

CAPITOLUL I: SISTEME DINAMICE. TERMINOLOGIE

§ 1.1 Conceptul de sistem. Conceptul de semnal

1. Ce este un sistem? Ce este un semnal?

Un sistem este o mulțime de obiecte care prin interconectare alcătuiesc un ansamblu structurat, unitar, bine încadrat în timp, bine delimitat spațial față de mediul exterior de care este influențat, ansamblu care are un anumit scop și îndeplinește o anumită funcție.

În consecință, un sistem se caracterizează prin:

- ✓ conectivitate (corespunde interconectării);
- ✓ încadrare în timp;
- ✓ delimitare față de mediu (ceea ce nu exclude interconectarea cu acesta);
- ✓ exercitarea unei funcții corespunzătoare unui anumit scop.

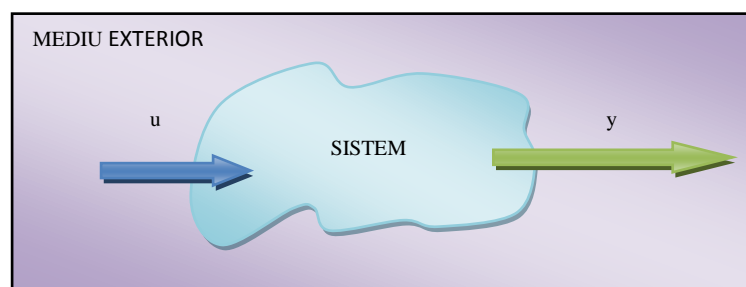
În teoria sistemelor operăm cu obiecte abstracte – mai exact, cu modele matematice ale sistemelor fizice. Modelele matematice (MM) sunt sisteme abstracte care reprezintă o imagine mai mult sau mai puțin corectă (de aproximare) a sistemelor fizice.

Obiectele unui sistem fizic interacționează, interacțiunile realizându-se prin fluxuri de energie / masă / informație. Variațiile fluxurilor la tranziția prin sisteme sunt denumite *proces*. Vorbim despre procese de transfer de energie / masă / informație. Modelele matematice, imagini ale sistemelor fizice, redau transferurile numai din punct de vedere informațional.

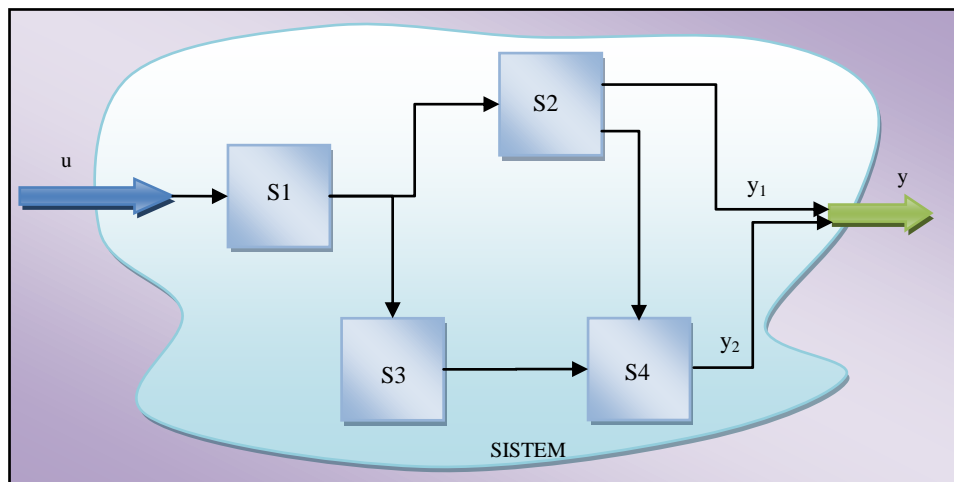
Fluxurile care realizează legătura dintre două obiecte (în cazul sistemelor fizice) se descriu prin mărimi fizice care variază în timp. În mod obișnuit, variațiile în timp ale mărimilor le numim *semnale (fizice)* și le modelăm prin funcții de timp denumite tot *semnale*. Semnalele sunt funcții de timp purtătoare de informație.

Mărimile prin care un sistem interacționează cu mediul exterior se numesc mărimi sau semnale de interfațare. Distingem două categorii:

- ✓ *mărimi de intrare* - u ;
- ✓ *mărimi de ieșire* - y .



Prin *structura unui sistem* înțelegem atât elementele componente (subsisteme) ale sistemului (în figură acestea sunt S1, S2, S3 și S4), cât și modul în care sunt interconectate. Structura (arhitectura) sistemului redă un mod de configurare a obiectelor corespunzător rolului atribuit sistemului.



Ca ipoteză fundamentală de lucru considerăm că „semnalele de ieșire rezultă prin prelucrarea de către sistem a semnalelor de intrare”. Se numește *orientare a sistemului* precizarea mărimilor de intrare și a celor de ieșire. Spunem că „sistemul este orientat de la u la y ” și scriem $u \rightarrow y$.

La modul general, u și y sunt mărimi vectoriale. Operăm doar cu vectori coloană. Ei se scriu cu literă mică.

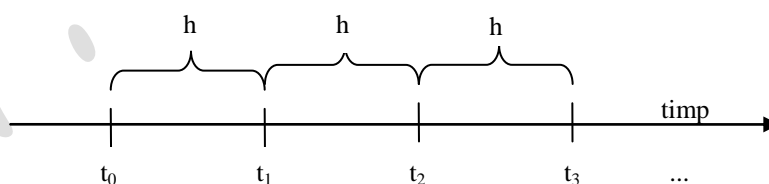
$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix}, \text{ de dimensiune } (m, 1); \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{bmatrix}, \text{ de dimensiune } (p, 1)$$

Ca urmare, vectorii linie se scriu ca transpuse ale vectorilor coloană.

