



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00403**

(22) Data de depozit: **29.04.2011**

(41) Data publicării cererii:
29.11.2012 BOPI nr. **11/2012**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
OPTOELECTRONICĂ - INOE 2000,
STR.ATOMIȘTILOR NR.409, MĂGURELE,
IF, RO**

(72) Inventatori:
• **MICLOȘ SORIN, CALEA GRIVITEI
NR. 160, BL.B, SC. A, AP. 42, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **LĂNCRĂJAN ION IOAN FERDINAND,
STR. VELEI NR. 2, BL. 2, SC. 2, AP. 57,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **SAVASTRU DAN, STR. IANI BUZOIANI
NR.3, BL.16, SC.A, AP.2, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **TĂUTAN MARINA NICOLETA,
STR.EMIL RACOVITĂ NR.6, BL.R1, SC.2,
AP.45, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU MONITORIZAREA
SĂNĂTĂȚII STRUCTURILOR MECANICE AERONAUTICE
FOLOSIND UN SENZOR OPTOELECTRONIC DE TIP FIBRĂ
OPTICĂ PASIVĂ AVÂND O MODULAȚIE SPAȚIALĂ A
INDICELUI DE REFRAȚIE AL MIEZULUI**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice, și la un dispozitiv care aplică metoda. Metoda conform invenției constă în folosirea unei diode laser ce injectează o radiație laser cu o anumită distribuție spectrală a puterii, printr-un multiplexor, cu divizarea lungimii de undă în fibra optică, în al cărei miez este indusă o rețea Bragg de difracție, ce transmite radiația laser incidentă cu o distribuție spectrală modificată și care variază în funcție de mărirea forței aplicată fibrei optice, forță corespunzătoare tensiunii mecanice create în structura mecanică de monitorizat. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o diodă (1) laser, un multiplexor (2) cu divizarea lungimii de undă o fibră optică în al cărei miez este indusă o rețea (3) Bragg, o fotodiodă (4), un amplificator (5), un sistem (6) de achiziție de date și un computer (7).

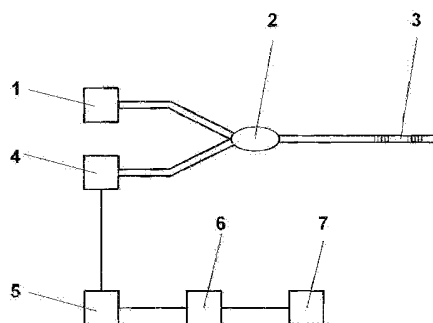
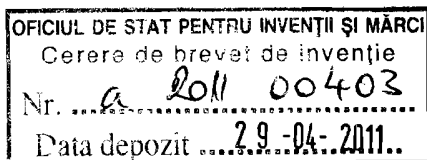


Fig. 2

Revendicări: 2
Figuri: 2





**METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU MONITORIZAREA SĂNĂTĂȚII
STRUCTURILOR MECANICE AERONAUTICE FOLOSIND UN SENZOR
OPTOELECTRONIC DE TIP FIBRĂ OPTICĂ PASIVĂ AVÂND O MODULAȚIE
SPAȚIALĂ A INDICELUI DE REFRACTIE AL MIEZULUI**

Invenția se referă la o metodă de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice prin măsurarea tensiunilor mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică pasivă monomod având o modulație spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice (rețea de difracție de tip Bragg) și la un dispozitiv care aplică metoda.

Se cunoaște din literatură faptul că noțiunea de sănătate a structurilor mecanice aeronautice este exprimată prin mărimea tensiunilor mecanice apărute în aceste structuri. De asemenea, se cunoaște din literatură faptul că în structurile mecanice aeronautice realizate din materiale metalice și/sau compozite, din fabricație și/sau din cauza exploatării, apar tensiuni mecanice având ca rezultat final deteriorări ireversibile care pot periclita siguranța zborului aeronavelor. Aceste tensiuni mecanice sunt datorate, în principal, microdefectelor având dimensiuni de ordinul micronilor sau mai mici apărute în structurile mecanice aeronautice datorită tehnologiei de fabricație sau datorită solicitărilor din timpul zborului, în mod deosebit datorită suprasolicitărilor legate de manevre bruște efectuate din cauza condițiilor de zbor mult diferite de cazul ideal.

