

# SENZOR CU FIBRE OPTICE PENTRU MĂSURAREA PRESIUNII

Conf. Dr. Ing. M. STANCIU<sup>1</sup>, Ing. Leonaș CIULINARU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitatea POLITEHNICA București <sup>2</sup> Institutul Național de Metrologie - București

Rezumat:

*Presiunea este o mărime neelectrică esențială pentru descrierea stării unui fluid. În multe ramuri industriale, ca de exemplu industria petrolului, chimiei, termoenergetica etc., monitorizarea și reglarea presiunii este chiar determinantă pentru asigurarea desfășurării corecte a întregului proces tehnologic. Perfecționarea continuă a acestor traductoare, precum și apariția unor noi tipuri sunt justificate de considerente ca: necesitatea măsurării presiunii cu exactitate ridicată, reducerea costului, măsurarea simultană a mai multor presiuni și centralizarea datelor, măsurarea în condiții speciale (temperaturi mari, perturbații electromagnetice intense, pericol de explozie, presiuni dinamice, pulsații cu frecvență ridicată, vibrații etc.), controlul unor procese tehnologice sau fenomene fizice, fiziologice etc. În articol este prezentat un traductor de presiune, care utilizează un silfon asociat cu un traductor de deplasare cu fibre optice. Principalele avantaje ale traductoarelor cu fibre optice sunt imunitatea la perturbațiile electromagnetice și eliminarea riscului de explozie.*

## 1. MĂSURAREA PRESIUNII. GENERALITĂȚI

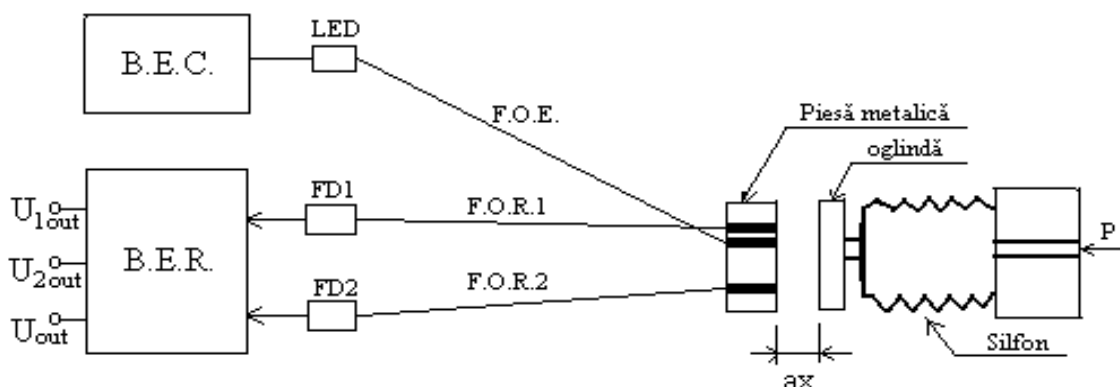
Traductoarele de presiune reprezintă una dintre categoriile de traductoare care cunosc o largă răspândire în automatizările industriale, presiunea constituind un parametru de bază pentru numeroase procese tehnologice. În prezent, pe piață există o mare varietate de tipuri de traductoare pentru măsurat presiunea. În general, elementele sensibile convertesc presiunea fie într-o mărime intermediară de natura unei deplasări sau deformații mecanice, fie direct într-o mărime electrică). **O posibilă variantă de senzori pentru măsurarea deplasărilor mici sau a deformațiilor o reprezintă senzorii cu fibre optice.** În continuare va fi prezentată o variantă constructivă de senzor de presiune care utilizează un silfon (tub ondulat) și un senzor cu fibre optice pentru măsurarea deplasării capătului mobil al silfonului.

