



CARACTERISTICILE ȘI PERFORMANȚELE INSTRUMENTAȚIEI DE PROCES

Deoarece instrumentația este intrinsec legată de automatizări, se va pune accent pe *caracteristicile în regim static și dinamic*, fără a neglija pe cele energetice, constructive și de exploatare, economice și de fiabilitate.

Ceea ce urmează reprezintă cele mai uzuale modalități folosite pentru definirea performanțelor sistemelor de măsurare și elementele lor funcționale.

Caracteristici statice; indicatori de calitate (performanțe) în regim static

Caracteristicile statice se definesc în regimul de funcționare în care atât mărimea de intrare cât și cea de ieșire sunt în regim staționar (invariante în timp pe perioada de observație).

Vom considera cazul unei instrumentații monovariabile intrare-ieșire, x – intrarea; y – ieșirea.

Practic un astfel de regim este imposibil de realizat pe o durată mare de observație (nici o intrare - implicit ieșirea instrumentației - nu poate avea o dinamică nulă pe un timp dat).

Totuși, pe intervale de timp relativ reduse, se poate considera îndeplinită condiția de regim staționar, astfel că:

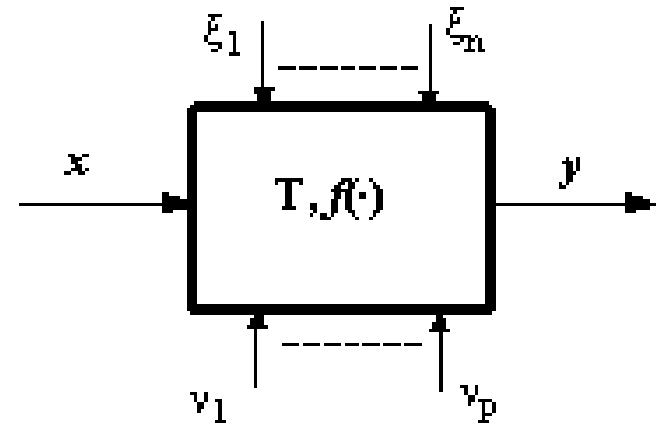
$$y = f(x)$$

reprezintă caracteristica statică a instrumentației (dependența intrare-ieșire în absența mărimilor de influență).

INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

În realitate (figura....., pe lângă intrarea utilă x , asupra instrumentației mai acționează o serie de mărimi de influență externă - ξ_1, \dots, ξ_n - ca și de influență internă - v_1, \dots, v_p - astfel că trebuie să se considere:

$$\tilde{y} = \tilde{f}(x; \xi_1, \dots, \xi_n; v_1, \dots, v_p) \quad (*)$$



1. Una din caracteristicile esențiale ale **ES** - implicit a instrumentației - este *selectivitatea*; concret, dacă se procedează la dezvoltarea în serie Taylor a funcției (*) rezultă:

$$\Delta \tilde{y} = \frac{\partial \tilde{f}}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial \tilde{f}}{\partial \xi_1} \Delta \xi_1 + \dots + \frac{\partial \tilde{f}}{\partial \xi_n} \Delta \xi_n + \frac{\partial \tilde{f}}{\partial v_1} \Delta v_1 + \dots + \frac{\partial \tilde{f}}{\partial v_n} \Delta v_n$$

O instrumentație are o foarte bună selectivitate dacă

$$\frac{\partial \tilde{f}}{\partial x} \gg \frac{\partial \tilde{f}}{\partial \xi_i}, \quad (\forall) i = 1, 2, \dots, n$$

$$\frac{\partial \tilde{f}}{\partial x} \gg \frac{\partial \tilde{f}}{\partial v_j}, \quad (\forall) j = 1, 2, \dots, p$$

$$\Rightarrow \tilde{y} \cong \tilde{f}(x)$$

INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

2. *Domeniul de măsurare* este intervalul $x_{\min} \dots x_{\max}$ în cadrul căruia instrumentația permite efectuarea corectă a măsurării, în conformitate cu caracteristica statică acceptată ca atare a acestuia.

