



STUDIUL PRIVIND DIAGNOSTICAREA STĂRII TEHNICE A TRANSFORMATOARELOR DE PUTERE DIN SISTEMUL ELECTROENERGETIC AL REPUBLICII MOLDOVA

Macovei Ilie, Stratan Ion, Gropa Victor, Păduraru Ion, Pripa Marin
Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică

Rezumat. În prezent în sistemul electroenergetic al Republicii Moldova, la fel ca și în sistemele electroenergetice ale altor țări, mai mult de 60% din transformatoarele de putere și-au depășit termenul normativ de exploatare (25-30 ani) cu 10 – 20 ani, funcționând fără deficiențe esențiale. Experiența mondială arată că cea mai mare parte din transformatoare nu necesită înlocuirea lor la expirarea termenului normativ și pot fi exploatare în continuare. În lucrare este prezentată o analiză a metodelor de estimare a stării reale a izolației transformatoarelor de putere cu scopul de diminuare a cheltuielilor legate de înlocuirea lor. Se recomandă de a trece de la deservirea după program la deservirea după necesitate.

Cuvinte cheie: polimerizare , izolație, transformatoare.

STUDY OF TECHNICAL DIAGNOSIS OF POWER TRANSFORMERS IN POWER SYSTEM OF REPUBLIC OF MOLDOVA

Macovei Ilie, Stratan Ion, Gropa Victor, Păduraru Ion, Pripa Marin
Technical University of Moldova, Energetics Department

Abstract. Currently, the global power generation, as well as in the energy system of the Republic, more than 60% of power transformers have exceeded normative term of operation (25-30 years) with 10 to 20 years, operating without disabilities essential. World experience shows that most of the transformers do not require replacement on expiry legal and can be further exploited. The paper presents an analysis of methods for estimating the actual state of power transformer insulation in order to reduce the costs of replacement. It is recommended to move from service to service after hours as needed.

Keywords: polymerization, insulation, transformer.

ИССЛЕДОВАНИЕ О ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

Маковой И., Стратан И., Гропа В., Пэдурару И., Припа М.
Технический Университет Молдовы, Энергетический Факультет

Реферат. В настоящее время, в электроэнергетической системе Республики Молдова, аналогично как в электроэнергетических системах других стран, более 60% силовых трансформаторов превысили нормативный срок эксплуатации (25-30 лет) с 10 до 20 лет, работающих без существенным проблемами. Мировой опыт показывает, что большинство трансформаторы не требуют замены по истечении нормативного срока и могут быть дополнительно использованы. В статье представлен анализ методов оценки фактического состояния изоляции силовых трансформаторов с целью снижения расходов на замену. Рекомендуется, чтобы перейти от плановой технической эксплуатации к эксплуатации по необходимости.

Ключевые слова: полимеризация, изоляция, трансформатор.

1. INTRODUCERE

Durata normată de funcționare a transformatoarelor de putere, stabilită de către producător, este de 25 ÷ 30 ani, însă datorită faptului că sarcina maxima atinsă este mai mică decât sarcina maximă de calcul – ele funcționează până la 40 de ani și mai mult. Această situație are loc practic în toate țările – circa 40 ÷ 60% din toate transformatoarele de putere aflate în exploatare au depășit

durata normată de funcționare. Acest lucru este caracteristic și pentru sistemul electroenergetic al Republicii Moldova.

În legătură cu aceasta apare problema estimării stării reale a izolației în scopul stabilirii necesității privind scoaterea în reparație a transformatorului. Este stabilit faptul, că rezistența mecanică a izolației înfășurărilor transformatorului (a celulozei impregnate) determină capacitatea ei de a asigura funcționarea acestuia.

Reducerea rezistenței mecanice până la 50% de la valoarea inițială înseamnă atât degradarea totală a izolației cât și a transformatorului în ansamblu.

