الـزيـوت المعـدنيـــة
فـــــي
المحـولات الكـهـربـيــة
TRANSFORMER OILS

إعداد الاشكال

م/ محمد عبد المقصود

إعداد

" م . محمد

حســن مغـازي "

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة :

حدوث عطل بالمحول رقم (3) الخاص بموحد التيار رقم (3) بوحدة الكلور قد أعطاني فرصة كبيرة لكي أحاول أن أجمع وأدون ما أستطيع من معلومات عن زيوت المحولات من حيث الخواص والإختبارات وكان أمامي عدة مصادر منها :

1) كتاب المحولات الكهربية (**للدكتورة / كاميليا يوسف**)
2) كتاب المحولات الكهربية (**للدكتور / عبد المنعم موسى**)
3) Alternating Current Machine – **MG . SAY**
4) مذكرات عن إستخدام الزيوت من **هيئة كهرباء مصر**
5) خواص الزيوت من **شركة شل** & **شركة أموك**
6) المواصفات القياسية للزيوت

مواصفات الزيوت	***IEC 296***
الرطوبة	***IEC 567***
جهد الكسر	***IEC 156***
الكثافة	***IEC 296***
الغازات الذائبة	***IEC 422***

وقد حاولت تلخيص وتجميع أهم وأسهل ما في المصادر السابقة فكانت النتيجة ما هو موجود في الصفحات التالية وأتمنى أن أكون قد وفقت في ذلك وأرحب بأي ملاحظات يُبديها الزملاء.

والله ولي التوفيق

" م

. محمد حسن مغازي"

مدير خط الكهرباء والتحكم الآلي

شركة البتروكيماويات المصرية

زيوت المحولات

زيوت المحولات تستخدم في ثلاثة أغراض أساسية و هي :

1) **وسط للتبريد**
2) **وسط للعزل**
3) **حفظ أجزاء المحول الدخلية عن طريق**
   - **ملئ الفجوات الهوائية المتكونة لمنع ظاهرة Partical discharge**

- **منع تآكل القلب الحديدي – البارات النحاسية – العزل الصلب نتيجة التفاعلات الكيميائية**

ولكي يؤدي الزيت وظيفتيه السابقتين بنجاح لابد أن يتمتع بصفات معينة تؤهله للقيام بهاتين الوظيفتين ومن هذه الصفات ما هو طبيعي وما هو كيميائي وما هو كهربي وأهم هذه المواصفات هي :

1) **الكثافة** : ويجب ألا تزيد الكثافة الخاصة بالزيت عن 0.895 جم/سم3 في درجة حرارة 20°م وذلك حتى يؤدي وظيفته كوسط تبريد بكفاءة

2) **اللزوجة** : ويجب ألا تزيد عن 16.5 سنتي ستوك عند 40°م وهذا النوع من اللزوجة يسمى لزوجة كينماتيكيه Kinematic Viscosity وهي عبارة عن اللزوجة العادية مقسومة على الكثافة ووحداتها هي m^2/sec وتقاس بالإستوك أو السنتي إستوك

1 Centi stokes = 1 C.ST

$= 10^{-6}\ m^2/sec$

أما اللزوجة العادية فهي اللزوجة الديناميكية Dynamic Viscosity ووحداتها هي بواس

P = Poise

C.P = Centi Poise

$= 10^{-3}$ Kg/m.s $= 10^{-3}$ kg / meter . second

3) **الرطوبة** : وجود الرطوبة في الزيت (قطرات ماء) يؤثر بصورة كبيرة على خصائص الزيت كعزل مما يؤدي إلى إنهيار جهد العزل للزيت Break Down Voltage (BDV)

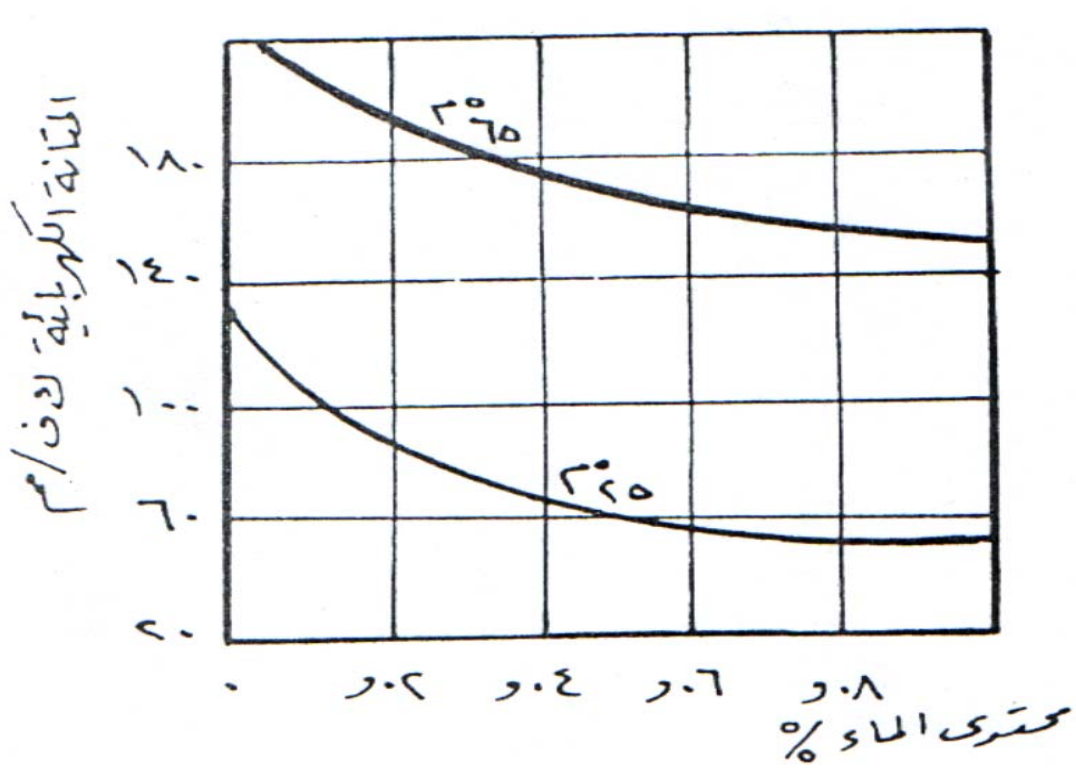
وحيث أن المياه (الرطوبة) إذا وجدت في الزيت فإنها تأخذ أحد الصورتين الآتيتين : -

أ) الصورة الأولى : وتسمى (**المياه الجزئية**) وهذه تذوب في الزيت عند درجة الحرارة العالية وهي ليس لها تأثير كبير على قوة العزل

ب) الصورة الثانية : وتسمى (**مستحلب مائي**) Emulsion وهذا يحدث عند إنخفاض درجة الحرارة حيث يؤدي ذلك إلى إنفصال المياه الذائبة في الزيت على هيئة قطرات صغيرة جدا تنتشر داخل كل حجم الزيت وهذه تؤثر تأثيرا كبيرا على قوة عزل الزيت ويجب ألا تتعدي نسبة الرطوبة عن 30 ppm

If moisture level more than 30 ppm then treat oil

والشكل التالي رقم (1) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة والمحتوى المائي والعزل



شكل رقم (1)

4) **درجة الوميض Flash Point** : عندما يسخن الزيت تتصاعد منه أبخرة وهذه الأبخرة قابلة للإشتعال عند درجة حرارة تتوقف قيمتها على كمية الأبخرة ومحتواها من الغازات المتصاعدة فإذا إشتعلت هذه الأبخرة عند درجات منخفضة كان ذلك دليلا على كثرتها وخطورتها وإذا إشتعلت عند درجة حرارة مرتفعة دل ذلك على قلتها وعدم خطورتها وهذه الدرجة التي يحدث عندها الإشتعال تسمى نقطة الوميض أو درجة الوميض وتنص المواصفات على ألا تقل عن 140 درجة مئوية

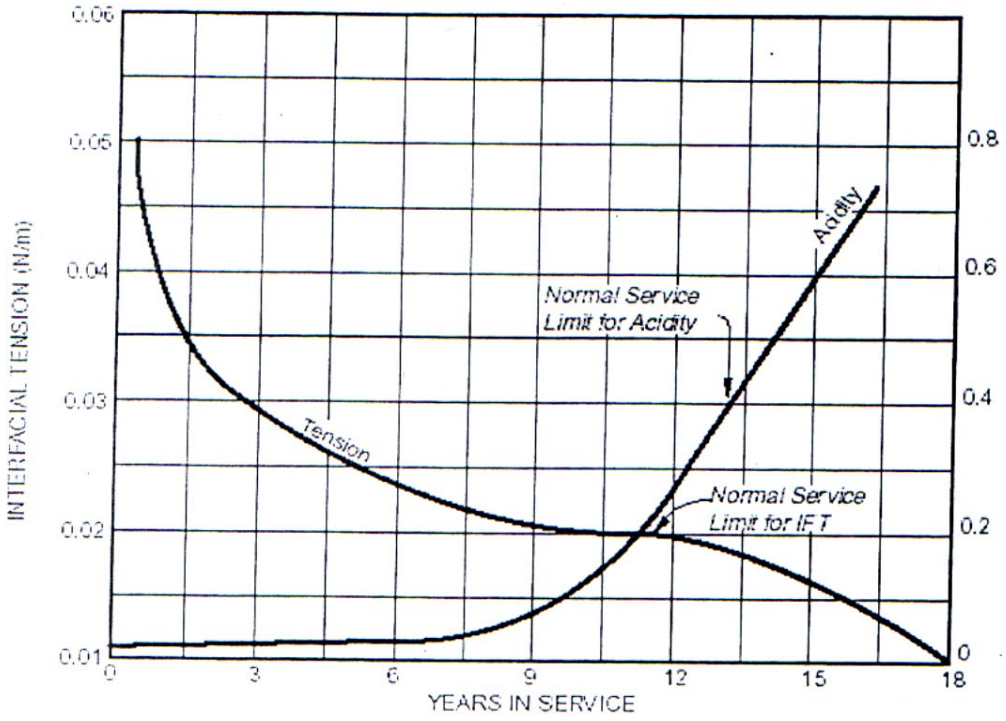
5) **الشوائب :** يجب ألا توجد شوائب في الزيت Sludge وهذه لها تأثير على وظيفة الزيت كوسط تبريد " Nil "

6) **التوتر السطحي البيني Interfacial Tension test (I FT)** :وهذا العامل يقيس وجود مواد ملوثة في الزيت " مذيبات " مثل الأحماض والتي تقلل التوتر السطحي بينه وبين الماء و تجعله يذوب فيه

والنسبة المقبولة للزيت الجديد تكون في حدود 40 dynes/cm (0.04 N/m)وهي القيمة التي يجب ألا يقل عنها هذا العامل . أما الزيت القديم فيجب ألا تقل هذه القيمة عن 30 dynes/cm

* 1 Newton = 10^5 dynes (0.03 N/m)

والشكل التالي رقم (2) يوضح تأثر IFT بالحامضية على مدى عمر المحول



شكل رقم (2)

7)**الحموضة :** يتم تخفيض الحموضة بإضافة قلوي إلى كمية الزيت وتقدر الحموضة بكمية القلوي التي يتم إضافاتها إلى جرام واحد من الزيت ليحدث التعادل . والقلوي الذي يتم إستخدامه هو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH والمواصفات تنص على ألا تزيد كمية القلوي عن 0.04ملجم ليحدث تعادل في 1 جم من الزيت أي 0.04 mg KOH/g

8) **العزل الكهربي Dielectric** : ويجب ألا يقل عن 30 ك.ف (لكل 2.5مم)

9) الفقد الكهربي في زيت المحولات Dielectric Dissipation Factor (DDF) :

الزيت يعتبر عازل جيد والأجزاء الحاملة للتيار موصلة وجسم المحول موصل بالأرضي ووجود عازل (الزيت) بين موصلين (الأجزاء الحية وجسم المحول) يماثل كهربيا فعل مكثف وهذا المكثف يجب أن يكون العزل الخاص به عازل تام وهو ما يعطي (نظريا) أن يكون الجهد متعامد مع تيار التسرب . فإذا كان العزل سليم جدا وليس هناك أي نوع من الفقد يكون التيار متعامد مع الفولت كما بالشكل (I a)

90

Vc Vc

(a) (b)

Ideal capacitor Capacitor with a lossy dielectric

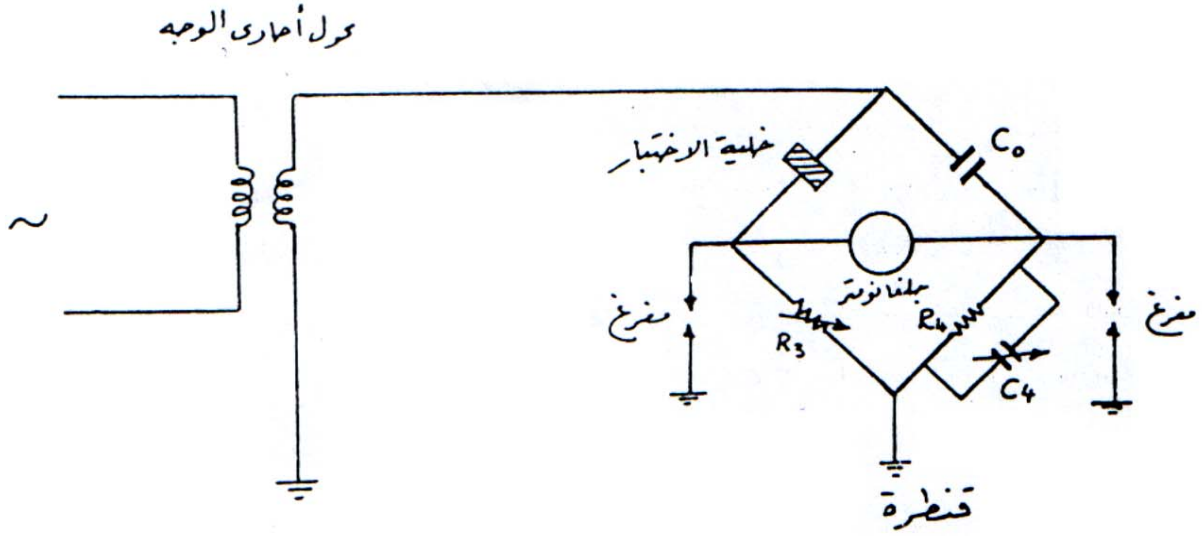
شكل (3)

أما إذا كان هناك جزء من الفقد في العزل فإن التيار يميل بزاوية مقدارها δ كما بالشكل (3b)
أي أن هناك مركبة للتيار في إتجاه الفولت وهذه المركبة هي التي تجعل هناك مفاقيد كهربية .
وبما أن مقدار الزاوية تتناسب مع ظلها تناسب طردي لذلك فإذا زادت المفاقيد زادت الزاوية وإذا زادت الزاوية زاد مقدار ظلها وهذا يجعل مقدار ظل الزاوية مقياسا لمقدار المفاقيد لذلك لا يجب أن تزيد قيمة ظل هذه الزاوية عن 0.005 عند درجة حرارة 90^oC . حسب المواصفات IEC وذلك بعد عملية معالجة للزيت Dielectric dissipation factor at 90^oC (After treatment)
ويمكن إجراء هذا الإختبار بإستخدام خلية إختبار تملئ بعينة من الزيت وهذه الخلية التي بها الزيت لها طرفان يوصلان في قنطرة إتزان كما هو موضح بالشكل (4) ويتم ضبط المكثف (C4) وكذلك المقاومة (R3) حتى يحدث إتزان في الفولتميتر وعندها تؤخذ قيمة المكثف (C4) بالميكروفاراد والتي تساوي عدديا (في حالة الإتزان) قيمة ظل الزاوية (tan δ) لمادة العزل
وتستخدم الدائرة الموضحة في الشكل (4) التالي .

