

CARACTERISTICI DINAMICE; indicatori de calitate deduși în regim dinamic

Caracteristicile dinamice se referă la funcționarea traductorului în regim dinamic, la care atât intrarea $x(t)$ cât și semnalul calibrat $y(t)$ sunt variabile în timp.

În concordanță cu ipotezele menționate la caracteristicile statice, considerând traductorul ca un element linear monovariabil intrare-ieșire, funcționarea sa în regim dinamic este descrisă de ecuația diferențială:

$$\sum_{k=0}^n a_k y^{(k)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j x^{(j)}(t) \quad (*)$$

unde a_k și b_j sunt coeficienți constanți (structura traductorului nu se modifică în timp), iar $n > m$ este condiția de realizabilitate fizică.

Studiul dinamicii traductorului - și implicit deducerea indicatorilor de performanță în regim dinamic - presupune găsirea soluției ecuației (*) pentru forme tipice (reprezentative) ale intrării $x(t)$.

Se pot utiliza două căi:

a) se determină *răspunsul în timp*, sau prin utilizarea calculului operațional (transformata Laplace) în variabilă complexă s , dându-se intrării funcții standard (impuls Dirac, treaptă unitate);

CARACTERISTICI DINAMICE; indicatori de calitate deduși în regim dinamic

b) se determină *răspunsul în frecvență*, considerând intrarea semnal sinusoidal cu amplitudine constantă și frecvență variabilă.

Cazul a)

Ca intrare care se poate folosi practic:

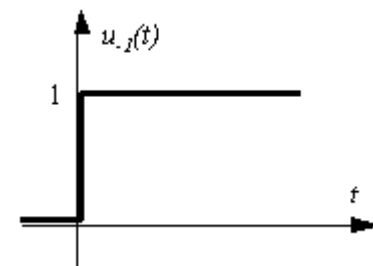
- *funcția treaptă unitate* $u_{-1}(t)$ $k(t)$ - *funcție (rasp.) indicială*.

Se folosește *funcția de transfer*, prin intermediul căreia se poate interpreta - în domeniul variabilei complexe s - comportarea dinamică a instrumentației (nu mai este necesară - pt. anumiți indicatori - trecerea în timp).

Cazul b)

Metodologia de exprimare a caracteristicilor dinamice din răspunsul la frecvență constă în aplicarea unei intrări $x(t) = X \sin \omega t$ cu $X = \text{constant}$ și ω variabil. Datorită liniarității, mărimea de ieșire - în regim stabilizat - va conserva frecvența, însă amplitudinea și faza vor fi dependente de frecvență, adică:

$$y(t) = Y(\omega) \sin[\omega t + \varphi(\omega)] \Rightarrow \mathfrak{S} \quad (TFD) \quad Y(j\omega) = H(j\omega) \cdot X(j\omega) \quad 2$$



$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

CARACTERISTICI DINAMICE; indicatori de calitate deduși în regim dinamic

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

Rezultă:

- caracteristica *amplitudine-pulsație*, $H(\omega)$ funcție de $0 < \omega < \infty$;
- caracteristica *fază-pulsație*, $\varphi(\omega)$ funcție de $0 < \omega < \infty$.

Din ambele – determinate experimental – se poate pune în evidență funcția de transfer.

Observație importantă: D.p.d.v. dinamic un traductor are în structura sa 1 sau 2 elemente acumulative de energie – de natură mecanică, termică sau electromagnetică – astfel că acestea pot fi asimilate unor elemente de întârziere de ordinul I sau II, cu funcții de transfer cunoscute:

$$H_1(s) = \frac{k}{1 + Ts}; \quad H_2(s) = \frac{k}{1 + T_b s + T_a^2 s^2}$$

Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic

A. Element de intarziere de ordinul I

Funcția de transfer $H(s) = \frac{k}{1 + Ts}$. funcția indicială

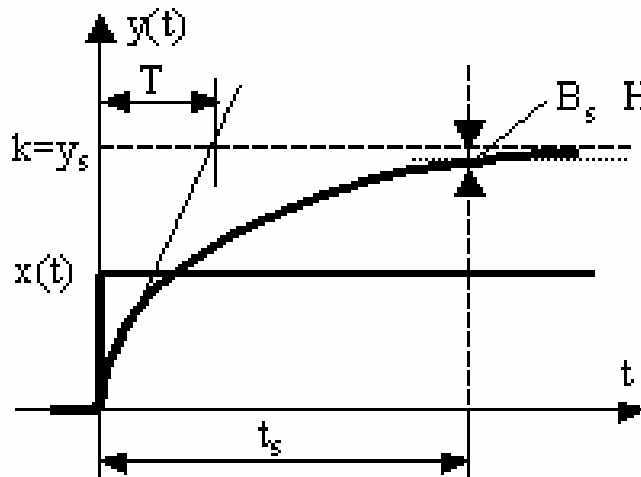
$$y(t) = k(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Caracteristicile de frecvență:

