

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00530**

(22) Data de depozit: **16.07.2012**

(41) Data publicării cererii:
28.02.2014 BOPI nr. 2/2014

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE ÎN SUDURĂ
ȘI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE - ISIM
TIMIȘOARA, BD.MIHAI VITEAZUL NR.30,
TIMIȘOARA, TM, RO

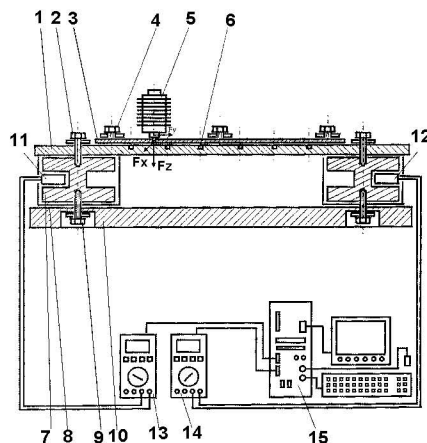
(72) Inventatori:
• VERBITCHI VICTOR,
STR. DUMITRU KIRIAC NR.10, AP.11,
TIMIȘOARA, TM, RO;
• SÎRBU NICUȘOR ALIN, STR. POGONICI
NR. 4, AP. 66, TIMIȘOARA, TM, RO;
• COJOCARU RADU,
BD. REGELE CAROL I NR.2, AP.4A,
TIMIȘOARA, TM, RO

(54) METODĂ ȘI SISTEM DE MĂSURARE A FORȚELOR LA ECHIPAMENTE INDUSTRIALE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un sistem de măsurare a forțelor statice existente în anumite elemente ale echipamentelor industriale, în timpul funcționării acestora. Metoda conform invenției se bazează pe utilizarea unui element deformabil multidirecțional, și pe măsurarea deformațiilor acestuia. Sistemul conform invenției este alcătuit dintr-o placă (1) de bază, prin care trec niște șuruburi (2) de prindere pe partea superioară, pe placa (1) de bază fiind amplasate niște piese (3) asupra cărora acționează forțele care trebuie măsurate, piesele (3) fiind prinse pe placa (1) de bază cu niște șuruburi (4) de fixare, și asupra lor acționând o sculă (5) aferentă procesului tehnologic, în partea de jos a plăcii (1) de bază fiind executate niște caneluri (6) pentru amplasarea unor termocupluri, în vederea măsurării temperaturii, iar sub placa (1) de bază sunt amplasate niște traductoare (7) mecanice multidirecționale forță-deformație, aflate în niște carcase (8) rigidizate cu niște șuruburi (9), de o masă (10) de translație a echipamentului, traductoarele (7) fiind prevăzute cu niște interstiții în care se poziționează niște traductoare Hall (11) sau traductoare (12) capacitive, conectate la aparate (13) pentru măsurarea tensiunilor și, respectiv, aparate (14) pentru măsurarea curenților, care comunică cu un computer (15).

Revendicări: 3
Figuri: 1



a) **Metodă și sistem de măsurare a forțelor
la echipamente industriale**

DESCRIERE

b) Invenția se referă la o metodă de măsurare a forțelor statice existente în anumite elemente ale echipamentelor industriale, în timpul funcționării acestora. Metoda se bazează pe utilizarea unui element deformabil multidirecțional și pe măsurarea deformațiilor acestuia cu ajutorul unor traductoare magnetice și de tipul capacității electrice, cu aparate de măsură tipizate, etalonate în mod special pentru măsurarea forței.

