

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00386

(22) Data de depozit: 23.05.2013

(41) Data publicării cererii:
30.12.2014 BOPI nr. 12/2014

(71) Solicitant:
• BALTAG OCTAVIAN IOAN,
STR. GHIBĂNESCU NR. 5A, IAȘI, IS, RO

(72) Inventatori:
• BALTAG OCTAVIAN IOAN,
STR. GHIBĂNESCU NR. 5A, IAȘI, IS, RO

(54) GRADIOMETRU DE ORDINUL DOI ȘI METODĂ DE
MĂSURARE A CÂMPULUI MAGNETIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un gradiometru SQUID de ordinul al doilea, și la o metodă de calibrare. Gradiometrul, conform unei variante de realizare a invenției, este alcătuit dintr-un traductor SQUID (101) complex compus, la rândul său, dintr-un senzor SQUID (102) cuplat magnetic cu un transformator de flux (103) ce are în structura sa trei bobine (104, 105 și 106) de măsurare, supraconductoare, conectate astfel încât să formeze o structură de gradiometru de ordinul doi al câmpului magnetic, aceste bobine fiind dispuse axial în planuri paralele, și fiind conectate în serie cu o altă bobină (107) de intrare, cuplată inductiv cu senzorul SQUID (102), pentru efectuarea calibrării, verificării funcționării și măsurării gradientului printr-o metodă de nul, peste bobinele (104, 105 și 106) de măsurare sunt dispuse alte trei bobine (110, 111 și 112) generatoare de câmp magnetic, prin care circulă niște curenți electrici având intensitățile I_1 , I_2 și I_3 ce produc prin bobinele (104, 105 și 106) de măsurare niște fluxuri Φ_{H1} , Φ_{H2} și Φ_{H3} proporționale cu intensitățile curenților, iar prin transformatorul de flux (103) va circula un curent având intensitatea ΔI care va produce prin bobina (107) de intrare o variație a fluxului magnetic ce determină generarea unei tensiuni la bornele senzorului SQUID (102), care este prelucrată de un bloc electronic (108). Verificarea și calibrarea gradiometrului se realizează printr-un modul (113) digital ce cuprinde: o tastatură (114) digitală, cu ajutorul căreia se selectează funcțiile

care trebuie executate, și se introduc datele inițiale, un afișor (115) digital, un microsistem (116) care prelucrează informațiile primite și comandă, prin intermediul a trei surse (117, 118 și 119) de curent constant, injectarea curenților electrici în bobinele (110, 111 și 112) generatoare de câmp, iar o interfață (120) de comunicare digitală asigură comunicarea dintre microsistem (116) și blocul (108) electronic și un calculator (121).

Revendicări: 6
Figuri: 3

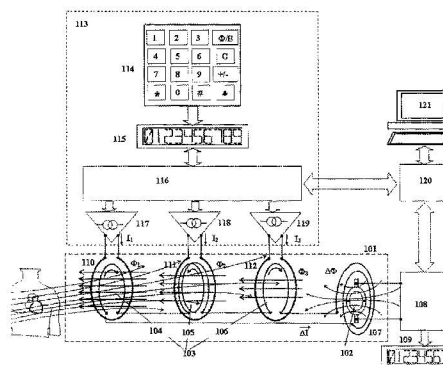
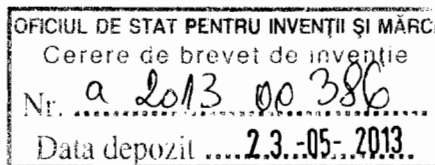


Fig. 2





Gradiometru SQUID de ordinal al doilea si metoda de calibrare

Inventia de fata se refera la un gradiometru SQUID de ordinul al doilea, destinat masurarii gradientului de ordinul doi al campului magnetic, prevazut cu circuite pentru calibrare precum si o metoda de calibrare a unui gradiometru SQUID de ordinul al doilea.

Sunt cunoscute mai multe tipuri de biogradiometre (US 5.121.055) si gradiometre SQUID de ordinul al doilea care nu sunt prevazute cu dispozitive sau circuite pentru calibrare, calibrarea acestora fiind efectuata numai in laborator in standuri de verificare si calibrare specializate, folosind generatoare etalon de camp si gradient de camp magnetic de tipul bobinelor Helmholtz a caror constanta este cunoscuta cu precizie ridicata, dispuse de regula, in exteriorul criostatului, daca este posibil acest lucru. Cele mai frecvente metode de verificare sunt cele care folosesc drept surse de camp si gradient magnetic dipoli magnetici sau bobine dispuse intr-o anumita configuratie in exteriorul senzorilor.

