



MD 1842 C2 2002.01.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Protecția Proprietății Industriale

(11) 1842 (13) C2
(51) Int. Cl.⁷: G 01 V 7/00

(12) BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. depozit: 97-0173	(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului:
(22) Data depozit: 1995.10.04	2002.01.31, BOPI nr. 1/2002
(31) Nr.: 264610	
(32) Data: 1994.10.04	
(33) Țara: NZ	(85) 1997.05.06
(41) Data publicării cererii:	(86) PCT/GB95/02349; 1995.10.04
1999.01.31, BOPI nr. 1/1999	(87) WO 96/10759; 1996.04.11
(71) Solicitant: GRAVITEC INSTRUMENTS LIMITED, GB	
(72) Inventator: VERYASKIN Alexey Vladimirovich, RU	
(73) Titular: GRAVITEC INSTRUMENTS LIMITED, GB	
(74) Reprezentant : GLAZUNOV Nicolai, MD	

(54) Dispozitiv și metodă de măsurare a câmpurilor gravitaționale

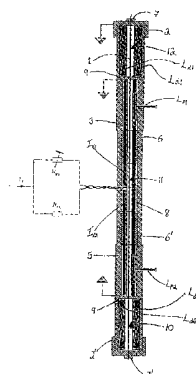
(57) Rezumat:

1
Dispozitivul de măsurare a câmpurilor gravi-
taționale include o strună supraconductoare (1) ce
se fixează la ambele capete, formând o parte a
unui circuit supraconductor închis, cuplat inductiv
cu doi solenoi de inducție (L_{d1} , L_{d2}). Deplasarea
strunei ca răspuns la câmpul gravitațional este
sesizată de două convertoare ale fluxului magnetic,
fiecare conținând o bobină de producere a
semnalului și două bobine de măsurare (L_{p1} ,
10 L_{p2}). Perechea de bobine de măsurare se situează
în două plane perpendiculare formând două canale
individuale de măsurare. Două brațe ale fiecărui
convertor al fluxului se echilibrează astfel încât să
transforme amplitudinea oscilațiilor pentru
propriile moduri asimetrice ale strunei în tensiune
de ieșire. Tensiunea de ieșire a fiecărui canal se
folosește pentru a produce distribuția curentului de
reacție (I_{y1} , I_{y2}) paralel, în apropierea imediată a
15 strunei. Ajustând curentul de reacție, pot fi ajustate
timpul de relaxare și frecvența de rezonanță ale
primului mod asimetric al strunei, atunci cand

2
modurile simetrice rămân neschimbate, ceea ce
perfecționează sensibilitatea dispozitivului față de
gradientul gravitației.

5 Revendicări: 21

Figuri: 2



MD 1842 C2 2002.01.31

MD 1842 C2 2002.01.31

3

Descriere:

Invenția se referă la măsurarea câmpurilor de gravitație și anume la gravimetrie, în special la procedeul de măsurare a valorilor absolute ale componentelor nedigonale ale tensorului gradientului de gravitație.

5 Tensorul gradientului de gravitație reprezintă o matriță bidimensională de derivați parțiali secundari ai potențialului de gravitație V față de coordonatele carteziene x, y, z ale unui sistem de coordonate ales arbitrar. El indică în ce mod se schimbă vectorul propriu-zis al gravitației în fiecare din aceste direcții de-a lungul axei.

10 Măsurările exacte ale valorilor absolute ale componentelor tensorului gradientului gravitației $\Gamma_{ij} = \partial^2 V / \partial x_i \partial x_j$ ($i, j = x, y, z$), efectuate pe un sistem local de coordonate $OXYZ$, sunt foarte importante pentru progresul în domeniile pronosticului geologic, întocmirii hărților câmpului de gravitație al Pământului, precum și pentru navigația cosmică, marină și submarină.

15 Metoda de măsurare absolută a componentelor tensorului gradientului de gravitație, care folosește balanța deformării rotirii cu mase cunoscute, suspendate la diferite înălțimi de pe o traversă orizontală, suspendată pe un filament subțire, a fost inventată de baronul Roland von Eotvos în 1890. Gradientii gravitației provoacă apariția forțelor diferențiale, aplicate asupra maselor, ceea ce duce la deformarea momentului torsiunii pe traversă și în consecință la devierea unghiulară a maselor, care poate fi detectată cu ajutorul unui senzor corespunzător. Sensibilitatea obținută poate fi de ordinul $1E$ ($1E=1$ Eotvos = 10^{-9} s^{-2}), dar pentru măsurarea numai într-o poziție sunt necesare câteva ore din cauza necesității recalculării componentelor gradientului de gravitație pe baza a cel puțin cinci măsurări independente ale devierii unghiulare, fiecare având alt unghi de azimut.

20 Dispozitivele create în practică în conformitate cu acest principiu de bază au dimensiuni mari și un grad mic de protecție antizgomot din mediul ambiant, astfel necesitând condiții special pregătite pentru măsurări, ceea ce exclude orice posibilitate de utilizare a acestor dispozitive pe purtător mobil.

25 Metoda de măsurare a valorilor absolute ale componentelor tensorului gradientului de gravitație, care perfecționează metoda sus-numită, a fost inventată de Forward la mijlocul anilor șazeci [1, 2]. Metoda include instalarea atât a generatorului oscilator, cât și a senzorului deplasării pe platformă, care se rotește uniform pe orizontală cu o frecvență anumită Ω față de axa filamentului rotativ. Generatorul apoi funcționează în regim de oscilații forțate cu o frecvență a rotirii dublată, pe când surse multiple de eroare și surse de zgomot se modulează pe frecvența rotirii sau nu se modulează (în particular zgomotul $1/f$). Amplitudinea oscilării forțate are valoare maximă, dacă frecvența rotirii corespunde condițiilor rezonanței $2\Omega = \omega_0$, în care ω_0 reprezintă frecvența unghiulară de rezonanță, iar factorul de calitate oscilator Q tinde la infinit. Spre deosebire de metoda în care nu se utilizează rotirea, această metodă permite determinarea rapidă a valorii $\Gamma_{yy} - \Gamma_{xx}$ și Γ_{xy} prin extragerea componentelor pătrate ale caracteristicii, folosind detectarea sincronă cu semnalul corespunzător al frecvenței 2Ω .

35 Același principiu se poate folosi direct, după cum presupune Metzger, dacă de înlocuit generatorul cu două sau mai multe accelerometre separate, amplasate în mod corespunzător pe așa o platformă mobilă [3]. Acest principiu nu are nici o specificație nouă în soluția sa în comparație cu cel cunoscut, cu excepția faptului că este necesară echilibrarea suplimentară a ieșirilor perechii de accelerometre.

40 Dispozitivele conform acestei metode au avut mai multe deficiențe, decât avantaje, în general din cauza necesității menținerii exacte a rotirii uniforme, precum și a măsurării deplasării mici față de sistemul rotitor de coordonate. Dispozitivele funcționau cu precizie maximă de ordinul catorva zecimi de Eotvos timp de o perioadă de măsurări egală cu o secundă și ele sunt extrem de sensibile la zgomotele de vibrație ale mediului ambiant din cauza frecvențelor lor relativ joase de rezonanță. Problemele tehnologice care apar în acest caz sunt într-un anumit sens dificile, astfel încât construcțiile elaborate existente ale gravimetrelor rotative la momentul actual sunt numai în stadiul de prototipuri, a căror precizie de măsurare este considerabil mai joasă decât evaluările teoretice limită.

45 În lucrarea lui N. Nicolaidis și A. Taramopoulos (Il Nuovo Cimento, vol. 107B, nr. 11, 1261-1266, noiembrie 1992) se examinează deplasarea teoretică a strunei cu capete fixate sub acțiunea unei unde gravitaționale monocromatice plane variabile în timp. Conform acestui document, struna cu capete fixate poate fi excitată până la starea de rezonanță asigurându-se unele condiții în funcție

MD 1842 C2 2002.01.31

4

de lungimea și orientarea strunei, precum și de lungimea undei gravitaționale. Se propune
posibilitatea utilizării analizei Fourier pentru deplasarea strunei cu scopul extragerii direcției și
energiei undei incidente. Acest document intenționat evită orice discuție a implementării tehnice
a

5

teoriei, dar propune insistent posibilitatea utilizării strunelor cu lungimea catorva metri sau catorva
kilometri pentru depistarea radiației cosmice sau radiației gravitaționale de la gaura neagră sau
steaua supranouă, deoarece lungimea strunei poate fi comparabilă cu lungimea undelor
gravitaționale. Pentru ca detectorul teoretic să funcționeze este necesară oscilarea câmpului de
gravitație sub formă de undă gravitațională, ceea ce este imposibil pentru câmpuri de gravitație,
asociate cu corpuri masive, cum este Pământul.