ومن المعلوم أن

$$\lim_{\delta \to 0} \frac{\tan \delta}{\delta} = 1$$

أي أن قيمة الزاوية بالتقدير الدائري = ظل الزاوية عندما تكون صغيرة جدا لذلك
(in rad.) $\delta = \text{Tan } \delta$ أي أن قيمة الزاوية لا تزيد عن 3^o تقريبا



شكل (4)

10) إتزان الأكسدة Oxidation stability : وهذا الإختبار يتم إجراؤه لمعرفة مدى إتحاد الأكسجين الذائب في الزيت مع الزيت نفسه حيث أن هذا الإتحاد ينتج أحماض عضوية وينتج كذلك أجسام عالقة Sludge وتكون الأحماض بصورة كبيرة يضر بالعزل أما تكون العوالق Sludge فإنه يضر بخصائص الزيت كوسط تبريد .

ويجري هذا الإختبار بأخذ عينة من الزيت وتسخينها لمدة 164 ساعة عند درجة 120م° في وجود أكسجين ثم تحلل هذه العينة لمعرفة :

1) مقدار الحامضية 2) مقدار Sludge المتكونة

وتنص المواصفات القياسية على ألا تزيد نسبة الحموضة بعد عملية الأكسدة عن

1.2 mg KOH/g ونسبة العوالق (Sludge) لا تزيد عن 0.8 % من وزن العينة

11) إختبار تآكل الكبريت Corrosive Sulphur :

يجب ألا يحتوي الزيت على الكبريت لأن تواجده يسبب تآكل في الملفات النحاسية ويتم إجراء هذا الإختبار بغمس شريط من النحاس اللامع في عينة من الزيت عند درجة حرارة 140م° وفي وجود غاز النيتروجين وذلك لمدة 19 ساعة فإذا تغير لون الشريط وأصبح لونه رماديا غامقا أو بنيا أو أسودا فإن ذلك يدل على وجود كبريت في الزيت ويصبح هذا الزيت غير صالحا وتنص المواصفات على ألا يوجد كبريت في الزيت (Non Corrosive)

12) إختبار تواجد مواد مضرة بالبيئة :

مثل Polychlorinated biphenyl (PCB) وتنص المواصفات على عدم وجود هذه المواد إطلاقا (Nil)

13) نقطة الإنسكاب Pour Point :

وهي أقل درجة حرارة يمكن أن يصل إليها الزيت دون أن تزيد لزوجته إلى الحد الذي يبدأ في التحول إلى الحالة الصلبة مما يعوق حركته ويقلل من كفاءته كوسط للتبريد وتنص المواصفات على ألا تقل هذه الدرجة عن (- 40 م°)

وبالنظر إلى التقرير الوارد من هيئة الكهرباء بهذا الخصوص بالنسبة للمحول رقم (3) بالكلور نجد أن هناك ثلاثة قيم غير مطابقة للمواصفات وهي :

أ) إنخفاض جهد العزل : ووصوله إلى 25 KV

ب) وجود رطوبة : لم يحددها التقرير ولكن تم تحديدها في معامل الشركة وقد وصلت نسبتها إلى 85 ppm

ت) إنخفاض درجة الوميض حتى وصلت إلى 135 C° (دليل على وجود غازات قابلة للإشتعال)

ث) إرتفاع نسبة الحموضة إلى 0.06 mg KoH/g وكانت هذه الأسباب وراء توصية شركة الكهرباء بضرورة تغيير الزيت مع انه ومن وجة نظري أنه كان ممكن عمل تكرير للزيت وإعادة إختباره لإستخدامه مرة أخرى .

ونظرا لإرتفاع نسبة الرطوبة فقد تم إختبار وحدة التبريد Cooler بواسطة التفتيش الهندسي ولكنه وجد سليم .

تحليل الغازات الذائبة لزيوت المحولات الكهربائية
Dissolved Gas Analysis DGA

يتم عمل تحليل للغازات الذائبة في عينة من زيت المحول لمعرفة تركيز هذه الغازات في العينة بغرض الوقوف على حالة المحول حيث أن هذه الغازات تتكون نتيجة أحد العوامل الآتية :

1) إرتفاع درجة الحرارة Heat dependent

2) حدوث تفريغ جزئي Partial discharge - Not he at dependent

وهذه العوامل تؤدي إلى تحلل الزيت إلى مركبات هيدروكربونية " مركبات الكربون والهيدروجين "

وهذه الغازات تنقسم هي الأخرى إلى نوعين:

أ- غازات قابلة للإشتعال

ب- غازات غير قابلة للإشتعال

أ) الغازات القابلة للإشتعال Combustible (CG) هي :

1) أول أكسيد الكربون Carbon Monoxide (Co)

2) الهيدروجين Hydrogen (H_2)

3) الميثان Methane (CH_4)

4) الإستيلين Acetylene (C_2H_2)

5) الإيثلين Ethylene (C_2H_4)

6) الإيثان Ethane (C_2H_6)

7) البروبين Propene (C_3H_6)

8) البروبان Propane (C_3H_8)

ب) الغازات الغير قابلة للإشتعال هي :

1) الأكسجين Oxygen (O_2)

2) نيتروجين Nitrogen (N_2)

3) ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (Co_2)

وهذه الغازات عندما تتكون في عينة الزيت فإنها تتكون بنسب مختلفة وكذلك بمعدلات توليد مختلفة كما أن نسب بعضها إلى بعض تختلف من وقت إلى آخر معتمدة على تغيير درجة الحرارة وعلى قدم المحول ولها حدود مسموح بها لتواجدها في الزيت وكذلك نسب لمعدل تزايدها وسوف نورد فيما يلي هذه النسب ودلالتها ويسمى الغازان :

- الإيثان C_2H_6
- الإيثلين C_2H_4

بغازات المعدن الساخن Hot metal gases وتواجد هذان الغازان دليل على وجود نقاط ساخنة في تلامسات مغير الجهد أو توصيلات الأطراف .

والتحليل الغازي ممكن أن يعطي تصور خاطئ عن حالة المحول في الأحوال الآتية :

1) إذا كان المحول مفصول لمدة طويلة أي أنه بارد أو درجة حرارته هي درجة حرارة الجو
2) إذا كان المحول جديد ولم يوضع في الخدمة بعد
3) إذا كان المحول في الخدمة لمدة أسبوع أو أسبوعين بعد عملية تكرير الزيت .

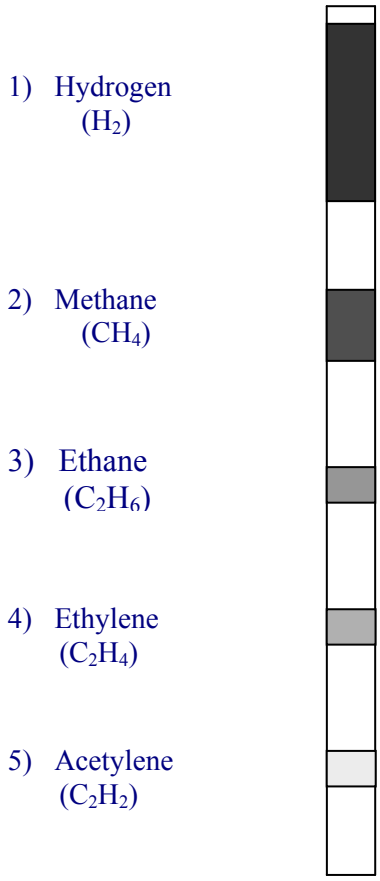
ويمكن أخذ العينات من بلف أخذ العينات ولكن بحرص وبواسطة سرنجة (انظر طريقة أخذ العينة) ملحق رقم (IV) .

كما يوصى بعمل تحليل غازي لزيت المحول بعد شهر واحد من وضعه في الخدمة ثم بعد ذلك كل عام إذا لم تكن هناك أمور غير عادية تستوجب المتابعة المستمرة لحالة المحول .

وهذه الطريقة وهي التحليل الغازي تعتبر من الطرق المهمة للوقوف على حالة المحول . وتولد الغازات كما سبق يكون نتيجة أحد سببين . الأول هو وجود تفريغ جزئي في فجوات موجودة بالمحول وهذه لا تعتمد على درجة الحرارة

Partial discharge not temp. dependent

ويستدل على هذه الحالة بمستويات الهيدروجين والميثان والإيثان والإيثلين والإستيلين والشكل التالي يوضح نسب تواجد هذه الغازات إلى بعضها .

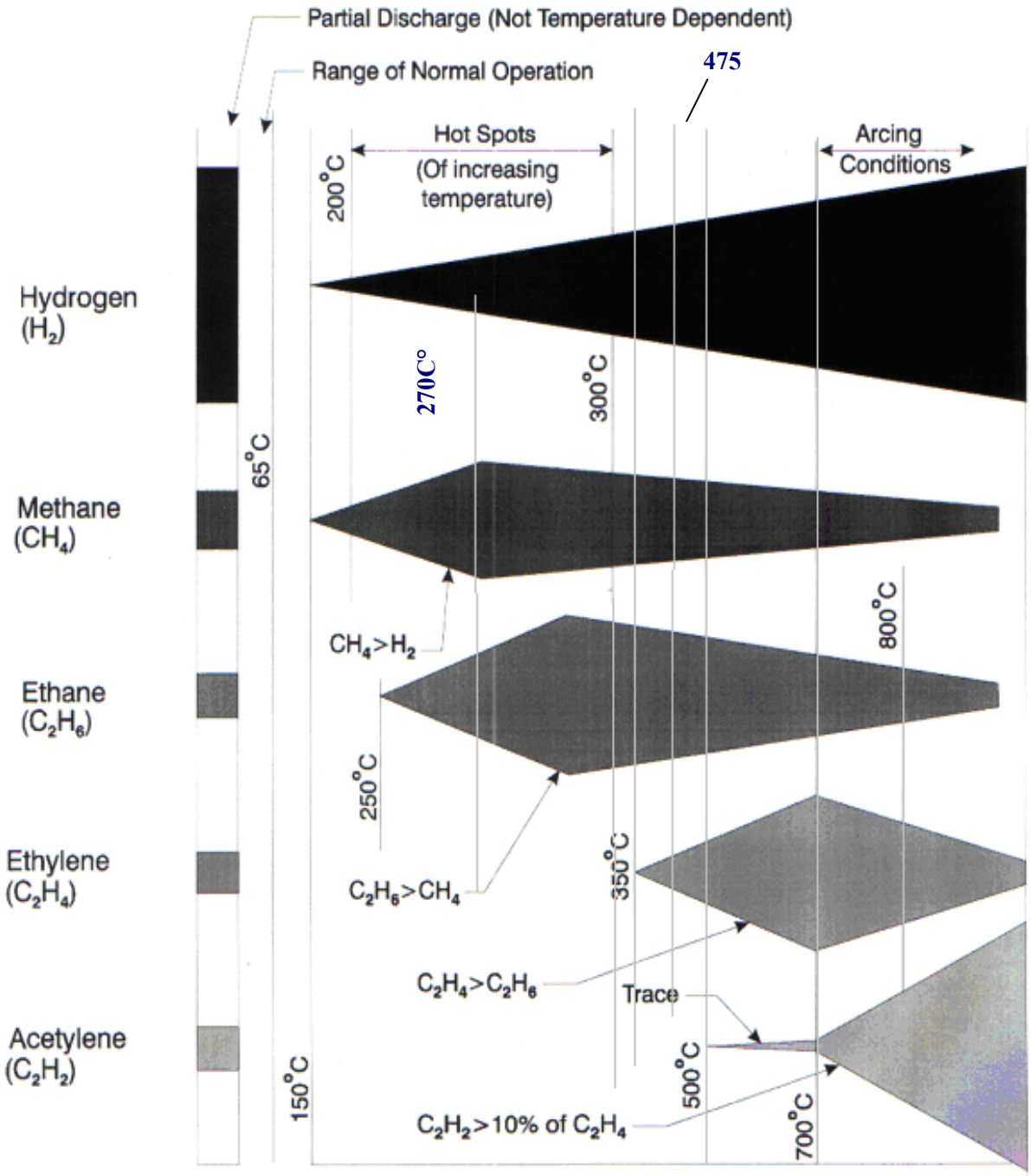


شكل رقم ( )

