

(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2006 00350**

(22) Data de depozit: **24.05.2006**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29.06.2012** BOPI nr. **6/2012**

(41) Data publicării cererii:  
**30.11.2007** BOPI nr. **11/2007**

(73) Titular:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
INGINERIE ELECTRICĂ ICPE - CA,  
SPLAIUL UNIRII NR. 313, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:  
• **MACAMETE ELENA, ALEEA  
SÂNDULEȘTI NR. 2, BL. OD 7, SC.F,  
AP. 237, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **IGNAT MIRCEA, STR. ROȘIA MONTANĂ  
NR. 4, BL. O 5, SC. B, AP. 62, SECTOR 6,  
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **TEIȘANU ARISTOFAN ALEXANDRU,  
CALEA VĂCĂREȘTI NR. 238, BL. 71, SC. B,  
ET. 4, AP. 48, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,  
RO;**

• **PUFLEA IOAN, BD. DACIA NR. 45, ET. 5,  
AP. 32, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**JP 2003207526 A; RO 68817; JP 8190816 A**

## (54) DISPOZITIV INDUCTIV DE MĂSURĂ A DENSITĂȚII CRITICE A CURENTULUI

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dispozitiv inductiv, pentru măsurarea densității critice a curentului dintr-un cilindru cav, supraconductor, plasat într-un câmp magnetic axial, care este folosit pentru determinarea, pe cale experimentală, a caracteristicii de material densitate critică de curent - câmp magnetic aplicat. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un cilindru (1) cav supraconductor, cuplat magnetic cu o bobină (2) cu prize, pentru reglarea numărului de spire, ansamblul fiind imersat într-o baie (3) de azot a unui criostat (4) a cărui flanșă (5) de capăt este penetrată de un tub (6) prin care trec niște prize (7) care se conectează, succesiv, la o sursă de tensiune reglabilă în curent alternativ, tensiunea de la borne și curentul fiind înregistrate de un osciloscop (OSC).

Revendicări: 1  
Figuri: 3

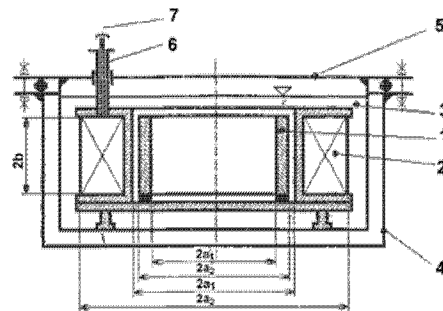


Fig. 1

Examinator: fizician RADU ROBERT



Orice persoană are dreptul să formuleze în scris și motivat, la OSIM, o cerere de revocare a brevetului de invenție, în termen de 6 luni de la publicarea mențiunii hotărârii de acordare a acesteia

# RO 123462 B1

1 Inventția se referă la un dispozitiv inductiv de măsură a densității critice a curentului  
dintr-un cilindru cav, supraconductor, plasat în câmp magnetic axial, cu aplicații pentru  
3 determinarea pe cale experimentală a caracteristicii de material densitate critică - câmp  
magnetic.

5 Sunt cunoscute tehnici de măsurări ale curenților critici: măsurarea în patru puncte  
în c.c. și măsurarea în șase puncte în c.a.. Ele implică prepararea unor probe plate din  
7 materialul supraconductor, pe care se depun patru, respectiv, șase contacte galvanic.

9 Dezavantajele soluțiilor cunoscute sunt următoarele: se măsoară numai curentul critic  
axial; interfața contact galvanic - material supraconductor introduce rezistențe electrice  
parazite, care influențează sensibil rezultatele măsurării.

11 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este de a determina caracteristica de  
material densitate critică de curent - câmp magnetic aplicat, dintr-un supraconductor.