10

Se cunosc gravimetrele supraconductoare, care folosesc o pereche sau mai multe accelerometre
supraconductoare suficient distanțate [5, 6]. Chiar și după o reducere considerabilă a coeficientului
zgomotelor termice interioare și ale mediului ambiant, utilizarea supracurenților stabili pentru
echilibrarea ieșirilor accelometrelor și a celor mai sensibili senzori ai deplasării, bazați pe TICS
(traductori interferențiali cuantici supraconductori), aceste dispozitive nu pot măsura componentele
tensorului gradientului de gravitație la valorile lor absolute din cauza imposibilității lor de a fixa
poziția masei de control a accelerometrelor fără nici o forță. De aceea se pot măsura numai
deplasările relative ale maselor de control. Construcțiile rotative ale acestor gravimetre
supraconductoare sunt necunoscute.

15

20

Soluția proximă invenției este dispozitivul și metoda de măsurare a gravitației, în dispozitiv
folosindu-se o strună, menținută întinsă datorită unei greutate suspendate pe strună [7]. Curentul
care trece prin strună o forțează să oscileze în câmpul magnetic al unui magnet continuu. Semnalul
electric amplificat corespunzător acestei oscilații se emite înapoi către strună și struna începe să
oscileze cu o frecvență prestabilită în consecința autoexcitației. Accelerarea datorită gravitației se
măsoară la această frecvență, adică se formează un semnal de ieșire, constituind funcția câmpului de
gravitație.

25

Dispozitivul și metoda menționate nu sunt lipsite de neajunsuri, înlăturarea cărora reprezintă
problema prezentei invenții.

30

Problema pe care o rezolvă invenția constă în crearea unui dispozitiv de măsurat câmpurile de
gravitație cu dimensiuni micșorate, având perfecționate sensibilitatea și nepercepția zgomotelor în
comparație cu sistemele cunoscute.

35

Încă o problemă a invenției constă în crearea unui dispozitiv nou de măsurat valorile absolute
ale componentelor nediagonale ale tensorului gradientului gravitației, în care efectul rotirii se
înlocuiește prin interacțiunea parametrică între elementul senzitiv și conectările răspunsului,
datorită cărui fapt se realizează sensibilitatea și rezistența perfecționată la zgomotul de vibrație.

40

O problemă a invenției mai este și realizarea tehnologică simplă a dispozitivului sus-descriș,
care folosește principiile tehnologiei standard ale supraconductibilității, care au demonstrat
capacitatea atingerii sensibilității maxime pentru măsurările deplasării mecanice, precum și pentru
păstrarea zgomotului intern la nivel minim.

45

Pentru rezolvarea acestor probleme invenția reprezintă un dispozitiv de măsurat câmpurile de
gravitație cvasistatice, conținând o strună întinsă, și un mijloc de generare a semnalului de ieșire,
care este funcție a câmpului de gravitație, caracterizat în modul următor: struna se fixează la
ambele capete; dispozitivul conținând un mijloc de detectare a deplasării transversale a strunei din
stare de repaus sub acțiunea câmpului de gravitație, mijlocul de generare a semnalului de ieșire
fiind realizat cu posibilitatea reacționării la deplasarea strunei.

50

Dispozitivul conform invenției este caracterizat prin aceea că mijlocul de detectare a deplasării
transversale a strunei conține cel puțin doi senzori amplasați simetric față de punctul mediu al
strunei în direcție longitudinală.

55

De asemenea, dispozitivul are struna formată din material conductor cu posibilitatea de a
conduce curentul I_0 .

Dispozitivul conține de asemenea cel puțin un mijloc conductor amplasat în apropiere imediată
de strună, realizat cu posibilitatea de a conduce curentul I_x , a cărui valoare este funcție a
semnalului de ieșire al mijlocului de detectare a deplasării transversale a strunei, mijlocul conductor
și struna fiind instalate cu posibilitatea interacționării câmpurilor magnetice, excitate de curentul I_y
în mijlocul conductor și curentul I_0 în strună, formând forța de răspuns, care acționează asupra
strunei, majorând deplasarea transversală a strunei din stare de repaus ca răspuns la câmpul de
gravitație care acționează asupra strunei.

MD 1842 C2 2002.01.31

5

Dispozitivul conform invenției este caracterizat prin aceea că el conține cel puțin două mijloace conductoare amplasate simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală, cu posibilitatea de a conduce prin fiecare părți egale de curent menționat I_y .

5 În plus, dispozitivul conține un mijloc de asigurare a trecerii periodice a curentului I_y prin mijloacele conductoare menționate.

Dispozitivul mai este caracterizat prin aceea că mijlocul de detectare a deplasării transversale a strunei conține, cel puțin, o bobină de măsurare, instalată cu posibilitatea inducerii în ea a curentului I_p cu ajutorul curentului I_o în strună, curentul I_p reprezentând funcția deplasării strunei.

10 Dispozitivul, de asemenea, are struna realizată cu posibilitatea de a conduce prin ea curentul alternativ I_o .

În afară de aceasta, dispozitivul conține un mijloc de inducere în strună a curentului menționat I_o .

Dispozitivul conform invenției este caracterizat prin aceea că mijlocul de inducere conține doi solenoizi amplasați simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală.

15 În plus, dispozitivul are struna formată din material supraconductor.

Dispozitivul este de asemenea caracterizat prin aceea că mijlocul de detectare a deplasării transversale a strunei este realizat cu posibilitatea depistării ei în două plane neparalele.

20 Noțiunea "strună" nu presupune o anumită limitare în ceea ce privește materialul sau construcția. Se folosește orice element longitudinal de întindere, care poate devia în direcție transversală sub acțiunea câmpului de gravitație și poate asigura forța redresării.

Struna flexibilă întinsă în stare de repaus cu capetele fixate formează o linie absolut dreaptă în spațiu, care trece prin punctele unde se fixează capetele strunei. Această linie poate fi identificată ca una din axele sistemului local de coordonate, de exemplu Z , iar altele două X și Y , se aleg astfel încât să se plaseze în planele transversale (față de strună). Orice deviere a strunei de la această linie este provocată de valorile absolute ale componentelor transversale ale forței pentru o unitate de lungime, care se aplică la fiecare segment unitar al strunei.

25 Dacă vom examina un alt aspect al invenției, el va reprezenta o metodă de măsurare a câmpurilor de gravitație cvasistatice, ce include întinderea strunei și generarea semnalului de ieșire, acesta constituind funcția câmpului de gravitație, caracterizată în modul următor: struna se fixează la capete, se detectează deplasarea transversală a strunei din starea de repaus sub acțiunea câmpului de gravitație, iar semnalul de ieșire se generează ca răspuns la deplasarea detectată.

Metoda conform invenției este caracterizată prin aceea că pentru generarea semnalului de ieșire se măsoară deplasarea spațială din stare de repaus a, cel puțin, unui punct pe strună și după rezultatele acestei deplasări se generează semnalul de ieșire.

35 De asemenea, în metodă deplasările spațiale față de starea de repaus se măsoară pentru un număr par de puncte pe strună, iar punctele se aleg de-a lungul strunei în pereche, simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală.

În plus, metoda este caracterizată prin aceea că punctele menționate corespund pozițiilor venturilor propriilor moduri asimetrice ale undelor staționare în strună.

40 Conform metodei deplasarea strunei se mărește prin aplicarea forței de răspuns asupra strunei, forța fiind funcția câmpului de gravitație care acționează asupra strunei.

De asemenea, metoda este caracterizată prin aceea că se aplică forța de răspuns, care este funcție directă a semnalului de ieșire.

45 În metoda conform invenției prin forța de răspuns se amplifică componentele configurației spațiale ale modurilor asimetrice ale oscilațiilor proprii ale strunei față de componentele configurației spațiale ale modurilor simetrice.

Metoda de asemenea se caracterizează prin aceea că deplasarea se măsoară în două plane neparalele.

50 În fine, în metodă struna deviază din starea de repaus prin acțiunea valorilor absolute ale componentelor forței transversale față de strună pe o unitate de lungime, forța fiind depusă la fiecare unitate de lungime a strunei, astfel încât devierea reprezintă combinația modurilor oscilațiilor proprii ale strunei, modurile pare fiind cauzate numai de valori absolute ale componentelor gradientului gravitației în direcția strunei, pe când modurile impare sunt cauzate de accelerarea sumară în planul transversal față de strună.

55 Noul ansamblu de elemente permite rezolvarea problemelor stipulate și obținerea rezultatului descris în continuare.

Devierea strunei din starea de repaus poate fi ușor detectată cu ajutorul oricărui dispozitiv de detectare a deplasării potrivit.

