



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00385**

(22) Data de depozit: **23/05/2013**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/11/2021** BOPI nr. **11/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/12/2014 BOPI nr. **12/2014**

(73) Titular:
• **BALTAG OCTAVIAN IOAN,**
STR. GHIBĂNESCU NR. 5A, IAȘI, IS, RO

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

(56) Documente din stadiul tehnicii:
CA 1154826 A; US 3090002; RO 127918 A2

(54) **MAGNETOMETRU CU PRECESIE NUCLEARĂ ȘI METODĂ
DE MĂSURARE A CÂMPULUI MAGNETIC**



RO 129958 B1

1 Invenția de față se referă la un magnetometru cu precesie nucleară care folosește
o metodă nouă pentru măsurarea intensității câmpului magnetic.

3 Sunt cunoscute mai multe tipuri de magnetometre cu precesie nucleară
(**US 3004211**) care folosesc diferite metode pentru îmbunătățirea raportului semnal zgomot
5 prin reducerea influenței câmpurilor parazite externe folosind bobinaje structurate corespun-
zător (**US 3886440**).

7 Se mai cunosc de asemenea alte magnetometre cu precesie nucleară liberă a
protonilor (**US 3090002**) care reglează frecvența de acord a amplificatorului selectiv al
9 semnalului de precesie nucleară în funcție de ultima valoare măsurată a câmpului magnetic,
(**US 3133243**) ameliorarea acurateței măsurătorii câmpului magnetic prin îmbunătățirea
11 câmpului de polarizare a nudelor și (**US 4546317**) care folosește un sistem cu suspensie
cardanică pentru a asigura perpendicularitatea câmpului magnetic terestru pe direcția
13 bobinei de semnal a precesiei nucleare.

15 Toate aceste soluții folosesc măsurarea frecvenței semnalului de precesie nucleară
prin metode clasice - măsurarea numărului de oscilații cuprinse într-o durată determinată de
timp.

17 Dezavantaje principale ale acestor metode sunt în principal legate de metoda folosită
pentru măsurarea frecvenței de precesie Larmor și transformarea acesteia în unități de câmp
19 magnetic:

21 - un prim dezavantaj este legat de faptul că măsurarea cu precizie a câmpului
magnetic este limitată în principal de doi factori: precizia de măsurare a frecvenței de
precesie Larmor a protonilor și precizia cu care se cunoaște și se folosește în măsurători
23 raportul giromagnetic al protonului;

25 - frecvența Larmor pentru câmpul geomagnetic ambiental este de ordinul kHz, iar
determinarea acesteia cu precizie ridicată presupune cunoșterea cu o precizie ridicată, de
ordinul microhertz-ului, ceea ce este un deziderat dificil de realizat la magnetometrele
27 actuale, fără artificii care duc de exemplu la mărirea duratei de măsurare;

29 - pentru mărirea preciziei de măsurare a frecvenței Larmor, în prezent se folosesc
circuite de multiplicare a frecvenței (de exemplu cu 2^6) ceea ce permite afișarea directă a
intensității câmpului magnetic dacă se folosește ca unitate de timp pentru numărarea
31 oscilațiilor Larmor, un interval de timp Δt - 0,3669908 secunde;

33 - precizia de măsurare a frecvenței Larmor este limitată și prin faptul că intervalul de
timp în care se efectuează măsurarea oscilațiilor Larmor nu poate să cuprindă o fracțiune
din perioadă unei oscilații, ceea ce duce la o eroare de ± 1 perioadă;

35 - măsurarea globală a frecvenței prin numărarea oscilațiilor într-un interval de timp
determinat poate da informații privind valoarea medie a frecvenței în acel interval;

37 - măsurarea frecvenței Larmor este determinată de mai mulți factori de zgomot care
intervin prin efect multiplicativ sau insumare: zgomotul termic propriu lichidului folosit,
39 zgomotul propriu bobinei de semnal, zgomotul circuitului de intrare-amplificare a semnalului
Larmor, zgomotul circuitului discriminator/limitator.

