

Introducere în Teoria Sistemelor și Reglare Automată

Paula Raica

Departamentul de Automatică

Str. Dorobantilor, sala C21, tel: 0264 - 401267

Str. Baritiu, sala M14, tel: 0264 - 401239

email: Paula.Raica@aut.utcluj.ro

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Organizare

■ Predat de: Paula Raica (curs)

■ Laborator:

Grupa	Când	Cu cine	Unde
30221	joi 8-12	Vlad Mihaly	Dorobanților C01
30222	vineri 12-16	Alexandru Codrean	Dorobanților C01
30223	marți 12-16	Simona Știole	Dorobanților C01
30224	vineri 8-12	Alexandru Pop	Dorobanților C12
30225	marți 16-20	Simona Știole	Dorobanților C01
30226	luni 8-12	Simona Știole / Alexandru Pop	Dorobanților C01
30227	miercuri 16-20	Alexandru Codrean	Dorobanților C12
30228	miercuri 8-12	Mircea Șușcă	Dorobanților C01
30229	luni 16-20	Simona Știole	Dorobanților C12
302210	luni 12-16	Simona Știole	Dorobanților C01

- Curs: 2h/săptămână
- Laborator: 4h / 2 săptămâni
- Nota:
 - teste de laborator, inclusiv teme (optional)
 - examen parțial (optional)
 - examen final
- Regulamentul laboratorului

Cerințe: Ecuații diferențiale, Transformata Laplace, Polinoame, Numere complexe

Obiectivul cursului

Să introducă principiile fundamentale pentru modelarea, analiza și controlul automat al sistemelor liniare, precum și evaluarea performanțelor sistemelor de control automat.

Sistem : Un set sau aranjament de entități, interconectate de manieră a forma un întreg (Iberall)

Teoria sistemelor: domeniul interdisciplinar care studiază sistemele ca întregi.

- A fost introdusă de Ludwig von Bertalanffy, William Ross Ashby și alții între anii 1940 și 1970 pe baza principiilor din fizică, biologie și inginerie.
- S-a dezvoltat în numeroase domenii: filosofie, sociologie, management, economie, etc.
- Cibernetica este un domeniu asemănător, considerat parte a teoriei sistemelor.

- Înțelegerea (analiza) sistemelor
- Controlul sistemelor
- Modelarea și controlul sistemelor moderne, complexe interconectate
 - sisteme de control al traficului,
 - procese chimice,
 - sisteme robotice
 - sisteme automate industriale.

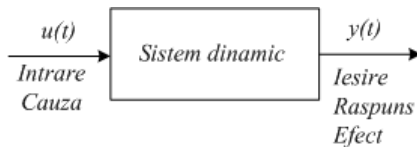
Ingineria reglării automate se bazează pe teoria sistemelor cu reacție negativă și pe analiza sistemelor liniare.

- 300 B.C, Grecia : ceasul cu apă - primul regulator cu plutitor,
- anii 1860, J.C.Maxwell: primul studiu oficial în teoria controlului automat,
- 1890, E.J. Routh și A.M. Lyapunov: "Testul de stabilitate Routh" și "Criteriile de stabilitate Lyapunov"
- 1930, H. Nyquist (Bell Telephone Lab.): a aplicat analiza în frecvență pentru proiectarea sistemelor de control
- 1930, H.W.Bode: a proiectat amplificatoare electronice utilizând conceptele sistemelor cu reacție negativă
- din 1950: teoria controlului automat a evoluat cu noi tehnici matematice și a utilizat tehnologia calculatoarelor

- Domeniu multidisciplinar. Acoperă ingineria mecanică, chimică , electrică și electronică, ingineria mediului, civilă, economie și finanțe, inteligență artificială și știința calculatoarelor
- Introdusă între cursurile de bază din inginerie
- Sisteme de control numeric: domeniu complex din inginerie.
- Conceptele se leagă de procesarea digitală a semnalelor și sistemele de comunicație

Sistem dinamic

- Un *sistem dinamic* este un sistem a cărui comportament se schimbă în timp, de obicei ca răspuns la factori externi.



