



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2017 01056**

(22) Data de depozit: **08/12/2017**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/05/2021** BOPI nr. **5/2021**

(41) Data publicării cererii:  
**30/10/2018** BOPI nr. **10/2018**

(73) Titular:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE  
ȘI DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI  
INGINERIE NUCLEARĂ "HORIA  
HULUBEI", STR. REACTORULUI NR.30,  
C.P. MG-6, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:  
• **SAVU BOGDAN, STR.ACVIDA NR.39,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **SAVA TIBERIU BOGDAN,  
STR. MOTRULUI NR.34, ET.1, AP.2,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **MOȘU DANIEL VASILE, STR.UNIRII NR.6,  
MĂGURELE, IF, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**"MAGNETIC FIELD MAPPING SYSTEM  
MMS-1A-RS!", SENIS AG, 2015,  
<http://www.senis.ch/products/mappers>;  
US 2017/0115364**

(54) **SISTEM DE CARACTERIZARE 3D A INDUCȚIEI CÂMPULUI  
MAGNETIC**



# RO 132886 B1

1           Invenția se referă la un sistem de caracterizare 3D a inducției câmpului magnetic, ce  
2 poate fi folosită la acceleratoarele de particule, la analizarea dispozitivelor medicale de tip  
3 RMN standard sau în laboratoarele de metrologie pentru certificarea magneților sau  
4 electromagneților fabricați industrial.

5           Obținerea de particule accelerate din sursele de particule încărcate cu sarcină elec-  
6 trică, ghidarea, stocarea sau analizarea fasciculului ionic nu sunt posibile fără utilizarea  
7 câmpurilor magnetice intense. De aceea, în domeniul acceleratoarelor de particule și al  
8 opticii ionice sunt folosiți electromagneți, magneți permanenți și magneți supraconductori  
9 caracterizați de o precizie foarte bună.

10           Din motive economice, în practica exploatării acceleratoarelor de particule se preferă  
11 reducerea numărului acestor elemente fără a renunța la cerința de implementare a câmpuri-  
12 lor magnetice uniforme acolo unde sunt strict necesare. Lungimea dipolilor electromagnetici  
13 utilizați în exploatarea acceleratoarelor de particule este în mod frecvent de ordinul metrilor.

14           Magneții permanenți cu specificații tehnice similare din punctul de vedere al  
15 uniformității câmpului magnetic sunt folosiți și la fabricarea instrumentelor electronice de  
16 măsurare, a instrumentelor de etalonare sau a echipamentelor electronice din categoria celor  
17 profesionale. Chiar dacă specificațiile tehnice de uniformitate a câmpului magnetic sunt  
18 similare, dimensiunile fizice și valorile câmpurilor magnetice generate de aceste aparate sunt  
19 reduse. Rezultă astfel, o prima cerință de proiectare pentru un sistem tehnic nou care să  
20 poată oferi informații utile în cazul caracterizării acestor dispozitive magnetice și anume  
21 faptul că trebuie să prezinte o rezoluție spațială foarte bună.

22           Există firme care produc echipamente de măsurat densitatea fluxului magnetic  
23 (inducția magnetică) și de cartografiere a acestuia. Printre cele mai performante sisteme, sunt  
24 cele comercializate de producătorul „Senis” care este și leader de piață. Parametrii generali  
25 de funcționare ai sistemelor de mapare, relațiile constructive de poziție sau funcționale între  
26 elementele componente pot fi trecute în revistă și vizualizate la adresa de Internet:  
27 "magneticmeasurement.com/mapper/overview\_magnetic\_field\_mapper".

28           Producătorul prezintă totalitatea variantelor constructive pe care le folosește,  
29 majoritatea fiind soluții de tip generalist „all-in-one”. Din nefericire, analiza datelor carac-  
30 teristice despre volumul de investigat, a modului de implementare a mecanismelor de pozițio-  
31 nare 3D sau a domeniului de variație a câmpului magnetic conduce la evidențierea neajun-  
32 surilor folosirii acestor sisteme pentru aplicații frecvente din domeniul exploatării accelera-  
33 toarelor de particule. Principalele probleme tehnice întâmpinate sunt detaliate în cele ce  
34 urmează.

35           Aplicațiile acceleratoarelor de particule încărcate electric includ: spectroscopia  
36 nucleară, caracterizarea de materiale, implantarea ionică, spectroscopia de masă sau  
37 hadron-terapia, pentru a enumera doar câteva dintre acestea. Echipamentele folosite la  
38 implementarea acestor tehnici de analiză sunt complexe și diversificate. Cerințele de pozițio-  
39 nare pentru aceste sisteme sunt specificate cu toleranțe stricte iar pe lanțul de accelerare  
40 a particulelor există puncte și zone bine definite spațial (puncte de control) în care se  
41 testează obținerea unor densități de flux magnetic cu valori bine precizate. De aceea, este  
42 necesară investigarea sistematică și maparea densităților de flux magnetic produse de către  
43 echipamentele de optică ionică în zone bine definite spațial, caracterizate de restricții  
44 spațiale semnificative în ceea ce privește modalitatea de acces la aceste zone.

45           Pentru că volumul de investigat este extins, aceste măsurători se efectuează adesea  
46 cu echipamente portabile care nu oferă informații exacte despre poziția spațială și care nu  
47 permit analize sistematice ori reproductibile. Asocierea sistemului portabil cu un echipament  
48 de tip GPS nu este o soluție fezabilă din mai multe puncte de vedere, cum ar fi: gradul scăzut

# RO 132886 B1

de precizie de localizare, dificultatea obținerii semnalului GPS în incinta acceleratorului, imposibilitatea introducerii sistemului GPS prin aperturi reduse, probabilitatea crescută de defectare a sistemului GPS atunci când este folosit în câmpuri magnetice intense. Construirea unui sistem tehnic de măsurare și caracterizare 3D a inducției câmpului magnetic care folosește sonde miniaturizate și care poate fi montat pe poziții prestabilite în hala acceleratorului ar putea rezolva problema investigării densităților de flux magnetic generat de către un anumit element de optică ionică, la o rezoluție de investigare spațială excelentă.

Examinând mai atent datele problemei, observăm că există două scenarii de analiză a densităților de flux magnetic pe lanțul de accelerare a particulelor. Cel mai dificil de rezolvat constă în sondarea câmpului magnetic printr-o apertură de intrare redusă, cu dimensiuni fizice adesea mai mici decât ale unei foi de hârtie format A4 și cu o profunzime a volumului mai mare de un metru.

A doua situație întâlnită frecvent în practică constă în analiza densităților de flux magnetic pe un traseu liniar, paralel cu o latură a echipamentului de optică ionică. Invenția realizată și prezentată aici are drept obiectiv rezolvarea ambelor situații și integrarea noului sistem tehnic în setul de instrumente de diagnoză necesare operării acceleratoarelor, și nu numai în cele din urmă, scopul acestor măsurători este de a confirma faptul că elementul de optică ionică (oricare ar fi acesta) aplică corect parametrii prestabiliți de către centrul de comandă și că toate elementele componente funcționează conform așteptărilor.

