

AUREL CIOCÎRLEA-VASILESCU

MARIANA CONSTANTIN

OLGUȚA LAURA SPORNIC

# SENZORI ȘI TRADUCTOARE

Manual pentru clasa a **XI**-a, ruta directă

Filiera tehnologică

Profil Tehnic

Calificarea profesională **Tehnician mecatronist**

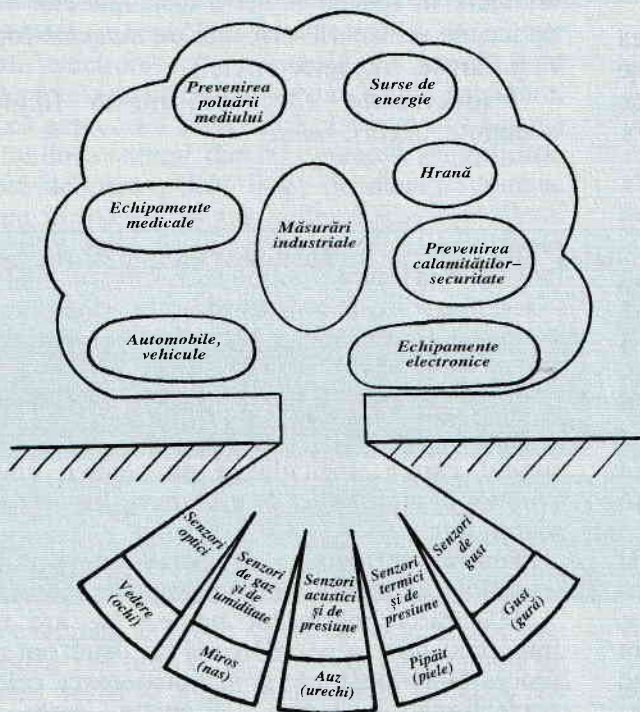


## CUPRINS

<b>1. Principii fundamentale .....</b>	<b>3</b>
1.1 Considerații generale .....	4
1.2 Noțiuni de bază .....	4
1.3 Tipuri de traductoare .....	7
1.4 Principii fizice pe care se bazează funcționarea senzorilor .....	9
1.5 Domenii de utilizare .....	12
Test recapitulativ .....	15
<b>2. Caracteristicile metrologice ale senzorilor și traductoarelor .....</b>	<b>17</b>
2.1 Caracteristici ale mărimii măsurate .....	19
2.2 Caracteristici electrice .....	19
2.3 Caracteristici mecanice și constructive .....	19
2.4 Caracteristici funcționale .....	20
2.4.1 Caracteristici ale regimului static .....	20
2.4.2 Caracteristici dinamice .....	25
2.5 Parametrii caracteristici senzorilor .....	26
Test recapitulativ .....	27
<b>3. Sensori și traductoare electrice .....</b>	<b>29</b>
3.1 Noțiuni introductive .....	30
3.2 Sensori și traductoare rezistive .....	30
3.3 Sensori și traductoare inductive .....	46
3.4 Sensori și traductoare capacitive .....	50
Test recapitulativ .....	57
<b>4. Sensori și traductoare pentru mărimi mecanice .....</b>	<b>59</b>
4.1 Sensori și traductoare pentru măsurarea deplasărilor .....	61
4.2 Traductoare elastice pentru măsurarea deplasărilor și forțelor/cuplurilor .....	63
4.3 Traductoare tensometrice rezistive pentru măsurarea deformațiilor .....	65
4.4 Traductoare cu coardă vibrantă .....	67
4.5 Traductoare electrice de forță .....	67
4.6 Traductoare de cuplu .....	69
4.7 Sensori și traductoare pentru măsurarea vitezelor și turațiilor .....	70
4.8 Traductoare pentru măsurarea mărimilor unghiulare .....	73
4.9 Traductoare pentru măsurarea vibrațiilor și șocurilor .....	74
4.10. Caracteristici metrologice ale traductoarelor pentru mărimi mecanice .....	82
Test recapitulativ .....	83
<b>5. Sensori și traductoare pneumatice și hidraulice .....</b>	<b>85</b>
5.1 Sensori și traductoare pentru măsurarea nivelului lichidelor .....	86
5.1.1 Metode bazate pe proprietățile electrice de material .....	86
5.1.2 Metode bazate pe forța arhimedică .....	87
5.1.3 Metode bazate pe măsurarea presiunii .....	88
5.1.4 Metode bazate pe măsurarea masei .....	88
5.1.5 Metode cu radiații .....	89