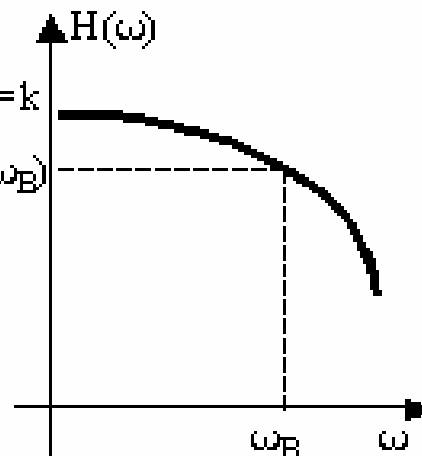
$$H(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + T^2 \omega^2}}$$

Funcția indicială și caracteristicile de frecvență au reprezentările din figura...

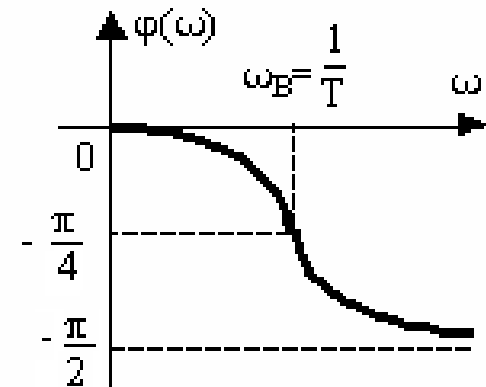
$$\varphi(\omega) = -\arctg T\omega$$



a)



b)



c)

Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

Indicatori:

1. Eroarea sau abaterea dinamică $\varepsilon_D(t)$ ca fiind

$$\varepsilon_D(t) = y(t) - y_s \quad \text{cu observația că } \varepsilon_D(t) \rightarrow 0 \text{ când } t \rightarrow \infty.$$

Practic, se consideră că eroarea dinamică devine neglijabilă atunci când aceasta atinge un anumit procent din y_s și nu-l mai depășește ulterior (eroarea dinamică a intrat în *banda de stabilizare* B_s).

2. Timpul de stabilizare sau timpul de răspuns t_s

$$|\varepsilon_D(t)| \leq B_s, \quad \text{pt. } (\forall) t \geq t_s$$

Pentru traductoarele analogice B_s se ia în practică 2...5% din $y_s = k$

$$\left| k \left(1 - e^{-\frac{t_s}{T}} \right) - k \right| \leq (0,02 \dots 0,05)k \quad e^{-\frac{t_s}{T}} \leq 0,02 \dots 0,05 \quad \Rightarrow \quad e^{\frac{t_s}{T}} \geq 20 \dots 50$$

rezultând $t_s \geq (3 \dots 4)T$.

Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

3. *Constanta de timp* T se poate pune în evidență, pe figura a), ca fiind valoarea subtangentei pentru $t = 0$; într-adevăr

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = k \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}} \Big|_{t=0} = \frac{k}{T} = \operatorname{tg} \alpha$$

Caracteristica amplitudine-pulsație arată caracterul de filtru trece-jos al elementului de întârziere de ordinul I. Pe această caracteristică se pune în evidență:

4. *Pulsația de bandă* ω_B ca fiind pulsația la care:

$$H(\omega_B) = \frac{1}{\sqrt{2}} H(0), \text{ deci } \frac{k}{\sqrt{1 + \omega_B^2 T^2}} = \frac{k}{\sqrt{2}} \quad \text{obținându-se } \omega_B = 1/T .$$

Observatie: la caracteristica fază-pulsație există un punct de inflexiune pentru $\omega = \omega_B$ de valoare $\varphi(\omega_B) = -\pi/4$.

Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

A. Element de intarziere de ordinul II

Funcția de transfer: $H(s) = \frac{k}{T_a^2 s^2 + T_b s + 1}$ $y(t) = k(t) = k \left[1 - \frac{e^{-\xi \omega_n t}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \xi^2} t + \varphi) \right]$

NOTA: În practică mult mai întâlnit este regimul oscilatoriu amortizat obținut atunci când rădăcinile ecuației numitorului sunt complex conjugate.

cu $\varphi = \arctg \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi}$

Funcția indicială

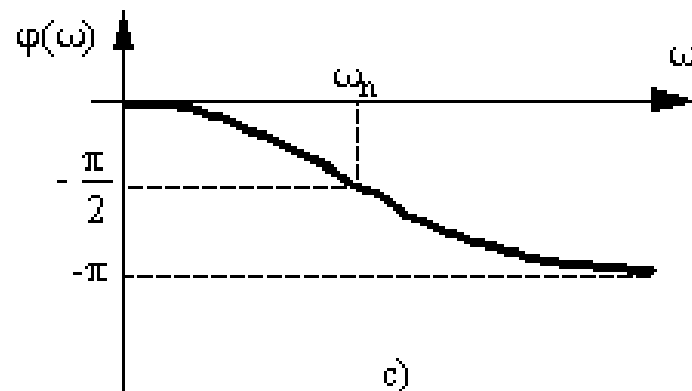
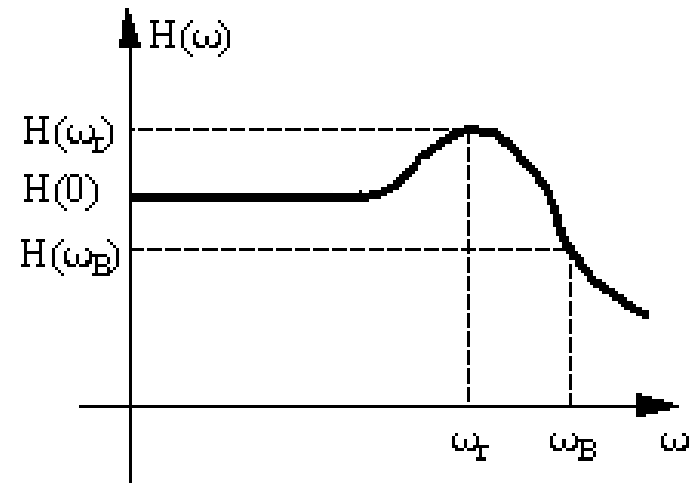
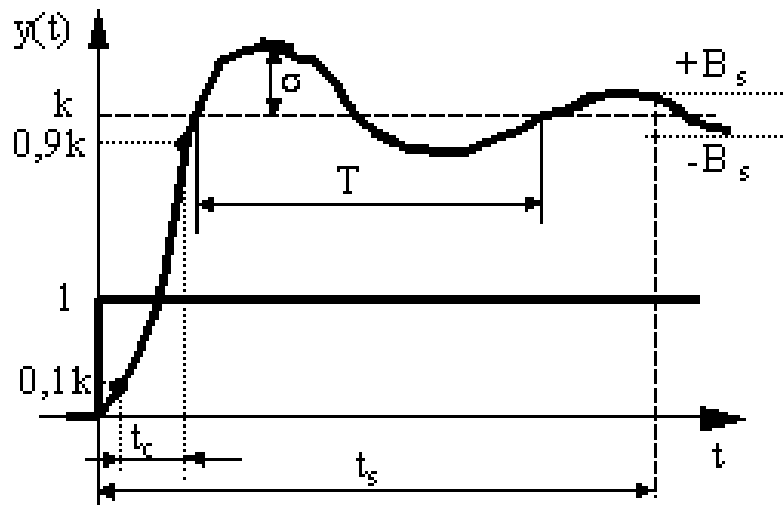
Caracteristicile de frecvență:

$$H(\omega) = \frac{k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_n^2}}}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}}$$

Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

În figura... sunt date reprezentările grafice pentru răspunsul indicial și caracteristicile de frecvență.



Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

1. *Timpul de creștere* - t_c - ca fiind durata în care ieșirea parcurge distanța dintre $0,1 \cdot y_s$ și $0,9 \cdot y_s$ pe prima oscilație.

