



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENTIE

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

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

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

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NATIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI
ÎNCERCĂRI PENTRU
ELECTROTEHNICĂ-ICMET,
CALEA BUCUREȘTI NR. 144, CRAIOVA,
DJ, RO

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

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

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor unui transformator de putere, în timpul funcționării acestuia. Dispozitivul conform invenției folosește ca element sensibil un senzor optic intrinsec de deformare, care constă dintr-o fibră optică (13) activă cu sensibilitate transversală la deformare, înglobată într-un inel de presare (11) a unor înfășurări de pe fiecare coloană a unui transformator, pe fibra optică (13) fiind înscrisă o succesiune de rețele Bragg (14), distribuite pe lungimea activă a fibrei optice (13), structura astfel realizată permitând ca, prin intermediul unui sistem de interogare/de multiplexare, să se determine profilul efortului de compresiune pe suprafața inelului de presare (11), indiferent de sistemul de presare utilizat în construcția transformatorului.

Revendicări: 5

Figuri: 7

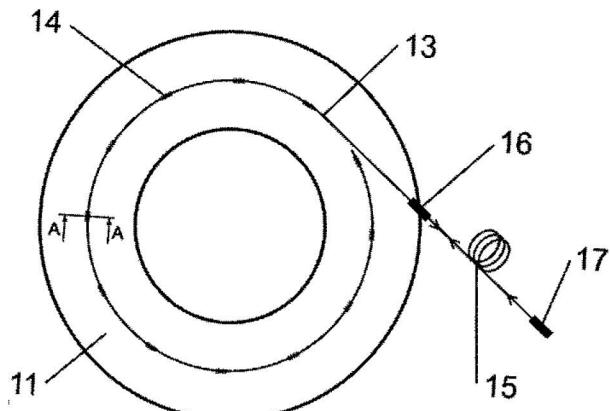


Fig. 4

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozitivelor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



89

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENTII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a..... 2010 ..00465 ..
Data depozit 31.-05.-2010 ..

**DISPOZITIV PENTRU MASURAREA SI MONITORIZAREA FORTEI AXIALE
DE STRINGERE A INFASURARILOR LA TRANSFORMATOARE DE PUTERE
IN TIMPUL FUNCTIONARII ACESTORA**

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

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

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 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 temperaturii și de starea generală a izolației.

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

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 intrusive (montate în interiorul transformatorului) sau neintrusive când sunt plasate în afara acestuia.

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 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.



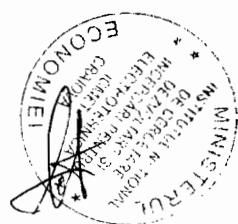
Metodele intrusive sunt bazate fie pe compensarea variației în timp a forțelor fie pe măsurarea și/sau controlul direct a forțelor axiale de strângere a fiecărui ansamblu de înfășurări.

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 transmiterea informației despre aceste forțe în afara transformatorului pentru prelucrare, analiză și decizie.

Această metodă și variantele ei, deși îndeplinește toate condițiile pentru măsurarea forței statice de presare și stabilirea obiectivă a variației în timp a acesteia și, în funcție de senzorii folosiți chiar și a forțelor dinamice, sunt sensibile la câmpurile electomagnetiche intense din interiorul transformatorului și numai prin măsuri speciale de ecranare electromagnetică pot fi folosite pentru măsurători on-line.

În brevetul US 3929010 este prezentată o metodă de compensare hidraulică a modificării în timp a forței de strângere axiale iar în brevetul US 5,327,113 se utilizează resoarte disc sub fiecare bulon de strângere, resoarte care permit într-o măsură compensarea variației în timp a forțelor axiale de-a lungul duratei de viață a transformatorului.