În altă ordine de idei, prin extinderea domeniului de măsurare și mapare a câmpului magnetic de la 2T disponibil comercial la 3T, devine posibilă și analiza unor magneți standard de tip supraconductor, caracterizați de o geometrie care prezintă simetrie cilindrică, așa cum sunt de exemplu cei folosiți în imagistica medicală bazată pe rezonanța magnetică nucleară (RMN). Această extindere a domeniului de măsurare este complementară capacității de inspecție non-distructivă a produselor fabricate industrial (echipamente electronice de precizie, aparate de măsură și instrumente științifice, echipamente industriale bazate pe generarea unui câmp magnetic staționar, magneți permanenți de înaltă precizie) și al efectuării de cercetări în domeniul materialelor (analizarea variației diverselor mărimii fizice precum permeabilitatea magnetică, magnetorezistența sau susceptibilitatea magnetică). Astfel, pentru extinderea domeniului de utilizare, invenția realizată are drept obiectiv secundar implementarea mapării densităților de flux magnetic în domeniul [-3T, 3T] cu o acuratețe mai bună de 0,03% pe tot domeniul de măsurare.

În ceea ce privește tipul de senzor pentru investigare, observăm că sondele RMN folosite pentru măsurarea câmpului magnetic sunt cele mai precise dar au dezavantajul unei arii active extinse și implicit o rezoluție spațială neperformantă. În plus acestea nu pot fi manevrate flexibil într-o structură cu restricții spațiale importante și nu permit caracterizarea distribuției spațiale a densităților de flux magnetic cu un grad pronunțat de neuniformitate. Astfel, realizarea noului sistem tehnic vizează caracterizarea 3D a inducției câmpului magnetic prin intermediul sondelor miniaturizate cu efect Hall pentru obținerea de informații spațiale precise cu privire la variația densității fluxului magnetic. Precizia și domeniul de funcționare al acestor sonde oferă premise suficiente de solide pentru a fi luate în considerare la rezolvarea problemelor tehnice expuse.

Atingerea obiectivelor de observare a neuniformităților spațiale ale densității fluxului magnetic generat de către un element de optică ionică oferă posibilitatea de extragere a informațiilor critice cu privire la performanțele funcționale ale sursei stabilizate care realizează alimentarea cu energie electrică a electromagnetului, a gradului de integritate fizică a unui magnet permanent sau a diverselor secțiuni electromagnetice care aparțin structurilor analizate.

# RO 132886 B1

1 Noul sistem tehnic de măsurare și caracterizare 3D a inducției câmpului magnetic  
care rezolva problema tehnică de investigare a distribuțiilor de câmp magnetic printr-o  
3 apertură de intrare cu o arie redusă mai mică decât o foaie de hârtie A4 (figura 1, aria  
aperturii maxime de intrare este: 0,15 m x 0,215 m) este compus din următoarele subsisteme  
5 funcționale:

Un sistem de poziționare mecanică 3D bazat pe șine de translație montate pe o  
7 placă, sistem care include și un suport cu o lungime de 1,5 m tip țeava de aluminiu eloxat  
pentru susținerea sondei miniaturizate, un suport paralelipipedic de prelungire și un suport  
9 de prindere a țevii în căruciorul șinei verticale (fig. 3);

Un Gaussmetru digital cu o microsondă, un circuit de calibrare și un microprocesor  
11 pentru excluderea efectelor termice și de neliniaritate

O aplicație software dedicată scrisă în LabVIEW care gestionează resursele, asigură  
13 stabilitatea mecanică a sistemului, reprezintă și achiziționează datele de poziționare asociate  
cu densitățile de flux magnetic (proces denumit uzual: „mapare a câmpului magnetic”);

Modelul conceptual care stă la baza invenției și schema de comunicare între  
15 subsistemele funcționale sunt prezentate în fig. 2. Așa cum se poate observa și pe figura 2,  
17 aplicația dedicată scrisă în LabVIEW care rulează pe un computer cu sistem de operare  
Windows, comandă prin intermediul protocoalelor de comunicare atât mișcarea mecanică  
19 a șinelor de translație cât și efectuarea de măsurători prin Gaussmetrul digital prevăzut cu  
microsondă Hall. Liniile de transmisie a informațiilor sunt de tip serial RS232C pentru  
21 Gaussmetru și USB 3.0 pentru șinele de translație.

Resursele subsistemelor gestionate de către aplicația software conduc la rezolvarea  
23 problemelor tehnice expuse. Subsistemul de poziționare mecanică asigură translația 3D a  
microsondei Hall într-un volum XYZ cu dimensiunile maxime de (2,84 m x 0,15 m x 0,215 m)  
25 prin intermediul unor șine de translație mecanică acționate cu ajutorul unor controller-e și a  
unor motoare de tip pas cu pas. Prezența dispozitivelor de tip encoder nu este necesară la  
27 acest sistem electromecanic, poziția curentă fiind memorată de către controller-e iar valorile  
de accelerație mecanică optimă folosite fiind determinate experimental cu sarcina mecanică  
29 maximă inclusă. Se observă că parametrii care descriu volumul de lucru și acuratețea de  
măsurare nu se regăsesc la alte echipamente inclusiv la cele prezentate în stadiul tehnicii.

În intervalul de timp în care șina verticală nu efectuează translații, orice deplasare  
31 mecanică parazită este blocată prin dispozitivul de frânare electromagnetică al șinei.  
Deplasarea minimă a senzorului se realizează pe axa verticală și are valoarea de  
33 1,56 microni. Deplasarea minimă în plan orizontal este de 2,56 microni.

Șinele sunt fixate între ele prin suporturi metalice și șuruburi. Pentru a avea acces  
35 prin aperturi metalice plasate la diferite înălțimi de lucru, a fost adăugată posibilitatea de a  
monta un suport de prelungire tip paralelipiped dreptunghic care să permită montarea șinei  
37 de translație verticală la diferite înălțimi. Acest suport și modalitatea de asamblare sunt  
prezentate în fig. 3. Înălțimea suportului folosit depinde de aplicație și este limitată doar de  
39 considerentele de fixare mecanică și greutate. În experimentele realizate cu prototipul  
sistemului am folosit un suport cu o înălțime de 0,01 m.  
41

Pentru maparea densităților de flux magnetic în volume cu o apertură de intrare  
43 redusă și o profunzime extinsă, sunt folosite un suport metalic de tip țeava de aluminiu cu  
o lungime utilă de 1,5 m împreună cu un dispozitiv mecanic de aluminiu pentru prinderea  
45 țevii în căruciorul șinei de translație verticală. În acest caz particular de folosire a sistemului  
de mapare, caracterizat de restricții spațiale care permit accesul fizic doar pentru țeava  
47 suport de sondă și microsonda montată la capătul țevii, volumul maxim care poate fi  
investigat se reduce la (1,5 m x 0,15 m x 0,215).

