

2. SISTEME. DEFINIȚII ȘI EVOLUȚIE

2.1. Introducere

În centrul științelor naturale și tehnice se află noțiunile de observare și măsurare (fig.2.1). Pornind de la observație, cercetătorul construiește o imagine fizică a problemei pe care o analizează și apoi formulează o teorie adică un concept despre aspectul naturii analizat. Pe baza unor experimente gândite și construite în mod judicios se obțin rezultate care pot confirma teoria, determină modificări ale acesteia sau o resping. Pe baza acestor argumente se poate afirma că în domeniul științelor naturale și tehnice, observațiile și măsurările (experimentele) sunt elemente fundamentale.

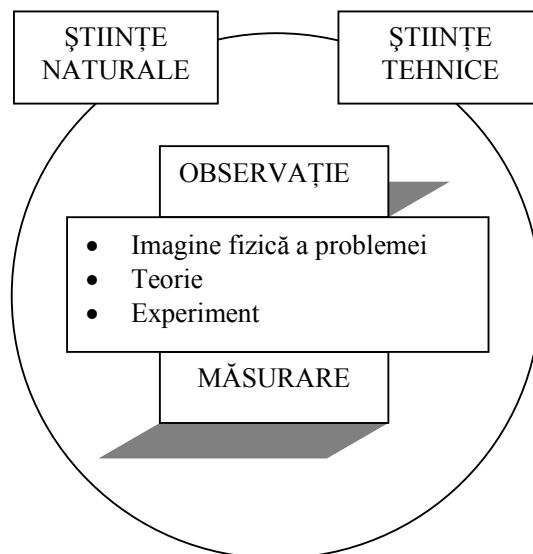


Fig. 2.1 Observația și măsurarea

O noțiune extrem de importantă pentru abordările următoare este cea de *sistem*. Domeniul de cercetare urmărește studiul proprietăților generale ale sistemelor și include teoria sistemelor, știința sistemelor. Aceste cercetări urmăresc enunțarea unor

concepțe și principii independente de domeniul specific, substanță, tip sau timp.

2.2. Sistem. Definiție

Sistemul se poate defini ca „orice ansamblu organizat de resurse și proceduri în interacțiune sau interdependente, real sau abstract, pentru realizarea unui set de funcții specifice” [2.11]. Pentru definirea acestui concept se apelează la definirea unei „granițe” care separă sistemul de mediul exterior (fig.2.2)

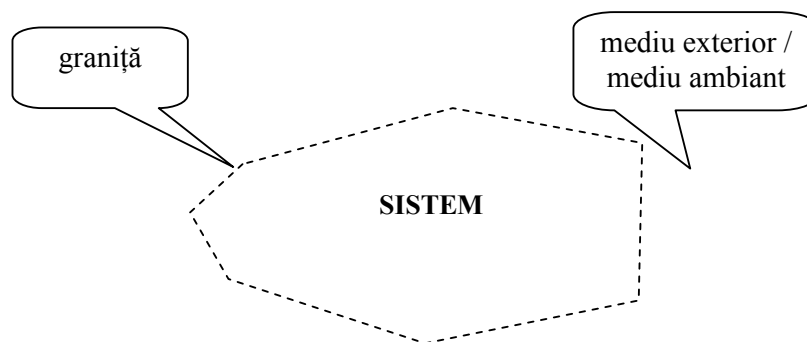


Fig. 2.2 Sistem și mediu ambiant

Într-un sens larg, sistemul poate a fi asimilat cu “o colecție de obiecte aranjate într-o formă ordonată, care într-un anumit sens este dirijată spre un scop sau o țintă” [2.7]. După linia de demarcație ce se impune între sistem și mediul ambiant, se pot defini pentru sistem relațiile de intrare / ieșire. Precizarea intrărilor și ieșirilor unui sistem poartă numele de orientarea sistemului

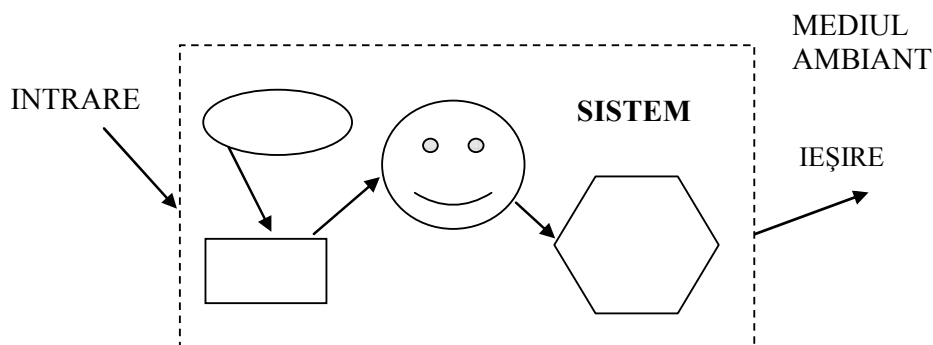


Fig. 2.3 Sistem, intrări și ieșiri

Referitor la conceptul de sistem mai trebuie precizat:

- Un sistem deschis definește interacțiunea părților componente cu orice entitate din mediu. Sistemul închis este “izolat” față de mediu, este separat de acesta prin intermediul graniței;

- Cea mai simplă entitate cu o posibilă funcționare de sine stătătoare definește noțiunea de *element*;
- Un set de elemente din structura sistemului poate defini noțiunea de subsistem. Ceea ce constituie un sistem sau un subsistem depinde de punctul de vedere al observatorului. Noțiunea de sistem are un caracter relativ, în sensul că orice sistem poate fi descompus în subsistem și la rândul lui poate fi privit ca subsistem al unui sistem mai complex.
- Procesul sau fenomenul fizic definesc transformările reciproce ale formelor de mișcare ale materiei (mecanică, termică, electromagnetică, etc.).
Există o serie de caracteristici comune oricărui sistem:
 - Sistemul este o abstractizare a realității;
 - Sistemele au o structură definită prin părți și compoziția lor;
 - Sistemele au o funcționare care implică intrări, procesare și ieșiri de material, informații sau energie;
 - Între părțile componente există relații funcționale.

2.3. Evoluția noțiunii de sistem

În secolul al XIX-lea întâlnim prima dezvoltare a unui concept care se va utiliza mai târziu ca “sistem”. Carnot, în studiile sale referitoare la termodinamică în 1824, introduce conceptul de substanță de lucru (*working substance*) [2.14]. În 1850, R. Clausius generalizează acest concept și se referă în lucrările sale la corpul de lucru (*working body*).

În timp, conceptul a fost modificat și o serie de definiții au încercat să definească cât mai generalizat această noțiune. Un alt pionier al domeniului a fost biologul Ludwig von Bertalanffy. În 1945 acesta introduce modele, principii și legi aplicate pentru generalizarea sistemelor.

Dezvoltări semnificative a conceptului de sistem au fost introduse de N. Wiener și R. Ashby prin apelarea facilităților matematice. În 1980 J.H. Holland și G.M. Murray au introdus noțiunea de sistem adaptiv.

Conceptul general de sistem se utilizează foarte frecvent în diverse domenii ale tehnicii și științei, în economie, în natură și societate.

Studiul proceselor sau fenomenelor fizice se efectuează asupra unor regiuni finite din univers, de dimensiuni variabile, astfel delimitate încât să interacționeze cu exteriorul ca un întreg, denumite *sisteme fizice*.

Sistemul economic, definit prin prisma teoriei lui J. Kornai, reprezintă un tot economic compus din elemente ca: întreprinderi, gospodării casnice, organe de stat, instituții sociale cu reguli de interacțiune specifice. Fiecare comportament de sine stătător al unui organism economic reprezintă un subsistem economic.

Sistemul cultural poate fi definit ca o interacțiune a diferitelor elemente a unei culturi. Aceasta poate fi considerat ca făcând parte dintr-un *sistem social* și ierarhic similar cu un *sistem economic, politic sau legal*.

Sistemul informatic definește un complex format din echipamentul de calcul și biblioteca de programe. În teoria informației, sistemul poate fi asociat cu o metodă sau un algoritm.

Studiul sistemelor și proceselor fizice are la bază principiul cauzalității: „...fiecare stare din lumea obiectivă este efectul unor cauze care determină univoc starea respectivă”. Matematic această cauzalitate este definită prin două atribute:

- Orientarea sistemului: informația se transmite într-un singur sens, de la cauză la efect;
- Absența semnalului de intrare, pe o durată de timp infinit, implică absența semnalului de ieșire.

Sistemele ingineresti definesc un domeniu multidisciplinar al ingineriei, orientat spre dezvoltarea și organizarea sistemelor complexe artificiale. Termenul sisteme ingineresti a fost introdus de Bell Telephone Laboratories în anul 1940. Sistemele ingineresti dispun de strategii, proceduri și tehnici cu scopul de a performa proiectele sau produsele, de a performa *procesele ingineresti*. Un aspect important, cu referire la sistemele ingineresti, constă în modul de reprezentare grafică a acestora cu scopul prezentării funcțiilor sistemului și a datelor solicitate.

2.4. Reprezentări grafice ale sistemelor

Teoria sistemelor investighează atât principiile comune tuturor entităților complexe, cât și modelele (în general, matematice) care pot fi folosite pentru a descrie aceste entități (sisteme). Teoria sistemelor consideră sistemul ca un „o cutie neagră”, („black box”). Tot ceea ce interesează este setul mărimilor de intrare și respectiv de ieșire. Structura internă a sistemului nu interesează (fig. 2.4).

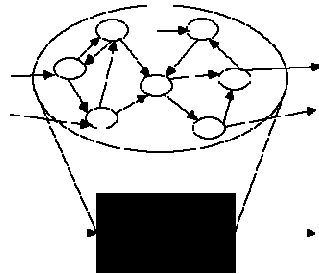


Fig. 2.4 Reprezentarea sistemului prin „cutie neagră”

Reprezentarea din figura 2.5 asociază sistemului noțiunile de cauză și efect. Mărimea de intrare u exprimă acțiunea mediului exterior asupra sistemului (cauza). Mărimea de ieșire y pune în evidență comportarea sistemului (efectul) din punctul de vedere al funcției îndeplinite.



Fig. 2.5 Reprezentarea unui sistem prin *black box* și asocierea *intrare - ieșire*

Termenul modern „*black box*” este întâlnită ca noțiune în anul 1945 și servește la sinteza rețelelor pornind de la funcția de transfer.

Schema structurală (bloc) constă în reprezentarea convențională grafică a unui sistem și pune în evidență natura, rolul blocurilor utilizate în transformarea și prelucrarea mișcării și a informației și sensul de transmitere. Drept exemplu se prezintă în figura 2.6 schema structurală a unui aparat destinat înregistrării și redării unei informații (audio, video etc.). Motorul electric (1) este cel care asigură transformarea energiei electrice W_i , primită de la o sursă de energie exterioară, în energie mecanică necesară funcționării. Mecanismul (2) are rolul de a transmite și a transforma mișcarea de la motorul electric la elementul flexibil vehiculat (film, bandă magnetică, etc.). Mecanismul (3) are rolul de a asigura mișcarea elementului flexibil vehiculat. Capul de înregistrare / redare este ansamblul care asigură transferul informației spre sau dinspre elementul flexibil vehiculat. Aceste transformări au loc cu anumite pierderi P_i .

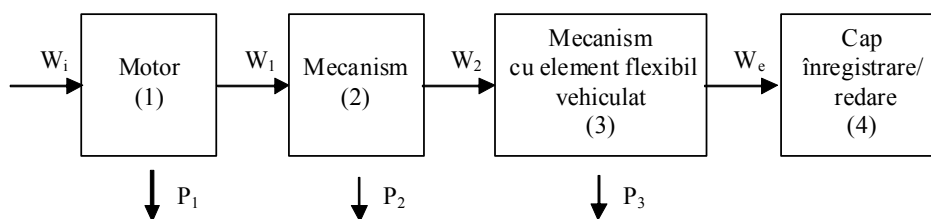


Fig. 2.6 Exemlu de schemă structurală pentru reprezentarea unui sistem

Organigrama este o simplă diagramă care reprezintă un proces sau un algoritm. În figura 2.7 se prezintă organigrama pentru calculul produsului factorial $N! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot N$.

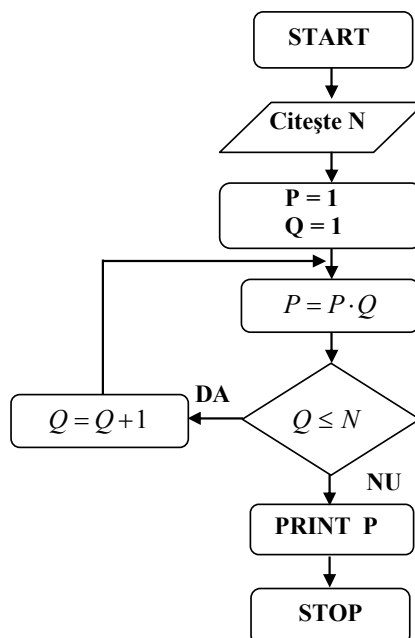


Fig. 2.7 Organigrama pentru calculul produsului factorial

Diagrama Gantt ilustrează succesiunea / planul unor acțiuni referitoare la un proces. Semnificația reprezentării relative a două acțiuni este prezentată în tabelul 2.1 iar o diagramă Gantt în figura 2.8.