## 2. SISTEM EXPERIMENTAL PENTRU MĂSURAREA PRESIUNII CU SENZOR CU FIBRE OPTICE

Funcționarea sistemului de măsurare, prezentat în **figura 1**, este următoarea:

- prin intermediul fibrei optice de emisie (F.O.E.), se transmit razele de lumină emise de LED-ul comandat de un bloc electronic de comandă (B.E.C.);
- fibra optică de emisie F.O.E., care trece prin orificiul realizat într-o piesă metalică (suport), generează un fascicul luminos care se reflectă pe oglinda montată pe capul mobil al silfonului;
- presiunea se măsoară indirect prin intermediul unei deplasări cauzate de presiunea introdusă în silfon, deplasare care modulează lumina din F.O.E.;
- fluxul luminos modulat este recepționat într-o proporție mai mică sau mai mare de fibrele optice de recepție, F.O.R.1 și F.O.R.2.;
- pe măsură ce distanța dintre oglindă și fibrele optice scade, fluxul luminos captat de F.O.R.1 crește, iar fluxul luminos captat de F.O.R.2 scade;
- fluxurile luminoase provenite de la cele două fibre optice de recepție, F.O.R.1 și F.O.R.2, sunt recepționate de fotodiodele FD1 și FD2; curenții generați de cele două

fotodiode sunt prelucrați la nivelul blocului electronic de recepție, B.O.R., rezultând în final o tensiune continuă proporțională cu presiunea (schema din **figura 2**).



**Fig. 1** Schema bloc a sistemului de măsurare a presiunii cu senzor cu fibre optice.

LED-ul utilizat este un "REDDISH-ORANGE LED": RS-S.N. 246-5774 cu intensitatea luminoasă,  $I_V = 8000$  mcd. Fotodiodele FD1 și FD2 sunt identice (BPX65) și au aria suprafeței utile,  $A = 1 \text{ mm}^2$  și responsivitatea:  $R_{p-max} \sim 0,55 \text{ A/W}$  ( $\lambda_p = 900 \text{ nm}$ ). Pentru conversia fotocurenților în tensiuni electrice s-au utilizat două amplificatoare transimpedanță, realizate cu amplificatoare operaționale TL071 (AO1, AO2). Amplificatoarele transimpedanță furnizează la ieșire tensiunile  $U_1$  și respectiv  $U_2$ . Aceste tensiuni, la rândul lor, sunt amplificate de amplificatoarele neinversoare (cu amplificare reglabilă), realizate cu amplificatoarele operaționale de precizie, 2xAO3 (OPA277). Tensiunile rezultate se aplică prin intermediul unui comutator unui bloc divizor de tensiune, realizat cu circuitul specializat AD 534. Principalele funcții ale acestui bloc (B.E.R.) sunt liniarizarea caracteristicii de transfer a sistemului de măsurare, realizarea reglajelor de zero și pantă și eliminarea influențelor exterioare, la nivelul senzorului cu fibre optice.

### 3. TEHNOLOGIA DE REALIZARE A SENZORULUI DE PRESIUNE CU FIBRE OPTICE

Pentru realizarea senzorului cu fibre optice, s-a utilizat o fibră optică tip Super ESKA "SH 4001" din plastic (polimetilmetacrilat), cu diametrul exterior al fibrei (miez plus cămașă activă),  $\Phi_{fo} = 1 \text{ mm}$ , apertura numerică,  $AN = 0,50$  și atenuarea,  $A_{max} \cong 400 \text{ dB/km}$ .

Optrodul utilizat pentru măsurarea presiunii este alcătuit dintr-o piesă metalică, de formă cilindrică prin care s-au introdus cele trei fibre optice și un traductor de presiune cu burduf (silfon). Realizarea senzorului de presiune a constat din următoarele procedee tehnologice:

- tăierea, prelucrarea și finisarea piesei metalice suport, în vederea introducerii și fixării celor trei fibre optice (fibrele de recepție sunt poziționate asimetric în raport cu cea de emisie);
- înlăturarea învelișului la capetele celor trei fibre optice;
- montarea conectorilor pentru cuplarea cu LED-ul și fotodiodele;
- introducerea celorlalte capete ale fibrelor optice în orificiile efectuate în piesa metalică suport și rigidizarea lor cu adeziv;
- șlefuirea capetelor fibrelor optice.