13 Dispozitivul inductiv de măsură a densității critice a curentului dintr-un cilindru cav,  
supraconductor, plasat în câmp magnetic axial, conform invenției, înlătură dezavantajele  
15 menționate, prin aceea că este alcătuit dintr-un cilindru cav, supraconductor, cuplat magnetic  
cu o bobină cu prize, pentru reglajul numărului de spire, ansamblul este imersat în baia de  
17 azot lichid a unui criostat, a cărui flanșă de capăt este penetrată de un tub prin care trec  
prizele bobinei, care se conectează succesiv la o sursă de tensiune reglabilă în c.a.,  
19 tensiunea de la borne și curentul fiind înregistrate de un osciloscop; măsoară densitatea  
critică de curent în direcție circumferențială din domeniul  $10^6 \div 10^8$  A/m<sup>2</sup>, în câmp magnetic  
21 axial în domeniul  $10 \div 500$  Oe.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

23 - se măsoară direct o singură mărime: curentul de activare. Maximul net al curentului  
din bobină permite determinarea cu precizie a curentului de activare;

25 - relațiile funcționale prin care se determină densitatea critică de curent și câmpul  
magnetic critic sunt bine cunoscute. Datorită simetriei de rotație a câmpului magnetic erorile  
27 de calcul sunt sub 5%;

29 - valoarea câmpului magnetic aplicat se obține ușor prin reglajul numărului de spire  
(bobina este prevăzută cu prize) și prin variația tensiunii de la bornele bobinei;

31 - caracterul inductiv al dispozitivului elimină orice contact galvanic cu cilindrul  
supraconductor.

- permite măsurarea densității critice a curentului cu direcția circumferențială.

33 Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, cu referire la:

35 - fig. 1, care reprezintă o secțiune axială prin dispozitivul de măsură cu o singură  
priză;

37 - fig. 2, care reprezintă schema echivalentă a dispozitivului de măsură;

- fig. 3, care reprezintă configurația geometrică a sistemului.

39 Starea supraconductoare a unui material este stabilă numai dacă temperatura  
materialului, câmpul magnetic în care este plasat materialul și densitatea curentului de  
conducție din material sunt inferioare unor valori critice  $T_c$ ,  $H_c$ , respectiv,  $J_c$ . Aceste valori  
41 critice ale parametrilor sunt interdependente, adică  $J_c = J_c(H_c, T_c)$ .

43 Supraconductorii ceramici tehnic utilizabili (pe baza de Y sau Bi) au forma de cilindru  
cav și sunt imersați în baia de azot lichid a unui criostat, astfel că temperatura lor  $T=7,7$  K  
este inferioară temperaturii critice maxime  $T_e > 90$  K. În aceste condiții, dependența dintre  
45  $I_c$  și  $H_c$  este de tipul  $J_c=H_c$ . Parametrii de material depind de natura materialului, dar și de  
tratamentele mecanice termice la care a fost supus (parametrii extrinseci) și se determină  
47 din caracteristicile experimentale  $J_c=J_c(H_c)$ .

# RO 123462 B1

Dispozitivul de măsură este alcătuit din cilindru cav, supraconductor 1, cuplat magnetic cu bobina 2, prevăzută cu prize pentru reglajul numărului de spire. Cilindrul cav, supraconductor 1 și bobina de câmp 2 sunt imersate în baia de azot lichid 3 a unui criostat 4. Flanșa de capăt 5 a criostatului 4 este penetrată de tubul 6 prin care trec prizele 7. Prizele 7 ale bobinei 2 se conectează succesiv la o sursă de tensiune reglabilă în c.a. - STR, tensiunea de la borne și curentul fiind înregistrate de un osciloscop - OSC.

Dispozitivul de măsură poate fi modelat ca un transformator cu secundarul în scurtcircuit și cu rezistența variabilă.

Dacă curentul  $I$  din bobina de câmp 2 are valori sub valoarea curentului de activare,  $I_a$ , cilindrul cav 1 este în stare supraconductoare, iar rezistența electrică a lui este nulă. La  $I = I_a$ , în cilindrul cav 1, începe tranziția stare supraconductoare - stare normal conductoare, prin care în secundar se introduce o rezistență electrică mare, cu efect de reducere a curentului din bobina 2. Valoarea maximă  $I_a$ , a curentului din bobina de câmp 2, este înregistrată de OSC și corespunde densității critice de curent din cilindrul cav, supraconductor 1.