أما الحالة السليمة فلا توجد هذه الغازات أو لا تتعدى قيم تواجدها والمقادير التي تنص عليها المواصفات وذلك في مدى درجة الحرارة حتى **150م°** أما مع إرتفاع درجة الحرارة عن **150م°** فإن ذلك يؤثر على تكوين الزيت ويؤدي إلى تحلل جزء منه ويبدأ تصاعد غاز الهيدروجين ومعه غاز الميثان CH_4 ولكن يكون معدل تصاعد غاز الميثان أعلى من معدل تصاعد غاز الهيدروجين ويستمر هذا الوضع إلى أن تصل درجة الحرارة حتى **250م°** فيبدأ تصاعد غاز آخر هو الإيثان C_2H_6 ولكن يكون تصاعد بمعدل أكبر من غاز الميثان ومع إستمرار تصاعد درجة الحرارة ، وفي المدى من 275م° حتى 300م° يكون الوضع كالآتي :

1) إستمرار زيادة تولد الهيدروجين بنفس المعدل
2) إبتداء تباطؤ تولد الميثان CH_4 إبتداءاً من درجة حرارة 270م°
3) إبتداء تباطئ توليد الإيثان C2H6 أيضا إبتداءاً من 280م° ويستمر هذا التباطؤ في معدل التولد
4) عند الوصول إلى درجة حرارة 350م° يبدأ ظهور غاز جديد وهو غاز الإيثلين C_2H_4 ويتزايد معدل ظهوره مع إرتفاع درجة الحرارة ويكون معدل تولده أعلى من معدل تباطئ غاز الإيثان
5) عند الوصول إلى درجة حرارة 500م° يبدأ ظهور غاز آخر جديد وبكمية قليلة وهو غاز الإستيلين ويكون تواجده بنسبة أكبر من 10 % من معدل تواجد غاز الإيثلين
6) عند الوصول إلى درجة حرارة 700م° فإن معدل وجود غاز الإستيلين يزداد فجأة وبمعدل كبير ويبدأ تباطؤ غاز الإيثلين ويستمر كلا من غاز الإيثان والإيثلين في التباطؤ ويستمر في كل الأحوال زيادة غاز الهيدروجين بنفس المعدل . وفي مدى درجة الحرارة من 200 - 300 C° وبتواجد غازي الميثان والإيثان ويكون ذلك دليلاً على وجود نقاط ساخنة ربما تكون في نقط تلامس مغير الجهد أو الوصلات Joints وإرتفاع درجة الحرارة إلى الأعلى من 700م° دليل على وجود تفريغ عالي الطاقة Arcing والشكل التالي يوضح هذه الأحوال .

Combustible Gas Generation vs. Approximate Oil Decomposition Temperature



Gas Generation (Not to Scale)

Approximate Oil Decomposition Temperature above 150°C

ومما سبق يتضح أن هناك إرتباط بين نسب تواجد الغازات وكذلك معدلات زيادتها بما يعطي صورة عما يحدث داخل ودرجة حرارة أجزاؤه الداخلية . كما أن وجود غاز أول أكسيد الكربون وكذلك ثاني أكسيد الكربون يعطي دلالة على وجود إحتراق في العزل الصلب Cellulose .

كما أنه يمكن بجميع الغازات المتجمعة في مرحل بوخلز وعمل التحليل الغازي لها لمعرفة مكوناتها والإستدلال على نوع العطل .

والعطل داخل المحول يكون إما عطلا كهربياً . أي يعتمد على الكهرباء ومنها Partial discharge كذلك Arcing أي

- Partial discharge OR sparking OR corona low energy

وهذه تسمى (D1) .

- Arcing OR high energy (D2)

أو ان يكون عطلا حرارياً وهو الذي يحلل الزيت إلى غازات وينتج Hot spot أي نقاط ساخنة T1 , T2 , T3 أو أن يكون خليط من هذا وذاك ويرمز له بالرمز DT

وفيما يلي جدول يبين هذه الأعطال وأمثلة عليها (جدول رقم)

جدول رقم (5) :

The following table shows the faults type and their description .

Symbol	*Fault*	*Examples*
PD	Partial Discharge	Corona discharge in voids, gas bubbles with possible Formation of X – wax in paper
D1	Discharges of Low energy Spark	Partial discharges of the sparking type, inducing pinholes, carbonized punctures in paper Low energy arcing inducing carbonized perforation or Surface tracking of paper, or the formation of carbon Particles in oil
D2	Discharges of high energy Arc	Discharges in paper or oil, with power follow-through, Resulting in extensive damage to paper or large formation Of carbon particles in oil, metal fusion, tripping of equipment and gas alarms
T1	Thermal Fault T<300◦C	Evidenced by paper turning brownish (> 200◦C) or Carbonized ((> 300◦C)
T2	Thermal fault 300<T>700◦C	Carbonization of paper, formation of carbon particles in oil
T3	Thermal Fault, T> 700◦C	Extensive formation of carbon particles in oil, metal Coloration (800◦C) or metal fusion (>1000◦C)
DT	Electrical Fault And Thermal Fault	Development of one type of fault into another type of fault

وتضع المواصفات القياسية حدوداً قصوى لتواجد الغازات الذائبة DGA في الزيت وكذلك معدلات تولدها لا تتخطاها حتى لا يكون هناك مشكلة في المحول كما أن المواصفات تضع معدلات الزيادة على مستويين وهما مستوى الإنذار ومستوى الخطورة كما أنها تعطي الإجراءات اللازم عملها عند الوصول للمستويات الغير مقبولة . وكما سبق وذكرنا فإن العطل في المحول إما أن تكون هناك مشكلة لا تعتمد على الحرارة وهي تكون إما Spark أو Arc

Spark ≡ corona ≡ low energy discharge ≡ partial discharge

أو أن تكون

Arcing = High energy discharge

وهذه تسبب تحلل الزيت وإنتاج الغازات التي يذوب بعضها ويتصاعد جزء منها وهناك أيضا أعطال تسبب تولد هذه الغازات ويكون السبب فيها وجود نقاط ساخنة تسبب تحلل الزيت وإنتاج مجموعة الغازات السابقة الذكر ومعدلاتها تتوقف على إرتفاع درجة الحرارة ومنها نقاط ساخنة في التوصيلات Joints أو تلامسات Tap changer كما أن نوعية الغازات ممكن أن تحدد بها درجة حرارة هذه النقاط الساخنة (انظر جدول رقم) والجدول التالي يبين نوع المشكلة والغازات المتكونة في كل حالة (جدول رقم) .

جدول رقم (2) : يبين نوع العطل أو المشكلة مع وجود الغازات المصاحبة

Types of Problems	Gases Evolved
Cellulose Faults (Paper insulation around conductors) due to high temperature	Carbon Monoxide Carbon Dioxide
Oil Decomposition due to high temperature	Ethylene, Methane, Ethane, Hydrogen (sometimes Acetylene)
Arcing	Acetylene
Corona	Methane, Hydrogen
Overheating of conductors, connectors and core	Ethylene, Ethane

كما أن الجدول رقم (3) يبين أربع حالات من مستويات تكون الغازات المختلفة والناتجة من التحليل الكهربي أو الحراري وتتم هذه الغازات في كل حالة لكل غاز على حدة وكذلك قيمة TDCG ومما تجدر الإشارة أنه لكي يكون المحول سليم يلزم توفر شرطين

1) ألا تزيد قيمة كل غاز عن الحدود المسموح بها

2) ألا يزيد مجموع الغازات القابلة للإشتعال عن قيمة معينة وهي 720 ppm .

الجدول رقم (3) :

Dissolved Key Gas Concentration Limits in Parts Per Million (ppm)

Status	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2[1]	TDCG
Condition 1	100	120	35	50	65	350	2,500	720
Condition 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2,500-4,000	721-1,920
Condition 3	701-1,800	401-1,000	51-80	101-200	101-150	571-1,400	4,001-10,000	1,921-4,630
Condition 4	>1,800	>1,000	>80	>200	>150	>1,400	>10,000	>4,630

[1] CO_2 is not included in adding the numbers for TDCG because it is not a combustible gas.

كما أن الجدول رقم ( ) يبين كل حالة ومستوى TDCG ومعدل تكونها لكل يوم والتوصيات التي يلزم إتباعها في كل حالة .

الجدول رقم (4) :

Actions Based on Dissolved Combustible Gas

Conditions	TDCG Level or Highest Individual Gas (See Table 4)	TDCG Generation Rates (PPM/Day)	Sampling Intervals and Operating Actions for Gas Generation Rates	
			Sampling Interval	Operating Procedures
Condition 1	≤720 ppm of TDCG or highest condition based on individual gas from table 4	<10	Annually: 6mo for EHV trans	Continue normal operation.
		10-30	Quarterly	
		>30	Monthly	Exercise caution. Analyze individual gases to find cause. Determine load dependence.
Condition 2	721-1,920 ppm of TDCG or highest condition based on individual gas from table 4	<10	Quarterly	Exercise caution. Analyze individual gases to find cause. Determine load dependence.
		10-30	Monthly	
		>30	Monthly	
Condition 3	1,921-4,630 ppm of TDCG or highest condition based on individual gas from table 4	<10	Monthly	Exercise extreme caution. Analyze individual gases to find cause. Plan outage. Call manufacturer and other consultants for advice.
		10-30	Weekly	
		>30	Weekly	
Condition 4	>4,630 ppm of TDCG or highest condition based on individual gas from table 4	<10	Weekly	Exercise extreme caution. Analyze individual gases to find cause. Plan outage. Call manufacturer and other consultants for advice.
		10-30	Daily	
		>30	Daily	Consider removal from service. Call manufacturer and other consultants for advice.

NOTES: 1. Either the **Highest Condition Based on Individual Gas** or **Total Dissolved Combustible Gas** can determine the condition (1,2,3, or 4) of the transformer [11]. For example, if the TDCG is between 1,941 ppm and 2,630 ppm, this indicates Condition 3. However ,if hydrogen is greater than 1,800 ppm, the transformer is in Condition 4, as shown in table 4..

2. When the table says "determine load dependence," this means, if possible, find out if the gas generation rate in ppm/day goes up and down with load. Perhaps the transformer is overloaded. Take oil samples every time the load changes; if load changes are too frequent, this may not be possible.

3. To get TDCG generation rate, divide the change in TDCG by the number of days between samples that the transformer has been loaded. Down-days should not be included. The individual gas generation rate ppm/day is determined by the same method.

ملاحظات :

والجدول رقم ( ) يبين الحدود القصوى المقبولة لكل غاز على حدة وكذلك TCG وكذلك القيم الفعلية للمحول رقم (3) في الكلور .

جدول رقم (1)

ملاحظات	Actual value	Accept value		Gas
		Old	New	
تجاوز	384	250	200	(*) H_2
لم تتجاوز	73	250	100	(*) CH_4
لم تتجاوز	473	625	250	(*) CO
لم تتجاوز	2603	5000	2000	CO_2
لم تتجاوز	147	200	100	(*) C_2H_4
لم تتجاوز	19	400	200	(*) C_2H_6
تجاوز	131	25	25	(*) C_2H_2
تجاوز	**3830**	**725**	**700**	**مجموع الغازات القابلة للإشتعال TCG**

(*) غازات قابلة للإشتعال

ويلاحظ أن هذا الجدول ( ) بناءاً على المواصفات القياسية العالمية IEC أما الجدول السابق رقم ( ) فهو بناءاً على المواصفات الأمريكية IEEE .

كما أن الجدول رقم ( ) يبين الحدود المسموح بها طبقا IEEE وهو L1 وكذلك الحد الأول G1 للزيادة / شهر وهو مستوى الإنذار G1 = 10 x L1 والحد الثاني للزيادة وهو G2 وهو حد مستوى الخطورة G2 = 50% L2 / month .

جدول رقم ( )

Gas	*L1 Limits*	*G1 Limits (ppm per month)*	*G2 Limits (ppm per month)*
H_2	100	10	50
CH_4	75	8	38
C_2H_2	3	3	3
C_2H_4	75	8	38
C_2H_6	75	8	38
CO	700	70	350
CO_2	7000	700	3500

وتوجد عدة طرق لتحديد نوع العطل داخل المحول والتي بناءاً عليها يتم تحديد طريقة التعامل مع المحول . أما الإستمرار في العمل أو تخفيض الحمولة جزئياً أو قليلاً أو فصل المحول نهائياً ومن هذه الطرق :

1) الغاز المميز لكل حالة Key gas
2) إستخدام جداول IEC
3) إستخدام جدول روجرز
4) إستخدام مثلث دوفال
5) إستخدام مثلث PEM

وفيما يلزم وصف مختصر لكل طريقة وسوف نورد بعد ذلك أمثلة تطبق عليها هذه الطرق ويلاحظ أنه في حالة عدم الحصول على نتيجة معينة من إحدى الطرق يلزم تطبيق أحد الطرق الأخرى التي تؤدي إلى نتيجة .

