



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 00465**

(22) Data de depozit: **31.05.2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29.06.2012** BOPI nr. **6/2012**

(41) Data publicării cererii:
30.05.2011 BOPI nr. **5/2011**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI
ÎNCERCĂRI PENTRU ELECTROTEHNICĂ -
ICMET CRAIOVA, CALEA BUCUREȘTI
NR.144, CRAIOVA, DJ, RO**

(72) Inventatori:
• **MARINESCU ANDREI, STR.HENRI
COANDĂ NR.68, BL.3, SC.C, AP.11,
CRAIOVA, DJ, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**RO 70987; US 6718268 B2; US 3929010;
US 5327113; US 4761073**

(54) **DISPOZITIV PENTRU MĂSURAREA ȘI MONITORIZAREA
FORȚEI AXIALE DE STRÂNGERE A ÎNFĂȘURĂRILOR LA
TRANSFORMATOARELE DE PUTERE ÎN TIMPUL
FUNȚIONĂRII ACESTORA**



RO 126339 B1

1 Invenția se referă la un dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forțelor axiale
de strângere a înfășurărilor la transformatoarele de putere în timpul funcționării acestora.

3 Transformatoarele de putere sunt cele mai complexe și costisitoare componente ale
rețelelor de transport și distribuție a energiei electrice.

5 Ele sunt proiectate să reziste la eforturile electrodinamice generate de curenții de
scurtcircuit sau curenții de conectare bruscă printr-un sistem static de strângere axială a
7 înfășurărilor, care trebuie să asigure, pe toată durata de viață a acestora, un anumit nivel de
presare, indiferent de numărul și amplitudinea solicitărilor electrodinamice, de variația
9 temperaturii și de starea generală a izolației.

11 De obicei, scăderea forțelor de strângere axială poate conduce la pierderea stabilității
mecanice a înfășurărilor și, în final, la avarierea totală a transformatorului.

13 Pentru controlul acestor forțe de strângere, sunt cunoscute sisteme de măsurare
utilizate în timpul funcționării (on-line) sau cu scoaterea din funcțiune a transformatorului
(off-line), respectiv, sisteme de măsurare intrusiv (montate în interiorul transformatorului)
15 sau neintrusive, când sunt plasate în afara acestuia.

17 Metodele neintrusive cunoscute pot fi utilizate on-line, cum ar fi analiza vibro-acustică
și determinarea presiunii tranzitorii a uleiului sau off-line, prin analiza caracteristicii de
19 frecvență; ele au dezavantajul că sunt metode de investigație globale, calitative, niciuna
nefiind capabilă să asigure în prezent o determinare exactă a stării mecanice a
transformatorului.

21 Metodele intrusiv sunt bazate fie pe compensarea variației în timp a forțelor, fie pe
măsurarea și/sau controlul direct a forțelor axiale de strângere a fiecărui ansamblu de
23 înfășurări.

25 Dintre acestea, cea descrisă în brevetul **RO 70987** este prima soluție cunoscută, care
permite măsurarea directă a forțelor axiale prin introducerea unor senzori de forță sub fiecare
sau în fiecare bulon de presare a înfășurărilor și, totodată, face posibilă transmiterea
27 informației referitoare la aceste forțe în afara transformatorului, pentru prelucrare, analiză și
decizie.

29 Această metodă și variantele ei, deși îndeplinesc toate condițiile pentru măsurarea
forței statice de presare și stabilirea obiectivă a variației în timp a acesteia și, în funcție de
31 senzorii folosiți, chiar și a forțelor dinamice, este sensibilă la câmpurile electromagnetice
intense din interiorul transformatorului și numai prin măsuri speciale de ecranare
33 electromagnetică poate fi folosită pentru măsurători on-line.

35 În brevetul **US 3929010** este prezentată o metodă de compensare hidraulică a
modificării în timp a forței de strângere axială, iar în brevetul **US 5327113**, se utilizează
37 resorturi disc sub fiecare bulon de strângere, resorturi care permit, într-o măsură, compen-
sarea variației în timp a forțelor axiale de-a lungul duratei de viață a transformatorului.

39 Într-un alt brevet, **US 6718268 B2**, sistemul de măsurare directă este introdus în
inelul de presare al înfășurărilor, care conține senzori cu unde acustice de suprafață SAW
(Surface Acoustic Sensors). Măsurarea se face în puncte discrete, iar transmiterea
41 semnalelor generate de senzorii SAW, proporționale cu forța măsurată, se face wireless
către un receptor aflat în afara cuvei transformatorului. Elementele elastice necesare pentru
43 transmiterea forței de presare către senzori, respectiv, antenele acestora, măresc
dimensiunile sistemului, pot fi influențate de câmpul electromagnetic intens din transformator
45 sau pot da naștere la încălziri locale, ceea ce până la urmă afectează structura izolantă a
inelului de presare și implicit a transformatorului.

