

7. PROIECTAREA SISTEMELOR MECATRONICE

7.1. Cauzalitate și necesitate

Activitatea de proiectare este un tot prea complex pentru a fi descris printr-un proces cu o singură dimensiune care debutează cu necesitatea situației și are drept rezultat un sistem tehnic complet. Pornind de la acest considerent în [7.14] se consideră că activitatea proiectantului poate fi structurată pe trei nivele:

- Proiectantul trebuie să aibă capacități de a rezolva probleme în general: specificații, idei creatoare, evaluări;
- Proiectantul poate fi solicitat pentru sinteză de sisteme tehnice: funcții tehnologice, principii de lucru, forme de componente;
- Proiectantul execută o activitate complexă pentru dezvoltarea unui produs în companie – relații dintre proiectanți, producție și marketing.

Fiecare fază poate fi divizată în subdiviziuni, fiecareia dintre ele atașându-se metode de proiectare specifice.

Rezolvarea de probleme este o activitate elementară în orice proiect. Metodele la acest nivel pot fi aplicate la orice problemă deschisă (de exemplu cu mai multe soluții). Sunt incluse metode pentru probleme specifice, pentru generarea de idei și pentru evaluare și prezentare de soluții. Aceste metode se bazează pe capacitatea umană de gândire, cugetare și de a emite opinii.

Sinteza sistemelor tehnice are la bază dezvoltarea inginerescă de mașini sau sisteme tehnice de la funcții abstracte (de ex. modelul black-box) până la forme concrete și de detaliu (formă grafică – desenată). Metodele acestui nivel are la bază caracteristicile sistemului tehnic. Acest nivel presupune metode care iau în considerare transformări de materiale, energie și informație, efecte fizice, forme diverse etc.

Dezvoltarea de produs include toate activitățile necesare pentru companie de a stabili afaceri bazate pe nivel de produs. Metodele sunt dependente de structurile companiei și de complexitatea produsului dezvoltat. Se includ scenarii tehnice, analiza competitivității, planificare etc.

Proiectarea în mecatronică este definită ca *o metodă specială, ca o nouă filozofie în proiectare*. Este necesară această nouă filozofie ? De ce ? Sunt întrebări la care vom încerca să răspundem în continuare. Un prim răspuns cert este că era necesară această

nouă abordare. În mod concis se pot preciza câteva argumente de justificare a răspunsului anterior:

- metodele clasice prezentate sunt greu aplicabile pentru sistemele mecatronice;
- este dificil de a diviza activitatea de proiectare într-o parte mecanică, electronică și software, a stabili o interfață între cele trei domenii și a realiza un sistem optim în termen;
- în diversele definiții ale mecatronicii, aspectul de “control” al sistemelor mecanice este prezent sub diverse forme. Deseori în aplicarea clasică, anterioară mecatronicii, teoria controlului sistemelor este de tip conceptual iar “control” se identifică cu un cuvânt fără a fi corelat cu semnificația de a fi controlat [7.6]. Teoria controlului sistemelor este dependentă de tehnologie iar tehnologia este multidisciplinară.

În mod logic se pune întrebarea: diferă și dacă da, prin ce diferă proiectarea mecatronică față de cele trei sfere de definire ale sale ?

În [7.14] se încearcă un răspuns printr-o analiză pertinentă prezentându-se comparativ o serie de diferențe majore între proiectarea mecanică, electronică și de software (tabelul 7.1).

Tabelul 7.1

	DOMENIUL MECANIC	DOMENIUL ELECTRONIC	DOMENIUL SOFTWARE
Funcții	- transformare de material, energie, informație - există un scop care definește un efect	transformări de informație atașate energiei (semnale electrice)	transformări de informație; funcții logice
Proiectare conceptuală	-funcții principale -structură organică: probleme noi, se pot găsi soluții noi	- structură modulară - proiect de circuit: sunt disponibile soluții de circuit standard, sunt disponibile componente standard	structuri de program, algoritmi: există un set de operații de bază, reciclarea algoritmilor neobișnuiți
Conceptul de rezolvare	proiectarea fizică și a formei elementelor: sunt posibile tehnologii diverse de producție, toate elementele trebuie specificate prin referiri la formă, dimensiuni, material.	proiectare de asamblare electronică: număr limitat de tehnologii de circuit: PCB, IC etc., în majoritatea cazurilor există subfurnizori de componente	programe codificate, asamblare de module: nu există o fază de producție veritabilă;

(continuare Tabelul 7.1)

Proiectare de model	- realizarea unor elemente necesită modele - modelele sunt ușor de înțeles pentru nespecialiști (schițe, machete)	- grafică standard pentru simbol - acces ușor pentru modelarea funcționării prin componente - simulare fiabilă prin software	- până la faza de codificare există numai modele grafice (diagrame); - acces ușor pentru modelarea funcțională (posibil pe orice sistem de calcul disponibil) - dificultăți de a fi explicată și înțeleasă de nespecialiști
Metode de proiectare	- există metode disponibile - metodele nu sunt pur generale, existând și zone de neacceptare în industrie	- există puține metode de proiectare a circuitelor “noi” - puține metode de proiectare de tip packaging	- metode disponibile - interes crescând pentru industrie
CAD	- sunt disponibile modele 2D,3D - proiectarea parametrică, proiectarea prin caracteristici	- sinteză asistată pentru circuite, proiectare logică - PCB, IC layout și simulare - simulare prototip	- “unelte” matematice - programare de nivel înalt - este disponibilă documentare grafică

Metode standard pentru cele trei domenii clasice participante la integrarea mecatronică sunt prezentate în tabelul 7.2 [7.6], [7.7].

Tabelul 7.2

	Domeniul mecanic (VDI 2221)	Domeniul electronic	Domeniul software
1	Specificarea problemei	Caiet de sarcini, specificații	Definirea problemei
2	Definirea funcțiilor și a structurilor	Descrierea sistemului	Analizarea problemei
3	Găsirea soluțiilor și principiilor	Descriere algoritmică	Analiza cerințelor
4	Structurarea modulelor fezabile	Descriere regiștrii – interfețe	Descriere
5	Modelarea modulelor importante	Descriere logică	Proiectare

(continuare Tabelul 7.2)

6	Modelarea întregului produsului	Descriere tranzistoare	Implementare și testare componente
7	Întocmirea planului de execuție și a instrucțiunilor de utilizare	Layout	Integrare și testul - α
8		Fabricație	Testul β
9			Utilizare

Filozofia mecatronică nu este scutită de o serie de întrebări dintre care una este fundamentală: unde se trasează limita de demarcație între mecatronică și sistemul electronic? *Telefaxul* este un produs electronic. Ce se poate însă spune despre *telefonul celular*, *televizorul cu telecomandă* sau *computer*? În sistemele electronice componenta mecanică se reduce adeseori la carcasă, componente pentru asamblare, accesorii etc. **Circuitul electronic nu este un produs mecatronic dar proiectarea și tehnologia de realizare a componentelor și a circuitelor se încadrează în conceptul mecatronic.**

Pornind de la întrebările ce vizau aspectele componentei produsului mecatronic se poate defini structura unui astfel de produs ca o reuniune de *reper*, *componente* și *module*. Reperul este "unitatea" realizată fără operații de asamblare. Componenta este subsistemul cel mai simplu realizat din reper. Modulul este un subsistem de ordin superior compus din componente și reper. *Sistemul produs* este o reuniune de module cu funcții complexe.

7.2. Aspecte teoretice

Proiectarea mecatronică este alături de conceptul propriu zis mecatronic, de o durată relativ recentă. Acest domeniu se bucură de facilitățile oferite de știința proiectării privită în sens larg.

Literatura de specialitate [7.14] distinge patru termeni definitorii pentru metodologia de proiectare și scoate în evidență facilitățile disponibile proiectantului în procesul de proiectare:

- *Metoda de proiectare* constă într-un set de instrucțiuni în scopul asigurării performanței și a uneia sau a mai multor etape din procesul de proiectare. Metodele de proiectare sunt caracterizate prin (Andreasen 1980):
 - *domeniu de valabilitate* (de ex. general sau tehnologic etc.);
 - *nivel de lucru (operare)*: de ex. "dimensiunea" etapei de proiectare acoperă întregul proces de proiectare sau este doar o etapă elementară.
 - "*aria*" de proveniență (de ex. raționament uman, teoria mașinilor, doctrina companiei). De exemplu: brainstorming-ul este o metodă cu validitate generală pentru operații elementare de proiectare și pentru generarea de idei noi (§ 2.5.3.4).

Modelul de proiectare reproduce un subset dintre proprietățile obiectului temă; Modelul include un set de proprietăți, proprietățile modelate, comune cu cele ale obiectului – produs. Trebuie specificat că există și proprietăți ale produsului neincluse în model și care sunt nerelevante procesului de modelare. Schema electrică (sau

electronică) este comună circuitului electric (electronic) al produsului dar în mod real ea este un desen și nu este în mod direct lucrativ în modelare.

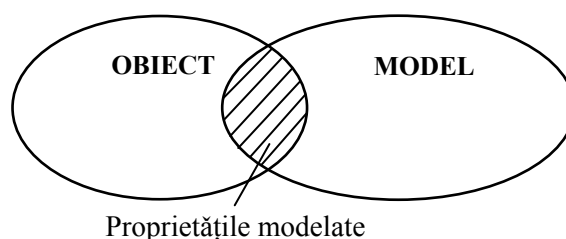


Fig. 7.1 Zona reprezentată de proprietățile modelate

- *Principiul de proiectare* se definește ca o formulă, lege, regulă pentru activitatea de proiectare care asigură frecvent soluții acceptabile. DFA, DFM, Design for six sigma, etc. sunt exemple concludente din acest punct de vedere (§ 3, §4).
- *Procedură de proiectare* se definește ca o secvență recomandată pentru activitatea de proiectare în una sau mai multe faze de lucru.

Teoria sistemelor și ingineria sistemelor sunt esențiale pentru înțelegerea și generalizarea conceptului de mecatronică. Teoria sistemelor asigură conceptul și setul de reguli pentru modelarea sistemelor fizice și descompunerea în subsisteme pe nivele ierarhice. Ingeria sistemelor separă procesul de proiectare în faze care dispun de metode de predicție a costurilor de proiectare, pentru modelare, pentru evaluarea soluțiilor etc.

Andreasen (1980) a formulat principiile științifice pentru proiectarea mașinilor dezvoltând metologia (teoria) domeniilor (fig.7.2).

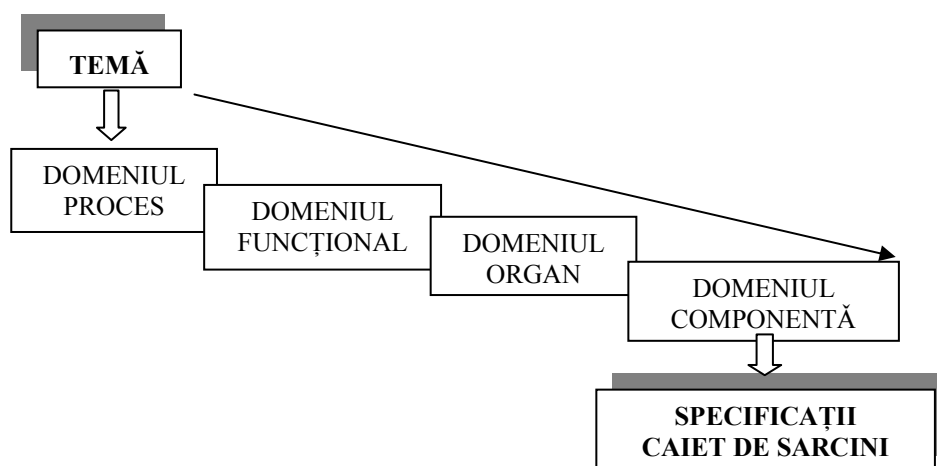


Fig. 7.2 Metodologia domeniilor

Conform acestei metodologii sinteza unei mașini constă în stabilirea succesivă a patru sisteme, fiecare corespunzând unei activități mentale pe un domeniu pentru proiectant. Aceste sisteme reprezintă patru aspecte diferite ale mașinii:

- *Sistemul proces* concretizează structura procesului, care transformă material,

- energie și informație;
- **Sistemul funcțional** concretizează structura funcțiilor propuse sau efecte necesare în mașină pentru a crea transformările specificate;
- **Sistemul organic** concretizează structura organologică care asigură una sau multe funcții cu efecte fizice;
- **Sistemul subansamblu** concretizează structura din piese singulare care compun mașina concepută.

Procesul de sinteză nu se poate descrie printr-o simplă secvență a activității într-un domeniu datorită unor reveniri posibile asupra percepțiilor referitoare la mașina concepută.

Marele avantaj al metodologiei specificate constă în faptul că permite o poziționare precisă a modelelor și metodelor de proiectare fie în interiorul unui domeniu anumit sau pe o tranziție de la un domeniu la altul. Domeniul nu trebuie confundat cu nivelul de abstractizare sau cu numărul de componente la un moment dat al procesului. Utilizând modul de percepere, fiecare domeniu se poate reda într-o reprezentare plană. Domeniul proces poate fi ilustrat printr-o structură conformă cu cea din figura 7.3 [7.21].

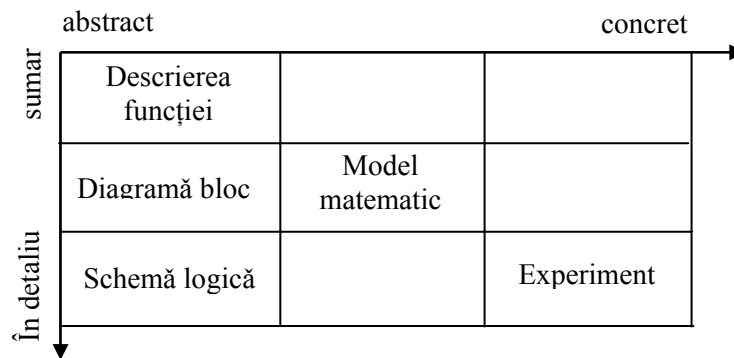


Fig. 7.3 Domeniul proces

Pe același principiu, domeniul funcțional are semnificația din figura 7.4 iar domeniul componentă cel din figura 7.5.

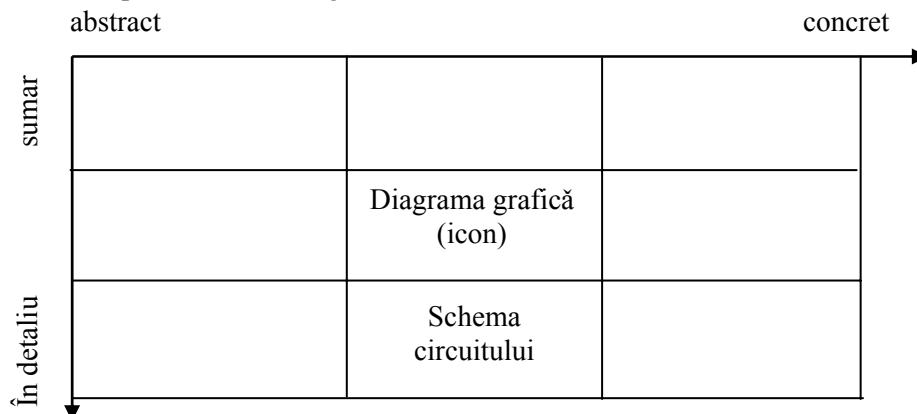


Fig. 7.4 Domeniul funcțional

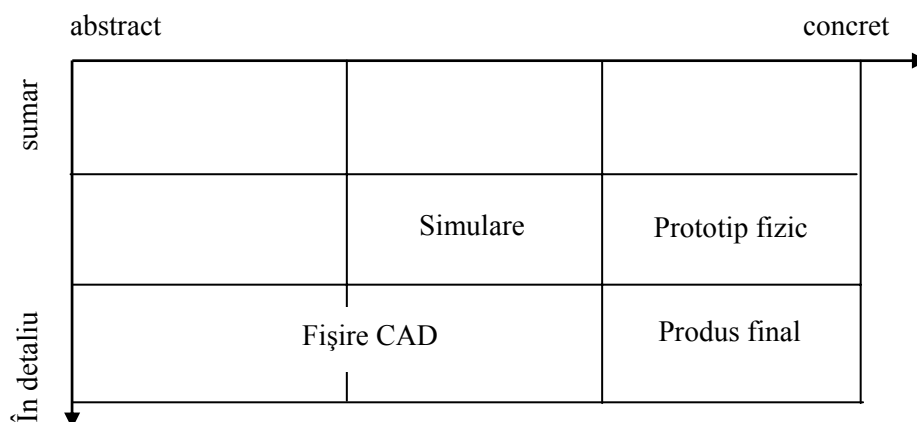


Fig. 7.5 Domeniul componentă

Sinteza produsului se poate imagina ca și o mișcare 3D compusă dintr-o mișcare 2D în interiorul domeniului și o mișcare pe verticală echivalentă trecerii de la un domeniu la altu.

În corelație cu cele specificate, literatură de specialitate ia în considerare pentru proiectarea sistemelor destinate instrumentației, cinci structuri: *structură funcțională*, *structură organică*, *structură informațională*, *structură de acțiune* și *structură socio-tehnică*. Primele două aspecte sunt asemănătoare celor descrise de Andreasen. Structura informațională se include doar dacă există restricții în prelucrarea informațiilor. Ultimele două aspecte nu sunt incluse în metodologia domeniilor. Structura acțiunilor descrie procedurile de control pentru operațiile organice (secvențe, timpi etc.). Ultima structura ia în considerare interacțiunea om – echipament.

Deși nu este adecvată proiectării sistemelor mecatronice, metodologia domeniilor se constituie într-un punct de plecare logic pentru aceasta.

Topicul naturii sistemelor mecatronice poate fi divizat în două nivele:

- **Un nivel funcțional:** sistemele tehnologice independente de transformare și funcții scop. Fidelă teoriei sistemelor filozofia mecatronică identifică noțiunea de **funcție** cu o transformare a unei **intrări** într-o **ieșire**. Totalul funcțiilor unui sistem mecatronic poate fi divizat într-un set de subfuncții în concordanță cu anumite criterii [7.14]. **Funcțiile logice** sunt frecvent menționate în literatura referitoare la sistemele mecatronice. Acestea au ca scop crearea unor **relații cauzale de tip cauză și efect**. Realizarea acestor funcții s-au modificat substanțial cu introducerea microelectronicii.

În literatura de specialitate se propun structuri funcționale generale ca aplicabilitate în structurile mecatronice. Pe lângă *funcția primară (principală)* trebuie să mai existe un set de funcții auxiliare care o să susțină:

- **funcția de comunicare** pentru controlul schimbului de informații între sistemul mecatronic și utilizator sau alte sisteme;
- **funcția de protecție** pentru protejarea funcției principale împotriva unor intrări parazite și pentru protejarea mediului împotriva unor ieșiri nedorite;
- **funcția de control** pentru controlarea funcției principale și pentru ajustarea

- interfeței dintre funcția principală și funcția de comunicare;
- **funcția putere** care presupune asigurarea energiei necesare pentru îndeplinirea funcției principale;
- **funcția structurală** care definește modul de fixare a componentelor în sistem într-o relație spațială.

Un aspect extrem de important referitor la funcțiile sistemului este cel referitor la modul de definire ale acestora în timp. Funcțiile sistemului pot depinde nu numai de intrările în sistem dar și de stări anterioare ale acestuia. Astfel funcțiile sistemului pot fi privite ca variabile o dată cu starea momentană a sistemului.

Abordarea unor decizii în procesul de proiectare poate fi mult simplificată utilizând metodologia descompunerii [7.48]. În baza acestei metodologii, un sistem tehnic se poate structura printr-o:

- a) descompunere ierarhică (fig.7.6);

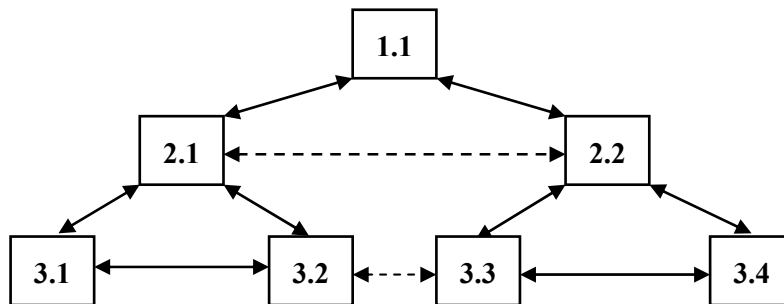


Fig. 7.6 Descompunere ierarhică

- b) interacțiune / interdependență între diverse nivele de subsisteme;
 c) interacțiune între subsisteme din același nivel ierarhic;
 d) descompunere neierarhică, o interacțiune fizică între diverse componente (fig.7.7).

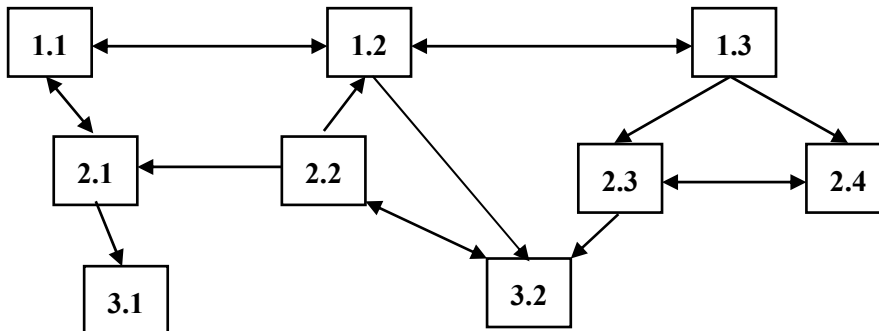


Fig. 7.7 Descompunere neierarhică

Într-o formă superioară de abordare a problemei, în concordanță cu cele prezentate anterior, în domeniul mecatronicii se utilizează o descompunere având ca suport funcția sistemului (fig.7.8). Modul de abordare a lucrului poate fi dezvoltat de la abstract (fig.7.9) la o formă concretă (fig.7.10).

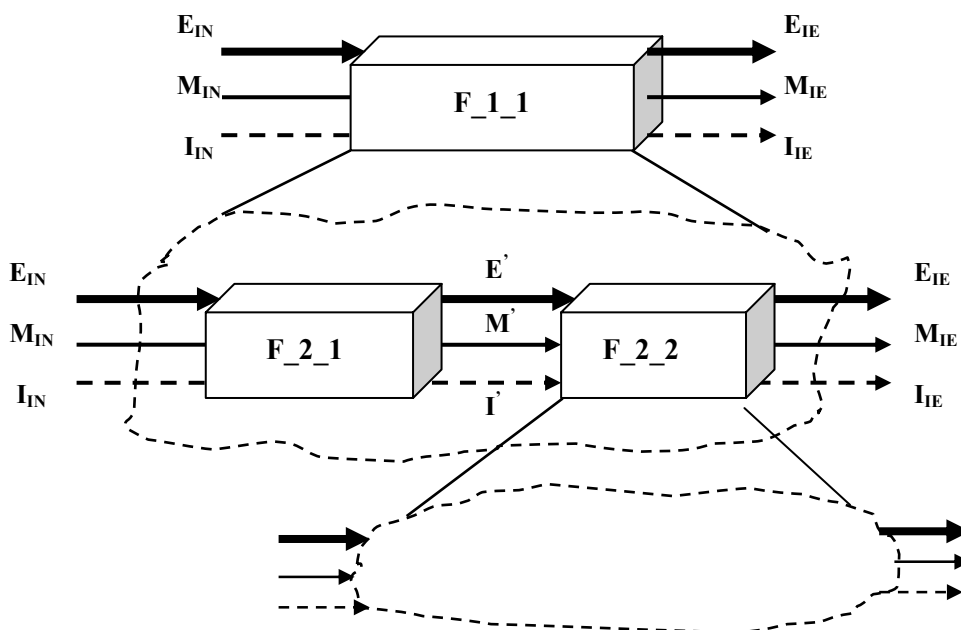


Fig. 7.8 Descompunerea sistemului pe baza funcției

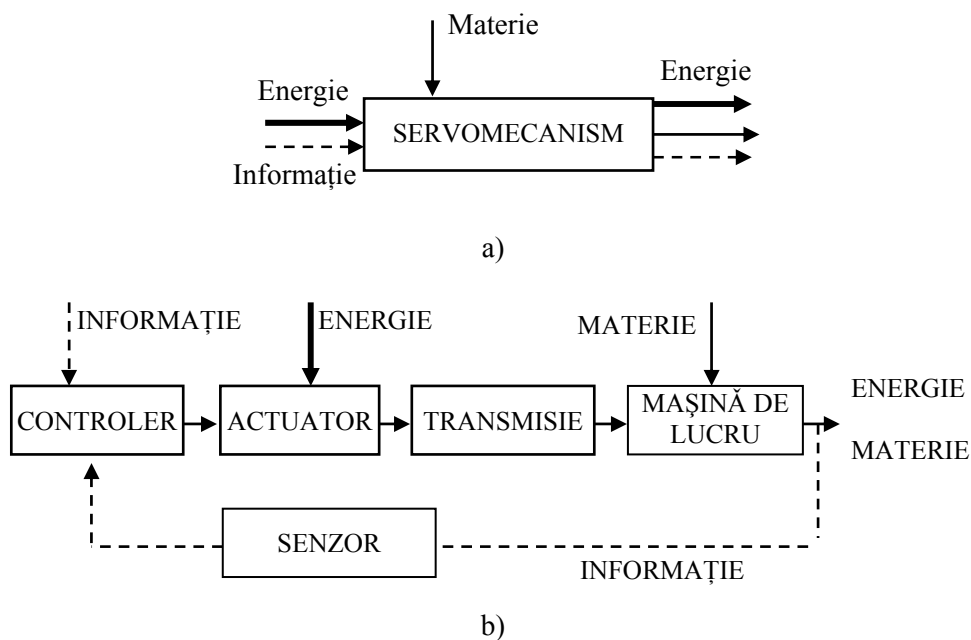


Fig. 7.9 Model de abordare abstract – concret

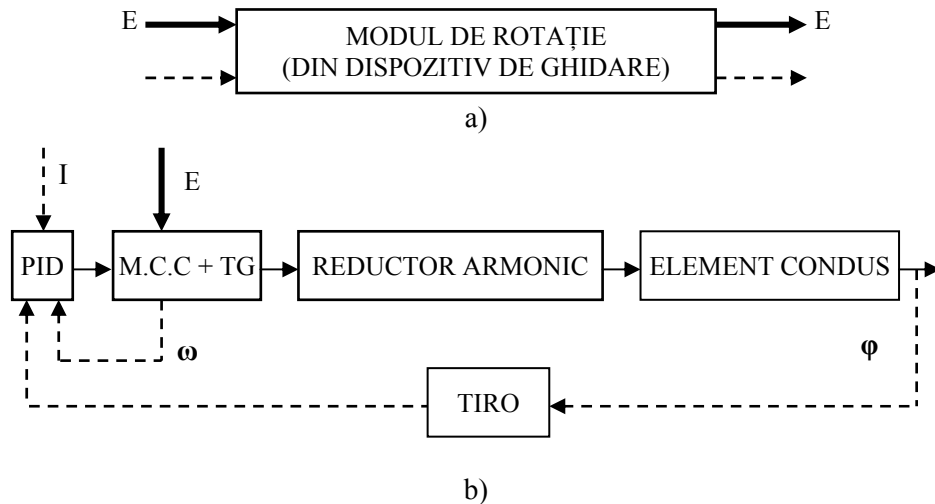


Fig. 7.10 Exemplu de abordare abstract - concret

- **Un nivel organic:** sistemele de principii tehnice alese să îndeplinească funcțiile cerute.