Analiza rezistenței mecanice a izolației în practica de exploatare este anevoioasă, iar precizia este mică. La rândul său este cunoscut faptul că rezistența mecanică este direct influențată de gradul de polimerizare a celulozei. Celuloza nouă reprezintă macromolecule în formă de lanț (figura 1) care conțin 1000 ÷ 1800 cicluri aromatice și are structură cristalină (figura 2, a). Cu trecerea timpului sub influența temperaturii, umidității și acidității uleiului, legătura dintre ciclurile aromatice se rupe, dimensiunile cristaline se micșorează și în consecință celuloza devine amorfă, rezistența mecanică se reduce, adică celuloza degradează – îmbătrânește (figura 2,b).

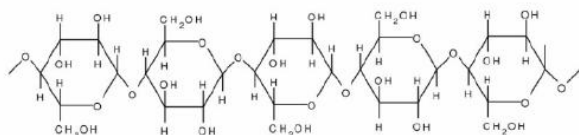


Figura 1 Structura moleculei de celuloză.

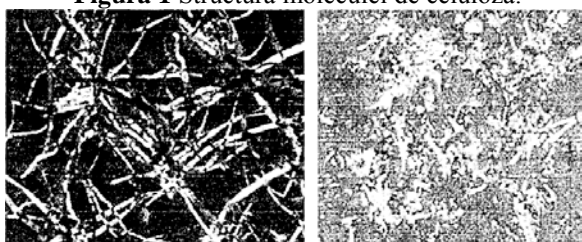


Figura 2 Aspectul celulozei noi a) (DP=1100) și îmbătrânite b) (DP<200), (DP – Degree of polymerization)

2. ANALIZA PROBLEMEI

În anul 1930 V.M. Montsinger [1] a stabilit, iar ulterior au confirmat mai mulți cercetători că dacă transformatorul ar lucra la temperatura maximă, la care este prevăzut, atunci acesta și-ar epuiza resursa de izolație exact în timpul normativ de funcționare. Mărirea temperaturii în unele ore ale funcționării duce la accelerarea vitezei de îmbătrânire a izolației. Gradul de degradare a izolației este mai înalt în punctul înfășurării cu temperatura cea mai ridicată θ_h (PTÎ).

S-a stabilit [1] că durata de viață a izolației se reduce de două ori pentru fiecare 6 °C de depășire a 98°C. Astfel, relația analitică pentru determinarea vitezei de îmbătrânire a izolației pe durata de timp $t_0 - T$ se poate pune sub forma:

$$L(t_0, t_0 + T) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0 + T} 2^{\frac{\theta_h - 98^\circ C}{\Delta}}, \quad (1)$$

unde: θ_h este temperatura punctului cu cea mai înaltă temperatură, iar $\Delta = 6^\circ C$ (conform IEC 60076-7 $\Delta = 7^\circ C$ pentru Rusia).

Temperatura de 98°C corespunde depășirii cu 78°C a temperaturii uleiului în nivelurile superioare din transformator față de temperatura mediului ambiant de

20°C.

Depolimerizarea celulozei este influențată de niște factori ca: conținutul de apă în aceasta, concentrația de CO și CO₂ în uleiul de transformator, de aciditatea uleiului, etc., și aceste componente se acumulează în izolație și în ulei și accelerează îmbătrânirea acesteia. Experimentele arată că există o legătură absolută între rezistența mecanică la rupere și gradul de polimerizare DDP :

- ✓ Forței de rupere $L_0 = 0$ îi corespunde un grad de polimerizare $DP = 1$;
- ✓ Forței de rupere de 50% de la valoarea inițială îi corespunde un grad de polimerizare de $DP = 300..400$.

Așadar, gradul de degradare a izolației poate fi estimat prin determinarea gradului de polimerizare DP, ceea ce practic este posibil de realizat cu ajutorul tehnologiilor și aparatelor existente la moment.

Se consideră că degradării totale a izolației îi corespunde $DP = 250 \div 200$.

Este stabilit faptul că acești parametri practic nu influențează viteza de îmbătrânire a izolației dacă nu se depășesc anumite concentrații numite bază, spre exemplu concentrația de bază a umezelii în izolație se consideră 0,3% , iar factorul de aciditate $K_{acb} = 0,01$.

Factorul de aciditate reprezintă cantitatea de hidroxid de kaliu KOH, în mg, necesară pentru a neutraliza aciditatea unui gram de ulei.