Metoda de măsurare a forței se referă la verificarea parametrilor de funcționare ai echipamentelor, utilajelor și mașinilor industriale, monitorizarea parametrilor de funcționare în timp real și arhivarea parametrilor de funcționare, conform cerințelor sistemului de management al calității. În particular, metoda se aplică la sisteme de poziționare și de acționare, care dezvoltă forțe de 2 ... 20 kN, de la echipamente de sudare mecanizată și automatizată, cu sau fără conducere computerizată.

c) În *situația actuală*, forțele se măsoară cu traductoare de forță specializate, bazate pe un element care se deformează în domeniul elastic, în care deformațiile sunt proporționale cu eforturile mecanice aplicate asupra elementului, iar deformațiile sunt transformate într-un semnal electric, cu ajutorul unor senzori rezistivi (timbre tensometrice) sau inductive [1, 2]. Prin calibrare, se stabilește relația de proporționalitate dintre semnalul electric, pe de o parte, și deformație, pe de altă parte. De asemenea, prin calibrare se stabilește relația de proporționalitate dintre deformație și efortul mecanic realizat [1 – 7], în cazul în care nu se cunoaște modulul de elasticitate E al elementului deformabil. Acesta este principiul metodelor indirecte de măsurare a forțelor. În esență, se măsoară de fapt deformația, care este transformată într-un semnal de altă natură. Deși transformările dintr-o mărime fizică în alta și schimbarea naturii fizice a semnalelor utilizate necesită anumite ipoteze simplificatoare, iar acestea pot atrage cu sine erori de lipsă de proporționalitate, se consideră că principiul de măsurare este corect și exact. În această situație se poate enunța ipoteza că este posibil să se utilizeze orice metodă de măsurare a deformației, în scopul măsurării indirecte a forței.

Condițiile necesare sunt următoarele:

1. elementul deformabil să fie corect amplasat;

2. elementul să se deformeze în domeniul elastic;
3. întregul sistem de măsurare să fie calibrat în mod corespunzător.

Metodele actuale de măsurare a forțelor au dezavantajele următoare: gabarit mai mare al ansamblului traductorului și dificultăți de amplasare, dificultăți în proiectare și execuție, dar și un cost mai ridicat al traductorului și al sistemului de măsurare.

- d) *Principiul propus pentru măsurarea forțelor cu senzori magnetici sau capacitivi este descris în continuare.*

Metoda propusă de măsurare a forțelor, conform invenției, are ca obiect măsurarea deformațiilor unui element deformabil special conceput, prin utilizarea unui traductor Hall pentru intensitatea câmpului magnetic din anumite spații întrefier din elementul deformabil, respectiv prin utilizarea unui traductor capacitiv pentru anumite interstiții din elementul deformabil. Semnalele date de traductoarele respective sunt măsurate cu anumite aparate tipizate, având clasa de precizie dată de către producător. Se efectuează calibrarea întregului sistem de măsurare a forțelor, pe baza relațiilor de proporționalitate dintre semnalul electric – deformație – forță. Prin aceasta se înlătură dezavantajele menționate referitoare la sistemele actuale.

- e) Semnalul electric dat de către traductorul Hall este o tensiune electromotoare U_{eH} proporțională cu intensitatea câmpului magnetic H :

$$U_{eH} = k_H \cdot H \quad (1)$$

unde k_H este constanta efectului Hall specifică traductorului utilizat.

Pentru determinarea intensității câmpului magnetic, se aplică legea lui Ohm pentru circuitul magnetic în care este inclus un magnet permanent:

$$\Phi = \frac{M}{R_m} \quad (2)$$

unde: Φ [Wb] este fluxul magnetic în circuitul magnetic considerat; M [A] este magnetizația magnetului permanent; R_m [H^{-1}] este reluctanța magnetică a circuitului magnetic în care se află traductorul Hall.

Neglijând tensiunea magnetică în circuitul feromagnetic, comparativ cu tensiunea magnetică în întrefier, relația de mai sus obține forma următoare:

$$\mu_0 HS = \frac{M}{\mu_0 S} \quad (3)$$

unde: μ_0 [Hm^{-1}] este permeabilitatea magnetică a întrefierului; S [m^2] este suprafața întrefierului; d [m] este lungimea întrefierului.

