# การบำรุงรักษาและทดสอบระบบไฟฟ้าหลัก

ผศ.ดร.สำเริง ฮินท่าไม้

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ศรีปทุม

samroeng.hi@spu.ac.th

## เนื้อหา

- ทำไมต้องบำรุงรักษาและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า
- การเสื่อมสภาพและความเสียหายของฉนวน
- การทดสอบฉนวน
- การวิเคราะห์ก๊าซผิดพร่องในน้ำมันหม้อแปลง

## HEALTHY 90 YEAR OLD



## HEALTHY ?

- วัดไข้และวัดความดัน (Temperature and Blood Pressure)
- ตรวจเลือด (Blood Tests)
- ตรวจปัสสาวะ (Urinalysis)
- อัลตราซาวด์ (Ultrasound)
- MRI
- สอบถามประวัติของคนในครอบครัว (Family Health History)
- การใช้ชีวิต, สภาพแวดล้อม, ความเครียด (Life Style, Environment, Stress)

## HEALTHY TRANSFORMER AND GENERATOR?


5

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้

การบำรุงรักษาและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

## SIMILAR METHODOLOGY

| **Healthy Person ?** | **Healthy Electrical equipment ?** |
|---|---|
| Blood Tests, Urinalysis, Temperature | DGA, Power Factor, %Moisture Insulation |
| Family History | Equipment Design<br>History |
| Stress, Environment, Workplace, Lifestyle | Load Profile, Location of equipment |
| Type of Care | Maintenance Program (TBM, CBM, RCM) |

6

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้

การบำรุงรักษาและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

## ELECTRICAL EQUIPMENT DIAGNOSTICS

| Review Patients History | Review History of Equipment |
|---|---|
| ❑ Family History of | ❑ Maintenance History |
| – High Blood Pressure and Heart Disease | ❑ Operational History |
| – High Cholesterol, Cancer Risks, etc. | ❑ Service Advisories |
| | ❑ Factory Tests |
| | ❑ Site Inspections |
| | ❑ Routine Tests |



# ฉนวนและการเสื่อมสภาพของฉนวน

## ไดอิเล็กตริก หรือ ฉนวน

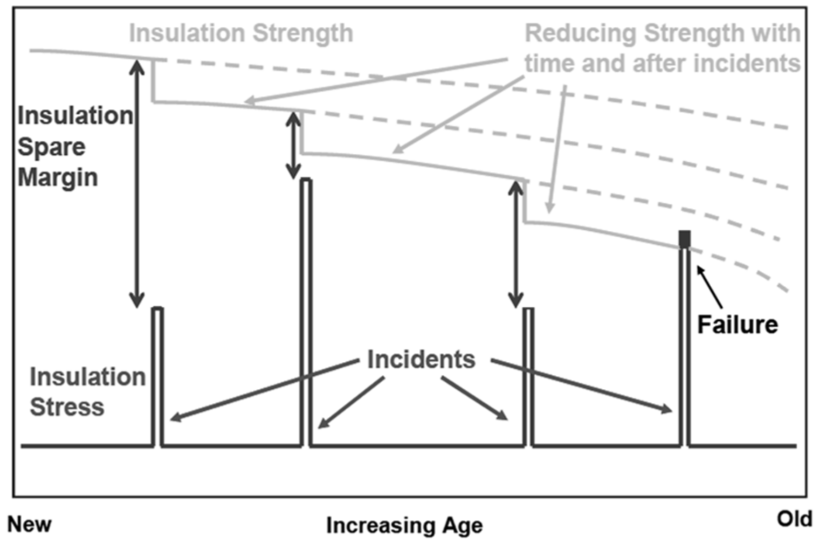
- คือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการกีดกั้นหรือขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า ไม่สามารถไหลผ่านได้
- ฉนวนที่ดีจะต้องสามารถป้องกันตัวนำไฟฟ้าจาก
  - ความร้อนหรือของเหลวที่สามารถกัดกร่อนตัวนำไฟฟ้า
  - และสามารถกันน้ำได้ดี ฉนวนที่ใช้หุ้มตัวนำไฟฟ้าต้องมีความต้านทานสูง ต้องไม่ถูกกรดหรือด่างกัดกร่อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 0 ถึง 200 องศาฟาเรนไฮต์
  - และต้องไม่ดูดความชื้นในอากาศ



## INSULATION CLASS TEMPERATURE RATING

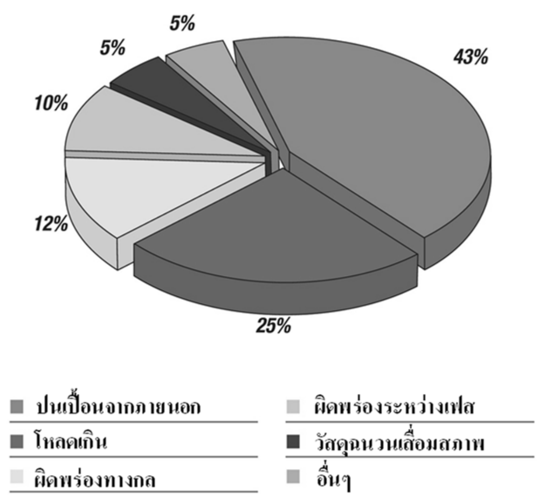
| Temperature Tolerance Class | Maximum Operation Temperature Allowed | |
|---|---|---|
| | $^{o}$C | $^{o}$F |
| Y | 90 | 194 |
| A | 105 | 221 |
| E | 120 | 248 |
| B | 130 | 266 |
| F | 155 | 311 |
| H | 180 | 356 |
| C | > 180 | 356 |

## CIGRE – GENERAL AGING AND FAILURE MODEL




11

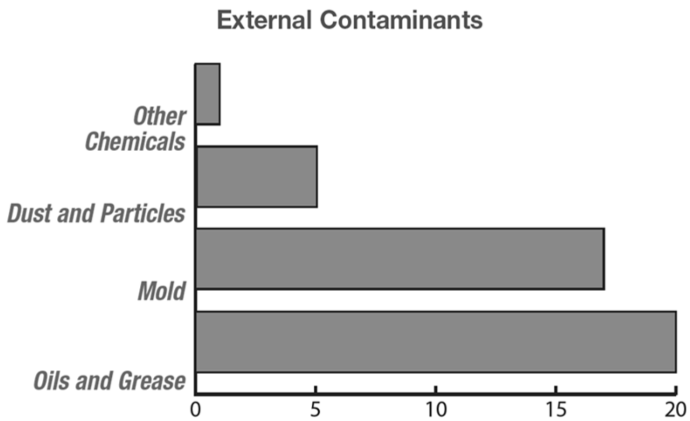
## สาเหตุการเสื่อมสภาพและความเสียหายของฉนวน




ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้

12

# สิ่งปนเปื้อนจากภายนอก

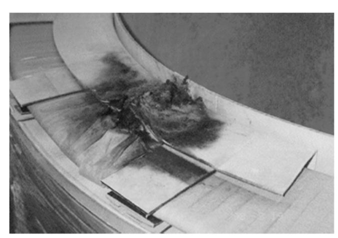


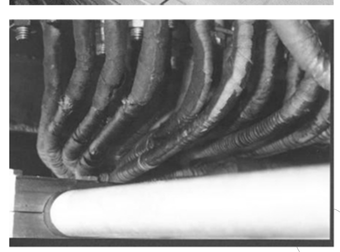



# สาเหตุการเสื่อมสภาพและความเสียหายของฉนวน

- ความเครียดทางไฟฟ้า (Electrical Stresses)
- ผลจากทางกล (Mechanical Stress)
- จากผลทางเคมี (Chemical Stresses)
- จากผลความร้อน (Thermal Stresses)
- การปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

(Environmental Contamination)