La nivel organic, sistemul mecatronic este descris prin principii funcționale și tehnologice care realizează funcțiile sistemului. Acest aspect se bazează pe noțiunea de *organ* (în engleză *organ*).

Buur definește organul ca o clasă de entități constând din piese care valorifică fenomene fizice, chimice sau biologice pentru a crea în particular un efect și o funcție dorită [7.14].

Literatura japoneză ia în considerare existența a cinci tipuri de organe pe baza cărora se poate realiza orice sistem mecatronic: *Senzor*; *Sistem de calcul*; *Actuator*; *Sursă de energie*; *Mecanism - adică toate clasele de transformare mecanică a energiei și semnalelor (roți, pârghii, mecanisme cu bare etc.)*.

Într-o formă ierarhică, pe mai multe nivele, structura sistemelor mecatronice este organizată astfel [7.34]:

- modul funcțional mecatronic (MFM) (mechatronic function module);
- sistem mecatronic autonom (SMA) (Autonomous Mechatronic system);
- rețea de sisteme mecatronice (RSM) (Networked Mechatronic Systems).

Un exemplu edificator la cele evidențiate anterior este prezentat în figura 7.11 cu referire la mecatronica automobilului. Rețeaua sistemică mecatronică coordonează traficul din sistem prin procesarea informațiilor referitoare la volumul de automobile, viteză, clase etc. Sistemul autonom mecatronic considerat este compus dintr-o serie de module mecatronice: ABS, TCS (Traction Control Systems), VDC (Vehicle Dynamics Control) etc. În ierarhizarea considerată structura inteligentă a suspensiei constituie nivelul inferior organic din punct de vedere mecatronic echivalentă modulului mecatronic.

Un concept extrem de important în mecatronică este cel de interfață. Două tipuri de interfețe trebuie să fie nominalizate:

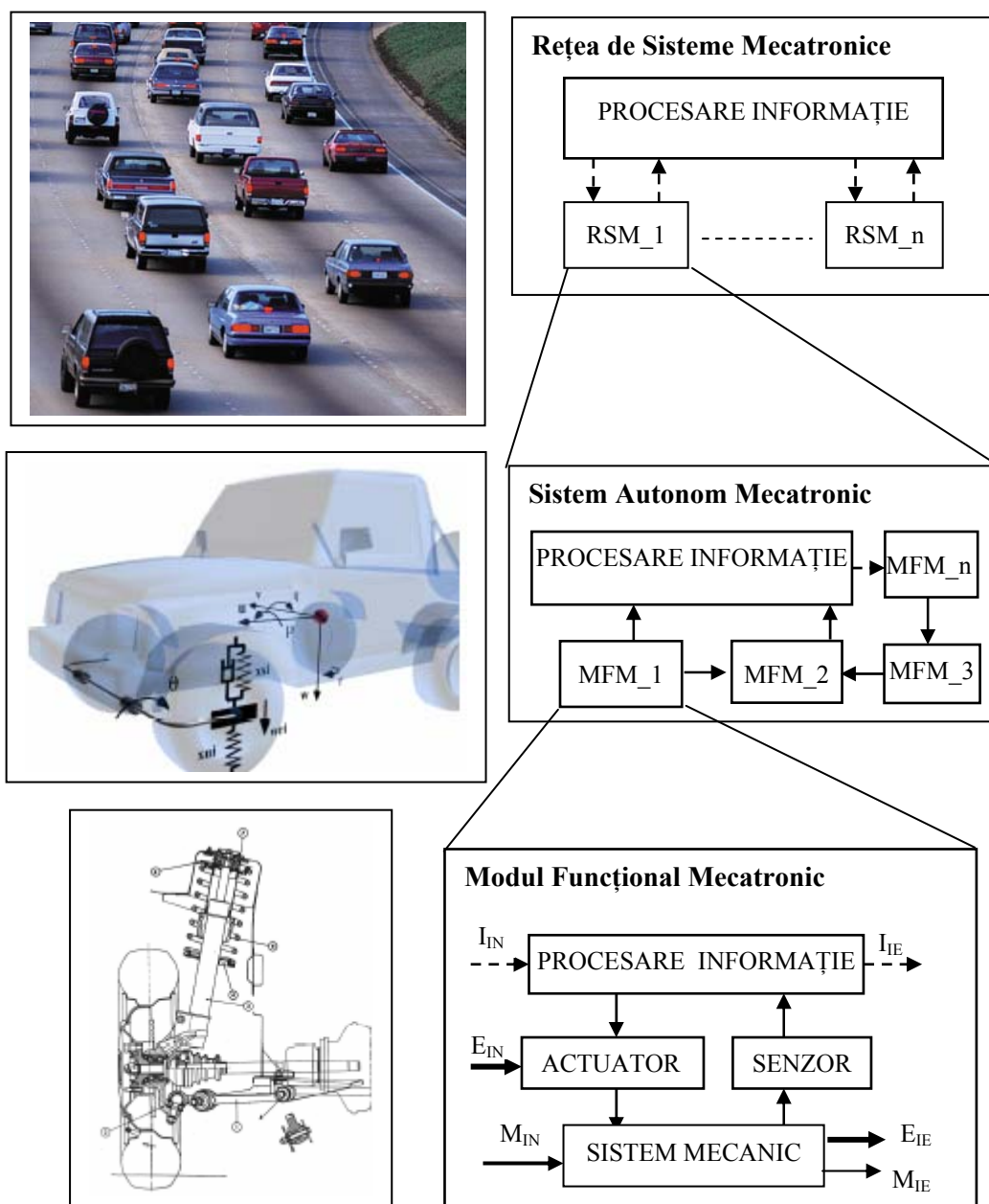


Fig. 7.11 Rețea mecatronică

- Interfața externă (interfață sistem) dintre sistemul mecatronic și mediul exterior;
- Interfață internă realizată între organele care compun sistemul mecatronic.

Sistemul mecatronic poate fi considerat ca un lanț de interfețe a organelor componente (fig.7.12). O clasificare a interfețelor se poate realiza și funcție de tipul

conversiei necesare pentru adaptarea semnalului de ieșire a unui organ cu semnalul de intrare necesar la elementul următor (Bohme, 1978):

- Modifică proprietăți fizice (de ex.: semnal mecanic în semnal electric);
- Modifică modul de codificare a semnalului (de ex.: din semnal analogic în semnal digital);
- Modifică modul de transfer al semnalului (de ex.: din transfer paralel în transfer serial, din transfer asincron în transfer sincron etc.).

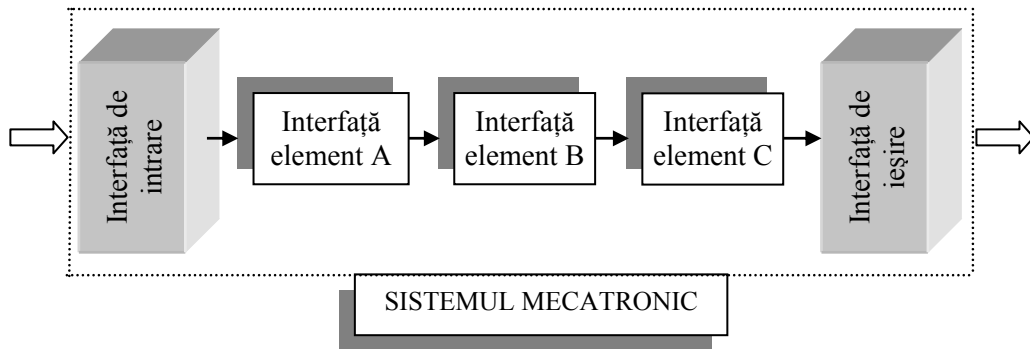


Fig. 7.12 Reprezentarea sistemului mecatronic prin interfețe

O altă clasificare se poate realiza pe baza efortului necesar pentru adaptarea semnalelor de intrare și ieșire (Kajitani, 1989):

- Interfață zero - care nu presupune o conversie necesară;
- Interfață pasivă - fără sursă de energie;
- Interfață activă - care presupune existența unei surse suplimentare de energie pentru conversie;
- Interfață inteligentă, aplicabilă la microprocesor pentru conversia programabilă a semnalului.

7.3. Module, metode și principii

Stabilirea structurii sistemului mecatronic se bazează pe două principii dezvoltate din teoria mașinilor:

- Cauzalitatea verticală (cauză – efect);
- Principiul funcțiilor secundare conform căruia în jurul funcției principale se găsesc un set de funcții secundare.

Generarea structurii se desfășoară printr-un process cu stări de tranziție cu diverse stări logice dependente și posibil a fi descrise prin:

- Diagrama stărilor de tranziție, rețele Petri, matricea de decizie;
- Proceduri secvențiale: organigrame, structograme;
- Modelare ierarhică: diagrama Jackson;
- Condiționare în timp: diagrame de timp.

Complexitatea problemelor de proiectare impuse de dezvoltarea unui produs mecatronic a condus la diverse abordări, finalizări practice sau propuneri.

VDI abordează aspectele de proiectare sistematică, de dezvoltare a dispozitivelor

controlate electronic într-o serie de materiale. VDI 2206 face parte dintre acestea și se referă la dezvoltarea produselor mecatronice [7.35]. Scopul acestui document nu este de a înlocui ceva din documentele existente. El se concentrează pe integrarea tuturor aspectelor într-o metodologie concisă dedicată produselor complexe metodologice.

Modelul în V este o abordare a școlii germane. Metodologia include toți pașii de la generarea ideii până la crearea produsului. Metodologia este orientată pe crearea modelului integrat și simularea multidisciplinară care se impune. Principiul de lucru este ilustrat în figura 7.13.

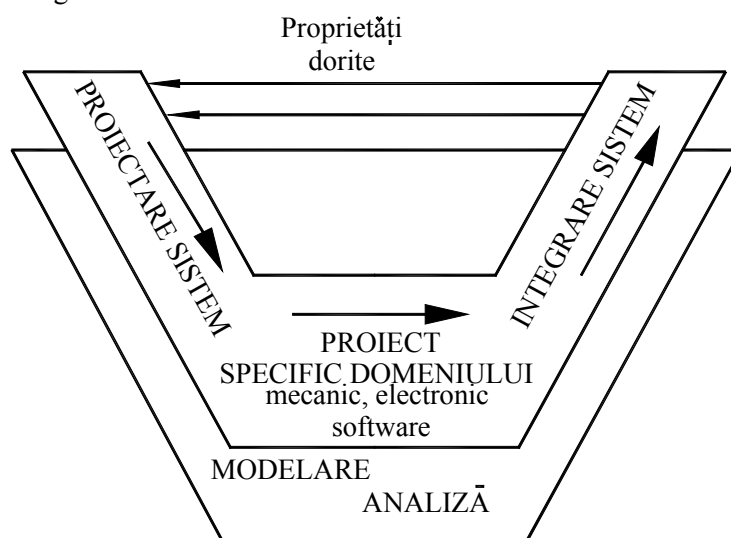


Fig. 7.13 Modelul în V

Metodologia de lucru, esența lui VDI 2206, aparține capitolului 3 și se referă la metode de modelare și analiză a sistemului, facilități CAD, aspecte de organizare. În acord cu VDI 2206 procesul de dezvoltare a produsului mecatronic poate fi divizat în trei părți / cicluri:

- Un ciclu general de rezolvare a problemei la nivel micro. Acest ciclu este orientat spre: analizarea problemei, analiză și sinteză pentru elaborarea soluțiilor varianta, analiză și evaluare criterială a variantelor sintetizate, decizie, analiza critică a procesului la nivel micro.
- Modelul V la nivel macro. Modelul în formă de V a fost aplicat cu succes în ingineria softwer-ului la nivelul anului 1993. Startul procesului se realizează prin analiza cerințelor și continuă prin proiectarea sistemului, proiectarea domeniului specific, integrarea sistemului, verificare / validare, modelarea și analiza modelului, produsul mecatronic la un nivel de maturitate (conceptual, funcțional) (fig.7.14). La nivelul domeniilor are loc o interacțiune puternică, cooperantă în definitivarea variantelor. Metodologia concepe un proces iterativ în V corespunzător diverselor nivele de maturitate: START – model V – eșantion de laborator ↔ cerințe – model V – prototip ↔ cerințe – model V – produs seria zero ↔ cerințe – model V Se urmărește prin aceasta și optimizarea finală a produsului [7.35].

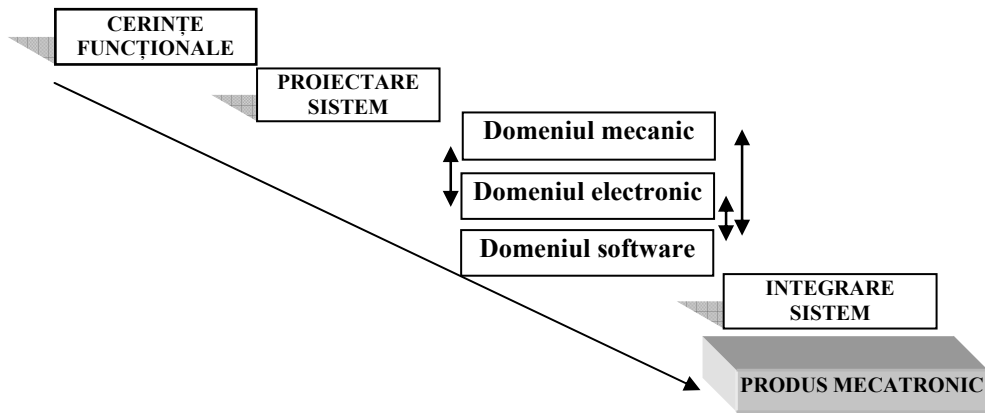


Fig. 7.14 Modelul V la nivel macro

- Procesul modul care repetă la acest nivel algoritmul de la nivel macro.

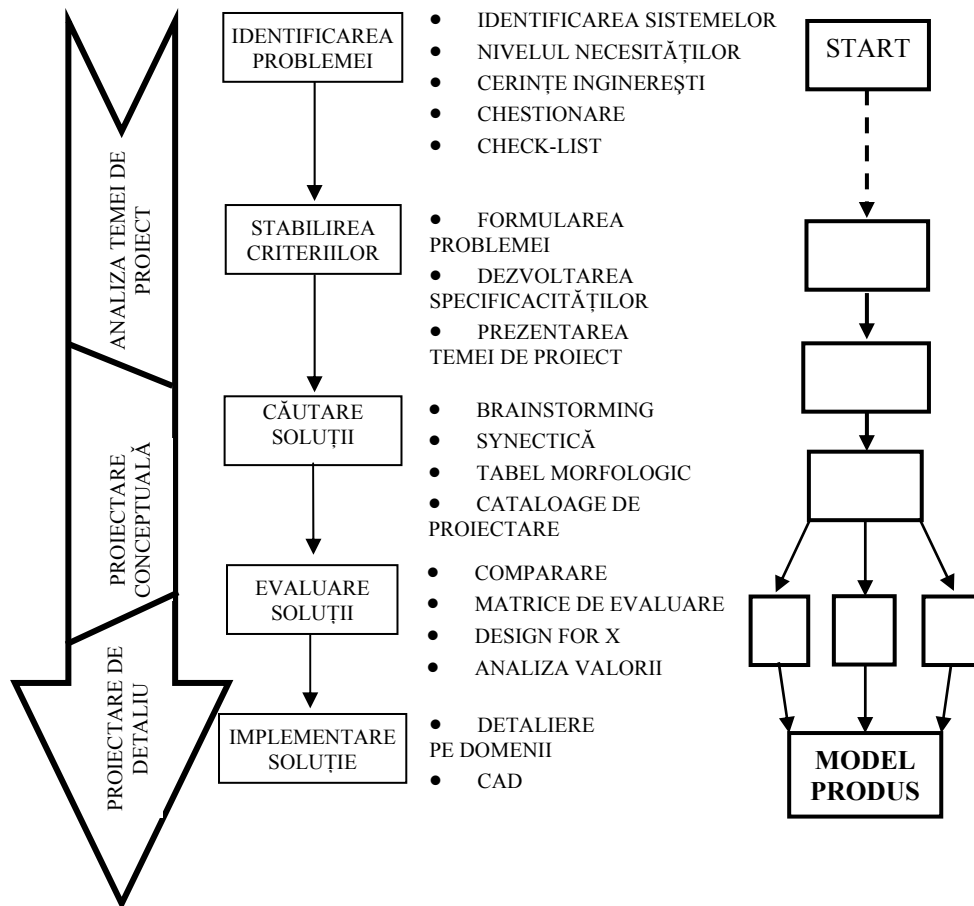


Fig. 7.15 Procesul de lucru în trei variante

O reprezentare desfășurată a procesului de lucru în trei variante scoate în evidență o serie de aspecte similare științei proiectării prezentate în paragrafele anterioare: identificarea problemelor, chestionare, check-list, brainstorming etc. (fig.7.15)

Pentru a putea defini în mod clar noua filozofie mecatronică, este necesar să se accentueze un aspect prezentat anterior, referitor la rolul mecatronicii: *îmbunătățirea performanțelor sistemelor mecanice prin integrarea electronicii și tehnologiei informațiilor și de asemenea realizarea de funcții noi prin produse noi competitive.*

Scopul principal al sistemelor mecanice este cel de transfer de masă, energie prin generare de mișcare. În spiritul filozofiei mecatronice construcția unui sistem mecatronic are loc printr-o integrare a domeniilor mecanic, electronic, informatică. Structura generală a unui astfel de sistem și care trebuie avută în vedere în procesul de proiectare, este prezentată în figura 7.16[7.34]. O abordare de acest gen referitor la structura sistemului a stat și la baza propunerii de procedură în V.

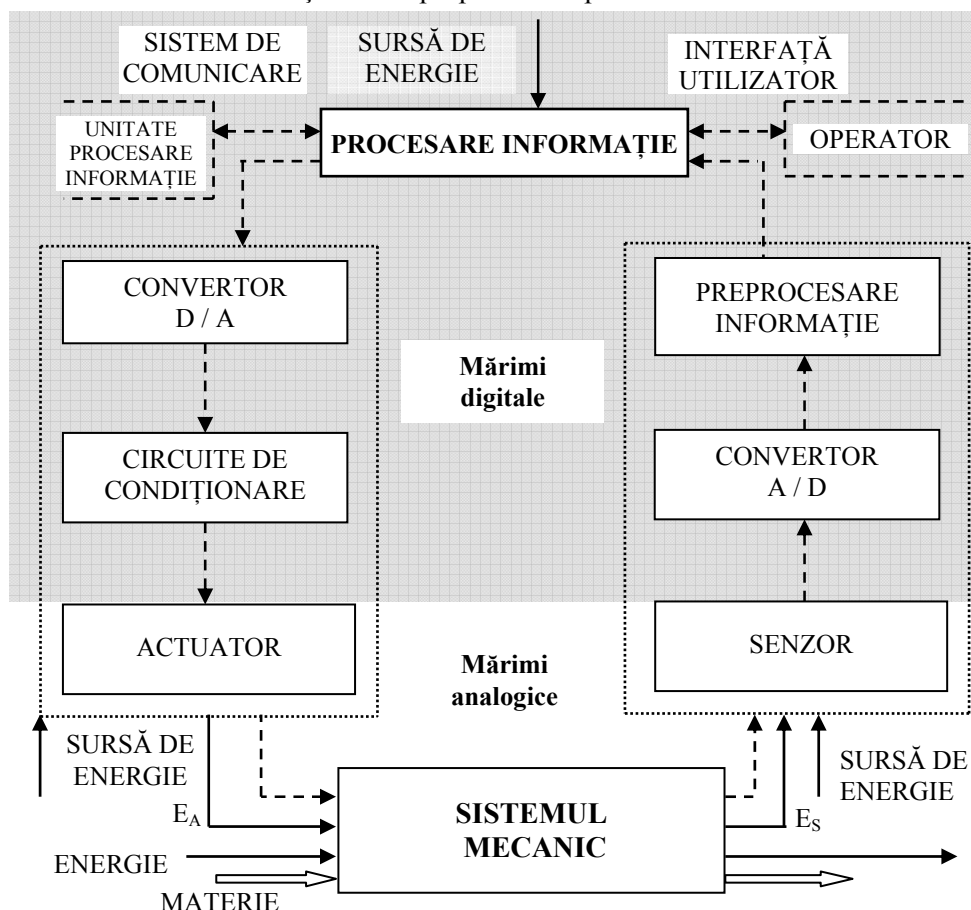


Fig. 7.16 Sistemul mecatronic

Realizarea eficientă, fiabilă etc. a acestei integrări a demonstrat pe parcursul anilor că se impune și o redistribuire a hardware-ului / software-ului a unor funcții din sistemul creat pe diverse nivele de organizare. Se pot aminti astfel: descentralizarea

controlului, interfețe field-bus, surse de alimentare distribuită etc. Pe baza acestor considerente în figura 7.17 se prezintă o procedură de proiectare pentru sistemele mecatronice [7.42]. Nu sunt evidențiate, în schema anterioară, iterațiile prezente inerent în procesul de proiectare. Procedura desfășurată în mai multe etape nu recomandă iterații.

- *Ingineria tradițională – electrică, electronică, software* – oferă informațiile primare pentru demararea procesului de proiectare:
 - Date / informații pentru componente și fenomene mecanice, hidraulice, pneumatice, electrice, termice, chimice, etc.;
 - Informații pentru componente electronice, senzori, actuatoare;
 - Principii clasice de prelucrare a informațiilor, algoritmi, metode de comandă și control etc.
- *Proiectarea mecatronică inițială* – include o proiectare simultană pe domeniile mecanic, electric, electronic și teoria informației. Această etapă urmărește o proiectare modulară cu o distribuție a sarcinilor între domeniile menționate. Adăugarea de elemente senzoriale, actuatoare, procesarea informației concomitent cu o evaluare a arhitecturii electronice hardware (microprocesor, magistrală etc.) și software este esențială. Modelarea și simularea subsistemelor și a sistemului total concretizează prima etapă a proiectării.

Modelele dezvoltate pot fi reprezentate de la abstract la concret, de la simplu la detaliu. Un rol esențial în această dezvoltare îl reprezintă abordarea sistemică a activității și utilizarea facilităților oferite de metodele de dezvoltare a unor idei noi. Din rândul acestor facilități tabela morfologică oferă o serie de avantaje.