# RO 132886 B1

Pentru montarea sondei, prin țeava de aluminiu cu un diametru de 0,011 m se introduce un cablu coaxial care asigură conectarea microsenzorului Hall și a microsenzorului de temperatură de pe același circuit integrat (fixat la capătul țevii) cu Gaussmetrul digital care realizează măsurătorile. Gaussmetrul este prevăzut cu un circuit de calibrare dedicat, implementat pentru fiecare sondă Hall transversală utilizată. Un microprocesor realizează corecțiile pentru temperatura ambientală și de neliniaritate chiar în timpul procedurii de măsurare (timp real), pe baza informațiilor stocate în circuitul de calibrare. Coeficientul global de variație cu temperatura este de  $10^{-6}$  pentru fiecare grad de temperatură. Domeniul de măsurare a inducției câmpului magnetic la acest sistem tehnic nou este de  $[-3T, 3T]$  cu indicarea polarității și cu o acuratețe mai bună de 0,03% pe tot domeniul. Acuratețea de măsurare a fost verificată cu sonde tip RMN și este superioară sistemelor de mapare comercializate la ora actuală. Aria activă a senzorului Hall este de  $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  și asigură o rezoluție spațială care permite rezolvarea problemelor tehnice prezentate.

Prin plasarea unui dispozitiv laser la capătul țevii din aluminiu care e fixată de căruciorul șinei de translație verticală se poate vizualiza direcția de deplasare a suportului și se pot anticipa potențialele coliziuni cu dispozitivul magnetic investigat. Această aliniere cu laser este necesară doar dacă sistemul de caracterizare 3D nu este folosit într-un mediu cu o structură bine definită, dotat cu repere, mire și elemente de ghidare.

Spre deosebire de echipamentele din stadiul tehnicii, invenția rezolvă problema achiziției de date care descriu spațial densitatea de flux magnetic pentru un volum paralelipipedic caracterizat de o apertură redusă de intrare și având o profunzime extinsă:  $V(XYZ) = (2,84 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,215 \text{ m}) = 0,0916 \text{ m}^3$ . În cazul în care prin volumul investigat este permis accesul doar pentru o sondă și suportul de sondă asociat realizat din aluminiu, volumul maxim analizat se reduce la  $V(XYZ) - (1,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,215 \text{ m})$ . Volumele de baleiaj precizate anterior sunt caracteristice invenției și sunt superioare din punctul de vedere al dimensiunii maxime, volumelor menționate în stadiul tehnicii (dimensiunea maximă de baleiaj pe orizontală furnizată de noul sistem tehnic este de 2,84 m, axa orizontală fiind notată cu OX în fig. 1).

Modalitatea de accesare a volumului prin intermediul unei microsonde și a unui suport de sondă paralel cu solul și manevrat prin trei șine de translație, este diferită față de sistemele cunoscute și este adaptată pentru investigarea elementelor de optică ionică ale unui accelerator de particule. Relațiile constructive, de poziție și funcționale între părțile componente sunt unice. Invenția a fost prevăzută cu o placă de montare pe suporturi pre-aliniați cu geometria unui accelerator de particule. Acest suport de tip placă facilitează de asemenea transportul și poziționarea invenției în poziții favorabile pentru efectuarea de investigații 3D asupra unei plaje extinse de dispozitive magnetice, inclusiv pentru echipamente medicale de tip RMN. Această facilitate nu există la echipamentele din stadiul tehnicii.

Pentru a include și investigarea echipamentelor de tip RMN standard, domeniul de analizare a dispozitivelor magnetice a fost extins la intervalul  $[-3T, +3T]$ , cu o acuratețe mai bună de 0,03% pe tot domeniul de măsură. Acest domeniu de măsurare la care se adaugă acuratețea de 0,027%, nu este disponibil la sistemele prezentate în stadiul tehnicii. Dispozitivele din stadiul tehnicii nu au o acuratețe de măsurare mai bună iar unele dintre ele nu permit investigarea câmpurilor magnetice cu neuniformități pronunțate sau cu variații temporale importante. Sonda de tip Hall folosită de noul sistem tehnic reușește să obțină rezultate precise chiar și pentru câmpurile magnetice neuniforme, cu o acuratețe mult mai bună decât aceea a echipamentelor menționate în stadiul tehnicii. Aceste performanțe sunt facilitate de schema de achiziție bazată pe un circuit electronic dedicat sondei și care include un microprocesor dedicat. Această schemă de măsurare nu are echivalent printre dispozitivele cunoscute și nu există alte dispozitive care să ofere aceeași performanță tehnică.

# RO 132886 B1

1           Investigația se face pe o singură direcție spațială la un anumit moment de timp,  
achiziția nefiind simultan tridimensională. Achiziția pentru o altă direcție spațială a câmpului  
3 se obține prin re poziționarea senzorului sau a suportului de sondă. Utilizatorul execută  
manual această corectare de aliniere a sistemului de mapare cu câmpul investigat.

5           Invenția este construită pe baza unei structuri de translație mecanică diferită de  
oricare dintre structurile prezentate în stadiul tehnicii, fiind compusă din trei șine de translație  
7 cu un profil dimensional redus, asamblate într-o structură unică care nu e similară cu sisteme  
cunoscute și care furnizează accesul la zone cu dimensiuni reduse, așa cum este cazul la  
9 elementele de optică ionică dispuse serial, unul după altul pe lanțul de accelerare.

11           Șina de translație mecanică pe axa verticală poate fi montată pe un suport prelungitor  
având o formă de paralelipiped dreptunghic, în limitele în care se asigură menținerea  
13 rigidității mecanice. Această extindere de structură mecanică, permite accesul la volume de  
investigat plasate la diferite înălțimi, fiind caracterizate de o apertură de intrare cu dimensiuni  
15 reduse. Nici un alt dispozitiv din stadiul tehnicii nu reușește să obțină aceste specificații  
funcționale, în special din cauza structurii de translație mecanică diferită care este atent  
integrată cu aplicația software.

17           Flexibilitatea de asamblare a șinelor de translație cu prelungitor sau fără prelungitor  
pe axa verticală, asigură investigarea densităților de flux magnetic generate de către o plajă  
19 extinsă de dispozitive magnetice. Este posibilă și asamblarea și utilizarea a una, doua sau  
trei axe fără a modifica aplicația software de achiziție. Dispozitivele prezentate în stadiul  
21 tehnicii nu prezintă acest grad avansat de scalabilitate a structurii mecanice.