Procedura de determinare a unui punct (al caracteristicii  $J_c(H_c)$ ) este următoarea:

- se calculează parametrii electrici concentrați  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$  din schema electrică echivalentă;

- curentul critic din cilindrul cav 1 este  $I_c = (M/L_2)I_a$ , iar densitatea critică de curent corespunzătoare este  $J_c = I_c/2b(a'_2 - a'_1)$ ;

- se calculează câmpul magnetic critic  $H_c$  (câmpul din planul median, într-un punct de pe suprafața cilindrului cav, supraconductor 1).

**Exemplu de calcul**

1. Parametrii din schema electrică echivalentă

Se consideră configurația geometrică descrisă de parametrii:  $2a'_1 = 54$  mm,  $2a'_2 = 60$  mm,  $2a_1 = 66$  mm,  $2a_2 = 86$  mm,  $2b = 20$  mm.

Bobina de câmp 2 este confecționată din conductor de cupru cu diametrul  $d_1 = 1$  mm și conține  $w_1 = 183$  spire.

Parametrii din schema electrică echivalentă se calculează astfel:

- rezistența electrică a bobinei de câmp 2:

$$R_1 = \frac{4\rho_{Cu}w_1(a_1 + a_2)}{d_1^2} = 1,1\Omega$$

- reactanța inductivă a bobinei de câmp 2:

$$\omega L_{l_{max}} = \omega \frac{\mu_0}{8\pi} w_1^2 d \psi(\rho) F(\rho, \gamma), \rho = \frac{a_2 - a_1}{a_2 + a_1}, \gamma = \frac{a_2 - a_1}{2b}$$

Pentru  $\rho = 0,13$  și  $\gamma = 0,65 \Rightarrow \psi = 36,838$ ,  $F = 0,65 \Rightarrow \omega L_{l_{max}} = 0,96 \Omega$

- rezistența electrică maximă a cilindrului supraconductor 1:

$$R_{2_{max}} = \frac{\pi\rho_{NC}(a_1 + a_2)}{2b(a_2 - a_1)}$$

$\rho_{NC} = 4 \cdot 10^{-5} \Omega\text{m}$  rezistivitatea materialului supraconductor YBCO aflat în stare normal conductoare  $\Rightarrow R_{2_{max}} = 5,3 \cdot 10^{-2} \Omega$

# RO 123462 B1

1 - reactanța inductivă a cilindrului supraconductor 1:

$$3 \quad \omega L_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} (a_1 + a_2) \phi(\rho, \alpha), \quad \rho = \frac{a_2 - a_1}{a_2 + a_1}, \quad \alpha = \frac{2b}{a_2 - a_1}$$

5 Pentru  $\rho = 0,05$  și  $\alpha = 0,35 \Rightarrow \phi = 11,5 \Rightarrow \omega L_{2\max} = 2,1 \cdot 10^{-5} \Omega$

7 - reactanța mutuală a sistemului cilindru supraconductor 1 - bobină de câmp 2.

Configurația geometrică a sistemului are dimensiunile conform fig. 3.

9 Sistemul magnetic are următoarea configurație: (1', 2', 3'), (1', 2'), (2', 3'), (2').

11 Bobinele sunt caracterizate prin parametri:  $a = 20 \cdot 10^{-3} \text{m}$  - înălțime,  $d[\text{m}]$  - diametrul mediu,  $r[\text{m}]$  - grosime,  $w = r[\text{m}]$  - numărul de spire.

Inductanța mutuală este dată de formula:

$$13 \quad M = \frac{w_1 w_3}{2r_1 r_3} \left[ L'_{1'2'3'} + L'_{2'} - L'_{1'2'} - L'_{2'3'} \right]$$

17 Mărimile de calcul  $L'$  se determină cu formula:

$$19 \quad L' = \frac{\mu_0}{4\pi} w^2 d \cdot \phi(\alpha, \rho), \quad \alpha = a/d, \quad \rho = r/d$$

21 Rezultatele calculului sunt date în tabelul următor.

Bobină	$d \cdot 10^3$	$r \cdot 10^3$	$\rho=r/d$	$\alpha=a/d$	$\phi$	$w \cdot 10^3$	$L' \cdot 10^{12}$
(1', 2', 3')	70	16	0,23	0,29	10	16	17,92
(1', 2')	60	6	0,1	0,33	11	6	2,376
(2', 3')	73	13	0,18	0,27	11,2	13	13,8174
(2')	63	3	0,05	0,32	11,5	3	0,652

27 În final, se obține  $\omega M = 2,3 \cdot 10^{-3} \Omega$ .