De aici rezultă valoarea intensității câmpului magnetic în întrefier, unde se află traductorul Hall:

$$H = \frac{M}{d} \quad (4)$$

Tensiunea electromotoare dată de către traductorul Hall, indicată de către un aparat tipizat de măsurare a tensiunii, are expresia următoare:

$$U_{eH} = \frac{k_H M}{d} \quad (5)$$

Se constată că tensiunea măsurată este invers proporțională cu întrefierul, respectiv cu deformația și cu forța.

În cazul traductorului capacitiv plan, capacitatea electrică este dată de relația:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{k, d} \quad (6)$$

unde: ϵ_r [adimensional] este permitivitatea dielectrică relativă a materialului din care este realizat traductorul capacitiv; ϵ_0 [Fm^{-1}] este permitivitatea dielectrică a vidului; S [m^2] este suprafața armăturilor traductorului capacitiv plan; k, d [m] este distanța dintre armături, care reprezintă o parte $k,$ a interstițiului d , în care se află traductorul capacitiv.

Această capacitate poate fi măsurată într-un circuit de curent alternativ, alimentat la tensiune U , de joasă sau de înaltă frecvență, având impedanța capacitivă Z_c , în care se determină un curent I , definit prin relația:

$$I = \frac{U}{Z_c} \quad (7)$$

Se ține cont de expresia impedanței capacitive:

$$Z_c = \frac{1}{\omega C} \quad (8)$$

Astfel relația devine:

$$I = U\omega C \quad (9)$$

unde ω [Hz] este pulsația tensiunii interne de funcționare a circuitului de măsurare a capacității.

$$\omega = 2\pi f \quad (10)$$

Explicitând relația de definiție a capacității, curentul care se măsoară este:

$$I = \frac{2\pi U f \epsilon_r \epsilon_0 S}{k_i d} \quad (11)$$

Se constată că și în acest caz semnalul dat de către traductor este invers proporțional cu interstițiul în care se află traductorul, respectiv invers proporțional cu deformația și cu forța. Acest lucru poate reprezenta un avantaj la variații mici ale interstițiului, care corespund la valori ridicate ale forței. În acest domeniu, sensibilitatea traductorului este relativ mai ridicată.

Pentru comparație, se prezintă relațiile de definiție a unui traductor inductiv.

Inductivitatea bobinei traductorului inductiv este dată de relația:

$$L = \frac{N^2 S}{l} \quad (12)$$

unde N este numărul de spire al bobinei; S [m²] este suprafața miezului feromagnetic al bobinei; l [m] este deschiderea întrefierului circuitului feromagnetic al bobinei.

Introducând bobina traductorului într-un circuit de curent alternativ alimentat la tensiunea U , de joasă sau de înaltă frecvență, a cărei impedanță inductivă este Z_L , se determină curentul I , având expresia:

$$I = \frac{U}{Z_L} \quad (13)$$

Se are în vedere relația de definire a impedanței inductive:

$$Z_L = \omega L \quad (14)$$

Expresia curentului devine astfel:

$$I = \frac{U}{\omega L} \quad (15)$$

Ținând cont de expresiile anterioare, relația curentului măsurat este:

$$I = \frac{U l}{\omega N^2 S} \quad (16)$$

Se constată că valoarea curentului măsurat este direct proporțională cu lungimea l a întrefierului circuitului magnetic al traductorului, respectiv cu deformația și cu forța.

De asemenea pentru comparație, se prezintă relațiile de definiție a unui traductor rezistiv, de tipul timbrului tensometric.

Rezistența traductorului este dată de relația:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (17)$$

unde ρ [Ωm] este rezistivitatea electrică a materialului traductorului; l [m] este lungimea conductorului electric al traductorului; S [m^2] este secțiunea conductorului traductorului.