- Intrări (cauze) = mărimile care acționează asupra sistemului
- Ieșiri (efect) = rezultatele acțiunii intrărilor asupra sistemului
- Intrări, ieșiri = semnale

Elicopter - exemplu de sistem



Figure: Elicopter

Intrări:

- puterea produsă de motoare
- manevrele pilotului
- vântul = perturbație

Ieșiri:

- poziția curentă (coord. x, y, z)
- orientarea
- viteza

Terminologie

Controlul unui pendul inversat

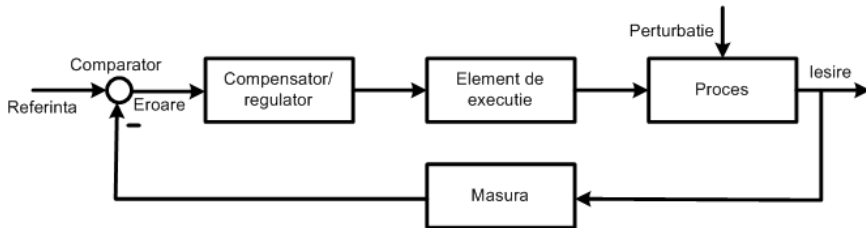


Figure: Elementele unui sistem de control

Schemă bloc. Intrare. Ieșire. Proces. Măsură. Semnale. Referință. Comparator. Compensator. Element de execuție. Perturbație. Buclă deschisă. Buclă închisă. Reacție negativă.

Sistem de control pentru HDD

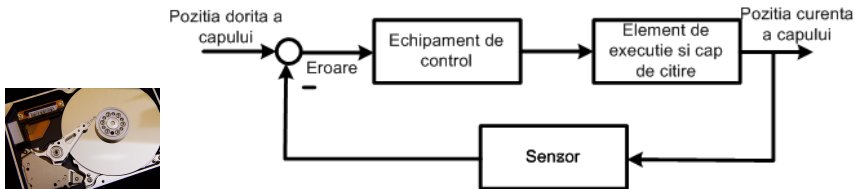


Figure: Sistem de control al unui hard disk

Exemple

- Reglarea temperaturii într-un cuptor (bucă închisă)
- Mașina de spălat: (bucă deschisă)
- Încălzirea centrală: (bucă închisă) vs. radiator(bucă deschisă)
- Sistemul de control al direcției unui automobil

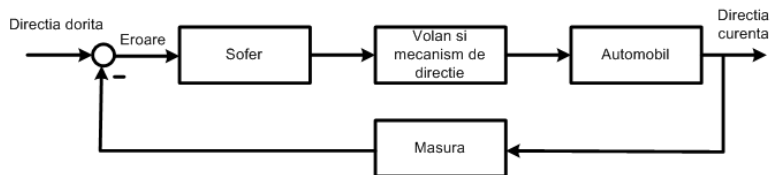
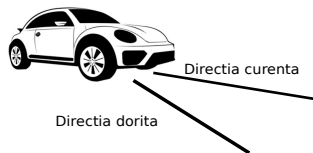




Figure: Maglev

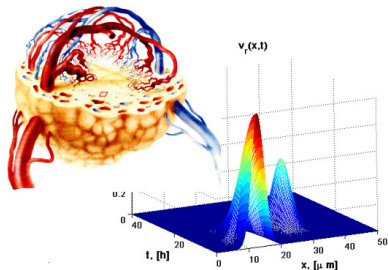


Figure: Controlul traficului





Figure: Industria chimică, energetică



- Modelarea matematică a sistemelor liniare invariante în timp. Funcții de transfer, scheme bloc
- Analiza sistemelor liniare continue. Caracteristici și performanță
- Stabilitatea sistemelor liniare continue
- Analiza sistemelor utilizând locul rădăcinilor
- Răspunsul în frecvență. Diagrame Bode
- Regulatori PID.
- Regulatori lead-lag
- Sisteme cu eșantionare. Sisteme de control numerice

Introducere în modelarea sistemelor

Paula Raica

Departamentul de Automatică

Str. Dorobantilor, sala C21, tel: 0264 - 401267

Str. Baritiu, sala M14, tel: 0264 - 401239

email: Paula.Raica@aut.utcluj.ro

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

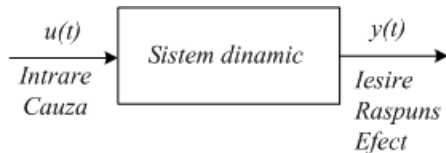
Introducere

Un **model matematic** este o ecuație sau un set de ecuații care descrie comportamentul unui sistem.

Două abordări pentru determinarea unui model:

- Modele cu parametri concentrați: pentru fiecare element al unui sistem se determină un model din legile fizicii.
- Identificarea sistemelor: se poate realiza un experiment și modelul se determină din rezultate..

Relația importantă este între intrarea și ieșirea sistemului.



Modele cu parametri concentrați

Sistemele studiate în acest curs sunt:

Liniare - respectă principiul superpoziției

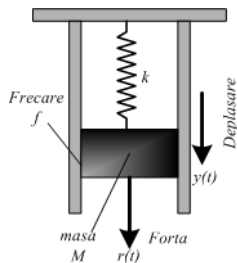
Stationare (sau invariabile în timp) - parametrii nu variază în timp

Deterministe - ieșirea sistemului se poate determina din intrarea sistemului la orice moment de timp

Exemple.

