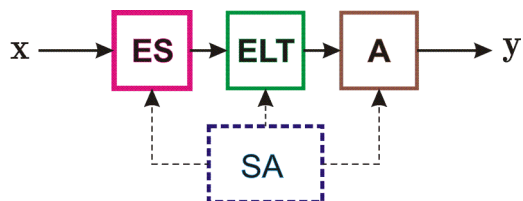


Senzori

- **Senzor** (captor, traductor,...): conversia unei mărimi ne-electrice într-un semnal electric, cu domeniu de variație calibrat



- x – semnal de intrare
- y – semnal de ieșire
- ES – element sensibil
- ELT – elemente de legătură și transmisie
- A – adaptor
- SA – sursă de activare

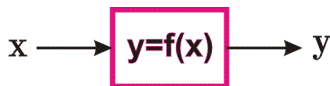
Senzori

Conversie	Principiu fizic	Senzor	Mărimi		Obs.
			x	y	
Mecanică → electrică	Inducție electromagnetică	Tahogenerator	n	t.e.m.	
		Senzor inductiv	Q	t.e.m.	Q – debit
	Efect piezoelectric	Dinamometru	F	q	F – forță q – sarcină electrică
Termică → electrică	Efect termoelectric	Termocuplu	θ	t.e.m.	θ - diferență de temperatură
Optică → electrică	Efect fotoelectric	Fotoelement	I	I_{foto}	I – intensitate luminoasă I_{foto} – curent fotoelectric
Chimică → electrică	Disociere electrolitică	Celulă +electrod de măsurare	pH	t.e.m.	

Caracteristici generale

- Caracteristici:
 - Ințrare:
 - Impedanța de intrare
 - Electrica
 - Neelectrica: mecanica, acustica, etc.
 - Transfer:
 - Statice
 - Dinamice
 - Globale
 - Diferențiale
 - Ieșire:
 - Impedanța de ieșire

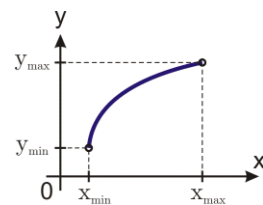
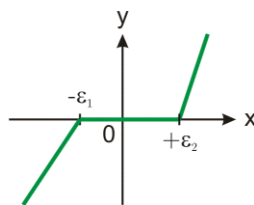
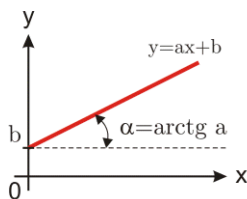
Caracteristici statice



x – mărime de intrare; y – mărime de ieșire

- Caracteristica statica:

$$y = f(x)$$



Caracteristici statice: **a)** liniara; **b)** cu prag de sensibilitate; **c)** curbilinie

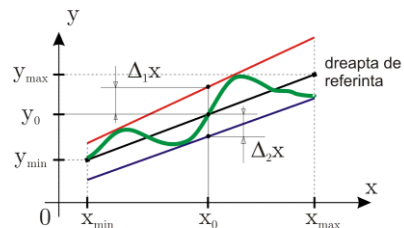
- elemente cu mai multe intrări: familii de caracteristici

Erori in regim static

- Eroare instrumentala: eroarea statica, pentru condiții de măsurare între anumite limite
- Erori instrumentale:
 - Neliniaritate
 - Histerezis
 - Etalonare:
 - Deriva de zero
 - Deriva de sensibilitate

Erori statice - neliniaritate

- Liniaritate: corespondența dintre caracteristica statică ideală și o dreaptă de referință;
- Dreapta de referință:
 - Metoda celor mai mici pătrate în punctele de etalonare;
 - Dreapta care unește punctele extreme ale domeniului de măsurare
- Calculul erorii de neliniaritate:
 - diferența maximă între valoarea reală și valoarea teoretică de pe dreapta de referință;
 - Interval care ține cont de punctul de funcționare și caracteristica reală:

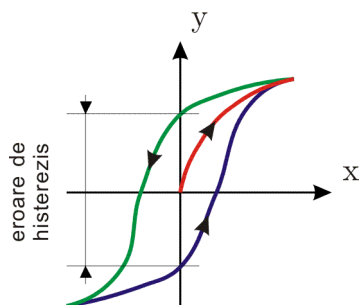


Determinarea grafică a erorii de neliniaritate

$$y = y_0 + kx_0 \pm \max \{ \Delta_1x, \Delta_2x \}$$

Erori statice - neliniaritate

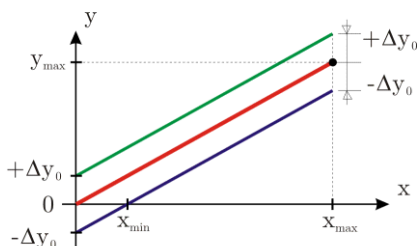
- Histerezis: mărimea de ieșire depinde de:
 - Valoarea mărimii de intrare;
 - Sensul de variație al mărimii de intrare.
- Tipuri de histerezis:
 - Magnetic;
 - Electric;
 - Mecanic;
 - Etc.
- Eroare de histerezis: diferența maximă între valorile mărimii de ieșire, când valoarea de intrare este atinsă în sensuri diferite, pornind de la minimum, respectiv maximum al acesteia



