



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2005 01046**

(22) Data de depozit: **16.12.2005**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.05.2012** BOPI nr. **5/2012**

(41) Data publicării cererii:
30.06.2006 BOPI nr. **6/2006**

(73) Titular:
• **SIMTECH INTERNATIONAL S.R.L.,**
STR.FETEȘTI NR.52, BL.T3, ET.4, AP.19,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• **TĂNĂSESCU GABRIEL,**
BD.CONSTANTIN BRÂNCOVEANU NR.111,
BL.V5, ET.1, AP.1, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
JP 2003232821 A; DE 3909506 A1;
GB 1016899 A; WO 9958965 A2

(54) **METODĂ ȘI APARAT PENTRU DETERMINAREA STĂRII
IZOLAȚIEI, PRECUM ȘI A CONȚINUTULUI DE UMIDITATE A
ECHIPAMENTELOR ELECTRICE**

(57) **Rezumat:**

Invenția se referă la o metodă și un aparat pentru determinarea stării izolației, precum și a gradului de umiditate a echipamentelor electrice, destinate evaluării gradului de îmbătrânire a echipamentelor de înaltă tensiune, ca de exemplu transformatoare electrice, mașini electrice și altele asemenea. Metoda conform invenției constă în aplicarea, pe echipamentul de testat, a unui nivel de tensiune dorit, 500 sau 1000 V, prin intermediul unui soft specializat și folosind o schemă de măsură dorită, efectuarea de măsurători ale curentului de revenire și ale curenților de absorbție/resorbție, prin metoda răspunsului dielectric, prelucrarea datelor achiziționate în domeniul timp și domeniul frecvență, obținându-se datele necesare evaluării stării izolației echipamentului testat. Aparatul folosit pentru aplicarea metodei este constituit dintr-un bloc de alimentare, format dintr-o sursă de joasă tensiune (1) pentru alimentarea circuitelor integrate, o sursă de înaltă tensiune (2) pentru alimentarea echipamentului de testat și un bloc (3) de protecție la supratensiune a sursei (2), un bloc de achiziție și măsură, format din șase module (4...9) de achiziție și prelucrare date, și un bloc (10) având rol de interfață, cu un computer pe care se rulează un soft specializat.

Revendicări: 2
Figuri: 38

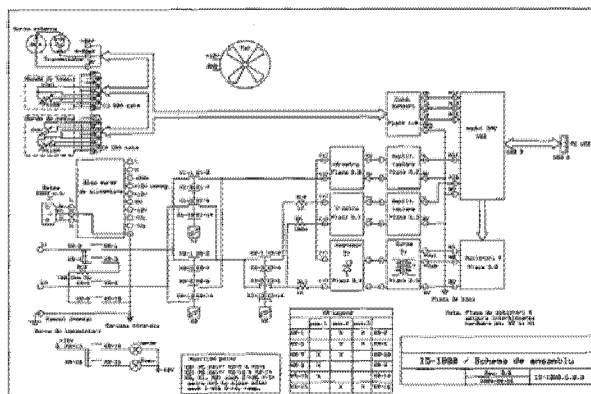


Fig. 17

Examinator: ing. ENEA FLORICA



Orice persoană are dreptul să formuleze în scris și motivat, la OSIM, o cerere de revocare a brevetului de invenție, în termen de 6 luni de la publicarea mențiunii hotărârii de acordare a acesteia

RO 123448 B1

1 Prezenta invenție prezintă o metodă și un aparat pentru determinarea stării izolației,
precum și a conținutului de umiditate a echipamentelor electrice, care este utilizată în evalua-
3 rea gradului de îmbătrânire pentru echipamentele de înaltă tensiune, ca transformatoarele
electrice, mașinile electrice, cabluri de energie etc.

5 În evaluarea transformatoarelor electrice de putere, cât și a altor echipamente de
înaltă tensiune, un rol deosebit de important îl are diagnosticarea izolației. În ultimii ani,
7 măsurătorile dielectrice axate pe evoluția curenților de relaxare sunt din ce în ce mai utilizate,
pentru determinarea stării materialelor izolante sau a sistemelor de izolație.

9 În timpul funcționării, transformatorul este supus la numeroase solicitări. Acestea sunt
de natură termică, electrică și mecanică, și au ca rezultat, în general, degradarea sistemului
11 de izolație ulei-hârtie. Degradarea presupune reducerea calității izolației. Descărcările locale
pot duce la distrugerea înfășurărilor și pot rezulta puncte calde. Fenomenul degradării trebuie
13 folosit pentru obținerea de informații necesare măsurătorilor.

A. Izolația solidă

15 Materialele pe bază de celuloză au două funcții:

17 a) creșterea stabilității dielectrice a izolației în raport cu un strat de ulei de grosime
egală;

19 b) menținerea unei anumite distanțe între suprafețele cu potențiale electrice diferite.
Izolația solidă (hârtie, preșpan, traformerboard) folosită în transformatoare este pe bază de
celuloză.

21 Celuloza este o substanță macromoleculară naturală cu molecula liniară, un hidrat
de carbon polimer - $(C_6H_{10}O_5)_n$. Lanțurile moleculare se grupează în micle (tuburi subțiri),
23 care se aranjează în același mod, formând fibre și apoi fibre celulozice. Această structură
explică porozitatea (40÷50%) și absorbția de apă foarte mare a produselor pe bază de
25 celuloză.

27 Hârtia celulozică este un amestec de trei componente: polimer de celuloză cu o ridi-
cată greutate moleculară; semiceluloză, copolimeri de mică greutate moleculară; lignina,
care este un polimer aromatic. Degradarea hârtiei este dependentă de mediul ambiant și
29 poate antrena degradarea hidrolitică, oxidativă și termică.

31 Oxidarea este procesul principal în degradarea hârtiei. Sub acțiunea oxigenului,
macromoleculele celulozei depolimerizează, lungimea lor scade și proprietățile mecanice se
înrautățesc. De asemenea, oxigenul favorizează reacțiile chimice ale celulozei cu apa, în
33 urma cărora crește numărul de grupări polare și se reduc "proprietățile dielectrice". În
literatură se dau curbele conținutului de apă din izolația de hârtie, după anotimpuri, pentru
35 zona temperată.

37 Curbele au un caracter orientativ, permițând totuși stabilirea unor concluzii practice
importante. Astfel, din aceste curbe rezultă ca izolația unui transformator încărcat în mod
corespunzător, în exploatare, când temperatura lui este ridicată, se menține în bune condiții,
39 fără măsuri speciale. Dimpotrivă, izolația unui transformator aflat în rezervă sau în stare de
depozitare absoarbe umiditatea din mediul ambiant. La temperaturi ale mediului ambiant în
41 jur de 10°C, conținutul de umiditate din izolația de hârtie devine periculos pentru calitățile
izolante ale hârtiei, cu toate că uleiul are un conținut redus de apă. De aceea, se impune
43 controlul periodic al rezistenței de izolație Riz a transformatoarelor din rezervă și alternarea
lor în funcționare, astfel încât fiecare transformator să stea în rezervă un timp cât mai scurt.

45 Rigiditatea dielectrică (E_s) și rezistivitatea se reduc ca urmare a intensificării procesu-
lui de conducție electrică. Într-adevăr, în cazul umezirii corpurilor, purtătorilor de sarcină
47 uzuali (ioni, electroni etc.) li se adaugă purtători adiționali: ioni rezultați din disocierea impu-
rităților conținute în apă sau a impurităților solubile din materialul propriu-zis, ioni de hidrogen

RO 123448 B1

și oxigen rezultați din disocierea apei, molecule ale dielectricului, grupe de molecule de apă încărcate cu sarcină electrică (a căror mișcare sub acțiunea câmpului electric este, în esență, o electroforeză lentă a fazei solide) etc.	1
Umiditatea contribuie, de asemenea, la înrăutățirea caracteristicilor mecanice, îndeosebi a rezistenței la tracțiune, a alungirii la rupere etc. Și în acest caz, efectul umidității este mai important pentru corpurile impure sau în cazul în care apa conține impurități solubile.	3
Umiditatea modifică tensiunea de apariție a descărcărilor electrice prin eliberarea hidrogenului și oxigenului (ca urmare a electrolizei apei), formându-se bule de gaz care se dezvoltă continuu până ajung suficient de mari, pentru ca în ele să se producă descărcări parțiale (PD) la tensiuni mai reduse decât în cazul materialului uscat.	5
B. Izolația lichidă	7
Uleiul are funcția de izolant și, de asemenea, funcția de a transfera căldura către bateria de răcire. În timpul exploatarei, uleiul de transformator îmbătrânește, pierzându-și, în raport de condițiile de lucru, calitățile dielectrice și unele proprietăți fizico-chimice.	9
Un factor care reduce calitățile uleiului în decursul exploatarei îl formează contactul dintre ulei și aerul din atmosferă (care conține oxigen și umiditate). După cum se știe, rezultatul oxidării uleiului electroizolant este formarea de acizi și de noroiuri (sludge). Noroiul produs se va depune pe cuva transformatorului, încetinind procesul de răcire. Noroiul acționează ca o barieră între ulei și sistemul de răcire, precum și între miez și înfășurări și sistemul de răcire. Uneori, noroiul poate bloca circulația uleiului din radiatoare. Ca rezultat, izolația transformatorului și înfășurările devin prea calde și pot apărea defecțiuni.	11
Caracteristicile electrice ale uleiului sunt influențate de conținutul de apă, care se poate găsi sub două forme în ulei: forma de apă liberă (emulsie sau suspensie) și forma de soluție (apa de compoziție) sau absorbită chimic, existând între cele două elemente legături electrostatice. S-a constatat că apa conținută sub formă de soluție nu are o influență sensibilă asupra rigidității dielectrice, în schimb, apa liberă conținută în ulei provoacă o scădere simțitoare a proprietăților dielectrice. Sub acțiunea câmpului electric, moleculele uleiului disociază, rezultând apoi produse insolubile în ulei. Produsele care sunt insolubile în ulei (gudroanele) nu modifică proprietățile esențiale ale acestuia. Ele se depun pe suprafețele înfășurărilor acestora și ale cuvelor, îngreunând procesul de răcire a transformatoarelor.	13
Cantitatea de umiditate care poate fi dizolvată în ulei crește rapid odată cu creșterea temperaturii uleiului. Uleiul absoarbe mai multă umiditate la temperatură ridicată. Oricum, dacă uleiul electroizolant este răcit, crește conținutul de apă liberă ceea ce provoacă, așa cum s-a amintit mai sus, o scădere simțitoare a proprietăților dielectrice.	15
Se cunosc metode de monitorizare și diagnosticare a izolației transformatoarelor electrice de putere.	17
Starea izolației transformatoarelor și conținutul de umiditate din izolația acestora pot afecta proprietățile electrice, mecanice și chimice ale izolației. Așa încât, metodele electrice, mecanice și chimice de diagnosticare pot fi folosite pentru analiza condiției izolației transformatoarelor.	19
Se cunosc metode chimice de diagnosticare, care pot fi:	21
1. Analiza cromatografică a gazelor dizolvate în ulei (DGA) - una dintre cele mai utilizate metode pentru monitorizarea condiției transformatoarelor, pentru că este nedistructivă și nu presupune retragerea din exploatare a echipamentului monitorizat.	23
2. Analiza gradului de polimerizare (DP) - care definește condiția izolației solide, fiind măsura medie a lungimii lanțurilor moleculare din celuloză. O valoare de 150 reprezintă o izolație degradată, iar o valoare de 1200 reprezintă o izolație foarte bună. Un dezavantaj al acestei metode îl reprezintă necesitatea folosirii eșantioanelor de hârtie din transformator.	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

RO 123448 B1

1 3. Analiza cromatografică a pătrunderii gelului (GPC) - ne conferă detalii despre dis-
2 distribuția greutatei moleculare a polimerului. Analiza cromatografică a pătrunderii gelului (GPC)
3 este o tehnică cromatografică care folosește un gel granulat foarte poros, neionic, pentru
4 separarea polimerilor polidispersați. Cu GPC se separă moleculele polimerilor pe baza volu-
5 mului lor hidrodinamic. Celuloza necesită anumiți solvenți. Datorită acestui lucru, pentru
6 măsurătorile GPC, materiale pe bază de celuloză trebuie derivate, pentru a spori solubilitatea
7 lor în acești solvenți. Și această metodă are dezavantajul că necesită prelevarea de probe
8 de hârtie din transformator. Distribuția greutatei moleculare a celulozei tricarbaniolate a fost
9 determinată folosind cromatograful Waters, echipat cu un detector de absorbantă cu lungime
10 de undă variabilă. Patru coloane cromatografice au fost utilizate, în serie, în cromatograf, cu
11 tetrahydrofuran (THF) ca eluent. Măsurătorile au fost efectuate utilizând absorbanta la
12 236 nm, iar profilul eluției a fost achiziționat cu un calculator. Profilurile eluției au fost trans-
13 formate în distribuții ale greutății moleculare, folosind etalonarea bazată pe limita stan-
14 dardelor distribuției greutății moleculare a polistirenei.

15 4. Analiza cromatografică a componentelor furanice din ulei (HPLC) - se utilizează
16 pentru a măsura concentrația componentelor furanice (5-hidroximetil 2-furfural, alcool
17 2-furfurilic, 2-furfural și 5-metil 2-furfural) din ulei. S-a găsit [2] experimental, că atunci când
18 concentrația de furfural este aproximativ 1,5 mg/l, pot apare defecte. O concentrație peste
19 1 mg/l, de exemplu, indică defect în izolația solidă și supraîncălzirea uleiului. Analiza cromatografică a componentelor furanice din ulei (HPLC) este o metodă esențială, care trebuie
20 inclusă în orice laborator de analize chimice ce deservește sectorul energetic.

21 Se cunoaște o metodă mecanică de diagnosticare, și anume măsurarea rezistenței
22 de rupere la tracțiune a hârtiei, care este o unealtă pentru determinarea rezistenței izolației
23 de hârtie folosită. Pe măsură ce îmbătrânește izolația, proprietățile mecanice se reduc, iar
24 rezistența la rupere este un parametru extrem de util în determinarea stării izolației.
25 Dezavantajul acestei metode constă în aceea că este nevoie de un eșantion din izolația de
26 hârtie.

27 Tot în scopul diagnosticării și monitorizării transformatoarelor electrice de putere, se
28 cunosc următoarele metode electrice:

- 29 1. Determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice;
- 30 2. Determinarea rigidității dielectrice la frecvența industrială și la impuls;
- 31 3. Detectarea și măsurarea descărcărilor parțiale (PD), care este o metodă extrem
32 de utilă pentru identificarea defectelor iminente din transformatoarele de putere. Descărcările
33 electrice parțiale (PD) sunt descărcările electrice locale și nedisruptive, care apar în cavitățile
34 (vacuolele) cu gaz din izolațiile solide, în zonele de contact ale izolațiilor cu părțile conduc-
35 toare și în bulele de gaz din lichidele electroizolante. Aceste descărcări se caracterizează
36 prin:
37 a) durată foarte mică a impulsurilor de descărcare (10^{-8} s);
38 b) în cazul câmpurilor neuniforme, dar al celor uniforme, traseul descărcărilor parțiale
39 (PD) nu este identic cu acela al liniilor de câmp electric care le produce;
- 40 c) descărcarea nu se produce în întreg volumul cavității, ceea ce explică denumirea
41 de descărcări parțiale;
- 42 d) sarcina transportată este foarte redusă (de ordinul pC-lor).

