

METODE DE MĂSURARE UTILIZATE ÎN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ

Metode de măsurare utilizate în cercetarea experimentală

- după modul de obținere a semnalului metrologic:

✓ **Metodele directe** – se caracterizează prin aceea că valoarea mărimii măsurate se exprima nemijlocit ca rezultat al comparației mărimii cu unitatea de măsură fără a recurge la relații și funcții matematice suplimentare.

✓ **Metodele indirecte** - se aplica acelor mărimi la care nu există metode directe sau dacă există acestea sunt neeconomice. În acest caz dacă se urmărește măsurarea unei mărimi X atunci se caută o funcție $Y=f(X)$, unde Y poate fi măsurată cu mijloace economice. Cunoscând mărimea Y și funcția de legătură, se determină prin calcule valoarea X , $X=f^{-1}(Y)$.

✓ **Metodele combinate** - au în vedere latura economică a metodelor directă și indirectă.

- după forma de exprimare a mărimii măsurate:

✓ **Măsurările de tip analogic** - presupun existența unor funcții de legătură continue dintre mărimea de intrare și cea de ieșire. Relația de legătură implică o etalonare suplimentară prin care să putem obține și valoarea numerică a mărimii măsurate. Un exemplu tipic este deviația unui ac indicator în fața unei scări gradate. Acest tip de măsurări este cel mai folosit în cercetările experimentale. Analogia poate fi directă sau una matematică.

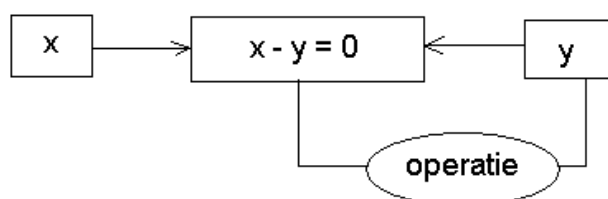
✓ **Măsurarea de tip numeric** reprezintă situația opusă celei analogice în care semnalul metrologic transmis are o variație discretă în limitele măsurării. **Ex:** contorul electric care are o variație de tip discretă. În prezent măsurările de tip numeric au căpătat o dezvoltare a capacitații foarte mari odată cu posibilitatea înregistrării pe calculator a valorii mărimii măsurate.

- după tehnica de măsură: metode prin deviații:

✓ **Măsurarea prin deviație** pretinde deplasarea unui sistem al aparatului de măsură dintr-o poziție de echilibru proprie absenței mărimii măsurate într-o altă poziție de echilibru proprie mărimii măsurate. Aceasta noua poziție de echilibru se atinge prin efectul antagonist creat în aparatul de măsura.

Diferența între cele 2 poziții de echilibru ne dă direct sau indirect valoarea mărimii măsurate.

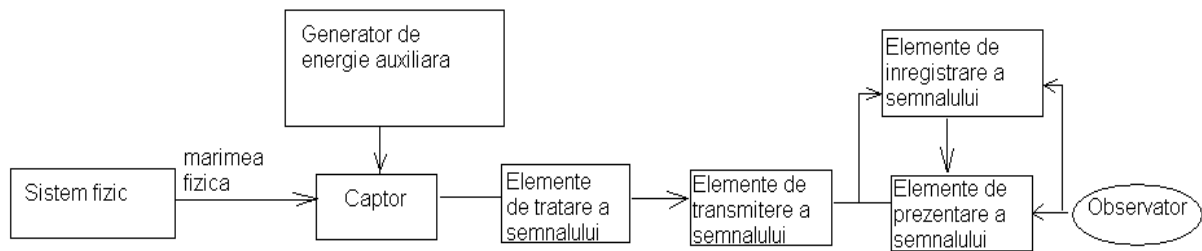
✓ **Măsurarea prin comparație** se bazează pe crearea unui aparat de măsură a unui efect antagonist egal cu cel produs de mărimea de măsurat astfel că deviația totală este 0. În acest caz precizia de măsurare poate fi foarte mare pentru că aparatul indicator lucrând în jurul poziției de 0 poate fi realizat cu precizie ridicată.



