



A XIX-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”,  
CLUJ NAPOCA, 2019

## **STUDIUL PRIVIND VERIFICAREA TANGENTEI $\delta$ A ULEIULUI ELECTROIZOLANT**

Irina CHERA ANGHEL, Florentina FARCAȘ

### **STUDY ON VERIFICATION OF TANGES DATES OF INSULATING OIL**

The paper presents a study regarding the determination of the dielectric loss factor of the insulating oils at the filling of the power transformers. This study is complemented by: electrical equipment for determination of  $\tan \delta$ , mode of execution of the test, interpretation of the results. The purpose of this case study is to evaluate the electro-insulating state in order to standardize the apparatus and the adopted measurement methods in order to obtain reproducible results and to make a decision on replacement, refurbishment by filtration, drying.

Keywords: Tanges, insulating oil, transformer, verification

Cuvinte cheie: tangentă, ulei electroizolant, transformator, verificare

#### **1. Introducere**

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale uleiurilor electroizolante se măsoară la toate transformatoarele de putere de 6 – 400 kV și la transformatoarele de măsură de 110 – 400 kV, iar la transformatoarele de măsură de 6 – 60 kV măsurarea este facultativă. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice este deosebit de importantă, ea reprezintă un factor care concură la aprecierea stării izolației și nivelului de degradare a acestora.

Factorul de pierderi dielectrice este definit ca raportul dintre componentele active și reactive a curentului absorbit de o izolație supusă tensiunii de frecvență industrială. Pentru o anumită valoare a  $\tan \delta$

pierderile dielectrice cresc foarte mult cu tensiunea, rezultând necesitatea ca tg unghiului de pierderi dielectrice să fie foarte mic. Fiind o mărime proporțională cu pierderile de putere activă în dielectric, tg unghiului de pierderi dielectrice este un criteriu de evaluare a stării izolației transformatorului.

Împreună cu celelalte probe nedistructive (analiza calității uleiului electroizolant și măsurarea rezistenței de izolație) determinarea tg unghiului de pierderi dielectrice a izolației complexe (hârtie electroizolantă impregnată cu ulei) a înfășurărilor are drept scop depistarea gradului de umezire și îmbătrânire a izolației interne a transformatorului de putere [1].

## 2. Studiu de caz

Probele prelevate în conformitate cu CEI 60475-74, se depozitează și se măsoară într-o cameră cu atmosferă normală, lipsită de gaze corozive și praf [2]. Temperatura mediului ambiant trebuie să fie de  $20 \pm 5$  °C și umiditate relativă de maximum 70 %. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice se determină după minimum 24 ore de la recoltarea probei și menținerea acesteia în încăperea în care se efectuează măsurarea. Determinarea tg  $\delta$  trebuie făcută în timp de maximum 10 zile de la recoltarea probelor.

Aparatura necesară pentru execuția probei se compune din:

- Celulă de măsurare Cx, pentru determinări de precizie ale tg  $\delta$ . Se utilizează celule conform SR EN 60247-2004 [3], prevăzute cu inel de gardă pentru protejarea electrozului de măsură, având distanța de 2 mm între electrozi (celula tip ULRICH, TETTEX, I.R.E Sibiu, ICEMENERG).

În cazul uleiurilor din exploatare, se admite utilizarea celulelor TR 9701 (R.P.U), având distanța între electrozi 1 mm. Pentru reglarea și menținerea temperaturii uleiului în timpul măsurării, se utilizează ultratermostate la care celulele sunt imersate în cuvă, ca agent termic de transport utilizându-se ulei de transformator sau glicerină tehnică. În lipsa acestora, încălzirea se poate face într-o etuvă prevăzută cu ventilație forțată. Este interzis a se face încălzirea uleiului pe reșouri, deoarece în acest caz, pe de o parte, există pericolul arderii uleiului din partea inferioară a celulei, în contact direct cu plita încălzită, iar pe de altă parte, temperatura probei supuse determinării nu poate fi uniformă pe toată înălțimea celulei.

Aparatura electrică pentru determinarea tg  $\delta$  se compune din:

- punte Schering, tip R 252 cu foarte bune rezultate atât pentru măsurarea tg  $\delta$  la uleiurile noi, cât și la cele din exploatare;
- condensator etalon de 50 pF sau 100 pF ( $C_0$ );
- transformator destinat alimentării punții cu tensiune de lucru până la 10 kV(T);
- autotransformator (ATR-8) pentru reglarea tensiunii de lucru a punții 8 A-220/0...220V;
- amplificator electronic
- galvanometric de vibrație sau indicator de nul utilizat la echilibrarea punții;
- conductori ecranati;
- voltmetru pentru indicarea tensiunii de lucru a punții;
- siguranțe (S1,S2 ) de 16 A.