43 Cea mai generală clasificare a descărcărilor electrice, acceptată în prezent eviden-
44 țiază: descărcări interne (incluzând și descărcările în arborescențele interne ale dielectri-
45 cilor), descărcări superficiale și descărcări corona. Acțiunea descărcărilor poate fi carac-
46 terizată prin următoarele efecte:

- 47 a) ridicarea temperaturii gazului (prin ciocnirile purtătorilor de sarcină cu moleculele
48 gazului);

RO 123448 B1

b) erodarea pereților cavităților;	1
c) apariția unor radiații ultraviolete și radiații X (ca urmare a excitării atomilor și recombinării purtătorilor);	3
d) inițierea și/sau activarea unor reacții chimice de descompunere a macromoleculor izolațiilor etc.	5
Degradarea unui izolanț sub acțiunea descărcărilor parțiale (PD) cuprinde trei faze. În faza inițială se constată o eroziune lentă, apar smulgeri de particule din pereții vacuolelor și produse de descompunere a izolanțului, care determină o autostingere a descărcărilor. Faza a doua începe odată cu propagarea descărcărilor în interiorul izolanțului și formarea unor căi conductoare, în zona de solicitare maximă. În sfârșit, în cazul în care câmpul electric la extremitatea unei căi depășește rigiditatea dielectrică a izolanțului, se produce o străpungere locală care, în anumite condiții, poate conduce la o străpungere completă.	7
Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în determinarea stării izolației, plecând de la răspunsul dielectricului la aplicarea unei tensiuni.	9
Metoda pentru determinarea gradului de îmbătrânire și a gradului de umiditate a sistemelor de izolație ale echipamentelor electrice, în scopul evaluării stării izolației unui obiect supus încercării, urmează următoarele faze:	13
- descărcarea tensiunilor reziduale pe sistemul de izolație supus testării, prin scurtcircuitare, pentru aducerea sistemului de izolație la o stare neutră, de referință;	15
- alegerea schemei de măsură dorită, dintr-un comutator de lucru, în sensul alegerii măsurării curenților de absorbție/resorbție între înfășurări, funcție de modul de dispunere a înfășurărilor;	17
- aplicarea unei tensiuni continue, de la o sursă de înaltă tensiune, de 1000 V pentru echipamentele din exploatare și de 500 V pentru echipamentele noi;	19
- măsurarea curenților de absorbție/resorbție și transmiterea lor unui modul de achiziție date în vederea digitizării semnalelor analogice și transmiterii lor printr-o comunicație serială unui calculator în vederea prelucrării și procesării datelor;	21
- comutarea sistemului de izolație, de la sursa de tensiune, la o rezistență de descărcare, și măsurarea curenților de absorbție/resorbție, care își schimbă în acest moment sensul și transmiterea lor unui modul de achiziție în vederea digitizării semnalelor analogice și transmiterii lor printr-o comunicație serială unui calculator în vederea prelucrării și procesării datelor;	23
- achiziția de către modulul de achiziție a datelor referitoare la temperatură și umiditate, transmise de către niște senzori de temperatură a mediului și de umiditate relativă în aer și de temperatură a uleiului în vederea digitizării semnalelor analogice și transmiterii lor printr-o comunicație serială unui calculator în vederea prelucrării și procesării datelor;	25
- procesarea datelor, în domeniul timp și în domeniul frecvență, printr-un program de calculator, obținându-se conținutul de umiditate în sistemul de izolație (ulei-hârtie), indicele de polarizare și coeficientul de absorbție, conductivitățile sistemului de izolație la 20 și 25°C, componentele capacității sistemului de izolație, tangenta unghiului de pierderi dielectrice, spectrul de polarizare, gradul de îmbătrânire a sistemului de izolație, pe baza datelor transmise la calculatorul de către modulul de achiziție și a unui algoritm implementat în programul de calculator.	27
Aparatul pentru determinarea stării izolației, care pune în aplicare metoda de la revendicarea 1, este alcătuit dintr-un bloc de alimentare constituit din mai multe surse individuale de diferite tensiuni interne, necesare funcționării diferitelor module, dintr-un comutator cu acționare manuală, care are funcția de a selecta modul de lucru în sensul alegerii măsurării curenților de absorbție/resorbție între înfășurări, în funcție de modul de dispunere	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

RO 123448 B1

1 a înfășurărilor, dintr-un bloc de comutare care asigură comutarea unor elemente de măsură,
dintr-o sursă de înaltă tensiune care generează tensiunea de test de 500, 1000 V, dintr-un
3 modul de achiziție date care efectuează digitizarea semnalelor analogice și transmiterea lor
serială la un calculator, care, prin algoritmul implementat, asigură obținerea conținutului de
5 umiditate în sistemul de izolație (ulei-hârtie), indicelui de polarizare și coeficientului de
absorbție, conductivităților sistemului de izolație la 20 și 25°C, componentelor capacității sis-
7 temului de izolație, tangentei unghiului de pierderi dielectrice, spectrului de polarizare și gra-
dului de îmbătrânire a sistemului de izolație.

9 Prin aplicarea invenției, se obțin următoarele avantaje:
- se pot efectua măsurători în condiții meteo nefavorabile (cer senin - umiditate ridi-
11 cată, ploaie) fără să fie influențate rezultatele obținute;
- se realizează controlul asupra evoluției stării echipamentelor;
13 - măsurătorile asupra sistemelor cu izolație hârtie-ulei, în ceea ce privește cantitatea
de umiditate și îmbătrânirea sunt nedistructive;
15 - aparatul de măsură este portabil;
- prin determinarea proprietăților izolației echipamentelor de înaltă tensiune, noi sau
17 vechi, se poate lua decizia reparării sau a scoaterii din funcțiune a acestora.
- determinarea stării de umiditate din sistemul de izolație al echipamentelor electrice;
19 - se aplică o tensiune redusă, în cc, nepericuloasă, la bornele echipamentului electric.
Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig. 1...38, care
21 reprezintă:
- fig. 1, diagrama de polarizare/depolarizare a unui dielectric expus unui puls de
23 tensiune;
- fig. 2, diagrama de calcul a transformatei Fourier;
25 - fig. 3, diagrama de măsurare a curentului de absorbție/resorbție (relaxare);
- fig. 4, schema de măsurare a curentului de absorbție/resorbție (relaxare);
27 - fig. 5, reprezentare grafică a modelului fizic al transformatorului
- fig. 6, schema electrică a modelului electric al dielectricului transformatorului;
29 - fig. 7, diagrama curentului de absorbție T1;
- fig. 8, diagrama curentului de resorbție T1;
31 - fig. 9, diagrama curentului absorbție T2;
- fig. 10, diagrama curentului de resorbție T2;
33 - fig. 11, diagrama curentului de absorbție T3;
- fig. 12, diagrama curentului de resorbție T3;
35 - fig. 13, diagrama curentului absorbție T4;
- fig. 14, diagrama curentului resorbție T4;
37 - fig. 15, diagrama variației capacității cu frecvență pentru T2;
- fig. 16, diagrama variației tangentei de delta cu frecvența pentru T2;
39 - fig. 17a, b, schema electrică de principiu și, respectiv, detaliată, a aparatului pentru
determinarea stării izolației, precum și a conținutului de umiditate a echipamentelor electrice;
41 - fig. 18, vedere din față a panoului aparatului conform invenției.
- fig. 19, a, b, c, d, schemele și diagramele de măsură a curenților de absorbție,
43 respectiv, resorbție;
- fig. 20, vedere meniul principal de pe aparatul conform invenției;
45 - fig. 21, vedere meniul de măsură fără înregistrare de pe aparatul conform invenției;
- fig. 22, vedere meniul de măsură cu înregistrare de pe aparatul conform invenției;
47 - fig. 23, diagrama de achiziție a curenților de absorbție - resorbție care apare pe
aparatul conform invenției;

RO 123448 B1

- fig. 24, 25, schemele logice ale aplicației de prelucrare a datelor;	1
- fig. 26, vedere meniu de introducere date (capacitatea electrică și constanta izolației);	3
- fig. 27 a, b, vedere aspect interfață grafică de afișare a curenților;	
- fig. 28, vedere aspect interfață grafică de prelucrare a datelor;	5
- fig.29, schema de principiu a aparatului conform invenției;	
- fig. 30 a, b, c, vedere moduri de lucru;	7
- fig. 31, schemă electrometru;	
- fig. 32, schema sursei de înaltă tensiune și a voltmetrului liniar (OP07CP);	9
- fig. 33, 5B40 și 5B41- schema bloc funcțională;	
- fig. 34, schema bloc de funcționare a modulului de achiziție a USB-6009;	11
- fig. 35, carcasa - vedere din față;	
- fig. 36, carcasa - vedere din lateral;	13
- fig. 37, carcasa - vedere din spate;	
- fig. 38, carcasa - elemente de prindere.	15
Pentru o mai bună determinare a stării izolației unui echipament, în cele ce urmează, prezentăm măsurarea curenților de relaxare (absorbție/resorbție). Cu rezultatele obținute, putem determina gradul de îmbătrânire a izolației, conținutul de umiditate, reușind o evaluare completă a stării izolației.	17
Metoda pentru determinarea stării izolației, precum și a conținutului de umiditate a echipamentelor electrice se bazează pe utilizarea metodei răspunsului dielectric. În cadrul măsurării răspunsului dielectric, este măsurat curentul de relaxare al izolației după aplicarea unui puls de joasă frecvență sau în curent continuu. Metodele din această familie sunt orientate spre determinarea conținutului de umiditate din izolație. Și nu numai atât, mergând și spre determinarea stării izolației sau mai corect, spre determinarea stadiului îmbătrânirii izolației. Măsurătorile pot fi făcute atât în domeniul timp, cât și în domeniul frecvență, și constă în:	19
- Măsurarea curenților de absorbție/resorbție (CABS) - prin care se aplică o tensiune continuă pe partea de înaltă tensiune, măsurându-se curentul pe partea de joasă tensiune. Fiind metoda pe care am utilizat-o pentru determinarea conținutului de umiditate din izolația de hârtie, precum și determinarea stării izolației echipamentului studiat, o studiem mai târziu, având de prezentat și rezultatele obținute.	21
- Măsurarea tensiunii de resorbție (RVM) - prin care se determină spectrul de polarizare pentru încărcarea în c. c. și descărcarea izolației. Ca rezultat al evaluării stării izolației, se obțin două aspecte: unul privitor la calitatea izolației și altul ce estimează conținutul relativ de apă. Principiul măsurătorii este simplu, aplicând o tensiune continuă echipamentului de încercat, pentru o anumită perioadă de timp, apoi se descarcă circuitul pentru o perioadă egală cu jumătatea timpului de încărcare, după care se măsoară tensiunea la bornele circuitului deschis.	23
- Spectroscopia în domeniul frecvență (FDS) - în cadrul căreia este aplicat un semnal sinusoidal pe partea de înaltă tensiune și se măsoară un curent pe partea de joasă tensiune, cuva legându-se la masă. Este folosită o frecvență de la 0,0001 Hz până la 1 Hz (sau chiar mai mult, până la 1000 Hz), iar tensiunea până la 220 V.	25
Din literatură se cunoaște că dielectricii sunt materialele care se polarizează electric prin efecte ale câmpurilor electrice, stabilite din exterior, prin efecte mecanice (piezoelectricitatea) sau termice (piroelectricitatea). După cum moleculele lor sunt polare (adică au moment electric permanent) sau nepolare, dielectricii sunt polari sau nepolari.	27

RO 123448 B1

1 Când un dielectric este situat într-un câmp electric E , se polarizează. Polarizația
2 poate fi temporară sau permanentă, după cum depinde sau nu de câmpul electric. Legea
3 polarizației electrice temporare dă legătura dintre polarizația temporară P_t și E :

$$P_t = \epsilon_0 \chi_e E \quad (1)$$

5 în care ϵ_0 este permitivitatea materialului, χ_e este susceptivitatea electrică a materialului, și
6 este o mărime de material adimensională, scalară, în cazul corpurilor izotrope și tensor de
7 ordinul II pentru cele anizotrope. Combinând legea polarizației electrice temporare cu legea
8 legăturii în câmpul electric:

$$D = \epsilon_0 E + P_t + P_p \quad (2)$$

în care este D inducția electrică, iar P_p este polarizația temporară, rezultă:

$$D = \epsilon E + P_p \quad (3)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r, \quad \epsilon_r = 1 + \chi_e$$

13 în care ϵ este permitivitatea absolută a materialului, iar ϵ_r este permitivitatea relativă.

14 Materialele polare au permitivitatea relativă ϵ_r mai mare decât cele nepolare, iar
15 lichidele polare au permitivitatea relativă ϵ_r mai mare decât solidele polare.

16 Polarizația electrică în dielectrici poate fi produsă prin diferite mecanisme, putând
17 deosebi următoarele clase fundamentale de polarizație electrică:

18 - Polarizație electronică care se datorește deformării învelișului electronic al atomilor
19 (ionilor), sub acțiunea forței pe care o exercită asupra lor câmpurile electrice exterioare
20 (active). Apare astfel o deplasare relativă, unul față de celălalt, a nucleului și a electronului,
21 rezultând un moment electric:

$$p = \alpha_e E \quad (4)$$

23 unde α_e este polarizabilitatea de tip electronic.

24 - Polarizație ionică care este polarizație electrică de deformare, ca și cea electronică.
25 Corpurile polarizate ionic prezintă și polarizație electronică, totuși polarizația ionică este
26 adesea dominantă.

27 - Polarizația de orientare se realizează în corpurile care au molecule polare (cu
28 moment electric permanent), prin rotirea acestuia în câmpul electric exterior.

29 - Polarizația de neomogenitate este o polarizație electrică echivalentă, definită în
30 corpurile neomogene ale căror suprafețe de separare a părților lor omogene se încarcă
31 electric la stabilirea unui câmp electric exterior.

32 Nu toate materialele dielectrice prezintă toate mecanismele de polarizare enumerate.
33 Diferitele mecanisme sunt caracterizate de constante de timp specifice, care pot diferi. De
34 asemenea, depind diferit de temperatură.

35 Mai sunt și alte tipuri de materiale dielectrice, cum sunt, de exemplu, electreții care
36 prezintă polarizare permanentă ca urmare a unui tratament de natură neelectrică. Un alt grup
37 de materiale dielectrice îl reprezintă cele feroelectrice, care sunt puternic neliniare, depen-
38 dența inducției electrice în funcție de intensitatea câmpului electric fiind asemănătoare
39 dependenței inducției magnetice - intensitatea câmpului magnetic.