✓ **Măsurarea prin numărare** constă în stabilirea mărimii prin numărarea ei.

- după originea sistemului de referință:

- ✓ **Metode absolute;**
- ✓ **Metode relative.**



Schema funcțională generală a aparatelor și sistemelor de măsurare

De la fenomenul fizic studiat la simțurile noastre, semnalul metrologic suferă o serie de transformări succesive care să-l facă accesibil simțurilor umane. Elementul central în lanțul de măsurare este captorul care trebuie să fie sensibil la mărimea fizică măsurată. În cazul în care semnalul rezultat este foarte slab pentru prelucrarea ulterioară a acestuia este necesară o undă purtătoare de energie mai mare. Generatorul este obligatoriu în cazul măsurării mărimilor pasive. Cele mai folosite generatoare emit semnale: de nivel constant – unde sunt sinusoidale sau tunuri de impulsuri.

Mărimea fizică acționează asupra acestui semnal astfel:

- modifică nivelul semnalului în cazul semnalului de nivel constant.
- modifică amplitudinea, frecvența sau diferența de fază în cazul semnalului sinusoidal;
- modifică amplitudinea, frecvența sau poziția în cazul semnalului sub formă de trenuri de impulsuri.

Elementele de tratare a semnalului urmăresc aducerea acestuia la o formă care să permită introducerea acestuia în instrumentul indicator. Aici are loc amplificarea, deparazitarea, sumarea, multiplicarea, integrarea, diferențierea semnalului emis de captor. Elementele de transmitere a semnalului au scopul de a transmite semnalul în zone accesibile observatorului. Elementele de prezentare pot fi: un ac indicator, un număr. Elementele înregistratoare sunt elemente auxiliare. Ele sunt utile în cazul semnalelor de tip variabil.

Performantele generale ale instalațiilor de măsurare

Performantele unui aparat de măsură se împart în două categorii:

- **Stative** – sunt evaluate atunci când în aparatul de măsură s-a atins echilibrul static. Ele corespund măsurării mărimilor constante sau a celor care variază foarte lent (cvasistative);
- **Dinamice** – sunt definite ca performanțe suplimentare specifice cazurilor când mărimea de măsurat are o variație rapidă. Se are în vedere inerția (termică, mecanică, electrică) ca și fenomenele de disipare a energiei.

Performanțele statice împreună cu cele dinamice pot da o imagine completă asupra comportării unui aparat la executarea unor măsurători.

Etalonarea statică – urmărește stabilirea unei relații de legătură între mărimea de intrare și cea de ieșire din aparat. În vederea stabilirii acestei relații, mărimea de intrare ia succesiv diferite valori din domeniul de măsurare, urmărindu-se valorile corespunzătoare ale mărimii de ieșire. Toate celelalte mărimi ce intervin în sistemul măsurat trebuie menținute la

valori constante specificate de producător.

Orice variație a unei mărimi ce trebuie menținută constantă poate modifica substanțial precizia etalonării și implicit precizia măsurării.

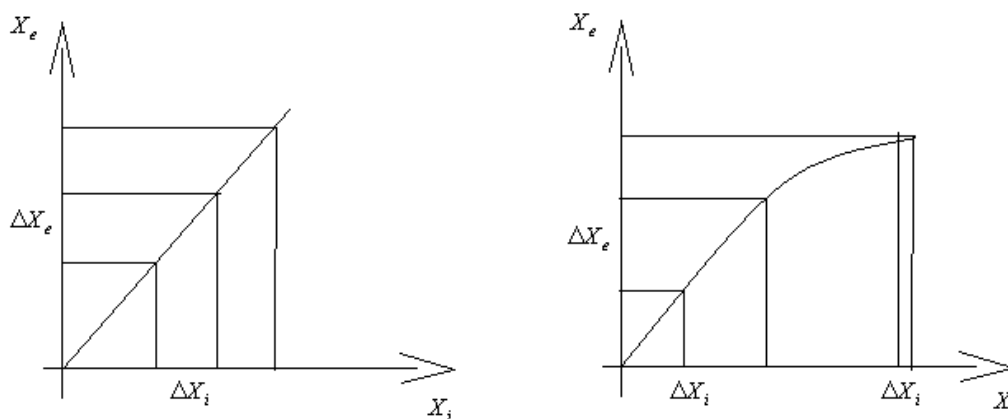
Etalonarea ca operație se realizează în funcție de precizia cerută astfel:

- aparatele de înaltă precizie se etalonează cu ajutorul etaloanelor secundare sau făcând apel la o lege fizică;
- aparatele de precizie mai scăzută se etalonează cu ajutorul aparatelor de înaltă precizie;
- în cazul producției de serie aparatele se etalonează pe baze statistice.

Domeniul de măsurare – este una din caracteristicile de bază de care se ține seama la alegerea unui aparat. Aparatele sunt concepute să lucreze într-un domeniu limitat de valori pentru mărimea fizică de intrare. În acest interval măsurarea se face în condiții normale. Depășirea limitei maxime pentru mărimea măsurată are ca efect scăderea drastică a preciziei sau chiar distrugerea aparatului. În cazul în care nu cunoaștem cu exactitate valorile mărimii măsurate se alege un aparat cu domeniu de lucru acoperitor; realizează posibilitatea selectării gamei de valori măsurate.

Sensibilitatea se evidențiază prin aceea că o aceeași mărime poate să producă variații diferite la mărimea de ieșire. Acest lucru se poate exprima matematic evaluând raportul dintre variația mărimii de ieșire raportat la variația mărimii de intrare. $s = \frac{\Delta X_e}{\Delta X_i}$;

Dacă aceasta variație are o caracteristică liniară, sensibilitatea “s” este constantă pe tot domeniul. În cazul în care caracteristica este neliniară trebuie definită sensibilitatea în fiecare punct.



Din această cauză constructorii apelează în general doar la captoare care au o caracteristică intrare-ieșire de tip liniar.

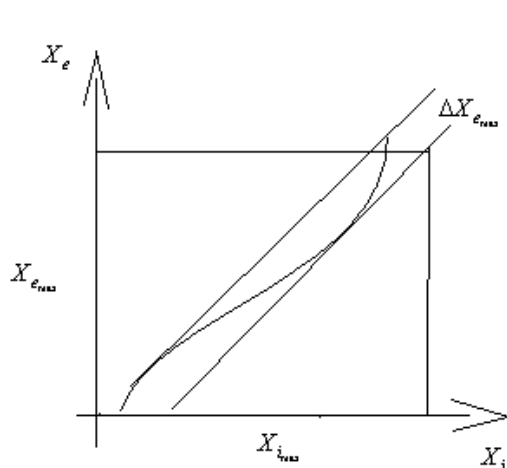
Obs: tendința generală în construcția aparatelor de măsură este de a construi aparate cu sensibilitate cât mai ridicată. Odată cu creșterea sensibilității la mărimea de măsurat crește sensibilitatea și la influența factorilor perturbatori. Ex.: radio.

Liniaritatea se referă la forma relației de legătură dintre mărimea de ieșire și cea de intrare. Tendința generală în construcția aparatelor de măsură este de a construi aparate cu caracteristică liniară. Caracteristica liniară are avantajul posibilității interpolării liniare între două diviziuni ale aparatului de măsură. Abaterea de la neliniaritate trebuie specificată în caracteristicile aparatului de măsură. Exista două modalități de definire a abaterii de la

