

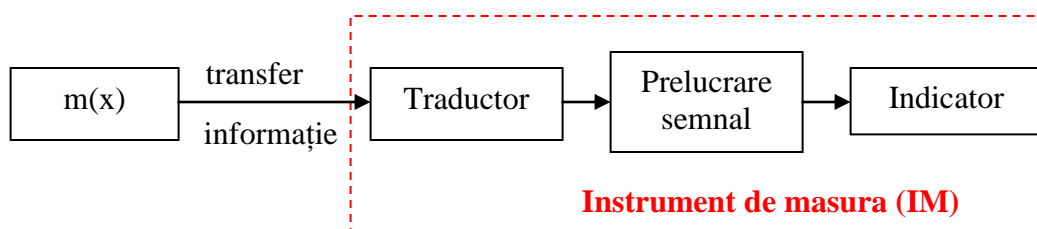
Curs 1

Elemente de metrologie generală

1.1. Terminologie utilizată în metrologie

Măsurare: operația prin care se atribuie mărimii valoarea ei numerică. Atribuirea se face prin comparație cu o alta, de aceeași natură luată drept **UNITATE DE MĂSURĂ**.

Schema generală a unui proces de măsurare:



$m(x) \rightarrow$ mărime de măsurat (**măsurand**) \rightarrow electrică
 \rightarrow neelectrică

$m(x) \rightarrow$ activă (furnizează energie spre IM)
 \rightarrow pasivă (nu furnizează energie spre IM; este necesară uneori o sursă de alimentare)

Traductorul: convertește mărimea de măsurat într-un semnal electric cu domeniu de variație calibrat.

Prelucrare semnal: condiționare + prelucrare propriu-zisă

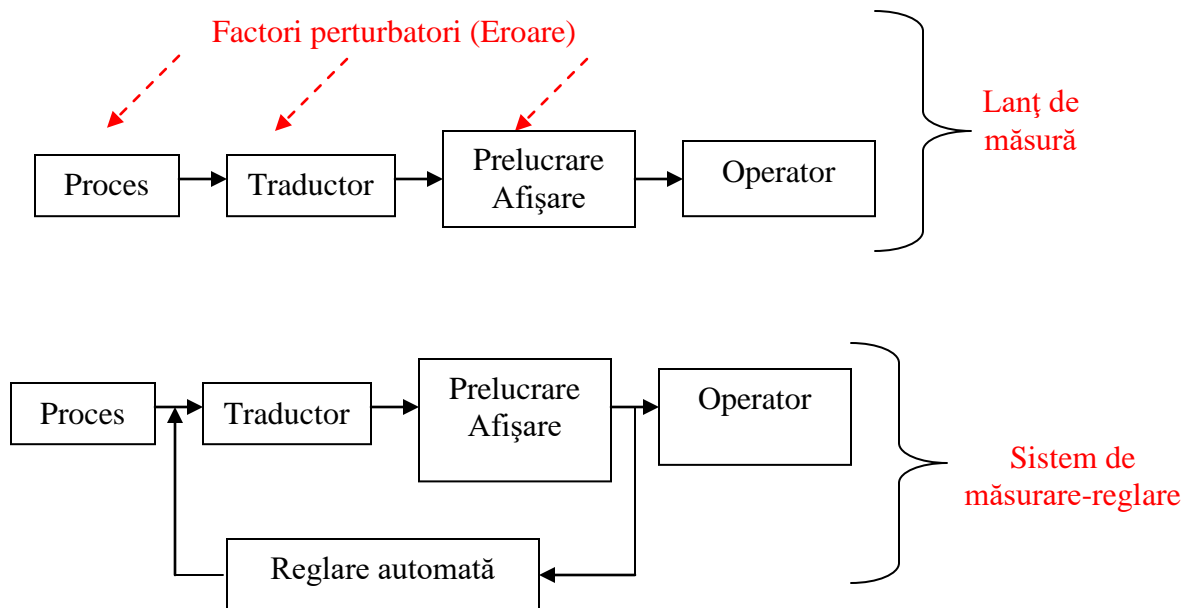
Condiționare: amplificare, filtrare, izolare, ...

