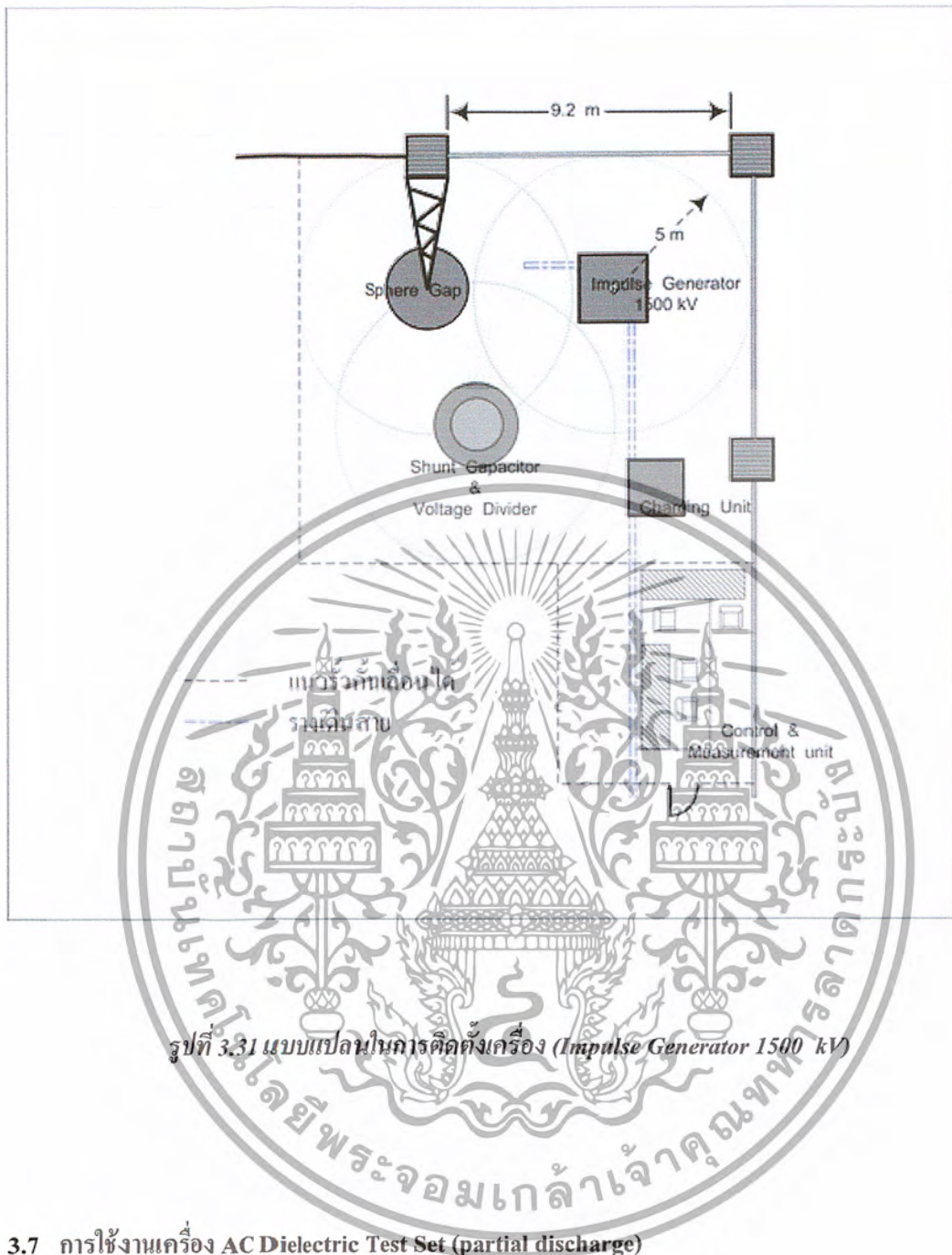
โดยการคำนวณทั้งสองอย่างนี้จะใช้สำหรับ Impulse Generator และ Shunt Capacitor ซึ่งเมื่อดูระยะ clearances ของการทดสอบ switching impulse แล้วเป็นระยะที่มากเกินไปสำหรับห้องทดสอบที่มีขนาดเล็กและอีกหนึ่งการทดสอบแบบ switching impulse ไม่ได้ทำการทำการทดสอบบ่อยครั้งมากนัก ดังนั้นเมื่อจะทำการทดสอบ switching impulse ก็อาจจะเคลื่อนย้ายอุปกรณ์รอบข้างหรือตัวของมันเอง โดยอุปกรณ์ทุกตัวอาจจะมีการติดล้อเลื่อนให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและสะดวกขึ้น จึงใช้ระยะของ lightning impulse ซึ่งเท่ากับ 3.75 เมตร มาคำนวณจะได้ระดับแรงดัน switching impulse ที่สามารถทำได้ประมาณไม่เกิน 880 kV

$$V_p/0.8 = 500 \times (3.75)^{0.6}$$

จะได้แรงดันที่เบรกดาวน์ ได้สูงสุดเท่ากับ 884.05 kV ส่วน charger นั้นระดับแรงดันน้อยมากจึงไม่คิด

ดังนั้นจากการคำนวณระยะที่ได้เราจึงออกแบบในการติดตั้ง ได้ดังรูปที่ 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.7 การใช้งานเครื่อง AC Dielectric Test Set (partial discharge)

ส่วนประกอบของเครื่อง มีดังต่อไปนี้

- AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF
- Digital PD Detector, DDX-9101
- Power Separation Filter, PSF100/1/DDX
- External Calibrator, KAL-451

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อควรระวังก่อนการใช้งาน

- ต้องมีการศึกษาคู่มือการใช้งานเครื่องให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนการทำการทดลอง
- บุคคลที่จะทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูงต้องผ่านการอบรมเรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมาแล้ว



รูปที่ 3.32 PD Test system

#### 3.7.1 AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF

##### 3.7.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่อง

- สามารถเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously adjustable output voltage)
- ปรับระดับของการป้องกันกระแสเกินได้ตั้งแต่ 10-110 % ของกระแสโหลดปกติ
- มีระบบ interlock ป้องกันการกดปุ่มผิดพลาดและป้องกันแรงดันตกค้างในระบบ ในกรณีลีสวิตซ์จะประจวบออกเมื่อเลิกทำการทดลอง
- มีวงจรป้องกันการกระแสไหลเกิน 2 ชุด (Backup Overload Circuit)
- มิเตอร์แสดงผลสามารถทำการปรับค่าได้ในกรณีที่เกิดการอ่านค่าผิดพลาดจากความเป็นจริง ทำเมื่อต้องการปรับเทียบค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์จากค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถใช้ระบบอัตโนมัติ (Automatic operation) ในการทำการทดลอง โดยเรากำหนดเวลาให้เครื่องทำการทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้
- ระบบไฟแสดงสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่อง AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF

Input	380 Vac, 50 Hz, 105 A
Output	75 kVac @40 kVA
Distortion	Less than 5 percent
Duty	40 kVA @ 1 Hour, 30 kVA Continuous
Kilovoltmeter	Digital, 1 percent accuracy
Current Meter	Digital, 1 percent accuracy
Control Size	30" Wide x 72" High x 42" Deep
Tank Size	24" Wide x 32" High x 24" Deep



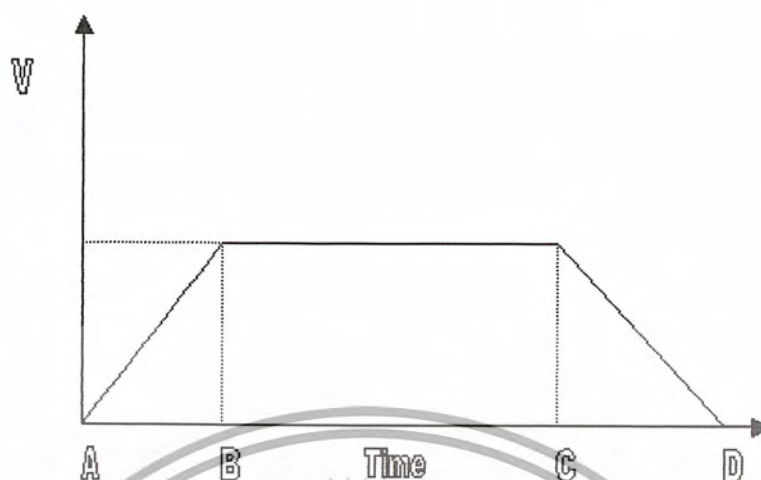
รูปที่ 3.33 แสดงตำแหน่งด้านหน้าของเครื่อง AC Dielectric Test Set, 775-40-AM-D-CF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.1.2 ปุ่มควบคุมและหน้าจอแสดงผล

- 1) Main Power Circuit Breaker ใช้ในการเปิดปิดเครื่องและตัดวงจรเมื่อเกินเหตุขัดข้องในระบบไฟฟ้า
- 2) Control Power Circuit Breaker เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ทั้งยังใช้ควบคุมระบบคอนโทรลด้วย
- 3) Backup Overload เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อทำให้ความน่าเชื่อถือในการทำงานมากขึ้น โดยระบบจะทำงานเมื่อ overload ตัวหลักเกิดไม่ทำงานหรือทำงานช้ากว่าที่ควรจะเป็น
- 4) High Voltage ON and OFF เป็นปุ่มกดเพื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ทดสอบหรือยกเลิกการจ่ายไฟ เมื่อทำการกดจะมีไฟติดเพื่อแสดงการทำงาน ปุ่ม ON จะไม่ทำงานเมื่อระบบมีแรงดันตกค้างอยู่ในระบบ หรือเกิดความผิดพลาดในการทำงานครั้งก่อน (ระบบเกิด interlocked) ดังนั้นต้องทำการตรวจสอบระบบก่อนแล้วจึงทำการกดปุ่มรีเซ็ต ระบบจึงจะทำงานได้ตามปกติ
- 5) Voltage Control คือปุ่มที่ใช้ควบคุมระดับแรงดันที่ป้อนให้แก่โหลด โดยระดับแรงดันที่ป้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของโหลด ในการเพิ่มขึ้นของแรงดันนี้จะมีปุ่มควบคุมระดับของการเพิ่มแรงดันอย่างรวดเร็วหรือทำได้ทีปุ่ม (rate of rise)
- 6) Output Voltmeter คือ LED แสดงผลค่าของแรงดันที่จ่ายไปยังโหลดทดสอบ (หน่วยเป็น kV)
- 7) Output current Meter คือ LED แสดงผลค่าของกระแสที่จ่ายไปยังโหลดทดสอบ (หน่วยเป็น mA)
- 8) Dwell Timer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานในโหมดอัตโนมัติ (Automatic mode) เพื่อให้การเก็บผลการทดลองสะดวกมากยิ่งขึ้น
- 9) Automatic Operation ทำให้ผู้ใช้งานเครื่องสามารถเพิ่มค่าแรงดันไปยังค่าที่กำหนดไว้ในระดับค่าของการเพิ่มตามที่ตั้งไว้ แล้วทำการทดสอบอุปกรณ์ตามค่าเวลาที่กำหนดไว้โดยใช้ (Dwell Timer) ทำการบันทึกผลการทดสอบ เมื่อครบตามกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ ระบบก็จะทำการลดค่าแรงดันลงมาเป็นศูนย์โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงการทำงานในระบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของระบบอัตโนมัติ

ตำแหน่ง	ลำดับของการทำงาน
A	เริ่มทำการจ่ายแรงดัน และเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าที่กำหนดไว้
B	dwell timer เริ่มทำงาน
C	dwell timer หยุดการทำงาน
D	ระดับแรงดันเริ่มลดลงจนเป็นศูนย์

### 3.7.1.3 วิธีการใช้งานเครื่อง

#### Manual Operation

- 1) เชื่อมต่อด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบเข้ากับกราวด์ด้วยตัวนำที่มีขนาดใหญ่พอที่สามารถนำกระแสเอาต์พุตของอุปกรณ์ทดสอบได้ เชื่อมต่อด้านบนของอุปกรณ์ทดสอบเข้ากับขั้วแรงสูงของหม้อแปลง
- 2) เปิดเมนเบรกเกอร์ คอนโทรลเบรกเกอร์และเบรกเกอร์ระบบสำรอง (Backup)
- 3) ทำการจ่ายแรงดันให้หม้อแปลงทดสอบ โดยการกดปุ่ม High Voltage ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เพิ่มแรงดันไฟฟ้าไปยังค่าที่ต้องการโดยปุ่ม Rise Voltage
- 5) เมื่อทำการทดสอบเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม Lower Voltage เพื่อทำการลดระดับแรงดัน เมื่อระดับแรงดันลดลงสู่ศูนย์กดปุ่ม High Voltage OFF เพื่อยกเลิกการจ่ายแรงดันไปยังหม้อแปลง

เมื่อเกิดความผิดพลาดในการทดสอบ เช่นการเกิดเบรกดาวน์ (Breakdown) จะส่งผลให้ secondary overload ทำการเปิดวงจรของหม้อแปลงทางขดแรงสูงออก และจะมีไฟแสดงในส่วน OFF ZERO หมายความว่าระบบยังมีแรงดันตกค้างอยู่ในระบบอยู่ ถ้าจะทำการทดสอบใหม่ให้ทำการกดปุ่ม RESET ระบบก็จะเริ่มทำงานใหม่ได้

#### Automatic Operation

- 1) เชื่อมต่อด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบเข้ากับกรวดด้วยตัวนำที่มีขนาดใหญ่พอที่สามารถนำกระแสเอาที่พุทของอุปกรณ์ทดสอบได้ เชื่อมต่อด้านบนของอุปกรณ์ทดสอบเข้ากับขั้วแรงสูงของหม้อแปลง
- 2) เปิดเมนเบรกเกอร์ คอนโทรลเบรกเกอร์และเบรกเกอร์ระบบสำรอง (Backup)
- 3) กดปุ่ม Auto เพื่อทำการทดสอบในโหมดอัตโนมัติ
- 4) กำหนดค่าให้ dwell timer ตามค่าระยะเวลาที่เราต้องการตามลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ
- 5) ทำการจ่ายแรงดันให้หม้อแปลงทดสอบ โดยการกดปุ่ม High Voltage ON
- 6) แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นโดยอัตโนมัติไปยังค่าที่กำหนดไว้ แล้วทำการทดสอบและบันทึกผลตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ระดับแรงดันจะลดลงโดยอัตโนมัติจนสู่ศูนย์

เมื่อเกิดความผิดพลาดในการทดสอบ เช่นการเกิดเบรกดาวน์ (Breakdown) จะส่งผลให้ secondary overload ทำการเปิดวงจรของหม้อแปลงทางขดแรงสูงออก และจะมีไฟแสดงในส่วน OFF ZERO หมายความว่าระบบยังมีแรงดันตกค้างอยู่ในระบบอยู่ ถ้าจะทำการทดสอบใหม่ให้ทำการกดปุ่ม RESET ระบบก็จะเริ่มทำงานใหม่ได้

#### 3.7.2 Digital PD Detector, DDX-9101

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณแล้วแปลความหมายของสัญญาณที่ได้ แสดงผลสัญญาณควบคุมการทำงานขณะทำการทดสอบ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

- ลักษณะภายนอกของเครื่อง PD Detector
- การใช้งานของเครื่อง PD Detector, DDX-9101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลทางเทคนิคทั่วไปของเครื่อง PD Detector, DDX-91101

Environmental	Minimum	Maximum	Units
Ambient Operation Temperature	0	44	°C
Storage Temperature	-20	60	°C
Relative Humidity, Non-Condensing		80	% rel.
Vibration/Shock		3	G
Mechanical	Maximum	Minimum	Units
Instrument Width	For 19" Rack Mount Field		
Instrument Height		133mm	
Instrument weight		5	kg
General	Maximum	Minimum	Units
EMC Compliance	To EC Directive 89/336/EEC		
Conducted & Radiated Emission	To EN 50081-1, 1992		
Conducted & Radiated Immunity	TO EN 50082-2 1992 (industrial)		
Power Line Voltage	85	264	VAC
Power Line Frequency	47	440	Hz
Protective Fuse	4 Amp Anti-surge		
Connection	Fuse IEC-320 Connector		
Grounding/Earthing System	System Ground/Earth Direct to Case, 300 $\mu$ H to Line Ground/Earth		
Amplifier	Maximum	Minimum	Units
Input Impedance		50	$\Omega$
Common Mode Voltage Wrt System Earth		50	V
Optional " Floating Input " Mode			
High Pass Filter Settings	10, 20, 40, 50, 80		kHz
Low Pass Filter Settings	100, 200, 300, 400, 500		kHz
Input Attenuation Range	0 to 75dB in 5dB steps		

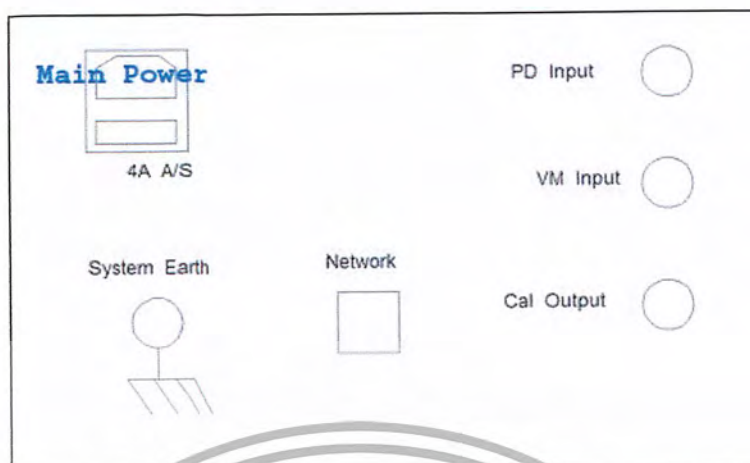
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคทั่วไปของเครื่อง PD Detector, DDX-91101

