

CERCETARI PRIVIND REALIZAREA ECHIPAMENTELOR ȘI STRUCTURILOR INTELIGENTE (SMART ENGINE & SMART STRUCTURE) ȘI IMPLEMENTAREA LOR ÎN CONSTRUCȚIILE ELECTROTEHNICE

Constantin Vlaicu

Universitatea Politehnica Bucuresti e-mail:cvlaicu@electro.masuri.pub.ro

Abstract:

The research shows in this paper try to bring useful contributions to achievement and implementation of smart structures in power electrical equipment in order to obtain smart engine. The paper present the research works in the field of sensors and transducers adequate to be used in smart structure incorporate in electrical equipment, the study of this equipment, appropriate to receive sensors network by design and the answer of this smart structure to requirements. The goal is the achievement a model of smart engine and appropriate software to ensure its smart and independent work.

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea cercetărilor și multiplicarea eforturilor în domeniul realizării de echipamente inteligente (smart engines) și de structuri inteligente (smart structures) încorporate în construcții și instalații industriale într-o măsură din ce în ce mai mare, este justificată prin creșterea complexității acestora, combinată cu presiunea de a se obține o eficiență sporită și siguranță maximă în funcționare.

Noțiunea de **echipament inteligent** s-a edificat treptat desemnând în prezent acele echipamente, instalații și construcții capabile, pe baza unor sisteme de senzori și traductoare încorporate prin construcție și a unor module de inteligență artificială, să-și auto evalueze, starea de funcționare, să-și conducă eficient această funcționare, să semnaleze eventuale deficiențe și pericole de avarie, să ia decizii de prevenire și eliminare a acestora sau să determine oprirea în deplină siguranță a echipamentului sau instalației pentru evitarea avariilor pe care nu le poate controla.

Structurile inteligente sunt elemente componente ale acestor echipamente dotate din fabricație cu rețele de senzori, capabile să ofere modulului de inteligență artificială, suficiente informații despre parametrii de funcționare și solicitările din instalație, cum ar fi starea de efort la care sunt supuse, temperaturi de lucru etc.

Evoluțiile din domeniul senzorilor și al traductoarelor, realizați cu ajutorul noilor tehnologii (nanotehnologii, tehnologiile thin-film și thick-film, fibre optice) asigură premise foarte favorabile de gabarit, sensibilitate, integrarea împreună cu electronica asociată, în vederea furnizării de semnale standardizate analogice sau digitale.

Senzorii optici prezintă un real potențial pentru realizarea echipamentelor inteligente, furnizând date valoroase prin măsurarea temperaturii, vibrațiilor, concentrația anumitor compuși chimici, măsurarea vâscozității, acidității, umidității, concentrația produșilor de degradare, prin analiza spectrală etc.

Lucrarea de față și-a propus ca, pe baza experienței acumulate, să desfășoare cercetări privind posibilitatea realizării și implementării de structuri inteligente în construcțiile electrotehnice încă din faza de proiectare, în vederea realizării de echipamente inteligente.

2. DIRECȚII DE CERCETARE ABORDATE

În sensul realizării acestor obiective au fost investigate lucrările cele mai importante din domeniu, cum ar fi articolele publicate în revista britanică "Smart Materials & Structures" din ultimii ani [3], [4], [5] ca și cele din domeniul senzorilor moderni. [1], [2], [10], [12].

Obiectivele concrete ale cercetării derulate au fost: alegerea senzorilor ce pot fi utilizați în vederea realizării de echipamente și structuri inteligente, studiul structurilor și echipamentelor electrice în vederea implementării rețelelor de senzori și a inteligenței artificiale.

În cadrul primului obiectiv au fost derulate o serie de activități cum ar fi: analiza senzorilor existenți pe piață și a posibilității utilizării lor în echipamente și structuri inteligente din domeniul electric, conceperea structurilor adecvate pentru sisteme de măsurare bazate pe rețele de senzori implementați la construcția echipamentelor electrice.

