PAUELS TRAFO
BELGIUM

FAT Test

Factory Acceptance Test
For Oil Transformer 25 MVA

Prepared by / Eng. Mohamed Hassan Moghazy

Oct. 2001

المفاقيد في المحولات الكهربائية

وحساب

الكفاءة وتنظيم الجهد

****

مقدمة : -

---------- عند تشغيل المحولات يستهلك جزء من الطاقة الكهربية المارة خلاله ، وتظهر على شكل حرارة وصوت في المحول وهذا الجزء يسمى الفاقد في طاقة المحول ويؤثر تأثير سلبي على كفاءة المحول وإن كانت الكفاءة في المحولات كبيرة من (٩٥ : ٩٩ %) وهذه المفاقيد بعضها ثابت وبعضها متغير مع التحميل وأيضا بعضها يزيد بزيادة درجة الحرارة والبعض الآخر يقل بزيادة درجة الحرارة وسوف نعطي نبذة عن هذه الأنواع من المفاقيد والمعادلات التي تحكمها وكيفية حسابها ونعطي بعض الأمثلة التوضيحية ثم نختم ذلك بمثال عملي وهو حساب المفاقيد والكفاءة وتنظيم الجهد للمحول الرابع والذي تم توريده بواسطة شركة (شنيدر) وهو من صنع شركة باول البلجيكية PAUWELS TRAFO – BELGIUM وقصدي من هذا هو فائدة زملائي المهندسين وخصوصا الحداث منهم وأرجو أن أكون قد وفقت في هذا الصدد والله ولي التوفيق .

---

١ – أنواع المفاقيد : تنقسم المفاقيد في المحولات الكهربية إلى نوعان أساسيين وهما :

أ – مفاقيد ثابتة : وهي لا تتغير بتغير الحمل ومنها مفاقيد القلب الحديدي P_C ، وهي جزئان هما (التخلفية المغناطيسية P_H ، والإعصارية P_e)

ب – مفاقيد متغيرة : وهي تتغير بالتحميل فتزيد بزيادة الحمل ومنها المفاقيد النحاسية P_{cup} و مفاقيد التسرب P_{stray}

كما يمكن تصنيف هذه المفاقيد طبقا لطبيعتها كالآتي : -

أ – مفاقيد الدائرة المغناطيسية وهي

١ – مفاقيد التخلفية المغناطيسية HYSTERESIS (P_H) وهي من المفاقيد الثابتة

٢ – مفاقيد التيارات الإعصارية EDDY CURRENT (P_e) في شرائح القلب الحديد ورباطات المسامير وهي من المفاقيد الثابتة أيضا

ب – مفاقيد في الدائرة الكهربية ومنها

١ – المفاقيد النحاسية P_{CUP} " متغيرة "

٢- مفاقيد التيارات المتسربة في الموصلات STRAY CURRENT (P_{stray})

وهي من المفاقيد المتغيرة

كما توجد مفاقيد في دائرة العزل DIELECTRIC CIRCUIT وهذه المفاقيد صغيرة جدا نتيجة لجودة العزل ويمكن إهمالها أو حسابها ضمن المفاقيد الثابتة أي ضمن مفاقيد الحديد وبناءا على ما تقدم فإن جميع المفاقيد الثابتة يمكن الحصول عليها مجتمعة من إختبار الدائرة المفتوحة أما المفاقيد المتغيرة فمكن الحصول عليها من إختبار دائرة القصر أما مقاومة الملفات (R) فيمكن الحصول عليها من إختبار الـ DC وسوف نشرح أولا هذه الاختبارات :-

الإختبارات التي تتم على المحول لتحديد الكفاءة : -

١ – إختبار الدائرة المفتوحة : أو إختبار اللاحمل OPEN CIRCUIT TEST أو NO – LOAD TEST يتم تنفيذ هذا الإختبار بتسليط الجهد المقنن للمحول ويفضل إجراؤه من ناحية دائرة الجهد المنخفض (وذلك ليس إلا للأمان فقط) مع الإبقاء على جانب الجهد العالي مفتوحا وقياس قيمة التيار المسحوب وكذلك القدرة المسحوبة وهذه القدرة هي عبارة عن مفاقيد القلب الحديدي P_C مع جزء بسيط جدا من القدرة ضائع في المقاومة الخاصة بالملفات ويمكن إهماله في هذا الإختبار

دائرة الإختبار شكل رقم (١)

٢– إختبار الدائرة المقصورة SHORT CIRCUIT TEST : ويتم بعمل قصر على ملفات الثانوي L.V والتغذية بجهد يؤدي إلى مرور تيار مساويا التيار المقنن للمحول وطبيعي أن التيار المقنن المار في الابتدائي يقابله التيار المقنن في الثانوي على أنه يمكن تسليط أي جهد وقياس الأمبير المناظر وحساب الجهد والتيار المناظر عند القيم المقننة للمحول كالآتي : -

$$Un = U\,m\,(In / Im)$$

$$P\,n = p\,m\,(In / Im)^2$$

حيث Un هي قيمة الجهد المقنن NOMENAL

U m هي الجهد المقاس MEASURED

In هي التيار المقنن

Im هو التيار المقاس

P_n هي القدرة المقننة

P_m هي القدرة المقاسة

*** دائرة الإختبار شكل رقم (٢)**

٣ - إختبار التيار المستمر DC TEST : يجرى هذاالإختبار لتحديد قيمة المقاومة الأومية (R) للملفات

*** دائرة الإختبار شكل رقم (٣)**

نعود بعد ذلك **لتصنيف المفاقيد وكيفية حسابها والعوامل المؤثرة عليها والقوانين التي تحكمها:**

أ — المفاقيد المقاسة من إختبار NO LOAD TEST أو OPEN CIRCUIT TEST وهي المفاقيد الثابتة هذه المفاقيد تسمى أيضا مفاقيد القلب الحديدي CORE LOSSES أو IRON LOSSES ويرمز لها بالرمز

P_i or P_c وهي تتألف من جزأين أساسين هما

١ – مفاقيد التيارات الإعصارية (Pe) EDDY CURRENT LOSSES ويحكمها القانون التالي

$$Pe = Q_1\,B^2 \times F^2 = K_1\,E^2$$

على إعتبار أن E/F قيمة في حدود من ١,١ : ١,٤ من القيمة المقننة $\left[\frac{E_n}{F_n}\right]$

RATED VALUE وإذا زادت عن هذا الحد يكون هناك إثارة زائدة للمحول ويعطي تشبع في القلب الحديدي أو ما يسمى بـــ Over excition أو Over flux وللحماية من حدوث هذه الظاهرة يركب جهاز وقاية خاص بها وفي العادة تكون قيمة ضبطه

$$= 1.15 \times \frac{E_n}{F_n}$$

$$E/F = B \times CONSTANT$$

حيث Q_1 ، K_1 ثوابت ، B كثافة الفيض المغناطيسي وهي من القيم التصميمية E الجهد المسلط

٢ ـ المفاقيد التخلفية HYSTERESIS LOSSES (P_H)

ويرمز له P_H

$$P_H = Q_2 B^{1.6} \times F = K_2 \frac{E^{1.6}}{F^{0.6}}$$

حيث K_2 & Q_2 ثوابت ، B = كثافة الفيض

ويمكن تقليل هذه المفاقيد باختيار معادن لها مواصفات مغناطيسية عالية وجعل القلب الحديدي على صورة شرائح رقيقة معزولة وبذلك يتم التقليل من هذه المفاقيد