41 Problema pe care o rezolvă invenția constă în mărirea preciziei de măsurare a inten-
sității câmpului magnetic și determinarea deviației standard în fiecare moment al măsurătorii.

43 Invenția de față elimină dezavantajele menționate prin faptul că înlocuiește
măsurarea directă a frecvenței de precesie Larmor cu măsurarea individuală a perioadelor
45 oscilațiilor de frecvența Larmor pe un interval de timp determinat, memorarea valorii acestor
perioade și calcularea valorii celei mai apropiate de valoarea adevărată și determinarea
47 valorii câmpului magnetic prin calcul cu ajutorul unui circuit care are implementată o
constantă constructivă a magnetometrului care conține dependența frecvenței Larmor de
49 raportul giromagnetic al protonului și valoarea câmpului magnetic.

RO 129958 B1

Soluția pentru rezolvarea problemei tehnice menționate mai sus este descrisă în revendicările 1-7, conform prezentei, și constă într-un magnetometru cu precesie nucleară și o metodă de măsurare a intensității câmpului magnetic cu acest magnetometru. 1
3

Sistemul permite, de asemenea, calcularea și indicarea următoarelor mărimi:

- valoarea cea mai apropiată de valoarea adevărată a câmpului magnetic; 5
- deviația standard cu care s-a efectuat măsurătoarea respectivă.

Invenția de față prezintă avantajul de a permite măsurarea cu o precizie determinată practic numai de precizia de cunoaștere a raportului giromagnetic și precizia de măsurare a perioadei oscilațiilor Larmor, precum și indicarea erorii cu care s-a efectuat măsurătoarea. 7
9

În cele ce urmează se prezintă un exemplu de realizare a invenției cu privire la figurile care reprezintă: 11

- fig. 1, diagrama temporală a semnalelor de precesie nucleară corespunzătoare frecvenței Larmor; 13

- fig. 2, diagrama temporală a apariției zgomotului de fază;

- fig. 3, schema bloc a magnetometrului; 15

- fig. 4, diagrama temporală a semnalelor.

Frecvența Larmor a precesiei nucleare este determinată prin relația: 17

$$F_L = \frac{1}{2\pi} \gamma B \quad 19$$

unde γ este raportul giromagnetic al protonului, iar B este inducția câmpului magnetic. 21

Semnalul de precesie nucleară este sinusoidal, iar amplitudinea sa este variabilă și scade după o lege exponențială reprezentată de relația: 23

$$U_L = U_{L0} e^{-\frac{\alpha}{t}} \sin 2\pi f_L t = U_{L0} e^{-\frac{\alpha}{t}} \sin \gamma B t \quad 25$$

unde U_{L0} este amplitudinea inițială a semnalului de precesie nucleară liberă, relație valabilă în absența unor surse de zgomot. 27

La intrarea amplificatorului care precede electronica magnetometrului se aplică simultan atât semnalul de precesie nucleară, cât și un semnal de zgomot alb, aditiv, termic, propriu bobinei de semnal, de valoare eficace determinată prin relația: 29
31

$$U_z = \sqrt{4k_B TR\Delta f} \quad 33$$

Bobina traductorului este în general acordată pe frecvența Larmor corespunzătoare valorii medii a câmpului magnetic măsurat, sau se poate acorda manual prin trepte capacitive în funcție de valoarea câmpului. Ca urmare, spectrul de zgomot va fi filtrat și el astfel încât la intrarea amplificatorului se aplică un spectru de frecvențe $\omega_0 \pm \Delta\omega$, corespunzător unei benzi de trecere $\Delta\omega$. Din această bandă de zgomot se va evidenția, ca fiind cu amplitudinea cea mai mare, frecvența corespunzătoare frecvenței Larmor. 35
37
39