Measurement System	Minimum	Maximum	Units
Voltage Measurement Impedance		30	k $\Omega$
Full Scale Input Voltage		10	V <sub>peak</sub>
		20	V <sub>PP</sub>
		7.07	V <sub>RMS</sub>
Voltage Measurement IEC-60 Dynamic range	10	100	%FSD
Uncertainty of Scale Factor Over Dynamic range		1	%
Voltage Measurement Linearity Error		0.75	%FSD
Voltage Measurement Resolution		0.2	%FSD
Voltage Measurement Offset Error		0.05	%FSD
PD Measurement Linearity Error	Meets Requirements of IEC-270		
PD Measurement System	Analogue Peak Detector Designed to specification in IEC-270		
PD Measurement Resolution		0.05	%FSD
PD Capture And Display System		Min	Max
Pulse Phase Resolution		0.35	degrees
Line Frequency Synchronization	20	400	Hz
Cycle Capture Capability	1	128	Cycles
Pulse Display Resolution		0.78	%FSD
Calibration Step-Wave Generator		Min	Max
Injection Capacitance Range	50	1200	pF
Step-Wave Voltage		10	V
Step-wave Rise-time		40	ns
Output Termination		50	$\Omega$
Maximum Common Mode Voltage wrt Case		35	V

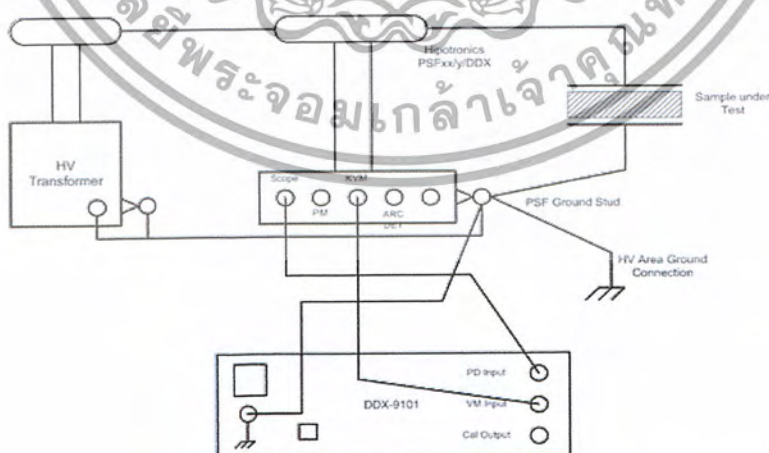
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2.1 ลักษณะภายนอกของเครื่อง PD Detector



รูปที่ 3.35 จุดต่อสายทางด้านหลังเครื่อง

- Main Power เป็นจุดต่อไฟอนุพัทธ์ของเครื่อง สามารถปรับขนาดของแรงดัน 85 -264 VAC, 47-440 Hz 1  $\phi$ .
- System Earth ใช้เป็นจุดที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับกราวด์ของระบบ
- Network เป็นจุดที่ใช้เชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยผ่านสาย LAN 10BaseT โดยใช้ TCP/IP โพรโทคอล
- PD Input เป็นจุดที่ใช้เชื่อมต่อเข้ากับ อุปกรณ์ที่ใช้แยกสัญญาณ PD ออกจากแรงดันไฟฟ้า โดยที่สามารถทำการเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์หลายบริษัท หลายรุ่น เช่น Tettex\Robinson, Hipotronic PSF Systems โดยจะมีการเชื่อมต่อที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.36 แสดงการเชื่อมต่อของเครื่อง PD Detector รุ่น DDX-9101 กับ PSX100/1/DDX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2.2 การใช้งานของเครื่อง PD Detector, DDX-9101

เครื่อง PD Detector เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับตรวจจับ partial discharge ของอุปกรณ์ทดสอบ โดยรุ่น DDX-9101 เป็นรุ่นที่ใช้ระบบ Digital ในการตรวจจับสัญญาณ ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่าย และทำการวัดค่าได้อย่างรวดเร็วเพื่อการตรวจสอบอุปกรณ์ของสายการผลิตในส่วนของภาคอุตสาหกรรม ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังมีระบบ Locked mode ซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าที่ตั้งไว้ในการทดสอบ อุปกรณ์จากผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้งานเครื่อง ได้อีกด้วย

ก่อนการเดินเครื่องต้องมีการทำความเข้าใจวิธีการใช้งานเป็นอย่างดี ถึงจะส่งผลให้สามารถ ปฏิบัติการทดลองทดสอบอุปกรณ์ การปรับค่าเครื่องมือวัด การปรับเบทเครื่องมือวัด (calibrate) การอ่านค่าจากเครื่องได้อย่างถูกต้องไม่เกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน ซึ่งอาจส่งผลให้อุปกรณ์ เสียหายได้ เนื่องจากต้องเกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงการปฏิบัติงานต้องมีความรอบคอบโดยต้อง จำไว้ว่าต้องกรวดก่อนแตะเสมอ ก่อนทำการจ่ายแรงดันต้องตรวจสอบบริเวณใกล้เคียงว่าทำการเปิด ประตูหรือยัง รวมทั้งต้องไม่ให้มีบุคคล สัตว์หรือสิ่งของต่างอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ปลอดภัย เกะกะ การทดสอบทั้งยังต้องไม่มีเครื่องอุปกรณ์อื่นๆ อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เช่น Impulse generator หรือ อุปกรณ์ที่สามารถสร้างคลื่นความถี่ RF ซึ่งจะส่งผลให้การทดสอบมีความผิดพลาดได้ เนื่องจาก สัญญาณที่วัดได้มีขนาดเล็กมาก



รูปที่ 3.37 ลักษณะด้านหน้าของเครื่อง PD Detector, DDX-9101

การใช้งานเครื่องมีสิ่งที่จะต้องเรียนรู้ดังต่อไปนี้

- 1) Power Switch ใช้สำหรับการปิดเปิดเครื่อง โดยสามารถทำการปิดหรือเปิดได้โดยตรง คือไม่ต้องทำการเปิดคอมพิวเตอร์ก็สามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) Display Area เป็นแบบ TFT-LCD (Thin film transistor liquid crystal display) ให้การแสดงผลที่รวดเร็ว คมชัด ง่ายต่อการอ่านค่า ไม่ควรทำการสัมผัสหน้าจอโดยการกดหรือกระแทกด้วยวัตถุต่างๆ
- 3) Function keys เป็นปุ่มกดสำหรับสั่งงานเครื่อง จะมีทั้งหมด 6 ปุ่ม คือ F1-F6 โดยที่แต่ละปุ่มจะเชื่อมโยงกับ Display Area ตามเส้นตรงที่เชื่อมมายังฟังก์ชันคีย์
- 4) UP/Down keys ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หรือใช้เพื่อกรอกตัวเลข หรือตัวอักษรในส่วนที่ต้องการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

### 3.7.2.2.1 Display layout

Status Area Indicators เป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของจอแสดงผล เป็นแถบแสดงผลที่สร้างมาเพื่อความสะดวกในการวัดค่าหรือแสดงสถานะของการวัดค่าที่สามารถสังเกตได้โดยง่าย ผู้ใช้งานต้องทำความเข้าใจในส่วนแสดงผลนี้ให้เข้าใจเป็นอย่างดี จึงจะทำการทดสอบอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถที่อธิบายความหมายที่เครื่องแสดงออกมาให้เราทราบได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.38 Status Area Indicators

- 1) Current Range แสดงสถานะการต่อวงจรอยู่หรือไม่ของ C-calibrator ในระบบ ถ้ามีการต่ออยู่ของ C-calibrator ห้ามเราทำการจ่ายแรงดันทดสอบอย่างเด็ดขาด เพราะจะทำให้แรงดันไฟสูงเข้าสู่เครื่องโดยตรง ทำให้เครื่องเสียหายอย่างรุนแรง
- 2) Filter แสดงแบนวิทท์ (bandwidth) ของสัญญาณที่เครื่องทำการตรวจจับในขณะนั้น โดยที่เราสามารถกำหนดได้ดังนี้ High pass 10, 20, 40, 50 และ 80 kHz ส่วน Low pass มีค่าดังต่อไปนี้ 100, 200, 300, 400 และ 500 kHz
- 3) Calibrator แสดงสถานะการต่อวงจรอยู่หรือไม่ของ C-calibrator ในระบบ ถ้ามีการต่ออยู่ของ C-calibrator ห้ามเราทำการจ่ายแรงดันทดสอบอย่างเด็ดขาด เพราะจะทำให้แรงดันไฟสูงเข้าสู่เครื่องโดยตรง ทำให้เครื่องเสียหายอย่างรุนแรง
- 4) ไฟแสดงผลจะทำงาน(แสดงผลเป็นสีแดง) เมื่อค่า PD ของอุปกรณ์ทดสอบมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ (โดยที่เรากำหนดเองได้) ออกแบบมาเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบอุปกรณ์จำนวนมากๆ ได้อย่างรวดเร็ว โดยเราไม่ต้องทำการอ่านค่า PD ของอุปกรณ์ค่านั้นๆ ทุกตัว แต่เราจะทำการสังเกตอุปกรณ์ที่มีค่า PD เกินกว่าที่เรายอมรับได้แทน
- 5) Auto Range บ่งบอกให้ทราบว่า Mode Auto Range กำลังทำงานอยู่หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) แสดงค่าว่าระบบ Auto range กำลังทำงานอยู่ (ไฟติด) หรือทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ไฟดับ) ไฟแสดงผลนี้ทำมาเพื่อบอกเราว่าไม่ควรอ่านค่า เมื่อ ไฟติดอยู่ เพราะว่าระบบยังไม่เข้าสู่สถานะสมดุลจะต้องรอให้ไฟดับก่อน จึงค่อยทำการอ่านค่า PD
- 7) เมื่อไฟติด แสดงผลให้เราทราบว่า แรงดันที่ป้อนให้อุปกรณ์ทดสอบใกล้เคียงถึงค่าสูงสุดแล้ว และการอ่านค่าที่ได้จะมีค่าความถูกต้องต่ำเราจึงควรอ่านค่าที่แรงดันอินพุตต่ำกว่านี้หรือทำการเปลี่ยนย่านของเครื่องวัดให้สูงขึ้น
- 8) แสดงผลให้เราทราบถึงค่า PD ที่วัดได้ เกือบจะถึงจุดสูงสุดแล้ว ถ้าจะให้มีความถูกต้องสูงควรอ่านค่าที่ย่านของมิเตอร์สูงกว่านี้แทน

### การกรอกค่าตัวเลขหรือตัวอักษร

มีบางหน้าจอที่ต้องการกรอกค่าตัวเลขหรือตัวอักษร เราสามารถทำได้โดยใช้ปุ่ม ↑ หรือ ↓ ในการกรอกค่า ดังนี้

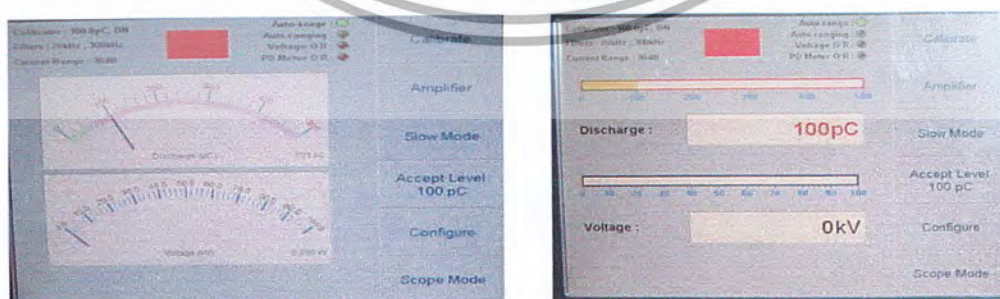
- 1) เลื่อนแถบ Blue Highlight มายังส่วนที่ต้องการกรอกค่า โดยใช้ฟังก์ชันคีย์ F3 แทนการย้อนกลับ(previous) F4 แทนเลื่อนถัดไป(next)
- 2) ใช้ ↑ หรือ ↓ ในการพิมพ์ค่าจาก 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .
- 3) สำหรับ locked mode (ใช้กำหนด password) ใช้ ↑ หรือ ↓ แทน 0 ถึง 9, . , A ถึง Z, a ถึง z, special character

### รูปแบบการแสดงผล

การแสดงผลการอ่านค่า PD ของเครื่อง สามารถจะแสดงผลได้ใน 2 ลักษณะคือ แสดงผลในเชิงตัวเลข (Meter mode)ก็กับการแสดงผลในรูปของกราฟ (Scope mode)

#### การแสดงผลในเชิงตัวเลข (Meter mode)

เช่นเดียวกับมิเตอร์ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปที่มีสองลักษณะคือ มิเตอร์ชนิดเข็ม (Analogue Meter) และมิเตอร์ที่แสดงผลเป็นตัวเลข (Digital Meter) โดยค่าที่อ่านได้จะเป็นค่ายอดของสัญญาณ (peak)

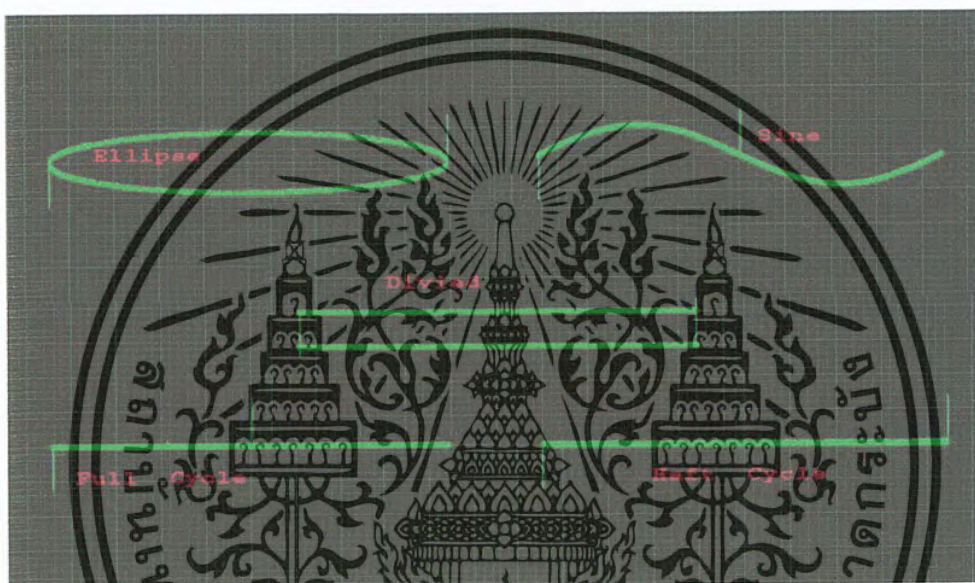


รูปที่ 3.39 การแสดงผลเชิงตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การแสดงผลในรูปของกราฟ (Scope Mode)

เป็นการแสดงผลค่าของ PD ที่สามารถตรวจจับได้ โดยรูปแบบจะคล้ายกับหน้าจอแสดงผลของออสซิลโลสโคป จะมีรูปแบบให้เลือกด้วยกัน 5 รูปแบบ คือ Sine ซึ่งเป็นการแสดงผลที่จะเหมือนกับที่เราเอาออสซิลโลสโคปไปต่อวัดค่าโดยตรง การแสดงผลแบบ Ellipse คือการนำเอารูป Sine มาพับครึ่งทบกันก็จะได้การแสดงผลเป็นรูปแบบนี้ ส่วนการแสดงผลแบบ Divided, Full Cycle และ Half Cycle ทำขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการอ่านค่า โดยจะขยับรูปคลื่น Sine ลงมาเป็นการแสดงผลแบบเส้นตรงแทน จะสะดวกในการเปรียบเทียบค่าที่มุมต่างๆ มากกว่าการอ่านค่าจากรูปคลื่น Sine โดยตรง