Tabelul 2.1

Legătura	Descriere	Reprezentare Gantt
STOP / START	Predecesorul se termină și începe următorul	
START / START	Activitățile încep simultan	
STOP / STOP	Activitățile se termină simultan	
START / STOP	Activitatea care începe determină momentul terminării predecesorului	

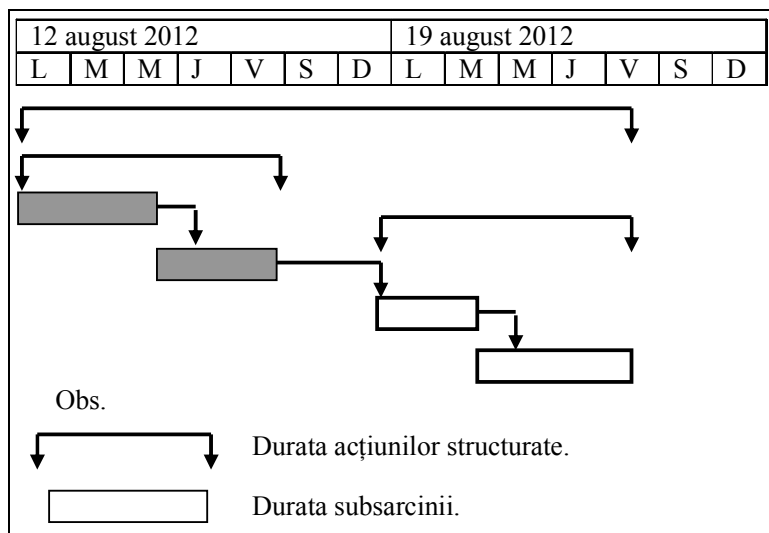


Fig. 2.8 Diagrama Gantt

Bond graph este modalitatea de descriere grafică a sistemelor dinamice. Dinamica sistemului derivă din aplicarea conservării energiei în fiecare moment. Subsistemele sunt conectate în locuri prin care puterea “curge” între acestea. Acest loc este denumit *port* iar subsistemele cu unul sau mai multe porturi se numesc *multiport*.

Conceptul de *port de putere* a fost introdus de Harold A. Wheeler în 1949 pentru

circuitele electrice și extins mai târziu pentru alte domenii fizice (hidraulic, mecanic etc.). Acest lucru presupune (conceptual) o interacțiune între părți ale sistemului. Prin definiție *portul* reprezintă un punct de interacțiune al sistemului, subsistemului sau elementului cu mediul, un alt subsistem sau element. *Portul de putere* presupune o interacțiune cu un schimb de energie. În mod grafic acest lucru este sugerat în figura 2.9. Prin *bond* se înțelege o conexiune între două porturi. Dacă cele două porturi sunt de putere, vom vorbi despre un *bond de putere* (power bond). Conceptul – *bond graph* – a fost introdus de Paynter (1961) și dezvoltat ulterior de Karnopp și Rosenberg (1968, 1975, 1983, 1990) sau utilizat în practică. O bară scurtă și perpendiculară pe portul putere este denumită *linie cauzală* și indică sensul efortului (fig.2.10)[2.4],[2.9].

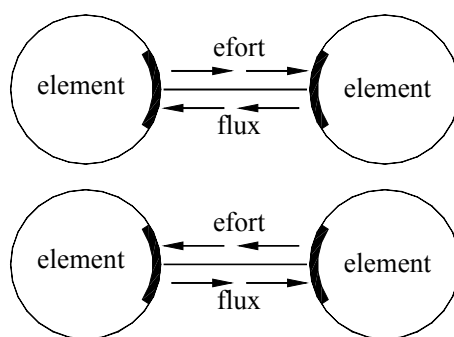


Fig. 2.9 Portul de putere

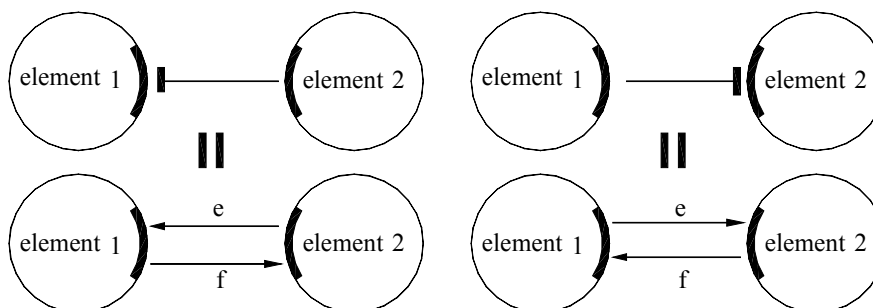


Fig. 2.10 Linie cauzală și sensul efortului

2.5. Model, construcția modelului

De o importanță aproape egală cu conceptul de sistem este cea de construcție a modelului [2.7]. Formularea unei teorii se poate denumi „construirea modelului”. Se poate defini *modelul* drept „o reprezentare a aspectelor esențiale ale unui sistem existent (sau ale unui sistem ce urmează a fi construit), care reprezintă cunoștințele asupra aceluia sistem sub o formă utilizabilă”.

Construirea modelului se poate baza pe două principii (fig.2.11):

- Există cunoștințe și intuiție despre sistem (*white box component*);

- Există date experimentale – intrare / ieșire - din sistem (*black box component*).

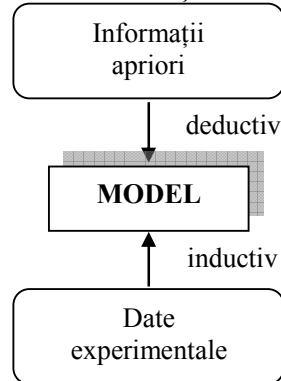


Fig. 2.11 Construcția modelului

Funcție de modul de reprezentare a modelelor se pot menționa destinațiile acestora (fig.2.12) și o altă ierarhizare a lor (fig. 2.13 [2.4]).

UTILIZĂRI ALE MODELĂRII	
• Intuiție și înțelegere	• Sinteza sistemelor de comandă
• Analiză	• Instruire operator
• Simulare	• Rapid prototyping
• Optimizarea proiectării	• Diagnoză și detectarea defectelor
•	•

Fig. 2.12 Destinații ale modelării în cercetare

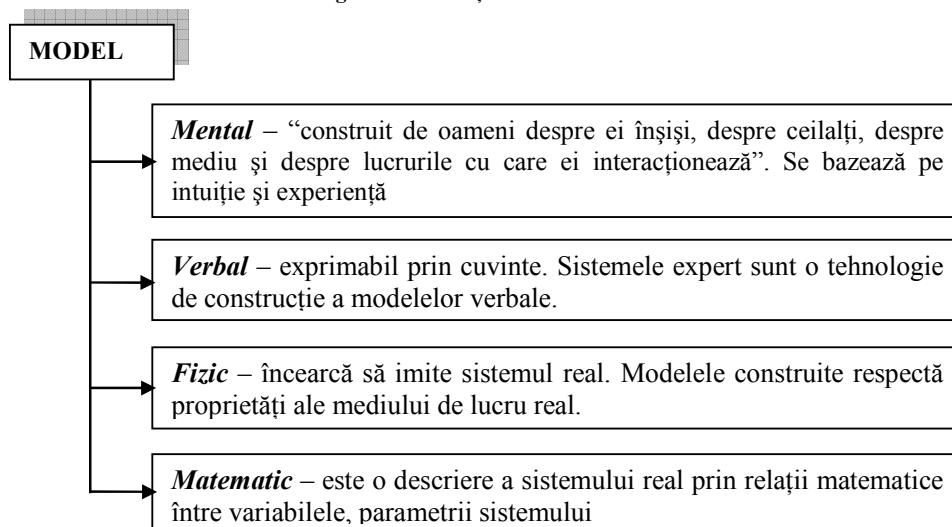


Fig. 2.13 Modele și reprezentarea lor

Cunoștințele trebuie prezentate într-o formă utilizabilă. Acesta este un aspect esențial, deoarece modelul trebuie să ofere o bază pentru noi decizii. Dacă modelul este prea complicat, acesta devine greu utilizabil. Dacă la construcția modelului se renunță la o serie de aspecte, există posibilitatea ca acesta să fie inutil și departe de realitate.

Pornind de la real și respectiv abstract, modelele pot fi clasificate în două categorii principale:

- modele materiale (sau fizice);
- modele abstracte (sau formale).

Modelele fizice reprezintă o “machetă” la o anumită scară a sistemului original. Studiile asupra modelului fizic este aplicabil doar dacă se cunosc relațiile de similitudine cu sistemul original.

Modele abstracte includ *modelele matematice*. Un model matematic al unui sistem este o reprezentare simbolică într-o formulare matematică abstractă. Simbolurile au sensuri matematice precise, iar manipularea lor este conformă cu regulile logicii și matematicii. Relațiile matematice devin model prin precizarea corespondențelor dintre variabilele și parametrii sistemului. De obicei, interacțiunile dintre sistem și mediul ambiant se grupează în *mărimi de intrare și mărimi de ieșire*. Uneori, la acestea se adaugă și o serie de perturbații P_i produse de către mediul ambiant asupra sistemului. Interacțiunile dintre obiectele unui sistem sunt descrise prin relațiile care leagă variabilele asociate obiectelor, o importanță deosebită având relațiile cauzale.

De ce modele? Compactizarea conținutului unor cunoștințe, cercetarea, comunicarea eficientă, educația, modelarea pentru control, modelarea pentru proiectare sunt câteva din argumentele pentru model / modelare.

Figura 2.14 pune în evidență, într-o formă simplistă, semnificația noțiunii de modelare și modul de integrare a acesteia cu cea de simulare.

- Se realizează un model matematic pentru sistemul în cauză pe baza aspectelor – caracteristicilor esențiale, utilizabile și adecvate din sistem și utilizând legile fizicii, biologiei, economiei etc.
- Analizează și simulează ecuațiile modelului rezolvând sistemul de ecuații (manual sau automat). Etapa este esențială pentru cunoașterea comportamentului unui sistem pe baza comportamentului oferit de model.

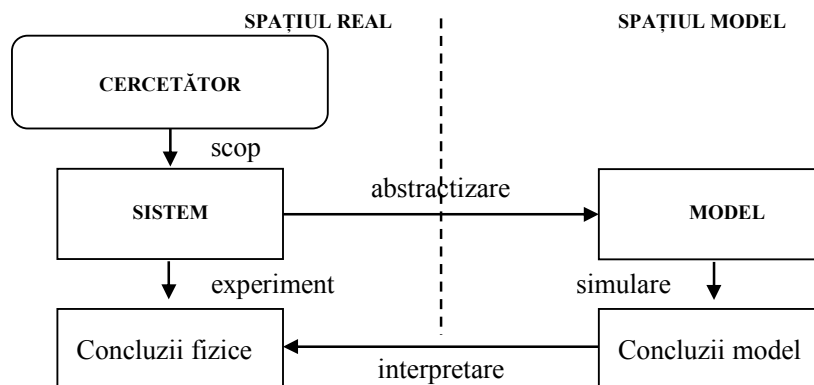


Fig. 2.14 Spațiul real și spațiul model

În figura 2.15 se prezintă etapele succesive pentru crearea modelului matematic utilizat în simularea funcționării acestuia.

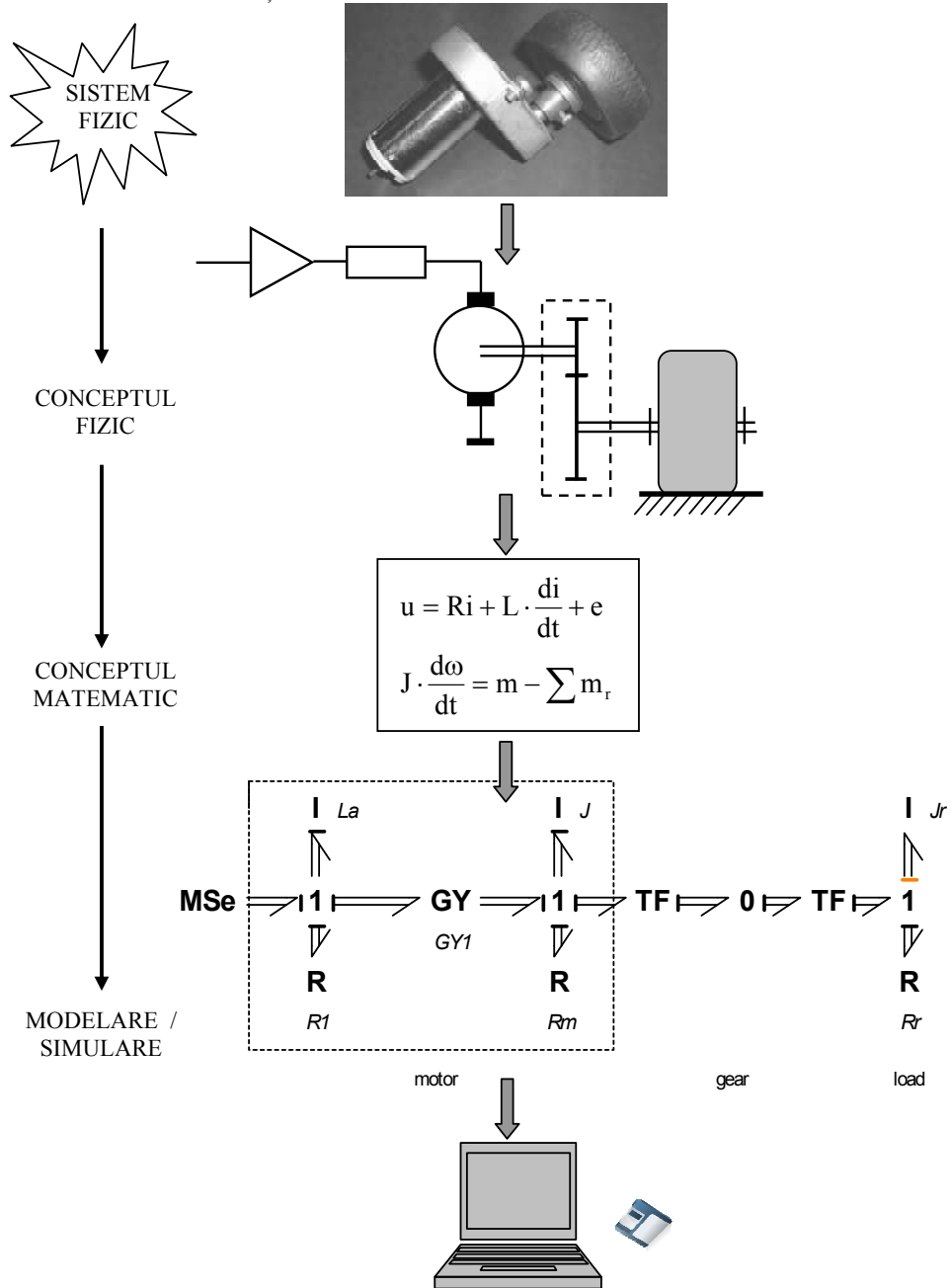


Fig. 2.15 Sistem și model matematic

2.6. Clasificarea sistemelor

2.6.1. Introducere

Prin definiție *a clasifica* implică existența unei mulțimi de obiecte și a unor criterii după care să se facă ordonarea. În cazul sistemelor, acestea se identifică cu mulțimea de ordonat. Criteriile cele mai uzuale utilizate sunt: natura elementelor, natura relațiilor funcționale, gradul de automatizare și informatizare.