5.2 Senzori și traductoare pentru măsurarea presiunii fluidelor .....	90
5.2.1 Elemente sensibile elastice .....	91
5.2.2 Traductoare electrice asociate .....	93
5.2.3 Traductoare de presiune cu balanță de forțe .....	95
5.2.4 Traductoare piezoelectrice de presiune .....	96
5.2.5 Măsurarea subpresiunilor .....	97
5.2.6 Traductoare tactile .....	98
5.2.7 Traductoare acustice .....	98
5.3 Senzori și traductoare pentru măsurarea vitezei fluidelor .....	100
5.4 Senzori și traductoare de debit .....	100
5.4.1 Debitmetre cu strangularea secțiunii .....	101
5.4.2 Debitmetre cu strangulare variabilă .....	102
5.4.3 Alte debitmetre mecanice .....	103
5.4.4 Debitmetre electromagnetice .....	103
5.4.5 Debitmetre termoanemometrice .....	103
5.4.6 Debitmetre ultrasonore .....	104
5.4.7 Alte metode de măsurare a debitului .....	104
Test recapitulativ .....	105
<b>6. Integrarea senzorilor în schemele de automatizare .....</b>	<b>107</b>
6.1 Schemele funcționale .....	109
6.2 Convertoare de prelucrare asociate senzorilor și traductoarelor .....	114
6.3 Senzori și traductoare electrice .....	116
6.4 Senzori și traductoare pentru măsurarea mărimilor mecanice .....	122
6.4.1 Senzori pentru poziție și viteză .....	122
6.4.2 Senzori și traductoare pentru măsurarea forțelor .....	125
6.4.3 Senzori și traductoare pentru măsurarea turației și vitezei .....	125
6.4.4 Senzori și traductoare hidraulice și pneumatice .....	126
6.5 Măsurarea temperaturii .....	133
6.6 Măsurarea electrică a abaterilor de la cote prestabilite .....	134
Test recapitulativ .....	135
<b>Lucrări de laborator .....</b>	<b>137</b>
– Senzori și traductoare rezistive .....	138
– Senzori și traductoare inductive .....	140
– Senzori și traductoare tensometrice .....	142
– Senzori și traductoare pentru măsurarea presiunii .....	146
– Senzori și traductoare pentru măsurarea electrică a temperaturii .....	149
– Traductori de viteză de rotație .....	151
Exerciții de grup .....	153
<b>Răspunsuri – Teste recapitulative .....</b>	<b>155</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>157</b>

# PRINCIPII FUNDAMENTALE



1.1 Considerații generale

1.2 Noțiuni de bază

1.3 Tipuri de transductoare

1.4 Domenii de utilizare

1.5 Principii fizice pe care se bazează  
funcționarea senzorilor

*După studierea acestui manual, vei fi capabil:*

- să alegi tipul de senzor corelat cu aplicația;
- să integrezi senzorii în schemele de automatizare;
- să verifici funcționalitatea schemei;
- să identifici problemele complexe.



## 1.1. Considerații generale

În procesul de producție și în cel de investigare și exploatare a mediului mișcările și acțiunile pe care omul le execută pentru a acționa asupra obiectelor muncii și a mijloacelor de muncă necesită contribuția sistemelor senzoriale și a centrilor nervoși. Această activitate permite identificarea parametrilor din mediu și, totodată, optimizarea acțiunilor întreprinse.

Cea mai solicitată și mai importantă funcție senzorială este cea vizuală, care asigură cantitatea preponderentă de informație, având și cea mai mare viteză de transfer (circa  $3 \times 10^6$  biți/s). Vederea facilitează majoritatea acțiunilor umane de investigare a mediului: identificarea obiectelor și a configurației acestora, a poziției și a orientării lor, aprecierea distanțelor. Extraordinara perfecționare a simțului vizual explică, poate, absența altor senzori de investigare la om, cum ar fi cei ultrasonici, cu care sunt dotate specii de animale ca lilieci, delfini, balene ș.a.