Tabela morfologică (*morphological chart*) este denumirea acordată metodologiei de examinare sistematică a unui număr de entități diferite, posibile soluții în proiectarea unui produs și care poate fi de real ajutor în generarea unor inovații.

Principiul de lucru este următorul:

- Analiza problemei și definirea funcțiilor care definesc tema de proiect;
- Construirea unei matrici având ca linii funcțiile definite anterior (*m*) (ideal nu mai mare de 10);
- Se acordă fiecărei funcții un set de sub-soluții ordonate pe coloane care va avea alocată o soluție posibilă (*n*) și se selectează setul de subsoluții acceptabil.

În tabelul 7.3 se prezintă o tabelă morfologică pentru examinarea sistematică a problemei de încălzire într-un spațiu de locuit [7.70]. Analiza temei a condus la următoarele funcții definitorii:

- *modul de încălzire a aerului*: rapid, în siguranță, cu reglaj funcție de locatar;
- *modul de distribuire a aerului*: uniform în tot spațiul (vertical și orizontal);
- *umidificarea aerului*: funcție de dorința locatarului.

Un alt exemplu edificator este prezentat prin tabela morfologică din tabelul 7.4. Problema analizată constă în închiderea / deschiderea circuitului de aer condiționat a unei structuri din spațiu de locuit.

Tabela morfologică dezvoltată pentru generarea unor idei referitoare la îndeplinirea unor specificități ale unui telefon mobil este prezentată în tabelul 7.5 [7.87] iar pentru un variator de curent continuu în tabelul 7.6.

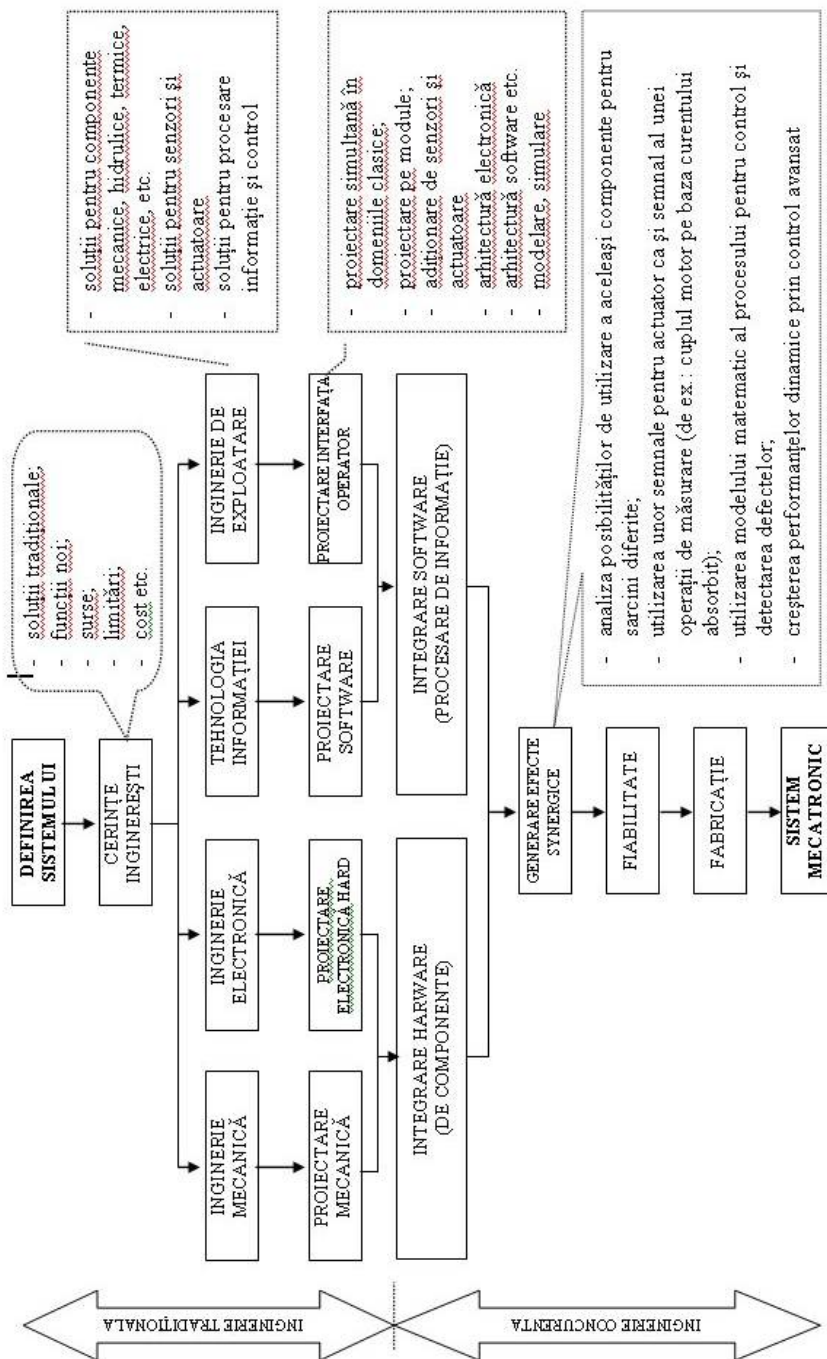



Fig. 7.17 Procedură de proiectare a sistemelor mecatronice


Tabelul 7.3

FUNCTII	SUBSOLUȚII			
	1	2	3	4
A: MODUL DE ÎNCĂLZIRE A AERULUI	Aer încălzit de la o sursă centrală	Sursă locală prin convecție	Radiator local	Secundar prin radiație
B: MODUL DE DISTRIBUIRE A AERULUI	Natural	Forțat	Convecție naturală	Convecție forțată
C: UMIDIFICAREA AERULUI	Fără	Evaporator		

Obs.:  traseu de selecție a variantei propus de un proiectant

Tabelul 7.4

	VAR. - 1	VAR. - 2	VAR. - 3	VAR. - 4	VAR. - 5
ALEGERE VENTIL	De la distanță din tablou de comandă	De la distanță prin dispozitiv de comandă	Buton închis / deschis (în cameră)	Buton închis, buton deschis	Buton de reglaj
TRANSFER SEMNAL	Prin fir	Prin antenă	Fără, deplasare locală	Prin fir / cablu	Prin conductă / tub (pneumo / hidraulic)
RECEPȚIE SEMNAL	Prin antenă (semnal radio)	Rețea electrică	Manetă conectată la fire	Manetă manuală	Piston (P/ H)
ACTUATOR	Pneumatic	Motor hidraulic	Motor electric	Electromagnet	Fără, manual
TRANSMISIE	Roți dințate	Curea	Câmp electromag	Cablu	Impact

Obs.:  traseu de selecție a variantei propus de un proiectant

Tabelul 7.5

FUNCTII	SUBSOLUȚII				
	1	2	3	4	5
PĂSTRARE	Suport	Pe mâneacă	La curea	În buzunar	altele
INTRODUCEREA NUMĂRULUI	Tabel cu coduri	Prin voce	Cod de bare		
DISPLAY	LED-uri	LCD	Fără		
SURSA DE ALIMENTARE	Numai rețea	Baterie	Baterie solară		

(continuare Tabelul 7.5)

RECEPȚIE SEMNAL	Antenă internă	Antenă externă	Cablu aerian		
SEMNAL SONOR IEȘIRE	Difuzor	Cască			
SEMNAL SONOR INTRARE	Microfon intrare	Microfon extern			

Analiza cerințelor și posibilităților oferite de ingineria clasică reprezintă un punct important în cadrul procesului de proiectare. Un rol esențial îl prezintă echipa de lucru prin componența sa și prin diversitatea cunoștințelor. Se impune ca între specialiștii diferitelor domenii să existe o comunicare perfectă. Rolul inginerului mecatronist este de a stabili o cale de comunicare între componenții echipei. O comparație calitativă a nivelului de cunoștințe pentru cele două categorii de membri este ilustrată în figurile 7.18 (ingineria clasică) și 7.19 (ingineria mecatronică) [7.10].

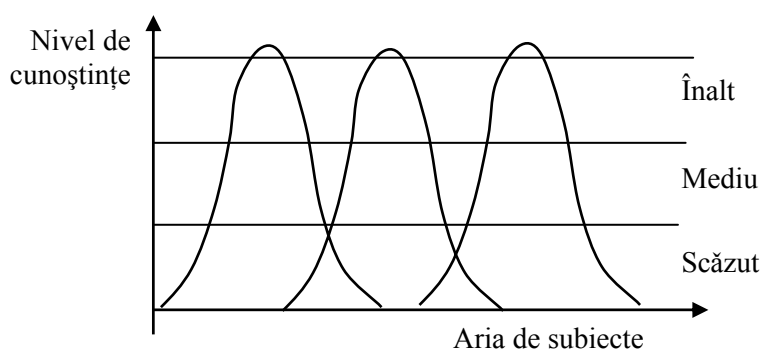


Fig. 7.18 Comparație calitativă a nivelului de cunoștințe (ingineria clasică)

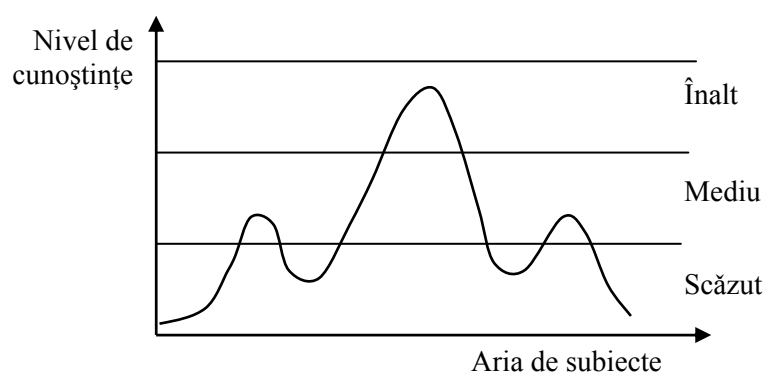




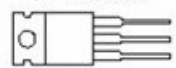


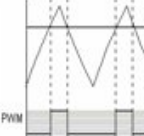
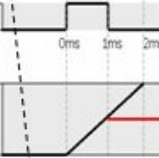

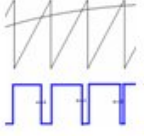

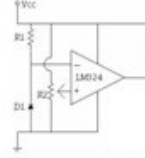
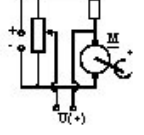

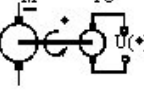
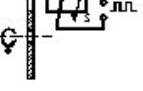



Fig. 7.19 Comparație calitativă a nivelului de cunoștințe (ingineria mecatronică)

Tabelul 7.6

FUNCTII	VARIANTE CONCEPTUALE			
	RELEU	MOSFET	IGBT	TRIAC
CONTROLUL POTERII				
REGULATOR DE TENSIUNE	CHIP (DE EX. 7805) 	CIRCUIT INTEGRAT 	DIODA ZENER 	
GENERATOR DE IMPULSURI	METODA ANALOGICA 	METODA DIGITALA 	CIRCUIT INTEGRAT (DE EX. TI 494) 	FACILITĂȚILE OFERITE DE MICROCONTROLLER
CONTROLUL LĂȚIMII PULSULUI	METODA ANALOGICA 	CIRCUIT INTEGRAT 		
CONTROLUL TENSIUNII SURSEI	CIRCUIT CU AO 			
MĂSURAREA VITEZII	PUNTE TAHOMETRICA 	OPTOELECTRONIC 	TAHOGENERATOR 	TRAD. CU RELUCTANȚĂ MAGNETICĂ VARIABILĂ 
ARHITECTURA DE COMANDĂ	SERTAR DE COMANDĂ 	INTERFAȚĂ SERIALĂ (RS 232, RS 422)	IEEE - 488 GPIB	EUROPEAN INSTALLATION BUS

7.4. Interfațarea componentelor în sistemele mecatronice

7.4.1. Noțiunea de interfață

Interfața trebuie înțeleasă ca o frontieră între două subsisteme. Un schimb de

informație între cele două componente (cele două subsisteme) este posibil dacă există un concept comun și un sistem de codificare comun. *Interfața operator – mașină* și respectiv *mașină – mașină* se impune a fi atent analizată în această etapă. Interfața se referă la totalitatea modalităților – butoane, pedale, display grafic, instrumente etc.- pentru supervizarea, asistarea proceselor dintr-un sistem.

7.4.2. Interfață operator – mașină

În figura 7.20 se prezintă o interfață operator – mașină pentru cazul unui telefon mobil.



Fig. 7.20 Interfață operator - mașină

Deși se recunoaște că nu este un produs mecatronic, tehnologia de realizare a acestuia este mecatronică.

În cele mai multe aplicații prezentarea informației dinspre sistemul mecatronic pentru operatorul uman și interacțiunea dintre acestea și mașină / proces a fost schimbată și nu este “prietenoasă” în utilizare.

Proiectarea unei interfețe utile și adecvate este deseori dificilă. Care sunt informațiile utile, posibilitățile existente de oprire rapidă a procesului, conectarea cu butoanele de importanță majoră etc., sunt câteva din problemele ridicate în etapa de proiectare a unei interfețe. O prezentare neadecvată pentru operator a unei informații sau lipsa altor informații ridică probleme în înțelegerea proceselor și diagnoza acestora. Deseori pentru procese tehnologice complexe, linii de fabricație etc. interfața nu se rezumă la o singură stație.



Fig. 7.21 Interfață operator - mașină

Dacă în proces / sistem au fost realizate investiții importante pentru automatizare (asigurarea controlului, posibilității alarmării, evitării accidentelor din categoria hazardului etc.) interfața a fost în general schimbată. Astfel, sunt posibile ajustări simple ale procesului prin acțiuni manuale sau monitorizarea parametrilor procesului de către operator prin verificarea diversilor indicatori.

O serie de aplicații sunt remarcabile prin interfețe inovative create. Comanda prin voce este una din funcțiile unei astfel de interfețe. Sistemul de cunoștințe decodifică aceste comenzi pentru a crea instrucțiuni. Interfețele din domeniul sistemelor multimedia solicită informații din partea operatorului și le convertește în cod mașină.

Dificultățile interfețelor utilizator – mașină ar putea fi precizate prin:

- Inflexibilitate și limitare în limbaj natural;
- Există posibilitatea unor informații multiple dar puține sunt efectiv utile;
- Utilizarea limitată a facilităților senzoriale / motrice ale operatorului;
- Există puține standarde în domeniu, modularitatea este puțin utilizată și astfel costul este ridicat.

Interfețele digitale sunt în general preferate celor analogice pentru simplitatea impusă. Informația disponibilă prin interfața analogică este însă superioară celei digitale.

Necesitățile actuale impun claritate, acuratețe, schimb rapid fără ambiguități a informațiilor. Literatura de specialitate definește două scopuri principale pentru interfața operator – mașină:

A – informație corectă în timp real: se promovează abilitatea de a obține orice informații despre proces în orice moment, de oriunde, instantaneu prin interogare (cu securitatea impusă). Acest scop poate fi divizat în subfuncțiile:

- A1 – integrarea controlului auto-adaptiv;
- A2 – instrumente pentru managementul datelor;
- A3 – sisteme expert pentru alarmare, avizare;
- A4 – tehnici de reprezentare îmbunătățite la un preț convenabil.

B – interacțiunea senzorială avansată prin care se promovează noi posibilități de interacțiune între proiectantul procesului / operator și proces. Interfețele biomecanice integrate (comandă prin voce, biometrie, neorologice) sunt evidențieri ale acestei funcții.

Realitatea virtuală poate fi definită ca o interacțiune în timp real a unui utilizator cu o “lume” creată prin intermediul sistemului de calcul. Componenta hardware necesită preluarea semnalului de intrare de la utilizator și asigurarea căii de reacție de la sistemul de calcul. Această interacțiune este mediată prin diverse canale senzoriale denumite interfețe haptice. Reacția haptică (feedback) pentru realitatea virtuală include modalități de realizare prin contact și respectiv forță [7.9].

Un exemplu de interacțiune senzorială este reprezentat de interfața Rudgers Master II, prezentată în figura 7.22 și dezvoltată la Human-Machine Interface Laboratory at Rutgers University [7.9].

Modelarea interfeței haptice are la bază parametrii și variabilele prezentate în figura 7.23. Senzori Hall și IR permit determinarea parametrilor mișcărilor de flexie / extensie și respectiv ale deplasărilor din cuplele cinematice de translație.



Fig. 7.22 Interfața Rutgers Master II

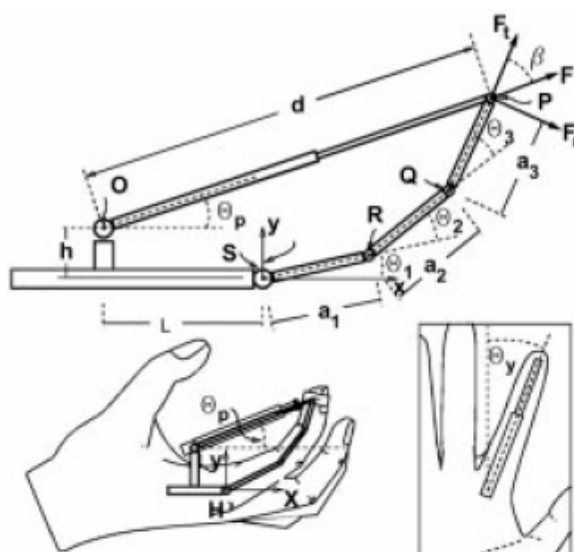


Fig. 7.23 Modelarea interfeței haptice

Una din variantele cele mai utilizate interfețe haptice este interfața “PHANTOM” din domeniul roboticii. Acest sistem permite măsurarea poziției și orientării degetului arătător al utilizatorului. O interfață haptică din domeniul medical, cu o interacțiune în zona forțelor microscopice (atomic force microscope – AFM) este prezentată în [7.63]. Schema de comandă a interfeței este prezentată în figura 7.24.

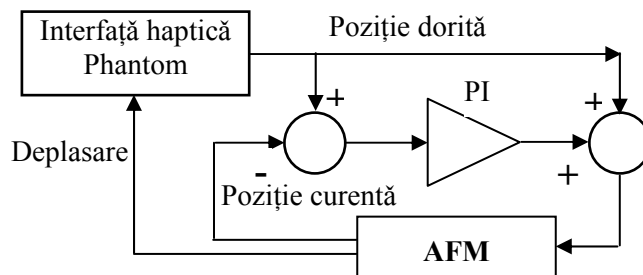


Fig. 7.24 Schemă de comandă a interfeței

Obținerea informațiilor referitoare la forța de contact a degetului uman pe parcursul interacțiunii cu mediul este o altă aplicație a interfeței haptice. Senzorul de contact – senzor tactil – are la bază materiale elastice conductive electric, senzori capacitivi, optici sau alte dispozitive intercalate între deget și suprafața mediului.

Realizarea practică a diverselor variante de senzori de contact au la bază studiile anatomice referitoare la comportamentul degetului uman supus unei acțiuni de forță. Astfel, se poate preciza că printr-o acțiune de apăsare crescătoare a degetului, culoarea acestuia trece de la un roșu pal la un roșu intens. Schimbarea culorii este reversibilă [7.1]. Acest fenomen permite măsurarea forței de atingere și a presiunii de contact prin monitorizarea modului de modificare a culorii degetului fără senzor intercalat între deget și mediu. Măsurarea are la bază o metodă optică de măsurare a luminii reflectate printr-un mediu (degetul) care își schimbă parametrii.

Un exemplu pentru acest principiu este prezentat în figura 7.25. Un LED roșu emite în zona unghiei o rază luminoasă cu lungimea de undă de 660 nm. Un fototranzistor este montat în lateral față de LED și colectează lumina reflectată de la suprafața unghiei. O parte din lumina incidentă este absorbită de mediul degetului iar o altă fracțiune este reflectată. Coeficientul de reflexie este dependent de presiunea de contact exercitată. Mărimea de ieșire din circuitul de măsurare este reprezentată de tensiunea V_i care are variația din figura 7.26.

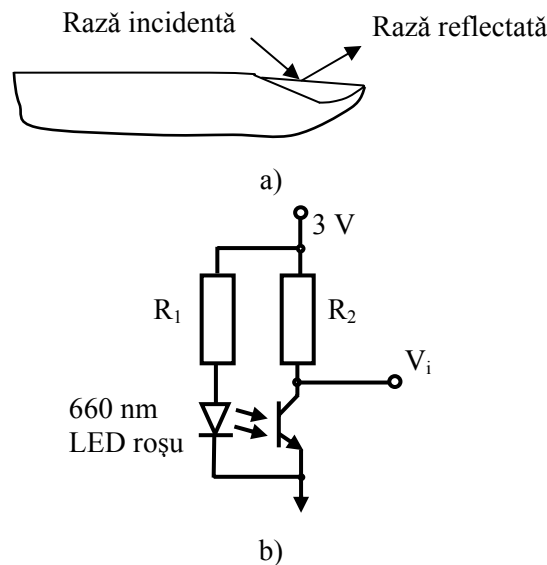


Fig. 7.25 Obținerea informației despre forța de contact

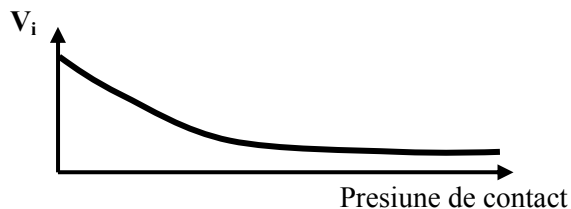


Fig. 7.26 Dependența tensiune de ieșire – presiune de contact

Dacă LED-ul va emite pe 940 nm, tensiunea de ieșire va crește cu presiunea de contact aplicată (fig.7.27).

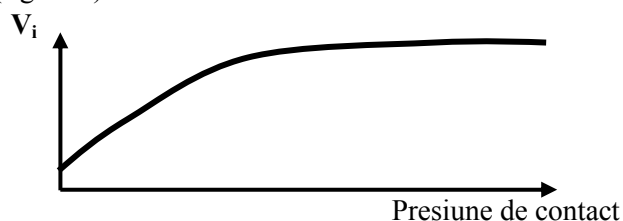


Fig. 7.27 Dependența tensiune de ieșire – presiune de contact

În diversele activități efectuate într-un mediu, operatorul trebuie să supervizeze, să controleze și să comunice cu dispozitive (echipamente), calculatoare și mașini prin utilizarea unor relee diverse. Aceste relee sunt de multe ori de construcție rudimentară cu posibilitatea de generare a unor erori. Utilizarea unor senzori de contact în versiunea prezentată anterior permite înlocuirea variantelor tradiționale a releelor cu interfață om-mașină. Modul de conectare a senzorului de contact într-o mânășă-interfață este prezentată în figura 7.28.

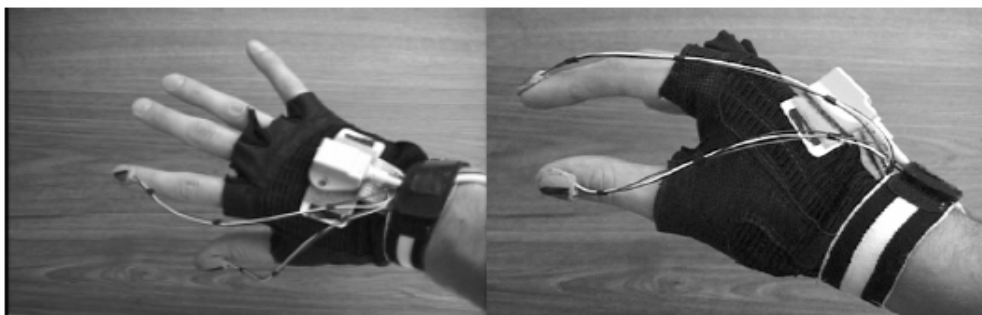


Fig. 7.28 Senzor de contact într-o mânășă – interfață

Componenta senzorială este montată în zona unghiei degetului arătător, conform unei scheme principiale arătate în figura 7.29. Întregul sistem este destinat utilizării în interacțiunea cu un panou virtual (figura 7.29)[7.1].

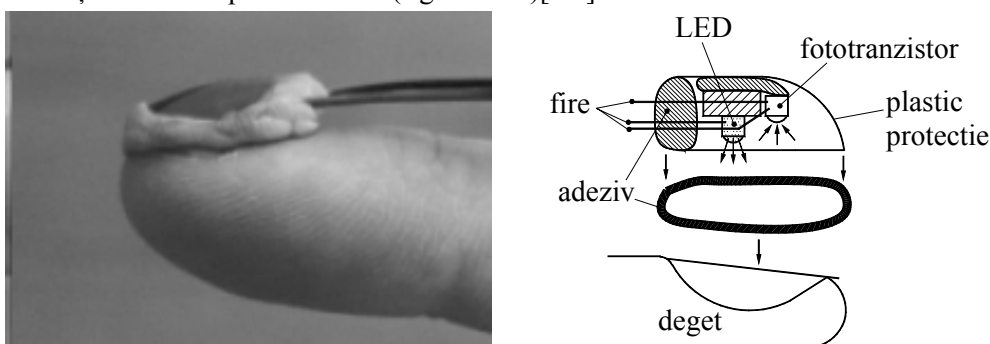


Fig. 7.29 Modul de conectare fizică a senzorului

În figura 7.30 se prezintă principiul de lucru în versiunea tradițională și respectiv prin senzor de contact și imagine virtuală a switch-ului.