Mulțimea timp pe care sunt definite intrările și ieșirile unui sistem se notează cu T . T poate fi o mulțime:

- ✓ continuă, în particular $T = \mathbf{R}$ sau $T = \mathbf{R}_+$, caz în care vorbim despre *semnale în timp continuu* și despre *sisteme cu semnale în timp continuu*;
- ✓ de momente discrete $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$, cu $t_1 < t_2 < t_3 < \dots$, în particular \mathbf{Z} sau \mathbf{N} ($T = \mathbf{N} = \{0, 1, 2, \dots\}$), caz în care vorbim despre *semnale în timp discret* și despre *sisteme cu semnale în timp discret*.

În general, în cazul utilizării echipamentelor numerice, timpul este discretizat cu pas constant (prin momente echidistante).



Cantitatea h se numește *pas de discretizare (a timpului)*. Întrucât la momentele de discretizare a timpului valorile semnalelor se asociază prin eșantionare, h este denumit adeseori și *pas de eșantionare*.

Dacă $t_0 = 0$ și $t_k = k \cdot h$, $k \in \mathbf{N}$, variabila $k = \frac{t_k}{h}$ are semnificația de *timp în valori normate* sau, *simply*, *timp normat*.

În acest context, pentru valorile unei semnal în timp discret f (un semnal) care provine dintr-un semnal în timp continuu prin eșantionare se folosesc următoarele notații echivalente: $f(t_k) = f(k \cdot h) = f[k]$. Întrucât k are semnificația de timp normat convenim să folosim în locul notației $f[k]$ notația $f[t]$.

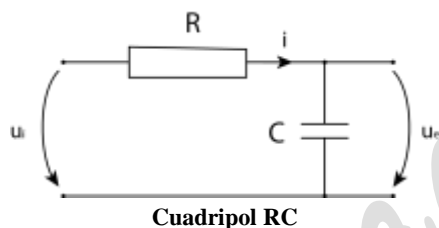
Deci:

- ✓ valoarea unui semnal f în timp continuu la momentul $t \in T \subseteq \mathbf{R}$ se notează cu $f(t)$, timpul t fiind „timp absolut”, exprimat în secunde;
- ✓ valoarea unui semnal f în timp discret la momentul $t \in T \subseteq \mathbf{Z}$ se notează cu $f[t]$, timpul t fiind „timp normat”, adimensional. Timpul absolut căruia i se asociază această valoare este $t \cdot h$.

Întrucât $f[t]$ reprezintă valoarea unui semnal în timp discret la momentul curent t , pentru a pune în evidență întreg semnalul folosim notația de mulțime: $\{f[t]\}_{t \in T}$.

Iată câteva exemple de sisteme:

Exemplul 1: Cuadripolul RC din figură, considerat ca sistem cu orientarea $u_i \rightarrow u_e$, are MM în timp continuu (1).



$$u_i(t) = R \cdot i(t) + u_e(t), \quad u_e(t) = u_e(0) + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i(\tau) d\tau \Rightarrow i(t) = C \cdot \dot{u}_e(t) \Rightarrow RC \cdot \dot{u}_e(t) + u_e(t) = u_i(t) \quad (1)$$

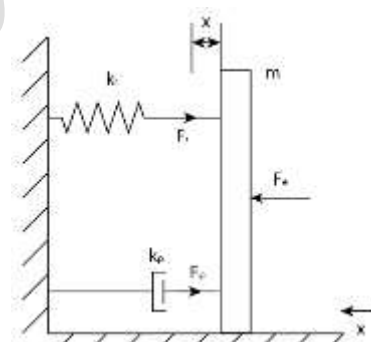
Exemplul 2: Sistemul resort-amortizor din figură cu orientarea $F_e \rightarrow x$ are MM în timp continuu (2) (pentru $m \neq 0$) sau (2') (pentru $m = 0$).

$$F_r(t) = k_r \cdot x(t), \quad F_p(t) = k_p \cdot \dot{x}(t) \Rightarrow m \cdot \ddot{x}(t) = F_e(t) - k_r \cdot x(t) - k_p \cdot \dot{x}(t)$$

$$\Rightarrow m \cdot \ddot{x}(t) + k_p \cdot \dot{x}(t) + k_r \cdot x(t) = F_e(t) \quad (2)$$

$$m = 0 \Rightarrow k_p \dot{x}(t) + k_r x(t) = F_e(t) \quad (2')$$

(2) și (2') sunt MM ale aceluiași sistem fizic. Ele furnizează imagini ale realității, pe care o redau cu diferite grade de aproximare.



Se observă că (1) și (2') sunt sisteme de aceeași formă, anume:

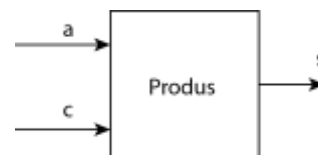
$$a_1 \cdot \dot{y}(t) + a_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot u(t) \quad (3)$$

Exemplul 3:

Considerăm o magazie în care urmărim un singur produs. Ne interesează stocul din acel produs la începutul fiecărei zile de lucru. Avem de a face cu un sistem în timp discret. Stocul poate fi urmărit cu modelul:

$$s[t+1] = s[t] + a[t] - c[t] \quad (4),$$

unde $s[t]$ reprezintă stocul la începutul zilei t , $a[t]$ reprezintă aprovizionarea din ziua t , iar $c[t]$ reprezintă consumul din ziua t . Modelul (4) are orientarea: $\{a, c\} \rightarrow \{s\}$.



2. Sistem dinamic

Principala categorie de sisteme care ne interesează sunt sistemele dinamice, adică sistemele care prezintă inerție. *Faptul că un sistem are caracter dinamic (sistem dinamic) înseamnă că mărimile (semnalele) sistemului se modifică în timp, în contextul în care caracterizarea lor la un moment dat (valorile lor de la momentul dat) este în corelație cu caracterizările de la alte momente (valorile lor de la alte momente) prin intermediul structurii sistemului.*

În cazul sistemului (4), caracterizarea de la momentul $t+1$, $s[t+1]$, este în corelație cu caracterizarea de la momentul t , care apare prin $s[t]$, $a[t]$ și $c[t]$.

