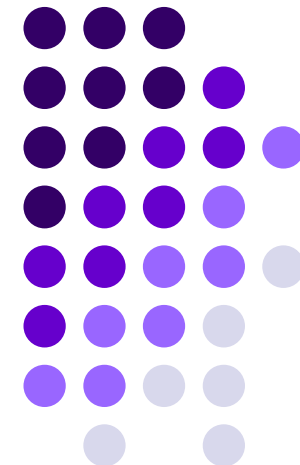
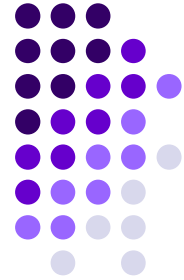


Senzori si traductoare

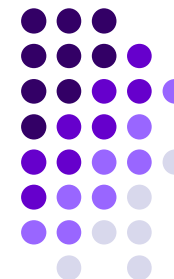




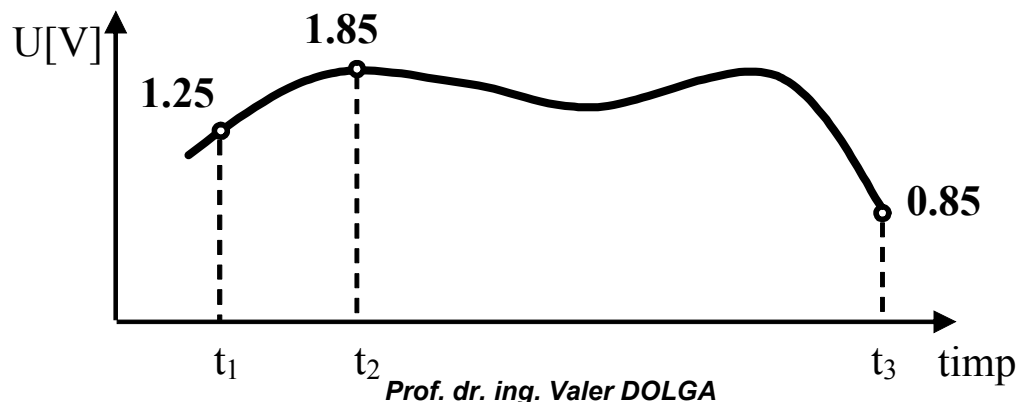
Cuprins 2

- Senzor si semnal analogic
- Senzor si semnal digital
- Performantele elementelor senzoriale
 - Domeniul de masurare
 - Erorile elementelor senzoriale
 - Sensibilitate si rezolutie
 - Precizia

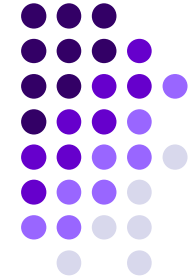
Senzor si semnal analogic



- Un semnal analogic este preluat din mediu, convertit în semnal digital și căruia i se aplică o serie de algoritmi matematici în scopul extragerii informației conținute în el.
- Prelucrarea numerică a semnalelor presupune în esență efectuarea unor algoritmi de calcul (relații matematice). Structurile de calcul:
 1. structuri hardware – efectuate pe structuri logice cablate sau programate;
 2. structuri software - programe de calculator.
- Valoarea instantanee se definește ca valoarea pe care o are mărimea variabilă la un moment dat t .



Prof. dr. ing. Valer DOLGA



Semnalul analogic poate fi analizat prin prisma unui:

- Semnal periodic (fig. a);
- Semnal nepriodic (fig. b).

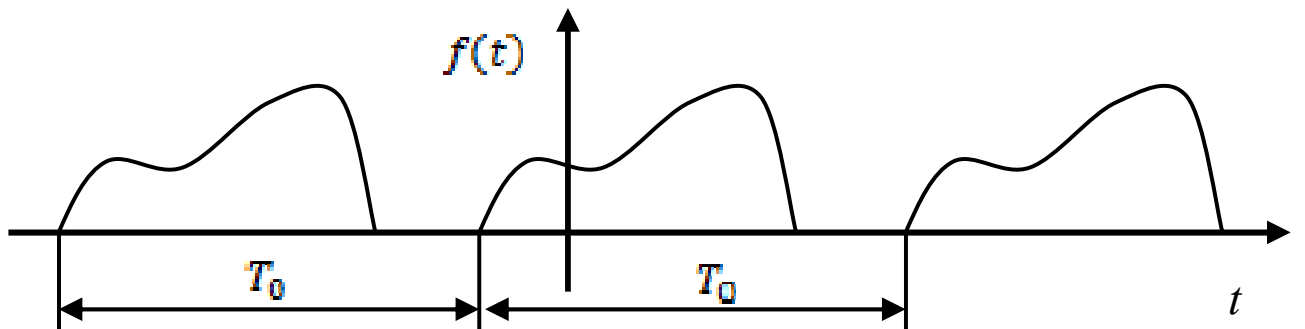


Fig. a

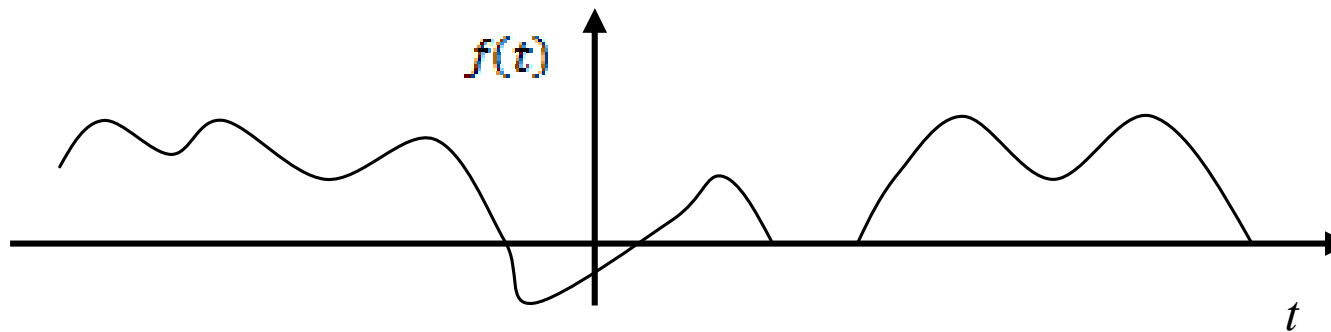
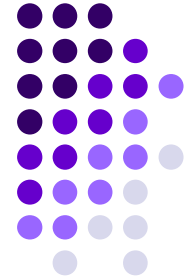
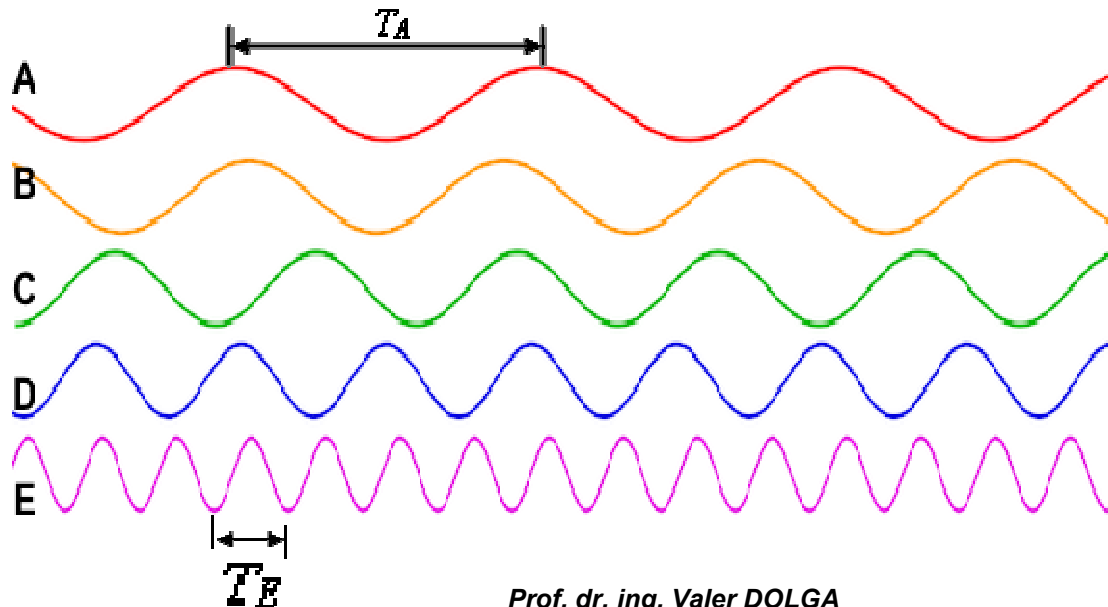
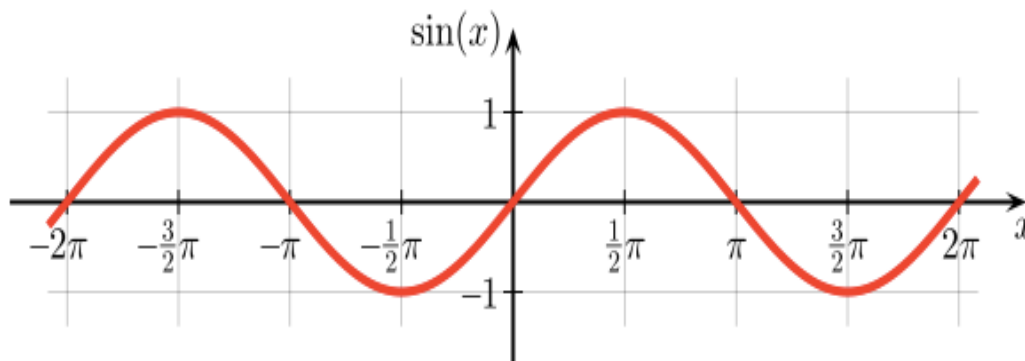
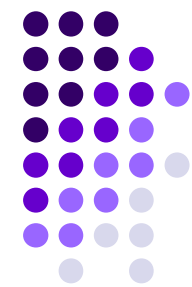
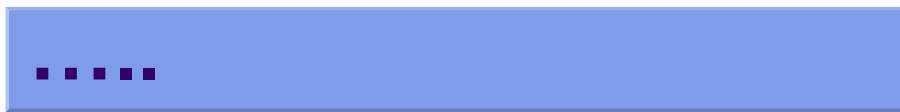


