

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการพิมพ์ 024633 26.1ค. ๒533

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2530

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

ผู้จัดทำ

1. นายสุภัทร วาณิชกุล
2. นายเสกสันต์ กมทุติรา
3. นายสมพงษ์ กังสวิวัฒน์



หน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

นายสุภัทร วาณิชกุล

นายเสกสันต์ กมฺุทธิตลา

นายสมพงษ์ กิ่งสวีวัฒน์

อาจารย์สมเจตน์ เทียมเมือง

อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

หน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าแรงดันเบรคความของฉนวนน้ำมันทดสอบ เมื่อมีการทดสอบจนเกิดการเบรคความของฉนวนน้ำมันทดสอบแล้ว เคอร์เรนทรีปรีเลย์ที่มีอยู่ในส่วนของหน่วยควบคุมก็จะทำการตัดวงจรหม้อแปลงแรงดันสูงออก และวัดค่าแรงดันเบรคความที่ได้นั้นโดยวัดทางค่านแรงดันโหม้ค่าของหม้อแปลงโดยโวลต์มิเตอร์ที่อยู่ในส่วนของหน่วยควบคุม

หน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบนี้ประกอบด้วย2ส่วนสำคัญ คือ หม้อแปลงออโต-ที่ใช้ในการจ่ายไฟให้กับขลลวคปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง และเคอร์เรนทรีปรีเลย์ที่ใช้ในการตัดวงจรออกทันทีทันใดภายในเวลา0.01วินาที เมื่อกระแสเพิ่มมากขึ้น-อันเนื่องมาจากการเกิดเบรคความในฉนวนน้ำมัน

A.C. HIGHVOLT CONTROL UNIT

Supat Wanitchkul

Sakeson Kamuttatira

Sompong Kangsawiwat

Somjate Tiemmuang Advisor

1987

Abstract

A.C. high volt control unit was designed to control the power transformer which generated high voltage and measure breakdown voltage of oil insulator. When the breakdown voltage of oil insulator was reached, the current trip relay in the control unit would cut out the power transformer circuit. The breakdown voltage was measured by voltmeter at the primary winding side of power transformer.

A.C. high volt control unit included 2 main parts. The auto-transformer that supply to primary winding of power transformer and current trip relay that cut out the circuit within 0.01 second when it detected the increase in current due to breakdown of oil insulator

สารบัญ

บทคัดย่อ

Abstract

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	การเกิดเบรคควาน์ในฉนวนน้ำมัน	2
2.1	จุดมุ่งหมาย	2
2.2	คุณสมบัติต่างๆของน้ำมันในการทำเป็นฉนวนไฟฟ้า	2
2.3	ความทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กตริก	6
2.4	กลไกการเกิดเบรคควาน์ของฉนวนน้ำมัน	7
2.5	ผลของระยะแถบที่มีผลต่อแรงดันเบรคควาน์	16
2.6	ผลของรูปแรงดันต่อแรงดันเบรคควาน์	16
บทที่ 3	การออกแบบและหลักการทํางานของวงจร	18
3.1	หลักการทํางานเบื้องต้นของอุปกรณ์ชดเชยความ	18
3.2	หลักการออกแบบตัวตัดตอนวงจร	19
บทที่ 4	อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการทดลอง	22
4.1	บทนำ	22
4.2	อุปกรณ์การทดลอง	22
บทที่ 5	ผลการทดลอง สรุปการทดลอง และวิจารณ์	36
5.1	วิธีทดสอบเบื้องต้น	37
5.2	การทดสอบ	37
5.3	การวัดแรงดันสูง	37
5.4	วิธีการทดลอง	37
5.5	ผลการทดลอง	40
5.6	สรุปการทดลอง	42
5.7	วิจารณ์	43

กติกกรมประกาศ

44

ภาคผนวก

45








หนังสืออ้างอิง

53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

- λ : อังสตรอม 10^{-8} ซม.
- C : ะแปซิแตนซ์ (capacitance)
- C_0 : ะแปซิแตนซ์สุญญากาศ (vacuum capacitance)
- d : ระยะแกป (gap length)
- E_b : ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า (dielectric strength) หรือความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (electric strength) [5]
- S : ความตึงผิวของของเหลว , dyne.cm^{-1}
- U_b : แรงดันเบรคดาวน์ เป็นค่ารูทมีนส์แควร์ (breakdown voltage, rms value)
- \hat{U}_b : แรงดันเบรคดาวน์ค่ายอด (peak breakdown voltage)
- ϵ : เปรอมีตตีวิตี (permittivity)
- μ : ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean)
- σ : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
- $\tan \delta$: แฟคเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก
-  T : แมคเนติก คอนแทคเตอร์ (magnetic contactor)
-  : โวลต์มิเตอร์ (voltmeter)
-  : ลิมิตสวิตช์ (limit switch)
-  : ตัวจำกัดกระแสแบบแมคเนติก (magnetic current limiting)
-  : สวิตช์ตัดตอน
-  : เซอร์กิตเบรคเกอร์ 2 ขั้ว (two pole circuit breaker)
-  : เซเซอร์ซี ฟิวส์ (HRC fuse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การทดลองทางวิศวกรรมไฟฟ้าในเรื่องของฉนวน (INSULATING) จะมุ่งเน้นไปที่การเบรคความทางไฟฟ้า (ELECTRICAL BREAKDOWN) ของฉนวนนั้นๆ ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง . เครื่องควบคุมการผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในปฏิญานินท์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของชุดอุปกรณ์ทดสอบการเบรคความทางไฟฟ้าของฉนวนเหลว โดยมีการทำงานดังจะรายงานในปฏิญานินท์ต่อไป

- ในปฏิญานินท์ฉบับนี้ เป็นโครงการวิจัยเพื่อศึกษาหลักการทํางานของเครื่องควบคุมตัวเต็ม และทำการออกแบบใหม่ และสร้างชุดควบคุมตัวใหม่ เพื่อทำการติดตั้งเพื่อใช้เป็นชุดควบคุมในการทดลองต่อไป พร้อมทั้งทำการทดลองตรวจสอบการทํางานของชุดควบคุมด้วย

โครงการวิจัยในการทดลอง มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
2. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่กับอุปกรณ์ตามมาตรฐาน

IEC Pub. 156

เนื้อหาของปฏิญานินท์แบ่งออกเป็น 5 บท ซึ่งแต่ละบทมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของฉนวนเหลว และกลไกการเบรคความของฉนวนเหลวและลักษณะสนามไฟฟ้า

บทที่ 3 การออกแบบและการทํางานของระบบ

บทที่ 4 อุปกรณ์ในการทดลองและวิธีทำการทดลอง

บทที่ 5 ผลการทดลอง สรุปผล และวิจารณ์

สำหรับการอ้างอิงเอกสารของมาตรฐาน ข้อกำหนดของน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบในปฏิญานินท์ ได้จัดรวบรวมไว้ในภาคผนวก

บทที่ 2

การเกิดเบรคควานในฉนวนน้ำมัน

(BREAKDOWN IN INSULATING OIL)

2.1 จุดมุ่งหมาย

เพื่อศึกษาแรงดันเบรคควานของฉนวนน้ำมันในระบบไฟฟ้าแรงสูง เพราะฉนวนน้ำมันจะต้องมีคุณสมบัติของการทนแรงดันไฟฟ้าสูง เพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนในหม้อแปลงหรือในเซอร์กิตเบรคเกอร์ แต่ถ้าแรงดันที่ใช้งานเกินกว่าแรงดันเบรคควานของฉนวนน้ำมัน ก็จะทำให้เสียดสภาพการเป็นฉนวนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบแรงดันสูงก่อนการใช้งานเสมอ

ในการศึกษาแรงดันเบรคควานของฉนวนน้ำมันนั้น จะศึกษาถึงแพคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการวัดแรงดันเบรคควาน เช่น ระยะเวลาเปลี่ยนชนิดและขนาดของอิเล็กโตรกรวมทั้งโลหะที่นำหัวอิเล็กโตรกรวด อุณหภูมิ ความชื้น และสิ่งเจือปนเป็นความชื้นหรือของแข็ง ซึ่งในการปฏิบัติงานจะพบปัญหาเหล่านี้มาก ในการทดสอบนี้จะวัดแรงดันเบรคควานของน้ำมันหม้อแปลง กับผลของระยะเวลาและผลของปริมาณสิ่งเจือปน

2.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันในการทำเป็นฉนวนไฟฟ้า

น้ำมันเป็นสารไดอิเล็กทริก (Dielectric) ประเภทหนึ่ง คือเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการกั้นระหว่างอิเล็กโตรกร โดยสามารถทนแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ โดยส่วนมากแล้วจะมีความเครียดสนามไฟฟ้าหรือความคงทนต่อแรงดันเบรคควานเป็นหลาย ๆ เท่าของฉนวนอากาศที่สภาวะห้อง (Atmospheric) ซึ่งในการปฏิบัติงานแล้วจะต้องมีตัวบอกคุณสมบัติของไดอิเล็กทริก เช่น คุณสมบัติทางคานเคมี ฟิสสิลส์ เทคโนโลยีทางการประกอบ และคุณสมบัติทางไฟฟ้า เพื่อให้ได้คุณสมบัติของฉนวนน้ำมันตามต้องการซึ่งมีดังนี้

1. การวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity Measurement)
หรือค่าความต้านทานของฉนวนน้ำมัน
2. ค่าเปอร์มิททิวิตีหรือค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (Permittivity or Dielectric constant)
3. การวัดค่าแพคเตอร์พลังงานสูญเสีย (Dissipation factor Measurement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การวัดค่าความทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของไดอิเล็กทริก (dielectric strength)

2.2.1 การวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำมัน

ฉนวนไฟฟ้าที่ดีต้องไม่มีการนำกระแสเลยโดยไอออนแรงดันไฟฟ้าตรง คือจะไม่มีค่าความนำไฟฟ้าเลยหรือมีค่าความต้านทานสูงมาก ๆ แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะมีการนำไฟฟ้าอยู่บ้างแต่มีค่าน้อยมาก ดังนั้นฉนวนน้ำมันที่ดีควรมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำที่สุด การวัดนี้ทำได้โดยการไอออนแรงดันไฟฟ้าตรงจนกระทั่งอิ่มตัว แล้วจะมีกระแสรั่ว (leakage current) เกิดขึ้นไหลผ่านน้ำมันหรือไหลผ่านผิวของฉนวนบ้างเนื่องจากมีความเปราะเป็ล่อนอยู่บ้าง

ค่าความนำไฟฟ้า (conductivity - K) ของฉนวนน้ำมันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออน อุณหภูมิและสิ่งเจือปนที่มีอยู่ ซึ่งเป็นผลของการเคลื่อนที่ของไอออน จะเปลี่ยนแปลงประมาณ 10^{-15} ถึง 10^{-13} S/Cm สำหรับน้ำมันที่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่ 10 ถึง 200 ppm ค่าความนำไฟฟ้าที่ระบบลดความบริสุทธิ์ของน้ำมันไดอิเล็กทริกจะเกิดจากกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic) ของสิ่งเจือปน (contaminants) ซึ่งมีประจุเป็น q_1 และความหนาแน่นเป็น n_1 จะสามารถหาค่าความหนาแน่นของกระแสในขณะที่มีสนามไฟฟ้าไม่สูงนักเป็น

$$S = q_1 n_1 V$$

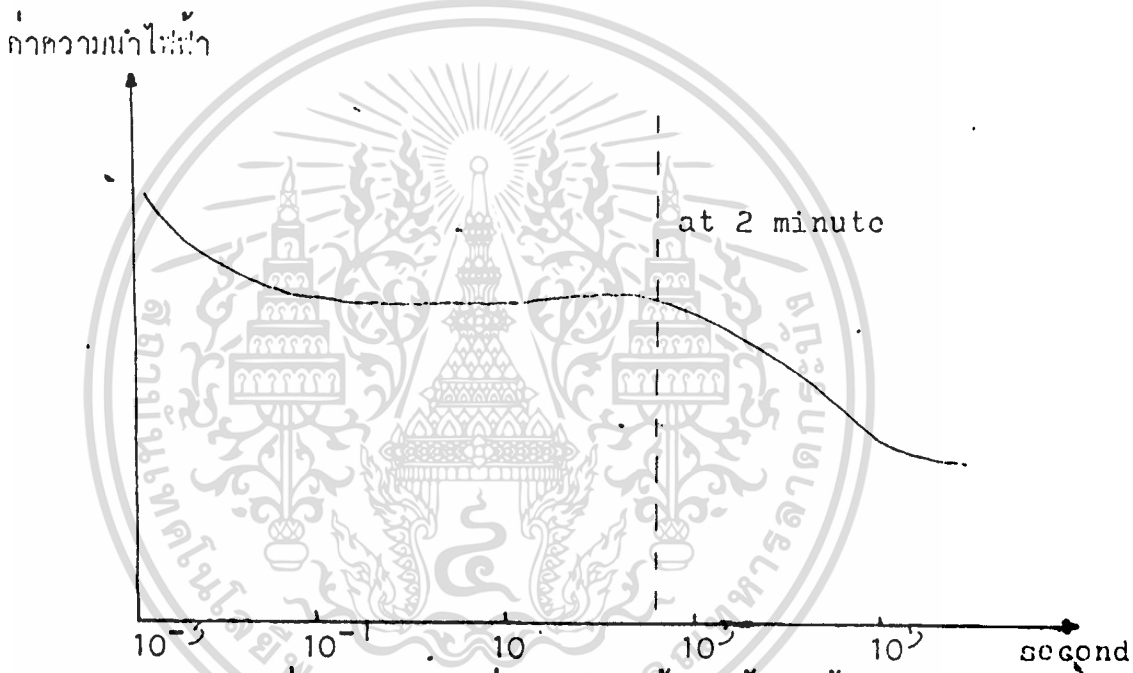
- แต่ $V = b_1 E$
- เมื่อ S คือความหนาแน่นของกระแส
- V คือความเร็วของไอออน
- b_1 เป็นความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน
- E คือสนามไฟฟ้า

ให้ $K = q_1 n_1 b_1$ ถ้าเก็บไปความถุกของไอออน

จะได้ $S = KE$

ค่าความนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับเวลาค้าง เนื่องจากเมื่อมีสนามไฟฟ้าให้แก่อิเล็กทริก ฉนวนการไหลจะเกิดขึ้นในลักษณะที่จะสมดุลความหนาแน่นของไอออนแต่ละชนิด

ขณะทั้งนี้การสมดุลก็ระหว่างการสร้างและการรวมตัวกันใหม่ (generation - regeneration) และไหลล้นที่รั่ว (leakage ion) เข้าไปที่อิเล็กโทรด เป็องมาจาก
 มีค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility - b) ของไอออนต่างกัน ขบวนการ
 ชดเชย (compensate mechanism) จะมีอัตราการเกิดต่างกัน ดังนั้นในการวัด
 ค่าความนำไฟฟ้าควรรอจนกระทั่งภาวะทรานเซียนเร็วแรกหมดไปก่อนแล้วจึงค่อยวัด เป็นที่
 2 นาที หลังจากการป้อนแรงดันแล้วดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำมันหม้อแปลง
 เวลาสามารถหาค่า K ได้จาก

$$K = \frac{IS}{UA}$$

- | | | |
|-------|---|--|
| เมื่อ | I | คือกระแสที่รั่วที่วัดได้ |
| | U | คือแรงดันที่ป้อนให้กับน้ำมัน |
| | S | คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด |
| | A | คือพื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรดที่มีการกระจายของสนามไฟฟ้า |

และ $K = \frac{1}{\rho}$ เมื่อ ρ คือความต้านทานเฉพาะของน้ำมัน เราก็สามารถหาความต้านทานของน้ำมันได้ดังนี้

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

2.2.2 ค่าเปอร์มิตทิวิตี (permittivity)