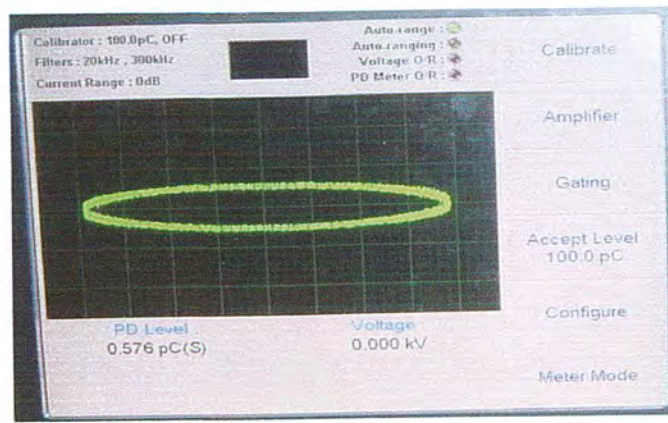


รูปที่ 3.40 การแสดงผลในรูปของกราฟ

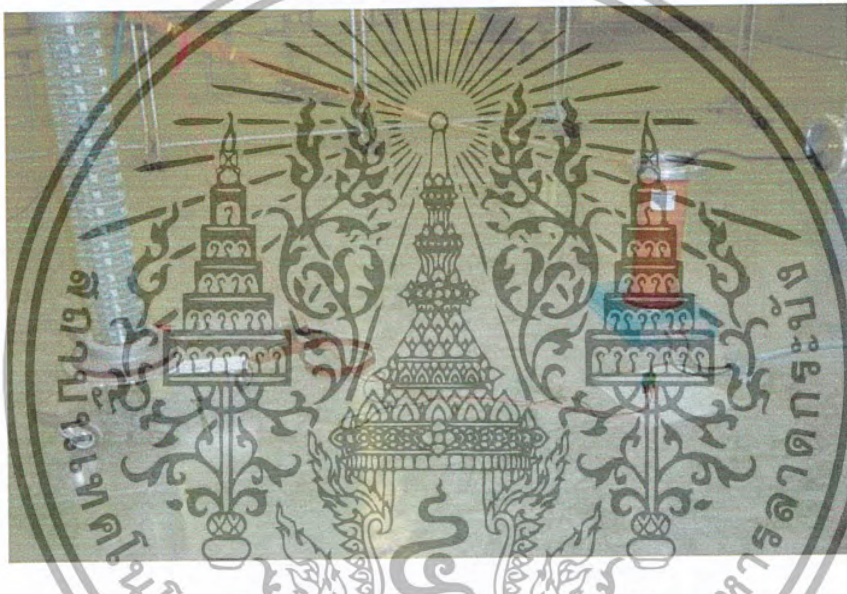
#### 3.7.2.2.2 การกำหนดค่าของระบบในขณะที่ทำการวัดสัญญาณ

การการิเบทระบบ (celibate) คือการกำหนดค่าเริ่มต้นให้ระบบ เพื่อให้แสดงผลสัญญาณที่วัดได้อย่างถูกต้อง โดยที่เราจะต้องทำการการิเบททุกครั้งที่มีการเปิดเครื่องหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ทดสอบ (ค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง) รวมถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดสอบ เช่น เกิดวาบไฟตามผิว เกิดเบรกดาวน์ เกิดการโอเวอร์โหลด เมื่อทำการเปิดเครื่องขึ้นมา หน้าจอแรกที่เราจะพบคือ หน้า Main menu (ตามรูปที่ 3.41) จะเห็นได้ว่าเราสามารถทำการการิเบทเครื่องได้ทันทีที่เปิดเครื่อง แต่ก่อนที่เราจะทำการสั่งการิเบทต้องทำการต่อ C-calibrator เข้าไปในระบบก่อน (ตามรูปที่ 3.42) จะสังเกตเห็นว่าขณะที่เรายังไม่ได้ต่อ C-calibrator แถบแสดงสถานะจะบอกให้เราทราบว่าเราไม่ได้ต่อ C-calibrator ตรงที่เขียนว่า Calibrator : 100.0 pC, OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 แสดง Main menu ซึ่งเป็นหน้าแรกในการเปิดเครื่อง



รูปที่ 3.42 แสดงการต่อ C-calibrator

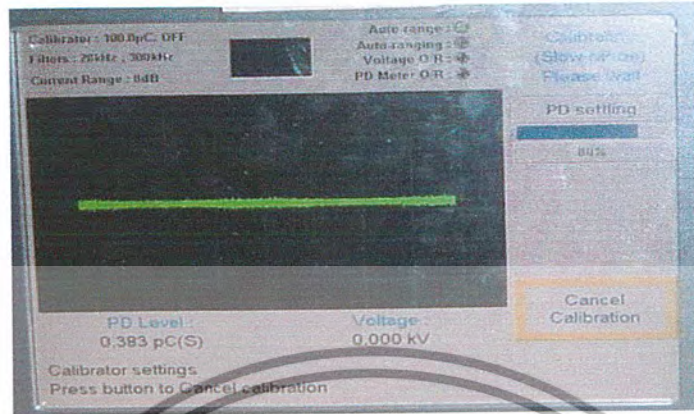
เมื่อทำการเชื่อมต่อแล้วเราก็พร้อมที่จะทำการการริเบทเครื่อง โดยเข้าสู่ระบบการริเบทโดยกดปุ่ม (F1) จะเริ่มทำการการริเบทด้วยการกดปุ่มการริเบท (F5) ระบบก็จะเริ่มทำการการริเบทซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 1 นาที หลังจากทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วระบบก็จะพร้อมที่ทำการทดสอบอุปกรณ์แล้ว

#### ข้อควรระวังในการการริเบท

ในขณะที่ทำการการริเบทระบบจะต้องไม่มีการป้อนแรงดันไฟฟ้าในส่วนองแรงดันสูง เพราะแรงดันไฟสูงจะป้อนเข้าสู่เครื่องโดยตรง ส่งผลให้เครื่องเสียหายได้และห้ามทำการเชื่อมต่อกราวด์เข้ากับขั้วแรงสูงเพราะจะต้องมีการจ่ายแรงดันจากตัวเครื่องโดยอัตโนมัติ ถ้า Background noise มีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำการการริเบทจะทำให้การการริเบทไม่สำเร็จ ดังนั้นต้องทำการลดค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Background noise ให้ต่ำลงโดยการย้ายที่ตั้งอุปกรณ์ทดสอบหรือทำการหยุดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ข้างเคียงหรือสาเหตุอื่นๆ



รูปที่ 3.43 แสดงหน้าจอขณะทำการปรับเมท



แสดงจำนวนพัลส์ (Pulse) 2 พัลส์

แสดงจำนวนพัลส์ 8 พัลส์

รูปที่ 3.44 แสดงหน้าจอในเมนูการปรับเมท

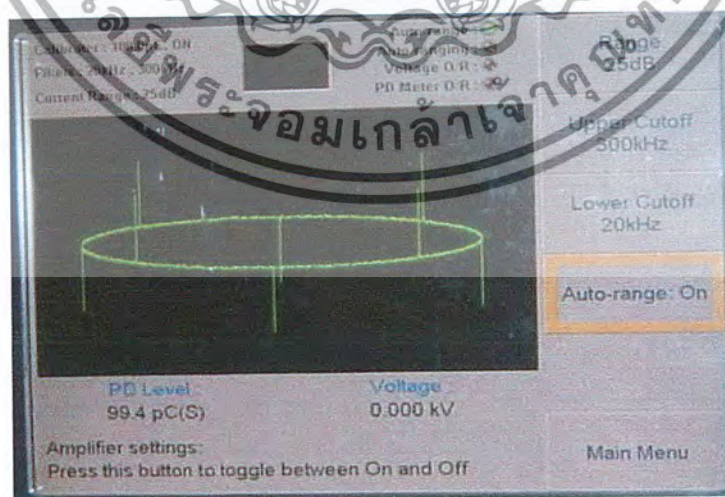
- 1) Level เป็นเมนูที่ให้เรารอกค่าที่เราขอมให้มี Injection Current เท่าไหร่ โดยที่ค่าของมันจะเปลี่ยนไปตาม Injection capacitor (ค่ามาตรฐาน 100 pF) ที่ต่อเข้าไปในระบบ มีค่าให้เรากำหนดดังนี้ 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 และ 1000 pC การกำหนดค่าจะกำหนดตามค่าคาปาซิเตอร์ที่ใส่เข้าไป เช่น C 100 pF จะกำหนดค่า Level เท่ากับ 100 pC เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) Pulse คือเมนูที่เราสามารถกำหนดจำนวนพัลส์ที่จะกำเนิดขึ้นมาในการคาร์ริเบท มีตั้งแต่ 2, 4, 8 และ 16 พัลส์
- 3) Phase เป็นการควบคุมมุมของการเกิดพัลส์ ได้ตามที่เราต้องการตั้งแต่ 0-360 องศา
- 4) Calibrate เป็นปุ่มที่ใช้สั่งให้เริ่มทำการคาร์ริเบท
- 5) Main Menu ใช้เป็นปุ่มกดเพื่อกลับไปยังหน้าเมนู

การกำหนดค่าลักษณะของการขยายสัญญาณ (Amplifier Characteristics) คือเมนูที่จัดการเกี่ยวกับรูปร่างลักษณะของสัญญาณที่ทำการวัดได้ เช่น ทำการขยายขนาดของสัญญาณให้ง่ายต่อการอ่านค่า การกำหนดย่านของความถี่ที่จะทำการวัดค่าโดยจะทำการพิจารณาสัญญาณในช่วงที่เราต้องการเพื่อเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป ทำให้การวัดมีความถูกต้องสูงขึ้น มีฟังก์ชันให้เลือกใช้งานดังต่อไปนี้

- 1) Range ใช้ในการขยายสัญญาณให้เหมาะสมต่อการอ่านค่า (scope mode) ใช้หน่วย dB ในการกดแต่ละครั้งจะเพิ่มหรือลดค่าครั้งละ 5 dB คล้ายกับปุ่ม Volts/Div ในออสซิลอสโคป
- 2) Upper Cut Off กำหนดค่าให้เครื่องไม่ทำการพิจารณาสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าค่าที่กำหนด มีค่าให้เลือกดังนี้ 100, 200, 300, 400 และ 500 kHz
- 3) Lower Cut Off กำหนดค่าให้เครื่องไม่ทำการพิจารณาสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด มีค่าให้เลือกดังนี้ 20, 30, 50, 60 และ 80 kHz
- 4) Auto Range เป็นฟังก์ชันที่มีประโยชน์เป็นอย่างมากในกรณีที่ไม่ต้องทำการปรับค่าของการขยายสัญญาณ ควรตั้งให้ฟังก์ชันนี้ทำงานอยู่เสมอ เมื่อฟังก์ชันนี้ทำงานอยู่เราจะสามารถอ่านค่าสัญญาณได้โดยไม่ต้องมาปรับอัตราการขยายสัญญาณ

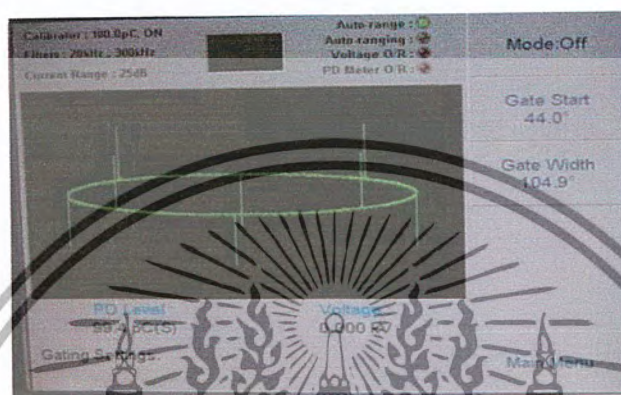


รูปที่ 3.45 แสดงเมนูในหน้า Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดการปิดกั้นช่วงสัญญาณที่เราไม่ต้องการพิจารณา (Gating System)

ออกแบบมาเพื่อต้องการจำกัดสัญญาณรบกวนซึ่งไม่ใช่ค่า PD ที่เราต้องการ โดยที่ทำการปิดสัญญาณในส่วนนั้นทิ้งไปให้คงเหลือแต่ช่วงของสัญญาณที่เราต้องการ ในการนำใช้งานเราจะสามารถเลือกช่วงที่เราจะเราคิดว่าเป็นค่า PD ที่แท้จริงและทำการปิดสัญญาณช่วงที่ไม่ต้องการทิ้งไป การปิดช่วงของสัญญาณจะกำหนดเป็นค่ามุมเริ่มต้นกับระยะที่ต้องการปิดหน่วยเป็นองศา



รูปที่ 3.46 Gating mode off



mode : single

mode : double

รูปที่ 3.47 Gating mode ON

- 1) Gate Mode มีฟังก์ชันให้เลือกใช้งานดังนี้
  - Off ปิดการใช้งานในโหมดนี้
  - Single ใช้งานในระบบที่ทำการปิดค่าเพียงซีกเดียวของสัญญาณ (ซีกบวก)
  - Double ใช้งานในระบบที่ทำการปิดสัญญาณทั้งสองซีก (บวกกับลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

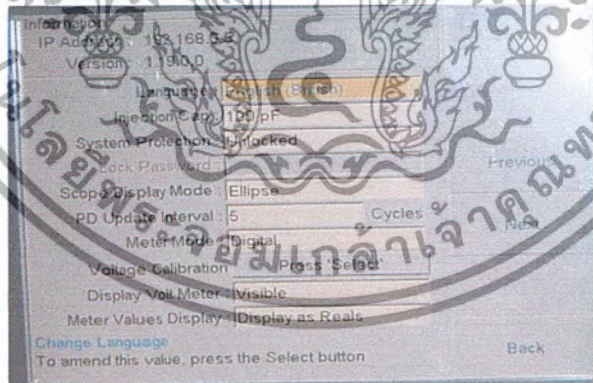
- 2) Gate Start คือ จุดที่เริ่มในการปิดช่วงของสัญญาณ สามารถเลือกได้ตั้งแต่ 0-360 องศา
- 3) Gate Width เป็นช่วงระยะของสัญญาณที่ทำการปิด

### กำหนดค่าที่เรายอมรับได้ของ PD ในอุปกรณ์ทดสอบ

ออกแบบมาเพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการทดสอบอุปกรณ์เหมาะสมกับการใช้ในสายการผลิตในโรงงาน โดยที่ระบบจะทำการวัดค่า PD แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ ถ้าค่าที่อ่านได้ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ก็จะให้อุปกรณ์นั้นผ่านการทดสอบไปได้ แต่ถ้าหากว่ามีค่าเกินกว่าที่ยอมรับได้เครื่องจะทำการแจ้งให้เราทราบ ทำให้สะดวกในการทดสอบอุปกรณ์ครั้งละมากๆ



รูปที่ 3.48 เมนูที่ให้เราได้ค่า PD ที่เรายอมรับได้สำหรับอุปกรณ์ทดสอบ



รูปที่ 3.49 เมนู configure

### การกำหนดค่าต่าง (Configure)


- 1) Language เป็นภาษาที่ใช้แสดงผลในหน้าจอต่างๆ ในเครื่องขณะนี้ก็มีเพียงภาษาเดียว
- 2) Injection Cap เป็นค่าคาปาซิเตอร์ที่เราต่อเข้าไปในขณะที่ทำการการริเบท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

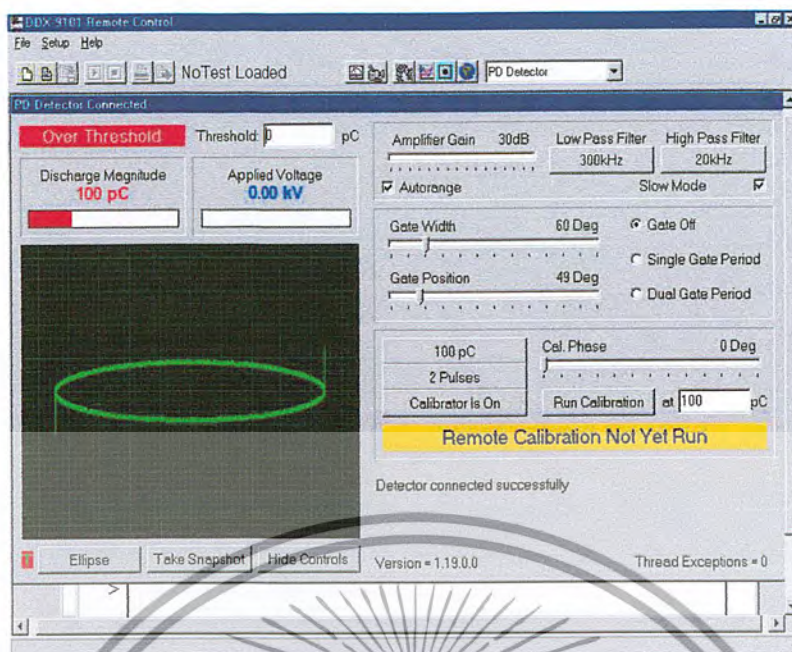
- 3) System Protection เป็นระบบรักษาความปลอดภัยในการกำหนดค่าต่างๆ ภายในเครื่อง มี 2 รูปแบบ คือ Locked กับ Unlocked ถ้ากำหนดให้เป็น Locked จะทำให้แถบ Lock Password สามารถที่จะกรอกพาสเวิร์ดเข้าไปได้ ใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการให้ผู้ที่ไม่ทราบพาสเวิร์ดไม่สามารถที่จะแก้ไขค่าต่างๆ ได้
- 4) Scope Display Mode เป็นปุ่มที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลในรูปของสโคป
- 5) Meter Mode เป็นปุ่มที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลในรูปของมิเตอร์
- 6) Voltage Calibration ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเครื่องในกรณีที่การแสดงผลของแรงดันที่ป้อนให้กับโหลดไม่ตรงกับค่าที่แสดงในหน้าจอ โดยจะต้องมีการต่อโวลท์เตจดีไวเซอร์เข้าไปในระบบเพื่อทำการวัดค่าที่แท้จริง แล้วจึงนำค่าที่อ่านได้จากโวลท์เตจดีไวเซอร์มากรอกใส่เข้าไปเพื่อแก้ไขค่าที่อ่านได้จากเครื่องให้ถูกต้อง
- 7) Display Volt Meter มีให้เลือกอยู่สองอย่างคือ โช่วก็บไม่ทำการโช่ว
- 8) Meter Values Display เป็นรูปแบบในการแสดงผลของมิเตอร์ โดยที่จะสามารถแสดงได้เป็นค่าที่เป็นทศนิยมกับค่าที่เป็นจำนวนเต็มเพียงอย่างเดียว (จะทำการปิดเศษทศนิยมให้เลข)