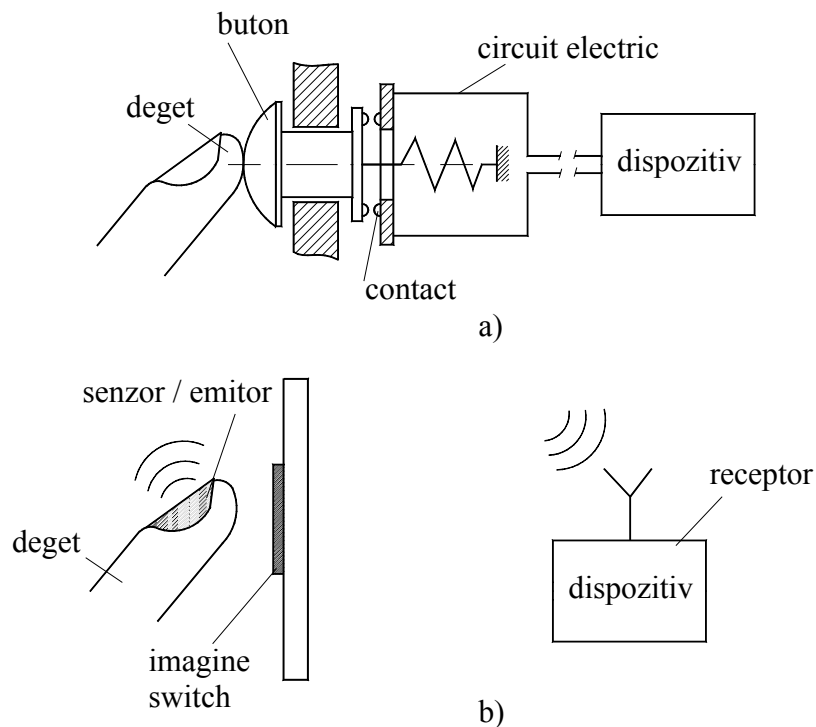


Fig. 7.30 Principiul de lucru al senzorului de contact

În figura 7.31 se prezintă un spațiu de lucru în care este integrat un robot, un operator și un panou virtual cu comutator. Operatorul lucrează alături de robot pentru realizarea unei operații prescrise. Panoul virtual este realizat pe principiile anterioare de măsurare a forței de atingere de către degetul operatorului uman. Detectarea unui anumit buton, cu o anumită forță, este transmisă sistemului de comandă al robotului, fiecărui buton fiindu-i asociată o anumită funcție de îndeplinit [7.1].

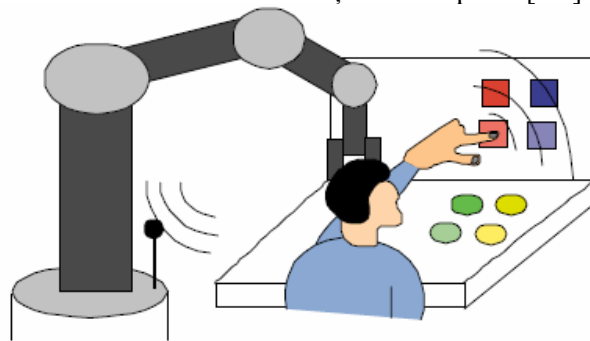


Fig. 7.31 Interfață operator - robot

O interfață haptică cu performanțe ridicate este necesară pentru a realiza o teleoperare eficientă. O interfață realizată pe baza unui mecanism cu 6 grade de libertate, într-o construcție compactă este prezentată în figura 7.32. O structură

paralelă asigură mișcări de poziționare și orientare decuplate. Construcția are la bază sisteme de acționare electrice, reductoare armonice și senzor de forță pentru șase componente.

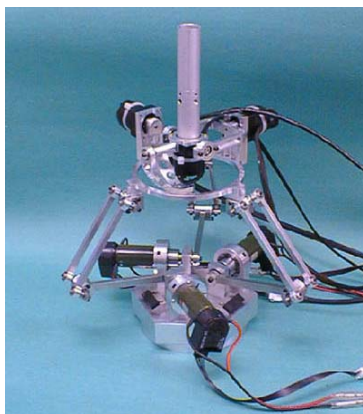


Fig. 7.32 Interfață haptică de performanță

ISO9241 definește trei componente care descriu o interfață operator – mașină de calitate[7.63]:

- *eficacitate* – este conform cerințelor utilizatorului și asigură corectitudinea informațiilor ?
- *eficiență* –poate fi înțeleasă rapid? Poate fi exploatată cu efort și erori minimale?
- *satisfacție* – este satisfăcut utilizatorul cu produsul existent ? Reduce stresul ?

7.4.3. Interfață mașină – mașină

7.4.3.1. Considerații generale

Interfețele mașină – mașină sunt cel mai bine caracterizate prin standardizare. Scopurile principale pentru etapa actuală ar fi: plug & play prin elemente de control, biblioteci de interfețe, tehnici de învățare, arhitecturi de control robust, standarde de integrarea controlului.

Produsele tehnice prezintă necesitatea unei conectări cu alte produse printr-o interfață standard. De exemplu:

- Un tub de plastic pentru transportul unui lichid se va conecta cu o armătură standard;
- Un telefon necesită un alimentator standardizat pentru tensiunea de alimentare și un număr de cod standard;
- Conectarea la o rețea de calculatoare impune utilizarea unor protocoale standard;
- Un echipament periferic (de ex. o imprimantă) necesită o alimentare cu energie standard, suport de informație standard, instrucțiuni și codificări standard etc.

O clasificare pe nivele de standardizare ar include:

- *Standard de fabrică secret* – produsele unei aceleiași companii sunt corelate astfel încât să existe compatibilitate. Un exemplu edificator este formatul

- pentru documentele Microsoft Word;
- *Standard proprietate de firmă*, protejat prin patente sau restricții copyright. De exemplu formatul pentru fișierul postscript de tipărire.
- *Standard de facto*, dezvoltat de firme care doresc să-și compatibilizeze produsele cu cele ale altor firme. De exemplu: limbajul Hewlett-Packard pentru controlul imprimantelor laser.
- *Standard oficial* aprobat și deținut de organizații oficiale. Toate detaliile tehnice sunt specificate în mod exact și publicate. De ex.: protocolul HTTP și limbajul HTML pentru World Wide Web.
- *Surse deschise* care se referă la produse care se pot utiliza fără restricții. De exemplu: sistemul de operare Linux

O serie de alte standarde ISO 14915, ISO-IEG 11581 "Graphical Symbols on Screens", ISO-IEG 13714 "User Interface to Telephone-Based Services—Voice Messaging Applications", ISO-IEG 11580 "Names and Descriptions of Objects and Actions Commonly Used in the Office Environment", ANSI/HFES 200 "Ergonomic Requirements for Software User Interfaces" au în vedere aspecte legate de proiectarea interfeței.

Utilizarea elementelor senzoriale este extrem de largă și a fost precizată în modul de definire a sistemelor mecatronice. În mod succinct se pot preciza ca și domenii de utilizare: sisteme automate, sisteme de securitate, controlul calității, analiza mediului etc. În figura 7.33 se prezintă principiul de utilizare a elementelor senzoriale într-un sistem de controlul temperaturii într-o încălț.

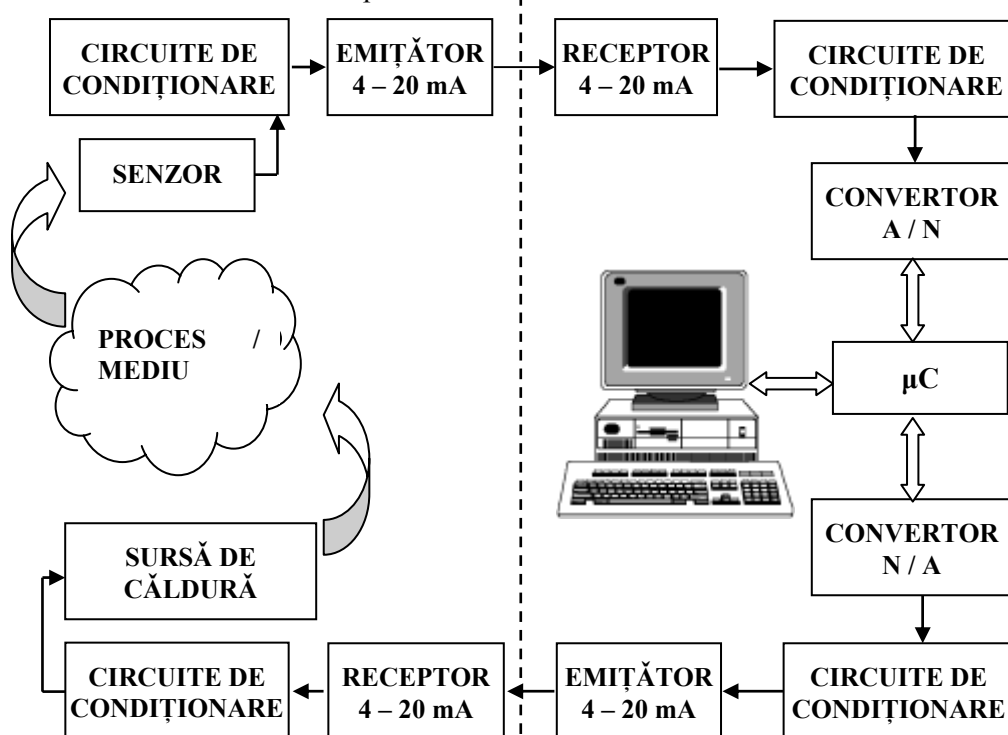


Fig. 7.33 Principiul de utilizare a elementelor senzoriale

O aplicație extrem de importantă din acest domeniu extrem este cel referitor la interfațarea instrumentelor electronice (multimetru, generator de semnal, osciloscop etc.), sisteme de calcul, senzori, actuatoare etc. cu sistemul de calcul centralizat. Două motive principale impun o astfel de interfațare: stabilirea de la distanță, prin program, a caracteristicilor de lucru ale componente din sistem, respectiv preluarea de date referitoare la procesul care se desfășoară. Modul de realizare a interfeței depinde esențial de aplicație putându-se preciza totuși câteva aspecte comune.

O analiză a acestor utilizări permite să enunțăm existența a patru etape în exploatarea elementelor senzoriale:

- Sistemul inițial (rudimentar) care cunoaște încă o largă răspândire. Eroarea ε rezultată din prelucrarea semnalului de comandă și semnalul senzorului va fi prelucrat de sistemul de reglare;
- Sistemul dezvoltat cu includere de elemente de condiționare și transmitere a semnalelor. Senzorului îi sunt asociate elemente de condiționarea semnalului și de transmisie pentru a putea fi recepționat și utilizat la distanță. Structura sistemului din figura 7.33 se încadrează în această categorie;
- Sistemele bazate pe senzori inteligenți au devenit posibile prin asocierea unui procesor în proximitatea elementului senzorial;
- Sistemele cu procesor dedicat, o formă dezvoltată a senzorilor inteligenți cu procesor de semnal dedicat.

Senzorii inteligenți pot fi localizați în timp la începutul anilor '80. Acești senzori se concretizează prin element senzorial primar și o capacitate de calcul asigurată de un circuit programabil – microcontroler, microprocesor.

Avantajele utilizării acestor senzori sunt diverse și multiple: metrologice (precizie ridicată), funcționale (autotestare, autocalibrare, interoperabilitate), economice (reduceri de stocuri și timp de etalonare și calibrare, fiabilitate crescută etc.). Principiul de structurare al unui senzor inteligent este prezentată în figura 7.34

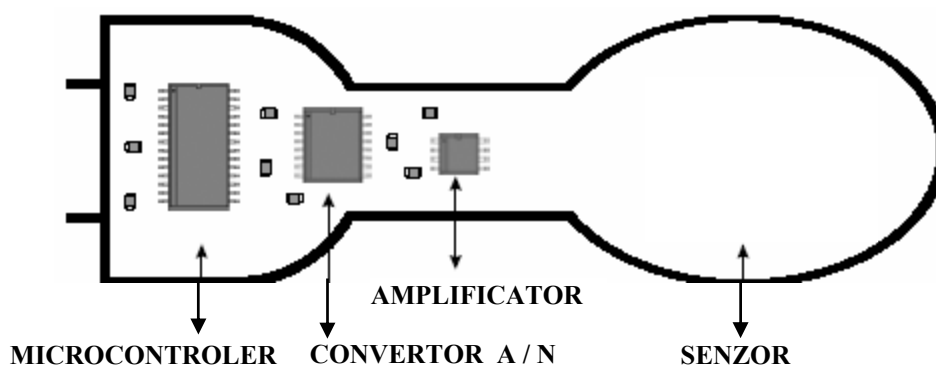


Fig. 7.34 Structurarea unui senzor inteligent

Se remarcă prezența elementului de calcul căruia îi este asociată o memorie minimă necesară. Circuitele de condiționare ale semnalului sunt constituite separat sub formă clasică. Structura sistemică dispune de o interfață pentru conectarea în rețeaua senzorială.

O formă dezvoltată a acestor senzori este prezentată în figura 7.35. Microconvertorul™ are bază multiplexoare, convertoare A / D și D / A, microcontroler 8052 și memoria necesară, toate acestea incluse într-un singur circuit integrat (fig.7.36).

Senzorii inteligenți astfel sintetizați se pot conecta într-o rețea senzorială printr-o interfață digitală a cărei principiu este prezentat în figura 7.37.

Funcțiile senzorilor inteligenți sunt de: autotestare / autosupraveghere, corectarea neliniarităților, interoperabilitate, etc.

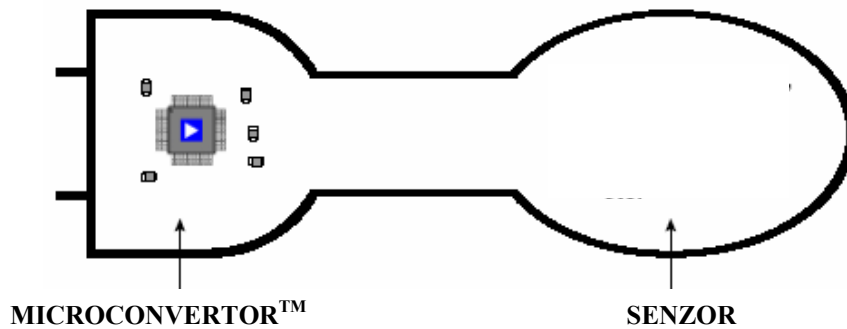


Fig. 7.35 Structură de element senzorial inteligent

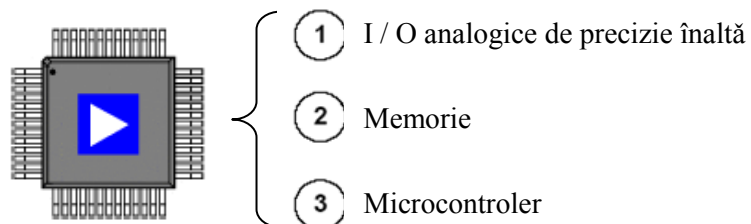


Fig. 7.36 Microconvertorul™

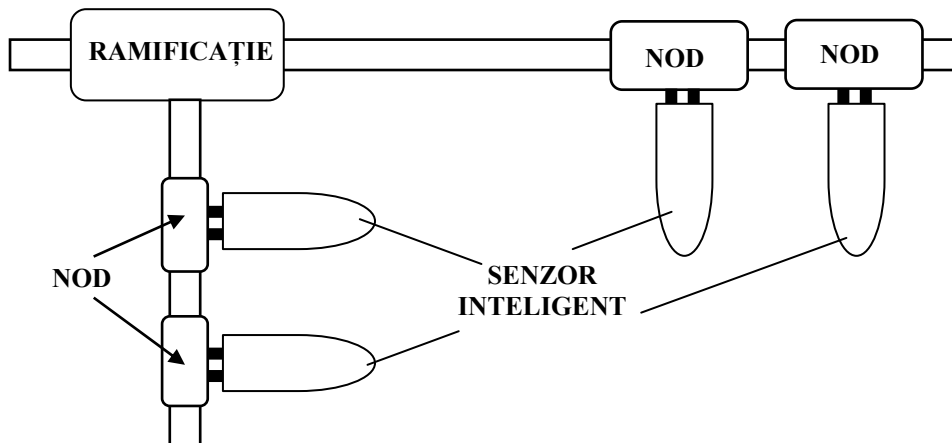


Fig. 7.37 Rețea de senzori inteligenți

Între funcțiile “senzorilor inteligenți”, se numără cea de autotestare /

autosupraveghere, prin semnale proprii de autotest. Realizarea acestei funcții permite depistarea eventualelor defecte sau stări care să favorizeze defectarea. Este recunoscută eventuala prezență a unor perturbații și anihilată acțiunea ei, sau este detectată intervenția unor perturbații noi în procesul de măsurare. Dacă este asigurată redundanța schemei prin prevederea a mai multor elemente destinate unei aceleiași funcții, elementul parazitat se poate autodecupla din schemă. În conexiune cu funcția de supraveghere, există și cea de gestiune a modului de funcționare, având ca rezultat o evidență stocată pe un suport propriu sau extern de memorie nevolatilă referitoare la durata de funcționare, destinație etc. Efectul constă în posibilitatea utilizatorului curent de a dispune de informații privind “istoria funcționării” sistemului senzorial respectiv: numărul de identificare a elementului senzorial, data punerii în funcțiune și datele de întreținere programată, caracteristicile metrologice și de funcționare (neliniaritate, histereză, sensibilitate, dependență față de temperatură, ecuația de corecție în funcție de datele transmise etc.).

O altă funcție a “senzorilor inteligenți” o constituie corectarea propriilor derivate și a neliniarităților. Funcția se mai numește “autocalibrare”. Ea asigură repetabilitatea măsurătorilor, contribuind la creșterea calității lor, dar implică și o întreținere mai ușoară, cu mai puține intervenții ale operatorului uman de întreținere și cu mai puține întreruperi în funcționare. În acest sens calibrarea senzorilor inteligenți diferă de modul de realizare a calibrării clasice.

Calibrarea clasică înseamnă o serie de acțiuni practice prin care se urmărește:

- Definierea mai mult sau mai puțin explicit a valorii minime și maxime a domeniului de măsurare;
- Efectuarea unui număr de cicluri de măsurare în sens crescător și descrescător a mărimii măsurate;
- Notarea valorilor rezultate și verificarea repetabilității măsurătorilor.

Calibrarea senzorilor inteligenți respectă algoritmul:

- Definierea unei relații bijective între ansamblul valorilor măsurandului și valorile semnalului furnizat, asociate unui sistem de unități de măsură;
- Definierea limitelor domeniului de măsurare;
- Definierea acțiunilor care se impun în cazul în care intervalul de măsurare este depășit;
- Definierea și activarea relației care caracterizează relația între măsurare și măsurand;
- Validarea calibrării sensorului.

Literatura actuală de specialitate abordează o nouă funcție a “senzorilor inteligenți”: aceea de schimb de informații între senzori diferiți, funcție denumită “interoperabilitatea” senzorilor inteligenți. Ea constă în comunicarea între senzori aflați în locuri diferite în scopul obținerii unor date care să permită funcționarea optimă. Stabilirea acțiunilor următoare, a unor decizii care se impun, estimarea valorilor din proces se includ în sarcinile sensorului inteligent. Pentru a fi eficace, trebuie îndeplinite o serie de condiții:

- serviciul executat ca răspuns, să fie exact cel cerut;
- existența unor reguli de intercomunicare senzorială, a unor norme, pentru a realiza o comunicare unitară, și nu haotică;

- crearea și utilizarea unui limbaj de interoperabilitate senzorială, care să permită comunicări între sisteme senzoriale destinate unor mărimi diferite;
- definirea unor modele corespunzătoare pentru astfel de sisteme senzoriale.

Utilizarea sistemelor senzoriale dotate cu inteligență duce la ierarhizarea funcțiilor de supraveghere, conducere și reglare. Operațiile elementare, cu acțiune asupra unui parametru unic al sistemului, chiar cel măsurat de senzorul inteligent în cauză, pot fi transferate acestuia. Sistemul central de control va fi astfel eliberat de operații simple, sarcinile sale fiind cele de nivel complex.

În plus față de variantele clasice informația furnizată de senzorul inteligent trebuie să fie credibilă. În ceea ce privește senzorii, funcționarea și performanțele acestora pot fi afectate prin:

- Defecte proprii ale senzorului: deteriorări, modificări ale caracteristicilor;
- Defecte datorate circuitelor electrice și electronice atașate: modificări ale caracteristicilor componentelor, deteriorări etc.;
- Defecte colaterale datorate operației de măsurare: depășiri ale domeniului de măsurare, factori perturbatori etc.;
- Erori de transmitere a informației.

Credibilitatea senzorială se obține prin:

- Validarea informației transmise (fig.7.38);
- Testare, diagnoză, istoric a operației de măsurare, sistem și mediu.

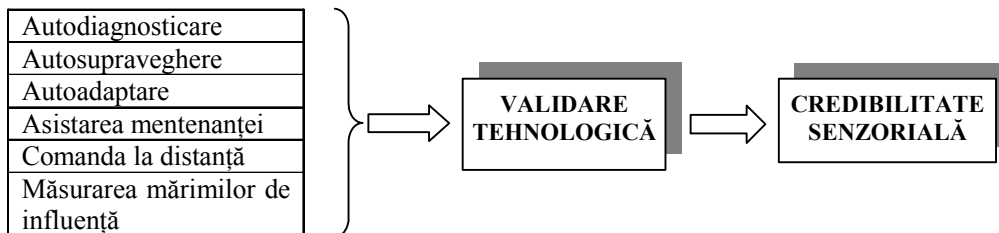


Fig. 7.38 Validarea informației transmise

Funcția *validare*, care nu poate fi separată de alte funcții specifice senzorului inteligent (fiind corelată chiar și de aspectul credibilității informației) se referă la aspecte tehnologice și metrologice (fig.7.39).

Funcția *de configurare* constă din adaptarea senzorului la condițiile impuse de regimul de exploatare ales. Se includ în cadrul acestei funcții:

- *Configurare tehnologică* care este rezultatul ansamblului de acțiuni care vizează integrarea senzorului inteligent în mediul de lucru;
- *Configurarea funcțională* care este rezultatul unor acțiuni care vizează operația de conversie a informației primare și comunicarea realizată de senzor cu restul sistemului;
- Configurarea operațională care se referă la acțiunile care vizează dedicarea senzorului pentru o aplicație specifică.

Schimbul de informație prin intermediul interfeței senzoriale este posibil datorită a trei coduri de distanțare:

- *Domeniul nume* (name space) este necesar pentru înțelegerea semnificației valorilor transmise;

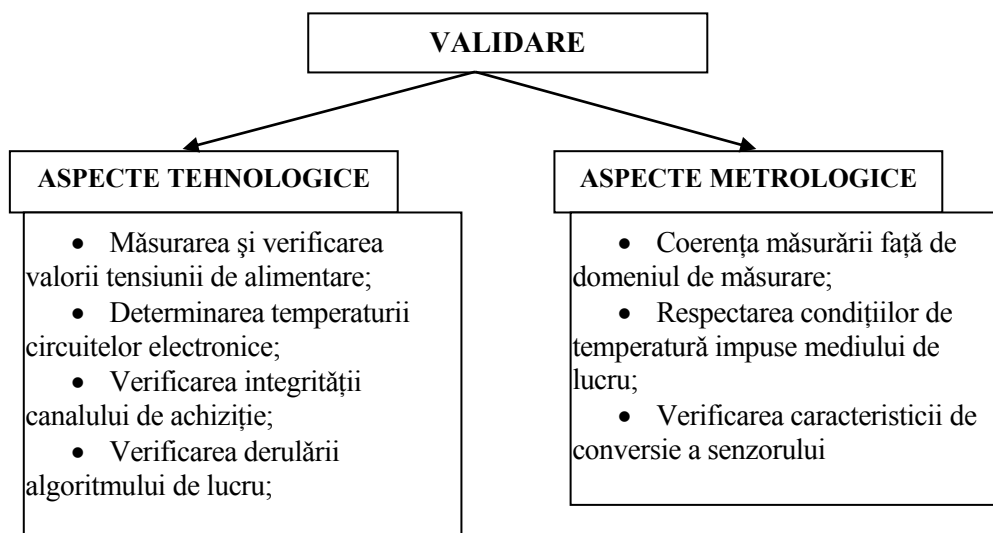


Fig. 7.39 Funcția de validare

- *Domeniul timp* (time space) servește pentru definirea momentului de existență a unui eveniment în comunicație;
- *Domeniul valoare* (value domain) asigură schema de codificare a valorilor de transmis.