Într-un alt brevet, US 6,718,268, 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 semnalelor generate de senzorii SAW proportionale cu forța măsurată, se face wireless către un receptor aflat în afara cuvei transformatorului. Elementele elastice necesare pentru transmiterea forței de presare către senzori respectiv antenele acestora măresc dimensiunile sistemului, pot fi influențate de câmpul electromagnetic intens din transformator sau pot da naștere la încălziri locale, ceea ce până la



urmă afectează structura izolantă a inelului de presare și implicit a transformatorului.

Problema pe care o rezolvă propunerea de invenție constă în realizarea unui dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea directă a forței de strângere axială a înfășurărilor la transformatoare de putere în timpul funcționării acestora care asigură informația necesară pentru monitorizarea bazată pe condiții.

Dispozitivul conform invenției înlatură dezavantajele prezentate prin faptul că, în scopul reglării inițiale a forței de strângere axiale și a controlului variației acesteia pe durata de viață a transformatorului, folosește ca element sensibil un senzor optic intrinsec de deformatie care constă dintr-o fibră optică activă cu sensibilitate transversală la deformatie 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) distribuite pe lungimea activă a fibrei, structura 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.

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

Dispozitivul de măsurare, conform invenției, are urmatoarele avantaje:

-folosește ca senzor fibră optică, un dielectric ideal, cu rigiditate dielectrică superioară mediului izolant pe care îl parcurge;

-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.

-are siguranță intrinsecă la interferență electromagnetică, variații de temperatură și la mediul electroizolant utilizat în transformator;

-se poate aplica la orice sistem de strângere axială cunoscut;

-permite măsurarea simultană a forțelor statice de presare și a forțelor variabile în timp care apar în diferite regimuri de funcționare a transformatoarelor;

-permite integrarea în sistemele existente de monitorizare a transformatoarelor dintr-o stație de transformare;

-permite corectarea rezultatelor măsurătorilor 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 în firma constructoare.

În cele ce urmează se descrie un exemplu de realizare a dispozitivului care formează obiectul invenției în legătură cu figurile prezentate în continuare.

Fig.1 prezintă o vedere în perspectivă a părții active a unui transformator de putere trifazat în mod obișnuit amplasat în ulei dintr-o cuvă metalică, nefigurată pe desen.

Fig.2 include Fig.2a, 2b și 2c.

Fig.2a este o vedere în perspectivă a inelului de presare care integrează dispozitivul de măsurare conform invenției alcătuit din două inele de presare suprapuse.

Fig.2b este vederea de sus a inelului de presare inferior cu canalul în care se amplasează fibra optică conform invenției.



Fig.2c este vederea de sus a inelului de presare inferior cu senzorul din fibră optică conform invenției montat în canalul reprezentat în fig.2a și fig.2b.

Fig.3 include Fig.3a și 3c.

Fig.3a prezintă o secțiune a canalului în care se montează fibra optică cu sensibilitate transversală conform invenției în stare nesolicitată.

Fig.3b prezintă o secțiune a canalului în care se montează fibra optică conform invenției în stare solicitată.

Fig.4. Schemă de procesare a semnalului optic care poate fi utilizată de dispozitivul pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale la transformatoare conform invenției.

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

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

Fig.2a arată un exemplu de realizare a invenției în care inelul de presare 4 din fig.1 devine traductorul de forță 9 prin divizarea sa în două



inele suprapuse **10, 11** cu grosime totală identică cu a inelului de presare original **4** din care provine, inelul inferior **11** fiind prevăzut cu un canal **12** ca în fig.2b în care se plasează, ca în fig.2c, fibra optică activă **13**, care este elementul sensibil al traductorului de forță **9**.

Fig.3a arată la o scară mai mare o secțiune A-A prin inelul de presare **11**, canalul **12** de secțiune dreptunghiulară practicat în acest inel **11**, fibra optică activă **13** și inelul superior **10** în stare nesolicitată iar în Fig.3b aceeași structură în stare solicitată.