ค่าเปอร์มิตทิวิตีหรือค่าคงตัวของไดอิเล็กตริก (dielectric constant - ϵ) ไม่มีหน่วย เป็นตัวกำหนดถึงลักษณะของไดอิเล็กตริกหรือฉนวนไฟฟ้าของน้ำมัน เป็นตัวกำหนดความสามารถของการสร้างคะปาซิแทนซ์ (capacitance) ของน้ำมัน หรือกล่าวว่ามีค่าคะปาซิแทนซ์เป็นกี่เท่าของคะปาซิแทนซ์ของสุญญากาศนั่นเอง คือ

$$C = \epsilon C_0$$

เมื่อ $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ϵ_0 คือค่าเปอร์มิตทิวิตีของสุญญากาศมีค่า 8.854×10^{-12} F/M และ ϵ_r เป็นค่าเปอร์มิตทิวิตีสัมพัทธ์ของน้ำมัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า ϵ_r จะเพิ่มมากขึ้น

2.2.3 แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าของน้ำมัน (dissipation factor)

พลังงานสูญเสียเปล่าของแรงดันไฟฟ้าสลับขึ้นกับสภาพความนำไฟฟ้าของน้ำมันเอง และเนื่องจากรวมการโพลาไรเซชัน (polarization) ของไดอิเล็กตริกน้ำมัน สามารถหาพลังงานสูญเสียเปล่าของน้ำมันว่ามีค่าเท่าใดจากการทดลองคือ

$$Pd = U^2 w C \tan \delta$$

เมื่อ Pd เป็นพลังงานสูญเสียเปล่าต่อปริมาตรของน้ำมัน (watt)

U เป็นแรงดันไฟสลับที่โวล (volt_{rms})

C คือค่าคะปาซิแทนซ์ของน้ำมัน (F)

$\tan \delta$ คือแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่า

ค่า $\tan \delta$ นี้สามารถหาได้จากกรวัดค่าความต้านทานและคะปาซิแทนซ์ในวงจร Schering bridge

2.2.4 ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กทริก

ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนน้ำมัน Eb หมายถึงค่าความเครียดคสมเวมไฟฟ้า (electric field stress) สูงสุดของน้ำมันที่สามารถทนอยู่ได้โดยไม่มี ความเฝะขยายหรือเกิดเบรคคววม หรือทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร หรือแรงดันไฟฟ้าต่อความกว้างของอีเลคโตรด การหา Eb จะหาจากสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ เช่นการใช้อีเลคโตรดเป็นทรงกลมแล้วโยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเบรคคววม ซึ่งความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของน้ำมันจะทำการทดลองในวิทยานิทรมต่อไป

2.3 คุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ทดสอบ

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ การทนต่อแรงดันสูงสุดของน้ำมันหม้อแปลง และเนื่องจากของเหลวที่เป็นน้ำมันหม้อแปลงนี้มีความคานทานสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ในช่วงเวลานานพอสมควร แต่การที่จะให้มีความมั่นใจในคุณสมบัติของน้ำมัน เมื่อนำไปใช้ในระบมแรงดันสูงได้อย่างปลอดภัย ไม่เกิดคววมเบรคคววม มีอายุการใช้งานนานและถูกหลักประหะเทศ จึงจำเป็นต้องมาศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหม้อแปลงก่อนนำไปใช้งาน คุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงพอจะสรุปออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์
2. คุณสมบัติทางเคมี
3. คุณสมบัติทางไฟฟ้า

โดยขอเาเขตและข้อจำกัดลักษณะคุณสมบัติของน้ำมัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่จะนำไปใช้งาน เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เซอร์คิตเบรคเกอร์ เคเบิลและคะปาซิเตอร์ และกระคะษขุมน้ำมัน ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของฉนวนในหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC Publ. 296

โดยหลักการแล้วฉนวนน้ำมันควรทำหน้าที่ได้ดีกว่าฉนวนที่เป็นของแข็งและคะษที่คิดว่าคะษเพราะว่ามีความหนาแน่นสูงกว่าจึงมีความคงทนต่อแรงดันสูงกว่า และดีกว่าของแข็งก็เพราะว่าน้ำมันสามารถถดว้กับเค้นสู่สภาพการเป็นฉนวนได้หลังจากเบรคคววมแล้ว และสามารถระบายคววมร้อนได้ดีกว่า แต่ในทางปฏิบัติงานฉนวนน้ำมันไม่มีวิฤห์จึงมีความคงทนต่อแรงดันต่ำมากจึงไม่เหมาะใช้ ซึ่งคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมันหม้อแปลงจะมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 จุดติดไฟ (flash point)

คือตัวมันเหลวเมื่อถูกไฟจะมีคุณสมบัติของจุดติดไฟสูง ทำให้โลกาณที่จะเกิดการลุกไหม้ยากขึ้น และจะต้องไม่เกิดการระเหิดหรือการชนเมื่อติดไฟ รวมทั้งมีความหนืดความร้อนได้สูง

2.3.2 ความหนืด (viscosity)

จะเป็นตัวกำหนดการระบายความร้อนของน้ำมัน ถ้าความหนืดมากการระบายความร้อนของน้ำมันจะต่ำกว่าการระบายความร้อนจึงน้อย และอาจทำให้พื้นแรงดันได้ต่ำลง เพราะไม่สามารถกระจายเขม่าที่เกิดขึ้นได้ออกไป จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงโรครในน้ำมันให้มากขึ้น

2.3.3 ความเป็นกรด (total acid)

2.3.4 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

ถึงนั้นในการเลือกถนนวนน้ำมันที่ถูกต้องเลือกน้ำมันที่มีคุณสมบัติความแรงดันได้สูง มีการระบายความร้อนดี หนืดต่ำปฏิกิริยาทางเคมีดี มีแะคเตอร์พลังงานสูงเป่าว่าต่ำ หนืดความร้อนได้สูงหรือติดไฟได้ยาก ไม่เกิดการพิษเมื่อติดไฟ รวมทั้งราคาที่เหมาะสม

คุณสมบัติอย่าง ๖ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันให้ใช้ ในบริเวณที่มีลมแรงให้ใช้ถนนวนที่คงไว้ค่าแรงดันเบรคความของน้ำมันแทนแะลางวิธีที่ ใดก็ได้ดู โคธานจำกัด ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.3

2.4 กลไกการเกิดเบรคความของถนนวนน้ำมัน

ลักษณะการเกิดเบรคความของน้ำมันเมื่อแะลางในภาชนะทดสอบ โดยใช้ลิเลคโตรคเป็นทรงกลม จะเกิดกระแสระหว่างอีเลคโตรค เมื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นจะทำให้เกิดการสปาร์ระหว่างอีเลคโตรคผ่านน้ำมัน ทำให้เกิดกระแสไหลอย่างมากมายโดยจะจำกัดกระแสเหล่านี้โดยความต้านทานภายนอกของวงจร มีกระแสระหว่างอีเลคโตรค เกิดเบรคความจำนวนมาก มีเขม่าสีดำคยขึ้นฟูผิวของน้ำมัน และส่วนประกอบอื่น ๆ เื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี ความดันของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าแรงดันเบรคความที่วัดได้จะถูกกำหนดในการหาความตงหนืดต่อแรงดันไฟฟ้าของน้ำมันต่อไป

เื่องจากยังไม่พบเหตุที่จะอธิบายการเกิดเบรคความของถนนวนน้ำมันได้ดี เพราะว่าการคงหนืดต่อแรงดันนั้นขึ้นอยู่กับแะลางหลาย ๆ อย่าง เช่น ลักษณะคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของถนนวนดังกล่าวมาแะลว ชนิดและปริมาณสิ่งเจือปน ตลอดจนลักษณะของอีเลคโตรค

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดลักษณะสมบัติของฉนวนเหลว

คุณสมบัติ	IEC 296		ชนิดของฉนวนเหลว	
	I	II	น้ำมันหม้อแปลง	คลอรีเนท
คุณสมบัติสี				
สี (appearance)				
จุดติดไฟ (flash pt.), °ซ	140	130	130-180	
จุดแข็งตัว (pour pt.), °ซ	-30	-45		
ความตวงจำเพาะ (density) @ 20°ซ	<0.895		0.9	1.4
ความหนืด (viscosity), cSt @				
20°ซ	40	25		
-15°ซ	800	-		
คุณสมบัติเคมี				
Neutralization value, mg KOH/g	<0.03			
Corrosive sulphur	<2			
Approved antioxidant content, mass%	0.10			
ความชื้นที่ขอมให้มากที่สุด, ppm			50	
คุณสมบัติไฟฟ้า				
ความทนต่อแรงดันไฟฟ้าตาม IEC STANDARD @ 20°ซ, kV.mm ⁻¹	12-20		10-25	
แฟกเตอร์พลังงานสูญเสีย @ 80°ซ 50Hz	0.005 max		10×10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁴
เปอร์เซ็นต์วัตต์สแควร์ c _r @ 50Hz			2-2.5	
ความต้านทานจำเพาะ @ 85°ซ, ohm-cm			100×10 ¹²	100×10 ¹²

* centistokes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คุณสมบัติของน้ำกันหยกแปลงทดสอบของบริษัท โกลีนิคยู โครซาน
จำกัด - บริษัทของน้ำกันหยกแปลงแก้ไข

การทดลอง	ค่า
ความคงตัวเพราะ 15/4 °C	0.2750
ชนิดสี ASTM	1 0.5
จุดเดือด °C	148
ความหนืด CSI	11.51
T = 30 °C	6.275
40 °C	6.21
50 °C	3.476
75 °C	2.24
100 °C	-30.0
จุดแข็งตัว °C	Max. 0.01
ปริมาณกรด mKOH/g	72.1
จุดละลาย °C	71
ความคงทนต่อแรงดัน (กิโลวัตต์)	0.18
การสูญเสียซิลิกาไปลาชัน พีเซ	

ตารางที่ 2.3

จึงยังมีผลอยู่ในการอธิบายการเกิดเบรคดาวในเฉนแนวที่เป็นน้ำมันอะกเป็น 2 แนวคือ

ทฤษฎี 1 โดย Lewis, Sharbaugh, Watson, Swan

สมมุติว่าแนวของแนวเป็นเนื้อเดียวกันตลอดโดยไม่มีสิ่งเจือปน ซึ่งอธิบายการเกิดเบรคดาวได้เช่นเดียวกับก๊าซ โดยอาศัยการเกิดอะวาลานซ์ของอิเล็กตรอนบริเวณแนวการไหลออกในเซมิคอนดักเตอร์

ทฤษฎี 2 คำนึงถึงสิ่งแปลกปลอมโดยไม่ว่าสิ่งดังกล่าวจะเกิดเบรคดาวนี้มาจกเกิดจากแนวแนวได้เช่นกัน ซึ่งทฤษฎีนี้ชาวแบ่งออกเป็นการเกิดเบรคดาวนี้เนื่องมาจากโพรงหรืออากาศ (Cavitation or Bubble Breakdown) ซึ่งความดันที่ลดลงเกินไปทำให้แนวแนวของแนวแนวจึงทำให้เกิดเบรคดาวนี้เสนอโดย Kao และการเกิดเบรคดาวนี้เนื่องมาจากสิ่งเจือปนของแข็ง (Suspended Particle Breakdown) ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นในบางแห่ง ทำให้นำไปสู่การเกิดเบรคดาวของของเหลวทั้งหมด เสนอโดย J. A. Kok, Corbey, etc.

2.4.1 การเกิดเบรคดาวของของเหลวบริสุทธิ์โดยสนามไฟฟ้า (electronic breakdown)

ของเหลวบริสุทธิ์จะมีเนื้อเดียวกันตลอดปราศจากสิ่งเจือปน จึงศึกษาได้จากการเบรคดาวของก๊าซ โดยขบวนการที่อิเล็กตรอนแตกตัวจากแคโทด (field emission and thermal emission) ซึ่งพิจารณากระแสที่แคโทด จะเกิดสภาพนำไฟฟ้าขึ้นเมื่อโค่นสนามไฟฟ้าให้ จะได้กระแสตั้งสมการชอตก (Schottky's equation) คือ

$$J = Jt \cdot \text{EXP} \left(\frac{1.14 \sqrt{E}}{\eta} \right) \quad \text{Amp/cm}^2$$

$$Jt = AT^2 \cdot \text{EXP} \left(\frac{-\phi}{KT} \right)$$

- เมื่อ J = ความหนาแน่นของกระแส
- T = อุณหภูมิของของเหลว
- A = พื้นที่หน้าตัดของของเหลว
- ϕ = เส้นแรงไฟฟ้า

E สนามไฟฟ้า

เมื่อ J_t จะแทนค่ากระแสเนื่องจากอุณหภูมิจึง (thermionic current density) สนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของผิวของอีเลคโตรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นลักษณะของผิว (M) ของนำมาคำนวณด้วยการแทนค่า E ด้วย MEa เมื่อ H แล็คเตอร์ที่คำนวณความหนาแน่นของผิว จะมีค่าเท่ากับ 10 สำหรับนิวมัน เมื่อ Ea คือสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป จากผลการแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นกระแสขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่จากการทดลองจะมีผลน้อยมาก ในช่วงอุณหภูมิมาก ๆ แสดงว่าขบวนการเกิดการนำไฟฟ้าระหว่างอี เลคโตรดนั้นขึ้นอยู่กับขบวนการแตกตัวโดยสนามไฟฟ้า (field emission) มากกว่า หรือขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนให้

ในการเกิดการนำไฟฟ้านั้น เกิดเมื่ออีเลคตรอนหลุดจากผิวอีเลคโตรดที่เป็นแคโทดเข้าไปในช่องเขว มันจะโคจรพลังงานเพิ่มขึ้นจากสนามไฟฟ้า ในทฤษฎีของอีเลคโตรนิสเบรคควานนี้ สมมุติว่ามีอีเลคตรอนบางตัวมีพลังงานมากพอคือมากกว่าการสูญเสียเนื่องจากการชนกับโมเลกุลของช่องเขว อีเลคตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าจนกระทั่งมีพลังงานมากพอที่จะไอออไนซ์โมเลกุลโดยการชน และเป็นจุดเริ่มต้นของอะวาลานซ์

เงื่อนไขของการเกิดอะวาลานซ์ของอีเลคตรอนคือจากที่ อีเลคตรอนมีพลังงานมากกว่าพลังงานไอออไนซ์เขวของโมเลกุลคือ

$$eE\lambda = Chv$$

- เมื่อ E คือสนามไฟฟ้าที่ป้อน
- λ ระยะอิสระเฉลี่ยของอีเลคตรอน
- $h\nu$ คือพลังงานควอนตัมที่สูญเสียในการ ไอออไนซ์โมเลกุล
- C เป็นค่าคงที่

ทฤษฎีนี้จะสามารถทำนายความไวพินซ์ของขนาดของแรงดันที่ทำให้เบรคทาวน์ได้ แต่อย่างไรก็ตามมันไม่สามารถอธิบายเรื่องเวลาล่าช้า (time lag) ที่เกิดขึ้นในกลไกการเกิดเบรคทาวน์ได้ทันที

2.4. สาเหตุเกิดเบรคควานเนื่องมาจากโพรงและช่องกาซ

- Kao กล่าวไว้ในของเหลวอาจเกิดฟองอากาศ (bubble) หลายสาเหตุเนื่องจาก
1. มีฟองอากาศอยู่ที่ผิวของอิเล็กโทรด
 2. เนื่องจากแรงทางอิเล็กโทรสแตติกระหว่างกลุ่มประจุด้วยกัน ซึ่งอาจมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดที่อิเล็กโทรด
 3. เกิดฟองอากาศเนื่องจากการแตกตัวของโมเลกุลของของเหลว เนื่องมาจากการชนของอิเล็กตรอน
 4. เกิดโคโรนาอิเล็กสซาร์จทำให้รัศมีของของเหลวระเหยกลายเป็นไอ

เมื่อมีฟองอากาศเกิดขึ้นฟองอากาศจะพยายามเรียงตัวหรือขยายตัวในแนวสนามไฟฟ้า เพื่อลดพลังงานศักย์ของ Kao สมมุติว่าฟองอากาศที่มีปริมาตรคงที่ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแทนเบรคควานจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันตกคร่อมความยาวของฟองอากาศมีค่าเท่ากับค่าต่ำสุดของเส้นโค้งพาสเชน (Paschen's curve) ของฟองอากาศนั้น