*Simțul auditiv* permite omului recepționarea undelor sonore din domeniul „audio”, având frecvențe cuprinse între aproximativ 16 Hz și 16 kHz. Rata de transfer a informației auditive este de circa  $2 \times 10^4$  biți/s.

În procesele de producție, *sensibilitatea cutanată* a omului prezintă o importanță deosebită, fiind asigurată de multipli receptori implantați în piele.

*Simțul olfactiv* ( $10^2$  biți/s) și cel *gustativ* (10 biți/s) sunt utilizate de om într-un număr restrâns de procese de producție din industria alimentară și din cea cosmetică. Astfel de sisteme senzoriale nu au fost implementate până în prezent la roboți.

Pe măsură ce gradul de nedeterminare a principalilor parametri ai proceselor de manipulare crește, se impune înzestrarea mașinilor automate cu elemente senzitive și de prelucrare a semnalelor, având funcții similare unor organe de simț umane, denumite *senzori* sau *sisteme senzoriale*.

O mare parte din elementele tehnice senzitive sunt încadrate în categoria de **traductor**. În unele domenii, în special în sfera dispozitivelor electro-optice, se utilizează termenul de *detector* (detector în infraroșu, fotodetector etc.).

Traductoarele introduse într-un fluid sunt denumite, uneori, *sonde*.

## 1.2. Noțiuni de bază

Din totalitatea mărimilor prezente, în realitatea obiectivă se evidențiază mulțimea mărimilor măsurabile care îndeplinesc următoarele condiții:

- pot fi definite;
- li s-a elaborat o scală de măsurare;
- aparatul de măsurare care permite efectuarea măsurării a fost realizat pe baza unei metode de măsurare.

**Scala de măsurare** este formată din totalitatea numerelor reale, ce pot fi atribuite unei mărimi măsurabile.

**Metoda de măsurare** reprezintă un sistem de reguli sau de principii care conduc la determinarea valorilor mărimilor măsurabile.

**Măsurarea** reprezintă un proces complex, care constă din ansamblul operațiilor necesare privind solicitarea, obținerea, transmiterea, recepția și prelucrarea semnalului metrologic, pentru a se obține valoarea mărimii măsurate.

Aparatul de măsurare poate fi reprezentat ca o rețea de captare și de transmitere a informațiilor, denumită lanț de măsurare. Aparatul de măsurare constituie, prin urmare, un canal informațional de-

lungul căruia vehiculează un semnal energetic purtător al informației de măsurare, denumit *semnal metrologic*.

Pentru formarea și circulația semnalului metrologic, este necesară o energie de măsurare.

Măsurarea mărimilor neelectrice are un rol important atât în coordonarea de către om a unui proces tehnologic, cât și în funcționarea celor mai perfecționate sisteme automate care conțin calculatoare electronice.

Elementele care servesc la convertirea (transformarea) unei mărimi de o anumită natură fizică într-o mărime de aceeași natură, dar care variază în altă gamă de valori sau într-una de o altă natură fizică, se numesc **traductoare**.

### Traductorul convertește:

- o mărime neelectrică (care trebuie măsurată) într-o mărime electrică; (de exemplu, termocuplul convertește temperatura în tensiune electromotoare);
- o mărime neelectrică tot într-o mărime neelectrică (de exemplu, traductoarele pneumatice convertesc variația dimensiunilor unei piese în variații de presiune ale aerului comprimat).

Traductoarele trebuie să conțină un element sensibil la variația unui anumit parametru. Astfel, un traductor de temperatură trebuie să conțină un element sensibil la variația temperaturii. Deci este necesar ca elementul sensibil al unui traductor să aibă o proprietate fizică dependentă de mărimea măsurată în mod liniar și într-un interval mare.

