



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

INTERPRETAREA TENSIUNII INTERFACIALE LA ULEIURILE MINERALE ELECTROIZOLANTE FOLOSITE PENTRU TRANSPORTUL CURENTULUI DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Simona Sorina GABRIAN, Cornel GABRIAN,
Ana ROȘCA, Dan ROȘCA

INTERPRETATION OF INTERFACIAL TENSION ON MINERAL OILS USED AS CARRIERS OF ELECTRICAL CURRENT OF HIGH VOLTAGE

The interfacial tension against water is a polar soluble contaminants detection and degradation products . This feature is changing fast enough oil to trade vessels inițial.Determinarea stage is commonly applied oils filled with insulating oil equipment in operation.

Keywords: interfacial tension, temperature, auto-transformers, oil analysis, hidrosopicitate electrical equipment

Cuvinte cheie: tensiune interfacială, temperatură, analize de ulei, autotransformatoare, hidrosopicitate, echipamente electrice

1. Introducere

Uleiul electroizolant. Rezultatele încercărilor și determinărilor asupra uleiului electroizolant sunt probabil cea mai importantă sursă de informație asupra stării tehnice a unui transformator care este cu ulei. Cele mai multe neconformități sau abateri de la funcționarea normală a unui transformator pot fi puse în evidență prin modificarea proprietăților fizico-chimice ale uleiului. Pe de altă parte, riscul de defectare a unui

transformator este esențial legat de calitatea uleiului electroizolant utilizat. Toate încercările, determinările, analizele electrice și fizico-chimice asupra uleiului electroizolant sunt foarte pe larg utilizate în evaluarea tehnică și sunt bine documentate în literatura de specialitate.

Interpretarea rezultatelor se face pe baza reglementărilor naționale (PE 129 - Regulament de exploatare tehnică a uleiurilor electroizolante) și internaționale unanim acceptate (IEC – 60422 Uleiuri minerale electroizolante – ghid pentru exploatare și mentenanță, IEC- 60599 Echipamente electrice în serviciu impregnate în ulei mineral – ghid pentru interpretarea analizei gazelor dizolvate și a gazelor libere, IEEE C57.104 – Ghid pentru interpretarea gazelor generate în transformatoarele cu ulei) precum și a altor norme tehnice și recomandări aplicabile (ANSI, CIGRE etc.).

Prelevările de ulei se fac fie din cuva principală, prin racordurile special prevăzute la diferite nivele, fie din conservator, cuva comutatorului de ploturi, după caz.

Dat fiind importanța acestora, analizele se efectuează într-un laborator acreditat RENAR, cu un control strict al tuturor fazelor implicate în obținerea rezultatelor – de la prelevarea probelor la emiterea buletinelor și rapoartelor de încercare – utilizând o dotare tehnică dintre cele mai moderne și folosind metode standardizate pentru toate determinările. Pentru completarea evaluării cu cele mai noi metode și tehnici de analiză a uleiurilor electroizolante, precum și pentru verificările inter-laboratoare obligatorii într-un sistem acreditat, întreținem relații de colaborare cu cele mai prestigioase laboratoare similare din țară și din Europa.

Lista analizelor asupra uleiului electroizolant include încercări și determinări precum: aspect, culoare, tensiune de străpungere, tangenta unghiului de pierderi, conținut de apa Karl Fischer, indice de neutralizare, vâscozitate cinematică, tensiune interfacială, conținut de particule, analiza gazelor dizolvate în ulei (AGD, 11 gaze) și este completată prin colaborări pentru determinări și analize speciale precum conținut de tipuri de hidrocarburi (profil ulei), conținut de substanțe insolubile în solvenți organici, conținut de aditivi și pasivatori, conținut de metale, conținut de PCB, conținut furani, corozivitate și multe altele.

2. Metode de determinare și aplicații în laborator

Orice moleculă din interiorul fluidelor se găsește sub acțiunea forțelor de atracție exercitate de toate moleculele ce o înconjoară, a

forțelor cunoscute sub denumirea de forțe Van der Waals¹⁹. Interacțiunile dintre moleculele aceluiași fluid se concretizează în vâscozitatea acestuia.