În ce privește al doilea obiectiv se urmărește: studiul prin simulare a posibilităților de implementare a unei rețele de senzori de temperatură destinată monitorizării echipamentelor electrotehnice mari (transformatoare, mașini electrice etc.), realizarea unui pachet de programe bazat pe structuri inteligente în vederea realizării unui modul pilot care să poată fi utilizat la construcțiile și echipamentele electrotehnice, implementarea pe un sistem de dezvoltare cu microcontroler a programelor și subrutinelor destinate utilizării structurilor inteligente de senzori pentru autoevaluarea stării de funcționare a echipamentelor inteligente.

Realizările obținute sunt prezentate succint în cele ce urmează.

3. MĂSURAREA TEMPERATURII REALIZATĂ CU SENZORI OPTICI

Așa cum au fost definite, structurile inteligente sunt materiale, componente ale unor echipamente sau echipamente dotate prin proiectare și construcție cu rețele de senzori asemănătoare unui sistem nervos. Ele oferă posibilitatea de a fi cuplate la un sistem de măsurare dotat cu inteligență artificială care conferă echipamentului sau construcției, capabilități de nivel superior cum ar fi autoevaluarea stării de sănătate, a stării de solicitare, optimizarea funcționării, asigurarea mentenanței etc.

În cazul transformatoarelor de mare putere cunoașterea distribuției temperaturii în înfășurări și monitorizarea temperaturii punctului cel mai cald este de maximă importanță în aprecierea îmbătrânirii izolației în cunoașterea eficienței sistemului de răcire, în optimizarea proiectării bobinelor în ceea ce privește mărimea canalelor de răcire și a disponerii acestora.

Cel mai bine se pretează pentru realizarea acestor structuri inteligente senzorii optici, care nu ar afecta în nici un fel distribuția câmpurilor electrice intense din interiorul transformatorului datorită naturii inerte din punct de vedere electric a sticlei, și ar permite în același timp măsurarea și monitorizarea "on line" a temperaturii parametru foarte important pentru caracterizarea stării de solicitare a echipamentului și evaluarea duratei de viață rămase a acestuia sau pentru planificarea operațiilor de întreținere și mentenanță.

Din analiza tipurilor de senzori optici care pot fi utilizați la măsurarea temperaturii s-au remarcat prin avantajele pe care le prezintă două tipuri principal diferite care pot conduce și la soluții de utilizare distincte.

- Senzorii cu fibre optice interferometrice de tip "grilaj Bragg"

Este un tip de senzor foarte utilizat, relativ nou, considerat interferometric.[5]

El este constituit dintr-un grilaj decupat în miezul unei fibre de germano-silicat și supus la două fascicule ultraviolete. Această zonă cu variații ale indicelui de refracție se comportă ca un filtru de reflecție de bandă îngustă. Semnalul reflectat este un impuls îngust cu lungimea de undă centrată linear dependentă de unda Bragg reflectată care depinde de indicele de refracție mediu al miezului fibrei. În concluzie orice modificare a caracteristicilor rețelei Bragg va produce o modificare a acestei frecvențe centrale. Astfel temperaturi de 0,1 °C și eforturi de 0.1μm pot fi ușor sesizate.

Acest tip de senzor prezintă multe avantaje fiind realizat într-o singură fibră, nu necesită recalibrări, este liniar și una din cele două mărimi (temperatura sau efortul) poate fi compensată pentru a fi măsurate separat. El poate fi realizat și ca un senzor multiplu, dealungul unei fibre putându-se plasa mai multe grilaje plasate la diferite distanțe, citirea lor efectuându-se cu impulsuri de diferite lungimi de undă. (multiplexare în lungime de undă). O schemă de utilizare a unei rețele de senzori de tip grilaj Bragg este dată în Fig. 1.