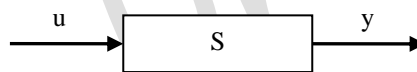
În cazul modelului (3), caracterul dinamic apare prin prezența derivatei $\dot{y}(t)$, întrucât

$$\dot{y}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{(t + \Delta t) - t}.$$

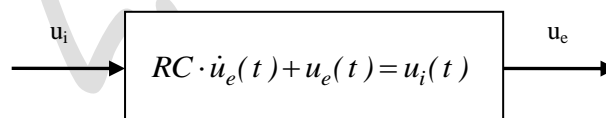
Inerția unui sistem este evidențiată în diferite forme. În mod frecvent se folosește un parametru numit „constantă de timp”. Cu cât inerția sistemului este mai mare, cu atât valoarea constantei de timp este mai mare. În particular, pentru sistemul (1) constanta de timp este egală cu $R \cdot C$, iar pentru sistemul (3) cu raportul a_1/a_0 .

În unele cazuri lucrăm și cu sisteme neinerțiale introduse de cele mai multe ori ca modele idealizate ale sistemelor fizice. De exemplu sistemul $y(t) = k \cdot u(t)$, cu k constant, numit *sistem de tip proporțional*, este neinerțial. Ieșirea y variază instantaneu și proporțional cu intrarea u fără a depinde de valori ale lui y și u de la momente anterioare.

Un sistem dinamic îl reprezentăm în mod obișnuit printr-o *schemă bloc* care evidențiază orientarea sistemului:



Săgețile corespund semnalelor și sunt însoțite de numele semnalelor. Blocul dreptunghiular corespunde proceselor (interacțiunilor) din sistem. De la caz la caz, în interiorul blocului se inscripționează anumite informații. Bunăoară, sistemul (1) poate fi reprezentat astfel:



Simbolizarea prin scheme bloc nu detaliază procesele reale din sistem, ci doar dependența dintre intrare și ieșire. În acest context se folosește noțiunea de *black box* (un bloc care nu oferă nic o informație despre ceea ce se petrece în interior).

3. Aspectul causal

În sistemele dinamice, în care au loc interacțiuni redacte cu ajutorul semnalelor, unele semnale au rol de mărimi cauză, iar altele de mărimi efect.

Prin sintagma „aspect causal” se exprimă atât faptul că *în lipsa cauzei nu putem avea un efect*, cât și faptul că *efectul este întotdeauna o consecință a cauzei, neputând să preceadă cauza*.

Calitativ, cauzalitatea este sugerată de orientarea sistemului. Acest lucru nu este suficient întrucât cauzalitatea trebuie pusă în evidență și prin MM al sistemului. Din punct de vedere matematic, studiul problemei a condus la următoarea definiție:

Se consideră un sistem cu semnale definite pe $T = \mathbf{R}$ (semnale bilaterale). Sistemul este cauzal dacă, pentru oricare două semnale de intrare, $u_1(t)$ și $u_2(t)$ care coincid până la un moment t_0 , răspunsurile la cele două semnale sunt de asemenea identice până la momentul t_0 .

Definiția dată are inconvenientul de a opera cu semnale definite pe \mathbf{R} . Practic, ne interesează însă procesele care au loc începând cu un moment dat t_0 în prezența unui semnal de intrare dat. Plecând de la definiția cauzalității această situație se tratează folosind semnale unilaterale și condiții inițiale. Astfel: i) se consideră că orizontul de timp \mathbf{T} începe cu momentul t_0 , context în care t_0 este denumit *moment inițial* (de exemplu $t_0 = 0$); ii) semnalul de intrare se consideră numai pe orizontul de timp \mathbf{T} (pentru $t \geq t_0$); iii) potrivit modelului matematic utilizat se asociază semnalelor caracteristice ale sistemului la momentul t_0 și/sau la momente anterioare valori concrete denumite *condiții inițiale*; ele sintetizează preistoria sistemului (ceea ce s-a întâmplat până la momentul t_0).

De exemplu, pentru sistemul (1), studiul a ceea ce se întâmplă începând de la un anumit moment când $u_e = u_{e0}$ se poate face considerând $t_0 = 0$, redefinind pe $u_i(t)$ pentru $t \geq 0$ și considerând condiția inițială $u_e(0) = u_{e0}$.

În cazul sistemului (4), pentru a putea face calculele pentru orice valoare a lui $t \in N$, trebuie să cunoaștem atât $a[t]$ și $c[t]$ pentru $t \in N$ cât și condițiile inițiale $s[-1]$, $a[-1]$ și $c[-1]$.

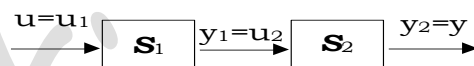
4. Sub sisteme. Conexiuni de sisteme. Separabilitate

În măsura în care obiectele ce configurează un sistem au o funcționalitate distinctă le numim subsisteme. Configurarea este asociată întotdeauna cu o ierarhizare a subsistemelor, în sensul că pot fi întâlnite mai multe niveluri de subsisteme (un subsistem poate fi, la rândul său format din subsisteme).

Caracteristicile unui anumit sistem sunt consecință a caracterului subsistemelor componente precum și a modului de interconectare. În acest context spunem că *un sistem are caracter holistic*. Prin aceasta înțelegem că proprietățile sistemului reprezintă mai mult decât suma proprietăților elementelor componente, ele rezultând atât din proprietățile subsistemelor componente cât și din modul de configurare, adică din întreaga structură.

Distingem 3 conexiuni fundamentale de subsisteme:

1. Conexiunea serie (structură în cascadă)

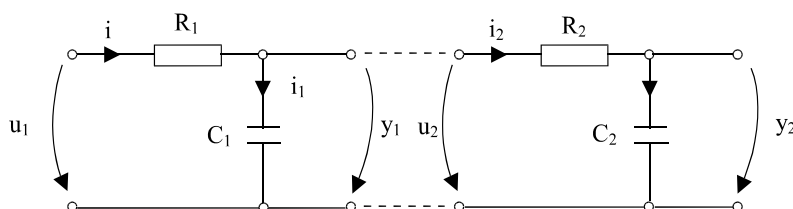


S_1 se numește *element amonte*, iar S_2 *element aval*. Numele semnalelor sunt raportate, pe de-o parte, la subsistemul cărora le corespund (u_1, y_1 și u_2, y_2), pe de altă parte, la întregul sistem (u, y).