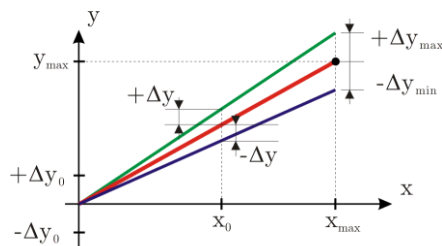
Eroarea de histerezis

Erori statice - derive

- Deriva de zero: abaterea mărimii reale de ieșire față de valoarea ideală de pe dreapta de referință, măsurată pentru o mărime de intrare nulă sau constantă;
- Eroare absolută constantă
- Deriva de sensibilitate: abaterea mărimii reale de ieșire față de valoarea ideală de pe dreapta de referință, măsurată pentru $x=x_{\max}$ și cu deriva de zero corectată;
- Eroare relativă constantă



Deriva de zero



Deriva de sensibilitate

Caracteristici dinamice

- Regim dinamic: $x(t), y(t)$
- Caracteristica dinamica: variația $y(t)$ pentru o excitație $x(t)$ specificata

$$F(y, y', y'', \dots, y^{(n)}, x, x', x'', \dots, x^{(m)}, t) = 0$$

- Semnale de intrare standard:
 - Impuls unitar (Dirac)
 - Treapta
 - Rampa

Caracteristici dinamice

- Ecuația diferențială liniarizata:

$$\begin{cases} a_n \frac{d^n y}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \\ m < n \end{cases}$$

- Clasificare $\rightarrow n$
 - $n=0$ (elemente liniare)
 - ecuație liniara
 - sisteme ideale - metrologic
 - $n=1$ (elemente aperiodice)
 - ecuație diferențială liniara de ordinul I
 - $n=2$
 - ecuație diferențială liniara de ordinul II

Caracteristici dinamice – elemente de ordinul 0

- caracteristica dinamică:

$$a_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot x(t)$$

- sensibilitatea elementului:

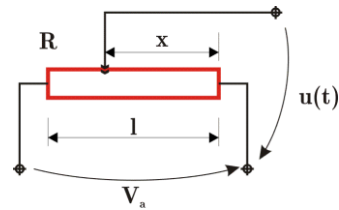
$$k = b_0/a_0$$

- caracteristica potențiometrului:

$$u(t) = \frac{V_a}{l} \cdot x(t)$$

- funcția de transfer: $H(s) = \frac{U(s)}{X(s)} = \frac{V_a}{l} = k$

- sensibilitate constantă; defazaj zero



Senzor rezistiv - potențiometru

Caracteristici dinamice – elemente de ordinul I

- caracteristica dinamică:

$$\begin{cases} a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 \cdot x(t) \\ \tau \frac{dy}{dt} + y = k \cdot x(t) \end{cases}$$

- sensibilitatea elementului: $k = b_0/a_0$

- constanta de timp a sistemului: $\tau = a_1/a_0$

- Exemple:

- circuite RC, RL
- resoarte puternic amortizate
- încălzirea/răcirea corpurilor

Caracteristici dinamice – elemente de ordinul I

- Termometru – relația lui Newton:

$$d\theta = -\frac{1}{\tau}(\theta - \theta_m) dt$$

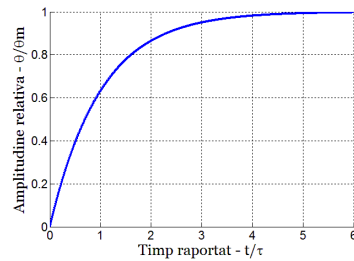
- θ – temperatura corpului
- θ_m – temperatura mediului înconjurător
- t – timpul
- τ - constanta de timp

- răspuns in domeniul timp:

$$\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_m \rightarrow \theta(t) = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- eroarea dinamica:

$$\varepsilon_r = \frac{\theta_m - \theta}{\theta_m} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \varepsilon_r < 1\% \quad t_{\text{citire}} \approx 5\tau$$