Se mai cunoaste un alt gradiometru de ordinul al doilea (US 6.650.107 B2) care foloseste pentru calibrare o bobina circulara, generatoare de camp, fixata in exteriorul criostatului in care se gasesc bobinele traductorului SQUID, intr-o pozitie bine determinata, gradientul campului fiind determinat prin calcul in functie de pozitia reciproca a bobinelor SQUID fata de bobina generatoare de camp si intensitatea curentului care circula prin ea.

Dezavantaje principale ale acestor metode sunt:

- un prim dezavantaj este legat de dimensiunea relativ mare a generatorului etalon de camp si gradient magnetic format in general dintr-un sistem de bobine Helmholtz, dimensiune care este cu atat mai mare cu cat baza gradiometrului este mai mare; aceasta face dificila montarea sistemului de bobine etalon si introducerea criostatului gradiometrului in interiorul lor, mai ales in situatiile in care diametrul criostatului este mai mare decat diametrul interior al bobinelor Helmholtz;
- in ceea ce priveste dipolii magnetici, un alt dezavantaj este cel datorat neliniaritatii variatiei campului magnetic de-a lungul axei de simetrie a dipolului si dificultatii de a stabili cu precizie o relatie intre gradientul de ordinul doi al campului si pozitia senzorilor SQUID;
- un alt dezavantaj se datoreaza pozitionarii lipsite de precizie a bobinelor gradiometrului SQUID fata de generatoarele de camp sau gradient de camp, datorita faptului ca bobinele gradiometrului SQUID se afla imersate in criostat;
- atat fluxul cat si campul magnetic generat de bobine sau dipoli magnetici nu este uniform in spatiul in care se gasesc bobinele gradiometrului SQUID.
- Pentru calibrarea unui gradiometru sau pentru verificarea functionarii acestuia, bobinele gradiometrului se introduc intr-un camp magnetic care prezinta un gradient cunoscut cu o precizie determinata.

Problema pe care o rezolva inventia este calibrarea unui gradiometru de ordinul al doilea cu posibilitatea verificarii functionarii corecte in timpul unor masuratori folosind circuite proprii prin introducerea in criostatul gradiometrului SQUID a unor bobine calibrate care creeaza local campuri magnetice cunoscute cu o precizie determinata de precizia de constructie si pozitionare, care campuri se afla intr-o relatie determinata cu pozitia lor reciproca, astfel incat sa se asigure generarea unui gradient de ordinul al doilea cunoscut.

Inventia de fata **elimina dezavantajele mentionate** prin faptul ca pentru generarea unui camp magnetic si a unui gradient cunoscut foloseste un grup de bobine la care se cunosc caracteristicile geometrice, fiecare bobina fiind fixata pe acelasi suport pe care se afla bobinele de semnal respectiv compensare asigurand astfel un cuplaj inductiv maxim, care bobine pot fi realizate din materiale care sa nu prezinte proprietati supraconductoare.

Inventia de fata **prezinta avantajele** de a permite calibrarea inainte de efectuarea masuratorilor fara a fi nevoie de un laborator si echipamente dedicate, verificarea functionarii corecte in timpul masuratorilor, efectuarea unor masuratori folosind metode de nul, ceea ce este imposibil fara echipamente auxiliare exterioare gradiometrului SQUID.

In cele ce urmeaza se prezinta bazele teoretice si principiul de functionare aa generarii unui gradient de ordinul al doilea precum si doua **exemple de realizare a inventiei** cu privire la figurile care reprezinta:

- figura 1 – diagrama campului magnetic si al gradientilor de ordinul intai si doi produsi de acesta;
- figura 2 – schema bloc a primului exemplu de realizare a inventiei;
- figura 2 – schema bloc al celui de al doilea exemplu de realizare a inventiei.

Gradientul de ordinal al doilea este definit prin relatia

$$G^2 = \frac{d^2 B}{dz^2} \quad (1)$$

unde B este inductia campului magnetic, iar z directia dupa care se calculeaza derivata intr-un punct aflat pe axa z .

In realitate, datorita structurii fizice, dimensiunilor si geometriei bobinelor de masurare a unui gradiometru, masurarea aproximeaza derivata.

Pentru a genera un gradient de ordinul doi de valoare constanta in punctele de masurare, trebuie sa se stabileasca o relatie patratica intre camp si distanta, figura 1, conform relatiei

$$B = kx^2 \quad (2)$$

unde in sistemul international constanta k are dimensiunea: $[k] = T / m^2$.