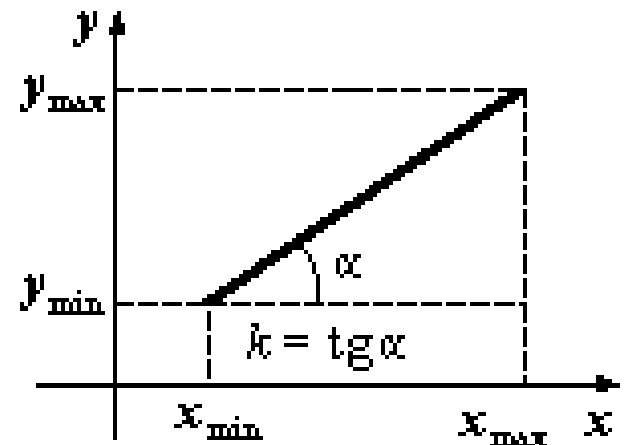
$$\underbrace{[x_{\min} \dots x_{\max}]}_{\substack{\text{intrare} \\ \text{variabil divers}}} \rightarrow \underbrace{[y_{\min} \dots y_{\max}]}_{\substack{\text{iesire} \\ \text{calibrat/unificat}}} \quad y = y_{\min} + \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (x - x_{\min})$$

La unele instrumentații nu este posibilă funcționarea de la $x_{\min} = 0$; la acestea se definește o *zonă moartă* sau un *spațiu mort*.

Exemplificare: un traductor de debit cu turbină.

3. *Liniaritatea*. O cerință impusă instrumentației (excepție poate face cea indicatoare) este de a avea o caracteristică statică liniară, adică se impune o dependență de forma (**) + figura.....

$$y = y_{\min} + k(x - x_{\min}) \quad (**)$$

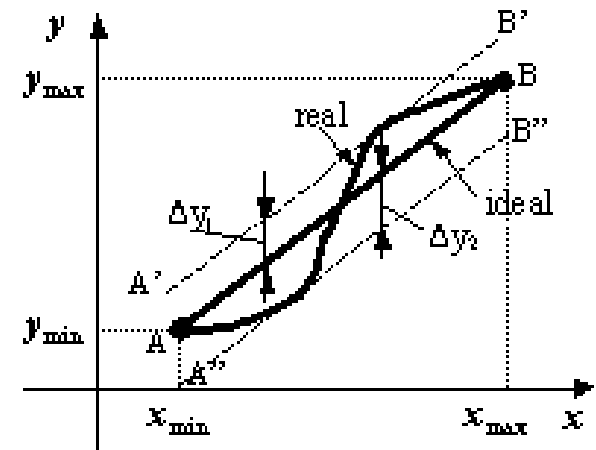


INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

Pe domenii mari de variație ale intrării caracteristicile statice sunt neliniare, aproximarea prin caracteristici liniare făcându-se în limitele unei erori de neliniaritate sau abateri de la liniaritate $\varepsilon_n[\%]$ exprimată cu relația:

$$\varepsilon_n[\%] = \frac{\Delta y_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \cdot 100 \quad \text{unde}$$

$$\Delta y_{\max} = \max \{ |\Delta y_1| ; |\Delta y_2| \} \quad \text{figura.....}$$



Se consideră că instrumentația are o comportare liniară dacă:

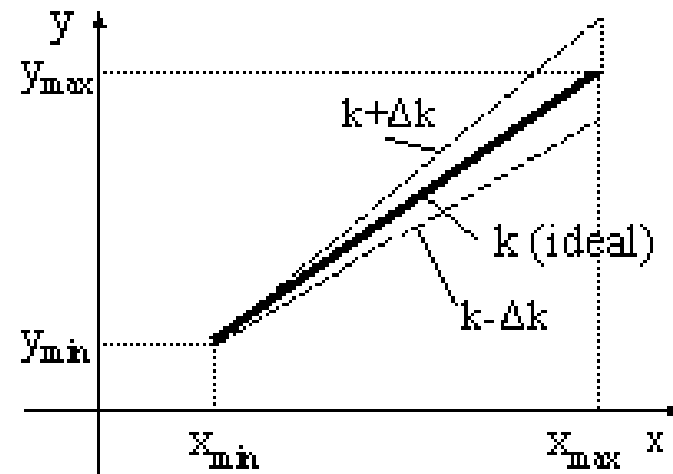
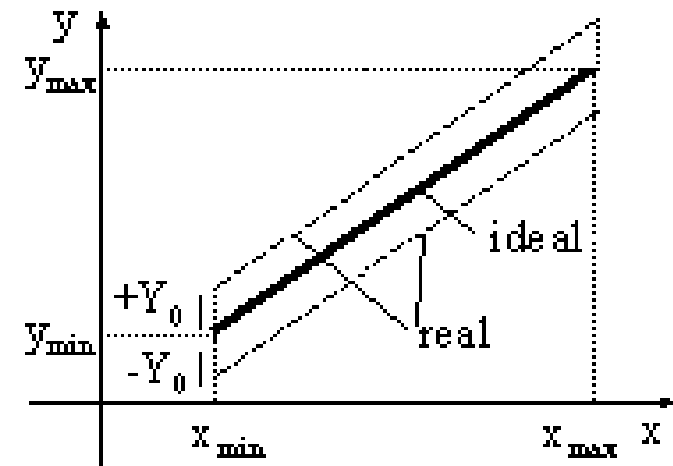
$$\varepsilon_n[\%] \leq \varepsilon_{imp} \quad \text{asigurarea acestei condiții se realizează în blocul de prelucrare folosind circuite de liniarizare specifice.}$$