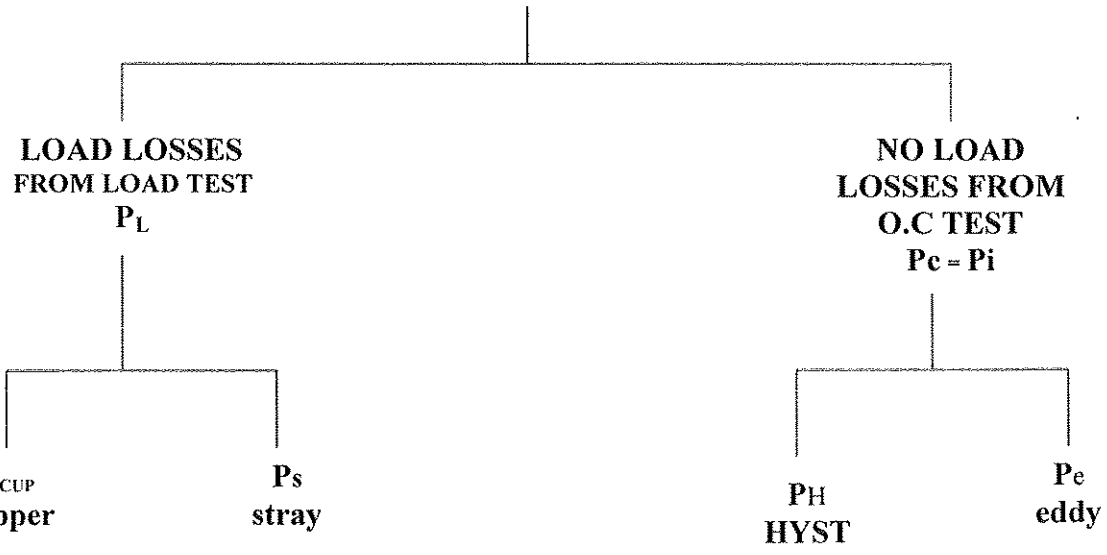
ب ـ المفاقيد المقاسة من إختبار LOAD CIRCUIT TEST وهي المفاقيد المتغيرة التي تتغير مع الحمل وهذه المفاقيد تسمى LOAD LOSSES وهي تشمل نوعان : -

١ ـ المفاقيد النحاسية P_{CUP}

٢ ـ المفاقيد المتسربة أو الشاردة STRAY LOSSES (P_S)

والشكل التالي يوضح هذه الأنواع

TOTAL POWER LOSSES



$P_{cup} = I^2 R$ ---------- 1

$P_H = Q_2 B^{1.6} F \text{ --= } K_2 E^{1.6}/F^{0.6}$ ----------2

$P_e = Q_1 B^2 F^2 = K_1 E^2$ ----------3

وهناك ملاحظة مهمة جدا وهي

أولا :- المقاومة تتغير طرديا مع درجة الحرارة وبالتالي المفاقيد النحاسية (P_{CUP}) حسب العلاقة التالية ٠

$$P_{CUP\ 2} = P_{CUP\ 1} \left[\frac{T_2 + 235}{T_1 + 235} \right]$$

ثانيا : - المفاقيد الشاردة (Ps) STRAY LOSSES تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة طبقا للعلاقة الآتية :

$$Ps_2 = Ps_1 \left[\frac{T_1 + 235}{T_2 + 235} \right]$$

وباقي المفاقيد لا تتأثر بدرجة الحرارة

ملاحظة : الرقم(235) في المعادلة السابقة يستخدم مع موصلات النحاس بينما يستخدم الرقم (225) في حالة استخدام موصلات الألمونيوم

وسوف نعطي مثالين لحساب هذه المفاقيد وقيمها نتيجة تغير درجة الحرارة والجهد و كذلك التردد

*** مثال :** - إجمالي المفاقيد المحسوبة من إختبار LOAD TEST عند درجة حرارة ٢٠ م كانت ٦٣٠ وات والمفاقيد النحاسية المحسوبة من المقاومة الأومية عند نفس الدرجة = ٥٠٤ وات أوجد قيمة مفاقيد الحمل LOAD TEST عند درجة حرارة ٧٥ درجة مئوية

الحل : -

المفاقيد المحسوبة من إختبار LOAD TEST تتكون من جزأين هما P_{CUP} & P_{STRAY} وكلا منهما يتغير بطريقة مختلفة مع درجة الحرارة كما سبق توضيحه لذلك يلزم فصلهما عن بعض

$\therefore P_L = P_{CUP} + P_{STRAY}$ $\qquad \therefore P_{STRAY} = P_L - P_{CUP}$

$P_{STRAY} = 630 - 504 =$ **126 watt**

$\therefore P_{stray}$ (at 20) = **126 watt**

P_{cup} (at 20) = **504 watt**

ولحساب إجمالي المفاقيد عن درجة حرارة ٧٥ درجة مئوية فإنه يلزم حساب شقيها عند نفس الدرجة

$$P_{stray} \text{ (at 75)} = 126 \left[\frac{20+235}{75+235} \right]$$

$$= 126 \times 255 \div 310 = \textbf{104 watt}$$

$$P_{cup} \text{ (at 75)} = 504 \left[\frac{75+235}{20+235} \right]$$

~~201235~~

$= 504 \times 310 \div 255 = \underline{\mathbf{613\ watt}}$

وعليه يمكن إيجاد المفاقيد عند درجة حرارة ٧٥ درجة مئوية

$P_{load}\ (\text{at } 75) = P_{str}\ (\text{at } 75) + P_{cup}\ (\text{at } 75)$

$= 104 + 613 = \underline{\mathbf{717\ watt}}$

*** مثال** لتوضيح أثر تغير الجهد والتردد على المفاقيد الثابتة (NO LOAD TEST)

محول جهد أحد جوانبه = ٤٤٠٠ فولت ٦٠ هرتز

مفاقيد القلب الحديدي له = ٨٤٠ وات

$P_c = P_i = \mathbf{840\ watt}$

وثلث (1/3) هذه المفاقيد هي مفاقيد تيار إعصاري P_e والمطلوب حساب P_c في الحالات الآتية

I – إذا وصل المحول إلى مصدر ٤٦٠٠ فولت ، تردد ٦٠ هرتز

II – إذا وصل إلى مصدر ٤٤٠٠ فولت ، تردد ٥٠ هرتز

III – إذا وصل إلى مصدر ٤٦٠٠ فولت ، تردد ٥٠ هرتز

الحل : -

$P_c = P_i = P_H + P_e = 840\ watt$

$P_e = P_c \div 3 = 840 \div 3 = \underline{\mathbf{280\ watt}}$

وهذا معطى في رأس المثال وتغير الجهد أو التردد يؤثر بطريقة مختلفة على كلا من P_e & P_H لذلك يلزم إيجاد P_H & P_e كلا على حدة وحسابهما عند الجهد والتردد الجديد ثم جمعها مرة أخرى لحساب القدرة المفقودة في القلب الحديدي في كل حالة مطلوبة

(I) الحالة الأولى : - ٤٦٠٠ فولت ، ٦٠ هرتز أي تغير الجهد مع بقاء التردد ثابت

$P_{e1} = 280\ watt$

$P_{H1} = 840 - 280 = \underline{\mathbf{560\ watt}}$

$P_H = K\ \{ E^{1.6} \div F^{0.6} \}$

$P_{H2} / P_{H1} = (E_2/E_1)^{1.6} \times (F_1/F_2)^{0.6}$

$$= \frac{(4600/4400)^{1.6}}{(60/60)^{0.6}}$$

$$= \underline{\mathbf{1.0737}}$$

$$\therefore P_{H2} = P_{H1} \times 1.0737$$
$$= 560 \times 1.0737 = \underline{\mathbf{601.279}}\ \mathbf{W}$$

$$P_e = K E^2$$

$$P_{e2}/P_{e1} = (E_2/E_1)^2$$

$$P_{e2} = 280\,(4600/4400)^2$$

$$= 280 \times 1.0929 = \underline{\mathbf{306\ W}}$$

$$\therefore P_{CI} = 601.2 + 306 = \underline{\mathbf{907.2\ W}}$$

أي أن مفاقيد القلب تغيرت بتغير الجهد مع ثبات التردد

(II) **في الحالة الثانية** المصدر ثابت ٤٤٠٠ فولت وتغير التردد إلى ٥٠ هرتز

$$P_{CII} = 560\,(4400/4400)^{1.6} \times (60/50)^{0.6} + 280\,(4400/4400)^2$$

$$= 624.7 + 280 = \underline{\mathbf{904.7\ watt}}$$

أي أن مفاقيد القلب تغيرت بتغير التردد

(III) **في الحالة الثالثة** عند تغير التردد والفولت

$$P_{CIII} = 560\,(4600/4400)^{1.6} \times (60/50)^{0.6} + 280\,(4600/4400)^2$$

$$= 560 \times 1.0737 \times 1.1156 + 280 \times 1.0929$$

$$= 670.8 + 306 = \underline{\mathbf{976.8\ watt}}$$

بعد هذين المثالين للتوضيح يتبقى أن نورد حسابات المحول الرابع المذكور في المقدمة وهو محول ٦٦ / ١١ ك ف قدرة ٢٥ ميجا فولت أمبير وكانت درجة حرارة إجراء الإختبار ٢١,٧٥ درجة مئوية والأمبير المستخدم في إختبار التحميل هو ١٧٦,٣٤ علما بأن معدل الأمبير للمحول هو ٢١٨,٦٩ (من ناحية ٦٦ ك ف) والمطلوب حساب الكفاءة وتنظيم الجهد عند ٩٥ درجة مئوية للملفات.