Prelucrare: algoritmi, operatori aritmetici, operatori logici, operatori statistici

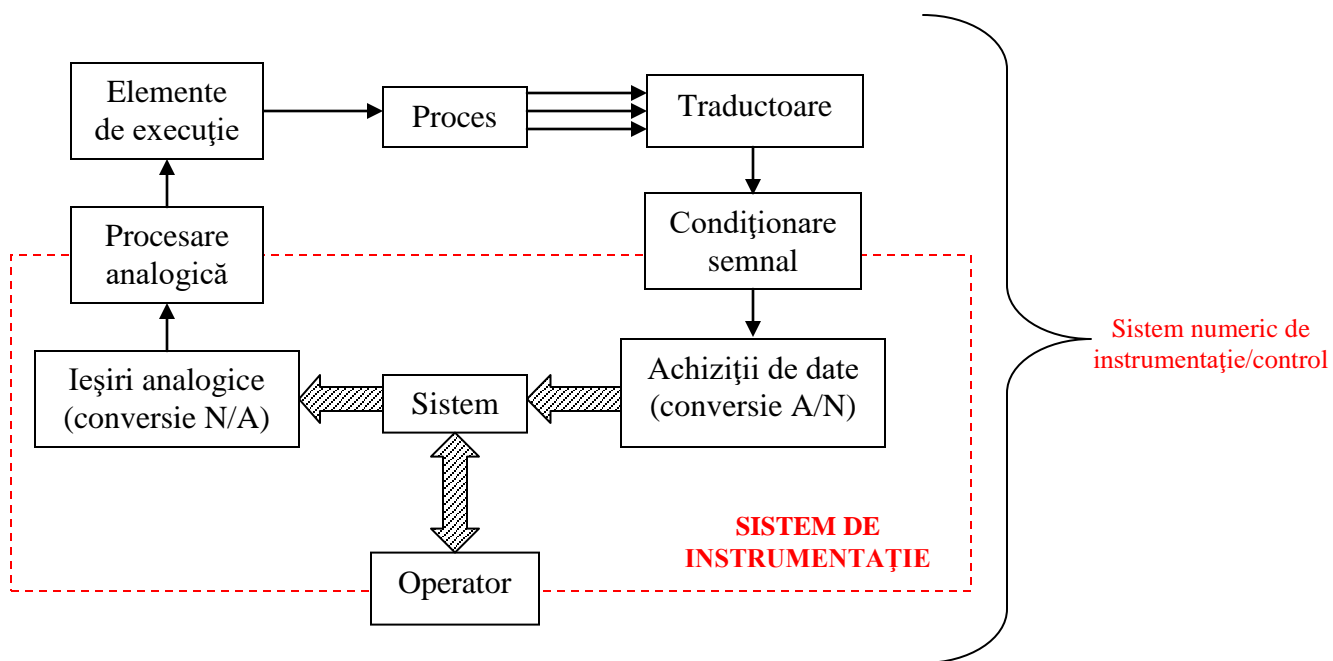
Indicatorul \rightarrow *analogic* – deplasarea continuă a unui sistem indicator (ac indicator, fascicul luminos) în raport cu scala gradată
 \rightarrow *digital* – sub formă de cod numeric

Tipuri de sisteme de măsurare (instrumentație)

A) Analogice

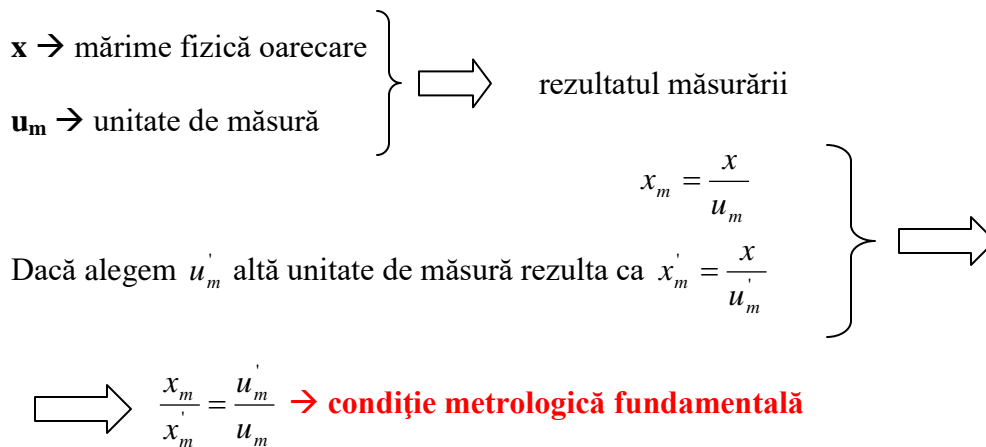


B) Digitale (Numerice)