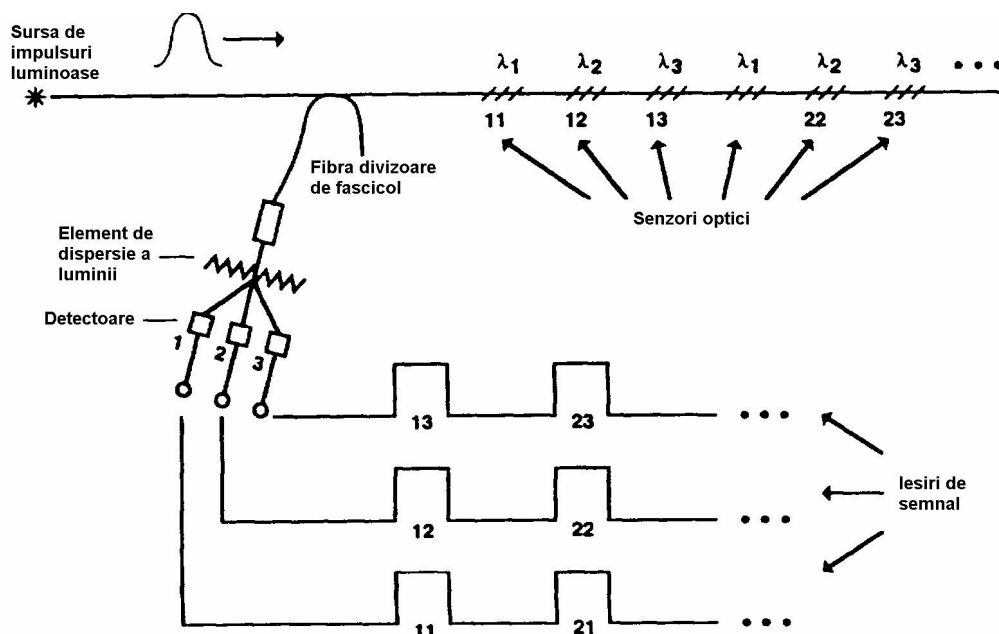


Fig.1. Utilizarea unei structuri cu fibre optice cu rețele Bragg pentru măsurarea temperaturilor

Ei se pot utiliza la măsurarea continuă a eforturilor în materiale compozite și structuri mecanice și a temperaturilor în mai multe puncte spre exemplu la transformatoare, generatoare și motoare electrice, cabluri de înaltă tensiune etc. Astfel pentru măsurarea distribuției temperaturilor în lungul bobinelor s-a studiat dispunerea a două fibre optice cu rețele Bragg dispuse echidistant care să urmeze un traseu ca în Fig. 2 a)

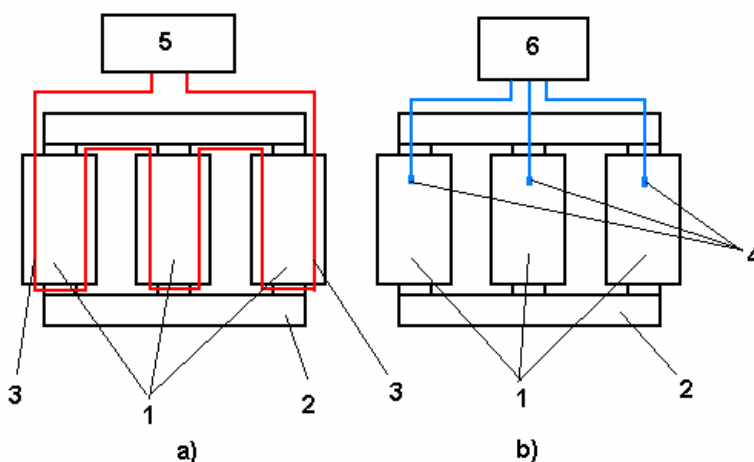


Fig. 2. Dispunerea rețelelor de senzori cu fibre optice la un transformator trifazat
a) senzori cu fibră optică cu rețele Bragg, b) senzori cu fluorescență

În această figură: 1 – bobinele transformatorului ; 2 – jugul feromagnetic; 3 – fibre optice cu rețele Bragg; 4 – rețea de senzori cu fluorescență. 5 – interferometru pentru rețele Bragg; 6 – sistem intesometric pentru măsurarea fluorescenței.

Traseul studiat trece prin zonele cu temperaturile cele mai mari de la partea superioară a bobinelor ca și prin zonele cu temperaturi medii (mijlocul bobinelor) sau cu temperaturi minime (partea inferioară a bobinelor). Se propun două treceri de o parte și de alta a jugului pentru eventuale nesimetrii datorate funcționării aleatoare a bateriilor de răcire forțată.