2. *Perioada oscilațiilor amortizate* - T -, care are valoarea
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}}$$

3. *Supracreșterea* - σ - eroarea dinamică corespunzătoare primului maxim al ieșirii; de obicei se exprimă sub formă relativă prin raportare la y_s , adică:

$$\sigma_r[\%] = \frac{y_{\max} - y_s}{y_s} \cdot 100$$
 Deoarece $\max\{y(t)\}$ se asigură pentru $t_{\max} = T/2$, rezultă că

$$y_{\max} = y_s \left(1 + e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \right) \quad \text{din care se obține} \quad \sigma_r[\%] = 100 \cdot e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

4. *Timpul de stabilizare* - t_s - legat de banda de stabilizare B_s prin intermediul erorii dinamice $\varepsilon_D(t) = y(t) - y_s = y(t) - k$, adică $|\varepsilon_D(t)| \leq B_s$ pentru orice $t \geq t_s$. Se poate scrie:

Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

$$\left| y_s \frac{e^{-\xi\omega_n t_s}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\xi^2} t_s + \varphi) \right| \leq B_s \quad \text{Cum } \max(\sin \omega_n \sqrt{1-\xi^2} t + \varphi) = 1, \text{ se obține}$$

$$-\xi\omega_n t_s \leq \ln \frac{B_s \sqrt{1-\xi^2}}{y_s} \quad \text{de unde} \quad t_s \geq \frac{1}{\xi\omega_n} \ln \frac{y_s}{B_s \sqrt{1-\xi^2}}$$

Pe caracteristicile de frecvență – figuri..., b și c - se pun în evidență următorii indicatori:

5. Pulsația de rezonanță - ω_r - valoarea pentru care $H'(\omega) = 0$, adică:

$$\omega_r = \omega_n \sqrt{1-2\xi^2}$$

6. Pulsația de bandă - ω_B - valoarea pentru care amplitudinea $H(\omega_B) = H(0)/\sqrt{2}$, adică:

$$\frac{k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_B^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega_B^2}{\omega_n^2}}} = \frac{k}{\sqrt{2}} \quad \text{din care se obține } \omega_B = \omega_n \sqrt{1-2\xi^2 + \sqrt{2-4\xi^2 + 4\xi^4}}$$



Indicatori de calitate (performanțe) în regim dinamic (continuare)

Observații:

- 1) Cu cât ω_n este mai mare cu atât ω_B este mai mare, T este mai mic, t_s mai mic, adică instrumentația are o dinamică mai rapidă (mai bună);
- 2) Cu cât factorul de amortizare ξ crește cu atât ω_B se micșorează, T crește, t_s crește, deci dinamica este mai lentă;
- 3) Creșterea lui ω_B produce lărgirea spectrului de frecvențe a mărimii de intrare, în consecință se diminuează caracterul de filtru trece-jos al instrumentației, astfel că aceasta va măsura și zgomotele, știindu-se faptul că acestea sunt de frecvențe înalte.



Caracteristici energetice

Deoarece *instrumentația presupune preluarea unei mărimi printr-o operație de măsurare*, rezultă că *are loc un consum energetic*.

Puterea, care prin integrare dă consumul energetic, este preluată total sau parțial de la mărimea de măsurat (total în cazul mărimilor active și parțial la cele pasive). Puterea preluată de la mărimea de măsurat nu poate depăși o anumită limită denumită putere disponibilă pentru a nu influența valoarea mărimii de măsurat.

În general, oricărei mărimi X supuse măsurării i se poate asocia o altă mărime Y , astfel încât produsul lor XY să reprezinte o putere, iar raportul acestora X/Y să fie de natura unei impedanțe, denumită *impedanță generalizată sau metrologică*

$$Z_m = \frac{X}{Y}.$$

Obținerea unei impedanțe Z_m → preocupare permanentă în construcția instrumentației → perfecționarea permanentă a elementelor sensibile - dimensiuni, masă - având în vedere că ele sunt cele care determină în cea mai mare măsură impedanța Z_m .