1) الطريقة الأولى الغاز المميز Kay gas :

وفي هذه الطريقة نورد أربع حالات وهي :

1- PD – Corona effect

2- Arcing effect D2

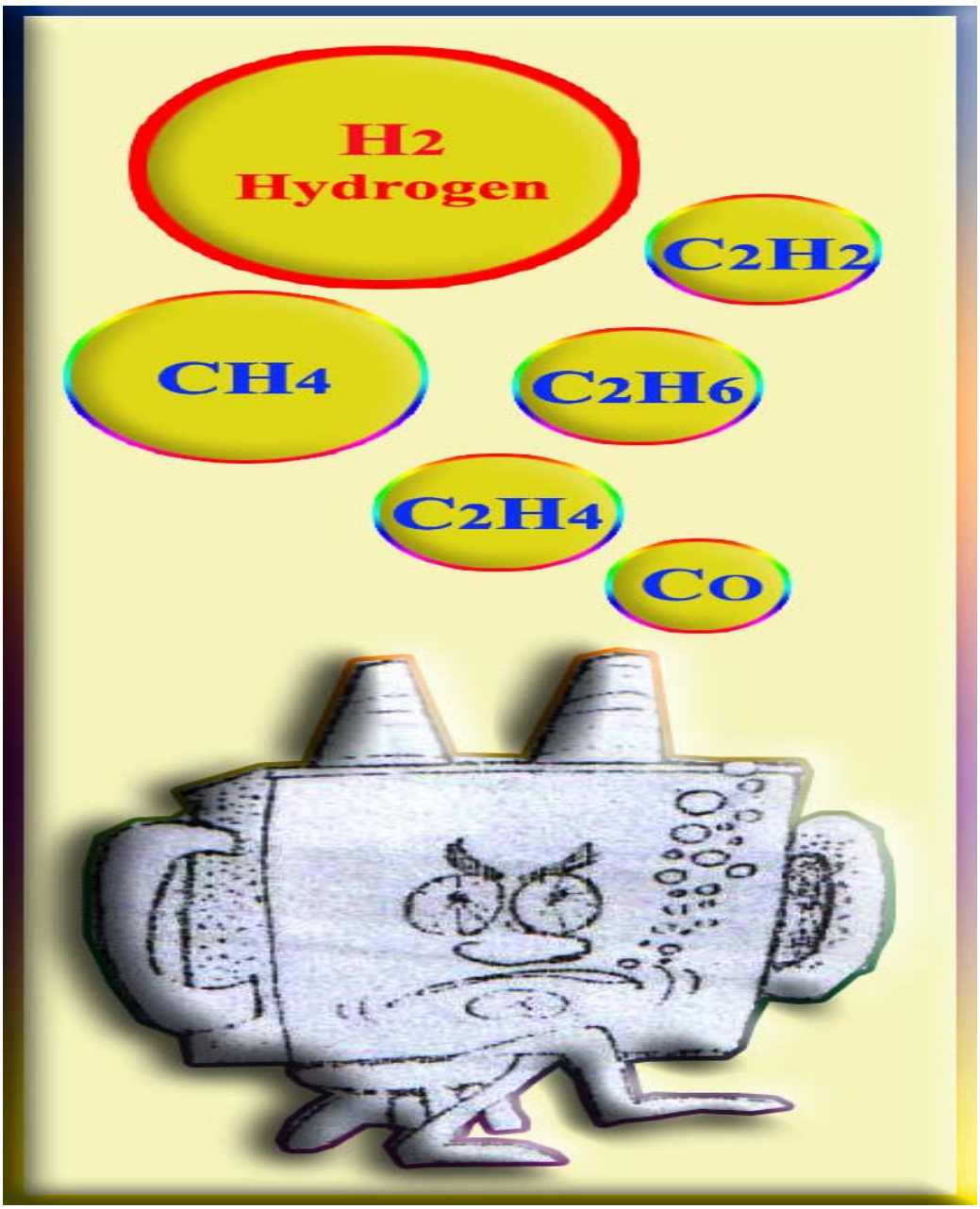
3- Heating in oil TR (T1 , T2 , T3)

وفي هذه الطريقة لا يتم تحديد العطل بالضبط هل هو T1 , T2 , T3 ولكن بصفة عامة تكون هناك حرارة زائدة فقط .

- Over heating of cellulose

أي حرارة عالية في مادة العزل الصلب والأشكال الآتية توضح كل حالة من الحالات السابقة .

شكل (5 ، 6 ، 7 ، 8)



CORONA EFFECT (PD)

شكل رقم (5)

Corona In Transformer Oil

HYDROGEN	-	86.0% of Combustibles	(KEY GAS)
Methane	-	13.0 % of Combustibles	
Carbon Monoxide	-	0.2% of Combustibles	
Ethane	-	0.5% of Combustibles	
Ethylene	-	0.2% of Combustibles	
Acetylene	-	0.1% of Combustibles	

ARCING EFFECT (D2)

شكل رقم (6)

Arcing In Transformer Oil

Hydrogen	-	60.0% of Combustibles	
ACETYLENE	-	30.0% of Combustibles	(KEY GAS)
Methane	-	5.0 % of Combustibles	
Ethane	-	1.6% of Combustibles	
Ethylene	-	3.3% of Combustibles	

HEATING IN OIL TRANSFORMER (T_1 , T_2 , T_3)

شكل رقم (7)

Overheating Of Transformer Oil

ETHYLENE	-	63.0 % of Combustibles	(KEY GAS)
Ethane	-	17.0 % of Combustibles	
Methane	-	16.0 % of Combustibles	
Acetylene	-	Trace	
Misc. Gases	-	Trace	

OVER HEATING OF Cellulose

شكل رقم (8)

Overheated Cellulose

CARBON MONOXIDE	-	92.0% of Combustibles	(KEY GAS)
Hydrogen	-	6.7% of Combustibles	
Methane	-	1.2 % of Combustibles	
Ethane	-	0.01% of Combustibles	
Ethylene	-	0.01% of Combustibles	
Acetylene	-	0.01% of Combustibles	

2) الطريقة الثانية بإستخدام جداول IEC :

في هذه الطريقة يتم إيجاد ثلاثة نسب وهي

1- $\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ = $\frac{\text{الإستلين}}{\text{الإيثلين}}$

2- $\frac{CH_4}{H_2}$ = $\frac{\text{الميثان}}{\text{الهيدروجين}}$

3- $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ = $\frac{\text{الإيثلين}}{\text{الإيثان}}$

بالترتيب السابق ويتم إستخراج الكود المناسب لكل نسبة من الجدول رقم (7) وأخيرا إيجاد نوع العطل طبقاً للكود من الجدول رقم (8) . كما أنه يتم حساب النسبة

$\frac{Co_2}{Co}$ = $\frac{\text{ثاني أكسيد الكربون}}{\text{أول أكسيد الكربون}}$

فإذا كانت هذه انسبة تقع ما بين 3 : 11 فإن ذلك يعني أن العزل الصلب ليس به مشكلة أما إذا تعدت هذه القيم فإنه تكون هناك مشكلة في العزل الصلب .

$\frac{Co_2}{Co} \nless 11$

$\frac{Co_2}{Co} \ngtr 3$

ويمكن تقييم الحالة بإستخدام هذه النسب وهي

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} \quad \& \quad \frac{CH_4}{H_2} \quad \& \quad \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

مباشرة دون إستخدام الكود كما سبق ولكن يتم في هذه الحالة إستخدام الجدول رقم (6)

3) الطريقة الثالثة بإستخدام جدول روجرز :

في هذه الطريقة يتم إيجاد

1) $\frac{CH_4}{H_2} = \frac{\text{الميثان}}{\text{الهيدروجين}}$

2) $\frac{C_2H_2}{CH_4} = \frac{\text{الإستلين}}{\text{الميثان}}$

3) $\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{\text{الإيثلين}}{\text{الإيثان}}$

4) $\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{\text{الإستلين}}{\text{الإيثلين}}$

فإذا كانت النسبة أصغر من 1 أي أن Ratio < 1

فإنه يعطي لها صفر (0) . أما إذا كانت النسبة أكبر من 1 أي أن Ratio > 1 فإنه يعطي لها (1)

. ثم بعد ذلك يتم إستخدام الجدول رقم (9) وهو جدول روجرز لتقييم الحالة .

4) الطريقة الرابعة بإستخدام مثلث دوفال :

في هذه الطريقة يتم حساب النسب الآتية :

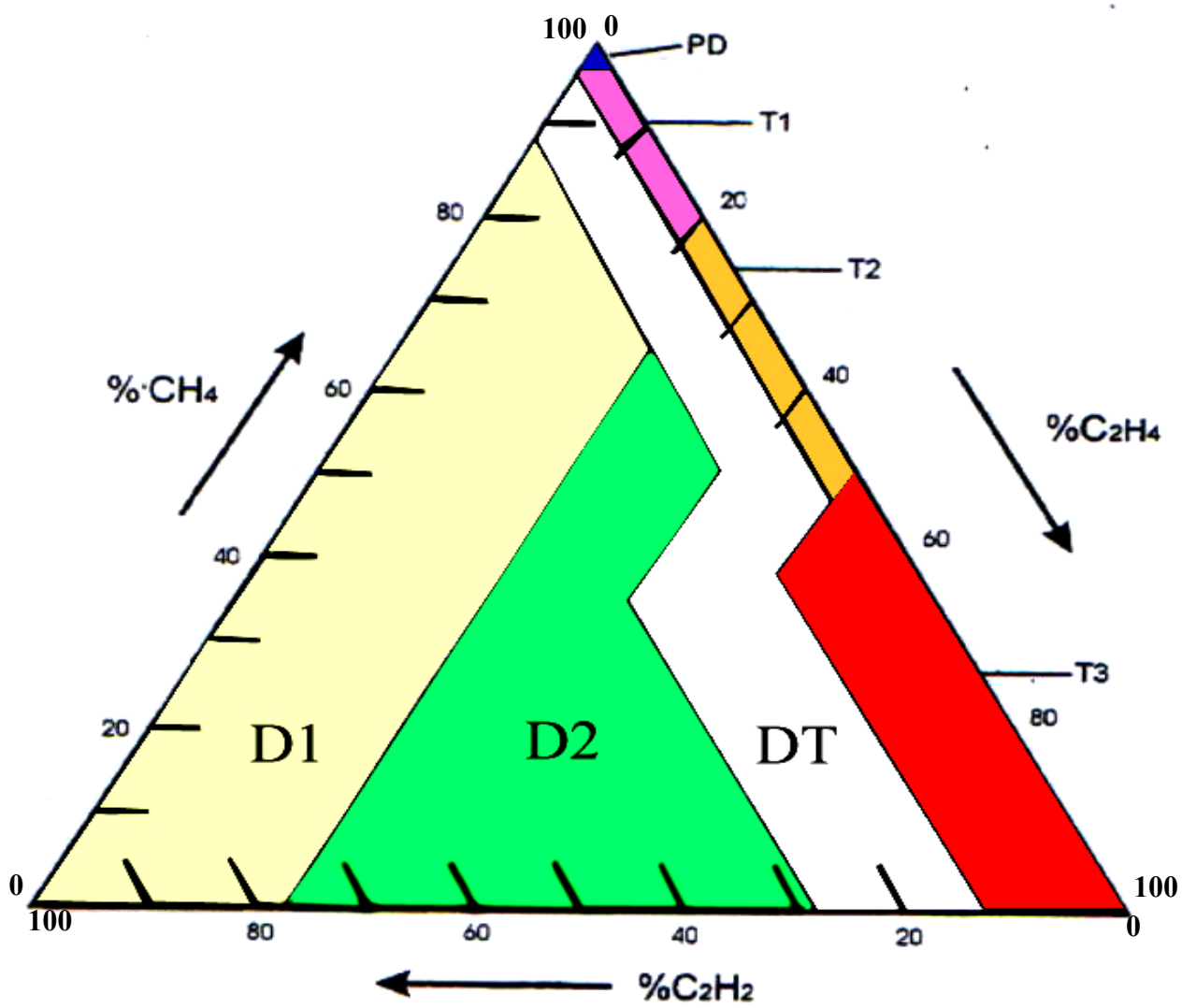
1) $\frac{C_2H_4}{CH_2 + C_2H_4 + C_2H_2}$ %

2) $$\frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \quad \%$$

3) $$\frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \quad \%$$

ثم يتم رسم مثلث أطوال أضلاعه هي النسب 1 & 2 & 3 بحيث يمثل طول كل ضلع 0 ⟶ 100 مع عقارب الساعة كما بالشكل الآتي :

شكل رقم (10) يوضح المثلث والمساحات التي توضح نوع كل عطل .



Duval triangle

PD – Partial Discharge

T1 – Thermal Fault less than 300°C

T2 – Thermal Fault between 300°C and 700°C

T3 – Thermal Fault greater than 700°C

D1 – Low Energy Discharge (Sparking)

D2 – High Energy Discharge (Arcing)

DT – Mix of Thermal and electrical faults

شكل رقم (10)

وتقسم المساحة الداخلية للمثلث بالمساحات T3 , T2 , T1 , DT , D2 , D1 , PD وكل مساحة من هذه المساحات تمثل عطل معين وبتوقيع قيم النسب السابقة على المثلث يتم بذلك تحديد العطل والشكل التالي يوضح هذه الطريقة (شكل رقم 10) .