Fig. b

- Perioadei T [s] îi corespund frecvența f [Hz] și pulsația ω (sau *frecvența unghiulară* a mărimii periodice):

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \text{ [Hz]}$$





- ansamblul valorilor instantanee într-un interval de timp dat sau un parametru global: valoarea medie, valoarea efectivă, valoare de vârf.

Valoarea medie:
$$X_{med} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x(t) dt$$

Valoarea efectiva:
$$X_{ef} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt}$$

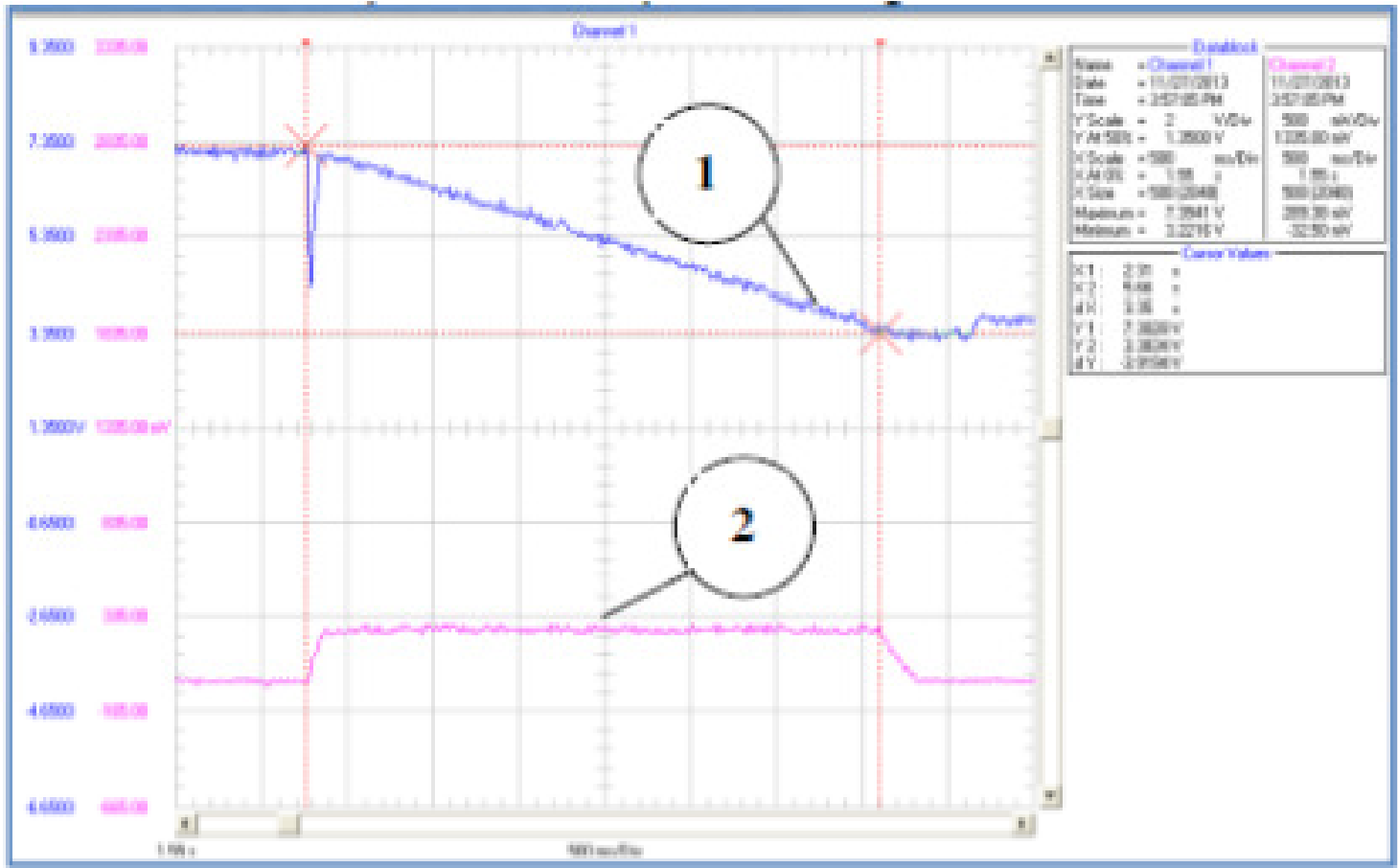
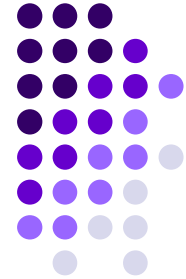
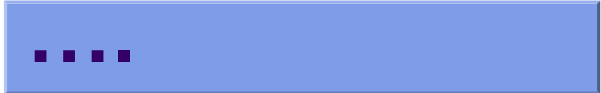
Valoarea de virf
$$X_m = \max_{t_1, \dots, t_2} |x(t)|$$

- mărime sinusoidală o mărime alternativă a căreie expresie ca funcție de timp poate fi scrisă sub forma “în sinus”:

$$x = X_{max} \sin(\omega t + \varphi)$$

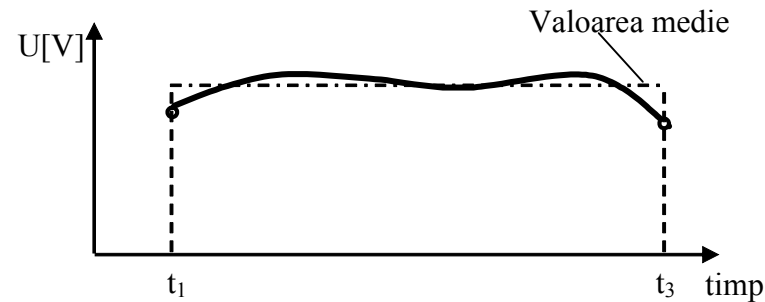
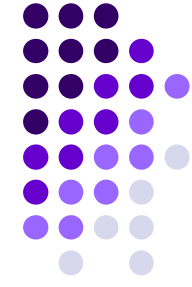
$X_{max} > 0$, $\omega > 0$ și $\varphi \leq 0$ sunt parametrii constanți ai mărimii: *amplitudinea, pulsația și faza inițială.*

- analiza spectrală a semnalelor periodice constă în descompunerea acestora în funcții elementare (semnale sinusoidale de amplitudini, frecvențe și faze inițiale diferite) obținute cu ajutorul seriilor Fourier.