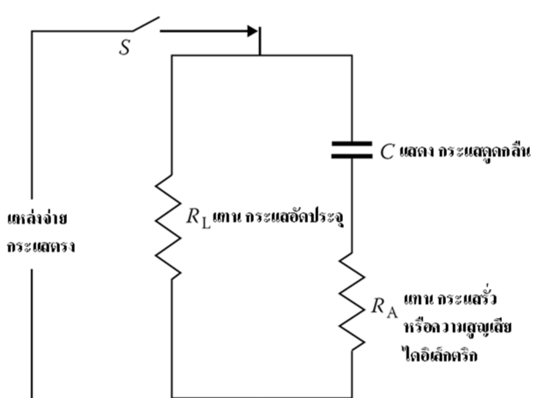
# การทดสอบฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรง

15



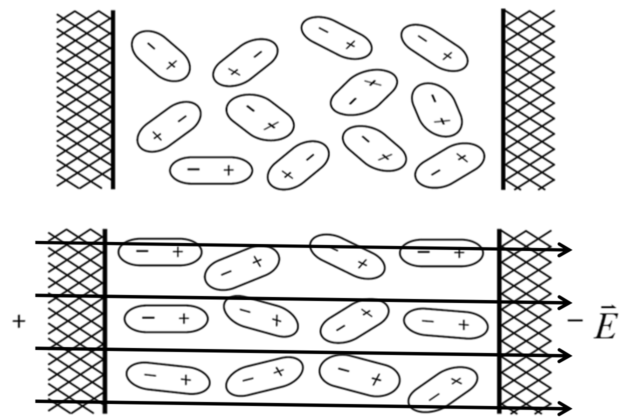
# การทดสอบฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรง

- วงจรไฟฟ้าของฉนวน ภายใต้การทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรง




16

# การทดสอบฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรง

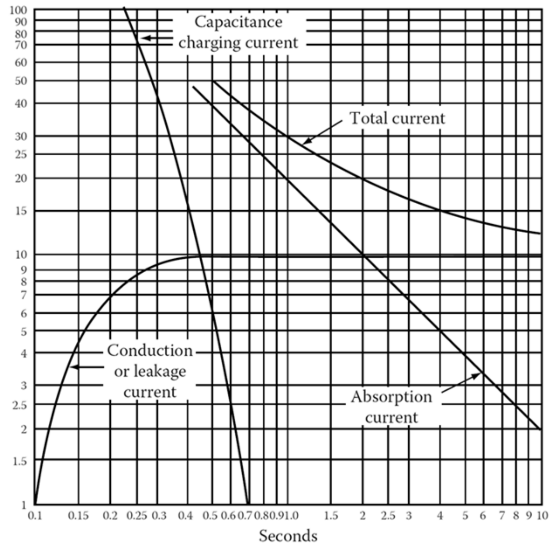





# การทดสอบฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรง

- กระแสไหลผ่านฉนวน สามารถแบ่งออกได้หลายองค์ประกอบด้วย
  - Capacitance charging current
  - Dielectric absorption current
  - Partial discharge current(corona)
  - Volumetric leakage current

## DIELECTRIC PHENOMENA AND POLARIZATION






## การทดสอบฉนวน ด้วยแรงดันกระแสตรง

- การทดสอบฉนวน ด้วยแรงดันกระแสตรง (DC voltage testing)
  - การทดสอบความต้านทานฉนวน(Insulation resistance testing)
  - High-potential (Hi-pot) voltage testing

## การทดสอบฉนวน ด้วยแรงดันกระแสตรง

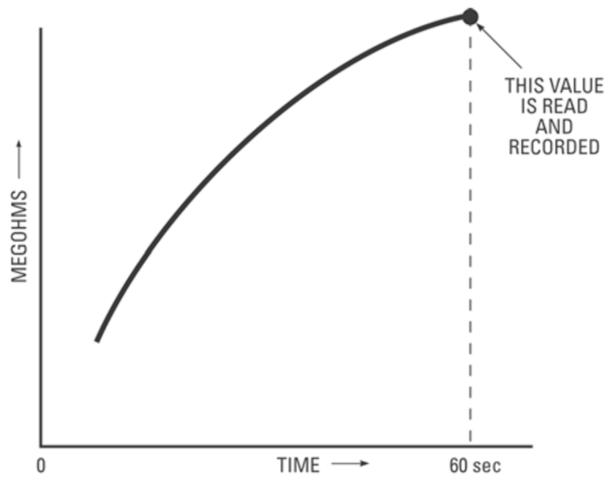
- เป็นการทดสอบเพื่อหา
  - การมีอยู่ของสิ่งปนเปื้อน(Contamination) หรือ
  - การเสื่อมสภาพของฉนวน (Degradation)
- ผลกระทบที่มีต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ ได้แก่
  - ผลของอุณหภูมิ
  - ความชื้น (Humidity)
  - External leakage จากความสกปรกของ Insulator และ Bushing ในระหว่างการทดสอบ



## การทดสอบฉนวน ด้วยแรงดันกระแสตรง

- สามารถแบ่งออกเป็น
  - Short-time Reading
  - Time-Resistance Reading (Dielectric Absorption Ratio (DAR) Test)
  - Polarization Index (PI) Test
  - Step-Voltage Reading

## SHORT-TIME READING






## TEMPERATURE CORRECTING FACTORS

| Temperature | | Rotating Equip. Class | | Transformers | |
|---|---|---|---|---|---|
| °C | °F | A | B | Oil-Filled | Dry Type |
| 0 | 32 | 0.21 | 0.40 | 0.25 | 0.40 |
| 5 | 41 | 0.31 | 0.50 | 0.36 | 0.45 |
| 10 | 50 | 0.45 | 0.63 | 0.50 | 0.50 |
| 15.6 | 60 | 0.71 | 0.81 | 0.74 | 0.75 |
| 20 | 68 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 25 | 77 | 1.48 | 1.25 | 1.40 | 1.30 |
| 30 | 86 | 2.20 | 1.58 | 1.98 | 1.60 |
| 35 | 95 | 3.24 | 2.00 | 2.80 | 2.05 |
| 40 | 104 | 4.80 | 2.50 | 3.95 | 2.50 |
| 45 | 113 | 7.10 | 3.15 | 5.60 | 3.25 |
| 50 | 122 | 10.45 | 3.98 | 7.85 | 4.00 |
| 55 | 131 | 15.50 | 5.00 | 11.20 | 5.20 |
| 60 | 140 | 22.80 | 6.30 | 15.85 | 6.40 |
| 65 | 149 | 34.00 | 7.90 | 22.40 | 8.70 |
| 70 | 158 | 50.00 | 10.00 | 31.75 | 10.00 |
| 75 | 167 | 74.00 | 12.60 | 44.70 | 13.00 |

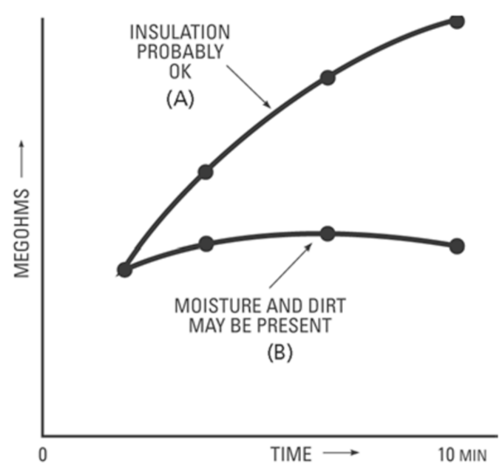
## Dielectric Absorption Ratio (DAR) Test

- ฉนวนที่ดี ค่าความต้านทานควรจะมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่มีการจ่ายแรงดันเข้าไป
  - นั่นหมายถึง ฉนวนที่ดี Absorption Current จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
- การทดสอบ Dielectric Absorption Method จะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและขนาดของอุปกรณ์
- อัตราส่วนของ Dielectric Absorption แสดงถึงสภาพของฉนวน ได้ดังนี้