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

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

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

În fig.4 se prezintă schema bloc simplificată a unui astfel de sistem unde **13** este fibra optică activă conform invenției care are înscrise un număr de rețele Bragg **14**, conectorul optic **16** care cuplează fibra optică activă **13**



cu fibra optică pasivă **15** la rândul ei terminată printr-un conector optic de trecere **17** montat pe peretele cuvei **18** a transformatorului și echipamentul de achiziție și prelucrare a semnalului optic **19**.

Echipamentul **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 lumină reflectată **23** de rețelele Bragg **14** în funcție de deformația la care sunt supuse și un procesor de semnal optic **24** care utilizează una din 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.

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

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.

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.

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 funcție de temperatură (K_T), umiditatea din izolația hârtie-ulei (K_h), îmbătrânirea izolației (K_a), construcția specifică a transformatorului (K_m) etc. care dă posibilitatea corectării forței măsurate F_s astfel încât forța de strângere (corectată) este

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

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

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

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.



REVENDICĂRI

1. Dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoare de putere în timpul funcționării acestora **caracterizat prin aceea că**, în scopul reglării inițiale a forței de strângere axiale și a controlului variației acesteia pe durata de viață a transformatorului 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 încrisă o succesiune de rețele Bragg (FBG) 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.

2. Dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoare de putere conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că**, inelul de presare superior prin care se transmite forța de presare către înfășurările de pe coloanele transformatorului se transformă într-un traductor de forță prin divizarea sa pe grosime în două părți, partea inferioară având un canal în care este amplasată fibra optică activă, canal a cărui formă și adâncime adâncime permit transmiterea efortului de compresiune ca o solicitare transversală a fibrei optice.

3. Dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoare de putere conform revendicării 2 **caracterizat prin aceea că**, fibra optică activă utilizată este realizată din



31-05-2010

material polimeric în vederea corelării proprietăților mecanice ale inelului de presare cu proprietățile mecanice ale fibrei optice.

4. Dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoare de putere conform revendicării 2 **caracterizat prin aceea că**, fibra optică activă sensibilă la deformație transversală este conectată la fibra optică pasivă pentru transmiterea semnalului optic de la și la sistemul de achiziție și prelucrare a informației aflat în afara cuvei transformatorului, care printr-una din metodele cunoscute de demultiplexare a semnalului optic permite determinarea deformației/forței de compresiune în fiecare zonă a fibrei optice active unde este înscrisă o rețea Bragg.