Comunicația între cele două subsisteme A și B este controlată fie la cererea emițătorului (*push style*) sau la cererea receptorului (*pull style*) [7.31]. În figura 7.40 se prezintă prima metoda (*push method*).

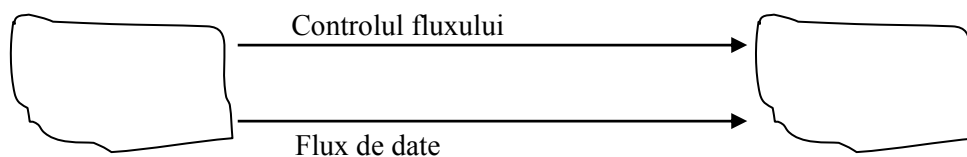


Fig. 7.40 Metoda de comunicare prin cererea emițătorului

Sursa A are capacitatea de a genera și trimite mesaje în orice moment de timp. Controlul fluxului de date este asigurat de subsistemul A. Metoda este simplă pentru sursa A. Pentru receptorul B este obligatoriu însă să fie pregătit pentru a primi mesaje în orice moment. Acest aspect implică costuri ridicate și o planificare dificilă.

Cea de a doua metodă (*pull method*) este ilustrată în figura 7.41. Controlul fluxului de date este asigurat de componenta B (receptor). Această metodă este corespunzătoare sistemului client – server.

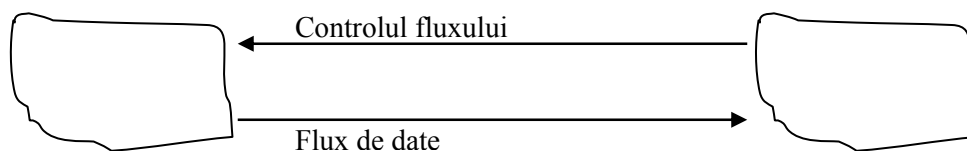


Fig. 7.41 Metoda de comunicare la cererea receptorului

În figura 7.42 se prezintă modelul de comunicare între subsistemele A și B. Metoda se bazează pe decuplarea controlului transferului de date. Această posibilitate este asigurată de o configurare corespunzătoare elementului senzorial inteligent (*smart sensor*). Fiecare componentă dispune de memoria necesară unui schimb eficient de informație.

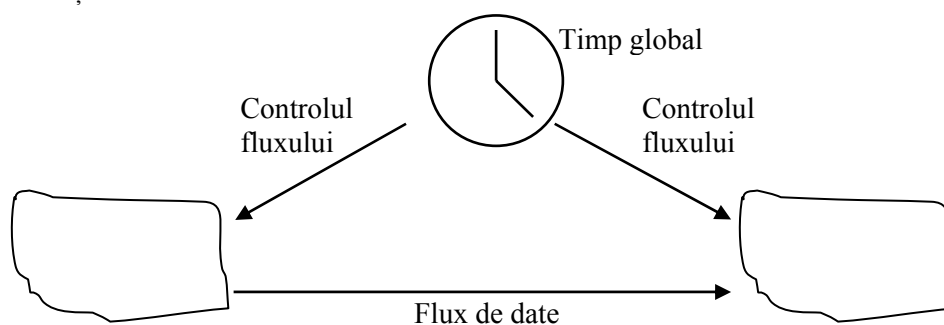


Fig. 7.42 Metoda de comunicare convenabilă senzorilor inteligenți

Interfața în timp real (*real-time service interface*) realizează service-ul în timp real pentru senzorii inteligenți pe parcursul operației sistemului. Interfața pentru diagnoză și management (*diagnostic and management interface*) permite accesul la canalele de comunicare interne ale senzorului inteligent. Se urmărește diagnoza, pentru setarea parametrilor, pentru regăsirea unei informații etc. Activitatea se desfășoară fără perturbarea restului de servicii în timp real. Interfața pentru configurare și planificare (*configuration and planning interface*) este necesară pentru a accesa configurarea unui nod de rețea.

În sistemele mecatronice fluxul informațional este unul dintre cele trei prezente: energie, materie și informația. Informația inițială care se poate prezenta sub diverse forme trebuie în final să poată fi prelucrată și de sistemele de calcul atașate. *Aspectele relevante pentru domeniul mecatronic* din punctul de vedere al interconectării sistemelor, sunt sugerate în figura 7.43.

7.4.3.2. Structura unui sistem de comunicare PC - sensor / actuator

7.4.3.2.1. Introducere

Pentru a evita eventualele confuzii, se impune precizarea suplimentară a unor noțiuni în sensul mecatronic și al sistemelor informatice. Analiza și controlul mediului de lucru se realizează pe baza senzorilor / traductoarelor. Senzorul / traductorul realizează conversia unor parametri fizici, biologici sau chimici într-un semnal electric. Acest semnal va fi convertit într-o informație binară posibil a fi utilizată în continuare. Actuatorul este un dispozitiv care acceptă un semnal de intrare și îl convertește într-o acțiune fizică. În general această acțiune se finalizează printr-un lucru mecanic asupra mediului investigat.

Între sursa informației și un utilizator a acesteia transferul se poate face în mod tradițional pe un canal informatic a cărui suport fizic depinde de evoluția tehnologică:

cablu coaxial, cablu torsadat neccranat (UTP), cablu torsadat ecranat (STP), cablu de fibră optică sau pe un canal informatic fără fir.

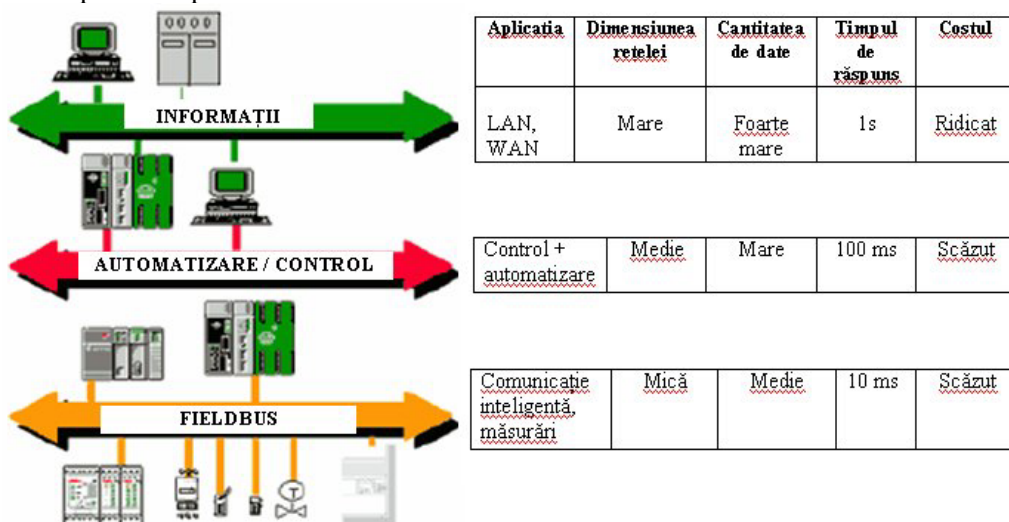


Fig. 7.43 Ce este relevant pentru mecatronică ?

Aceste transferuri sunt afectate de o serie de perturbații –“zgomot”. Utilizarea unui canal informatic bazat pe fir, zgomotele – de tip inductiv, capacitiv sau conductor – sunt remarcabile astfel că trebuie impuse o serie de măsuri constructive de reducere a acestora.

Cablul coaxial a fost cel mai frecvent utilizat mediu pentru transmisia semnalelor. Aceasta pentru că era ieftin, ușor, flexibil și simplu de instalat. În forma sa cea mai simplă, cablul coaxial constă dintr-un miez de cupru solid, înconjurat de un înveliș izolator, apoi de un strat de ecranare format dintr-o plasă metalică și de un strat exterior de protecție.

Cablul torsadat constă din două fire de cupru izolate, răsucite unul împrejurul celuilalt. Un număr de perechi torsadate sunt grupate și învelite cu o cămașă protectoare, formând un cablu. Datorită răsucirii firelor, zgomotul electric provenit de la perechile alăturate sau de la alte surse de zgomot se anulează. Cablul UTP poate fi afectat interferența semnalelor provenite din firele alăturate (diafonie). Se elimină acest efect prin ecranare. Cablul STP este mai puțin afectat de interferențe electrice și asigură transferul datelor cu viteze superioare și pe distanțe mai mari decât UTP.

Cablul de fibră optică este indicat pentru transmisii de date de mare viteză și capacitate, într-un mediu foarte sigur, datorită purității semnalului și lipsei atenuării. Aceste cabluri nu sunt supuse interferențelor electrice și sunt foarte rapide.

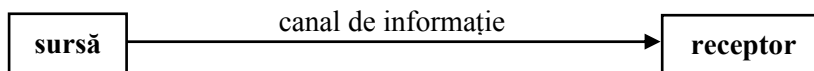


Fig. 7.44 Transferul de informație

Transferul acestei informații între o sursă și sistemul de calcul se poate realiza:

- *paralel sau serial*: la *transmisia paralelă* cei “n” biți ai “cuvântului” sunt transmiși simultan pe “n” conductoare care formează o “magistrală” sau “bus”.

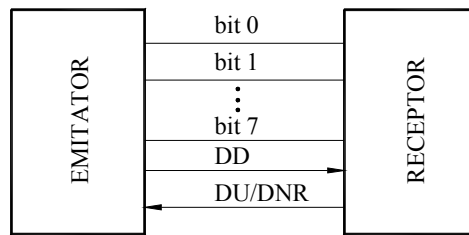


Fig. 7.45 Transmisia paralelă

La *transmisia serială* sunt necesare în general trei fire: unul pentru transmiterea informației, altul pentru recepția informației și altul pentru masă.

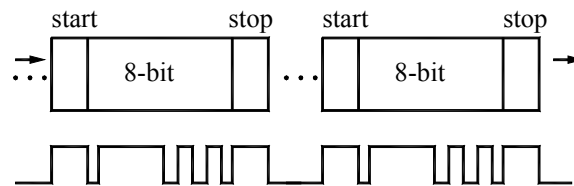


Fig. 7.46 Transmisia serială

- *asincron sau sincron*: pentru transmisia serială *asincronă* frecvența la emițător și receptor este aceeași. Transmisia începe cu bitul de START și se încheie cu bitul de STOP.

Transmisia serială *sincronă* presupune transmiterea cuvintelor sub forma blocului de date fără biți de start sau stop (fig.7.47).

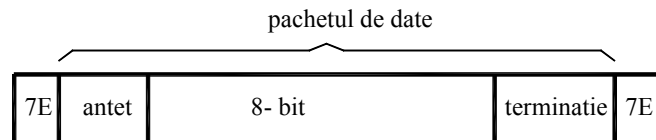


Fig. 7.47 Transmisia sincronă

Informația hexazecimală 7E este prezentă în absența pachetului de date. Antetul cuprinde adrese, pachetul propriu-zis, elementele de control. Terminația include suma de control.

- *simplex / half-duplex / duplex* (fig.7.48).

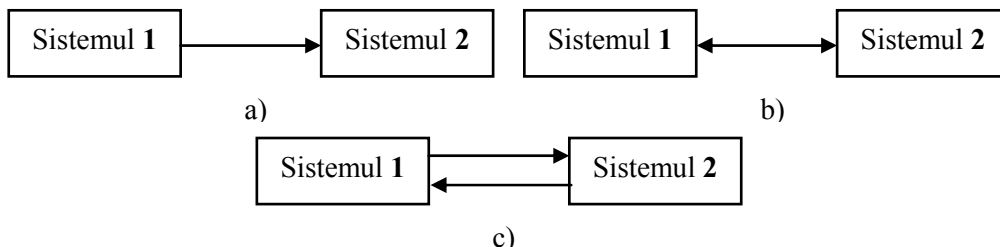


Fig. 7.48 Transferul informației

Transferul în mod simplex (fig. 7.48a) permite vehicularea informației într-un singur sens. Dacă transferul informației este în ambele sensuri se vorbește despre un canal

informațional half-duplex (fig.7.48b). Transmiterea informației în ambele sensuri simultan este asigurată de un canal full-duplex (fig.7.48c).

7.4.3.2.2. Interfața serială

La baza acestor modalități de comunicare stau standarde elaborate de diverse asociații: interfața serială RS-232-C, RS-485 – Electronics Industries Association (EIA); propunerea standard generală I/O, IEEE-754 – Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). Fiecare dintre acestea prezintă o serie de parametrii care o caracterizează și care pot sta ca și criterii de alegere a interfeței optime.

Date specifice pentru interfața RS-232-C sunt prezentate în figura 7.49.

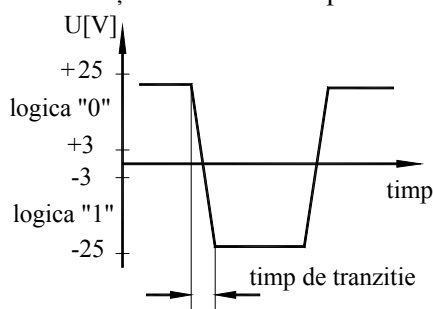


Fig. 7.49 Interfața RS – 232 - C

Valoarea logică “0” este caracterizată de un semnal în tensiune +3 V la +25 V (ON) iar semnalul logic “1” de o tensiune între – 3 V și – 25 V (OFF). Curentul de scurtcircuit este inferior lui 500 mA. Timpul de tranziție este $< 1\text{ms}$ pentru perioade a bitului $> 25\text{ms}$, 4 % din perioadă pentru bit $> 125\text{ }\mu\text{s}$ și $< 5\text{ }\mu\text{s}$ pentru perioade $< 125\text{ }\mu\text{s}$. Circuitul electric echivalent este prezentat în figura 7.50.

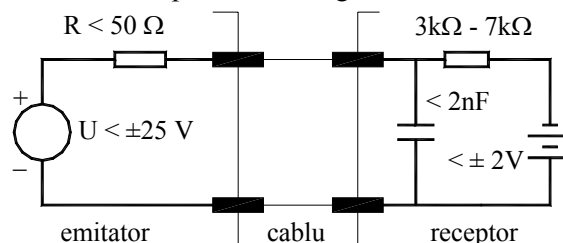


Fig. 7.50 Circuitul echivalent pentru interfața RS - 232

Această interfață utilizează conectorul DB25 (cu 25 de pini): de tip mamă “DCE – Data circuit terminating” (fig.7.51a) și tip tată “DTE – Data Terminal Equipment” (fig.7.51b).

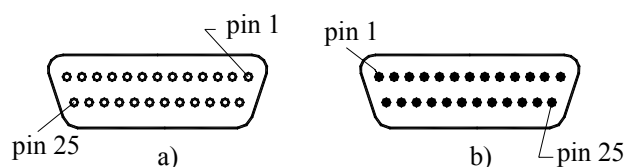


Fig. 7.51 Conectorul DB25

Fiecare pin de pe conectorul “tată” are o imagine în oglindă pe conectorul “mamă”. Semnalele de pe pini se împart în șase categorii: ecranare și masă, canal primar de comunicație, canal secundar de comunicație, control, sincronizare de expediere și recepție, testarea canalelor.

Conectorul standard prevăzut de norme pentru RS-232 este DB25, de la care se folosesc numai anumiți pini. Semnificațiile pinilor pentru conectorul DN25 sunt prezentate în tabelul 7.7.

Tabelul 7.7

Pin	Semnificație	Observații
1	Masă	Masă de protecție împotriva tensiunilor parazite de origine externă (ecranul cablului, carcasa aparatului); nu trebuie să circule curent
2	Transmisie de date (TxD)	Ieșire pentru DTE – linie pentru transmisia biților succesivi ai semnalului (date măsurate și comenzi pentru controlul fluxului de date). Logică “1” dacă nu sunt prezente date.
3	Recepție date (RxD)	Intrare pentru DTE. Logică “1” dacă nu sunt prezente date
4	Cerere pentru expediere (RTS)	Ieșire pentru DTE. Dacă DTE pune linia în starea logică “0” există acceptul de trimitere de date spre acesta de la un alt echipament.
5	Pregătit pentru expediere (CTS)	Intrare pentru DTE. Dacă DTE pune linia în starea logică “0” atunci acesta este pregătit pentru a recepționa date.
6	Date pregătite – DSR (Date Set Ready)	Intrare pentru DTE. Prin această linie, expeditorul (sistem de calcul, aparat) avertizează DTE că datele sunt pregătite pentru a fi transmise.
7	Masă de referință	Este comună tuturor semnalelor și nu trebuie confundată cu masa de protecție.
8	Detectarea purtătoarei – CD (Carrier Detect)	Intrare pentru DTE. Permite unui aparat să avertizeze DTE că este în comunicație cu un alt echipament.
20	Terminalul de date pregătit – DTR (Data terminal ready)	Ieșire pentru DTE. Prin punerea la nivel logic “0”, DTE avertizează corespondentul că este pregătit pentru intrarea în comunicare. Acest semnal poate interpreta același rol ca cel de la pini 4 și 5.
22	Sonerie	Intrare pentru DTE. Prin această linie modemul avertizează DTE că sună telefonul.

Funcțiile definite în tabelele anterioare sunt din punctul de vedere al DTE (data terminal equipment). Reamintim că cea de-a doua noțiune este cea de echipament de comunicație (DCE – data communication equipment).

IBM a introdus versiunea de conector cu 9 pini. Semnificațiile pinilor pentru conectorii DB9 sunt prezentate în tabelul 7.8

Tabelul 7.8

Pin 1	CD	Pin 6	DSR
Pin 2	Recepție date (RxD)	Pin 7	RTS
Pin 3	Transmisie de date (TxD)	Pin 8	CTS
Pin 4	DTR	Pin 9	Sonerie
Pin 5	Masă de referință		

Deoarece standardul a fost adoptat înainte de apariția familiei logice TTL, standardul nu este compatibil cu nivelul TTL. Pentru conversia de nivele TTL – RS232 se utilizează circuite specializate.

În cazul cel mai simplu, pentru a face conectarea unui microcontroler cu PC-ul sunt necesari doar trei pini: RxD, TxD și masa (fig.7.52).

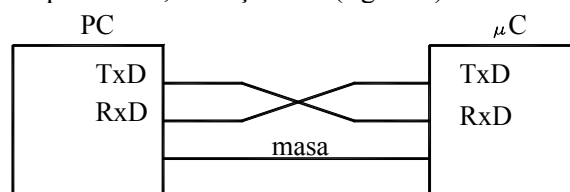


Fig. 7.52 Conectarea PC - microcontroler

Pentru a se realiza rapid și sigur comunicația între două echipamente, trebuie ca transferul de date să țină cont de unele situații specifice. De exemplu poate exista situația ca unul dintre echipamente să nu mai poată primi date datorită faptului că nu mai are spațiu unde să le depună. În acest scop se utilizează semnalele de control (DTR, DSR, RTS, CTS). Conectarea în buclă a conectorului este ilustrată în figura 7.53 pentru conectorul DB9. Semnalul RTS activează imediat intrarea CTS astfel că PC își controlează efectiv semnalele de control (CTS este un semnal de răspuns pentru semnalul RTS prin care DCE informează DTE că este gata să primească date).

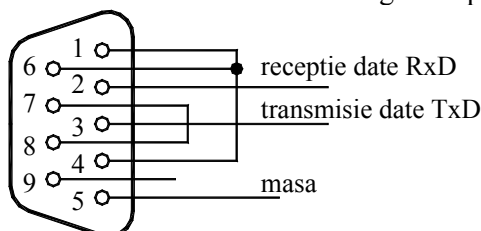


Fig. 7.53 Conectarea în buclă a conectorului

Conectarea a două sisteme de calcul (PC1 și PC2) pe baza interfețelor RS232, cu conectare în buclă, este prezentată în figura 7.54. Pinul RxD al unui sistem se conectează cu pinul TxD al celui de-al doilea (vezi și fig.7.52).

Dacă conectarea în buclă lipsește, în general RTS al primului sistem se

conectează la CTS de la al doilea și respectiv invers. De asemenea DTR al primului sistem se conectează la DSR-ul al celui de-al doilea și invers (fig.7.55).

Aparatele de măsurat pot fi DTE sau DCE. De regulă DTE au montate conecitoare DB25 (sau DB9) "tată", în timp ce DCE au montate conecitoare "mamă". Modul de conectare dintre aparatele de măsurat și calculator cu conecitoare DB9 – DB25 este prezentat în figura 7.56.

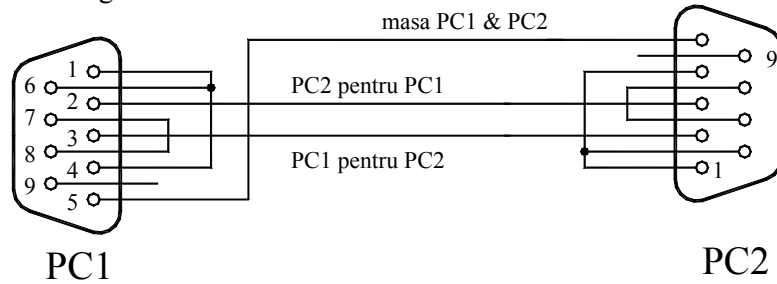


Fig. 7.54 Modul de conectare a două calculatoare

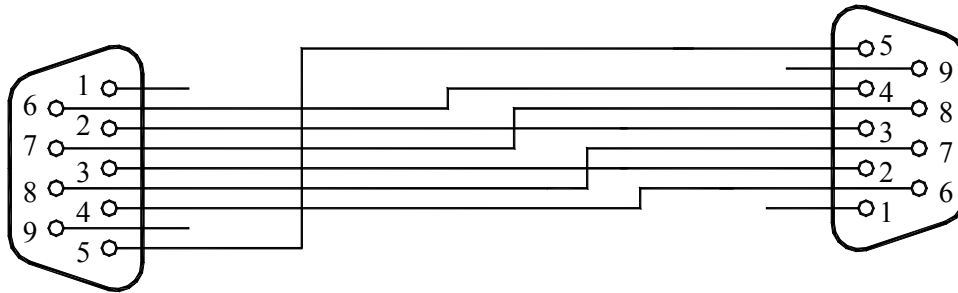


Fig. 7.55 Variantă de conectare a două PC-uri

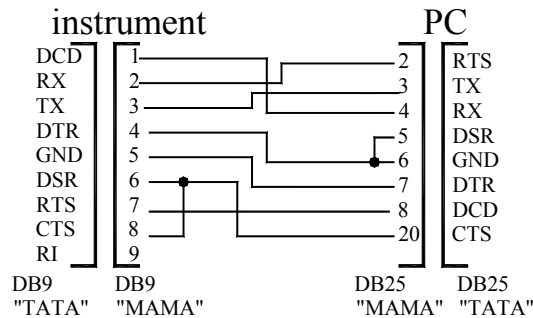


Fig. 7.56 Modul de conectare a aparatelor de măsurare programabile

Controlul unui echipament prin intermediul unui PC (conector 25 pini) este prezentat sugestiv în figura 7.57. Circuitul din figură corespunde bitului b0 de pe pinul 2 al conectorului. Circuite identice sunt necesare pentru biți b1.....b7 (pinul 3 la 9). Utilizarea optocuploarelor permite separarea galvanică dintre sistemul de calcul și restul circuitului.

Modul de conectare la un PC a sistemului de dezvoltare pentru microcontrolerul 80C552 este prezentat în figura 7.58.