Se recomandă ca struna să fie confecționată din material conductor, dar cel mai preferabil este un material supraconductor. În acest caz, dacă prin strună trece curent electric, în planul transversal și de-a lungul direcției strunei se formează un câmp magnetic distribuit. Dacă struna este executată din material cu proprietăți de supraconductibilitate, poate fi aplicat curent maxim și se poate atinge sensibilitatea ulterioară maximă la deviere. Curentul continuu sau alternativ se poate forma în strună prin intermediul încorporării strunei în schema de trasare a curentului electric sau direct prin legătura inductivă cu schema(ele) de pompare cu condiția că struna formează o parte de contur închis conductor sau supraconductor. Curentul alternativ se poate induce în strună, de exemplu, prin intermediul unei sau mai multor bobine simetrice amplasate preferențial longitudinal, care pot avea proprietăți de supraconductibilitate. Utilizarea curentului alternativ are avantaje în sensul că el face posibilă executarea detectării sincronice a semnalului de ieșire.

Când struna conduce curentul, câmpul magnetic transversal în jurul strunei poate interacționa cu alți conductori sau supraconductori prin intermediul legăturii inductive. Amplitudinea curentului indus în conductor în apropiere directă de strună se poate raporta direct la distanța strunei de la conductor. Astfel, în varianta preferențială a invenției una sau mai multe bobine de măsurare fixate se amplasează pe toată lungimea strunei, pentru a acționa ca mijloc de detectare a deplasării, curentul indus în fiecare bobină raportându-se direct la deplasarea strunei față de poziția ei de repaus.

În varianta preferențială a invenției mijlocul de detectare a deplasării conține cel puțin doi senzori, posibil bobine de măsurat, amplasate simetric în direcție longitudinală față de punctul mediu al strunei.

În varianta cea mai preferențială a invenției senzorii de deplasare, de exemplu, bobinele de măsurat sunt amplasate în apropiere imediată de strună în două plane neparalele, preferențial perpendiculare, pentru a reprezenta posibilitatea măsurării deplasării strunei în două direcții transversale concomitent.

Trebuie de înțeles că deplasarea strunei cu lungimea l din poziția de repaus, de exemplu, în direcția y a sistemului sus-citat de coordonate ca funcție a poziției după axa z a unui segment unitar de lungime și timp, $y(z, t)$, poate fi descrisă prin următoarea ecuație diferențială:

$$\eta \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(z, t) + h \frac{\partial}{\partial t} y(z, t) - YA \frac{\Delta l \partial^2}{l \partial z^2} y(z, t) = -\eta g_y(0, t) - \eta \Gamma_{yz}(0, t) z + f_L(z, t) \quad (1),$$

cu condiții limită conforme capetelor fixate ale strunei, adică $y(0, t) = y(l, t)$. În această ecuație η reprezintă masa strunei la o unitate de lungime, h - coeficientul de frecare la o unitate de lungime, parametrii Y , A și $\Delta l/l$ - modulul Young al strunei, aria secțiunii ei transversale și întinderea strunei, respectiv. Valorile $g_y(0, t)$ și $\Gamma_{yz}(0, t)$ sunt valori absolute ale componentei y a accelerației totale și a componentei corespunzătoare a tensorului gradientului de gravitație de-a lungul strunei, ambele fiind măsurate în centrul sistemului local de coordonate ales. Funcția $f_L(z, t)$ reprezintă forța liberă Langevin la o unitate de lungime, care acționează asupra strunei datorită interacțiunii ei cu termostatul având temperatura absolută T cu următoarea funcție a corelației:

$$\langle f_L(z, t) f_L(z' t') \rangle = 4k_B Th \delta(z - z') \delta(t - t') \quad (2)$$

în care $k_B = 1.4 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ reprezintă constanta Boltzmann, iar $\delta(x-x')$ reprezintă delta-funcție.

În această descriere direcția y a fost aleasă ca exemplu arbitrar pentru a simplifica explicarea principiilor invenției. Însă, analiza sus-citată și următoare în aceeași măsură este aplicabilă la orice direcție transversală față de strună sau orice număr de direcții.

La folosirea analizei Fourier pentru o formă complexă a strunei, cauzate de interacțiunea ei cu câmpul de gravitație, funcția $y(z, t)$ poate fi descrisă în limitele $z=0$ până la $z=l$, printr-o sumă infinită de funcții sinusoidale cu perioada $2l$ cu coeficienții corespunzători $C_{y(n, t)}$. Astfel, soluția ecuației (1), care satisface condițiile limită sus-citate, poate fi prezentată prin următoarea sumă, în care fiecare n corespunde unuia din modurile de vibrație proprii ale strunei.

$$y(z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_y(n, t) \sin\left(\frac{\pi n}{l} z\right) \quad (3)$$

La înlocuirea ecuației (3) cu ecuația (1) și la înmulțirea părților ei stângă și dreaptă cu $\sin(\pi n' z/l)$ și apoi la integrarea ambelor părți prin z de la 0 până la 1, se poate obține ecuația diferențială pentru $C_{y(n, t)}$:

$$\frac{d^2}{dt^2} c_y(n, t) + \frac{2d}{\tau dt} c_y(n, t) + \omega_n^2 c_y(n, t) = \frac{2}{\pi n} [(-1)^n - 1]^n g_y(0, t) + (-1)^n \frac{2l}{\pi n} \Gamma_{yz}(0, t) + \frac{2}{\eta l} \int_0^1 dz f_L(z, t) \sin\left(\frac{\eta n}{1} z\right) \quad (4)$$

in care valorile

$$\omega_n = \frac{\pi n}{1} \sqrt{\frac{Y \Delta l}{\rho l}} \quad (5)$$

- 5 reproduc frecvențele proprii ale strunei, τ și ρ reprezintă timpul relaxării și densitatea volumetrică a masei strunei, respectiv.
- Cand n ia valoare pară, adică pentru acei termeni ai sumei infinite în ecuația (3), care corespund modurilor de vibrație ale strunei cu nod la $z = l/2$ (moduri asimetrice), termenul care include $g_y(0, t)$ este egal cu zero. Astfel, pentru n par C_y depinde numai de Γ_{yz} (și zgomotul termic).
- 10 În practică aceasta înseamnă că amplitudinea C_y a componentelor sinusoidale asimetrice ale devierii strunei în direcția y , $(y(z, t))$, depinde numai de valoarea componentei tensorului gradientului de gravitație Γ_{yz} .
- Punctul mediu al strunei $z=l/2$ se află în poziția nodului în toate modurile asimetrice de vibrație ale strunei. Dacă senzorii se amplasează simetric în direcție longitudinală față de acest punct, apare
- 15 posibilitatea identificării deplasărilor strunei, conforme cu modurile proprii asimetrice de vibrație ale strunei cu excepția deplasărilor conforme modurilor simetrice, asupra valorii cărora influențează nu numai componenta tensorului gradientului de gravitație Γ_{yz} , dar și accelerarea absolută datorită gravitației în direcția y , g_y .
- Avantaje deosebite oferă amplasarea senzorilor deplasării în $z=l/4$ și $z=3l/4$, poziții
- 20 corespunzătoare ventrului primului mod asimetric de vibrație al strunei $n=2$. În aceste puncte deplasarea strunei corespunzătoare modului $n=2$, este la maxim și astfel semnalul de ieșire de asemenea va fi la maxim, dând o sensibilitate maximă.
- În conformitate cu dezvoltarea ulterioară a invenției, în apropiere imediată de strună se poate plasa un conductor. Conductorul poate conduce curent, legat direct cu semnalul de ieșire al
- 25 dispozitivului de detectare, datorită utilizării circuitului pozitiv de răspuns. Curentul se poate activa continuu sau periodic, de exemplu în regim conectat-deconectat. În acest caz o mică deplasare a strunei sub acțiunea câmpului de gravitație se va amplifica prin interacțiunea magnetică a strunei și conductorului. Altfel spus, conductorul va “împinge” (sau “trage”) struna, deplasand-o încă mai mult, nemijlocit ca răspuns la o deplasare neînsemnată, cauzată de acțiunea câmpului de gravitație
- 30 asupra strunei. Aceasta are avantaje exprese în ceea ce privește faptul că deplasarea strunei devine mai mare datorită interacțiunii magnetice cu conductorul și de aceea ea poate fi mai ușor măsurată, ceea ce perfecționează sensibilitatea dispozitivului.
- În varianta deosebit de preferabilă a elaborării în cauză două sau mai multe conductoare, posibil supraconductoare, se amplasează în direcție longitudinală simetric față de centrul strunei, astfel
- 35 încât ele amplifică modurile asimetrice ale strunei.
- În fine, varianta preferențială a invenției propune un dispozitiv nou pentru măsurări concomitente ale valorilor absolute ale perechii de componente nediagonale ale tensorului gradientului de gravitație prin intermediul strunei flexibile supraconductoare, conductoare de
- 40 curent, cu capete fixate, conținând contacte active ale răspunsului parametric. Struna reprezintă un element sensibil coerent, în care propriile moduri transversale simetrice sunt cauzate de accelerarea totală în plan transversal, pe când modurile asimetrice sunt create numai de valorile absolute ale componentelor gradientului de gravitație de-a lungul direcției strunei.
- În această variantă struna formează o parte inductivă joasă a circuitului închis supraconductor, care este cuplat inductiv cu un solenoid(zi) de inducție înaltă de excitare, care conduce curent
- 45 alternativ de referință de la sursa exterioară de pompare cu frecvență anumită Ω . Struna de asemenea este legată inductiv cu două convertoare supraconductoare ale fluxului magnetic, fiecare conținând o bobină a semnalului și două bobine de măsurare, perechile de bobine de măsurare amplasandu-se în două plane perpendiculare, linia de intersecție a cărora coincide cu struna în stare de repaus, formând astfel două canale independente de măsurări. Două brațe ale fiecărui convertor
- 50 supraconductor de flux se echilibrează pentru a executa numai transformarea modurilor proprii

asimetrice ale strunei in curentul semnalului în bobina semnalului pentru măsurare cu ajutorul dispozitivelor electronice pe TICS (traductoare interferențiale cuantice supraconductoare). Tensiunea de ieșire a fiecărui canal, modulată profund cu frecvența Ω , devine apoi proporțională cu amplitudinile modurilor proprii asimetrice ale strunei. Această tensiune trece printr-un amplificator de diferențiere și de sumare și apoi se folosește în calitate de sarcină a circuitului de răspuns în