ويجب ملاحظة أن هذا المثلث يتم حصوله عليه جاهزا ليستخدم في تحديد العطل وهو يمكن الحصول عليه من البريد الإلكتروني : dovalm@ireq.com كما يمكن رسم هذا المثلث بإستخدام برنامج Soft ware ويمكن الحصول عليه أيضا من

Kelman company in UK

- Server in USA
- Delta - X research company in Canda

5) الطريقة الخامسة بإستخدام مثلث PEM :

سميت هذه الطريقة بإسم المثلث PEM (PEM Method) وتتم هذه الطريقة كالآتي :

1) يتم حساب

$$S = CH_4 + C_2H_4 + C_3H_6$$

حيث أن :

CH_4 = غاز الميثان = Methane

C_2H_4 = غاز الإيثلين = Ethylene

C_3H_6 = غاز البروبان = Propane

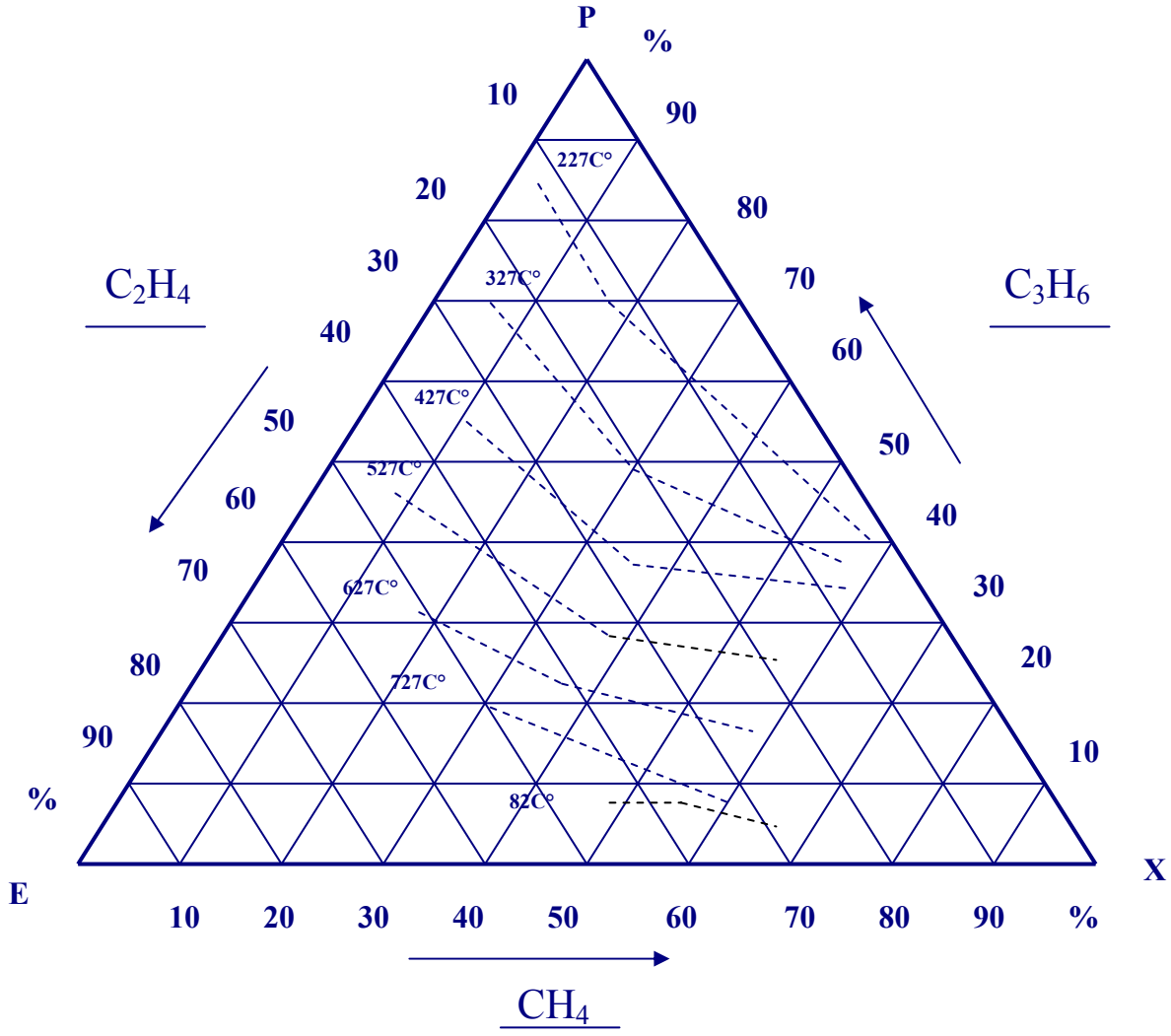
2) يتم حساب النسب الآتية :

$$\frac{C_2H_4}{S} \%$$

$$\frac{CH_4}{S} \%$$

$$\frac{C_3H_6}{S} \%$$

ويتم إستخدام المثلث التالي وتوقيع هذه النسب لتحديد المساحة التي تقع فيها النسب وبالتالي تحديد درجة الحرارة .



Note : $S = CH_4 + C_2H_4 + C_3H_6$

ملاحظة هامة :

هذا الشكل للتوضيح فقط ولكن لكي يتم الإستخدام الصحيح يلزم الحصول على هذا الجدول بآخر للإستخدام وتوقيع النسب السابق حسابها عليه والرسم المرسوم هنا لتوضيح الطريقة فقط .

علما بأن هذه القيم Accept Value تمثل الحد المقبول به لكل غاز على حده
كما يشترط ألا يزيد مجموع الغازات القابلة للإشتعال عن 720 ppm وهذه الغازات هي

أول أكسيد الكربون : CO
الإستلين : C_2H_2
الإيثان : C_2H_6
الإيثلين : C_2H_4
الميثان : CH_4
الهيدروجين : H_2

أي أن : (TCG) Total Combustion gases not more than 720 ppm
أي أن كمية الغازات القابلة للإشتعال يجب ألا تزيد عن 720 ppm حتى يكون المحول سليما وزيادة أي غاز من الغازات عن القيمة المذكورة يعطي دلالة عن نوع العطل
وإذا زادت هذه الغازات عن الحدود المسموح بها يكون ذلك نتيجة أعطال داخل المحول كما هو في الجدول رقم (2) وتوجد أربع حالات تتوقف عليها حالة المحول (أنظر الأشكال التالية)
ملحوظة : هذه القيم قد تتغير مع تقادم المحول (أنظر الملحق صفحة رقم 30)

الأشكال الآتية أرقام (5 ، 6 ، 7 ، 8) توضح تواجد الغازات الذائبة في كل حالة من حالات العطل الموضحة قرين كل شكل وكذلك نسبة الغاز الفاعل Key gas بالنسبة لمجموع الغازات الأخرى .

وهناك مواصفات أكثر تشددا وتحدد قيم أقل ومنها المواصفات الأمريكية IEEE وهذه القيم موضحة بالجدول رقم (3) وهذا الجدول يبين القيم المسموح بها لكل غاز على حده وكذلك مجموع الغازات القابلة للإشتعال وهذا الجدول يوضح الحالة الصحيحة السليمة والحالات الأخرى التي

توضح وجود مشكلة في المحول ، وهذه الحالات عددها (4) حالات تبدأ بالحالة العادية Normal condition وكذلك الحالات الثلاثة الأخرى التي توضح أن هناك مشكلة ما بالمحول وهي تتدرج من الأبسط حتى الحالة الخطيرة وهي الحالة رقم (4)

والجدول رقم (4) يوضح هذه الحالات والإجراء الذي يلزم إتخاذه في كل حالة .

ملاحظات :

1) إذا تجاوز غاز معين القيمة المسموح بها في الحالة (1) إلى حالة أخرى ولتكن (3) وتجاوز المجموع القيمة المسموح بها في الحالة (1) إلى الحالة (4) فإن تحديد الحالة الجديدة للمحول يكون طبقا لأيهما أكبر (الغاز المنفرد أو مجموع الغازات) أي الحالة الرابعة وليست الحالة الثالثة

مثال : إذا كان TDCG لمحول ما هو 4630 P.P.M : 1921

فإن المحول في هذه الحالة يكون في مستوى الخطورة الثالث Condition 3 وإذا كان لنفس المحول قيمة الهيدروجين الموجود أكبر من 1800 P.P.M فإن المحول يدخل في هذه الحالة مستوى الخطورة رقم (4) وليس (3)

2) عند ذكر عبارة Determine load dependence في الجدول رقم (4) فإن هذا يعني أنه إذا إستطعنا إيجاد معدل تولد الغازات P.P.M / day وكان هذا المعدل يزيد وينقص مع الحمل فإن ذلك يعني أن المحول Over load وفي هذه الحالة يلزم أخذ عينة عند كل حمل معين " في حالات تحمل مختلفة " وتحليلها وإيجاد العلاقة بين الحمل ومعدل تزايد الغازات مع العلم بأنه في حالات كثيرة لا يمكن عمل ذلك خصوصا إذا كان معدل تغير الحمل سريع

3) لإيجاد معدل تولد TDCG نقسم التغير في TDCG على عدد الأيام بين كل عينة والتي يكون فيها المحول محملا Loaded وهذه الأيام لا تتضمن الأيام التي يكون بها المحول بدون حمل وهذا أيضا يطبق عند إيجاد معدل تغير كل غاز على حده .

والشكل التالي شكل رقم (9) يوضح العلاقة النسبية لتولد الغازات المختلفة عند درجات الحرارة المختلفة وهذا الرسم ليس مرسوما بمقياس رسم ولكنه للتوضيح فقط ويبدأ هذا الشكل بحالة التفريغ الجزئي "حالة الكرونا" والتي لا تعتمد على درجة الحرارة حتى الوصول إلى درجة حرارة 800 درجة مئوية ومعها يتزايد معدل تولد غاز الإستيلين C_2H_2 بصورة كبيرة .

شكل رقم (9) :

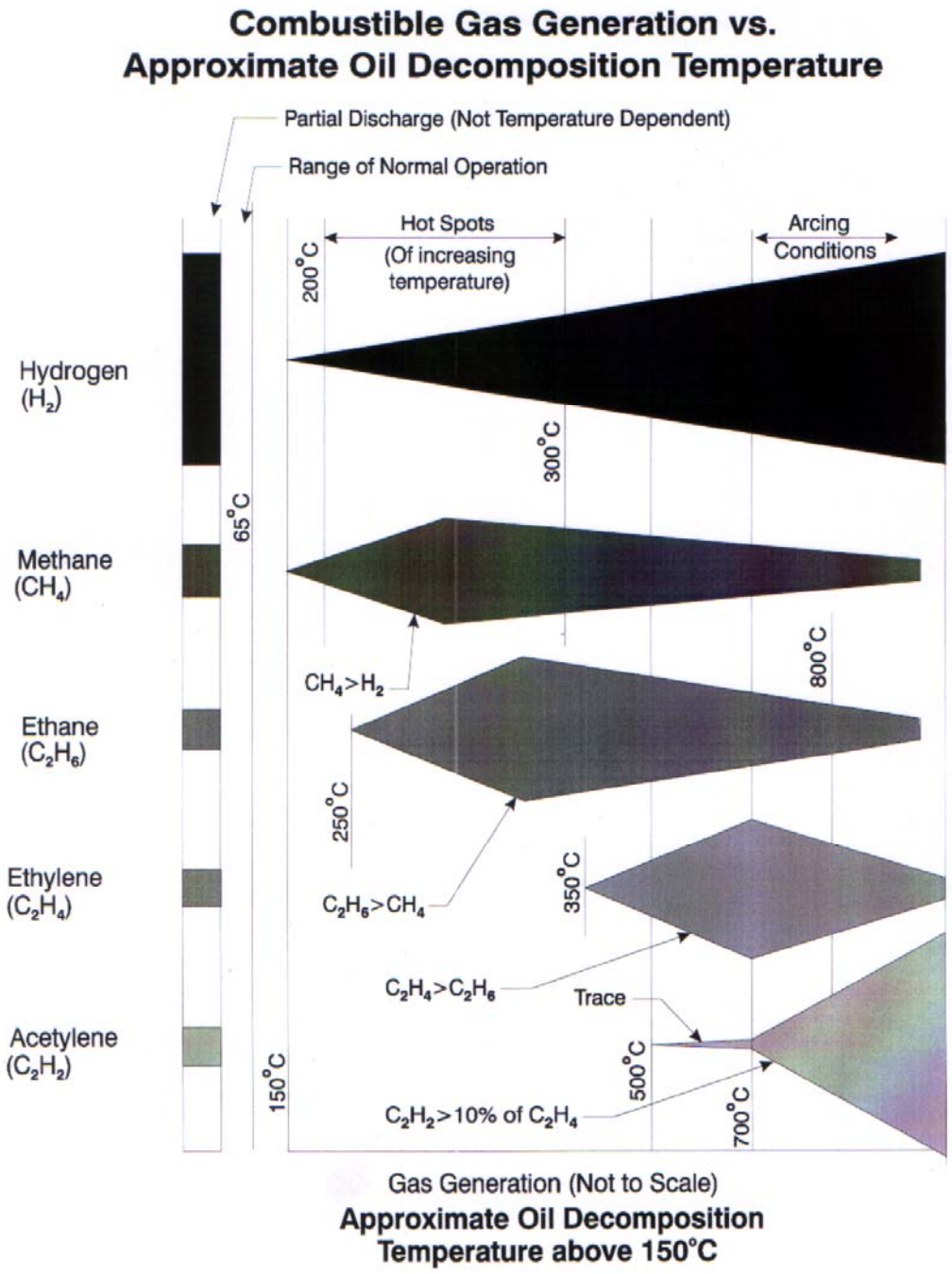

Combustible Gas Generation vs.
Approximate Oil Decomposition Temperature
Partial Discharge (Not Temperature Dependent)
Range of Normal Operation
Hot Spots
(Of increasing temperature)
Arcing Conditions
200°C
300°C
65°C
800°C
250°C
350°C
150°C
500°C
700°C
Hydrogen (H_2)
Methane (CH_4)
Ethane (C_2H_6)
Ethylene (C_2H_4)
Acetylene (C_2H_2)
CH_4>H_2
C_2H_6>CH_4
C_2H_4>C_2H_6
Trace
C_2H_2>10% of C_2H_4
Gas Generation (Not to Scale)
Approximate Oil Decomposition Temperature above 150°C

Fig No (9) : Combustible Gas Generation Versus Temperature.

ولمعرفة نوع العطل الداخلي في المحول توجد عدة طرق وسوف نورد هنا ثلاثة طرق لتحديد نوع العطل داخل المحول الذي يكون في الغالب أحد الأعطال المدونة في الجدول التالي رقم (5) والذي يوضح هذه الأعطال ووصف لكل واحد منها .