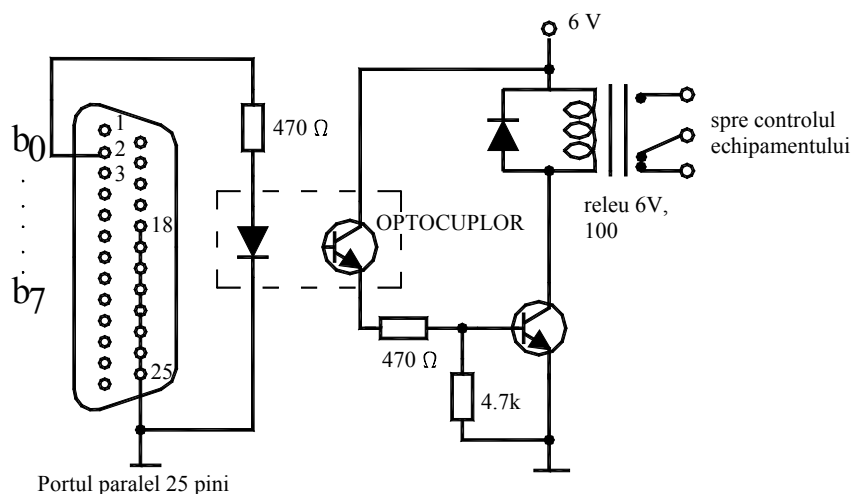


Fig. 7.57 Conectarea unui echipament

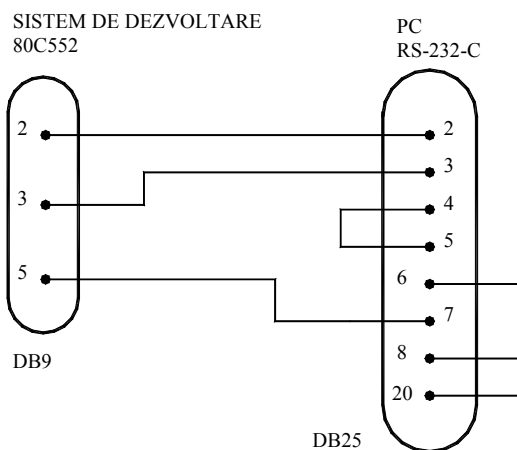


Fig. 7.58 Conectare 80C552 - PC

Conectarea unui microcontroler 8051 la un PC se poate face de obicei pe portul serial COM2 deoarece COM1 se utilizează pentru mouse. μC 8051 are doi pini numiți TxD și RxD care sunt sunt funcții alternative ale portului P3 (P3.0 respectiv P3.1). Acești pini sunt compatibili TTL astfel că este necesar de un circuit pentru conversia nivelelor. Un astfel de circuit este și circuitul MAX232 (firma MAXIM) (fig.7.59).

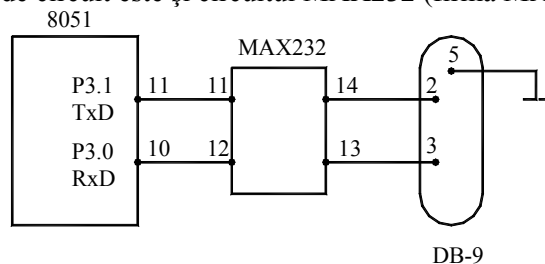


Fig. 7.59 Conectarea unui microcontroler 8051 la un PC

Un avantaj al acestui circuit (pe lângă conversia TTL – RS232 și invers) este faptul că utilizează o singură tensiune de 5 V. Conține două canale și deci se poate utiliza pentru două interfețe seriale.

Interfața PIC 16F84 și o sarcină de lucru este prezentată în figura 7.60.

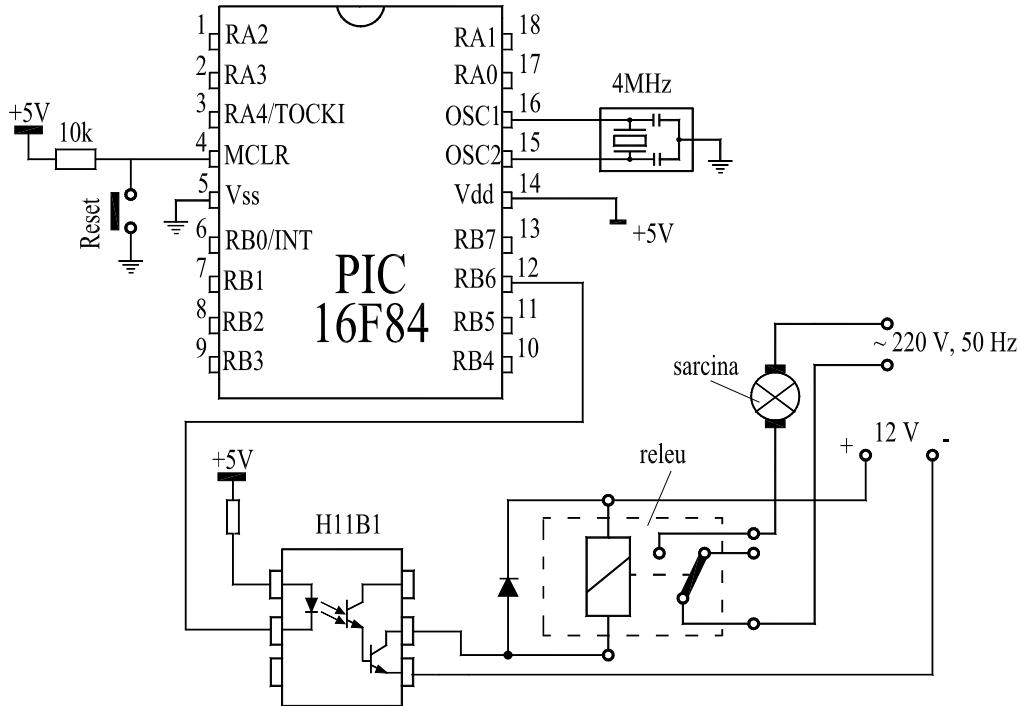


Fig. 7.60 Conectare PIC – sarcină de lucru

Modul de conectare a unui PC cu un microcontroler PIC16F este prezentat în figura 7.61.

Standardele RS-422, RS-423 și RS-485 sunt variante dezvoltate din RS-232C și care permit transmisii la distanțe mai mari. Principala modificare constă din renunțarea la masa comună dintre emițător și receptor. Tensiunile se aplică diferențial crescând astfel imunitatea la “zgomotul” de mod comun.

7.4.3.2.3. Interfața paralelă

Așa cum arătam interfața paralelă ocupă un loc important în sistemul de comunicare. Hewlett-Packard a dezvoltat tehnici de interfațare pentru sisteme de măsurare asistate de calculator începând cu 1960. Rezultatul este Hewlett-Packard Interface Bus (HPIB).

IEEE - 488 a fost definită pentru început în anul 1978. După 1980 au fost inițiate versiunile noi IEEE - 488.1 și IEEE - 488.2. Interfața paralelă IEEE-488 este standardul comunicației cel mai des utilizată pe plan internațional în instrumentația de laborator. Inițial concepută pentru automatizarea proceselor de măsurare, interfața IEEE-488 (versiunea actuală IEEE-488.2) este utilizată și în sistemele de testare automată a circuitelor, în sistemele de achiziții de date, în sistemele de reglare automată etc.

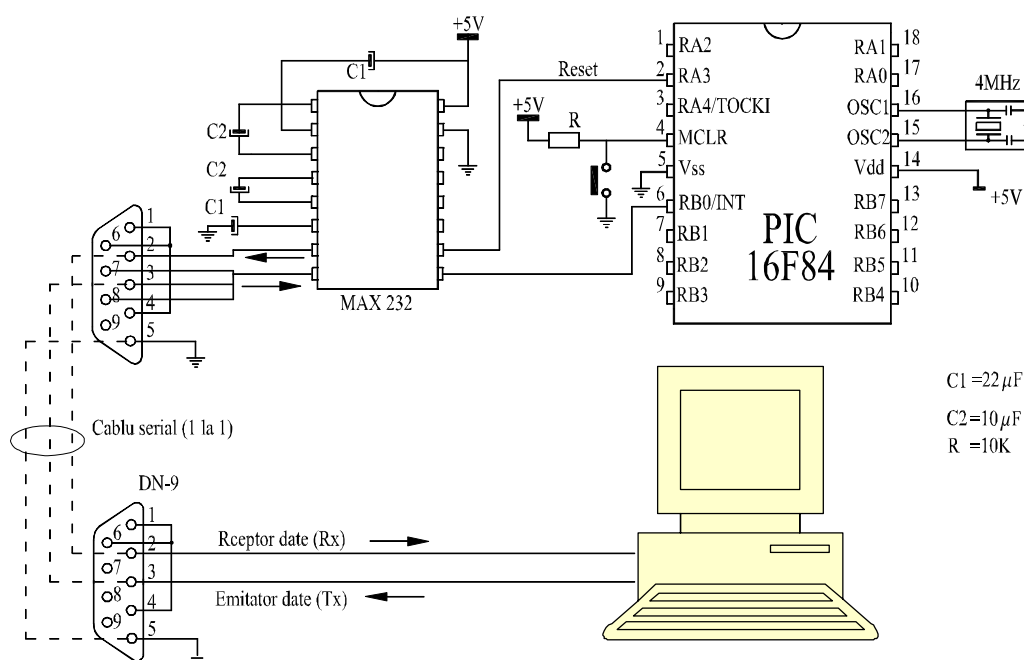


Fig. 7.61 Interfațare PIC – microcontroler PIC 16F84

Această interfață poate fi întâlnită sub diverse denumiri: IEC-625 (International Electrical Commission) (similară dar cu conector diferit), IEEE (Inst. of Electrical and Electronic Eng.), GPIB (General Purpose Interface Bus), HPIB (Hewlett –Packard Interface Bus), ASCII BUS, PLUS BUS, BS6146, ANSI MC1.1.

Standardul asigură în totalitate compatibilitatea între aparate:

- Mecanică (conectorii normalizați pentru interconectarea ușoară a aparatelor), imunitate ridicată la zgomot;
- Electrică (pentru a asigura o imunitate ridicată la zgomot, semnalele sunt în logică negativă de potențial pozitiv, adică “1” logic corespunde tensiunilor în plaja 0 - 0.8 V iar “0” logic tensiunilor din plaja 2 – 5 V);
- Sincronizare și control al fluxului de date prin protocol de comunicare perfect definit.

Proprietățile interfeței IEEE-488 pot fi prezentate în mod succint:

- 1 Mbyte/sec rata maximă de transfer;
- până la 15 echipamente în paralel conectate la magistrală;
- lungimea totală până la 20 m. Distanța dintre echipamente până la 2 m.
- mesajele sunt concepute din “cuvinte” de 8 biți (byte).

Conectorul interfeței IEEE-488 este prezentat în figura 7.62. Cele 24 de linii ale magistralei sunt distribuite în patru grupe mari:

- 8 linii de date (DI01-DI08) (pinii 1- 4 și 13 -16) formând magistrala de date;
- 3 linii de sincronizare (date valide: DAV – pinul 6; date neacceptate: NRDF – pinul 7; date necitite: NDAC – pinul 8) care formează magistrala de control al transferului de date;
- 5 linii de control și comandă (sfârșit de transfer a mesajului: EOI – pinul 5;

ștergere interfață: IFC - pinul 9; cerere de întrerupere: SRQ – pinul 10; validare multiplă: ATN – pinul 11; comandă din exterior: REN – pinul 17) care alcătuiesc magistrală de management a interfeței;

- linii de masă utilizate pentru protecție și semnal de întoarcere (pin 18 -24) (18 – GND / DAV; 19 – GND / NRDF; 20 – GND / NDAC; 21 – GND / IFC; 22 – GND / SRQ; 23 – GND / ATN; 24 – Signal GND) (vezi fig.7.45).

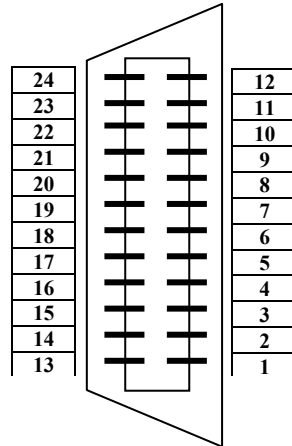


Fig. 7.62 Conectorul interfeței IEEE - 488

Conectarea echipamentelor care realizează o rețea cu interfața paralelă se poate face în stea, serie sau mixt. În practică numai trei conectori pot fi conectați în fața altuia.

Acest standard face posibilă interconectarea directă a diverselor aparate de măsură, cu un singur cablu standardizat, cu condiția ca aceste aparate să conțină o interfață conform normei IEEE. Fiecare aparat din sistem primește o adresă unică, formată dintr-un cuvânt de 5 biți (de la 00000 la 11110 în binar sau de la "0" la "30" în zecimal). Adresa aparatului se setează fie prin intermediul unui comutator cu cinci micro-întrerupătoare (plasat pe panoul din spatele aparatelor), fie prin setarea datelor în memoria nevolatilă.

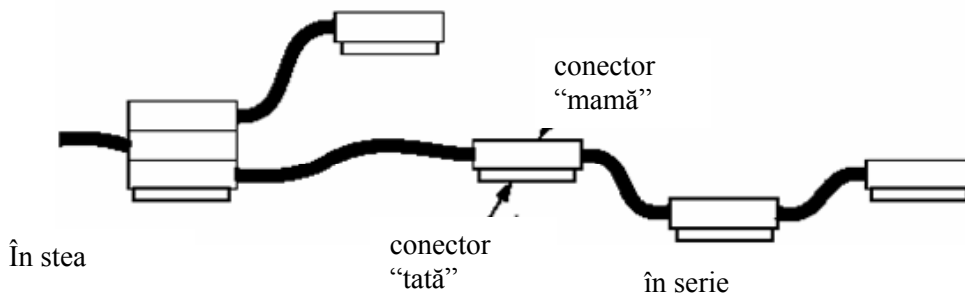
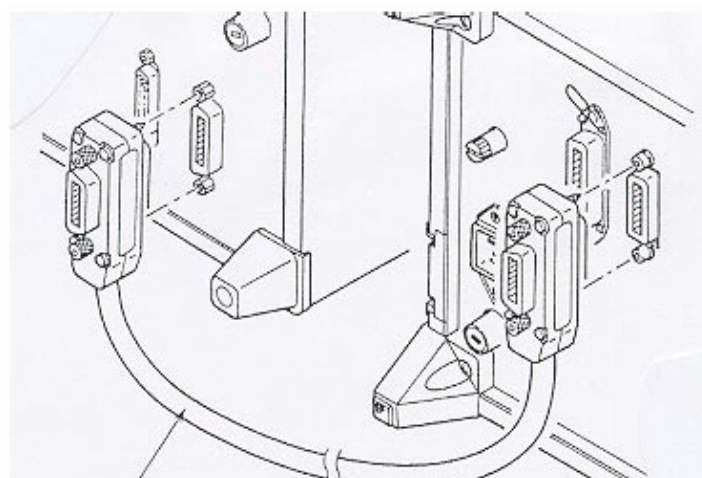


Fig. 7.63 Mod de conectare al echipamentelor

Prezentarea spațială a modului de montaj a cablurilor între echipamente este vizibilă în figura 7.64.



Cablu IEEE-488

Fig. 7.64 Mod de montaj a cablurilor de legătură

Un PC convențional controlează un sistem de măsurare compus din diferite tipuri de echipamente de măsurare dotate cu interfața IEEE-488 și PC sau stații de lucru echipate cu o astfel de placă (fig.7.65). Este posibil să se instaleze mai multe plăci controler pe un același PC. Fiecare placă va avea însă o singură adresă și un singur cod.

Echipamentele conectate în sistem pot îndeplini următoarele funcții:

- *Receptorul* – aparat ce poate primi date sau instrucțiuni de la alte aparate (imprimante, generatoare de semnal programabile, voltmetru digital etc.);
- *Emitorul (sursa)* – aparat care poate transmite date sau instrucțiuni altor aparate;
- *Controlerul* – aparat care controlează traficul de informație pe liniile magistralei.

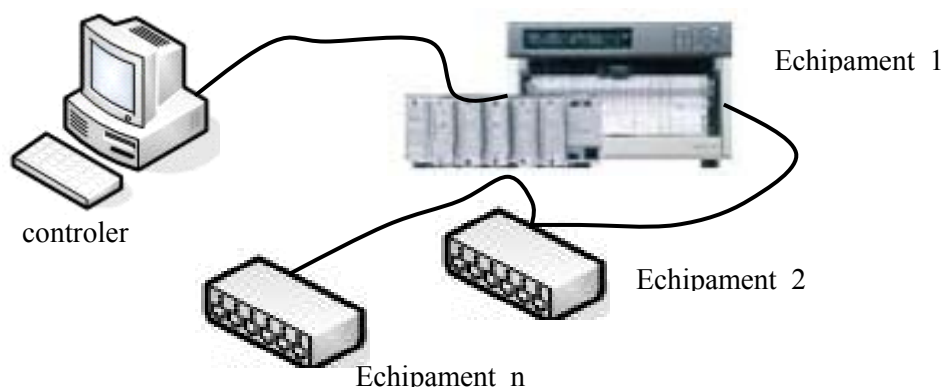


Fig. 7.65 Modul de conectare a echipamnetelor în sistem

Aparatele din sistem pot fi: aparate de măsurat, dispozitive de memorare (discuri, RAM, ROM etc.), dispozitive de afișare (osciloscopae, afișaje cu LED-uri

etc.), dispozitive terminale (surse de tensiune programabile, convertoare A/N și N/A, subsisteme de control, relee, subsisteme de acționare la distanță etc.) și echipamente de calcul.

Transferul informației respectă următoarele reguli:

- La un moment dat poate exista un singur emitor și mai multe receptoare;
- Rata de transfer a informațiilor este conferită de viteza celei mai lente componente din sistem;
- Comenzile controlerului trebuie înțelese de toate componentele sistemului.

Configurarea unui sistem fără controler este prezentată în figura 7.66.



Fig. 7.66 Configurarea unui sistem fără controler

Configurarea unui sistem dotat cu controler este prezentată în figura 7.67.

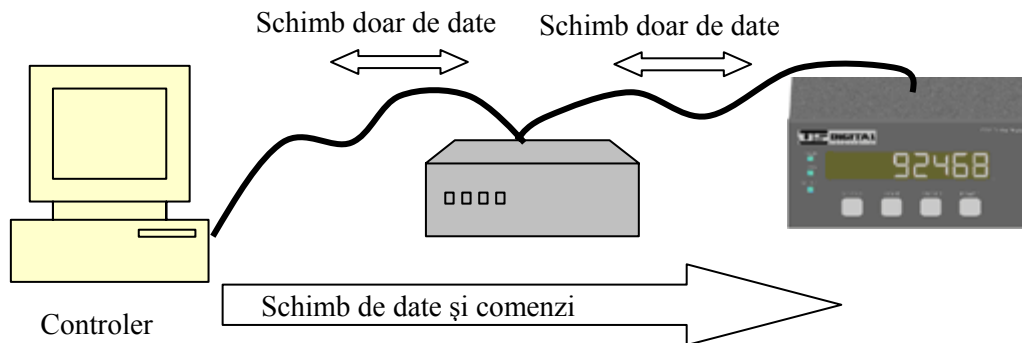


Fig. 7.67 Configurarea unui sistem dotat cu controler

În figura 7.68 se prezintă un aspect al unui cablu și conectoarele aferente conform IEEE-488 iar aspecte constructive în figura 7.69 ("1" conector cu 24 de pini, M / F cu contacte aurite; "3" cablu).

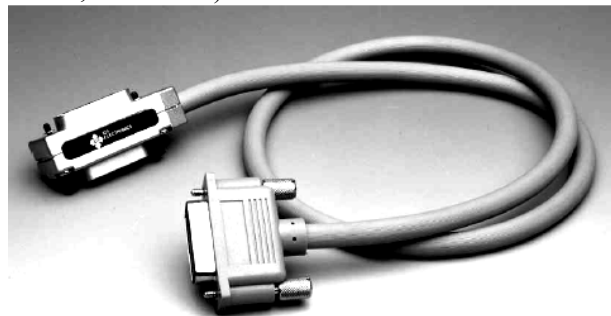


Fig. 7.68 Cablu conform IEEE-488

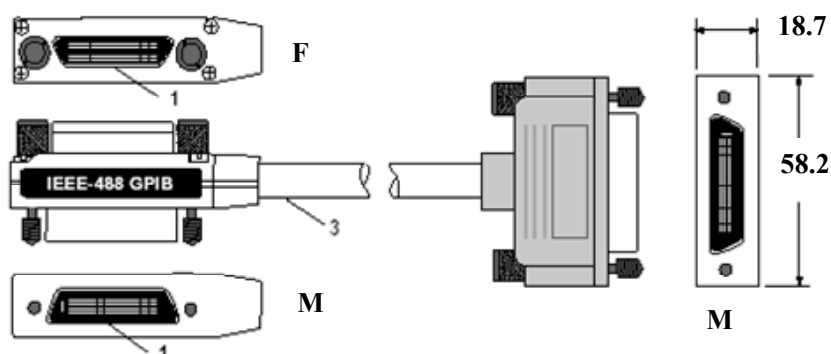


Fig. 7.69 Aspecte constructive a cablului conform IEEE - 488

Interfața IEEE-488 nu este standard PC și prin urmare aceasta trebuie instalată într-unul din conecătoarele libere ale calculatorului.

7.4.3.2.4. Interfață fără "fire"

Mediul de rețea fără fir reprezintă o alternativă de interconectare care se impune din ce în ce mai mult. Sintagma "fără fir" – "wireless", poate crea confuzie, inducând ideea existenței unei rețele total lipsite de cabluri. De obicei acest lucru nu este adevărat. Majoritatea rețelelor fără fir constau din componente ce comunică fără fir cu o rețea hibridă, care folosește cabluri. Ideea utilizării rețelelor fără fir este atractivă, deoarece componentele oferă diverse posibilități:

- Conexiuni temporare la o rețea cablată existentă;
- Conexiuni de rezervă – backup – pentru o rețea existentă;
- Un anumit grad de portabilitate (mobilitate);
- Extinderea rețelelor în afara limitelor impuse de cablurile de cupru sau fibră optică.

Pentru transmiterea datelor, rețelele fără fir folosesc câteva tehnici de transmisie:

- Raze infraroșii;
- Raze laser;
- Unde radio în bandă îngustă – pe o singură frecvență;
- Unde radio în spectru larg.

Pentru aplicații din domeniul controlului proceselor rapide rețelele fără fir nu sunt cea mai bună soluție. În aceste cazuri utilizarea firelor pentru transferul informației rămân în continuare soluția ideală. Triunghiul fiabilității cu cele trei componente este prezentat în figura 7.70. Aceste aspecte trebuie avute în vedere la alegerea și analiza variantei utilizate.

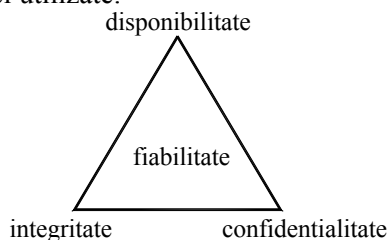


Fig. 7.70 Triunghiul fiabilității

O analiză a cerințelor privind utilizarea unei anumite viteze de transfer a informației în rețelele fără fir este prezentată în tabelul 7.9. Unitatea de bază pentru viteza de transmitere a informației “baud” (după numele inginerului francez Jean Maurice-Emile Baudot) a fost înlocuită cu bps (biți pe secundă) care este mai precisă.

Tabelul 7.9

domeniu	interes
< 300 bps	63 %
300 bps – 50kbps	25 %
50 kbps – 250 kbps	3 %
250 kbps – 1.5 Mbps	6 %
> 1.5 Mbps	3 %

Posibilități de utilizare a rețelelor fără fir sunt ilustrate în figura 7.71.

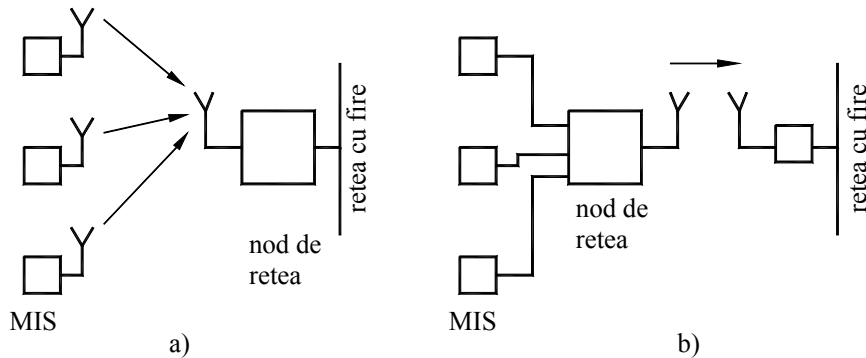


Fig. 7.71 Rețele fără fir

În tabelul 7.10 se prezintă o apreciere generală privind cerințele numărului de senzori / nod.

Tabelul 7.10

senzori / nod	interes
8	26 %
32	53 %
256	21 %

Protocoloalele sunt reguli și proceduri de comunicare. Într-un mediu de rețea trebuie avute în vedere următoarele:

- Fiecare protocol existent are avantaje și dezavantaje. Chiar dacă fiecare protocol permite stabilirea unor metode de comunicație, ele au scopuri diferite și îndeplinesc sarcini diferite. Unele protocoale funcționează la diferite niveluri ISO (nivelul fizic, legătură de date, rețea, transport, sesiune, prezentare, aplicație). Nivelul la care lucrează un protocol determină funcția sa. O privire simultană asupra modelului OSI și a Internetului este prezentată în tabelul 7.11.

Tabelul 7.11

Nivelul OSI	Protocoale Internet și tehnologiile utilizate	
7. Nivelul aplicație	Protocoale de aplicații	HTTP, FTP, SMTP, Telnet, NTP
6. Nivelul prezentare		
5. Nivelul sesiune		
4. Nivelul transport	Protocol TCP / UDP	
3. Nivelul rețea	Protocol IP	
2. Nivelul legătură	Ethernet, Token Bus, PPP...	
1. Nivelul fizic	Cablu torsadat, fibră, RS232...	