<u>أولا : قياسات المحول</u>

(١) قياس متوسط المقاومة الأومية في الابتدائي **H.V** (نتائج الإختبار)

$$R_{H.V} = (R_{ab} + R_{bc} + R_{Ca}) \div 3$$

$$= (0.4002 + 0.4006 + 0.4006) \div 3 = \underline{\mathbf{0.4005\ \Omega}}$$

(٢) قياس متوسط المقاومة الأومية في الثانوي **L.V**

$R_{L.V} = (13.12+12.39+13.65) \div 3 =$ **13.08 m Ω = 0.013 Ω**

ملاحظات : -

١ - لاحظ أن مقاومة ملفات L.V أقل بكثير من مقاومة H.V وذلك لأن (C. S) لها أكبر من $(C.S)_{H.V}$

٢ – القيم R_{ab} ، R_{bc} ، R_{ca} في H.V ، L.V تم الحصول عليها بالقياس
[**الدائرة شكل رقم (٣)**] والقيم موجودة في شهادة الإختبار

ثانيا : اختبارات المحول

(١) من اختبار NO LOAD TEST " الدائرة المفتوحة " ومنها نوجد قيمة المفاقيد الحديدية

$P_O = P_{01} + P_{02} + P_{03}$

$= 10.235 + 4.8308 + 4.348 =$ **19.414 k w**

والقيم P_{01} ، P_{02} ، P_{03} تم الحصول عليها من إختبار اللاحمل **شكل رقم (١)**
وهي مسجلة في شهادة الإختبار

(٢) إختبار LOAD TEST
ومنها نوجد P_L عند درجة حرارة إجراء التجربة وهي ٢١,٧٥ درجة مئوية

$P_L = P_1 + P_2 + P_3$

حيث القيم P_1 ، P_2 ، P_3 تم الحصول عليها من إختبار الحمل **شكل رقم (٢)**

$= 0.2057 + 0.01572 + 0.0189 = 0.05488$ m w = **54.88 k w**

حيث ان هذه القيمة (P_L) محسوبة عند استخدام تيار مقداره ١٧٦,٣٤ فانه يلزم حساب هذه القيمة عند معدل تيار من محول وهو ٢١٨,٦٩ امبير وذلك من العلاقة

$$P_L \text{ (at rated)} = P_L \text{ (at measured)} \times \left[\frac{IN}{IM}\right]^2$$

$$P_L \text{ (at rated)} = 54.88 \left[\frac{218.69}{176.34}\right]^2$$

$$= \mathbf{84.41kw}$$

وهذه القيمة تتكون من جزئين :
(أ) المفاقيد النحاسية P_{CUP}
(ب) مفاقيد التيارات الشاردة P_{stray}
ويمكن حساب المفاقيد النحاسية من العلاقة الآتية :

$$P_{CUP} = 1.5 \left(I^2_{H.V} \; R_{H.V} + I^2_{L.V} \; R_{L.V} \right)$$

ملاحظات : - ١ - وجود المقدار (1.5) امام القوس يرجع إلى أن قيمة المقاومة هي القيمة المقاسة على أطراف المحول (وليست مقاومة الفازة الواحدة) وأن التيار هو تيار الخط (وليس تيار الفازة) **" حاول الإستنتاج ! "**

٢ – معدل التيار في H.V = ٢١٨,٦٩ أمبير

٣ – معدل التيار في L.V = ١٣١٢,٢ أمبير

$$P_{CUP} = 3/2 \left[(218.69)^2 \times 0.4005 + 0.013 \times (1312.2)^2 \right]$$

$$= 28.73 + 33.783 = \underline{\mathbf{62.514\ k\ w}}$$

وعليه تكون المفاقيد الشاردة P_{stray} عبارة عن

$$P_{stray} = P_{L.} - P_{CUP} = 84.41 - 62.51.4 = \underline{\mathbf{21.896\ k\ w}}$$

$$P_{stray} = (\text{at } 21.75) = \underline{\mathbf{21.896\ k\ w}}$$

$$P_{CUP} = (\text{at } 21.75) = \underline{\mathbf{62.514\ k\ w}}$$

ويلزم تعديل هذه القيم وحسابها عند درجة حرارة ٩٥ بدلا من ٢١,٧٥ كالآتي :-

$$\therefore P_{stray}(\text{at } 95) = 21.896\ k\ w \left[\frac{235+21.75}{235+95} \right]$$

$$= 21.896 \times 0.78$$

$$= \boxed{\mathbf{17.035\ k\ w}}$$

$$P_{CUP}(\text{at } 95) = P_{CUP}(\text{at } 21.75) \left[\frac{235+95}{235+21.75} \right]$$

$$= \boxed{\mathbf{80.352\ K\ W}}$$

كما يتم حساب P_L عند درجة حرارة ٩٥ درجة مئوية وذلك بجمع الجزأين عند درجة الحرارة ٩٥ كالآتي :

$$P_L \text{ LOAD LOSSES (at 95)} = P_{stray}(\text{at } 95) + P_{CUP}(\text{at } 95)$$

$$P_L \text{ LOAD LOSSES (at 95)} = 17.035 + 80.332 = \boxed{\mathbf{97.387\ k\ w}}$$

*** بعد ذلك يمكن حساب الكفاءة ونسبة التنظيم ***

أولا : الكفاءة

معادلة الكفاءة هي :

$$\eta = 100 - \frac{(\alpha^2 P_L + P_o)}{(\alpha P_n \cos \emptyset + \alpha^2 P_L + P_O)} \times 100$$

حيث α : هي نسبة التحميل

LOAD LOSSES : P_L

N .L LOSSES : P_O

cos Ø : معامل القدرة

α = % of the full load

at 25 % , 50 % , 75 % , 100 % .....

P_L = LOAD LOSSES (at 95) ..... **= 97.4 K W**

cos Ø = P.f = 0.8

P_o = **19.414 K W**

P_n = RATED POWER = **25000 K V A**

الكفاءة عند الحمولة ١٠٠ %

$$\eta = 100 - \left[\frac{(1)^2 \times 97.4 + 19.414}{1 \times 25000 \times 0.8 + (1)^2 \times 97.4 + 19.414} \right] \times 100$$

$$= 100 - (116.814 \div 20116.814) \times 100$$

$$= 100 - 0.58 = \boxed{\textbf{99.42 \%}}$$

وبذلك يكون قد تم حساب كفاءة المحول عند درجة حرارة ٩٥ وحمولة ١٠٠ % وذلك بإجراء هذا الإختبار عند درجة حرارة ٢١,٧٥ فقط وباستخدام تيار مقداره ١٧٦,٣٤ امبير بدلا من استخدام قيمة التيار المقنن مع التحويل إلى القيم المناظرة لتيار الحمل وكذلك لدرجة درجة حرارة ٩٥ درجة مئوية بإستخدام المعادلات وكل هذا عند الخطوة ٩ من مغير الجهد TAP CHANGER

ثانيا : تنظيم الجهد Voltage regulation

يعرف تنظيم الجهد في المحول على أنه مقدار الهبوط في الجهد ناحية الثانوي نتيجة التحميل مقسوما على الجهد عند عدم التحميل

$$\text{Regulation} = \left[\frac{V_{02} - V_2}{V_{02}} \right] \times 100$$

حيث أن :