47 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în măsurarea și monitorizarea
directă a forței de strângere axială a înfășurărilor la transformatoarele de putere, în timpul
49 funcționării acestora.

RO 126339 B1

Dispozitivul pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoarele de putere, conform invenției, înlătură dezavantajele prezentate prin faptul că, pentru detectarea forței de strângere, este alcătuit dintr-o fibră optică activă, sensibilă la deformări transversale, conectată la o fibră optică pasivă printr-un conector optic, și care fibră optică pasivă este conectată la celălalt capăt, printr-un conector optic de trecere prin peretele cuvei transformatorului, la intrarea unui echipament de achiziție și prelucrare a semnalului optic, în sine cunoscut.	1 3 5 7
Avantajele prezentei invenției sunt următoarele:	9
- folosește ca senzor fibră optică, un dielectric ideal, cu rigiditate dielectrică superioară mediului izolant pe care îl parcurge;	9
- este ușor de montat în piese din material izolant sau compozit, fără a influența stabilitatea mecanică și izolația principală proiectată a transformatorului, nici prin instalare în inelul de presare, nici prin transmisia optică bilaterală a semnalului purtător de informație în afara cuvei transformatorului;	11 13
- are siguranță intrinsecă la interferența electromagnetică, la variații de temperatură și la mediul electroizolant utilizat în transformator;	15
- se poate aplica la orice sistem de strângere axială cunoscut;	17
- permite măsurarea simultană a forțelor statice de presare și a forțelor variabile în timp, care apar în diferite regimuri de funcționare a transformatoarelor;	19
- permite integrarea în sistemele existente de monitorizare a transformatoarelor dintr-o stație de transformare;	21
- permite corectarea rezultatelor măsurărilor efectuate printr-un software de aplicație, care ține seama de starea izolației în momentul măsurării (îmbătrânire, umiditate, temperatură etc.), pentru a putea fi comparate cu forțele de presare inițiale, practicate de firma constructoare.	23 25
Se dă, în cele ce urmează, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...4, care reprezintă:	27
- fig. 1, vedere în perspectivă a părții active a unui transformator de putere trifazat, în mod obișnuit amplasat în ulei, într-o cuvă metalică, nefigurată pe desen;	29
- fig. 2a, vedere în perspectivă a inelului de presare care integrează dispozitivul de măsurare, conform invenției, alcătuit din două inele de presare suprapuse;	31
- fig. 2b, vedere de sus a inelului de presare inferior, cu canalul în care se amplasează fibra optică conform invenției;	33
- fig. 2c, vedere de sus a inelului de presare inferior, cu senzorul din fibră optică, conform invenției, montat în canalul reprezentat în fig. 2a și 2b;	35
- fig. 3a, secțiune a canalului în care se montează fibra optică cu sensibilitate transversală, conform invenției, în stare nesolicitată;	37
- fig. 3b, secțiune a canalului în care se montează fibra optică, conform invenției, în stare sollicitată;	39
- fig. 4, schema de procesare a semnalului optic, care poate fi utilizată de dispozitivul pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale la transformatoare, conform invenției.	41
Dispozitivul conform invenției folosește ca element sensibil un senzor optic intrinsec de deformăție, care constă dintr-o fibră optică activă, cu sensibilitate transversală la deformăție, înglobată în inelul de presare al înfășurărilor de pe fiecare coloană a transformatorului, fibră optică pe care este înscrisă o succesiune de rețele Bragg (FBG - Fiber Bragg Grating), distribuite pe lungimea activă a fibrei, structură care permite, printr-un sistem de interogare, să se determine profilul de variație a efortului de compresiune pe circumferința inelului de presare, indiferent de sistemul de presare utilizat în construcția transformatorului.	43 45 47 49

RO 126339 B1

1 Inelul de presare, astfel realizat, devine un senzor de forță de compresiune, care
2 poate fi etalonat și caracterizat separat, pentru forțe concentrate sau repartizate (uniform sau
3 neuniform) și, care, după montarea pe transformator, dă posibilitatea detectării obiective a
4 forțelor de strângere.