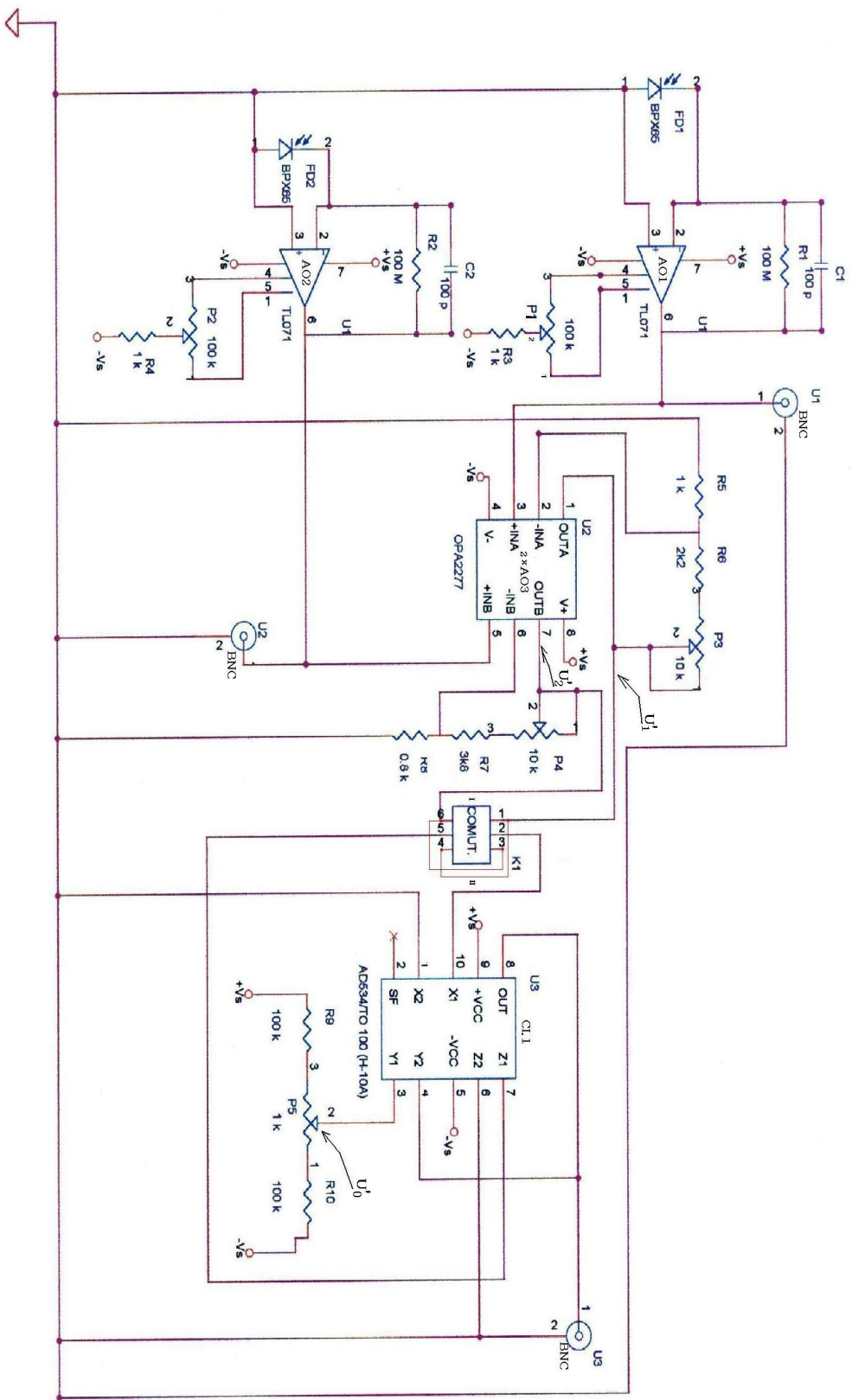
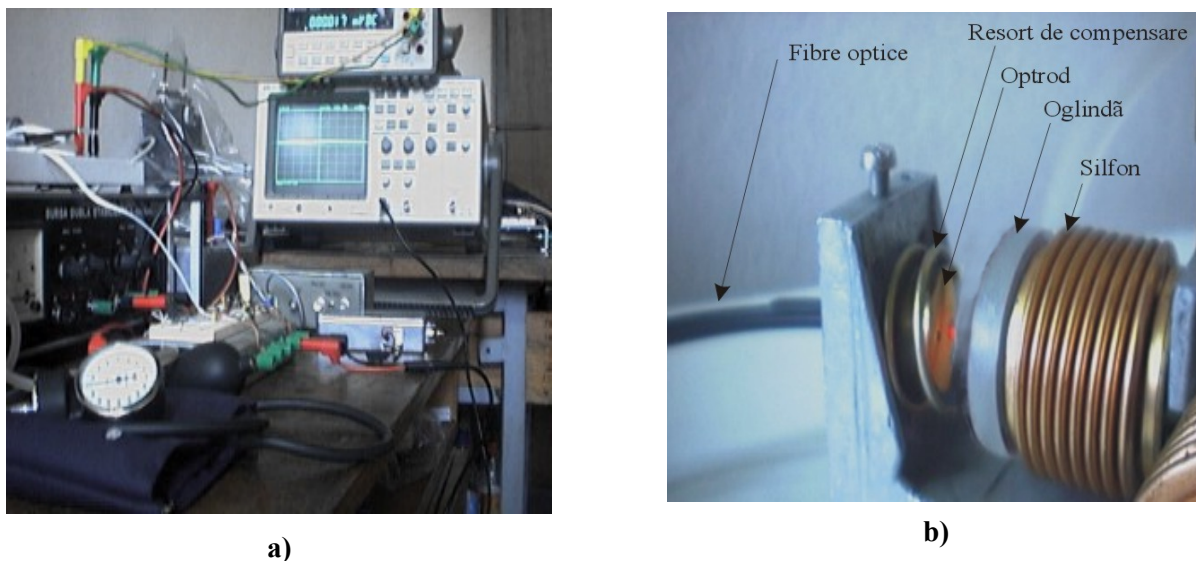