Pentru obținerea unor rezultate corecte și reproductibile, la efectuarea montajului trebuie avute în vedere următoarele:

- Celula de măsurare ( $C_x$ ) se așează pe un suport izolant (teflon, ceramică de înaltă frecvență etc);
- Înaltă tensiune se aplică pe electrodul exterior;
- Toate ecranele conductorului trebuie aduse în același punct la una din bornele de pământ ale punții; punerea la pământ a întregii scheme se realizează la corpul metalic al punții, printr-un conductor de cupru cu secțiunea de 6 mm<sup>2</sup>.

Prin aceste măsuri se realizează compensarea tuturor capacităților parazite, astfel încât acestea să nu falsifice rezultatele reale ale măsurătorilor tg  $\delta$  a uleiului electroizolant [4].

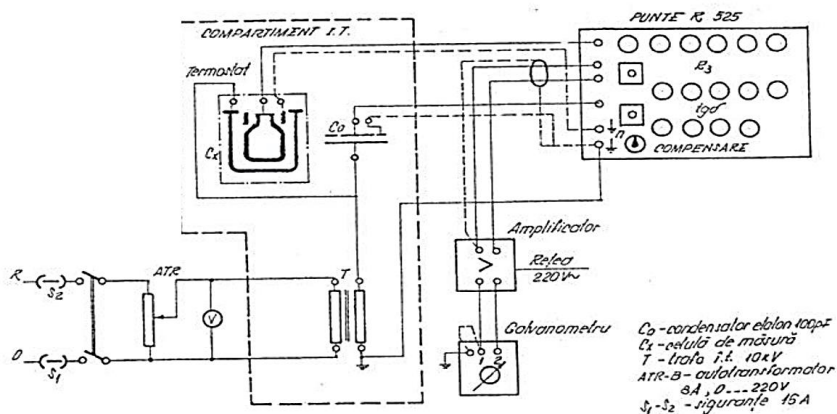


Fig.1 Schema Punte Schering R525

Un alt model de aparatură electrică pentru determinarea  $tg \delta$  care integrează toate componentele prezentate mai sus este:

- Instrument OTD Megger, acesta fiind o unitate complet automată, alimentată de la rețea care poate testa o gamă largă de uleiuri izolante precum cele minerale, esterice sau siliconice. Acesta utilizează o celulă test de precizie, care include un număr minim de componente și o funcție de golire a uleiului.