Atunci când modul de comportare al subsistemului S_1 (transferul de informație prin S_1) nu este influențat de prezența subsistemului S_2 și invers, spunem că *subsistemele sunt separabile* în raport cu modul de interconectare. Este vorba de o separabilitate din punct de vedere informațional.

Exemplu:

Considerăm doi cuadripoli RC orientați $u \rightarrow y$, cu modelele matematice $R_1 C_1 \cdot \dot{y}_1(t) + y_1(t) = u_1(t)$ (1), respectiv $R_2 C_2 \cdot \dot{y}_2(t) + y_2(t) = u_2(t)$.



Dacă cei doi cuadripoli sunt interconectați electric (legătura reprezentată cu linie întreruptă), modelul matematic ce descrie legătura dintre u_1 și y_1 (intrarea și ieșirea primului cuadripol) diferă de cazul anterior.

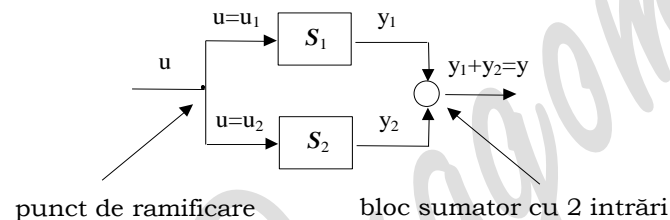
$$R_1 C_1 R_2 C_2 \ddot{y}_1(t) + R_1 C_1 \left(1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}\right) \dot{y}_1(t) + y_1(t) = R_2 C_2 \dot{u}_1(t) + u_1(t) \quad (2)$$

Transferul de informație prin primul cuadripol nu se mai face corespunzător modelului (1). Deci, primul cuadripol nu este separabil față de cel de al doilea cuadripol în raport cu modul de interconectare. Ca urmare, pentru circuitul considerat nu putem folosi o reprezentare printr-o schemă bloc serie ca cea din figura de principiu în care S_1 să corespundă primului cuadripol iar S_2 celui de al doilea cuadripol.

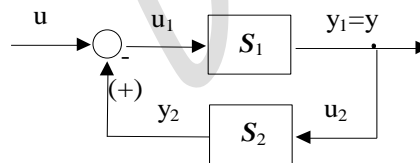
Din punct de vedere tehnic, separabilitatea se asigură interpunând între elementele interconectate subsisteme de cuplare care se caracterizează printr-o impedanță de intrare foarte mare și o impedanță de ieșire foarte mică.

Pentru toate conexiunile care urmează presupunem îndeplinită *condiția de separabilitate*. Ca urmare, modelele lui S_1 și S_2 se consideră valabile în ansamblul modelului sistemului.

2. Conexiunea derivație



3. Conexiunea cu reacție



În cadrul conexiunii cu reacție distingem:

- ✓ calea directă ($u \rightarrow y$);
- ✓ calea de reacție ($y \rightarrow y_2$);
 - dacă $u_1 = u - y_2$, reacția se numește negativă;
 - dacă $u_1 = u + y_2$, reacția se numește pozitivă.

Pe baza separabilității putem spune că modelul matematic inițial al conexiunii cu reacție este următorul:

$$\begin{aligned} u_1 &= u \mp y_2 \\ y &= y_1 = u_2 \\ \text{MM al sistemului } S_1 \\ \text{MM al sistemului } S_2 \end{aligned}$$

Reacția negativă are caracter stabilizator, în sensul că, într-un sistem cu reacție negativă dacă $u(t) = \text{const.}$ mărimile $y(t)$ sau secvența $\{y[t]\}$ se stabilizează, de regulă, la o anumită valoare constantă.

Reacția negativă este specifică tuturor proceselor din natură care se găsesc în stare de echilibru (inclusiv în organismul uman). În tehnică, reacția negativă a fost „descoperită” (regulatorul centrifugal al lui Watt https://en.wikipedia.org/wiki/Control_system). Existența ei în natură a fost conștientizată ulterior.

Conexiunile serie și derivație pot fi generalizate pentru un număr oricât de mare de elemente, dar finit. Conexiunea cu reacție nu poate fi generalizată.

Toate schemele bloc din cadrul cursului sunt concepute în ideea că sistemele sunt separabile în raport cu modul de interconectare. Din punct de vedere matematic, separabilitatea este importantă prin faptul că permite compunerea de funcții, respectiv de operatori prin operații de substituție.

5. Tipuri de semnale în tehnică

În secțiunea 1 am definit semnalul ca fiind o funcție de timp asociată variațiilor unei mărimi prin care se caracterizează interacțiunea dintre două sisteme. Totodată, am vorbit despre sisteme cu semnale în timp continuu și sisteme cu semnale în timp discret.

La modul general, un semnal este o aplicație de forma $\chi : T \rightarrow M$, χ fiind numele semnalului, T domeniul de definiție, așa-numita mulțime timp (orizont de timp), iar M mulțimea în care semnalul ia valori. Astfel de semnale se numesc *monodimensionale*. Exemple: amplitudinea curentului într-un circuit electric $i(t)$, deplasarea liniară a unui sistem mecanic $x(t)$, debitul printr-o conductă $q(t)$, soldul într-un cont bancar $s[t]$.

În tehnică se folosesc și semnale *multidimensionale*, de exemplu: imaginea de pe un monitor – este o funcție atât de timp cât și de două coordonate geometrice, temperatura într-o sală de concert – este o funcție atât de timp cât și de trei coordonate geometrice.

În teoria sistemelor un sistem este privit ca un operator definit pe o mulțime de semnale de intrare, cu valori într-o mulțime de semnale de ieșire. Spunem că el descrie *transferul de la intrare la ieșire*.