- Mai multe protocoale pot lucra împreună, în ceea ce se numește stivă, sau suită de protocoale.

Un model de rețea de referință este proiectul IEEE 802, denumit așa după anul și luna în care a fost inițiat. Acesta definește standardele pentru nivelul fizic și legătură de date ale modelului OSI.

Nivelul fizic este nivelul inferior în ierarhia ISO. Acesta asigură transmisia unui șir de biți, nestructurat, printr-un mediu fizic (cum ar fi cablul de rețea). Nivelul fizic se referă la interfața electrică, optică mecanică și funcțională cu cablul. De asemenea, nivelul fizic stabilește tehnica de transmisie ce va fi folosită pentru a transmite datele prin cablul de rețea: definește codificarea datelor și sincronizarea biților, durata unui bit etc.

Nivelul legătură de date – este imediat superior celui fizic – și transmite cadre de date de la nivelul rețea către cel fizic. La capătul receptor, el asigură împachetarea biților sosiți de la nivelul fizic în cadre de date. Un cadru de date este o structură logică, organizată, în care pot fi plasate date (fig.7.72)(CRC – Cyclic Redundancy Check, camp pentru verificarea, detecția și corecția erorilor și asigură recepția corectă a cadrelor de date).

Protocoalele IEEE (Institutul de Ingineri Electrici și Electronici) pentru nivelul fizic sunt:

- 802.3 (Ethernet) – datele sunt transmise prin fir fiecărui calculator, însă numai cele îndreptățite să le recepționeze confirmă primirea. Protocolul CSMA / CD regularizează traficul prin rețea, permițând transmisia doar atunci când cablul este liber și nici un alt calculator nu transmite;
- 802.4 și 802.5 se bazează pe un pachet special - "jeton" - care circulă în rețea și care definește care calculator poate emite.

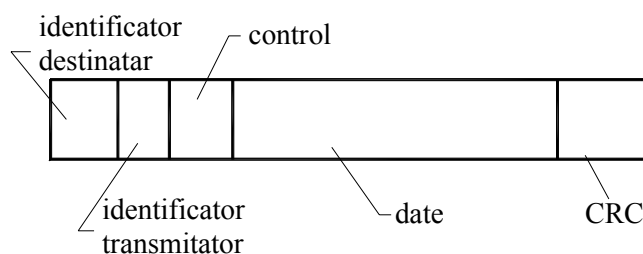


Fig. 7.72 Configurație protocol

7.4.3.2.5. Interfață pentru senzori și actuatore

În mecatronică parametrul timp este un factor critic. Din acest motiv și nu numai, o atenție deosebită s-a alocat de-a lungul timpului pentru găsirea celei mai bune variante pentru interfațarea elementelor senzoriale și actuatorelor într-o aplicație de automatizare / control. Schema de control într-o rețea este ilustrat în figura 7.73.

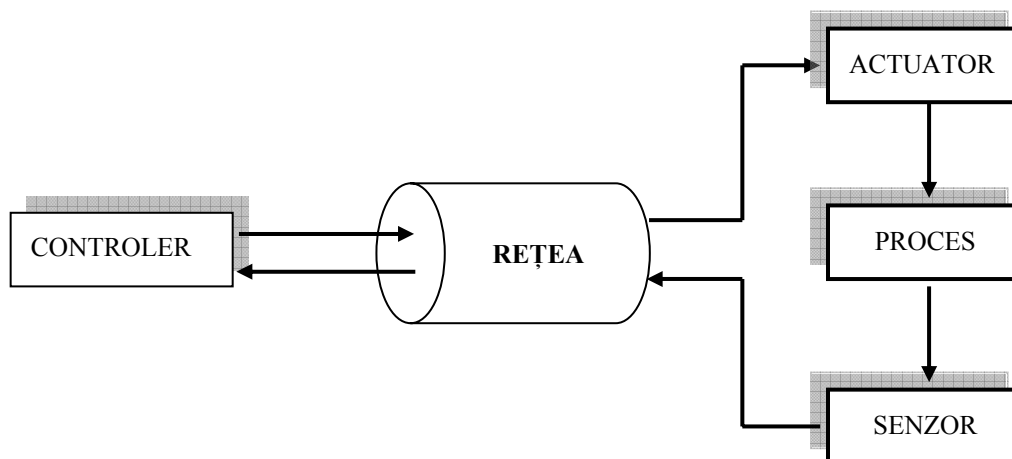


Fig. 7.73 Schemă de control într-o rețea

Modelul de magistrală European EIB (European Installation Bus) este proiectat pentru a gestiona într-un domeniu larg instalații electrice pentru conectare, securitatea și controlul unui mediu compus din diverse clădiri (școli, spitale, birouri, administrație etc.). Sunt propuse monitorizarea și controlul funcționării iluminatului, închiderea jaluzelelor, încălzirea, ventilația, aerul-condiționat, semnalizarea, monitorizarea și alarma. Un exemplu de utilizare este prezentat în figura 7.74 și 7.75. Magistrala este proiectată pentru un transfer serial de date între echipamentele conectate la aceasta. Prețul de cost scăzut este de asemenea luat în considerație.

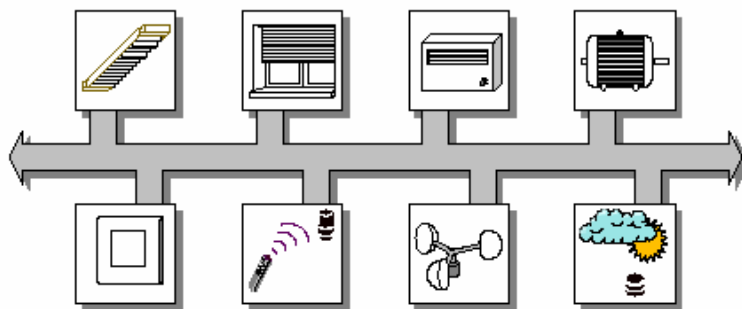


Fig. 7.74 Modelul de magistrală EIB

O organizare descentralizată a gestionării sistemului este ilustrată în figura 7.74 – 7.75. Este forma de implementare uzuală. Această modalitate este implementată în cazul echipamentelor – emițător sau receptor – care comunică direct între ele fără a recurge la dispozitivul sau rețeaua ierarhică de supervizare. Se asigură sistemului o flexibilitate ridicată.

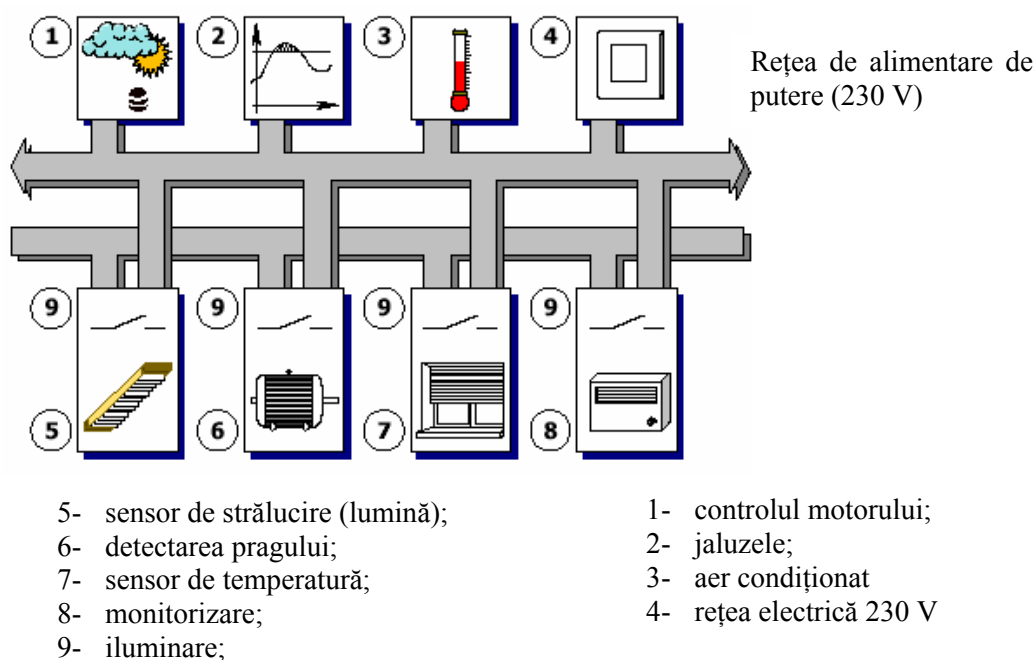


Fig. 7.75 Exemplu de utilizare a magistralei EIB

Aplicația permite totuși un mod de management centralizat (fig.7.76). Un controler de aplicație (ApC) poate fi plasat oriunde pe magistrală.

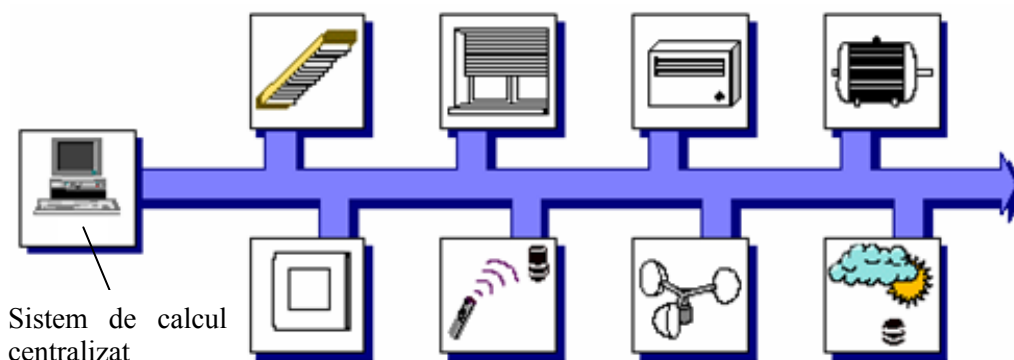


Fig. 7.76 Organizare descentralizată a sistemului

Protocolul EIB este acceptat de mai multe tehnologii: cablu torsadat (twisted pair), linie de putere (powerline), frecvență radio sau infraroșu. Este posibilă de asemenea conectarea intrărilor la alte medii.

Conectarea electrică în rețea poate că capete diverse topologii (fig.7.77, 7.78): *liniară, inelară, stea, arborescentă, mixtă*.

Magistrală necesită un singur cablu torsadat pentru lucru. Când se utilizează un control standard cu 2 cabluri, unul este dedicat transmiterii semnalului iar al doilea

poate fi utilizat pentru servicii complementare de forță. Dar într-o anumită zonă, construcție trebuie să fie utilizată o singură variantă.

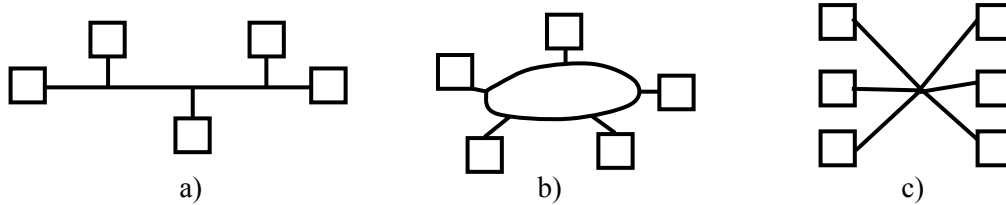


Fig. 7.77 Topologii de rețea: a- liniară; b- inelară; c- stelară

O instalare a cablului pentru o topologie arborescentă este ilustrată în figura 7.79. Un grup de echipamente distribuite pe mai multe etaje sunt conectate într-o rețea.

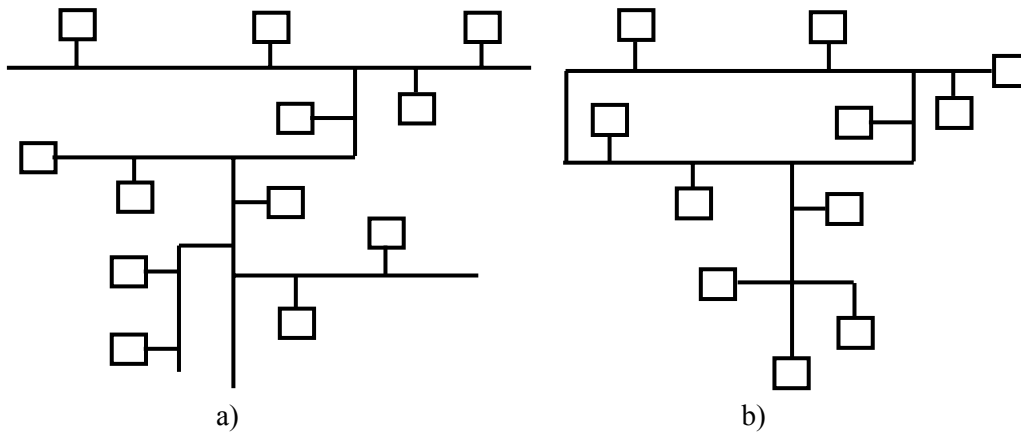


Fig. 7.78 Topologii de rețea: a - arborescentă; b - mixtă

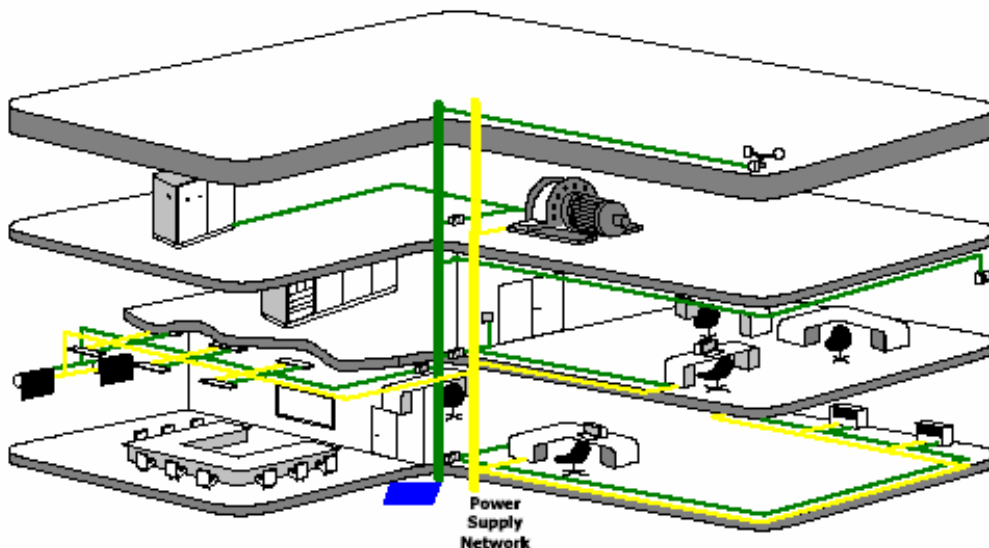


Fig. 7.79 Topologie arborescentă

Un exemplu de utilizare a circulației informației pentru domeniul hidraulic este prezentat în figura 7.80 și 7.81. Varianta clasică de comunicare a informației pentru cazul prezentat era cea analogică ($\pm 10\text{ V}$, 20mA), cu cablare în paralel și pentru care există standarde. În noua variantă de circulație a informației (FIELDBUS) se apelează la o cablare serială care implică o reducere a costurilor pentru instalație și documentare. Acest lucru presupune specificări suplimentare însă în ceea ce privește termeni fizici (cabluri, conectori) și mecanismul de schimbare a datelor (protocoale).

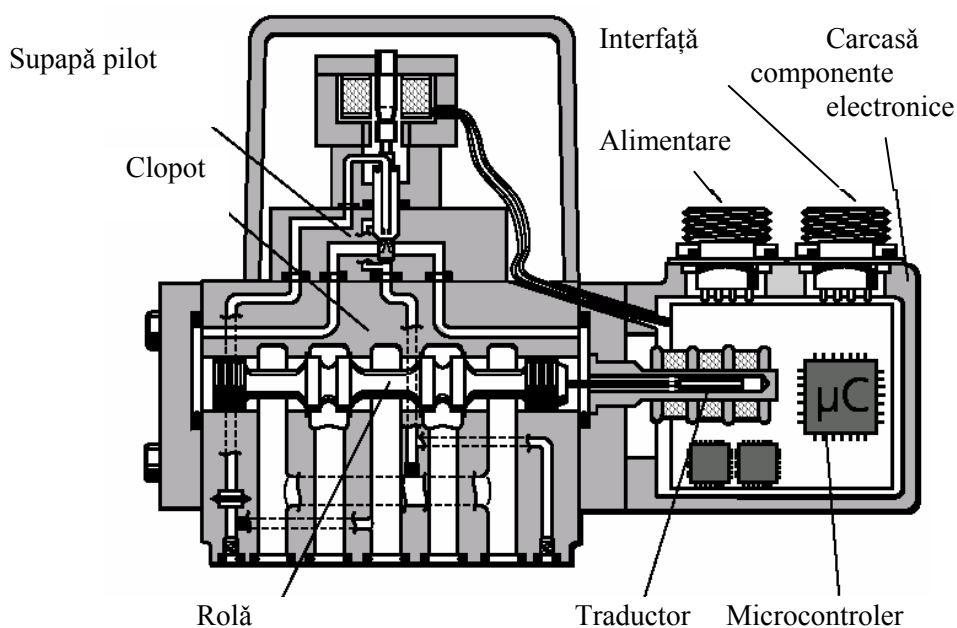


Fig. 7.80 Exemplu de conectare senzor – actuator - microcontroler

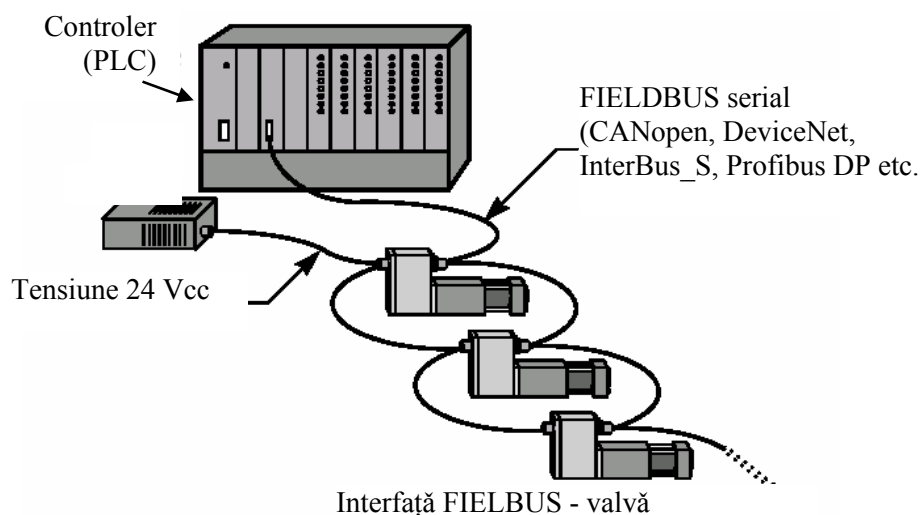


Fig. 7.81 Includerea servovalvei într-un sistem

În mod special – original - pentru cazul dat s-a considerat și configurarea rețelei. Câteva dintre cerințele acesteia sunt:

- Magistrală cu două fire în linie;
- Până la 64 de module pe rețea;
- Rată de transfer de max. 1Mb/s;
- Securizarea rețelei.

Fiecare componentă a rețelei are permisiunea de a transmite date și fiecare dispozitiv decide dacă mesajul recepționat este relevant pentru aplicația sa. Mesajul are la bază un cod de identificare COD-ID și conține de la zero până la 8 bit. Securizarea transmisiei este asigurată printr-un câmp de control CRC. Configurația modului de configurare este prezentată în figura 7.82 (RTR – cerere pentru transmitere a datelor; ACK – confirmare de recepționare a informație; EOF – închiderea sesiunii de lucru).

Start 1 Bit	COD-ID 11 Bit	RTR 1 Bit	Control 6 Bit Date (0...8 byte)	CRC 15 Bit	ACR 2 Bit	EOF 7 Bit
----------------	------------------	--------------	------------------	--------------------------------	---------------	--------------	--------------

Fig. 7.82 Structura mesajului între componente

Un alt exemplu de utilizare a controlului prin interfața EIB se referă la iluminarea unei incinte funcție de timp, iluminarea naturală, prezența unor operatori. Între orele 7.30 AM și 6.00 PM un releu de timp permite iluminarea. În zona incintei și coridoarele laterale sunt poziționați senzori optici pentru sesizarea nivelului de iluminare. Senzori de locație / prezență semnalizează pătrunderea operatorilor în zonă.

Comutatorul de timp transmite un mesaj utilizând EIB și standardul de interconectare EIS (variabila 1 bit). “TIMP ON” permite iluminarea iar “TIME OFF” întrerupe iluminarea (fig.7.83a). Valorile TON și respectiv TOFF se setează prin parametrii de lucru.

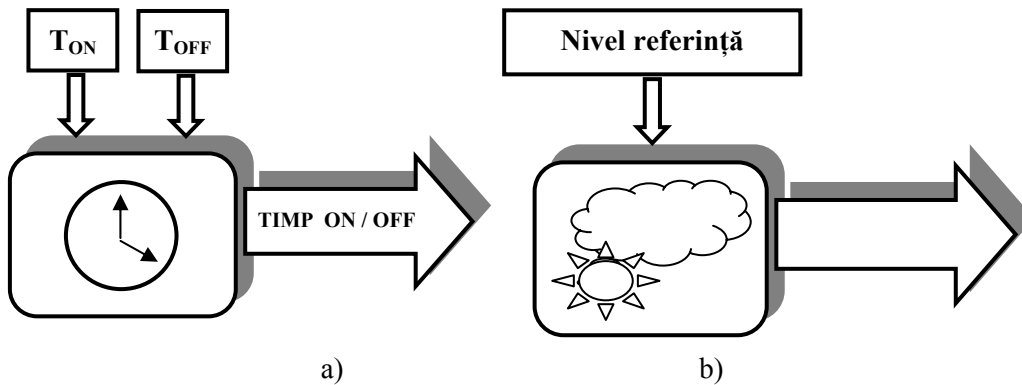


Fig. 7.83 Modul de lucru a comutatorului de timp

Senzorul optic permite evaluarea iluminării naturale în spațiu de lucru și transmite un mesaj pe EIB în standardul EIS (variabilă 1 bit) (fig.7.83b). Nivelul de referință se setează de beneficiar prin parametrul de lucru

Senzorul de prezență are drept scop convertirea prezenței fizice a unui operator într-un mesaj ON / OFF utilizând standardul EIS (variabila 1 bit) și interfața EIB (fig.7.84).

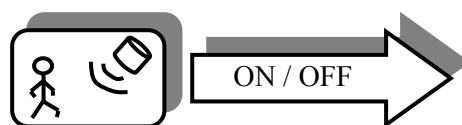


Fig. 7.84 Modul de lucru a senzorului de prezență

Controlerul pentru iluminare recepționează informațiile de la diferiții senzori și condițiile de funcționare și coordonează funcționarea sistemului (fig.7.85).

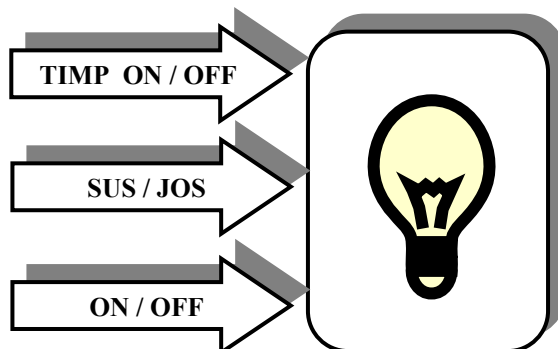


Fig. 7.85 Controlerul pentru iluminare

Conectarea întregului sistem este prezentată în figura 7.86.

În ultima perioadă câștigă tot mai mult teren interfațarea fără fir a senzorilor și actuatorilor. Interfața IEEE 1451 intitulată ca și interfață standard pentru senzori și traductoare a stat la baza analizelor pentru noua interfață.