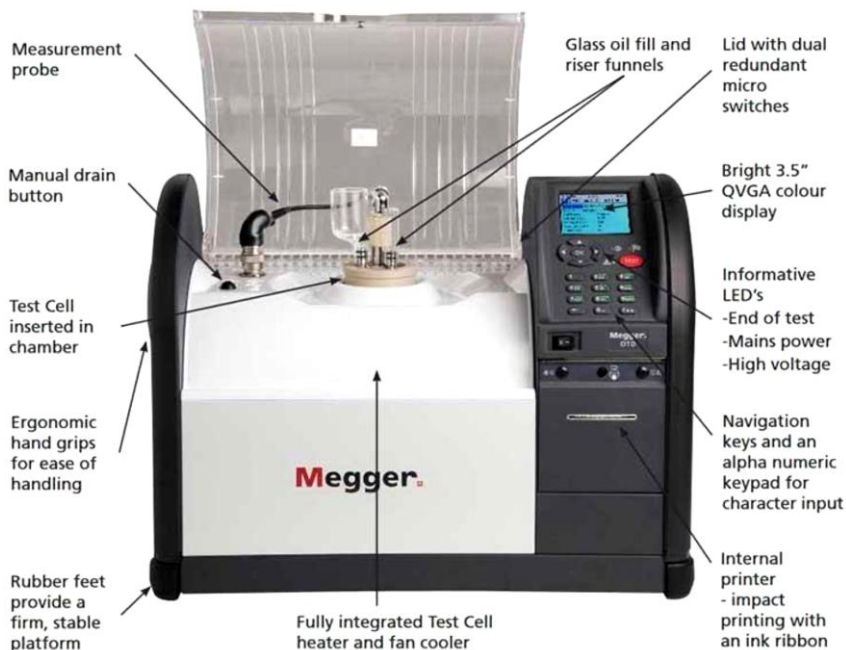


Fig. 2 Componentele Megger OTD

Celula test este proiectată pentru a oferi rezultate cu un nivel de precizie și repetabilitate, de asemenea ventilatorul celulei de test permite răcirea rapidă a acesteia în urma testelor care implică temperaturi înalte. Instrumentul este furnizat împreună cu o bibliotecă pre-programată de standarde internaționale pentru testele  $tg \delta$ , oferind, de asemenea, posibilitatea de creare a testelor definite de utilizator.

Ecranul inițial afișează toate informațiile privind testarea necesară pentru asigurarea selectării standardului de test corect și a valorilor corespunzătoare de tensiune, frecvența și temperatura.

Rezultatele apar pe afișaj și pot fi imprimate pe imprimanta internă după finalizarea testului. Toate rezultatele testelor poartă marceje temporare cu oră și dată și sunt păstrate în memoria instrumentului. Această secțiune oferă o prezentare generală a instrumentului și comenzilor acestuia [5].

### 3. Instrucțiuni de verificare a tangentei unghiului de pierderi dielectrice

Atunci când un material dielectric lichid (uleiul electroizolant) are o alimentare AC, nu are loc o utilizare a puterii. Este perfect realizat numai prin vid și gaze purificate. În figura 3 A , putem vedea că, curentul de încărcare va conduce la tensiunea aplicată la  $90^\circ\text{C}$ . Aceasta înseamnă că nu există pierderi de putere în izolatoare. Dar, în majoritatea cazurilor, există o disipare a energiei în izolatoare atunci când se aplică curent alternativ.

Această pierdere este cunoscută sub denumirea de pierdere dielectrică. În izolatoarele practice, curentul de scurgere nu va conduce niciodată tensiunea aplicată la  $90^\circ\text{C}$  (figura 4 B). Unghiul format de curentul de scurgere este unghiul de fază ( $\phi$ ). Va fi întotdeauna mai mic de  $90$ . De asemenea, vom obține unghiul de pierdere ( $\delta$ ) de la aceasta ca  $90-\phi$ .

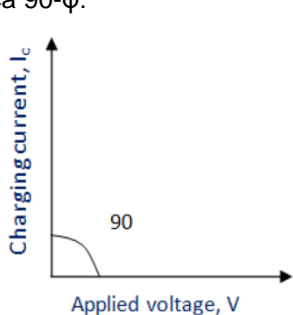


Fig. 3 A Curentul de încărcare va conduce la tensiunea aplicată la  $90^\circ\text{C}$

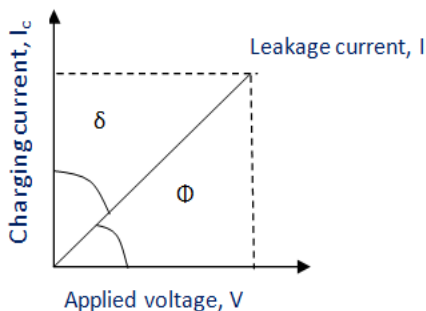


Fig .4 B Unghiul format de curentul de scurgere este unghiul de fază ( $\phi$ )

Circuitul echivalent cu capacitate și rezistor în colateral (paralel) sunt reprezentate în continuare.

Orice material dielectric lichid (uleiul electroizolant), este un dielectric în care sub acțiunea câmpului electric, apar pierderi dielectrice. Pierderile apar, indiferent dacă câmpul este continuu sau alternativ.

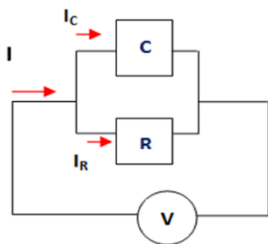


Fig. 5 Circuitul echivalent cu capacitate și rezistor

În dielectricul supus unui câmp alternativ, curentul total  $I$ , care străbate materialul dielectric prin masă și pe suprafața acestuia, are două componente, una activă la și alta capacitivă  $I_c$ . Unghiul dintre curentul total  $I$  și componenta sa capacitivă  $I_c$  se numește unghi de pierderi dielectrice.

Importanța cunoașterii proprietăților dielectrice a materialului se află în schematizarea, fabricarea, funcționarea și reciclarea materialelor dielectrice lichide și poate fi determinată prin calcul și măsurare.