De multe ori, informația căutată se referă la măriri ce implică o energie care se dezvoltă sau care acționează în fenomenul studiat, de exemplu:

*energie mecanică* (forță, presiune, deformare, deplasare, debit, viteză, accelerație), *energie chimică* (potențial electrochimic), *energie termică* (temperatură, flux de căldură), *energie radiantă* (intensitate de radiație, distribuție spectrală a radiației), *energie electrică* (tensiune, curent, câmp electric etc.). În aceste cazuri, semnalul electric se poate obține cu ajutorul traductorului, prin simpla conversie a mărimii neelectrice respective în mărime electrică.

În procesul de măsurare, traductoarele pot ocupa diferite poziții pe lanțul de transmitere a informației:

- traductorul care preia informația de la măsurand se numește **traductor de intrare** (*traductor primar*) sau **senzor**;
- **traductorul de ieșire** se află la ieșirea mijlocului de măsurare și realizează adaptarea sistemului de utilizare a informației de măsurare la lanțul de măsurare;
- pe lanțul de măsurare pot exista și **traductoare intermediare** care au rolul de a realiza transformări ale energiei purtătoare de informație în mărimi ce pot fi prelucrate mai ușor, în condiții de exactitate, viteză și imunitate la perturbații superioare.

Cuvintele „senzor“, „traductor“ și, mai rar „aparate electronice de măsurare și control“ sunt folosite frecvent în cadrul sistemelor de măsurare. Poate că și precizia lingvistică pledează în favoarea primelor două noțiuni, dar, cu siguranță, semnificația acestora acoperă paleta largă de situații practice întâlnite în măsurarea mărimilor fizice. Cel dintâi („senzor“) este foarte popular în terminologia americană, în timp ce al doilea („traductor“) a intrat – de mulți ani – în limbajul specialiștilor europeni.

Denumirea de „senzor“ are la origine termenul „simț“, care provine din latinescul „sensus“ și denumește acea facultate a oamenilor și a animalelor de a distinge impresii din lumea exterioară, prin intermediul organelor de simț. Omul poate percepe din mediu înconjurător lumina, culorile, sunetele, căldura, mirosurile și gusturile, cu ajutorul ochilor, urechilor, pielii, nasului și al limbii.

Definiția cuvântului **traductor** este de „*dispozitiv care transferă putere de la un sistem la altul, în aceeași formă sau într-una diferită*“.

O definiție de dicționar atribuie cuvântului **senzor** semnificația de „*dispozitiv care detectează o schimbare într-un stimul fizic și o transformă într-un semnal care poate fi măsurat sau înregistrat*“.

**DE REȚINUT!** O delimitare sensibilă între cele două noțiuni constă în folosirea cuvântului „senzor“ doar pentru elementul sensibil însuși, iar cuvântul „traductor“ pentru elementul sensibil și circuitele asociate.

De exemplu, se poate spune că un termistor este un „senzor“, în timp ce un termistor plus o punte de măsurare rezistivă (care transformă variațiile de rezistență electrică în variații de tensiune) este un „traductor“. Astfel, toate traductoarele vor conține unul sau mai mulți senzori, capabili să efectueze conversia mărimii de măsurat într-o altă mărime, care prezintă calitatea de a fi ușor măsurabilă. Majoritatea senzorilor (dar nu toți) sunt traductoare.

Dezvoltările tehnologice din ultima perioadă, ca și modalitățile conceptuale ale celor două categorii, fac ca cele două noțiuni să aibă semnificații sensibil diferite.

Un traductor este – în esență – un convertor de energie, ceea ce înseamnă că semnalul de intrare are întotdeauna energie sau putere.

Transformarea unei mărimi într-o altă mărime necesită întotdeauna prezența uneia sau a mai multor

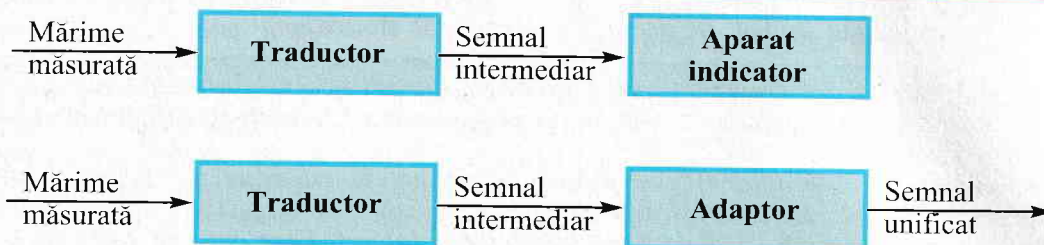
forme de energie. Traductoarele pot realiza fie transformarea directă, dintr-o formă de energie în alta – în cazul mărimilor *active*, purtătoare de energie (forța, curentul electric, sarcina electrică etc.)–, fie modularea unei energii, în funcție de un parametru – care reprezintă măsurandul–, în cazul mărimilor *pasive* (densitatea, rezistența electrică, capacitatea electrică, inductivitatea etc.).