Răspunsul dielectricului are următoarele faze:

41 A. Răspunsul dielectricului în domeniul timp

42 Presupunem că materialul dielectric este liniar, omogen, izotrop și nemagnetic. Când
43 un dielectric se află într-un câmp E , se polarizează, așa cum am amintit mai sus, iar expresia
44 inducției electrice este:

$$D = \epsilon_0 E(t) + P(t) \quad (5)$$

46 în multe cazuri, polarizația este proporțională cu intensitatea câmpului electric. Aceasta este
47 așa numita polarizație liniară.

Dacă aplicăm un câmp electric la momentul $t=0$, polarizația arată ca în fig. 1, putând fi divizată în două părți - o parte reprezentând un proces rapid de polarizare și a doua parte reprezentând un proces lent de polarizare. Partea rapidă urmărește câmpul electric aplicat, în timp ce partea lentă este construită dintr-o integrală de convoluție dintre câmpul electric aplicat și o funcție numită funcția de răspuns în timp a dielectricului. Funcția de răspuns reprezintă întârzierea sau efectul de memorie, caracteristic dielectricilor, reprezentând baza pentru toate metodele folosite pentru determinarea răspunsului dielectricului. Polarizația electrică poate fi scrisă astfel:

$$P(t) = \varepsilon_0 \chi_e E(t) + \Delta P(t) = \underbrace{\varepsilon_0 \chi_e E(t)}_{\text{polarizare rapidă}} + \underbrace{\varepsilon_0 \int_0^t f(\tau) E(t - \tau) d\tau}_{\text{polarizare lentă}} (C / m^2) \quad (6)$$

Densitatea de curent totală $J(t)$ printr-un material dielectric într-un câmp electric $E(t)$ poate avea următoarea expresie:

$$J(t) = \underbrace{\frac{\sigma E(t)}{\text{curent indus}}}_{\text{curent total de polarizare}} + \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \underbrace{\left(1 + \chi_e\right) E(t)}_{=\varepsilon^\infty} + \int_0^t f(\tau) E(t - \tau) d\tau \right\} (A / m^2) \quad (7)$$

Se poate vedea din ecuația (7) că atât conductivitatea σ , cât și componenta de înaltă frecvență a permitivității relative ε^∞ , precum și funcția de răspuns $f(t)$ vor caracteriza comportarea materialului dielectric. Aceasta ne oferă în domeniul timp posibilitatea aplicării unui câmp electric, măsurarea unei densități de curent și apoi determinarea parametrilor care caracterizează materialul.

B. Răspunsul dielectricului în domeniul frecvență

Pentru prelucrarea datelor în domeniul frecvență, se folosește calculul transformatei Fourier a funcției de răspuns, care se realizează conform fig. 2, aducând funcția de răspuns $f(t)$ într-o funcție continuă.

$$f(t) = \frac{i_{res}}{C_g U}$$

Cu ajutorul transformatei Fourier, se obțin susceptibilități electrice complexe $\chi(\omega)$, rezultând astfel permitivitatea complexă a sistemului de izolație (SI).

Presupunem, din nou, că materialul dielectric este liniar, omogen, izotrop și nemagnetic.

În domeniul frecvență, ecuația (6) se poate scrie:

$$\hat{P}(t) = \varepsilon_0 \chi_e \hat{E}(t) + \Delta \hat{P}(t) = \varepsilon_0 \chi_e \hat{E}(t) + \varepsilon_0 \hat{f}(\omega) \hat{E}(t) (C / m^2) \quad (8)$$

Convoluția integrală ce descrie procesul de polarizare lentă în domeniul timp va deveni, în domeniul frecvență, un produs. Această importantă simplificare poate ușura calculele, efectuându-se mult mai rapid. Acum susceptivitatea, dependentă de frecvență, este definită astfel:

$$\hat{\chi}(\omega) = \chi'(\omega) - i\chi''(\omega) = \int_0^\infty f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (9)$$

RO 123448 B1

1 Părțile imaginare și reale ale susceptibilității electrice complexe $\chi(\omega)$ pot fi definite în felul
următor:

$$3 \quad \chi'(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(\omega t) dt$$

$$5 \quad \chi''(\omega) = \int_0^{\infty} f(t) \sin(\omega t) dt \quad (10)$$

7 Densitatea totală de curent $J(\omega)$ într-un material dielectric supus unui câmp electric
 $E(\omega)$ poate fi exprimată astfel:

$$9 \quad \hat{J}(\omega) = \sigma \hat{E}(\omega) + \varepsilon_0 i \omega E(\omega) + i \omega (\varepsilon_0 \chi_e \hat{E}(\omega) + \varepsilon_0 (\chi'(\omega) - i \chi''(\omega)) \hat{E}(\omega)) =$$

$$11$$

$$13 \quad = i \omega \varepsilon_0 \left\{ \underbrace{1 + \chi_e + \chi'(\omega)}_{\substack{=\varepsilon_{\infty} \\ \text{parte capacitiva}}} - i \left\{ \underbrace{\frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega}}_{\substack{\text{pierderi de conductie} \\ \text{pierderi dielectrice}}} + \chi''(\omega) \right\} \right\} \hat{E}(\omega) \quad (11)$$

$$15$$

$$17$$

$$19$$

21 Din această expresie, se poate vedea că este o parte care este în faza cu $J(\omega)$ și o
parte care este defazată cu 90° înaintea câmpului electric $E(\omega)$. Partea care este în fază cu
intensitatea câmpului este asociată pierderilor de energie în dielectric. Sunt două tipuri de
23 pierderi în dielectric. Primul tip se datorează conductivității (descărcări libere) în material,
crescând pierderile ohmice. Al doilea tip se datorează polarizării electrice în material,
25 crescând pierderile în dielectric. Pierderile în dielectric apar datorită inerției limitelor sarcinilor
când sunt accelerate în câmpul electric. Partea care este defazată cu 90° înaintea câmpului
27 electric este asociată cu capacitatea materialului. În multe situații, este mult mai convenabil
să vorbim despre permitivitate relativă complexă, care este definită astfel:

$$29$$

$$31 \quad \hat{J}(\omega) = i \omega \varepsilon_0 (\varepsilon'(\omega) - i \varepsilon''(\omega)) \hat{E}(\omega) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon'(\omega) = \overbrace{1 + \chi_e}^{=\varepsilon_{\infty}} + \chi'(\omega) \\ \varepsilon''(\omega) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} + \chi''(\omega) \end{array} \right\} \quad (12)$$

$$33$$

35 Se poate observa din ecuația (12) că atât conductivitatea σ , cât și componenta de
înaltă frecvență a permitivității relative ε_{∞} , precum și susceptivitatea $\chi(\omega)$ vor caracteriza
37 comportarea materialului dielectric în domeniul frecvență. Această ecuație ne arată că, așa
cum este posibil în domeniul timp, se pot efectua măsurători în domeniul frecvență care pot
39 caracteriza materialul. Sub prezumția că materialul este liniar, omogen și izotrop, informațiile
obținute în domeniul timp și în domeniul frecvență sunt identice. Informațiile obținute într-unul
41 dintre domenii pot fi transferate dintr-un domeniu în altul.

Având valorile susceptantelor, se determină capacitatea complexă:

$$43 \quad C(\omega) = C'(\omega) - i C''(\omega) = C_0 \cdot (\varepsilon' - i \varepsilon'')$$

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice se poate scrie:

$$45 \quad \operatorname{tg} \delta(\omega) = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)}$$

$$47$$

RO 123448 B1

Prin prelucrarea datelor în domeniul frecvență, se obține calculul permitivităților. Considerând permitivitatea complexă a uleiului:

$$\hat{\varepsilon}_u = 2.2 - \frac{i\sigma(T)}{\varepsilon_0\omega}$$

se determină permitivitatea complexă a izolației solide (componenta reală și imaginară):

$$\varepsilon'_{h}, \varepsilon''_{h}$$

Se obțin următoarele rezultate:

- determinarea conținutului de apă din ulei și hârtie, având dependentele:

$$w_u = f(\varepsilon''_u) ; w_h = f(\varepsilon'_{h}, \varepsilon''_{h})$$

Valoarea afișată va fi maximul dintre valorile conținuturilor de umiditate, obținute în domeniul timp și domeniul frecvență.

Se mai determină:

- componentele reală și imaginară ale capacității sistemului de izolație (SI);

- tangenta unghiului de pierderi dielectrice, a sistemului de izolație (SI).

Metoda curenților de absorbție/resorbție (CABS) este o metodă, în domeniul timp, pentru investigarea procesului lent de polarizare, definit mai sus, în materialele dielectrice.

Presupunând ca obiectul supus încercării este descărcat de sarcină, i se aplică un puls

$$U(t) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ U_c & t_0 \leq t \leq t_c \\ 0 & t > t_c \end{cases} \quad (13)$$

Pentru $t_0 \leq t \leq t_c$, apare așa numitul curent de absorbție, care are trei componente. Una este datorată conductivității obiectului supus testării, a doua parte nu se poate înregistra în practică, datorită variației amplitudinii curentului, iar a treia parte apare datorită declanșării diferitelor procese de polarizare ce apar. Curentul de absorbție se poate exprima astfel:

$$i_{abs}(t) = \left(\frac{\sigma}{\varepsilon_0} + \varepsilon_0 \delta(t) + f(t) \right) C_0 U_c \quad \text{pentru } t_0 \leq t \leq t_c \quad (14)$$

unde C_0 este capacitatea geometrică a obiectului supus testului, iar $\delta(t)$ este funcția impuls ce are originea la $t = t_0$. Imediat după polarizare, curentul de resorbție (descărcare) se poate măsura, deconectând sursa și scurtcircuitând obiectul supus încercării (conform fig. 3 și 4). În acord cu principiul suprapunerii și neglijând termenul al doilea din ecuația (14), vom avea pentru $t \geq (t_0 + T_c)$:

$$i_{res} = -C_0 U_c [f(t) - f(t + T_c)] \quad (15)$$

Acest curent este de polaritate opusă. Al doilea termen din ecuația (15) poate fi neglijat, dacă T_c este mare. Astfel, curentul de resorbție devine direct proporțional cu funcția de răspuns $f(t)$.

În practică, curenții de absorbție/resorbție sunt măsurați prin tehnica schițată în fig. 4.

Pentru explicarea metodei, vom folosi modelul fizic al transformatorului dat în fig. 5.

Se va considera cazul cel mai general al unui astfel de sistem, compus din patru straturi de ulei și trei cilindri (dreptunghiurile colorate). Notățiile vor fi cele din fig. 5 și putem scrie, pentru tensiunea aplicată U :

$$U = U_{u1} + U_{c1} + U_{u2} + U_{c2} + U_{u3} + U_{c3} + U_{u4}$$

unde U_u și U_c reprezintă tensiunea ce revine cilindrilor, respectiv, canalului de ulei.

RO 123448 B1

1 Capacitățile fiind legate în serie, se poate scrie

$$U_{u1}\omega C_{u1} = U_{c1}\omega C_{c1} = U_{u2}\omega C_{u2} = U_{c2}\omega C_{c2} = U_{u3}\omega C_{u3} = U_{c3}\omega C_{c3} = U_{u4}\omega C_{u4}$$

3 Din relațiile de mai sus rezultă valorile tensiunilor pentru fiecare element de izolație.
Odată calculate valorile tensiunilor pe fiecare element, vom putea determina parametrii
5 circuitului de polarizare, după ce determinăm rezistența și capacitatea geometrică.

Se prezintă în continuare modelului electric al dielectricului transformatorului (conform
7 fig. 6). Conform teoriei dielectricilor liniari, modelul din fig. 6 poate fi descris, din punct de
vedere electric, prin răspunsul $f(t)$ în domeniul timp, sau de caracteristica de polarizare și
9 conductivitatea în domeniul frecvență, C_0 și R reprezentând capacitatea geometrică și rezis-
tența dielectricului, iar R_{pi} , C_{pi} componentele corespunzătoare proceselor de polarizare.

11 Se dă în continuare calculul parametrilor de circuit pentru modelarea conducției și
polarizației la aplicarea unei tensiuni în sistemul de izolație (SI).

13 În funcție de datele geometrice ale unității de transformare (razele cilindrilor izolanti,
distanțieri, înălțime cilindrii izolanti etc.), se determină capacitățile geometrice, după cum
15 urmează:

$$17 C_{gu} = \frac{\epsilon_u \cdot l}{\ln \frac{R_1}{R_0}} \cdot 0.555 \cdot 10^{-6} [\mu F]$$

$$19 C_{gc} = \frac{\epsilon_c \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_0}} \cdot 0.555 \cdot 10^{-6} [\mu F]$$

23 unde l este înălțimea cilindrii, în cm, ϵ (cu indice u-ului și c-cilindru) este permitivitatea
25 relativă. Valorile conductivităților se calculează astfel:

$$= 8.856e-12 \cdot \epsilon_u \cdot ia(\text{initial}) / (V \cdot er)$$

$$27 = (8.856e-12 \cdot x \cdot ia(\text{final})) / V$$

$$er = (eh \cdot \epsilon_u) / [(e_u \cdot x) + (l-x) \cdot eh], V = U \cdot C_g$$

29 unde $ia(\text{final})$ și $ia(\text{inițial})$ reprezintă valorile finale, respectiv, inițiale, ale curentului de absorp-
ție, x este constanta geometrică, U tensiunea aplicată și C_g este capacitatea geometrică.

31 Se dă în continuare calculul parametrilor de circuit pentru modelarea conducției și
polarizației la aplicarea unei tensiuni în sistemul de izolare (SI).