29 **2. Funcționarea sistemului**

Ecuțiile pentru primar și pentru secundarul scurtcircuitat sunt:

$$31 \quad \begin{cases} U = R_1 I_1 + j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 \\ 0 = R_2 I_2 + j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 \end{cases}$$

35 Dacă cilindrul este în stare supraconductoare,  $R_2 = 0$  și  $L_1 = L_{1\min} = 0$ . Rezultă atunci:

$$37 \quad I_{2SC} = \frac{M}{L_2} I_{1SC} \quad \text{și} \quad I_{1SC} \approx \frac{U}{R_1}$$

39 Dacă cilindrul este în stare normal conductoare,  $R_2 \neq 0$ ,  $L_1 = L_{1\max}$ ,  $L_2 \approx 0$ . Rezultă atunci:

$$41 \quad I_{INC} \approx \frac{U}{\left[ R_1^2 + (\omega L_1)^2 \right]^{1/2}}$$

43

# RO 123462 B1

și în final

$$\frac{I_{INC}}{I_{ISC}} = \frac{R_1}{\left[ R_1^2 + (\omega L_1)^2 \right]^{1/2}} = 75\%$$

3. Calculul punctului ( $J_c$ ,  $H_c$ ) de pe caracteristica  $J_c = J_c(H_c)$

Câmpul critic este câmpul magnetic din planul median într-un punct situat pe suprafața exterioară a cilindrului. Într-o primă aproximație, se poate considera drept câmp critic câmpul din centrul bobinei de câmp 2, care se calculează cu formula:

$$H_c = J_1 a_1 F(\alpha, \beta), \quad F(\alpha, \beta) = \frac{4\pi\beta}{10} \left[ sh^{-1} \frac{\alpha}{\beta} - sh \frac{1}{\beta} \right], \quad \alpha = \frac{a_2}{a_1}, \quad \beta = \frac{b}{a_1}, \quad [H_c] = O_e,$$

$$[J_c] = a/cm^2.$$

Pentru curentul de activare  $I_a = 3\sqrt{2} A$  se calculează succesiv:

$$J_c = \frac{M \cdot I_a}{L_2 (a_2' - a_1') 2b} = 7,8 \cdot 10^6 A / m^2$$

$$J_1 = \frac{w_1 I_a}{2b(a_2 - a_1)} = 288,2 A / cm^2$$

$$\alpha = \frac{a_2}{a_1} = 1,303, \quad \beta = \frac{b}{a_1} = 0,303, \quad F(\alpha, \beta) = 0,0974$$

$$H_c = J_1 a_1 F(\alpha, \beta) = 125 O_e = 9947 A/m,$$

deci coordonatele punctului de pe caracteristică sunt:

$$H_c = 9947 A / m; \quad J_c = 7,8 \cdot 10^6 A / m^2.$$

# RO 123462 B1

1

## Revendicare

3

Dispozitiv inductiv de măsură a densității critice a curentului dintr-un cilindru cav, supraconductor, plasat în câmp magnetic axial, **caracterizat prin aceea că**, în scopul

5

determinării caracteristicii de material densitate critică de curent - câmp magnetic critic, este alcătuit din cilindrul cav, supraconductor (1), cuplat magnetic cu o bobină (2) cu prize, pentru

7

reglajul numărului de spire, ansamblul este imersat în baia de azot lichid (3) a unui criostat (4), a cărei flanșă de capăt (5) este penetrată de un tub (6) prin care trec prizele (7) care se

9

conectează succesiv la o sursă de tensiune reglabilă în c.a., tensiunea de la borne și curentul fiind înregistrate de un osciloscop (OSC).