Se cunosc metode ce folosesc dispozitive care utilizează cristale piezoelectrice sau semiconductoare sau din straturi rezistive electric depuse pe substraturi de sticlă cristalizată pe un su-port metalic, dispozitive ce se lipesc folosind diverși adezivi pe structurile mecanice de monitorizat, ce se bazează pe modificarea rezistivității electrice a unui material sub acțiunea deformărilor mecanice induse de tensiunile apărute în structurile mecanice. Aceste metode se caracterizează printr-o sensibilitate limitată și pe folosirea de semnale electrice de excitare sau de ieșire aplicate pieselor mecanice de monitorizat având diverse frecvențe, existând astfel posibilitatea de apariție a interferenței câmpurilor electromagnetice din aeronavă și din aerul prin care zboară aceasta, situație periculoasă în cazul furtunilor. Aceste metode sunt caracterizate de timpi de propagare a semnalului util mai mari decât cei caracteristici folosirii de dispozitive optoelectronice, fapt ce poate deveni important în condiții de zbor nefavorabile. În acest sens amintim brevetele S.U.A. nr. US4894635, US4937550,

US5242722 și US5347871 referitoare la determinare a tensiunilor mecanice apărute în structuri mecanice.

Metoda conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că permite măsurarea directă a tensiunilor mecanice apărute în structurile mecanice aeronautice folosind ca senzor o fibră optică monomod formată dintr-un înveliș din sticlă optică având indicele de refracție constant radial și longitudinal și având diametrul de 150 - 250 μm în interiorul căruia este înglobat coaxial un miez din sticlă optică având diametrul mai mic de 10 μm al cărei indicele de refracție, puțin mai mare decât cel al învelișului, este constant radial și longitudinal cu excepția unei porțiuni cu lungimea de maxim 10 - 15 mm pe care are o variație sinusoidală în jurul valorii constante, în lungul axei fibrei optice. Prin această fibră optică se propagă radiația laser având o distribuție spectrală a puterii optice generate de o diodă laser la o lungime de undă aflată într-una dintre ferestrele de transparență maximă ale sticlelor optice din care sunt realizate miezul și învelișul fibrei optice, recomandabil în domeniul 1,45 - 1,55 μm .

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în monitorizarea stării structurilor mecanice aeronautice prin măsurarea tensiunilor mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică pasivă monomod având o modulație spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice (rețea de difracție de tip Bragg) care este îngropat, înglobat în interiorul componentelor mecanice ale acestor structuri aeronautice sau lipit intim pe aceste componente mecanice, inclusiv în șanțulețe, degajări practicate în aceste componente mecanice. Pozițiile în care sunt amplasați senzorii cu fibră optică pasivă cu rețea Bragg în structurile mecanice sunt evaluate în funcție de rezultatele calculului de rezistența materialelor.

Se cunoaște din literatură faptul că o astfel de structură cu o modulație spațială a indicelui de refracție, denumită rețea de difracție Bragg, are funcționalitatea unei oglinzi realizată prin depunerea de straturi dielectrice transparente subțiri pe un suport de sticlă optică având caracteristici spectroscopice de transmitanță și de reflectanță. În fig.1 este prezentat schematic modul de funcționare a unei fibre optice în care a fost creată a rețea Bragg conform celor mai sus prezentate. Se pot observa, reprezentate schematic, radiația laser injectată în fibra optică (1), distribuția spectrală a acesteia (2), rețeaua Bragg (3), distribuțiile spectrale ale celor două semnale laser rezultate în urma interacțiunii radiației laser incidente cu rețeaua Bragg, adică transmis prin rețeaua Bragg (4) și reflectat de aceasta (5). Mecanismul de funcționare a unui senzor cu fibră optică având o rețea Bragg indusă poate fi explicat prin