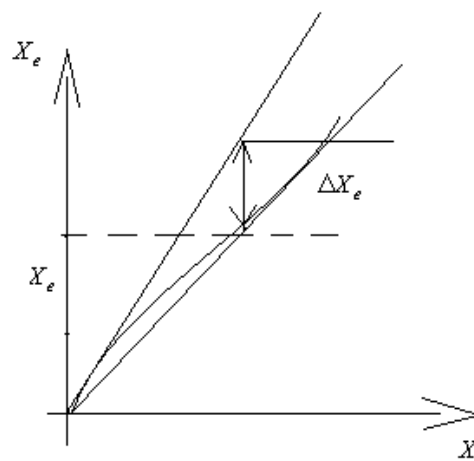
neliniaritate:

- ca raport între abaterea maximă și domeniul de referință considerate pe aceeași axă de coordonate;

- ca valoare maximă a raportului dintre abatere și valoarea corespunzătoare mărimii măsurate.



$$a) \frac{\Delta X_{e,max}}{X_{e,max}};$$



$$b) \left(\frac{\Delta X_e}{X_e} \right)_{max}.$$

Rezoluția și pragul de mobilitate – sunt două caracteristici care se evidențiază la variația lentă a mărimii de măsurat. La creșterea foarte lentă a valorii mărimii de măsurat se observă ca numai după depășirea unei anumite valori are loc și o deviație a aparatului indicator.

Rezoluția se definește ca variația minimă a mărimii de intrare care produce o variație ce poate fi detectată la aparatul indicator.

Pragul de mobilitate se consideră ca fiind valoarea minimă a mărimii de intrare ce poate fi măsurată. Ambele se raportează în general la domeniul de măsurare. Aceste erori apar datorită jocurilor între elementele mobile și a fenomenului de frecare uscată.

Fidelitatea se evidențiază prin determinarea valorii unei mărimi la intervale apreciabile de timp în aceleași condiții. Cu cât dispersia rezultatelor este mai mică cu atât aparatul are o fidelitate mai înaltă. La baza erorilor de fidelitate stau fenomenele de histererezis, eroarea de paralaxă, eroarea de interpolare etc.

Justețea – reflectă apropierea unui grup de măsurători de adevărată valoare a mărimii măsurate. Eroarea de justețe se definește ca diferența între valoarea adevărată și media aritmetică a grupului de măsurători efectuate.

Totalitatea abaterilor unui aparat de măsura se evidențiază printr-o caracteristică generală numită precizia aparatului, care sintetizează toate erorile evidențiate anterior. Rezultatul global al tuturor erorilor formează eroarea de măsurare. Pentru clasificarea aparatelor după erorile de măsurare se definește clasa de precizie a unui aparat. Clasele de precizie sunt standardizate.

Performante dinamice – se pot evidenția teoretic pe baza modelării matematice a relației de legătură dintre semnalul de ieșire și cel variabil de intrare. Modelul matematic folosit trebuie să evidențieze cele mai importante efecte fizice care se produc în aparatul de

măsură. În forma sa generală, modelul se bazează pe constatarea ca cele mai variate componente ale aparatelor și sistemelor de măsurare produc efecte datorate:

- elementelor acumulate de energie – în sistemele mecanice, elementele elastice care sunt acumulate de energie potențială și elemente inerțiale care sunt acumulate de energie cinetică, corespunzător în electricitate avem condensatoarele ca acumulate de energie a câmpului electric și bobinele ca acumulate de energie a câmpului magnetic;

- elementelor disipatoare de energie – aici avem în mecanică – rezistențele mecanice, hidraulice, pneumatice, iar în electricitate – rezistențele electrice. Aceste elemente sunt date de frecările între elementele mecanice în domeniul mecanic.