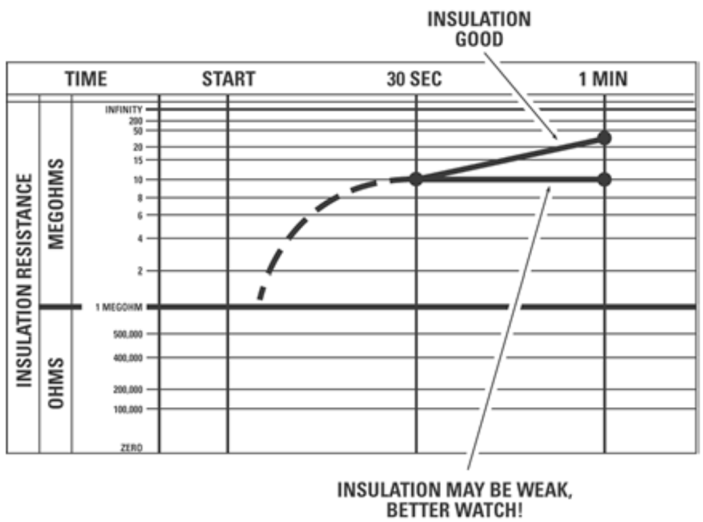
$$\mathrm{DAR} = \frac{\text{Resistance Reading at } 60\,\mathrm{s}}{\text{Resistance Reading at } 30\,\mathrm{s}}$$



## TIME-RESISTANCE TEST



## TIME-RESISTANCE OR DOUBLE-READING TEST






## PI TEST

- เป็นการทดสอบ Dielectric Absorption Test อย่างหนึ่ง

$$PI = \frac{IR_{\text{at 10 min}}}{IR_{\text{at 1 min}}}$$

| สภาพ | 60/30- Second Ratio | Polarization Index (PI) (IEEE C57.125 – 1991) |
|---|---|---|
| อันตราย | - | < 1.0 |
| เลว | - | 1.0 – 1.1 |
| น่าสงสัย | 1.0 – 1.25 | 1.1 – 1.25 |
| พอใช้ | 1.0 – 1.25 | 1.25 – 2.0 |
| ดี | > 1.4 | > 2.0 |

**Power Transformer**

Company - S.D. Myers, Inc.
Location - Tallmadge, OH

Test No. 1

Equipment - **3 Phase Transformer** Rating - **50 MVA** Voltage - **69/13.8 kV**
Type - **FOA** Mfr. - **GE** Winding Age - **1956**

State if Transformer is Oil-Filled and of the Conservator, Free-Breathing or Gas-Filled Type **Conservator**

If of the Free-Breathing Type, describe the Breather Arrangement and Dehydrating Medium Used

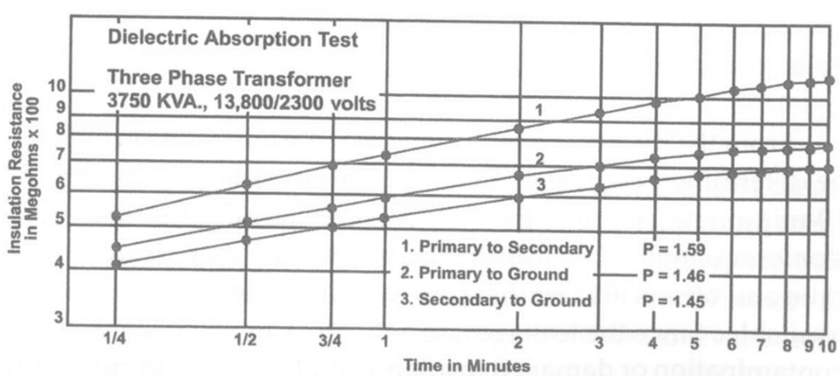
**Test Data - Megohms** CF = 1.98 Top Oil Temp 30°C

| Test Voltage | 2500 VDC | 2500 VDC | 2500 VDC |
|---|---|---|---|
| Test Connections | PRI GND To Line To Earth | PRI SEC To Line To Earth | SEC GND To Line To Earth |
| 1/4 min | 450 | 525 | 400 |
| 1/2 min | 475 | 625 | 425 |
| 3/4 min | 500 | 700 | 450 |
| 1 min | 550 | 725 | 480 |
| 2 min | 650 | 850 | 600 |
| 3 min | 700 | 925 | 625 |
| 4 min | 725 | 975 | 650 |
| 5 min | 750 | 1000 | 660 |
| 6 min | 775 | 1050 | 670 |
| 7 min | 775 | 1100 | 680 |
| 8 min | 790 | 1125 | 690 |
| 9 min | 790 | 1150 | 700 |
| 10 min | 800 | 1150 | 700 |
| 10/1 min ratio | 1.46 | 1.59 | 1.45 |

Remarks: Step Voltage Test @ 500 VDC for 1 min = 400M ohms/SEC
Step Voltage Test @ 500 VDC for 1 min = 500M ohms/PRI



# POLARIZATION INDEX (PI)



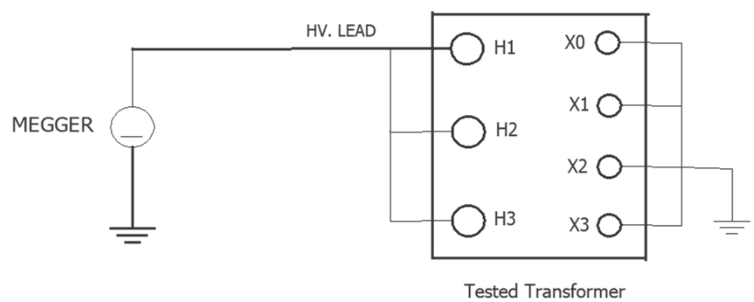
## STEP-VOLTAGE READING (DC VOLTAGE TIP-UP TEST)

- เป็นการทดสอบด้วยการเพิ่มแรงดัน จ่ายเข้าไปที่ฉนวนทดสอบ พิจารณาค่าความต้านทาน
- สามารถตรวจหา ความชื้น, ความสกปรก และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายในฉนวน



# การทดสอบความต้านทานของฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า

## การวัดความต้านทานของฉนวนกระแสตรง




วงจรวัดค่าความต้านทานฉนวน



## การวัดความต้านทานของฉนวนกระแสตรง

- ในกรณีที่ไม่มีค่าตัดสินใจ ให้ใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$IR = \frac{CE}{\sqrt{KVA}}$$

เมื่อ

KVA = KVA ของขดลวดชุดที่วัด

R = ค่าความต้านทานของฉนวนที่ 20°C

หรือ = kV+1 สำหรับขนาดที่ต่ำกว่า 100 KVA

ทดสอบโดยไม่ Guard

C = 0.8 สำหรับที่มีน้ำมัน ที่ 20°C หรือ

= 16.0 Dry, Compound filled, or Untank Oil Filled

E = แรงดันที่กำหนดของขดลวด

## การวัดความต้านทานฉนวนกระแสตรง

ทดสอบโดยมี Guard

C = 1.5 สำหรับที่มีน้ำมัน ที่ 20°C หรือ

= 30 Dry, Compound filled, or Untank Oil Filled

E = แรงดันที่กำหนดของขดลวด ต้องสังเกตุด้วยว่าเป็น เดลต้า หรือ สตาร์

35

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

## POLARIZATION INDEX (PI)

- ค่า Polarization Index (PI) คือ ค่าอัตราส่วนความต้านทานฉนวนที่นาทีที่ 10 ต่อนาทีที่ 1

$$PI = \frac{R_{at10\min}}{R_{at1\min}}$$

- ค่า PI สำหรับตัดสินสภาพของหม้อแปลง พิจารณาได้จากตารางดัง นี้ (IEEE C57.125-1991)

| สภาพ | PI |
|---|---|
| อันตราย | น้อยกว่า 1.0 |
| เลว | 1.0 - 1.1 |
| น่าสงสัย | 1.1 - 1.25 |
| พอใช้ | 1.25 - 2.0 |
| ดี | มากกว่า 2.0 |