După *natura elementelor* distingem următoarele tipuri de sisteme: materiale, energetice, informaționale, financiare, matematice, lingvistice, etc. După *natura relațiilor de funcționare* sistemele se clasifică în sisteme liniare și neliniare.

2.6.2. Sisteme liniare

Un sistem este descris în mod tipic prin schema - bloc din figura 2.5, unde $u(t)$ corespunde mărimii de intrare ca variație în funcție de timp, iar $y(t)$ a celei de ieșire ca variație în funcție de timp.

Un sistem este liniar dacă satisface:

- **principiul aditiv:** dacă unui sistem cu parametrul de intrare $u_1(t)$ îi corespunde un semnal de ieșire $y_1(t)$ și respectiv pentru $u_2(t)$ va exista un $y_2(t)$, atunci la un semnal cauză $u_1(t) + u_2(t)$ îi va corespunde semnal efect $y_1(t) + y_2(t)$:

$$\text{If } u_1 \rightarrow y_1 \text{ AND } u_2 \rightarrow y_2 \text{ THEN } u_1 + u_2 \rightarrow y_1 + y_2 \quad (2.1)$$

- **proprietatea de omogenitate:** o combinație liniară a parametrilor de intrare $k[u(t)]$ dau aceeași combinație liniară a parametrilor de ieșire $k[y(t)]$:

$$\text{If } u \rightarrow y \text{ THEN } k \cdot u \rightarrow k \cdot y \quad (2.2)$$

- **superpoziție:** combinația de aditivitate și omogenitate:

$$k_1 u_1 + k_2 u_2 \rightarrow k_1 y_1 + k_2 y_2 \quad (2.3)$$

Sistemele care nu satisfac relațiile anterioare sunt sisteme *neliniare*.

În cazul sistemului discret (fig. 2.16), descrierea este dată sub forma:

- semnalul de intrare- $f[n], n = 0, 1, 2, \dots$;
- semnalul de ieșire- $g[n], n = 0, 1, 2, \dots$;
- $g[n] = T[f(n)]$.

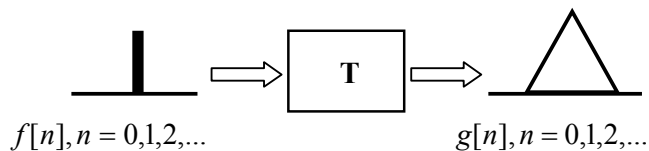


Fig. 2.16 Descrierea sistemului discret

Sistemul este liniar dacă satisface *condițiile de liniaritate*, care în cazul discret se

definesc sub forma:

- **aditivitate:** $T\{f_1[n] + f_2[n]\} = T\{f_1[n]\} + T\{f_2[n]\}$. Aditivitatea este sugerată prin însumarea celor două semnale discrete (fig.2.17).

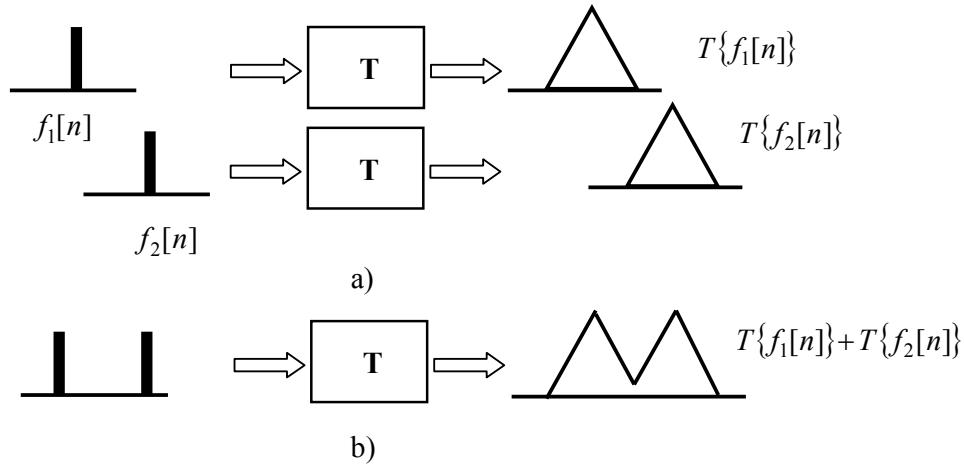


Fig. 2.17 Sistemele liniare discrete și condiția de aditivitate

- **omogenitate:** $T\{af[n]\} = aT\{f[n]\}$. Omogenitatea este sugerată prin mărirea amplitudinii semnalului discret (fig.2.18).

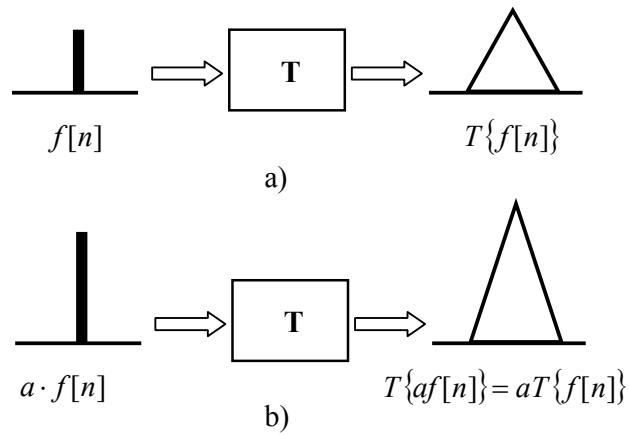


Fig. 2.18 Sisteme liniare discrete și condiția de omogenitate

Presupunând că sistemul este liniar, se spune că sistemul este invariant la schimbare dacă este verificată relația:

$$g(t - t_0) = T\{f(t - t_0)\} \quad (2.4)$$

2.6.3. Sistem static și dinamic

O altă definiție a sistemelor este cea de sistem termodinamic: porțiune din univers pentru care se poate delimita un “interior” și un “exterior”, interiorul conținând un număr oarecare de corpuri macroscopice, considerate ca având o structură fizică continuă. Caracterizarea acestor sisteme se realizează prin stările lor termodinamice, reprezentate ca o mulțime de parametri, care descriu aspecte interne ale sistemului și relațiile cu mediul înconjurător (exteriorul sistemului) [2.10].

Tranziția de stare a unui sistem termodinamic este denumită *proces fizic*. Noțiunea de “stare” reprezintă o noțiune care s-a dovedit în decursul timpului extrem de recomandată pentru înțelegerea naturii sistemelor dinamice. De exemplu, pentru un sistem termic se pot enumera variabile de stare: masa, temperatura, volumul, presiunea, densitatea, entropia etc. (fig.2.19).

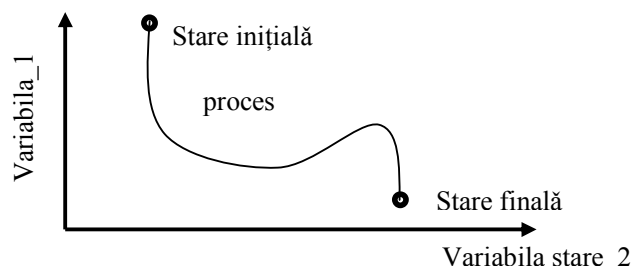


Fig. 2.19 Proces, stare și variabilă de stare

Sistemele în care variabilele și relațiile dintre ele sunt independente de timp sunt *sisteme statice* (fig.2.20).

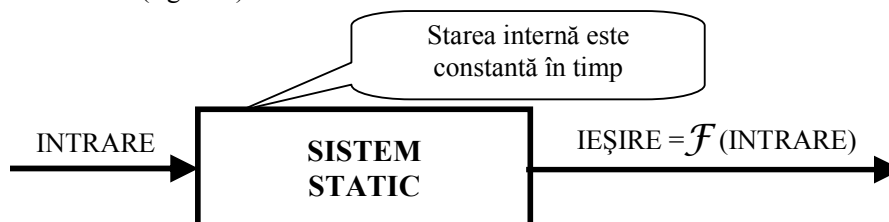


Fig. 2.20 Sistem static

Dacă valorile mărimilor de ieșire depind atât de valorile celor de intrare, cât și de starea internă a sistemului (starea internă se modifică în timp) spunem că sistemul este *dinamic*.

Un sistem dinamic poate fi caracterizat prin (fig.2.21):

- una sau mai multe mărimi de intrare variabile în timp $u_i(t)$ care formează intrarea sistemului;
- una sau mai multe mărimi de ieșire variabile în timp, $y_j(t)$ care formează ieșirea sistemului;

- ecuație diferențială care leagă variabilele de stare $x_n(t)$ de derivatele acestora, de mărimile de intrare $u_i(t)$ și perturbația $v(t)$;
- o ecuație de ieșire, care leagă mărimile de ieșire $y_j(t)$ de variabilele de stare $x_n(t)$ și de mărimile de intrare $u_i(t)$.

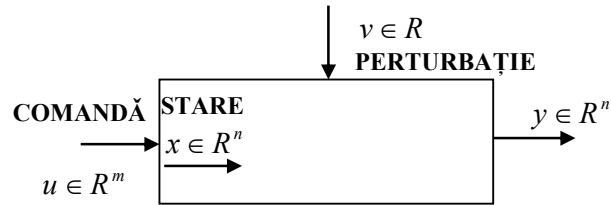


Fig. 2.21 Sistem dinamic

Se definește sistemul simplu ca și sistemul descris matematic sub forma:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f(x, u, v, t) \\ y &= g(t, x, u) \end{aligned} \quad (2.5)$$

în care nu există nici o conexiune de tip reacție inversă.

Ecuația diferențială de stare și ecuația de ieșire formează împreună modelul matematic al sistemului dinamic. Un astfel de model este capabil să descrie orice sistem dinamic cu parametri constanți. Condiția necesară este ca ecuația diferențială propriu zisă să descrie corect legile fizice care guvernează sistemul. O problemă care se pune în acest caz este dacă variabilele de stare își modifică valorile la orice moment de timp sau numai în anumite momente discrete de timp. Din acest punct de vedere, există sisteme continue în timp și sisteme discrete.

Fie \mathbf{x} un vector care în particular descrie starea sistemului. Forma matematică a modelului variabilelor de stare este în acest caz:

- **Modele continue în timp:**

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{x}}{dt} &= \mathbf{F}[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t] \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{G}[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t] \end{aligned} \quad (2.6)$$

unde $\mathbf{u}(t)$ este vectorul de intrare iar $\mathbf{y}(t)$ este vectorul de ieșire (fig.2.22).

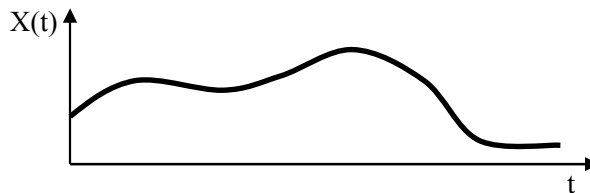


Fig. 2.22 Model continuu în timp

- **Modele discrete în timp** (fig.2.23):

$$\begin{aligned} \mathbf{x}[t+1] &= \mathbf{F}_d(\mathbf{x}[t], \mathbf{u}[t], t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{G}_d(\mathbf{x}[t], \mathbf{u}[t], t) \end{aligned} \quad (2.7)$$

unde notațiile sunt similare cazului anterior iar [#] descrie partea întreagă a parametrului #.

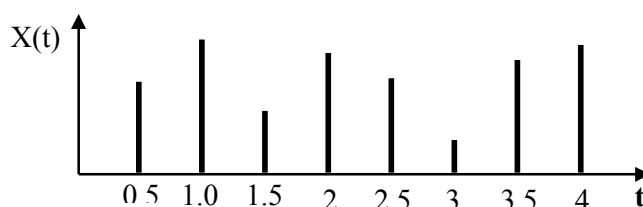


Fig. 2.23 Model discret în timp

- **Modele cu evenimente discrete** (fig.2.24).

Informația din sistem poate avea și o formă de reprezentare logică. Aceste sisteme poartă denumirea de sisteme cu evenimente discrete. De exemplu, dinamica sistemele flexibile de fabricație este determinată de interacțiunea în timp a diverselor componente (resurse, activități) a caror coordonare este strâns legată de noțiunea de eveniment lansare / terminare activitate, defectare / reparare resurse, sosire / plecare piesă, etc). Prin urmare SFF sunt conduse de evenimente și deseori asincrone, distribuite, nedeterministe, dezvoltând activități secvențiale (ordonate), concurente (paralele), competitive (conflictuale - acces simultan la resurse) și coordonate între componentele lor (sincronizarea accesului la resursele cerute de un anumit proces). De aceea ele se situează alături de sistemele distribuite concurente, sistemele de operare, rețelele de comunicație și mașinile inteligente și fac parte din clasa **sistemelor dinamice cu evenimente discrete**.