În [2] a fost obținută relația de calcul a vitezei de îmbătrânire a izolației pentru cazul când concentrația umezelii W_t , a factorului de aciditate K_{ac} și a conținutului de gaze CO și CO₂ depășesc cele de bază sub forma:

$$L(t_0, t_0 + T) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0 + T} \left(\frac{W_t}{0,3} \right)^{1,493} \cdot \left(\frac{K_{ac}}{0,01} \right)^{2,06} \cdot \left(\frac{CO_2}{CO_b} \right)^{2,06} \cdot \exp(\ln 2 \cdot (\theta_h - 98^\circ C)) dt. \quad (2)$$

Studiile au demonstrat că dacă temperatura PTÎ $\theta_h = 140^\circ C$, atunci într-o singură zi transformatorul ar consuma din resursa sa în 128·24 = 3072 ore în comparație cu cazul dacă $\theta_h = 98^\circ C$.

În baza relației (2) ar putea fi estimat atât gradul de degradare cât și resursa remanentă a transformatorului dacă ar exista o arhivă a dinamicii parametrilor respectivi de la momentul introducerii în exploatare.

O altă posibilitate de estimare a resursei consumate și remanente ar fi analiza gradului de polimerizare a izolației. Însă atât prima cât și a doua metodă ar cere: deconectarea transformatorului de la rețea, scurgerea uleiului, extragerea probei de izolație precum și analiza ei.

Acest lucru nu poate fi acceptat numai pentru a stabili că transformatorul mai poate fi utilizat în continuare.

De aceea eforturile cercetătorilor sunt îndreptate spre căutarea metodelor indirecte de determinare a gradului de polimerizare a izolației. Cercetările au demonstrat că distrugerea celulozei în ulei provoacă formarea sărurilor

de furan.

Se formează cinci săruri de furan: $5H_2F$ - 5 Acetil furan; $2FAOL$ - furfuroil; $2FAL$ - 2furaldehidă; $2ACF$ - 2Furil-metil-cetona; $5M2F$ - 5 Metil - 2Furaldehida.

Sărurile de furan enumerate apar fiecare în parte în urma unor condiții concrete din interiorul transformatorului și deci pot servi pentru orientare spre unele defecte care au loc în el și sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Cauza apariției diferitor componente de săruri de furan.

Componenta de furan	Cauza apariției
$5H_2F$	Oxidare
$2FOL$	Umezeală excesivă
$2FAL$	Supraîncălzire, arc electric, temp. înalte.
$2ACF$	Defecte locale, temperaturi excesive.

Pornind de la aceea că sărurile de furan apar în urma descompunerii celulozei cercetările principale ale savanților din toată lumea sunt îndreptate spre stabilirea legăturii dintre concentrațiile lor și gradul de polimerizare (DP).

Utilizarea conținutului de furan în ulei ar evita necesitatea de a deconecta transformatorul, de a deermetiza, de a scurge uleiul, precum și alte proceduri costisitoare și periculoase și de lungă durată. Deci analiza concentrației sărurilor de furan ar servi o perspectivă bună pentru determinarea stării tehnice a transformatorului.

Estimarea ar fi mai precisă dacă ar exista o arhivă a dinamicii concentrației pentru fiecare an. Colectarea datelor în însă pentru arhivă este practic imposibilă din cauza volumului mare de lucru și de aceea se efectuează periodic.

Utilizarea analizei concentrațiilor sărurilor de furan la determinarea stării tehnice a transformatorului mai are neajunsul că patru dintre ele ($5H_2F$, $2FOL$, $2ACF$, $5M2F$) sunt instabile și se dizolvă în ulei în scurt timp după apariție, deci nu posedă efect cumulativ.

Efect cumulativ posedă numai $2FAL$ - 2Furaldehid. La analiza sărurilor de furan din ulei se determină numai conținutul de $2FAL$ și nu cel total de furan, de aceea și apar unele discrepanțe între conținutul de furan și gradul de polimerizare DDP .

Pe durata exploatării transformatorului periodic are loc reciclarea uleiului (schimbarea uleiului), ceea ce duce la pierderile informației despre conținutul de furani în uleiul care a fost extras din transformator, de aceea rezultatele vor fi mai exacte dacă extragerea probelor de furani se face după o perioadă mai îndelungată de la reciclarea uleiului.