5 În fig.1 se prezintă vederea în perspectivă a părții active 1 a unui transformator de
6 putere trifazat, în mod obișnuit plasată în ulei, într-o cuvă metalică, alcătuită din circuitul
7 magnetic 2, ansamblul de înfășurări 3, de pe fiecare coloană a circuitului magnetic 2, inelele
8 de presare superior 4 și inferior 5 al fiecărei faze, sistemul de strângere axială al fiecărei
9 înfășurări 3, alcătuit, în acest caz, din patru dispozitive mecanice, două vizibile 6 și 6' și două
10 vizibile parțial pe figură 6'' și 6''', simetrice față de circuitul magnetic 2.

11 Detaliul A prezintă la altă scară unul dintre aceste dispozitive mecanice 6, care, prin
12 intermediul unor buloane reglabile 7, 7', al unor piese intermediare 8, 8' și al inelelor de
13 presare superioare 4, asigură forța statică de presare axială a înfășurărilor 3, forță a cărei
14 monitorizare în timp este scopul fundamental al invenției.

15 Fig. 2a arată un exemplu de realizare a invenției, în care inelul de presare 4 din fig.
16 1 devine traductorul de forță 9, prin divizarea sa în două inele suprapuse 10, 11, cu grosime
17 totală identică cu cea a inelului de presare original 4, din care provine, inelul inferior 11 fiind
18 prevăzut cu un canal 12, ca în fig. 2b, în care se plasează, ca în fig. 2c, fibra optică activă
19 13, care este elementul sensibil al traductorului de forță 9.

20 Fig.3a arată la o scară mai mare secțiunea A-A (vezi fig. 2c) prin inelul de presare
21 11, canalul 12 de secțiune dreptunghiulară practicat în acest inel 11, fibra optică activă 13
22 și inelul superior 10, în stare nesolicitată, iar în fig. 3b, aceeași structură, în stare solicitată.

23 Conform invenției, fibra optică activă 13 are înscrisă pe lungimea sa activă un număr
24 de rețele Bragg echidistante 14, în funcție de numărul de zone în care se dorește să se
25 măsoare repartiția forței de compresiune exercitată asupra inelului de presare - traductor de
26 forță 9.

27 Conform invenției, măsurarea forței de compresiune se face printr-o fibră optică
28 activă 13, sensibilă la deformare transversală, conectată la fibra optică pasivă 15, printr-un
29 conector optic 16. Pentru a corela proprietățile mecanice ale fibrei optice active 13, cu
30 proprietățile mecanice ale materialului inelelor de presare 10 și 11, fibra optică 13 este
31 realizată din material polimeric. Fibra optică 15 servește atât pentru transmiterea luminii
32 pentru interogarea rețelelor Bragg 14, cât și pentru recepția informației despre starea fibrei
33 active 13, prin conectorul optic 17, care este montat pe peretele cuvei metalice a
34 transformatorului.

35 Sistemul de achiziție și prelucrare a semnalului care provine de la dispozitivul de
36 măsurare, conform invenției, este cunoscut în stadiul actual al tehnicii.

37 În fig. 4 se prezintă schema bloc simplificată a unui astfel de sistem, unde 13 este
38 fibra optică activă, conform invenției, care are înscrise un număr de rețele Bragg 14,
39 conectorul optic 16, care cuplează fibra optică activă 13 cu fibra optică pasivă 15, la rândul
40 ei terminată printr-un conector optic de trecere 17, montat pe peretele cuvei 18 a
41 transformatorului și echipamentul de achiziție și prelucrare a semnalului optic 19.

42 Echipamentul 19 conține o sursă de lumină de bandă largă 20, un cuplor optic 21,
43 care permite separarea luminii incidente 22, transmisă senzorului optic 13, de lumina
44 reflectată 23 de rețelele Bragg 14, în funcție de deformația la care sunt supuse, și un
45 procesor de semnal optic 24, care utilizează una din metodele cunoscute de demultiplexare
46 a semnalului optic reflectat, în vederea determinării deformației transversale, din fiecare zonă
47 a senzorului optic 13, unde este înscrisă o rețea Bragg.