Acțiunea fiecărui element din aceste categorii poate fi caracterizată printr-o relație între două mărimi fizice din care una principală notată cu X și o alta secundară notată cu Y în condiții dinamice când aceste mărimi depind de variabila timp, relațiile pot fi de forma:

$$x = a \frac{dy}{dt};$$

$$x = b \cdot y;$$

$$x = c \frac{d^2 y}{dt^2};$$

$$x = d \int y dt;$$

$$x = e \iint y dt^2;$$

În domeniul mecanic:

$$X \rightarrow F \quad F = m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2};$$

$$X \rightarrow F \quad F = m \frac{dw}{dt};$$

$$Y \rightarrow x \quad F = a \frac{dx}{dt};$$

$$Y \rightarrow w \quad F = a \cdot w;$$

$$F = k \cdot x;$$

$$F = k \int w \cdot dt;$$

În domeniul electric:

$$X \rightarrow U \quad U = L \cdot \frac{d^2 q}{dt^2};$$

$$Y \rightarrow q \quad U = R \frac{dq}{dt};$$

$$U = \frac{1}{c} q;$$

$$U = L \frac{dc}{dt};$$

$$U = R \cdot i.$$

Fiecare componentă a lanțului de măsurare poate cuprinde unul sau mai multe elemente din categoriile menționate anterior care se pot reduce însă la câte un element echivalent corespunzător fiecărei categorii. În consecință comportarea dinamică poate fi definită printr-o singură ecuație de legătură între semnalul de intrare exprimat prin mărimea principală și semnalul de ieșire exprimat prin mărimea secundară.

Legăturile dintre mărimile lanțului elementelor componente se realizează făcând apel la legile fundamentale corespunzătoare fiecărui domeniu. (legea echilibrului dinamic în mecanică, legile lui Kirchhoff). În funcție de modul de exprimare al relațiilor de legătură dintre X și Y rezultă o ecuație de tip integral, integral-diferențial, sau diferențial. Se preferă scrierea sub formă diferențială pentru care există dezvoltată teoria matematică de rezolvare a relațiilor.

$$\alpha \frac{d^2 y}{dt^2} + \beta \frac{dy}{dt} + \gamma y = k \cdot x_i(t);$$

I termen – evidențiază capacitatea sistemului de acumulare a energiei cinetice;

Al II-lea – capacitatea sistemului de disipare al energiei;

Al III-lea – capacitatea sistemului de acumulare a energiei potențiale;

Parametrii α , β , γ se numesc parametri echivalenți caracteristici.

Dacă un aparat sau o parte a acestuia au un comportament descris de o ecuație diferențială de ordinul II, sistemul de măsurare este de ordinul II. Dacă parametrul α poate fi neglijat, sistemul este descris de o ecuație diferențială de ordinul I și sistemul se numește de ordin I. Dacă α și β pot fi neglijate sistemul are un comportament ideal (de ordin 0), mărimea de ieșire Y urmărind la scară variația mărimii de intrare.

Principalele etape ale unui proces de măsurare sunt:

- a) obținerea informației primare despre mărimea de măsurat sub forma unui semnal oarecare;
- b) prelucrarea informației obținute;
- c) valorificarea informației sub forma indicării lizibile a înregistrării, a utilizării pentru calcule complexe etc.

Pentru realizarea acestor etape, lanțul de măsurare este format din elemente adecvate operațiilor și fazelor respective.

Schema generală a lanțului de măsurare, privită sub aspectul totalității aparatelor, dispozitivelor, instalațiilor etc. necesare efectuării procesului de măsurare este prezentată în fig. 2.

În funcție de procesul pe care-l efectuează elementele componente ale lanțului de măsurare, acestea sunt grupate pe diferite tipuri:

Captorul – elementul care prelevează mărimea de măsurat și prin urmare trebuie să fie sensibil la mărimea respectivă, transmițând un semnal proporțional cu această mărime.

Captorii conțin ca elemente principale: **traductoarele**, care pot fi plasate direct pe obiectul supus cercetării sau pe elemente separate, puse în legătură cu obiectul studiat.

Traductoarele – elemente asupra cărora acționează o mărime de intrare (mărime de măsurat) transmițând o mărime de ieșire (un semnal) de natură diferită sau de aceeași natură.