### 3.7.3 การใช้งานซอฟต์แวร์ Remote 9101

เราสามารถที่จะทำการควบคุมเครื่อง PD Detector, DDX-9101 ผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ การควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์นี้มีข้อดี คือ สามารถทำรายงานการทดลองจากคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง ด้วยการบันทึกค่าที่วัดได้ออกมาในรูปแบบตาราง ทำให้เราสามารถนำข้อมูลนั้นไปใช้งานต่างๆ เช่น การทำเป็นข้อมูลเฉพาะของอุปกรณ์นั้นๆ

การเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ของเครื่องจะใช้การเชื่อมต่อผ่านสาย LAN โดยใช้ TCP/IP โพรโตคอล การเข้าสู่โปรแกรมทำได้โดยการดับเบิลคลิกที่ไอคอน เมื่อเข้าสู่  โปรแกรมแล้ว เรายังไม่สามารถทำการสั่งงานใดๆได้ เราต้องทำการ

เชื่อมต่อโปรแกรมเข้ากับเครื่องด้วยการคลิก Setup ที่เมนูบาร์แล้วคลิกเข้าไปที่ Search and Connect แล้วทำการเลือก PD Test system ก็จะสามารถทำการควบคุมเครื่องได้และในส่วนของตัวเครื่องเราจะไม่สามารถสั่งงานใดๆ ได้เมื่อเราทำการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์



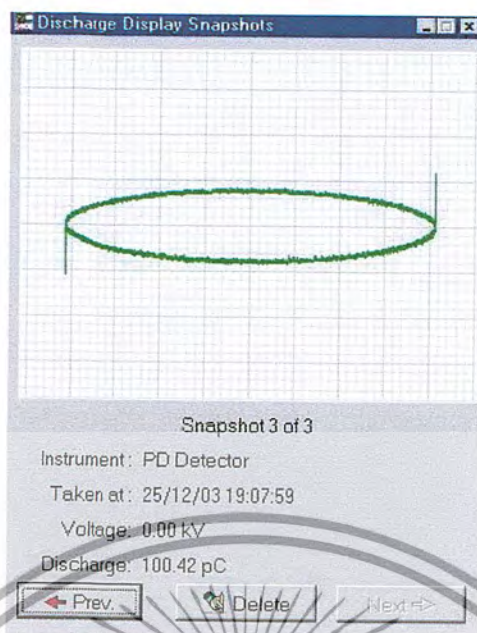
รูปที่ 3.50 แสดงหน้าจอคอนเนกต์เรียบร้อยแล้ว

### 3.7.3.1 การกำหนดค่าขณะทำการวัดสัญญาณ

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ามีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้งานอยู่ทางด้านขวาซึ่งจะมีความสะดวกในการควบคุมหรือกำหนดค่าต่างๆ ภายในหน้าจอเดียวไม่เหมือนกับการทำงานกับเครื่องโดยตรง (ในหัวข้อที่แล้ว) โดยจะอธิบายในรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังนี้

- 1) Threshold คือส่วนที่เราจะต้องกรอกค่าตัวเลขเข้าไปเพื่อสั่งให้เครื่องทำการแสดงไฟเตือน (สีแดง ไซ่วทางด้านซ้าย) เมื่อเกินค่า PD เกินกว่าค่าที่เรายอมรับได้ของอุปกรณ์ทดสอบนั้นๆ เป็นฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบอุปกรณ์ครั้งละหลายๆ
- 2) หน้าต่าง Discharge Magnitude คือการแสดงผลค่า PD ที่วัดได้ มีหน่วยเป็น pC
- 3) Applied Voltage เป็นการแสดงผลค่าแรงดันที่จ่ายให้กับโหลด หน่วย kV
- 4) Ellipse, Sine, Full Cycle, 1/2 Cycle และ Divided คือการเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผลในรูปของกราฟ การคลิกแต่ละครั้งจะทำให้การแสดงผลเปลี่ยนไป ตามลำดับ
- 5) Take Snapshot คือปุ่มที่ใช้เพื่อการเก็บภาพกราฟที่กำลังแสดงผลอยู่นั้นในรูปแบบของไฟล์คอมพิวเตอร์สามารถทำให้เรานำไปใช้งานต่างๆ ได้ เหมือนกับการถ่ายรูป
- 6) Hide Control เป็นปุ่มที่ทำการแสดงหรือไม่แสดง หน้าต่างควบคุมที่อยู่ทางด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



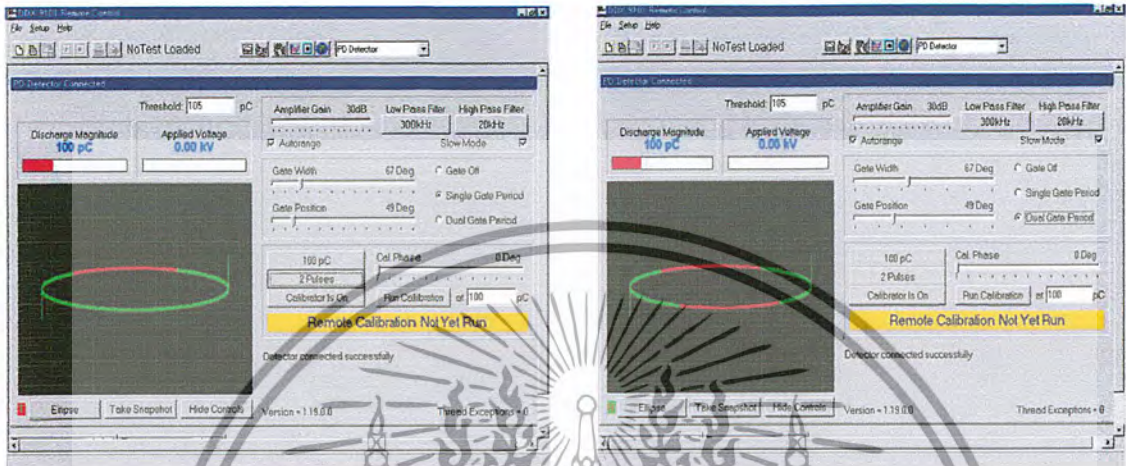
### รูปที่ 3.51 ทำการบันทึกกราฟที่วัดค่าได้

หน้าต่างในส่วนของ **Amplifier Gain** คือส่วนที่ใช้ควบคุมการขยายสัญญาณเพื่อให้สะดวกต่อการอ่านค่าจากกราฟ จากรูปที่ 3.50 เราจะพบว่าทำงานอยู่ในระบบ Auto Range เมื่ออยู่ในโหมดนี้การเปลี่ยนสเกลการแสดงผลจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติ (ควรใช้งานในโหมดนี้) เมื่อเราต้องการขยายหรือย่อการแสดงผลสัญญาณที่วัดได้เราสามารถทำได้โดยการปิดโหมด Auto Range ก่อนแล้วจึงทำการเลื่อนแถบสไลด์บาร์ไปยังตำแหน่งการแสดงผลที่เราต้องการอ่านค่า การทำงานมีความคล้ายคลึงกับปุ่ม Volts/Div ของออสซิลโลสโคป

- 1) Low Pass Filter ใช้ในการกำหนดย่านความถี่ของสัญญาณต่ำกว่าที่ตั้งไว้ให้ผ่านไปได้นั้นคือการไม่พิจารณาสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่านี้
- 2) High Pass Filter ในการกำหนดย่านความถี่ของสัญญาณสูงกว่าที่ตั้งไว้ให้ผ่านไปได้นั้นคือการไม่พิจารณาสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด
- 3) เซ็คบล็อก Slow Mode เป็นโหมดการวัดค่าสัญญาณ ถ้ามีการใช้งาน Slow Mode การแสดงผลจะเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณใน 5 ไซเคิล แต่ถ้าไม่ใช้งานกราฟจะแสดงผลในทุกไซเคิลทำให้มีความรวดเร็วในการแสดงผล แนะนำให้ใช้งานในโหมด Slow Mode เพราะการแสดงผลจะค่อนข้างมีความต่อเนื่องมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เช็คบล็อก Gate** คือ การใช้งานระบบการปิดช่วงสัญญาณที่ไม่ต้องการพิจารณาทิ้งไป เพื่อให้การวัดค่ามีแค่สัญญาณที่เป็นค่า PD ที่แท้จริง โดยจะไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน ค่าที่อ่านได้จะมีความถูกต้องสูงขึ้นเพราะเราทำการตัดสัญญาณรบกวนทิ้งไป โดยจะมี 3 รูปแบบ คือ ไม่ใช้งาน (Off), ปิดสัญญาณช่วงซีกบวก (Single), ปิดสัญญาณทั้งสองซีก (Double)



*Gate Mode Single*

*Gate Mode Double*

รูปที่ 3.52 แสดงการใช้งานการปิดช่วงสัญญาณ

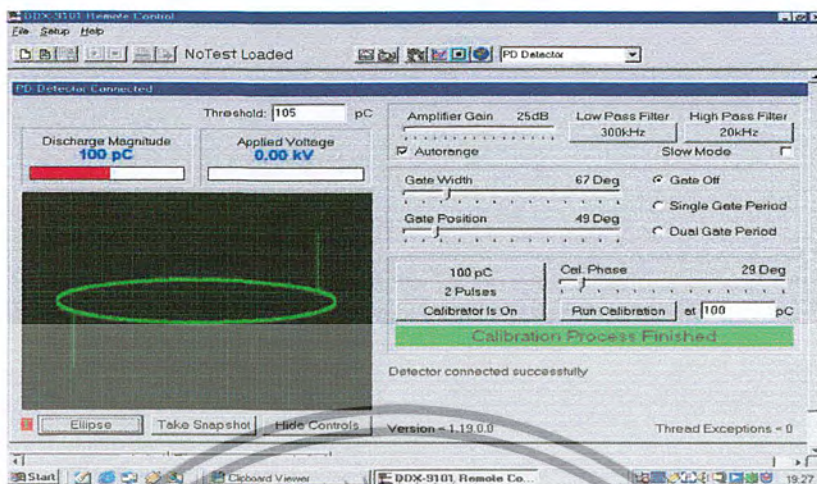
- 1) Gate width เป็นการควบคุมช่วงความกว้างของสัญญาณที่เราไม่ต้องการพิจารณา หน่วย องศา
- 2) Gate Position คือ จุดเริ่มต้นในการปิดช่วงของสัญญาณสามารถเริ่มต้นที่ใดก็ได้ตั้งแต่ 0-360 องศา

**หน้าต่างการปรับ (calibrate)** คือส่วนที่เราจะใช้ในการปรับเครื่องให้พร้อมต่อการใช้งาน โดยจะต้องทำการปรับทุกครั้งที่มีเครื่องเปิดหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ทดสอบ เกิดความผิดพลาดในระหว่างการทดลอง (Breakdown) มีฟังก์ชันให้ใช้งานดังต่อไปนี้

- 1) 100 pC คือหน้าต่างที่แสดงค่า Injection current
- 2) Pulse คือ จำนวนของพัลส์ที่เราจะใช้ในการปรับเครื่องมีให้เลือกตั้งแต่ 2, 4, 8 และ 16
- 3) Calibrator Is On เป็นส่วนที่บอกให้เราทราบว่ามีการต่อคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในการปรับหรือไม่ (วิธีการต่อคาปาซิเตอร์ดูได้ที่ หัวข้อ 3.7.2.2.2 การปรับระบบ)
- 4) Cal. Phase เป็นการกำหนดค่ามุมของการกำเนิดพัลส์เพื่อใช้ในการปรับ
- 5) เมื่อทำการต่อคาปาซิเตอร์เข้าในระบบเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ เริ่มทำการปรับ โดยการคลิกที่ปุ่ม Run Calibration เพื่อเริ่มทำการปรับซึ่งจะใช้เวลาประมาณ

1 นาที ถ้าปรับเสร็จเรียบร้อยแล้วเครื่องก็จะพร้อมที่ทำการทดสอบอุปกรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.53 แสดงการการิมบทเสร็จเรียบร้อยแล้ว

### 3.7.4 การทำรายงานผลการทดสอบอุปกรณ์ (Test Report)

เป็นการทำรายงานผลการทดสอบของหลังจกที่ได้การทดสอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว เพื่อนำไปใช้งานในการอ้างอิงหรือการนำเสนอในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป

#### 3.7.4.1 แถบเครื่องมือที่ต้องมีการใช้งาน (Toolbar)



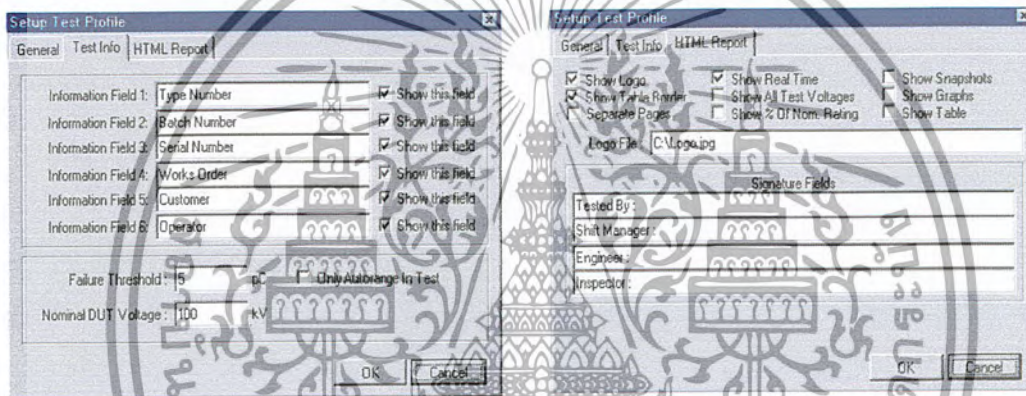
รูปที่ 3.54 แถบเครื่องมือที่ต้องมีการใช้งาน (Toolbar)

- 1) ทำการสร้าง Test Report ใหม่ขึ้นมา
- 2) เปิด Test Report ที่มีอยู่แล้วขึ้นมาใช้งาน เช่นทำการบันทึกผลการทดสอบต่อหรือบันทึกผลการทดสอบใหม่
- 3) ทำการบันทึก Test Report
- 4) ปุ่มที่ใช้ในการสั่งให้เริ่มทำการบันทึกผลการทดสอบ
- 5) ปุ่มที่ใช้สั่งให้หยุดทำการบันทึกค่า
- 6) สั่งพิมพ์ Test Report ออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

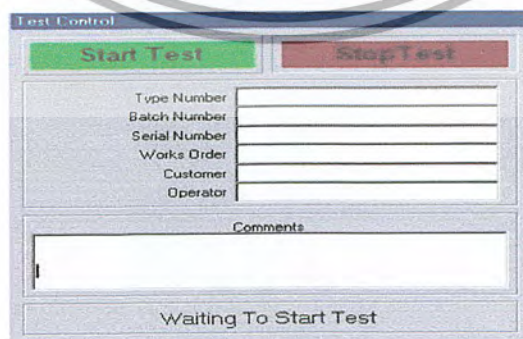
- 7) ส่ง Test Report ไปใช้งานกับโปรแกรมอื่น
- 8) เพิ่มค่าที่ต้องการบันทึกผล
- 9) ใช้ในการบันทึกผลการทดลองในแต่ละช่วงระยะเวลาในรูปแบบของกราฟ
- 10) แสดงหน้าต่าง Test Control
- 11) แสดงหน้าต่าง Test Result
- 12) แสดงหน้าต่างรูปภาพที่ทำการบันทึกไว้
- 13) แสดงหน้าต่าง HTML Report
- 14) แสดงเครื่องที่ต่อเข้ากับโปรแกรมนี้ นั่นคือเครื่อง PD Detector, DDX -9101

เริ่มทำการบันทึกผลการทดลองโดยการคลิกที่  เพื่อเปิดหน้าต่าง Test Report ขึ้นมา ก็จะพบกับ



รูปที่ 3.55 หน้าต่าง Test report

เพื่อให้เรากรอกค่าต่างๆ ลงไป หลังจากกรอกค่าต่างๆ แล้วเราก็พร้อมที่จะทำการบันทึกผลการทดสอบอุปกรณ์แล้วโดยเริ่มทำการบันทึกด้วยการกด Start Test




รูปที่ 3.56 หน้าต่างขณะทำการบันทึกผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการหยุดการบันทึกค่าสามารถทำได้โดยการกด Stop Test ในการบันทึกผลการทดลอง โปรแกรมจะบันทึกในรูปแบบของไฟล์ HTML ดังตัวอย่างด้านล่าง