33 Din valorile conductivităților, se determină valorile rezistențelor geometrice aferente
fiecărei componente:

$$35 R_g = \frac{\ln \frac{R_1}{R_0}}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_u \cdot l} \qquad R_g = \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_c \cdot l}$$

39 Știind dimensiunile geometrice, precum și valorile rezistențelor și capacităților,
putem determina constantele de timp:

$$41 T_u = \frac{\epsilon_0 \epsilon_u}{\sigma_u (T)} \qquad ; \qquad T_c = \frac{\epsilon_0 \epsilon_c}{\sigma_c (T)}$$

43 În urma aplicării metodei conform invenției, se obțin următoarele rezultate:

45 Având valorile constantelor de timp, se poate estima conținutul de umiditate din izola-
ția solidă și lichidă, în anumite zone ale sistemului principal de izolație, având dependența
47 constantelor de timp de conținutul de umiditate:

$$w_u = f(T_u) ; w_h = f(T_h)$$

RO 123448 B1

Determinăm gradul de îmbătrânire din valoarea către care tinde integrala funcției de răspuns $f(t)$ în timp, în raport cu valoarea către care tinde integrala funcției de răspuns a hârtiei îmbătrânite.	1
Se mai determină:	3
$f(t) = \frac{i_{res}}{C_g U}$	5
1. Cabs, Ip;	7
2. Conductivitățile uleiului și ale hârtiei la 20 și 25°C.	
Utilizarea metodei CABS presupune parcurgerea următoarelor etape:	9
1. Realizarea conexiunilor la echipamentul ce trebuie măsurat (dezlegarea cordoanelor/barelor, legarea bornelor în scurtcircuit etc.).	11
2. Conectarea echipamentului ID - 1000 la echipament.	
Schemele de măsură sunt la latitudinea utilizatorului, în sensul că se pot face măsurători în schemele de conexiuni dorite (de regulă cele solicitate de prescripțiile energetice în vigoare - PE 119, de exemplu). Este recomandat să se efectueze măsurători pentru schemele de conexiuni în care se măsoară curenții de absorbție/resorbție între înfășurări (de exemplu: primar - secundar, secundar -terțiar, depinzând de modul de dispunere a înfășurărilor).	13
Pentru a nu se produce transformări importante (degradări chimice notabile) care să modifice concentrația de dipoli electrici sau mărimea sarcinii spațiale, nivelul tensiunii aplicate se recomandă să fie de 1000 V pentru echipamentele din exploatare și 500 V pentru echipamentele noi.	15
3. Achiziția curenților de absorbție - resorbție, a temperaturii uleiului (în cazul echipamentelor electrice în ulei) și a datelor referitoare la temperatură și umiditate.	17
4. Prelucrarea rezultatelor.	19
Datele obținute cu ajutorul softului de achiziție sunt prelucrate apoi cu alt soft dedicat, obținându-se:	21
1. Procesarea datelor (în domeniul timp și în domeniul frecvență).	23
2. Achiziția datelor referitoare la temperatura uleiului și corectarea valorilor curenților de absorbție/resorbție cu variația temperaturii. Valorile corectate se afișează și se stochează.	25
3. Achiziția datelor referitoare la temperatura și umiditatea atmosferică (afișare și stocare).	27
4. Rezultate obținute:	29
4.1. conținut de umiditate în sistemul de izolație (SI) ulei - hârtie;	
4.2. indicele de polarizare și coeficientul de absorbție a SI;	35
4.3. conductivitățile uleiului și ale hârtiei la 20 și 25°C;	
4.4. componentele reală și imaginară ale capacității complexe a SI;	37
4.5. tangenta unghiului de pierderi dielectrice a SI;	
4.6. tensiunea de revenire (RV);	39
4.7. gradul de îmbătrânire a SI.	
Superioritatea metodei CABS față de alte metode similare se manifestă prin următoarele:	41
1. achiziția temperaturii uleiului și efectuarea corecțiilor cu temperatura, în cazul prelucrării datelor, a curenților de absorbție - resorbție mășurați;	43
2. achiziția temperaturii și umidității mediului;	45
3. determinarea gradului de umiditate și îmbătrânire a sistemelor de izolație, pe baza rezultatelor obținute în laborator și on-site;	47

RO 123448 B1

1 Interfața grafică de achiziție

2 În scopul realizării unei măsurători cât mai corecte și mai exacte, am dezvoltat un
3 software de achiziție, care execută automat pașii care trebuie urmați după realizarea mon-
4 tajului, și anume (fig. 19): aplicarea unei tensiuni continue (U_c) pe obiectul de încercat și
5 măsurarea/înregistrarea curentului absorbit (i_{abs}) pe durata unei perioade (T_c), iar în faza a
6 doua, în scurtcircuitarea bornelor și măsurarea/înregistrarea curentului de resorbție (i_{res}) pe
7 o perioadă egală cu T_c .

8 Se lansează aplicația software "ID SITP" (se va auzi un ușor sunet la punerea sub
9 tensiune a releelor din interiorul aparatului) și apare meniul principal, ca în fig. 20.

10 Meniul principal al aplicației permite alegerea modului de măsură (cu sau fără
11 înregistrarea datelor pe hard disk). În cazul în care se alege opțiunea "Măsura" (fără înregis-
12 trare) se trece la următorul panou (fig. 21). Din meniul de mai sus, se poate configura:

13 - Temporizare: modul în care se face trecerea de la absorbție la resorbție (manuală
14 - utilizatorul comută din soft de la absorbție la resorbție; automată - se alege timpul în care se
15 măsoară curentul de absorbție și/sau resorbție, restul operațiilor de comutare se fac
16 automat).

17 - Achiziție Rapidă: numărul de secunde de la începutul absorbției și resorbției în care
18 datele sunt achiziționate cu frecvența mare de eșantionare; se recomandă alegerea valorii
19 de 10 s, pentru ca fișierele salvate să aibă o mărime rezonabilă.

20 - Sursa înaltă Tensiune: Valoarea tensiunii aplicate.

21 - Sondă Temperatură: Se poate alege între sonda (PT100) sau semnal unificat
(4-20 mA).

22 Alte butoane:

23 - "Start" - Pornește măsurătoarea.

24 - "<" - Se întoarce în meniul principal.

25 - "Mod Curent - Liniar" și "Calibrare" nu sunt accesibile utilizatorului.

26 În cazul în care din meniul principal se alege opțiunea "Măsura și înregistrare", se
27 trece la următorul panou (fig. 22). Diferența față de modul "Măsura" este faptul că dă posi-
28 bilitatea utilizatorului să salveze datele achiziționate pentru procesarea ulterioară. În plus față
29 de modul "Măsura", se poate opta între modul de generare automată a numelor fișierelor de
30 absorbție și resorbție (în acest caz, trebuie indicat un folder în controlul "Folder date") sau se
31 pot indica "manual" cele 2 fișiere în care se vor salva datele măsurate.

32 De asemenea, se observă un buton suplimentar ("Informații Suplimentare"), care per-
33 mite utilizatorului să introducă în headerul fișierelor date referitoare la tipul măsurătorii, modul
34 de realizare a măsurătorii etc.

35 După alegerea configurației dorite de măsură, se apasă butonul "Start" și începe
36 măsurătoarea. În fig. 24 se observă panoul frontal al ferestrei de monitorizare în timp real.
37 În grafic se regăsește curentul măsurat, iar în indicatoarele din dreapta lui, se observă valo-
38 rile instantanee măsurate (curentul, temperatura echipamentului de măsurat, temperatura
39 mediului și umiditatea relativă). Sub grafic, sunt 2 indicatoare ale timpului scurs de la începu-
40 tul măsurătorii și timpul rămas (în modul de temporizare automat, în modul manual se
41 afișează doar timpul scurs de la începutul polarizării și depolarizării).

42 La sfârșitul măsurătorilor, se apară butonul "Exit", pentru a închide aplicația. Butonul
43 "Opțiuni" ne întoarce în meniul principal (măsura/ măsură și înregistrare), în timp ce butonul
44 "Restart" repornește monitorizarea cu setările existente.

45 În fig. 25 este prezentată schema logică aferentă achiziției. Datele sunt achiziționate
46 cu o perioadă de eșantionare de 40000 eșantioane/s și apoi sunt stocate în baza de date.

RO 123448 B1

Măsurătoarea curentului de absorbție se consideră finalizată când se stabilizează valoarea curentului măsurat la o anumită valoare (curentul de conducție). Din acel moment, se începe măsurarea curentului de resorbție, o perioadă egală cu cea aferentă curentului de absorbție. La sfârșitul măsurătorilor curenților, se poate vizualiza spectrul de polarizare (tensiunea de resorbție în funcție de timp). Datele obținute cu ajutorul softului de achiziție sunt prelucrate apoi cu alt soft dedicat. Analiza rezultatelor este realizată de specialist.	1
Interpretarea rezultatelor. Interfața grafică de afișare și tipărire a datelor înregistrate (fig. 25).	3
Pe lângă datele stocate în baza de date, sunt introduse și date de proiectare ale transformatoarelor electrice de putere (fig. 26). Apoi valorile curenților sunt prelucrate în domeniul timp și domeniul frecvență.	5
Funcțiunile butoanelor din cadrul interfeței grafice din fig. 27 : "Date salvate" - Grafic ce conține cele două fișiere încărcate. "Fișier Absorbție" - Deschiderea fișierului cu înregistrarea procesului de absorbție. "Fișier Resorbție" - Deschiderea fișierului cu înregistrarea procesului de resorbție.	7
"Setări" - Deschide caseta cu parametrii specifici obiectului măsurătorii, preluați din fișierul de date.	9
"Afișare" - Selector pentru tipul de curbă afișat.	11
"Analiză" - Deschide fereastra în care sunt afișate rezultatele analizei.	13
"Găsește cursoare" - Aduce cursoarele în zona vizibilă, permițând re poziționarea lor folosind mouse-ul.	15
"Selecție coloane" - Selecția coloanelor care vor fac parte din fișierul text de date exportate. Datele salvate reprezintă o selecție a datelor încărcate, cuprinzând datele corespunzătoare duratei de timp afișate a înregistrării (porțiunea dintre capetele de scală X), și corespunzătoare coloanelor selectate.	17
Fișierele astfel obținute sunt destinate exportului, pentru a fi citite cu alte aplicații software.	19
"Tot domeniul axei X" - Selectează pentru salvare toată durata datelor.	21
"Salvează fișier TXT" - Salvează datele selectate (durata selectată și coloanele selectate) într-un fișier text.	23
Prelucrarea rezultatelor (fig. 28)	25
Prelucrarea în domeniul timp a curenților ne furnizează următoarele:	27
1. curenții de absorbție - resorbție, raportați la temperatura de 20°C;	29
2. factorul de conductivitate k_c ;	31
3. conținut de umiditate în sistemul de izolație (SI) ulei - hârtie;	33
4. indicele de polarizare și coeficientul de absorbție a SI;	35
5. conductivitățile uleiului și ale hârtiei la 20 și 25°C;	37
6. tensiunea de revenire (RV);	39
7. gradul de îmbătrânire a SI.	41
Prelucrarea în domeniul frecvență a curenților ne furnizează următoarele:	43
1. componentele reală și imaginară ale capacității complexe a SI;	45
2. tangenta unghiului de pierderi dielectrice a SI;	47
3. conținut de umiditate în sistemul de izolație (SI) ulei - hârtie	49
Toate rezultatele obținute se vor salva într-un fișier text, corespunzător fiecărei măsurători.	51
Rezultate obținute în urma testării mai multor transformatoare:	53
1. Măsurători efectuate	55
Măsurătorile efectuate și analiza acestora sunt prezentate pentru transformatoarele din tabelul 1.	57

Transformatoarele studiate

Transformator	Putere [MVA]	Raport transformare [kV/kV]	Grupa de conexiuni	Anul fabricației	Concluzie urmărire evoluție în timp
T1	25	110/6	Y ₀ d-11	1969	Scăderea rezistenței de izolație
T2	40	110/6	Y ₀ d-11	1979	Scăderea rezistenței de izolație
T3	25	110/20	Y ₀ d-11	1983	Scăderea rezistenței de izolație
T4	25	110/20	Y ₀ d-11	1983	Scăderea rezistenței de izolație

Curenții de absorbție/resorbție pentru transformatoarele din tabel sunt prezentați în fig. 7...14. Măsurătorile au fost efectuate în aceleași condiții meteo (cer senin, umiditate redusă, temperatura transformatoarelor în jur de 25°C, iar a mediului de aproximativ 20°C), la o tensiune de 1000 V.

Forma exponențială inițială a curenților de absorbție/resorbție se datorează dependenței exponențiale de timp a acestora, datorită sistemului de izolație utilizat (canale de ulei, distanțieri, cilindri izolanti etc). Rezultatele, în primele secunde, sunt influențate de proprietățile uleiului. În decursul măsurătorilor, geometria izolației, proprietățile uleiului, precum și producția de îmbătrânire au un rol important. Conținutul de umiditate și conductivitatea izolației solide au un rol determinant asupra rezultatelor obținute, asupra formei și amplitudinii curenților după un interval de timp mai mare.

Influența conductivității uleiului în valoarea inițială a curenților de absorbție poate fi utilizată pentru estimarea conductivității uleiului, fără a lua proba de ulei și a efectua măsurători direct pe aceasta. În același fel, se poate estima conductivitatea hârtiei, folosind valorile curenților de absorbție/resorbție obținute spre sfârșitul măsurătorilor.

Pentru curentul cât mai mic, implică o calitate mai bună a uleiului (așa cum se poate observa și din tabelul 2 - la transformatorul T2 avem o valoare inițială mare a curentului de absorbție, ceea ce implică o conductivitate mare a uleiului).

Tabelul 2

Conductivități în ulei și în izolația solidă

Transformatorul	Conductivitate ulei (S/m)	Conductivitate hârtie (S/m)
T1	$38,30 \times 10^{-13}$	$123,20 \times 10^{-14}$
T2	$160,00 \times 10^{-13}$	$650,00 \times 10^{-14}$
T3	$9,80 \times 10^{-13}$	$7,66 \times 10^{-14}$
T4	$11,50 \times 10^{-13}$	$8,4 \times 10^{-14}$

Putem considera valoare limită pentru conductivitatea uleiului, la 25°C, valoarea de 0,1 pS/m, propusă de IEC 6422, iar pentru conductivitatea hârtiei, putem considera valoarea maximă cea propusă de Gafvert, care este $2,4 \times 10^{-15}$ S/m.

RO 123448 B1

Putem lesne constata că niciunul dintre transformatoarele supuse măsurătorilor nu are conductivitatea uleiului sub limita normală, reflectându-se și în conținutul ridicat de apă în ulei (tabelul 2). Despre conductivitatea izolației solide, putem spune același lucru, și anume că depășește valoarea limită, cu observația că la transformatoarele T3 și T4 s-a depășit puțin, dar se poate sublinia tendința de îmbătrânire.

La transformatoarele din exploatare, îmbătrânirea uleiului conduce la creșterea conductivității uleiului. Oricum, forma fără curbura a curbei curenților conduce la concluzia înrăutățirii calității uleiului, pe lângă conținutul ridicat de umiditate din izolația solidă - așa cum se observă atât din fig. 10, cât și din tabelul 2, pentru transformatorul T2, care prezintă cea mai mare valoare a conductivității uleiului, cât și a hârtiei.

Diferența dintre curenții de absorbție și de resorbție o reprezintă curenții de conducție, care, în mod normal, se raportează la conținutul de apă. Dacă valorile inițiale ale curenților de absorbție și de resorbție sunt foarte apropiate sau chiar egale, înseamnă că uleiul are mai puțină umiditate decât cel al transformatoarelor la care curenții de absorbție/resorbție nu sunt egali sau foarte apropiați.

Tabelul 3

Conținut de umiditate în ulei și în izolația solidă

Transformatorul	Umiditate în ulei (ppm)	Umiditate în izolația solidă (%)
T1	15,22	3,00
T2	17,83	3,40
T3	10,55	1,70
T4	12,00	2,00

Din curba curenților de resorbție, se determină funcția de răspuns pentru fiecare transformator. S-a dezvoltat un pachet software pentru determinarea funcției de răspuns. Luând în considerare și anumite caracteristici geometrice ale izolației transformatoarelor, se determină conductivitatea uleiului și a hârtiei, conținutul de umiditate din hârtie, rezistența de izolație, indicele de polarizare, variația capacității și a tangentei de delta în funcție de frecvență (fig. 9, 10). Efectuând măsurători între o secundă și peste 1000 s, se poate determina evoluția componentei reale a capacității și a tangentei în funcție de frecvență. Umiditatea conținută în izolația solidă influențează tangenta de delta la frecvențe joase și foarte joase, mult mai puternic decât la frecvența industrială.