La interfața fluidelor forțele Van der Waals nu se mai compensează ci au o rezultanta orientată spre interior. Energia potențială a moleculelor din interiorul fluidului este mai mică decât la suprafață și în consecință pe suprafața liberă este distribuită o energie suplimentară. Pentru a crea 1 cm² de suprafață liberă este necesar să se consume o energie egală cu tensiunea interfacială.

Tensiunea interfacială la suprafața unui fluid este determinată prin evaluarea forței perpendiculare pe orice segment plasat pe suprafața fluidului și raportată la lungimea acestuia. Tensiunea interfacială este cuantificată ca o forță pe unitatea de lungime, echivalentă cu energia pe unitatea de suprafață a fluidului. Ea se exprimă în [N/m] sau [dyne/cm].

Pentru apă tensiunea interfacială aer/apă la temperatura de 10 °C este:

$$\sigma_{\text{apa}} = 0,07418 \text{ N/m} = 74,18 \text{ dyne cm} \quad (1)$$

și scade linear cu temperatura după ecuația (Rode, A.A., 1952; Andrei Silvan, 1967).

$$\sigma_{\text{apa}}(T) = 75,7(1 - 0,002 \times T) \quad (2)$$

în care: $T < 374$ - temperatura apei exprimată în grade Celsius.

Pentru alte fluide corelația tensiune superficială - temperatură este de forma:

$$\sigma_{\text{fluid}}(T) = \sigma_{\text{fluid}_0} \left[1 - \frac{1}{(T_{\text{cr}} - T_0)} \times T - T_0 \right] \quad (3)$$

unde:

$\sigma_{\text{fluid}}(T)$ - tensiunea interfacială a fluidului la temperatura T , [dyne/cm]

σ_{fluid_0} - tensiunea interfacială a fluidului la temperatura de topire T_0 , [dyne/cm]

T - temperatura fluidului, [°C].

¹⁹ Johannes Diderik Van der WAALS (1837-1923), fizician olandez laureat al premiului Nobel pentru fizică (1910) datorită cercetărilor asupra ecuației de stare a fluidelor. A propus ecuația de stare pentru gazele reale, care-i poartă numele și a explicat coeziunea moleculelor prin forțe de interacțiune numite „forțe Van der Waals” (NE).

Determinarea tensiunii interfaciale pentru contactul dintre faza solidă și fluid necesită metode speciale. Pentru apa pe sticlă s-a stabilit dyne/cm apa sticlă $\sigma_{\text{apa-sticla}} = 300$ dyne/cm .

Pentru interfața solid-fluid tensiunea interfacială condiționează în mod direct higroscopicitatea fluidelor, definită prin unghiul dintre suprafața unei picături de fluid în echilibru termic și o suprafață orizontală solidă. (α –unghi de udare).

O picătură de fluid în echilibru pe o suprafață orizontală solidă. Unghiul de udare definește hidroscopicitatea:

- $0 \leq \alpha \leq 90$ de unde rezultă că lichidul nu udă suprafața solidă;

- $90 \leq \alpha \leq 180$ de unde rezultă lichidul udă suprafața solidă.

Unghiul de udare (α) este o variabilă termodinamică, dependența de tensiunile interfaciale ale suprafețelor de separație dintre faze. Dacă unghiul α este mai mare de 90° se considera că fluidul “udă” suprafața solidului. Acest fenomen apare atunci când adeziunea dintre fluid și solid este mai mare decât atracția dintre moleculele fluidului.

Într-un sistem trifazic (aer-fluid-solid) în echilibru termodinamic, unghiul de udare α este dat de legea lui Young.

Dacă există două fluide care concură la acoperirea suprafeței unui solid, totdeauna unul dintre fluide va domina, va “uda”, acea suprafață.

În cazul unui sistem trifazic apă-petrol-aer, apa este fluidul care “udă” preferențial suprafața granulelor minerale sau a fisurilor. Dacă petrolul este primul fluid cu care vine în contact suprafața solidă uscată există șansa ca el să fie fluidul care “udă”. În cazul de față petrolul este înlocuit cu ulei mineral și avem un sistem trifazic apă-ulei-aer, uleiul este fluidul care “udă”.