5 apropiere directă de el și paralel cu struna. Prin intermediul ajustării curentului răspunsului se poate respectiv mări și micșora timpul eficient de relaxare și frecvența de rezonanță a primului mod propriu asimetric al strunei (amplitudinea căruia depinde numai de gradientul de gravitație de-a lungul strunei), aceiași parametri pentru modurile proprii simetrice (amplitudinea căroră depinde de

10 accelerarea totală în planul transversal față de arc) rămânând neschimbați. În practică schema răspunsului deplasează nivelul zgomotului Brown și de vibrație considerabil mai jos de sensibilitatea necesară pentru aplicare industrială.

În continuare se va descrie varianta preferențială a invenției numai pe exemplul și cu referire la următoarele desene, care reprezintă:

15 fig. 1, imaginea schematică generală a variantei preferențiale a invenției,

fig. 2, schema dispozitivului în secțiune transversală pe verticală în conformitate cu varianta preferențială a invenției.

Mostra experimentală cu un canal a dispozitivului conform invenției (vezi fig. 2) are o strună flexibilă 1. Struna se formează preferențial din material supraconductor, ca de exemplu niobiul

20 (Nb). Sârma din niobiu este cea mai bună alegere, deoarece ea are caracteristici optime de elasticitate, verificate în vederea proprietăților funcționale la 4.2K. Struna formează partea inductivă joasă L_0 a circuitului închis supraconductor. Partea rămasă a circuitului este închisă de mantaua dispozitivului 2, 2', 3, 4, 5.

În această variantă struna are lungimea $l = 24$ cm, 1 mm în diametru și se fixează la capete de două capace 2, 2' din Nb de formă cilindrică, fiecare capac având un orificiu în centru cu diametrul de 1 mm. Capacele 2, 2' închid strans capetele cilindrului din Nb, care conține trei părți 3, 4, 5,

25 unite împreună cu două inele cilindrice din Nb 6, 6' cu un filet subțire. Părțile 3 și 5, de asemenea au filet pentru a asigura unirea mecanică a altor elemente ale construcției. Struna se întinde cu două piulițe din Nb 7, 7', având filet subțire de 1 mm.

30 Construcția în întregime formează o cavitate cilindrică supraconductoare închisă cu struna amplasată axial. În interiorul acestui volum sunt instalate o țevă 8 de titan și garnituri 9, sunt trei zone 10, 11, 12 cu o izolare electromagnetică pe cât se poate de completă reciprocă cu garniturile 9 din Nb. Bobinele supraconductoare de măsurat în apropiere imediată de L_{p1} și L_{p2} , se amplasează în apropiere imediată de struna 1 și cu condiția echilibrării perfecte se scot două brațe ale convertorului supraconductor al fluxului magnetic în regimul transformării numai a modurilor proprii asimetrice în curentul semnalului I_s , care se detectează cu ajutorul sesizorilor electronici 13 pe TICS (vezi fig. 1). Semnalul de ieșire de la sesizorul 13 se debitează la blocul 14 legat, de asemenea, cu sursa de pompare 15. În plus, sesizorul 13 este unit și cu amplificatorul 16 de diferențiere și de sumare. Struna formează partea inductivă joasă L_0 a circuitului închis supraconductor, având legătură inductivă asupra solenoidului (zilor) de inducție înaltă de excitare L_d , care conduce curent alternativ de referință $I_d(t)$ de la sursa exterioară de pompare cu o frecvență

35 anumită Ω . În două din ele 10, 12 se amplasează solenoizii toroidali de excitare L_{d1} și L_{d2} , înfășurați cu sârmă de Nb cu diametrul 0.01 mm și conectați în serie, formând astfel o inductivitate comună mare M_d între $L_d = L_{d1} + L_{d2}$ și inductivitatea cavității cilindrice L_0 , care constituie ordinul 10^{-7} H pentru dimensiuni alese. Raportul M_d/L_0 este de ordinul 5×10^2 , de aceea dacă curentul alternativ de pompare $I_d(t)$ în solenoizii de excitare are amplitudinea de cca 100 mA, supracurentul alternativ indus I_0 , trecând prin strună, are amplitudinea maximă de cca 50A. În acest caz componenta circulară corespunzătoare a inducției magnetice B pe suprafața strunei constituie aproximativ 200 Gauss, ceea ce este de aproximativ 4 ori mai puțin decât primul câmp critic de niobiu B_{c1} .

40 Două bobine de măsurat de tip dreptunghiular L_{p1} și L_{p2} ale convertorului supraconductor al fluxului și schema activă a răspunsului se instalează împreună pe o țevă de titan 8, amplasată în interiorul părții centrale a construcției, ilustrate în fig. 2. Titanul se alege intrucat coeficientul lui de dilatare termică se acordă cu parametrii analogici ai niobiului. Schema activă a răspunsului conține două brațe din sârmă izolată de aramă cu diametrul 0,5 mm, întinsă paralel cu struna și conducând curentul răspunsului $I_{y1} = I_{y1} + I_{y2}$.

55 Această construcție are avantaje deosebite: de exemplu, configurația supraconductoare închisă asigură ecranarea optimă de la câmpurile electromagnetice exterioare variabile. În plus, configurația cilindric simetrică are dimensiune radială mică, care constituie cel mult 3,8 cm în diametru, inclusiv

toate părțile componente ale mostrei experimentale. Astfel, se poate folosi un vas industrial standard de heliu lichid cu capacitatea de 100 L, având orificiu de intrare de cca 4 cm în diametru pentru răcirea construcției cu ajutorul unei sonde standard. Criostate speciale de heliu, utilizate pentru dispozitivele cunoscute, exclud posibilitatea înlăturării dispozitivului din volumul interior al criostatului, de exemplu, dacă se întâmplă ceva, pentru reajustarea dispozitivului în condiții de câmp. Înlăturarea dispozitivului din criostat necesită o perioadă îndelungată de timp, de exemplu, de cca câteva ore pentru ca conținutul intern al criostatului să se încălzească până la temperatura atmosferică, în caz contrar sub acțiunea dilatării termice rapide poate avea loc explozie. Acesta este unul din neajunsurile principale ale construcțiilor cunoscute. Însă, un orificiu mic de intrare al vaselor industriale standard cu capacitatea de 100 L de heliu lichid previne posibilitatea acestei explozii, ceea ce înseamnă că dispozitivul conform invenției poate fi scos din vas și ajustat în condiții de câmp.

Struna este deviată de un câmp de gravitație evisstatic neuniform și interacționează cu curentul alternativ de răspuns, distribuit în apropiere directă de strună și practic paralel cu ea. Distribuția este optimă atunci când curentul răspunsului se injectează într-un punct sau se scoate de pe un punct în schema răspunsului, opus punctului strunei (vezi fig. 1). În sistemul local de coordonate ales acest punct constituie $z=l/2$. Altă condiție care corespunde caracteristicilor funcționale optime este faptul că două brațe ale schemei răspunsului sunt practic egale și legate la pământ la capete. În acest caz între curentul răspunsului și conturul supraconductor închis, în care se află struna, nu se formează legătură electromagnetică.