Introducând traductorul într-un circuit de curent continuu sau de curent alternativ, alimentat la tensiunea U , se determină curentul I , având expresia:

$$I = \frac{U}{R} \quad (18)$$

Ținând cont de expresia anterioară, relația curentului măsurat este:

$$I = \frac{US}{\rho l} \quad (19)$$

Se constată că valoarea curentului măsurat este invers proporțională cu lungimea l a conductorului electric al traductorului, respectiv cu deformația și cu forța. Pentru traductorul rezistiv se consideră că lungimea variază sub efectul forței aplicate. Dar este vorba de o alungire mecanică realizată prin intermediul adezivului cu care traductorul este fixat de un element metalic supus deformațiilor. Proprietățile acestui adeziv se pot degrada în timp, ceea ce se poate repercuta în mod negativ asupra caracteristicii de calibrare a traductorului. El trebuie verificat periodic și eventual recalibrat.

- f) Metoda propusă de măsurare a forțelor, conform invenției, prezintă următoarele *avantaje*:
- Permite realizarea unor elemente deformabile cu rol de traductor mecanic forță-deformație, cu funcție liniară de dependență, în domeniul deformațiilor elastice. Aceste elemente pot fi concepute și executate în funcție de dimensiunile și caracteristicile pieselor echipamentelor unde ele se montează în scopul măsurării forțelor.
 - Face posibilă utilizarea anumitor aparate de măsură tipizate, având o anumită clasă de precizie, pentru determinarea unor semnale electrice direct sau invers proporționale cu intensitatea câmpului magnetic sau cu capacitatea electrică, ca mărimi intermediare pentru măsurarea deformației și a forței.
 - Permite etalonarea și calibrarea ansamblului sistemului de măsurare a forțelor, pentru

un anumit domeniu al forțelor, în funcție de solicitările specifice existente în elementele componente ale echipamentului industrial. Calibrarea se efectuează pe o mașină de încercări mecanice, având o clasă de precizie superioară. Calibrarea se efectuează pentru fiecare direcție de solicitare a elementului de deformare cu rol de traductor mecanic.

- Asigură achiziția rezultatelor măsurătorilor pe computerul sistemului automat al echipamentului industrial la care se efectuează măsurătorile de forță, prin software-ul specializat pentru achiziția de date și prin facilitățile proprii ale aparatelor de măsurare tipizate utilizate.
- Are un cost relativ scăzut, datorită faptului că metoda de măsurare se bazează în cea mai mare parte pe aparate tipizate.
- Valoarea raportului performanță / cost este foarte avantajoasă, întrucât performanțele pot avea un nivel ridicat, iar cheltuielile sunt relative reduse, comparativ cu metodele de măsurare bazate pe traductoare multidimensionale pentru forțe și sisteme de achiziție a datelor de utilizare generală, care sunt prea ample pentru scopul propus.

g) Figura 1 reprezintă desenul de ansamblu de principiu al unui sistem de măsurare a forțelor la un echipament industrial, la care se aplică metoda propusă.

h) Se dă, în continuare, un *exemplu de realizare a invenției* în legătură și cu figura 1 :

Metoda de măsurare a forțelor se aplică pe un sistem constituit dintr-o placă de bază (1), prin care trec șuruburile de prindere de pe partea superioară (2), pe placa de bază fiind amplasate piesele (3) aferente procesului tehnologic, asupra cărora acționează forțele care trebuie măsurate, iar piesele procesului tehnologic sunt prinse de placa de bază cu șuruburile de fixare (4) și asupra pieselor acționează scula (5) a procesului tehnologic, în partea de jos a plăcii de bază fiind executate canelurile (6) pentru amplasarea termocuplelor în vederea măsurării temperaturii, care este alt parametru al procesului tehnologic, iar sub placa de bază se amplasează traductoarele mecanice multidirecționale forță-deformație (7), special concepute, care *constituie un element original al invenției*, traductoarele, aflate în carcusele (8), fiind rigidizate cu șuruburile de prindere din partea inferioară (9), față de masa de translație (10) a echipamentului industrial, astfel încât, conform invenției, în anumite interstiii executate în corpul traductoarelor mecanice multidirecționale forță-deformație se poziționează traductoare Hall (11) sau traductoare capacitive (12), conectate la aparate tipizate de măsurare a tensiunilor (13), respectiv la aparate tipizate de măsurare a curenților (14), în circuitele