(51) Int.Cl.

G01R 19/08 (2006.01);

H01F 36/00 (2006.01);

G01N 27/72 (2006.01)

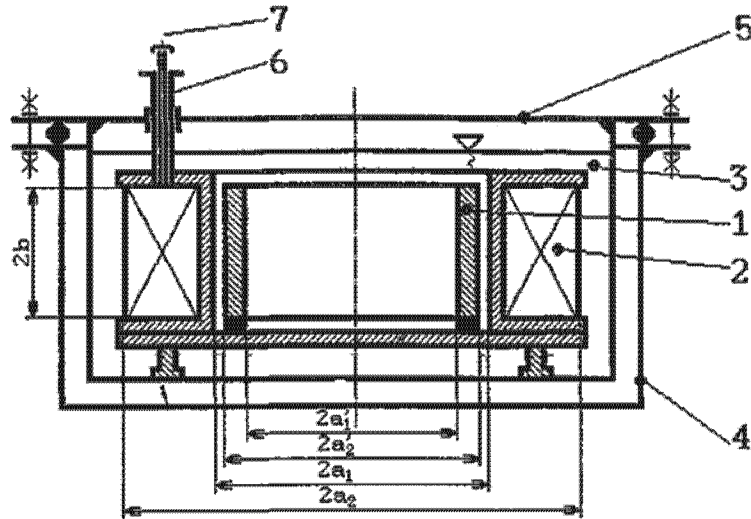


Fig. 1

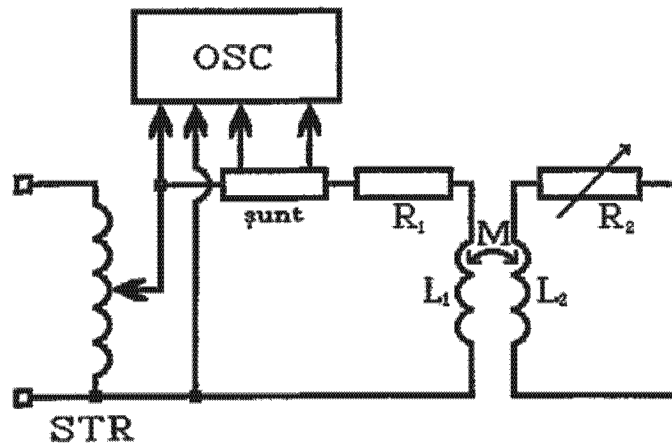


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G01R 19/08 (2006.01),

H01F 36/00 (2006.01),

G01N 27/72 (2006.01)

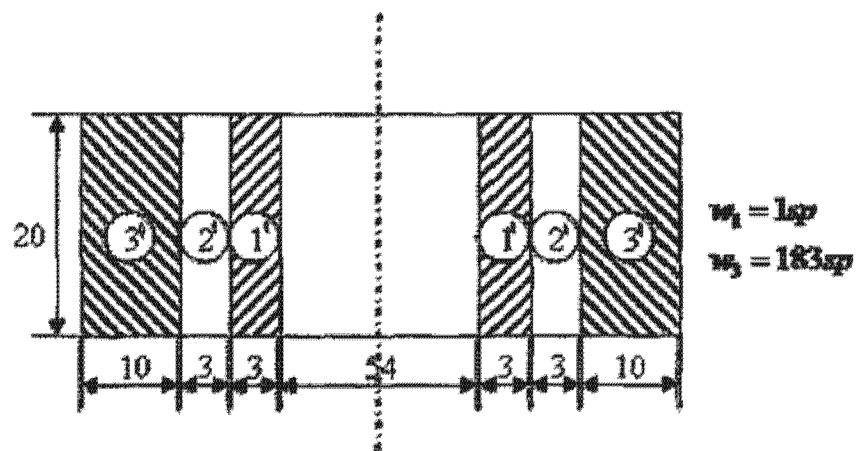


Fig. 3



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
sub comanda nr. 314/2012