Curentul $I_0(t)$ trecând prin strună și interacționând cu curentul difuzat al răspunsului $I_y(z,t)$ provoacă apariția următoarelor componente transversale a forței pe o unitate de lungime $f_{y(x,t)}$, care acționează asupra strunei:

$$f_y(z,t) = \frac{\mu_0}{2\pi d} I_0 I_y(z,t) \sin(\Omega t) \quad (6)$$

în care $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hn m}^{-1}$, reprezintă permeabilitatea magnetică în vid, d - distanța între centrul strunei în stare de repaus și centrul sârmei, care conduce curentul răspunsului, iar faza sursei 15 de curent de pompare se alege egală cu zero. Semnul "+" sau "-" se stabilește prin cascada-tampon de ieșire a amplificatorului 16 de diferențiere și de sumare, ilustrat în fig. 1. Deplasarea transversală a segmentului unitar al strunei în planul OYZ, în acest caz se descrie prin următoarea ecuație diferențială:

$$\eta \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(z,t) + h \frac{\partial}{\partial t} y(z,t) - Y_{nb} A \frac{\Delta l \partial^2}{l \partial z^2} y(z,t) = -\eta g_y(0,t) - \eta \Gamma_{yz}(0,t) z \pm \frac{\mu_0}{2\pi d} I_0 I_y(t) \sin(\Omega t) + f_L(z,t) \quad (7)$$

care va corespunde cu ecuația (1) cu adăugarea termenului ecuației (6). Ca urmare, ecuația (7) de asemenea are soluția cu forma ecuației (3). Astfel, efectuând aceeași operație algebrică, ca pentru ecuația (1), pentru această variantă poate fi obținută ecuația diferențială pentru $C_{y(n,t)}$. Aceasta este ecuația (8), care corespunde cu ecuația (4), dar cu adăugarea termenului răspunsului:

$$\frac{d^2}{dt^2} c_y(n,t) + \frac{2d}{\tau dt} c_y(n,t) + \omega_n^2 c_y(n,t) = \frac{2}{\pi n} [(-1)^n - 1] g_y(0,t) + (-1)^n \frac{2l}{\pi n} \Gamma_{yz}(0,t) \pm \frac{1\mu_0}{\eta 2\pi^2 d} \epsilon_n I_0 I_y(z,t) \sin(\Omega t) + \frac{2}{\eta l} \int_0^1 dz f_L(z,t) \sin\left(\frac{\pi n}{l} z\right) \quad (8)$$

Valoarea ϵ_n se raportează la caracteristicile sistemului convertorului circuitului răspunsului; cu cât mai mare este lungimea brațelor schemei răspunsului, cu atât mai mari sunt valorile ϵ_n . Dacă brațele schemei răspunsului sunt absolut identice, valorile ϵ_n sunt egale cu zero pentru toate $n = 1, 3, 5, \dots$ impare. Valorile lor speciale pentru dimensiunile prezentate în fig. 2 se determină prin

$$\epsilon_n = \frac{1}{n} \left[\cos\left(\frac{\pi n}{6}\right) + \cos\left(\frac{5\pi n}{6}\right) - 2 \cos\left(\frac{\pi n}{2}\right) \right] \quad (9)$$

Astfel, pentru schema răspunsului, ajustată corect, numai modurile proprii asimetrice ale strunei interacționează cu curentul răspunsului. Însă, după cum rezultă din ecuațiile (4) și (7), numai modurile proprii asimetrice ale strunei se dovedesc a fi sensibile la valoarea absolută a componentei de măsurat a tensorului gradientului de gravitație.

Bobinele supraconductoare de măsurat în apropiere imediată de L_{p1} și L_{p2} se amplasează în apropiere imediată de strună și cu condiția echilibrării perfecte se scot două brațe ale convertorului supraconductor al fluxului magnetic în regimul transformării numai a modurilor proprii asimetrice

in curentul semnalului I_i , care se detectează cu ajutorul senzorilor electronici 13 pe TICS (vezi fig. 1). Se utilizează anume TICS 13 (dispozitivele interferențiale cuantice supraconductoare), deoarece ele la momentul actual sunt cele mai sensibile din senzorii existenți ai fluxului magnetic și ai curentului alternativ. În mostra prezentată în fig. 2 bobinele de măsurat sunt formate ca două
 5 contururi individuale de tip dreptunghiular din sârmă de Nb, amplasate simetric față de punctul mediu al strunei și conectate paralel la bobina semnalului L_i . In cazul simetriei ideale și al ariilor absolut identice ale conturilor modurile proprii simetrice nu generează nici un curent al semnalului I_i sau curent al răspunsului I_y . Același efect poate fi obținut pentru mai multe bobine neidentice de măsurat cu precizie necesară, dacă se utilizează inductivitatea(ățile) suplimentară L_b ,
 10 conectată paralel și/sau în serie cu una sau ambele bobine de măsurat. Inductivitatea(ățile) L_b se poate regla pentru echilibrarea celor două brațe ale convertorului supraconductor al fluxului. Curentul rămas al “modului zero” în bobina semnalului L_i , conform stării de repaus a strunei, se poate compensa direct în interiorul TICS pe baza legăturii suplimentare (neilustrate) cu sursa curentului de pompare. Dacă regimurile simetriei se respectă, tensiunea de ieșire a schemei
 15 electronice 13 a TICS se determină prin

$$V_y(t) = KI_0 L_s \sin(\Omega t) \left(\sum_{n=1}^{\infty} \beta_n c_y(n, t) \right) + K\Phi_N(t) \quad (10)$$

in care K este funcția conductoare a fluxului total față de tensiune, iar L_s reprezintă inductivitatea TICS. Valorile β_n depind de construcția fizică și poziția bobinelor de măsurat și sunt egale cu zero, dacă $n=1, 3, 5, \dots$. Funcția $\Phi_N(t)$ este echivalentă cu zgomotul prin fluxul magnetic în
 20 interiorul conturului TICS, a cărui densitate a spectrului $S_{\Phi}(\omega)$ determină limita interioară a aparatului din punctul de vedere al preciziei măsurărilor. Curentul răspunsului $I_y(t)$ se formează din tensiunea de ieșire $V_y(t)$ prin conducerea lui prin amplificatorul de diferențiere și de sumare, care se încarcă cu rezistență R_y . In acest caz curentul răspunsului $I_y(t)$ poate fi prezentat prin următoarea ecuație:

$$I_y(t) = \frac{p\tau^* d}{R_y dt} V_y(t) + \frac{q}{R_y} V_y(t) \quad (11)$$

in care p , q și τ^* reprezintă parametrii constanți, dependenți de construcția amplificatorului 16 de diferențiere și de sumare.

Este de menționat că între două brațe ale schemei răspunsului întotdeauna există un anumit dezacord. Construcția ilustrată în fig. 2 folosește două rezistențe identice ale răspunsului R_{y1} și R_{y2}
 30 cate una pentru fiecare braț. În acest caz dezacordul se poate compensa ușor prin reglarea uneia dintre rezistențe, să zicem R_{y2} , pentru obținerea regimului optim.

Ecuatiile (7) și (11) reproduc grupul infinit închis de ecuații diferențiale de tip parametric. Analiza minuțioasă a demonstrat că termenele conținând valorile $C_{y(n,t)}$ cu $n>2$ în partea dreaptă a
 35 ecuației (11) se pot ignora. Cauza acestui fapt constă în aceea că anume un mod se poate face “lejer”, adică cel mai sensibil la gradientul gravitației, și anume $C_{y(2,t)}$. În cazul în care frecvențele proprii ale strunei au valori suficient de înalte și se divizează prin intervale octave individuale, sunt necesare numai corecturi de ordinul doi, care se iau ușor în considerare deopotrivă cu analiza altor erori ale aparatelor. Apoi, după cum rezultă din ecuația (7), ecuația constantă pentru modul sensibil al gradientului gravitației $n=2$. Incluzand sursele inevitabile ale zgomotului fundamental, se poate la
 40 randul său de înscris în forma:

$$\begin{aligned} & \frac{d^2}{dt^2} c_y(2, t) + \left(\frac{2}{\tau} - \frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{2} \alpha \cos(2\Omega t) \right) \frac{d}{dt} c_y(2, t) + \\ & + \left(\omega \frac{2}{2} - \frac{1}{2} \omega^2 + \frac{1}{2} \omega^2 \cos(2\Omega t) - \frac{1}{2} \alpha \Omega \sin(2\Omega t) \right) c_y(2, t) = \frac{1}{\pi} \Gamma_{yz}(0, t) + \\ & + \frac{2}{h1} \int_0^1 dz f_L(z, t) \sin\left(\frac{2\pi}{1} z\right) + (zgomot - acțiune - inversă) \sin(\Omega t) \end{aligned} \quad (12)$$

in care

$$\omega^2 = \left| \epsilon_2 \beta_2 q K \right| \frac{1 \mu_0 I_0^2 L_s}{\eta 2 \pi^2 d R_y} \quad \alpha = \omega^2 \left| \frac{p}{q} \right| \tau^* \quad (13)$$

și se presupune că pentru curentul răspunsului s-a ales semnul real.

45 Dacă se respectă unele condiții realizabile ușor, care sunt

$$\frac{1d\Gamma}{\Gamma dt} \leq \sqrt{\omega_2^2 - \frac{1}{2}\varpi^2} \quad 8\Omega^2 \gg \varpi_2^2 \quad \frac{2}{\Omega t} \ll 1 \quad (14)$$

se poate demonstra că tensiunea constantă de ieșire constituie:

$$V_y(t) = \beta_2 K I_0 L_B \left(\frac{1\Gamma_{yz}(0,t)}{\pi\omega_2^2 - \frac{1}{2}\varpi^2} + z_{\text{gomot Brown}} \right) \sin(\Omega t) + K\Phi_N(t) \quad (15)$$

5 in care sub "zgomotul Brown" se înțelege combinația dintre zgomotul termic și zgomotul de acțiune inversă.