Pentru determinarea efectului zgomotului asupra semnalului de frecvență Larmor se ia în considerare situația cea mai defavorabilă, anume un zgomot având frecvența egală sau foarte apropiată de frecvența Larmor, dar defazat cu 90° față de acesta. Semnalul complex format din semnalul de precesie Larmor cu pulsația ω_0 și semnalul de zgomot u au aceeași frecvență, dar amplitudinea și faza sunt diferite. În această situație, cele două semnale fiind aditive, se poate scrie relația: 41
43
45

$$U(t) = U_0 e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t + \frac{u}{\sqrt{2}} (\sin \omega_0 t + \cos \omega_0 t)$$

RO 129958 B1

1 Pentru prima perioadă Larmor se poate scrie:

$$3 \quad U(t) = \sqrt{U_0^2 + u^2} \sin(\omega t + \varphi)$$

unde:

$$5 \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{u}{U_0}$$

7 Din această relație rezultă că faza semnalului depinde atât de amplitudinea tensiunii de zgomot cât și de frecvența sa, ceea ce determină o modificare în spațiul timp a perioadei T_0 , cu un interval egal cu $\pm \Delta\tau$ determinat de relația:

$$11 \quad \Delta\tau = \frac{\Delta\varphi}{\omega_0}$$

13 astfel încât perioada T_0 măsurată prin detectarea trecerii semnalului complex prin valoarea zero variază în intervalul

$$T_0 - \Delta\tau \leq T_0 \leq T_0 + \Delta\tau$$

15 care interval este determinat atât de spectrul de zgomot, cât și de amplitudinea acestuia raportată la amplitudinea semnalului de precesie. Intervalele de timp $\Delta\tau$ pot să afecteze perioada măsurată în două moduri: să o mărească sau să o micșoreze în funcție de spectrul de zgomot și nivelul acestuia. În fig. 2 este reprezentată modificarea perioadei pentru situația în care apare o singură frecvență perturbatoare.

21 Dacă se măsoară perioada T_0 a precesiei în prezența zgomotului, se poate presupune că modificarea acesteia poate să apară în ambele momente ale trecerii prin zero sau la un alt nivel prestabilit de circuitele pentru limitare - trigerare (care sunt anterioare frecventmetrului), atât la începutul, cât și la sfârșitul ciclului, ceea ce duce în cazul cel mai dezavantajos la un interval egal cu $\Delta\tau$ de reducere sau mărire a perioadei măsurate. Ca urmare, eroarea relativă introdusă la măsurarea perioadei este:

$$27 \quad \varepsilon = \frac{\Delta\tau}{T_0}$$

29 Această eroare intervine și la măsurarea frecvenței prin numărarea unui număr de N impulsuri într-un interval de timp prestabilit:

$$31 \quad \varepsilon = \frac{1}{N} + \frac{\Delta\tau}{T_0} \approx \frac{1}{N}$$

33 dar, pentru ca $\Delta\tau \ll T_0$, factorul al doilea poate fi neglijat, astfel încât $1/N$ este factorul principal de eroare la măsurarea frecvenței:

$$37 \quad \frac{\Delta F_L}{F_L} = \pm \frac{1}{N}$$

39 Zgomotul intervine ca un semnal aleator și este filtrat de către circuitul oscilant din care face parte și bobina de semnal. Ca urmare, distribuția în funcție de durata a intervalelor de timp $\Delta\tau$ va fi făcută după o lege Gaussiană. Din distribuția Gauss a valorilor măsurate pentru perioada precesiei Larmor, se constată că aceste valori sunt distribuite în jurul valorii adevărate T . Se remarcă faptul că, media acestor valori se apropie de T cu atât mai mult cu cât numărul de măsurători este mai mare. Intervalele de timp $\Delta\tau$ pot să afecteze perioada măsurată în două moduri: să o mărească sau să o micșoreze; pentru a reprezenta aceasta se poate scrie că perioada măsurată poate să varieze în intervalul $T \pm \Delta\tau$. Ca urmare, valoarea medie a perioadelor T_i măsurate de un frecventmetru este dată de relația:

$$47 \quad T_N = \frac{1}{N} \sum_1^N T_i = \frac{1}{N} \sum_1^N [T \pm \tau_i] = T \pm \frac{1}{N} \tau$$

unde $\sum_1^N \pm \tau_i = \tau \rightarrow 0$ pentru $N \rightarrow \infty$ datorită distribuției simetrice Gaussiene. Din această relație rezultă eroarea relativă de măsurare a perioadei;