36

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

4.2.2 ตารางค่าตัวประกอบแก้ไขสำหรับการวัดค่าความต้านทานฉนวนกระแสตรง

TABLE 2

MEGGER INSULATION RESISTANCE TEMPERATURE

CONVERSION FACTORS FOR OIL FILLED TRANSFORMERS

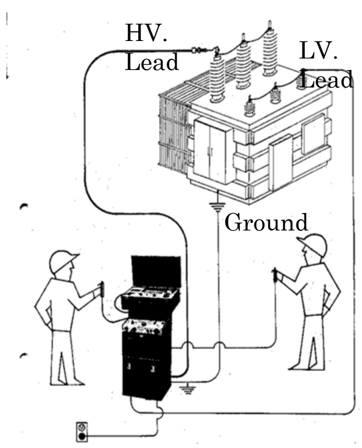
FOR CONVERTING TO 20 °C

| TEST TEMP °C | MULTIPLY BY | TEST TEMP °C | MULTIPLY BY | TEST TEMP °C | MULTIPLY BY |
|---|---|---|---|---|---|
| -20 | 0.063 | 21 | 1.072 | 61 | 17.14 |
| -19 | 0.067 | 22 | 1.149 | 62 | 18.38 |
| -18 | 0.072 | 23 | 1.231 | 63 | 19.70 |
| -17 | 0.077 | 24 | 1.320 | 64 | 21.11 |
| -16 | 0.082 | 25 | 1.414 | 65 | 22.63 |
| -15 | 0.088 | 26 | 1.516 | 66 | 24.25 |
| -14 | 0.095 | 27 | 1.625 | 67 | 25.99 |
| -13 | 0.102 | 28 | 1.741 | 68 | 27.86 |
| -12 | 0.109 | 29 | 1.866 | 69 | 29.86 |
| -11 | 0.117 | 30 | 2.000 | 70 | 32.00 |
| -10 | 0.125 | 31 | 2.144 | 71 | 34.30 |
| -9 | 0.134 | 32 | 2.297 | 72 | 36.76 |
| -8 | 0.144 | 33 | 2.462 | 73 | 39.40 |
| -7 | 0.154 | 34 | 2.639 | 74 | 42.22 |
| -6 | 0.165 | 35 | 2.828 | 75 | 45.25 |
| -5 | 0.177 | 36 | 3.031 | 76 | 48.50 |
| -4 | 0.189 | 37 | 3.249 | 77 | 51.98 |
| -3 | 0.203 | 38 | 3.482 | 78 | 55.72 |
| -2 | 0.218 | 39 | 3.732 | 79 | 59.71 |
| -1 | 0.233 | 40 | 4.000 | 80 | 64.00 |
| 0 | 0.250 | 41 | 4.287 | 81 | 68.59 |
| 1 | 0.268 | 42 | 4.595 | 82 | 73.52 |
| 2 | 0.287 | 43 | 4.925 | 83 | 78.79 |
| 3 | 0.308 | 44 | 5.278 | 84 | 84.45 |
| 4 | 0.330 | 45 | 5.657 | 85 | 90.51 |
| 5 | 0.354 | 46 | 6.063 | 86 | 97.01 |
| 6 | 0.379 | 47 | 6.498 | 87 | 104.00 |
| 7 | 0.406 | 48 | 6.964 | 88 | 111.40 |
| 8 | 0.435 | 49 | 7.464 | 89 | 119.40 |
| 9 | 0.467 | 50 | 8.000 | 90 | 128.00 |
| 10 | 0.500 | 51 | 8.574 | 91 | 137.20 |
| 11 | 0.536 | 52 | 9.190 | 92 | 147.00 |
| 12 | 0.574 | 53 | 9.849 | 93 | 157.60 |
| 13 | 0.616 | 54 | 10.560 | 94 | 168.90 |
| 14 | 0.660 | 55 | 11.310 | 95 | 181.00 |
| 15 | 0.707 | 56 | 12.130 | 96 | 194.00 |
| 16 | 0.758 | 57 | 13.000 | 97 | 207.90 |
| 17 | 0.812 | 58 | 13.930 | 98 | 222.90 |
| 18 | 0.871 | 59 | 14.930 | 99 | 238.90 |
| 19 | 0.933 | 60 | 16.000 | 100 | 256.00 |
| 20 | 1.000 | | | | |



# การวัดความสูญเสียของฉนวน

- Dielectric Loss Measurement หรือ Insulation Power - Factor




## การวัดความสูญเสียของฉนวน (ต่อ)

- ถ้าค่า PI อยู่ในสภาพเลว ไม่ต้องทดสอบค่าความสูญเสียและ %PF
- ถ้าค่า PI มีค่าระหว่าง 1.1 - 1.15 ให้ทดสอบค่าความสูญเสียและ %PF ที่แรงดัน 2.5 kV. ก่อน
- บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำมัน อากาศ และความชื้นสัมพัทธ์
- ในกรณีที่ต้องการเทียบค่า กับค่าทดสอบจากโรงงานซึ่งมีการทดสอบนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ ให้ทำการทดสอบให้สอดคล้องกับวิธีการทดสอบของโรงงาน

39



## การวัดความสูญเสียของฉนวน (ต่อ)

- Test Voltage สำหรับทดสอบกำหนดไว้ดังนี้

| แรงดันที่พิกัดของขดลวด (kV) | แรงดันทดสอบ (kV) |
|---|---|
| 3 - 5 | 2.5 |
| 5 - 10 | 5 |
| > 10 | 10 |

40

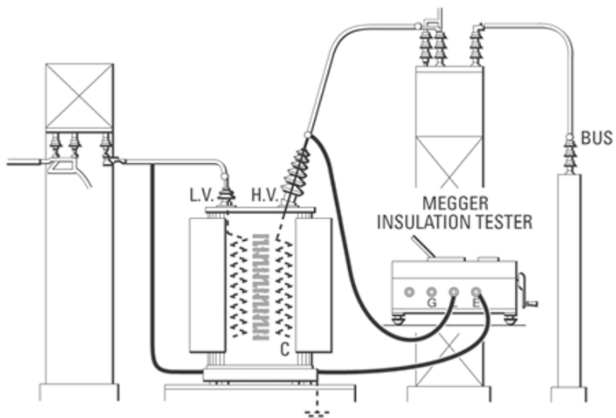
## การวัดความสูญเสียของฉนวน (ต่อ)

- ค่า % PF. ที่ 20 °C สำหรับตัดสินสภาพของหม้อแปลง พิจารณาได้จาก

| ชนิด | สภาพดี (%PF) | สภาพน่าสงสัย (%PF) | สภาพเลว (%PF) |
|---|---|---|---|
| Power TR. (Oil Fill) | < 0.5 | 0.5 – 1.0 | > 1.0 |
| Dist. TR. (Oil Fill) | < 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| Dry Type | < 2.0 | 2.0 – 5.0 | > 5.0 |
| Askrel | < 0.5 | 0.5 - 10 | > 10 |



## POWER TRANSFORMER



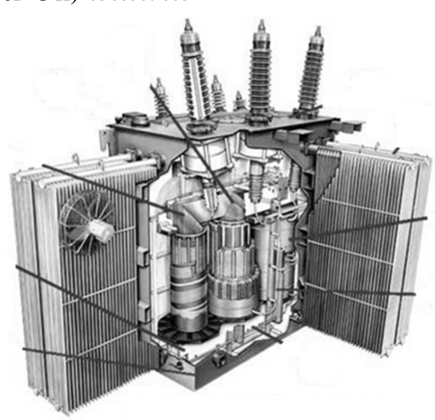
# การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง

43

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

## การเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลง

- น้ำมันหม้อแปลง(Transformer Oil) ทำหน้าที่
  - ฉนวน
  - ตัวระบายความร้อน
  - ป้องกันกระดาษฉนวน



44

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

## การเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลง

- การบำรุงรักษา สามารถควบคุมเงื่อนไขอื่นๆ ที่เป็นผลต่อตัวเร่งการเสื่อมสภาพของน้ำมัน
  - Oxygen control
  - Moisture control
  - Operating temperature

❖ ถ้าสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ Oxidation product ก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นในน้ำมันและ Solid insulation

45



## การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง


1. เพื่อดูสภาวะที่เหมาะสมของน้ำมันหม้อแปลง
2. เพื่อหาสภาพความผิดปกติ
3. เพื่อประเมินอายุที่เหลือของหม้อแปลง