traductoarelor Hall sau capacitive, aparatele fiind prevăzute cu facilități și software propriu pentru achiziții de date pe computerul (15) al echipamentului industrial, iar sistemul de măsurare propriu-zis format din componentele menționate la pozițiile (7), (11), (12), (13), (14) și (15) este etalonat și calibrat în prealabil pe o mașină de încercări mecanice la tracțiune și la compresiune, în scopul determinării caracteristicilor forță – deformație – semnal electric, pentru toate direcțiile de aplicare a forțelor care trebuie măsurate, în așa fel încât modul de funcționare a întregului sistem constituit din componentele menționate reprezintă o metodă de măsurare a forțelor, ca *principiul original al invenției*.

- i) Invenția este susceptibilă de a fi aplicată industrial la utilaje de sudare prin frecare, sudare prin frecare cu element activ rotitor (friction stir welding, FSW), sudare prin presiune, sudare ultrasonică, sudarea bolțurilor, sudarea țevelor din materiale plastice (polietilenă de înaltă densitate, polipropilenă, policlorură de vinil ș.a.), sisteme de poziționare și de manipulare, mese de poziționare și rotire, blocuri cu role, coloane deplasabile cu consolă, etc.

Bibliografie

1. Dally J. W.; Riley W. F.: *Experimental Stress Analysis*. 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1991.
2. Dally J. W.; Riley W. F.; McConnell; K. G.: *Instrumentation for Engineering Measurements*. 2nd ed. Wiley, New York, 1993.
3. Hung Y. Y.: *Shearography: A new optical method for strain measurement and nondestructive testing*. In: *Optical Engineering*. May/June, 1982, pag. 391–395.
4. Lee Y. L.; Lu M. W.; Breiner R. W.: *Load acquisition and damage assessment of a vehicle bracket component*. In: *International Journal of Materials and Product Technology*. Vol.12, No. 4–6, 1997, pag. 447–460.
5. Kobayashi A. S.: *Handbook on Experimental Mechanics*. 2nd rev. ed. VCH Publishers. New York, 1993.
6. Perry C. C.; Lissner H. R.: *The Strain Gage Primer*. 2nd ed. McGraw-Hill. New York, 1962.
7. Brophy J. J.: *Basic Electronics for Scientists*. 3rd ed. McGraw-Hill. New York, 1997.

Revendicări

1. Metodă de măsurare a forțelor pentru echipamente industriale, caracterizată prin aceea că ea se aplică pe un sistem constituit dintr-o placă de bază (1), prin care trec șuruburile de prindere de pe partea superioară (2), pe placa de bază fiind amplasate piesele (3) aferente procesului tehnologic, asupra cărora acționează forțele care trebuie măsurate, iar piesele procesului tehnologic sunt prinse de placa de bază cu șuruburile de fixare (4) și asupra pieselor acționează forțele F_x , F_y și F_z produse de scula (5) a procesului tehnologic, iar sub placa de bază se află caneluri pentru termocuple (6) și se amplasează traductoarele mecanice multidirecționale forță-deformație (7), montate în carcusele (8), traductoarele fiind rigidizate cu șuruburile de prindere din partea inferioară (9), față de masa de translație (10) a echipamentului industrial, astfel încât, conform invenției, în anumite interstiții executate în corpul traductoarelor mecanice multidirecționale forță-deformație se poziționează traductoare Hall (11) sau traductoare capacitive (12), conectate la aparate tipizate de măsurare a tensiunilor (13), respectiv la aparate tipizate de măsurare a curenților (14), din circuitele traductoarelor Hall sau capacitive, aparatele fiind prevăzute cu facilități și software propriu pentru achiziții de date pe computerul (15) al echipamentului industrial, iar sistemul de măsurare propriu-zis format din componentele menționate la pozițiile (7), (11), (12), (13), (14) și (15) este etalonat și calibrat în prealabil pe o mașină de încercări mecanice la tracțiune și la compresiune, în scopul determinării caracteristicilor forță – deformație – semnal electric, pentru toate direcțiile de aplicare a forțelor care trebuie măsurate, în așa fel încât modul de funcționare a întregului sistem constituit din componentele menționate reprezintă o metodă de măsurare a forțelor, ca *principiul original al invenției*.