1- deplasarea elementului mobil (informatie de la traductor rezistiv de deplasare)

2 – viteza unghiulara a motorului (informative de la tahogenerator)



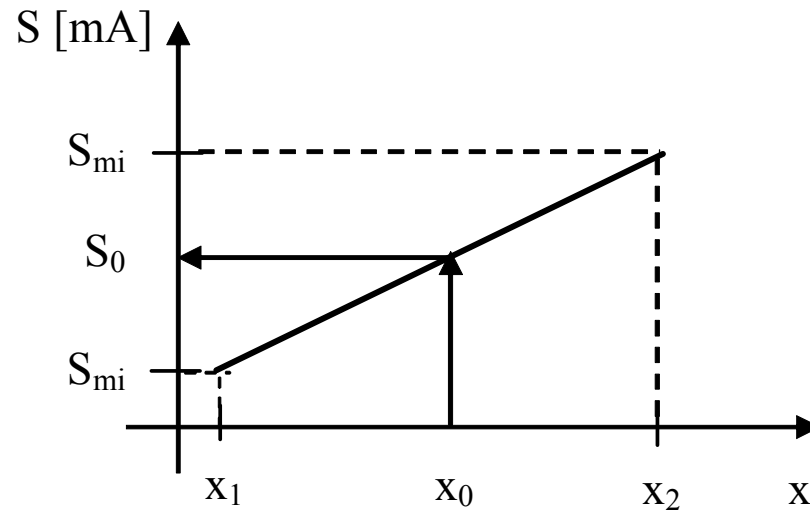
Adeseori pentru transmiterea informației analogice se folosesc semnale unificate (semnale analogice standardizate).

- curentul de (2....10) mA
- (4....20) mA

Valoarea minimă a acestuia (2 mA sau 4 mA) corespunde valorii minime a măsurandului iar valoarea maximă (10 mA sau 20 mA) valorii maxime a acestuia.

Ecuția generală de conversie dintr-un măsurand "x" într-un semnal unificat "S" este de forma:

$$S = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) + S_{\min}$$



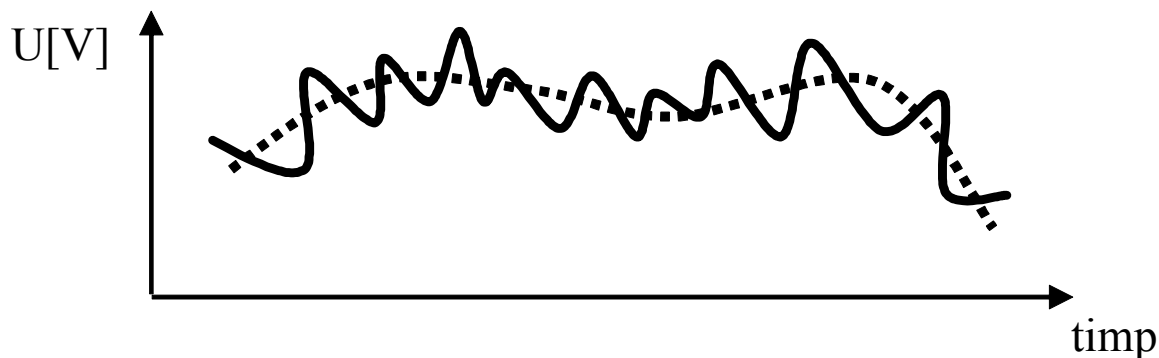
Dreapta de conversie

Exemplu de calcul

Semnalul analogic al unui element sensorial variază între $[-200 \dots 600]$ [UM]. Se cere determinarea ecuației de conversie în semnal analogic unificat $[2 \dots 10]$ mA.

Utilizând relația anterioara se obține:

$$i_{mA} = 0.01 \cdot x + 4$$



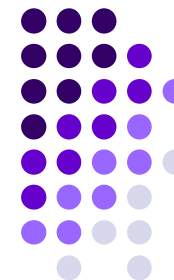
Semnal analogic

Referitor la semnalele analogice o **importanță majoră** o reprezintă influența **semnalelor perturbatoare**.

Semnalul perturbator = un semnal parazit care nu conține semnal util dar se suprapune peste acesta.

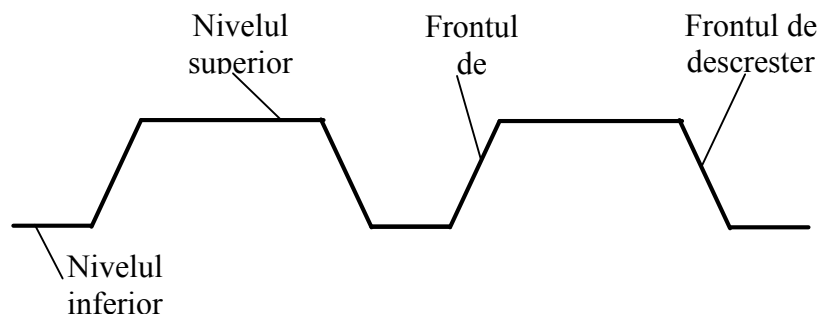
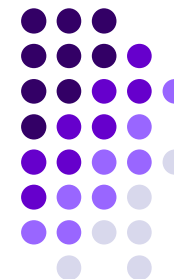
De obicei au un caracter aleatoriu dar pot fi și semnale deterministe (pot fi exprimate printr-o lege de variație cunoscută)(de ex.:brumul, semnale de la stații de radioemisie, etc.).

Orice semnal perturbator de aceeași natură cu semnalul analogic peste care suprapune , produce o eroare relativă egală cu raportul celor două semnale.



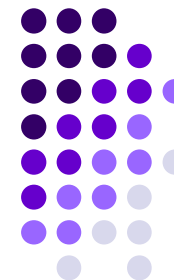
- La frecvențe joase **sub 50 Hz** predomină perturbațiile datorate descărcărilor electrice atmosferice și vibrațiilor mecanice, valoarea lor efectivă fiind mare. Influența vibrațiilor mecanice asupra traductoarelor și instrumentelor de măsură electrice are loc prin efect de **microfonie**. Din cauza vibrațiilor mecanice se modifică distanța dintre electrozi, distanța dintre armăturile condensatoarelor, pozițiile elementelor mobile etc. În zona apropiată de frecvența de rezonanță mecanică influența este maximă.
- În domeniul de frecvențe ($10^3 - 10^5$) Hz perturbațiile au un nivel relativ constant și se numesc **zgomot alb**. Cauzele acestor perturbații se datorează în principal aparaturii electronice.
- Peste 10^5 Hz nivelul perturbațiilor începe să crească în special datorită factorilor externi: emițătoare radio –TV, convertoare electrice de înaltă frecvență.

Posibilitățile de reducere a raportului semnal util - zgomot (raportul dintre puterea semnalului util și puterea corespunzătoare perturbațiilor dintr-un punct al liniei de transmitere) este **modularea** (în amplitudine, frecvență sau fază) pentru emițător și respectiv **demodularea** pentru receptor.



Semnal digital

- tensiune
- curent
- forma binară: reprezentarea se realizează prin cifrele “0” și “1”;
- logica *active - high* “nivelul inferior” corespunde valorii “0” iar “nivelul superior” valorii “1”.
- logica *active - low* modul de reprezentare este invers.