Alton ได้คำนวณความเครียดสนามไฟฟ้าของฟองอากาศ E_C ของของเหลวที่มีค่าเปอร์มิททิวิตี ϵ_1 คือ

$$E_C = \frac{2\epsilon_1 E_0}{2\epsilon_1 + 1}$$

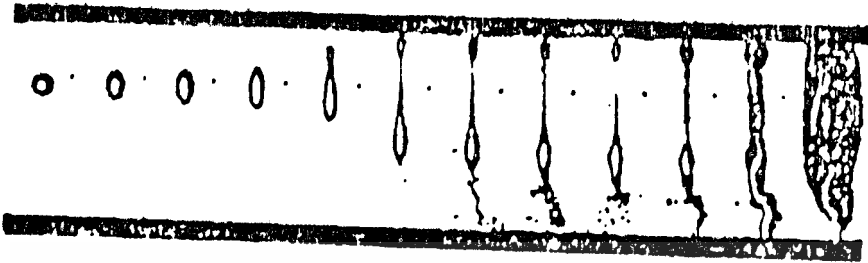
เมื่อ E_0 คือความเครียดสนามไฟฟ้าของของเหลวเมื่อไม่มีฟองอากาศ จะเกิดเบรคควานเมื่อค่า E_C มีค่าเท่ากับความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติของฟองอากาศนั้น จะทำให้เกิดการกิสซาร์จผ่านฟองอากาศนี้ ทำให้โมเลกุลของของเหลวแยกตัวออกทำให้เกิดเบรคควานทั้งหมดระหว่างอิเล็กโทรด ถ้าอิเล็กโทรดมีความขรุขระจะทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจนของเหลวกลายเป็นไอ ทำให้เกิดการกิสซาร์จผ่านไอทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นอีกได้ นำไปสู่การเกิดเบรคควานต่อไป

ในกรณีของหยดน้ำในอุโมงค์มีลักษณะเป็นทรงกลม เบรคควานจะเกิดขึ้นเนื่องจากความดันของหยดน้ำตามแนวสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดเบรคควานตามแนวนั้นดังรูปที่ 2.6 :

แต่ในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นทรงกลม อาจะเกิดเนื่องจากโมเลกุลของน้ำเล็ก ๆ มาเรียงตัวกันตามแนวสนามไฟฟ้า และเกิดเบรคควานตามกลไกที่กล่าวมาแล้ว

ความเครียดสนามไฟฟ้าในเขตลูกทรงกลมที่อักษั้วไม่ได้มีปริมาตร $\frac{4}{3}\pi R^3$

อีเล็คโทรล



อีเล็คโทรล

รูปที่ 2.4 หยดน้ำเจือปนในช่องเหล็กอีลิโค

จากคำนวณได้จาก

$$E_2 = 2 \left[\frac{2\pi \epsilon_1 \epsilon_2}{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2} \frac{B^{2/3}}{R} \left(2\beta - 1 - \frac{1}{\beta^2} \right) \right]^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

E_2 = ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าของหยดทรงกลม

ϵ = ค่าความคงตัวของของเหลว (โคนทอเซนติเมตร)

ϵ_1, ϵ_2 = ค่าเปอร์มิททิวิตีของของเหลวและหยดน้ำ

β = อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนแคบที่สุดของหยดน้ำทรงกลม

R = รัศมีของหยดน้ำ

ความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าภายในทรงกลม E_2 กับของเหลว E ได้ดังนี้

$$E_2 = \frac{\epsilon_1 E}{\epsilon_1 - (\epsilon_1 - \epsilon_2)G} \dots \dots \dots (2)$$

เมื่อ $G = \frac{1}{\beta^2 - 1} \left[\frac{\beta \cosh^{-1} \beta}{(\beta^2 - 1)^{1/2}} - 1 \right]$

จาก (1) และ (2) จัดสมการใหม่

$$E = 600 \sqrt{\frac{\pi}{\epsilon_1}} \frac{(\epsilon_1 - G)H}{R \epsilon_1 - \epsilon_2} \dots \dots \dots (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ
$$H^2 = 8\beta^{1/3} (2\beta - 1 - \frac{1}{\beta^2})$$

Alton ได้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง β กับ $(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2} - G)H$ ซึ่งให้
เห็นว่าถ้า $\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$ มากกว่า 20 ค่า H จะเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดแล้วลดลงเมื่อ β เพิ่มขึ้น แสดงให้
เห็นว่ารูปร่างของทรงกลมไม่เสถียรภาพเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าถึงค่าวิกฤติ แล้ว $\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$ น้อย
กว่า 20 จะไม่มีค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติแม้ว่า β จะเพิ่มขึ้นสูงอย่างมากที่สุดตาม

ในกรณีของทรงกลมเป็นต้นว่า คือ $\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \rightarrow \infty$ จะได้

$$E = 600 \sqrt{\frac{1\&}{\epsilon_1 R}} \cdot GH$$

ถ้า $GH_{max} = 0.45863$, $\beta = 1.85$ จะได้ค่าวิกฤติของความเครียดสนามไฟฟ้า
ที่ทำให้ทรงกลมเปลี่ยนสภาพไปคือ

$$E_{cr} = 487.7 \sqrt{\frac{\&}{R\epsilon_1}} \quad \text{v/cm} \quad \dots\dots\dots (4)$$

โดยทั่วไปน้ำมันหม้อแปลงมีค่า $\epsilon_1 = 2$ มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้า 71
กิโลโวลต์ต่อระยะแกน 2.5 มม. หรือ 284 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แต่จากการคำนวณ
จากสมการ (4) โดยที่ $\& = 13$ โกล์ต่อเซนติเมตร จะได้

$$E_{cr} = 226 \text{ KV/cm}$$

ซึ่งสามารถคำนวณหาระดับของหยดน้ำที่ไหลทำให้แรงกับ เวนควาร์เปลี่ยนแปลงไป
ของน้ำมันหม้อแปลงบริสุทธุ์ได้

ในกรณีของทรงกลม [๑] ค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติในแนวตรงแนวจะให้เป็น

$$E_{cr} = 600 \sqrt{\frac{1\&}{\epsilon_1 R}} \cdot \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2} - G \right) \left[\frac{8\Lambda^2 B}{3\beta(\epsilon_1 - \epsilon_2)} \right]^{1/2} \sqrt{\cosh \theta}$$

โดยที่

$$\Lambda = \frac{2}{\beta} - 1 - \frac{1}{\beta^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = 2\epsilon_1\beta^2 - \epsilon_2(1 - \beta^2)$$

เมื่อ G, ϵ, R เป็นของแยกทรงกลมรัศมีต่างข้างกัน

$$\theta = \frac{1}{3} \text{Cosh}^{-1} \left[\frac{PR}{\epsilon} \frac{27\beta^5 (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2}{2B^2} \right]$$

เมื่อ P ความดันของของเหลวภายใน C.C.S

2.4.3 เบรคคว่ำเนื่องจากสิ่งเจือปนของแข็ง

ของแข็งอาจอยู่ในรูปของฝุ่นหรือไฟเบอร์ ถ้ามีค่า ϵ ต่างไปจากของเหลวและอยู่ในสนามไฟฟ้า E จะเกิดแรงกระทำบนอนุภาคของแข็งที่มีลักษณะทรงกลม คือ

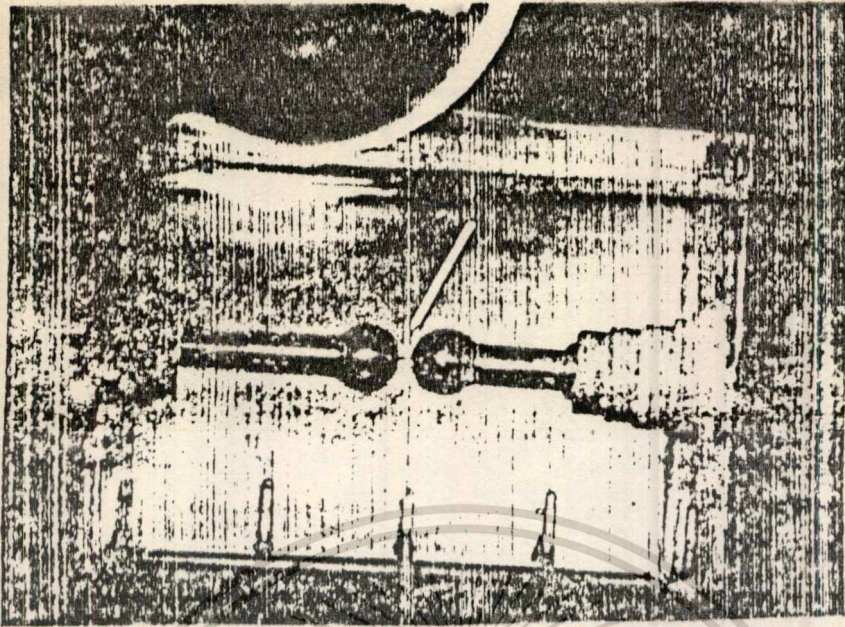
$$F = \frac{1}{2} r^3 \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{(2\epsilon_1 + \epsilon_2)} \cdot \text{grad } E^2$$

เมื่อ r เป็นรัศมีของอนุภาคของแข็ง

ϵ_1, ϵ_2 คือค่าเปอร์มิททิวิตีของของเหลวและของแข็ง

ถ้า $\epsilon_2 > \epsilon_1$ ในกรณีซึ่งเป็นกรณีของของแข็งจะเกิดแรงทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีความเค้นยึดสนามไฟฟ้าสูง ถ้า $\epsilon_2 < \epsilon_1$ ซึ่งในกรณีของร่องอากาศทิศทางของแรงจะตรงกันข้าม

ผลของแรงทำให้อนุภาคเรียงตัวเป็นลูกโซ่เชื่อมโยงระหว่างอิเล็กโทรดถึงรูปที่ 2.5 ทำให้เกิดเบรคคว่ำได้ ผลของสิ่งเจือปนของแข็งอาจลดลงได้โดยการใช้ฉนวนแข็งร่วมกับฉนวนเหลวเพื่อกันไม่ให้ให้อนุภาคของแข็งเรียงตัวข้ามถึงอิเล็กโทรดได้



รูปที่ 2.5 การเรียงตัวของช่องแข็งในของเหลว

2.5 ผลของระยะแกว่งแกว่งแรงดันเบรคความ

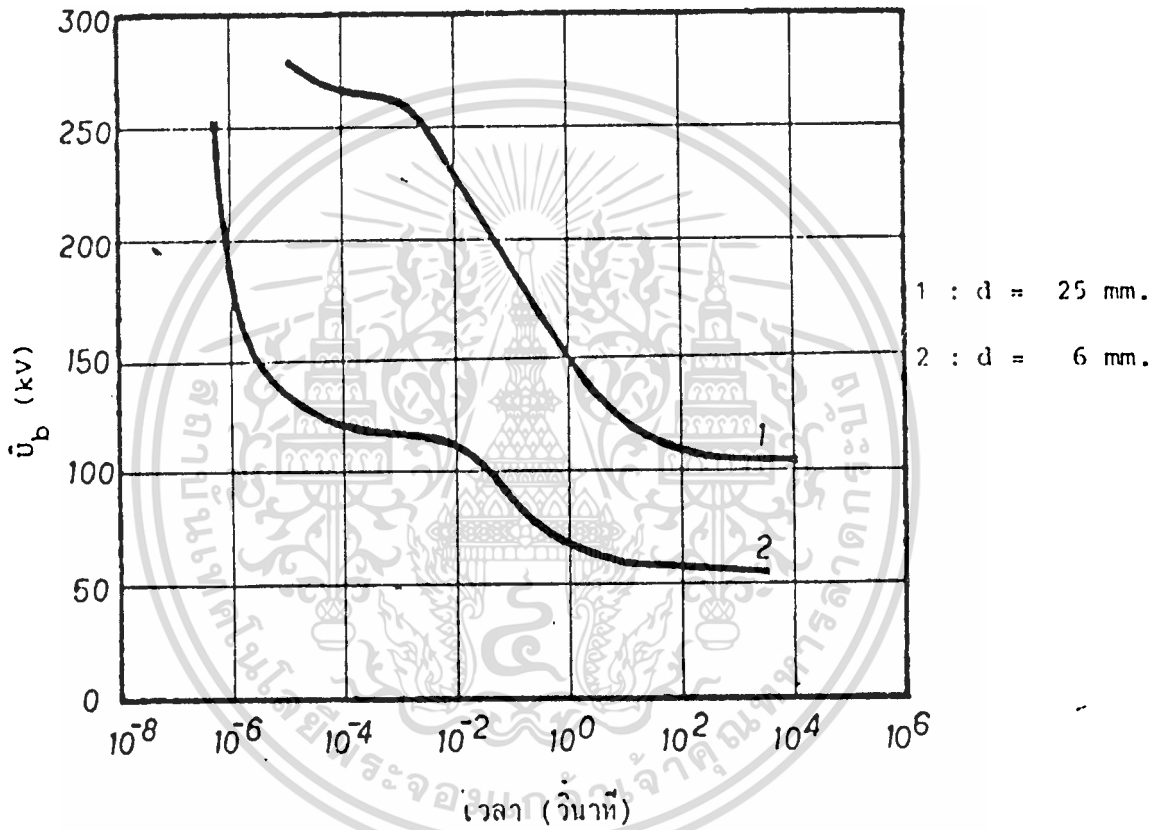
แวลเตอร์ที่มีผลต่อแรงดันเบรคความของฉนวนไฟฟ้าของเหลวคือ ระยะห่างของแกว่ง กระบวนการเกิดเบรคความทุกความมาทั้งหมดเป็นเพียงกล่าวถึงความคงทนต่อแรงดันสูงสุด ยังไม่ได้รวมผลของระยะแกว่งไว้ด้วย จะแสดงได้โดย

$$U_b = kd^n$$

เมื่อ k ค่าคงตัว
 d ระยะแกว่ง
 n ค่าคงตัวปรกติน้อยกว่า 1

2.6 ผลของรูปแรงดันต่อแรงดันเบรคความ

ค่าแรงดันเบรคความของของเหลวขึ้นอยู่กับรูปคลื่นแรงดันที่ป้อน และช่วงเวลาของการป้อน (duration time) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนเหลวขึ้นอยู่กับความถี่ของสนามไฟฟ้าที่มีอยู่ ค่าความคงทนของฉนวนเหลวต่อแรงดันคงตัว (AC, DC) จะมีค่าต่ำกว่าค่าของแรงดันเกินพัลส์ดังรูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์เช่นนี้อาจอธิบายด้วยหลักการของเวลาล่าช้า (time lag) ของการเบรคความ



รูปที่ 2.6 เส้นกราฟแรงดัน - เวลา ของน้ำที่หม้อแปลง
ในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