2. Sistem de măsurare a forțelor pentru echipamente industriale, caracterizat prin aceea că el este constituit dintr-o placă de bază (1), prin care trec șuruburile de prindere de pe partea superioară (2), pe placa de bază fiind amplasate piesele (3) aferente procesului tehnologic, asupra cărora acționează forțele care trebuie măsurate, iar piesele procesului tehnologic sunt prinse de placa de bază cu șuruburile de fixare (4) și asupra pieselor acționează forțele F_x , F_y și F_z produse de scula (5) a procesului tehnologic, iar sub placa de bază se află caneluri pentru termocuple (6) și se amplasează traductoarele mecanice multidirecționale forță-deformație (7),

montate în carcasele (8), traductoarele fiind rigidizate cu șuruburile de prindere din partea inferioară (9), față de masa de translație (10) a echipamentului industrial, astfel încât, conform invenției, în anumite interstiii executate în corpul traductoarelor mecanice multidirecționale forță-deformație se poziționează traductoare Hall (11) sau traductoare capacitive (12), conectate la aparate tipizate de măsurare a tensiunilor (13), respectiv la aparate tipizate de măsurare a curenților (14), din circuitele traductoarelor Hall sau capacitive, aparatele fiind prevăzute cu facilități și software propriu pentru achiziții de date pe computerul (15) al echipamentului industrial, iar sistemul de măsurare propriu-zis format din componentele menționate la pozițiile (7), (11), (12), (13), (14) și (15) este etalonat și calibrat în prealabil pe o mașină de încercări mecanice la tracțiune și la compresiune, în scopul determinării caracteristicilor forță – deformație – semnal electric, pentru toate direcțiile de aplicare a forțelor care trebuie măsurate, în așa fel încât întregul sistem constituit din componentele menționate reprezintă *entitatea materială originală de principiu a invenției*.

3. Traductoare mecanice multidirecționale forță-deformație (7), special concepute, care *constituie elemente originale ale invenției*, caracterizate prin aceea că ele sunt rigidizate cu șuruburile de prindere din partea superioară (2) față de o placă de bază (1), pe care se află piesele (3) ale procesului tehnologic, asupra cărora acționează forțele F_x , F_y și F_z produse de scula (5) a procesului tehnologic, respectiv traductoarele sunt rigidizate cu șuruburile de prindere din partea inferioară (9), față de masa de translație (10) a echipamentului industrial, astfel încât, conform invenției, în anumite interstiii executate în corpul traductoarelor mecanice multidirecționale forță-deformație se poziționează traductoare Hall (11) sau traductoare capacitive (12), conectate la aparate tipizate de măsurare a tensiunilor (13), respectiv la aparate tipizate de măsurare a curenților (14), din circuitele traductoarelor Hall sau capacitive, aparatele fiind prevăzute cu facilități și software propriu pentru achiziții de date pe computerul (15) al echipamentului industrial, iar sistemul de măsurare propriu-zis format din componentele menționate la pozițiile (7), (11), (12), (13), (14) și (15) este etalonat și calibrat în prealabil pe o mașină de încercări mecanice la tracțiune și la compresiune, în scopul determinării caracteristicilor forță – deformație – semnal electric, pentru toate direcțiile de aplicare a forțelor care trebuie măsurate.