23           Invenția asigură o deplasare minimă a sondei de  $1,56 \text{ m}^{-6}$  (1,56 microni) pe verticală,  
mai redusă (și implicit mai exactă) decât sistemele prezentate în stadiul tehnicii. Rezoluția  
25 spațială a sistemului de investigare a densităților de flux magnetic este stabilită de către aria  
activă a senzorului cu efect Hall și este de  $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ , suficient de redusă pentru a asigura  
27 investigarea precisă a inducției câmpului magnetic la o gamă extinsă de dispozitive mag-  
netice sau electromagnetice. Rezoluția spațială obținută este mai bună decât la oricare dis-  
29 pozitiv de măsurare bazat pe sonde tip RMN. În plus, investigarea prin microsonde cu efect  
Hall permite și analiza densităților de flux magnetic cu un grad pronunțat de neuniformitate,  
aspect care nu e garantat de către dispozitivele RMN din stadiul tehnicii.

31           Invenția utilizează un cablu coaxial pentru conectarea sondei la gaussmetrul digital  
și un circuit de calibrare dedicat. Cămașa cablului coaxial este conectată la masă prin  
33 intermediul circuitelor interne ale gaussmetrului. Circuitul electronic dedicat cuplat cu un  
microprocesor, asigură calibrarea și corecția de temperatură specifică fiecărei sonde.  
35 Coeficientul global de variație cu temperatura implementat prin această schemă de achiziție  
având valoarea de  $1 \times 10^{-5}$  pentru fiecare grad de temperatură, este superior celor din stadiul  
37 tehnicii. Schema de corectare a semnalelor achiziționate și de diminuare a erorilor de  
măsură nu are un echivalent tehnic realizabil cu alte componente electronice, în principal din  
39 cauza numeroaselor avantaje tehnice furnizate de către microprocesor. Astfel, această  
schemă permite o implementare compactă, avansată din punct de vedere tehnologic, cu o  
41 viteză mare de operare și de corectare a erorilor în timp real.

43           La capitolul de siguranță în utilizare, notăm că aplicația software scrisă pentru  
implementarea invenției are două tipuri de opriri de urgență a procesului de baleiaj. Una  
45 dintre ele se realizează cu memorarea stării curente și repornirea de pe poziția memorată  
iar cealaltă se realizează prin abandonarea măsurătorilor și fixarea pe poziție. Atingerea  
47 cursei maxime disponibilă pentru translația pe oricare dintre cele trei axe este semnalată  
vizual prin aprinderea unui martor luminos iar mișcarea de translație este blocată automat.  
49 Aplicația software asigură menținerea stabilității mecanice a sistemului, prin menținerea  
centrului de greutate al sistemului în interiorul amprentei la sol a sistemului mecanic.

# RO 132886 B1

Aplicația software scrisă pentru această invenție asigură configurarea exhaustivă a Gaussmetrului digital și a motoarelor de tip pas cu pas prin implementarea în totalitate a protocoalelor de comunicare specifice. Invenția efectuează salvarea datelor de baleiaj în format \*.txt, \*.tiff, sau \*.csv pentru a permite integrarea cu alte programe de analiză numerică și realizarea de prelucrări statistice așa cum sunt cele care includ prelucrările numerice de tip Transformată Fourier Discretă sau de grafică profesională. Această posibilitate de salvare a datelor și de transfer pentru prelucrare cu alte pachete software nu este menționată la echipamentele din stadiul tehnicii.

În vederea eliminării oricărei posibilități de vibrație mecanică a suportului sondei sau de inducere a unor efecte parazite în procesul de măsurare a densității de flux magnetic, invenția implementează un interval de timp de așteptare implicită de o secundă între finalizarea mișcării de translație mecanică și achiziția de date. Durata timpului de așteptare este exprimată în milisecunde și se poate seta prin aplicația software la orice valoare pozitivă sau nulă. Această caracteristică implementată în aplicația software de gestionare a resurselor și de obținere a informațiilor cuplată cu rezoluția spațială și acuratețea mișcării de translație, conduce la achiziționarea de date numerice foarte precise în domeniul de măsurare specific invenției:  $[-3T, 3T]$ .

Aplicația software dedicată scrisă în LabVIEW, asigură configurarea echipamentelor pentru experimentele de optică ionică sau de caracterizare a magneților standard și nu are echivalent software în niciun mediu de dezvoltare cunoscut fiind o soluție dedicată care poate fi extinsă de către utilizator și poate fi integrată ulterior cu toată gama de aplicații sau echipamente care folosesc același mediu de programare. Compatibilitatea cu alte programe care folosesc același mediu de dezvoltare sau posibilitatea de a adăuga noi funcționalități nu este garantată la dispozitivele din stadiul tehnicii. Aceștia permit doar achiziția de module software scrise firma respectivă, firmă care exercită astfel o poziție de monopol asupra dezvoltărilor ulterioare.

Spre deosebire de echipamentele din stadiul tehnicii, invenția permite frânarea electromagnetică pe axa verticală iar în cazul întreruperii alimentării de la rețeaua de distribuție a energiei electrice, sistemul rămâne blocat în starea curentă. Așa cum am mai menționat la descrierea siguranței în funcționare, translația mecanică poate fi oricând oprită și din interfața grafică (GUI).

În plus față de dispozitivele din stadiul tehnicii care folosesc o suprafață de translație, utilizarea unor șine de translație conduce la obținerea unor distanțe de translație de ordinul metrilor și la o utilizare mai bună a spațiului disponibil din jurul elementelor de investigat. Caracteristicile acestor structuri de translație mecanică combinate cu avantajele furnizate de către aplicația software și domeniul de măsurare a câmpului magnetic conferă caracterul de unicitate noului sistem tehnic și soluționează problemele tehnice identificate în capitolul de prezentare a obiectivelor tehnice.

Pentru investigarea structurilor de optică ionică cu restricțiile geometrice specifice, acesta este dispozitivul mecanic care asigură obținerea celor mai bune rezultate. Nu există o altă construcție similară din punct de vedere al caracteristicilor hardware sau software, elementele componente fiind atent integrate pentru obținerea unui sistem tehnic nou. Simpla conectare mecanică a pieselor fără a folosi aplicația software nu conduce la obținerea unui sistem tehnic viabil sau sigur.

Un dispozitiv laser cu dimensiuni fizice reduse, de tip dioda laser, poate fi atașat la țeava de aluminiu pentru a verifica vizual traseul suportului de sondă și al sondei prin volumul obiectului investigat. Gama dispozitivelor care pot fi caracterizate cu această invenție este foarte diversificată.

# RO 132886 B1

1 La fel de diversificată este și geometria acestor dispozitive iar includerea unui  
accesorii precum această diodă laser trebuie privită ca o măsură de siguranță strict  
3 necesară.

Dacă facem o comparație cu echipamentele prezentate în stadiul tehnicii, observăm  
5 că spre deosebire de acestea, domeniul de utilizare al acestei invenții permite caracterizarea  
de dispozitive din mai multe zone tehnice. Astfel, invenția poate fi folosită la acceleratoarele  
7 de particule, la analiza dispozitivelor medicale de tip RMN standard sau în laboratoarele  
de metrologie pentru certificarea magneților sau electromagneților fabricați industrial.