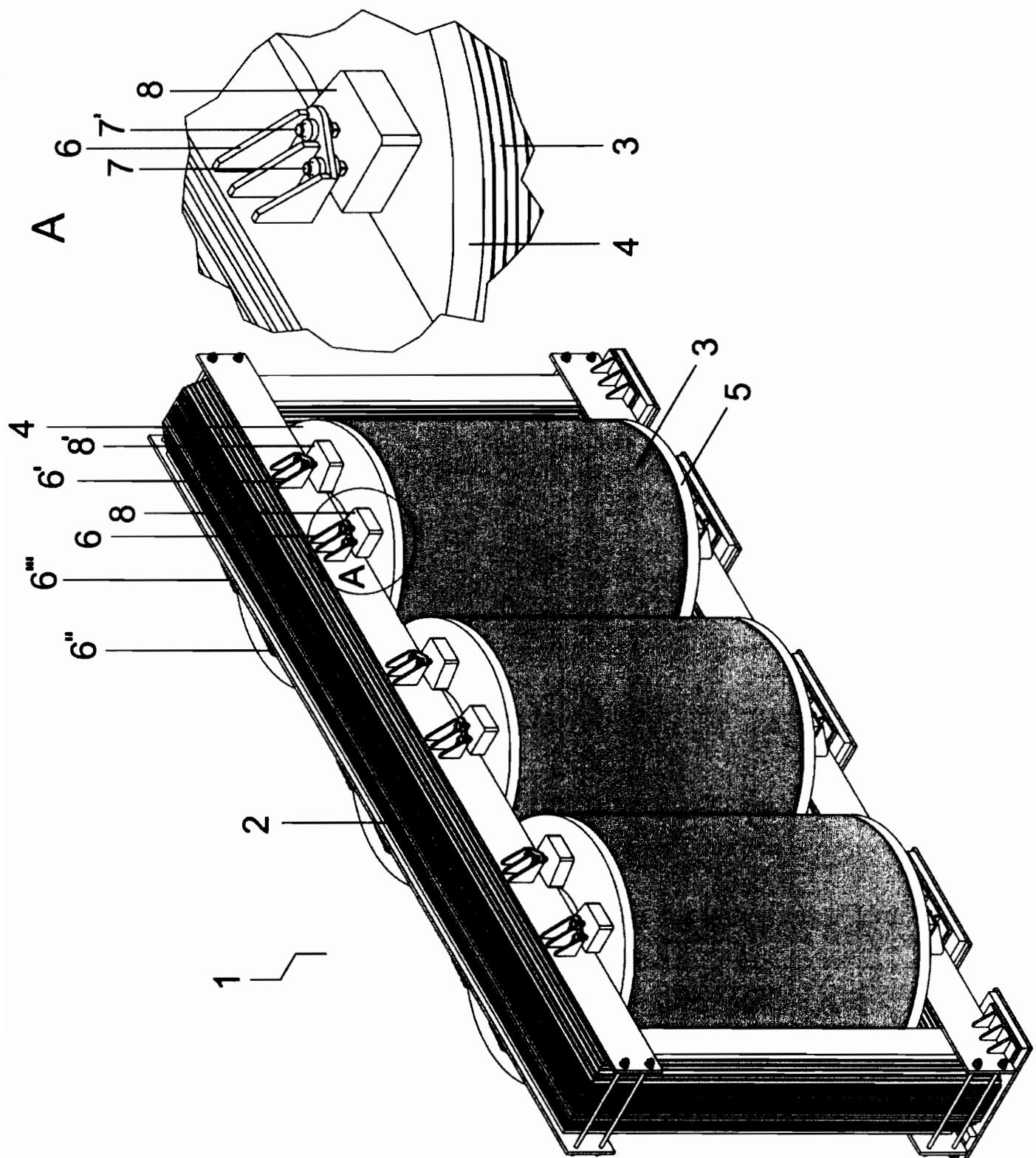
5. Dispozitiv pentru măsurarea și monitorizarea forței axiale de strângere a înfășurărilor la transformatoare de putere conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că**, valorile forței/forțelor axiale măsurate la un moment dat în timpul duratei de viață a transformatorului în anumite condiții de temperatură a înfășurărilor sau uleiului, de umiditate și de îmbătrânire a izolației hârtie-ulei sunt corelate în mod obiectiv cu valorile forței/forțelor inițial utilizate în fabrica constructoare pe baza unui software de aplicație care produce coeficienți de ponderare care au în vedere starea reală a transformatorului.