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta T}{T} = \frac{T - T_N}{T} = \frac{1}{N} \frac{\tau}{T f(\text{semnal} / \text{zgomot})}$$

În calculul erorii relative τ este un interval temporal care depinde de raportul semnal/zgomot; din acest motiv în expresia erorii este introdusă o funcție adimensională, $f(\text{semnal}/\text{zgomot})$ dependentă de raportul semnal/zgomot. Un raport semnal/zgomot ridicat determină o reducere a erorii temporale τ . Raportul semnal/zgomot este variabil pe durata măsurătorilor, datorită funcției exponențiale e^{-at} astfel încât raportul semnal/zgomot este variabil, scăzând odată cu reducerea amplitudinii semnalului de precesie. Relația este valabilă pentru un număr N ridicat de perioade, iar durata unei astfel de măsurători este:

$$t = NT_0 \pm \tau$$

Comparativ, măsurarea frecvenței prin metoda numărării impulsurilor cuprinse într-un interval determinat de timp prezintă o eroare relativă de măsurare dată de relația:

$$\varepsilon_F \frac{\Delta F}{F} = \frac{1}{N}$$

unde N reprezintă numărul de perioade măsurate într-un interval de timp t ($F=N/t$).

Comparând cele două relații rezultă avantajul măsurării perioadei într-un interval de timp, considerat același pentru ambele metode de măsurare. Raportul acestor erori relative este:

$$\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_F} = \frac{\tau}{T} \frac{1}{f(\text{semnal} / \text{zgomot})}$$

Din relație rezultă avantajul măsurării perioadei și nu a frecvenței, mai ales în condițiile în care $\tau \ll T_0$ și raportul semnal/zgomot este ridicat.

Din aceste considerente teoretice rezultă ca soluție optimă în ceea ce privește precizia de măsurare, utilizarea unui dispozitiv electronic pentru măsurarea perioadei combinat cu un sistem de determinare a valorii frecvenței Larmor cu probabilitatea cea mai mare de a fi apropiată de valoarea adevărată și calculul câmpului magnetic folosind relația dintre constanta giromagnetică a protonului și frecvența Larmor.

Conform exemplului de realizare a invenției prezentat în fig. 3, magnetometrul cu precesie nucleară liberă este format dintr-un recipient **1** care conține un lichid bogat în hidrogen, înconjurat de o bobină **2**, prin care se produce periodic, în conformitate cu un ciclu de măsurare repetitiv, un câmp magnetic de polarizare prin injectarea în bobina **2** a unui curent electric comandat de un circuit **3** prin intermediul unor circuite de comutare **4** care circuit cuplează periodic bobina la circuitul de comandă **3** pe durata polarizării, după care acesta decuplează bobina și o cuplează la un circuit **5**, comandat de un semnal dependent de intensitatea câmpului magnetic măsurat, prin care se asigură acordarea bobinei **2** pe frecvența de rezonanță corespunzătoare frecvenței Larmor a câmpului magnetic măsurat folosind un număr de condensatori **6**. Semnalul de frecvență Larmor este aplicat unui circuit **7** având funcția de amplificare, limitare și transformare a semnalului sinusoidal de precesie într-un semnal dreptunghiular periodic cu fronturi având durata suficient de mică pentru a putea fi utilizat în prelucrarea digitală ulterioară. Impulsurile generate în circuitul **7** sunt aplicate simultan unor circuite prin care se realizează măsurarea atât a perioadei de precesie cât și a erorii de măsurare, eroare introdusă de zgomotul de fază al semnalului Larmor