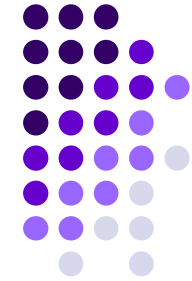
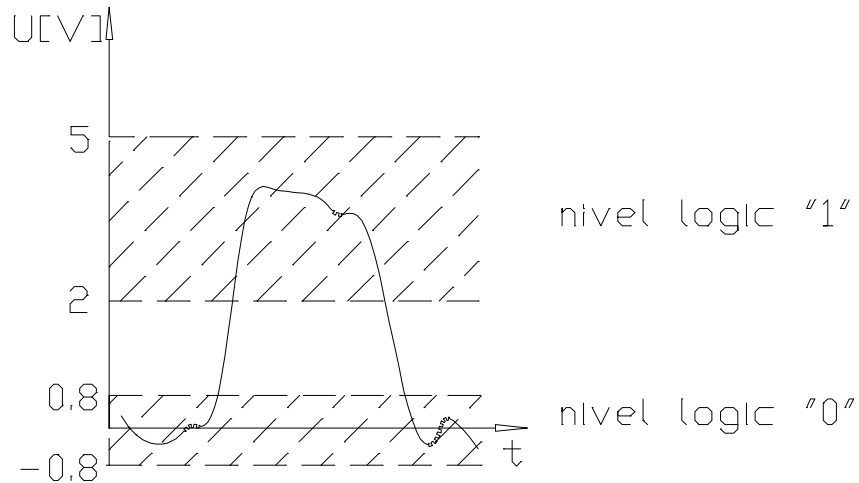
Semnalul de sincronizare – *clock signal* – se constituie într-un semnal de sincronizare a două sau mai multe circuite electronice.

Forma undei este cea dreptunghiulară cu factorul de cuplare de 50 %.

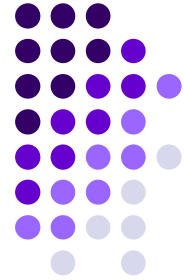
Tehnologia	Nivelul inferior [V]	Nivelul superior [V]	OBS.
CMOS	$0 \dots V_{cc}/2$	$V_{cc}/2 \dots V_{cc}$	V_{cc} - tensiunea de alimentare
TTL	$0 \dots 0.8$	$2 \dots V_{cc}$	$V_{cc} = 4.75 \text{ V} \dots 5.25 \text{ V}$
ECL	$-1.175 \dots V_{EE}$	$0.75 \dots 0$	$V_{EE} \cong -5.2 \text{ V}$

OBS:

- CMOS – complementary metal – oxid – semiconductor; clasa majoritară a circuitelor integrate.
- TTL – transistor – tranzistor logic; clasa circuitelor digitale, pornind de la tranzistoare bipolare BJT și rezistoare.
- ECL – emitter – coupled logic; familia circuitelor logice.

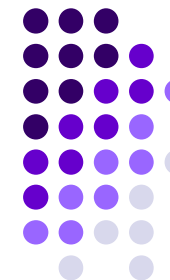
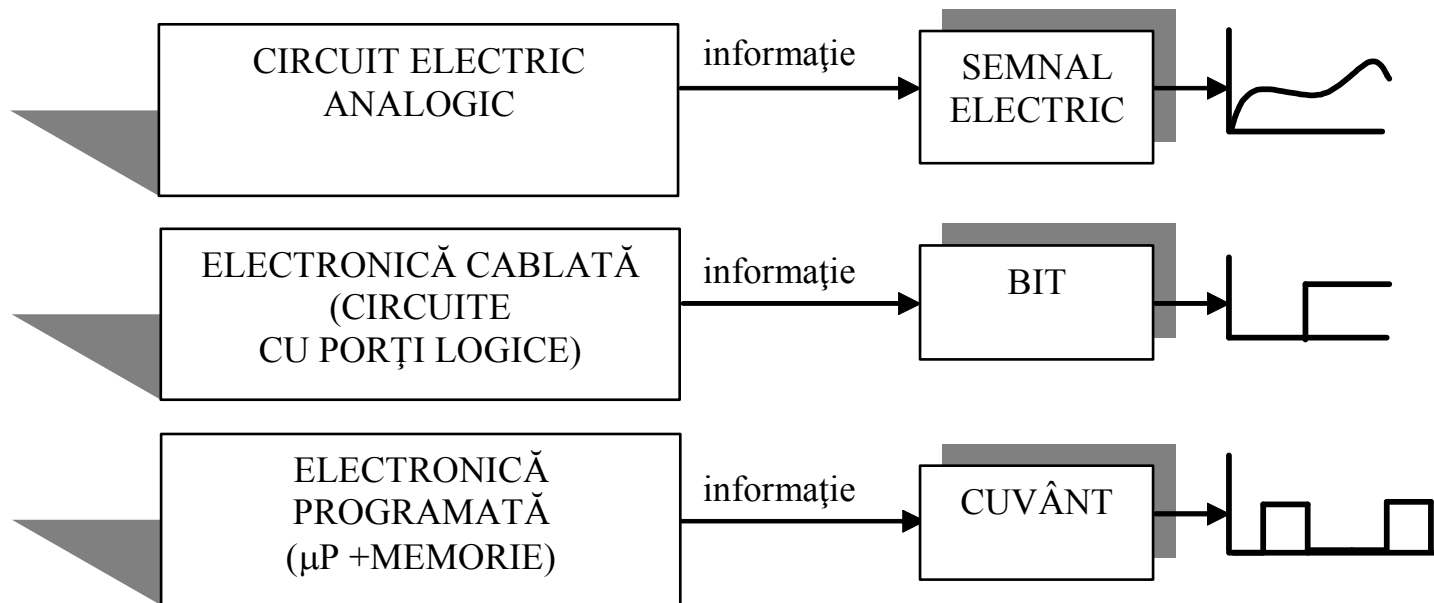


- Semnalele digitale se comportă diferit față de perturbații în mod comparative cu semnalele analogice;
- Practic orice semnal cuprins între va fi acceptat ca semnal logic "0" iar orice semnal între ca un semnal logic "1";
- Suprapunerea unei tensiuni perturbatoare peste semnalul digital nu introduce erori, dacă plaja corespunzătoare fiecărui nivel nu este depășită.
- exprimarea curentă referirea la "1 logic" sau "0 logic" se face prin cuvântul "bit" (**B**inary digi**T**).

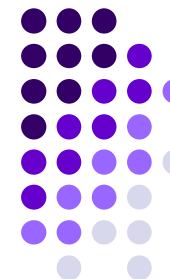


$$b_{n-1}b_{n-2}\dots\dots b_1b_0$$

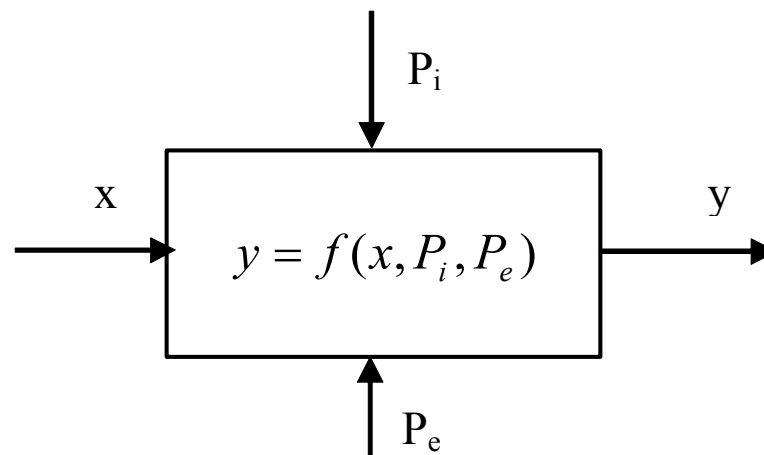
- O succesiune de “biți”, definesc noțiunea de “*cuvânt*” iar lungimea acestuia este egală cu numărul de “n” biți;
- Cuvintele cu lungimea de 8 biți au denumirea consacrată de *byte* sau *octet*;
- Bitul cel mai semnificativ este b_{n-1} și se exprimă prin *MSB* (**M**ost **S**ignificant **B**it);
- Bitul cel mai puțin semnificativ este b_0 și se exprimă prin *LSB* (**L**ast **S**ignificant **B**it);
- Exemple de “cuvinte” cu lungimea de 8 biți: 10100101, 11110000 etc.



Conversia unui semnal analogic într-unul digital este asigurată de *convertoarele analog – digitale (A / D)*.