Curba rezistenței de izolație derivă din cea a curenților de absorbție, de aici extrăgându-se valorile rezistenței la 60 și 600 s.

Bineînțeles că cea mai importantă caracteristică, pe lângă toți parametrii evaluați, este aceea de a estima, cu o precizie ridicată, condiția izolației complexe a transformatoarelor electrice de putere.

Se prezintă în continuare aparatul pentru determinarea stării izolației, precum și a conținutului de umiditate a echipamentelor electrice (denumit ID-1000), care este utilizat în evaluarea uzurii pentru echipamentele de înaltă tensiune și care pune în aplicare metoda conform invenției.

Principiul de funcționare (fig. 29)

Fazele procesului de măsură sunt următoarele:

1. Descărcarea tensiunilor reziduale pe sistemul de izolație, prin scurtcircuitare, pentru aducerea sistemului de izolație la o stare neutră, de referință.
2. Aplicarea tensiunii continue, simultan cu măsurarea și înregistrarea curenților.

RO 123448 B1

1 Curentul înregistrat va avea o variație foarte mare (de ordine de mărime) și foarte rapidă în
primul moment după aplicarea tensiunii, apoi va avea o valoare foarte mică și o variație
3 foarte lentă. Curba înregistrată este relevantă pentru mai multe caracteristici ale sistemului
de izolație, care pot fi separate prin analiza ulterioară a înregistrării.

5 3. Comutarea sistemului de izolație, de la sursa de tensiune, la o rezistență de des-
cărcare, simultan cu înregistrarea curentului, care își schimbă, în acest moment, sensul.
7 Curentul înregistrat la această fază va avea de asemenea o primă scădere rapidă, de mai
multe ordine de mărime, apoi viteza de variație se va reduce. Și această înregistrare parti-
9 cipă alături de prima, la determinarea prin analiză ulterioară a mai multor caracteristici ale
sistemului de izolație.

11 Se observă din schema de principiu, cum se realizează aceste funcțiuni:

- în faza 2, se anclanșează **K0**. Tensiunea sursei (1 kV) este aplicată sistemului de
13 izolație, iar curentul trece prin nA-metru. Valoarea de vârf a curentului, care apare în primul
moment după comutare, determinată în principal de capacitatea **C0** a sistemului de izolație,
15 este limitată de rezistorul de limitare **RL1** de 1 M Ohm. Aceasta este necesară pentru a
împiedica ieșirea din domeniul de măsură a nA-metrului. Acest curent se înregistrează.
17 Valoarea rezistenței de limitare fiind mult mai mică decât rezistența de izolație, influența
rezistenței de limitare asupra măsurătorii poate fi luată în calcul cu succes, fără a avea efect
19 asupra preciziei de determinare a parametrilor sistemului de izolație.

- în faza 3, se eliberează **K0**. Sistemul de izolație devine izolat și față de sursa de ten-
21 siune. Având o capacitate proprie **C0**, el rămâne în continuare sub tensiune. Imediat după
realizarea comutării lui **K0** și deci întreruperea alimentării din sursa de tensiune, se comandă
23 anclanșarea lui **K2**. Acesta conectează rezistorul de descărcare **RL0** la nA-metru. După
aceasta, se comandă în sfârșit anclanșarea lui **K1**. Acesta stabilește circuitul de descărcare,
25 prin nA-metrul conectat în sensul opus și prin rezistorul **RL0**. Și acest curent se înregis-
trează. Se observă că succesiunea acționării celor trei comutatoare împiedică stabilirea de
27 alte circuite în momentele comutărilor și asigură înregistrarea integrală a curenților de
descărcare.

29 Se mai observă că această schemă permite și utilizarea sursei de tensiune cu polari-
tate inversă. Astfel, dacă după faza de la punctul 2, se eliberează **K1** și apoi se anclanșează
31 **K0**, rezultatul este aplicarea tensiunii de pe sursă, sistemului de izolație, în sens invers,
precum și, simultan, conectarea nA-metrului în sensul opus. Această particularitate permite
33 eventual dezvoltarea ulterioară a unor alte proceduri de măsură, fără modificări de hardware.

Se mai observă și că **RL0** și **RL1** au aceeași valoare. În principiu, s-ar putea folosi
35 unul și același rezistor la ambele faze. Totuși, s-a luat măsura utilizării de rezistoare sepa-
rate, pentru ca rezistorul **RL1** să poată face parte integrantă din sursa de înaltă tensiune,
37 deoarece el îndeplinește și funcția de a limita curentul sursei la o valoare nepericuloasă. El
este de aceea nedemontabil și necomutabil. Terminalul adevărat al sursei nu este accesibil
39 nici după îndepărtarea capacului carcusei (care oricum nu este recomandată). După oprirea
alimentării sursei de **ÎT**, ea are asigurată descărcarea, prin rezistența **RM** și prin rezistența
41 kV-metrului, care sunt permanent conectate la sursă.

Pentru descărcarea sistemului de izolație, trebuie folosit comutatorul manual **KR**, de
43 pe panoul frontal, care este prevăzut cu un rezistor de descărcare, instalat în interiorul
aparaturii.

45 Referitor la kV-metru, rolul acestuia este de a înregistra, corelat cu curentul de
încărcare, și a tensiunii sursei, ceea ce permite o mai bună interpretare a înregistrărilor și
47 identificarea unor situații în care ar apare rezistențe parazite în circuitul de măsură.

RO 123448 B1

Blocuri funcționale	1
Bloc surse de alimentare. Este compus din mai multe surse individuale, care dau tensiunile necesare funcționării diferitelor module. Unele dintre aceste surse asigură și izolarea galvanică.	3
Surse de alimentare:	5
Consum rețea 230 V c.a., maximum 40 VA	
Tensiuni interne:	7
+5 V, 1 A, stabilizată în tensiune, nul DAQ (aceiași cu modulul de achiziție); izolat față de carcasă; alimentează modulele de izolare și lămpile de semnalizare;	9
+12 V, 2 A, stabilizată în tensiune; nul DAQ; alimentează termorezistența de măsură a parametrilor mediului, senzorul de umiditate, sursa de ÎT, ventilatorul intern. Observație: Sonda combinată de măsură a parametrilor mediului are ecranul izolat și conectat la nulul modulului de achiziție;	11
+/-12 V, 100 mA, flotantă, cu capacitate redusă față de nulul rețelei de alimentare; alimentează amplificatoarele de măsură pentru I și U, care au nulul comun. Observație: acesta va fi și nulul conectabil la borna L ₀ ;	13
+24 V, 25 mA, stabilizare de tensiune cu limitare de curent; alimentează alternativ transmițătorul extern (direct) sau termorezistența de măsură a temperaturii uleiului;	15
Tensiuni de test: sursă de ÎT cu trepte 500/1000/1500/2000 V, limitare rezistivă la 0,5 mA/lmA; putere totală pe partea de ÎT, inclusiv rezistorul de limitare, 1 W.	17
Comutator KR. Acest comutator este amplasat pe panoul frontal al aparatului ID-1000 și are funcția de a selecta modul de lucru. El este un comutator cu acționare manuală, care nu este afectat în niciun fel de o eventuală întrerupere a tensiunii de alimentare a aparatului ID-1000, a calculatorului, a comunicației seriale sau de alte incidente. Scopul acestei particularități este de a asigura protecția operatorului în momentul efectuării de conexiuni sau alte manevre asupra sistemului de izolație supus testului, prin descărcarea eventualelor tensiuni reziduale. El nu poate descărca însă nimic, dacă legătura la sistemul de izolație este întreruptă sau dacă nu este acționat corespunzător. De asemenea, nu poate asigura decât descărcarea unor sarcini capacitive, încărcate la tensiunea de test, de kV. De aceea, trebuie aplicate și alte măsuri necesare pentru a evita orice accident.	19
Modurile de lucru sunt prezentate în fig. 30. Ambele terminale sunt izolate față de pământ. Numai carcasa aparatului este conectată la pământ.	21
Blocul de comutare K0, K1, K2. Asigură comutarea elementelor de măsură și a sursei de tensiune de test (vezi "Principiul de funcționare").	23
Nano-Ampermetru (fig. 31). Amplificator de măsură logaritmic. Datorită variațiilor foarte mari ale valorilor curenților care trebuie măsurați, precum și vitezei de variație a valorilor, precum și specificului operațiilor de analiză a înregistrărilor, care solicită înregistrări continue, comutarea de domeniu de măsură, chiar automată, nu este recomandabilă.	25
Voltmetru (fig. 32). Acesta măsoară tensiunea sursei de test, inclusiv căderea de tensiune pe rezistorul de limitare RL1, pe un domeniu liniar. Domeniul de tensiune Voltmetru: 1000 V.	27
Amplificatoare de izolare de tipul 5B40 (fig. 33). Acestea sunt destinate să asigure izolarea galvanică a circuitului de măsură față de pământ, pentru a tăia bucla de masă, și să asigure izolarea galvanică față de modulul de achiziție (în care se găsește convertorul A/D), pentru a-l proteja față de tensiunile de comutare, închise la pământ prin capacități parazite ale circuitelor de semnal. De asemenea, implicit, asigură și izolarea față de comunicația serială USB cu calculatorul, care ar putea fi vulnerabilă prin închiderea unui circuit pentru	29

RO 123448 B1

1 tensiuni tranzitorii, prin capacități parazite (filtre EMI) ale alimentării acestuia. Deși efectul
acestor capacități este prevăzut de producătorul calculatorului pentru tensiuni tranzitorii
3 uzuale, tensiunile și capacitățile implicate în măsurătoare pot depăși aceste prevederi, și de
aceea izolarea galvanică este o asigurare utilă și pentru comunicația serială.

5 Redresor ÎT. Redresează și filtrează tensiunea sursei. Include rezistorul **RL1** ca pro-
tecție împotriva unor defecțiuni sau atingerii accidentale a sursei (nu se recomandă deschi-
7 derea carcasei aparatului) (fig. 29). După oprirea alimentării aparatului, sursa de tensiune
se descarcă prin rezistența **RM** și prin rezistența kilovoltmetrului, care sunt conectate perma-
9 nent la sursă, indiferent de modul de lucru al aparatului.

11 Sursa ÎT. Generează tensiunea de test, folosind un circuit de comutație și un trans-
formator ridicător (fig. 32).

13 Trepte: 500, 1000 V, obținute din circuitul de alimentare al sursei de ÎT. Diodele **D1**,
D2 sunt de tipul GP02-30.

15 Acționări **K**. Placă de acționări pentru comutatoarele **K0**, **K1** și **K2**. Folosește circuite
simple pentru a prelua semnalele digitale de la modulul de achiziție și a acționa comutatoa-
17 rele. Asigură interblocarea hardware a comutatoarelor **K0** și **K1**, astfel încât acestea să nu
poată fi acționate simultan, nici chiar în cazul unei defecțiuni. Această funcție este necesară
19 pentru a evita scurtcircuitarea sistemului de izolație prin comutatoare, ceea ce ar duce la o
solicitare excesivă a lor. De asemenea, asigură comutarea tensiunilor de alimentare la sursa
de înaltă tensiune, pentru schimbarea valorilor tensiunii de ieșire a acesteia.

21 Modulul **DAQ USB 6009** (fig. 34). Efectuează digitizarea semnalelor analogice și
transmiterea lor prin comunicația serială USB la calculator, în vederea înregistrării. De ase-
23 menea, mai efectuează și preluarea de la calculator a comenzilor și generarea semnalelor
digitale de comandă pentru placa de acționări **K**.

25 Condiționare senzori. Generează tensiunile de alimentare pentru senzorii de tempe-
ratură a mediului, de temperatură a uleiului și pentru senzorul de umiditate relativă în aer.
27 Transmite semnalele senzorilor la modulul de achiziție. De asemenea, transmite tensiunea
de alimentare de 24 Vc.c., pentru intrarea alternativă de măsură a temperaturii uleiului, des-
29 tinată cazului în care se folosește un senzor de temperatură dotat cu transmițător 0..20 mA
sau 4..20 mA, și convertește semnalul de 0..20 mA sau 4..20 mA într-un semnal de tensiune
31 pe care îl transmite modulului de achiziție.

Elemente constructive (fig. 35...38)

33 Specificație tehnică

Sursa de tensiune

35 valori setate 0/500/1000 Vcc
curentul maxim la conectare <+5 mA
37 impedanța la conectare < 140 kΩ
impedanța la deconectare <200 kΩ

39 Electrometru

41 gama ± 1 mA
precizia 0,5% din datele măsurate
impedanța maximă 200 kfi
43 rezoluția (date înregistrate) 1 nA
protecție 1 kV pentru 10 s pe toate gamele

RO 123448 B1

Sonda de măsurare a parametrilor de mediu	1	
Domeniul de măsură a temperaturii	+5~ +45°C, ± 1°C	
Senzor umiditate relativă	5~85%, ± 5%	3
Caracteristici generale		
Parametrii sursei		5
de alimentare	180..240 Vca, 50 Hz, maximum 30 VA	
dimensiuni	395 x 337 x 175 mm	7
greutate	6,04 kg	
temperatura de utilizare	5...35°C	9
temperatura de stocare	-10...50°C	
umiditatea	5...80%	11

RO 123448 B1

1

Revendicări

3

1. Metodă pentru determinarea gradului de îmbătrânire și a gradului de umiditate a sistemelor de izolație ale echipamentelor electrice, **caracterizată prin aceea că**, în scopul evaluării stării izolației unui obiect supus încercării, urmează următoarele faze:

5

- descărcarea tensiunilor reziduale pe sistemul de izolație supus testării, prin scurtcircuitare, pentru aducerea sistemului de izolație la o stare neutră, de referință;

7

- alegerea schemei de măsură dorită, dintr-un comutator de lucru (**KR**), în sensul alegerii măsurării curenților de absorbție/resorbție între înfășurări, în funcție de modul de dispunere a înfășurărilor;

9

- aplicarea unei tensiuni continue, de la o sursă de înaltă tensiune (**2.5**), de 1000 V pentru echipamentele din exploatare și de 500 V pentru echipamentele noi;

11

- măsurarea curenților de absorbție/resorbție și transmiterea lor unui modul de achiziție (**DAQ USB**) în vederea digitizării semnalelor analogice și transmiterii lor printr-o comunicație serială unui calculator (**PC**) în vederea prelucrării și procesării datelor;

13

- comutarea sistemului de izolație, de la sursa de tensiune (**2.5**), la o rezistență de descărcare, și măsurarea curenților de absorbție/resorbție, care își schimbă în acest moment sensul, și transmiterea lor unui modul de achiziție (**DAQ USB**) în vederea digitizării semnalelor analogice și transmiterii lor printr-o comunicație serială unui calculator (**PC**) în vederea prelucrării și procesării datelor;

15

17

19

21

- achiziția de către modulul (**DAQ USB**) a datelor referitoare la temperatură și umiditate transmise de către senzorii de temperatură a mediului și de umiditate relativă în aer și de temperatură a uleiului în vederea digitizării semnalelor analogice și transmiterii lor printr-o comunicație serială unui calculator (**PC**) în vederea prelucrării și procesării datelor;

23

25

- procesarea datelor, în domeniul timp și în domeniul frecvență, printr-un program de calculator, obținându-se conținutul de umiditate în sistemul de izolație (ulei-hârtie), indicele de polarizare și coeficientul de absorbție, conductivitățile sistemului de izolație la 20 și 25°C, componentele capacității sistemului de izolație, tangenta unghiului de pierderi dielectrice, spectrul de polarizare (**RV**), gradul de îmbătrânire a sistemului de izolație, pe baza datelor transmise la calculatorul (**PC**) de către modulul de achiziție (**DAQ USB**) și a unui algoritm implementat în programul de calculator.