Pentru scurtarea traseului și utilizarea unei fibre cu un număr redus de rețele Bragg se poate adopta și soluția cu o singură trecere prin fiecare bobină, cât mai aproape de miez. Fibrele (una de măsură și una de compensare) se introduc prin canalele de răcire ale bobinei primare în apropierea miezului. Oricare din soluții permit și determinarea valorii medii a temperaturii înfășurărilor și ecartul maxim între punctul cel mai cald și cel mai rece.

Rezultatele simulării realizate pe calculator a arătat că ambele soluții sunt viabile și pot fi implementate în practică. Un impediment îl constituie încă prețul relativ ridicat al interferometrului și al sistemului de filtre pentru decelarea răspunsului fiecărei rețele Bragg. Și așa, prețul de cost estimat face sistemul deocamdată prohibitiv pentru a fi dotat în mod curent toate transformatoarele de mare putere. Această soluție poate fi utilă etapei de verificare a proiectării și de studiu a distribuției temperaturilor într-un tip de transformator ce se fabrică deja. Se întrevide însă posibilitatea ca în curând tot interferometrul să fie realizat sub formă integrată cu reducerea substanțială a prețului de cost.

- Utilizarea senzorilor de temperatură intensometrici bazați pe fluorescență

O soluție mult mai economică dar cu reducerea substanțială a numărului de senzori îl constituie utilizarea a 3 senzori cu fluorescență cu cristal de fluorină, studiați deja în catedra noastră și care au constituit subiectul a două teze de doctorat.

Soluția, prezentată în figura 2.b) presupune, pentru economicitate, multiplexarea în timp a celor trei senzori plasați pe coloane, la intrarea aceluiași dispozitiv de măsurare a temperaturii bazat pe măsurarea fluorescenței cristalelor de fluorină dependentă de temperatură.

Simularea pe calculator a soluțiilor a evidențiat o fezabilitate tehnică și economică a ultimelor două soluții, mai ales în cazuri de toleranță scăzută la defectare impusă de o utilizare specială a transformatorului.

A rezultat că punctul cel mai cald este situat undeva în partea superioară și de mijloc a bobinei centrale (faza S) în vecinătatea miezului sau între bobina de înaltă tensiune și cea de joasă tensiune.

4. REȚEA DE SENZORI CHIMICI PENTRU ULEIUL DE TRANSFORMATOR

Sistemul de izolație al unui transformator de mare putere este format din hârtie de celuloză și ulei mineral special procesat. Degradarea izolației de hârtie este puternic influențată de condițiile termice, oxidante și hidrolizante ale mediului. Starea izolației transformatorului poate fi testată prin analiza gazelor dizolvate în ulei.

Un indicator cheie pentru străpungerea izolației transformatorului este formarea de apă, H₂, CO₂, CH₄ și alți câțiva compuși chimici cunoscuți. De aceea analiza chimică a conținutului de gaze dizolvate în ulei este metoda tehnică cea mai precisă de a detecta starea izolației de hârtie. Deși metoda este exactă ea necesită efectuarea în laborator a determinărilor din cauza complexității aparaturii și a costului ridicat al acesteia.

În ceea ce privește măsurarea “on line” a componentilor de degradare a izolației hârtie-ulei, printre care conținutul de apă și de hidrogen sunt foarte importanți, deja sunt disponibili o serie de senzori realizați pe baza diferitelor tehnologii printre care și cei cu fibre optice. Având în vedere că măsurarea în acest caz se poate face la potențialul cuvei, senzorii se pot plasa în calea uleiului care circulă prin bateriile de răcire pus în mișcare de pompele de ulei. Se pot utiliza și senzori chimici realizați în tehnologia thin-film sau thick-film, mult mai

ieftini și mai sensibili. Se utilizează deja cu succes aceste soluții la monitoarele de hidrogen ce sunt disponibile pentru dotarea transformatoarelor de mare putere.