La toate laboratoarele de mentenanță care aparțin de SC SMART SA, există aparate care determină tensiunea interfacială. Echipamentul folosit este balanța de torsiune Petrotest K8 sau K9 precum și Tensiometrul Petrotest K6.

3. Studiu de caz

Măsurătorile efectuate la echipamentele aflate în dotare au condus la următoarele rezultate, conform tabelului 1 - Valorile analizelor pentru un echipament după anul punerii în funcțiune și care a lucrat în parametrii normali

Tabelul 1

Nr.crt.	Echipament	Anul punerii în funcțiune	Valoarea tensiunii interfaciale <dyn/cm>	Centrul
1.	Trafo 2	2001	36,2	Cluj
2.	Trafo 1	2003	42,5	Cluj
3.	AT	2005	34,7	Baia-Mare
4.	BC	2007	35,7	Oradea Sud
5.	BC	2009	39,3	Cluj
6.	Trafo 3	2009	36,2	Cluj
6.	Trafo 2	2010	40,9	Oradea
7.	AT 2	2010	35,3	Baia-Mare
8.	AT1	2010	30,7	Cluj
9.	AT tip ATUS-FS	2010	40,2	Cluj
9.	Trafo 3	2011	40,5	Cluj

Folosind un studiu amănunțit al analizelor fizico-chimice interpretarea rezultatelor analizelor putem confirma că nu există vreun indiciu că uleiul s-a uzat sau că ar avea alte defecte din funcționare, nici urme de apă sau alte impurități care ar putea conduce la nefuncționalitatea transformatorului sau oprirea de urgență în cazul unor indicii de parametri depășiți sau alte nereguli. Interpretarea rezultatelor pentru echipamentele puse în funcțiune după anul punerii în funcțiune, rezultatele analizelor ne conduc la concluzia că nu avem caracteristicile pentru un ulei uzat care ar putea produce dezastre sau alte avarii.

Valoarea tensiunii interfaciale față de apă la 25 °C exprimată în dyn/cm variază între valorile 30,7 și 42,5. Nu există o confirmare certă că în timpul de funcționare pe ani de funcționare valoarea determinată ar putea fi mai mică sau mai mare.

A se vedea Trafo 1 din 2003 are valoarea cea mai mare respectiv 42,5 sau Trafo 2 din 2010 are valoarea 40,9 față de AT1 din 2010 care are valoarea de 30,7.

Aceste diferențe ca valoare nu le putem raporta față de ceva anume ca exemplu anul de funcționare, clima care este diferită în centrele existente în SMART sucursala Cluj, ca echipamente bobină de

compensare, trafo, autotransformatoare, autotransformatoare de tip ATUS-FS etc.

Conform normativelor în vigoare, valoarea tensiunii interfaciale față de apă este:

- Pentru ulei nou recondiționat fizic, minim 40 dyn/cm;
- Pentru ulei din exploatare minim 20 dyn/cm.

Nu avem o limită maximă, doar minimă, ceea ce permite încadrarea acestor echipamente, deci ele funcționează normal și optim.

În prezent se vor utiliza alte genuri de echipamente. Se încearcă înlocuirea cu echipamente care folosesc SF6. Echipamentul MV SF6 izolat pentru linii de suprasarcină cu sistem de operare manuală de la distanță, tija de conectare, stâlp de oțel îmbrăcat la cald, mecanism de operare motorizat, cablări electrice, cablu de conexiune la RTU (opțional este disponibil și un transformator pentru baterii).

Utilizarea SF6 se impune normelor europene dar în prezent se poate lucra și cu instalațiile vechi prin care circulă ulei mineral electroizolant așa cum o arată însăși analizele efectuate periodic la șase luni sau un an.

Ca obiective, orice instituție în domeniu își dorește să-și consolideze poziția pe piața serviciilor din domeniul instalațiilor electrice, atât pe plan intern cât și extern, prin diversificarea activității și executând lucrări în condiții de calitate, siguranță, promptitudine, eficiență, de protejare a mediului înconjurător și cu asigurarea securității și sănătății în muncă a personalului.