Pe caracteristica statică a instrumentației pot fi puse în evidență și alte erori - în afara erorii de neliniaritate - cele mai frecvente întâlnite în specificațiile de catalog ale produselor de firmă fiind:

INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

4. Eroarea de zero (nul) - fig..... - are un caracter aditiv (deplasează caracteristica statică în sus sau în jos cu o valoare $\pm Y_0$) și este constantă pe tot domeniul de măsurare al instrumentației. Eroarea de nul poate fi compensată în cadrul blocului de prelucrare prin folosirea unui reglaj adecvat existent în structura acestuia (“ZERO adjust”);

5. Eroarea de proporționalitate sau de amplificare neunitară - fig.... - are un caracter multiplicativ, crescând proporțional cu valoarea măsurandului. Compensarea acesteia se realizează - de asemenea - în cadrul blocului de prelucrare prin modificarea factorului global de amplificare intrare-ieșire (“GAIN adjust”);



INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

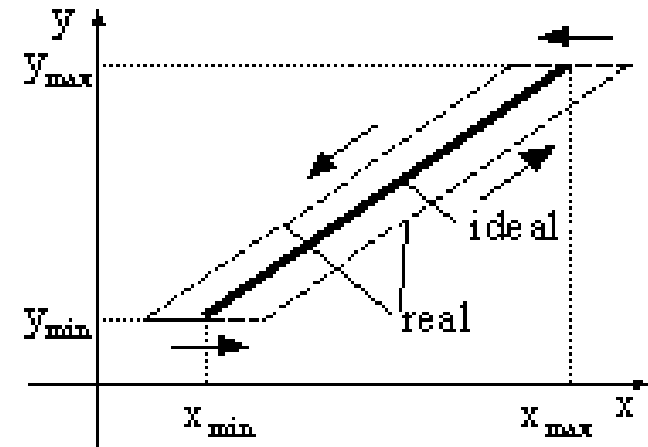
6. *Eroarea de histerezis* - fig.... - este specifică traductoarelor cu elemente sensibile elastice, constând în indicații diferite la ieșire - pentru aceeași intrare - funcție de sensul de parcurgere al caracteristicii statice.

Această eroare poate fi minimizată - sau chiar compensată - folosind materiale adecvate în construcția elementului sensibil, sau prin adoptarea unor principii funcționale pentru traductor care asigură micșorarea deformației elastice a elementului sensibil.

Exemplificare: elementele elastice la traductoarele de presiune - principiul balanței de forțe cu echilibrare pe elementul sensibil.

7. *Eroarea de inserție (încărcare)* - se manifestă atunci când elementul sensibil al instrumentației este introdus în circuitul de măsurare al mărimii fizice investigate.

Exemplificare: Introducerea unui termometru rece într-o incintă – unde se face măsurarea temperaturii – cu temperatură ridicată. **Efectul:** se micșorează temperatura incintei.



INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

Eroarea de încărcare este o problemă care apare adesea atunci când se fac măsurări.

Exemplificări:

1. Măsurarea curentului cu un ampermetru - figura 1.14.

Efectul: Modificarea curentului prin rezistorul R

2. Măsurarea tensiunii cu un voltmetru - figura 1.15.

Efectul: Modificarea căderii de tensiune pe rezistorul R .

8. *Sensibilitatea*. Considerând neglijabile sensibilitățile parazite introduse de marimile de influență, ceea ce înseamnă caracteristică statică ideală $y = f(x)$, se definește sensibilitatea ca derivata ieșirii în raport cu intrarea, adică:

$$S = \frac{dy}{dx} \stackrel{\text{var. finite}}{=} \frac{\Delta y}{\Delta x} \stackrel{\text{c.s.l.}}{\Rightarrow} \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \frac{[\text{dim.iesirii}]}{[\text{dim.intrarii}]}$$

→ **S** sensibilitate absolută.