9 Avantajele sistemului de caracterizare 3D a inducției câmpului magnetic, conform  
invenției, sunt următoarele:

11 - invenția folosește un dispozitiv laser pentru vizualizarea traseului de sondare și  
detectarea potențialelor coliziuni înainte ca ele să se producă;

13 - invenția folosește un set minim de componente electromecanice, fără encodere;

- invenția are un coeficient global de variație cu temperatura de  $1 \times 10^{-6}$  pentru fiecare  
15 grad de temperatură spre deosebire de dispozitivele din stadiul tehnicii care au un coeficient  
de  $0,01\%/^{\circ}\text{C}$ ;

17 - invenția implementează o procedură de oprire de urgență care memorează poziția  
curentă și permite reluarea investigațiilor după eliminarea factorilor de risc, fără oprirea  
19 alimentării cu energie electrică a sistemului;

- la acționarea comutatoarelor de capăt de cursă ale invenției, coliziunea este sem-  
21 nalizată cu un martor luminos și este implementată reluarea funcționării normale a sistemu-  
lui, fără întreruperea alimentării electrice sau intervenția manuală a operatorului.

23 Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...4 care  
reprezintă:

25 - fig. 1, o schiță cu forma alungită tipică a volumului de baleiaj pentru care se  
realizează procesul de observare a densităților de flux magnetic. Volumul are următoarele  
27 caracteristici importante: o profunzime extinsă **15**, de maximum 2,84 m, paralelă cu axa **OX**  
și o apertură **16** de intrare cu arie redusă de maximum  $(0,15 \text{ m} \times 0,215 \text{ m}) = 0,03223 \text{ m}^2$ ;

29 - fig. 2, modelul conceptual pe baza căruia s-a construit invenția și schema de  
interconectare între subsisteme. Aplicația software și calculatorul **17** care gestionează  
31 resursele, comunică cu Gaussmetrul digital **18** și controller-ele **20**, **21** și **22** sistemul mecanic  
bazat pe șine de translație **10**, **13** și **6**, prevăzute cu motoare pas cu pas. Comunicarea are  
33 loc prin linii seriale RS232C pentru Gaussmetru și USB 3.0 pentru motoarele pas cu pas.  
Sonda este prinsă într-un suport fixat de șina de translație verticală **8**. Sonda este conectată  
35 la Gaussmetrul digital printr-un circuit de calibrare dedicat;

37 - fig. 3, o schiță a sistemului mecanic care este folosit de invenție pentru poziționarea  
3D a sondei în volumul de mapare;

Sistemul este montat pe o placă suport **1** prin intermediul elementelor de fixare **2** care  
39 aparțin celei mai lungi șine de translație **13**. Aceasta asigură deplasarea maximă de 2,84m  
a sondei pe direcția spațială notată cu **OX**. Figura include un magnet tipic **3** cu o apertură de  
41 intrare în magnet **4**, acolo unde trebuie cartografiată densitatea de flux magnetic prin inter-  
mediul sondei miniaturizate cu efect Hall **5**. Care conține și un microsenzor de temperatură.  
43 Translația pe verticală **OZ** a sondei **5** și a suportului de sondă **8** este asigurată prin șina de  
translație **6** care conține și un dispozitiv de frânare electromagnetice. Fixarea sondei în  
45 căruciorul axei verticale se realizează cu un suport metalic **7**. Șina de translație pe verticală  
**6** este fixată de șina de translație **10** pe axa orizontală **OY** prin suportul **9** și suportul prelungi-  
47 tor **11**. Șinele de translație în plan orizontal **10** și **13** sunt fixate între ele printr-o placă  
metalică **12** prevăzută cu șuruburi. Suportul placă **1** este dotat cu orificii de prindere **14** pe  
49 o poziție pre-aliniată cu geometria magnetului sau a instalație de accelerare.



# RO 132886 B1

- fig. 4, prezintă în format grafic rezultatele proceselor de baleiaj unidimensional ale unui magnet permanent folosit într-un echipament de spectroscopie ionică de mare precizie, cunoscut sub denumirea de parabolă Thompson, cu performanțe bine definite și certificate de producător. Achiziția a fost realizată cu noul sistem tehnic pentru a verifica funcționarea și sensibilitatea de detecție;

- fig. 4, (A) prezintă un baleiaj de tip profil liniar al zonei de intrare;

- fig. 4, (B) prezintă baleiajul zonei de ieșire. Aceasta prezintă mici defecte structurale (apertura de ieșire a fost ciobită). Diferența observabilă în urma comparării celor două grafice demonstrează sensibilitatea noului sistem tehnic de caracterizare 3D a inducției câmpului magnetic.

Sistemul tehnic de măsurare și mapare 3D a câmpului magnetic este compus din trei subsisteme majore care colaborează pentru atingerea scopului și rezolvarea obiectivelor tehnice propuse. Cele trei subsisteme principale care își potențează reciproc efectele sunt: un sistem mecanic de poziționare, un echipament de măsurare precisă a densităților de flux magnetic și o aplicație software care gestionează resursele, prezintă și salvează datele în diferite formate digitale. Atât sistemul de mișcare cât și sistemul de măsurare a câmpului magnetic pot fi acționate automat din aplicația software sau manual din panourile frontale. Schema de interconectare a componentelor principale este prezentată în fig. 2.

În continuare, prezentăm implementarea detaliată a fiecărui subsistem.

Sistemul mecanic de poziționare 3D a sondei Hall miniaturizată:

Sistemul mecanic de poziționare 3D a sondei Hall este compus din următoarele componente (fig. 3): un suport **1** de susținere și montare pe o poziție pre-aliniată, trei șine de translație **6**, **10** și **13**, componentele **2**, **7**, **9**, **12** și **14** de fixare și prindere cu șuruburi, un suport prelungitor **11** de tip paralelipiped dreptunghic din aluminiu cu o înălțime de 0,1 m care permite accesul sondei prin aperturi cu o arie îngustă și plasate la înălțime și un suport (8) de sondă realizat dintr-o țevă de aluminiu eloxat cu un diametru maxim de 0,011m.

Șina de translație **13** pe axa OX are o cursă maximă de 2,84 m cu un pas întreg de  $20 \times 10^{-6}$  m și cu posibilitatea de demultiplicare a acestuia cu un raport de 1/8, ajungând până la un pas echivalent de  $2,5 \times 10^{-6}$  m. Sarcina mecanică maximă pe care o poate transporta această șină este de 60 kg, la o viteză maximă de 0,04 m/s. Accelerația până la viteza maximă și decelerația până la oprire sunt ajustabile prin aplicația software dedicată. Elementul care contează în setarea valorilor de accelerare sau decelerare este sarcina mecanică pe care o transportă șina la un anumit moment de timp.