Caracteristici energetice

Probleme puse în practica construcției instrumentației:

- *adaptarea impedanței Z_m cu cea a sursei Z_s* care produce mărimea activă de măsurat → se procedează la preluarea mărimii de măsurat cu amplificatoare de măsurare;
- prin folosirea amplificatorului, pe lângă *adaptarea în nivel* se realizează și o *adaptare în putere*, rezultatul fiind o *adaptare în impedanță*;
- dacă este posibilă o *metodă de zero* - măsurare fără consum energetic - echivalent cu o impedanță $Z_m = \infty$ (este cazul punților cu echilibrare automată)
- în cazul mărimilor pasive, măsurarea presupune utilizarea unei surse auxiliare de energie → trebuie avute în vedere două aspecte:
 - ◆ puterea preluată de la sursa auxiliară să fie folosită pentru conversia mărimii parametrică într-un semnal electric (tensiune, curent);
 - ◆ să nu apară modificări ale valorii măsurate (de exemplu, în cazul unui termistor, să nu se producă o încălzire suplimentară la alimentarea cu o tensiune externă).
- O altă problemă este legată de consumul propriu - pe ansamblu - al instrumentației.



Caracteristici constructive

Formele constructive sunt condiționate - în mod esențial - de natura aplicației → pot fi diferite, chiar dacă mărimea și domeniul de măsurare sunt aceleași.

Mai importante sunt:

- *robustețea* - calitatea instrumentației de a dispune de stabilitate în funcționare (funcționează la parametri nominali).
- *capacitatea de supraîncărcare* reprezintă proprietatea unei instrumentații de a suporta valori ale mărimii de măsurat care depășesc limita superioară a domeniului pentru care este destinat;
pe timp îndelungat - suprasarcină - pe timp scurt - șoc.

De reținut: traductoarele au circuitul de ieșire prevăzut cu limitare de semnal, chiar dacă au loc depășiri ale domeniului nominal al mărimii de intrare.

- *protecția climatică* este în concordanță cu zonele climatice (rece, temperată, tropical-umedă, tropical-uscată și foarte rece), care corespund recomandărilor CEI.
- *protecția contra exploziilor* cuprinde o serie de măsuri specifice aplicate în construcția și montarea instrumentației pentru a evita aprinderea atmosferelor explozive exterioare.
- *protecția anticorosivă* se referă la acele părți - fie ale elementului sensibil, fie ale adaptorului - care vin în contact direct cu medii puternic corosive.



Caracteristici de fiabilitate

Fiabilitatea reprezintă proprietatea ca instrumentația să funcționeze în limitele indicatorilor săi de performanță, adică fără defecțiuni, un interval de timp cât mai îndelungat. Poate fi: previzională, experimentală, operațională.

Dacă unui instrument de măsurat i se pot preveni, depista și înlătura defecțiunile se spune că acesta are proprietatea de *mentenabilitate*.

Proprietatea ca după efectuarea reparațiilor (acțiuni de mentenanță), să-și recapete integral capacitatea de funcționare se numește *restabilire*.

Disponibilitatea este proprietatea unui instrument de măsurat ca acesta să-și îndeplinească funcția specificată sub aspectele combinate de fiabilitate, mentenabilitate și de organizare a activității de mentenanță la un anumit moment de timp sau într-un interval de timp dat.

Cauzele defecțiunilor sunt variate, fie întâmplătoare, fie sistematice (datorită îmbătrânirii componentelor), în consecință acestea se studiază probabilistic sau statistic. Se definesc astfel (probabilistic):

funcția de defectare $F(t) = P(t \leq T_f)$ T_f - timpul de bună funcționare

funcția de fiabilitate $R(t) = P(t > T_f)$ $R(t) = 1 - F(t)$.

Sunt și alți indicatori importanți folosiți în fiabilitate: MTBF, λ , z

Calibrarea (trasabilitatea)

Calibrarea se realizează cu ajutorul unor echipamente care pot fi trasabile până la standardele naționale, pentru fiecare instrument de măsurat păstrându-se o înregistrare despre calibrare.

Înregistrarea despre calibrare conține o descriere a instrumentului și numărul său de referință, data de calibrare, rezultatele calibrării, cât de frecvent este calibrat instrumentul și - probabil – detalii despre procedura de calibrare, reparațiile sau modificările făcute asupra instrumentului și limitările sale în utilizare.

Standardele naționale sunt definite prin consens internațional și sunt menținute de instituții naționale. Sunt folosite pentru calibrarea standardelor din centrele de calibrare.

Standardele primare sunt folosite pentru definirea standardelor naționale.

Echipamentul folosit în calibrarea unui instrument dintr-o companie oarecare urmărește așa numita *trasabilitate* față de standardele naționale. A se vedea figura