Fig. 2 Schema electronică a blocului electronic de recepție (B.O.R.).

În **figura 3.a** este prezentat sistemul experimental realizat, iar în **figura 3.b**, un detaliu al traductorului (silfon + traductor de deplasare cu fibre optice).



**Fig. 3 a) Vedere generală a montajului realizat; b) Traductorul de presiune cu fibre optice.**

#### 4. REZULTATE EXPERIMENTALE

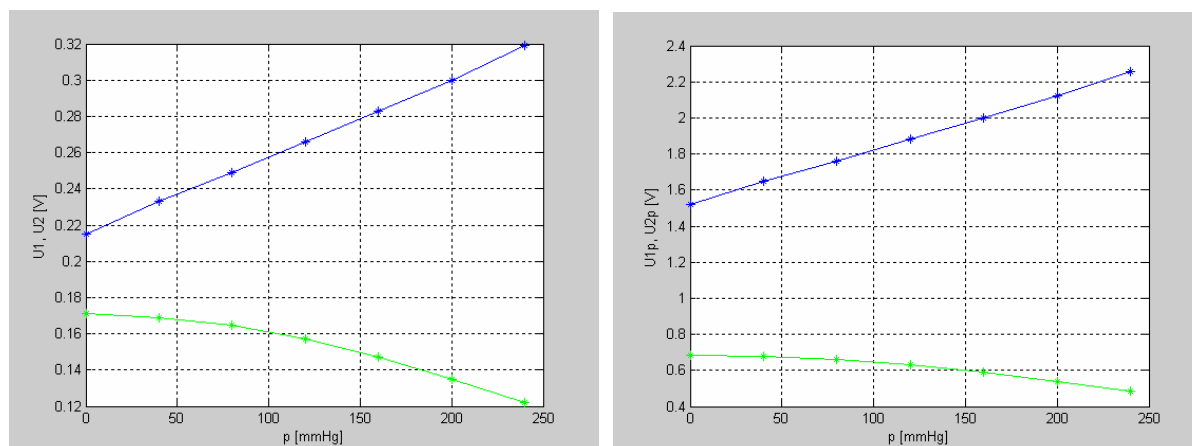
Pentru caracterizarea metrologică a sistemului realizat, s-a utilizat un multimetru digital HP34401A și un manometru etalon. În **tabelul 1** sunt prezentate valorile tensiunilor intermediare  $U_{1,2}$ , și  $U'_{1,2}$ , iar în **figurile 4.a și 4.b**, caracteristicile de transfer corespunzătoare ( $U'_{1,2} \equiv U_{1p,2p}$ ). În **tabelul 2** sunt prezentate valorile tensiunii de ieșire (trei seturi "crescător-descrescător"), pe baza cărora s-a efectuat o prelucrare statistică și a fost caracterizat sistemul.