Șina de translație **10** pe axa OY are o cursă maximă de 0,54 m cu un pas întreg de  $20 \times 10^{-6}$  m și cu posibilitatea de demultiplicare cu un raport de 1/8, ajungând la un pas echivalent de  $2,5 \times 10^{-6}$  m. Sarcina mecanică maximă pe care o poate transporta este de 60 kg la o viteză de 0,04 m/s. Deplasarea pe axa OY este cenzurată prin aplicația software, astfel încât proiecția centrului de greutate al ansamblului compus din șinele de translație pe axele OZ și OY, prelungitorul paralelipipedic și suportul de sondă să cadă întotdeauna pe interiorul amprentei la sol a șinei responsabile cu deplasarea pe OX. Această restricționare nu este evidentă sau transparentă pentru utilizator, dar reamintim că scopul invenției este de a avea acces la volumul de baleiaj printr-o apertură caracterizată de o arie redusă. Astfel, restricția software de cenzurare a translației pe axa OY nu contravine cu rezolvarea problemelor tehnice enumerate. În plus, prin selectarea parametrilor tehnici din gama de parametri posibili, se obține un efect de auto-stabilizare a întregii structuri mecanice.

Șina de translație **6** pe axa OZ are o cursă maximă de 0,24 m cu un pas întreg de  $12,5 \times 10^{-6}$  m și cu posibilitatea de demultiplicare cu un raport de 1/8, ajungându-se la un pas echivalent de  $1,56 \times 10^{-6}$  m. Sarcina mecanică maximă pe care o poate transporta această

# RO 132886 B1

1      șină este de 10 kg la o viteză maximă de 0,04 m/s. Cursa maximă disponibilă pentru baleiajul  
3D este de 0,215 m. Șina este prevăzută cu frânare electromagnetică iar în intervalele de  
3 timp în care nu se efectuează mișcare de translație pe axă sau atunci când nu există  
alimentare cu energie electrică, șina este blocată de către acest dispozitiv de frânare. Având  
5 în vedere durata mare de timp de investigare necesară pentru parcurgerea volumului extins  
de baleiaj, această facilitate a șinei de translație verticală este una dintre cele mai importante  
7 caracteristici tehnice, caracteristică care asigură funcționalitatea sistemului și atingerea  
obiectivelor propuse.

9              Șina care face translația pe axa OZ verticală poate fi montată pe căruciorul șinei de  
translație OY cu ajutorul unor suporturi de prindere cu șuruburi. Se poate adăuga un prelungi-  
11 tor **11** de tip paralelipiped dreptunghic din aluminiu. Înălțimea suportului prelungitor este  
dictată de aplicație și este limitată de menținerea rigidității mecanice a sistemului. La reali-  
13 zarea fizică a sistemului, am folosit un suport de prelungire cu o înălțime de 0,1 m.

15              Volumul maxim de baleiaj restricționat prin software este de (2,84 m x 0,15 m x  
x 0,215 m). Motoarele care asigură acest baleiaj sunt de tip pas cu pas fără encodere.  
17 Această metodă de verificare a mișcării prin encodere nu a fost considerată necesară pentru  
că accelerația a fost atent controlată din software. Controller-ul este responsabil de memora-  
rea poziției curente iar locația de memorie în care este stocată această informație este  
19 accesată de aplicația scrisă în LabVIEW.

21              Microsonda este fixată de sistemul mecanic de translație printr-o țevă de aluminiu  
eloxat neutră din punct de vedere magnetic, cu un diametru maxim de 0,01 m care permite  
trecerea cablului coaxial și realizarea conexiunii dintre senzorul Hall transversal **5** plasat la  
23 capătul exterior al țevii **8** și Gaussmetrul digital.

25              Apertura minimă a magnetului prin care poate intra această sondă Hall transversală  
este de (0,015 m x 0,015 m) și e dictată de dimensiunile fizice ale senzorului. Suportul  
sondei este prevăzut cu o fantă la capătul de fixare a senzorului Hall. Această fantă permite  
27 rotirea pastilei circuitului Hall la 90° iar dacă se efectuează și rotirea senzorului de tip  
transversal se poate înregistra pe oricare dintre cele trei direcții spațiale. Reglajul de fixare  
29 a direcției de investigare se face la începutul setului de măsurători, atunci când se montează  
sonda și suportul sondei.

31              La implementarea prototipului pentru suportul sondei am folosit o țeava din aluminiu  
cu o lungime utilă de 1,5 m. Fenomenul de inducere de vibrații mecanice în suportul din  
33 aluminiu a fost minimizat prin folosirea unei mișcări de translație programată software, care  
implementează următoarele etape (algoritm de translație):

35              1. Se efectuează o mișcare accelerată de la viteza de 0 m/s până la 0,04 m/s cu o  
accelerație prestabilită prin configurarea controller-ului înainte de începerea experimentului.

37              2. Se realizează o mișcare de translație pe axă cu viteza maximă constantă de  
0,04 m/s până în apropierea punctului de destinație.

39              3. Are loc o mișcare decelerată până la viteza nulă.

41              4. Se implementează un interval de timp de așteptare care permite amortizarea  
oricăror vibrații parazite înainte de efectuarea măsurătorilor de câmp magnetic. Implicit,  
valoarea timpului de așteptare este de o secundă dar poate fi setată la orice valoare pozitivă  
43 sau nulă.

45              5. Doar pentru șina responsabilă de translația pe verticală, se adaugă la începutul  
și sfârșitul mișcării de translație, etapele de acționare a dispozitivului automat de frânare  
electromagnetică, respectiv blocarea sau deblocarea șinei.