RO 129958 B1

1 complex. Impulsurile având durata T_i corespunzătoare perioadei Larmor sunt aplicate unui
circuit **8** care determină durata perioadei T_i prin numărarea unor impulsuri de perioada σ
3 generate de o bază de timp **9** care asigură prin secvențe de comenzi ciclice periodicitatea
ciclurilor de măsurare, funcționarea coerentă și sincronizarea tuturor circuitelor digitale.
5 Fiecare perioadă a semnalului complex (frecvența Larmor și zgomot) de durata T_i , este for-
mată din suma perioadei Larmor T și un interval temporal τ_i , determinat de erorile de măsu-
7 rare generate în principal de componenta de zgomot care însoțește semnalul de precesie,
care zgomot intervine prin raportul semnal/zgomot astfel încât poate să mărească sau să
9 micșoreze durata perioadei măsurate T_i cu o mărime τ_i :

$$T_i = T \pm \tau_i \pm \sigma \approx T \pm \tau_i$$

11 În relația de mai sus intervine ca element de eroare și valoarea bazei de timp de
durata σ , dar aceasta poate fi neglijată întrucât valoarea sa se alege constructiv astfel încât
13 să fie cu câteva ordine de mărime mai mică decât T și τ_i .

Semnalele rezultate la ieșirea circuitului **8** sunt aplicate simultan la alte două registre
15 de numărare **10** și **11**, registrul **10** sumând toate impulsurile având durata σ corespunzătoare
fiecărei secvențe T_i , pe o durată de timp t corespunzătoare unui număr par N de impulsuri
17 T_i :

$$t = \sum_1^N T_i = NT + \sum_1^N \pm \tau_i$$

19 care impulsuri sunt aplicate apoi unui circuit **12** de divizare prin N , rezultând astfel pentru
21 întreaga secvență de numărare t un semnal având durata medie

$$T_M = \frac{t}{N} = T \pm \frac{1}{N} \tau = M\sigma \pm \frac{1}{N} m\sigma$$

23 unde T este durata medie a perioadei Larmor fara zgomot, τ este eroarea medie datorată
25 zgomotului, eroare spre care tinde $\sum \tau_i$ pentru un număr finit N astfel încât $\sum \tau_i \ll \tau$, dar care
pentru un număr infinit de măsurători este nul, M este numărul de perioade σ care compun
27 durata T , iar m este numărul de perioade σ care compun eroarea τ .

Circuitul **11** este un registru de numărare direct/invers a impulsurilor σ ale bazei de
29 timp, pentru fiecare perioadă T_i sincron cu numărătorul **10**, pe durata aceluiași ciclu $t = NT_i$
astfel încât impulsurile σ din perioadele pare 2_{2i} , sunt numărate direct, iar cele din perioadele
31 impare 2_{2i+1} sunt numărate invers; astfel, prin acest proces de numărare, la sfârșitul
intervalului t în registru va rămâne un număr m de impulsuri σ corespunzătoare sumei erorilor
33 pozitive și negative τ_i , introduse de zgomot:

$$\sum_1^N \tau_{2i} + \sum_1^{N-1} \tau_{2i+1} = \tau = m\sigma$$

37 Semnalele rezultate la ieșirea registrului **11** sunt aplicate unui alt circuit **13** de divizare
cu N , rezultând astfel, un semnal de durată $\tau = \pm \frac{1}{N} m\sigma$ care este aplicat împreună cu
39

semnalul $T_M = M\sigma \pm \frac{1}{N} m\sigma$ rezultat din circuitul divizor **12** unui circuit de scădere digi-
41 tală **14**, la ieșirea căruia se obține un semnal de durata $T = M\sigma$, semnal care conține
informația privind perioada Larmor și care conține un număr M de perioade σ . Pentru a
43 transforma numărul de impulsuri M cu perioadă σ într-o informație care să reprezinte
intensitatea câmpului magnetic, se face un artificiu care constă în divizarea unei constante
45 de aparat K la numărul M într-un circuit divizor **15**, iar reprezentarea digitală a valorii
câmpului măsurat se face într-un circuit de memorare afișare **16**, care circuit poate efectua