جهد الثانوي عند عدم التحميل = V_{02}

جهد الثانوي عند التحميل = V_2

وهذا التعريف يسمى **down % regulation**

وهذا هو المتعارف عليه على أنه هناك تعريف آخر وهو الآتي :

$$\text{Regulation} = \left[\frac{V_{02} - V_2}{V_2} \right] \times 100$$

ويسمى **Up % regulation**

وعلى هذا فإن نسبة تنظيم الجهد تعبر عن مقدار التغير في جهد المحول نتيجة التحميل

وعلى ضوء ما تقدم فإذا كان الهبوط في الجهد مع زيادة تحميل قليل كلما كان ذلك أفضل وعليه فإذا كانت نسبة التنظيم قليلة كان ذلك أفضل حيث أنه يفضل ثبات جهد المحول مع التحميل وتتأثر نسبة التنظيم بالآتي :

١ – مقدار التحميل α

٢ – معامل قدرة الحمل ($\cos \emptyset$) POWER FACTOR الذي يعمل عنده المحول

٣ – مقدار المفاقيد المتغيرة " مفاقيد الحمل " P_L

٤ – مقدار **% IMPEDANCE** للمحول (U_K)

وتحكم هذه الكميات العلاقة الآتية :

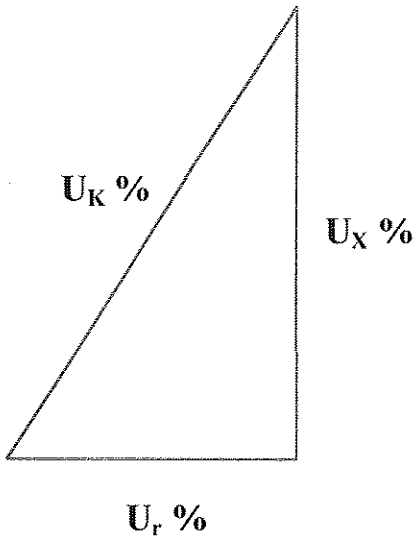
$$\Delta U \% = \alpha [U_r \cos \emptyset \pm U_x \sin \emptyset] + \alpha^2 \frac{[U_x \% \cos \emptyset + U_r \% \sin \emptyset]^2}{200}$$

والإشارة العليا تستخدم عندما يكون معامل القدرة متأخر **lage P. F**

والإشارة السفلى تستخدم عندما يكون معامل القدرة متقدم **lead P . F**

أما المقداران U_r ، U_x فهما مركبتا U_K **PERCENTAGE IMPEDACE VOLTAGE**

والشكل الآتي يوضح ذلك :



ويعرف U_r كالآتي :

$$U_r\% = \frac{P_L}{P_n} \times 100$$

حيث P_L = Load losses
P_n = Rated MVA

وعلى ذلك يمكن ايجاد $U_x\%$

$$U_x\% = \sqrt{U^2_k\ \% - U_r\%^2}$$

وسوف تورد المثال التالى لحساب مقدار التنظيم ΔU %

مثال : محول معامل القدرة له 0.8 عند درجة حرارة 75 .
Percentage voltage impedance = 9.9 % = U_K .
ومقدار مفاقيد الحمل P_L = ٩٥,٣٣ ك.وات .
وقدرة المحول = ١٧,٥ ميجا فولت أمبير .
احسب مقدار تنظيم الجهد عند الحمل الكامل .

الحل:

: P. F = **0.8**
COS Ø = **0.8** , Sin Ø = **0.6**

$$U_r\% = \frac{P_L}{P_N} \times 100 = \frac{95.33 \times 100}{17500}$$

$$= \underline{\mathbf{0.54457\ \%}}$$

$$U_X\% = \sqrt{(9.9)^2 - (0.54453)^2}$$

$$= \sqrt{97.7} = \underline{\mathbf{9.88}}$$

وبالتعويض فى المعادلة الخاصة بتنظيم الجهد مع اعتبار $\alpha = 1$ " الحمل الكامل "

$$\Delta_U\% = 0.8 \times 0.54457 + 0.6 \times 9.88 + \frac{1}{200}[0.8 \times 9.88 - 0.6 \times 0.544]^2$$

$$= 0.435656 + 5.928 + \frac{1}{200}[7.904 - 0.32674]^2$$

$$= 6.363656 + \frac{[7.63726]^2}{200}$$

$$= 6.363656 + 0.291 = \underline{\mathbf{6.655\ \%}}$$

أى ان مقدار الهبوط فى الجهد **U** يكون كالاتى:-

$$\frac{٦,٦٥٥}{١٠٠} \times ١١٠٠٠ = ٧٣٢ \text{ فولت}$$

ويمكن حساب قيمة الهبوط فى الجهد عند تحميل المحول ½ الحمل وذلك باستخدام نفس المعادلة مع التعويض عن α بمقدار ½ .

ويمكن الان حساب نسبة تنظيم الجهد للمحول الرابع عند درجة حرارة ٩٥ مئوية للملفات ومعامل قدرة P.F = 0.8 عند الحمل الكامل بأستخدام المقادير التى تم الحصول عليها وهى.

P_L = 97.384 مفاقيد الحمل
U_K = 11.022 %
α = 1
P.F = 0.8
Cos Ø = 0.8
P_n = 25000 KVA
Sin Ø = 0.6

يتم حساب U_r ,U_x كالاتى :

$$U_r\% = \frac{P_L}{P_n} = \frac{97.384}{25000} \times 100$$

$$= \underline{\mathbf{0.3895\ \%}}$$

$$U_X \sqrt{(11.022)^2 - (0.3895)}$$

$$= \sqrt{121.48448 - 0.1517}$$

$$= \underline{\mathbf{11.015\ \%}}$$

$$\Delta U\% = 1.0\,[\,0.3895 \times 0.8 + 11.015 \times 0.6\,] + (1)^2 \frac{[\,11.015 \times 0.8 - 0.3895 + 0.6]^2}{200}$$

$$= 0.3116 + 6.609 + \frac{[\,8.812 - 0.2337\,]^2}{200}$$

$$= 6.9206 + 0.3679$$

$$= \boxed{\mathbf{7.288\ \%}}$$

$$\therefore \Delta U = 7.288 \times \frac{11000}{100}$$

$$= \underline{\mathbf{801.68\ V}}$$

$$\therefore \Delta U \simeq \boxed{\mathbf{801.7}}\ \mathbf{VOLT}$$

أى ان مقدار الانخفاض فى الجهد نتيجة التحميل بالحمل الكامل عند معامل قدرة ٠,٨ ودرجة حرارة ٩٥ مئوية للملفات هى ٨٠١,٧ فولت بنسبة مقدارها ٧,٢٨٨ % وذلك عند الخطوة ٩ من الـــ

. Tap changer

- مرفق صورة من نتائج اختبار المحول التى تمت فى بلجيكا بحضور كلا من :

١ – م / **محمد الملاح** **عن شركة البتروكيماويات المصرية**

٢ – م / **عماد أبو زيد** **عن شركة شنيدر إلكتريك**

ويمكن مقارنتها بالنتائج التى وردت فى الحسابات السابقة.

إعداد

مدير عام مساعد الصيانة الكهربية

" م . محمد حسن مغازي "

PAUWELS TRAFO BELGIUM

TESTCERTIFICATE

TRAFO: 0124015 FR.313/03

CLIENT : Schneider Electric

MVA: ONAN :20 ONAF :25

Standard : IEC

Type : ORF 25/140

Vectorgroup : YNyn0d11

Frequency : 50 Hz

Pos	High voltage				Low voltage			
	U volts	I amps	I amps	I amps	U volts	I amps	I amps	I amps
1	72600	159.05	198.81		11000	1049.7	1312.2	
9	66000	174.95	218.69					
17	59400	194.39	242.99					

Guaranteed values at 25 MVA

Pos.	Uk%	Pk(kW)	P0(kW)	I0(%)
1	11.7			
9	11.1	99	21	
17	10.7			

Results

1	11.68%	104.8		
9	11.02%	97.4	19.41	0.26%
17	10.61%	116.2		

No load losses voltage transf. : 15000 / 100V currenttranf. : 10 / 5A

Voltage	U1	U2	U3	U(V)	I1	I2	I3	I (A)	P1	P2	P3	P0 (W)	I0 (%)
9900(90%)				9906				1.0387				13559.2	0.08%
10450(95%)				10450				1.569				16028.7	0.12%
1000(100%)	see printout			11008	see printout			3.392	see printout			19414	0.26%
550(105%)				11552				8.663				23459	0.66%
12100(110%)				12100				21.168				28367	1.61%

Load losses and impedance voltage voltage trans. : 8000 / 100V current transf. 300 / 5A T(oC) = 21.75