considerarea unor relații matematice ce definesc principalii parametri ai unei astfel de rețele Bragg. În primul rând este definită lungimea de undă Bragg, λ_B , lungimea de undă corespunzătoare, conform fig. 1, maximului distribuției spectrale a semnalului reflectat și, implicit, minimului distribuției spectrale a semnalului reflectat, prin ecuația:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

unde n_{eff} este valoarea efectivă a indicelui de refracție al nucleului fibrei optice iar Λ este perioada de modulație spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, conform fig. 1. n_{eff} are o valoare puțin mai mică decât valoarea indicelui de refracție al sticlei optice din care este realizat miezul fibrei optice, n_{co} . n_{eff} este obținut prin ecuația cu valori proprii caracteristică pentru propagarea câmpului electromagnetic prin fibra optică monomod având un diametru și un indice de refracție ale miezului date și o valoare dată a indicelui de refracție al învelișului. Ecuația (1) poate fi analizată luând în considerare ecuația de definire a distribuției indicelui de refracție caracteristică:

$$n(z) = n_{co} + \delta n \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda}\right) \right] \quad (2)$$

unde δn este amplitudinea modulației spațiale a indicelui de refracție al nucleului fibrei optice. Apariția semnalului laser reflectat este explicată prin faptul că rețeaua Bragg, o structură cu modulație periodică a indicelui de refracție, în conformitate cu teoria propagării câmpului electromagnetic, permite cuplarea radiației luminoase de la modurile de propagare “înainte” (forward modes) prin fibra optică monomod la modurile de propagare “înapoi” (backward modes) prin aceasta. În funcție de structura dată, geometria și valorile indicelui de refracție se produce un transfer de putere de la câmpul electromagnetic incident, generat de dioda laser, conform fig. 1, la câmpul electromagnetic reflectat. Este de observat o condiție esențială pentru funcționarea senzorilor cu fibră optică având o modulație spațială indusă a indicelui de refracție al miezului fibrei optice este ca lărgimea spectrală a distribuției spectrale a puterii semnalului laser injectat de către emițătorului laser în fibra optică să fie mult mai mare decât aceea a semnalului laser reflectat de rețeaua Bragg.

Ecuația (3) definește legătura dintre parametrii mediului în care este înglobat, în contact direct sau indirect, adică prin intermediul structurii mecanice în care este înglobat, senzorul cu fibră optică monomod având o rețea Bragg indusă în miez și lungimea de undă Bragg. Ecuația (3) este exprimată prin:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = P_e \varepsilon \quad (3)$$

unde $\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B}$ este variația relativă a lungimii de undă Bragg iar P_e este coeficientul elasto-optic

al sticlei optice din care este confecționat miezul fibrei optice și ε este tensiunea mecanică creată, aplicată în fibra optică. Ecuația (3) poate fi aplicată corect în condițiile în care posibilele variații cu temperatura ale variației relative a lungimii de undă Bragg sunt compensate prin structura fibrei optice, mai exact prin folosirea unui strat de protecție aplicat pe exteriorul învelișului fibrei având coeficientul de dilatare termică apropiat ca valoare de cel al învelișului sau prin calibrarea senzorului cu fibră optică cu rețea Bragg la temperaturile la care va fi utilizat. Conform ecuației (3), prin măsurarea puterii transmise sau reflectate printr-o sau de pe o rețea Bragg, la o lungime de undă fixată (lungimea de undă Bragg), folosind un fotodetector operat în regim de polarizare inversă, se poate determina variația relativă a lungimii de undă Bragg, făcând astfel posibilă determinarea tensiunii mecanice create în structura mecanică de monitorizat.

Metodă de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice constă în aceea că se măsoară tensiunile mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică pasivă monomod având o modulație spațială sinusoidală a indicelui de refracție al miezului fibrei optice sub forma unei rețele de difracție Bragg, montată în interiorul materialului structurii mecanice aeronautice de monitorizat sau lipită ferm, intim pe suprafața acesteia, prin fibra optică pasivă fiind injectat un fascicul laser cu lungimea de undă în domeniul 1450-1550 nm care este reflectat sau transmis de rețeaua de difracție Bragg cu distribuții spectrale diferite ale puterii față de aceea a semnalului injectat, modificările acestor distribuții spectrale de putere laser induse de variațiile neliniare ale indicelui de refracție al nucleului fibrei funcție de mărimea forței variabile generate de tensiunile mecanice apărute în interiorul structurilor mecanice monitorizate fiind măsurate la valoarea lungimii de undă Bragg, determinând mărimea tensiunilor mecanice existente în structurile mecanice aeronautice monitorizate.

Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser ce injectează o radiație laser pe lungimea de undă în domeniul 1450-1550 nm cu o anumită distribuție spectrală a puterii printr-un multiplexor cu divizarea lungimii de undă în fibra optică în al cărei nucleu este indusă o rețea Bragg de difracție ce transmite radiația laser incidentă cu o distribuție spectrală modificată în sensul că la lungimea de undă Bragg mai sus definită se va forma un minim încadrat de două maxime și reflectă această radiație cu o distribuție spectrală de asemenea modificată a cărei lungime de undă corespunzând maximului de putere reflectată este lungimea de undă Bragg mai sus definită și care variază funcție de mărimea forței

29-04-2011

aplicată fibrei optice, forță corespunzătoare tensiunii mecanice create în structura mecanică de monitorizat, radiația laser reflectată fiind recepționată de o fotodiodă ce generează un semnal electric amplificat de un amplificator și preluat de un sistem de achiziție de date într-un computer pentru prelucrare.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Metoda este neinvazivă față de curgere aerului pe suprafețele exterioare ale structurilor mecanice aeronautice monitorizate, neafectând în vreun fel zborul aeronavei deoarece nici un fel de componentă mecanică a dispozitivului conform invenției nu este introdusă în curentul de aer.
- Metoda este sensibilă la valori mici ale forțelor rezultate din inducerea de către diferiți factori ai mediului de utilizare de tensiuni mecanice în structurile mecanice aeronautice monitorizate.
- Metoda are timpi foarte scurți de reacție, prin intermediul forțelor măsurate, la modificări rapide ale diferiți factori ai mediului de utilizare a structurilor mecanice aeronautice monitorizate, permițând astfel transformarea acestora prin automatizare în timp real în sisteme inteligente.

În fig.1 sunt prezentate schematic distribuțiile spectrale de putere ale semnalului laser injectat, reflectat de rețeaua Bragg și transmis de aceasta. În fig. 2 este prezentată schematic o formă preferată de realizare a invenției.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 2. Dispozitivul de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice realizat conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser (1) ce injectează o radiație laser printr-un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (2) în fibra optică în al cărui miez este indusă o rețea Bragg de difracție (3) ce transmite radiația laser incidentă cu o distribuție spectrală modificată ce variază funcție de mărimea forței aplicată fibrei optice, forță corespunzătoare tensiunii mecanice create în structura mecanică de monitorizat, radiația laser reflectată fiind recepționată de o fotodiodă (4) ce generează un semnal electric amplificat de un amplificator (5) și preluat de un sistem de achiziție de date (6) într-un computer (7) pentru prelucrare.

REVENDICĂRI

1. Metodă de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice **caracterizată prin aceea că** se măsoară tensiunile mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică pasivă monomod având o modulație spațială sinusoidală a indicelui de refracție al nucleului fibrei optice sub forma unei rețele de difracție Bragg, montată în interiorul materialului structurii mecanice aeronautice de monitorizat sau lipită ferm, intim pe suprafața acesteia, prin fibra optică pasivă fiind injectat un fascicul laser cu lungimea de undă în domeniul 1450-1550 nm care este reflectat sau transmis de rețeaua de difracție Bragg cu distribuții spectrale diferite ale puterii față de aceea a semnalului injectat, modificările acestor distribuții spectrale de putere laser induse de variațiile neliniare ale indicelui de refracție al miezului fibrei funcție de mărimea forței variabile generate de tensiunile mecanice apărute în interiorul structurilor mecanice monitorizate fiind măsurate la valoarea lungimii de undă Bragg, determinând mărimea tensiunilor mecanice existente în structurile mecanice aeronautice monitorizate.