Gradientii de ordinul intai respectiv al doilea sunt reprezentati prin relatiile, figura 1:

$$G^1 = 2kx \quad (3.1)$$

$$G^2 = 2k \quad (3.2)$$

Un gradiometru de ordinul al doilea este format din doua gradiometre de ordinul intai identice si avand aceeasi baza d . Gradientul de ordinul al doilea se determina prin calcul si masuratori raportand diferenta a doi gradienti de ordinul intai la baza d a celor doi gradienti conform relatiilor:

$$G_{12}^1 = \frac{B_2 - B_1}{d} \quad (4.1)$$

$$G_{23}^1 = \frac{B_3 - B_2}{d} \quad (4.2)$$

$$G^2 = \frac{G_{23}^1 - G_{12}^1}{d} = \frac{\frac{B_3 - B_2}{d} - \frac{B_2 - B_1}{d}}{d} = \frac{B_3 - 2B_2 + B_1}{d^2} \quad (4.3)$$

unde G^1 reprezinta gradientul de ordinul intai iar G^2 gradientul de ordinul al doilea.

Pentru a avea o relatie patratica intre distanta si valoarea campului se considera un grup format din trei bobine asimilate cu o spira circulara, B_1, B_2, B_3 coaxiale, de raza R situate la o distanta d una de cealalta, egala cu baza de masurare a gradiometrului; fiecare din cele trei bobine este dispusa in planul bobinei de masurare a gradientului de ordinal al doilea si cuprinde in interiorul sau bobina respectiva. Daca prin cele trei bobine circula curentii electrici I_1, I_2 si I_3 avand intensitatile de o asemena valoare incat campurile rezultate in centrele bobinelor sa se afle intr-o relatie de tipul $B = kx^2$, atunci un gradiometru de ordinul al doilea avand bobinele dispuse coplanar cu bobinele generatorului de gradient va masura valoarea gradientului de ordinul al doilea al campului magnetic in acea regiune.

Componenta axiala a campului magnetic din centrul bobinelor B_1, B_2 si B_3 este determinata de contributia fiecarei bobine prin relatiile:

$$B_1 = B_{11} + B_{12} + B_{13} \quad (5.1)$$

$$B_2 = B_{21} + B_{22} + B_{23} \quad (5.2)$$

$$B_3 = B_{31} + B_{32} + B_{33} \quad (5.3)$$

unde B_{ij} reprezinta campul magnetic in centrul bobinei i generat de bobina j .

Pentru determinarea contributiilor componentelor axiale ale fiecarei bobine se calculeaza campurile generate de fiecare bobina in centrul bobinelor invecinate aflate la distante $z=d$, respectiv $z=2d$.

Campul magnetic generat de o spira circulara de raza R , pe directia axei, la distanta z este determinat prin relatia:

$$B = \frac{I\mu_0}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (6)$$

Campul B_1 din centrul bobinei B_1 este determinat de componentele celor doua bobine invecinate B_2 si B_3 aflate la distanta d respectiv $2d$.

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2R} \left[I_1 + I_2 \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} + I_3 \frac{1}{\left[1 + 4\left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (7.1)$$

In mod asemanator sunt determinate si campurile B_2 si B_3 :

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2R} \left[I_1 \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} + I_2 + I_3 \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (7.2)$$

$$B_3 = \frac{\mu_0}{2R} \left[I_1 \frac{1}{\left[1 + 4\left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} + I_2 \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} + I_3 \right] \quad (7.3)$$

Pentru a se obtine o relatie patratica intre camp si distante, intensitatile celor trei cirenti I_1 , I_2 si I_3 trebuie sa se afle intr-un anumit raport ceea ce permite atat generarea atat a unui camp cat si a unui gradient prestabilit.

Campurile din centrul bobinelor B_1 , B_2 , B_3 trebuie sa se afle intr-o relatie patratica definita prin:

$$\frac{B_3}{B_1} = 9 ; \quad \frac{B_2}{B_1} = 4 ; \quad \frac{B_3}{B_2} = \frac{9}{4} \quad (8)$$

Daca se considera bobina mediana B_2 situata simetric intre bobinele B_1 si B_3 ca fiind o bobina de referinta impreuna cu curentul I_2 rezulta relatiile:

$$B_1 = KI_2 \left[\frac{I_1}{I_2} + F_1 + \frac{I_3}{I_2} F_2 \right] \quad (8.1)$$

$$B_2 = KI_2 \left[\frac{I_1}{I_2} F_1 + 1 + \frac{I_3}{I_2} F_1 \right] \quad (8.2)$$

$$B_3 = KI_2 \left[\frac{I_1}{I_2} F_2 + F_1 + \frac{I_3}{I_2} \right] \quad (8.3)$$

unde functiile K , si F_1 respectiv F_2 sunt date de relatiile:

$$K = \frac{\mu_0}{2R} ; \quad F_1 = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} ; \quad F_2 = \frac{1}{\left[1 + 4\left(\frac{d}{R}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} . \quad (9)$$