Caracteristici dinamice – elemente de ordinul II

- caracteristica dinamica:

$$\begin{cases} a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 \cdot x(t) \\ \frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{2\beta}{\omega_0} \frac{dy}{dt} + y = k \cdot x(t) \end{cases}$$

- pulsația proprie: $\omega_0 = \sqrt{a_0/a_2}$

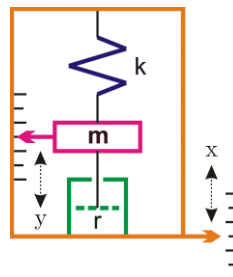
- factorul de amortizare: $\beta = \frac{a_1}{2\sqrt{a_2 a_0}}$

- regim supraamortizat: $\beta > 1$
- regim critic: $\beta = 1$
- regim oscilant: $\beta < 1$

- Exemplu: circuite RLC

Caracteristici dinamice – elemente de ordinul II

- accelerometru cu masa seismică:
 - m – masa seismică
 - k – constanta elastică
 - r – coeficient de frecare vâscoasă
 - x – coordonata de mișcare a carcusei
 - y – coordonata deplasării relative a masei seismice



Accelerometru cu masa seismică (inertțială)

- deplasarea masei m pentru o mișcare oarecare:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dy}{dt} + \frac{k}{m} y = -\frac{d^2 x}{dt^2} = a$$

- a – accelerația deplasării după coordonata x

Caracteristici dinamice – elemente de ordinul II

- Cazuri particulare:

- i. sistem sensibil la deplasare:

$$\begin{cases} m \gg; & r \ll; & k \ll \\ \frac{d^2 y}{dt^2} \cong -\frac{d^2 x}{dt^2} \Rightarrow y \cong -x \end{cases}$$

- ii. sistem sensibil la viteza:

$$\begin{cases} m <; & r >; & k \ll \\ \frac{r}{m} \frac{dy}{dt} \cong -\frac{dx}{dt} \Rightarrow y \cong -\frac{m}{r} \frac{dx}{dt} \end{cases}$$

- iii. sistem sensibil la accelerație:

$$\begin{cases} m <; & r \ll; & k > \\ \frac{k}{m} y \cong -\frac{d^2 x}{dt^2} \Rightarrow y \cong -\frac{m}{k} \frac{d^2 x}{dt^2} \end{cases}$$

Erori dinamice

- Eroarea dinamică, ε_D :

$$\varepsilon_D(t) = y(t) - y_s$$

- Timpul de răspuns tranzitoriu, t_t :

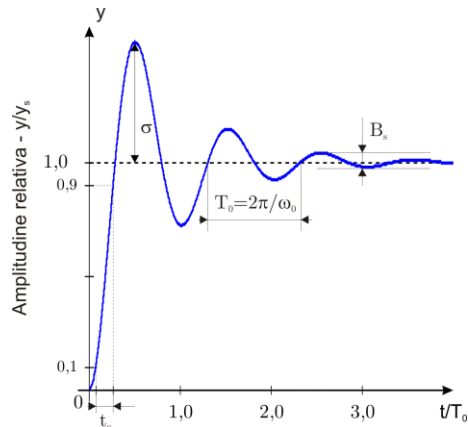
$$t \geq t_t \Rightarrow |\varepsilon_D(t)| \leq B_s$$

- B_s – banda de stabilizare specificată

- Timp de răspuns pentru B_s impus:

$$t_t \geq -\frac{1}{\beta\omega_0} \ln \frac{B_s \sqrt{1-\beta^2}}{y_s}$$

- β – factor de amortizare
- ω_0 – pulsația naturală



Funcția indicială a unui element de ordinul II

Erori dinamice

- Timp de răspuns pentru elemente de ordinul I:

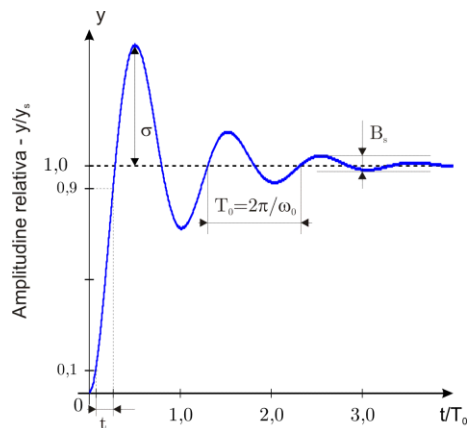
$$t_t \geq T \ln \frac{y_s}{B_s}$$

- Timp de creștere, t_c
- Pulsația oscilațiilor

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1-\beta^2}$$

- Supracreșterea, σ (eroarea dinamică pentru primul maxim la ieșire):

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_s}{y_s} \cdot 100 [\%]$$



Funcția indicială a unui element de ordinul II