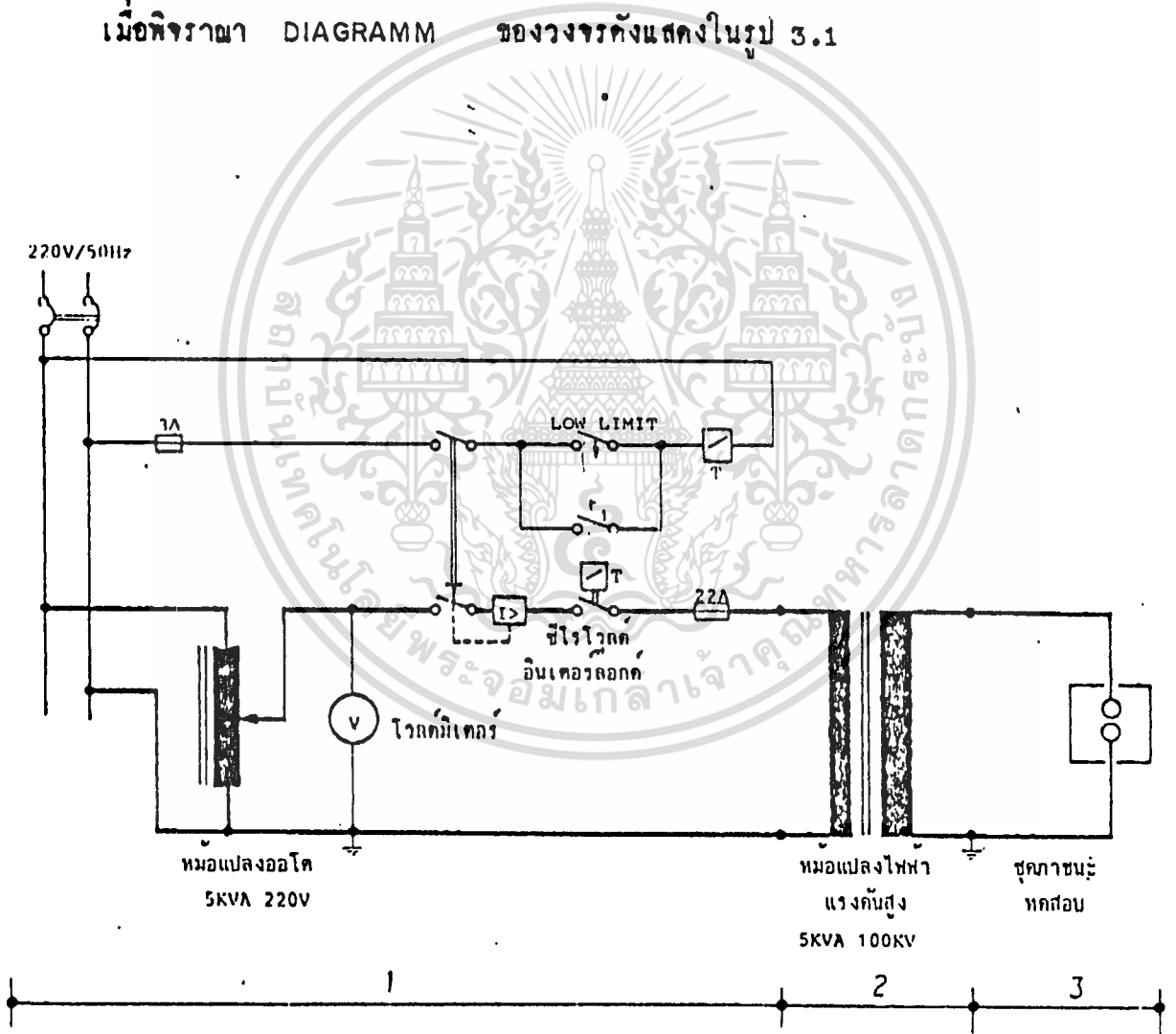
บทที่ 3

การออกแบบ และหลักการทํางานของวงจร

3.1 หลักการทํางานเบื้องต้น ของอุปกรณ์ชุกควบคุม

หน้าที่ของอุปกรณ์ชุกควบคุมนี้คือ จะต้องทำการกักวงจรที่จ่ายไฟให้กับตัวหม้อแปลงที่-
อุปกรณ์ทดสอบ เมื่อขณะที่มีการเบรคความของฉนวนน้ำมันที่ชุกอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ

เมื่อพิจารณา DIAGRAMM ของวงจรดังแสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวงจรชุดทดลองไฟฟ้าแรงคํับสูงกระแสสลับ

1. หน่วยควบคุมแรงคํับทดสอบ
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงคํับสูง

3. ชุดภาชนะทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของชุดควบคุมนี้มีลำดับการทำงานดังต่อไปนี้

3.1.1 เมื่อเรา ON BREAKER จะมีกระแสไหลเข้าสู่ชุดควบคุม แรงดันที่ไซไซที่ 220 v , 50 HZ. แต่ทั้งชุดควบคุมยังไม่สามารถทำงานได้ เพราะ สวิตซ์ของอุปกรณ์ตัดคตอนยังไม่อยู่ในสถานะ ON

3.1.2 เมื่อเรา ON สวิตซ์ของอุปกรณ์ตัดคตอน หากตัวหม้อแปลงไม่ได้เริ่ม - ตั้งต้นที่ 0 V ตัวสวิตซ์ LOW LIMIT จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร ชุดแมคเนติกคตอน-แทคเตอร์ก็ยังคงเปิดวงจรอยู่ นั้นหมายความว่าวงจรก็ยังทำงานไม่ไ้ (การที่เรา มีชุด LOW LIMIT ไว้เพื่อป้องกันในกรณีเมื่อมีการลัดวงจรขึ้นแล้ว และไม่ได้ - หมุนตัวออกโถกลับให้อยู่ในสถานะเริ่มต้นที่ 0V เมื่อทำการ TEST ใหม่อีกครั้งจะ - ทำให้เกิดกระแสกระชากเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้เกิดผลเสียแก่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และทั้งยังอาจเกิดอันตรายขึ้นได้)

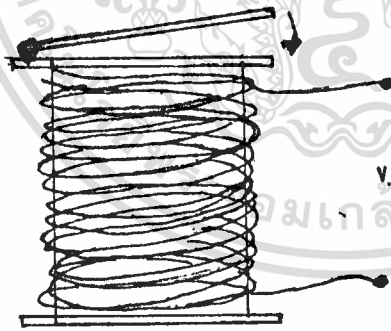
3.1.3 เมื่อเราเริ่มต้นทำการทดลอง ออกโถทรานส์ฟอร์มเมอร์อยู่ในตำแหน่ง 0V. สวิตซ์ LOW LIMIT จะทำการปิดวงจรแสดงว่าชุดทดสอบพร้อมที่จะเริ่มทำการ-ทดลองได้แล้ว

3.1.4 เมื่อเราทำการปรับออกโถทรานส์ฟอร์มเมอร์ ไปเรื่อยๆอย่างช้าๆเมื่อถึง-จุดที่เกิดการ เบรคควาน์ ชุดควบคุมจะทำการเปิดวงจรออกเราก็จะทราบว่าแรงดันไฟ - พ้าที่ทำให้เกิดการ เบรคควาน์ของฉนวนน้ำมันมีค่าเท่าใด โดย VOLTMETER - จะต่อคร่อมตัวออกโถทรานส์ฟอร์มเมอร์ทั้งนั้นเมื่อเกิดการ เปิดวงจรออกจะไม่มีผลทำให้สเกล ของ VOLTMETER ตกลง

3.2 หลักการออกแบบตัวตัดวงจร

เมื่อเกิดการ เบรคควาน์ของฉนวนน้ำมันเกิดขึ้น อุปกรณ์ตัวตัดวงจรจะทำหน้าที่ -

ในการตัดวงจรให้อยู่ในสถานะ OPEN เราจะเรียกตัวตัดวงจรนี้ว่า CURRENT TRIP RELAY หลักการเบื้องต้นในการ TRIP ก็คือเมื่อมีการเบรคคาวร์นเกิดขึ้น ชก- ลากทาง SECONDARY ของหม้อแปลงจะมีลักษณะคล้ายอยู่ในสภาพ SHORT CCT. ดังนั้นจะทำให้เกิดมีกระแสไหลขึ้นมากกว่าปกติ (ประมาณ 25 A) เกิดขึ้นที่ชกสลากทาง PRIMARY ดังนั้นเมื่อมีกระแสเกิดขึ้น จะทำให้เกิดอุณอาจแม่เหล็กเพียงพอที่ - จะทำให้เกิดการดูด PLATE ซึ่ง PLATE นี้จะเชื่อมต่อกับหน้า CONTACT ที่ใช้ในการเปิด , ปิด วงจร ในลักษณะทาง MACHANICAL ซึ่งจะทำให้เกิดการ เปิดวงจรตามมา (ดูรูปภาพประกอบ)



ซึ่ง CURRENT TRIP RELAY นี้เมื่อยังไม่เกิดกรณีการเบรคคาว์นของฉนวนน้ำมัน จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ประมาณ 1 แอมป์ โดยที่อำนาจในการสร้างสนามแม่เหล็ก ไม่เพียงพอที่จะถูก PLATE ให้สามารถเปิดวงจรได้ การที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ ประมาณ 1 แอมป์ เพราะว่าถือเป็นการสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสภาวะที่หม้อแปลง เปิดวงจรทางทุติยภูมิ



อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

การวัดความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนเหลว โดยสำคัญแล้ว ขึ้นอยู่กับ อุปกรณ์และวิธีการทดลองที่นำมาใช้ ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลที่ไต่จากการทดลอง มีจุกอ้างอิงที่แน่นอนและสามารถใช้เป็น ข้อมูลเปรียบเทียบ สำหรับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงได้เลือกใช้วิธีการทดลองตามมาตรฐาน IEC Publ. 156 ซึ่งเป็นวิธีการสำหรับใช้ตรวจสอบ ระดับความสะอาดบริสุทธิ์ของฉนวนเหลว ในรูปของแรงดันเบรคความ ซึ่งมีเงื่อนไขตรงกับวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ และเกือบทุกประเทศทั่วโลกที่ใช้มาตรฐานนี้ เป็นเทคนิคในการกำหนด คุณสมบัติทางค่านไฟฟ้าของฉนวนน้ำมันที่ผลิออกจำหน่าย

ลักษณะวิธีการของมาตรฐานที่กล่าวถึงประกอบด้วย ชุดอิเล็กโตรดแบบทรงกลม - ทรงกลม ทนาคเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 ซม. จุ่มอยู่ในฉนวนแก้วที่จะทำกรวดผสม โดยมีระยะห่างเป็น 0.25 ซม. ป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่ปรับให้มีแรงดันเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่ จนฉนวนน้ำมันเกิดเบรคความ ทั้งนี้ฉนวนน้ำมันควรมีค่าความหนืดไม่เกิน 50 cst ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สำหรับรายละเอียดอุปกรณ์การทดลอง วงจรการทดลองและวิธีการทดลอง จะได้กล่าวถึงต่อไป

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองและลักษณะการจัดวางของอุปกรณ์ ออกแบบใหม่มีความง่าย, สะดวก, และถูกต้องตามหลักวิชาการ ในการวัดค่าแรงดันเบรคความของฉนวนน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง องค์ประกอบทางด้านความปลอดภัยของผู้ทำการทดลอง ได้คำนึงถึงเป็นอันดับแรก [17] รูปที่ 4.1 แสดง

ให้เห็นส่วนประกอบ และลักษณะการจัดวางของอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งแยกออกได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

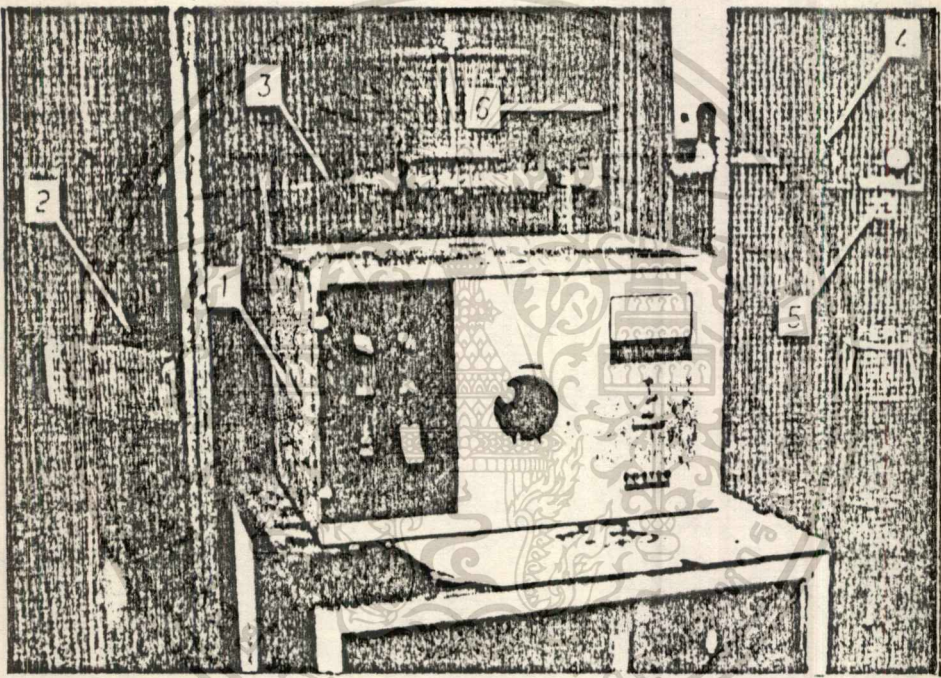
1. หน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ (voltage control unit)
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (high-voltage transformer)
3. ชุดภาชนะทดสอบน้ำมัน (oil test vessel)
4. ชุดวัดระยะแกป

4.2.1 ชุดทดสอบไฟฟ้าแรงดันสูง

ชุดทดสอบไฟฟ้าแรงดันสูงในส่วนที่ 1 และ 2 ออกแบบ และผลิตโดย บริษัทฟอสเตอร์ ทรานส์ฟอร์เมอร์ เป็นโมเดล F4 โดยมีส่วนของหน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบ (รูปที่ 4.2) แยกจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (รูปที่ 4.3) ทำให้สามารถแยกหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งเป็นส่วนที่อันตรายใ้ห้อยคนละห้อง กับหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของผู้ทดลอง เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ทดลอง

ขลวดปฐมภูมิ (primary winding) ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงได้รับ การจ่ายไฟ จากหม้อแปลงออโต (auto transformer) ชนิด 'Troidac' ที่อยู่ในหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ ผ่านทางสายเคเบิลแรงดันต่ำ (L.V. Cable) ซึ่งสามารถทำให้แรงดันทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นทีละก้าวเป็นๆ จากศูนย์จนถึงค่าที่ต้องการ โดยการปรับด้วยมือ และหลีกเลี่ยงผลของเสอร์จ (surges) อันอาจเกิดขึ้นได้ระหว่างทดสอบ ชุดทดสอบและวัสดุทดสอบ (test object) มีการป้องกันโดยใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ สายเคเบิลชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (single pole electromagnetic circuit breaker) ต่ออุปกรณ์บ่วงจรทางคานปฐมภูมิ เซอร์กิตเบรกเกอร์ถูกตั้ง ให้ตัดวงจรภายในเวลา 0.01 วินาทีเมื่อกระแสเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากเกิดการเบรคคววน์ในฉนวนน้ำมันก๊ี้ วิธีการ ซีโรโวลต์อินเตอร์ล็อก (zero volt inter-lock) นำมาใช้เพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่า หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง จะจ่ายไฟที่ค่าต่ำสุดของเอาต์พุต (output) เสมอ แผนผังวงจรชุดทดสอบไฟฟ้าแรงดันสูงถูกแสดงในรูปที่ 4.4