Gradientul de ordinul al doilea rezulta din relatia de definire (4.3) prin introducerea relatiilor (8.1, 8.2 si 8.3):

$$G^2 = \frac{B_3 - 2B_2 + B_1}{d^2} = K \frac{I_2}{d^2} \left[(1 + F_2 - 2F_1) \left(\frac{I_1}{I_2} + \frac{I_3}{I_2} \right) + 2(F_1 - 1) \right] \quad (10)$$

Din relatiile $B_3 = 9B_1$ si $B_2 = 4B_1$ rezulta un sistem de ecuatii care are drept necunoscute doua rapoarte $\frac{I_1}{I_2}$ si $\frac{I_3}{I_2}$ ale curentilor, functiile F_1 si F_2 fiind constante de constructie.

$$\left[\frac{I_1}{I_2} F_2 + F_1 + \frac{I_3}{I_2} \right] = 9 \left[\frac{I_1}{I_2} + F_1 + \frac{I_3}{I_2} F_2 \right] \quad (11.1)$$

$$\left[\frac{I_1}{I_2} F_1 + 1 + \frac{I_3}{I_2} F_1 \right] = 4 \left[\frac{I_1}{I_2} + F_1 + \frac{I_3}{I_2} F_2 \right] \quad (11.2)$$

Sistemul devine:

$$(F_2 - 9) \frac{I_1}{I_2} + (1 - 9F_2) \frac{I_3}{I_2} - 8F_1 = 0 \quad (12.1)$$

$$(F_1 - 4) \frac{I_1}{I_2} + (F_1 - 4F_2) \frac{I_3}{I_2} + 1 - 4F_1 = 0 \quad (12.2)$$

Din acest sistem de ecuatii rezulta cele doua necunoscute $\frac{I_1}{I_2}$ si $\frac{I_3}{I_2}$, avand ca date initiale intensitatea curentului I_2 si raportul d/R care determina cele doua functii F_1 si F_2 .

Aceste ecuatii implementate intr-un microsistem de calcul permite ca prin introducerea a unor constante de aparat cum sunt distanta dintre bobinele generatoare care determina baza gradiometrului, constanta bobinelor generatoare, valoarea gradientului sau a campului magnetic sa se realizeze, atat generarea unui gradient cunoscut de ordinul doi cat si generarea unei componente de camp comuna celor trei puncte de masurare.

Conform **primului exemplu de realizare** a inventiei prezentat in figura 2, gradiometrul SQUID de ordinul al doilea prevazut cu un sistem de calibrare este compus dintr-un traductor SQUID complex 101 compus la randul sau, dintr-un sensor SQUID 102 cu jonctiuni Josephson cuplat magnetic cu un transformator de flux 103 care are in structura sa un grup de trei bobine supraconductoare conectate astfel incat sa formeze o structura de gradiometru de ordinul doi al campului magnetic, respectiv bobina ce mai apropiata de sursa de camp numita proximala 104, o bobina situata la mijlocul distantei dintre celelate doua numita bobina mediana 105 si o alta bobina indepartata de sursa de camp numita bobina de compensare 106, toate aceste bobine fiind dispuse axial in plane paralele si conectate in serie cu o bobina 107 numita bobina numita de intrare cuplata inductiv cu senzorul SQUID 102.

Semnalul generat de senzorul SQUID 102 este prelucrat intr-un bloc electronic 108 care prelucreaza semnalul preluat de la senzorul SQUID 102, memoreaza si transmite valorile masurate unui afisor digital 109. Pentru efectuarea calibrarii, verificarii functionarii si masurarii gradientului printr-o metoda de nul, peste bobinele de masurare 104, 105 si respectiv 106 sunt dispuse trei bobine generatoare de camp magnetic 110, 111 respectiv 112, identice avand suprafata S , dispuse coaxial in palne paralele, prin care circula curenti electrici avand intensitatile I_1 , I_2 respectiv I_3 care curenti produc prin bobinele 104, 105 respectiv 106 fluxurile Φ_1 , Φ_2 respectiv Φ_3 care fluxuri sunt proportionale cu intensitatea curentilor I_1 , I_2 respectiv I_3 care circula prin cele trei bobine generatoare 110, 111 respectiv 112. Bobinele 104, 105 si 106 ale gradiometrului fiind conectate in opozitie, prin transformatorul de flux 103 va circula un curent avand intensitatea $\Delta I = \Delta \Phi / L$ unde L este inductanta transformatorului de flux 103 iar $\Delta \Phi = \Phi_1 - 2\Phi_2 + \Phi_3$. Curentul ΔI produce prin bobina de intrare 107 in senzorul SQUID 102 cu care este cuplata o variatie a fluxului magnetic $\Delta \Phi$, care variatie de flux determina generarea unei tensiuni la bornele senzorei SQUID 102, care tensiune este prelucrata de blocul electronic 108 rezultatul masurarii fiind indicat de afisorul digital 109.