Este interesantă evaluarea preciziei limită a măsurării din această variantă a invenției, care poate fi prezentată prin valoarea gradientului minim detectat al gravitației:

$$\Gamma_{\min} = \frac{\pi}{1} \sqrt{\frac{16K_B T}{m\tau_{\text{eff}}} + \frac{\varpi^4 E_\Phi(\Omega)}{2\beta_2^2 L_B I_0^2}} 10^9 \frac{E_{\text{otvos}}}{\sqrt{\text{Hz}}} \quad (16)$$

10 in care $\tau_{\text{eff}} = \tau/(1-\alpha\tau/4)$ reprezintă timpul eficient de relaxare, m - masa sumară a strunei, $E_\Phi(\Omega)$ - rezoluția energetică a TICS. Utilizând următorii parametri funcționali: $l = 0,24$ m, $m = 1,6 \cdot 10^{-3}$ kg, $\tau_{\text{eff}} = 10^4$ s, $\beta_2 = 4 \times 10^3$ m⁻¹, $L_s = 5 \times 10^{-11}$ H, $I_0 = 50$ A, $(\omega_2^2 - \varpi^2/2)^{1/2}/2\pi = 2$ Hz, $\varpi/2\pi = 40$ Hz, $\Omega/2\pi \geq 2 \times 10^2$ Hz, $E_\Phi(\Omega) = 2 \times 10^{-31}$ J/Hz (TICS, deplasabil în regim de curent continuu), se poate obține din ecuația (16):

$$\Gamma_{\min} = 0,4 \frac{E_{\text{otvos}}}{\sqrt{\text{Hz}}} \quad (17)$$

15 Se poate demonstra că banda de valori ale parametrilor τ , ω_2 , ω , α și Ω se obține când răspunsul strunei descris de ecuația (12) este stabil. De exemplu, pentru gradientii cvasistatici ai gravitației și frecvența suficient de înaltă de pompare Ω se pot ignora termenii oscilatorii, conținând $\cos(2\Omega t)$ și $\sin(2\Omega t)$ în partea dreaptă a ecuației (12).

20 Există un șir de metodici de detectare, care pot fi utilizate în invenție la acest stadiu și care depind de parametrii mecanici inițiali ai strunei, precum și de domeniul de aplicare cărui este destinat dispozitivul. Este preferabilă folosirea strunei cu o rigiditate mecanică înaltă și un timp scurt de relaxare, pentru a majora neperceptivitatea zgomotului de vibrație, care este principala sursă de zgomot în condițiile utilizării dispozitivului, în special în gravimetria mobilă. Pe de altă parte, cu cât este mai rigidă struna, cu atât este mai puternică forța de răspuns, care trebuie să fie aplicată la strună pentru atenuarea modului semnalului și cu atât mai mare este zgomotul de acțiune inversă, asociat cu curentul răspunsului.

25 În plus, cu cât mai scurt este timpul relaxării strunei, cu atât mai puternică este acțiunea fluctuațiilor termice ale strunei asupra preciziei măsurărilor, deoarece masa la o unitate de lungime a strunei va fi de regulă suficient de mică.

30 Pentru soluționarea ambelor probleme sus-citate cea mai bună metodă de rezolvare a problemelor de măsurare a gradientului de gravitație în conformitate cu o altă variantă a invenției se utilizează răspunsul variabil în regim deconectat-conectat. În acest caz forța de răspuns inițial nu se aplică la strună în perioada "deconectat", în timpul căreia struna atinge echilibru termodinamic. Apoi forța de răspuns rapid se activează la perioada "conectat", în timpul căreia frecvența proprie eficientă:

$$\omega_{\text{eff}} = \sqrt{\omega_2^2 - \frac{1}{2}\varpi^2} \quad (18)$$

și timpul eficient de relaxare:

$$\tau_{\text{eff}} = \tau \left(1 - \frac{\alpha\tau}{4} \right)^{-1} \quad (19)$$

40 devin considerabil mai mică și mai lung, respectiv, în comparație cu parametrii inițiali corespunzători ai strunei. Răspunsul se reglează astfel încât timpul eficient de relaxare devine considerabil mai lung decât perioada "conectat", în care struna atinge echilibru termodinamic. De exemplu, teoria difuzării fluctuațiilor deja nu mai este aplicabilă la strună pe perioada măsurărilor și se schimbă reacția ei la toate sursele externe de zgomot (vezi V. B. Braginsky și A. B. Manukin. Measurement of Weak Forces in Physics Experiments, ed. D. H. Douglass, University Press, Chicago, 1977).

45 Se poate demonstra că în acest caz gradientul cel mai mic al gravitației, detectat de această variantă a invenției, poate fi prezentat prin:

$$\Gamma_{\min} = \frac{\pi}{1} \sqrt{\gamma(\delta) \frac{16 K_B T}{m \tau \tau_m} + \frac{\omega^4 E_{\Phi}(\Omega)}{2 \beta_2^2 L_s^4 I_0^2 \omega_{\text{eff}}^2} \log\left(\frac{1}{\delta}\right)} 10^9 \text{ Eotvos} \quad (20)$$

in care:

$$\gamma(\delta) = \frac{4 \tau \tau_m}{\tau_{\text{eff}}^2} \log\left(\frac{1}{\delta}\right) + \frac{\omega_{\text{eff}}^4}{\omega_2^4} \left[\frac{1}{\delta} + \log\left(\frac{1}{\delta}\right) \right] \quad (21)$$

5 τ_m reprezintă timpul măsurărilor (perioada “conectat”), m - masa totală a strunei, $E_{\Phi}(\Omega)$ - rezoluția energiei TICS la frecvența Ω , iar δ reprezintă eroarea statistică a primului tip. Valoarea δ este probabilitatea faptului că zgomotul echivalent al gradientului gravitației va depăși valoarea prezentată de partea stângă a ecuației (20) pentru perioada de măsurări.

La utilizarea următorilor parametri funcționali: $l = 0,24$ m, $m = 1,67 \cdot 10^{-3}$ kg, $\tau = 0,5$ s, $\tau_m = 1$ s, $\tau_{\text{eff}} = 10^4$ s, $\beta_2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, $L_s = 5 \times 10^{-11}$ H, $I_0 = 50$ A, $\omega_{\text{eff}}/2\pi = 3$ Hz, $\omega_2/2\pi = 80$ Hz, $\Omega/2\pi \geq 10^4$ Hz, $E_{\Phi}(\Omega) = 5 \times 10^{-32}$ J/Hz (500A TICS, deplasabil în regim de curent continuu), se poate obține din ecuația (20): $\Gamma_{\min} = 0,02$ Eotvos.

15 În ambele variante sus-citate semnalul dorit se obține din tensiunea de ieșire prin detectare sincronă cu semnal de referință, înregistrat de la sursa 15 de pompare și invenția permite efectuarea calibrării semnalului dezirabil în unități absolute ale gradientului gravitației fără rotire, după cum se propunea pentru gravimetre rotitoare cunoscute. În ceea ce privește construcțiile rotitoare, invenția face posibilă efectuarea deplasării spectrului de zgomot în bandă de valori ale frecvenței, în care contribuția $1/f$ este suficient de mică. Vibrațiile proprii ale strunei, care au loc în timpul măsurărilor (perioada “conectat”), nu creează probleme, deoarece ele nu se pot filtra din semnalul dorit cu condiția că perioada “conectat” se alege considerabil mai lungă, decât perioada ($2\pi/\omega_{\text{eff}}$) a acestor vibrații.

20 Neperceptivitatea zgomotului de vibrație se poate perfecționa cu un coeficient $(\omega_{\text{eff}}/\omega_1)^2$, care poate fi stabilit la o valoare mică de ordinul 10^{-2} .

25 Este necesară evidența legăturii inductive intersectate între curenții răspunsului și fiecare pereche de bobine de măsurat, precum și legătura intersectată între bobinele de măsurat propriu-zise, ambele acționând ca circuite de răspuns negativ. Pe de o parte, aceasta duce la renormalizarea inutilă a amplitudinilor semnalelor de ieșire până când perfecționarea schemelor electronice ale TICS nu depășește o anumită valoare critică. Pe de o parte, în cazul măsurărilor pe două canale semnalul de ieșire pe fiecare canal conține o combinație liniară a fiecărei componente de măsurat a gradientului gravitației. Se poate demonstra că fiecare această componentă se poate, cu toate acestea, măsura individual și simultan, dacă se utilizează sistemul corespunzător de chestionare a datelor. Aceasta se poate evita ușor prin asigurarea răspunsului pozitiv suplimentar pentru contraacțiunea acestui răspuns negativ, de exemplu, prin conectarea printr-o legătură inductivă slabă a fiecărui curent al răspunsului cu fiecare TICS.