- Rezistența: $i(t) = \frac{1}{R} v(t)$
- Bobina: $i(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt$ or $v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$
- Condensatorul: $i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$

Exemplu. Sistem cu resort-amortizor



$$M \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + f \frac{dy(t)}{dt} + ky(t) = r(t)$$

unde: f -coeficient de amortizare, M - masa, k - constanta elastică a resortului.

Sisteme liniare. Principiul superpoziției

Un sistem se definește ca fiind liniar în termenii intrării $x(t)$ și ieșirii $y(t)$.

Principiul superpoziției

$$x_1(t) \rightarrow y_1(t)$$

$$x_2(t) \rightarrow y_2(t)$$

$$x_1(t) + x_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$$

Omogen

$$x(t) \rightarrow y(t)$$

$$mx(t) \rightarrow my(t)$$

Liniarizare

Sistem neliniar:

$$y = x^2$$

Sistem liniar?

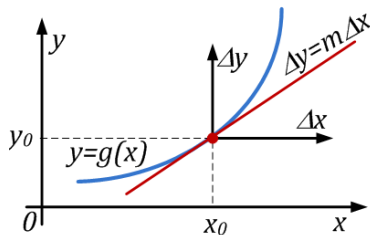
$$y = mx + b$$

Liniarizare în jurul unui punct de funcționare x_0, y_0 pentru variații mici Δx și Δy . Dacă $x = x_0 + \Delta x$ și $y = y_0 + \Delta y$:

$$y_0 + \Delta y = mx_0 + m\Delta x + b$$

și rezultă:

$$\Delta y = m\Delta x$$



Liniarizare

Intrare $x(t)$ și răspuns $y(t)$: $y(t) = g(x(t))$

Seria Taylor în jurul punctului de funcționare x_0 :

$$y = g(x) = g(x_0) + \left. \frac{dg}{dx} \right|_{x=x_0} \frac{x - x_0}{1!} + \text{termeni de ordin mai mare}$$

Panta în punctul de funcționare:

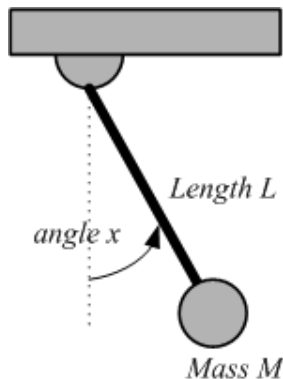
$$m = \left. \frac{dg}{dx} \right|_{x=x_0},$$

$$y = g(x_0) + \left. \frac{dg}{dx} \right|_{x=x_0} (x - x_0) = y_0 + m(x - x_0),$$

Ecuația poate fi rescrisă ca una liniară:

$$(y - y_0) = m(x - x_0) \text{ sau } \Delta y = m\Delta x$$

Exemplu - Pendulul



Cuplul:

$$T = MgL \sin(x)$$

Condiția de echilibru este $x_0 = 0^\circ$.

$$T - T_0 \cong MgL \frac{\partial \sin x}{\partial x} \Big|_{x=x_0} (x - x_0),$$

unde $T_0 = 0$.

$$T = MgL (\cos 0^\circ) (x - 0^\circ) = MgLx$$

Aproximarea este suficient de precisă pentru $-\pi/4 \leq x \leq \pi/4$.

Dacă variabila y depinde de $x_1, x_2, \dots, x_n$ printr-o funcție neliniară g :

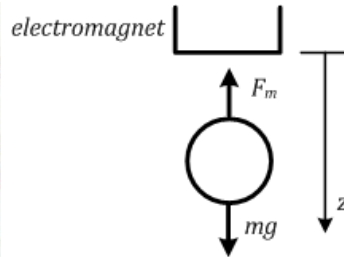
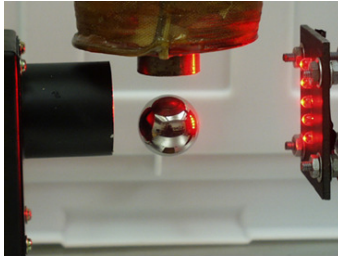
$$y = g(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

seria Taylor în jurul punctului de funcționare $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}$ (după neglijarea termenilor de ordin mai mare ca 1):

$$\begin{aligned} y = & g(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}) + \frac{\partial g}{\partial x_1} \Big|_{x=x_0} (x_1 - x_{10}) + \\ & + \frac{\partial g}{\partial x_2} \Big|_{x=x_0} (x_2 - x_{20}) + \dots + \frac{\partial g}{\partial x_n} \Big|_{x=x_0} (x_n - x_{n0}) \end{aligned}$$

Exemplu. Levitație magnetică

- Sistemul: un electromagnet cu miez de fier și o bilă de oțel care levitează.