Pierderile în dielectric sunt date de relația:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

unde: -  $P$ , pierderi în dielectric; -  $I$ , curentul total; -  $\cos \varphi$ , unghiul de fază;  
-  $U$ , tensiunea sinusoidală

$$P = U \cdot I_c \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2)$$

unde: -  $I_c$ , componenta capacitivă; -  $\delta$ , unghiul pierderilor dielectrice.

Dacă  $C$ , este capacitatea dielectricului,  $I_c$  va avea valoarea:

$$I_c = \omega \cdot C \cdot U \quad (3)$$

unde: -  $\omega$ , pulsația tensiunii sinusoidale  $U$

Cu relația (3), expresia (2) devine:

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (4)$$

Se observă că pierderile dielectrice cresc proporțional cu  $\operatorname{tg} \delta$ , și din acest motiv se mai numește și factor de pierderi dielectrice [6].

### 3.1 Modul de execuție a încercării cu puntea Sherring

Obținerea unor rezultate corecte și reproductibile este condiționată și de modul cum se curăță și se pregătește celula de măsurare a  $\operatorname{tg} \delta$ , în vederea efectuării determinării  $\operatorname{tg} \delta$ .

Celula tg se curăță conform prevederilor SR EN 60247-2004, prin demontarea în părți componente, spălarea cu eter de petrol și uscarea la etuva la 110 °C timp de cel puțin 60 min.

Periodic, în funcție de gradul de utilizare a celulei și de condițiile de păstrare, trebuie să se verifice celula goală (având ca dielectric, aerul), efectuându-se următoarele operații:

- tg  $\delta$  proprie celulei trebuie să fie:  $tg\delta \leq 1 \times 10^{-4}$ ;
- La o celulă în bună stare și corect curățată, capacitatea măsurată nu trebuie să difere cu mai mult de  $\pm 5\%$  față de valoarea de referință, iar  $tg \delta < 1 \times 10^{-4}$ ;
- În cazul în care capacitatea celulei nu satisface condiția de mai sus, trebuie acționat în sensul centrării electrozilor, astfel încât spațiul de 1 mm, respectiv 2 mm, între electrozi (în funcție de tipul celulei) să fie riguros respectat;
- Dacă  $tg > 1 \times 10^{-4}$ , se va repeta operația de curățare a celulei;
- Dacă și după efectuarea acestor operații nu sunt îndeplinite condițiile privind capacitatea și  $tg \delta$  măsurate la celula goală, se va renunța la utilizarea celulei respective;
- În cazul uleiului din exploatare, recoltate din echipamente înainte de turnarea în celulă, probele se omogenizează, rostogolindu-se ușor sticla, evitându-se formarea bulelor de aer;
- La umplerea celulei se va evita murdărirea cu ulei a suporturilor inelari izolați;
- Celula de ulei se introduce în sistemul de termostatare sau etuvă, unde se încălzește timp de maximum o oră, până la asigurarea temperaturii de  $90 \pm 1$  °C, și apoi se face determinarea  $tg \delta$ ;
- După stabilirea temperaturii prevăzute pentru determinare și după efectuarea legăturilor electrice la bornele celulei, se execută măsurarea  $tg \delta$  a uleiului.

Determinarea  $\text{tg } \delta$  se face la gradientul de 1 kV/mm, imediat după aplicarea tensiunii, în conformitate cu instrucțiunile de lucru ale aparaturii de măsură folosite.

### 3.2 Modul de execuție a încercării cu puntea Sherring

În cazul utilizării punții tip R 525, echilibrarea se face mai întâi cu comutatorul "Г" pe poziția "3kpaHbl". Obținerea convergenței benzii luminoase a galvanometrului se realizează prin rotirea treptată a reglajelor grosier și fin, după amplitudine și fază.

În cazul echilibrării corecte a punții, la comutarea din poziția „МОСТ” în poziția „3kpaHbl”, nu trebuie să se modifice echilibrul, măsurătoarea considerându-se terminată.

Metoda de verificare constă în măsurarea, cu instalația respectivă a unui condensator având capacitatea și pierderile dielectrice cunoscute. Verificarea instalației pentru determinarea  $\text{tg } \delta$  este recomandabil să se facă trimestrial și ori de câte ori există dubii în efectuarea măsurătorilor.