2. Dispozitiv de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice prin prin metoda definită în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o diodă laser (1) ce injectează o radiație laser pe lungimea de undă în domeniul 1450-1550 nm cu o anumită distribuție spectrală a puterii printr-un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (2) în fibra optică în al cărui miez este indusă o rețea Bragg de difracție (3) ce transmite radiația laser incidentă cu o distribuție spectrală modificată în sensul că la lungimea de undă Bragg mai sus definită se va forma un minim încadrat de două maxime și reflectă această radiație cu o distribuție spectrală de asemenea modificată a cărei lungime de undă corespunzând maximului de putere reflectată este lungimea de undă Bragg mai sus definită și care variază funcție de mărimea forței aplicată fibrei optice, forță corespunzătoare tensiunii mecanice create în structura mecanică de monitorizat, radiația laser reflectată fiind recepționată de o fotodiodă (4) ce generează un semnal electric amplificat de un amplificator (5) și preluat de un sistem de achiziție de date (6) într-un computer (7) pentru prelucrare.

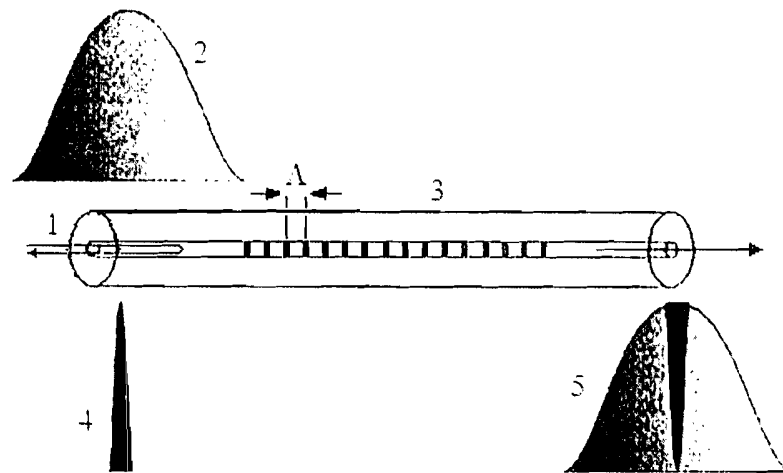


Fig. 1

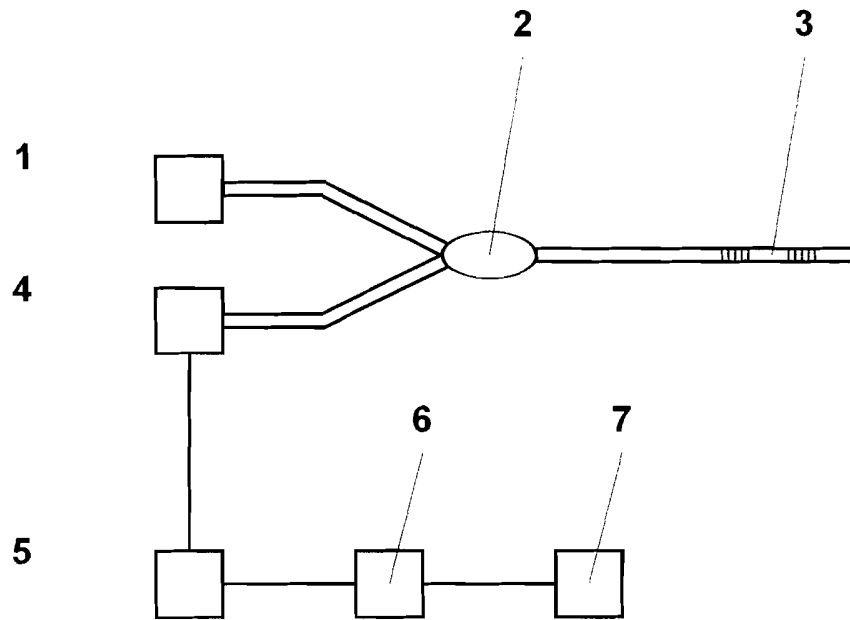


Fig. 2