Pos.	U1	U2	U3	U(V)	I1	I2	I3	I (A)	P1	P2	P3	Pk (W)	
1	see printout			6578	see printout			154.25	see printout			55970	
1				8478				198.81				92980	
9	see printout			5865	see printout			176.34	see printout			54880	
9				7274				218.69				84408	
17	see printout			5142	see printout			198.38	see printout			65280	
17				6299				242.99				97942	

Resistance measurement T(oC)= 21.75

High voltage

pos.	Phase	U (V)	I (A)	R (ohm)	R (ohm)
1	1U - 1V	5.0825	10	0.5083	
1	1U - 1W	5.0950	10	0.5095	0.5094
1	1V - 1W	5.1050	10	0.5105	
9	1U -1V	4.0020	10	0.4002	
9	1U - 1W	4.0060	10	0.4006	0.4005
9	1V - 1W	4.0060	10	0.4006	
17	1U - 1V	5.0800	10	0.5080	
17	1U - 1W	5.0910	10	0.5091	0.5091
17	1V - 1W	5.1030	10	0.5103	

Low voltage

	Phase	U (mV)	I (A)	R (mohm)	R(mohm)
L.V.	2U - 2V	132.12	10	13.21	13.08
	2U - 2W	123.87	10	12.39	
	2V - 2W	136.48	10	13.65	
	2U - 2V				
	2U - 2W				
	2V - 2W				
	2U - 2V				
	2U - 2W				
	2V - 2W				

Calculations to reference temperature 95 oC

Pos.	1			9			17		
Temperature	21.75	95		21.75	95		21.75	95	
RI^2 H.V.	30203	38820	Watt	28730	36926	Watt	45093	57958	Watt
RI^2 L.V.	33787	43426	Watt	33787	43426	Watt	33787	43426	Watt
Stray losses	28990	22555	Watt	21891	17032	Watt	19062	14831	Watt
Load losses	92980	104801	Watt	84408	97384	Watt	97942	116215	Watt
Ur %	0.372%	0.419%	%	0.338%	0.390%	%	0.392%	0.465%	%
Ux %	11.672%	11.672%	%	11.016%	11.016%	%	10.597%	10.597%	%
Uk %	11.678%	11.679%	%	11.021%	11.022%	%	10.604%	10.607%	%

High voltage tests

Applied voltage test				Induced overvoltage test			Insulation resistance (5000 V)	
140	kV	H.V./earth + L.V.	1 min	Voltage	22000	V	>4000 Mohm	H.V./L.V.
28	kV	L.V./earth + H.V.	1 min	Frequency	100	Hz	5000 Mohm	H.V./earth
28	kV	TERT./earth	1 min	Time	1	min.	>3000 Mohm	L.V./earth
							>5000 Mohm	H.V./TERT.
							>5000 Mohm	L.V./TERT.
							>3000 Mohm	TERT./earth

Approved : Eng. M. EL Mallah - Petrochemical Co.

Eng. Emad Abu-Zeid

Schneider Electric High Voltage

PTG ELECTRISCHE PROEVEN

date : 10.10.01

Pauwels Trafo : Declerck

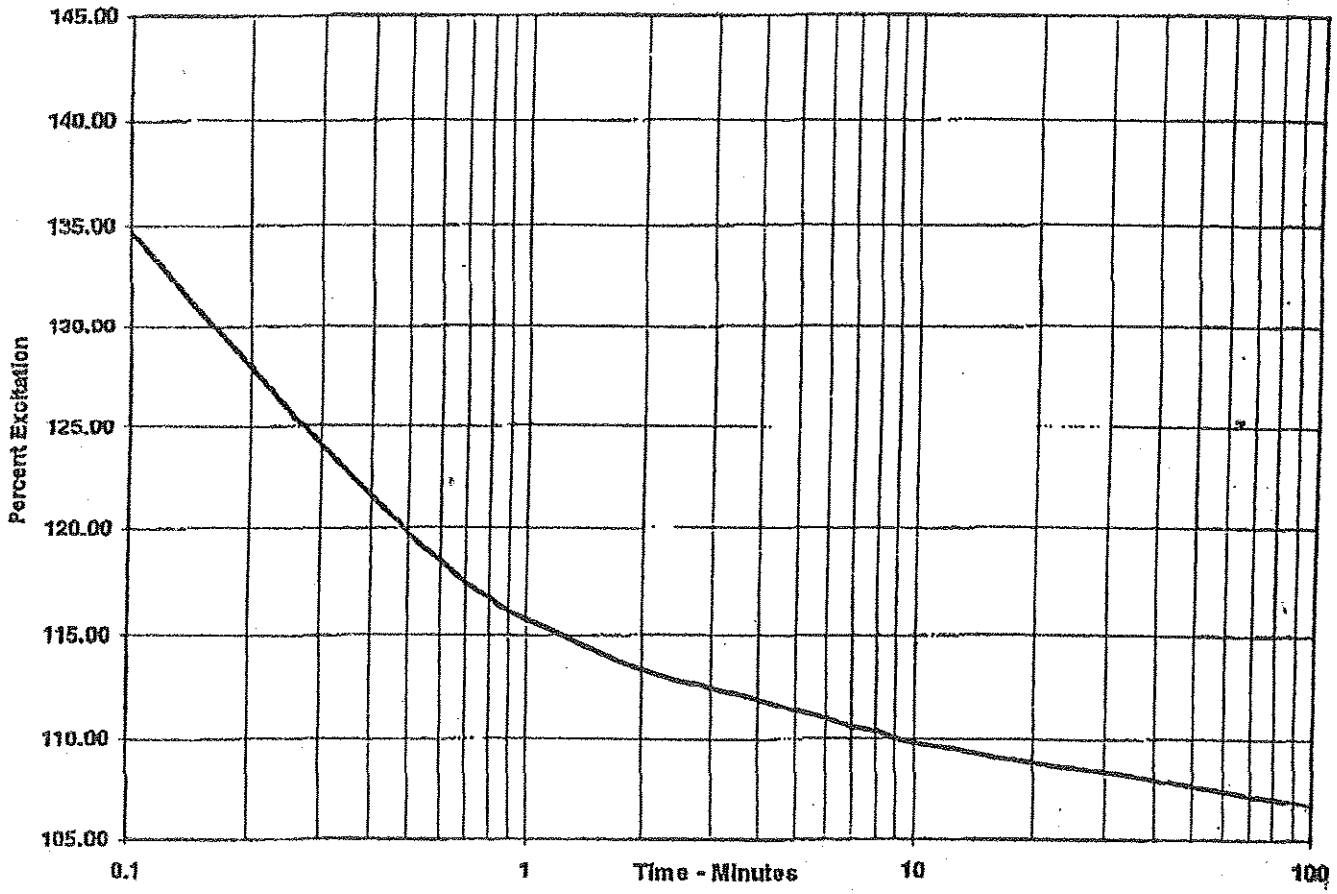
12-10-01

Over-Exitation Curve.
Product: Power Transformer.
Applicable standards: IEC.