Se poate spune că senzorul presupune măsurarea unei mărimi într-o manieră similară modulului de a observa folosit de om. În același timp, senzorii sunt dispozitive de mărimi reduse (miniaturi), care permit determinări „punctuale“ ale măsurandului.

Prin urmare, **senzorii** reprezintă *ansamblurile de dispozitive sensibile care permit determinarea unui câmp de valori ale unei mărimi într-o manieră similară cu organele de simț umane*.

Traductoarele pot fi utilizate în mai multe moduri:

- a) Pentru *indicarea valorii unui parametru*, traductoarele se conectează în general la aparate de măsurat sau la aparate înregistratoare gradate în unitățile respective de măsură (**Fig. 1.1., a**). De exemplu, pentru a măsura valoarea temperaturii dintr-un cuptor cu ajutorul unui termocuplu, este necesar un milivoltmetru gradat în °C. Sunt însă și traductoare care pot acționa direct asupra unui ac indicator. De exemplu, la măsurarea temperaturii cu traductoare bimetalice, acul indicator poate fi acționat direct de capătul liber al lamei bimetalice;



**Fig. 1.1. Schema de măsurare:**  
a – cu aparat indicator; b – cu adaptor

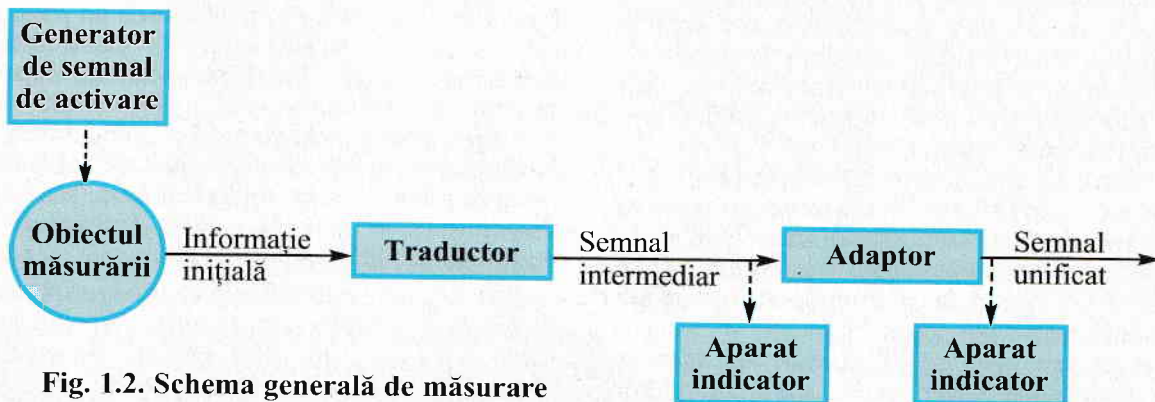
- b) Pentru *obținerea unui semnal* folosit în sistemele automate simple (de stabilizare a valorii unui parametru) sau în sistemele automate complexe ce conțin calculatoare electronice, traductoarele se conectează la dispozitive numite *adaptoare* (**Fig. 1.1., b**). Rolul unui adaptor este de a transforma mărimea de ieșire a traductorului într-o altă mărime standardizată, care este utilizată în transmiterea informației între blocurile sistemului automat. La ieșire, adaptorul furnizează semnale unificate, adică semnale în curenți sau tensiuni continue, variind între anumite limite, indiferent de natura și de domeniul de variație al mărimii aplicate la intrarea traductorului.

Prin utilizarea semnalelor unificate, se reduce diversitatea de aparate necesare pentru automatizarea unui proces tehnologic și se simplifică operațiile de exploatare și de întreținere, deoarece, în acest caz, aparatele de același tip sunt interschimbabile.