27

29

31

33

2. Aparat pentru determinarea stării izolației, care pune în aplicare metoda de la revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un bloc de alimentare (**1**) constituit din mai multe surse individuale de diferite tensiuni interne, necesare funcționării diferitelor module, dintr-un comutator (**KR**) cu acționare manuală care are funcția de a selecta modul de lucru, în sensul alegerii măsurării curenților de absorbție/resorbție între înfășurări, în funcție de modul de dispunere a înfășurărilor, dintr-un bloc de comutare (**K0, K1, K2**) care asigură comutarea unor elemente de măsură, dintr-o sursă de înaltă tensiune (**2.5**) care generează tensiunea de test de 500, 1000 V, dintr-un modul de achiziție date (**DAQ USB**) care efectuează digitizarea semnalelor analogice și transmiterea lor serială la un calculator (**PC**), care, prin algoritmul implementat, asigură obținerea conținutului de umiditate în sistemul de izolație (ulei-hârtie), indicelui de polarizare și coeficientul de absorbție, conductivităților sistemului de izolație la 20 și 25°C, componentelor capacității sistemului de izolație, tangentei unghiului de pierderi dielectrice, spectrului de polarizare (**RV**), gradului de îmbătrânire a sistemului de izolație.

35

37

39

41

43

45

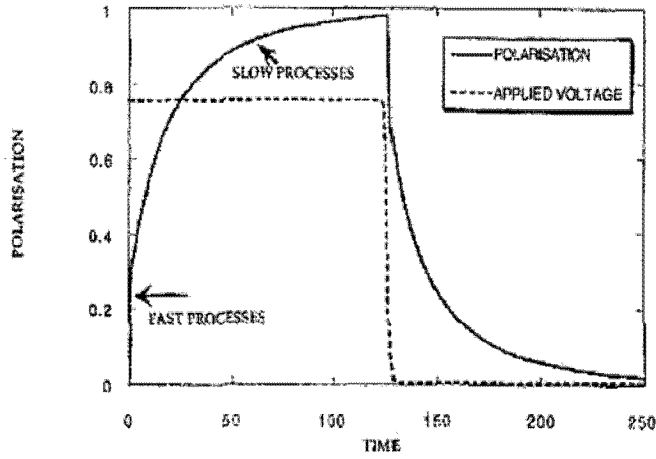


Fig. 1

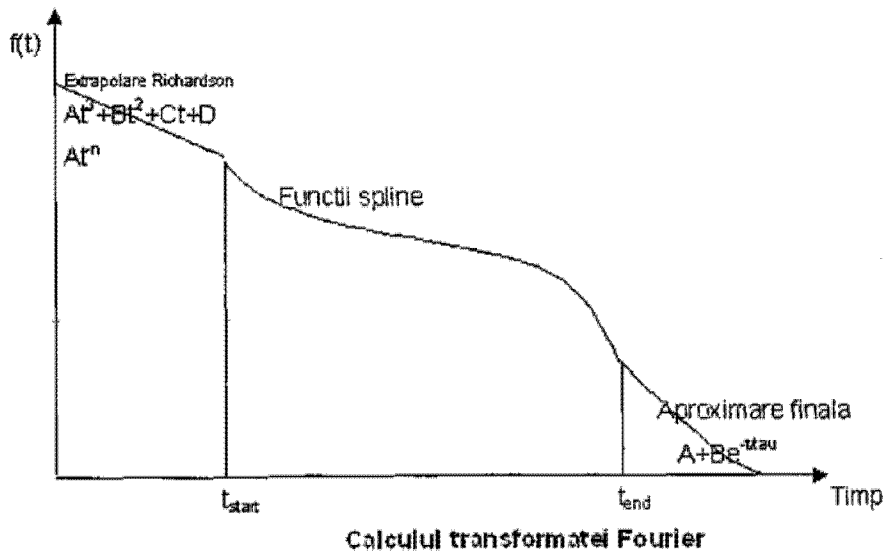


Fig. 2

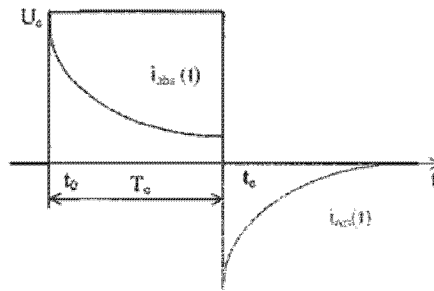


Fig. 3

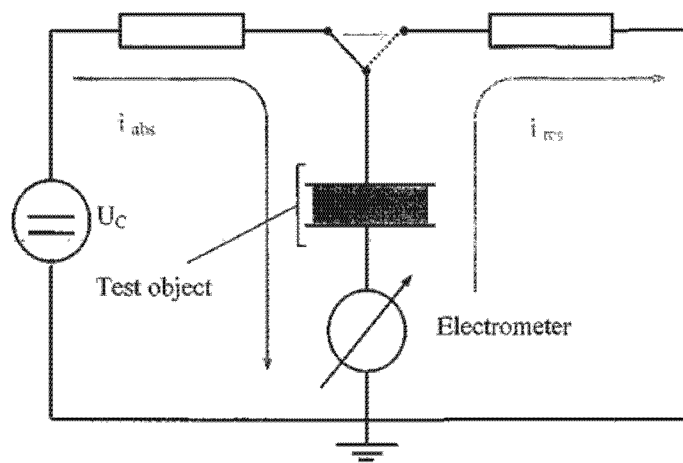


Fig. 4

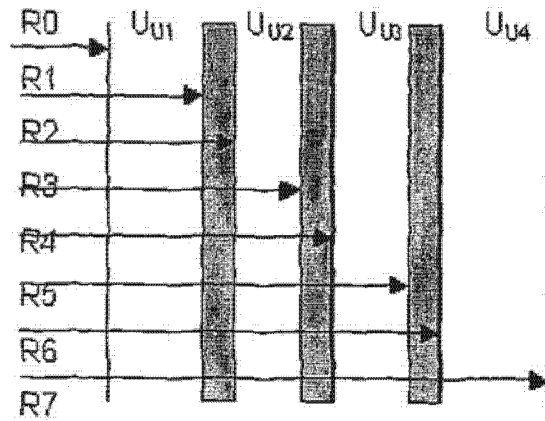


Fig. 5

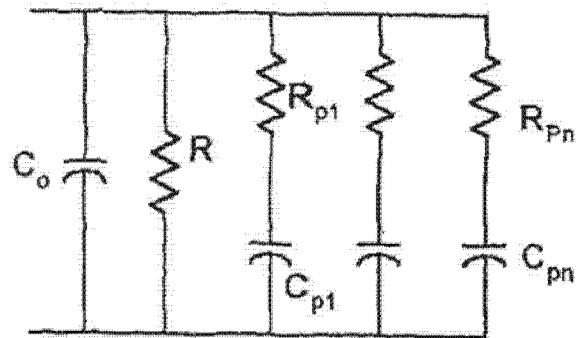


Fig. 6

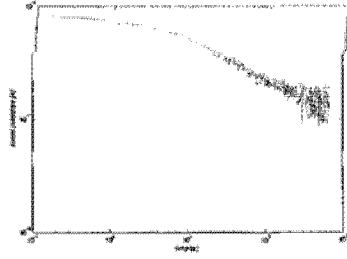


Fig. 7

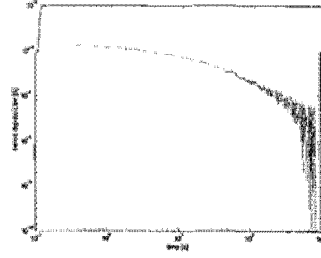


Fig. 8

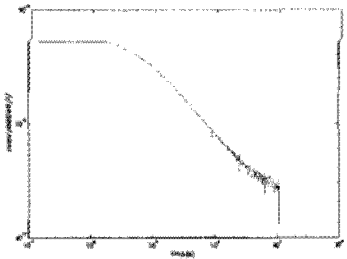


Fig. 9

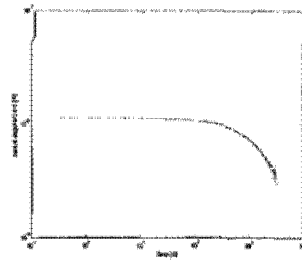


Fig. 10

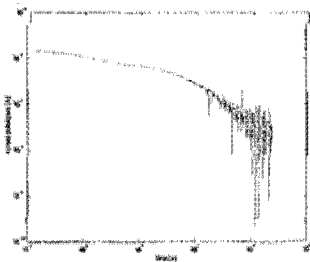


Fig. 11

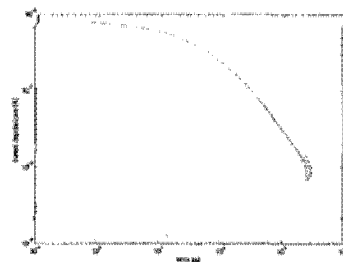


Fig. 12

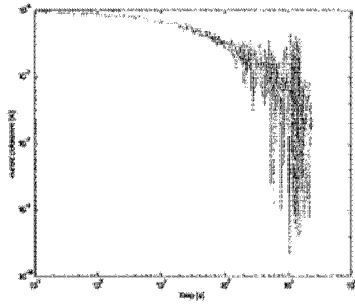


Fig. 13

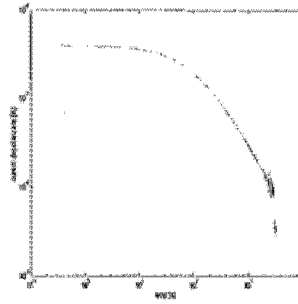


Fig. 14

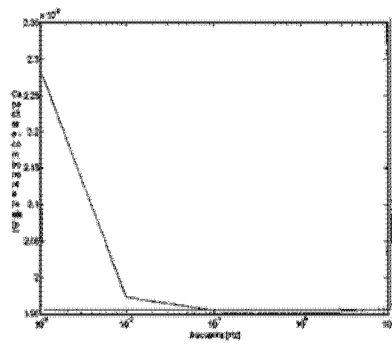


Fig. 15

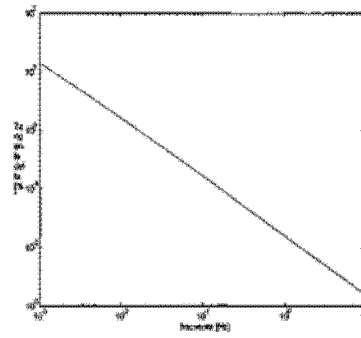


Fig. 16

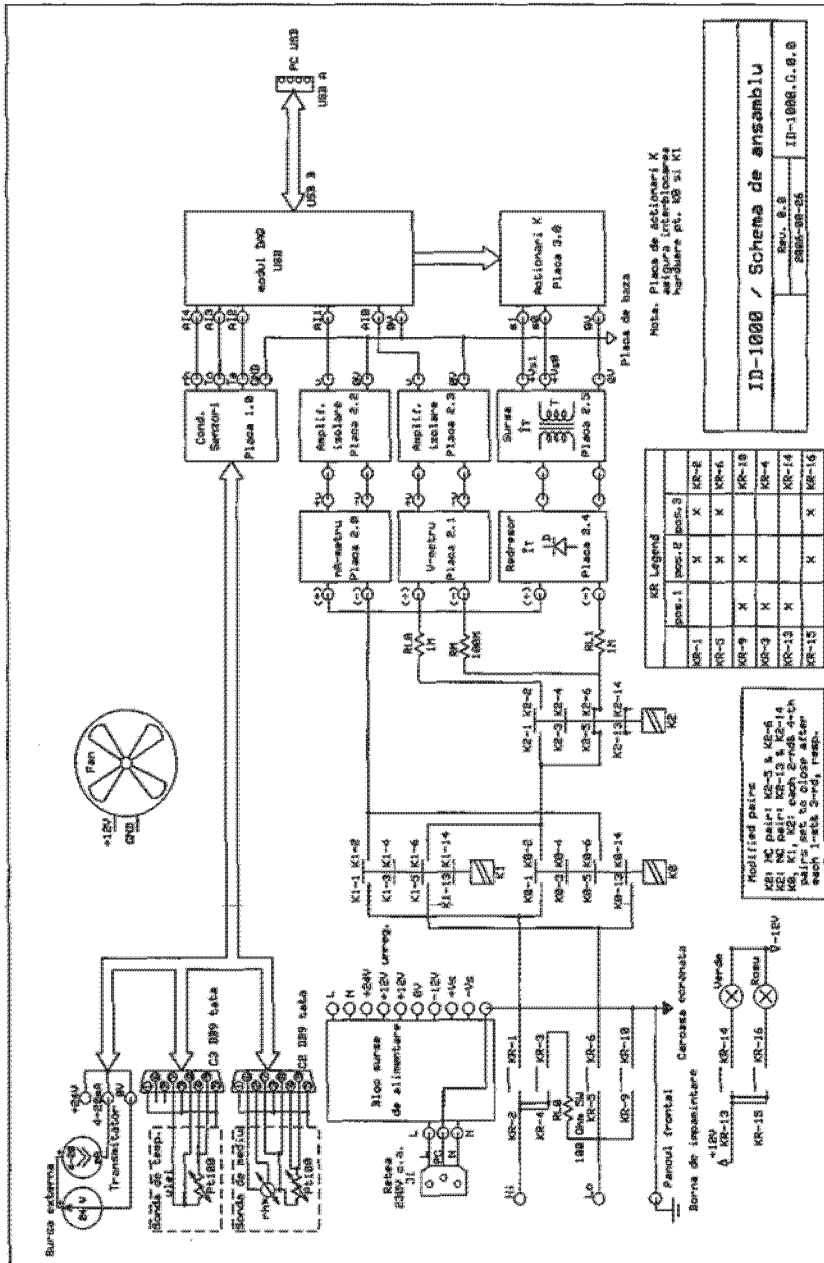


Fig. 17

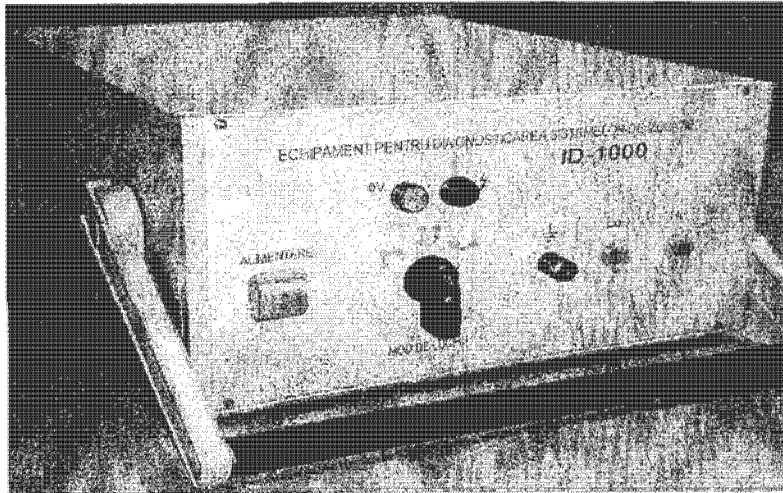


Fig. 18

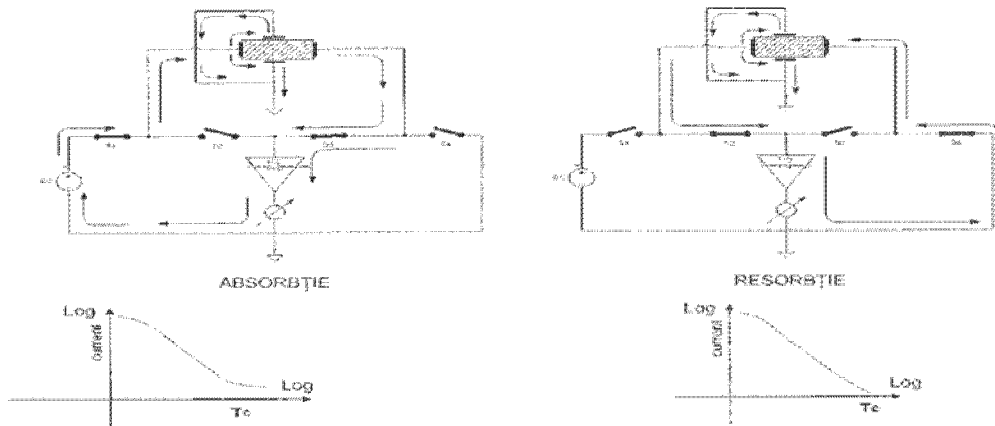


Fig. 19

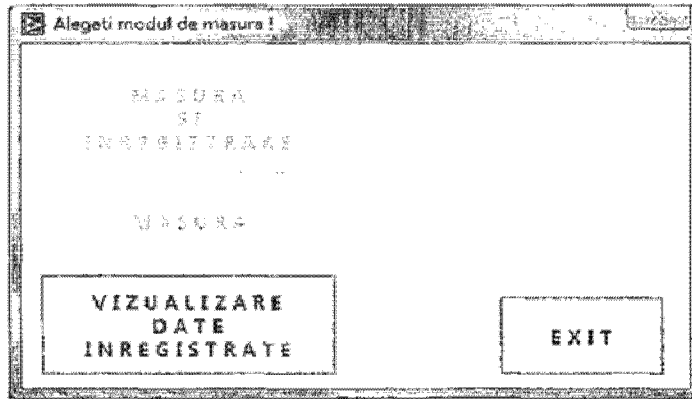


Fig. 20

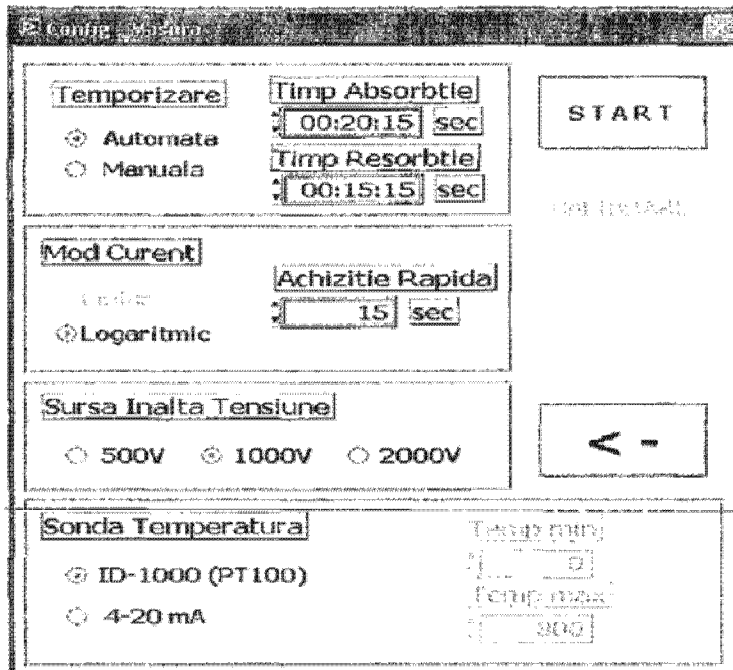


Fig. 21

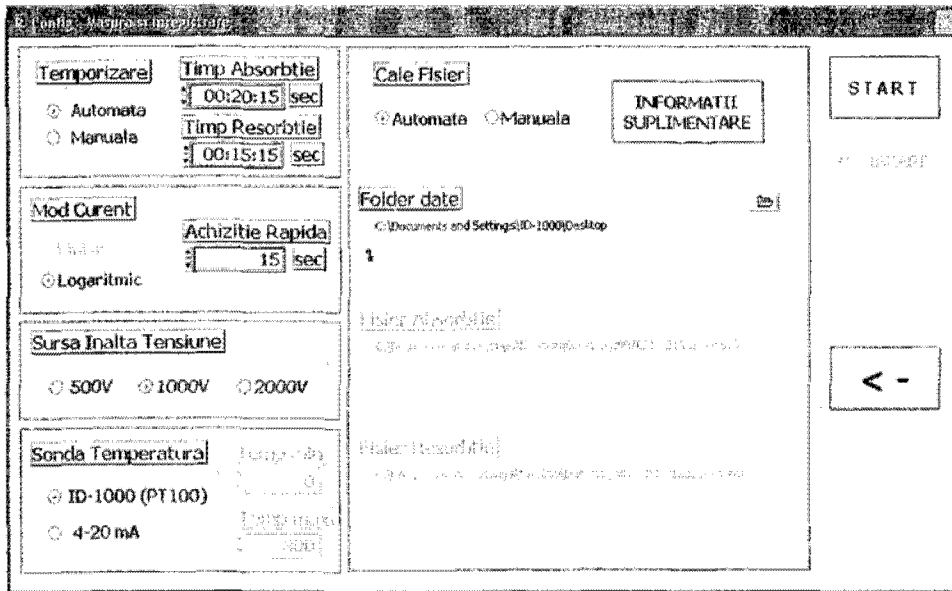


Fig. 22

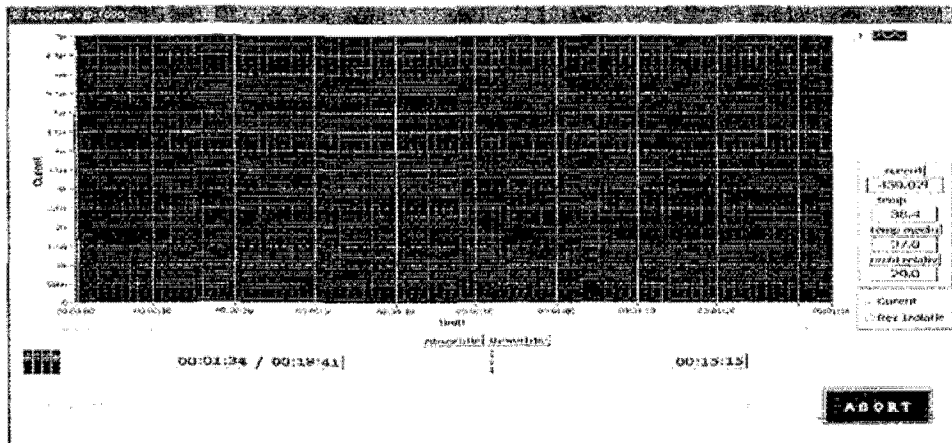
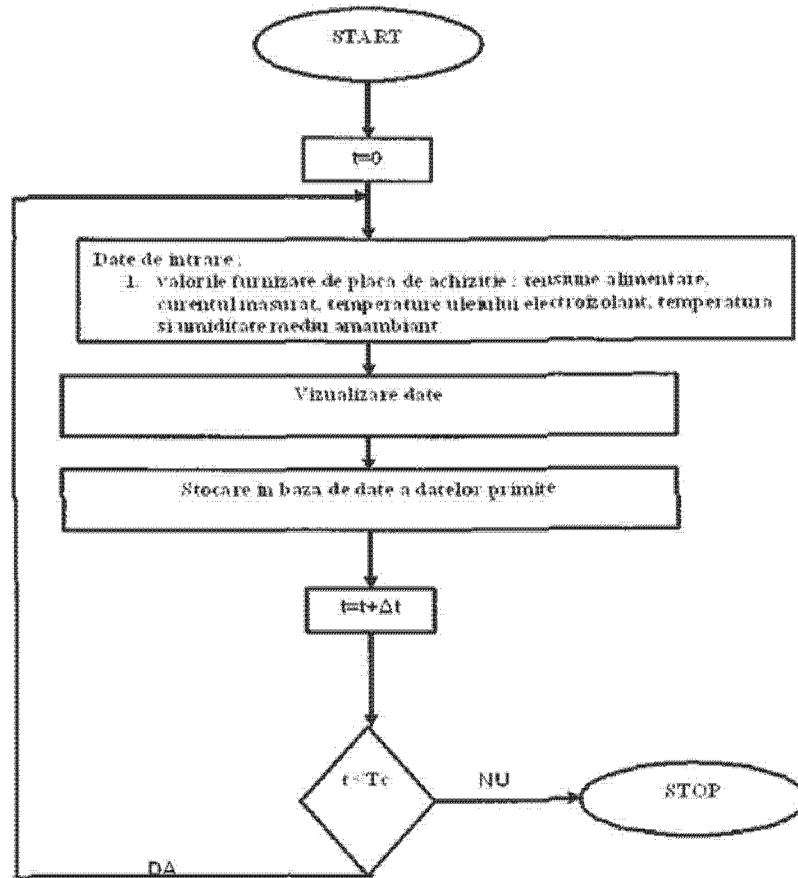