5. SENZORI PENTRU MĂSURAREA VIBRAȚIILOR

Analiza vibrațiilor și a armonicilor componente, tinde să devină una dintre metodele importante de monitorizare a transformatoarelor datorită multitudinii de informații ce se pot obține despre starea sa de funcționare. Analiza vibrațiilor și a frecvenței acestora, pot permite detectarea unor defecțiuni cum ar fi: desprinderi mecanice în urma unor scurtcircuite prelungite, defecte de uzură a unor echipamente auxiliare (pompe, ventilatoare), sau o încărcare defectuoasă a transformatorului.

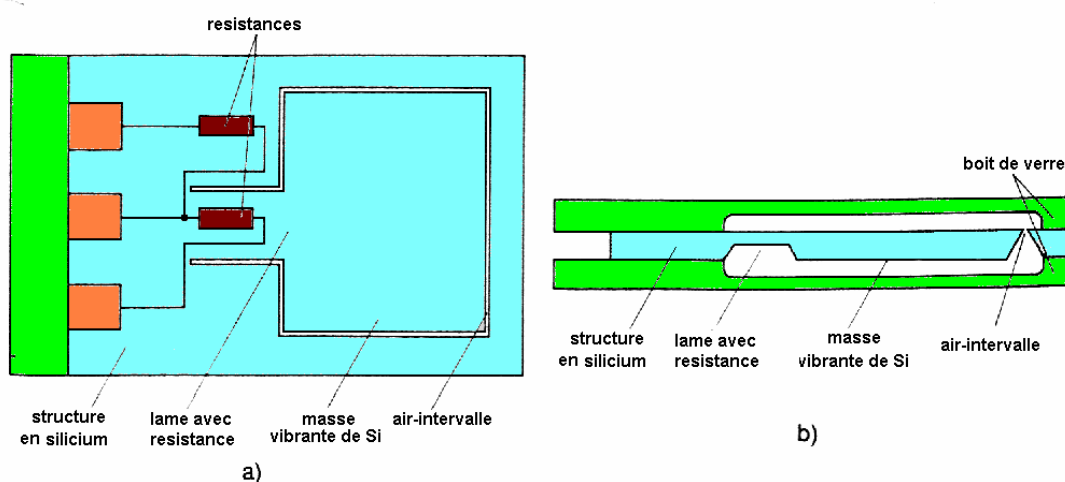


Fig.3. Senzor de accelerație realizat prin micro-uzinarea siliciului
a) vedere de sus, b) vedere în secțiune

În monitorizarea echipamentelor electroenergetice se utilizează pentru măsurarea vibrațiilor accelerometre piezoelectrice. Totuși, aceste traductoare sunt utilizate numai în exteriorul echipamentelor neputând suporta tensiuni înalte și nefiind inerte din punct de vedere chimic. Pe deasupra, traductoarele piezoelectrice sunt supuse interferențelor electromagnetice din mediul de funcționare foarte zgomotos.

O soluție care tinde să se impună este aceea a traductoarelor realizate prin nanotehnologii (Fig. 3) ce utilizează lame vibrante de dimensiuni microscopice realizate într-un cristal de siliciu, pe care este integrată și schema electronică de condiționare a semnalului. Un astfel de senzor are deja un preț rezonabil și poate fi protejat satisfăcător la perturbații electromagnetice comparativ cu senzorii piezoelectrice ce lucrează cu sarcini electrice și semnale mici.

6. PACHET DE PROGRAME TIP “SMART ENGINE” PENTRU TRANSFORMATORE DE PUTERE ȘI ALTE ECHIPAMENTE ELECTROENERGETICE.

Pentru finalizarea cercetărilor sunt în curs de realizare:

- un pachet de programe bazat pe structuri inteligente în vederea realizării unui modul pilot care să poată fi utilizat la construcțiile și echipamentele electrotehnice.
- implementarea pe un sistem de dezvoltare cu microcontroler a programelor și subrutinelor destinate utilizării structurilor inteligente de senzori pentru autoevaluarea stării de funcționare a echipamentelor inteligente,

Ele vor fi concepute a fi realizate tot pentru transformatoare și generatoare datorită faptului că ele prezintă complexitatea maximă și în același timp importanța economică cea mai mare.