Pentru verificări se recomandă a se măsura un condensator cu mică de 500-5000 pF și având  $\text{tg } \delta$  de ordinul 1-3 %.

Dacă la determinarea efectuată nu se obțin capacitatea și  $\text{tg } \delta$  cunoscute ale condensatorului de referință, trebuie verificat cu atenție montajul, pentru depistarea surselor de erori:

- Ecranele condensatoarelor nu sunt corect legate;
- Ecranele ating părți sub tensiune;
- Instalația nu este pusă la pământ;
- Periodic se va verifica starea izolației conductoarelor de conexiuni;
- O atenție deosebită trebuie acordată măsurării conductoarelor pentru conectarea la bornele Co și Cx, a căror izolație trebuie să fie mai mare de 10 M $\Omega$  [4,7].

Informativ tangenta unghiului de pierderi dielectrice a unui trafo este determinată de materialele dielectrice încorporate; izolatoare de trecere, izolația înfășurărilor față de miez, între ele și față de cuva prin uleiul electroizolant.

Înrăutățirea parametrilor izolației conduc nemijlocit la creșterea  $\text{tg } \delta$ .



Este necesar ca măsurarea rezistenței de izolație a tg  $\delta$  și analiza calității uleiului să se execute asociat iar concluziile asupra stării izolației interne să se stabilească pe ansamblul probelor nedistructive [8].

#### **4. Concluzii**

■ La uleiul nou se fac două determinări ale tg  $\delta$  pentru fiecare proba iar rezultatele măsurătorilor trebuie să se încadreze în prevederile PE 129/99 ( tg < 0,5 ).

■ Pentru uleiurile din exploatare se admite efectuarea unei singure determinări a tg  $\delta$ .

■ Repetarea măsurătorilor se face dacă la măsurare s-a obținut o valoare a tg  $\delta$  necorespunzătoare, raportarea făcându-se la înfășurarea de tensiune superioară a transformatorului.

■ Repetarea măsurătorilor se face și în cazul când la măsurare s-a constatat o creștere bruscă a tg  $\delta$  față de valorile anterior măsurate pentru uleiul din același echipament.

■ Dacă, prin aplicarea acestor tratamente, tg  $\delta$  se micșorează, încadrându-se în valorile limite impuse de tipul de echipament respectiv, înseamnă că valoarea depășită a tg  $\delta$  măsurată pe probele inițiale, nu se datorează procesului de îmbătrânire a uleiului, ci unor impurități mecanice sau a apei, care se pot îndepărta prin recondiționarea fizică a uleiului, nefiind necesară schimbarea acestuia din echipamentul respectiv.

■ Aprecierea oportunității recondiționării uleiului sau necesitatea schimbării acestuia se va specifica în buletinul de analiză al uleiului, la concluzii.

#### **BIBLIOGRAFIE**

[1] Wang Wen-chang., *The relationship of interfacial tension and dielectric factor*, Transformer, 1995, vol.9, nr.2, pag 6.

- [2] \* \* \* SR EN 60247/2004-pct.12 și 13: *Licide electroizolante. Determinarea permitivității relative a factorului de pierderi dielectrice  $\tan \delta$  și a rezistivității în curent continuu.*
- [3] \* \* \* CEI 60475-74: *Metode de prelevare a lichidelor electroizolante.*
- [4] Boaru, L., *Instrucțiuni tehnologice de verificare a rigidității și a  $\tan \delta$  a uleiului electroizolant*, Editura ICEMENERG, București, 1994.
- [5] \* \* \* *Instrucțiuni de utilizare a instrumentului OTD Oil Tan Delta Megger*, 2018.
- [6] Șerban, T., *Regulament de exploatare tehnică a uleiurilor electroizolante*, vol.7, Editura ICEMENERG, București, 1999.
- [7] Lemke, E., Berlijn, S., Gulski, E., and Muhr, M., *Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance to IEC 60270*, Technical Brochure WGA, 2008, vol.1, pag. 61.
- [8] Commission, I.E., *High-voltage test techniques: partial discharge measurements*, International Electrotechnical Commission, 2000.

Ing. Irina CHERA ANGHEL  
asistent cercetare Laborator Uleiuri,  
ICEMENERG București  
e-mail: irina.alina.chera@gmail.com  
Ing. Florentina FARCAȘ  
asistent cercetare Laborator Medie Tensiune,  
ICEMENERG București,  
e-mail: ciuculan.florentina@gmail.com