Fig. 23



T_c - perioada de absorbtie

Fig. 24

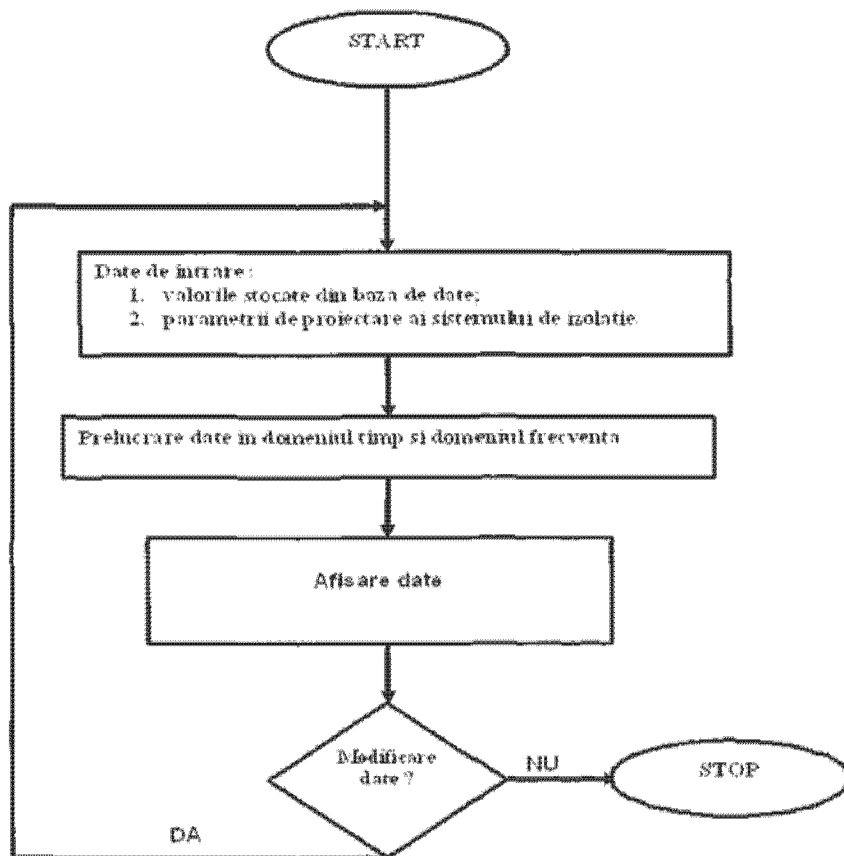


Fig. 25

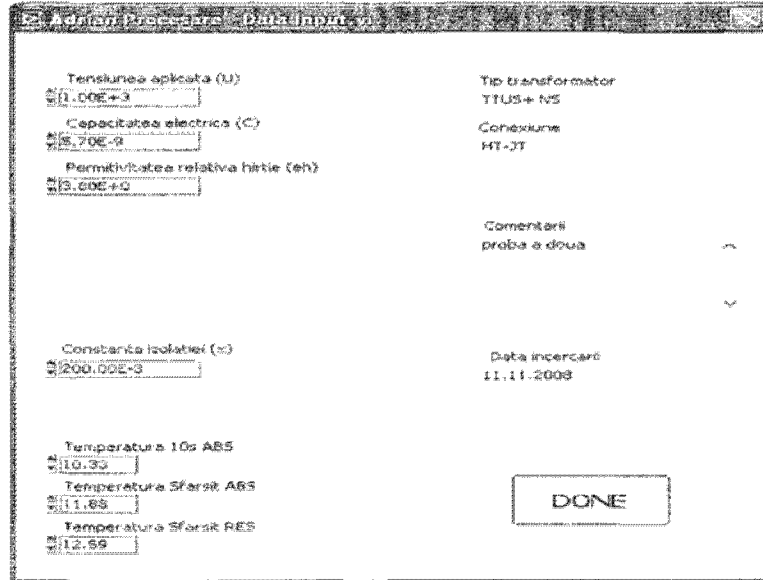


Fig. 26

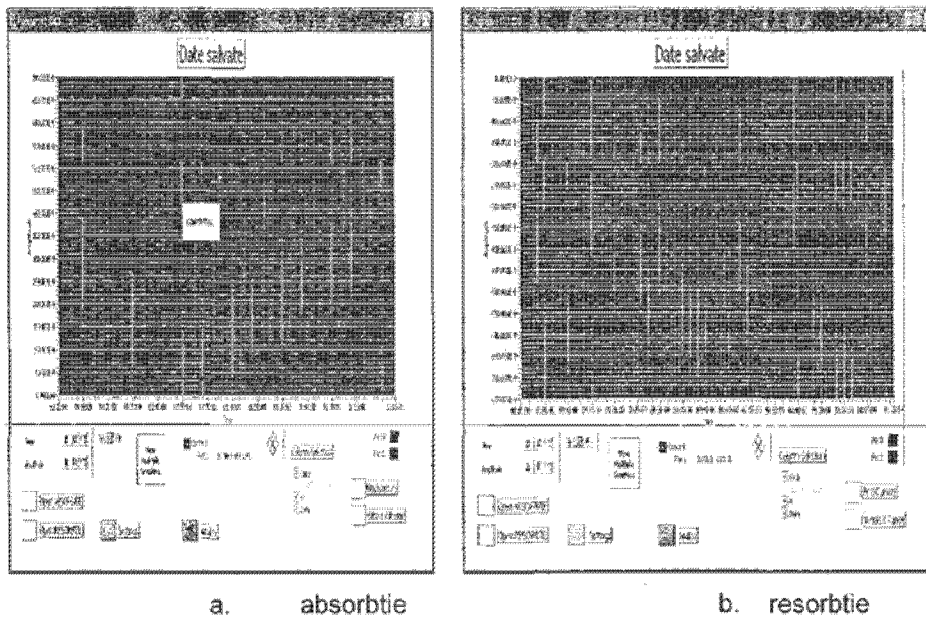


Fig. 27

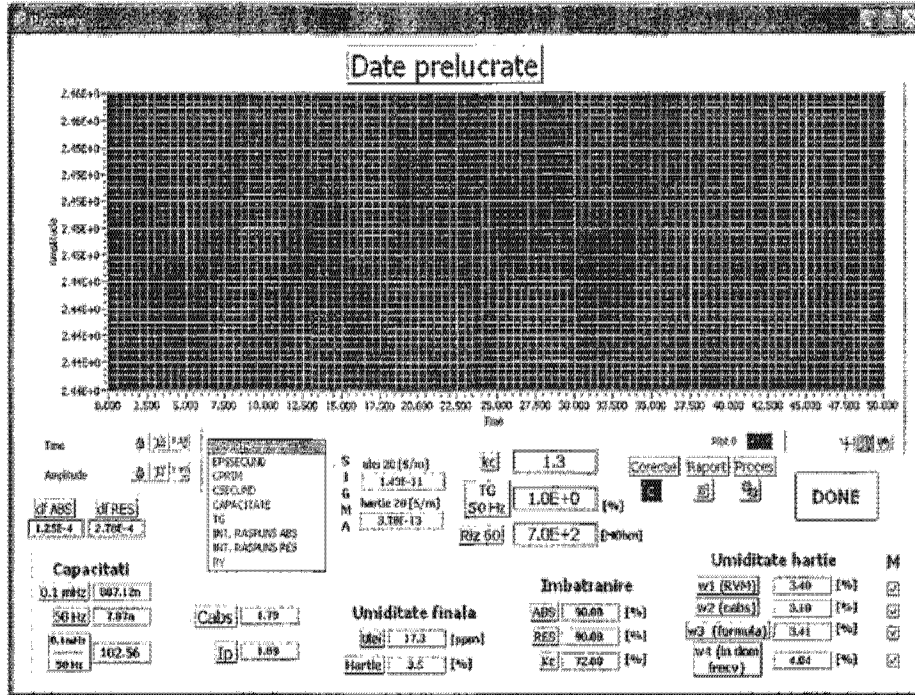


Fig. 28

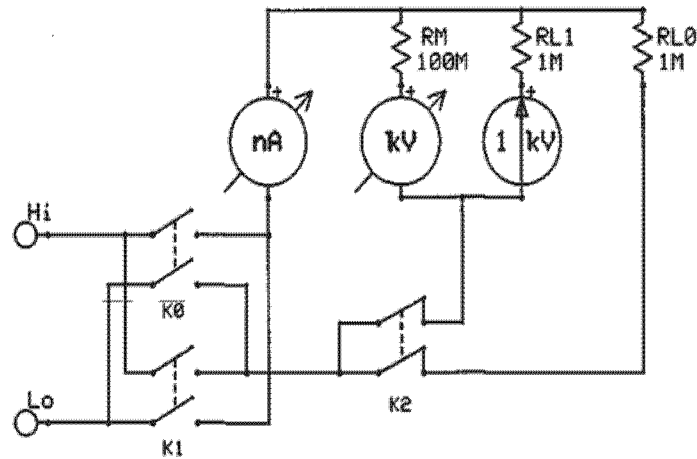
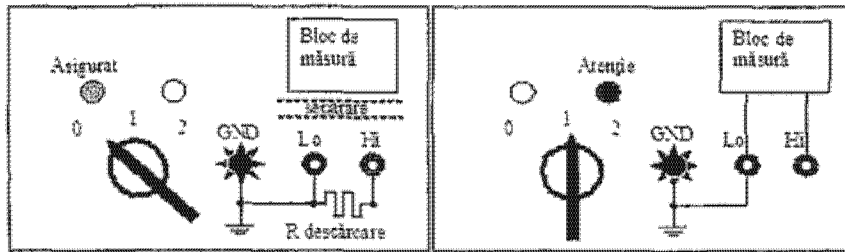
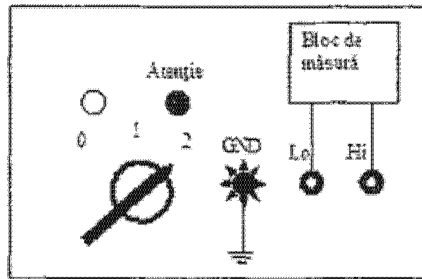


Fig. 29



a) Mod de lucru "Asigurat"

b) Mod de lucru cu un terminal la pământ



c) Mod de lucru flotant

Fig. 30

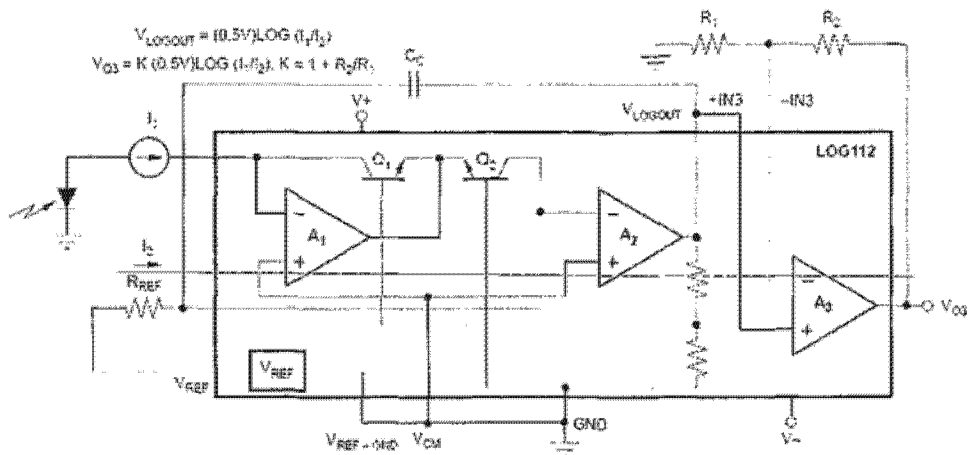


Fig. 31

RO 123448 B1

(51) Int.CI.

G01R 31/02 (2006.01)

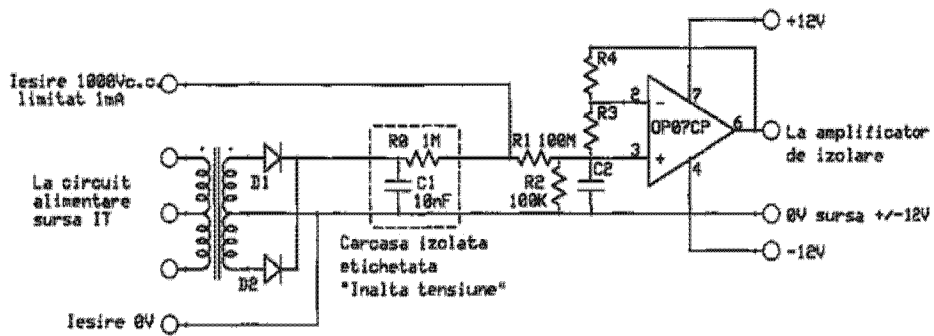


Fig. 32

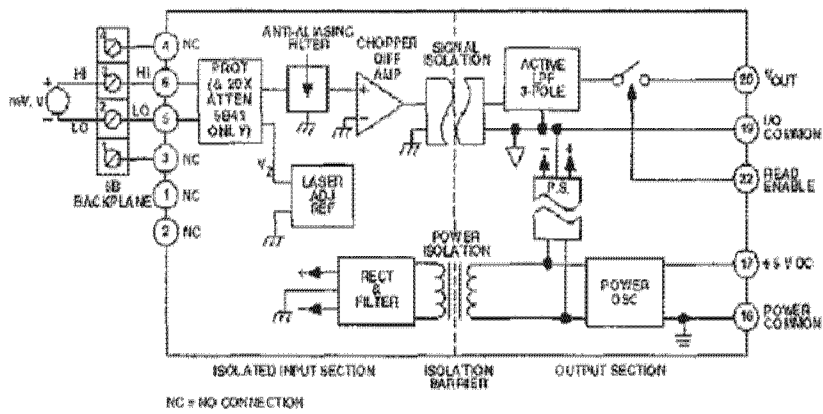


Fig. 33

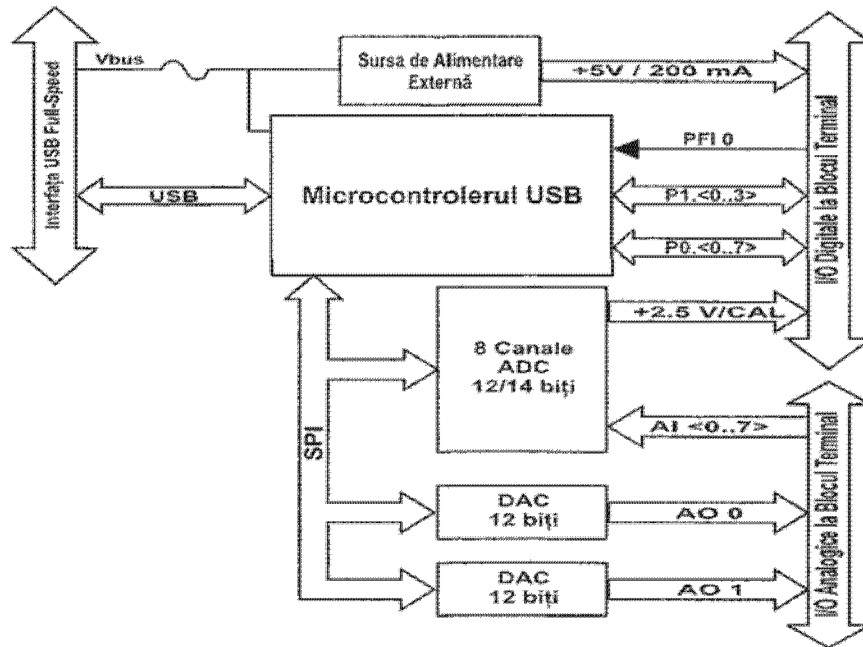


Fig. 34

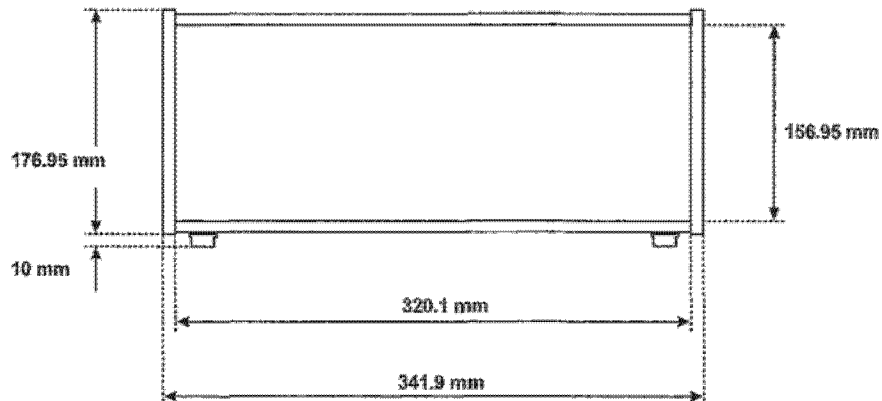


Fig. 35

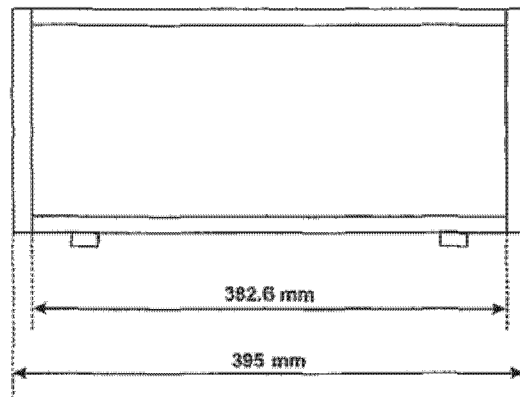


Fig. 36

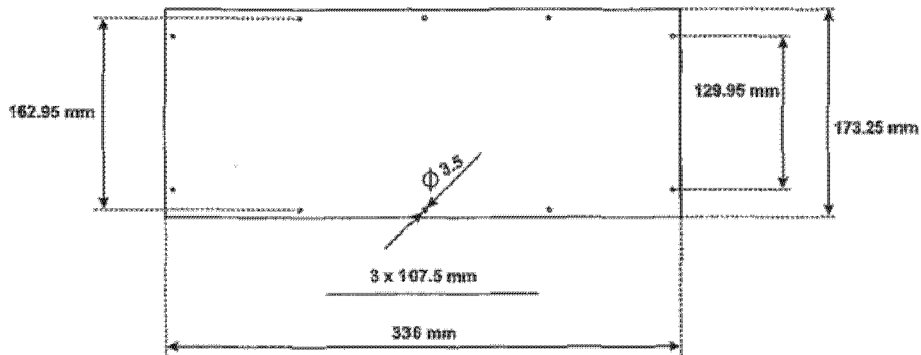


Fig. 37

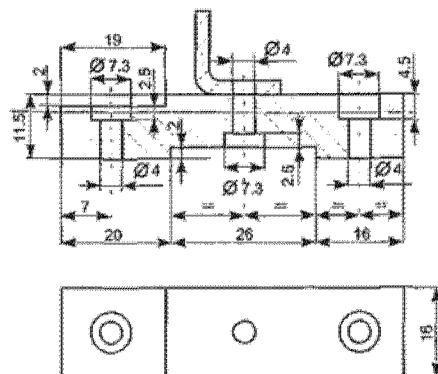


Fig. 38