În mod obișnuit un sistem în timp continuu este reprezentat prin ecuații diferențiale:

- ✓ în cazul semnalelor monodimensionale, folosim *ecuații diferențiale ordinare* și vorbim de sisteme cu parametri concentrați;
- ✓ în cazul semnalelor multidimensionale, folosim *ecuații diferențiale cu derivate parțiale* și vorbim de sisteme cu parametri distribuiți.

Sistemele în timp discret sunt reprezentate de regulă prin ecuații cu diferențe (ecuații recursive).

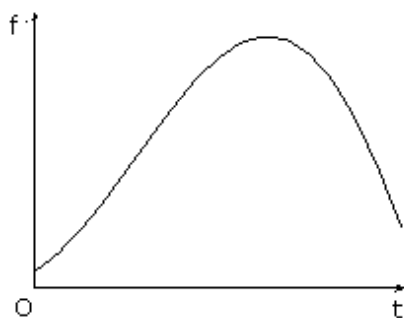
Pentru semnalele monodimensionale e valabilă clasificarea din tabel (denumită clasificarea **T-M**):

T (timp) →	continuu	discret
↓ M (amplitudine)		
continuu	semnal analogic (SA)	semnal eșantionat (SE)
discret	semnal în timp continuu cuantizat în amplitudine (STCCA)	semnal digital (numeric) (SN)

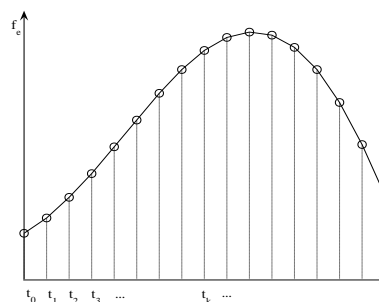
Prin *cuantizare* înțelegem un proces de reprezentare a unei variabile continue prin valori discrete obținute ca parte întreagă a valorii raportului dintre valorile pe care le ia variabila continuă și o cantitate prestabilită denumită cuantă. Uneori se consideră partea întreagă menționată plus o unitate. Valorile discrete asociate se numesc *valori cuantizate*. *Discretizarea timpului* prin normare (împărțire la pasul h) este tot un tip de *cuantizare*.

Prin *eșantionarea* unui semnal în timp continuu se înțelege înlocuirea semnalului cu un șir de valorile ale sale asociate unui șir de momente de timp, șir ce formează un semnal în timp discret.

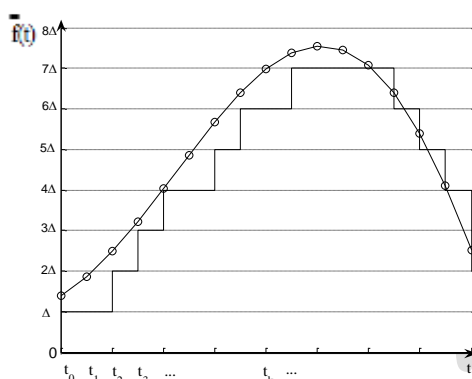
Figurile de mai jos exemplifică cele 4 tipuri de semnale din tabel.



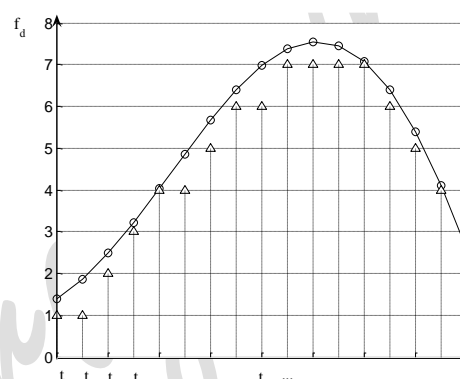
Reprezentarea grafică a unui semnal analogic



Reprezentarea grafică a unui semnal eșantionat (puncte discrete rezultate dintr-un semnal analogic prin cuantizarea timpului)



Reprezentarea grafică a unui semnal în timp continuu cuantizat în amplitudine (semnal scară)
(momentelor de discretizare a timpului li se asociază valori ale semnalului egale cu cel mai mare multiplu al numărului de cuante mai mic, cel mult egal cu valoarea semnalului analogic din momentul respectiv)

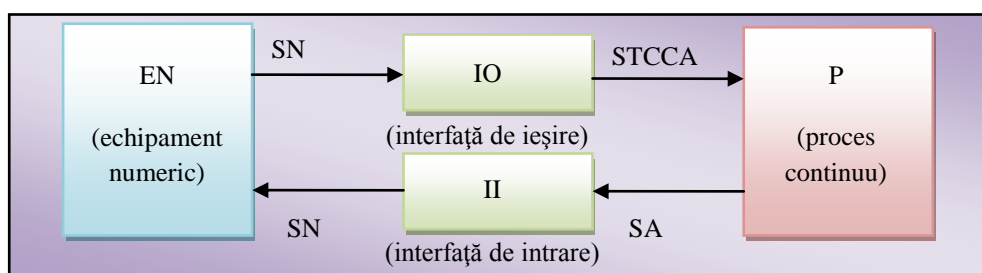


Reprezentarea grafică a unui semnal digital (graficul este alcătuit din puncte discrete)
(rezultă prin eșantionarea la momentele de discretizare a timpului a semnalului în timp continuu cuantizat în amplitudine)

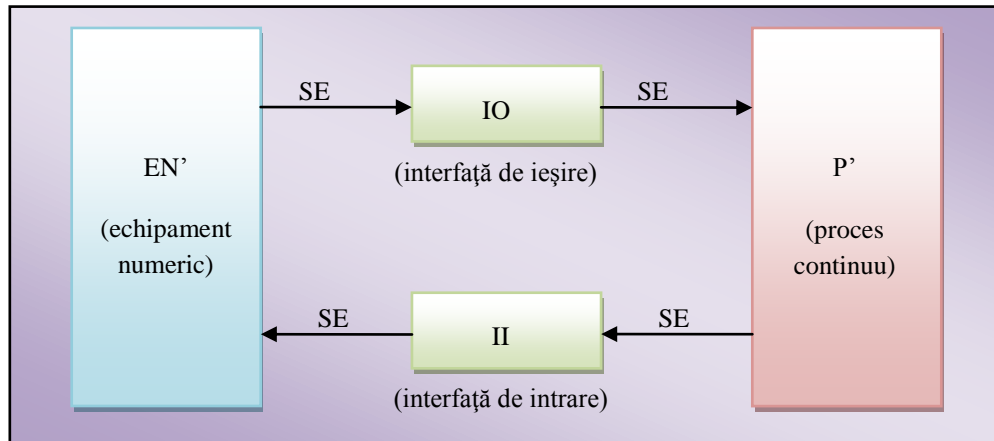
Un *semnal binar* este un semnal care poate lua doar două valori (mulțimea M conține doar două valori).