Silicagelul absoarbe sărurile de furan din uleiul care trece prin el. Totodată ca indicator de analiză mai poate fi folosită viteza de creștere a concentrației de $2FAL$ care se calculează cu relația dată de CIGRE:

$$2FAL \left(\frac{mg}{g \text{ de izol.}} \right) = \frac{10^6}{162 \cdot DDP_0} \cdot \eta \cdot \beta \cdot 96, \quad (3)$$

unde 162 este masa moleculară a celulozei; 96 - masa

moleculară a $2FAL$; η - numărul de rupturi în ciclurile moleculei de celuloză; β - numărul de molecule $2FAL$ care se formează la fiecare rupere η .

La îmbătrânirea izolației în ulei $\beta = 0,3$ și atunci:

$$2FAL \left(\frac{\mu g}{g} = \frac{mg}{kg} \right) = 161,64. \quad (4)$$

În figura 3 este prezentată viteza de creștere a concentrației sărurilor de furan în funcție de temperatură. Se observă o creștere bruscă a vitezei pornind de la temperaturi de $140 \div 150^\circ C$.

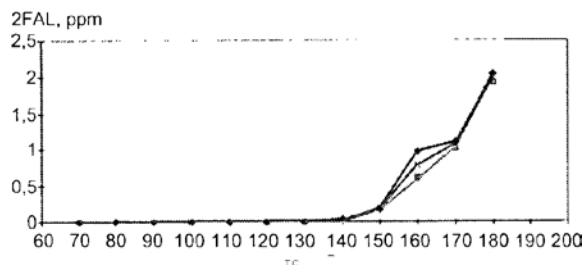


Figura 3 Dependenta creșterii concentrației sărurilor de furan în funcție de temperatură.

În transformatorul real la temperaturi mai ridicate ($\theta_h, P\hat{T}$) sunt supuse $2 \div 5\%$ din masa izolației. Deci într-un transformator cu o masă de celuloză de $200kg$ la limita rezistenței de rupere ($\eta = 50\%$) se va forma o cantitate de $2FAL$ de $161600mg$. Ținând seama că în ulei se va dizolva circa 70% de săruri de furan, iar cantitatea de ulei este de 60 tone, concentrația de $2FAL$ va alcătui: $2FAL = 1,9 \frac{mg}{kg} = 1,99 ppm$.

Cercetările CIGRE arată că viteza de formare a $2FAL$ crește brusc cu creșterea umidității izolației. Analiza arată o creștere bruscă a vitezei de formare a $2FAL$ în funcție de gradul de polimerizare. În figura 4 este prezentată intensitatea formării $2FAL$ în funcție de gradul de polimerizare.

Se observă o creștere bruscă de formare a $2FAL$ de la $DP < 600$.

În figura 4 a) este prezentată viteza creșterii intensității de formare a $2FAL$ în timp, iar în figura 4 b) în funcție de gradul de polimerizare.

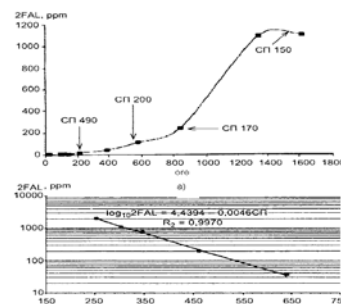


Figura 4 Dependenta conținutului de furan: a) de durata de exploatare și b) de gradul de polimerizare (DP)

Deci, starea reală a izolației transformatorului poate fi determinată în baza gradului de polimerizare DP.

CIGRE propune următoarea interpretare a stării izolației în funcție de DP:

- $DP > 800$ - Stare bună;
- $400 < DP < 800$ - A fost consumat 50% din resursă;
- $DP < 400$ - A rămas a treia parte din resursa inițială, pot avea loc situații de risc.

În tabelul 2 este estimată starea transformatorului în funcție de concentrația de furan.

Tabelul 2. Starea transformatorului în dependență de conținutul de furan.