Verificarea si calibrarea gradiometrului se realizeaza printr-un modul digital 113 compus dintr-o tastatura digitala 114 prin care se selecteaza functiile care trebuiesc executate si se introduc datele initiale, un afisor digital 115 pentru indicarea datelor introduse prin tastatura 114, care tastatura si element de afisare comunica cu un microsistem 116 care proceseaza informatiile primite si comanda prin intermediul a trei surse de curent constant 117, 118 respectiv 119, injectarea curentii electrice avand intensitatile I_1 , I_2 respectiv I_3 in bobinele generatoare de camp 110, 111 respectiv 112. O interfata de comunicare digitala 120 asigura comunicarea intre microsistemul 116 si modulul electronic 108 al gradiometrului cu un calculator 121, prin care calculator se pot prelua functiile de comanda, verificare, masurare si inregistrare a semnalelor gradiometrice.

Prin tastatura digitala 114 sau prin calculatorul 121, se pot transmite comenzile pentru efectuarea urmatoarelor operatiuni:

- aplicarea unui gradient cunoscut de ordinul doi al campului magnetic;
- aplicarea unui camp magnetic cunoscut ca o componenta comuna tuturor bobinelor de semnal;

- măsurarea gradientului de ordinul doi al campului magnetic folosind o metoda de nul;
- înregistrarea valorilor masurate ale gradientului ca o functie de timp.

Pentru a genera un gradient cunoscut in scopul verificarii functionarii, calibrarii sau anularii gradientului masurat printr-o metoda de nul, se injecteaza in cele trei bobine generatoare - calibrare identice **110, 111** respectiv **112**, de suprafata S dispuse paralel cu bobinele gradiometrului **104, 105** respectiv **106**, astfel incat cele trei bobine care formeaza gradiometrul de ordinul doi sa fie supuse unui gradient de flux magnetic cunoscut. Fluxul care strabate fiecare din cele trei bobine pentru calibrare si cele trei bobine de semnal ale gradiometrului este determinat de doua componente:

- o componenta determinata de intensitatea curentului care determina componenta comuna a campului magnetic in toate cele trei bobine de semnal;
- componentele determinate de curentii care circula prin cealalte doua bobine aflate in vecinatate.

Conform **celui de al doilea exemplul de realizare** a inventiei prezentat in figura **3**, gradiometrul SQUID de ordinul al doilea realizat in structura unui magnetometru diferential cu trei canale independente, aflate intr-un traductor SQUID complex **201**, care cuprinde in structura sa aflata in interiorul aceluasi criostat trei canale magnetometrice SQUID independente, **202, 203** respectiv **204**, fiecare canal avand in componenta cate un transformator de flux **205, 206** respectiv **207** compuse din cate o bobina de semnal supraconductoare **208, 209** respectiv **210** coaxiale, dispuse in plane paralele si conectate la cate o bobina de intrare **211, 212** respectiv **213**, fiecare transformator de flux fiind cuplat inductiv cu cate un senzor de flux SQUID **214, 215** respectiv **216** care senzori SQUID sunt conectati la cate un bloc electronic de prelucrare a semnalului de flux **217, 218** respectiv **219**.

Semnalul de gradient al campului magnetic se obtine prin substractie electronica intr-un bloc electronic **220** format din doua circuite analogice sau digitale de scadere **221** si **222** prin care se determina gradientii de ordinul intai corespunzatori canalelor magnetometrice **202, 203** respectiv **203** si **204**, semnalul corespunzator gradientului de ordinul doi rezultand tot prin sobstractie electronica analogica sau digitala intr-un etaj **223**, urmat de un circuit de memorare si afisare **224** a valorii gradientului de ordinul doi.

Calibrarea si verificarea functionarii gradiometrului se realizeaza printr-un modul **225** compus dintr-o tastatura **226** care transmite comenzile unui afisor digital **227** si unui microsistem **228** care realizeaza conversia digital analoga transmitand unor surse de curent constant **229, 230** respectiv **231** care surse injecteaza cate un curent I_1, I_2 respectiv I_3 prin trei bobine **232, 233** respectiv **234** cuplate inductiv cu bobinele de semnal **208, 209** respectiv **210** ale celor trei canale magnetometrice independente.