**Tabelul 1. Valorile tensiunilor intermediare  $U_{1,2}$ , respectiv  $U'_{1,2}$ .**

p	$U_1$	$U_2$	$U'_1$	$U'_2$
mmHg	[V]	[V]	[V]	[V]
0	0,215	0,171	1,518	0,685
40	0,233	0,169	1,648	0,678
80	0,249	0,165	1,762	0,662
120	0,266	0,157	1,881	0,630
160	0,283	0,147	1,999	0,589
200	0,300	0,135	2,125	0,539
240	0,319	0,122	2,256	0,487

**Tabelul 2. Valorile tensiunii de ieșire  $U_3$ .**

p [mmHg]	$U_3$ [V]					
0	0,001	0,001	0,002	0,016	0,001	0,015
40	0,394	0,406	0,397	0,396	0,398	0,407
80	0,782	0,783	0,780	0,781	0,795	0,793
120	1,189	1,190	1,185	1,187	1,188	1,189
160	1,593	1,588	1,597	1,588	1,604	1,603
200	2,010	1,998	1,999	2,007	2,002	2,004
240	2,415	2,407	2,403	2,402	2,400	2,406



**Fig. 4 a) Variația tensiunilor  $U_1, U_2$ , în funcție de presiune; b) Variația tensiunilor  $U_1', U_2'$  în funcție de presiune.**

Pe baza măsurărilor efectuate s-au obținut:

1. Valoarea calculată a tensiunii de ieșire (pentru fiecare valoare a presiunii  $p$ [mmHg]):

$$U_{3c} = U_0 - 10 \cdot \frac{U_2'}{U_1'} \quad (1)$$

unde  $U_0 = 4,555$  V, iar  $U_1'$  și  $U_2'$  sunt tensiunile de la ieșirea amplificatoarelor neinversoare;

2. Valoare teoretică a tensiunii de ieșire

$$U_{3t} = S \cdot p \quad (2)$$

unde :  $S$  este sensibilitatea sistemului,  $S=0,01$  V/mmHg (valoare impusă);

$p$  - presiunea în mmHg

3. Valoarea medie a tensiunilor de ieșire (pentru 3 cicluri de citire),  $U_{3m}$ ;

4. Abaterea medie pătratică experimentală,  $\sigma_{n-1}$ [V]

5. Intervalul de încredere (eroarea absolută de fidelitate),

$$\Delta X_f = t \sigma_{n-1} [\text{V}], \quad (3)$$

unde  $t=2,57$  (coeficientul repartiției Student pentru  $P = 95\%$  și  $n = 6$ )

6. Eroarea raportată  $\varepsilon_f$ , corespunzătoare domeniului de ieșire teoretic,  $D = 2,4$  V

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta X_f}{D} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

7. Eroarea raportată de justețe

$$\varepsilon_j = \frac{U_{3m} - U_{3t}}{D} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

8. Eroarea raportată totală

$$\varepsilon_t = \sqrt{\varepsilon_f^2 + \varepsilon_j^2} [\%] \quad (6)$$

9. Eroarea relativă calculată

$$\varepsilon_c = \frac{U_{3c} - U_{3t}}{D} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

Rezultatele prelucrărilor sunt prezentate în **tabelul 3**, iar caracteristicile de transfer și de erori sunt prezentate în **figurile 5.a și 5.b** ( $U_3 \equiv U_{out}$ ).

**Obs.** Valorile "calculate" ale tensiunii de ieșire,  $U_{3c}$ , sunt valorile drepte de regresie (calculată pe baza valorilor medii,  $U_{3m}$ ), obținute prin metoda celor mai mici pătrate.