În automatizările industriale, este necesară instalarea unui număr mare de traductoare, pentru cele mai diferite mărimi. Din această cauză, în practică se întâlnesc adaptoare care diferă în primul rând după tipul operației de conversie efectuate. Astfel, există adaptoare care convertesc o tensiune continuă în curent continuu, o tensiune alternativă în curent continuu, o

deplasare în curent continuu ș.a.m.d. Mărimea în care se convertesc depinde de sistemul unificat din care face parte adaptorul respectiv. Așadar, măsurarea diferiților parametri este o operație fără de care controlul desfășurării unui proces tehnologic și, cu atât mai mult, automatizarea sa complexă nu sunt posibile.

Diversitatea aparatelor de măsurare și control utilizate astăzi în industrie este extrem de mare. Cu toate acestea, se poate contura o structură generală comună celor mai multe dintre aceste aparate. Sub o formă simplificată, această structură generală de măsurare este prezentată în **figura 1.2**.



**Fig. 1.2. Schema generală de măsurare**

Senzorii și traductoarele sunt primele elemente ale unui lanț de măsurare. Fiecărui măsurand îi este asociat un senzor, al cărui rol este de a converti acest măsurand de valoare  $x$  într-o altă mărime fizică  $y$ , printr-o funcție  $y(x)$ , cunoscută de măsurand. Se urmărește ca mărimea  $x$  să fie de natură electrică sau transformabilă ușor în mărime electrică, ea fiind la originea semnalului electric prelucrat în lanțul de măsurare.

Senzorul (captorul) este elementul din lanțul de măsurare direct influențat de mărimea de măsurat.

Exemple: joncțiunea unui termometru termoelectric, tubul Bourdon al unui manometru, flotorul unui aparat de măsurat nivelul lichidului etc.

Traductorul este dispozitivul care face ca unei mărimi de intrare să îi corespundă, conform unei legi determinate, o mărime de ieșire. Exemple de traductori sunt: transformatorul de măsurare, termoelementul, electrodul de pH etc.

Principalele cerințele impuse traductoarelor sunt:

- să execute prelucrarea primară a informației;
- să ofere o siguranță mare în exploatare;
- să furnizeze un semnal mare de ieșire, cu precizie ridicată;
- să nu perturbe măsurandul;
- să permită alegerea domeniului de măsurare și reglarea sensibilității;
- să admită suprasarcină de durată;
- să fie asigurată imunitatea la perturbații;
- să prezinte adaptabilitate la amplasare;
- să aibă o construcție rigidă, rezistentă la șocuri și la acțiunea mediului înconjurător;
- să aibă gabarit redus și masă mică;
- să fie proiectate în construcție modulară și să permită interschimbabilitatea;
- să aibă legături simple de intrare și ieșire;
- să asigure îndeplinirea normelor de protecția muncii;
- să necesite o reglare și o întreținere ușoară;
- să prezinte un preț de cost scăzut.

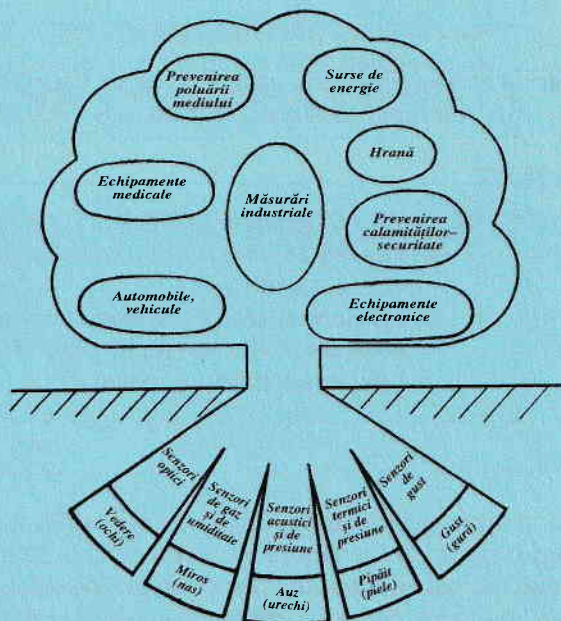
### 1.3. Tipuri de traductoare

Înainte de a face o clasificare a senzorilor și a traductoarelor, prezentăm în **figura 1.3.** „arborele“ domeniilor de aplicare a senzorilor.