Modulul de comanda digitala **225** comunica impreuna cu blocul electronic de amemorare si afisare **223** al gradiometrului prin intermediul unei interfete electronice **235** cu un computer **236** prin intermediul caruia se pot prelua functiile de comanda, verificare, masurare si înregistrare a semnalelor corespunzatoare campurilor magnetice si gradiometrice.

Prin tastatura digitala **226** sau prin calculatorul **236**, se pot transmite comenzile pentru efectuarea urmatoarelor operatiuni:

- aplicarea unui gradient de ordinul al doilea sau ordinul intai al campului magnetic de valoare si polaritate cunoscute;
- aplicarea fiecarui canal magnetometric a unui camp magnetic determinat ca intensitate si polaritate;
- măsurarea gradientului campului magnetic folosind o metoda de nul aplicand celor trei bobine de calibrare a unor curenti avand o astfel de intensitate si polaritate, incat sa produca anularea gradientului masurat;

- masurarea campului magnetic folosind fiecare canal magnetometric;
- inregistrarea valorilor masurate ale gradientului si campului magnetic ca functii de timp.

Gradiometrul conform inventiei prezinta urmatoarele avantaje fata de solutiile anterioare:

- permite verificarea functionarii corecte, in intervalul dintre masuratori;
- poate fi calibrat in mod operativ folosind numai circuitele proprii;
- poate efectua masuratori printr-o metoda de zero, prin aplicarea unui gradient de camp de ordinul doi avand un semn contrar gradientului masurat;
- permite masurarea simultana atat a campului magnetic cat si a gradientului;
- modulul electronic pentru calibrare poate fi folosit la orice structura de gradiometru prin introducerea in memorie a informatiilor referitoare la constantele constructive ale bobinelor;
- permite inregistrarea campului magnetic si a gradientului ca functie de timp.

REVENDICARI

1. Gradiometru SQUID de ordinul doi si metoda de calibrare a unui gradiometru de ordinul doi **caracterizat prin aceea ca** in scopul imbunatatirii parametrilor metrologici foloseste un generator al gradientului campului magnetic de ordinul doi de valoare cunoscuta folosind un grup de trei bobine 110, 111, 112 (din primul exempl de realizare), (respectiv 232, 233 si 234, din al doilea exemplu de realizare) prin care se injecteaza curenti electrici de valoare determinata in conformitate cu constantele de constructie si valoarea gradientului de ordinul doi.
2. Gradiometru SQUID de ordinul doi si metoda de calibrare a unui gradiometru de ordinul doi, conform revendicarii 1, **caracterizat prin aceea ca** valoarea campului generat de fiecare bobina generatoare si distantele dintre bobine se gasesc intr-o relatie patratica, in sensul ca inductia magnetica din fiecare bobina variaza cu patatul distantei dintre bobine.
3. Gradiometru SQUID de ordinul doi si metoda de calibrare a unui gradiometru de ordinul doi conform revendicarilor 1 si 2, **caracterizat prin aceea ca**, fiecare bobina generatoare de gradient cuprinde in panul sau cate un din bobinele de semnal care constituie traductorul SQUID.
4. Gradiometru SQUID de ordinul doi si metoda de calibrare a unui gradiometru de ordinul doi **caracterizat prin aceea ca**, intensitatea curentilor care circula prin cele trei bobine generatoare de gradient de ordinul doi este determinata prin introducerea unor informatii privind valoarea gradientului magnetic de ordinul doi, printr-un modul digital 113 (respectiv 225 la al doilea exemplu de realizare).
5. Gradiometru SQUID de ordinul doi si metoda de calibrare a unui gradiometru de ordinul doi **caracterizat prin aceea ca** microsistemul 116 (respectiv 226) in al doilea exemplu de realizare) comunica prin intermediul unei interfete 120 (respectiv 235) cu un calculator 121 (respectiv 236) si cu modulele electronice ale gradiometrului de ordinul doi.
6. Gradiometru SQUID de ordinul doi si metoda de calibrare a unui gradiometru de ordinul doi **caracterizat prin aceea ca** semnalele de gradient al campului magnetic poate fi memorat pe parcursul evolutiei sale temporale in memoria circuitelor proprii sau poate fi transmis calculatorului prin intermediul interfetei 120 (respectiv 235).