RO 126339 B1

La ieșirea **25** a procesorului **24**, se obțin semnale electrice proporționale cu repartiția forței de compresiune pe circumferința inelului de presare, care sunt memorate și afișate într-un mod cunoscut. 1
3

Conform invenției, echipamentul de procesare a semnalului optic poate fi amplasat în imediata vecinătate a transformatorului monitorizat sau la distanță, în camera de comandă a stației de transformare, caz în care poate procesa semnale optice care provin de la unul sau mai multe transformatoare din stația de transformare. 5
7

Conform invenției, informația despre variația în timp a forțelor axiale se poate înregistra, fie on-line pe toată durata de funcționare a transformatorului, fie off-line la intervale mai lungi sau mai scurte, conectând echipamentul **19** numai atunci când este stabilit prin tehnologia de monitorizare. În acest ultim caz, echipamentul **19** poate fi folosit la alte transformatoare din stația respectivă sau din alte stații de transformare printr-o setare corespunzătoare. 9
11
13

Conform invenției, valorile forței/forțelor axiale măsurate pe fiecare fază la un moment dat, în timpul duratei de viață a transformatorului, în anumite condiții de temperatură a înfășurărilor sau uleiului, de umiditate și de îmbătrânire a izolației hârtie-ulei, sunt corelate cu valoarea/valorile inițiale utilizate de firma constructoare, pe baza unui software de aplicație. Software-ul produce pe bază de experiență și modele fizice, coeficienți de ponderare în funcție de temperatură (K_T), umiditatea din izolația hârtie-ulei (K_h), îmbătrânirea izolației (K_a), construcția specifică a transformatorului (K_m) etc., care dau posibilitatea corectării forței măsurate F_s , astfel încât forța de strângere (corectată) este: 15
17
19
21

$$(F_s)_{cor} = k_{cor} F_s \neq (F_s)_{in} \quad 23$$

unde $(F_s)_{in}$ este forța statică de strângere, inițial utilizată, iar coeficientul de corecție global este: 25

$$k_{cor} = f(K_T, K_h, K_a, K_m) \quad 27$$

În funcție de starea transformatorului, în momentul măsurării, coeficientul de corecție global k_{cor} poate avea valori sub/supraunitare cuprinse între 0.6 și 1.2. 29

RO 126339 B1

Revendicări

1

3

1. Dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoarele de putere ce conțin partea activă (1) plasată într-o cuvă cu ulei și alcătuită din circuitul magnetic (2), ansamblul de înfășurări (3), inelele de presare superioare (4) și inferioare (5), pentru fiecare fază, în timpul funcționării acestora, **caracterizat prin aceea că**, pentru detectarea forței de strângere, este alcătuit dintr-o fibră optică activă (13), sensibilă la deformări transversale, conectată la o fibră optică pasivă (15) printr-un conector optic (16) și care fibră optică pasivă (15) este conectată la celălalt capăt, printr-un conector optic de trecere (17) prin peretele cuvei transformatorului (18), la intrarea unui echipament de achiziție și prelucrare a semnalului optic (19).

11

13

2. Dispozitiv conform revendicării 1, în care inelul de presare superior (4) al transformatorului este divizat în două inele suprapuse (10, 11) cu grosime identică cu a inelului de presare (4) din care provine, inelul inferior (11) fiind prevăzut cu canalul (12) de secțiune dreptunghiulară, **caracterizat prin aceea că** fibra optică activă (13) este plasată în canalul (12) inelului inferior de presare (11), fibră optică (13) pe care este înscrisă o succesiune de rețele Bragg echidistante (14), în funcție de numărul de zone în care se dorește să se măsoare repartiția forței de compresiune.

15

17

19

3. Dispozitiv conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** echipamentul de achiziție și prelucrare a semnalului optic (19) conține o sursă de lumină de bandă largă (20), un cuplor optic (21), care permite separarea luminii incidente (22), transmisă senzorului optic (13) de lumina reflectată (23) de către rețelele Bragg (14), în funcție de deformația la care sunt supuse, și un procesor de semnal optic (24), care utilizează una dintre metodele cunoscute de demultiplexare a semnalului optic reflectat, în vederea determinării deformației transversale din fiecare zonă a senzorului optic (13) unde este înscrisă o rețea Bragg (14).

21

23

25

27

4. Dispozitiv conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că**, pentru a corela proprietățile mecanice ale fibrei optice active (13) cu proprietățile mecanice ale inelelor de presare (10, 11), fibra optică activă (13) este realizată dintr-un material polimeric.