PAUWELS
ENERGY IS OUR BUSINESS

Client:	Schneider -	Serial number(s):	0124015
Order number of client:		Number of units x Rated MVA:	1 x 25 MVA
Client specification:		Rated Voltage HV/LV (kV)	66.0 / 11.0
		Rated frequency (Hz) :	50
Client Document No.		Vectorgroup:	Ynyn0+d
		Number of phases:	3

Transformer 0124015 is designed to withstand folowing overvoltages (Volt/Hz – limits) as funtion of time :



M. Schmelzle 12-10-01

12.10.01

PAUWELS TRAFO BELGIUM

CAPACITANCE MEASUREMENTS

TRAFO: 0124015 FR.0257/02
CLIENT : Schneider Electric
MVA: ONAN : 20 ONAF : 25

High voltage : 66000 V
Low voltage : 11000 V

Connections	C1	PF1	C2	PF1	Capacitance		Powerfactor	
Highvoltage + Lowvoltage+Tert / earth :	16470	0.30	16410	0.33	16440	pF	0.32	%
Highvoltage / Lowvoltage+Tert + earth :	10256	0.29	10234	0.23	10245	pF	0.26	%
Lowvoltage / Highvoltage+Tert + earth :	17300	0.25	17276	0.20	17288	pF	0.23	%
Tert / Highvoltage+Lowvoltage + earth :	21590	0.14	21690	0.36	21640	pF	0.25	%

Approved : Eng. M. EL-Mallah / Petrochemical Co.
M. El Mallah 10-01
Eng. Emad Abu-Zeid / Schneider Electric
High Voltage
date : 10.10.01
12-10-01

PTG
ELECTRISCHE PROEVEN

Pauwels Trafo : Declerck

PAUWELS TRAFO BELGIUM

VOLTAGE RATIOS + VECTORGROUP

TRAFO: 0124015 FR.0313/03

CLIENT: Schneider Electric

MVA: ONAN :20 ONAF :25

Standard: IEC

Vectorgroup: YNyn0d11 C= 1

Pos.	Pos	U1	U2	U1*C/U2	UV/uv	VW/vw	WU/wu
	1	72600	11000	6.600	6.618	6.618	6.619
	2	71775		6.525	6.541	6.542	6.542
	3	70950		6.450	6.465	6.465	6.466
	4	70125		6.375	6.389	6.389	6.390
	5	69300		6.300	6.312	6.313	6.313
	6	68475		6.225	6.236	6.236	6.237
	7	67650		6.150	6.160	6.160	6.161
	8	66825		6.075	6.083	6.084	6.084
	9	66000		6.000	6.007	6.007	6.008
	10	65175		5.925	5.931	5.931	5.932
	11	64350		5.850	5.855	5.855	5.855
	12	63525		5.775	5.778	5.779	5.779
	13	62700		5.700	5.702	5.702	5.703
	14	61875		5.625	5.626	5.626	5.627
	15	61050		5.550	5.550	5.550	5.550
	16	60225		5.475	5.474	5.474	5.474
	17	59400		5.400	5.397	5.397	5.398

Approved : Eng. M. EL Mallah / Petrochemical Co.

Eng. Emad Abu-Zeid / Schneider Electric High Voltage

date : 10.10.01 12.10.01

PTG
ELECTRISCHE PROEVEN

Pauwels Trafo : Declerck

PAUWELS TRAFO BELGIUM

EFFICIENCY AND VOLTAGEDROP

TRAFO: 0124015 FR.0258/01

CLIENT : Schneider Electric

MVA: ONAN : 20 ONAF : 25

Power :	25 MVA
High voltage :	66000 V
Low voltage :	11000 V
No - load losses :	19414 W
Load - losses :	97384 W
Impedance voltage :	11.02 %

Load	Powerfactor = 1	Powerfactor = 0.9	Powerfactor = 0.8
1/4 load	99.59%	99.55%	99.49%
2/4 load	99.65%	99.61%	99.56%
3/4 load	99.61%	99.56%	99.51%
4/4 load	99.53%	99.48%	99.42%
5/4 load	99.45%	99.39%	99.32%
Voltagedrop (V) :	109.6 V	619.1 V	801.8 V
Voltagedrop (%) :	1.00%	5.63%	7.29%

approved : Eng. M. El Mallah / Petrochemical Co.

Eng. Emad Abu-Zeid . Schneider Electric High Voltage .

PTG
ELECTRISCHE PROEVEN

date : 10.10.01 Pauwels Trafo : Declerck

FR.0272/01

PAUWELS TRAFO GENT	Rapport d'essais - Prüfschein - Test certificate Beproevingsverslag

MVA : 20 /25 TYPE : ORF 25/140 Hz : 50 Nr. : **0124015**

Kortsluitingen - Pertes en court circuit - Kurzslussverluste - load losses

CHAN1		CHAN 2		CHAN 3		TOT.	
V12	6.5840kVrms	V23	6.5756kVrms	V31	6.5734kVrms	FU	6.5777kV
I1	153.89 Arms	I2	153.94 Arms	I3	154.92 Arms	I	154.25 Arms
P1	0.02163MW	P2	0.01563MW	P3	0.01871MW	P	0.05597MW

1

V12	5.8696kVrms	V23	5.8615kVrms	V31	5.8637kVrms	FU	5.8650kV
I1	175.92 Arms	I2	176.08 Arms	I3	177.02 Arms	I	176.34 Arms
P1	0.02057MW	P2	0.01572MW	P3	0.01859MW	P	0.05488MW

9

V12	5.1464kVrms	V23	5.1389kVrms	V31	5.1415kVrms	FU	5.1424kV
I1	197.91 Arms	I2	198.22 Arms	I3	199.01 Arms	I	198.38 Arms
P1	0.02358MW	P2	0.01939MW	P3	0.02231MW	P	0.06528MW

17

PTG
ELECTRISCHE PROEVEN

12-10-01

12.10.01

FR.0272/01

PAUWELS TRAFO GENT	Rapport d'essais - Prüfschein - Test certificate Beproevingsverslag			
MVA : 20 /25	TYPE : ORF 25/140	Hz : 50	Nr. :	0124015

Nullastverliezen - Pertes à vide - Leerlaufverluste - No load losses

CHAN1	CHAN 2	CHAN 3	TOT.

V12	9.915kVrms	V23	9.904kVrms	V31	9.899kVrms	FU	9.9062kV	
I1 U	1.1759 Arms	I2 U	0.7817 Arms	I3 U	1.1585 Arms	I U	1.0387 Arms	90
P1 U	5.8250kW	P2 U	3.2934kW	P3 U	4.4409kW	P U	13.5592kW	

V12	10.461kVrms	V23	10.449kVrms	V31	10.441kVrms	FU	10.450kV	
I1	1.7480 Arms	I2	1.2278 Arms	I3	1.7312 Arms	I	1.5690 Arms	95
P1	7.3286kW	P2	3.9272kW	P3	4.7729kW	P	16.0287kW	

V12	11.022kVrms	V23	11.010kVrms	V31	10.993kVrms	FU	11.008kV	
I1	3.701 Arms	I2	2.7735 Arms	I3	3.703 Arms	I	3.392 Arms	
P1	10.235kW	P2	4.8308kW	P3	4.348kW	P	19.414kW	100%

V12	11.570kVrms	V23	11.560kVrms	V31	11.525kVrms	FU	11.552kV	
I1	9.214 Arms	I2	7.455 Arms	I3	9.321 Arms	I	8.663 Arms	
P1	15.330kW	P2	5.814kW	P3	2.315kW	P	23.459kW	105

V12	12.122kVrms	V23	12.113kVrms	V31	12.064kVrms	FU	12.100kV	
I1	21.912 Arms	I2	19.310 Arms	I3	22.284 Arms	I	21.168 Arms	
P1	22.256kW	P2	6.513kW	P3	-0.401kW	P	28.367kW	110%