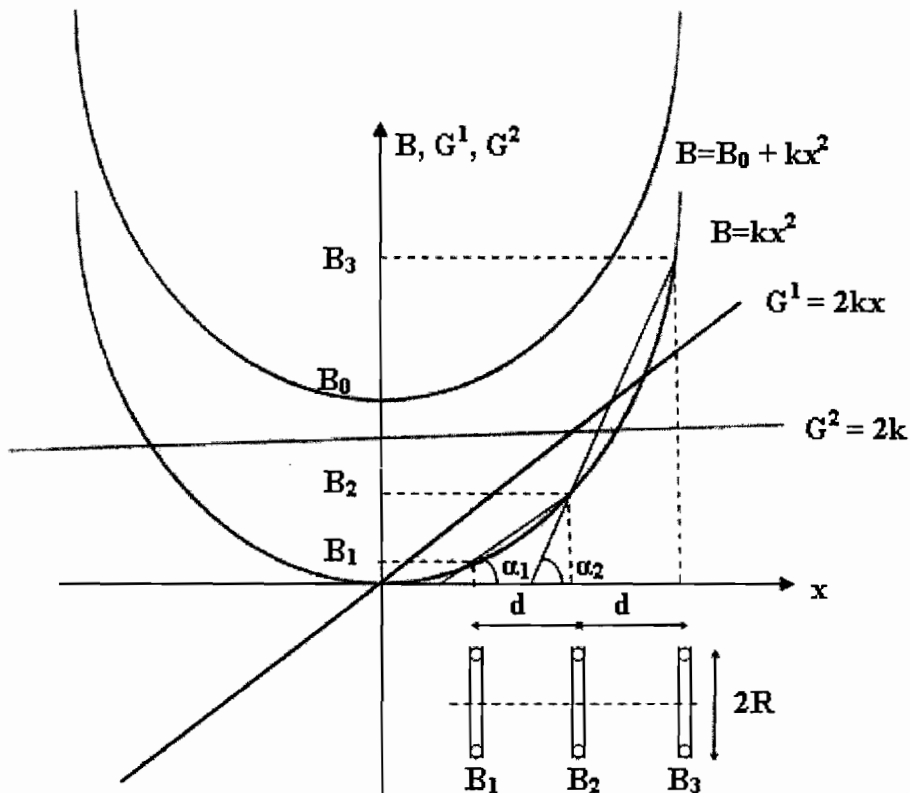


Figura 1

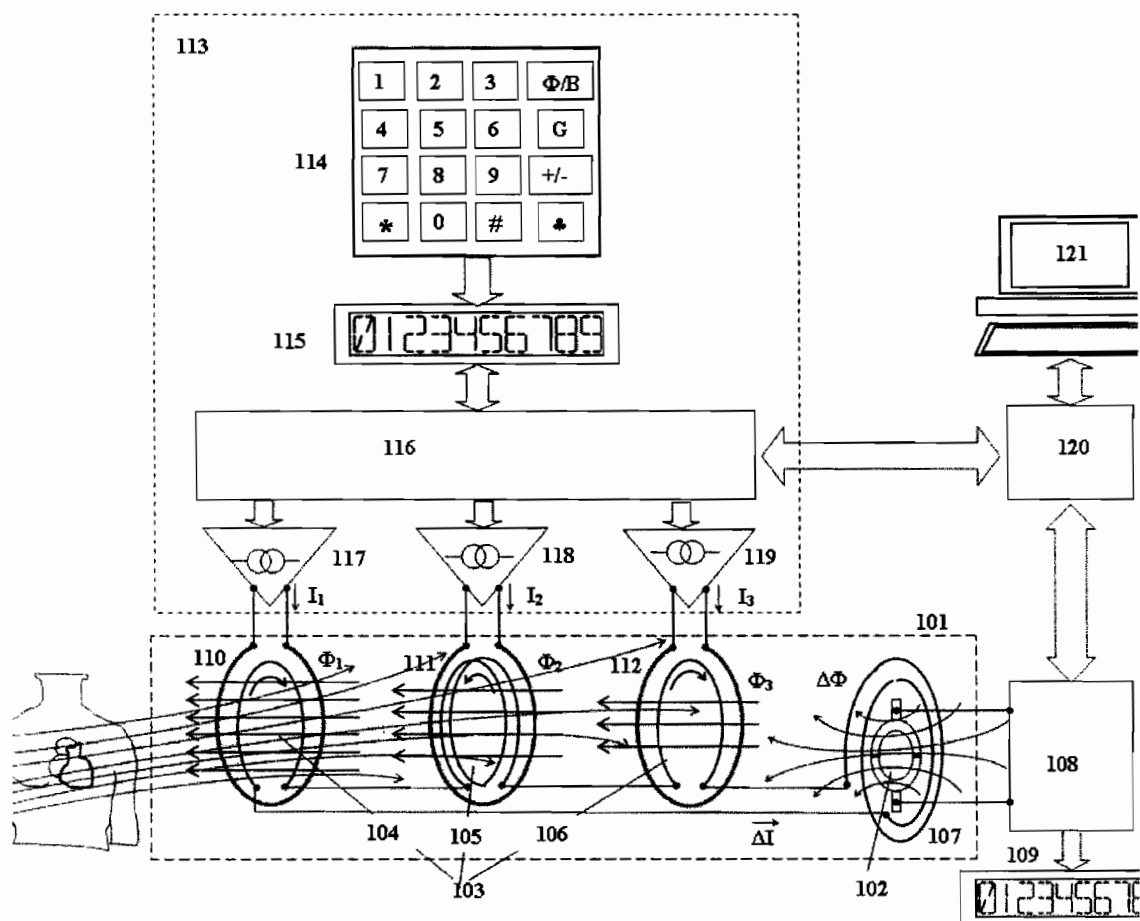