1.2. Unități de măsură

Măsurare → comparație cu unitatea de măsură



Sistem de unități de măsură: - ansamblul unităților definite pentru un sistem dat
- general, coerent, practic

1971 - s-a adoptat **SI** de unități.

Conform acestuia există: - 7 unități fundamentale: kg, m, s, A, K, Cd, mol

Mărime fizică	Unitate de măsură	Simbol
lungime	metru	m
masă	kilogram	kg
timp	secundă	s
intensitate a curentului electric	amper	A
temperatura termodinamică	kelvin	K
cantitate de substanță	mol	mol
intensitate luminoasă	candelă	cd

- 2 unități suplimentare: rad, str
- 19 unități derivate: forță, putere, energie, etc.

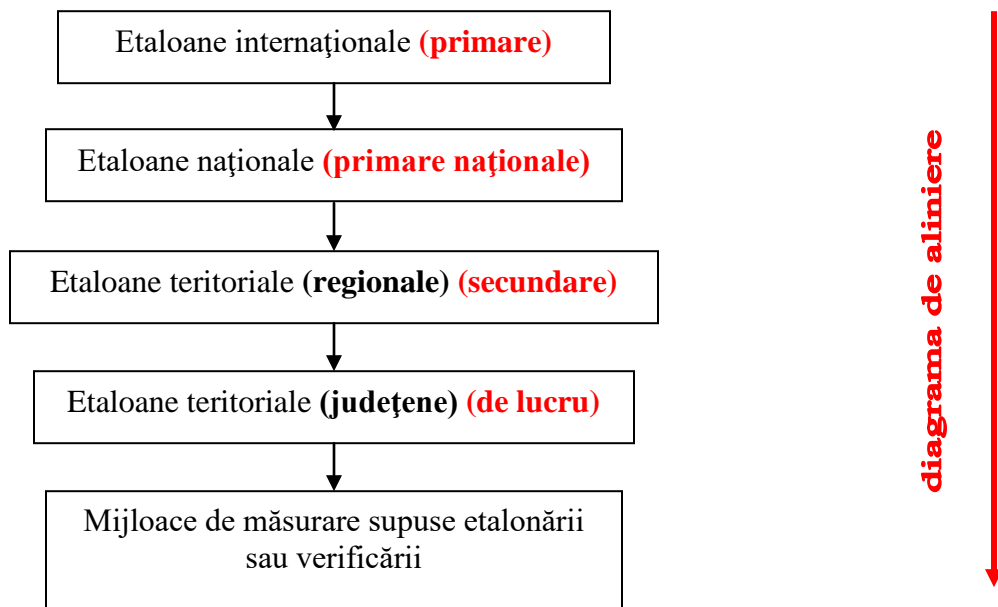
SI stabilește : - prefixele și simbolurile lor
- reguli de utilizare și scriere a simbolurilor unităților de măsurare

1.3. Etaloane

Sistemul de unități de măsură definite teoretic – **sistem de etaloane** ale acestor unități, materializate fizic