În practică, există o mare varietate de tipuri de traductoare și de adaptoare, care se pot clasifica în mai multe moduri:

I. după *modul prin care se realizează transformarea mărimii neelectrice în mărime electrică*:

- a) traductoare **directe**, care transformă direct mărimea neelectrică de măsurat într-o variație a unei mărimi electrice la ieșirea lor (majoritatea traductoarelor utilizate în aparatele de măsură și control sunt de acest tip);
- b) traductoare **complexe**, în care conversia mărimii neelectrice în mărime electrică se efectuează în trepte succesive.



**Fig. 1.3.** Arborele domeniilor de aplicare a senzorilor

## II. după natura mărimii electrice furnizate la ieșirea lor:

- a) traductoare **parametrice** (sau **modulatoare**), în care mărimea de intrare influențează proprietățile materialului constitutiv al traductorului și este transformată în variații ale proprietăților de material (rezistență, inductanță, capacitate etc.). Din această categorie fac parte termistorul, termorezistența etc. Termorezistența este un traductor parametric, deoarece la variația mărimii măsurate, adică a temperaturii, transmite la ieșire o variație a unei rezistențe electrice. Utilizarea acestor traductoare necesită, de regulă, folosirea unei surse externe de excitație (de activare), pentru punerea în evidență a modificărilor mărimii de ieșire;
- b) traductoare **generatoare** (sau **energetice**), în care mărimea de intrare este transformată la ieșirea traductorului direct într-o tensiune electromotoare, sarcină electrică sau curent. Din această categorie fac parte traductorul piezoelectric, termocuplul etc. Termocuplul este un traductor generator, deoarece la variația mărimii măsurate, adică a temperaturii, transmite la ieșire o tensiune electromotoare.

Prin urmare, deosebirea dintre un traductor generator și un traductor parametric constă în natura diferită a semnalelor transmise la ieșire. Astfel, din categoria traductoarelor parametrice fac parte traductoarele bazate pe variația unui parametru.

În general, senzorii parametrici sunt mai sensibili și mai exacti decât cei generatori,

consumă mai puțină energie din fenomenul supus măsurării și, prin aceasta, îl perturbă mai puțin.

Senzorii generatori au, în schimb, avantajul că dau la ieșire direct o tensiune care poate fi nemijlocit măsurată de un aparat electric de măsurare.

## III. după destinația lor funcțională:

- a) traductoare de **temperatură**;
- b) traductoare de **mărimi mecanice** (forță, presiune, tensiune mecanică, accelerație);
- c) traductoare de **semnale electrice** (radiante);
- d) traductoare de **mărimi magnetice**;
- e) traductoare de **mărimi chimice**.

Potrivit acestei clasificări, un anumit tip de traductor poate avea multiple destinații funcționale. Astfel,

termistorul poate fi utilizat ca traductor de temperatură, de debit, de nivel, de compoziție a gazelor etc.

## IV. după mărimea de ieșire:

- a) **analogice**, care furnizează la ieșire un semnal continuu variabil cu mărimea măsurată;
- b) **numerice**, care furnizează un semnal discontinuu, o succesiune de impulsuri sau o combinație de tensiuni, care după un anumit cod reprezintă valoarea numerică (discretă a mărimii măsurate).

De exemplu, termocuplul este un traductor analogic, deoarece semnalul de ieșire are o gamă continuă de valori. Un traductor de unghi de rotație este un traductor numeric, deoarece are la ieșire un număr exprimat în cod binar, proporțional cu mărimea măsurată, neglijând pasul de discretizare.

Aparatele de măsurat formate dintr-un ansamblu traductor-adaptor sau traductor-aparat indicator se clasifică după mai multe criterii (**Fig. 1.4.**).