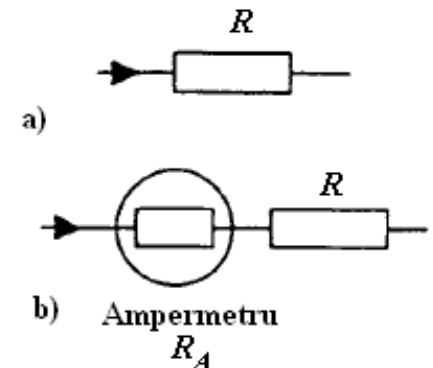


Figura 1.14. Încărcarea cu un ampermetru; a) - circuitul înainte de introducerea aparatului, b) - rezistența suplimentară introdusă de ampermetru

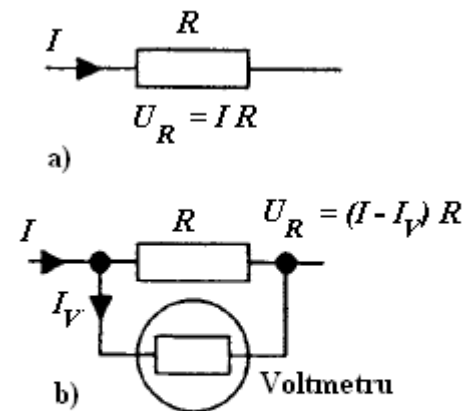


Figura 1.15. Încărcarea la un voltmetru; a) - înainte de conectarea aparatului, b) - cu voltmetrul conectat

INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

Acuratețe și precizie

Acuratețea este indicatorul prin care valoarea obținută cu un sistem de măsurare poate fi așteptată în raport cu valoarea adevărată.

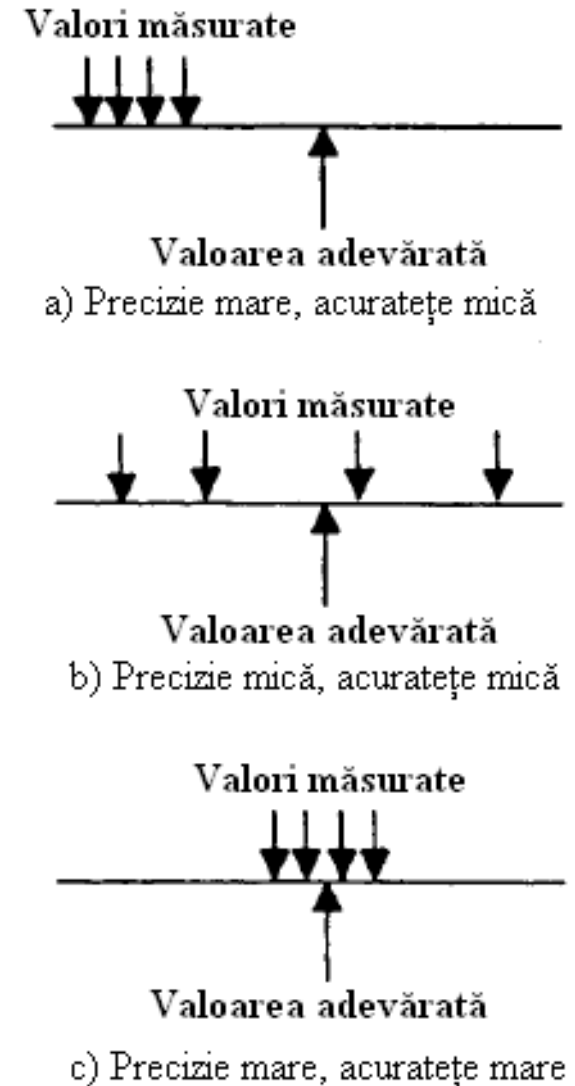
Eroarea de măsurare este diferența dintre rezultatul unei măsurări și valoarea adevărată a mărimii investigate.

$$\text{Eroarea} = \text{Valoarea măsurată} - \text{Valoarea adevărată}$$

Termenul de **precizie** este folosit pentru a descrie gradul de libertate al unui sistem de măsurare în raport cu erorile aleatorii. Astfel, la un instrument de măsurare de mare precizie, vom obține o împrăștiere (dispersie) mică a citirilor, atunci când vom repeta măsurările pentru aceeași valoare.

O precizie redusă a sistemului de măsurare va da o dispersie mare a citirilor, când se repetă măsurările pentru aceeași valoare.