## เพื่อดูสภาวะที่เหมาะสมของน้ำมันหม้อแปลง

- การทดสอบเพื่อตรวจรับ(Acceptance tests)
  - ทดสอบแบบเต็มอัตราตาม(specification)
  - ทดสอบแบบกลุ่มย่อย
  - การทดสอบเสริม
- การทดสอบตามวาระขณะการใช้งาน (Periodic tests)
- เพื่อประเมินอายุที่เหลือของหม้อแปลง

47



## ทดสอบแบบกลุ่มย่อย

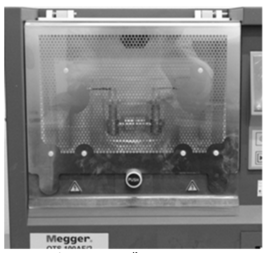
★ การทดสอบทางไฟฟ้า (Electrical Tests)

★ การทดสอบทางเคมี (Chemical Tests)

★ การทดสอบทางกายภาพ (Physical Tests)

## การทดสอบทางไฟฟ้า

| รายการ | มาตรฐาน |
|---|---|
| Dielectric Breakdown Voltage | D1816 (IEC156) และ/หรือ D877 |
| Power Factor (Dissipation Factor) | D924 |

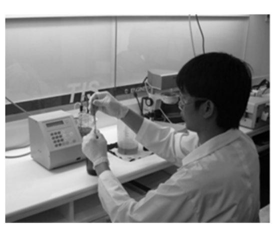


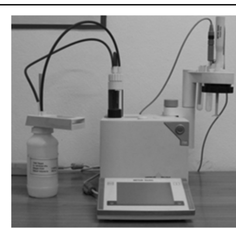




## การทดสอบทางเคมี

| รายการ | มาตรฐาน |
|---|---|
| Water Content | D1533 |
| Oxidation Inhibitor Content | D2688 |
| Neutralization Number | D974 |





# การทดสอบทางกายภาพ

| รายการ | มาตรฐาน |
|---|---|
| Interfacial Tension | D971 |
| Color | D1500 |
| Specific Gravity | D1298 |


51

ผศ.ดร. สำ

# การทดสอบทางกายภาพ

| รายการ | มาตรฐาน |
|---|---|
| DGA, Gas Content | D3612 |
| Resistivity | D1169-89 |
| Corrosive sulfur | D1275-06(B) |
| Oxidation Inhibitor Content | D2668 |

52

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้

## การทดสอบตามวาระ

☞การเสื่อมของน้ำมันหม้อแปลงจะขึ้นอยู่กับ

- เวลา
- ชนิดของน้ำมันดิบ (crude)
- วิธีการกลั่นการมีอยู่ของ Oxidation inhibitor (DBPC)
- สภาวะการใช้งาน เช่น อุณหภูมิ การปนเปื้อน การสัมผัสกับบรรยากาศ แสง และวัสดุ

☞การเกิดขึ้น Sludge, Peroxides, Organic acids, water จะเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมของกระดาษฉนวน

53

## การทดสอบตามวาระ

| การทดสอบ | เพื่อตรวจจับ |
|---|---|
| Color | การเสื่อมสภาพหรือ สิ่งปนเปื้อนอันตราย |
| Dielectric Breakdown Voltage | สิ่งปนเปื้อนบางชนิด(น้ำหรือเศษตัวนำ) และผลที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันที่ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่ดี |
| Interfacial Tension | สิ่งปนเปื้อนบางชนิด และผลที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมัน, สารประกอบที่มีขั้ว |

54

# การทดสอบตามวาระ

| การทดสอบ | เพื่อตรวจจับ |
| --- | --- |
| Neutralization Number | สิ่งปนเปื้อนบางชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกรดที่เกิดจากน้ำมันเสื่อมสภาพ |
| Power Factor | คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ไม่ดี, สิ่งปนเปื้อน, หรือสิ่งที่เกิดจากการเสื่อมสภาพ |
| Pour Point | การปนเปื้อนที่ทำให้จุดไหลสูงขึ้น |
| Specific Gravity | การปนเปื้อนด้วย solvents, น้ำมันชนิดอื่นๆหรือ organic materials |

55



# การทดสอบตามวาระ

| การทดสอบ | เพื่อตรวจจับ |
| --- | --- |
| Viscosity | การปนเปื้อนด้วย solvents, น้ำมันชนิดอื่นๆ |
| Water content | การมีอยู่ของน้ำ |
| Inhibitor Content | ปริมาณที่เหลือของตัวต้านการเกิด Oxidation |
| Metal in oil | โลหะที่ละลายหรือโลหะที่ต้องการทราบ(Zn, Cu, Al, Fe, Pb, Si, Sn ) |

56

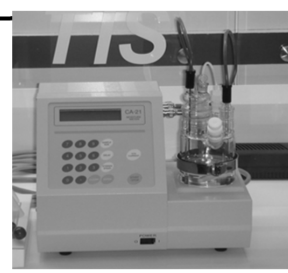
# คุณสมบัติฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง

| Standard | | ASTM | | | | IEEE | | | | IEC | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Category | Recommended Action Limits | | | Category | Recommended Action Limits | | | Category | Recommended Action Limits | | |
| No. | Test Item | | Good | | | | Good | | | | Good | | |
| 1 | Interfacial Tension [mN/m] | ASTM D971 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEEE c57.106 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | ISO 6295 | All | | |
| | | | >24 | >26 | >30 | | >25 | >30 | >32 | | >28 | | |
| 2 | Color Number | ASTM D1500 | All | | | IEEE c57.106 | All | | | ISO 2049 | All | | |
| | | | 1.0 Maximum | | | | ≤1.0 | | | | All Clear without visible contamination | | |
| 3 | Dielectric Breakdown Voltage at 50Hz [kV] | ASTM D1816 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEEE c57.106 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEC 60156 | <72.5kV | 72.5-170kV | >170kV |
| | New oil gap 0.04" | | >23 | >26 | >26 | | >20 | >30 | >30 | | >40 | >50 | >60 |
| 4 | Dielectric Breakdown Voltage at 50Hz [kV] | ASTM D1816 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEEE c57.106 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEC 60156 | <72.5kV | 72.5-170kV | >170kV |
| | New oil gap 0.08" | | >34 | >45 | >45 | | >40 | >48 | >60 | | >40 | >50 | >60 |
| 5 | Dielectric Breakdown Voltage at 50Hz [kV] | ASTM D877 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEEE c57.106 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEC 60156 | <72.5kV | 72.5-170kV | >170kV |
| | | | >26 | >26 | >26 | | >30 | >30 | >30 | | >40 | >50 | >60 |
| 6 | Water Content [mg/kg] | ASTM D1553 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEEE c57.106 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEC 60814 | <72.5kV | 72.5-170kV | >170kV |
| | | | 35 | 25 | 20 | | <15 | <8 | <5 | | <10 | <5 | <5 |
| 7 | Acid Number [mg KOH/g] | ASTM D974 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEEE c57.106 | ≤69kV | 69-288kV | >345kV | IEC 62021 | <72.5kV | 72.5-170kV | >170kV |
| | | | 0.2 | 0.2 | 0.1 | | 0.2 | 0.15 | 0.1 | | | | |



# การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง


Dissolved Gas test

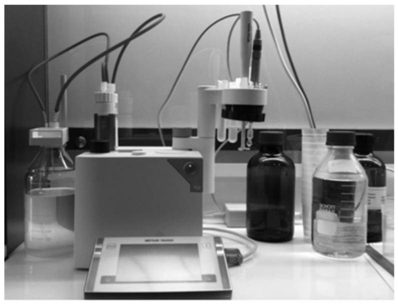


Water Content test


Dielectric Breakdown Voltage Test


Interfacial Tension test

# การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง



*Acidity test*

**Color Number**

59

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

# การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง

***Dissolved Gas Analysis***

60

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

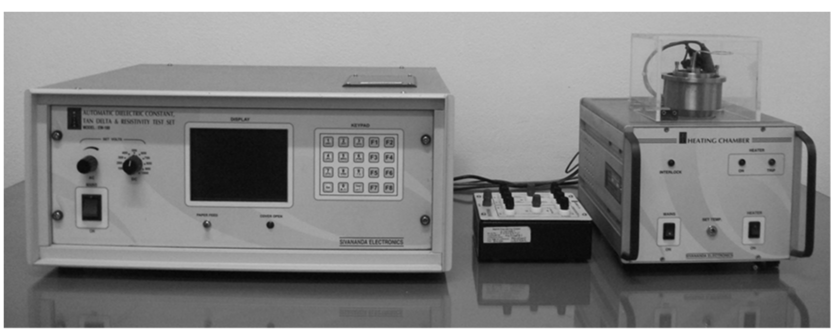
## การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง


***Furanic Analysis***

61

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

## การทดสอบน้ำมันหม้อแปลง




***Power Factor test***

62

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

## การวิเคราะห์ก๊าซผิดพร่องในน้ำมัน

☞เพื่อหา electrical stress & thermal fault ในหม้อแปลง

☞สามารถตรวจสอบความผิดปกติที่เริ่มเกิดขึ้นได้ เพื่อหลีกอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับหม้อแปลง

❑ ก๊าซเกิดขึ้นจาก

☞เกิดจากการเสื่อมสภาพของฉนวนแข็ง และฉนวนเหลว

☞เกิดจากความผิดปกติ(Fault) ขึ้นภายในหม้อแปลง

63

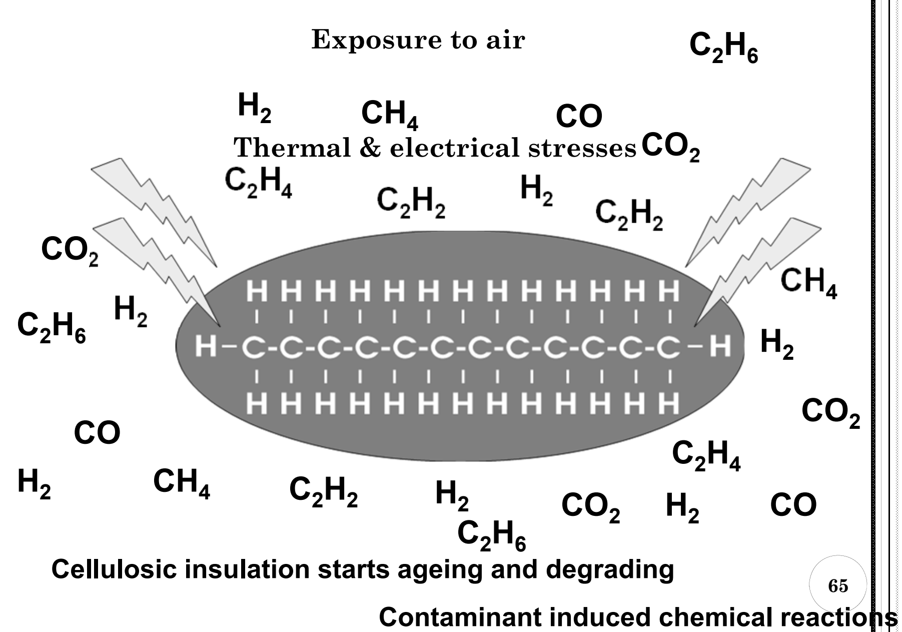


## การวิเคราะห์ก๊าซที่ละลายในน้ำมัน

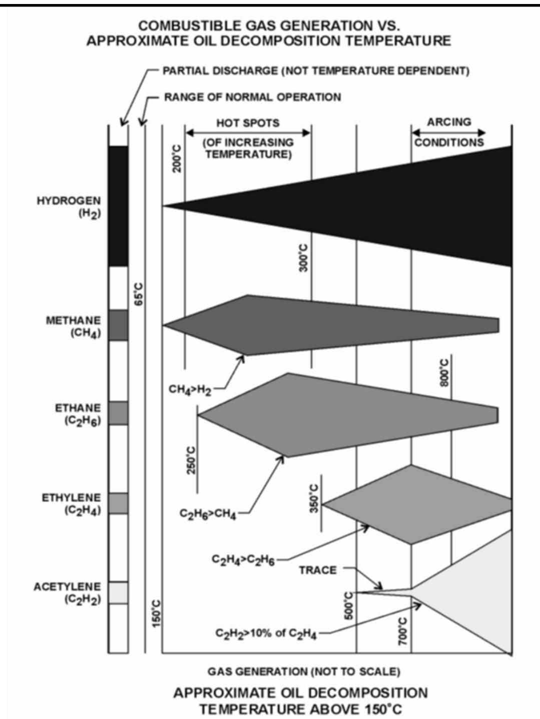
1. Gases
2. Present in very small quantities (ppm)
3. No bubbles, i.e. dissolved in the oil

| Operational Gases | Faults Gases |
|---|---|
| Carbon dioxide ($CO_2$) | Methane ($CH_4$) |
| Carbon monoxide (CO) | Ethylene ($C_2H_4$) |
| Hydrogen ($H_2$) | Ethane ($C_2H_6$) |
| | Acetylene ($C_2H_2$) |

64




ที่มา: Thailand Presentation, March 06 2008 Serge Gutieres, P.Eng. MBA Worldwide Sales and Marketing director Morgan Schaffer inc.




66

## MOST COMMONLY USED

- ☞Dual Triangle
- ☞IEEE C57.104, Limits, rates and TDCG
- ☞Key Gas Method
- ☞Dornenburg Ratio Method
- ☞Roger Ratio Method
- ☞IEC 60599 Typical Gas Levels
- ☞Trend Analysis

ที่มา: **Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers, Doble Engineering, IEEE Conference 2006.**

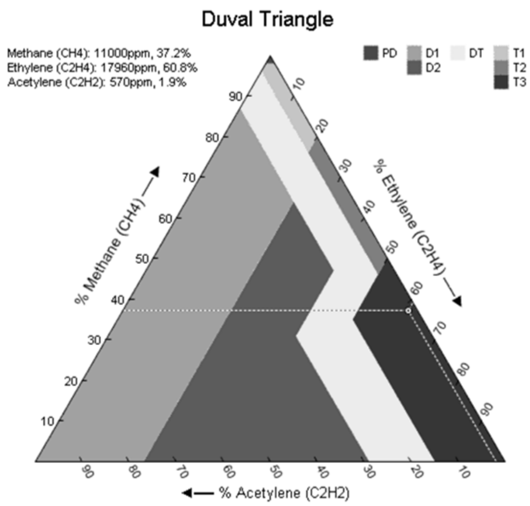


## DISSOLVED GAS ACCEPTABLE LIMITS VARIOUS SOURCES

| | $H_2$ | CO | $CH_4$ | $C_2H_6$ | $C_2H_4$ | $C_2H_2$ | $CO_2$ | TCG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *IEEE | 100<br>101-700<br>701-1800<br>>1800 | 350<br>351-570<br>571-1400<br>>1400 | 120<br>121-400<br>401-1000<br>>1000 | 65<br>66-100<br>101-150<br>>150 | 50<br>51-100<br>101-200<br>>200 | 35<br>36-50<br>51-80<br>>80 | 2500<br>2500-4000<br>4001-10000<br>>10000 | 720<br>721-1920<br>1921-4630<br>>4630 |
| **Electra (CIGRE) | 28.6 | 289 | 42.2 | 85.6 | 74.6 | -- | 3771 | 520 |
| IEC 60599 Typical Range | 60-150 | 540-900 | 40-110 | 50-90 | 60-280 | 3-50 | 5100-13000 | |
| Manufact. | 200<br>(250) | 500<br>(1000) | 100<br>(200) | 100<br>(200) | 150<br>(300) | 15<br>(35) | --<br>-- | 1065<br>1985 |