Momentan Laboratorul de Încercări este acreditat RENAR cu Politicile adecvate și un mare grad de încredere. Trebuie menționat că personalul este instruit prin cursuri care se realizează anual iar echipamentele sunt atent monitorizate. În prezent deja o parte din personal a participat la noua versiune a standardului ISO 9001:2015 organizat de TUV Austria-România care până în anul 2017 trebuie să fie implementate în toate laboratoarele acreditate. Nu pot fi neglijate nici calculele de incertitudini care la SMART sunt aplicate prin participarea la cursuri precum și prin audituri interne sau comparări interlaboratoare.

Actualul Sistem Integrat de Management al Calității și Mediului, certificat de SRAC și IQ NET, va fi îmbunătățit prin obținerea certificării

ca Sistem Integrat de Calitate – Mediu – Securitate și Sănătate în Muncă (SIMCMSSM/ SSO).

Instituțiile în domeniu sunt conștiente de necesitatea asigurării siguranței în funcționarea SEN, protejării mediului și diminuarea tuturor riscurilor de accidentare a personalului, aplicarea eficientă și îmbunătățirea continuă a SIMCMSSM, asigurând măsurile corespunzătoare pentru ca tot personalul să cunoască Politica și obiectivele în domeniul calității, mediului și SSM/SSO și să fie convins de necesitatea realizării acestora.

4. Concluzii

■ Tensiunea interfacială față de apă reprezintă un mod de detectare a contaminanților solubili polari și a produșilor de degradare. Această caracteristică se schimbă destul de repede pentru uleiul din exploatare față de stadiul inițial. Determinarea este aplicată frecvent pentru uleiurile din echipamente umplute cu ulei electroizolant aflate în exploatare, ca o indicație a gradului de deteriorare.

■ Transformatorul de putere este probabil unul dintre cele mai complexe și mai importante echipamente din sistemul de transport și distribuție a energiei electrice. Evaluarea stării tehnice, făcută cu dublul scop al prelungirii duratei de viață și al diminuării riscului de defect este o activitate complexă și importantă, pe măsura importanței transformatorului în sistem.

■ Fie că este vorba de investigații de rutină sau de investigații speciale, care apelează la cele mai noi tehnici și metode de măsură, pentru a obține un diagnostic corect datele măsurate trebuie să fie cât mai corect determinate, corelate și evaluate în baza reglementărilor tehnice aplicabile, a celor mai noi recomandări și informații din literatura de specialitate și nu în ultimul rând al experienței similare.

BIBLIOGRAFIE

[1] Popa, Șt., ș.a., Uleiuri minerale pentru utilaje și procese industriale, București, Editura tehnică, 1978.

[2] * * * *Tehnologia echipamentelor de comutație în SF6. Gazul SF6. Produși de descompunere.* Proiect complete, <http://facultate.regielive.ro/proiecte/electrotehnica/tehnologia-echipamentelor-de-comutatie-in-sf6-gazul-sf6-produsi-de-descompunere-143268.html>.

- [3] * * * *Regulament de exploatare tehnică a uleiurilor electroizolante*, Compania Națională de Electricitate, PE 129/99, București Ianuarie 2000.
- [4] * * * Curs 5 , Fenomene moleculare în lichide, <http://cadredidactice.ub.ro/mihaelalazar/files/2011/05/curs-5-fizica-sem-2.pdf>.
- [5] * * * 3.3.2.Tensiune interfacială http://www.unibuc.ro/prof/scradeanu_d/docs/2014/noi/25_15_02_027_PARAMETRI_HIDRO2_5.pdf.

Dr.Ing. Simona Sorina GABRIAN

Transelectrica SC SMART Sucursala Cluj Laboratorul de încercări

e-mail: simonasorinagabrian@yahoo.com;0745316754

Ing. Cornel GABRIAN

Departamentul de Autovehicule Rutiere și Transporturi,

Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

e-mail : cornelsimgabrian@yahoo.com;0742782265

Ana ROȘCA

Secretariat, Facultatea de Construcții de Mașini Cluj - extensie Alba-Iulia

e-mail : Ana.Rosca@tcm.utcluj.ro

Dan ROȘCA

Inginer profesor, Colegiul Tehnic „Alexandru Domșa ” Alba-Iulia

e-mail : anadanrosca@yahoo.com