وهذه الطرق هي :

1) إستخدام جداول IEC جداول (6 ، 7 ، 8)
2) إستخدام جدول روجر جدول رقم (9)
3) إستخدام مثلث دوفال شكل رقم (10)

ملحوظة : إذا كانت الحالة لا تنطبق على الحالات الموجودة في طريقة معينة فإنه يلزم إستخدام طريقة أخرى

طرق تحديد العطل

1) ***الطريقة الأولى :*** بإستخدام جداول IEC (6 ، 7 ، 8)

نبدأ بإيجاد النسب التالية : -

1- $\frac{Co_2}{Co} = \frac{\text{ثاني أكسيد الكربون}}{\text{أول أكسيد الكربون}}$

2- $\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{\text{الإستلين}}{\text{الإيثلين}}$

3- $\frac{CH_4}{H_2} = \frac{\text{الميثان}}{\text{الهيدروجين}}$

4- $\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{\text{الإيثلين}}{\text{الإيثان}}$

والجدول رقم (6) يبين قيم النسب 2 ، 3 ، 4 والأعطال المصاحبة لكلا منها والجدول رقم (7) يبين الكود . كما أن الجدول رقم (8) يبين الأعطال في الحالات المختلفة ووصف للمشكلة أما النسبة الأولى فيجب ألا تزيد قيمتها عن 11 وألا تقل عن 3 أي أن

$$\frac{CO_2}{CO} \leqslant 3 \qquad \text{And} \qquad \frac{CO_2}{CO} \geqslant 11$$

وإلا كان هناك مشكلة في العزل الصلب إذا تجاوزت هذه القيمة الحدود السابقة

ملاحظة :

النسبة $\frac{Co_2}{Co}$ يجب أن تكون في حدود (7) والقيمة القصوى هي (11) والقيمة الصغرى هي (3) وذلك عندما يكون العزل الصلب بحالة جيدة

جدول رقم (6) :

DGA interpretation table

Case	Characteristic fault	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
PD	Partial discharges	NS[1)]	<0,1	<0,2
D1	Discharges of low energy	>1	0,1 – 0,5	>1
D2	Discharges of high energy	0,6 – 2,5	0,1 – 1	>2
T1	Thermal fault t < 300 °C	NS[1)]	>1 but NS[1)]	<1
T2	Thermal fault 300 °C < t < 700 °C	<0,1	>1	1 – 4
T3	Thermal fault t > 700 °C	<0,2[2)]	>1	>4

NOTE 1 – In some countries, the ratio C_2H_2/C_2H_6 is used, rather than the ratio CH_4/H_2. Also in some countries, slightly different ratio limits are used.

NOTE 2 – The above ratios are significant and should be calculated only if at least one of the gases is at a concentration and a rate of gas increase above typical values

NOTE 3 – CH_4/H_2 <0,2 for partial discharges in instrument transformers.

CH_4/H_2 <0,07 for partial discharges in bushings.

NOTE 4 – Gas decomposition patterns similar to partial discharges have been reported as a result of the decomposition of thin oil film between over-heated core laminates at temperatures of 140 °C and above

[1)] NS = Non-significant whatever the value.

[2)] An increasing value of the amount of C_2H_2 may indicate that the hot spot temperature is higher than 1 000 °C.

2) ***الطريقة الثانية :*** وهي طريقة إستخدام جدول روجر جدول رقم (9) وتتلخص في إيجاد الأربع نسب التالية:

1- $\frac{CH_4}{H_2} = \frac{\text{الميثان}}{\text{الهيدروجين}}$

2- $\frac{C_2H_2}{CH_4} = \frac{\text{الإستلين}}{\text{الميثان}}$

3- $\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{\text{الإيثلين}}{\text{الإيثان}}$

4- $\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{\text{الإستلين}}{\text{الإيثلين}}$

* فإذا كانت أي نسبة من هذه النسب أقل من واحد إعتبرت صفر (0)

* وإذا كانت أكبر من واحد إعتبرت واحد (1)

3) ***باستخدام مثلث دوفال :*** يتم حساب نسبة كل غاز من الغازات الثلاثة الآتية إلى مجموع هذه الغازات الثلاثة .

1) $\frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2}$ %

2) $\frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2}$ %

3) $\frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2}$ %

ويتم إستخدام رسم خاص لهذا المثلث وتوقيع النسب التي تم الحصول عليها لمعرفة نوع العطل

ويـــتم إســـتخدام ورق معـــين يمكـــن الحصـــول عليـــه بواســـطة البريـــد الإلكترونـــي duvalm @ ireq.com كما يمكن رسم هذا المثلث بإستخدام Software خاص يمكن الحصول عليه من

- Kelman company in UK
- Server in USA
- Delta – X research company in CANDA

يبقى أن نطبق هذه الطرق الثلاثة السابقة بإستخدام النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل الزيت في هيئة كهرباء مصر للمحول الثالث بالكلور .

تحليل نتائج الإختبارات

1)باستخدام طريقة جدول IEC :

$$\frac{Co_4}{Co} = \frac{2903}{473} = 6$$

وهذه النسبة أكبر من 3 وأقل من 11

∴ لا يوجد عطل في العزل الصلب

* يتم إيجاد النسبة الثانية وهي

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{131}{147} = 0.89$$

وهذه النسبة تقع بين 0.6 – 2.5 والكود لها [1]

* أما النسبة الثالثة

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{73}{384} = 0.19$$

وهي قيمة تقع بين 0.1 – 1 والكود لها [0]

* أما النسبة الربعة فهي

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{147}{19} = 7.7$$

وهي قيمة أكبر من 3 والكود لها [2]

وبالرجوع إلى الجدول رقم (6) ووضع هذه القيم على الجدول نحصل على نوع العطل وهو في هذه الحالة D2 وهي تعطي High discharge (الحالة الرابعة)

أي أن هناك عطل عبارة عن Discharge of high energy (arcing)

كما أنه يمكن إستخدام الجدول رقم (8) لتحديد نوع العطل وذلك بعد تحديد النسب السابقة والرقم الكودي لكل نسبة هكذا طبقا للجدول رقم (7) " جدول الكود "

Ratio of c/c gas	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
< 0.1	0	1	0
0.1 – 1	1	0	0
1 – 3	1	2	1
> 3	2	2	2

جدول رقم (7)

النسبة الأولى : $\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$

فإذا كانت هذه النسبة

$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 0.1 \longrightarrow 0$

وإذا كانت

$= 0.1 - 1 \longrightarrow 1$

وإذا كانت

$= 1 - 3 \longrightarrow 1$

وإذا كانت

$> 3 \longrightarrow 2$

النسبة الثانية :

$$\frac{C_2H_4}{H_2}$$

$< 0.1 \longrightarrow 1$

$= 0.1 - 1 \longrightarrow 0$

$= 1 - 3 \longrightarrow 2$

$> 3 \longrightarrow 2$

النسبة الثالثة :

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

$< 0.1 \longrightarrow 0$

$= 0.1 - 1 \longrightarrow 0$

$= 1 - 3 \longrightarrow 1$

$> 3 \longrightarrow 2$

وبناءا على ذلك فإن:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = 0.89 \longrightarrow 1$$

$$\frac{CH_4}{H_2} = 0.19 \longrightarrow 0$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = 7.7 \longrightarrow 2$$

وبالرجوع إلى الجدول التالي رقم (8) فإن العطل هو High energy discharge (D2)
وهي الحالة الرابعة من الأعطال (Arcing)

Ratios for key gases

Code range of ratios		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	Detection limits and 10 x detection limits are shown below: C_2H_2 1 ppm 10 ppm; C_2H_4 1 ppm 10 ppm; CH_4 1 ppm 10 ppm; H_2 5 ppm 50 ppm; C_2H_6 1 ppm 10 ppm
<0.1		0	1	0	
0.1-1		1	0	0	
1-3		1	2	1	
>3		2	2	2	
Case	Fault Type				Problems Found
0	No fault	0	0	0	Normal aging
1	Low energy partial discharge	1	1	0	Electric discharges in bubbles, caused by insulation voids or super gas saturation in oil or cavitation (from pumps) or high moisture in oil (water vapor bubbles).
2	High energy partial discharge	1	1	0	Same as above but leading to tracking or perforation of solid cellulose insulation by sparking, or arcing; this generally produces CO and CO_2.
3	Low energy discharges, sparking, arcing	1-2	0	1-2	Continuous sparking in oil between bad connections of different potential or to floating potential (poorly grounded shield etc); breakdown of oil dielectric between solid insulation materials.
4	High energy discharges, arcing	1	0	2	Discharges (arcing) with power follow through; arcing breakdown of oil between windings or coils, or between coils and ground, or load tap changer arcing across the contacts during switching with the oil leaking into the main tank.
5	Thermal fault less than 150 °C (see note 2)	0	0	1	Insulated conductor overheating; this generally produces CO and CO_2 because this type of fault generally involves cellulose insulation.
6	Thermal fault temp. range 150-300 °C (see note 3)	0	2	0	Spot overheating in the core due to flux concentrations. Items below are in order of increasing temperatures of hot spots. Small hot spots in core. Shorted laminations in core. Overheating of copper conductor from eddy currents. Bad connection on winding to incoming lead, or bad contacts on load or no-load tap changer. Circulating currents in core; this could be an extra core ground, (circulating currents in the tank and core); this could also mean stray flux in the tank.
7	Thermal fault temp. range 300-700 °C	0	2	1	
8	Thermal fault temp. range over 700 °C (see note 4)	0	2	2	These problems may involve cellulose insulation which will produce CO and CO_2.

Notes: 1. There will be a tendency for ratio C_2H_2/C_2H_4 to rise from 0.1 to above 3 and the ratio C_2H_4/C_2H_6 to rise from 1-3 to above 3 as the spark increases in intensity. The code at the beginning stage will then be 1 0 1.

2. These gases come mainly from the decomposition of the cellulose which explains the zeros in this code.

3. This fault condition is normally indicated by increasing gas concentrations. CH_4/H_2 is normally about 1, the actual value above or below 1, is dependent on many factors such as the oil preservation system (conservator, N_2 blanket, etc.), the oil temperature, and oil quality.

4. Increasing values of C_2H_2 (more than trace amounts), generally indicates a hot spot higher than 700 °C. This generally indicates arcing in the transformer. If acetylene is increasing and especially if the generation rate is increasing, the transformer should be de-energized, further operation is extremely hazardous.

جدول رقم (8)

Ratio chart as Per IEC

2)باستخدام طريقة روجر :

يتم حساب النسب الآتية :

$$1 - \frac{CH_4}{H_2} = \frac{73}{384} = 0.19$$

$\longrightarrow$ **0**

$$2 - \frac{C_2H_2}{CH_4} = \frac{131}{73} = 1$$

$\longrightarrow$ **1**

$$3 - \frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{147}{19} = 7.7$$

$\longrightarrow$ **1**

$$4 - \frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{131}{147} = 0.89$$

$\longrightarrow$ **0**

وبمراجعة الجدول الخاص بطريقة روجر (جدول رقم 9) نجد أن العطل غير موجود في الجدول وبناءاً عليه لا يتم إستخدام هذه الطريقة ويتم اللجوء إلى أي طريقة أخرى .

جدول رقم (9) :

CH_4/H_2	C_2H_2/CH_4	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_2/C_2H_4	*Observation*
0	0	0	0	If ratio < 0.1, partial discharge possible, else OK
1	0	0	0	Slight overheating < 150^0C
1	1	0	0	Overheating < 150 < 200^0C
0	1	0	0	Overheating < 200 < 300^0C
0	0	1	0	General overheating
0	0	0	1	Flash over
0	1	0	1	Tap selector breaking current
0	0	1	1	Arcing / Sparking

Roger's ratio chart

جدول روجر

3) باستخدام طريقة مثلث دوفال ويتم حساب النسب الثلاثة الآتية :

النسبة الأولى

$$\frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\frac{147}{73 + 147 + 131} \times 100 \qquad \frac{147}{351} \times 100 = \underline{\mathbf{41.9\ \%}}$$

النسبة الثانية

$$\frac{C_2H_2}{351} \times 100 = \frac{131}{351} \times 100 = \underline{\mathbf{37.3\ \%}}$$

النسبة الثالثة

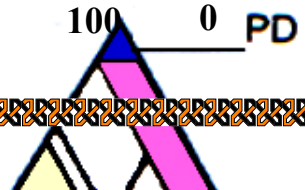
$$\frac{CH_4}{351} \times 100 = \frac{73}{351} \times 100 = \underline{\mathbf{20.8\ \%}}$$

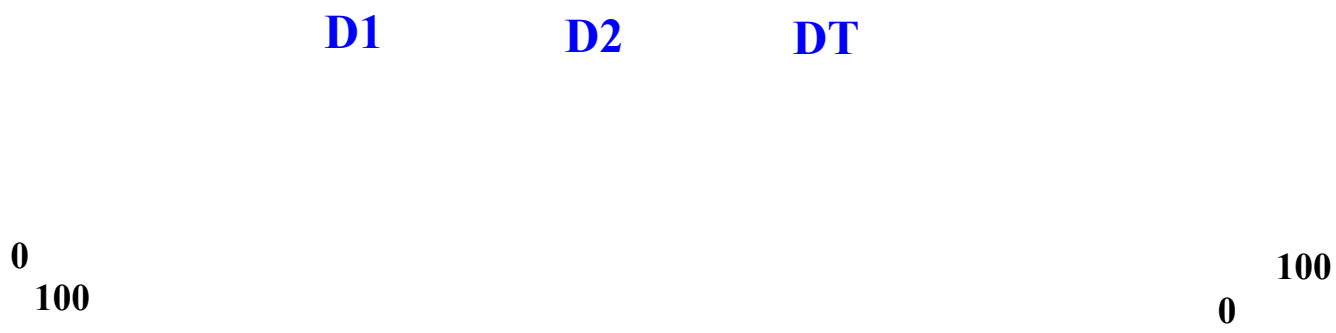
ويتم توقيع هذه النسب على المثلث الخاص بهذه الطريقة نحصل على المنطقة D2 كما هو موضح في الشكل رقم (11) .