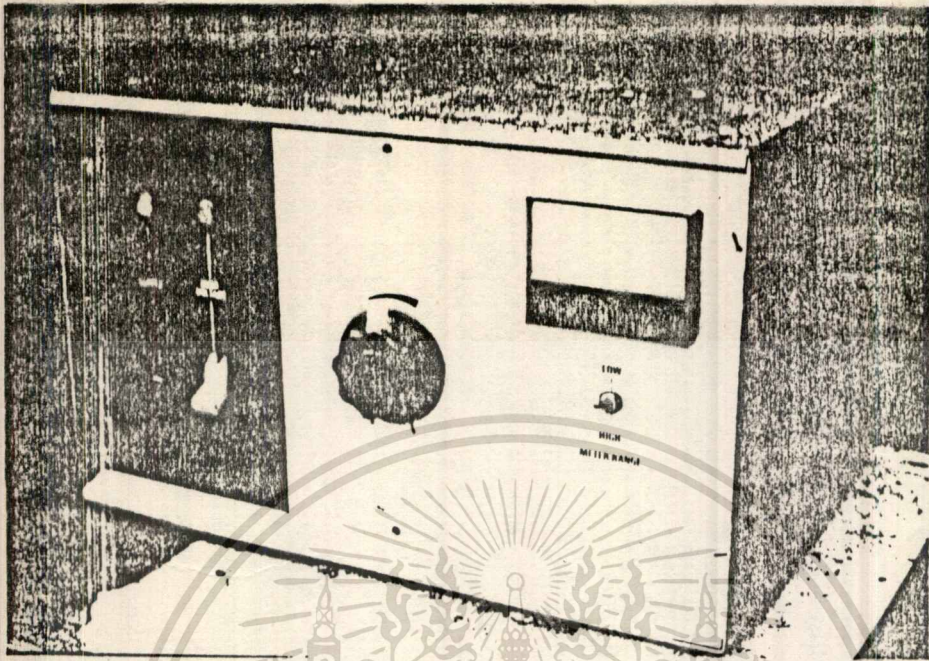
แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท ถูกวัดจากทางด้านแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงโดยโวลต์มิเตอร์ (volt meter) ที่มีสองสเกล ซึ่งอยู่ในส่วนของหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ แต่ละสเกลสามารถ อ่านออกมาเป็นค่า kv ที่เป็นค่ารูทมีนส์แควร์ (rms) ได้โดยตรง สเกลแรกสวิงสูงสุดที่ค่า 55 kv สามารถอ่านได้ถูกต้อง 2.5 kv สำหรับสเกลที่สองสวิงสูงสุดสเกลที่ค่า 120 kv และสามารถอ่านได้ค่าถูกต้อง 5 kv หลังจากที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรหม้อแปลงแรงดันสูงออก โวลต์มิเตอร์ยังคงแสดงค่าแรงดันเบรกควานอยู่



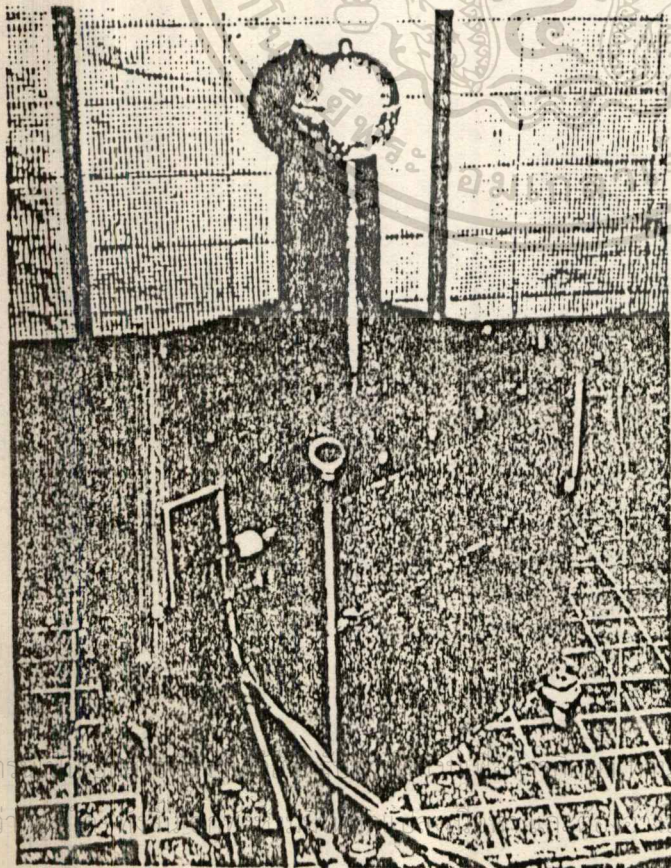
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ชุดทดสอบแรงดันเบรกควานของจนวนน้ำมันด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz (สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า ลาดกระบัง)

1. หน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ (ดูรูปที่ 4.2)
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (ดูรูปที่ 4.3)
3. สายส่งแรงดันสูง
4. ชุดภาชนะทดสอบน้ำมัน (ดูรูปที่ 4.5)
5. ชุดวัคัระยะแก่พร้อมขาตั้งภาชนะทดสอบที่ทำจากจนวนสูงด้วยแบบตั้ง
6. รั้วตะแกรงเหล็ก

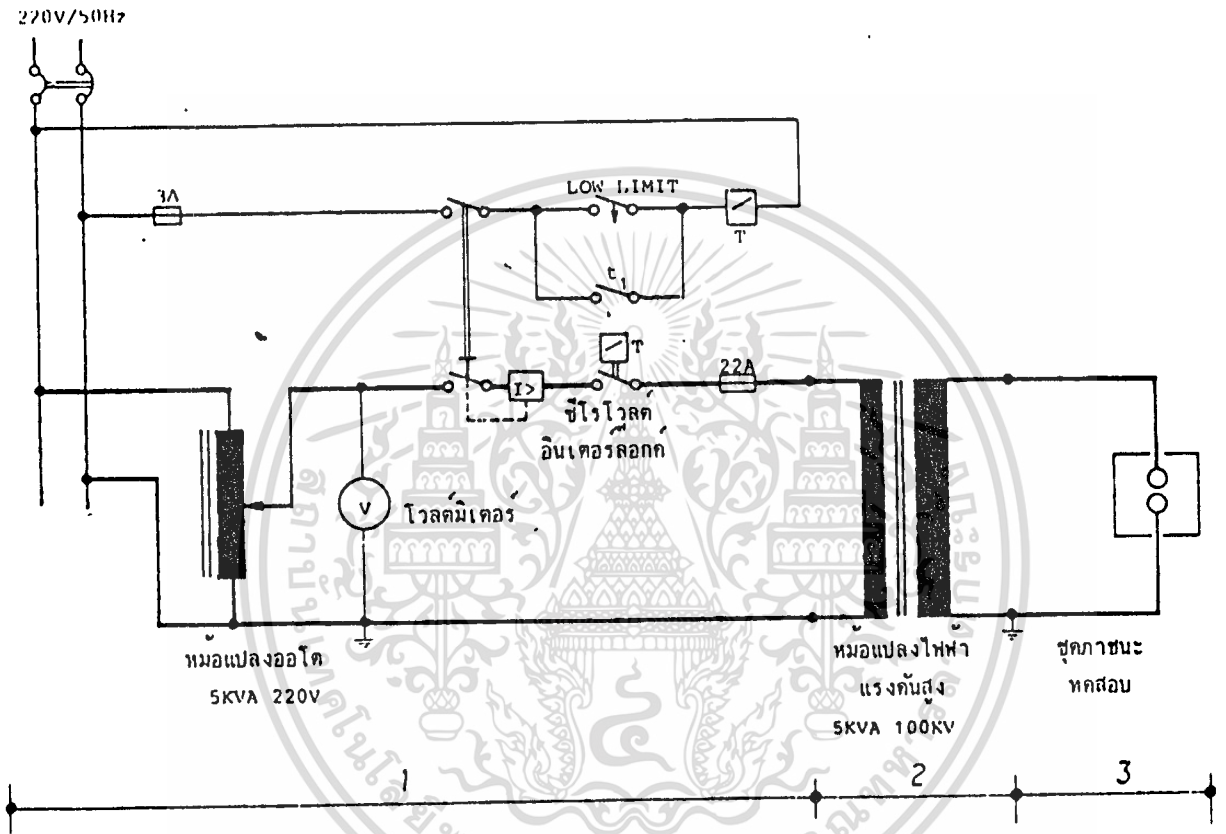
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงอินพุท
220/240 v 1 เฟส 50 Hz พิกัดกำลัง 5 KVA ที่
5 นาที 'ON' 15 นาที 'OFF' ในหนึ่งช่วงการใช้งาน,
Serial No. 10 A / JE041



รูปที่ 4.3 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดัน
100kV 1 เฟส 50 Hz
พิกัดกำลัง 5 KVA
โวลต์ปรุณภูมิ 235 หุติณภูมิ 100kV
กระแสปรุณภูมิ 22 หุติณภูมิ 0.05A



รูปที่ 4.4 แผนผังวงจรชุดทดลองไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับ

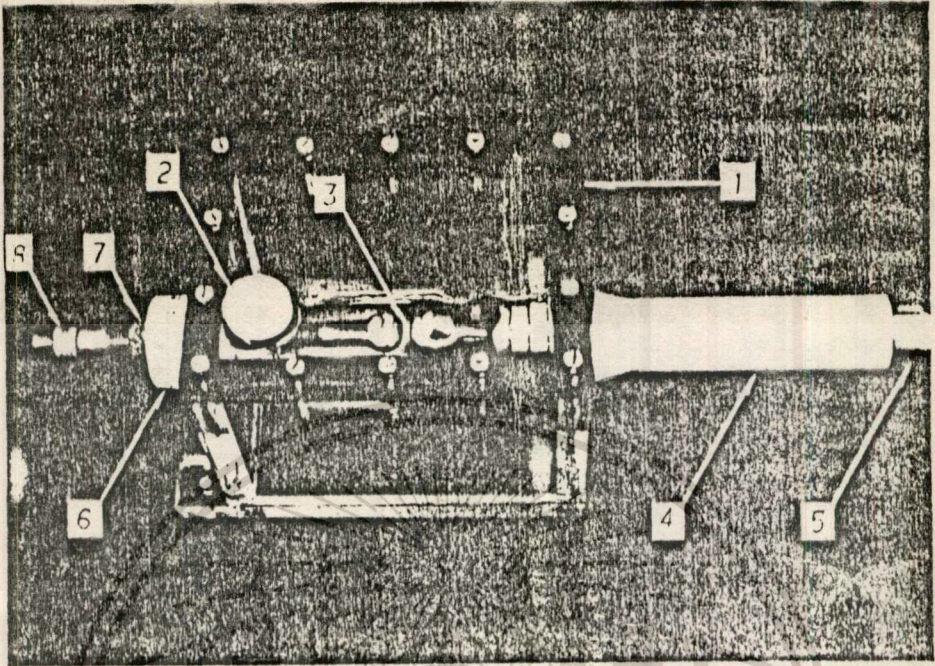
1. หน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง
3. ชุดภาชนะทดสอบ

4.2.2 ชุดภาชนะทดสอบน้ำมัน

ภาชนะทดสอบออกแบบตามข้อกำหนด ในมาตรฐาน IEC Publ. 156 โดยให้มีความสะดวกต่อการทดลอง และง่ายต่อการทำความสะอาด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ตัวภาชนะบรรจุน้ำมัน ทำด้วยพลาสติกplexiglas มีขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร พลาสติกplexiglasเป็นพลาสติกสังเคราะห์ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ทนความร้อนได้สูงกว่า 80 องศาเซลเซียส และมีลักษณะโปร่งใสเหมือนแก้วทำให้สามารถสังเกตปรากฏการณ์การเบรคความไว้อย่างใกล้ชิด อิเล็กโตรดทั้งสองอันมีลักษณะเป็นทรงกลมผิวเรียบ ทำด้วยทองเหลือง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 ซม. ชุดอิเล็กโตรดจัดวางให้อยู่ในแนวแกนนอน มีระยะแกน 0.25 ซม. จุ่มอยู่ในน้ำมัน โดยที่แกนของอิเล็กโตรดอยู่ลึกจากระดับผิวน้ำมันประมาณ 4 ซม.

สำหรับขั้วต่อสาย (terminals) ของชุดอิเล็กโตรด ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเข้ากับขดลวดหม้อแปลงความแรงดันสูง แยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นปลอกฉนวนนำสายไฟแรงสูง (H.V. Bushing) ซึ่งต่อเข้ากับปลายขดลวดความตักค่าไฟฟ้าสูง ปลอกนำสายทำจาก พีวีซี ส่วนแกนตัวนำทำจากทองเหลือง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความต้านทานที่ผิว (surface resistance) ทำให้กระแสรั่ว (leakage current) มีค่าต่ำมากและช่วยลดผลของโคโรนา ส่วนที่สองมีลักษณะคล้ายส่วนแรก แต่มีปลอกนำสายสั้นกว่า เพราะถูกต่อเข้ากับปลายขดลวดความที่ต่อลงดิน (ground) จึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับโคโรนา สำหรับแกนตัวนำกลึงเป็นเกลียวตลอดทำให้สามารถปรับระยะแกน โดยหมุนปลายของตัวนำที่อยู่นอกภาชนะทดสอบ รายละเอียดการวัดระยะแกนได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นรายละเอียดขั้วต่อสายชุดอิเล็กโตรด ที่ออกแบบให้ถอดแยกกลไกเป็นส่วน ๆ ได้ ทำให้ง่ายแก่การเปลี่ยนอิเล็กโตรดและทำความสะอาด ซึ่งต้องมีการเปลี่ยนบ่อยที่สุด

รูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นแผนผังแบบภาชนะชุดทดสอบที่ระบุขนาด ลักษณะโดยทั่วไปของภาชนะทดสอบเป็นแบบระนาบปิด ทำให้สามารถควบคุมผลของความชื้น และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ได้ แรงดันทดสอบสูงสุดที่ภาชนะนี้ สามารถทดสอบได้ประมาณ 85 kV



รูปที่ 4.5 ชุดฯ ขณะทดสอบน้ำมัน

1. หัวภาชนะ
2. ช่องเติมน้ำมัน
3. อิเล็กโตรดแบบทรงกลม-ทรงกลม
4. ปลอกกั้นวนนำสายไฟแรงสูง
5. ปลายแรงสูง
6. ปลอกนำสายไฟคานต่อลงดิน
7. น็อตล็อกแกนตัวนำ
8. ปลายคานต่อลงดิน

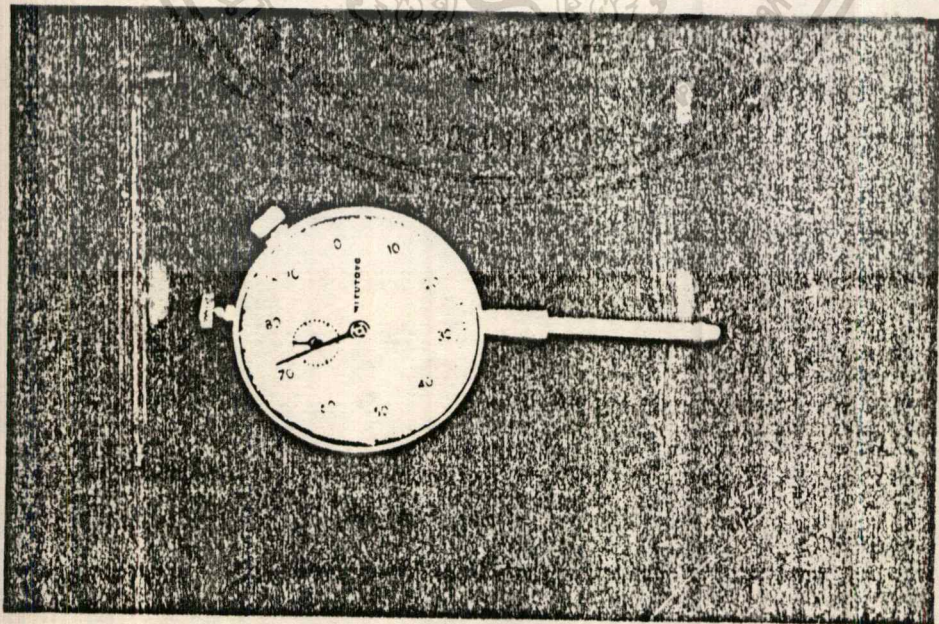
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 วิธีการวัดระยะแถบ

ข้อควรระวังอย่างมากในการวัดระยะแถบคือ การไม่ทำให้ผิวของอิเล็กโตรดสกปรก ซึ่ง
มีผลอย่างมากต่อแรงดันเบรคควานของน้ำมัน ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เมื่อต้องการเปลี่ยนระยะแถบ
ขณะทำการทดลอง การวัดระยะแถบควรจะไม่ทำให้เงื่อนไขที่ควบคุมอยู่เปลี่ยนไป เช่น ความชื้นและสิ่ง
เจือปน เป็นต้น