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01),

H01F 27/30 (2006.01)

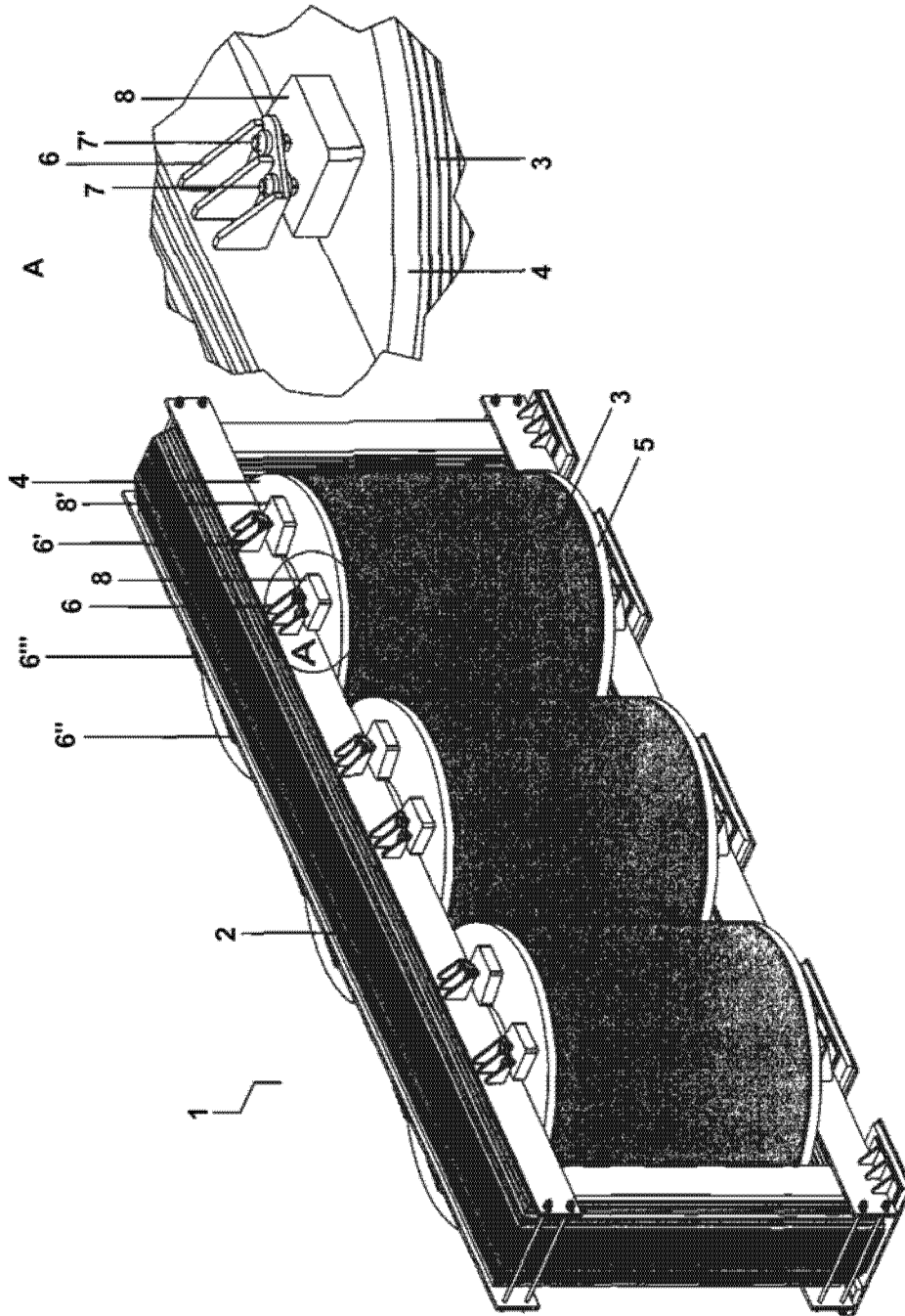


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01),

H01F 27/30 (2006.01)