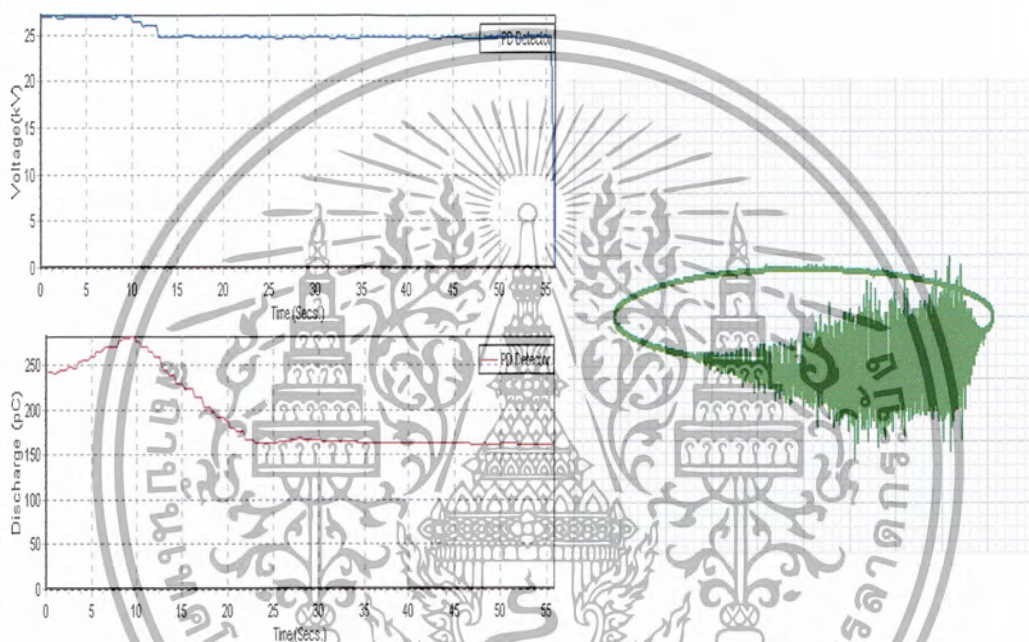
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลการทดสอบที่โปรแกรมบันทึกในรูปแบบของไฟล์ HTML

			
Date : 23/12/03			
Type Number :			
Batch Number :			
Serial Number : KMITL-PD-2003			
Works Order : -			
Customer : Hipotronics			
Operator : Group Project HV			
Time (HH:MM:SS)	Time (secs.)	PD Detector (kV)	PD Detector (pC)
4:58:08	0.38	50.12	254.08
4:58:08	0.65	50.12	257.35
4:58:08	0.93	50.12	257.35
4:58:08	1.20	50.08	260.20
4:58:09	1.70	50.08	260.20
4:58:09	1.75	50.08	260.20
4:58:09	2.03	50.08	260.20
4:58:10	2.30	49.90	260.20
4:58:10	2.58	49.83	267.37
4:58:10	2.85	49.83	267.37
4:58:10	3.18	49.83	267.37
4:58:11	3.46	49.83	267.37
4:58:11	3.73	49.83	267.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) ตัวอย่างผลการทดสอบที่โปรแกรมบันทึกในรูปแบบของไฟล์ HTML

4:58:11	4.00	50.09	277.71
4:58:12	4.28	49.86	277.71
4:58:12	4.61	49.86	277.71
4:58:12	4.88	50.11	284.57
4:58:12	5.16	50.11	284.57



Comments :

Tested By : Group Project HV

Shift Manager :

Engineer :

Inspector :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบอุปกรณ์และผลการทดสอบ

บทนี้เราจะกล่าวถึงการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้มีการติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของเราในปัจจุบันนี้ เพื่อเป็นการทดสอบอุปกรณ์ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ค่าความผิดพลาดของผลการทดสอบที่เทียบกับค่ามาตรฐานจะบ่งบอกถึงสภาพของเครื่องในขณะนี้ได้ ถ้าค่าความผิดพลาดสูงมาก(เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้) เราก็จะหาสาเหตุและทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เครื่องสามารถใช้งานได้เป็นปกติต่อไป

#### 4.1 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง (ทดสอบความเป็นควมเป็นควมของน้ำมัน)

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V/400 kV 10 kVA
- 2) ชุดปรับแรงดันไฟฟ้า (regulator) 0-220 V
- 3) ฉนวนน้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลง
- 4) กล้องหุ้มน้ำมันและอิเล็กโทรม
- 5) โวลท์มิเตอร์ และ แอมมิเตอร์
- 6) เซอร์กิตเบรกเกอร์

##### วิธีการทดสอบ

- 1) ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์แต่ละตัวก่อนจะทำการทดสอบ
- 2) ปรับระยะห่างของแกปให้มีค่าระยะที่ห่างแตกต่างกันในการทดสอบแต่ละครั้ง
- 3) ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยทำการปรับจกชุดปรับแรงดันจนถึงค่าที่ฉนวนน้ำมันเกิดการเบรกดาวน
- 4) ทำการเปลี่ยนน้ำมันแล้วทำการปรับระยะห่างของแกปให้มีระยะตามที่ต้องการทดสอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 12 มิถุนายน 2528

สถานะแวดล้อม ความดัน 772 ม.ม.ปรอท

อุณหภูมิ 30 องศาเซนติเกรด ความชื้น 78 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม.

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	29.7	29.7	30.4	29.7	31.1	31.1	30.28
1.5	42.4	43.8	42.4	42.4	43.8	43.8	43.1
2.0	56.6	55.2	56.6	56.6	56.6	55.2	55.9
2.5	67.2	67.2	66.5	65	67.2	66.5	66.93
3.0	80.6	80.6	79.9	79.9	79.2	79.2	79.9
3.5	92.6	92.3	93.3	93.3	94.8	93.3	93.32

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 12 มิถุนายน 2528

สถานะแวดล้อม ความดัน 772 ม.ม.ปรอท

อุณหภูมิ 30 องศาเซนติเกรด ความชื้น 78 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม. (เมื่อคูณด้วยค่า correction factor = 1.054)

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	30.83	30.83	31.56	30.83	32.28	32.28	31.43
1.5	44.01	45.46	44.01	44.01	45.46	45.46	44.74
2.0	58.75	57.30	58.75	58.75	57.30	57.30	58.02
2.5	69.75	69.75	69.03	67.47	69.75	69.03	69.47
3.0	83.66	83.66	83.94	82.21	82.94	82.21	82.94
3.5	96.12	96.85	96.85	96.12	96.85	98.40	96.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 25 กันยายน 2546

สถานะแวดล้อม ความดัน 763 มม.ปรอท

อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความชื้น 78 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม.

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	28.0	27.6	27.4	28.9	27.2	29.1	28.14
1.5	41.4	40.7	42.3	42.7	42.2	41.9	41.92
2.0	54.7	54.1	55.6	54.2	55.2	55.2	54.99
2.5	68.2	68.1	67.9	68.5	67.2	68.1	68.05
3.0	79.6	81.3	80.3	79.2	80.5	81.2	80.31
3.5	94.6	95.2	93.7	92.1	92.7	92.5	93.14

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน AC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 25 กันยายน 2546

สถานะแวดล้อม ความดัน 763 มม.ปรอท

อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความชื้น 78 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม. (เมื่อคูณด้วยค่า correction factor = 1.042)

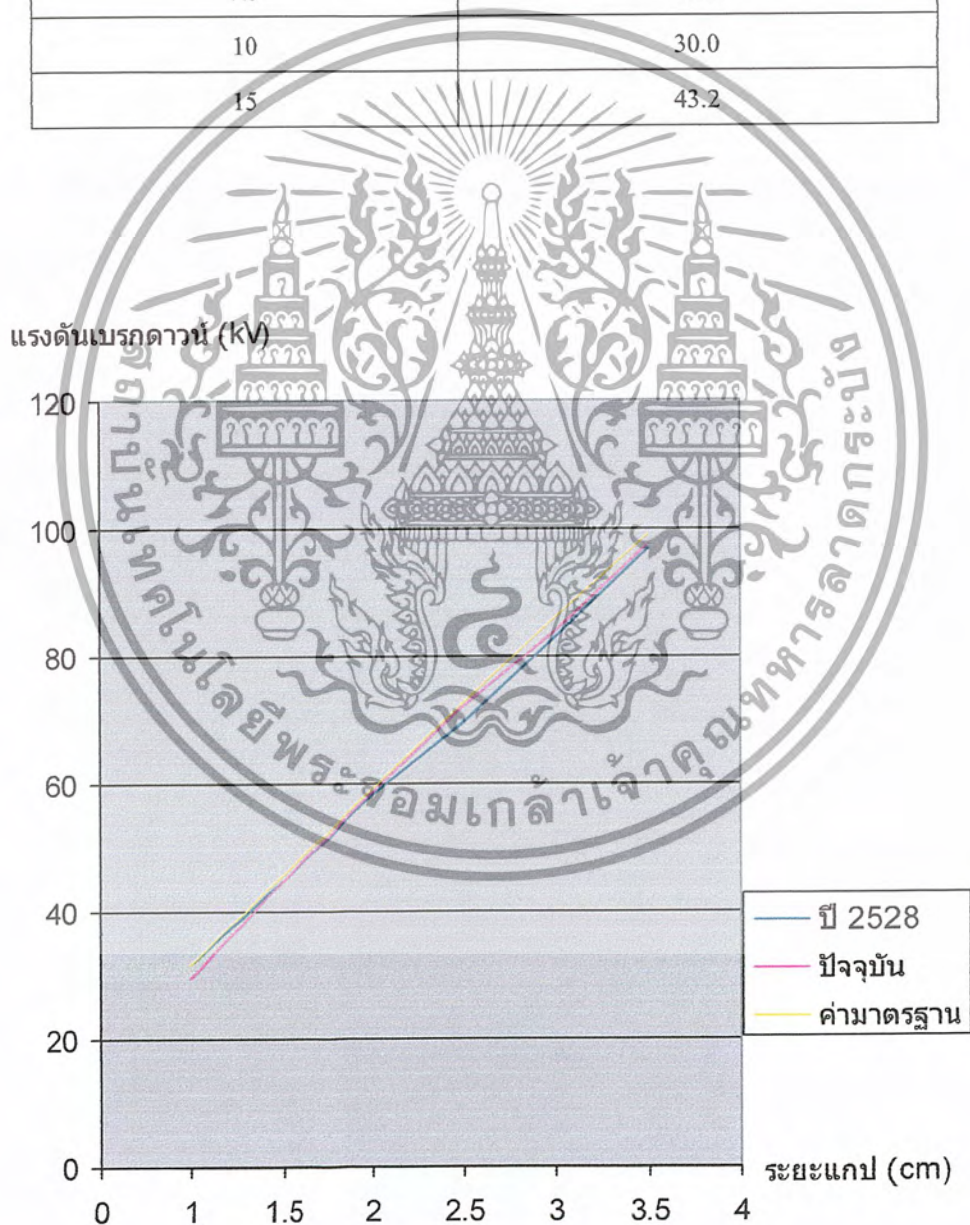
ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	29.21	28.80	29.01	30.16	28.41	30.34	29.32
1.5	42.97	44.50	44.03	44.54	44.96	43.73	44.62
2.0	56.98	56.31	58.96	56.52	58.55	57.48	58.30
2.5	72.11	71.98	70.83	71.42	71.03	72.11	71.91
3.0	82.90	84.76	83.39	82.56	83.91	84.53	83.78
3.5	98.56	99.24	97.69	96.02	96.65	96.33	97.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ เบรคคาว์นนวนน้ำมัน ที่ 758 mmHg 29 °C

ตารางที่ 4.5 แรงดันเบรคคาว์นวนน้ำมัน

ระยะแกป (mm)	แรงดันเบรคคาว์น (kV)
1.0	6.8
2.5	11.4
5.0	16.0
7.5	20.5
10	30.0
15	43.2



รูปที่ 4.1 แรงดันเบรคคาว์นของเครื่องจ่ายแรงดันกระแสสลับแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (DC Generator 600 kV)

ภายหลังจากการซ่อมแซมเครื่อง เราก็ทำการทดสอบแรงดันเบรกควานซ์ของเครื่องเทียบกับมาตรฐาน เพื่อยืนยันว่าเครื่องสามารถใช้งานได้หลังจากการซ่อมแซมแล้ว โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบในปัจจุบันกับผลการทดสอบก่อนที่เครื่องจะเสีย

##### ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

- 1) เปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์เมน
- 2) เปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรกำลัง
- 3) เปิดสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรชุดคอนโทรล
- 4) ทำการปรับระยะแกปให้มีระยะห่างที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งประมาณ 1 cm
- 5) ทำการเปิดไฟส่งสัญญาณว่าจะทำการทดสอบเพื่อให้ผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้นทราบ
- 6) ทำการหมุนชุดปรับขนาดแรงดันให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ทุกครั้งก่อนทำการทดสอบ
- 7) กดปุ่ม Prepare
- 8) กดปุ่ม ON
- 9) ทำการปรับขนาดแรงดันจากชุดปรับหยาน จนได้แรงดันที่ใกล้เคียงกับแรงดันเบรกควานซ์ ดูได้จากตารางแรงดันมาตรฐานของแต่ละระยะห่างของแกปแล้วจึงทำการปรับละเอียดจนเกิดการเบรกควานซ์
- 10) กดปุ่ม OFF และกดปุ่ม Indicator reset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกคาวน์ วันที่ 10-11 มิถุนายน 2528

สถานะแวดล้อม ความดัน 760 ม.ม. ปรอท

อุณหภูมิ 31 องศาเซนติเกรด

ความชื้น 76 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม.

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกคาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	30	29.7	30	29.7	30	30	29.9
1.5	44.4	43.2	43.8	44.4	43.8	43.2	43.8
2.0	56.4	55.8	54	56.4	57	57	56.1
2.5	70.2	70.2	69.6	70.8	70.2	70.2	70.2
3.0	82.2	82.8	83.4	81.6	82.2	82.2	82.2
3.5	93.0	99	96	93	96	93	95.0
4.0	108	105	102	99	108	102	104
4.5	118.5	111	114	114	117	114	114.8
5.0	132	126	126	121.6	123	121.5	125.8
5.5	141	144	144	135	132	142.5	139.8
6.0	147	150	147	144	147	147	147
6.5	150	165	150	150	153	168	156
7.0	159	165	171	168	159	174	166
7.5	174	189	174	180	174	177	178
8.0	183	174	171	177	195	183	180.5
9.0	192	186	204	216	210	210	203
10.0	225	213	228	222	231	225	224
11.0	237	246	237	240	246	237	240.5
12.0	240	252	243	252	249	267	250.5
13.0	264	276	264	261	276	270	268.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 10-11 มิถุนายน 2528

สถานะแวดล้อม ความดัน 760 ม.ม.ปรอท

อุณหภูมิ 31 องศาเซนติเกรด

ความชื้น 76 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม. (เมื่อคูณด้วยค่า correction factor = 1.038)

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	31.14	30.83	31.14	30.83	31.14	31.14	31.04
1.5	46.09	44.84	45.46	46.09	45.46	44.84	45.64
2.0	58.54	57.92	56.92	59.17	58.54	59.17	58.23
2.5	72.87	72.87	72.24	73.49	72.87	72.87	72.87
3.0	85.32	85.95	86.57	84.7	85.32	85.32	85.32
3.5	96.54	102.76	99.65	96.53	99.65	96.54	98.61
4.0	112.1	108.99	105.87	102.76	112.1	105.87	107.95
4.5	123.0	115.22	118.33	118.33	121.45	118.33	119.16
5.0	137.02	130.79	130.79	127.67	126.12	130.79	130.58
5.5	146.36	149.47	149.47	140.13	137.02	147.92	145.11
6.0	152.59	155.7	152.59	149.47	152.59	152.59	152.59
6.5	155.7	171.27	155.7	155.7	158.81	174.38	161.93
7.0	165.04	171.27	177.5	174.38	165.04	180.61	172.31
7.5	180.61	196.18	180.61	186.84	180.61	183.73	184.76
8.0	189.95	180.61	177.5	174.38	165.04	180.61	172.31
9.0	199.3	193.07	211.75	224.21	217.98	217.98	210.71
10.0	233.55	221.09	236.66	230.44	239.78	233.55	232.51
11.0	246.01	255.35	246.01	249.12	255.35	246.01	249.64
12.0	249.12	261.58	252.23	261.58	258.49	277.15	260.02
13.0	274.03	286.49	274.03	270.49	280.26	286.49	278.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 24 กันยายน 2546

สภาวะแวดล้อม ความดัน 742 ม.ม.ปรอท

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ความชื้น 78 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม.