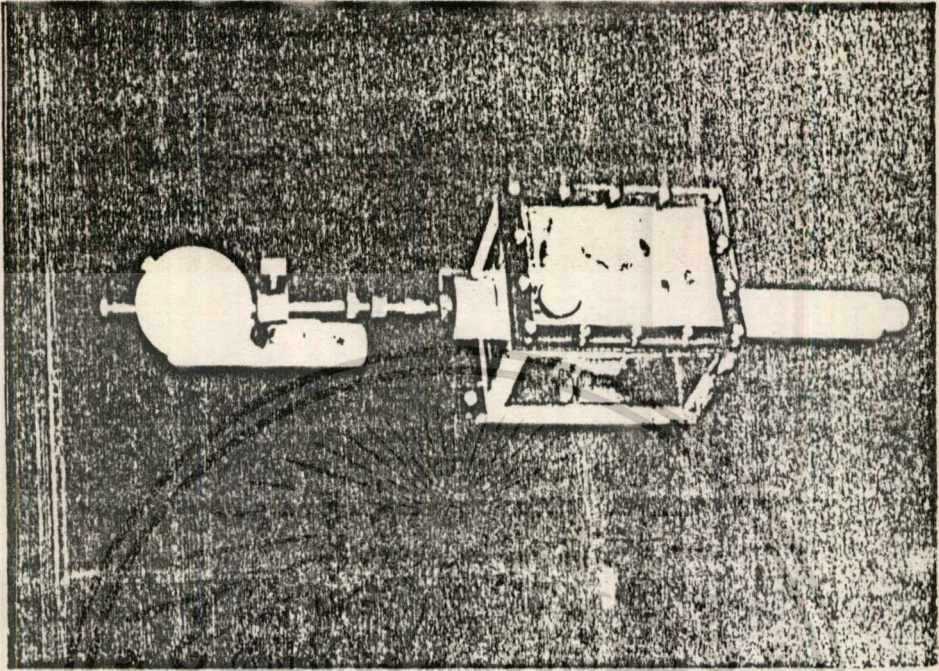
เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ภาชนะชุดทดสอบจึงออกแบบให้เป็นระบบปิด โดยสมบูรณ์ การ
วัดระยะแถบสามารถทำได้โดยตรงจากภายนอกภาชนะทดสอบด้วยเครื่องมือวัดชนิด ไคอออลิ่งไมโครมิ
เตอร์ (dialling micrometer) สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0.01 - 30 มม. ดังแสดงในรูป 4.8
เลื่อนของเครื่องมือวัดถูกจัดวางให้สัมพันธ์ โดยตรงกับปลายสุดคานทดลองคินของแกนตัวนำที่ยึดอิเล็กโตรด-
คานทดลองคินตลอดเวลาไม่ว่าจะปรับแกนตัวนำเข้าหรือออก ด้วยแรงกดจากสปริงในเครื่องมือวัด ดัง
แสดงในรูปที่ 4.9

แกนเลื่อนดังกล่าวต่อเข้าโดยตรงกับเข็มบนหน้าปัด ผ่านกลไกแม่เหล็กคามิกของ เครื่องมือวัด
ทำให้เข็มหมุนตามระยะแกนเลื่อน ซึ่งสามารถอ่านระยะเลื่อนได้จากสเกลบนหน้าปัด สเกลนี้ สามารถ
ปรับให้หมุนได้ จึงง่ายต่อการตั้งค่าเริ่มต้น โดยตั้งให้เข็มชี้ศูนย์เมื่อปรับให้อิเล็กโตรดสัมผัสกัน

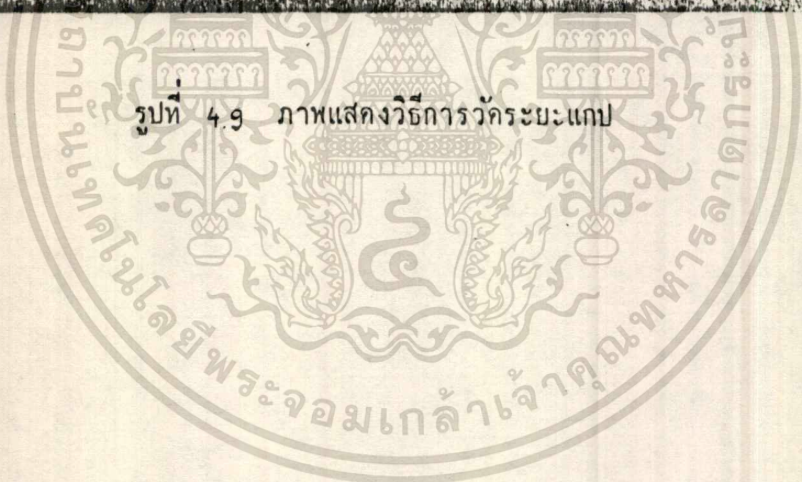


รูปที่ 4.8 เครื่องวัดระยะแถบ ไคอออลิ่งไมโครมิเตอร์

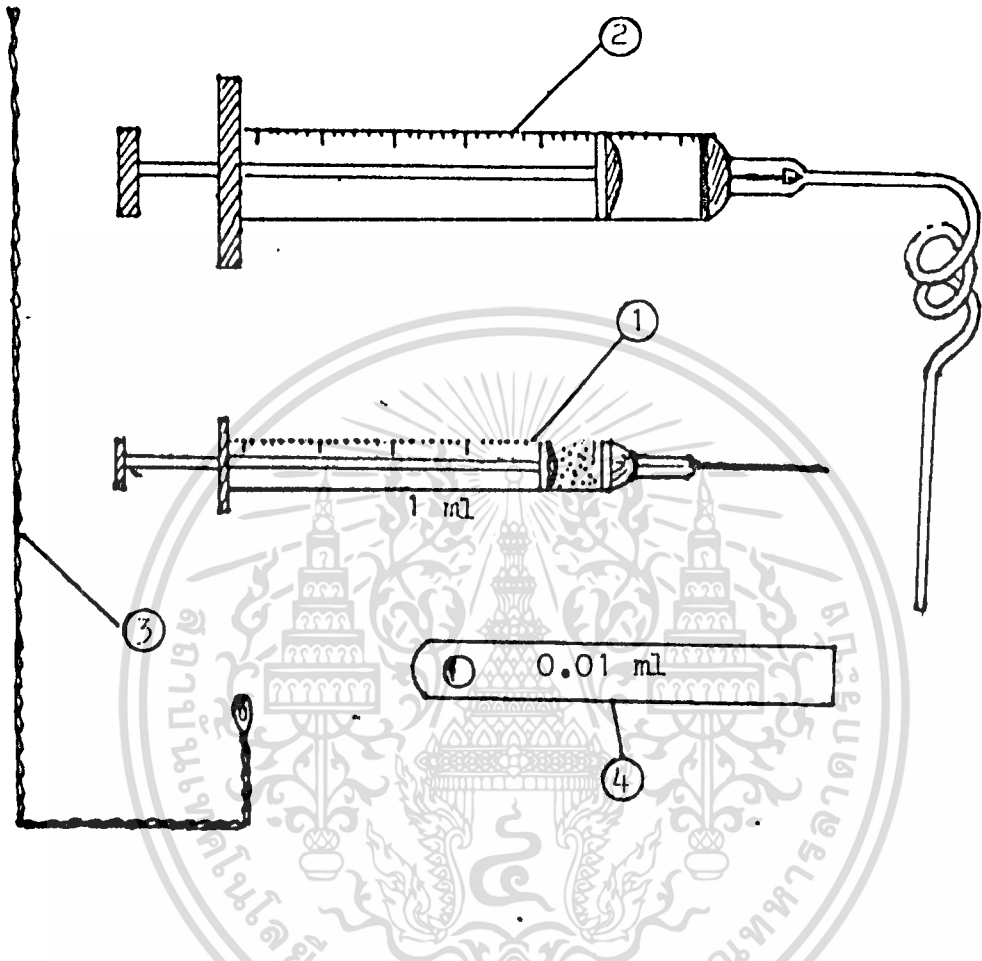
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สามารถวัดได้ถูกต้อง 0.01 มม.
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงวิธีการวักระยะแกป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ไซดิงค์ทองปริมาณความเข้มข้น
2. ไซลิ่งค็อกกิ้งเจือปน
3. ลวดทำความสะอาดขั้วอิเล็กโทรด
4. ทัศนทรวงฝุ่น

4.2.4 การเตรียมชุดภาชนะทดสอบ

รับหน้าที่ในการเตรียมชุดภาชนะทดสอบได้แก่ การระมัดระวังเกี่ยวกับความชื้น และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เป็ดไข่ที่ควรใช้ชุดทดสอบที่ควรบรรจุน้ำมันที่ไปบีบควายนี้ออกใหม่ และเก็บไว้ในที่สะอาดปราศจากฝุ่นละออง เพื่อป้องกันไม่ให้สาร ไนโตรเจนที่เคลือบจับตามผิวของภาชนะทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ผิวของอีเล็กโทรด

เมื่อมีการเปลี่ยนน้ำมันทดสอบชนิดใหม่ ต้องล้างภาชนะทดสอบทุกครั้งด้วยน้ำมัน เบนซีนซูเปอร์ เพราะเป็นแก้วหาละลายน้ำมันหม้อแปลงที่ดี และปริมาณน้ำมันเบนซินที่หลงเหลืออยู่มีผลน้อยมากต่อแรงดันเบรคความถี่วัดได้

หลังจากล้างภาชนะด้วยน้ำมันเบนซินแล้ว ต้องทำการ เค็มน้ำมันหม้อแปลงลงไปทันทีอย่างช้า ๆ และทำการเขย่าเพื่อเอาสิ่งตกค้างในภาชนะออกให้หมดจริง ๆ รวมทั้งช่วยลดปริมาณน้ำมันเบนซินที่มีอยู่ในภาชนะทดสอบด้วย ทำอย่างน้อย 2 - 3 ครั้ง แล้วรี भर จูน้ำมันหม้อแปลงในการทดลองทันที

4.2.5 การเตรียมน้ำมันหม้อแปลง

ก่อนการบรรจุน้ำมันหม้อแปลงในภาชนะ ควรทำให้ น้ำมันหม้น เวียน เพื่อให้สิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำมันกระจายทั่วไปอย่างสม่ำเสมอ โดยระมัดระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศขึ้นทันทีที่ทำเสร็จควรบรรจุน้ำมันลงในภาชนะโดยผ่านทางหลอดแก้วหรือสายยางที่สะอาดช้า ๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ

คุณสมบัติของน้ำมันในภาชนะทดสอบควรมีค่าเท่ากับจุดหม้อแปลง และต้องทำการบันทึกทุกครั้งที่ทำ การทดลอง

4.2.6 การวัดแรงดันเบรคความถี่

จะค่อย ๆ ปรับแรงดันจากค่าศูนย์จนเกิดเบรคความถี่โดยมีอัตราเพิ่มเป็น 2 กิโลโวลต์ต่อวินาที ซึ่งจะ เป็นแรงดันที่ทำให้เกิดการสปาร์ตครั้งแรกระหว่างอีเล็กโทรด และจะทำการทดลองซ้ำ ๆ 6 การทดลองในการณะชุดเดิมเพื่อหาค่าเฉลี่ย

การอ่อนแรงกันครั้งแรกควรทำทันทีหลังจากบรรจุน้ำมันลงในภาชนะทดสอบแล้ว โดยต้องไม่มีสิ่งตกค้างอยู่ หลังจากการเกิดเบรคความโน้มถ่วงครั้งแรก น้ำมันบริเวณใกล้เลนโทรดควรจะมีการหมุนเวียนเพื่อกำจัดเขม่าที่อยู่ที่อยู่น้ำมันบางส่วน โดยใช้หลอดทำความสะอาดหลอดวีเลนโทรด ไปด้วยเบา เว้นหลอดถึงติดกับ 5 ครั้งควรอ่อนแรงกันใหม่ถึงไว้ประมาณ 1 นาที เพื่อสังเกตของปริมาตรของอากาศที่มีอยู่โดยการสังเกต ถ้าไม่แน่ใจก็อาจจะใหม่ทิ้งไว้ถึง 5 นาที ก่อนทำการทดลองต่อไป

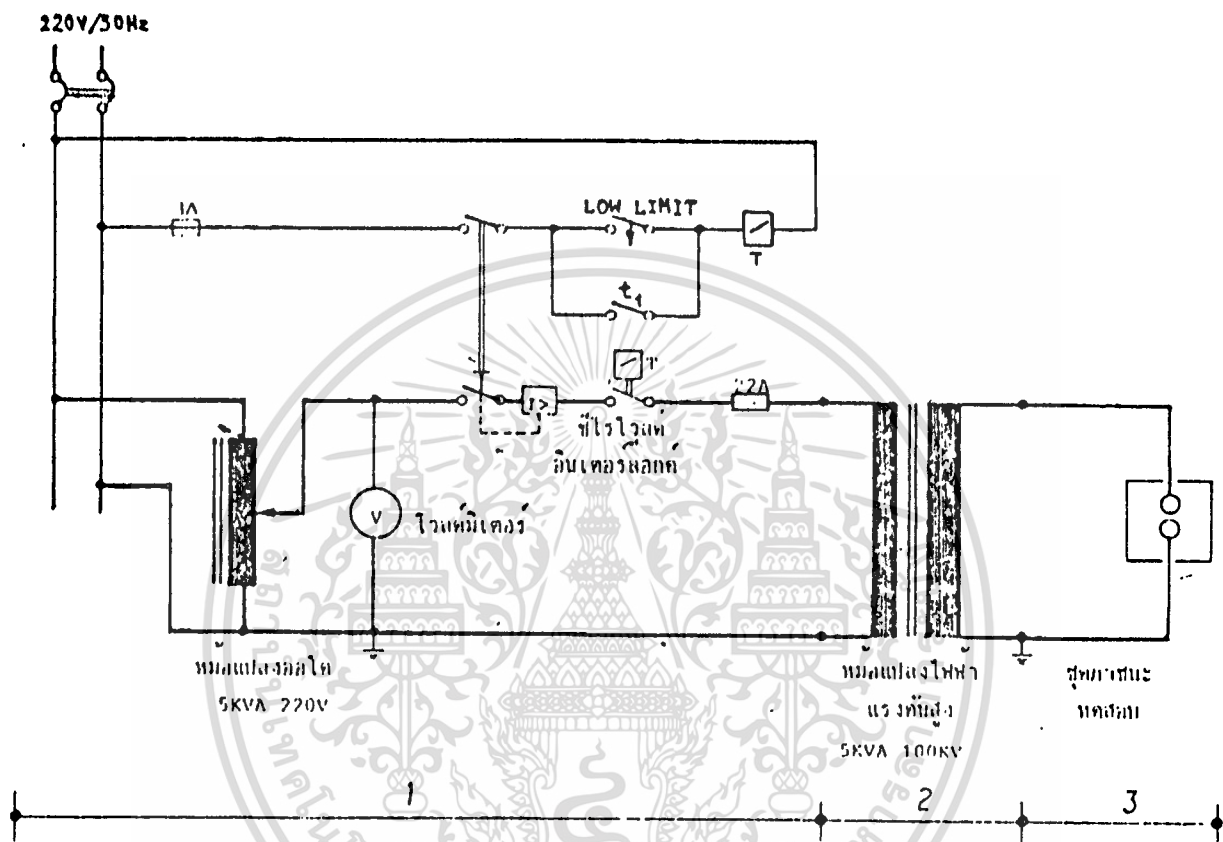
4.2.7 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองในแต่ละขั้นตอน หลังจากศึกษาการทดลองมาแล้ว จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการบรรจุน้ำมันหม้อแปลงลงในภาชนะทดสอบโดยไม่มีสิ่งเจือปน
2. คายางจร ของภาชนะทดสอบกับชุดผลิตสัญญาณแรงดันไฟฟ้า
3. ทำการวัดแรงดันเบรคความโน้มถ่วงของน้ำมันหม้อแปลงที่ระยะแกป 2.5 มม. 20 ครั้ง เพื่อบันทึกการกระจายของข้อมูลที่ได้
4. ทำการวัดแรงดันเบรคความโน้มถ่วงของน้ำมันหม้อแปลงที่ไม่มีสิ่งเจือปน ที่ระยะแกป 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 มม. โดยแต่ละระยะแกปจะทำการวัดแรงดัน 6 ครั้งลงในตารางที่กำหนด
5. ทำการวัดแรงดันเบรคความโน้มถ่วงโดยจุดวัดของจุดหม้อ ทดลองที่จุดหม้อของน้ำมันหม้อแปลงที่ 30°, 40°, 50°, 60°, และ 70° เชนคิเกรท ที่ระยะแกป 2.5 มม.
6. วัดแรงดันเบรคความโน้มถ่วงของน้ำมันหม้อแปลงโดยมีสิ่งเจือปนเป็นฝุ่นปริมาตร 20 ppm ที่ระยะแกปต่าง ๆ ๗. จุดหม้อที่ห้อง
7. เปลี่ยนปริมาตรฝุ่นเป็น 40, 60, 100, และ 200 ppm ทำการวัดแรงดันเบรคความโน้มถ่วงที่ระยะแกป 2.5 มม. ๗. จุดหม้อที่ห้อง
8. วัดแรงดันเบรคความโน้มถ่วงของน้ำมันหม้อแปลงที่ปริมาตรความชื้น 20, 40, 60, 100 และ 200 ppm ที่ระยะแกป 2.5 มม. ๗. จุดหม้อที่ห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑. วัดแรงดันเบรคความถี่ของน้ำมันหม้อแปลงที่เปลี่ยนแปลงเป็นรูป 20 ppm และปริมาณ ความถี่ขนาด 20, 40, 60, 100 และ 200 ppm ที่ระยะแกว่ง 2.5 ม.ว. ๒. จุดตรวจที่ ๑