35 În practică dispozitivul conform invenției se poate folosi pentru determinarea valorilor absolute ale componentelor nediagonale ale gradientului gravitației. Examinând gravitația pe toată aria, se pot depista schimbări mici ale valorii absolute a gradientului gravitației. Aceste schimbări mici pot fi indicatori ai schimbărilor specificului geologic local, de exemplu, ai existenței mineralelor, gazului sau petrolului.

40 Indicațiile repetate peste un anumit timp în aceeași localitate ar putea indica schimbarea stării geologice a regiunii, de exemplu, ridicarea magmei. Este absolut evident că invenția perfecționează prognozarea și alte direcții ale colectării de date, unde sunt necesare măsurări exacte ale câmpurilor de gravitație. Utilizarea valorilor absolute perfecționează informația care poate fi obținută din datele măsurărilor. Gravimetrul conform invenției se poate folosi în stare mobilă, ceea ce dă posibilitatea instalării lui pe mijloace mobile, fie terestre, marine sau aerine. De exemplu, dispozitivul se poate 45 suspenza pe elicopter și utiliza în timpul traversării cu elicopterul a unui sector ales.

(57) Revendicări:

1. Dispozitiv de măsurare a câmpurilor gravitaționale cvasistatice ce conține o strună 50 întinsă, și un mijloc de generare a semnalului de ieșire, care este funcție a câmpului gravitațional, caracterizat prin aceea că struna este fixată la ambele capete, dispozitivul conținând un mijloc de detectare a deplasării transversale a strunei din stare de repaus sub acțiunea câmpului gravitațional, mijlocul de generare a semnalului de ieșire fiind realizat cu posibilitatea reacționării la deplasarea strunei.

MD 1842 C2 2002.01.31

13

2. Dispozitiv, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** mijlocul de detectare a deplasării transversale a strunei conține cel puțin doi senzori amplasați simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală.
- 5 3. Dispozitiv, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că** struna este executată din material conductor cu posibilitatea de a conduce curentul I_0 .
4. Dispozitiv, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** el conține de asemenea un mijloc conductor amplasat în apropiere imediată de strună, realizat cu posibilitatea de a conduce curentul I_y , valoarea căruia este funcția semnalului de ieșire al mijlocului de detectare a deplasării transversale a strunei, mijlocul conductor și struna fiind instalate cu posibilitatea
- 10 interacționării câmpurilor magnetice, excitate de curentul I_y în mijlocul conductor și de curentul I_0 în strună, formând forța de răspuns care acționează asupra strunei, majorând deplasarea transversală a strunei din stare de repaus ca răspuns la câmpul gravitațional care acționează asupra strunei.
5. Dispozitiv, conform revendicării 4, **caracterizat prin aceea că** el conține, cel puțin, două
- 15 mijloace conductoare amplasate simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală, cu posibilitatea de a conduce prin fiecare părți egale de curent menționat I_y .
6. Dispozitiv, conform revendicării 4 sau 5, **caracterizat prin aceea că** el conține mijloc de asigurare a trecerii periodice a curentului I_y prin mijloacele conductoare menționate.
7. Dispozitiv, conform uneia din revendicările 3 - 6, **caracterizat prin aceea că** mijlocul de
- 20 detectare a deplasării transversale a strunei conține, cel puțin, o bobină de măsurare, instalată cu posibilitatea inducerii în ea a curentului I_p cu ajutorul curentului I_0 prin strună, curentul I_p reprezentând funcția deplasării strunei.
8. Dispozitiv, conform uneia din revendicările 3-7, **caracterizat prin aceea că** struna este realizată cu posibilitatea de a conduce prin ea curentul alternativ I_0 .
- 25 9. Dispozitiv, conform uneia din revendicările 3-8, **caracterizat prin aceea că** conține un mijloc de inducere în strună a curentului menționat I_0 .
10. Dispozitiv, conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** mijlocul de inducere conține doi solenoidi amplasați simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală.
11. Dispozitiv, conform uneia din revendicările 3-10, **caracterizat prin aceea că** struna este
- 30 executată din material supraconductor.
12. Dispozitiv, conform uneia din revendicările precedente, **caracterizat prin aceea că** mijlocul de detectare a deplasării transversale a strunei este realizat cu posibilitatea detectării ei în două plane neparalele.
13. Metodă de măsurare a câmpurilor gravitaționale cvasistatice ce include întinderea
- 35 strunei și generarea semnalului de ieșire, acesta fiind funcție a câmpului gravitațional, **caracterizată prin aceea că** struna se fixează la capete, se detectează deplasarea transversală a strunei din starea de repaus sub acțiunea câmpului gravitațional, iar semnalul de ieșire se generează ca răspuns la deplasarea detectată.
14. Metodă, conform revendicării 13, **caracterizată prin aceea că** pentru generarea
- 40 semnalului de ieșire se măsoară deplasarea spațială din stare de repaus a, cel puțin, unui punct pe strună și după rezultatele acestei deplasări se generează semnalul de ieșire.
15. Metodă, conform revendicării 14, **caracterizată prin aceea că** deplasările spațiale față de starea de repaus se măsoară pentru un număr par de puncte pe strună, iar punctele se aleg de-a lungul strunei în pereche, simetric față de punctul mediu al strunei în direcție longitudinală.
- 45 16. Metodă, conform uneia din revendicările 13 - 15, **caracterizată prin aceea că** punctele menționate corespund pozițiilor ventrelor propriilor moduri asimetrice ale undelor staționare în strună.
17. Metodă, conform revendicării 16, **caracterizată prin aceea că** deplasarea strunei se mărește prin aplicarea forței de răspuns asupra strunei, forța fiind funcția câmpului gravitațional care acționează asupra strunei.
- 50 18. Metodă, conform revendicării 17, **caracterizată prin aceea că** se aplică forța de răspuns, funcție directă a semnalului de ieșire.
19. Metodă, conform uneia din revendicările 13-18, **caracterizată prin aceea că** prin forța de răspuns se amplifică componentele configurației spațiale ale modurilor asimetrice ale oscilațiilor proprii ale strunei față de componentele configurației spațiale ale modurilor simetrice.
- 55 1. 20. Metodă conform uneia din revendicările 13-19, **caracterizată prin aceea că** deplasarea strunei se măsoară în două plane neparalele.

MD 1842 C2 2002.01.31

14

21. Metodă conform uneia din revendicările 13-20, **caracterizată prin aceea că** struna deviază din starea de repaus prin acțiunea valorilor absolute ale componentelor forței transversale față de strună pe o unitate de lungime, forța fiind depusă la fiecare unitate de lungime a strunei, astfel încât devierea reprezintă combinația modurilor oscilațiilor proprii ale strunei, modurile pare fiind cauzate numai de valori absolute ale componentelor gradientului gravitației în direcția strunei, pe cand modurile impare sunt cauzate de accelerarea sumară în planul transversal față de strună.

10

(56) Referințe bibliografice:

1. US 3722284 B
2. US 3769840 B
3. US 3564921 B
4. Il Nuovo Cimento, vol. 107B, noiembrie 1992, pag. 1261 - 1261
5. US 4841772 B
6. AU 48185/90 A
7. JP 60-050476 A