والعطل هو عبارة عن High-energy discharge Arcing

الـخلاصة : من التحليلات والتقارير المرفقة يمكن وصف حالة المحول كالآتي :

1) وجود عطل أرضي على ملفات الضغط العالي
2) وجود شوائب في الزيت تتسبب في إنخفاض جهد العزل إلى قيمة 25 ك.ف بدلا من 40 ك.ف
3) إرتفاع نسبة الحموضة نسبيا
4) وجود تفريغ كهربي داخل المحول Arcing وربما يكون هذا هو السبب في وجود عطل على ملفات الضغط العالي
5) العزل الصلب سليم
6) نسبة التحويل سليمة
7) قيمة مقاومة (D.C) لكلا من الإبتدائي والثانوي سليمة وسوف يتم فتح المحول ومعرفة ما بداخله وما إذا كان من ممكن الإصلاح بواسطة طاقم الصيانة أم أن الأمر يستدعى تغيير الملفات
8) تم فتح المحول وإخراج الأجزاء الفعالة " القلب الحديدي ، الملفات " وقد وجد طرف من أطراف ملفات الفازة W والتي تصل إلى تلامسات الـ Tap Changer ملامسة مع جسم القلب الحديدي وهناك آثار Arcing . فتم تغيير هذا الطرف مع العزل وعزل الأطراف القديمة منه والتي تأثرت وعددها (2) طرف وهذا ما تم التوصل إليه من التحليل الغازي للزيت قبل فتح المحول . (إنظر التقرير المرفق الخاص بالمحول)





Duval Triangle After Applying The Results Of The Oil Analysis
The Fault Is Determined In Green Zone (D2)

شكل رقم (11)

ويوجد حاليا جهاز محمول من شركة KELMAN الإنجليزية يسمى Transport-X يقوم بعمل التحليل الغازي للغازات الذائبة في الزيت DGA الآتية : -

H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , $C2H_4$, C_2H_6

كما أنه يقوم بتحديد نسبة الرطوبة الموجودة في الزيت بدرجة دقة قد تصل إلى 2 PPM $\pm$ ويعطي النتائج في خلال عدة دقائق كما يقوم بعمل تشخيص لنوع العطل (Diagnostics) أوتوماتيكيا بإستخدام

الطرق الثلاثة المذكورة سابقا كما أنه يمكن أيضا توصيله بالكمبيوتر عن طريق مخرج USB لأغراض تخزين المعلومات والطباعة ورسم البيانات ومنه نوع يركب مباشرة على المحول On-line DGA

المرفقات : -

1 – ملحق رقم (I) التركيز المسموح به للغازات المذابة في زيت المحولات
2 - ملحق رقم (II) نتائج تحليل الزيت الجديد قبل التشغيل
2 – ملحق رقم (III)طريقة أخذ العينة بغرض التحليل الكيميائي - الفيزيائي
3- ملحق رقم (IV) طريقة أخذ العينة بغرض التحليل الغازي
4 – مواصفات زيوت المحولات من شركة Shell and Amoc
5 – كتالوج خاص بجهاز التحليل الغازي من شركة KELMAN .
6- تقرير رقم 1، 2 ، 3 الوارد من هيئة كهرباء مصر والخاصة بالمحول الثالث
*** تقرير رقم (1) : تم القياس والتحليل للزيت القديم**
*** تقرير رقم (2) : تم القياس للمحول بعد تفريغه من الزيت**
*** تقرير رقم (3) : تم القياس بعد تجفيف المحول وملئه بالزيت الجديد**
7- عدد (4) حالات خاصة بالتحليل الغازي لزيوت بعض المحولات في مرات سابقة ويمكن تطبيق احد الطرق الثلاثة السابقة ومقارنة ما يتم التوصل إليه بالنتائج والتقييم الوارد بالتقرير

إعداد الأشكال

م/ محمد عبد المقصود

إعداد

" م .

محمد حسن مغازي "

مدير عام الكهرباء والتحكم الآلي

ملحق رقم (I)

التركيز المسموح به للغـازات المذابة في زيت المحولات

(Transformatoren Union AG)

الغـــــاز	أقل من أربع سنوات في الخدمة	4 – 6 سنوات في الخدمة	أكثر من عشر سنوات في الخدمة

هيدروجين	150/100	300/200	300/200
ميثان	70/50	150/100	300/200
استيلين	30/20	50/30	150/100
ايثلين	150/100	200/150	400/200
ايثان	50/30	150/100	1000/800
أول أكسيد الكربون	300/200	500/400	700/600
ثاني أكسيد الكربون	3500/3000	5000/4000	12000/9000

الوحدات جزء من المليون *Part per million (ppm)*

ملحق رقم (II)

تحليل نتائج إختبار الزيت الجديد بعد عملية التكرير وخلط عدد (19) برميل من زيت أموك مع عدد (44) برميل من زيت ***شل ديالا D***

النتائج :

H_2 = 3
CH_4 = 0
CO = 4
CO_2 = 112

C_2H_4 = 0
C_2H_6 = 1
C_2H_2 = 0
T.C.G = 8 %

أنظر المرفق الخاص بنتائج التحليل

تحليل النتائج :

1) بإستخدام جدول IEC

$$\frac{CO_2}{CO} = \frac{112}{4} = 28 > 3 > 11$$

ولكنها أكبر أيضا من 11 (ممن الممكن وجود تآكل في العزل الصلب) أو أن الزيت تعرض للجو مما يؤدي إلى وجود CO_2 بكمية كبيرة أو قد لا يوجد

:. يوجد تآكل للعزل الصلب

النسبة الأولى :

$$= \frac{C_2H_2}{C_2H_2} = \frac{0}{0} \simeq 0 = \text{Non defined}$$ (كمية غير محدودة)

وذلك لأن تواجد الإيثلين يكون سابقا لتواجد الإستيلين

النسبة الثانية :

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{0}{3} = 0$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{0}{1} = 0$$

بالرجوع إلى الجدول رقم (7) نجد أن القيمة 000 تعني أنه ليس هناك عطل

2) بإستخدام طريقة روجر :

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{0}{3} = 0$$

$$\frac{C_2H_2}{CH_4} = \frac{0}{0} = \text{non defined}$$
$$= 0$$

لأن تواجد CH_4 يكون سابقا لتواجد C_2H_2

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{0}{1} = 0$$

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{0}{0} = \text{non defined} = 0$$

حيث أن غاز C_2H_4 سابق في التواجد عن غاز C_2H_2

وبمراجعة الجدول رقم (9) نجد أنه لا يوجد عطل

3) بإستخدام مثلث دوفال :

نوجد قيمة

$$CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2$$

$$= 0 + 0 + 0 = 0$$

أي لا يوجد مثلث أصلاً

.: لا يوجد عطل

وفي هذه الحالة $T.C.G = 3 + 0 + 4 + 0 + 1 + 0 = 8 << 700$

.: الحالة ممتازة

هذه هي حالة الزيت قبل الإستخدام وقد وضع المحول في الخدمة في 2008/4/1م ويلزم متابعة الحالة وتحليل عينة من الزيت مرة أخرى بعد ستة أشهر من التشغيل لمعرفة مدى تطور الحالة .

ملحق رقم (III)

*** طريقة أخذ العينة بغرض التحليل الكيميائي – الفيزيائي جهد الكسر**

أولا الإحتياطات : -

1) عينة الزيت تؤخذ في ظروف جوية وبيئية نظيفة وجافة

2) زجاجات أخذ العينات يجب أن تكون نظيفة وجافة وخالية من أي شوائب أو رطوبة ولها غطاء محكم القفل

3) يجب تنظيف فوهة محبس أخذ العينة

4) يفتح المحبس ويترك لبضع ثواني حتى لا تؤخذ عينة الزيت من أول كمية تسكب من المحبس

ثانيا المهمات المطلوبة :

1) زجاجات أخذ العينات

2) خرطوم لتركيبه على المحبس

3) بطاقات لاصقة

ثالثا طريقة أخذ العينات :

1) نظف منطقة المحبس وحوله الذي سوف تؤخذ منه العينة

2) إفتح محبس أخذ العينة وخذ حوالي 1 لتر من الزيت لتنظيف المحبس من الداخل وهذا المقدار لا يؤخذ كعينة

3) اشطف الزجاجة الخاصة بالعينة وجففها جيدا ثم إغسلها بالزيت عدة مرات

4) إملاء زجاجة أخذ العينة ببطئ وتجنب دخول فقاعات هواء بها

5) إذا كان المحول له محبس علوي تؤخذ عينة أخرى من هذا المحبس العلوي بنفس الخطوات (1-4) ويسجل ذلك في بطاقة أخذ العينة التي سوف تلصق على زجاجة العينة لتوضح ما إذا كانت العينة من المحبس العلوي أو السفلي

6) اكتب على البطاقات اللاصقة البيانات الآتية ثم إلصقها على الزجاجات :

اسم المحطة ، الصانع – سنة الصنع – تاريخ أخذ العينة – قدرة المحول – مكان أخذ العينة (من أسفل أو من أعلى)

ملحق رقم (IV)

* **طريقة أخذ العينة بغرض التحليل الغازي**

أولا الإحتياطات :

1) تؤخذ عينة الزيت في ظروف جوية وبيئية نظيفة وجافة

2) زجاجات أخذ العينة يجب أن تكون نظيفة وجافة وخالية من أي شوائب أو رطوبة ولها غطاء محكم

3) وجود صندوق توضع فيه هذه الزجاجات وهذا الصندوق يكون محكم القفل

4) بطاقات لاصقه لكتابة البيانات

5) لا تملاء السرنجة بأكثر من 100سم^3 كل مره

ثانياً : المهمات المطلوبة

1) سرنجة خاصة بهذه العملية

2) مشترك مناسب **Adaptor**

3) خرطوم

4) صمام ثلاثي الإتجاهات

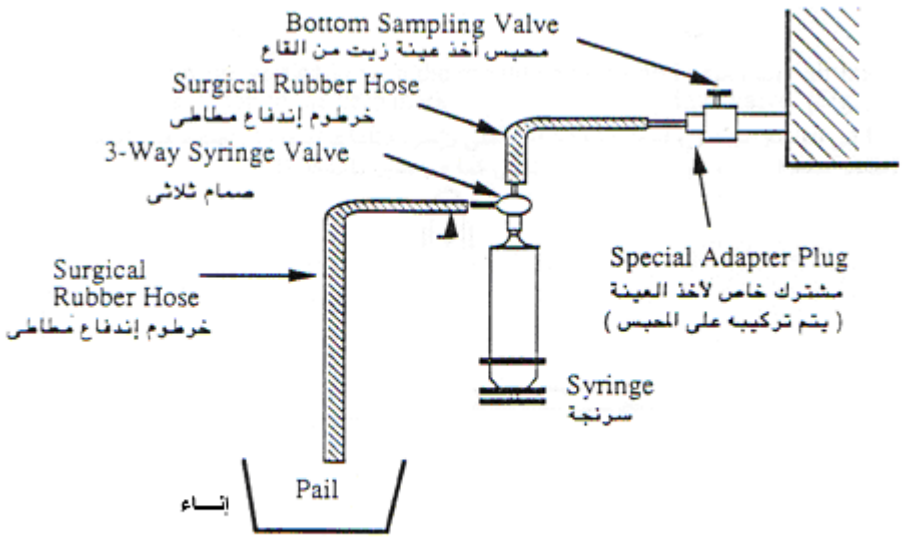
5) بطاقات لاصقه

6) زجاجات اخذ العينة

ثالثاً طريقة أخذ العينة :

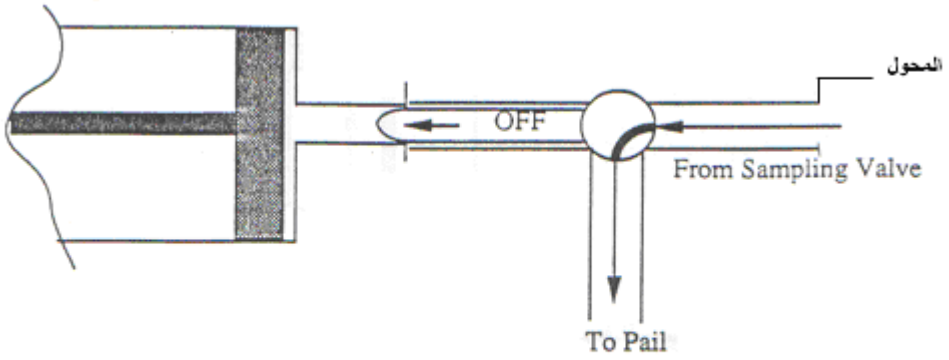
1) نظف المنطقة حول المحبس الذي سوف تؤخذ منه العينة

2) ركب خرطوم مطاطي نظيف والصمام الثلاثي على محبس اخذ العينة



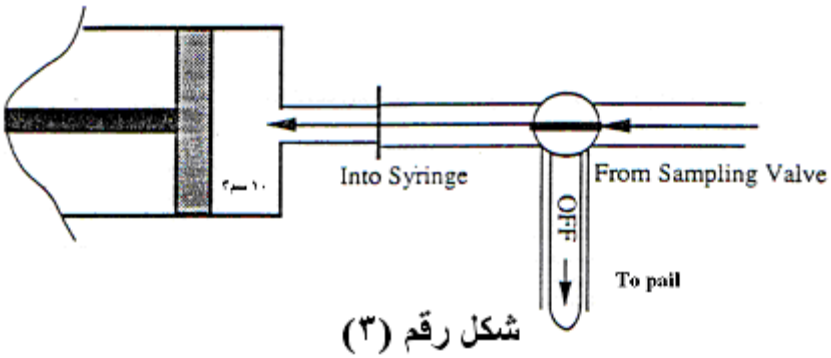
شكل رقم (١)

3) أدر الصمام الثلاثي لوضع الكسح ثم افتح بلف اخذ العينة حتى تخرج كميه من الزيت كافيه لإخراج كل الهواء الموجود بالخرطوم كما هو مبين بالشكل رقم (2)



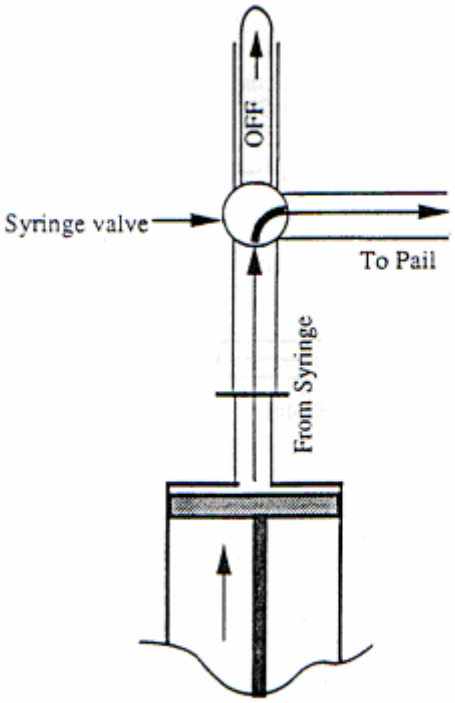
شكل رقم (٢)

4) أدر الصمام الثلاثي إلى وضع الملئ وخذ حوالي 10سم3 من الزيت في السرنجة ثم إقفل محبس العينة وأخرج السرنجة كما هو موضح بالشكل رقم (3)