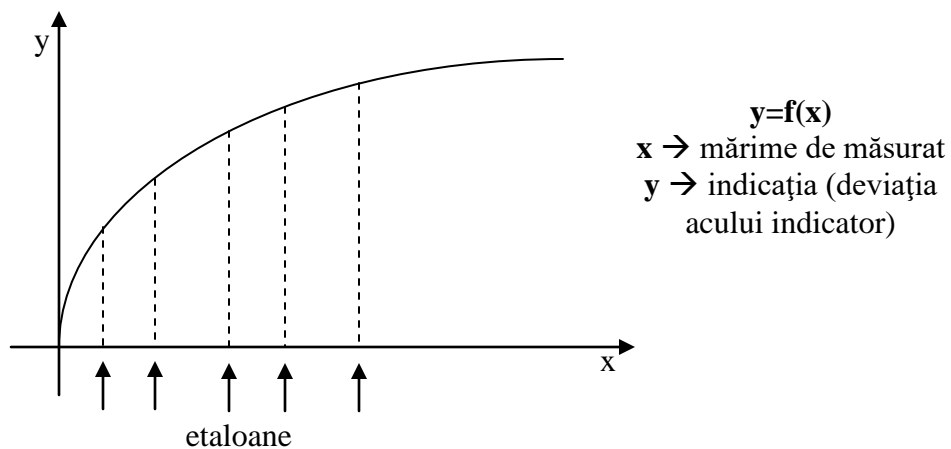
Etaloanele → de definiție (primare) – asigură generarea unităților de măsurare pe baza definiției
→ de conservare – mențin unitățile de măsură constante în timp
→ de transfer – asigură transferul și corelarea unităților de măsurare până la nivelul instrumentelor de lucru

Transmiterea unităților de măsură se realizează prin operațiuni de etalonare și/sau verificare metrologică a mijloacelor de măsurare, conform schemei:

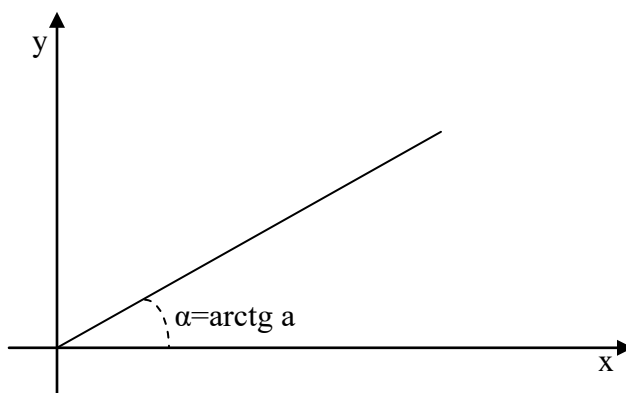


Trasabilitatea: reprezintă proprietatea rezultatului unei măsurări sau a valorii unui etalon de a putea fi raportat la referințe stabilite, de regulă etaloane naționale și internaționale, prin intermediul unui lanț neîntrerupt de comparații, având incertitudini determinate

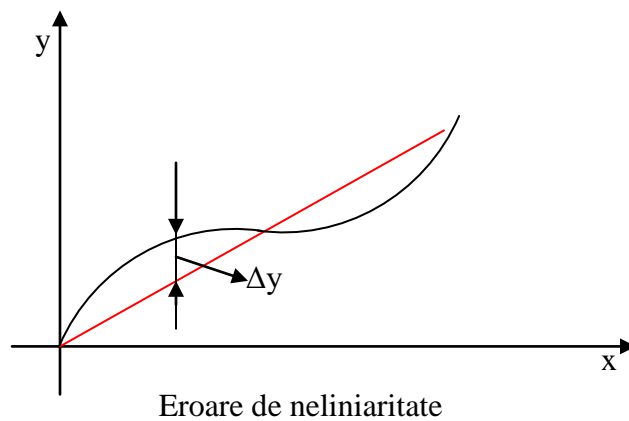
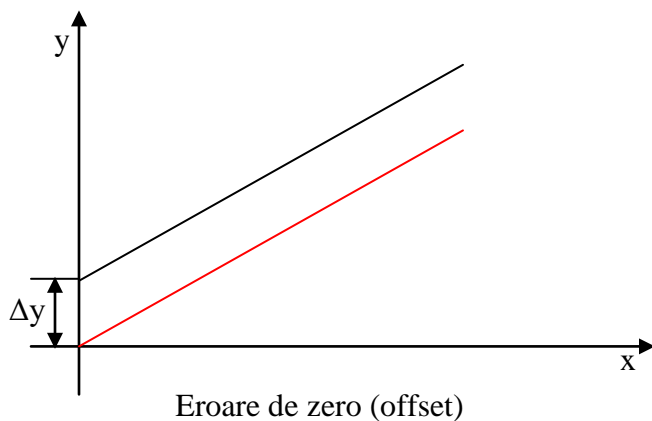
La construcția aparatului de măsură trebuie realizată curba de calibrare