Evenimentele sunt identificate cu: acțiuni spontane (start operație); modificări necontrolabile în funcționarea normală a procesului (defecte); rezultatul satisfacerii simultane a mai multor condiții.

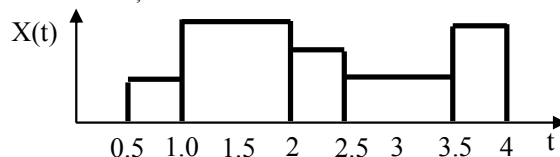


Fig. 2.24 Model cu evenimente discrete

2.6.4. Sisteme cu structură deschisă

Sistemele cu structură deschisă sunt compuse din elemente conectate în serie sau paralel. La aceste sisteme mărimile de ieșire nu influențează funcționarea sistemului.

Conectarea în serie rezultă ca o necesitate: conversia naturii fizice a valorii sau a formei mărimii de intrare, amplificarea puterii, prelucrarea matematică a mărimii de

intrare, separare galvanică etc. La această conexiune, mărimea de ieșire a unui element constituie mărime de intrare pentru următorul element (fig.2.25).

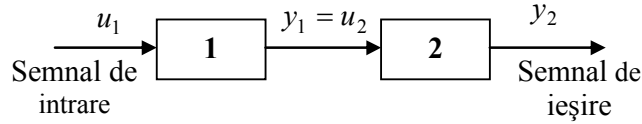


Fig. 2.25 Sistem cu structură deschisă, în serie

Un alt mod de definire a structurii deschise se poate baza pe eventuala apartenență a sistemului la domeniul automaticii. Automatica este ramura științei care studiază metodele și mijloacele tehnice necesare pentru asigurarea conducerii proceselor tehnice fără intervenția directă a omului.

Sistemul în circuit deschis se poate identifica cu sistemul de comandă automată (SCA). De ex.: sistemul iluminatului public care funcționează pe principiul: când luminozitatea scade (sau crește) sub / peste o anumită limită, se comandă aprinderea / stingerea iluminatului electric (fig.2.26). În automatică, *sistemul automat* este format din obiectul sau procesul automatizat (O) și dispozitivul de automatizare (DA). Notăția „Z” din figură are semnificația unei mărimi perturbatoare asupra sistemului analizat iar „M” are semnificația mărimii de execuție.

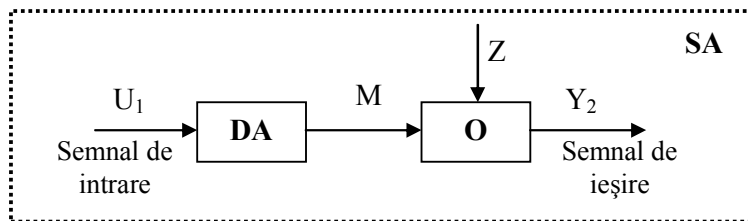


Fig. 2.26 Sistem de comandă automată

Două sau mai multe elemente formează o conexiune paralelă când mărimea de intrare u este comună tuturor elementelor iar mărimea de ieșire a conexiunii este egală cu suma algebrică a mărimilor de ieșire ale elementelor componente (fig.2.27).

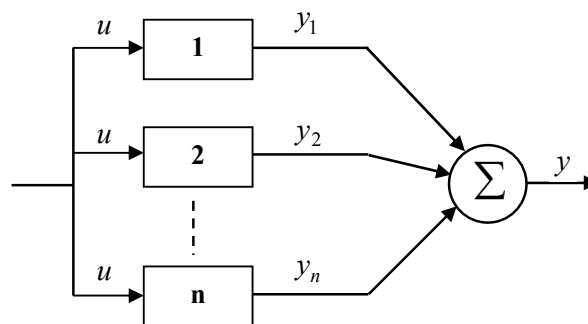


Fig. 2.27 Sistem cu structură deschisă, conexiune în paralel

2.6.5. Sisteme cu structură închisă

Sistemele cu structură închisă se identifică cu acele sisteme în care mărimea de ieșire y influențează la rândul său sistemul prin intermediul reacției concretizată prin mărimea r . După semnul de însumare (asigurat de elementul de comparație EC) sistemul poate fi cu reacție pozitivă (semnul + pentru mărimea de reacție) și respectiv cu reacție negativă (semnul - pentru mărimea de reacție). În mod corespunzător, mărimea rezultată va fi $\varepsilon = u \pm r$ (fig.2.28).

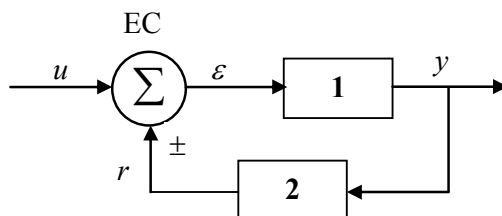


Fig. 2.28 Sistem cu structură închisă

Sistemele cu structură închisă pot fi cu bucle de reacție multiplă:

- Cu reacție convergentă (fig.2.29);

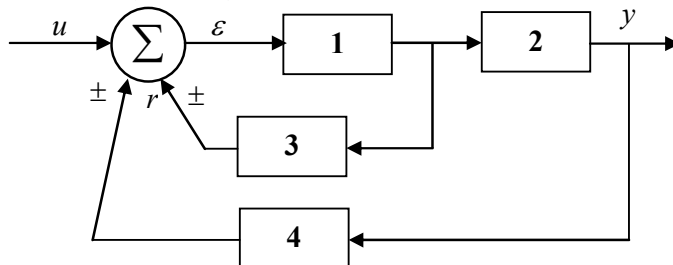


Fig. 2.29 Sistem cu reacție convergentă

- Cu reacție în cascadă (fig.2.30).

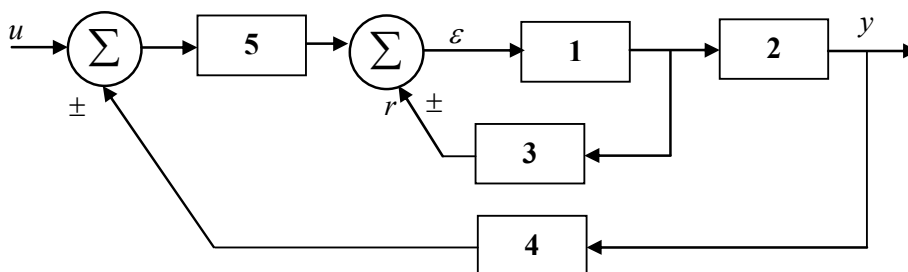


Fig. 2.30 Sistem cu reacție convergentă

Sistemul în circuit închis se identifică cu sistem de reglare automată (cu reacție) (SRA). De ex.: sistemul de reglarea temperaturii apei într-un boiler electric la care funcționarea are loc după principiul: când temperatura apei atinge limita inferioară, rezistența electrică pentru încălzire este alimentată iar când temperatura atinge limita

superioară, rezistența este deconectată de la sursa de tensiune (fig.2.31)

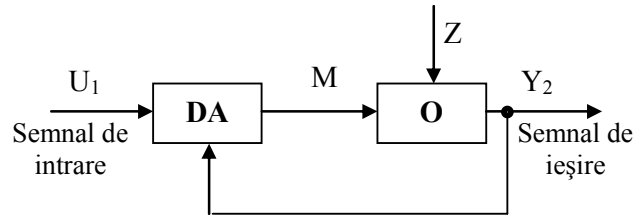


Fig. 2.31 Sistem de reglare automată

2.6.6. Sisteme fizice

2.6.6.1. Sisteme mecanice

Lumea fizică este alcătuită din materie în permanentă mișcare și transformare în spațiu și timp. Cea mai simplă formă de mișcare a materiei o constituie deplasarea reciprocă a corpurilor materiale de dimensiuni uzuale. Un corp al cărui dimensiuni sunt neglijabile față de distanțele la corpurile înconjurătoare se definește ca și punct material. Acesta este caracterizat numai prin masa sa. Punctul material nu este un obiect fizic real; el este un model folosit în studiul anumitor fenomene. Punctul material nu efectuează mișcări de rotație în jurul vreunei axe. Un sistem de puncte materiale supuse la legături reciproce – forțe de interacțiune – astfel încât să formeze un “întreg”, mai mult sau mai puțin stabil, mai mult sau mai puțin deformabil se numește *sistem mecanic*.

Sistemul mecanic este implicat în transmiterea mișcării cu anumiți parametri. Desfășurarea procesului mecanic are loc pe bază de aport de energie. Energia unui sistem fizic este o *mărime de stare* caracterizând sistemul într-o *stare staționară*. Starea unui sistem (este și cazul sistemului mecanic) este definită de totalitatea proprietăților acestuia la un moment dat.

Interacțiunea dintre corpuri implică ideea de evoluție și de conexiune spațială și temporală și se manifestă ca fenomene guvernate de legi fizice. Mărimea fizică care exprimă în mod cantitativ interacțiunea mecanică a corpurilor este forța. *Forța* – în sens generalizat – caracterizează mărimea, direcția și sensul unei interacțiuni.

Adeseori în analiza sistemelor mecanice se fac unele ipoteze simplificatoare: absența frecărilor, absența vâscozității pentru fluide, etc. În toate aceste cazuri mișcarea apare ca fenomen pur mecanic. Caracteristic pentru astfel de fenomene este faptul că pe tot cursul lor, energia se conservă.

Sistemele mecanice de translație fac referire la acele sisteme implicate în *mișcarea de translație*. Mișcarea este asociată cu existența unor forțe. În cele mai multe dintre cazuri se preferă planificarea mișcării ca un *efect* a aplicării acestor forțe (*cauza*). În alte cazuri se poate accepta apariția forțelor (*efect*) ca un rezultat al mișcării (*cauza*). În alte cazuri dinamica sistemului mecanic (*efect*) se poate considera ca rezultatul interacțiunii energetice dintre elementele componente ale sistemului și mediu (*cauza*).

Considerând o reprezentare concentrată a sistemului, analiza și reprezentarea

sistemului apelează la trei elemente ideale pentru modelare:

- *un element inerțial* care modelează efectele inerțiale ale mișcării unei mase m ;
- *un element elastic ideal* (arc) care modelează flexibilitatea elementelor;
- *un element amortizor ideal* care modelează disiparea de energie mecanică.

Sistemele mecanice de rotație fac referire la acele sisteme care au ca efect mișcarea de rotație. Majoritatea elementelor de acționare și control – mașini electrice rotative, turbine, roți dințate, pompe, etc.- pot fi modelate prin trei elemente ideale:

- *un element inerțial* pentru mișcarea de rotație cu momentul de inerție J ;
- *un element elastic torsional*;
- *un element amortizor ideal torsional*.

2.6.6.2. Sisteme electrice

Sistemul electric are la bază trei parametri fundamentali - sarcina electrică, curent electric și tensiune – asociați unui circuit electric. Funcție de valorile parametrilor se face deosebire între:

- *sistemul electric de putere* care face referiri la vehicularea energiei electrice de valori ridicate. Convertirea energiei electrice în energie mecanică (sau altă formă) cu anumiți parametri impuși este una din funcțiile acestor sisteme (fig.2.32);
- *sistem electronic* care face referiri la semnale cu energie electrică de valoare redusă (fig.2.33).

Majoritatea problemelor pentru sistemele electrice pot fi soluționate prin concepte ale circuitelor electrice.

Astfel, sistemele electrice sunt descrise adesea, cu suficientă acuratețe, printr-un set de elemente electrice ideale care permit reprezentarea fenomenelor electrice (sunt caracterizate de o conducție electrică asigurată de un singur purtător de sarcină) :

- *o rezistență* – ca element disipativ a energiei;
- *o inductivitate* – ca un element de stocare a energiei magnetice;
- *o capacitate* – ca un element de stocare a energiei în câmp electric
- *un transformator* – ca un element de conversie energetică (fără disipare).

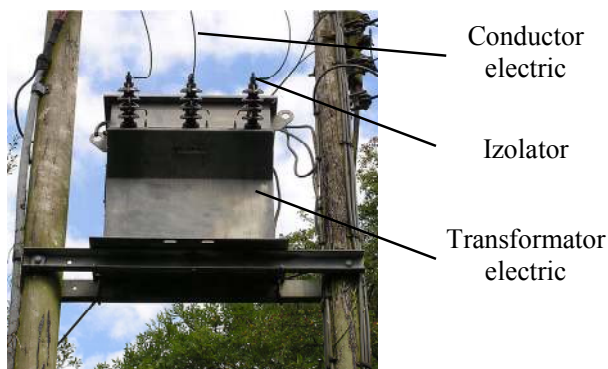


Fig. 2.32 Sistem electric de putere

Sistemele electronice sunt descrise prin elemente specifice suplimentare celor

specificate anterior. Componentele electronice (*diode, tranzistoare, tiristoare* etc) sunt caracterizate de conducție electrică la care participă două tipuri de purtători de sarcină.

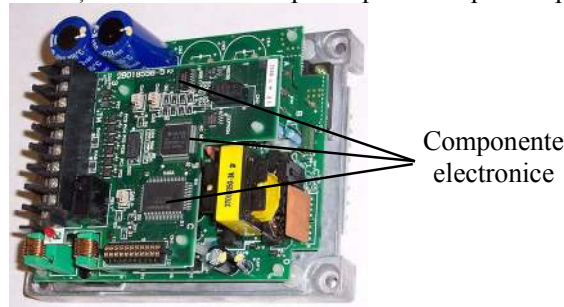


Fig. 2.33 Sistem electronic

2.6.6.3. Sisteme fluidice

Sistemele fluidice operează cu *fluid* de lucru în mișcare sub presiune. Acest fluid poate fi lichid sau gaz. Domeniul de utilizare este extrem de larg. Termenul de sistem hidraulic sau sistem pneumatic face referire la mediul de lucru utilizat. Sistemele fluidice pot fi reprezentate prin combinații de elemente care caracterizează stocarea de energie, procesul disipativ și transferul.