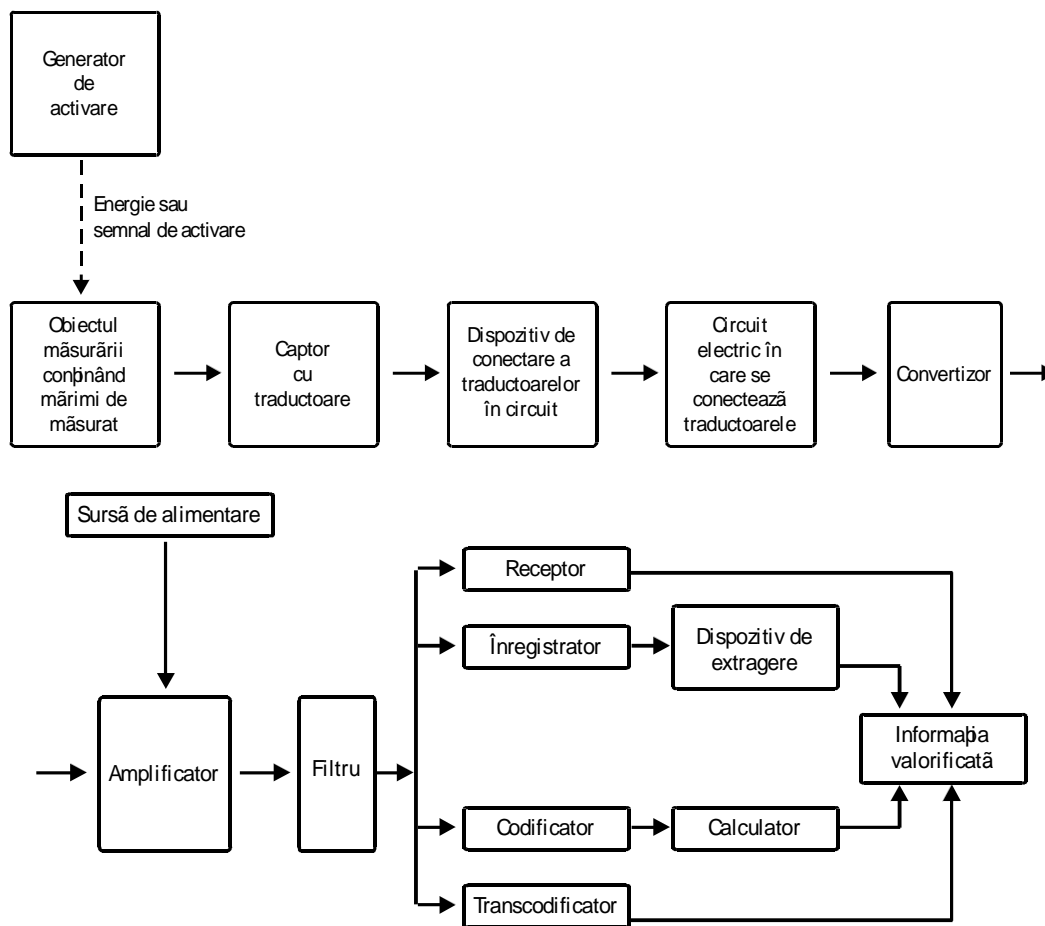


Fig. 2. Schema generală a lanțului de măsurare

Traductoarele la care energia sau semnalele de ieșire sunt furnizate în întregime sau aproape în întregime de semnalul de intrare, fără a exista o sursă exterioară sunt denumite traductoare pasive.

Dacă prin intermediul traductoarelor, din exterior în obiectul studiat se introduce o energie sau un semnal de activare studiindu-se efectele interacțiunii acestuia cu obiectul cercetat, acestea se numesc traductoare active, în care caz cea mai mare parte a semnalului de ieșire este furnizată de sursa de energie auxiliară.

În practică, cea mai largă utilizare o au traductoarele electrice la care semnalul de ieșire este sub formă electrică (curent, tensiune etc.).