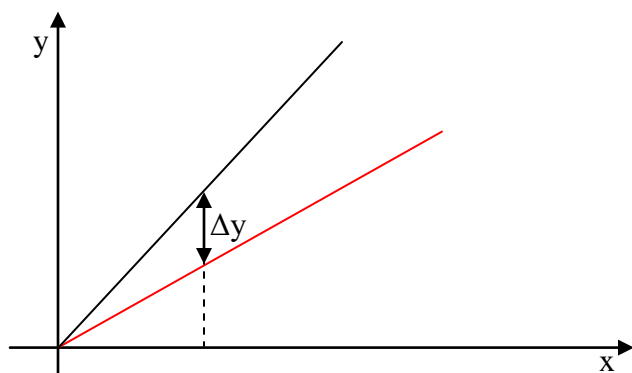


IDEAL: $y=ax \rightarrow$ curba de calibrare **LINIARĂ**

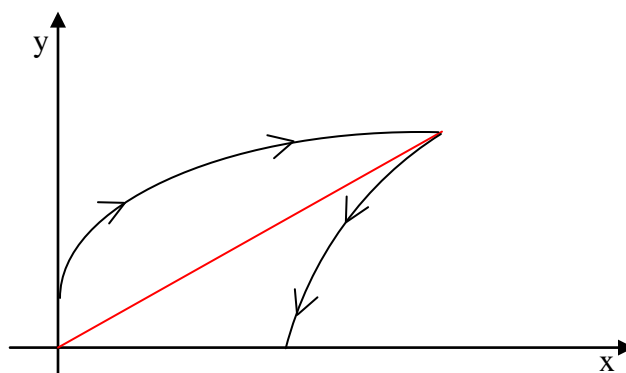


REAL: $y=f(x) \rightarrow$ curba de calibrare **NELINIARĂ**





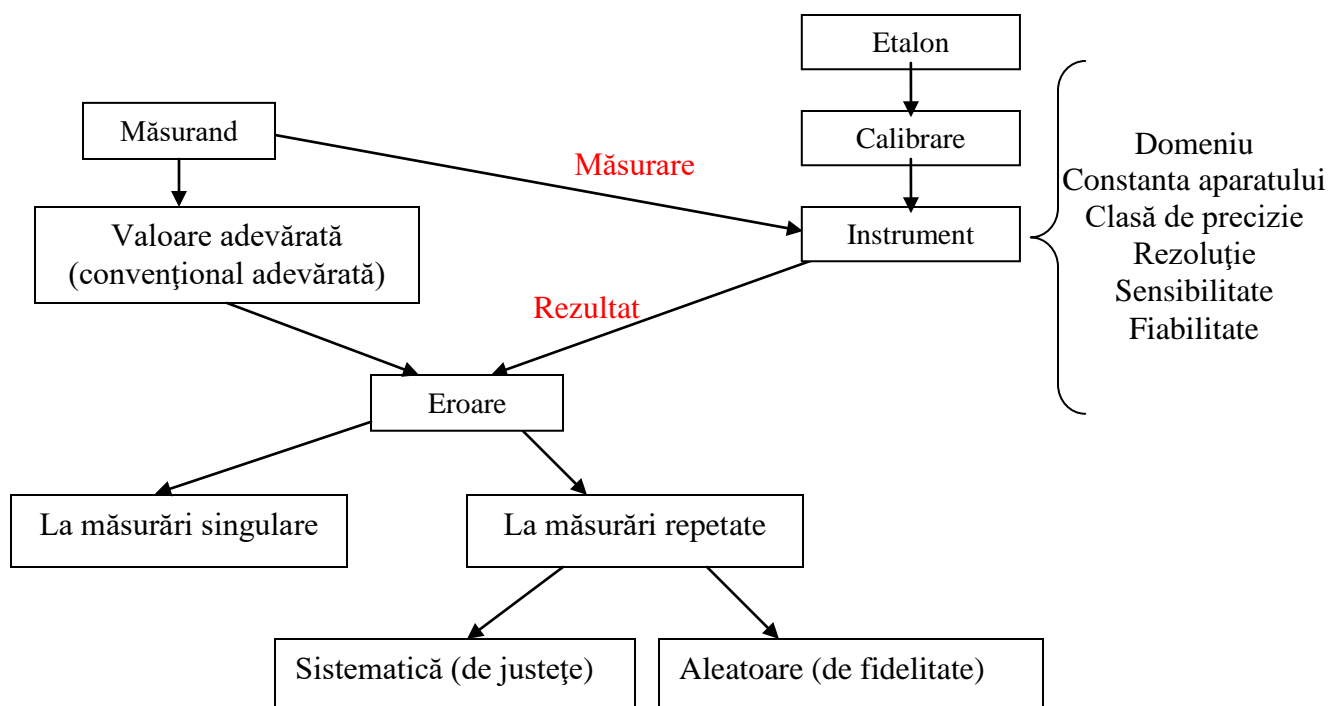
Eroare de pantă



Eroare de histerezis

Sursa erorilor: temperatura, vibrațiile, zgomotul, umiditatea, ...

1.4. Erori și incertitudini de măsurare



Valoarea adevărată: inaccesibilă experienței (nu poate fi cunoscută)

Valoarea convențional adevărată: măsurată cu aparate de măsură etalon

Incetitudine de măsurare: interval estimat de valori care, cu o anumită probabilitate (**nivel de încredere**), include valoarea adevărată

1.4.1. Surse ale erorilor de măsurare

- erori de model (modele matematice)
- erori instrumentale (de la aparatele de măsură)
- erori de interacțiune (măsurand – aparat de măsură, operator uman)
- erori de influență (datorate mediului în care se face măsurarea):
 - temperatură, umiditate, perturbații electrice și magnetice

1.4.2. Erori la măsurări singulare

A) Erori la **măsurări directe**

- **Eroare absolută**

$$\varepsilon = x_m - x$$

→ are aceeași dimensiune ca și măsurandul

x_m → valoarea măsurată (rezultatul măsurării)

x → valoarea convențional adevărată

- **Eroare maximă absolută (tolerată)**

$$\varepsilon_{\max}$$

→ rezultatul măsurării: $x = x_m \pm \varepsilon_{\max}$

- **Eroare relativă**

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{x} = \frac{x_m - x}{x}$$

→ marime adimensională

→ se poate exprima astfel: - un număr