a-2010-00465--
31-05-2010

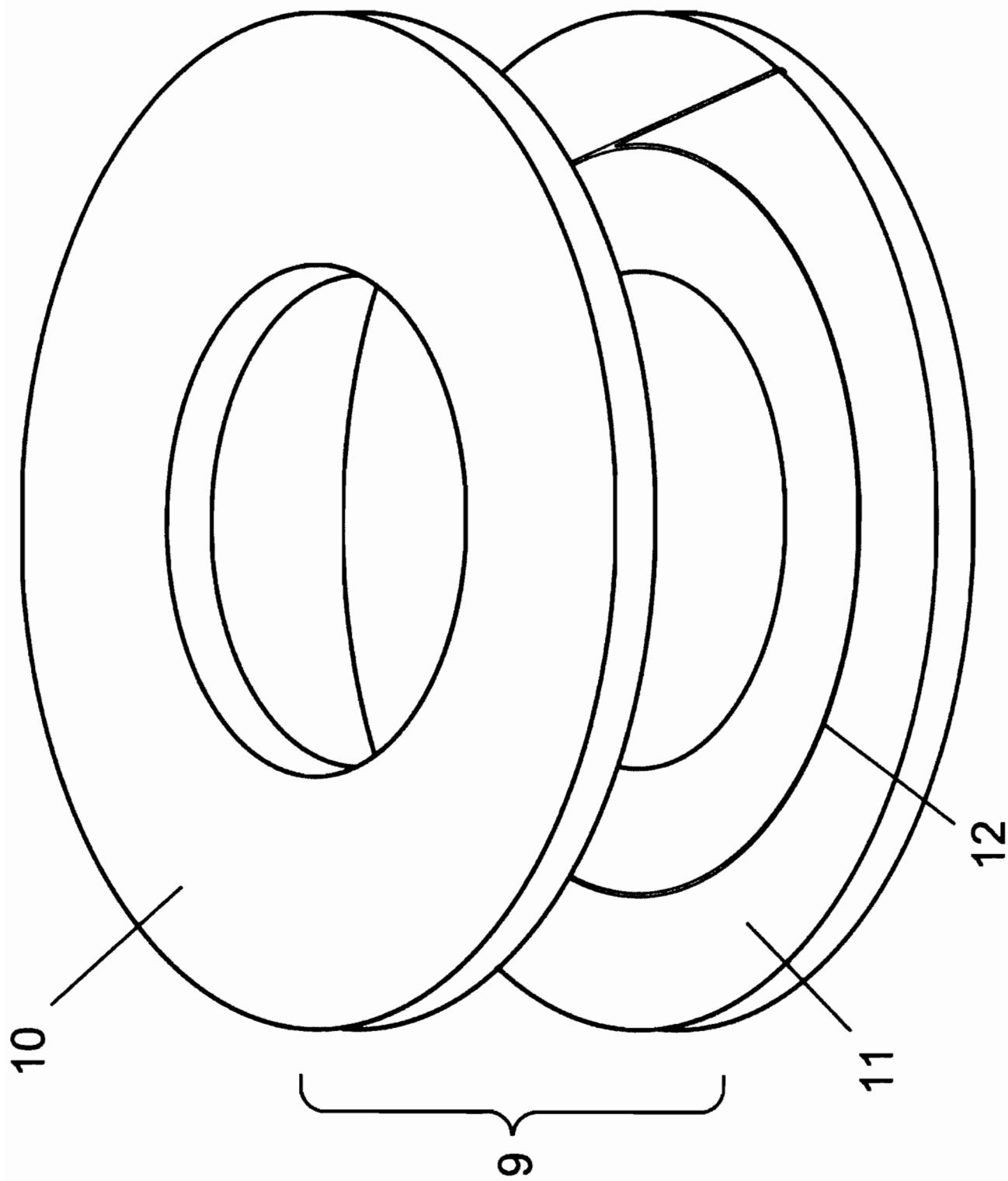
F. 1

44



0-2010-00465--
31-05-2010

F₁2_a