*IN THE PROCESS OF BEING REVISED
**CORRECTED VALUES 1978
( ) VALUE 6 – 7 YEARS

# Dual Triangle




$$\%C_2H_2 = \frac{100x}{x+y+z}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100y}{x+y+z}$$

$$\%CH_4 = \frac{100z}{x+y+z}$$

$$for\ x = [C_2H_2] \quad in \quad \mu l / l$$

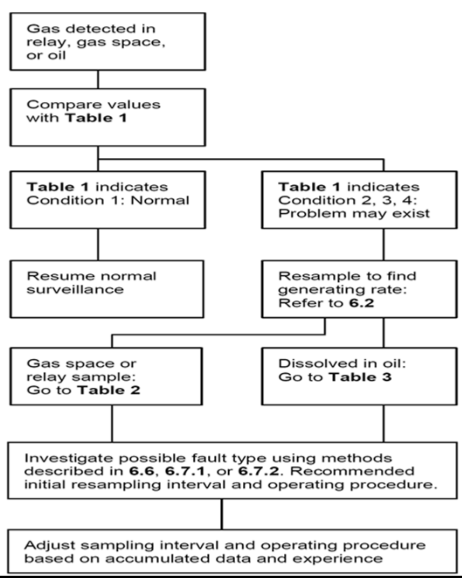
$$for\ y = [C_2H_4] \quad in \quad \mu l / l$$

$$for\ z = [CH_4] \quad in \quad \mu l / l$$

69

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การบำรุงรักษาและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

# IEEE C57.104, Limits, rates and TDCG




$$R = \frac{(S_T - S_0) \times V \times 10^{-6}}{T}$$

$R$ is the rate (liters/day)
$S_0$ is the first sample (microliters/liter)
$S_T$ is the second sample (microliters/liter)
$V$ is the tank oil volume (liters)
$T$ is the time (days)

70

ผศ.ดร. ส

# IEEE C57.104,(2008) Limits, rates and TDCG

| Status | Dissolved key gas concentration limits [μL/L (ppm)[a]] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hydrogen ($H_2$) | Methane ($CH_4$) | Acetylene ($C_2H_2$) | Ethylene ($C_2H_4$) | Ethane ($C_2H_6$) | Carbon monoxide (CO) | Carbon dioxide ($CO_2$) | TDCG[b] |
| Condition 1 | 100 | 120 | 1 | 50 | 65 | 350 | 2 500 | 720 |
| Condition 2 | 101–700 | 121–400 | 2–9 | 51–100 | 66–100 | 351–570 | 2 500–4 000 | 721–1920 |
| Condition 3 | 701–1800 | 401–1000 | 10–35 | 101–200 | 101–150 | 571–1400 | 4 001–10 000 | 1921–4630 |
| Condition 4 | >1800 | >1000 | >35 | >200 | >150 | >1400 | >10 000 | >4630 |

★ เงื่อนไข 1 ปริมาณก๊าซที่เจือปนในน้ำมันต่ำกว่าระดับที่กำหนด แสดงว่าหม้อแปลงยังคงใช้ได้ แต่ถ้ามีก๊าซบางชนิดมีปริมาณสูงกว่าระดับที่กำหนดตามในตาราง ควรจะมีการตรวจสอบเพิ่มเติม

★ เงื่อนไข 2 ปริมาณก๊าซที่เจือปนในน้ำมันอยู่ในช่วงระดับที่กำหนด แสดงว่าอาจจะมีฟอล์ทเกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ควรจะมีการสุ่มตรวจน้ำมันบ่อยครั้งมากขึ้น เพื่อนำไปทำการคำนวณหาปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

★ เงื่อนไข 3 ปริมาณก๊าซที่เจือปนในน้ำมันอยู่ในช่วงระดับที่กำหนด แสดงว่าเกิดการเสื่อมของฉนวนกระดาษหรือน้ำมันในระดับที่ค่อนข้างสูง ถ้าก๊าซบางชนิดมีปริมาณสูงกว่าที่กำหนดดังในตาราง ควรจะมีการตรวจสอบด้วยความถี่มากขึ้น แสดงว่าอาจมีฟอล์ทเกิดขึ้นแล้ว ดังนั้นจะต้องมีการนำตัวอย่างน้ำมันไปทำการวิเคราะห์ก๊าซเจือปนในน้ำมันด้วยจำนวนครั้งที่บ่อยมากขึ้น เพื่อทำการคำนวณหาปริมาณก๊าซแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

★ เงื่อนไข 4 ปริมาณก๊าซที่เจือปนในน้ำมันอยู่ในระดับที่กำหนด แสดงว่าเกิดการเสื่อมของฉนวนกระดาษหรือน้ำมัน ในระดับที่สูงมาก ดังนั้นการใช้งานหม้อแปลงไปอย่างต่อเนื่อง อาจจะเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายกับหม้อแปลงลูกนั้นได้

71

ที่มา: **IEEE C577.104-2008, Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers.**

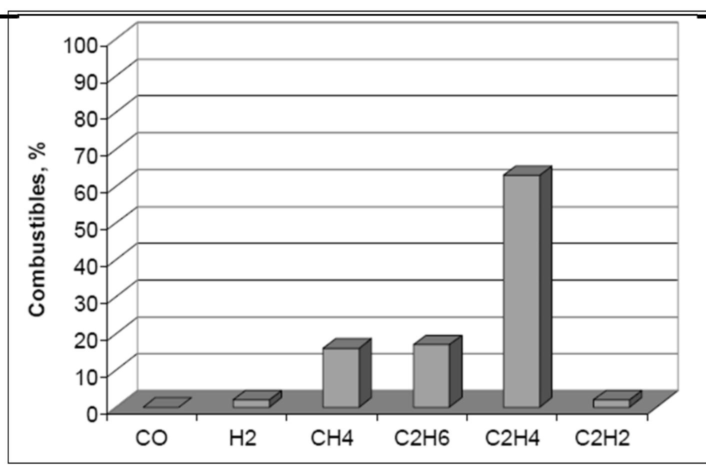
# Determining the transformer condition and operating procedure utilizing TCG in the gas space

| | TCG levels (%) | TCG rate (%/day) | Sampling intervals and operating procedures for gas generation rates | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Sampling interval | Operating procedures |
| **Condition 4** | ≥5 | >0.03 | Daily | Consider removal from service. Advise manufacturer. |
| | | 0.01 to 0.03 | Daily | |
| | | <0.01 | Weekly | Exercise extreme caution. Analyze for individual gases. Plan outage. Advise manufacturer. |
| **Condition 3** | ≥2 to <5 | >0.03 | Weekly | Exercise extreme caution. Analyze for individual gases. Plan outage. Advise manufacturer. |
| | | 0.01 to 0.03 | Weekly | |
| | | <0.01 | Monthly | |
| **Condition 2** | ≥0.5 to <2 | >0.03 | Monthly | Exercise caution. Analyze for individual gases. Determine load dependence. |
| | | 0.01 to 0.03 | Monthly | |
| | | <0.01 | Quarterly | |
| **Condition 1** | <0.5 | >0.03 | Monthly | Exercise caution. Analyze for individual gases. Determine load dependence. |
| | | 0.01 to 0.03 | Quarterly | Continue normal operation. |
| | | <0.01 | Annual | |