Un sistem fluidic (hidraulic) de putere constă principial din pompă hidraulică, supapă de siguranță, ventil de comandă și actuatorul hidraulic. Pe lângă aceste elemente componente sistemul hidraulic include și componente de circuit pentru vehicularea fluidului (conducte) (fig.2.34)

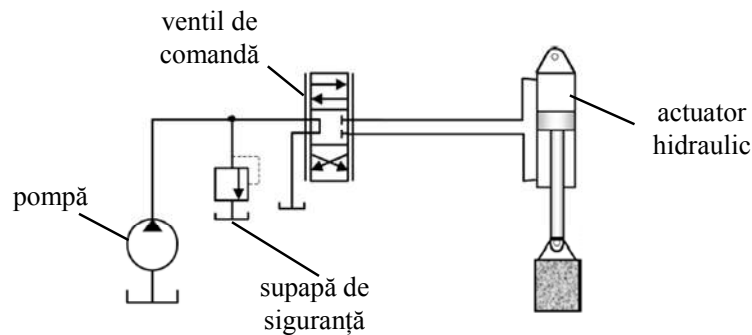


Fig. 2.34 Sistem hidraulic

2.6.6.4. Sisteme termice

Un *sistem termodinamic*, funcție de “granița” care îl caracterizează, poate avea cu exteriorul: un contact mecanic (sistemul poate schimba doar lucru mecanic), un contact termic (sistemul poate schimba căldură), sistemul permite transferul de masă.

Sistemele termice sunt legate de conceptul de câmp de temperatură. Se numește câmp de temperatură o regiune oarecare din spațiu unde fiecărui punct îi este atașată o temperatură. Un câmp de temperatură poate fi exprimat printr-o

funcție de forma:

$$\theta = F(x, y, z, t) \quad (2.8)$$

unde: θ este temperatura; x, y, z sunt coordonatele punctului căruia i se atașează mărimea θ ; t este timpul.

Prezența parametrului “timp”, în relația de definiție anterioară, permite definirea noțiunii de regim termic ca fiind modul în care se modifică în timp câmpul termic. Dacă în relația (2.8) timpul nu apare în mod explicit, regimul termic este staționar sau permanent. Temperatura rămâne constantă sau se modifică în intervalul $(\theta_{\min}, \theta_{\max})$ repetat în jurul unei valori medii. În caz contrar, regimul termic este nestaționar sau variabil. Regimul termic variabil se poate descumpune într-un regim tranzitoriu (corespunzător trecerii dintr-un regim staționar în altul) și unul staționar.

Pierderile de putere într-un sistem mecatronic se pot defini ca: pierderi prin efect Joule într-un rezistor electric $R \cdot I^2$; pierderi electromagnetice; pierderi prin histereză; pierderi prin curenți Foucault; pierderi mecanice; pierderi datorate unui cuplu de frecare uscată; pierderi datorate unor cupluri de frecare fluidă proporționale cu viteza pătratică a elementului mobil.

Aceste pierderi de putere se pot astfel defini pentru un sistem mobil (de ex. servomotor electric) prin relația:

$$\sum(p_i) = R \cdot I^2 + \alpha \cdot \Omega + \beta \cdot \Omega^2 \quad (2.9)$$

unde α și β sunt coeficienți de proporționalitate iar Ω este viteza elementului mobil din sistem. O parte din aceste pierderi se acumulează în sistem determinând creșterea temperaturii sistemului iar o altă parte este evacuată înspre mediul exterior sistemului analizat.

La echilibru termic, toate punctele unui sistem de puncte în contact termic, se găsesc la aceeași temperatură. Dacă în cadrul unui sistem există puncte cu temperaturi diferite, are loc un schimb de căldură îndreptată de la punctele cu temperatură mai înaltă către cele cu temperatură mai joasă.

Transferul de căldură între două puncte sau între două porțiuni ale unui sistem în dezechilibru termic se efectuează fie prin *convecție*, *conducție* sau *radiație* fie în general prin două sau prin toate cele trei fenomene simultan.

Transferul de căldură prin *convecție* se realizează prin curenți de substanță încălzită în contact cu corpul cu temperatură mai înaltă și reprezintă un caz de propagare a căldurii în fluide. Mișcarea fluidului este fie liberă, fie forțată. Schimbul de căldură între corpul cald și fluid se efectuează prin conducție și urmează legile transferului de căldură între două medii separate printr-o suprafață de discontinuitate.

Transferul de căldură prin *conducție* se face, fie în masa unui corp când între două puncte sau între două regiuni există o diferență de temperatură, fie între două corpuri în contact, care nu se găsesc la aceeași temperatură. Transferul este caracterizat prin lipsa unei deplasări de substanță. Fenomenul este caracteristic corpurilor solide, lichide sau gazoase.

Căldura pe care o primește un corp ridicându-și temperatura se transformă în *energie radiantă*. Radiațiile emise se propagă în spațiu și dacă sunt absorbite de un alt

corp acesta se încălzește. Aceste radiații emise de corpuri și dependente de temperatură se numesc radiații termice.

2.6.6.5. Sisteme magnetice

Materialele magnetice sunt substanțe care deformează câmpul magnetic, concentrând un număr mare de linii de câmp în spațiul ocupat de ele și constituind astfel un circuit magnetic, o cale de închidere a liniilor de câmp. Sistemele magnetice au în componență un set de corpuri cu astfel de proprietăți. Circuitul feromagnetic cuprinde zone de material feromagnetic (1 și 2 – oțel electrotehnic, 3 - magnet permanent), zone de aer (întrefier) (de lungime l_0) (fig.2.35). Prezența întrefierului are rol funcțional în cazul sistemelor cu elemente mobile. Pe lângă aceste elemente sistemul include și corpuri din materiale nemagnetice (materiale conductoare și izolatoare) (fig.2.35b)

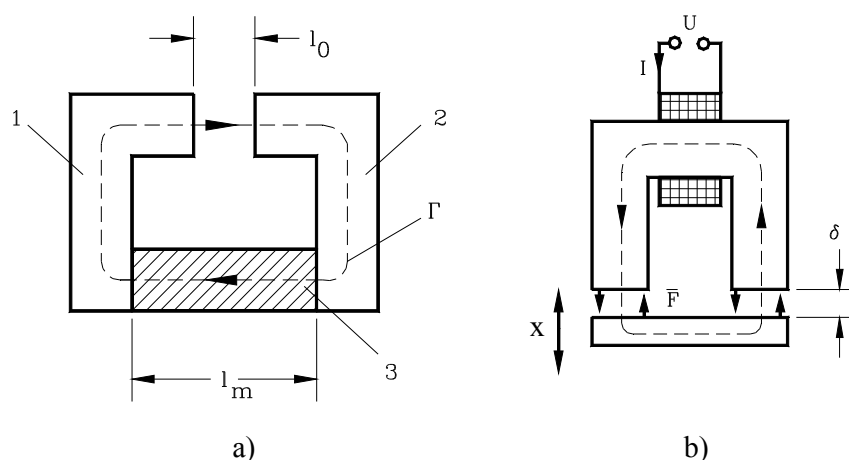


Fig. 2.35 Circuit feromagnetic

Sistemul magnetic descris poate fi considerat ca fiind caracterizat de mărimea de intrare (*cauza*) – potențialul magnetic și mărimea de ieșire (*efectul*) – fluxul magnetic. Circuitul magnetic prin parametrii dimensionali și material definește reluctanța magnetică R_m .

Energia magnetică localizată în zona de întrefier poate fi calculată prin relația:

$$W_m = \int_V \frac{\vec{B} \cdot \vec{H}}{2} \cdot dV \quad (2.10)$$

Asupra unui element mobil feromagnetic, aflat în zona de întrefier, se va dezvolta o forță generalizată:

$$F = - \frac{\partial W_m}{\partial x} \quad (2.11)$$

Sistemul magnetic, prin forța creată, poate interacționa cu mediul exterior.

2.6.6.6. Sisteme electromecanice

Asupra elementului mobil al sistemului se va exercita o forță electromagnetică sau un cuplu electromagnetic determinat în conformitate cu teorema forțelor generalizate. Forța electromagnetică f_{em} , respectiv cuplul electromagnetic m_{em} se consideră pozitive dacă acționează în sensul vitezei de deplasare (viteză liniară, respectiv viteză de rotație). Astfel, variația lucrului mecanic dezvoltat ΔL este pozitivă (conform primului principiu al termodinamicii) și are expresia:

$$\Delta L = f_{em} \cdot v \cdot \Delta t \quad (2.12)$$

$$\Delta L = m_{em} \cdot \Omega \cdot \Delta t \quad (2.13)$$

2.6.7. Concluzii

În general sistemele pot fi clasificate în 3 clase generale. Diferențierea se poate face funcție de intrări / ieșiri, variabilele de stare, elementele componente și componenta matematică utilizată pentru analiză (fig.2.36), (tabelul 2.2).

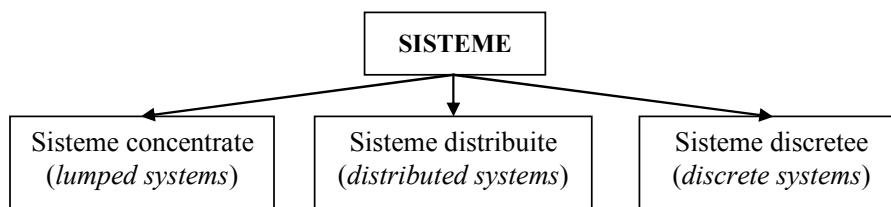


Fig. 2.36 Variantă de clasificare a sistemelor

a) Sisteme concentrate

- **Intrări / ieșiri** - intrările sistemului pot fi funcții continue în timp sau constante. Ieșirile sistemului sunt funcții continue în timp.
- **Variabile de stare** – sistemul poate fi definit printr-un număr finit de variabile de stare continue;
- **Elemente** – elemente sistemului sunt modelate fără o cunoaștere a proprietăților fizice reale; adeseori elementele sunt idealizate cu păstrarea unei anumite caracteristici, etc.
- **Model matematic** - sistemele concentrate sunt reprezentate și analizate pe bază de ecuații diferențiale ordinare.

b) Sisteme distribuite

- **Intrări / ieșiri** - Intrările sistemului pot fi funcții de timp sau funcții de timp și una sau mai multe coordonate spațiale. O aceeași reprezentare o au și ieșirile sistemului: o funcție de timp sau o funcție de timp și una sau mai multe coordonate spațiale.
- **Variabile de stare** – sistemele nu au un număr finit de puncte pentru care se definesc variabilele de stare;
- **Elemente** – se identifică cu medii continue în spațiu.

• **Model matematic** - sistemele distribuite se reprezintă și se analizează pe bază de ecuații diferențiale parțiale.

c) Sistemele discrete

- **Intrări / ieșiri** - valori discrete
 - după nivel – mărimea de ieșire apare doar dacă se depășește un anumit prag;
 - după stare – număr finit de stări;
 - cu acțiune prin impulsuri
- **Variabile de stare** – deseori de asemenea discrete dar nu pot fi fizice;
- **Elemente** – elemente cu acțiune de tip releu, elemente logice, bistabile, etc.
- **Model matematic** - sistemele discrete sunt reprezentate și analizate pe bază de metode numerice, ecuații cu diferențe finite, teoria automatelor finite, etc.

Tabelul 2.2

Categorია sistemului (fenomenologic)	Clasa sistemului		
	Continuu		Discontinuu
	Concentrat	Distribuit	Discret
Electric	√	√	√ (digital)
Mecanic	√	√	
Chimic	√	√	
Termic	√	√	
Biologic	√	√	√
Mediu & resurse	√	√	√
Industrial			√
Transport			√
Comunicații	√	√	√
Social	√	√	√

O clasificare a modelelor și modul de reprezentare matematică a acestora prin ecuații liniare și neliniare, parametri concentrați și distribuiți, etc. este prezentată în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3

MODELUL MATEMATIC	CLASIFICAREA SISTEMULUI
$\mathbf{x} = \mathbf{x}(z)$	Static
$\mathbf{x} = \mathbf{x}(z, t)$	Dinamic
$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = 2\mathbf{x}(t)$	Liniar, coeficienți constanți, parametri concentrați, neforțat
$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = 2\mathbf{x}^3(t)$	Neliniar, coeficienți constanți, neforțat, parametri concentrați
$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = 2\mathbf{x}(t) + 2t$	Liniar, coeficienți constanți, forțat, parametri concentrați

(continuare Tabelul 2.3)

$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = (2t+3) \cdot \mathbf{x}^2(t) + t$	Neliniar, coeficienți variabili, forțat, parametri concentrați
$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = 3\mathbf{x}^2(t) + e^{-2t} + f(t)$	Neliniar, coeficienți constanți, forțat, parametri concentrați
$\frac{\partial \mathbf{x}(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 \mathbf{x}(z, t)}{\partial t^2} + \mathbf{x}(z, t)$	Liniar, coeficienți constanți, neforțat, parametri distribuiți

2.7. Sisteme mecatronice

2.7.1. Mecatronica și sistemul mecatronic

Evoluția în timp a tehnicii concretizată prin mecanizare, automatizare și robotizare a fost determinată în principal de posibilitatea de utilizare în mod superior a informației. În același timp, apariția microprocesorului și a memoriilor semiconductoare a permis o abordare funcțională a procesului de realizare a produselor tehnice.