Tabelul 3. Valorile tensiunii de ieșire  $U_3$ .

p	$U_{3t}$	$U_{3m}$	$U_{3c}$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_t$
mmHg	V			%	%
0	0	-0,0185	0,0425	1,770	0,846
40	0,4	0,3642	0,4409	1,705	1.540
80	0,8	0,7297	0,7979	-0,087	2.950
120	1,2	1,1265	1,2057	0,238	3.075
160	1,6	1,5372	1,6085	0,355	2.650
200	2,0	1.9837	2,0185	0,772	0,817
240	2,4	2,4055	2,3963	-0,153	0,614

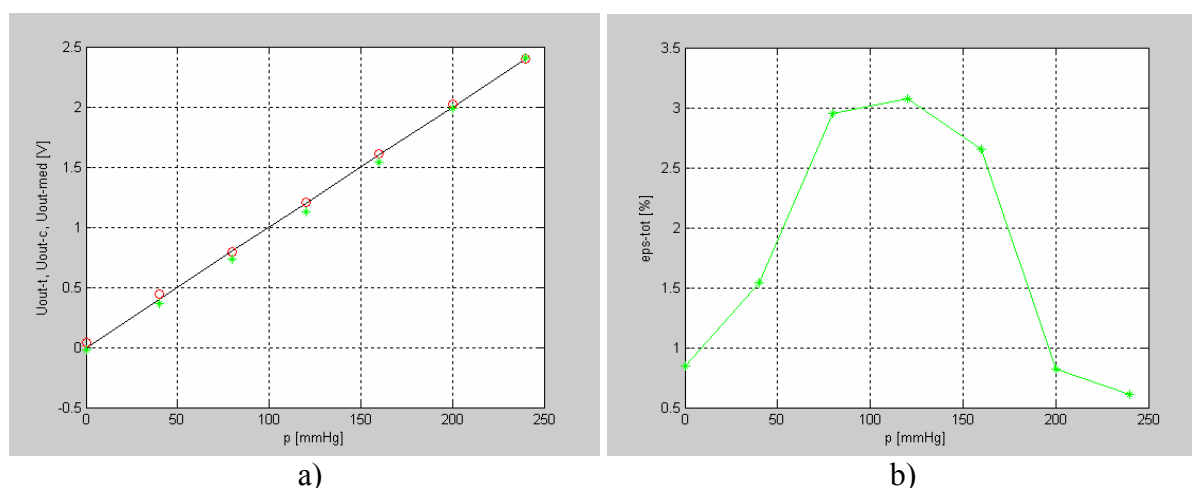


Fig. 5 a) Caracteristica de transfer statică a traductorului  $U_{3t,3c,3m} = f(p)$ ;  
 b) Caracteristica de erori  $\varepsilon_t = f(p)$ .

## 5. CONCLUZII

Pe baza calculelor efectuate, se observă că sistemul de măsurare realizat urmărește funcția teoretică ce modelează procesul (funcție de transfer liniară), constantele obținute prin metoda celor mai mici pătrate asigurând o *eroare de justețe maximă*,  $\varepsilon_j \max = 2,61 \%$ . Repetabilitatea se caracterizează printr-o *eroare raportată de fidelitate maximă*,  $\varepsilon_f \max = 0,57 \%$ . *Eroarea raportată totală maximă* are valoarea  $\varepsilon_t \max = 3.07 \%$ . Sistemul de măsurare a presiunii cu fibre optice prezintă, în raport cu alte sisteme de măsurare a presiunii, prezintă următoarele avantaje:

- permite transmisia informației de măsurare la distanțe relativ mari;
- permite măsurarea în mediile cu pericol de explozie, greu accesibile sau nocive;
- măsurările nu sunt influențate de perturbațiile de natură electromagnetică;
- influența temperaturii este practic neglijabilă.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Gabriel Ionescu ș.a., Traductoare pentru automatizări industriale Vol.1 Editura Tehnică, București, 1985.
- [2] Stanciu, M., Senzori cu fibre optice, Editura SECOREX, ISBN 973-85298-2-4, 2001.
- [3] Ramakrishnan, S.Unger, L., and Kist, R. (1988). Line loss independent fiber optic displacement sensor with electrical subcarrier phase encoding, 5<sup>th</sup> Int. Conf. Optical Fiber Sensors, OFS '88, New Orleans, pp. 133.
- [4] Fields, J.N., Asawa, C.K., Ramer, O.G., and Barnoski, M.K. (1980). Fiber optic pressure sensor, J. Acoust. Soc. Am., 67, p. 816.
- [5] Berthold, J.W. (1985). Industrial applications of optical fiber sensors, Fiber Optic and Laser Sensors III, (Proc. SPIE, 566), pp. 37-44.