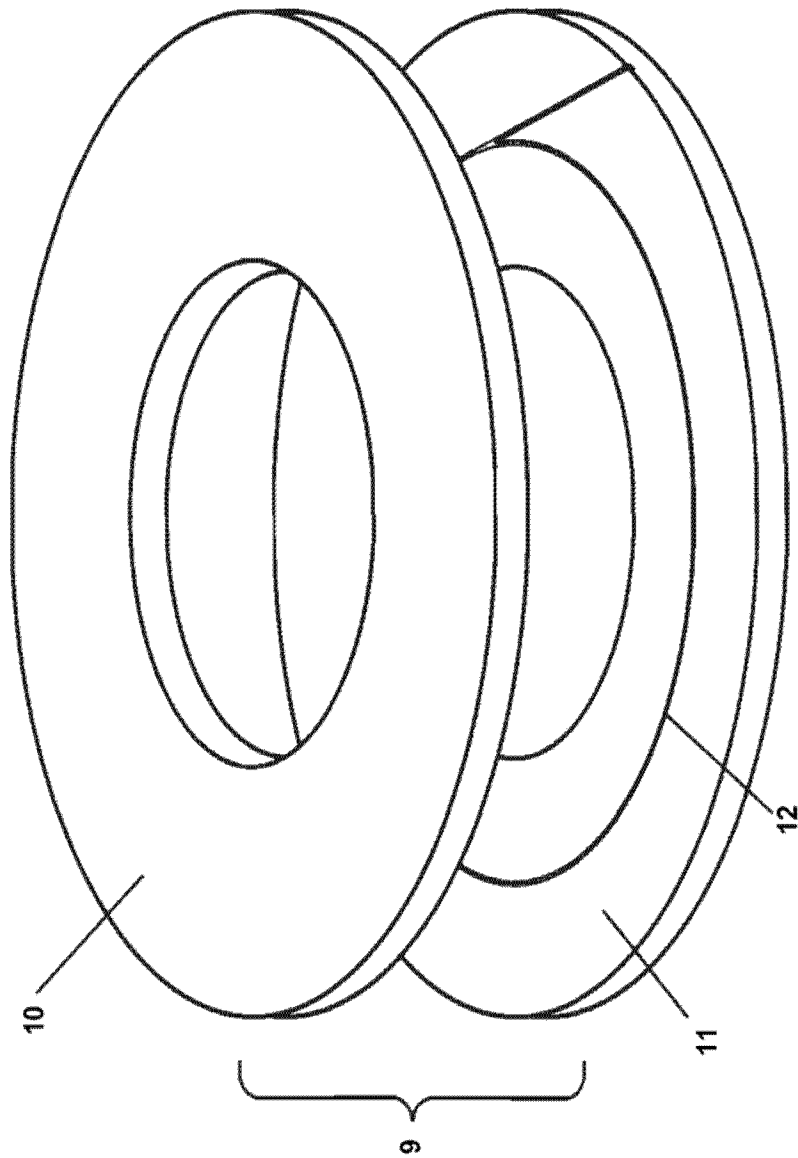


Fig. 2a

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01),

H01F 27/30 (2006.01)

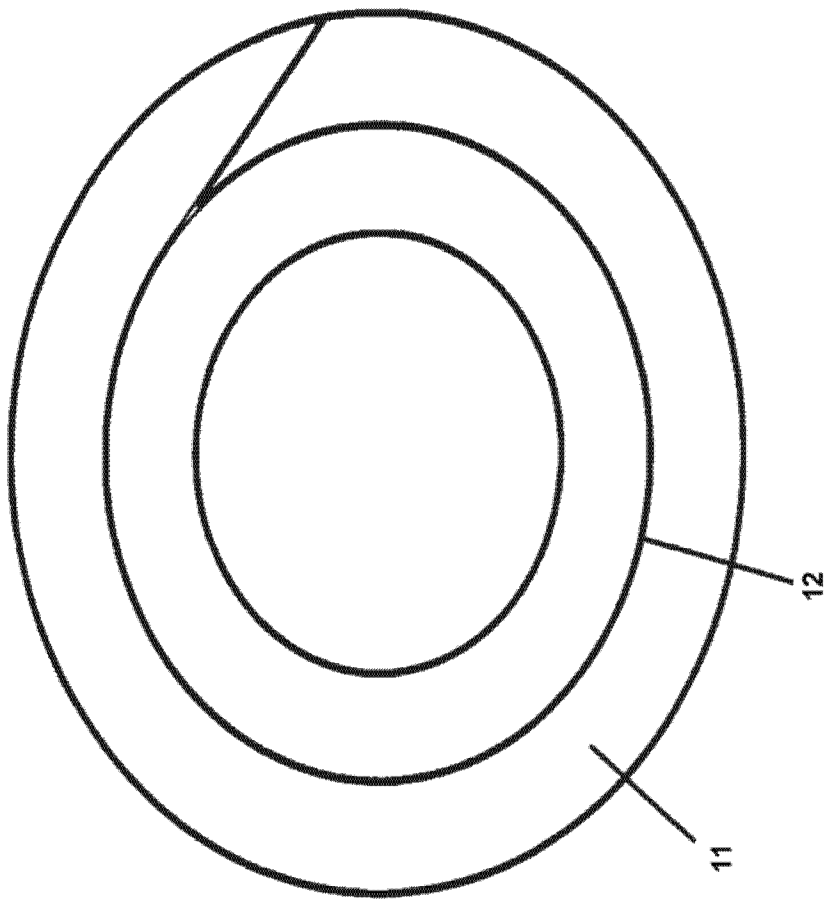


Fig. 2b

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01),

H01F 27/30 (2006.01)