RO 129958 B1

operația de memorare a valorilor măsurate în fiecare interval de timp t și reprezentarea simultană a erorii de măsurare, generată de circuitul **13**. 1

Constanta K rezultă din transformarea relației care dă frecvența Larmor: 3

$$F = \frac{1}{T} = \frac{\gamma}{2\pi} B = KB \quad 5$$

Considerând relația $T = M\sigma$, rezultă relația: 7

$$\frac{2\pi}{\gamma} \frac{1}{\sigma} \frac{1}{M} = B \quad 9$$

care duce la o nouă exprimare a legăturii dintre perioada oscilațiilor Larmor și câmpul măsurat: 11

unde $K = \frac{2\pi}{\gamma} \frac{1}{\sigma} = \frac{2,3486593996}{\sigma} 10^{-8} (T)$, unde perioada de tact σ (Hz) și constanta 13

giromagnetică a protonului: 15

$$\gamma = 2,675222005 \times 10^8 \text{ Hz} / T \quad 17$$

Rezultă pentru mărimea afișată relația: 19

$$B(\text{Tesla}) = \frac{2,3486593996}{\sigma M} \bullet 10^{-8} \quad 21$$

unde M reprezintă numărul de impulsuri de durată σ al perioadei Larmor: $T = M\sigma$, pentru simplificarea operației de divizare se alege o valoare σ care să fie un număr întreg zecimal. 23

O altă posibilitate este ca alegerea unei frecvențe de tact $f=1/\sigma$ astfel încât constanta K a magnetometrului să fie un număr întreg format din n zerouri, ceea ce duce la divizarea în circuitul **15** a unui număr zecimal exprimat prin 10^n la numărul de impulsuri M : 25

$$B(\text{Tesla}) = 10^n \frac{1}{M} \quad 27$$

Și în această situație, circuitul **15** este un divizor programabil printr-un număr M dependent de intensitatea câmpului magnetic. 29

Toate circuitele de comandă a polarizării, cuplării și decuplării bobinei de magnetizare/semnal la circuitul de polarizare sau etajul de amplificare a semnalului Larmor, numărare, divizare, scădere, memorare și afișare sunt coordonate în mod sincron și coerent de baza de timp **9** prin secvențe de impulsuri corespunzătoare. 31
33

Eroarea relativă de măsurare este dată de relația: 35

$$\varepsilon = \frac{T - T_M}{T} = \pm \frac{1}{N} \frac{\tau}{T} = \pm \frac{m}{N} \frac{\sigma}{T} \quad 37$$

unde factorul m depinde de raportul semnal/zgomot prin eroarea medie de durată τ . 39

RO 129958 B1

Revendicări

1

3 1. Magnetometru cu precesie nucleară destinat măsurării intensității câmpului
magnetic, compus dintr-un recipient (1) umplut cu un lichid bogat în protoni, înconjurat de
5 o bobină (2) prin care se realizează polarizarea protonilor de către un curent electric
comandat de un circuit (3) prin intermediul unui circuit (4) de comutare care realizează și
7 cuplarea bobinei (2) la un circuit (5) cu condensatoare, cu rolul de a asigura rezonanța
bobinei (2) pe frecvența Larmor de precesie a protonilor corespunzătoare intensității
9 câmpului magnetic măsurat, un circuit (7) cu funcția de amplificare, limitare și transformare
a semnalului sinusoidal de precesie, **caracterizat prin aceea că** mai conține un circuit (8)
11 pentru determinarea duratei perioadei semnalului Larmor de relaxare prin numărarea unor
impulsuri generate de o bază (9) de timp care asigură și funcționarea coerentă a unor
13 registre (10, 11) de numărare, două circuite (12, 13) de divizare conectate la rândul lor la
intrarea unui circuit (14) de scădere digitală, la ieșirea căruia rezultă informația digitală
15 privind perioada semnalului de precesie Larmor, un circuit (15) divizor care transformă
perioada într-o informație digitală care reprezintă intensitatea câmpului magnetic, și un circuit
17 (16) de memorare - afișare a valorii câmpului magnetic măsurat.