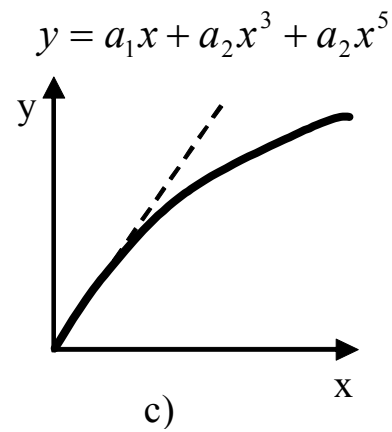
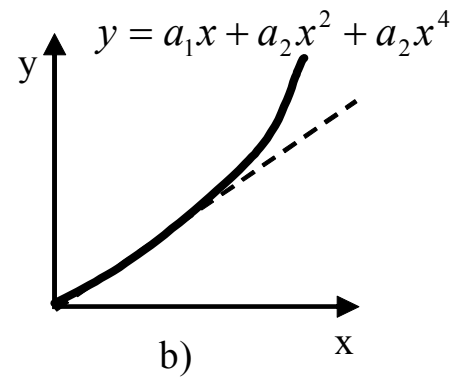
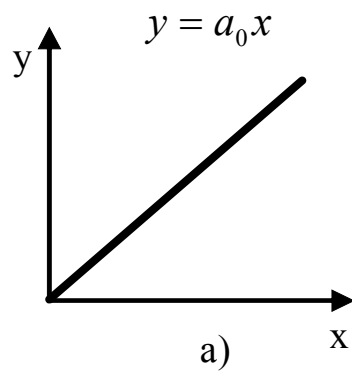
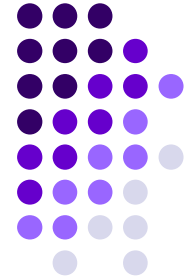
1. Caracteristica statica



$$y = f(x, p_i, p_e)$$

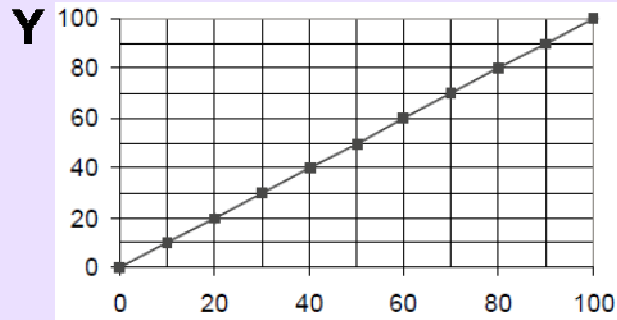
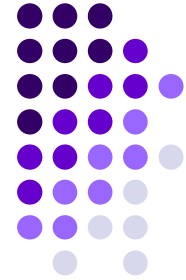
- p_i – factori perturbatori interni
- p_e - factori perturbatori externi

Caracteristica statica – regim stationar



Caracteristici liniare si neliniare

•Saturatie, insensibilitate, histereza



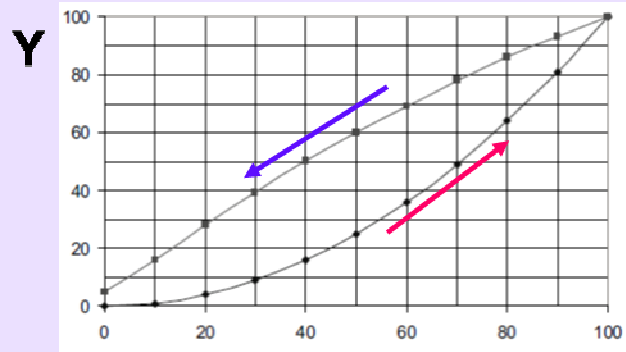
X

Caracteristica ideala - liniara



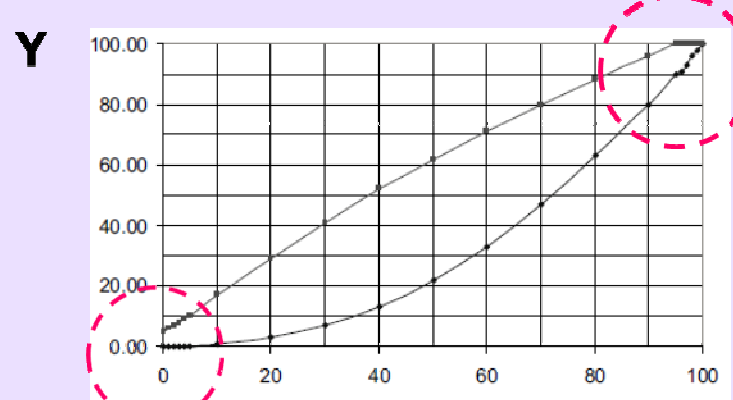
X

Caracteristica ideala / caracteristica reala



X

Caracteristica cu histereza



X

Histereza +insensibilitate +saturatie

Domeniul de măsurare

$$[x_{\min}, x_{\max}]$$

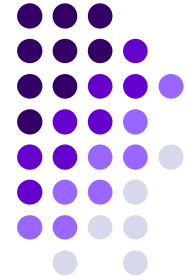
Masuratorile cu incertitudinea: σ_e

$$D = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\sigma_e}$$

Domeniul dinamic

$$D = 20^{10} \log \left[\frac{x_{\max} - x_{\min}}{\sigma_e} \right] [dB] \quad \text{Scala logaritmică}$$

- “*valoare nominală*” = valoarea superioară a domeniului de măsurare;
- Dacă mărimea de măsurat are mai multe componente (de ex. forța generalizată cu cele 6 componente), este necesară precizarea domeniului de măsurare pentru fiecare componentă.
- Domeniul de măsurare este impus de aplicația căreia îi este destinat senzorul.



$valoarea_medie - incertitudine \leq valoarea_masurata \leq$
 $\leq valoarea_medie + incertitudine$

Valoarea medie:

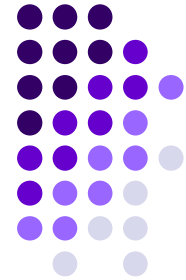
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

a) Erori de achiziție

- Erori de acuratețe (sistematice)
- Erori de precizie (aleatoare)
- Erori de măsurare
- Erori grosolane

b) Erori de prelucrarea datelor

- acuratețea calculului valorilor din măsurători
- acuratețea modelului de măsurare instalat

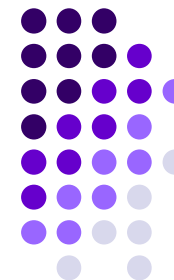


Erori sistematice

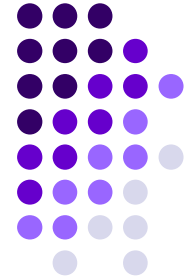
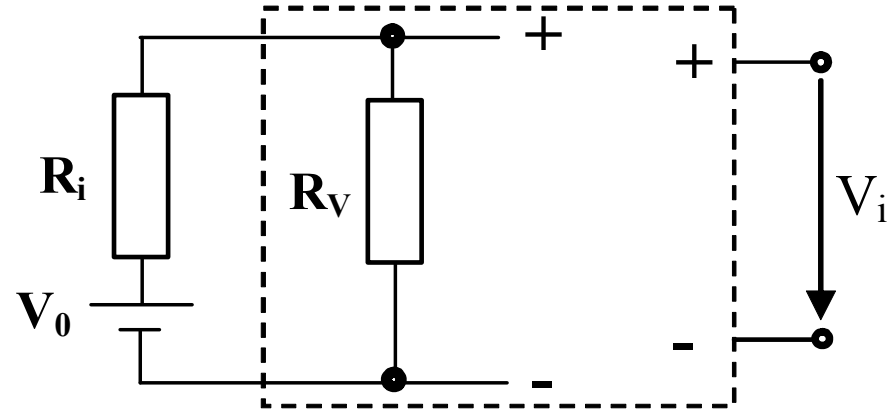
- *erori de calibrare a instrumentelor de măsurare* – eliminabile prin calibrare proprie pe bază de standarde corespunzătoare;
- erori de măsurare datorate senzorului – eliminabile prin calibrarea senzorului și ridicarea caracteristicii;
- *erori de condiționarea semnalului* – eliminabile prin calibrarea senzorului cu circuitele de condiționare conectate și ridicarea caracteristicii;
- *erori de instalare a senzorului* – eliminabile prin instruirea personalului și experiență;
- *erori de aranjare spațială a senzorului*;
- *erori temporale* – eliminabile prin controlul mediului;
- *erori datorate temperaturii* – eliminabile prin calibrare și măsurări la aceeași temperatură.