# RO 132886 B1

Controler-ul șinelor de translație este conectat la PC prin conexiune serială de tip USB 3.0. Pe lângă funcția de mișcare de translație, PC-ul asigură setarea parametrilor de accelerație, decelerație, semnalizare pentru starea curentă a motoarelor, atingerea capătului de cursă de translație. Deplasarea pe flecare axă este independentă de starea curentă a celorlalte șine iar sonda se poate deplasa pe trei axe simultan, executând o mișcare 3D compusă, cunoscută și sub denumirea de „contur”.	1
Sistemul de poziționare 3D prin translație mecanică controlată de către calculator a fost testat cu un micrometru digital și cu un comparator „MAHR” pentru a verifica dacă mișcarea comandată de către aplicația software este efectuată la parametrii ceruți de către utilizator. Rezultatele sunt conforme cu așteptările.	3
Folosirea unei suprafețe de translație în locul șinelor de translație ar implica renunțarea la profilul mecanic minimalist pe care îl are invenția. La acest aspect se adaugă faptul că nu se pot asigura deplasări mecanice de ordinul metrilor prin sistemele mecanice de tip suprafață de translație uzuale.	5
<i>Sistemul digital de achiziție cu sondă Hall miniaturizată</i>	7
Sonda Hall este cuplată la Gaussmetrul digital printr-un cablu coaxial și un circuit electronic special folosit pentru calibrarea la variațiile de temperatură precum și pentru liniarizare. Corecțiile necesare sunt efectuate cu un microprocesor integrat în Gaussmetru iar circuitul de calibrare este construit special pentru fiecare sondă. Aria activă a senzorului este de $0,5 \times 10^{-6} \text{m}^2$ , domeniul de măsurare fiind definit prin intervalul $[-3T, 3T]$ cu o acuratețe de 0,027% pe tot domeniul. Rata maximă la care poate funcționa Gaussmetrul este de zece măsurători pe secundă. Comunicarea cu PC-ul a fost realizată prin intermediul unei conexiuni seriale RS232 configurată pentru transmisia la 9600 BAUD cu schema de codare desemnată în literatură cu notația „8N1”.	9
Spre deosebire de achiziția prin sonde RMN, acest tip de microsondă Hall asigură o rezoluție spațială superioară și poate furniza măsurarea densităților de câmp magnetic cu un grad pronunțat de neuniformitate.	11
Principalii parametri de lucru ai Gaussmetrului se pot stabili din panoul frontal sau prin intermediul aplicației software scrisă pentru acest sistem tehnic. Cablul coaxial care face legătura cu senzorul Hall are cămașa conectată la masă iar carcasa Gaussmetrului este și ea conectată la același circuit comun de împământare	13
Aplicația software pentru gestionarea resurselor și achiziția de date.	15
Aplicația software dedicată a fost scrisă în LabVIEW 2012 pentru sistemul de operare Windows 7. Ea este portabilă pe orice mașină de calcul similară sau mai nouă. Schema de comunicare este de tip client-server pe o arhitectură de tip „arbore cu spițe” în care punctul central este PC-ul. Resursele Gaussmetrului și ale șinelor de translație sunt controlate și monitorizate de către PC prin intermediul unor protocoale de comunicare care asigură desfășurarea tranzacțiilor pe linii seriale tip USB și RS232C.	17
Aplicația software este compusă din mai multe module care implementează poziționarea sondei pentru alinierea cu elementul investigat sau pentru executarea secvenței de baleiaj, afișarea stării motoarelor (viteza, accelerația, decelerația, erorile de comunicare, codul ultimei erori, etc), gestionarea Gaussmetrului (alegerea scalei de măsurare, alegerea modului de lucru, efectuarea unei măsurători de câmp magnetic sau de temperatură), afișarea grafică a profilului de variație spațială a densității de flux magnetic așa cum este înregistrată pe diferite poziții spațiale, salvarea datelor pentru analiza ulterioară în format *.txt, *.tiff sau *.csv, oprirea de urgență a baleiajului cu sau fără memorarea poziției curente, afișarea valorii inducției câmpului magnetic pe poziția curentă precum și asigurarea stabilității mecanice a sistemului.	19
	21
	23
	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

# RO 132886 B1

1 Pentru verificarea capacităților de funcționare ale sistemului, s-au realizat baleiaje de  
investigare pentru sisteme de optică ionică cunoscute. În figura 4 sunt prezentate două  
3 grafice obținute cu noul sistem tehnic pentru un magnet permanent de la un spectrometru  
ionic cunoscut sub denumirea de parabolă Thompson. Graficul din figura 4 - (A) este realizat  
5 pentru apertură de intrare iar cel din figura 4 - (B) este pentru apertura de ieșire a unui  
magnet care prezintă ușoare defecte structurale. Graficul pentru apertura improprie prezintă  
7 deformări în jurul anvelopei de tip Gaussian. Observația demonstrează sensibilitatea  
deosebită a noului sistem tehnic realizat pentru caracterizarea densităților de flux magnetic  
9 ale elementelor de optică ionică. Pe baza datelor de structură mecanică și a celor înregistra-  
te cu noul sistem tehnic au fost realizate simulări de traiectorii ale unor specii diferite de  
11 ioni prin parabola Thomson analizată.

Invenția este folosită în instalații de cercetare de tipul acceleratoarelor de particule  
13 pentru investigarea elementelor de optică ionică care controlează parametri spațiali ai  
fasciculului de ioni prin intermediul câmpului magnetic. Invenția este adaptată pentru  
15 volumele de baleiaj caracterizate de o apertură de intrare redusă și o profunzime extinsă.

Invenția prezentată poate fi folosită și la efectuarea de măsurători metrologice în  
17 procesul de fabricare a magneților permanenți sau a electromagneților. Dimensiunile fizice  
ale magneților fabricați în mod frecvent nu sunt foarte extinse. Astfel, deoarece invenția  
19 deține o rezoluție spațială excelentă se poate efectua un singur baleiaj pentru a investiga mai  
multe dispozitive sau mini-dispozitive magnetice.

Noul sistem tehnic oferă informații vizuale și numerice despre densitățile de flux  
21 magnetic, informații care pot ajuta la luarea deciziei de excludere sau validare a unui produs,  
în urma analizelor efectuate. Aplicația grafică integrează funcții de „zoom” (magnificare  
23 digitală a unei imagini) și de afișare grafică a datelor obținute prin baleiaj. De asemenea,  
sistemul memorează datele pe discul hard al PC-ului. Un operator poate folosi aceste  
25 informații pentru a genera un certificat de analiză metrologică a produsului în vederea  
comercializării ulterioare. Operatorul poate adăuga în buletinul de analiză și date de analiză  
27 statistică a informațiilor primare obținute cu noul sistem tehnic prezentat, informații precum  
valoarea maximă, valoarea minimă sau valoarea medie a inducției câmpului magnetic,  
29 abaterea standard sau transformata Fourier discretă pentru diversele profile magnetice  
înregistrate.

Sistemul de caracterizare a densităților de flux magnetic este portabil și poate oferi  
33 informații de defectoscopie a dispozitivelor magnetice sau electromagnetice precum și de  
mapare a gradului de omogenitate a câmpului magnetic. Sistemul este demontabil și poate  
35 fi asamblat pe altă poziție fără alterarea parametrilor tehnici caracteristici.

Aplicația software este deschisă pentru utilizatorul final care poate adăuga cod  
37 suplimentar, în funcție de necesități. Astfel, invenția poate fi folosită și integrată într-un sistem  
de investigare automată a magneților fabricați pe o linie de producție dacă se implementează  
39 în software criteriul de selectare a magneților în funcție de performanțele înregistrate. De  
asemenea, este necesară și alinierea automată a sondei cu geometria liniei de producție,  
41 aspect care se implementează local și este specific.