Exemplificare grafică: A se vedea cazurile din figura



INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

9. Clasa de precizie se definește ca eroarea admisibilă de bază dată sub formă normată (raportată la domeniu), adică:

$$c = \frac{|\Delta x_{ad}|}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (***)$$

Din relația (***) se obține eroarea admisibilă absolută de bază (intrinsecă):

$$|\Delta x_{ad}| = \frac{c}{100} (x_{\max} - x_{\min})$$

relație valabilă pentru condiții de referință precizate prin standarde sub formă de valori sau intervale de referință.

În consecință, eroarea admisibilă absolută totală $|\Delta x_{ad}|_t$ va fi:

$$|\Delta x_{ad}|_t = \underbrace{|\Delta x_{ad}|_b}_{\text{din c.p.}} + \underbrace{|\Delta x_{ad}|_s}_{\% \text{ din } |\Delta x_{ad}|_b}$$



INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

10. Rezoluția se exprimă prin intervalul maxim de variație al mărimii de intrare care poate fi pus în evidență (citat) - produce un salt elementar - la ieșirea instrumentatiei.

Rezoluția este specifică instrumentatiei analogice cu caracteristică statică discontinuă sau cvasicontinuă, la care semnalul calibrat de ieșire este numeric sau analogic în trepte.

La instrumentatia numerică *rezoluția* se exprimă prin numărul de biți ai conversiei analog-numerică, respectiv intervalul elementar de cuantificare al mărimii de intrare.

Exemplificare: dacă se face conversia pe n biți atunci treapta elementară de cuantificare (cuanta) este

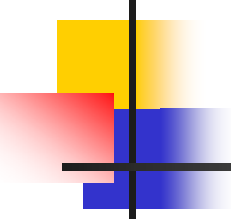
$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2^n}$$

ceea ce semnifică o *reprezentare în valoare absolută a rezoluției*.

Se poate utiliza și o *reprezentare procentuală a rezoluției*.

Exemplificare: un traductor numeric de temperatură cu domeniul de măsurare $0^{\circ}\text{C} \dots 500^{\circ}\text{C}$ și conversie pe 10 biți are cuanta elementară $\Delta x \approx 0,5^{\circ}\text{C}$ - rezoluție exprimată în unitățile de măsură ale intrării - sau, procentual, de $1/1023[\%] \approx 0,1\%$.

INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC



11. Pragul de sensibilitate reprezintă cea mai mică valoare a intrării care poate fi observată la ieșire (variație certă), în condiții normale de funcționare ale instrumentației.

Pragul de sensibilitate este important sub două aspecte: determină precizia maximă pe care o poate avea o instrumentație precum și valoarea minimă măsurabilă a mărimii de intrare.

Exemplificare: la traductoarele electrice și electronice pragul de sensibilitate nu poate fi coborât sub o anumită valoare impusă de zgomotul termic propriu circuitelor active și pasive din componența acestora.

O instrumentație este cu atât mai bună cu cât are *sensibilitatea mai mare*, iar *rezoluția și pragul de sensibilitate* sunt *mai mici*.

De asemenea, *sensibilitatea* poate fi privită ca *o caracteristică de transfer intrare-ieșire*, *rezoluția* ca *o caracteristică de ieșire*, iar *pragul de sensibilitate* ca *o caracteristică de intrare*.



INDICATORI DE CALITATE ÎN REGIM STATIC

12. Repetabilitatea exprimă abilitatea instrumentatiei de a reproduce valori ale ieșirii cât mai apropiate atunci când se aplică acestuia - în mod repetat - aceeași valoare a măsurandului, în aceleași condiții de experimentare și în același sens, măsurările fiind considerate într-un timp limitat.

Cum trebuie organizat experimentul?

Repetabilitatea se exprimă *procentual* prin raportarea diferenței maxime a valorilor citite în ieșire la plaja maximă de variație a ieșirii instrumentatiei. Statistic, repetabilitatea se consideră ca valoarea minimă care depășește - cu o probabilitate specificată - valoarea absolută a diferenței dintre două citiri succesive obținute în condiții specificate.

13. Reproductibilitatea se referă - de asemenea - la gradul de coincidență dintre două citiri succesive atunci când aceeași mărime este măsurată cu o metodă precizată, dar numărul de determinări este foarte mare, efectuate de operatori diferiți cu aparate diferite, în laboratoare diferite. Cantitativ, reproductibilitatea este valoarea minimă care depășește, cu o probabilitate dată, valoarea absolută a diferenței dintre două măsurări singulare obținute în condițiile mai sus-menționate.

14. Alți indicatori specifici