- un procentaj: $\varepsilon_r [\%] = \varepsilon_r \cdot 100$

- părți pe milion: $\varepsilon_r [p.p.m] = \varepsilon_r \cdot 10^6$

→ adesea: $\varepsilon_r \approx \frac{\varepsilon}{x_m} = \frac{x_m - x}{x_m}$

- **Eroare relativă maximă**

$$\varepsilon_{r \max} [\%] = \frac{|\varepsilon_{\max}|}{x} \cdot 100$$

- **Eroare raportată**

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{x_c} = \frac{x_m - x}{x_c}$$

$x_c \rightarrow$ valoare convențională ce poate fi: - limita superioară a domeniului de măsurare (valoarea nominală) " x_N "
 - o anumită valoare de pe scală
 - lungimea scalei la aparatele cu scală neliniară "I"

B) Erori la **măsurări indirecte** (Metoda erorii limită)

Măsurători indirecte: mărimea de estimat nu se poate măsura direct, dar se pot măsura parametrii de care aceasta depinde (prin calcul)

Metoda erorii limită: când se cunosc erorile absolute ale fiecărui parametru direct măsurabil

$$x = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$x \rightarrow$ valoarea adevărată a mărimilor măsurabile **indirect**

$x_i \rightarrow$ valoarea adevărată a mărimilor măsurabile **direct**

Rezultatul măsurării:

$$x_m = f(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn})$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{dar: } \varepsilon = x_m - x \Rightarrow x_m = \varepsilon + x \\ \text{analog: } x_{mi} = \varepsilon_i + x_i \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{\varepsilon + x = f(\varepsilon_1 + x_1, \varepsilon_2 + x_2, \dots, \varepsilon_n + x_n)}$$

Descompunând în serie Taylor:

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon + f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \left(\varepsilon_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + \varepsilon_2 \frac{\partial}{\partial x_2} + \dots + \varepsilon_n \frac{\partial}{\partial x_n} \right) f + \\ + \frac{1}{2!} \left(\varepsilon_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + \varepsilon_2 \frac{\partial}{\partial x_2} + \dots + \varepsilon_n \frac{\partial}{\partial x_n} \right)^2 f + \dots \end{array} \right\} \Rightarrow$$

Admițând ipoteza ca erorile absolute sunt foarte mici, din această dezvoltare se pot reține numai termenii de ordinul 1, cei de ordin superior fiind comparativ neglijabili, astfel încât eroarea absolută a rezultatului va fi dată de relația:

$$\varepsilon \approx \left(\varepsilon_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + \varepsilon_2 \frac{\partial}{\partial x_2} + \dots + \varepsilon_n \frac{\partial}{\partial x_n} \right) f \Leftrightarrow \varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

Situația cea mai defavorabilă:

$$\varepsilon_{\max} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{i\max} \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|$$

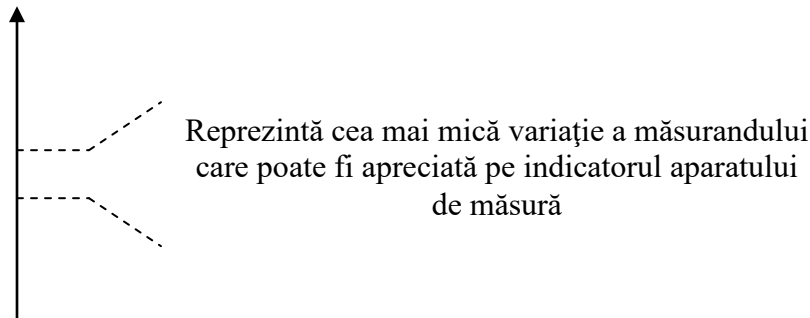
$$\varepsilon_{r\max} = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_{i\max}}{|f|} \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|$$

1.4.3. Mărimi caracteristice aparatelor de măsură

- **domeniul de măsurare:** $x_{\max} - x_{\min}$. Pentru $x_{\min} = 0$ avem $x_{\max} = x_N$ (valoarea nominală)
- **constanta aparatului:** $C = \frac{x_N}{d_{\max}}$, unde $[C] = \frac{[x_N]}{[d_{\max}]} = \frac{[x_N]}{\text{div}}$

d_{\max} = deviația maximă citită de pe aparat, este măsurată în diviziuni
 pentru un $d \Rightarrow x_m = C \cdot d$

- **rezoluția aparatului (discriminare):**



rezoluție \rightarrow o diviziune, un digit

rezoluție relativă $\rightarrow r_r = \frac{1}{d_{\max}}$

rezoluție absolută $\rightarrow r_a = \frac{x_N}{d_{\max}}$

- **sensibilitatea aparatului**

statică: $S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$ pentru $y = ax$ (scală liniară) avem:

$$S = \frac{1}{C}$$

relativă: $S_r = \frac{dy/y}{dx/x}$

Pragul de sensibilitate reprezintă valoarea minimă a măsurandului care poate fi evidențiată cu ajutorul aparatului de măsură.

- **precizia** → capacitatea aparatului de măsură de a da rezultate cât mai apropiate de valoarea adevărată a măsurandului
- **clasa de precizie "c"** → (indicele de clasă) cu cât e mai mică, cu atât aparatul este mai precis

standardizată → 0,001; 0,002; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5

exemplu: $\bigcirc_{0,5} \Rightarrow \varepsilon_{r\max} [\%] = \pm 0,5\%$

- **repetabilitate(fidelitate)** → calitatea aparatului de măsură de a furniza valori apropiate între ele la repetarea măsurărilor asupra aceluiași măsurand, în aceleași condiții
- **justețe** → calitatea aparatului de măsură de a furniza valori apropiate de valoarea adevărată la repetarea măsurărilor asupra aceluiași măsurand, în aceleași condiții

Concluzie: **precizie = repetabilitate + justețe**

- **fiabilitatea metrologică** → probabilitatea aparatului de măsură de a funcționa în timp în limitele parametrilor săi metrologici