Conținut furan, (ppm)	DDP	Starea transformatorului
0 – 0,1	1200 – 700	Bună
0,1 – 1	700 – 450	Viteza de îmbătrânire moderată
1 – 10	450 – 250	Viteza de îmbătrânire mare, risc de defectare
> 10	< 250	Risc mare de defectare

La $2FAL < 50 \mu\text{g}/\text{l}$ viteza de îmbătrânire a izolației se consideră normală, la $2FAL > 1000 \mu\text{g}/\text{l}$ – transformatorul necesită investigații.

Conform CIGRE consumului complet al resursei ($DP = 200$) îi corespunde concentrația $2FAL = 3,3 \text{ ppm}$.

Transformatorul trebuie luat la control dacă $2FAL \geq 1$.

Eforturile savanților din laboratoarele mari ale lumii sunt

îndreptate spre a obține relații analitice dintre concentrațiile $2FAL$ și DP .

Prima relație a fost propusă de Cendong și recomandată de CIGRE ca fiind de bază. Ea a fost scrisă sub forma [3]:

$$\log[2FAL_{ppm}] = 1,51 - 0,0035 \cdot DP. \quad (5)$$

(ppm – part per million).

Relația Cendong (5) a fost inversată de Stebbin la DP și a căpătat forma:

$$DP = \frac{\log_{10}(2FAL_{ppb} \cdot 0,88) - 4,51}{-0,0035}. \quad (6)$$

(ppb – part per billion).

Pentru izolație termorezistentă relația Cendong se va scrie în forma:

$$\log_{10}[2FAL_{ppm}] = 1,5655 - 0,0035 \cdot DP. \quad (7)$$

De Pablo [3,4], în baza experimentelor proprii presupunând că depolimerizarea este medie și uniformă pe tot volumul izolației, a propus relația:

$$DP = \frac{7100}{8,8 + 2FAL_{ppm}}. \quad (8)$$

Pahlonvopour a modificat relația lui De Pablo, presupunând că depolimerizarea nu este uniformă și că degradării este supusă numai 20% din izolație.[5].

Ecuția De Pablo modificată se prezintă sub forma:

$$DP = \frac{800}{0,186 \cdot 2FAL_{ppm} + 1}. \quad (9)$$

În tabelul 3 sunt prezentate rezultatele comparative ale calculelor gradului de polimerizare cu ajutorul diferitor relații.

Tabelul 3. Rezultatele calcului gradului de polimerizare prin diferite metode

Furan $2FAL_{ppm}$	Grad de polimerizare			
	Chendong	Stebbin	De Pablo	Pahlavanpour
0,01	1003	1316	806	799
0,1	717	2031	798	785
0,5	517	831	763	732
1	431	745	724	675
2,5	318	631	628	545
5	232	545	514	415
10	146	459	378	280
15	95	409	298	211

Observăm că mai rezervat din punct de vedere al concentrațiilor de $2FAL$ admisibile este modelul Chendong.

În figura 5 sunt prezentate grafic dependențele gradului de polimerizare DP de conținutul de furan $2FAL$.

Se observă o corelație mai bună dintre modele Stebbins, De Pablo și Pahlvanpour.

Se consideră o creștere mai intensă de furan începând cu polimerizarea de la $DP = 450$.

Modelul Cendong indică grade de polimerizare mai scăzute și deci resursa remanentă a izolației este mai rezervată.

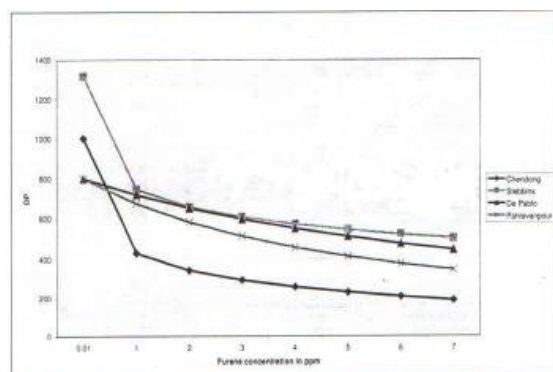


Figura 5 Gradul de polimerizare funcție de conținutul sărurilor de furan

Pentru un transformator din sistemul electroenergetic al

R. M. în anul 2011 concentrația totală de furan a constituit $2,7 \cdot 10^{-5}\%$ (2700 ppb). Calculele gradului de depolimerizare sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tabelul 4 Rezultatele calculului gradului de polimerizare

Cendong	Stebbin	De Pablo	Pahlonvopour
324,04	324,04	617,39	532,55

La luarea deciziilor privind reabilitarea transformatorului, rolul principal îl joacă resursa remanentă a izolației.