Șef Secție: COZMA Valeriu

Examinator: NASTAS Xenia

Redactor: ANDRIUȚĂ Victoria

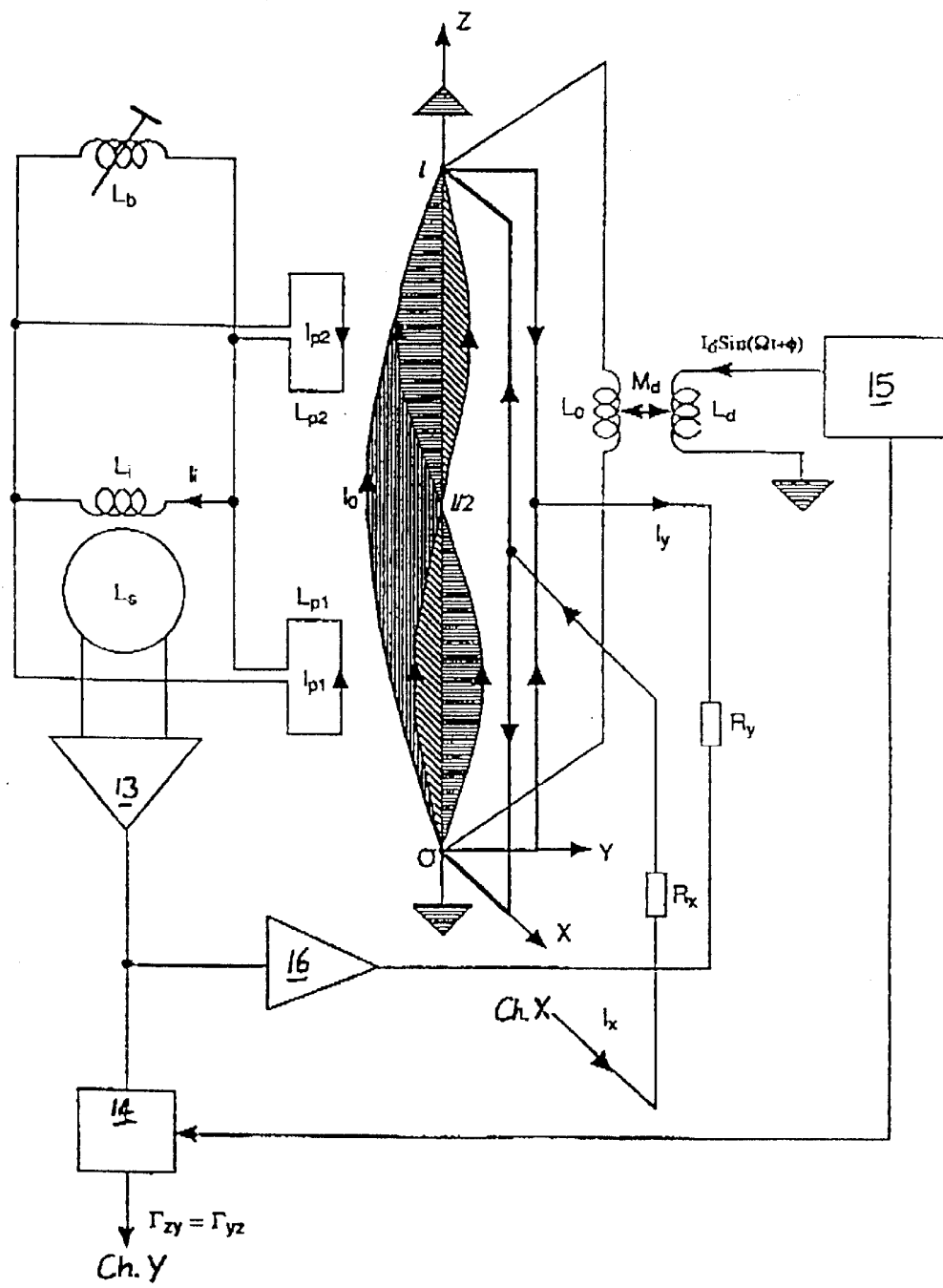


Fig. 1

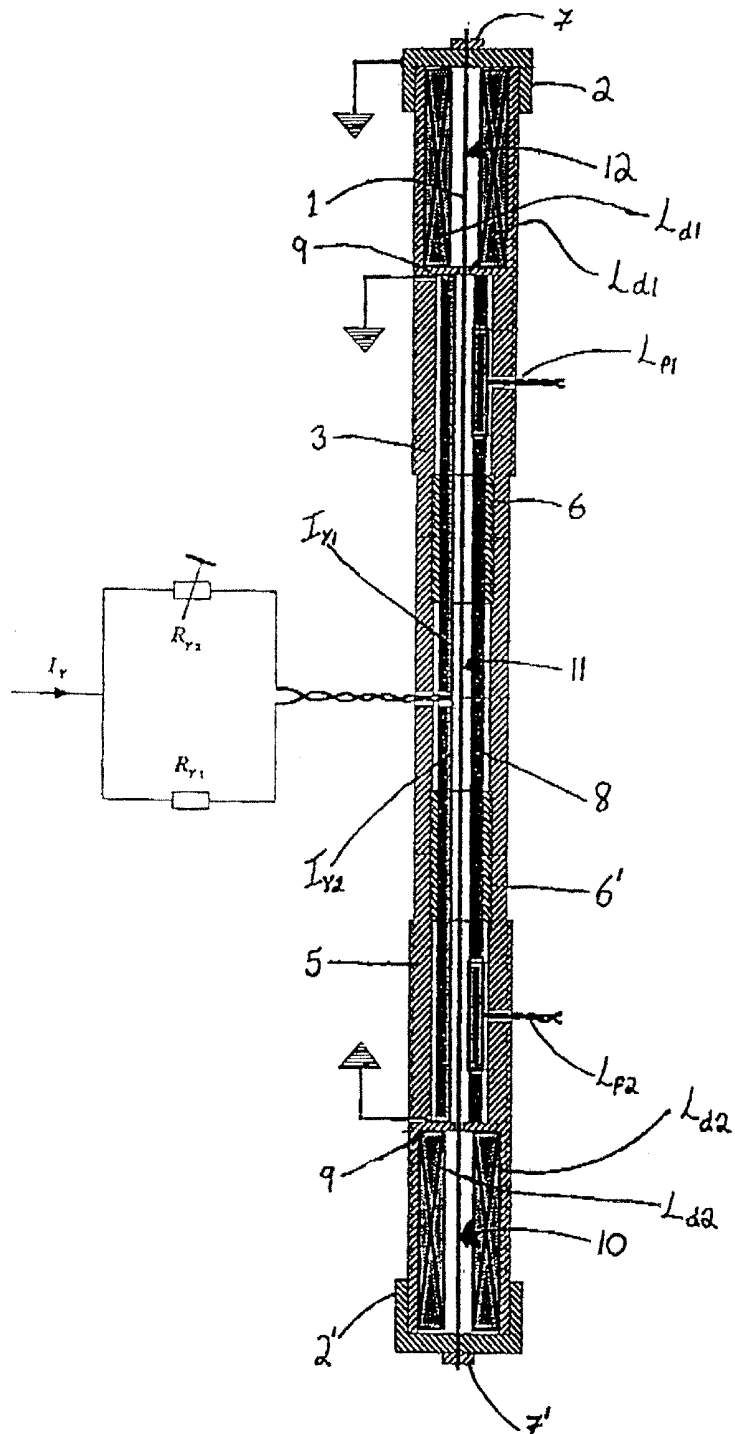


Fig. 2

RAPORT DE DOCUMENTARE

(21) Nr. depozit: 97-0173	(85) Data fazei naționale PCT: 1997.05.06
(22) Data depozit: 1995.10.04	(86) Cerere internațională PCT: PCT/GB95/02349; 1995.10.04
Prioritatea invocată : (31) nr.: 264610 (32) data : 1994.10.04 (33) țara : NZ (51) Int. Cl. (7) : G 01 V 7/00 Alți indici de clasificare: (54) Titlul : Dispozitiv și metodă de măsurare a câmpurilor gravitaționale (71) Solicitantul : Gravitec Instruments Limited, GB Termeni caracteristici : a) limba română: dispozitiv de măsurare a câmpurilor gravitaționale b) limba engleză: apparatus for the measurement of gravitational fields, a gravity gradiometer	
I. Minimul de documente consultate (sistemul clasificării și indici de clasificare Int. Cl.- 7)	
Int. cl. (7) G01V 7/00	
II. Literatura tehnico-științifică consultată adăugător la minim de documentație (autori, titluri, editura, țara și data publicării)	
-	
III. Baze de date electronice consultate (denumirea BD și termen de documentare)	
1. ESP@CENET 2. ФИПС, RU 3. Baza de date "INVENȚII", RO 4. Baza de date "INVENȚII", "CERERI", MD, 1994-1997 5. Baza de date Euroasia de "INVENȚII", "CERERI", 1996-1997 6. URSS Certificate de autor	

IV. Documente considerate ca relevante		
Categoria*	Date de identificare ale documentelor citate și indicarea pasajelor pertinente	Numărul revendicării vizate

US 3722284 B US 3769840 B US 3564921 B JP60- 050476 EP078482 B1		8 25 6 Rezumat 29
☐ Documentele următoare sunt indicate în continuare a rubricii IV		☐ Informația referitoare la brevete paralele se anexează
* categoriile speciale ale documentelor consultate:		P - document publicat înainte de data depozitului național reglementat dar după data priorității invocate
A - document care definește statutul general al tehnicii		T - document publicat după data depozitului sau a priorității invocate, care nu aparține stadiului pertinent al tehnicii, dar care este citat pentru a pune în evidența principiul sau teoria care conține baza invenției
E - document anterior dar publicat la data de depozit național reglementar sau după aceasta data		X - document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată nouă sau implicând activitate inventivă
L - document care poate pune în discuție data priorității invocate, poate contribui la data publicării altor divulgări sau pentru un motiv expres (se va indica motivul)		Y - document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată ca implicând activitate inventivă când documentul este asociat cu unul sau mai multe alte documente de aceeași natură, aceasta combinație fiind evidentă pentru o persoană de specialitate
O - document referitor la o divulgare orală, un act de folosire, la o expunere sau orice altă		& - document care face parte din aceeași familie de documente
Data efectuării de documentare 2001.11.15		
Examinatorul Nastas Xenia		