รูปที่ 4.11 แผนผังวงจรชุดทดลองใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับ

1. หน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง
3. ชุดภาชนะทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง สรปรการทดลองและวิจารณ์

เมื่อเราออกแบบและทำการประกอบวงจรของหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงเรียบร้อยแล้ว เราก็นำมาทดสอบ โดยการต่อหม้อแปลงออโต้เข้ากับชดปรุมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง

โดยมีลักษณะการจัดวางของอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งแยกออกได้เป็น 4 ส่วนดังนี้

1. หน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง
3. ชุดภาชนะทดสอบน้ำมัน
4. ชุดวัดระยะแถบ

โดยการต่อหม้อแปลงออโต้ของหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ เข้ากับชดปรุมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านทางสายเคเบิลแรงดันต่ำ ซึ่งเราสามารถทำให้แรงดันทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากศูนย์จนถึงค่าที่ต้องการโดยการปรับค้วมมือ และหลีกเลี่ยงผลของเสอร์จอันอาจเกิดขึ้นไ้ระหว่างทดสอบ ชุดทดสอบและวัสดุทดสอบมีการป้องกันโดยใช้เคอร์เรนท-ทรีปรีเลย์สายเคเบิลชนิดอีเล็กโตรแมกเนติกต่ออนุกรมกับวงจรทางตันปรุมภูมิ เคอร์เรนท-ทรีปรีเลย์ถูกตั้งให้ตัดวงจรภายใน 0.01 วินาทีเมื่อกระแสเพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดเบรคควาน์ในฉนวนน้ำมันและนำวิธีการ ซีโรโวลต์อินเทอร์ล็อก เพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่า หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจะจ่ายไฟที่ค่าต่ำสุดของเอาท์พุทเสมอ

แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทถูกวัดจากทางตันแรงดันไฟต่ำของหม้อแปลงโดยโวลต์มิเตอร์ที่มีสองสเกลซึ่งอยู่ในส่วนของหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบ แต่ละสเกลสามารถอ่านออกมาเป็นค่า กิโลโวลต์ ที่เป็นค่ารูตมีนสแควร์ได้โดยตรง สเกลแรกสวิงสูงสุดที่ค่า 55 กิโลโวลต์ สามารถอ่านได้ถูกต้อง 2.5 กิโลโวลต์ สำหรับสเกลที่สอง สวิงสูงสุดสเกลที่ค่า 120 กิโลโวลต์ และสามารถอ่านได้ถูกต้อง 5 กิโลโวลต์ หลังจากที่เคอร์เรนทรีปรีเลย์ตัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงออกแล้ว โวลต์มิเตอร์ก็ยังคงแสดงค่าแรงดันเบรคควาน์อยู่

ดังนั้นเมื่อต่อหน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและชุดภาชนะทดสอบน้ำมันแล้วก็ทำการทดลองหาค่าแรงดันเบรคควาน์ฉนวนน้ำมัน เพื่อทดสอบว่าหน่วยควบคุม

คุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบนี้ทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ และอ่านค่าแรงดันเบรคความถูกต้องหรือไม่ โดยนำค่าที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

5.1 วิธีการทดสอบเบื้องต้น

เป็นการทดสอบสภาพความพร้อมโดยทั่วไปของชุดทดลอง โดยมีจุดประสงค์ให้เกิดความคุ้นเคยกับชุดทดลอง เพื่อความปลอดภัย เข้าใจธรรมชาติโดยทั่วไปของการเกิดเบรคความในของเหลว ความถูกต้องของโวลต์มิเตอร์ และผลของอัตราเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

5.2 การทดสอบ

น้ำมันทดสอบถูกเติมลงในภาชนะทดสอบจนได้ระดับที่กำหนดไว้ และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับถูกปรับให้ค่าเพิ่มขึ้นด้วยมือจากศูนย์ ในอัตราเร็วพอสมควร จนกระทั่งเกิดสปาร์กขึ้นระหว่างแก๊ป เคอร์เรนทรีปรี เลย์ทำการตัดคอนวจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทันที การทดลองกระทำติดต่อกัน 20 ครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ทำงานทันทีที่น้ำมันเบรคความ โดยการสังเกตที่เข็มของโวลต์มิเตอร์ตกลงที่จุดที่เกิดสปาร์ค และสังเกตดูว่ามีรูที่ผิวของอิเล็กโตรดแสดงว่าอุปกรณ์ตัดคอนวจรทำงานได้

5.3 การวัดแรงดันสูง

การวัดแรงดันสูงและแรงดันตกคร่อมวัสดุทดสอบ โดยการวัดที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ที่อยู่ทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งมีข้อได้เปรียบตรงที่สามารถทราบค่าแรงดันที่ป้อนได้ตลอดเวลา และสามารถอ่านแรงดันเบรคความได้หลังจากอุปกรณ์ตัดคอนทำงานแล้ว

5.4 วิธีการทดลอง

กระทำตามมาตรฐาน ไอ.อี.ซี. พันบลีช. 52

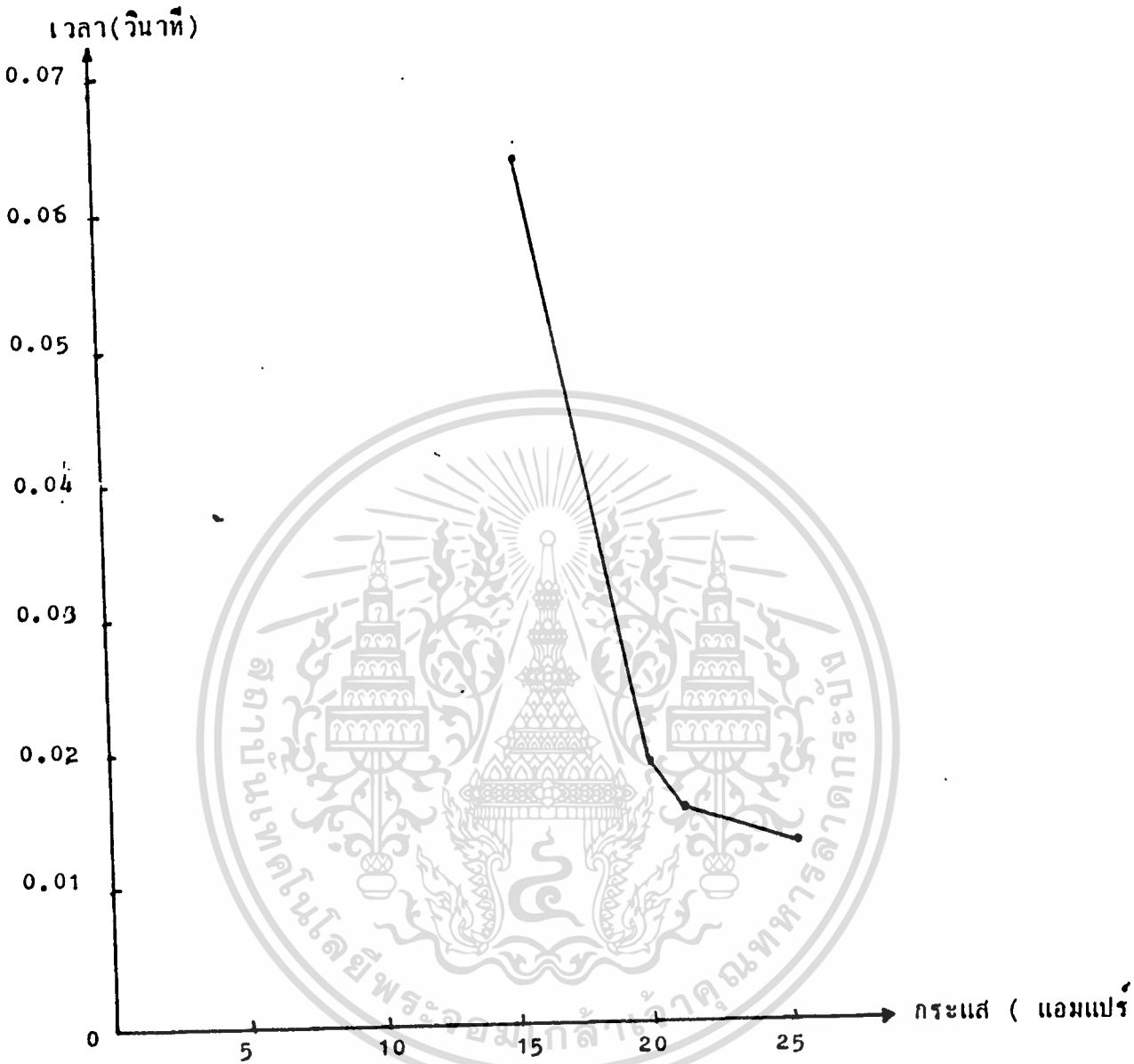
ดูในภาคผนวก

ตารางแสดงเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรของเคอร์เรนทร์ปริเลย์

กระแส (แอมแปร์)	เวลาที่ใช้ในการตัด (วินาที)					ค่าเฉลี่ย (วินาที)
	1	2	3	4	5	
15	0.063	0.065	0.060	0.062	0.064	0.0628
20	0.0187	0.0192	0.019	0.0185	0.0183	0.01847
22	0.0163	0.0158	0.0167	0.0155	0.0168	0.01622
25	0.0139	0.0131	0.0136	0.0142	0.0145	0.01386



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรของเคอร์เรนท์ทรีปรีเลย์

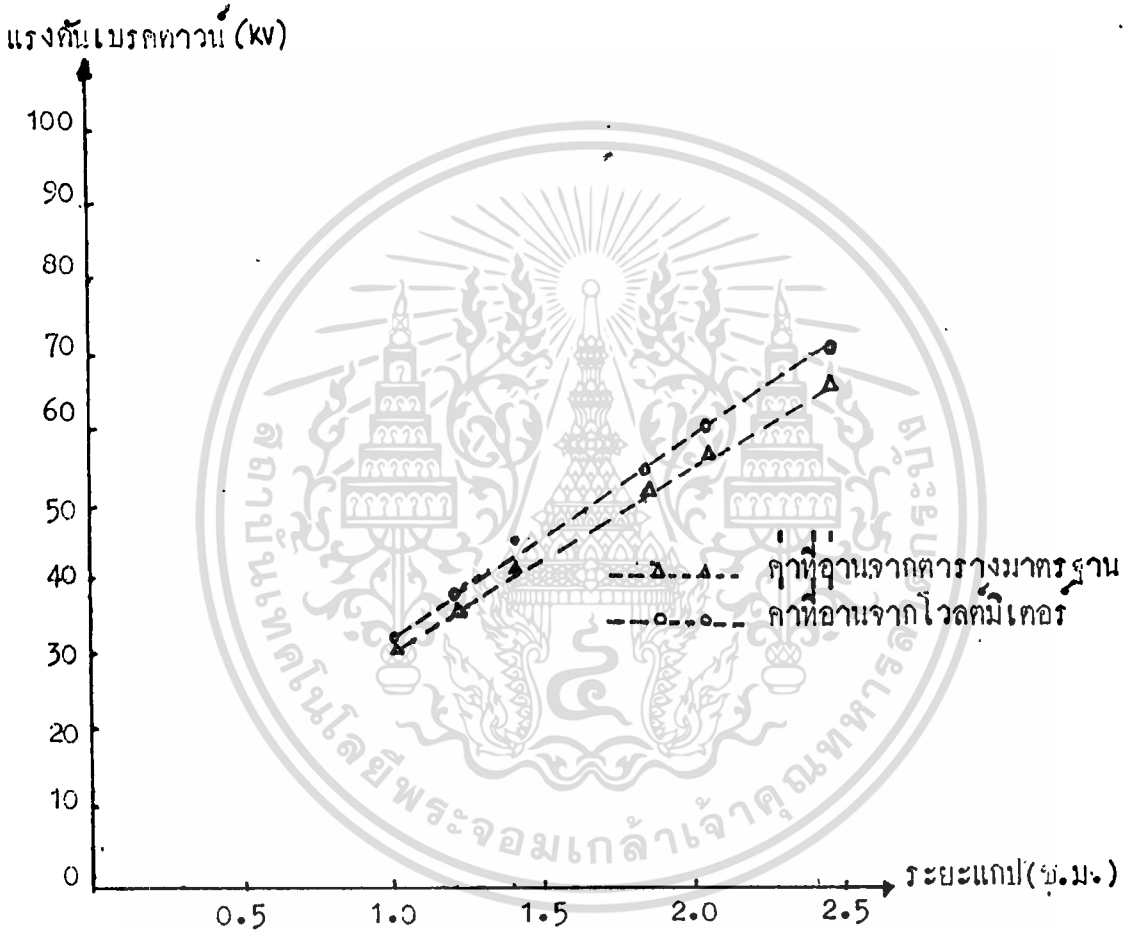
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลอง

จากการทดลอง โดยการทำการทดสอบกับอิเล็กทรอนิกส์ทรงวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร จะได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางผลการทดลอง แสดงผลการวัดแรงดันเบรคควานในอากาศที่ระยะแก๊วต่างๆ

ระยะ แก๊ว(ซ.ม.)	แรงดันเบรคควาน(กิโลโวลต)6การทดลอง						ตรงกัน เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	
1.0	33	32	32	33	32	33	32.5
1.2	38	39	38	39	38	40	38.66
1.4	44	43	43	44	45	45	44
1.8	55	56	56	55	55	55	55.33
2.0	60	59	60	60	59	60	59.66
2.4	71	71	72	69	70	70	70.5



กราฟแสดงแรงดันเบรคทาวนเฉลี่ยค่าออกกระแสลัม50 เซียห์ซ ในอากาศในเทอม ระยะแกว d ของอิเล็กโตรคแบบทรงกลม-ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซ.ม.