Figura 2

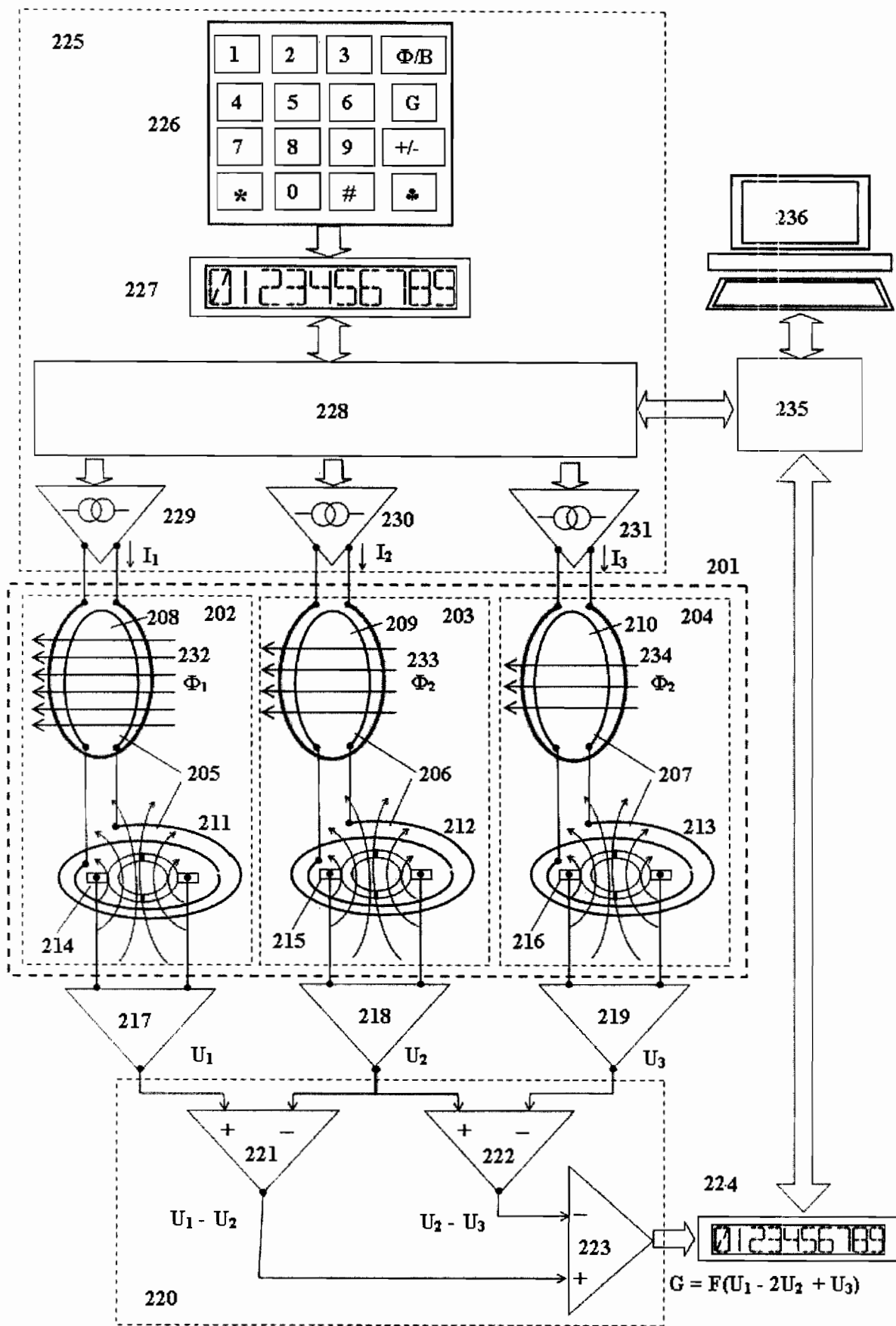


Figura 3