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	26.4	27.6	26.8	27.6	28.8	28.8	27.6
1.5	40.8	40.8	41.4	40.8	40.8	40.8	40.9
2.0	54	54.6	54.6	54.6	54	54.6	54.4
2.5	66.6	66.9	66.9	67.2	67.2	66.6	66.9
3.0	81	81	81	81.9	82.2	82.5	81.6
3.5	90	90.9	90.9	93	90	93	91.3
4.0	102	105	105.9	105.9	105.9	105.3	105
4.5	120	117.6	117	120	120	119.2	119
5.0	132	131.4	131.4	130.8	131.1	130.8	131.2
5.5	144.6	138	141.6	142.8	142.2	140.1	141.5
6.0	138.6	154.5	154.5	153	156	153.6	151.7
6.5	155.1	150.4	157.1	149.3	159.3	146.3	153.1
7.0	161.8	173.3	158.1	149.3	159.3	146.3	153.1
7.5	185.2	170.3	188.4	181.9	174.9	189.0	181.6
8.0	173.2	183.7	175.0	192.9	181.0	180.7	181.1
9.0	188.5	206.1	192.5	109.4	203.7	213.8	199.5
10.0	202.6	213.5	206.6	207.8	200.8	217.5	208.1
11.0	215.8	219.8	214.1	224.8	217.5	225.8	219.6
12.0	221.0	223.7	228.9	239.3	244.6	235.7	232.2
13.0	257.0	236.55	247.6	245.0	245.8	247.3	246.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองเรื่อง การวัดแรงดัน DC ด้วยช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAPS MEASUREMENT)

วิธีการทดลอง ปรับแรงดันจาก 0 จนถึงเบรกดาวน์ วันที่ 24 กันยายน 2546

สภาวะแวดล้อม ความดัน 772 ม.ม.ปรอท

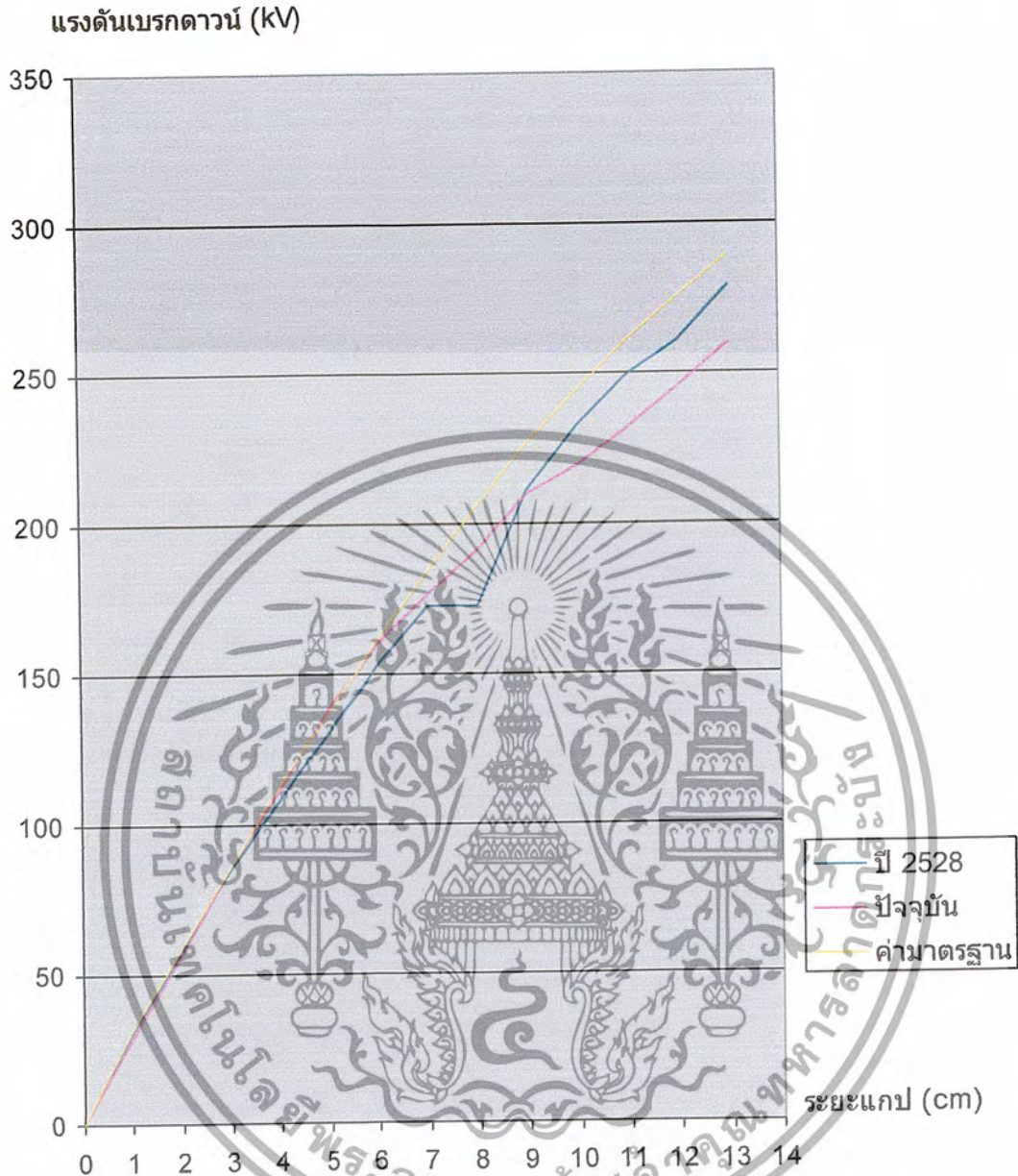
อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ความชื้น 78 %

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (อิเล็กโทรด, ช่องว่างทรงกลม) 25 ซม. (เมื่อคูณด้วยค่า correction factor = 1.054)

ระยะห่าง (cm)	ระดับแรงดันเบรกดาวน์ (kV)						ค่าเฉลี่ย (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	27.83	29.09	28.25	29.09	30.36	30.36	29.15
1.5	43.0	43.0	43.64	43.0	43.0	43.0	43.11
2.0	56.92	57.55	57.55	57.55	56.92	57.55	57.34
2.5	70.2	70.51	70.51	70.83	70.83	70.2	70.51
3.0	85.37	85.37	83.57	86.32	86.64	86.96	86.0
3.5	94.86	95.81	95.81	98.02	94.86	98.02	96.23
4.0	107.51	110.67	111.62	111.62	111.62	110.9	110.67
4.5	126.48	123.95	123.52	126.48	126.48	125.85	125.43
5.0	139.13	138.50	138.50	137.86	138.18	137.86	138.34
5.5	152.41	145.45	149.25	150.51	149.88	147.67	149.19
6.0	146.08	162.84	162.84	161.26	164.42	161.89	159.89
6.5	163.57	158.61	166.7	157.4	168.0	154.24	161.42
7.0	170.62	182.67	166.61	176.06	177.26	182.57	175.97
7.5	195.25	179.57	198.67	191.78	184.44	199.27	191.49
8.0	182.61	193.64	184.53	203.38	190.79	190.54	190.92
9.0	198.64	217.83	209.91	200.96	214.73	225.36	209.9
10.0	213.18	255.07	217.83	219.03	211.73	229.28	219.36
11.0	227.13	231.74	225.7	237.02	229.35	238.04	231.52
12.0	232.98	235.82	241.36	252.20	257.89	248.19	244.74
13.0	270.96	249.32	260.96	258.59	260.39	259.16	259.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดันเบรกดาวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

### 4.3 เครื่องวัดพลังงานความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss Measurement)

#### อุปกรณ์การทดสอบ

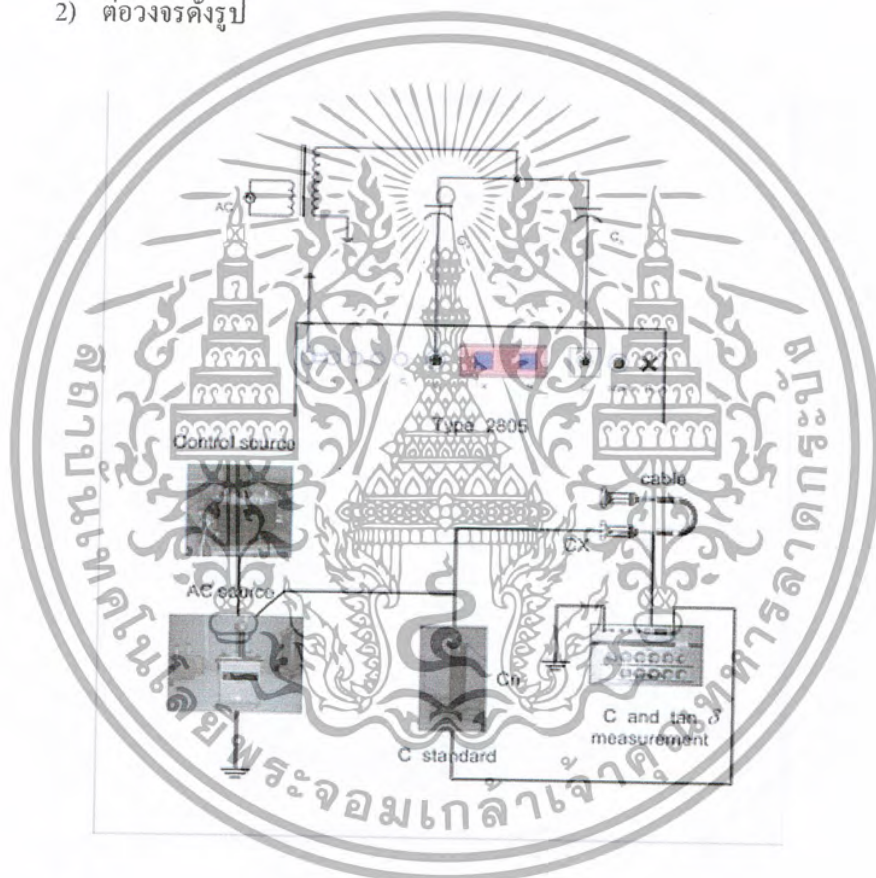
- 1) หม้อแปลงกระแสสลับ 100 kV 50 Hz
- 2) คาปาซิเตอร์มาตรฐานของ Tettex AG รุ่น 3370 ขนาดความจุ 99.91 pF
- 3) เครื่องวัดคาปาซิแตนซ์และพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก Tettex AG รุ่น 2805
- 4) ชุดควบคุมแรงดันทดสอบอัตราส่วนเทิร์นเรโซระหว่างหม้อแปลง 235 V/ 100 kV
- 5) โวลท์มิเตอร์หรือสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) สายเคเบิลแบบต่างๆ หรืออุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบค่าพลังงานสูญเสียค่าคาปาซิแตนซ์
- 7) เทอร์โมมิเตอร์

#### วิธีและขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ตรวจสอบไฟเลี้ยงเครื่องมือวัดค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกของ Tettex AG รุ่น 2805 ว่ามีหรือไม่ โดยปรับไปที่สวิตช์ปรับค่าความแม่นยำการวัดโดยหมุนไปที่ตำแหน่งเช็คแบตเตอรี่ ถ้ามีไฟเลี้ยงพอเชื่อมบนหน้าปัดคุณอินดิเคเตอร์จะเคลื่อนไปที่ค่า 100
- 2) ต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.3 วงจรทดสอบหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก

- 3) ปรับสวิตช์ค่าแฟกเตอร์ผลคูณของคาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบให้อยู่ที่ค่า  $I_{max} = 50 \text{ A}$
- 4) ปรับสวิตช์ค่าความแม่นยำในการวัดให้มาอยู่ที่สแต็ปแรกซึ่งมีระดับความแม่นยำต่ำสุด
- 5) ป้อนโวลต์แดงเข้าวงจรทดสอบ
- 6) ปรับสวิตช์แฟกเตอร์ตัวคูณค่าคาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบและสวิตช์ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ของวัสดุทดสอบ รวมทั้งปรับสวิตช์แฟกเตอร์ตัวคูณของแฟกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกและสวิตช์ปรับค่าแฟลคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก โดยจะต้องปรับให้เข็มนูลอินดิเคเตอร์ชี้ที่ 0

- 7) เพิ่มระดับความแม่นยำในการวัดไปที่สแต็ปที่ 2 และปรับค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกตามข้อ (6) จนถึงระดับความแม่นยำในการวัด สแต็ปที่ 7
- 8) บันทึกค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกที่อ่านจากผลการปรับข้อ (7) ไปคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์และค่าพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกของวัสดุทดสอบ

#### ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบสายเคเบิลแรงสูง

SIZE (mm <sup>2</sup> )	Test voltage (kV)	r <sub>1</sub> (mm)	r <sub>2</sub> (mm)	C <sub>x</sub> (pF) ×10 <sup>-4</sup>	Tan δ	P(w)	ε <sub>r</sub>
35	25	3.98	10.62	402.6	6.7	0.053	1.79
70	25	5.315	12.37	405.6	6.0	0.048	1.56
185	25	8.59	14.89	406.6	5.8	0.046	1.01
240	25	9.7	16.43	408.6	5.6	0.045	0.98

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าคาปาซิแตนซ์ของ Impulse Generator 1500 kV

ชั้น	ค่าคาปาซิแตนซ์	
	L	R
A	0.5108	0.5106
B	0.5108	0.5113
C	0.5115	0.5107
D	0.5104	0.5064
E	0.5105	0.5095
F	0.5125	0.5180
G	0.5105	0.5095
H	0.5035	0.4289
I	0.3996	0.4913
J	0.5125	0.4246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 200 kV)

ผลการทดสอบที่น่าเสนาอนี้เป็นผลการทดสอบก่อนที่จะนำออสซิลโลสโคปของเครื่องส่งซ่อม เนื่องจากเรายังไม่ได้รับออสซิลโลสโคปคืนมา เราจึงไม่สามารถเก็บผลการทดสอบเครื่องในปัจจุบันได้

##### วิธีและขั้นตอนการทดสอบ

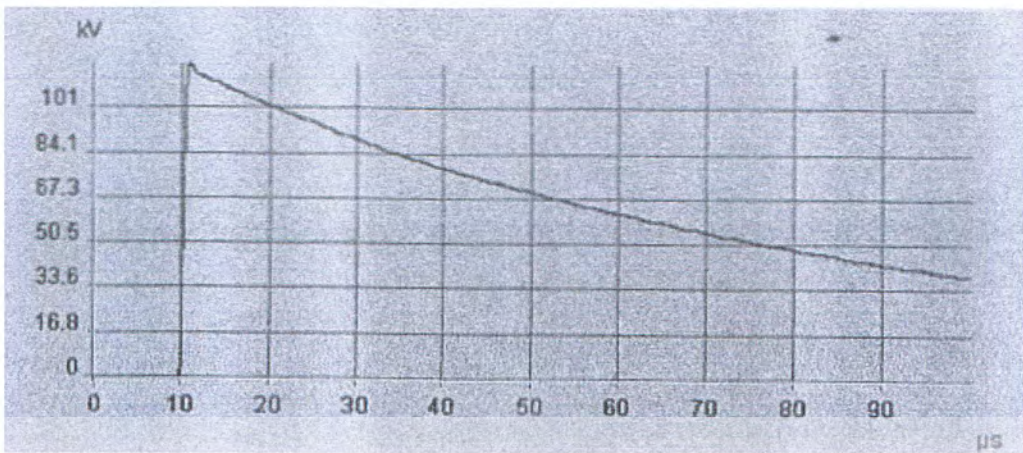
- 1) เปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ควบคุมอิมพัลส์เจนเนอเรเตอร์
- 2) ต่อสาย Probe Channel A เข้ากับ CH1 ของออสซิลโลสโคป จะใช้เวลาประมาณ 15 วินาที ถ้าเครื่องไม่ใช้มานานให้รอประมาณ 3-5 นาที
- 3) เปิด Power สวิตช์ของคอมพิวเตอร์ รอจนกว่ากระทั่งคอมพิวเตอร์เข้าโปรแกรม Window 3.1 เสร็จ
- 4) ดับเบิลคลิกที่ไอคอน Program manager แล้วดับเบิลคลิกที่ไอคอน Vcsda จากนั้นประมาณ 5 วินาที จะเข้าสู่โปรแกรม
- 5) หลังจากนั้นหน้าจอจะขึ้นมาแล้วคลิกที่ปุ่มลูกศร สีน้ำเงิน สีแดง และ สีเหลือง
- 6) หลังจากนั้นหน้าจอจะขึ้นมาให้แล้วดับเบิลคลิก Acquisition
- 7) แล้วทำการคลิกที่ Setup → Open เลือกเพิ่มข้อมูลที่ต้องการเปิด แล้วคลิกที่ Ok หลังจากนั้นไปที่ Setup → Modify
- 8) หลังจากที่ได้เลือก Setup → Modify แล้วเลือกค่าต่างตามที่ต้องการทดสอบ Impulse Type ให้กำหนดประเภทแรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการทดสอบ Att.Int= 100, Att.Ext = 230.5 Polarity เลือกตามขั้วของไดโอด Window Time เลือกตามชนิดของแรงดันอิมพัลส์ (Switching = 5 ms, Lightning = 100  $\mu$ sec, Chopped = 10  $\mu$ sec) Expected Current เลือกตามชนิดของแรงดันอิมพัลส์ ( Switching = 200 A, Lightning = 0 A, Chopped = 200 A )
- 9) จากนั้นให้คลิก Start
- 10) หลังจากนั้นก็คลิก OK
- 11) ให้ปลด Emergency Switch ปลด Earthing Switch โดยกดปุ่มสีแดง เริ่มการเบรกคาวน กดปุ่ม ON แล้วเครื่องก็จะทำงาน โดยอัตโนมัติจนกว่าจะเกิดเบรกคาวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ Impulse Generator 200 kV

ช่วงของแรงดัน	แรงดันอัตราประจุ (kV/stage)	$R_0$ ( $\Omega$ )	แรงดันอิมพัลส์ (kV)				เวลาช่วง หน้าคลื่น ( $\mu$ sec)	เวลาช่วง หลังคลื่น ( $\mu$ sec)	ระยะแถบ (mm)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย			
+	62.5	35	131	131	131	131.0	0.63	44.93	24.5
	85	35	172	173	174	173.0	0.65	46.97	36.60
	62.5	65	117	117	114	116.0	0.75	55.77	24.50
	85	65	155	155	155	155.0	0.78	56.83	36.80
	62.5	100	99.3	102	103	101.6	1.11	57.70	24.43
	85	100	140	142	142	141.7	1.13	59.43	35.50
	62.5	35	131	132	132	131.7	0.63	45.50	24.70
	85	35	172	175	175	174.0	0.64	47.76	36.73
-	62.5	65	115	116	115	115.3	0.77	55.53	24.50
	85	65	150	151	152	151.0	0.75	59.00	36.80
	62.5	100	111	111	112	111.3	1.08	58.13	24.50
	85	100	145	146	146	145.7	1.12	60.16	36.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้าที่แรงดันอัดประจุ  $62.5 \text{ kV/stage } R_o = 65 \Omega$



รูปที่ 4.5 กราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ไฟฟ้าที่แรงดันอัดประจุ  $-62.5 \text{ kV/stage } R_o = 65 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Generator 1500 kV)