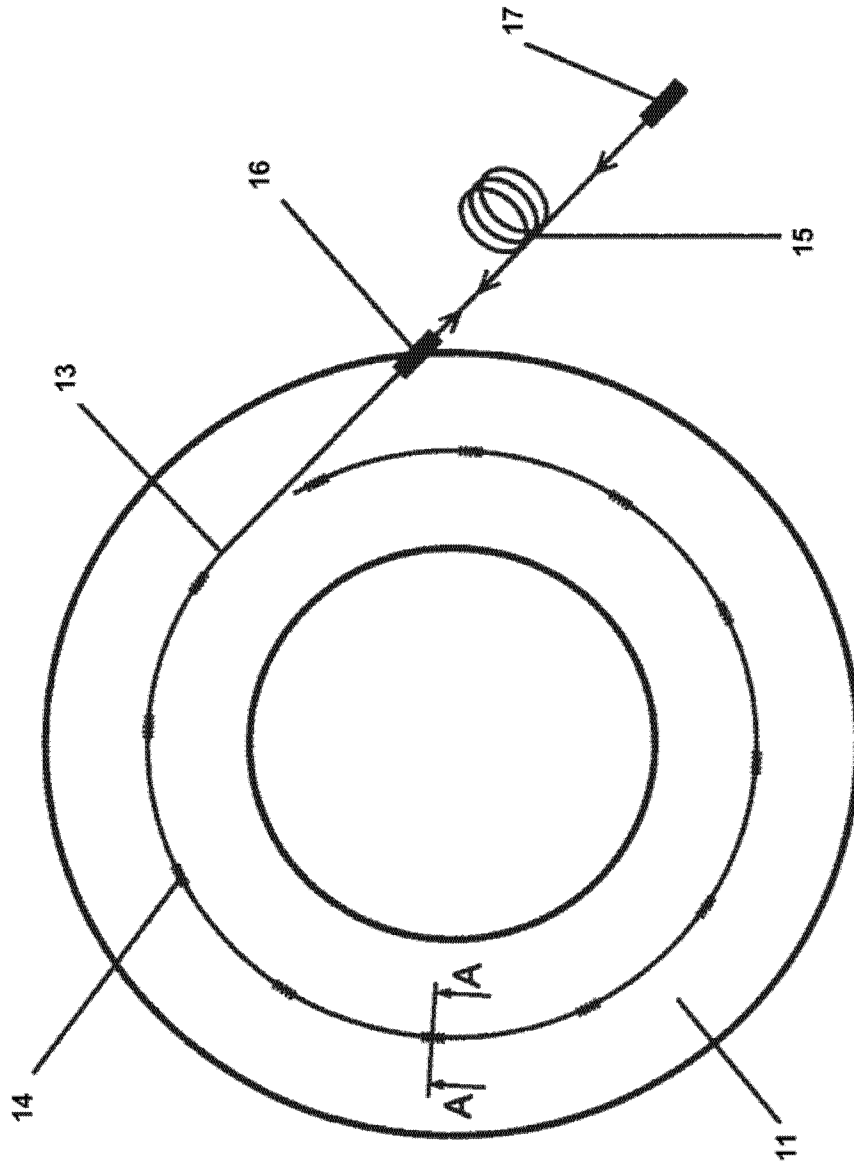


Fig. 2c

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01),

H01F 27/30 (2006.01)