Cele specificate au coincis cu necesitatea unui număr din ce în ce mai mare de produse noi – concepție și realizare - care înglobează pe lângă componenta mecanică și importante fracțiuni de electronică și informație. Într-o egală măsură evoluția unor sisteme mecanice tradiționale a fost posibilă prin transferarea realizării unor funcții spre zona electronică și a tehnologiei informației.

În acest context la nivelul anului 1969 cercetători ai firmei Yasukawa Electric Company au introdus noțiunea de *mechatronics* ca și o abreviere bazată pe **mecha** – “*mechanism*” + **tronics** – “*electronics*” [2.4], [2.6]. Mecanica, electronica și software-ul reprezintă componentele de bază ale mecatronicii.

Noțiunea a generat controverse, discuții, analize și diverse abordări. Întrebările au avut la bază atât domeniul cât și “obiectele” mecatronice. Iată câteva dintre aceste controverse:

- este un domeniu nou sau o combinație ale unor domenii existente?
- este vorba despre controlul sistemelor mecanice cu calculatorul ?
- se definesc mecanismele inteligente ?
- este vorba de mașini computerizate ?
- este vorba despre sisteme mecanice informatizate ?

Răspunsurile la modul de definire a mecatronicii au apărut în timp, prin diverse definiții abordate la nivelul colectivelor de cercetare și proiectare:

- integrarea sistemelor mecanice, electronice și informatice pentru realizarea produselor și sistemelor tehnologice “inteligente” (Japonia 1983);
- mecanică fină, control, știința calculatoarelor și electronică în proiectarea proceselor de realizare a unor produse mai funcționale și mai adaptabile (San Jose State University - USA);
- câmp de studiu combinativ al fundamentelor de inginerie mecanică, electrică și calculatoare (Chico State University - USA);
- combinație de software și hardware pentru proiectarea și analiza tehnicilor de

control avansate (Clemson University- USA);

- nouă filozofie de proiectare prin integrarea tehnologiilor mecanice, electronice și informatice în scopul producerii de produse, procese și sisteme performante (Loughborough University –Anglia);
- combinație de tehnologie mecanică, electronică și informațională pentru a forma o interacțiune funcțională și o integrare spațială în componente, module, produse și sisteme (Univesity of Twente – Olanda);
- modalitate flexibilă, multitehnologică de integrare a ingineriei mecanice, electronice, știința calculatoarelor și informatică (Berkeley University - USA); controlul sistemelor mecanice [2.4];
- integrare sinergică a ingineriei de mecanică fină, control electronic și sistemele logice în proiectarea produselor și proceselor inteligente (Nort Carolina State University - USA);
- aplicație a conceptului de inginerie concurentă pentru proiectarea sistemelor electromecanice. Această filozofie de proiectare este un exemplu în proiectarea interdisciplinară și integrată acolo unde subsistemele electrice, electronice, computere și mecanice sunt proiectate simultan pentru a funcționa și a se integra într-un singur sistem(Georgia Tech. University - USA);
- știința care integrează dispozitivele mecanice și controlul electronic (în “Design with Microprocessors for Mechanical Engineers”);
- integrare sinergică a ingineriei mecanice cu electronica și controlul inteligent computerizat în proiectarea și realizarea produselor industriale și a proceselor” (ASME Trans. on Mecha., nr.1, 1996);
- metologie – colecție de practici, proceduri, reguli - utilizată pentru proiectarea optimă a produselor electromecanice”(Mechatronics System Design– D.Shetty, 1997).

În primul său număr, revista ASME Transactions on Mechatronics precizează 10 domenii de interes pentru noul concept lăsând deschisă lista (tabelul 2.4).

Tabelul 2.4

modelare, simulare	controlul mișcării
sisteme integrate	controlul vibrațiilor
actuatoare și senzori	microsisteme optoelectronice
control inteligent	subsisteme ale automobilului
robotică	altele
tehnologie	

Modul de reprezentare și identificare a elementelor componente este extrem de divers. O reprezentare concisă fără detalieri a interdependențelor dintre elementele componente este ilustrată în figura 2.37.

Un mod de reprezentare mai complex a structurii unui hipersistem mecatronic este dat în figura 2.38 [2.4]. Sistemul controlat este procesul mecanic aflat în contact cu mediul prin “senzori” și “actuatoare”. Sistemul mecatronic se deosebește de alte sisteme prin cele trei subsisteme ale sistemului de control reprezentate prin percepție,

planificare / control și reprezentarea cunoștințelor.

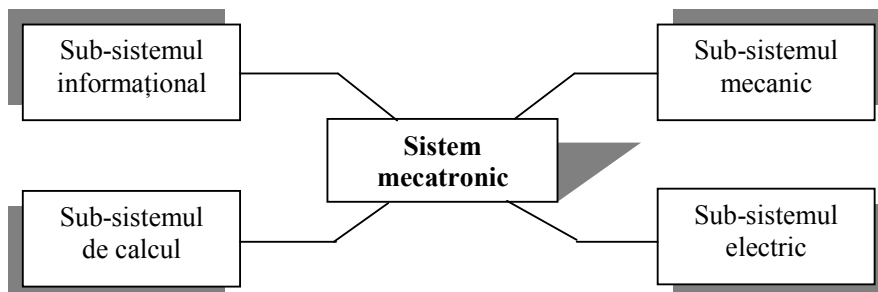


Fig. 2.37 Elementele componente ale mecatronicii

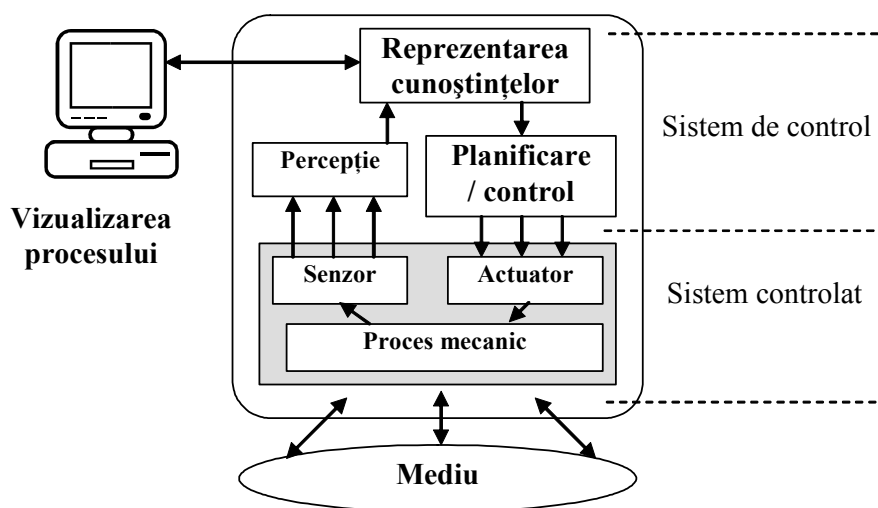


Fig. 2.38 Hipersistemic mecatronic

Modulul “*Mediu*” influențează prin parametrii proprii – temperatură, umiditate, presiune etc. – comportarea sistemului. Condițiile de mediu în care un sistem își poate desfășura activitatea la parametrii doriți sunt precizate prin recomandări practice.

Modulul “*Proces mecanic*” definește realitatea fizică a sistemului care este cercetată și condusă. Intrările în acest modul provin de la modulul “*Actuator*”. Ieșirile modulului se constituie ca și mărimi de intrare pentru modulul “*Senzor*”.

Modulul “*Senzor*” are rolul de obținere a informațiilor necesare despre procesul mecanic.

Modulul “*Planificare / control*” stabilește, pe baza informațiilor primite despre procesul mecanic, planul de acțiune și control astfel încât să fie atinși parametrii doriți în procesul mecanic.

Modulul de interfațare “*Vizualizare proces*” transferă informațiile între componentele sistemului și permite dialogul cu operatorul uman.

2.7.2. Exemple de sisteme mecatronice

2.7.2.1. Hard-disc-ul sistemelor de calcul

Multe sisteme mecatronice sunt vizate prin ultra-precizie impusă în controlul ieșirii sistemului. Harddisc-ul este un exemplu de astfel de sistem unde eroarea de poziționare este de nanometru [2.5].

O unitate de hard-disc este un dispozitiv pe care calculatorul îl folosește pentru stocarea permanentă (nevolatilă) a datelor.

Construcția fizică de bază a unui hard-disc constă din discuri rotative, cu capete care se mișcă pe deasupra suprafeței lor și stochează date pe piste și sectoare. Capetele citesc și scriu date în inele concentrice numite piste, care sunt divizate în segmente numite sectoare

Unitățile de hard-disc au de obicei mai multe discuri – platane - amplasate unul deasupra celuilalt. Acestea se rotesc solidar, fiecare având câte două fețe, pe care unitatea stochează date. Majoritatea unităților au cel puțin două sau trei platane (patru sau șase fețe) deși sunt unități care au până la 11 sau mai multe platane. Pistele aflate la aceeași poziție, de pe fiecare față a fiecărui platan, luate împreună, alcătuiesc un cilindru. O unitate de hard-disc are în mod normal câte un cap pentru fiecare față de platan, toate capetele fiind montate pe un singur dispozitiv purtător, sau rack. Componentele de bază ale unei unități de hard-disc sunt: platanele discului, capetele de citire / scriere, dispozitivul de acționare a capului, motorul de antrenare, placa logică, cabluri și conecatoare, elemente de configurare (jumpere, comutatoare) (fig.2.39, fig.2.40).

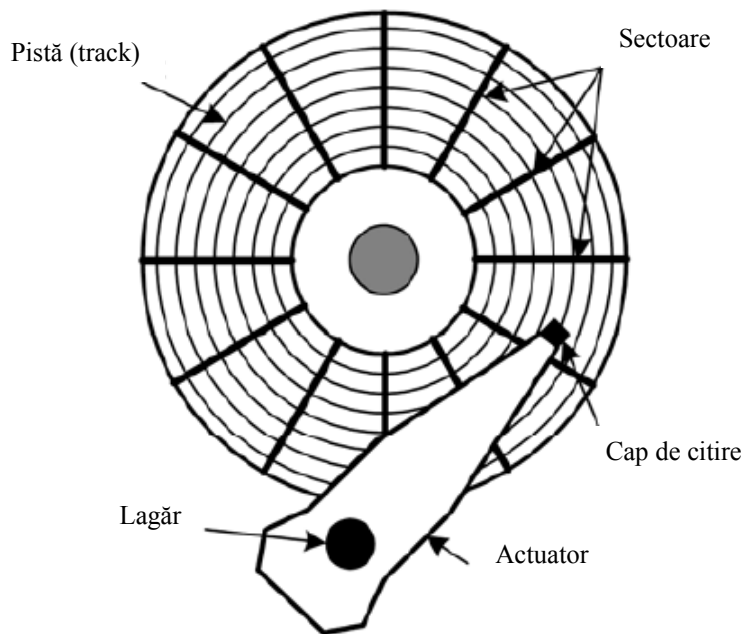


Fig. 2.39 Pistă, sectoare și actuator într-un hard disk

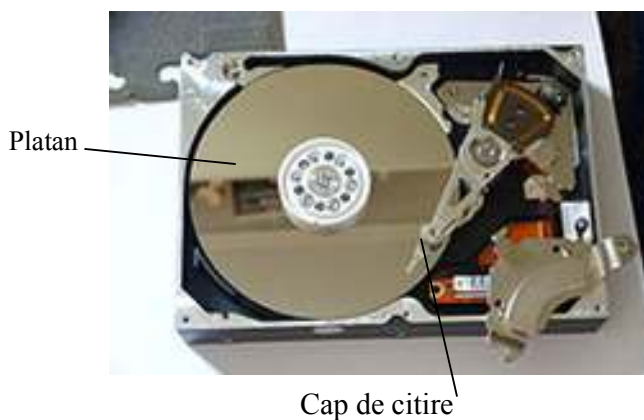


Fig. 2.40 Hard disk deschis (cu magnetul superior îndepărtat)

O comparație, referitor la un hard-disk pentru un laptop, este ilustrată în figura 2.41: a) generația de mijloc al anilor '90; b) generația primilor ani '90. Memoria inclusă în varianta *a* este cu mult superioară celei din varianta *b* dar la dimensiuni mai mici [2.13].



Fig. 2.41 Comparație a două generații de hard disk-uri

2.7.3. Industria automobilelor

Unul dintre domeniile care scot în evidență extrem de puternic evoluția produselor pe de o parte și a mecatronicii în general este cel al industriei automobilelor. O serie de sisteme cu destinație precisă - pentru creșterea siguranței de funcționare și a facilităților ambietale - au fost introduse în dotarea automobilelor moderne în raport cu automobilele clasice:

- sistemul antișoc ABS (Antilock Brake System) a fost introdus în anii 1970;
- sistemul de control al tracțiunii TCS (Traction Control System) a fost introdus la mijlocul anilor 1970;
- sistemul de control al dinamicii automobilului VDC (Vehicle Dynamics Control) poate fi atribuit anilor 1990. Similar sistemului TCS, noul sistem include și facilitățile oferite de un senzor de accelerație laterală pentru asigurarea direcției de rulare.

Subsistemul de control include o unitate CPU pe 8, 16 sau 32 bit. Microcontrolerul dispune pe placa de bază de memorie (EEPROM / EPROM), intrări analogice și digitale, convertoare A / D, PWM, funcții de timp. Procesorul pe 32 bit este utilizat pentru coordonarea motorului, controlul transmisiei și al airbag-ului. Procesorul pe 16-bit este utilizat pentru controlul ABS, TCS, VDC, instrumentației și sistemului de aer condiționat. Procesorul pe 8 bit este utilizat pentru controlul poziției scaunului, oglinzii și a liftului geamului. La ora actuală un număr de 30-60 microcontrolere intră în dotarea unui automobil modern.