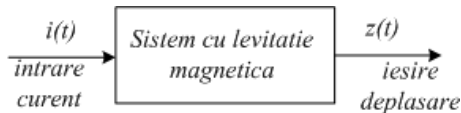


- Forța electromagnetică F_m :

$$F_m = C \frac{i^2(t)}{z^2(t)}$$

Exemplu. Levitație magnetică

- Intrare: curentul prin bobina electromagnetului $i(t)$
- Ieșire: deplasarea bilei $z(t)$



- ecuația de mișcare a bilei:

$$m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} = m \ddot{z}(t) = mg - C \frac{i^2(t)}{z^2(t)}$$

- Model neliniar !!!

Exemplu. Levitație magnetică - liniarizare

- Ecuația se rescrie:

$$g(\ddot{z}(t), z(t), i(t)) = m\ddot{z}(t) - mg + C \frac{i^2(t)}{z^2(t)} = 0$$

- Se alege un punct de funcționare: $(\ddot{z}_0, z_0, i_0)$ astfel încât

$$m\ddot{z}_0 = mg - C \frac{i_0^2}{z_0^2}$$

- Se scrie seria Taylor trunchiată în jurul punctului de funcționare:

$$\begin{aligned} 0 = g(\ddot{z}(t), z(t), i(t)) &\approx g(\ddot{z}_0, z_0, i_0) + \frac{\partial g}{\partial \ddot{z}}|_{(\ddot{z}_0, z_0, i_0)}(\ddot{z}(t) - \ddot{z}_0) + \\ &+ \frac{\partial g}{\partial z}|_{(\ddot{z}_0, z_0, i_0)}(z(t) - z_0) + \\ &+ \frac{\partial g}{\partial i}|_{(\ddot{z}_0, z_0, i_0)}(i(t) - i_0) \end{aligned}$$

Exemplu. Levitație magnetică - liniarizare

- Se calculează derivatele parțiale și se evaluează în punctul de funcționare. Seria Taylor devine:

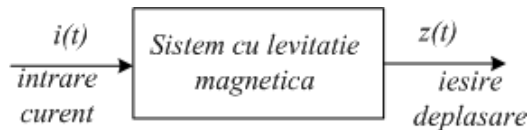
$$0 \approx 0 + m \cdot (\ddot{z}(t) - \ddot{z}_0) - 2C \frac{i_0^2}{z_0^3} \cdot (z(t) - z_0) + 2C \frac{i_0}{z_0^2} \cdot (i(t) - i_0)$$

- Se notează variațiile în jurul punctului de funcționare cu: $\Delta\ddot{z}(t) = \ddot{z}(t) - \ddot{z}_0$, $\Delta z(t) = z(t) - z_0$ and $\Delta i(t) = i(t) - i_0$
- Rezultă o ecuație diferențială liniară cu variabilele: $\Delta\ddot{z}(t)$, $\Delta z(t)$, $\Delta i(t)$:

$$m\Delta\ddot{z}(t) = 2C \frac{i_0^2}{z_0^3} \Delta z(t) - 2C \frac{i_0}{z_0^2} \Delta i(t)$$

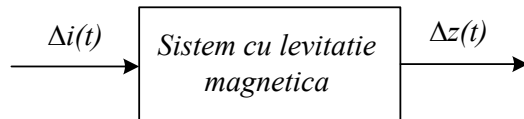
Exemplu. Levitație magnetică - liniarizare

Model neliniar



$$m\ddot{z}(t) = mg - C \frac{i^2(t)}{z^2(t)}$$

Aproximarea liniară



$$m\Delta\ddot{z}(t) = 2C \frac{i_0^2}{z_0^3} \Delta z(t) - 2C \frac{i_0}{z_0^2} \Delta i(t)$$

- R.C.Dorf, R.Bishop, "Modern Control Systems", Addison-Wesley, 2011;
- K.Ogata , "Modern Control Engineering", Prentice Hall, 1990.
- K.Dutton, S. Thompson, B. Barraclough, "The Art of Control Engineering", Addison-Wesley, 1997
- M. Hângănuț, Teoria sistemelor, UTCluj, 1996
- T. Coloși, Elemente de teoria sistemelor si reglaj automat, UTCluj, 1981

To do

- Revedeți:
 - Ecuații diferențiale
 - Numere complexe
 - **Transformata Laplace**