Erori aleatoare

- erori de citire a instrumentelor de măsurare
- erori datorate modificărilor în condițiile de experiment



- Eroarea de incarcare

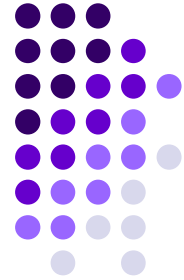


I interval, $f : I \rightarrow \mathbb{R}$ o funcție derivabilă de n ori în punctul $a \in I$.
Polinomul lui Taylor de gradul n , atașat funcției f în punctul a :

$$(T_n f)(x) = f(a) + \frac{x-a}{1!} f'(a) + \dots + \frac{(x-a)^n}{n!} f^{(n)}(a)$$

$$V_i = \frac{R_V}{R_i + R_V} \cdot V_0 \approx \left(1 - \frac{R}{R_i}\right) \cdot V_0$$

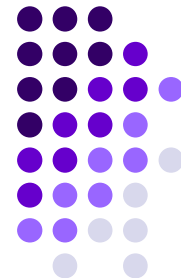
- Erori de calibrare
- Erori dinamice



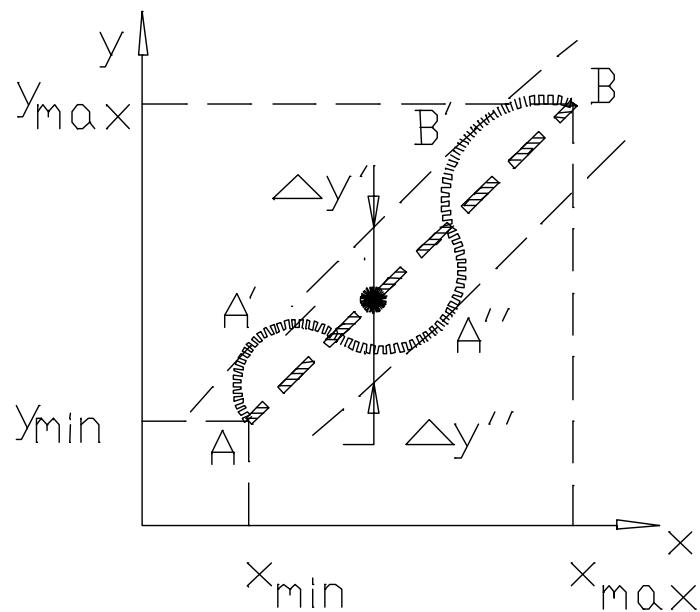
Efectele aleatoare se constituie în cea de-a doua categorie de sursa de eroare din rândul căroră se pot aminti:

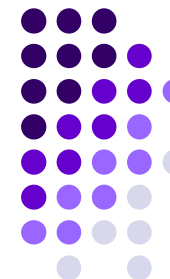
- influența mediului – de ex. interferența electromagnetică;
- erorile datorate rezoluției – includ totalitatea efectelor de cuantificare din circuitul de măsurare;
- deriva – este numele generic pentru variabile lente. Cauze posibile: modificarea temperaturii și a umidității, instabilitatea surselor de putere
- zgomotul – zgomotul termic, zgomotul alb;

Eroarea de neliniaritate

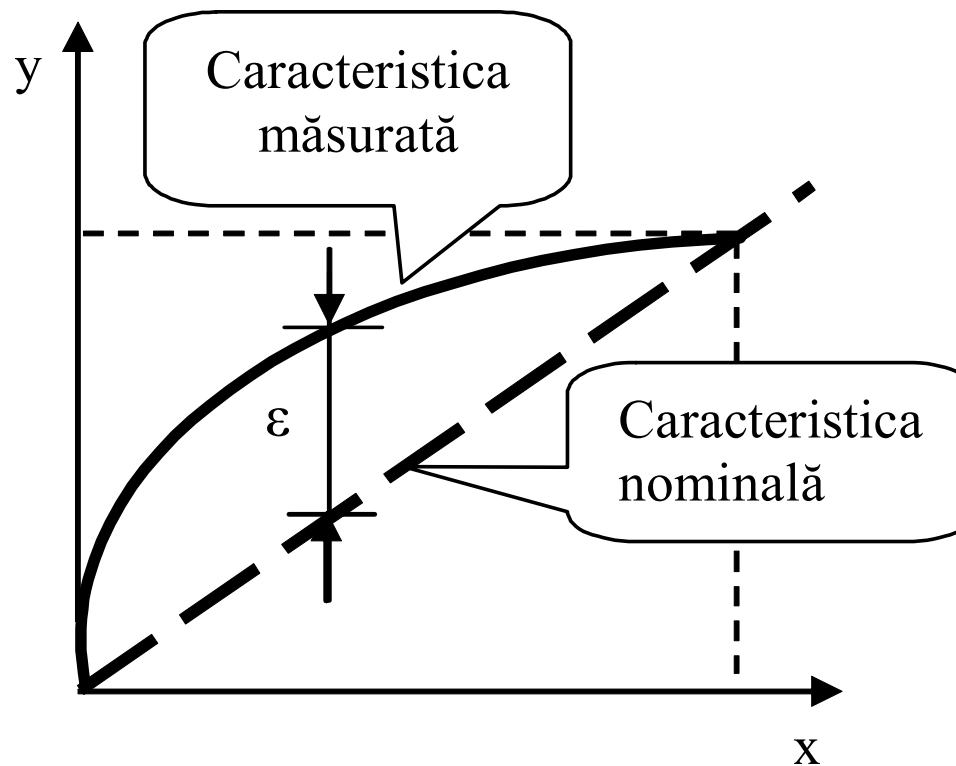


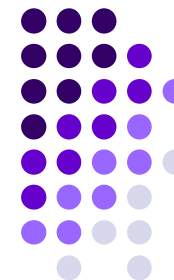
$$\varepsilon = \frac{\max\{\Delta y', \Delta y''\}}{y_{\max} - y_{\min}} \cdot 100$$





- **metoda punctului fix.** Începutul domeniului de măsurare și sfârșitul domeniului de măsurare reprezintă punctele de trasare a liniei nominale;
- Abaterea dintre caracteristica măsurată și cea nominală reprezintă eroarea de liniaritate.





metoda punctului fix

$$y(x_{\min}) = A \cdot x_{\min} + B$$

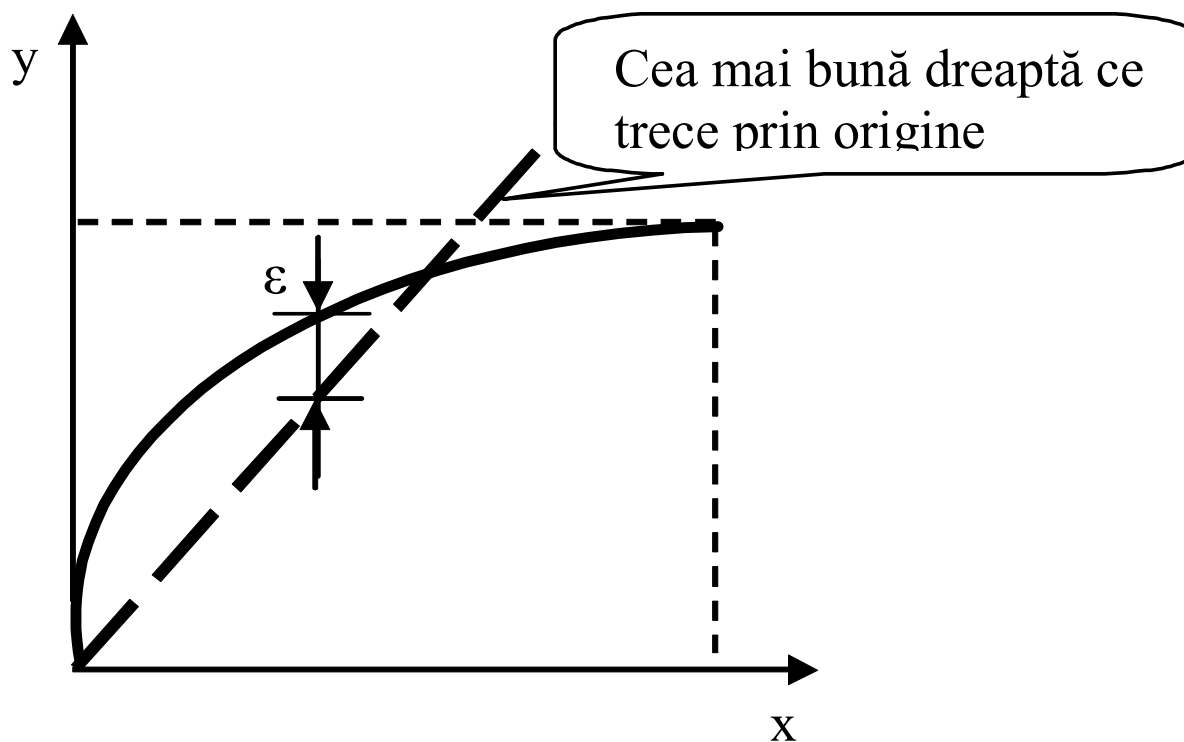
$$y(x_{\max}) = A \cdot x_{\max} + B$$

$$A = \frac{y(x_{\max}) - y(x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$B = y(x_{\min}) - \frac{y(x_{\max}) - y(x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot x_{\min}$$