Se observă necesitatea de a lua transformatorul la monitorizare. Calculul după relațiile De Pablo și Pahlonvopour indică o rezervă remanentă mai mare a resursei. Dar totodată trebuie de menționat că relațiile date pornesc de la ideea că gradul de polimerizare inițial este de 1200 – 1400, pe când Cendong de la un grad de polimerizare inițial de 800-900.

În tabelul 5 este prezentată resursa remanentă relativă a unui transformator în funcție de concentrațiile de $2FAL$.

Tabelul 5. Dependența resursei remanente de viață de conținutul de furan

$2FAL$	DP	Resursă remanentă, %	Comentarii
58	800	100	Ritm normal de îmbătrânire
130	700	90	
292	600	79	
654	500	66	Ritm de îmbătrânire accelerat
1464	400	50	
1720	380	46	
2121	360	42	
2374	340	38	
2789	320	33	Ritm de îmbătrânire excesiv
3277	300	29	
3851	280	24	
4524	260	19	Zonă de risc de avarie.
5315	240	13	
6245	220	7	Expirarea termenului de exploatare a izolației și a transformatorului.
7337	200	0	

Se observă o reducere a DP și a resursei remanente a izolației și o creștere a pericolului de avarie la creșterea concentrației de furan $2FAL$. Resursa remanentă a izolației transformatorului poate fi calculată cu ajutorul relației:

$$L_{rem.} = \frac{1}{k \cdot 24 \cdot 365} - \frac{1}{200 \cdot DP_{rem.}}, ani, \quad (10)$$

unde: $DP_{rem.}$ este gradul de polimerizare remanent, k - constanta de îmbătrânire în funcție de starea izolației, valorile căreia sunt prezentate în tabelul 6.

$$DP_{rem.} = DP_0 - DP_{cons.} \quad (11)$$

unde DP_0 este gradul de polimerizare inițial, iar $DP_{cons.}$ este gradul de polimerizare consumat.

Tabelul 6. Valoarea constantei de îmbătrânire k funcție de starea izolației transformatorului

Temperatura °C (K) la care va funcționa mai departe	Starea izolației			
	Uscată, neoxidată, k	Uscată, oxidată, k	Uscată, conținut mare de oxigen, k	Conținut de umezeală, k
70(340)	$0,2 \times 10^{-8}$	$0,3 \times 10^{-8}$	$0,7 \times 10^{-8}$	$0,8 \times 10^{-8}$
80(353)	$0,56 \times 10^{-8}$	$1,9 \times 10^{-8}$	$2,1 \times 10^{-8}$	$2,45 \times 10^{-8}$
90(363)	$1,6 \times 10^{-8}$	$2,6 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-8}$	$6,9 \times 10^{-8}$
100(373)	$4,3 \times 10^{-8}$	$6,9 \times 10^{-8}$	$15,7 \times 10^{-8}$	$18,6 \times 10^{-8}$
110(383)	$10,9 \times 10^{-8}$	$17,5 \times 10^{-8}$	40×10^{-8}	47×10^{-8}

Spre exemplu dacă $DP_{rem.} = 600$ și izolația este uscată, însă oxidată și conține acid și va funcționa mai departe la o temperatură de $90^\circ C$, atunci resursa remanentă va alcătui:

$$L_{rem.} = \frac{1}{2,6 \times 10^{-8} \cdot 24 \cdot 365} - \frac{1}{200 \cdot 600} \approx 15 ani. \quad (12)$$

Întrucât în sistemul energetic al RM nu există arhive a analizelor pentru anii precedenți anului 2011, iar cele din 2011 au conținutul de furan total, dar nu pe componente, sau $2FAL$, estimarea gradului de polimerizare și a resursei remanente poate fi foarte aproximativă. De aceea pentru a ajunge la o concluzie mai reală este necesar de a trata problema din mai multe puncte de vedere. În lucrarea dată se propune de a estima probabilitatea de defectare a transformatorului aflat în zona de risc.