Dotarea automobilului modern cu un sistem informațional – navigație, internet, email, telefon, multimedia – este o altă facilitare pe care tehnologia mecatronică o oferă industriei automobilului. Controlul climei, temperaturii etc. sunt alte facilități remarcabile. Sistemul radar care intră în dotarea automobilului îi permite acestuia menținerea distanței în raport cu alte vehicule din trafic în limita impusă pentru evitarea unor accidente (fig.2.42)[2.4].

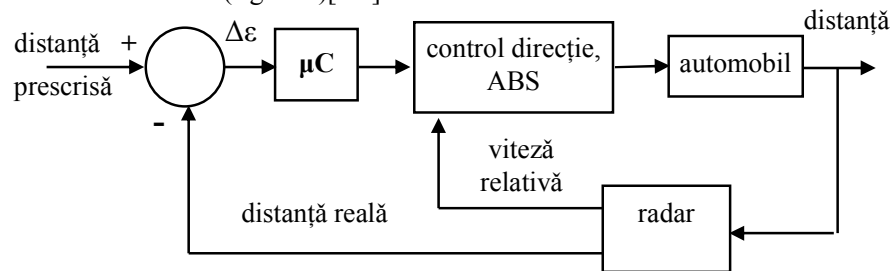


Fig. 2.42 Controlul distanței parcurse de automobil

Sistemul anti-blocare (anti-lock) este dotat cu un senzor de rotație în diferențial, un circuit de control și un controler pentru roțile din față. Varianta principală a sistemului este prezentată în figura 2.43.

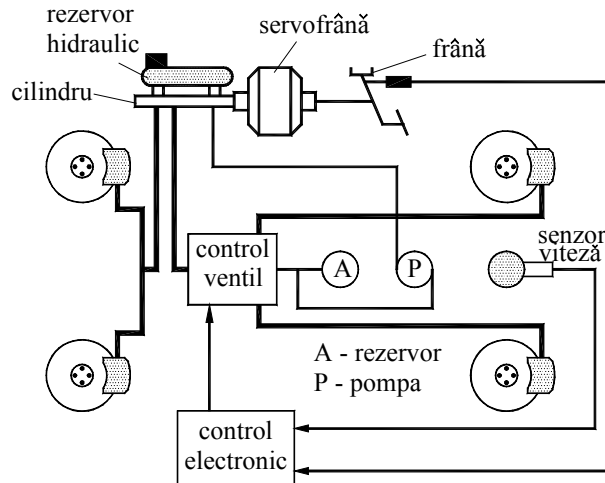


Fig. 2.43 Sistemul anti-blocare (anti-lock)

Sistemul anti-alunecare reprezintă următorul nivel de dezvoltare a conceptului ABS. Se include controlul pe toate roțile și se suplimentează numărul senzorilor de rotație și a circuitelor de control.

Creșterea numărului de microcontrolere din dotarea automobilelor – clasificate în trei clase – este prezentată în figura 2.44 [2.4].

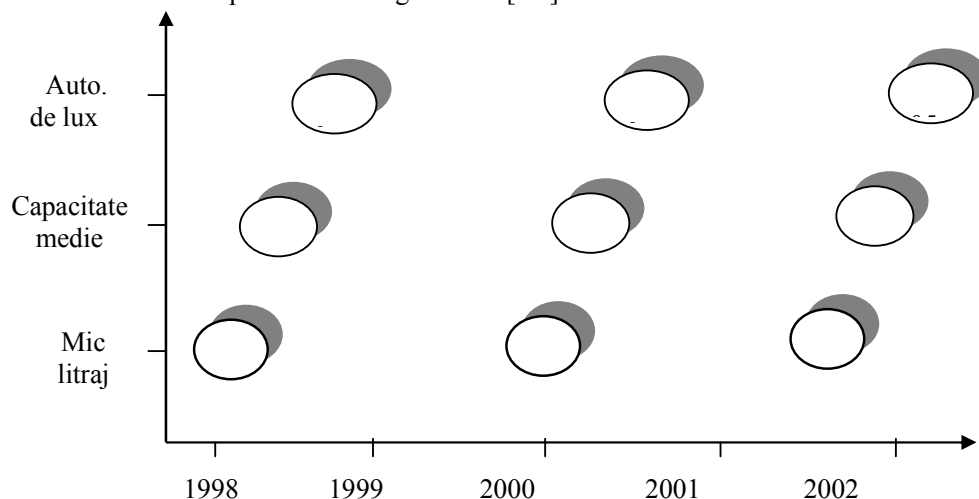


Fig. 2.44 Microcontrolere în dotarea automobilelor

Schema bloc a aprinderii electronice cu microprocesor (efectuează operații aritmetice și logice) este prezentată în figura 2.45.

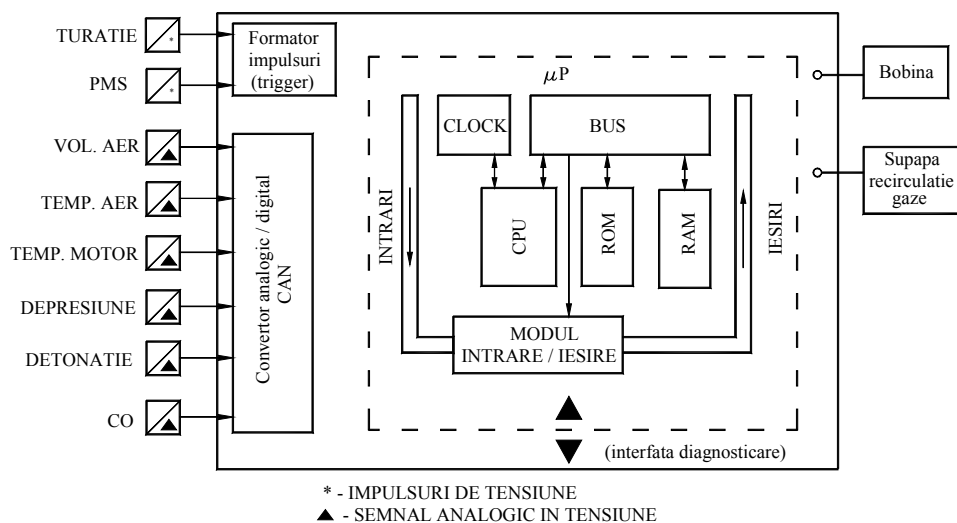


Fig. 2.45 Schema aprinderii electronice cu microprocesor

Sistemul de aprindere cu control integral este o altă aplicație mecatronică în industria automobilului. Odată cu introducerea turbosupralimentării s-a văzut necesară

introducerea unui sistem de aprindere. Apariția frecventă a detonației și necesitatea de a reduce avansul la încărcare totală, fără a afecta randamentul și consumul la sarcini parțiale, a impus necesitatea dezvoltării unor sisteme de aprindere adaptive, în circuit închis. Principala caracteristică a acestui sistem constă în modificarea avansului în sensul păstrării acestuia în limita detonației chiar în zona detonațiilor incipiente.

Programele de lucru și datele experimentale de referință (curbe caracteristice de funcționare) sunt stocate în memoria ROM. Informațiile obținute de la senzori sunt stocate (cu o anumită frecvență) temporar în memoria RAM și vor fi prelucrate de microprocesor. Se pot înregistra o serie de valori pentru utilizarea lor în secvențe ulterioare de program sau pentru o “istorie” a funcționării.

Sistemul de navigație GPS, sistemul de coordonare a stabilității, sistemul de prevenire a coliziunilor, recunoașterea vocii, accesul la internet, facilități de vedere pe timp de noapte sunt câteva dintre direcțiile ce se urmăresc în dezvoltarea capacităților automobilelor moderne constituind aplicații mecatronice.

2.7.4. Echipament pentru injecție mase plastice

O linie de injecție mase plastice prevăzută cu tăierea materialului este inclusă de firma Yaskawa în rândul aplicațiilor mecatronice (fig.2.46). Cuțitul de tăiere este sincronizat cu mașina de injectat. Poziția conveiorului de tranfer (acționat de motorul M1) este furnizată de senzorul 2 iar tăierea materialului este semnalizată de senzorul 1. Poziția cuțitului de tăiat este controlată printr-un senzor montat pe arborele motorului M2 [2.4].

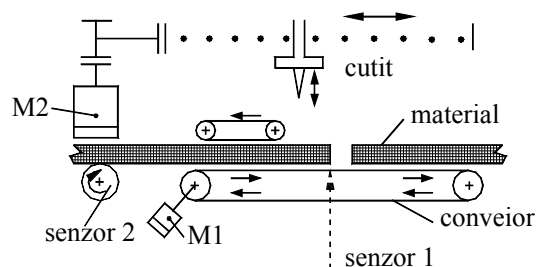


Fig. 2.46 Linie de injecție mase plastice

2.7.5. Echipamente pentru medii curate

Firma Yaskawa dezvoltă tehnologii și produse pentru utilizarea în medii curate / vacuum. Una din aplicațiile importante este cea a tehnologiei semiconductorilor. În acest scop firma Yaskawa a introdus tehnologii mecatronice și componente pentru sistemele mecatronice: servomotoare c.a. pentru lucru în vacuum, sisteme de transfer pe bază de levitație, roboți industriali pentru lucru în medii curate. Un astfel de robot este prezentat în figura 2.47a și figura 2.47b. Un sistem de transfer pentru medii curate este prezentat în figura 2.48.

Aplicațiile industriale impun și utilizarea unor echipamente periferice de soluții speciale. Un astfel de caz este dispozitivul de prehensiune pentru piese de tip placă utilizat în mediile curate (fig.2.49)

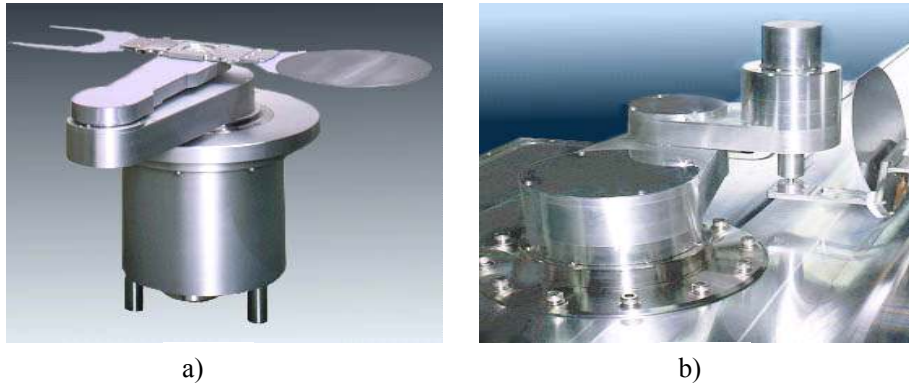


Fig. 2.47 Tehnologie în medii curate



Fig. 2.48 Sistem de transfer pentru medii curate



Fig. 2.49 Dispozitiv de prehensiune

2.7.6. Aplicații biomecatronice

Una din ofertele filozofiei mecatronice în proiectare este abordarea sinergică a problemelor. În acest context, la ora actuală se poate vorbi despre o nouă tendință în

robotică în contrast cu robotica clasică. Noua orientare este dictată practic de influențele – idei, principii – din zona biologiei [2.13]. Punctul de plecare constă în modelarea diverselor aspecte ale sistemelor biologice. Facilitățile sinergice oferite de științele fundamentale, inginerie și medicină au condus în mod constant la găsirea de soluții pentru creșterea calității vieții omului. Din acest punct de vedere, mecatronica clasică a făcut un pas important spre biomecatronică cu aplicații esențiale în domeniul medical.

Evoluția roboticii în direcțiile aplicative în principal și susținute prin construcții adecvate în secundar este concludentă prin modurile de definire a acestei noțiuni pe parcursul timpului.

- Robotul este un manipulator reprogramabil, multifuncțional proiectat pentru a deplasa material, componente sau dispozitive specializate pe baza unor mișcări variable programate și pentru a realiza sarcini specifice
Robotics Industry Association (~ 1980)
- Robotica este o conexiune inteligentă între percepție și acțiune
Prof. Sir Michael Brady, Oxford University (~ 1985)
- Robotul este o mașină capabilă a extrage informație dintr-un mediu și a utiliza cunoașterea pentru a se mișca sigur în lumea respectivă pentru scopul propus.
Prof. Maja Mataric (Comp. Sc. Dep., Univ. Of Calif., USC Rob. Lab (~1990)
- Robotica este știința și tehnologia de a proiecta sisteme mecatronice capabile de a genera și controla mișcare și forță.
Prof. Paolo Dario, Univ. Of Pisa (~ 2000)

Această evoluție în abordarea conceptuală și constructivă s-a făcut simțită și în zona aplicativă (fig.2.50)[2.3].

Trebuie remarcată și accentuată aplicabilitatea pe mai multe planuri a roboticii în domeniul medical: aplicații clinice, robotică personală, protezare, exoschelete, teleoperare. Având în vedere că robotica a fost dezvoltată pornind de la aspectul biomecanic al omului, noile direcții medicale au fost influențate de zona biologică.

Biomecatronica reprezintă domeniu aplicativ interdisciplinar având ca scop integrarea unor componente mecanice / electromecanice în corpul uman în scop terapeutic sau pentru a ameliora abilitățile existente.