În tehnică se întâlnesc sisteme hibride, alcătuite din subsisteme care lucrează în timp continuu și subsisteme care lucrează în timp discret. În cadrul acestor structuri se regăsesc, într-o formă sau alta, toate tipurile de semnale din tabel. Ca exemplu considerăm structura din figura următoare care apare în cadrul sistemelor de conducere numerică a proceselor. Ea cuprinde 4 blocuri având la intrare și ieșire diferite tipuri de semnale:

- ✓ *procesul condus P* (la intrare i se aplică un STCCA, iar la ieșire furnizează un SA);
- ✓ *echipamentul numeric de conducere EN* (semnalele de intrare și de ieșire sunt SN);
- ✓ *interfața de ieșire IO* (din punctul de vedere al EN) (este un convertor numeric-analogic);
- ✓ *interfața de intrare II* (din punctul de vedere al EN) (este un convertor analogic-numeric).



Pentru a putea trata matematic o astfel de structură, este necesar să folosim un model de sistem care să folosească un singur tip de semnale. În acest context se folosesc *semnale eșantionate* (SE), așa cum se arată în figura de mai jos. Deosebirea dintre semnalele eșantionate și semnalele digitale (așa cum au fost ele definite) constă în faptul că, spre deosebire de semnalele digitale, semnalele eșantionate nu sunt cuantizate în amplitudine.



EN' și P' indică faptul că pentru tratarea unitară a sistemului se folosesc, atât pentru echipamentul numeric cât și pentru proces, modele de aproximare care lucrează cu semnale eșantionate. De aceea, structura este denumită în mod frecvent *sistem cu semnale eșantionate*.

6. De la semnale și sisteme la teoria sistemelor și automatizări

Conceptele de semnal și sistem sunt de importanță fundamentală pentru teoria sistemelor și pentru domeniile în care aceasta se aplică, în particular în automatică. În acest context considerăm un exemplu.

Hard disk drive-ul (HDD) reprezintă o memorie nevolatilă, de capacitate mare, care este folosită pentru stocarea datelor la calculatoare și la alte sisteme de procesare de date. HDD-urile actuale ating la capacități de 14TB de date stocabile pe 5 (-7) platane de 3.5" sau 2.5" (1" = 2.54 cm.) diametru, fiecare cu rata de transfer de 6Gbit/sec și viteză de rotație de până la 15.000 rpm.

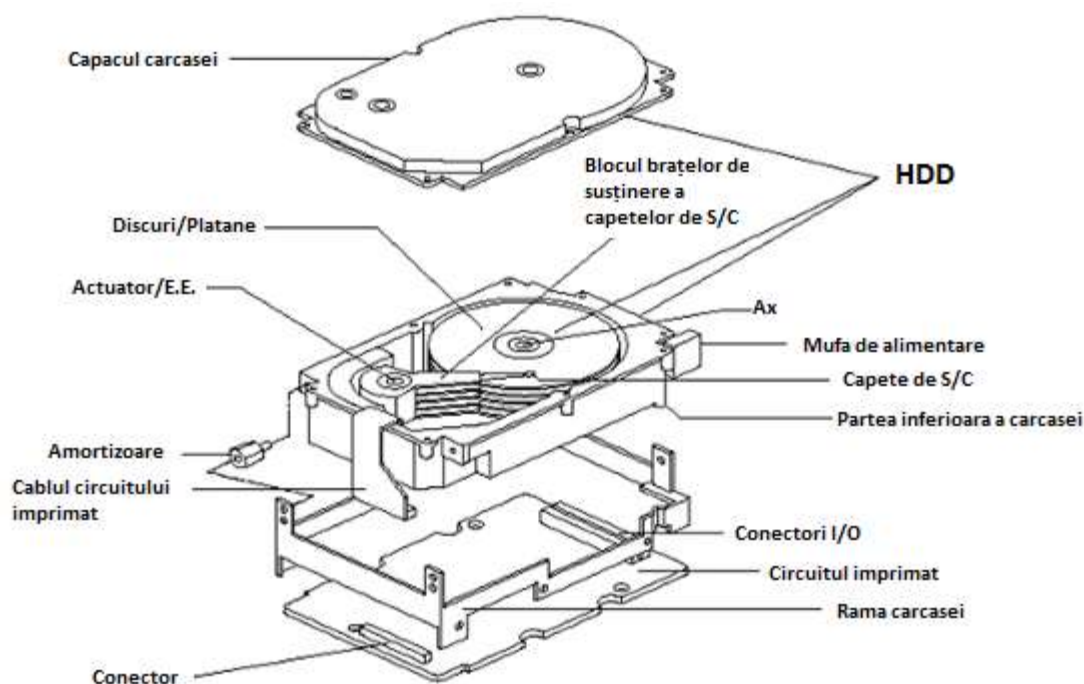
În figură sunt prezentate componentele fizice ale unui HDD tipic.

Din punct de vedere funcțional HDD conține amplasate într-o carcasă etanșă două *sisteme de acționare*:

- un sistem pentru *poziționarea brațului purtător al capetelor de scriere și citire (sistem de poziționare a capetelor)*,
- un sistem pentru *antrenarea discurilor (platanelor)*.