## Determining the Operating Procedure and Sampling Interval From the TDCG Levels and Generating Rates in the Oil

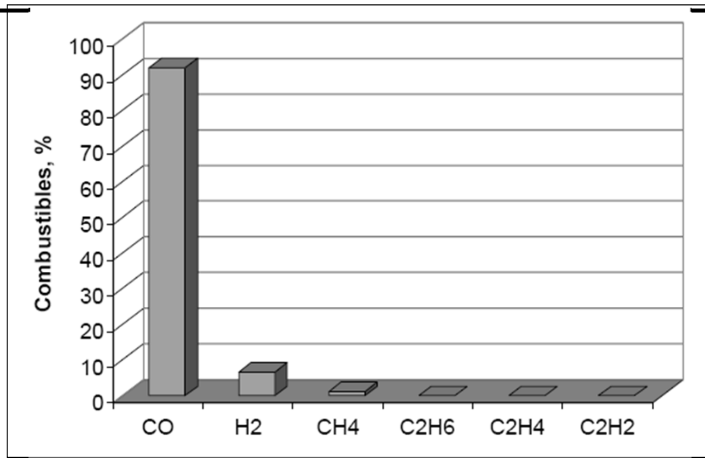
| | TDCG levels (µL/L) | TDCG rate (µL/L/day) | Sampling intervals and operating procedures for gas generation rates | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Sampling interval | Operating procedures |
| **Condition 4** | >4630 | >30 | Daily | Consider removal from service. Advise manufacturer. |
| | | 10 to 30 | Daily | |
| | | <10 | Weekly | Exercise extreme caution. Analyze for individual gases. Plan outage. Advise manufacturer. |
| **Condition 3** | 1921 to 4630 | >30 | Weekly | Exercise extreme caution. Analyze for individual gases. Plan outage. Advise manufacturer. |
| | | 10 to 30 | Weekly | |
| | | <10 | Monthly | |
| **Condition 2** | 721 to 1920 | >30 | Monthly | Exercise caution. Analyze for individual gases. Determine load dependence. |
| | | 10 to 30 | Monthly | |
| | | <10 | Quarterly | |
| **Condition 1** | ≤720 | >30 | Monthly | Exercise caution. Analyze for individual gases. Determine load dependence. |
| | | 10 to 30 | Quarterly | Continue normal operation. |
| | | <10 | Annual | |

## Key Gases – Overheating, Oil




ที่มา: **Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers, Doble Engineering, IEEE Conference 2006.**

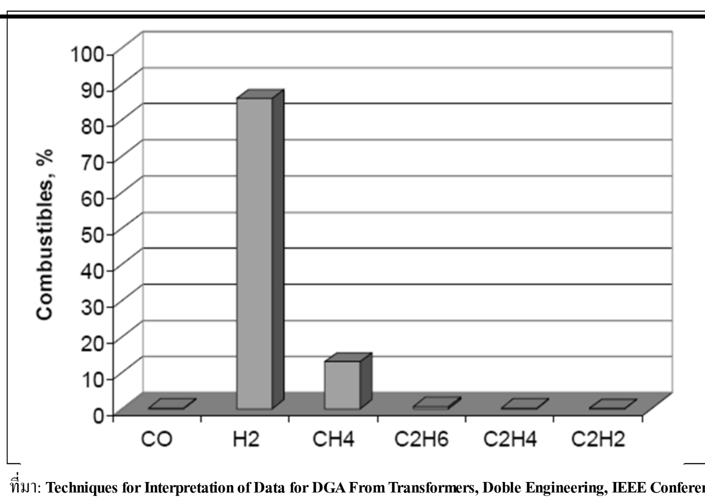
## KEY GASES – OVERHEATING, PAPER




ที่มา: **Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers, Doble Engineering, IEEE Conference 2006.** 75

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การทดสอบและวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

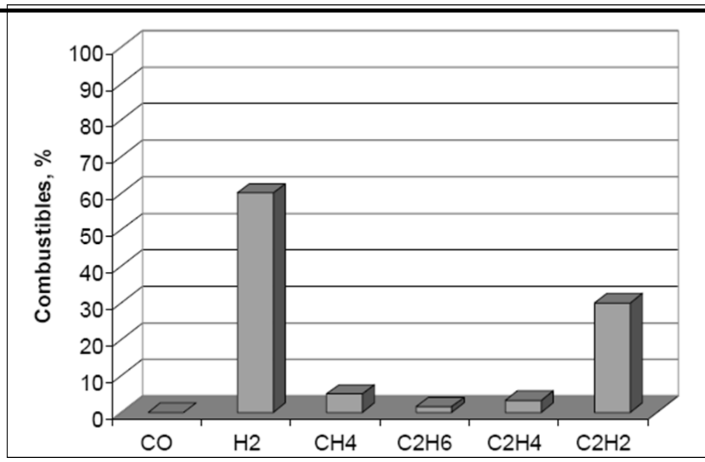
## KEY GASES – PARTIAL DISCHARGE




ที่มา: **Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers, Doble Engineering, IEEE Conference 2006.** 76

ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ การทดสอบและวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

## KEY GASES - ARCING

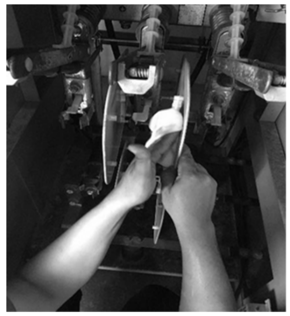



ที่มา: **Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers, Doble Engineering, IEEE Conference 2006.**



## LOAD BREAK SWITCH

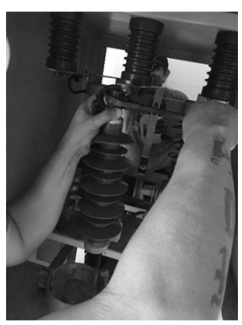
# LOAD BREAK SWITCH


ขณะดำเนินการบำรุงรักษาทำความสะอาดตู้
ไฟฟ้าแรงสูง LOAD BREAK SWITCH

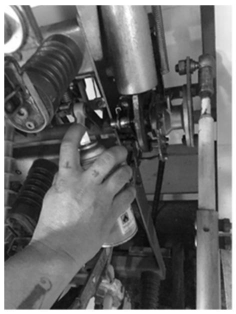


# LOAD BREAK SWITCH(ต่อ)


ขณะดำเนินการกวดขันสกรูจุดต่อภายในตู้ไฟฟ้าแรงสูง
LOAD BREAK SWITCH

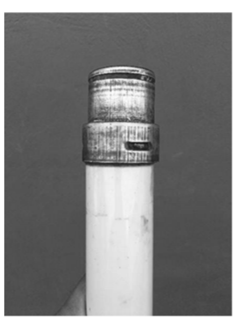
## LOAD BREAK SWITCH (ต่อ)



ขณะดำเนินการฉีดน้ำยาหล่อลื่นชุดกลไกตู้ไฟฟ้าแรงสูง
LOAD BREAK SWITCH



## LOAD BREAK SWITCH(ต่อ)



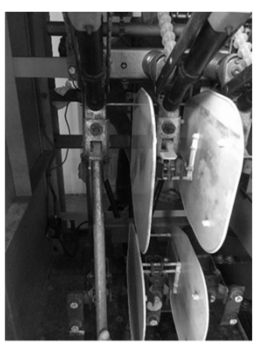
ขณะดำเนินการตรวจเช็คและทำความสะอาด POWER FUSE
LOAD BREAK SWITCH

# LOAD BREAK SWITCH(ต่อ)

ดำเนินการตรวจสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสของตู้ไฟฟ้าแรงสูง
LOAD BREAK SWITCH ( Contact Resistance )



# LOAD BREAK SWITCH(ต่อ)



ขณะดำเนินการตรวจสอบชุดกลไกป้องกันการลัดวงจรของตู้
ไฟฟ้าแรงสูง LOAD BREAK SWITCH

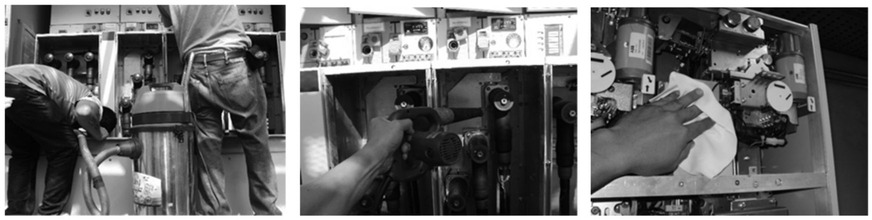
# LOAD BREAK SWITCH(ต่อ)


ทำการทาน้ำยาตัวนำ เพื่อหล่อลื่นหน้าสัมผัสของ MAIN CONTACT



# Ring Main Units : RMU

# Ring Main Units : RMU



ขณะดำเนินการบำรุงรักษาทำความสะอาด

ขณะดำเนินการกวดขันสกรูจุดต่อภายในตู้ไฟฟ้า RMU



# Ring Main Units : RMU

ขณะดำเนินการตรวจเช็คชุดกลไกและฉีดน้ำยาหล่อลื่น