- *minimul abaterii pătratică*. Curba nominală se trasează astfel încât suma abaterilor față de toate punctele obținute prin măsurare să fie minimă;
- Cea mai bună dreaptă de aproximare este AB



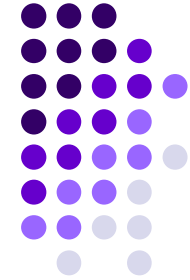
(metoda liniarității independente)

$$A = \frac{(\sum y) \cdot (\sum x^2) - (\sum x) \cdot (\sum xy)}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$B = \frac{n \cdot (\sum xy) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

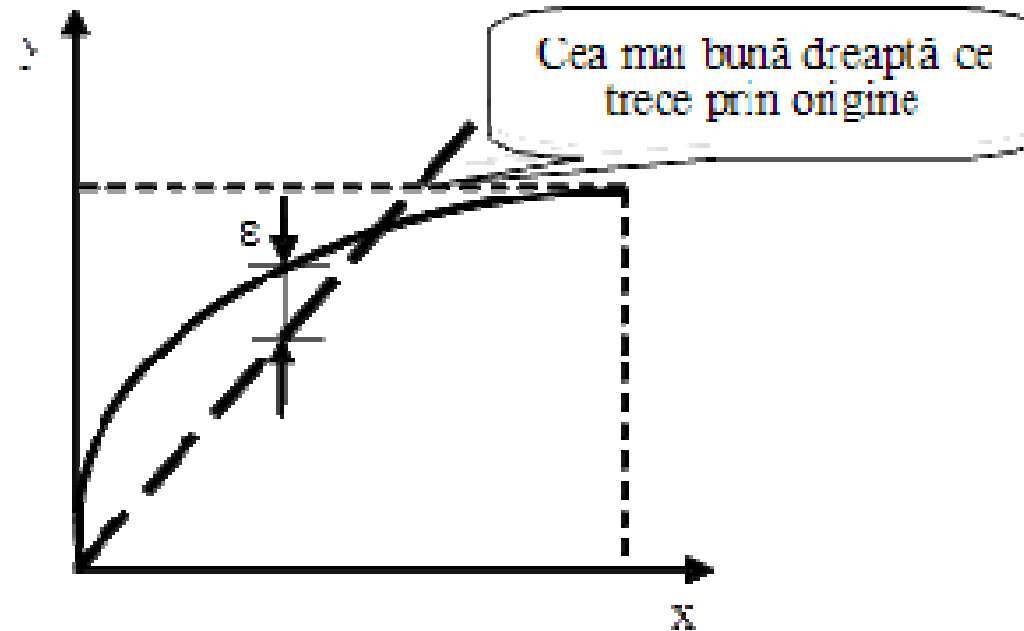
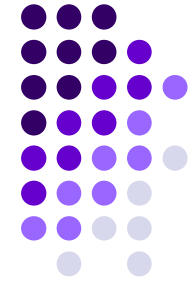
Exemplu

$U[V]$	12.00	11.70	11.50	11.10	10.80	10.40
$v[cm/s]$	41	45	41	40	32	34



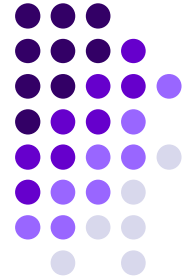
v [cm/s]	U [mV]	x ²	xy			Y[mV]	ε[mV]
41	12.00	1681	492			11.45	0.55
45	11.70	2025	526.5			11.85	-0.15
41	11.50	1681	471.5			11.45	0.05
40	11.10	1600	444			11.35	-0.25
32	10.80	1024	345.6		B=rel(3.31)	10.55	0.25
34	10.40	1156	353.6		7.3449	10.75	-0.35
$\sum x$	$\sum y$	$\sum x^2$	$\sum xy$	$(\sum x)^2$	A=rel(3.30)		
233	67.50	9167	2633.2	54289	0.1006		

metoda liniarității bazată pe zero (origine)



- coeficientul unghiular al dreptei se determină pe baza criteriului celor mai mici pătrate;
- termenul $B = 0$

metoda liniarității terminale



Punctul M

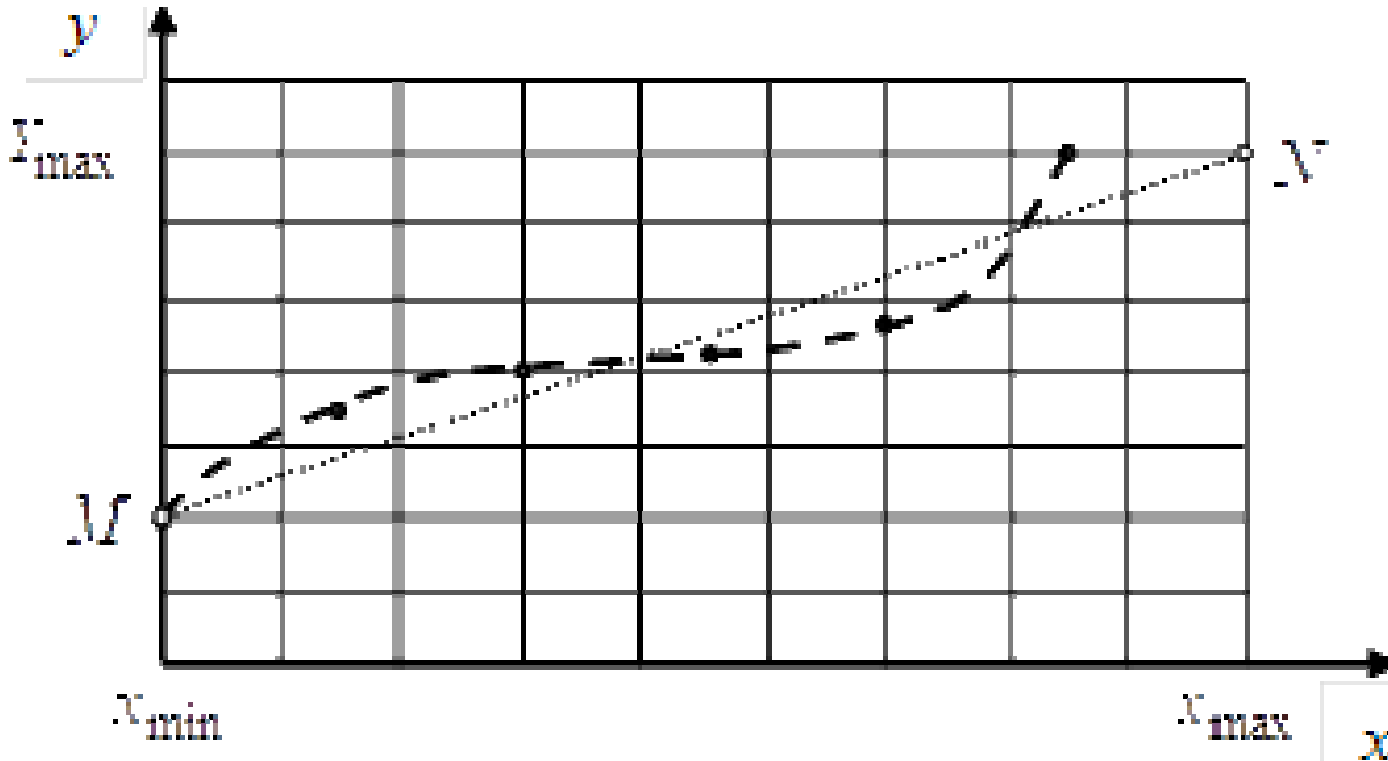
$$x_M = x_{\min}$$

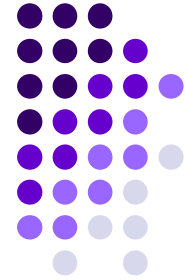
$$y_M = y(x_{\min})$$

Punctul N

$$x_N = x_{\max}$$

$$y_N = Y(x_{\max})$$

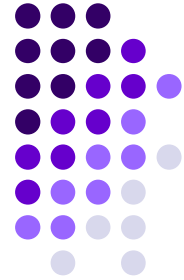




$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$S = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \left[\frac{UM_Y}{UM_X} \right]$$