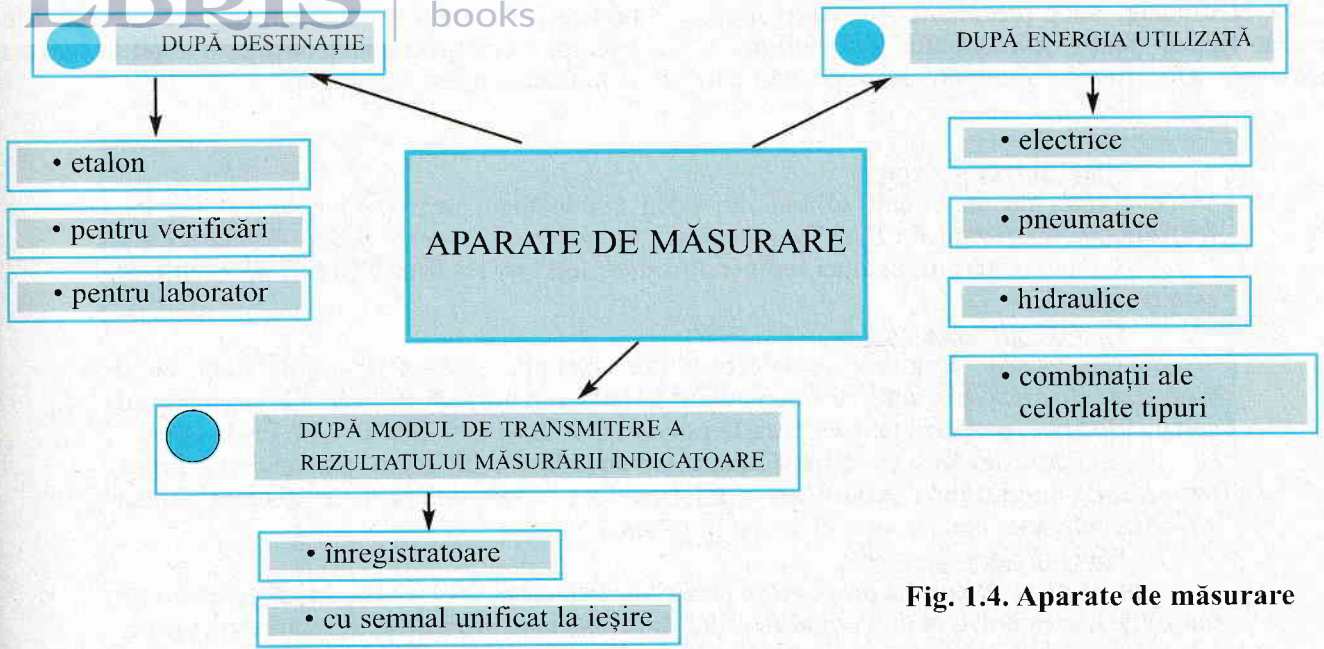


Fig. 1.4. Aparate de măsurare

### 1.4. Principii fizice pe care se bazează funcționarea senzorilor

Dezvoltarea rapidă a senzorilor produsă în ultimele decenii se datorează îndeosebi apariției unor noi materiale și descoperirii de noi efecte ce derivă din proprietățile acestor materiale, ceea ce a favorizat un important progres în domeniul fizicii, în general, și în domeniul electronicii, în particular.

Imediat ce a fost descoperit un nou efect fizic, s-a studiat posibilitatea folosirii acestuia la realizarea unui senzor cu aplicativitate în procesul de măsurare. Aproape toate efectele fizice cunoscute în prezent sunt efectiv utilizate în realizarea de senzori.

**I. Senzorii generatori** se numesc și senzori activi și au la baza principiului de funcționare un efect fizic ce asigură conversia în energie electrică a energiei termice, mecanice sau de radiație. Cele mai semnificative efecte de acest tip sunt prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1.

Mărimea de măsurat	Efectul utilizat	Mărimea de ieșire
Temperatura	Termoelectricitate	Tensiune
Flux de radiații optice	Piroelectric Fotoemisie Efect fotovoltaic Efect fotoelectromagnetic	Sarcină electrică Curent Tensiune Tensiune
Forță Presiune Accelerație	Piezoelectricitate	Sarcină electrică
Viteză	Inducție electromagnetică	Tensiune
Poziție (magnet)	Efect Hall	Tensiune