เนื่องจากอุปกรณ์ของเครื่องกำลังอยู่ระหว่างทำการย้ายและติดตั้ง เราจึงยังไม่มีผลการทดสอบของเครื่องว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ ผลการทดสอบนี้จึงเป็นผลการทดสอบเครื่องของเก่า ทำมาเพื่อจะใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบในปัจจุบันเมื่อทำการย้ายเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

##### วิธีและขั้นตอนการทดสอบ

- 1) กำหนดหาแรงดันอัดประจุ จากสูตร

$$V = e/n \cdot \eta$$

โดยที่  $e =$  Generating Voltage


$n =$  จำนวนของคาปาซิเตอร์

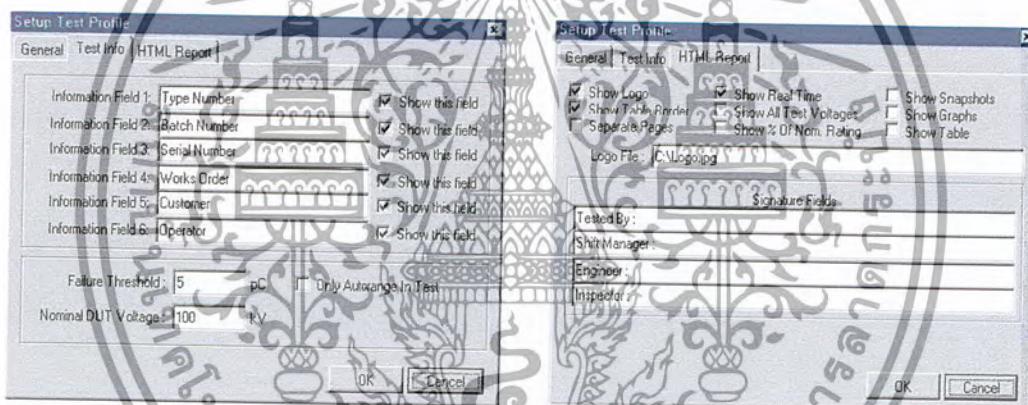
สำหรับเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ (IVG-1500B)  $\eta = 0.8, n = 20$

- 2) ค่า Generating Voltage ได้จากรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกปที่ต้องการทดสอบกับ ค่า Generating Voltage ค่านี้จะได้จากค่าแกปที่ต้องการทดสอบจากรูปที่ 4.6 สมมติว่าต้องการทดสอบที่ระยะแกป 40 mm จะได้ Generating Voltage เท่ากับ 112 kV แล้วนำไปคำนวณหาค่าแรงดันอัดประจุในสมการข้อ 1 จะได้เท่ากับ 7kV
- 3) ผลัก NO FUSE BREAKER ไปที่ ON หลอดไฟ (SOURCE), (MANUAL) หรือ (AUTO) และ (+) หรือ (-) ดิจิต
- 4) ผลักสวิทช์ไปที่ (MANUAL) หลอดไฟ (MANUAL) ดิจิต
- 5) กดสวิทช์ (P.C.) ขั้วแรงดันอิมพัลส์จะเปลี่ยนไปตามต้องการซึ่งแสดงโดยหลอดไฟ (+) หรือ (-)
- 6) กดสวิทช์ (R.E.D) ดิสชาร์จ บนตัวอัดประจุ (Charger) จะสัมผัสเพื่อทำการคายประจุที่หลงเหลืออยู่
- 7) กดปุ่ม (ALARM) เสมอเพื่อเตือนให้ผู้ที่อยู่ในบริเวณห้องทดสอบออกจากบริเวณนั้นเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดได้
- 8) ปรับสวิทช์ (mA) เพื่อปรับมิเตอร์ไปที่ (x0.1) และการใช้งานไม่ควรให้กระแสเกิน 50 mA
- 9) กดปุ่ม (ON) หลอดไฟ (HV) ดิจิต ซึ่งจะจ่ายโวลต์เตจให้กับคาปาซิเตอร์ มิเตอร์ (kV) แสดงโวลต์เตจ Charging ซึ่งเราต้องทำการปรับให้ได้ค่าตามที่คำนวณได้จากข้อ 1 แล้วหมุนปรับแรงดันให้ได้ตามที่คำนวณไว้จากสมการข้างต้น หลังจากนั้นกดปุ่ม
- 10) กดปุ่ม (CLOSE) เพื่อปรับระยะของสปาร์กแกป ให้เหมาะสมโดยพิจารณาได้จากกราฟ Starting Characteristic ก่อนเบรกความถี่ให้เปิดแกปมีระยะมากกว่าระยะตาม

##### Starting Characteristic เล็กน้อย

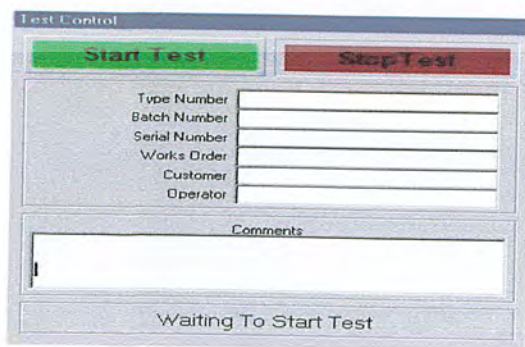
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) ทำการถอดคาปาซิเตอร์คาร์ิบเทออกจากระบบ และทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่อง โหลดทดสอบ จากนั้นปิดประตูรั้วเพื่อเตรียมการจ่ายไฟแรงสูงให้โหลดทดสอบ
- 9) จ่ายไฟแรงสูงโดยการเปิดเบรกเกอร์ control Power แล้วบิดลูกกุญแจไปยังตำแหน่ง ON ทำให้ไฟติด จากนั้นกดปุ่ม ON ตรงแถบ HIGH VOLTAGE
- 10) เพิ่มระดับแรงดัน โดยการกดที่ปุ่ม Raise ไปยังระดับแรงดันที่เราต้องการทดสอบอุปกรณ์ (ระดับความเร็วของการเพิ่มแรงดันสามารถปรับได้โดยหมุนปุ่ม RATE OF RAISE ) การเพิ่มแรงดันนี้ต้องดูขนาดกระแสของอุปกรณ์ทดสอบด้วย ไม่ใช่จ่ายที่ระดับแรงดันทดสอบที่กำหนดเลยเพราะอุปกรณ์อาจจะมีการบกพร่องมากทำให้กระแสมีขนาดสูงกว่าที่ควรจะเป็นส่งผลให้เกิดการเบรกคานนี้ได้
- 11) สังเกตค่า PD ของอุปกรณ์ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ทำการจดบันทึกผลการทดสอบหรือจะให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการบันทึกให้ โดยเริ่มทำการบันทึกผลการทดลองด้วยการคลิกที่  เพื่อเปิดหน้าต่าง Test Report ขึ้นมา ก็จะพบกับ



รูปที่ 4.12 หน้าต่าง Test report

เพื่อให้เรากรอกค่าต่างๆ ลงไปหลังจากกรอกค่าต่างๆ แล้วเราก็พร้อมที่จะทำการบันทึกผลการทดสอบอุปกรณ์แล้วโดยเริ่มทำการบันทึกด้วยการกด Start Test



รูปที่ 4.13 หน้าต่างก่อนการบันทึกผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) เมื่อต้องการหยุดการบันทึกก็กดที่ Stop Test เราก็จะได้ผลการทดสอบออกมาในรูปแบบไฟล์ HTML ดังตัวอย่างในตารางข้างล่าง
- 13) เมื่อทำการจดบันทึกผลการทดสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้วเราก็ต้องทำการปิดเครื่อง โดยการลดระดับแรงดันด้วยการกดปุ่ม LOWER จนระดับแรงดันลดลงเป็น 0 จากนั้นกดปุ่ม HIGH VOLTAGE OFF แล้วบิคกุญแจไปยังตำแหน่ง OFF และทำการปิดเบรกเกอร์ของเครื่อง
- 14) ทำการคิซหาร์จระบบด้วยแท่งคิซหาร์จ จากนั้นก็สามารถทำการทดสอบอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ต่อไปได้ ถ้าโหลดที่นำมาทดสอบมีค่าคาปาซิแตนซ์ที่แตกต่างกันมาก (เปลี่ยนแปลงชนิดของอุปกรณ์ทดสอบ) ต้องทำการคิซหาร์จระบบใหม่ทุกครั้งก่อนทำการทดสอบ

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโหลดทดสอบ

Date : 23/12/03			
Type Number :			
Batch Number :			
Serial Number :			
Works Order : -			
Customer : Hipotronics			
Operator : Group Project HV			
Time (HH:MM:SS)	Time (Secs.)	PD Detector (kV)	PD Detector (pC)
5:04:00	0.27	74.87	456.52
5:04:01	0.55	74.97	456.52
5:04:01	0.82	74.97	452.77
5:04:01	1.09	74.77	452.77
5:04:02	1.37	74.75	452.77
5:04:02	1.64	74.75	452.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหนดทดสอบ

5:04:02	1.92	74.80	447.14
5:04:02	2.19	74.80	447.14
5:04:03	2.47	75.00	447.14
5:04:03	2.74	75.07	444.14
5:04:03	3.02	75.07	444.14
5:04:03	3.29	75.07	441.51
5:04:04	3.62	74.90	441.51
5:04:04	3.90	74.93	441.51
5:04:04	4.17	74.93	437.01
5:04:05	4.39	74.93	437.01
5:04:05	4.72	75.10	434.01
5:04:05	4.99	75.10	434.01
5:04:05	5.21	74.96	434.01
5:04:06	5.49	74.96	431.76
5:04:06	5.76	74.89	431.76
5:04:06	6.09	74.89	426.70
5:04:07	6.31	74.89	423.13
5:04:07	6.59	74.72	423.13
5:04:07	6.92	74.72	423.13
5:04:07	7.19	74.96	423.13
5:04:08	7.41	74.96	423.13
5:04:08	7.74	74.96	413.19
5:04:08	8.02	74.66	413.19
5:04:08	8.29	74.54	413.19
5:04:09	8.51	74.54	413.19
5:04:09	8.89	74.54	405.31
5:04:09	9.17	74.92	405.31
5:04:02	1.92	74.80	447.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหนดทดสอบ

5:04:10	9.39	74.92	405.31
5:04:10	9.72	74.92	401.75
5:04:10	9.99	75.06	401.75
5:04:10	10.27	75.06	398.19
5:04:11	10.54	75.13	398.19
5:04:11	10.82	75.13	394.44
5:04:11	11.09	74.85	394.44
5:04:12	11.37	74.85	394.44
5:04:12	11.64	74.62	394.44
5:04:12	11.92	74.98	390.87
5:04:12	12.19	74.98	386.56
5:04:13	12.46	74.98	386.56
5:04:13	12.74	74.98	381.87
5:04:13	13.07	74.89	381.87
5:04:14	13.34	74.70	381.87
5:04:14	13.62	74.70	374.93
5:04:14	13.89	74.70	370.43
5:04:14	14.17	74.70	370.43
5:04:15	14.39	74.70	370.43
5:04:15	14.72	74.93	370.43
5:04:15	15.05	75.09	367.61
5:04:16	15.32	75.09	362.93
5:04:16	15.60	75.09	362.93
5:04:16	15.87	74.91	358.61
5:04:16	16.14	74.98	358.61
5:04:17	16.42	74.98	354.86
5:04:17	16.69	74.81	354.86
5:04:17	17.02	74.81	354.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหนดทดสอบ

5:04:18	17.30	74.81	350.73
5:04:18	17.57	74.81	350.73
5:04:18	17.85	74.81	346.61
5:04:18	18.12	75.27	346.61
5:04:19	18.40	75.03	346.61
5:04:19	18.67	75.03	342.86
5:04:19	18.95	75.03	342.86
5:04:19	19.28	74.89	338.73
5:04:20	19.55	74.89	338.73
5:04:20	19.82	74.89	338.73
5:04:20	20.10	74.89	338.73
5:04:21	20.32	74.85	338.73
5:04:21	20.65	74.85	330.10
5:04:21	20.92	74.85	325.98
5:04:21	21.20	74.85	325.98
5:04:22	21.47	74.93	325.98
5:04:22	21.75	74.93	321.48
5:04:22	22.02	74.93	321.48
5:04:23	22.30	74.93	321.48
5:04:23	22.63	74.93	313.41
5:04:23	22.90	74.94	313.41
5:04:23	23.23	74.91	313.41
5:04:24	23.56	74.91	309.28
5:04:24	23.83	74.85	309.28
5:04:24	24.11	74.85	309.28
5:04:25	24.38	74.85	309.28
5:04:25	24.66	75.11	309.28
5:04:25	24.93	75.11	302.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหลทดสอบ

5:04:25	25.21	75.24	298.03
5:04:26	25.48	75.24	298.03
5:04:26	25.76	75.24	298.03
5:04:26	26.03	74.89	293.90
5:04:27	26.31	74.89	293.90
5:04:27	26.58	74.89	289.21
5:04:27	26.85	74.89	289.21
5:04:27	27.18	74.92	284.34
5:04:28	27.46	74.92	284.34
5:04:28	27.73	74.92	284.71
5:04:28	28.01	74.80	284.71
5:04:28	28.28	74.80	284.71
5:04:29	28.56	74.75	284.71
5:04:29	28.83	74.75	284.71
5:04:29	29.11	74.75	284.15
5:04:30	29.38	75.01	284.15
5:04:30	29.66	75.01	284.34
5:04:30	29.93	75.01	284.34
5:04:30	30.21	75.01	284.34
5:04:31	30.48	74.86	284.34
5:04:31	30.81	74.86	284.34
5:04:31	31.08	74.86	284.34
5:04:32	31.36	74.86	284.34
5:04:32	31.63	74.77	286.03
5:04:32	31.91	74.77	286.03
5:04:32	32.18	74.87	286.03
5:04:33	32.46	74.87	286.03
5:04:33	32.73	74.87	286.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหนดทดสอบ

5:04:33	33.01	74.86	286.03
5:04:33	33.28	74.91	286.03
5:04:34	33.56	74.91	285.46
5:04:34	33.83	74.91	285.46
5:04:34	34.11	74.91	285.65
5:04:35	34.38	75.13	285.65
5:04:35	34.65	75.08	285.65
5:04:35	34.93	75.08	285.28
5:04:35	35.20	75.08	285.28
5:04:36	35.48	75.08	284.53
5:04:36	35.75	74.81	284.53
5:04:36	36.03	74.95	284.53
5:04:37	36.30	74.95	285.84
5:04:37	36.58	75.09	285.84
5:04:37	36.91	75.09	285.84
5:04:37	37.13	75.09	284.34
5:04:38	37.40	74.86	284.34
5:04:38	37.68	74.86	284.34
5:04:38	37.95	74.96	284.34
5:04:38	38.22	74.96	284.34
5:04:39	38.55	74.70	284.71
5:04:39	38.83	74.70	284.71
5:04:39	39.10	74.88	284.71
5:04:40	39.38	74.88	284.71
5:04:40	39.65	74.89	283.96
5:04:40	39.93	74.89	283.96
5:04:40	40.20	74.94	283.96
5:04:41	40.48	74.94	282.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหนดทดสอบ

5:04:41	40.81	74.94	282.84
5:04:41	41.08	74.77	282.46
5:04:42	41.36	74.77	282.46
5:04:42	41.68	75.03	283.96
5:04:42	41.96	75.03	283.96
5:04:42	42.23	75.03	283.96
5:04:43	42.51	75.03	285.28
5:04:43	42.78	74.64	285.28
5:04:43	43.06	74.64	286.03
5:04:44	43.33	74.70	286.03
5:04:44	43.61	74.70	285.46
5:04:44	43.94	74.81	285.46
5:04:44	44.21	74.81	285.46
5:04:45	44.49	74.81	285.46
5:04:45	44.76	74.85	283.78
5:04:45	45.04	74.85	283.78
5:04:46	45.31	74.85	283.96
5:04:46	45.58	74.99	283.96
5:04:46	45.86	74.96	283.96
5:04:46	46.13	74.96	284.53
5:04:47	46.41	74.96	284.53
5:04:47	46.68	75.03	284.34
5:04:47	46.96	75.03	284.34
5:04:47	47.23	75.03	284.90
5:04:48	47.51	74.90	284.90
5:04:48	47.78	74.90	284.90
5:04:48	48.06	74.95	284.53
5:04:49	48.33	75.01	284.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหลทดสอบ

5:04:49	48.61	75.01	283.96
5:04:49	48.88	74.95	284.34
5:04:49	49.21	74.95	284.34
5:04:50	49.48	74.95	284.34
5:04:50	49.76	74.89	284.34
5:04:50	50.03	74.89	284.15
5:04:51	50.31	74.95	285.84
5:04:51	50.58	74.95	285.84
5:04:51	50.86	74.95	285.84
5:04:51	51.13	74.84	288.46
5:04:52	51.41	75.10	288.46
5:04:52	51.68	74.65	287.53
5:04:52	51.96	74.65	287.53
5:04:52	52.29	74.65	290.53
5:04:53	52.56	74.78	290.53
5:04:53	52.89	74.91	290.53
5:04:53	53.16	74.91	515.97
5:04:54	53.44	74.91	515.97
5:04:54	53.71	74.78	509.97
5:04:54	53.99	74.78	509.97
5:04:54	54.26	75.13	509.97
5:04:55	54.54	75.13	510.30
5:04:55	54.81	75.13	510.30
5:04:55	55.09	75.13	510.30
5:04:56	55.36	75.13	508.30
5:04:56	55.64	74.89	508.30
5:04:56	55.91	74.89	505.30
5:04:56	56.19	74.63	505.30