Din punct de vedere sistemic ambele sisteme de acționare sunt *sisteme de reglare (sisteme de conducere automată în circuit închis)*.

- *Sistemul de poziționare a capetelor* este un sistem de acționare electromecanic comandat prin curentul de alimentare a actuatorului (un motor electric cu bobină mobilă). Sistemul de poziționare constă din: actuator, cablu de date sau circuit imprimat, brațe purtătoare ale capetelor de S/C (scriere/citire), denumite brațele port-capete, și siguranțe mecanice, folosite în caz de șoc mecanic sau la atingerea limitelor de manevră. Sistemul este destinat scrierii/citirii pe/de pe platane a datelor folosind capetele de S/C montate dedesubtul și deasupra fiecărui platan. Pe fiecare platan există piste circulare împărțite în sectoare, aliniate astfel încât să fie accesabile prin rotirea simultană a brațelor port-capete.



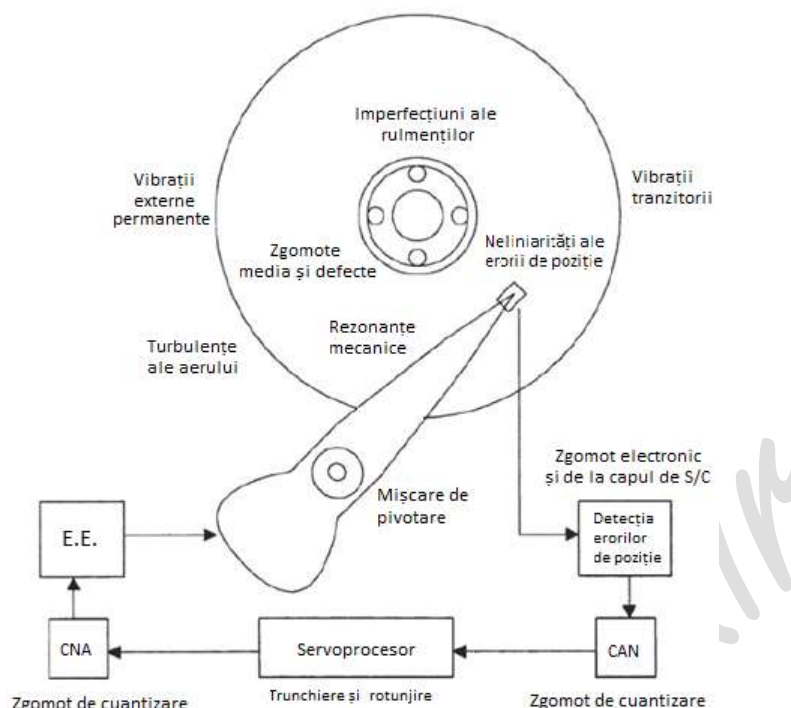
Pentru a realiza viteze mari de transfer, capetele de S/C se roteasc rapid fără a intra în contact cu platanele. Distanța dintre capetele de S/C și discuri este micrometrică pentru a nu avea nevoie de curenți prea mari de scriere. Discurile nu au forma geometrică perfectă (prezintă ondulații), iar distanțarea dintre disc și capetele de scriere și citire se realizează aerodinamic, pe principiul pernei de aer, capetele „plutind” în vecinătatea suprafețelor platanelor aflate în mișcare de rotație. Acest lucru se obține prin forma specială a capetelor, care generează portanță, și prin folosirea unui sistem elastic de suspensie a fiecărui cap față de suport (braț port-capete), care permite adaptarea la suprafața platanului. Din cauza distanței foarte mici cap-disc și a vitezei relative foarte mari, o particulă foarte mică de murdărie poate provoca distrugerea discului (zgărirea acestuia). De aceea, etanșizarea interiorului carcasei este esențială.

- *Sistemul pentru antrenarea discurilor* reprezintă un al doilea sistem de acționare al HDD. El realizează rotirea platanelor cu viteză constantă, respectiv porniri și opriri line pe parcursul a mii de ore de folosință continuă (ansamblul trebuie să fie foarte fiabil). Antrenarea pachetului de discuri este realizată prin montarea pachetului pe arborele unui motor. În acest context componentele critice ale acționării sunt cei doi rulmenți din lagăre.

În principiu, un cap S/C trebuie să urmărească la un moment dat o pistă prescrisă și să se poziționeze în dreptul ei cu o eroare radială cel mult egală cu o valoare maxim admisibilă denumită TMR (track misregistration). TMR trebuie să fie $< 10\%$ din lățimea pistei (track pitch). De exemplu pentru un HDD de 3.5" cu 25 kTPI (*Tracks Per Inch*) lățimea pistei este de $1\mu\text{m}$, iar TMR trebuie să fie $< 0.1\mu\text{m}$. Limitarea erorii radiale se realizează concepând *sistemul de poziționare a capetelor* ca un sistem de reglare care urmărește pista pe principiul reducerii la 0 (zero) a erorii radiale la nivelul capului S/C activ la un moment dat. Un astfel de sistem se numește sistem de urmărire sau *servosistem*. Proiectarea servosistemului, în particular a algoritmilor după care lucrează servoprocessorul (vezi figura următoare), impune o analiză riguroasă a cauzelor erorilor de poziționare și elaborarea unor tehnici de reglare pentru compensarea acestor cauze și creșterea valorii TPI. Figura de mai jos prezintă un servosistem tipic pentru capul de S/C al unui HDD.

Figura indică, pe de-o parte, bucla de reglare și semnalele aferente, iar pe de altă parte sursele de perturbații și erori, asociabile cu semnale adecvate. Servoprocessorul comandă mișcarea de pivotare ceea ce înseamnă mișcarea de aducere a capetelor de S/C în dreptul pistei prescrise și de menținere a capetelor în stricta vecinătate a acesteia în sensul celor precizate.