43

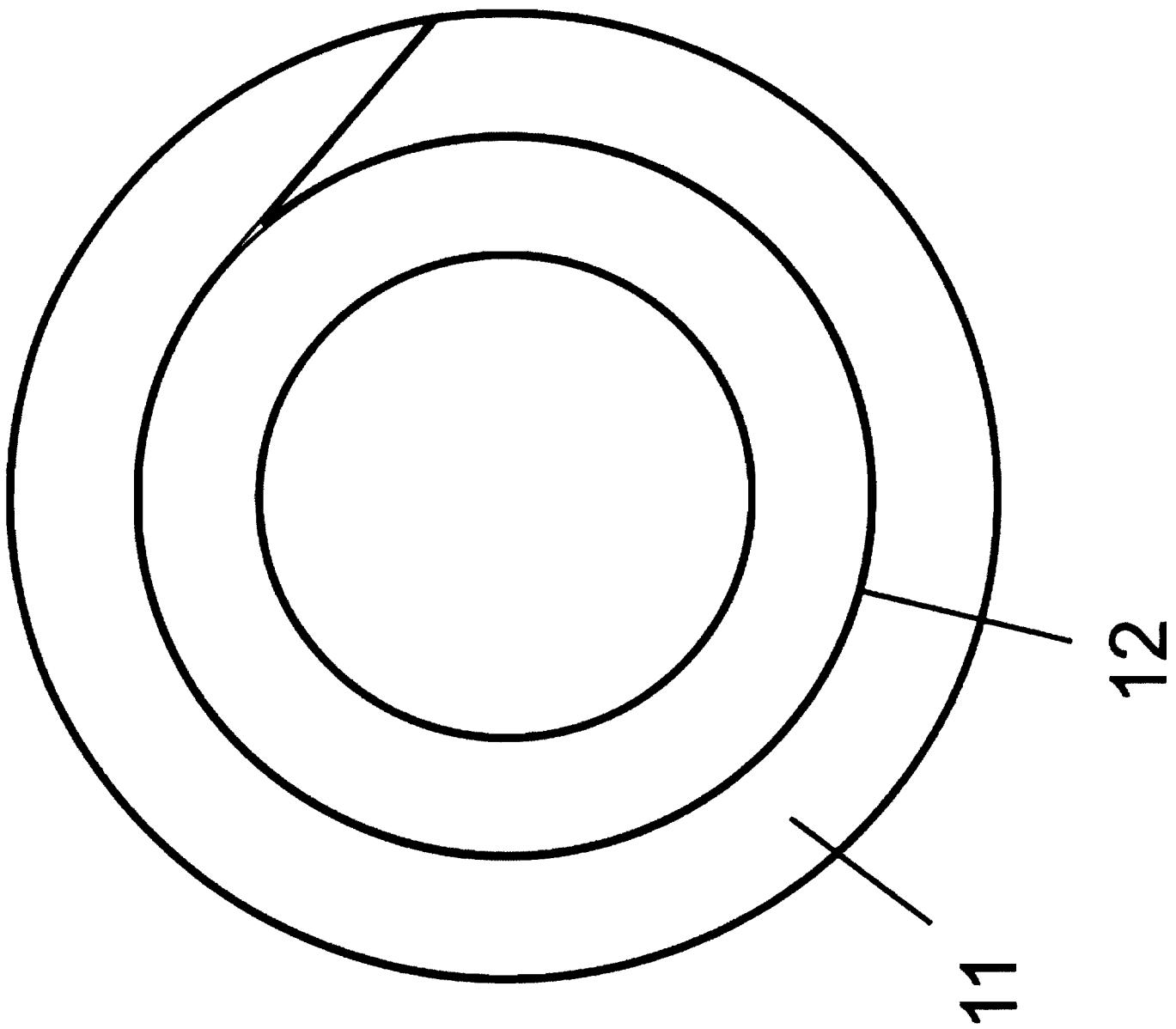


a-2010-00465--

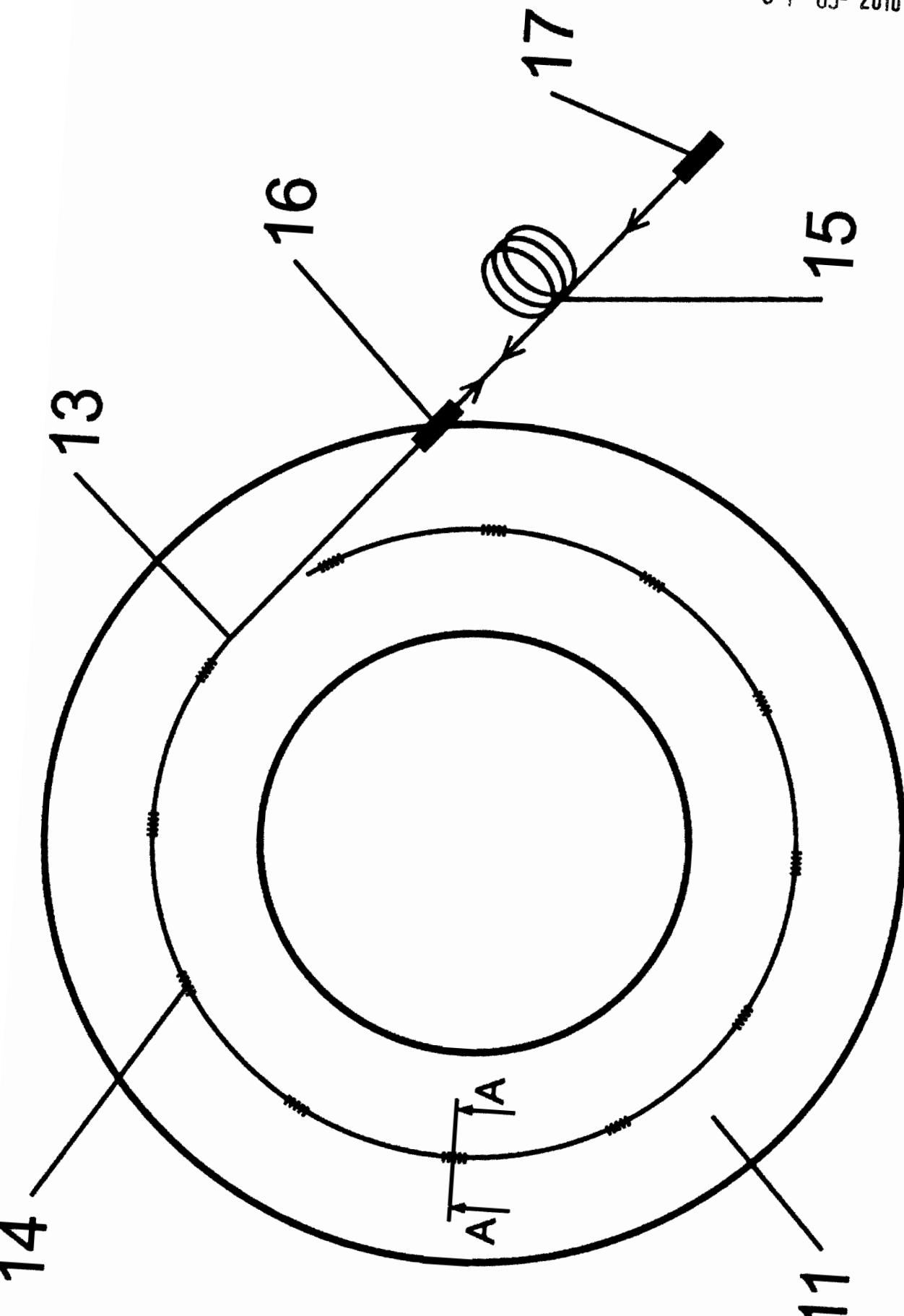
31-05-2010