Pentru punerea la punct a programelor, se utilizează pe de o parte o placă de achiziții de date National Instruments tip PC MIO 16 H implementată pe un calculator PC de 650 MHz mediul de programare LabVIEW 6.1 a cărei licență este achiziționată și rețeaua de senzori simulată de semnale electrice produse de la un generator programabil HP.

Programele după ce vor fi finalizate vor fi implementate pe o placă de dezvoltare cu microprocesor 80C552 Philips în vederea utilizării directe pe transformator.

Pachetul de programe particularizat pentru transformatoare de mare putere, poate fi ușor adaptate la orice echipament electroenergetic ce necesită un număr mai mic de parametri măsurati dar condiții apropiate de funcționare în ceea ce privește tensiunile, curenți, temperaturile etc.

7. CONCLUZII

Se poate afirma, în concluzie, că realizarea structurilor și a echipamentelor inteligente în domeniul echipamentelor electrice de mare putere și înaltă tensiune este pe deplin posibilă și foarte avantajoasă, chiar în etapa actuală, impunându-se cu precădere la echipamentele de complexitate mare și foarte scumpe cum ar fi generatoarele și transformatoarele de mare putere și la monitorizare stațiilor și centralelor electrice.

Senzorii disponibili cum ar fi cei cu fibre optice sau realizați prin micro-uzinarea siliciului sau cu straturi subțiri, pot fi implementați prin proiectare și construcție relativ ușor în structura echipamentelor electrice pentru realizarea structurilor inteligente, sunt disponibili la prețuri din ce în ce mai convenabile și vor permite realizarea la prețuri competitive a echipamentelor inteligente, cu avantaje economice importante.

Studiul prin simulare a unui transformator dotat cu rețele interne de senzori cum ar fi cei de temperatură, tip rețea Bragg, senzori de vibrații în tehnologie nanometrică și senzori chimici tip thin-film pentru hidrogen a arătat totală compatibilitatea cu câmpurile electromagnetice și potențialele ridicate existente în construcția transformatoarelor de mare putere și înaltă tensiune.

Subrutinele implementate într-un program master de monitorizare, autoevaluare și autoprotecție sunt în curs de finalizare pentru a se realiza un model de echipament inteligent având acest program implementat pe un PC cu cartelă de achiziții de date care să poată fi ușor adaptat la categoria de echipamente de mare putere analizate anterior.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1] Udd Eric, Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists, Wiley, New York 1991,
- [2] Udd Eric, Fiber optic Smart Structure, John Wiley & Sons, Inc. 1995
- [3] Bocherens, Eș.a., Damage detection in a radome sandwich material with embeded fiber optic sensors, Smart Materials & Structure, London, No. 9, 2000, pag. 310-315
- [4] Green A.K. ș.a., Infrastructure development for incorporating fibre-optic sensors in composite materials, Smart Materials & Structure, London, No. 9, 2002, pag. 316-321,
- [5] Bugaud M ș.a., Health monitoring of composite plastic waterworks lock gates using in-fibre Bragg grating sensors, Smart Materials & Structure, London, No. 9, 2001, pag. 322-327,
- [6] Petruzzellis, Th. Optoelectronics, Fiber Optics, and Laser Cookbook, McGraw-Hill, 1997
- [7] Wilson, J, Hawkes, J, Optoelectronics, Prentice Hall, 1998
- [8] ASCH, G. et colab. Les capteurs en instrumentation industrielle, Paris, Dunod, 1991.
- [9] CIUREANU, P. MIDDELHOEK, S. Thin Film Resistive Sensors Bristol, Institute of Physics Publishing, 1992.
- [10] VLAICU, C, CEPIȘCĂ, C, Senzori și traductoare, Editura SECOREX, București, 2001,
- [11] ICHINNOSE, N., KOBAYASCHI, T. Guide Pratique des Capteurs, Paris, Masson, 1990.
- [12] JORDAN G. R. Sensor technologies of the future, Journal of Phisics & Scientific Instruments, nr. 18, 2001.