În ordinea descrescătoare a mărimii impactului (negativ) asupra performanțelor de reglare ale servosistemului, sursele perturbațiilor sunt:



- i. Șocurile externe și vibrațiile care apar la dispozitivele portabile;
- ii. Histerezisul și excentricitățile rulmenților (lagărelor cu rulmenți);
- iii. Eroarea de estimare a vitezei de rotație a platanelor în cursul așezării pe pistă a capetelor de S/C;
- iv. Neliniariitățile și inexactitățile componentelor sistemului;
- v. Rezonanțele mecanice asociate suspensiei, elementului de execuție (actuador), platanelor și carcasei;
- vi. Zgomotele electronice în canalele de la intrarea și ieșirea din servoprosesor;
- vii. Variațiile abaterilor de poziție cauzate de deformări termice sau de altă natură.

În cursul funcționării HDD, cele două sisteme de acționare interacționează în diferite moduri. De exemplu, atunci când discurile nu se mai rotesc, nu mai există perna de aer dintre discuri și capetele de S/C, iar acestea tind să atingă suprafața discurilor. Atingerea este permisă numai pe o zonă de disc care nu conține informații, numită LZ (*landing zone*). LZ are rolul de „loc de parcare pentru capetele de S/C” și are o acoperire specială. Retragerea capetelor în această zonă se comandă de către servoprosesor înainte de oprirea alimentării motorului de antrenare a discurilor.

Exemplul HDD ilustrează ideea că unul dintre domeniile în care se folosește foarte mult conceptul de sistem este cel al automatizărilor, prezent inclusiv în tehnica de calcul. Conceptul este folosit în faza de adoptare a structurii ansamblului, în faza de modelare a subsistemelor și interacțiunii cu mediul exterior, respectiv în faza de proiectare a algoritmilor de conducere (în exemplul anterior este vorba despre algoritmi transpuși în servoprosesor).

Principalele definiții care trebuie date în contextul de mai sus sunt următoarele:

Teoria sistemelor reprezintă ansamblul de cunoștințe, independente de aplicații, capabile de a da *interpretări și explicații asupra structurii și funcționalității sistemelor de orice natură*. Ea se bazează în mare măsură pe importarea și utilizarea unor rezultate remarcabile din matematică, mecanică, electrotehnică și tehnica informației. Teoria sistemelor se ocupă de *modalități de descriere, caracterizare, transformare și prelucrare a semnalelor prin sisteme*. Sarcina ei este de a furniza modele pentru sistemele care există în realitate, modele care sunt denumite sisteme, și metode de calcul cu aceste modele. Problemele abordate se referă în primul rând la:

- ✓ *Caracterizarea sistemelor în corelație cu cea a semnalelor pentru a arăta cum reacționează un sistem la o anumită clasă de semnale,*
 - Descrierea celor două sisteme de acționare se poate face folosind semnale și modele de sisteme în timp continuu sau în timp discret, iar pentru semnalele de referință, perturbatoare și comandă se pot folosi diferite clase de semnale.¹
- ✓ *Identificarea sistemelor prin care se urmărește obținerea unui model adecvat pentru reprezentarea unui sistem fizic.*
 - Pentru tipurile de model de sisteme în timp continuu sau în timp discret alese pentru sistemele de acționare se determină parametrii sistemelor.
- ✓ *Analiza sistemelor având ca scop stabilirea proprietăților unui sistem.*
 - Se analizează proprietățile modelelor identificate (dinamica, stabilitatea, controlabilitatea etc.).
- ✓ *Stabilizarea și corecția sistemelor prin care cu ajutorul subsistemelor de conducere se elimină proprietățile nedorite și se induc proprietăți dorite.*
 - Se proiectează algoritmul de reglare implementat pe servoprocessorul sistemului de poziționare a capetelor și regulatorul sistemului pentru antrenarea discurilor ținând seama de semnalele de referință și de semnalele perturbatoare.

Lista problemelor cuprinde și filtrarea semnalelor (măsurile întreprinse pentru ca dintr-un semnal preluat cu erori să se obțină informații despre semnalul adevărat), structurarea sistemelor, tratarea incertitudinilor ș.a.m.d.

Teoria sistemelor oferă metode și mijloace de investigare calitativă și mai ales cantitativă pentru automatică, informatică și cibernetică care împreună alcătuiesc ceea ce se numește *știința sistemelor*.

Automatică reprezintă o știință tehnică care încadrează *teoria și practica (metodele și mijloacele) realizării constructive a sistemelor de conducere*, destinate eliminării intervenției umane în elaborarea deciziilor directe privind funcționarea proceselor tehnice. Sistemele rezultate sunt denumite sisteme automate. În acest context vorbim de automatizări cu înțelesul de procedee destinate realizării de sisteme automate.

- Realizarea efectivă a celor două sisteme de antrenare astfel încât să fie îndeplinite performanțele stabilite prin proiectare (diferitele componente ale sistemelor trebuie să fie compatibile, astfel încât să poată interacționa, iar elementele de antrenare să aibă puteri adecvate pentru a asigura viteza de acționare dorită).

Informatică reprezintă *știința prelucrării raționale a informației cu ajutorul unor sisteme automate de calcul*. Ea operează cu un ansamblu de cunoștințe și metode de lucru extrem de diverse care, la rândul lor folosesc, în bună măsură concepte și metode ale teoriei sistemelor. Teoria sistemelor servește în principal informatica aplicată și informatica industrială.

Cibernetica reprezintă știința de mare generalitate care *studiază -din punctul de vedere al analogiilor formale, sistemic și informațional- procesele și conexiunile din natură în care se evidențiază autoreglarea, prin conexiune inversă sub aspectul acțiunilor de comandă*, și comunicarea, fără a lua în considerare în mod obligatoriu natura fizică concretă a elementelor componente. Abordările din cibernetică sunt în primul rând de natură principială. Partea de analiză este predominantă în raport cu partea de sinteză. Ea stă la baza observării asemănărilor și izomorfismelor din natură, pe care le formulează prin mijloace matematice. Termenul "cibernetică" nu are o definiție unică, interpretările asociate conduc adeseori spre prezentarea ciberneticii ca o metaștiință.

¹ Textele precedate de buline reprezintă exemplificări referitoare la HDD.