PTG
ELECTRISCHE PROEVEN

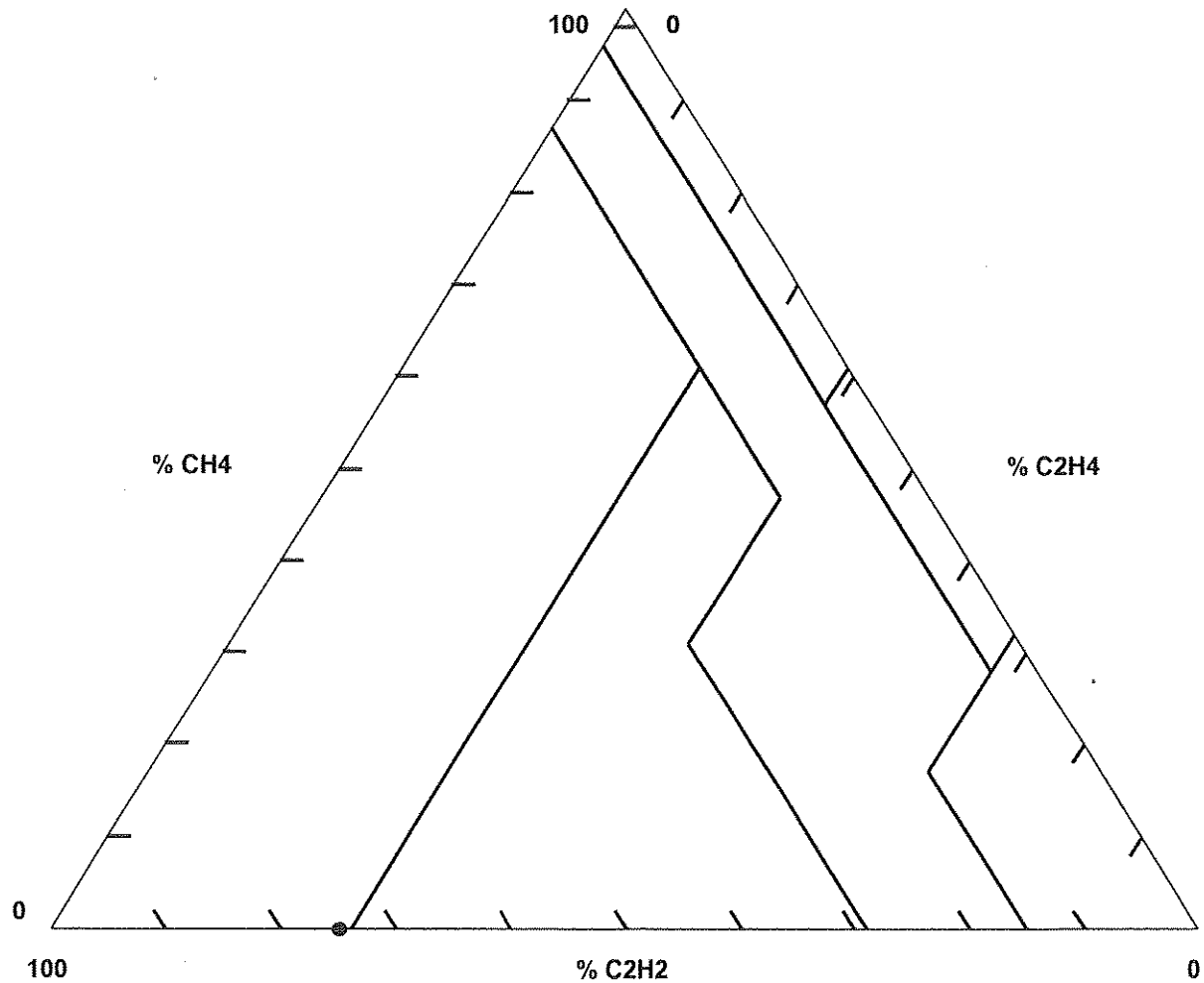
M. Ebrahimi
17-10-01

12.10.01

THE DUVAL TRIANGLE 3 FOR MIDEL OILS

ppm CH4	0	% CH4	0.0	Fault	D1
ppm C2H4	25	% C2H4	25.0		
ppm C2H2	75	% C2H2	75.0		ENTER
	100				

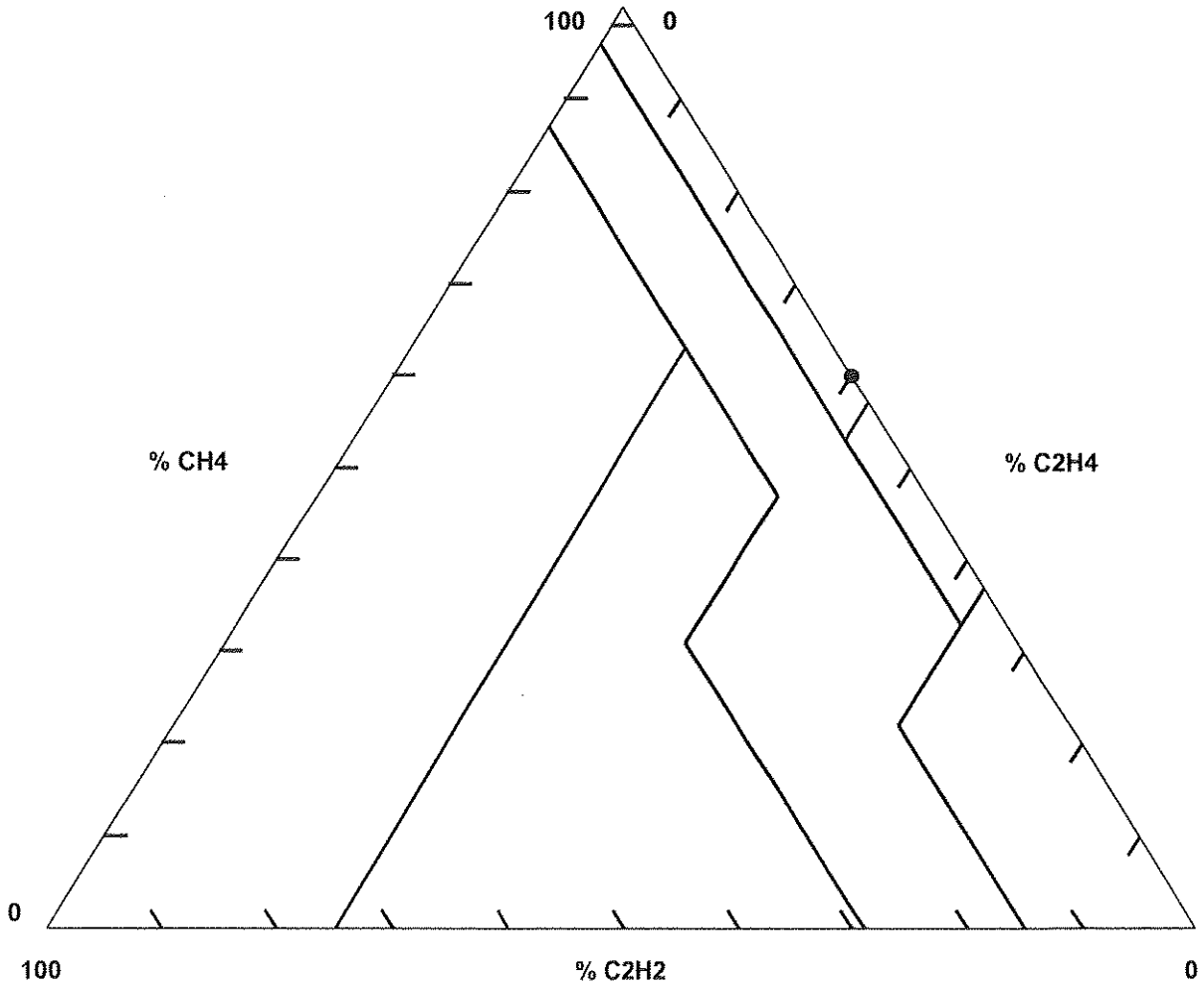
The triangular coordinates calculated above can be plotted in the graph below to see visually with more p
Also, to follow the evolution of the DGA point with time in a transformer. For that purpose, print this page
An electronic version of this graph is in preparation.



THE DUVAL TRIANGLE 3 FOR FR3 OILS

ppm CH4	60	% CH4	60.0	Fault	T1
ppm C2H4	40	% C2H4	40.0		
ppm C2H2	0	% C2H2	0.0		ENTER
	100				