Fig 26

42



0-2010-00465--
31-05-2010



a-2010-00465--
31-05-2010

40

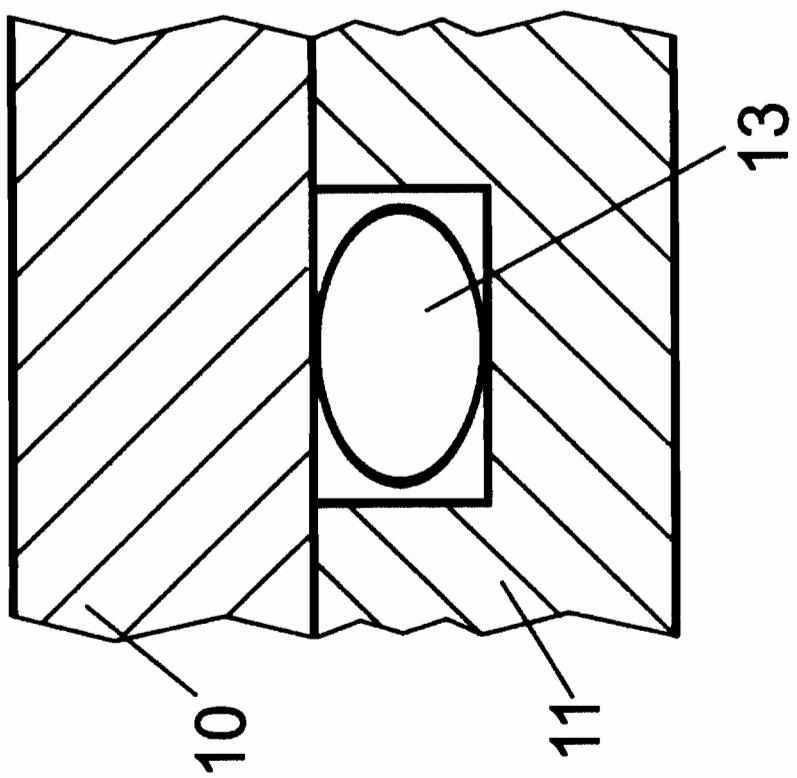