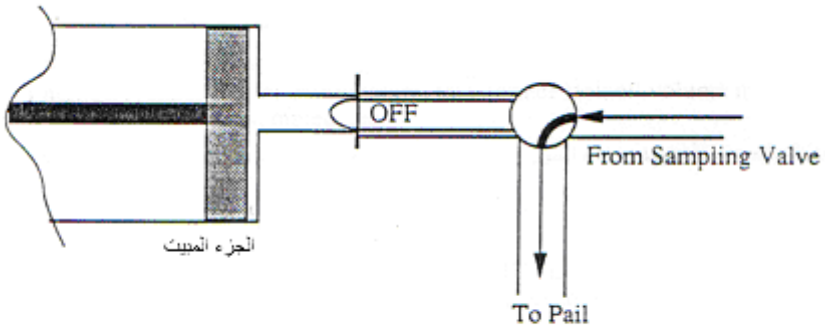
شكل رقم (٣)

5) امسك السرنجة في وضع رأسي وفوهتها إلى أعلى واطرد فقاعات الهواء ثم إضغط على عمود السرنجة حتى يصل المكبس الخاص بها إلى الصفر ليتم تفريغها من الزيت ثم أغلق الصمام الثلاثي كما هو موضح بالشكل رقم (4)



شكل رقم (٤)

6) أعد تركيب السرنجة ويجب أن تكون خالية من أي فقاعات " الجزء المبيت يكون مملوءاً بالزيت كما بالشكل رقم (5)"

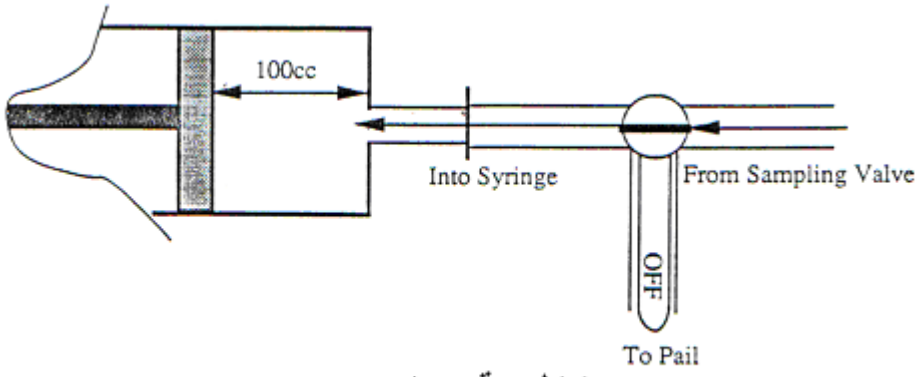


شكل رقم (٥)

7) أدر الصمام الثلاثي إلى وضع الملئ لتسمح بمرور الزيت من بلف العينة إلى السرنجة حتى تملئ السرنجة تلقائيا " بدون سحب اليد الخاص بها " وذلك بسبب إرتفاع الزيت في المحول نظراً لتجنب تكون فقاعات

8) لا تملأ السرنجة بأكثر من 100 سم3 في كل مرة ثم أغلق الصمام الثلاثي ومحبس العينة

9) خذ حوالي 1000سم3 بالطريقة السابقة



شكل رقم (٦)

10) إملأ بطاقة المعلومات بالبيانات السابق ذكرها

11) ضع العينة في صندوق خشبي مناسب وإملاء الفراغ بين الزجاجات الخاصة بالعينات بمادة حشو مناسبة وانقلها إلى المعمل بسرعة كلما أمكن ذلك

12) تتم هذه العملية سنويا أو حسب التعليمات كما سبق ذكره

***** مع أطيب تمنياتنا بالتوفيق *****

أولاً : ملاحظات

1) حدود الإكتشاف للغازات في الزيت

1- Hydrogen – H_2 ≡ 5 ppm
2- Methane – CH_4 ≡ 2 ppm
3- Acetylen – C_2H_2 ≡ 3 ppm
4- Ethylene – C_2H_4 ≡ 2 ppm
5- Ethane – C_2H_6 ≡ 2 ppm
6- Carbon monoxide – CO ≡ 25 ppm
7- Carbon dioxide – CO_2 ≡ 25 ppm

2) الحدود المقبولة لتواجد الغازات في الزيت طبقا للجدول الآتي :

1	H_2 = 100 ppm
2	CH_4 = 120 ppm
3	C_2H_2 = 35 ppm
4	C_2H_4 = 50 ppm
5	C_2H_6 = 65 ppm
6	CO = 350 ppm
7	CO_2 = 2500 ppm
8	TDCG = 720 ppm

وذلك طبقاً للمواصفات IEEE

4) حدود مستوى الإنذار لمقادير الغازات المختلفة ومعدلات زيادتها شهريا .

Gas	**Limit**	**G1 limit (10% L1)**	**G2 limit (50%L1)**
H_2	100	10	50
CH_4	75	8	38
C_2H_2	3	3	3
C_2H_4	75	8	38
C_2H_6	75	8	38
CO	700	70	350
CO_2	7000	700	3500

*** ملاحظات على الجدول السابق : -**

- ❖ حد الإنذار Alarm limit لكل غاز على حده هو L1
- ❖ حد الإنذار لمعدل الزيادة G1 يساوي 10% من L1
- ❖ إذا زاد معدل تولد أي غاز أو أكثر عن الحد G1 (10%) من L1 لكل شهر يلزم إعطاء عناية ومتابعة خاصة لهذا المحول ويجب أخذ عينات على فترات متقاربة (كل إسبوع) لمتابعة الحالة وكذلك تخفيض الحمل على المحول والتخطيط لإخراجه من الخدمة والإتصال بالمصنع
- ❖ إذا زاد معدل تولد أي غاز أو أكثر عن المعدل G2 (50%L1) فإن المحول يعتبر في حالة حرجة ويجب أخذ العينات من هذا المحول على فترات متقاربة وتخفيض الحمولة بأقصى بسرعة وإخراج المحول من الخدمة في أسرع وقت للكشف عليه داخلياً أو تغييره
- ❖ جميع الغازات ينطبق عليها ماسبق فيما عدا غاز الإستلين C_2H_2 فقد وضعت المواصفات حداً أقصى لتواجده وهو 35 ppm . أما المواصفات IEC فقد وضعت حداً أقصى هو 50 ppm ومعدل زيادة 3 ppm للحدين G1 & G2

4) يمكن إستخدام إحدى الطرق الآتية لتحديد حالة المحول :

1- دوفال

2- جداول IEC

3- طريقة النسب لروجرز

5) غازات المعادن الساخنة Hot metal gases هي الإيثان C_2H_6 ، الإيثلين C_2H_4

6) دلالات تواجد الغازات في الزيوت :

1- Over heating of solid insulation : CO & CO_2

2- Over heating of liquid and solid insulation : CH_4 & C_2H_4 & CO & CO_2 &H_2

3- Arcing in oil : CH_4 & C_2H_4 & H_2

4- Arcing of liquid and solid insulation : CO & CO_2 & H_2 & C_2H_2

ثانيا : أمثلة محلولة : -

مثال رقم (1) : تحليل عينة من زيت محول أوضحت النتائج التالية :

1- هيدروجين	H_2	= 9 ppm		
2- ميثان	CH_4	= 60 ppm		
3- إيثان	C_2H_6	= 53 ppm	}	غازات المعدن الساخن
4- إيثلين	C_2H_2	= 368 ppm		
5- إستيلين	C_2H_2	= 3 ppm		
6- ثاني أكسيد الكربون	CO_2	= 361ppm		
7- أول أكسيد الكربون	CO	= 7 ppm		
8- TDCG		= 500 ppm		

على ضوء النتائج السابقة أوصف حالة المحول :

*** أولاً :** يلاحظ أنه يوجد آثار قليلة لغاز CO "أول أكسيد الكربون" وعليه لا يكون هناك إحتراق في العزل الصلب مع العلم بأن كمية غاز ثاني أكسيد الكربون مرتفعة ولكن ربما يكون ذلك من آثار تعرض الزيت للهواء الجوي .

*** ثانيا :** وجود غاز الإيثلين C_2H_4 بكمية كبيرة (368 ppm) يدل على وجود مشكلة في الأطراف أو تلامسات Top Charger أو وجود تيار متسرب بين التنك والقلب الحديدي

*** ثالثا :** وجود غاز الإستيلين C_2H_2 بكمية قليلة في حدود حد الإستكشاف وهو 3 ppm لذلك لا يوجد تفريغ عالي الطاقة Arcing

بإستخدام جداول IEC

$$C_2H_2 / C_2H_4 = \frac{3}{368} = 0.00815 \longrightarrow 0$$

$$CH_4 / H_2 = \frac{60}{9} = 6.2 \longrightarrow 2$$

$$C_2H_4 / C_2H_6 = \frac{368}{53} = 6.9 \longrightarrow 2$$

.: الكود هو 022

وهذا يدل على أن العطل كما في جدول IEC هو الحالة الثامنة (8) ووصفها هو عطل حراري أكثر من 700 درجة مئوية (Hot spot)

مثال رقم (2) : -

الجدول التالي يوضح كميات الغازات الموجودة في الزيت قبل وبعد العطل كما أوضحتها نتائج تحليل عينة من الزيت في كل مرة وهي كالآتي :

Gas	***كمية الغاز قبل العطل***	***كمية الغاز بعد العطل***	***الزيادة في الغاز***	***نسبة الزيادة في المائة من مجموع الغازات***
C_2H_4	82	180	98	62.8 %
CH_4	140	195	55	35.2 %
C_2H_2	5	8	3	1.9 %
المجموع	227	383	156	100 %

أوضح ما هو نوع العطل مستخدما مثلث دوفال ؟

برسم مثلث دوفال بإستخدام النسب السابقة وتطبيقها على الرسم (الشكل التالي) فإن نقطة التقاطع تقع في المنطقة T3 وهي تدل على وجود عطل في المحول عبارة عن نقط ساخنة درجة حرارتها تريد عن 700 درجة مئوية ولمعرفة ما إذا كان هناك عيب في العزل الصلب نتيجة الحرارة فإنه يلزم إيجاد نسبة CO_2/CO

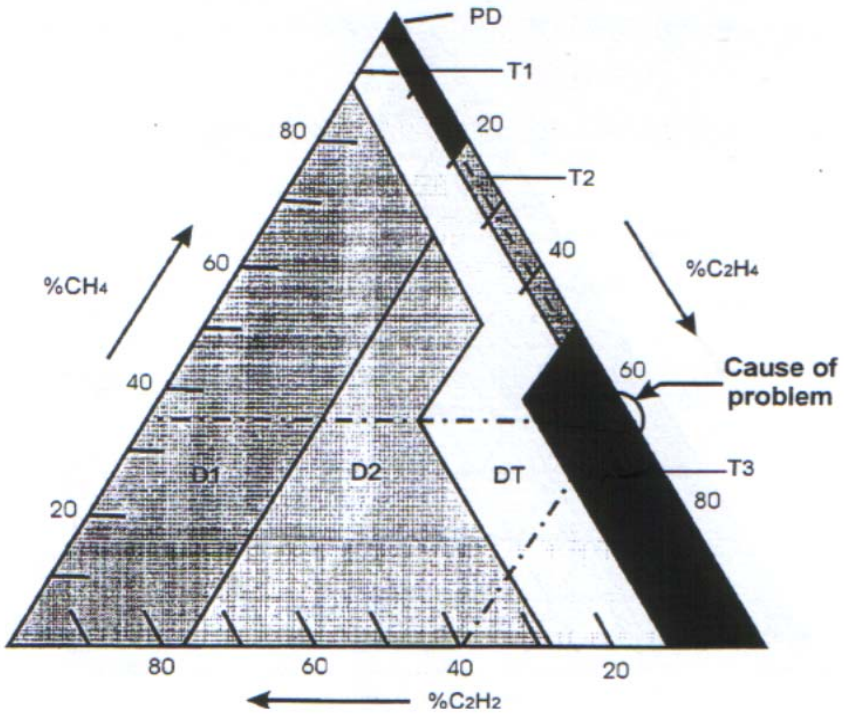
ولنفرض أن النتائج الخاصة بالتحليل أوضحت أن :

$CO_2 = 2412$
$CO = 212$

والنسبة تكون

$$\frac{CO_2}{CO} = 11.38$$

وعليه فإنها أكبر من 7 وحيث أنها أكبر من 7 وفي حدود (11) فإنه لا يوجد إنهيار للعزل الصلب بالمحول



مثال رقم (3) :

أوضحت النتائج قياس نسب الغازات في عينة زيت محول القيم الآتية :

الغاز	الإختبار الأخير	الإختبار الثاني	الإختبار الأول
H_2	26	27	17
CH_4	170	164	157
C_2H_6	278	278	156
C_2H_4	25	4	17
C_2H_2	2	0	0
CO	92	90	96
CO_2	3.125	2.331	2.476

مطلوب تقييم لحالة المحول

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{2}{25} = 0.0080 \longrightarrow 0$$

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{170}{25} = 6.54 \longrightarrow 2$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{25}{278} = 0.9 \longrightarrow 0$$

.: الكود هو 020

وبالرجوع إلى جدول IEC فنجد أن الحالة هي الحالة السادسة من الأعطال والتي توضح أن العطل هو نقط ساخنة ما بين 150م^{o} – 350م^{o}

كما يلاحظ أن غاز الميثان يزيد ببطئ ولكن غاز الإيثان يزيد زيادة كبيرة بين العينة الأولى والعينة الثانية ولكن لا توجد زيادة لهذا الغاز بين العينة الثانية والأخير .

ولاحظ أيضا الآتي مع المقارنة بجدول الحالات الأربع IEEE

- CH_4 أعلى من الحالة الأولى
- C_2H_6 أعلى من الحالة الرابعة
- CO_2 أعلى من الحالة الأولى

∴ المحول في الحالة الرابعة بسبب زيادة C_2H_6 وهو من الغازات التي تدل على معدن ساخن أي أن هناك تلامسات أو نقاط ساخنة ما بين 150 – 350 م^{o}