Pornind de la relația vitezei de polimerizare a celulozei:

$$\frac{1}{DP} = \frac{1}{DP_0} \cdot e^{k_{ef} \cdot \tau}, \quad (13)$$

unde DP este gradul de polimerizare la anul τ după punerea transformatorului în exploatare; k_{ef} este factorul eficient al intensității de îmbătrânire; τ este durata funcționării transformatorului, ani.

Se poate considera că probabilitatea defectării în zona de risc este invers proporțională cu gradul de polimerizare.

Notând probabilitatea cu σ putem scrie relația:

$$\sigma(\tau) = \sigma_0 \cdot e^{k_0 \tau}, \quad (14)$$

unde $\sigma(\tau)$ este probabilitatea defectării în zona de risc; k_0 - factorul de creștere a probabilității de defectare; σ_0 - probabilitatea de intrare în zona de risc.

Considerând la $DP = 250$ defectarea inevitabilă, $\sigma(\tau) = 1$, iar timpul de polimerizare de 13 ani din figura 6 vom obține $k_\sigma = 0,045$, iar

$$\frac{\sigma(\tau)}{\sigma_0} = \frac{250}{450} = 0,5556, \quad (15)$$

rezultă că $\sigma(\tau) = 0,5556 \cdot e^{0,045(\tau-17)}$, unde τ este anul punerii în funcție a transformatorului.

Deci cu ajutorul relației (15) se poate estima probabilitatea de defectare în zona de risc.

Spre exemplu, dacă la anul de exploatare a transformatorului $\tau = 20$ atunci probabilitatea ieșirii din funcțiune este:

$$\sigma(20) = 0,5556 \cdot e^{0,045 \cdot 3} = 0,64;$$

$$\sigma(25) = 0,5556 \cdot e^{0,045 \cdot 8} = 0,796.$$

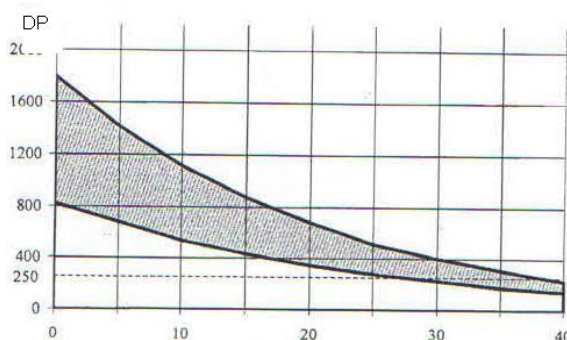


Figura 6. Gradul de polimerizare funcție de durata de exploatare a transformatorului

Dacă gradul de polimerizare ar fi considerat 200, atunci:

$$\sigma_0 = \frac{200}{450} = 0,4444,$$

respectiv:

$$k_\alpha = \frac{1}{18} \cdot \ln\left(\frac{1}{0,4444}\right) = 0,0453, \quad (16)$$

vom avea:

$$\sigma(\tau) = 0,4444 \cdot e^{0,0453(\tau-17)};$$

$$\sigma(20) = 0,4444 \cdot e^{0,0453 \cdot 3} = 0,51;$$

$$\sigma(30) = 0,4444 \cdot e^{0,0453 \cdot 13} = 0,8.$$

3. CONCLUZII

1. Celuloza impregnată a înfășurărilor transformatoarelor de putere cu trecerea timpului sub influența temperaturii, umezelii și acidității îmbătrânește și rezistența mecanică a acesteia se reduce până la deteriorarea acesteia.
2. Rezistența mecanică a izolației este direct determinată de gradul de polimerizare a celulozei.
3. Din cauza condițiilor favorabile de exploatare viteza reală de îmbătrânire este mai redusă decât cea normativă și termenul de exploatare a transformatoarelor poate fi extins.
4. Gradul limită admisibil de polimerizare este de 250-200.
5. Gradul de polimerizare a izolației cât și resursa consumată și cea remanentă a izolației poate fi făcută prin analiza concentrației sărurilor de furan în ulei.
6. Prin determinarea resursei remanente a izolației poate fi realizată trecerea de la deservirea după program la deservirea după necesitate.