Deci, exceptând cazul când mărimea de măsurare e de natură electrică, traductoarele electrice, în general, convertesc mărimea de măsurat (termică, chimică, mecanică etc.) într-un semnal electric.

Măsurarea se face direct la bornele traductorului cu un dispozitiv de conectare care asigură introducerea traductoarelor într-un circuit electric, care realizează mărirea sensibilității și precizia măsurării.

Dispozitivul de conectare a traductorului în circuitul electric poate fi: comutator cu ploturi, atunci când cuptorul cu traductoare are o poziție fixă sau contactori/colectorii cu contacte glisante.

Convertizorul – are rol de a modifica structura semnalului furnizat de traductor.

Amplificatorul – realizează amplificarea semnalului din circuit pentru a-l face mai

ușor perceptibil și capabil să acționeze, la ieșirea lui, asupra aparatelor de măsură, înregistrare etc.

Unele amplificatoare măresc valoarea semnalului păstrându-i energia constantă în timp ce altele introduc energie măbind nu numai amplitudinea ci și puterea semnalului.

Curent se folosesc două tipuri de amplificatoare:

➤ cu frecvență purtătoare (la intrarea amplificatoarelor se aplică un semnal modulat realizat prin alimentarea circuitului electric cu un curent alternativ de frecvență audio);

➤ de curent continuu (semnalul de intrare și cel amplificat sunt de curent continuu).

Filtru – modifică forma semnalului furnizând numai anumite aspecte necesare punerii în evidență a mărimii de măsurat reținând aspectele externe acestuia care ar putea avea influență asupra măsurării mărimii studiate.

Codificatorii – au rolul de a transforma o mărime analogică într-una numerică, astfel ei pot primi de la un traductor analogic un semnal continuu variabil cu mărimea măsurată (ca o tensiune electromotoare), pe care o transformă în semnale discontinue, respectiv o succesiune de impulsuri care conform unui anumit cod reprezintă valoarea numerică a mărimii măsurate.

Transcodificatorii – fac trecerea de la un cod la altul.

Decodificatorii – transformă o mărime numerică într-una analogică.

Înregistratoarele sau **memoriile** (dispozitivele de memorare) – au rolul de a păstra rezultatele măsurării între momentul efectuării sale și momentul când sunt folosite în cadrul cercetării efectuate.

Dispozitivele de extragere – cu rol de a extrage din înregistratoarele sau memoriile, materialul informațional în vederea utilizării lui în continuare pentru diferite calcule etc.

Receptorii sau **dispozitivele de lectură** – au rol să furnizeze măsura în vederea citirii rezultatului măsurării (ex: scări gradate pe care se deplasează un indicator, tablouri pe care apar valori numerice etc.).

Calculatoarele – permit exploatarea superioară a datelor măsurătorilor, efectuarea simultan sau decalat în timp a acestora prin executarea unor calcule matematice.

În schema generală (fig. 1) sunt prezentate patru variante de obținere a informației rezultate în urma unui proces de măsurare, făcându-se precizarea că nu sunt epuizate în totalitate aceste posibilități.

Se observă din schema generală că există un lanț de măsurare cu generator de activare precum și fără acesta, funcție de tipul traductorului folosit, adecvat procesului de măsurare respectiv.

De asemenea, schema prezentată nu este obligatorie pentru toate procesele de măsurare; există în practică numeroase cercetări experimentale la care acest lanț conține numai o parte din elementele prezentate în schema generală.

Fiecare element al lanțului de măsurare are o anumită funcție de transfer, adică acea caracteristică ce reflectă relația/legătura funcțională dintre mărimea de intrare/mărimea aplicată și mărimea de ieșire.

Raportul dintre aceste două mărimi definește sensibilitatea aparatului.

Funcția de transfer a unui lanț de măsurare se obține luând în considerare funcțiile de transfer ale elementelor componente, adică prin exprimarea legăturii funcționale dintre semnalul de intrare aplicat la captor până la răspunsul de ieșire obținut la elementul terminal al lanțului de măsurare.