Fig. 3b

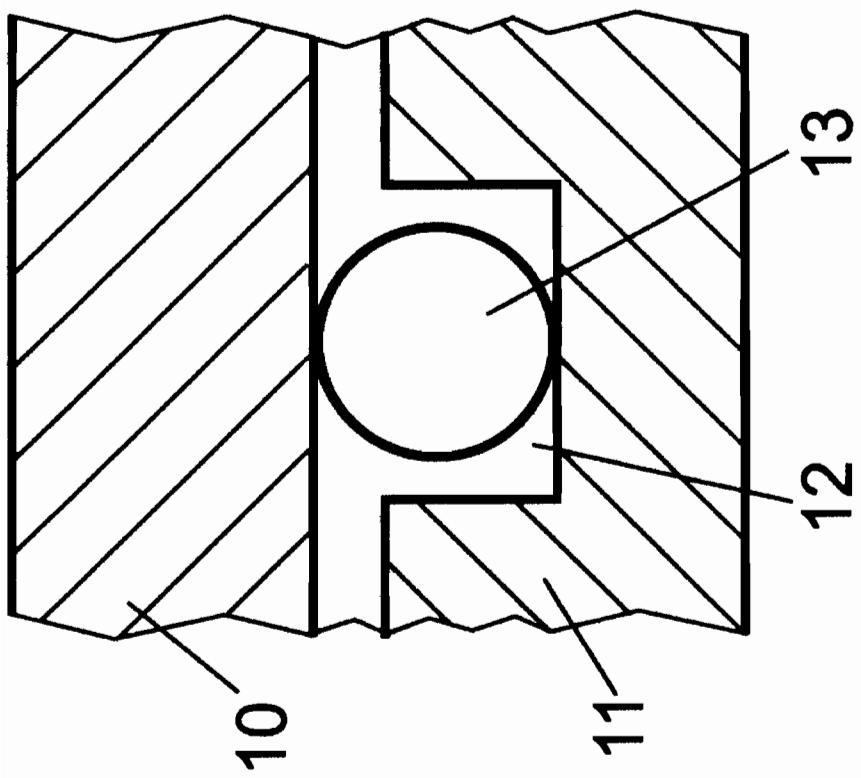


Fig. 3a



Q-2010-00465--
31-05-2010

32 Fig.4
39