19 2. Magnetometru conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** bobina (2) este
cuplată la circuitul (5) ce conține un grup de condensatoare (6) pentru mărirea preciziei de
măsurare a intensității câmpului magnetic precum și a creșterii raportului semnal/zgomot, iar
21 circuitul (15) divizor modifică frecvența de acord a bobinei (2) de semnal în conformitate cu
intensitatea câmpului magnetic măsurat.

23 3. Magnetometru conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** toate
circuitele digitale funcționează sincron cu impulsurile generate de baza (9) de timp care furni-
zează semnalele de comandă ce asigură comutarea periodică a bobinei (2) la circuitele (3,
25 4) de polarizare, comutarea condensatoarelor (6) de acord precum și semnalele de sincro-
nizare ale circuitelor (8, 10-16) de prelucrare digitală.

29 4. Magnetometru conform revendicărilor 1-3, **caracterizat prin aceea că** circuitul (16)
de memorare-afișare este folosit pentru memorarea valorilor corespunzătoare intensității
câmpului magnetic și a erorilor de măsurare precum și pentru afișarea rezultatelor corelat
31 cu momentul temporal.

33 5. Metodă de măsurare a intensității câmpului magnetic cu magnetometrul de la
revendicarea 1, **caracterizată prin aceea că** în scopul mării preciziei de măsurare a
intensității câmpului magnetic și determinarea valorii cea mai probabil apropiată de valoarea
35 adevărată, precum și determinarea deviației standard în fiecare moment al măsurării, constă
în măsurarea individuală a perioadelor oscilațiilor de frecvența Larmor într-un circuit (8)
37 pentru determinarea duratei perioadei semnalului Larmor de relaxare, generarea impulsurilor
de o bază (9) de timp, transmiterea impulsurilor către două registre (10, 11) de numărare,
39 care determină perioada unei secvențe de numărare respectiv suma erorilor pozitive și
negative, urmate de divizarea semnalelor cu ajutorul circuitelor (12, 13) de divizare, calcula-
rea valorii perioadei care este cea mai apropiată de valoarea adevărată rezultând în circuitul
41 (14) de scădere digitală și determinarea finală a valorii câmpului magnetic fiind efectuată prin
calcul cu ajutorul unui circuit (15) divizor care implementează digital o constantă constructivă
43 a magnetometrului, ce conține informația privind dependența frecvenței Larmor de raportul
giromagnetic al protonului și intensitatea câmpului magnetic.

45

RO 129958 B1

6. Metodă conform revendicării 5, **caracterizată prin aceea că** în scopul determinării valorii medii a perioadei pentru un ciclu de măsurare precum și a erorii de măsurare, se transmit impulsurile cuprinse în intervalul unei perioade a semnalului de precesie nucleară la două registre (**10, 11**) digitale de numărare, din care registrul (**10**) generează secvențe corespunzătoare unei perioade, iar registrul (**11**) care este un registru de numărare direct /invers sincron cu numărătorul (**10**) generează la ieșire un număr de impulsuri corespunzător sumei erorilor pozitive și negative pe durata unei perioade. 1
3
5
7
7. Metodă conform revendicărilor 5 și 6, **caracterizată prin aceea că** obținerea valorii medii a perioadei cu probabilitatea cea mai mare de a fi apropiată de valoarea adevărată se face prin scăderea erorii medii determinată de zgomot din valoarea medie a perioadei, pentru fiecare ciclu de măsurare, operații care sunt efectuate în circuitele (**12, 13**) de divizare și circuitul (**14**) de scădere digitală. 9
11