Biomimetica este un termen relativ recent introdus (Schmitt, 1969). În concordanță cu Webster Dictionary, biometica analizează posibilitățile de sintetizare artificială a substanțelor și materialelor biologice, a mecanismelor și proceselor biologice. Sistemele biologice se prezintă, după o evoluție îndelungată în timp, ca sisteme optimizate care pot constitui puncte de plecare pentru realizarea de sisteme artificiale. Toate funcțiile obiectiv au fost orientate spre supraviețuirea individuală sau a speciei. Se pot aminti astfel de funcții:

- Energia consumată minimă pentru mișcarea biologică în general și respectiv mișcarea umană în particular;
- Multifuncționalitatea și adaptabilitatea sunt caracteristici esențiale ale sistemelor biologice. Aceste sisteme sunt capabile de a conduce / rezolva optimal diferite sarcini în limita capacităților sale (stabilitate, oboseală, etc.).

Această abilitate este cu atât mai vizibilă când sistemul biologic este forțat să se adapteze unor sarcini noi.

- Evoluția biologică combinată cu alte mecanisme (de ex.: mutațiile genetice) este în strânsă corelație cu supraviețuirea și dezvoltarea speciilor. Evoluția biologică este un proces care descrie cumulativ schimbările din sistemul biologic. Algoritmul genetic este o metodă pentru căutarea soluției optime și este inspirat din evoluția biologică, selecția naturală și genetică.

Ca o concluzie a celor enunțate anterior se reconfirmă aplicațiile sugestive pentru biomecatronică și biorobotică în domeniul medical:

- Protezare a membrului superior și a celui inferior;
- Sistem mecatronic pentru asistarea și recuperarea persoanelor bolnave sau cu handicap;
- Sistem mecatronic pentru intervenție chirurgicală
- Sistem mecatronic pentru tele-operații chirurgicale
- Componente pentru control activ (endoscop etc.).
- Construcția de exoschelete.

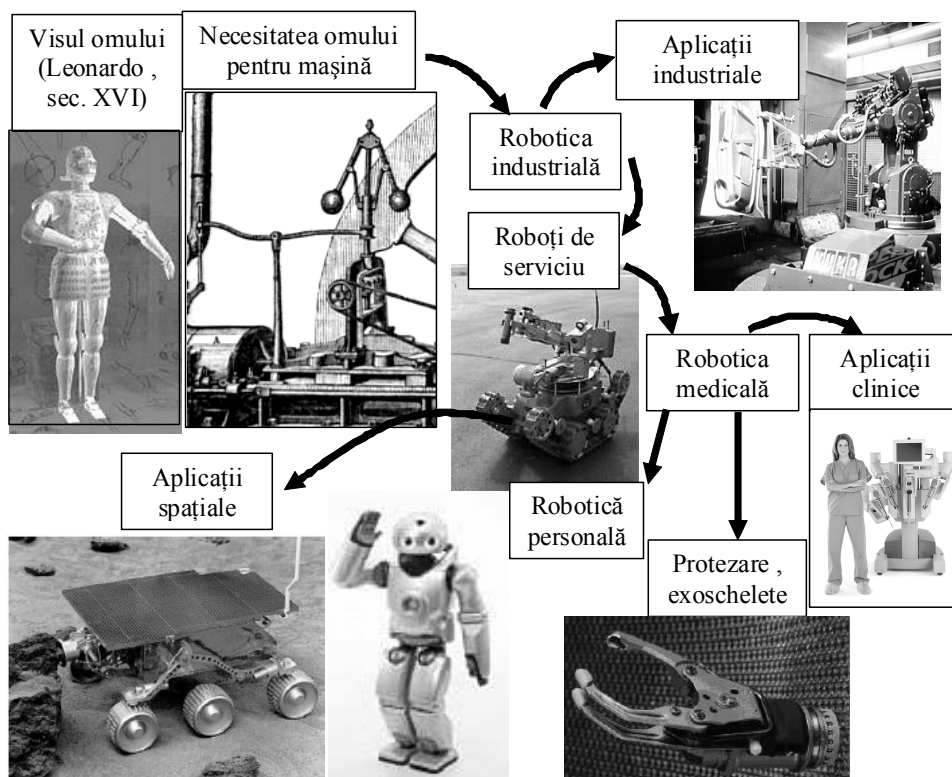


Fig. 2.50 Direcții ale sistemelor robotizate

Structura complexă a ultimilor aplicații permite o sistematizare punctuală pentru

cele două categorii de organe mecatronice – actuator și senzori. Actuatorul destinat unei protezări diferă constructiv și uneori și funcțional de cel din structura unui robot pentru intervenție chirurgicală.

Exemplificăm o astfel de sistematizare pentru un **sistem mecatronic de protezare** a mâinii umane (fig.2.51) [2.1]:

- **Actuatoare:** 2 servosisteme de c.c.
- **Senzori** : proprioceptivi (senzor de poziție - efect Hall, senzor de rotație (abducție / adducție) – efect Hall, senzor de forță) și exteroceptivi (tactili)

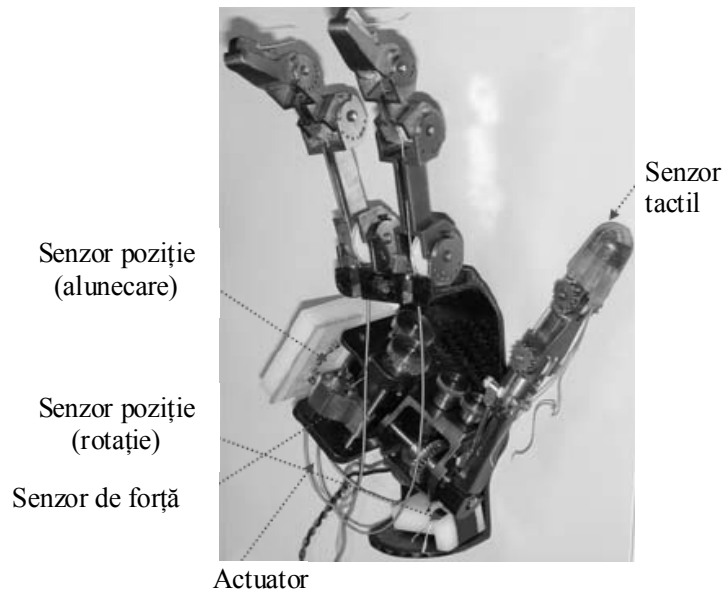


Fig. 2.51 Proteză pentru membrul superior

Pentru o **proteză a membrului uman inferior** structurarea este mai simplă (fig.2.52) [2.2]:

- **Actuator** : 1 servosistem de c.c.
- **Senzor:** Proprioceptiv (senzor de poziție liniară + element elastic = forță)

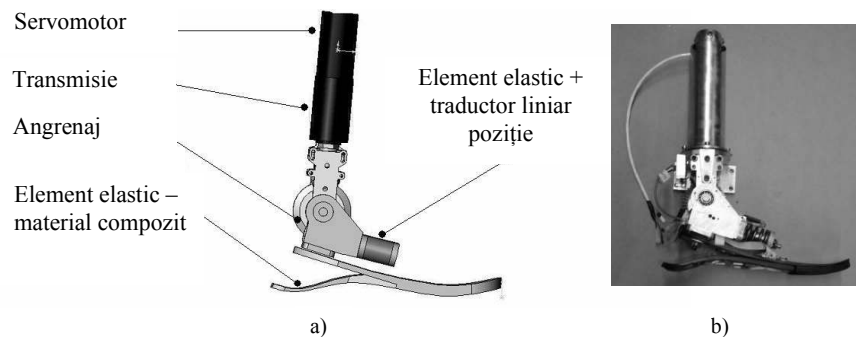


Fig. 2.52 Proteză pentru membrul inferior

2.7.7. Linie de montaj

Linia este capabilă să monteze până la 60.000 de componente pe oră în condiții date de lucru. Aplicațiile se includ în sfera de montaj a echipamentelor electronice, calculatoare și telecomunicații care necesită un volum mare de muncă. Linia dispune de 16 roboți “pick-and-place” și automate de montaj (AM) (fig.2.53). Structura modulului pentru axa y este prezentată în figura 2.54. Sistemul în integritate sa se constituie ca un caz al sistemelor mecatronice: un sistem electromecanic cu controlul mișcării. Schema bloc al acestui hipersistem este prezentată în figura 2.55 [2.4].

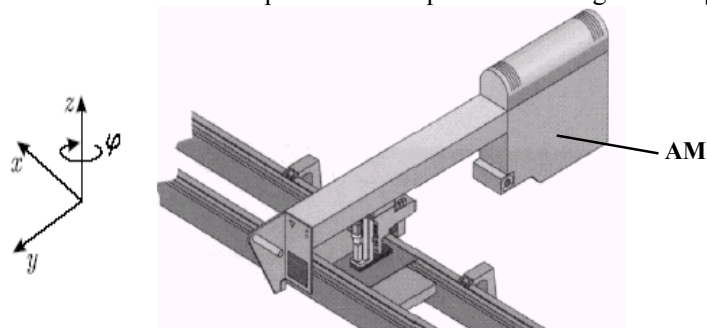


Fig. 2.53 Linie de montaj

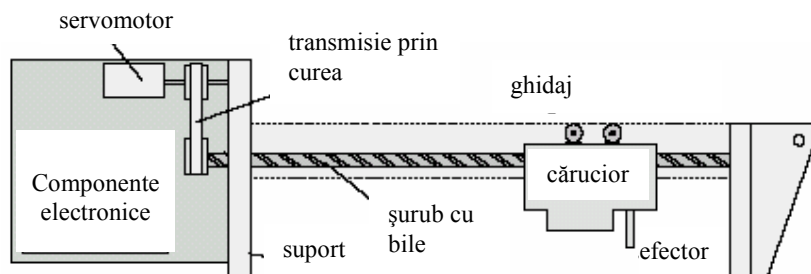


Fig. 2.54 Modul de translație

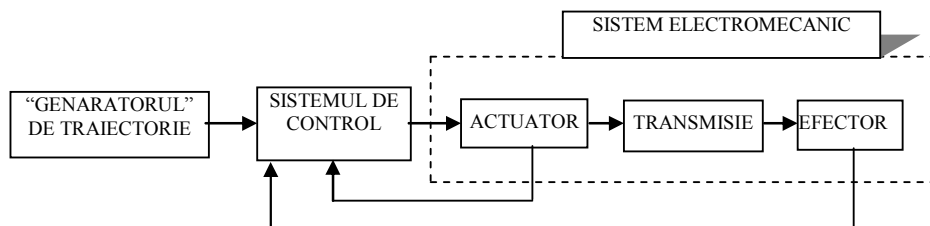


Fig. 2.55 Sistem electromecanic cu controlul mișcării

2.7.8. Concluzii

Fosta societate japoneză pentru promovarea industriei constructoare de mașini (JSPMI) clasifică produsele mecatronice în patru mari categorii:

Clasa 1 – produse mecanice cu electronică încorporată pentru a mări capacitățile funcționale. Exemple tipice acestei clase includ mașini unelte cu comandă numerică și

acționările cu viteză variabilă pentru mașinile de producție de masă;

Clasa 2 – sisteme mecanice tradiționale cu o componentă electronică semnificativă modernizată dar cu interfață utilizator neschimbată. Ex: mașini de țesut / cusut și sisteme de producție automate;

Clasa 3 – sisteme care mențin funcționalitatea sistemelor mecanice tradiționale dar mecanismele interne sunt înlocuite printr-un sistem electronic adecvat. Ex: ceasul electronic;

Clasa 4 – produse proiectate cu tehnologie mecanică și electronică printr-o integrare sinergică. Ex: xerox, mașini de spălat și mașini de gătit automate.

Fiecare clasă de produse scoate în evidență progresul produselor electromecanice în paralel cu dezvoltarea teoriei controlului, tehnologia informației și a microprocesorului:

- produsele clasei 1 sunt definite prin servo-tehnologie, electronică de putere și teoria controlului;
- produsele din clasa 2 sunt remarcabile prin utilizarea componentelor de calcul și memorie și circuite cu capacități speciale;
- produsele clasei 3 sunt caracterizate prin înlocuiri ale sistemelor mecanice de către circuite integrate și microprocesor;
- produsele clasei 4 sunt practic produsele mecatronice prin integrarea sinergică a tehnologiilor.

2.8. Bibliografie capitolul 2

- [2.1] Au, S., Dilworth, P., Herr, H.: An ankle-foot emulation system for the study of human walking biomechanics, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation Orlando, Florida - May 2006, pp.2939-2945
- [2.2] Dario, P.: The fusion of neuroscience and robotics, IURS, 2005
- [2.3] Dolga, V., s.a., Sisteme mecatronice complexe pentru aplicații în medicină, Contract de cercetare 72197 / 2008 (faza 1-2009), Timișoara, 2009
- [2.4] Dolga, V., Proiectarea sistemelor mecatronice, Ed. Politehnica, Timișoara, 2008
- [2.5] Manum, A.A., Guo, G.X., Bi, C., Hard Disk Drive. Mechatronics and Control, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007, ISBN 978-0-8493-7253-7
- [2.6] Necșulescu, D., Advanced Mechatronics. Monitoring and Control of Spatially Distributed Systems, World Scientific, 2009, ISBN 978-981-277-181-0
- [2.7] Eykhoff, P., Identificarea sistemelor, Editura Tehnică, București, 1977
- [2.8] Pidwirny, M. (2006). "Definitions of Systems and Models". Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. Date Viewed, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/4b.html>
- [2.9] Piot, N.L.F., Bourjault, A., Recent Trends in Mechatronics, Kogan Page Science, 2003, ISBN 1-903996-46-5
- [2.10] Țițeica, Ș., Termodinamica, Ed. Academiei, 1982
- [2.11] ***, System, http://www.its.blrdoc.gov/fs-1037/dir-036/_5255.htm
- [2.12] ***, System, <http://www.thefreedictionary.com/system>
- [2.13] ***, Moore's Law is stable, <http://www.expira.se/ep/>
- [2.14] ***, System, <http://en.wikipedia.org/wiki/System>