4. BIBLIOGRAFIE

- [1]. Montsinger V.M., „Loading Transformers by Temperature” AIEE Transactions, vol.49, 1930pp. 1151-1162; Paper C111; Cigré 2009 6th Southern Africa Regional Conference
- [2]. „Development of Methods of Evaluation of Power Transformer Insulation Aging Taking Into Account Random Exploitation Factors” V.P. Vasin, A.P. Dolin SPA “Electroengineering Diagnostics And Service” (Russia) JSC “Federal Network Company EES” (Russia)
- [3]. Chendong I. „Monitoring Paper Insulation Aging by Measuring Furfural Contents in Oil”, Seventh International Symposium on High Voltage Engineering, Dresden, August 1991;
- [4]. De Pablo A., Mollman A., „New Guidelines for Furan Analysis As Well As Dissolved Gas Analysis in Oil-Filled Transformers” CIGRE 1996: 15/21/33-19;
- [5]. De Pablo A., „Recent Research Relating to the Usefulness of Furanic Analysis to Transformer Condition Assessment” CIGRE, Paris 1998, WG 15-01.

Informații autori



Ilie A. Macovei, este născut la 12 decembrie 1938, s. Șestaci, Republica Moldova. În anul 1967 a absolvit Institutul Politehnic din Kiev, specialitatea Electroenergetică. În anul 1978 a obținut titlul de doctor în știință, activează ca profesor la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Este autor și coautor la mai mult de 90 de lucrări științifice și lucrări metodice din domeniul electroenergeticii pentru studenții din instituțiile de învățământ superior de specialitate. Activitatea științifică de bază – electroenergetică, sisteme și rețele electrice.

Ion P. Stratan, este născut la 08 Septembrie 1943, s. Nișcani, Republica Moldova. În anul 1965 a absolvit Institutul Politehnic din Chișinău, specialitatea Inginerie Electrică. În anul 1975 a obținut titlul de doctor în știință, activează ca profesor la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Este autor și coautor la mai mult de 100 de lucrări științifice și lucrări metodice din domeniul electroenergeticii pentru studenții din instituțiile de învățământ superior de specialitate. Activitatea științifică de bază – electroenergetică, sisteme și rețele electrice..





Victor B. Gropa, este născut la 23 Iunie 1980 în Chișinău, Republica Moldova. A absolvit Universitatea Tehnică a Moldovei în anul 2003, specialitatea Electroenergetica. În anul 2004 obține titlul de master în electroenergetica. Din anul 2003 activează ca inginer la Facultatea de Energetică, ca ulterior din 2004 să se angajeze ca lector asistent la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Activitatea științifică de bază – electroenergetica, sisteme și rețele electrice.

Ion L. Păduraru, născut în 1983, 27 mai, în or. Ocnîța, Republica Moldova. A absolvit Universitatea Tehnică din Moldova în anul 2005, specialitatea Electroenergetica. După absolvirea studiilor postuniversitare în anul 2006 a obținut titlul de Master în Științe Tehnice, inginerie electrică. Din anul 2006 activează în cadrul Întreprinderii de Stat Moldelectrica, paralel, imediat după absolvire, fiind angajat ca asistent universitar la Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul științific – sisteme electrice și circuite de putere.



Marin I. Pripa, născut în 1986, 21 septembrie, în s. Pelinia, Republica Moldova. A absolvit Universitatea Tehnică din Moldova în anul 2008, specialitatea Electroenergetica. După absolvirea studiilor postuniversitare în anul 2010 a obținut titlul de Master în Științe Tehnice, inginerie electrică. Din anul 2008 a activat succesiv la RED „Union Fenosa”, ÎCS „Spamol” SRL paralel, imediat după absolvire, fiind angajat ca asistent universitar la Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul științific – sisteme electrice și circuite de putere.