Invenția poate fi folosită și la caracterizarea densităților de flux magnetic generate de  
43 către magneții RMN standard, care au variații ale inducției cuprinse în domeniul  $[-3T, 3T]$ .  
Pentru că aceștia sunt deja instalați în centrele de tratament, procedura de investigare  
45 necesită demontarea, transportul și asamblarea sistemului tehnic în spațiul care găzduiește  
echipamentul RMN. Achiziția de date se face automat după instalarea pe poziție și verifica-  
47 rea traseului cu dioda laser.

## RO 132886 B1

Datele de investigare sunt memorate automat în format \*.txt, \*.csv sau \*.tiff. Astfel noul sistem tehnic poate fi integrat cu programe de analiză grafică profesională sau cu medii de dezvoltare software științifice pentru analize de tip offline. Suplimentar, pentru includerea în buletinele de analiză, aplicația software a invenției afișează profile de analiză care pot fi transferate direct din interfața grafică a aplicației în orice program de grafică prin folosirea meniurilor de tip „copiere” și „decupare”. Graficele prezentate în figura 4 au fost generate cu această facilitate. Pentru că utilizatorul final are acces la codul sursă al aplicației, el poate include și prelucrările statistice de care are nevoie.

# RO 132886 B1

1

## Revendicare

3 Sistem pentru maparea 3D a inducției câmpului magnetic, **caracterizat prin aceea**  
4 **că**, este portabil, compact și constituit dintr-un echipament digital cu microprocesor (**18**)  
5 conectat la o microsondă Hall (**5**) și la un senzor integrat de temperatură care măsoară  
6 câmpul magnetic și temperatura, prin sondare în spațiile sau aperturile libere (**4**) din interiorul  
7 sau exteriorul unui magnet de optică ionică clasic ori supraconductor (**3**), microsonda Hall  
8 fiind plasată la capătul liber al unui suport liniar de tip țeava (**8**), cvasiparalelă cu solul,  
9 deplasabilă prin intermediul a trei șine (**10**), (**13**), (**6**) de translație liniară motorizate, câte una  
10 pentru fiecare direcție spațială, cu un profil dimensional redus, montabile scalabil 3D pe un  
11 suport de asamblare ghidată (**1**) cu elemente (**2**) de prindere mecanică, și un calculator (**17**),  
12 pe care rulează un program dedicat, și care printr-o rețea serială de date, controlează  
13 centralizat mișcarea de deplasare 3D a microsondei Hall și obținerea informațiilor de câmp  
14 magnetic cu o acuratețe mai bună de 0,027% și a informațiilor de temperatură pe pozițiile  
15 pre-programate.

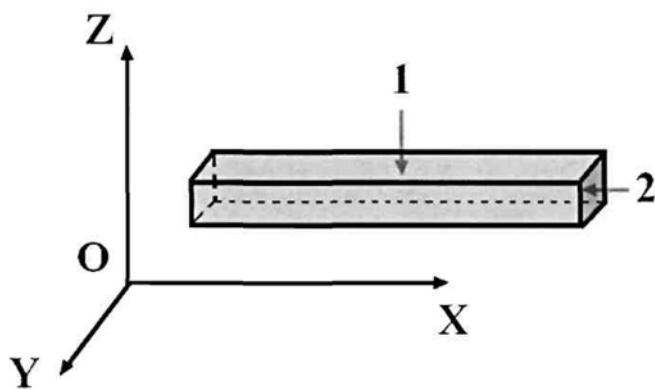


Fig. 1

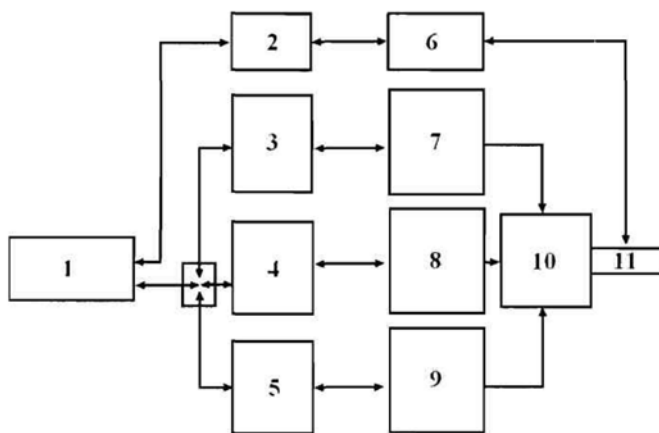


Fig. 2

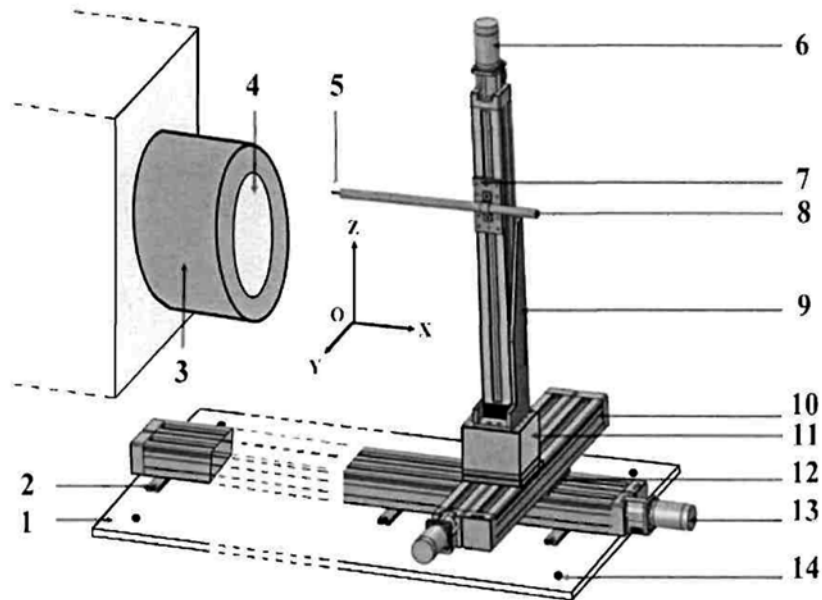


Fig. 3

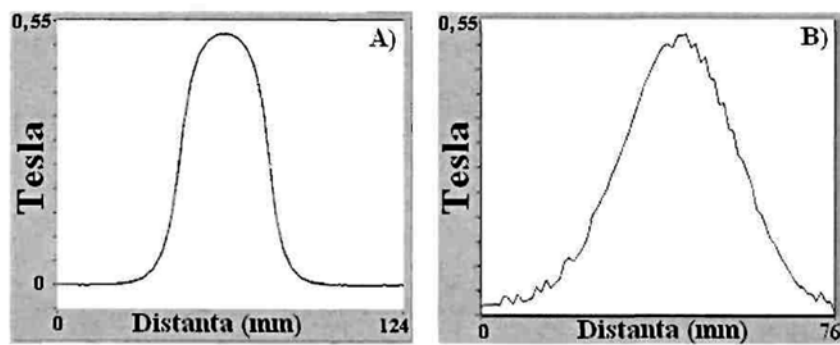


Fig. 4