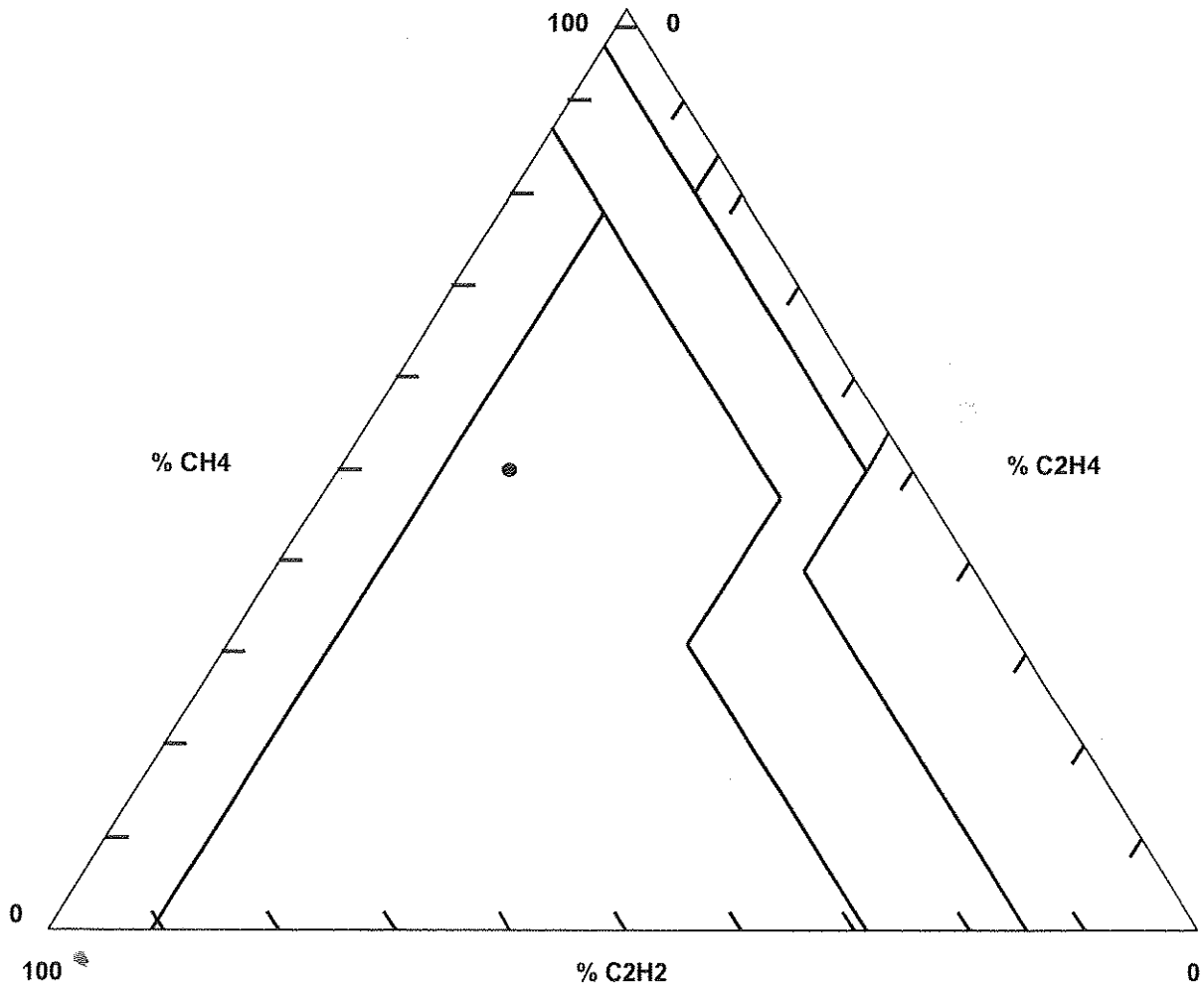
The triangular coordinates calculated above can be plotted in the graph below to see visually with more p
Also, to follow the evolution of the DGA point with time in a transformer. For that purpose, print this page
An electronic version of this graph is in preparation.



THE DUVAL TRIANGLE 3 FOR SILICONE OILS

ppm CH4	50	% CH4	50.0	Fault	D2
ppm C2H4	15	% C2H4	15.0		
ppm C2H2	35	% C2H2	35.0	ENTER	
	100				

The triangular coordinates calculated above can be plotted in the graph below to see visually with more p
Also, to follow the evolution of the DGA point with time in a transformer. For that purpose, print this page
An electronic version of this graph is in preparation



THE CLASSICAL DUVAL TRIANGLE 1 FOR TRANSFORMERS, BUSHINGS AND CABLES FILLED WITH MINER/

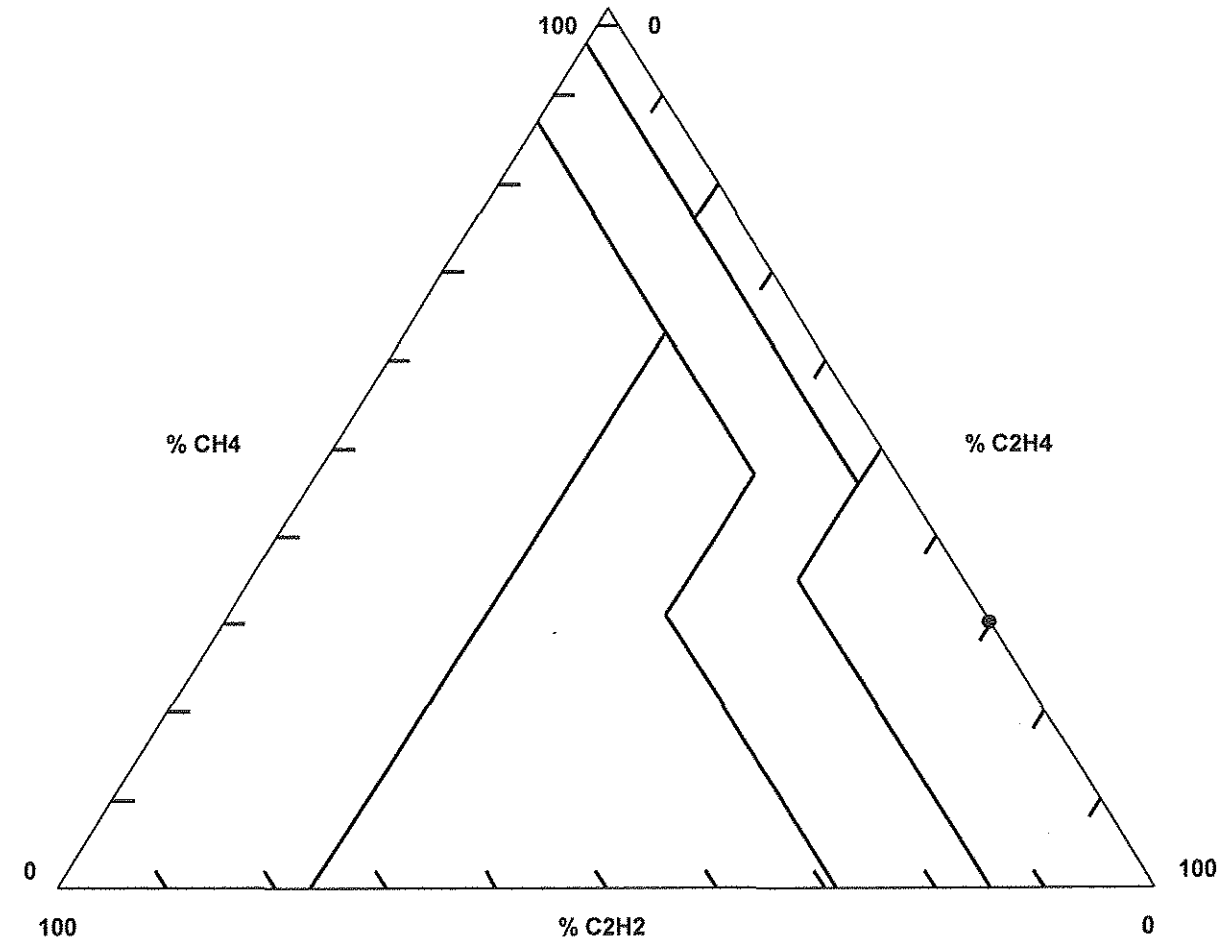
ppm CH4	0.13	% CH4	30.2	Fault	T3
ppm C2H4	0.3	% C2H4	69.8		ENTER
ppm C2H2	0	% C2H2	0.0		
	0.43				

PD = Corona
D1 = Electrica
D2 = Electrica

T1 = Thermal
T2 = Thermal
T3 = Thermal
DT = Mixtures

Note: the Duval Triangle 1 also applies to load tap changers of the vacuum bottle type, if normal operation does not ir

The triangular coordinates calculated above can be plotted in the graph below to see visually with more precision whe
Also, to follow the evolution of the DGA point with time in a transformer. For that purpose, print this page and plot mai
An electronic version of this graph is in preparation.



% CH4	% C2H4	% C2H2	Fault	Color	Date / Hour

DELETE SELECTED RESULT DELETE ALL RESULTS

THE DUVAL TRIANGLE 3 FOR BIO TEMP OILS

ppm CH4	0	% CH4	0.0	Fault	D2
ppm C2H4	21	% C2H4	21.0		
ppm C2H2	79	% C2H2	79.0	ENTER	
	100				

The triangular coordinates calculated above can be plotted in the graph below to see visually with more p
Also, to follow the evolution of the DGA point with time in a transformer. For that purpose, print this page
An electronic version of this graph is in preparation.