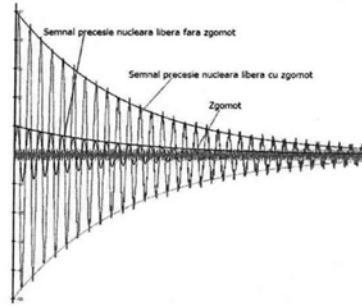


Fig. 1

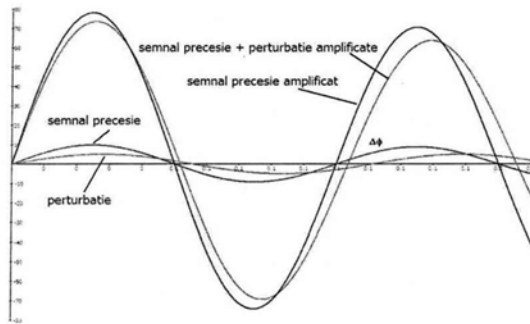


Fig. 2

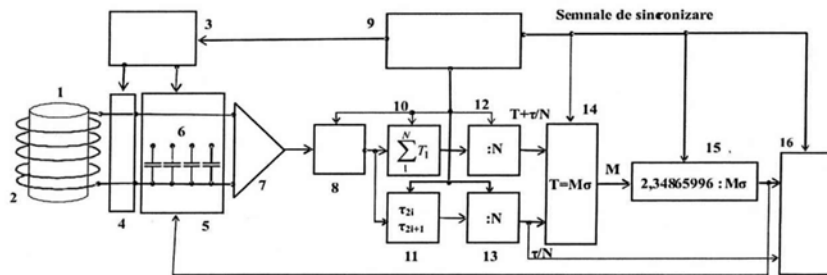


Fig. 3

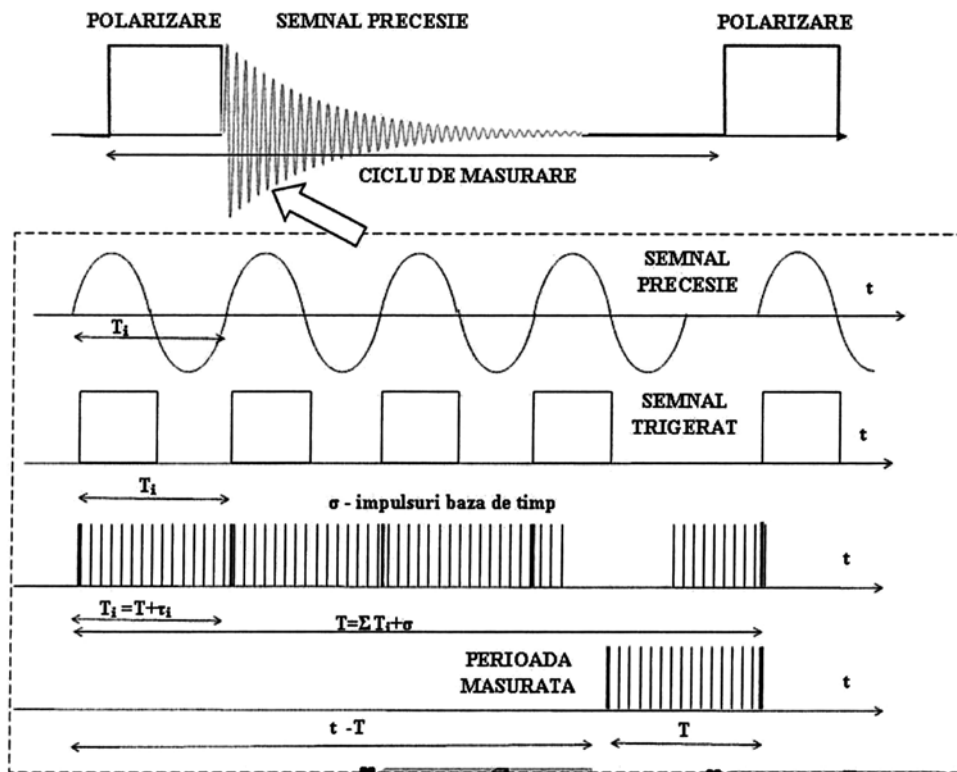


Fig. 4