DESENE

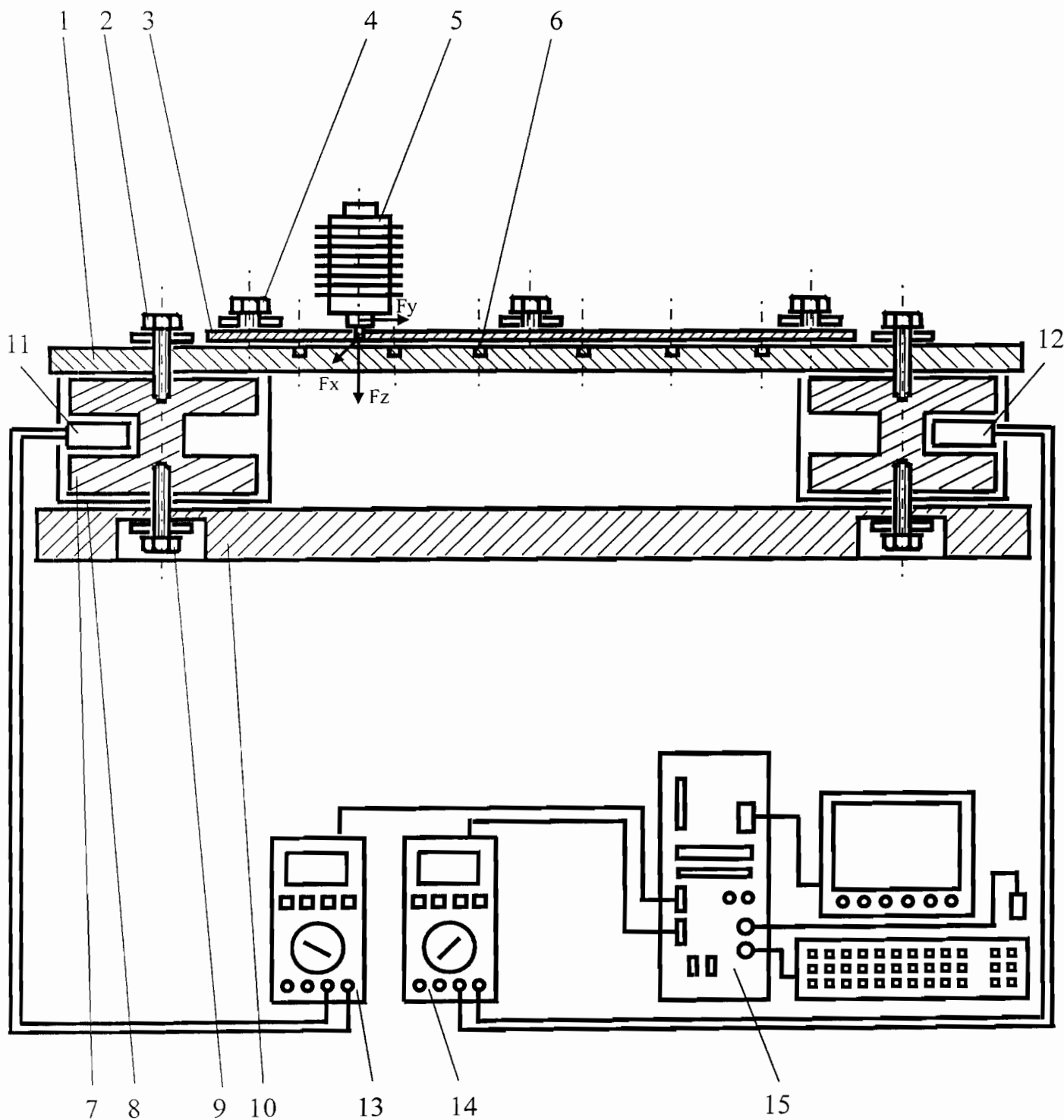


Figura 1. Sistem de măsurare a forțelor la echipamente industriale