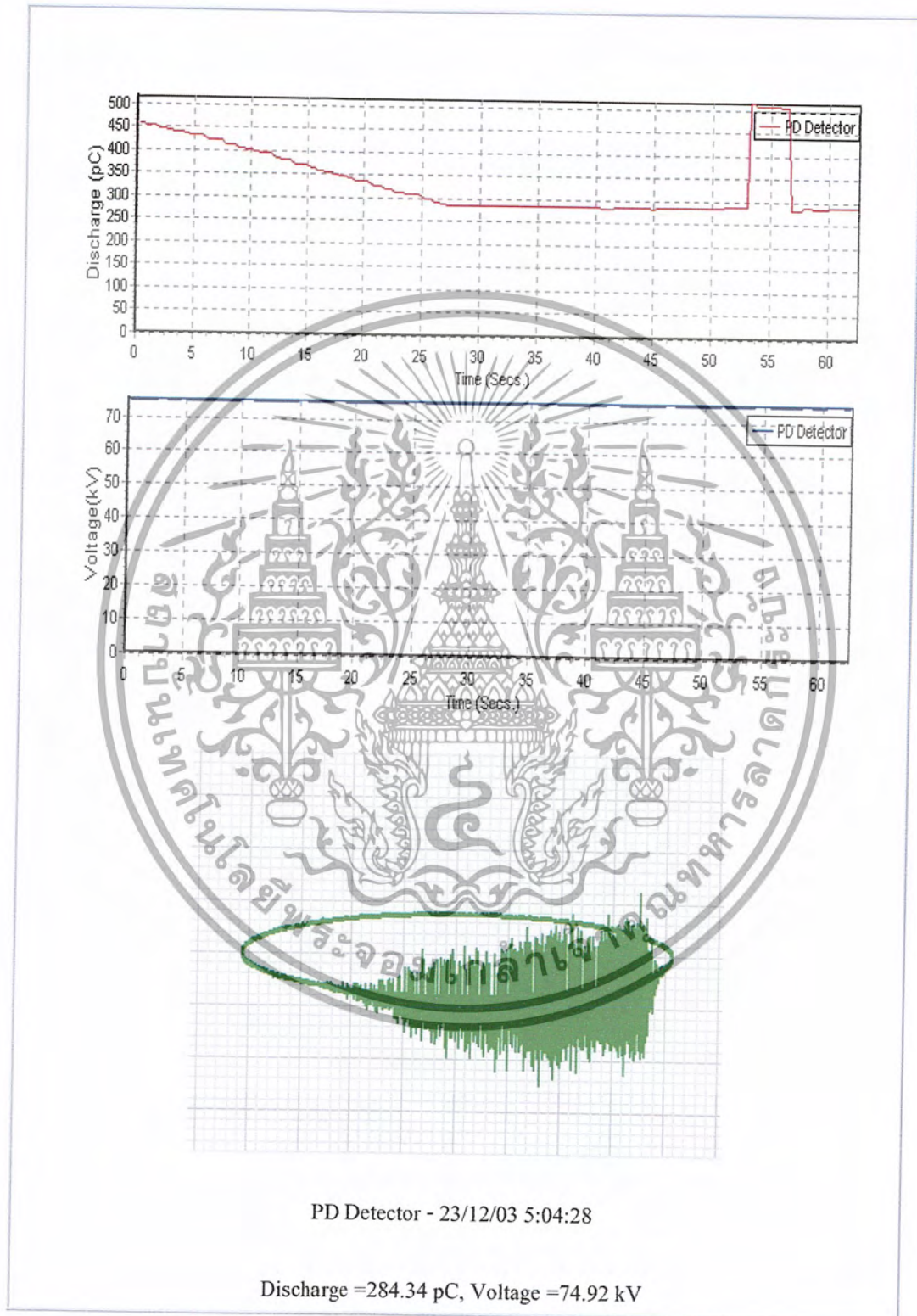
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหลดทดสอบ

5:04:57	56.46	74.63	505.30
5:04:57	56.73	74.63	283.21
5:04:57	57.01	74.83	283.21
5:04:57	57.28	74.90	283.21
5:04:58	57.56	74.90	283.21
5:04:58	57.83	74.90	287.53
5:04:58	58.11	74.91	287.53
5:04:59	58.38	75.18	287.53
5:04:59	58.66	75.18	286.96
5:04:59	58.93	75.18	286.96
5:04:59	59.21	74.92	286.96
5:05:00	59.48	74.79	286.96
5:05:00	59.76	74.79	286.96
5:05:00	60.03	74.86	287.90
5:05:01	60.30	74.86	287.90
5:05:01	60.52	75.09	287.90
5:05:01	60.85	75.09	287.71
5:05:01	61.13	75.09	288.28
5:05:02	61.40	75.21	288.28
5:05:02	61.68	75.21	287.71
5:05:02	61.95	74.87	287.71
5:05:02	62.23	74.87	287.71
5:05:03	62.50	75.02	287.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

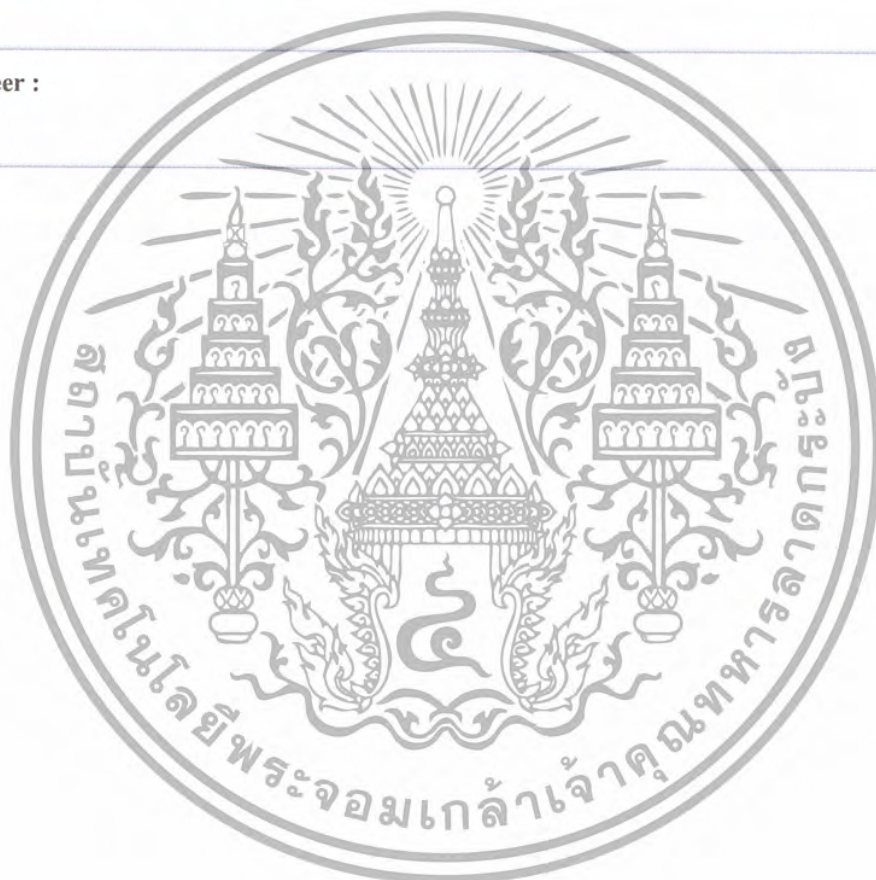
ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Partial Discharge ของโหลทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ *Partial Discharge* ของโหนดทดสอบ

<b>Comments :</b> ทดสอบเป็นเวลา 1 นาที
<b>Tested By :</b> Group project HV
<b>Shift Manager :</b>
<b>Engineer :</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์การดำเนินการทั้งหมด

#### สรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดที่ผ่านมา

- ทำการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 600 kV ที่ไม่สามารถใช้งานได้ให้ใช้งานได้เป็นปกติ
- ตรวจสอบออสซิลโลสโคปของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
- ทำการวางแผนการติดตั้งเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV รวมถึงทำการย้ายชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ชุดอัดประจุ ชุดคอนโทรล
- สร้างคู่มือการใช้งานภาษาไทยของเครื่องทดสอบดิสชาร์จบางส่วน
- ทำการทดสอบเครื่องทุกเครื่องในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบว่าสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี
- ออกแบบสร้างชุดจ่ายแรงดันกระแสสลับปรับค่าได้ของเครื่องวัดพลังงานสูงเปลวแทนเครื่องเก่าที่เกี่ยวข้อง

#### ข้อเสนอแนะในการดำเนินการต่อไป

- เครื่องทดสอบดิสชาร์จบางส่วนควรมีการจัดสร้างชุดทดสอบสายเคเบิลขึ้นมาเนื่องจากในขณะนี้ยังไม่สามารถตรวจสอบสายเคเบิลได้ เนื่องจากไม่มีชุดทดสอบดังกล่าว
- การย้ายเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV และชุดคอนโทรล ควรทำการจ้างบริษัทที่ทำงานด้านการขนย้ายโดยตรงเนื่องจากอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก
- ควรทำการติดตั้งเครนให้เสร็จเรียบร้อยก่อนอุปกรณ์อื่น เนื่องจากจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ต่างๆ ในขณะที่ห้องปฏิบัติการยังไม่สมบูรณ์
- จัดทำระบบความปลอดภัยของการใช้งานโรงประลองไฟฟ้าแรงสูง โดยการสร้างรั้วกั้นในส่วนของอุปกรณ์ที่ไม่มีการเคลื่อนย้ายในการทดสอบ ดึงแบบแปลนที่ได้ออกแบบไว้ในโครงการ
- ศึกษาผลกระทบของ EMI (Electromagnetic Interference) ที่มีผลต่อเครื่องดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ประโยชน์ที่ผู้จัดทำได้รับจากโครงการนี้

- สามารถนำความรู้เกี่ยวกับเครื่องทดสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าแรงสูง การออกแบบเกี่ยวกับการติดตั้งอุปกรณ์ไปใช้งานในอนาคตได้
- เรียนรู้การทำงานเป็นทีม รู้จักคิด วางแผนการดำเนินงาน การลงมือทำงานในระดับปฏิบัติการ และเรียนรู้เกี่ยวกับการติดต่อประสานงานกับบุคคลหลายระดับ ในการขอความช่วยเหลือในการดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## ELECTRICAL TEST METHODS FOR ELECTRIC CABLES

## Part 2: Partial discharge tests

## FOREWORD

1. The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
2. They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the Committees in that sense.
3. In order to promote international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the I E C recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the I E C recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

## PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 20 A : High-Voltage Cables, of I E C Technical Committee No. 20: Electric Cables

It forms Part 2 of I E C Publication 885.

This part is a re-edition of Clause 3 of I E C Publication 540 : Test Methods for Insulations and Sheaths of Electric Cables and Cords (Elastomeric and Thermoplastic Compounds).

Part I (Publication 885-1) and Part 2 (Publication 885-2) regroup the electrical test methods for electric cables.

I E C Publications 885-1 and 885-2 in conjunction with the series of I E C Publication 811: Common Test Methods for Insulating and Sheathing Materials of Electric Cables, replace I E C Publication 540.

*The following I E C publication is quoted in this standard:*

*Publication No. 270 (1981): Partial Discharge Measurements.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL TEST METHODS FOR ELECTRIC CABLES

### Part 2: Partial discharge tests

#### 1. Scope

The purpose of the test is to determine the partial discharge magnitude at a specified voltage and with a given sensitivity.

#### 2. Definitions

For the purpose of this method, the definitions given in I E C Publication 270: Partial Discharge Measurements, apply.

The following definitions are of particular relevance:

- a) apparent charge,  $q$ , or discharge magnitude (Sub-clause 3.2.2 of I E C Publication 270):
- b) response ratio and sensitivity (Sub-clauses 4.2 and 4.3 herein).

#### 3. Test apparatus

##### 3.1 Equipment

The equipment consists of a high-voltage power supply having a kilovolt-ampere capacity adequate for the length of cable under test, a voltmeter for high voltages, a partial discharge measuring device and a discharge calibrator. All components of the test equipment shall have a sufficiently low noise level to achieve the required sensitivity.

##### 3.2 Test circuit and instruments

The partial discharge measuring device consists of a test circuit (see I E C Publication 270), an oscilloscope and, if desired, an indicating instrument, in conjunction with suitable amplifying equipment to indicate the existence of partial discharges and to detect individual discharge pulses.

#### 4. Calibration and checking

##### 4.1 Calibration Method

The "charge transfer" method of calibration shall be used in accordance with Sub-clause 5.2.1 of I E C Publication 270. Further guidance for the use of discharge calibrators is found in CIGRE Report 1968-2101, Appendix III. In this method, a calibration device is connected directly across one end of the cable to be tested to inject predetermined charges into the test object.

The calibration discharge,  $q_{cal}$ , is equal to the product of the calibration pulse amplitude  $\Delta U$  (in volts) and the coupling capacitance,  $C_{cal}$ , of the calibrator (in farads) as long as this capacitance is small compared with the capacitance of the test object,  $C_x$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The characteristics of the calibrating pulse shall conform to Sub-clause 5.2.1 of I E C Publication 270 and CIGRE Report 1968-2101, Appendix III. Section III.

#### 4.2 Response ratio

With the cable to be tested connected to the detection circuit, the detection response sensitivity of the apparatus shall be checked with the calibrating pulse injected first at one end of the cable and then at the other. The lowest response in these two cases is taken as the overall response to establish the response ratio  $k$  (where  $k$  is the number of picocoulombs of the calibrating pulse per millimetre deflection on an oscilloscope screen, or the ratio of picocoulombs of the calibrating pulse to the deflection in picocoulombs ( $\mu\text{C}$ ) of a picocoulomb-meter).

#### 4.3 Sensitivity

- a) The sensitivity of the test circuit (with the given instruments) is defined as the minimum detectable discharge pulse,  $q_{\min}$ , (in picocoulombs) that can be seen in the presence of background noise.

In order to be detectable, a discharge pulse shall be at least twice the apparent noise height,  $h_n$  ( $h_n$  is the noise magnitude in millimetres if an oscilloscope is used, or the noise deflection in picocoulombs if a picocoulomb-meter is used).

Therefore,  $q_{\min} = 2 k \cdot h_n$  ( $\mu\text{C}$ )

- b) For routine tests, the sensitivity shall be 20  $\mu\text{C}$  or less for polyethylene (PE), cross-linked polyethylene (XLPE), ethylene-propylene rubber (EPR), butyl rubber (butyl) and 40  $\mu\text{C}$  or less for polyvinyl chloride (PVC).

For type tests, the sensitivity shall be 5  $\mu\text{C}$  or less for all materials.

#### 4.4 Particular provisions for long lengths of cable

On long lengths of cable (greater than 100 m), particular provisions are necessary to prevent errors caused by the superposition of travelling waves (see CIGRE Report 1968-2101, Appendix IV).

Note. -A separate test method should form part 3 of I E C Publication 885.

#### 4.5 Calibrating Capacitors and calibrating signals

Unless the calibrating capacitor is rated for use at the test voltages involved, it is necessary for the primary calibration circuit to be disconnected before the high-voltage test transformer is energized. The amplifier gain shall not be readjusted after this has been done, unless a means is provided for a continuous display of a suitable calibrating signal throughout the test.

Such a means may be as follows:

- a) the calibrating capacitor may be full-voltage rated and may form part of the primary calibration circuit which need not, in this case, be disconnected before the high-voltage test transformer is energized. or
- b) a secondary calibrator can be used additionally. This calibrator is connected to the input of the detector. In this case, the amplitude of the secondary pulse response shall be precalibrated against the primary calibrating circuit before the latter circuit is disconnected and the high-voltage test transformer is energized, in accordance with CIGRE Report 1968-2101, Appendix III, Section 1, Sub-clause 1.2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. Test procedure

The test voltage shall be applied between conductor and screen. It shall be raised to and held, for not more than 1 mm, at a value which is  $0.25 U_0$  above the voltage at which the measurement of partial discharge is to be made (where  $U_0$  is the rated voltage of the cable).

For example, if the relevant cable standard requires the partial discharge to be measured at  $1.5 U_0$ , the voltage shall first be raised to  $1.75 U_0$ .

The test voltage shall then be gradually reduced to, and the measurement of partial discharge made at, the voltage specified for the measurement in the relevant cable standard.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Pulse Electronic Engineering Co. Ltd. คู่มือการใช้งานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV.  
Tokyo. Japan, 1982
- [2] IEC Standard Publ. NO. 60-1989 . High Voltage Test Techniques
- [3] IEC Standard Publ. NO. 71-1993 . Insulation Co-ordination
- [4] IEC Standard Publ. NO. 60270 Electrical test methods for electric cables, part 2 Partial discharge tests
- [5] จูติ เต็งพานิชกุล, ฉัฐชาติ ศรีมูถ, บุญช่วย เกตุรักษา. การบำรุงรักษาและศึกษาการติดตั้งเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ 200 กิโลโวลท์ และ 1500 กิโลโวลท์ ของโรงทดลองไฟฟ้าแรงสูงใหม่. ปรินญาณินพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544
- [6] สุภัทรชัย วีระประดิษฐ์ผล, สุรียัม นวนชัย. การบำรุงรักษาและศึกษาการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 100 กิโลโวลท์. ปรินญาณินพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544
- [7] ดร. สำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้