- mV/mm, mA/N, V/rad/s etc.
- un senzor de temperatură are sensibilitatea egală cu $20 \mu V / ^\circ C$ ceea ce înseamnă că modificarea temperaturii cu un $1 ^\circ C$ determină modificarea tensiunii de ieșire cu $20 \mu V$.
- *Pragul de sensibilitate* este cea mai mică variație a mărimii de intrare care poate fi pusă în evidență.
- Principalii factori care determină pragul de sensibilitate sunt datorati perturbațiilor interne și externe.



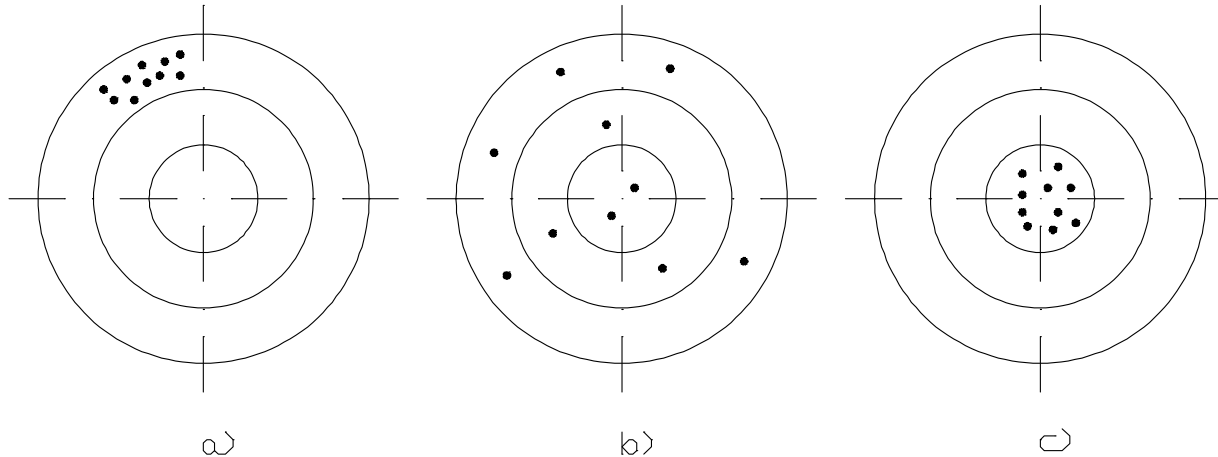
- *Rezoluția* se definește ca intervalul maxim de variație a mărimii de intrare pentru a se asigura o variație sesizabilă a mărimii de ieșire.

$$R = \frac{360^0}{N_{imp}} \quad - \text{ traductorul incremental de deplasare}$$

Senzorul este cu atât mai **performant** cu cât:

- **sensibilitatea este mai mare;**
- **pragul de sensibilitate și rezoluția sunt mai reduse.**

Precizia

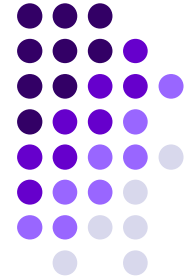


a) repetabilitate;

b) justete

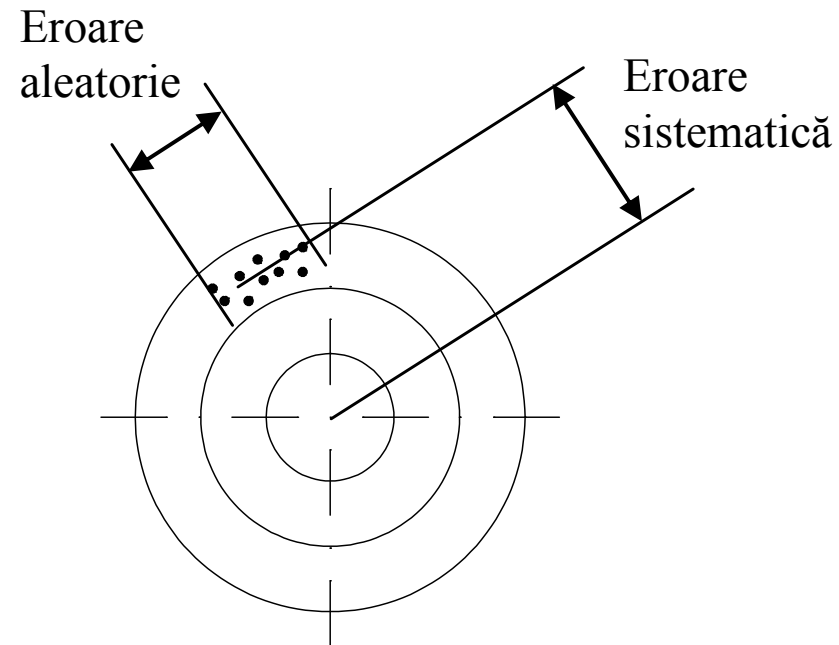
c) precizie

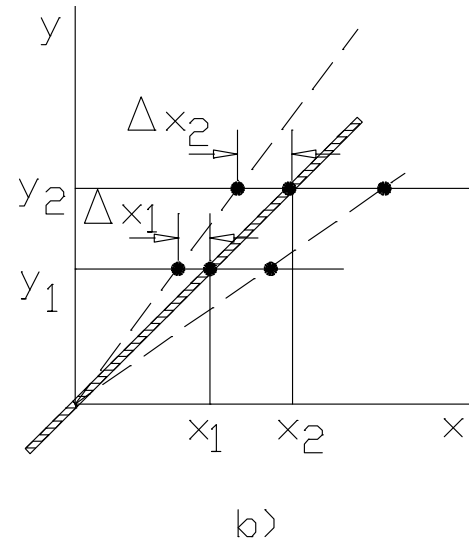
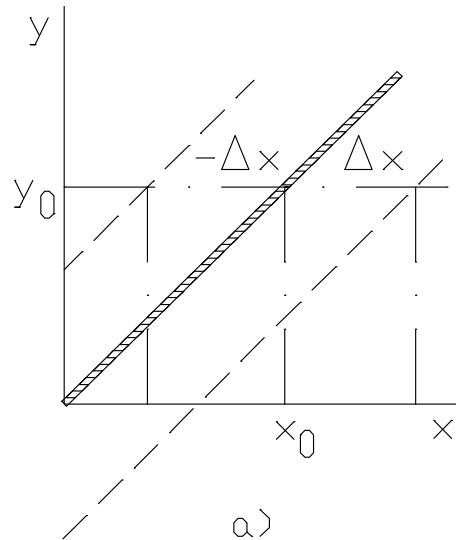
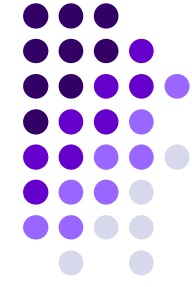
$$\text{repetabilitatea} = \frac{\text{val.maxima} - \text{val.minima}}{\text{domeniu}} \times 100$$



reproductibilitate = precizia unui set de măsurători în condițiile:

- pe un lung interval de timp, sau...
- realizate de operatori diverși, sau...
- cu instrumente diferite, sau ...
- în laboratoare diferite.





- Eroarea de zero (offset)(a): are un caracter aditiv și este constantă pe întreg domeniul de măsurare;
- Eroarea de proporționalitate este de natură multiplicativă și crește proporțional odată cu valoarea informației primare (b).