5.6 สรุปการทดลอง

จากตารางแสดงเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรออกของเคอร์เร็นท์ทริปรีเลย์ จะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในการตัดวงจรออกเมื่อเกิดการเบรคควาน์จะอยู่ภายในเวลา 0.01 วินาที ยิ่งค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณหาค่าของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงมีค่ามากขึ้น เวลาที่ใช้ตัดวงจร ยิ่งมีค่าน้อยลง เช่นที่ค่ากระแสลัดวงจร 20 แอมแปร์ เวลาที่ใช้ตัดมีค่า 0.01847 วินาที และที่ค่ากระแสลัดวงจร 25 แอมแปร์ เวลาที่ใช้ตัดมีค่า 0.01386 วินาที แสดงว่าเคอร์เร็นท์ทริปรีเลย์ทำงานได้ที และหน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบสามารถนำไปใช้งานได้ที และผลการทดลองยังได้แสดงถึงค่าแรงดันเบรคควาน์ของน้ำมันหม้อแปลงที่วัดได้ โดยโวลต์มิเตอร์ที่อยู่ในหน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบอีกด้วย



5.7 วิจารณ์

จะเห็นว่าหน่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทดสอบนี้ สามารถทำงานได้ถูกต้อง และ เคอร์เรนทร์ปริมาตรสามารถตัดคอนวจรออกเมื่อเกิดการเบรคควาน์ไท้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงสามารถนำหน่วยควบคุมแรงดันทดสอบนี้ไปใช้ควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าแรงดันเบรคควาน์ของฉนวนน้ำมันซึ่งเป็นการทดลองหนึ่งของ นักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ชั้นปีที่ 3 ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบังได้ เป็นอย่างดี



กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์สมเจตน์ เทียมเมือง เป็นอย่างสูง ที่ท่าน
ได้คอยให้คำปรึกษาแนะนำ คอยให้กำลังใจตั้งแต่เริ่ม และช่วยแก้ปัญหาต่างๆมา
โดยตลอดจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้

และขอขอบคุณบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้เอ่ยถึง แต่ได้ช่วยเหลือทั้งทางตรง
และทางอ้อมมา ณ ที่นี้ด้วย



ผนวก ก

วิธีการวัดค่าความคงต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนน้ำมัน

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
affiliée à l'Organisation internationale de Normalisation - (ISO)
RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
affiliated to the International Organization of Standardization - (ISO)
I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 156
première édition - première édition
1963

Méthode pour la détermination de la rigidité électrique des huiles isolantes

Method for the determination of the electric strength of insulating oils



Droits de reproduction réservés - Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE
ELECTRIC STRENGTH OF INSULATING OILS

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 National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This recommendation was prepared by Technical Committee No. 10, Insulating Oils.

A first draft was circulated in 1961, and, as a result of the meeting held at Interlaken in June 1961, a proposal was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1962.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Bulgaria	Poland
Czechoslovakia	Portugal
Denmark	Romania
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United States of America

METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE ELECTRIC STRENGTH OF INSULATING OILS

1. Introduction

Electric strength is not a criterion of insulating oil manufacturing quality, but a conventional test intended to reveal the extent of physical pollution by water and other suspended matter, and the advisability of carrying out drying and filtration treatment before the oils are introduced into the apparatus for which they are intended.

The measured value of the electric strength depends essentially on the apparatus and procedure used.

Although in principle the technical problem concerning the assessment of electric strength is the same for new oils, treated oils and used oils, it would seem that this test should be standardized merely for the purpose of international transactions in new oils intended for electrotechnical uses, transactions in which a common denominator is desired. Each National Committee can standardize, in its own country, a special different method for the control of used oils.

The test described below consists in subjecting the oil, contained in a specified apparatus, to an a.c. electric field with a continuously increasing rate of voltage rise, till the oil breaks down.

2. General

The test is, in principle, the same for all classes of oil (for transformers, for oil-filled cables, for circuit-breakers, for capacitors), whether new or used. It is mainly intended for the acceptance of new oils at the time of their delivery; its application is restricted to oils having a viscosity of not more than 50 centistokes at 20°C.

3. Sampling

As the electric strength is exceptionally sensitive to the slightest contamination of the sample, the importance of careful sampling, with special reference to possible absorption of humidity, cannot be too strongly emphasized. Samples of insulating oil for electric strength tests are only drawn by or under the immediate supervision of persons of judgement, skill and experience in the handling of insulating oils.

The oil is sampled at the place where it is considered to be most polluted, for example, at the lowest point of the receptacle holding it.

4. Condition of the oil

The test is carried out on the oil as received, without drying or degassing.

5. Test cell

The cell, made of glass or plastic, is transparent, with an effective volume between 300 and 500 ml. It is preferably closed.

Two types of cell are illustrated, see Figures 1 and 2 page 15.

6. Electrodes

The copper, brass, bronze or stainless steel polished electrodes are either spherical (12.5 mm to 13.0 mm diameter) as given in Figure 1 or spherical surfaced of the shape and dimensions given in Figure 2. The electrodes are mounted on a horizontal axis and are 2.5 mm apart.

The gap between them is set to an accuracy of ± 0.1 mm by means of thickness gauges. The axis of the electrodes is immersed to a depth of approximately 40 mm.

Electrodes are replaced as soon as pitting caused by discharges is observed.

7. Preparation of the cell

When it is not in use, it is recommended to store the apparatus full of dry oil in a clean dry place, protected from dust.

If it has not been used for some time, it is thoroughly cleaned, the electrodes are removed, cleaned and finally rinsed with dry clean new oil. Replacement of the electrodes is carried out with the greatest care, avoiding all direct contact with the fingers.

Immediately before use, the cell is cleaned by rinsing with the test oil (several times, if possible) before proceeding to the final filling under the conditions laid down in Clause 7.

8. Preparation of the sample

The vessel containing the test oil is gently agitated and turned over several times in such a way as to ensure as far as possible a homogeneous distribution of the impurities contained in the oil without causing the formation of air bubbles.

Immediately after this, the sample is poured down into the test cell, slowly in order to avoid air bubbles forming (e.g. by means of a clean, dry glass rod). The operation is carried out in a dry place free from dust.

The oil temperature at the time of the test shall be the same as that of the ambient air, preferably in the neighbourhood of 20°C (15 to 25°C), and noted.

9. Test method

The test consists in applying to the electrodes an increasing a.c. voltage of frequency 40 to 62 Hz (50), the rate of increase of the voltage being regular and equal to 2 kV/s, starting from zero up to the value producing breakdown.

The circuit is opened manually if a transient spark (audible or visible) occurs between the electrodes or automatically if an established arc occurs.

In the latter case the automatic switch shall break the voltage within 0.02 s.

The breakdown voltage is the voltage reached during the test at the time the first spark occurs between electrodes, whether it be transient or established.

The test shall be carried out six times on the same cell filling.

The first application of the voltage is made as quickly as possible after the cell has been filled, provided there are no longer any air bubbles in the oil, and at the latest ten minutes after filling. After each breakdown, the oil is gently stirred between the electrodes by means of a clean, dry glass rod, avoiding as far as possible the production of air bubbles. For the five subsequent tests, the voltage is re-applied one minute after the disappearance of any air bubbles that may have been formed. If the observation of the disappearance of air bubbles is not possible, it is necessary to wait five minutes before a new breakdown test is started.

The electric strength is the arithmetic mean of the six results which have been obtained.

10. Electrical apparatus

The characteristics of the electrical apparatus shall comply with the following requirements

10.1 Transformer

The test voltage may be obtained by using a step-up transformer supplied from an a.c. (40 to 62 Hz (c/s)) low-voltage source. The primary voltage is gradually increased, either manually or by an automatic control device.

The voltage applied to the electrodes of the oil-filled cell has an approximately sinusoidal waveform, such that the peak factor is within the following limits: 1.34 (i.e. $\sqrt{2} - 5\%$) and 1.48 (i.e. $\sqrt{2} + 5\%$).

The transformer and associated equipment are designed to produce a minimum short-circuit current of 20 mA for voltages higher than 15 kV.

10.2 Protective gear

The test is carried out so as to prevent high-frequency oscillations as far as possible.

To protect the equipment and to avoid decomposition of the oil at the instant of breakdown, a resistance limiting the breakdown current may be inserted in series with the test cell.

The primary circuit of the high-voltage transformer is fitted with a circuit-breaker operated by the current flowing following the breakdown of the sample, and with a delay not more than 0.02 s. The circuit-breaker is fitted with a no-voltage release coil to protect the equipment.

10.3 Voltage regulation

Voltage regulation may be ensured by one of the following methods:

- a) Variable-ratio auto-transformer;
- b) Resistance type voltage divider;
- c) Generator-field regulation;
- d) Induction regulator.

Preference is given to an automatic system for increasing the voltage, because it is difficult to obtain manually a reasonably uniform rate of voltage rise as a function of time.

10.4 Measurement of test voltage

For the purpose of this document, the magnitude of the test voltage is defined as its peak value divided by $\sqrt{2}$.

This voltage may be measured by means of a peak-voltmeter or by means of another type of voltmeter connected to the input or output side of the testing transformer, or to a special winding provided thereon; the instrument then used must be calibrated against a sphere-gap up to the full voltage which it is desired to measure.

The ratio of the voltage derived from the sphere-gap to the voltage indicated on the auxiliary instrument may be dependent upon the presence of the test cell or of the sphere-gap and it is important that the test cell (or an equivalent load) should be in the circuit during the calibration.

The sphere-gap may be disconnected during the actual test if its presence is known to have a negligible influence on the voltage ratio.

11. Results

The report shows, expressed in kilovolts, the breakdown voltages obtained during all the tests which have been carried out, and the average of the results.

The report shall mention the type of electrodes used, the frequency of the test voltage and the oil temperature.

ผนวก ข

การวัดแรงดันสูงด้วยช่องว่างทรงกลม

ปฏิบัติตามมาตรฐาน IEC Pub1.53

ตามมาตรฐานสากล IEC No.52 จะกำหนดค่าแรงดันเบรคความของอากาศระหว่างทรงกลม
ไว้ที่สภาวะมาตรฐานคือ ความดันอากาศ 760 มม.ปรอทและอุณหภูมิ 20°ซ จนั้นแรงดันเบรคความที่วัดได้
ที่ความดันใด อุณหภูมิใดเมื่อจะเทียบกับค่ามาตรฐาน จะต้องแปลงค่าที่วัดได้ไปเป็นค่าที่สภาวะมาตรฐาน คือ

$$U_{bn} = \frac{U_b}{K_d}$$

เมื่อ U_{bn} เป็น ค่ามาตรฐาน คือสภาวะมาตรฐานกราฟ
 U_b เป็น ค่าที่วัดได้ที่อุณหภูมิและความดันห้อง
 K_d เป็น ตัวประกอบแปลงผันความหนาแน่นของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ของ
 อากาศ δ ที่กำหนดได้จากสมการ

$$\delta = \frac{P}{760} \cdot \frac{273+20}{273+t} = 0.386 \left(\frac{P}{273+t} \right)$$

โดยที่ P เป็น ความดันของอากาศอ่านจากบาโรมิเตอร์เป็น มม. ปรอท
 t เป็น อุณหภูมิของห้องในขณะที่วัดได้เป็น °ซ
 K_d จะเท่ากับ δ เมื่อ δ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 1.05

ตารางผลการทดลอง

อิเล็กโตรดที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม.

สภาวะแวดล้อมขณะทำการทดลอง :

ความดัน	760.73	มม.ปรอท
อุณหภูมิ	31	°ซ
ความชื้น	76	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปลงผันความหนาแน่นของอากาศ K_d

$$\delta = 0.386 \left(\frac{760.73}{273+31} \right) = 0.9659$$

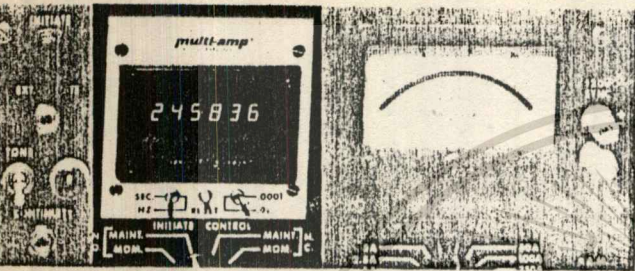
ดังนั้น $K_d = 0.9659$

ระยะแกป (ซม)	แรงดันเบรคความยาวออก \bar{U}_b (kV) 6 ครั้ง						คาเฉลี่ย μ (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1.0	29.7	29.7	30.4	29.7	31.1	31.1	30.28
1.2	35.4	36.1	35.4	36.8	35.4	36.9	35.96
1.4	41	41	39.6	41	39.6	41	40.53
1.5	42.4	43.8	42.4	42.4	43.8	43.8	43.1
1.6	45.3	45.9	45.9	46.7	45.9	45.3	45.83
1.8	51.6	52.3	51.6	50.9	50.9	50.9	51.37
2.0	56.6	55.2	56.6	56.6	55.2	55.2	55.9
2.2	60.8	60.8	60.8	60.8	60.8	60.8	60.8
2.4	67.2	67.2	66.5	65	76.2	66.5	66.93
2.6	72.1	72.1	70.7	70.7	72.1	70.7	71.32
2.8	75.7	75	75.4	76.4	76.4	76.4	76.02
3.0	80.6	80.6	79.9	79.2	79.2	79.2	79.9
3.5	92.6	93.3	93.3	92.6	93.3	94.8	93.32
4.0	106.1	106.1	104.7	104.7	106.1	104.7	105.4
4.5	117.4	115.9	118.8	117.4	117.4	118.8	117.62
5.0	130.1	128.1	130.1	128.7	130.1	130.1	129.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาเวลาในการตัดวงจร

Solid-State Digital Timer



A specially designed Multi-Amp® solid-state digital timer is incorporated to measure the elapsed time of the test in either seconds or cycles. It has extensive shielding and noise suppression circuitry to ensure accurate and reliable operation under the most demanding field conditions. Incorporating a crystal-controlled oscillator, accuracy of the timer is independent of the power line frequency. The readout display appears as continuous, solid, unbroken digits with no gaps between the segments to impair readability. The high brightness to contrast ratio of the display ensures excellent readability even in high ambient light conditions, including direct sunlight. The flat, planar design of the display allows a full 130° viewing angle without distortion.

Display: .375-inch (9.53 mm) flat, planar characters using high intensity, gas-discharge technology.

Ranges (switch-selected):

- (a) 0-99.9999 seconds
- (b) 0-9999.99 seconds
- (c) 0-99999.9 cycles

Accuracy:

Seconds Mode: ± least significant digit or 0.0025% of reading, whichever is greater.

Cycles Mode: ±0.5 cycle

Protection

Input and outputs are protected from short-circuits and prolonged overloads.

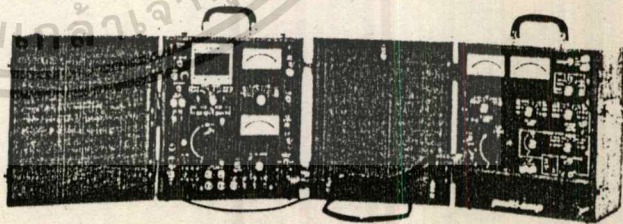
Test Leads

The following extra-flexible test leads with appropriate terminals are provided:

- Two (2) pair high current test cables
- Two (2) pair potential test leads
- Two (2) pair continuity test leads
- One (1) pair high-voltage test leads
- One (1) pair light test leads with telephone-type plug

Enclosure

The test set is housed in two rugged, heavy-duty formica cases each equipped with carrying handles and removable, hinged covers which protect instruments and controls during transportation and storage. A single, multiple conductor cable with keyed connectors is provided to interconnect the two sections. The Control Section incorporates the main ac outputs (No. 1-5), the dc current output (No. 8), the digital timer, the main ac ammeter, the dc ammeter and the primary control circuitry and, therefore, can be used independently for complete testing of over-current or other similar relays.



Dimensions (each section):

17"H x 14"W x 11"D
(432 x 356 x 280 mm)

Net Weight:

76 lbs. (34.5 kg) and 60 lbs. (27.2 kg.)

หนังสืออ้างอิง

1. Dieter Kind " High - Voltage Experimental Technique " Wiley Eastern Limited , 1979
2. E.Kuffel and M. Abdullah. " High Voltage Engineering " Pergamon Press, 1970
3. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. " IEEE Standard Techniques for High - Voltage Testing " 6 th Edition, Wiley - Interscience, 1978.
4. International Electrotechnical Commission (IEC) Publication 156, first edition, 1963 " Method for the Determination of the Electric Strength of Insulating Oils "
5. ดร. สำราญ สังข์สะอาด "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. สุวัฒน์ วงศ์สวรรค์, สุบิน พงศ์พันธ์มีสุข, อรรถพร ชันติวัฒน์กุล". High Voltage Measurement " วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2526
7. สมเกียรติ คุณเผือก "การศึกษาความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้าของน้ำมันพีชค้ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ" วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2528