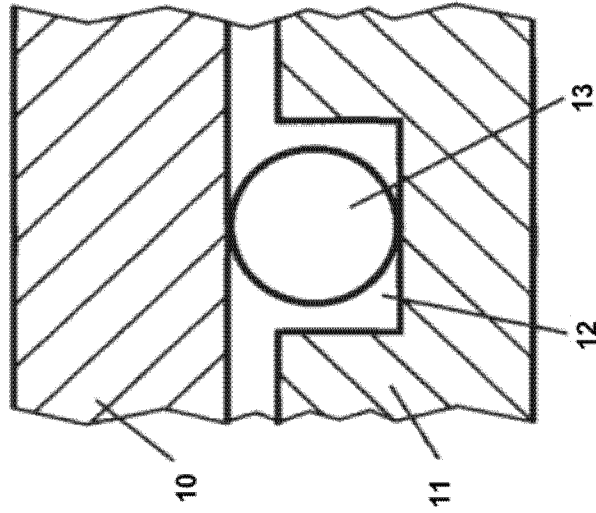


Fig. 3a

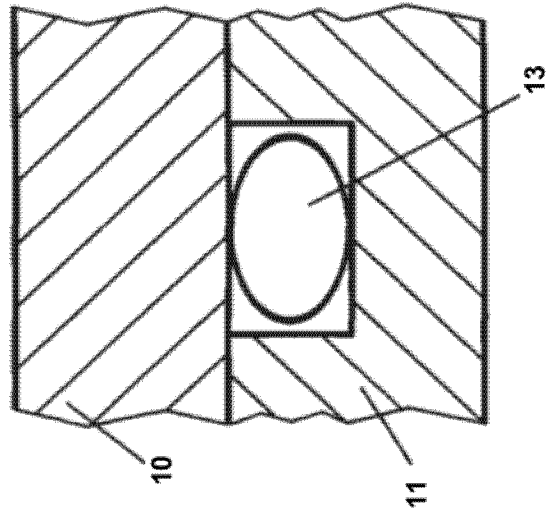


Fig. 3b

(51) Int.Cl.

G01B 11/16 (2006.01),

H01F 27/30 (2006.01)

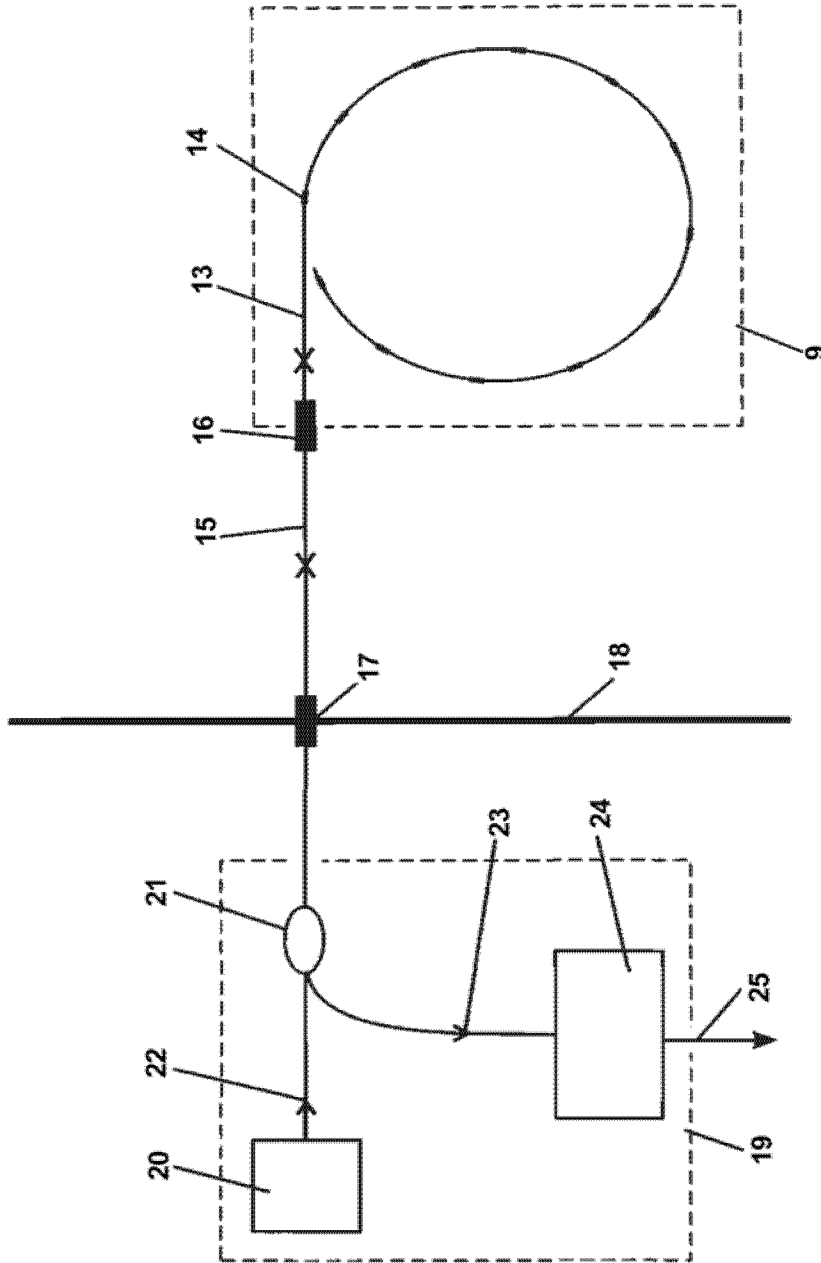


Fig. 4



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 332/2012