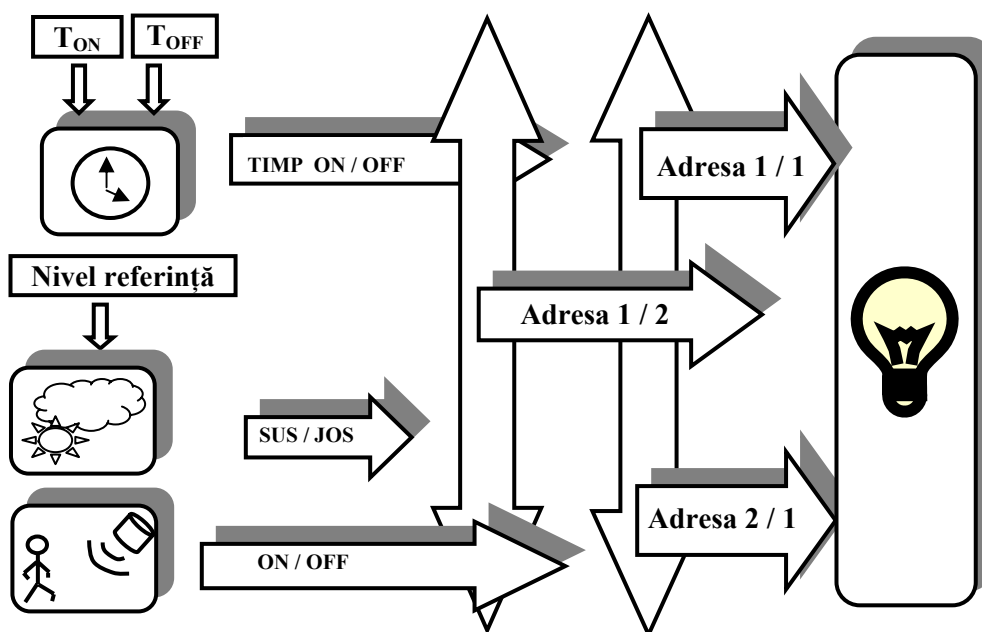


Fig. 7.86 Conectarea întregului sistem pentru iluminarea unei incinte

7.5. Integrarea de componente

7.5.1. Semnificația integrării de componente

Integrarea de componente – hardware – este una din etapele importante în proiectarea sistemelor mecatronice. Aceasta presupune declanșarea operațiilor de integrare a electronicii în procesul analizat, a microcomputerelor și senzorilor dedicați în componenta mecanică, a actuatorilor, a cablurilor de legătură printr-un sistem BUS, sisteme “plug” etc.

Unul din domeniile cu impact major în integrarea mecanică – electronică este cel reprezentat de industria automobilelor. Din acest motiv, exemplificăm integrarea printr-un exemplu din acest domeniu. Noi performanțe în construcția automobilelor au fost obținute prin subsisteme electronice dedicate – embedded systems – implementate în aplicațiile specifice. Un exemplu tipic de o astfel de metodologie este ilustrată în figura 7.87 [7.58].

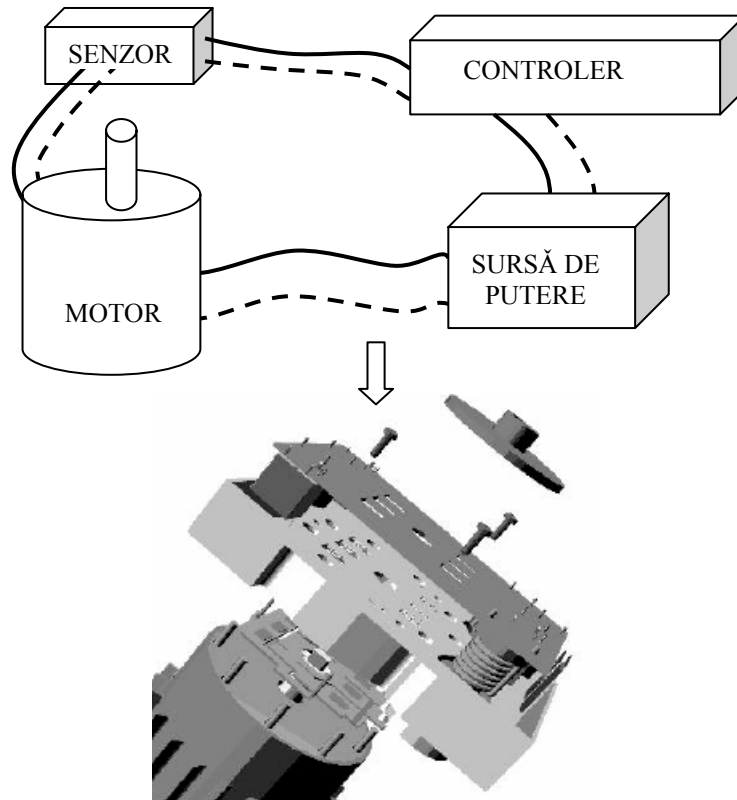


Fig. 7.87 Exemplu de integrare în domeniul industriei automobilelor

Senzorii, sursa de putere, controlerul sunt asociate prin interconectări electrice cu motorul și încorporate într-un modul electromecanic integrat.

Alternatorul pentru automobil este un exemplu de integrare a funcției electronice într-un modul electromecanic. O soluție modernă a alternatorului pentru automobil constă dintr-un generator electromecanic, o punte redresoare (pe bază de diode) și un

modul electronic pentru reglarea tensiunii. Soluția variantei este ilustrată în figura 7.88 unde semnificația notațiilor este următoarea: 1- carcasa generator; 2 – sistem de răcire; 3 - capac; 4 – regulator de tensiune [7.58]. Modalitățile de abordare și de soluționare a problematicei sunt prezentate succint în tabelul 7.12.

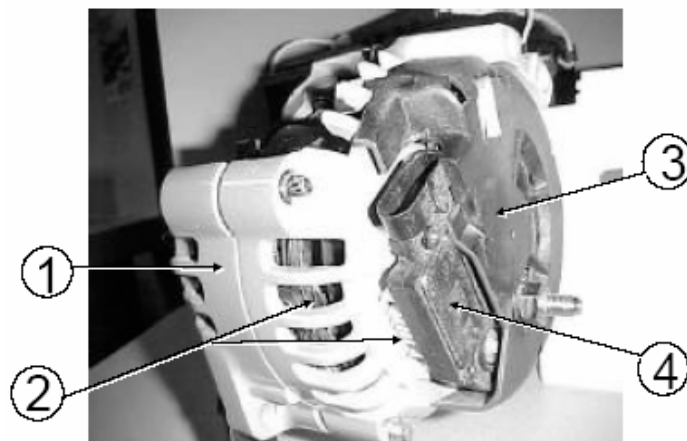


Fig. 7.88 Soluție modernă a alternatorului

Tabelul 7.12

Cerințele pentru subsistemul electric	Caracteristici / tehnologie utilizate pentru soluționare
Dimensiuni de gabarit reduse pentru componentele care se montează în carcasă	Utilizarea circuitelor integrate, rezistențe peliculare, componente de putere netipizate
Modulul pentru disiparea energiei electrice	Radiator răcit prin convecție forțată facilitată de ansamblul ventilator-alternator
Temperatură ambietală ridicată (~125 °C)	Materiale speciale cu parametri adecvați temperaturilor ridicate
Variații posibile ale temperaturii într-un domeniu larg (- 40 °C.....125 °C)	Adezivi complianți, îmbinări elastice
Mediu agresiv (fluid coroziv, gaze)	Module electronice capsulate, materiale siliconice izolante, conectori capsulați
Simplificarea interconectării electrice	Șuruburi înserate, cabluri electrice cu conectori speciali
Întreținere simplă	Construcția modulară permite intervenția rapidă prin înlocuirea subsistemului defect
Construcție modulară	Sistem unitar, compact și testat ca un dispozitiv unitar.

Exemple asemănătoare se pot aminti pentru actuatorul pentru direcția

automobilului, sistemul de control al transmisiei [7.58].

Sistemul de acționare electrică a direcției automobilului este prezentat în figura 7.89[7.58]. Soluția clasică constă din două subsisteme separate: motorul electric de acționare (subsistemul_1) și controlerul direcției (subsistemul_2). Această variantă prezintă dezavantaje majore, asamblare complexă, interconectarea celor două unități, interferențe electromagnetice, rezistențe electrice suplimentare. Soluția mecatronică include întregul sistem într-o singură unitate compactă (fig.7.70).

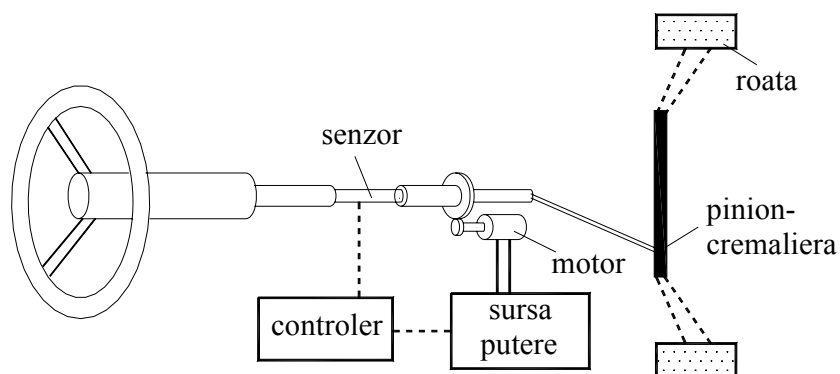


Fig. 7.89 Sistemul de acționare electrică a direcției automobilului

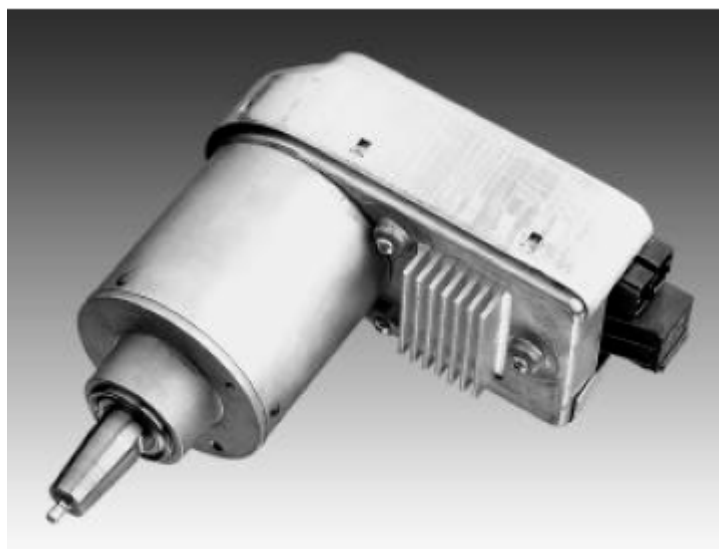


Fig. 7.90 Unitatea compactă a direcției

O secțiune prin actuatorul sistemului, cu indicarea modului de integrare hardware, este prezentată în figura 7.91[7.13], [7.56].

Electronica de putere a motorului este protejată de capacul (1). Contactorul electronic (2) este atașat direct pe magistrala de distribuție a puterii (11). Această magistrală este confecționată din materiale cu parametri conductivi termici și electrice superiori. Magistrala este atașată părții inferioare a carcasei (5), în zona internă și este

izolată electric dar conductivă termic. Al doilea strat izolator electric este plasat între bus-ul de distribuție (11) și scutul motorului (8).

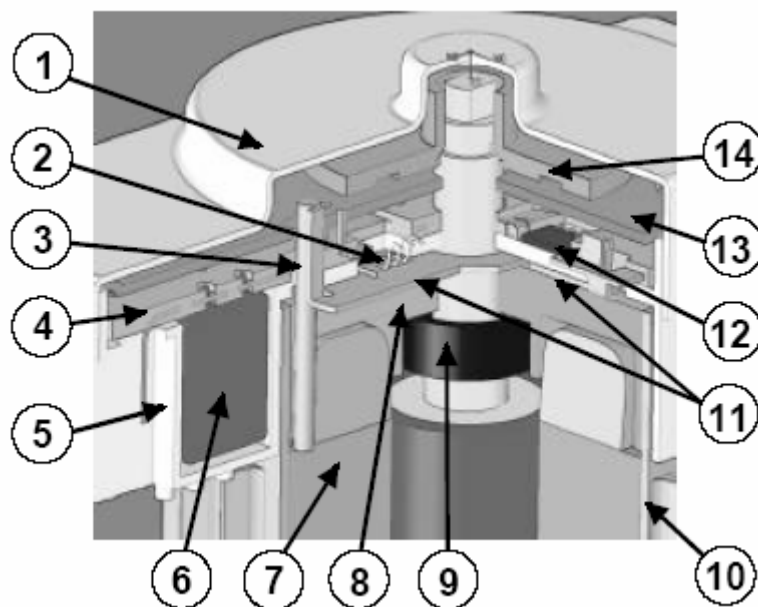


Fig. 7.91 Secțiune prin actuatorul sistemului

Placa de interconectare (4) este utilizată pentru conectarea diverselor componente electrice (6). Deasupra acestei plăci este montată placa sistemului de control (13). Semnificația altor notații: 3 – bobinajul motorului; 7 – miez de fier; 8 – scut; 9 – rulment; 10 – manșon exterior; 12 – disipator de energie termică; 14 – traductor de poziție.

Integrarea de sisteme senzoriale dedicate – embedded sensors - este altă variantă de integrare în domeniul mecatronic. Elementele senzoriale au fost denumite, în cele prezentate anterior, drept senzori inteligenți. Senzorul inteligent este un hipersistem compus din mai multe subsisteme a căror funcții sunt clar precizate și din care se pot menționa (fig.7.92):

- Mai multe elemente senzoriale;
- Condiționări asociate;
- Sistem de calcul intern;
- Interfață pentru comunicație.



Fig. 7.92 Rolul senzorului inteligent

Față de senzorul clasic, senzorul inteligent dispune în mod suplimentar de:

- Capacitate de calcul intern;
- Interfață de comunicare bidirecțională.

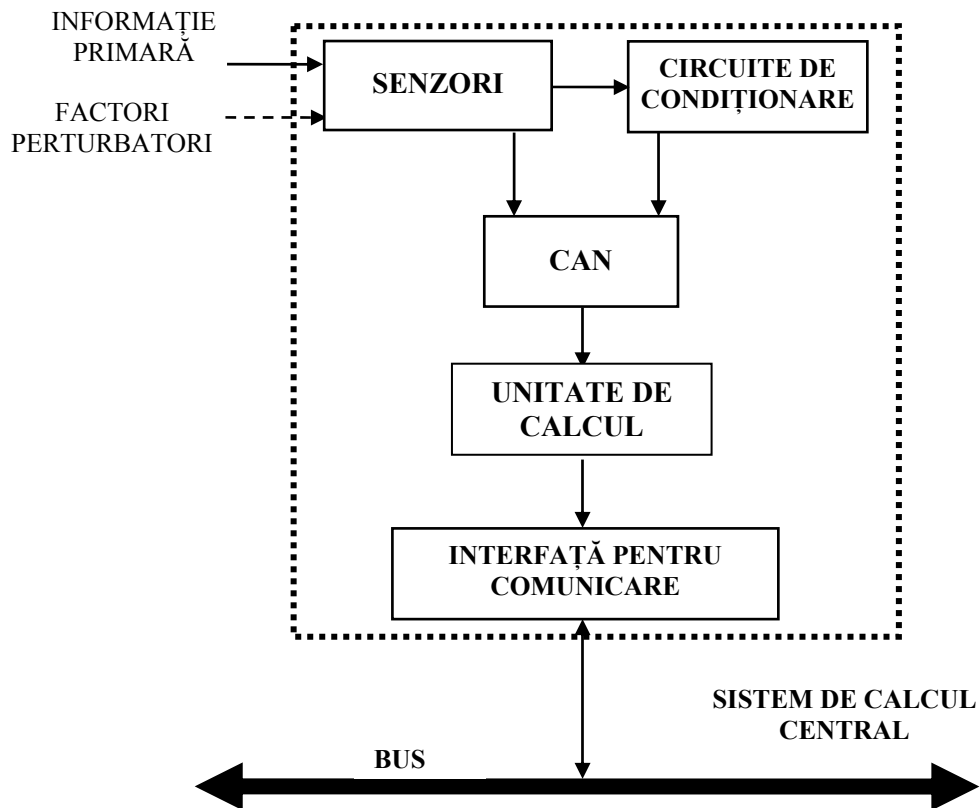


Fig. 7.93 Senzorul inteligent ca hipersistem

Metrologic senzorul inteligent are capacitatea de *auto-adaptabilitate*, *validarea semnalelor filtrate*, *înlocuirea valorilor lipsă*:

- *auto-adaptabilitate* – capacitatea senzorului de a se adapta la informația primară măsurată (Ex.: amplificator cu coeficient variabil, filtrare la frecvență de tăiere variabilă);
- *înlocuirea datelor lipsă* – sincopa punctuală a unui senzor conduce la lipsa unor date la momentul t . Pornind de la datele existente se pot estima valorile lipsă.
- *precizia și validarea măsurărilor* – precizia crescută are la bază posibilitatea senzorului de a lua în considerare și a compensa mărimile perturbatoare externe: temperatură, presiune. Validarea măsurărilor se referă la evaluarea calității măsurărilor și detectarea măsurărilor aberante.
- *Tratarea semnalelor* – necesitatea existenței unei modalități de filtrare a semnalelor în apropierea sursei semnal

Mentenanța prin prisma senzorului inteligent se referă la *auto-diagnoză*, *auto-supraveghere*, *control la distanță*. Existența unei anomalii în sistem este detectată și se poate declanșa o alarmă. Detectarea defectelor și respectiv căutarea diagnosticului are la bază studiul relației cauză – efect între fenomenul de anomalie și cauza care l-a generat. Analiza statistică și calculele de estimare sunt necesare în detectarea

defectelor. Cunoașterea proprietăților statistice ale zgomotului sunt extrem de importante în etapa de modelare. Evitarea consecințelor, ce decurg din defectarea unor componente (subansamble) ale unui sistem, se poate face principial în două moduri:

- Proiectarea și realizarea unui sistem sigur, fără defecte, situație evident ideală;
- Proiectarea și realizarea unui sistem tolerant la defecte.

Cea de a doua variantă reprezintă o abordare realistă, ea fiind accesibilă tehnologiilor actuale. Una dintre metodele de bază în localizarea defectelor face apel la proceduri de identificare on-line a parametrilor sistemului. În principiu procedeul are la bază următorul algoritm:

- definitivarea modelului parametric atașat sistemului monitorizat, utilizând ecuații liniare intrare-iesire;
- se particularizează valorile nominale ale parametrilor de referință ce corespund funcționării fără defecte (modelul nominal);
- se actualizează periodic valorile parametrilor ce corespund modelului **Ma**;
- se calculează vectorul eroare pentru toți parametrii definitorii;
- se adoptă deciziile corespunzătoare prezenței și localizării defectului.

Schema principială este prezentată în figura 7.94.

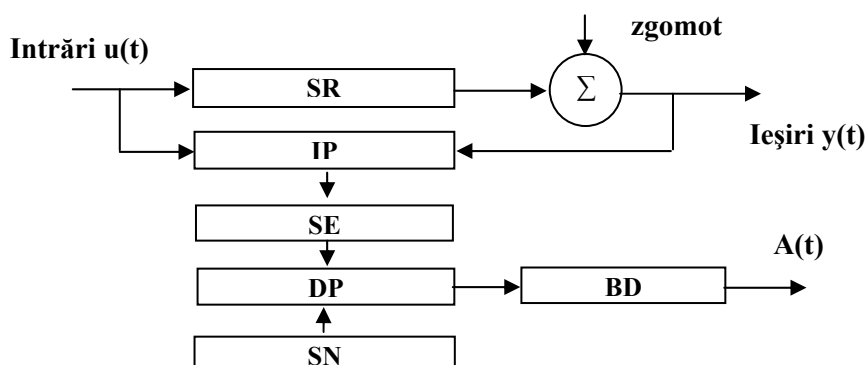


Fig. 7.94 Schema principială de localizare a defectelor

Notațiile au următoarele semnificații: SR – sistemul real; IP-identificarea parametrilor reali; SE – sistemul estimat; SN – sistemul nominal; DP – generarea diferențelor parametrice; BD – bloc de decizie.

Estimarea stării sistemului este o metodă utilă pentru detectarea traductoarelor defecte cât și pentru confirmarea apariției unor defecte în amonte de punctele de măsurare.

Echipamentele de prelevare a unor informații din mediul investigat introduc în mod inevitabil și valori eronate în datele de măsurare. Aceste valori false pot constitui cauza unor fenomene nedorite în prelucrarea ulterioară a informațiilor. Se impune prin urmare, utilizarea unor proceduri de detectare și eliminare a valorilor eronate din setul de date achiziționate. Schema de lucru este prezentată în figura 7.95. Semnificația notațiilor este următoarea:

- $s(kt)$ – datele achiziționate din mediu;
- FJT – filtru trece jos;
- $[\overline{s(kt)}]^2$ - datele filtrate și ridicate la pătrat;

- $\overline{[s(kt)]^2}$ - datele ridicate la pătrat și apoi filtrate;
- $s^*(kt)$ - datele validate.

Cele două filtre sunt utilizate pentru netezirea semnalului. Procedura implementată se bazează pe considerentul că datele corecte au o evoluție netedă, fără modificări bruște, în timp ce valorile false prezintă abateri de la aceasta evoluție.

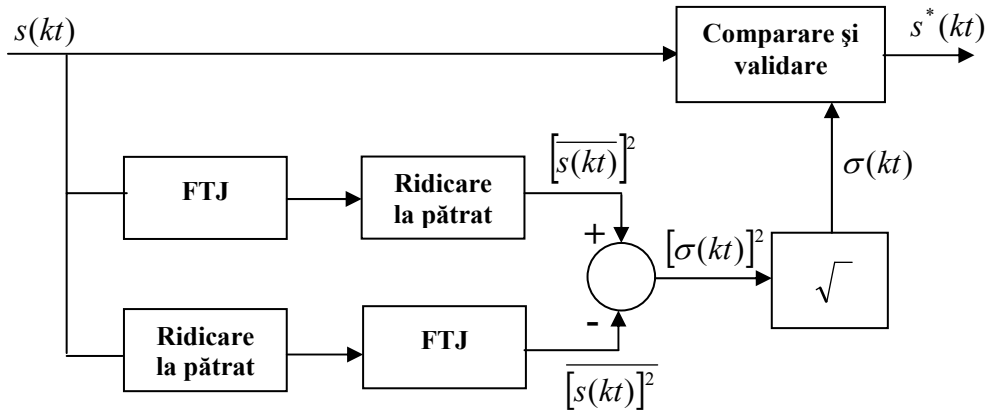


Fig. 7.95 Schema de lucru pentru eliminarea valorilor eronate

Pe baza acestor date se calculează în permanență valoarea actualizată a dispersiei $\sigma^2(kt)$ pe baza relației:

$$\sigma^2(kt) = \overline{[s(kt)]^2} - [\overline{s(kt)}]^2 \quad (7.1)$$

și pe baza căreia se calculează deviația standard $\sigma(kt)$.

O nouă valoare este validată dacă respectă inegalitățile:

$$\overline{s(kt)} - a \cdot \sigma(kt) \leq s[(k+1)t] \leq \overline{s(kt)} + a \cdot \sigma(kt) \quad (7.2)$$

unde constanta "a" se găsește în intervalul [39] recomandându-se valoarea "6".

În cazul unei valori eronate valoarea se înlocuiește cu valoarea:

$$s^*(kt) = 2s[(k-1)t] - s[(k-2)t] \quad (7.3)$$

Punerea în funcțiune: configurare de la distanță. Comunicarea bidirecțională împreună cu facilitatea de tratare numerică a datelor oferă flexibilitatea instrumentală necesară (ex.: există posibilitatea transmiterii unui fișier de inițializare sau a unui program de prelucrare).

Auto-diagnoza se definește ca și capacitatea senzorului de a efectua o evaluare a stării de funcționare și de a stabili astfel elementul care este în stare de funcționare incorectă. Această caracteristică este extrem de importantă pentru senzor. În figura 7.96 se prezintă o schemă principală pentru auto-diagnoză. Punerea la masă a intrării definește ca rezultat un semnal în tensiune de decalaj. Aplicând pe intrare o tensiune de

referință se obține o informație despre amplificarea. Controlând intrarea printr-un convertor A/D se poate valida corecta funcționare a convertorului A/D și D/A.

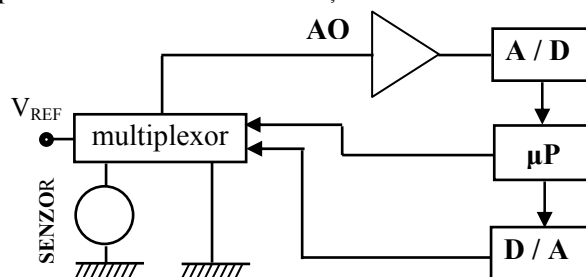


Fig. 7.96 Schemă principală pentru auto-diagnoză

Auto-diagnoza elementelor senzoriale este dificilă din cauza problematicii de rezolvat:

- Un senzor realizează o conversie a unei informații fizice care poate exista într-un domeniu estimat doar cu aproximație;
- Viteza de variație a măsurandului influențează operația de măsurare și trebuie să se situeze într-un domeniu acceptabil.

Soluția rezolvării acestei probleme se găsește în utilizarea unui număr crescut de elemente senzoriale.

Diagnosticarea pe baza unui AO diferențial este sugerată în figura 7.97.

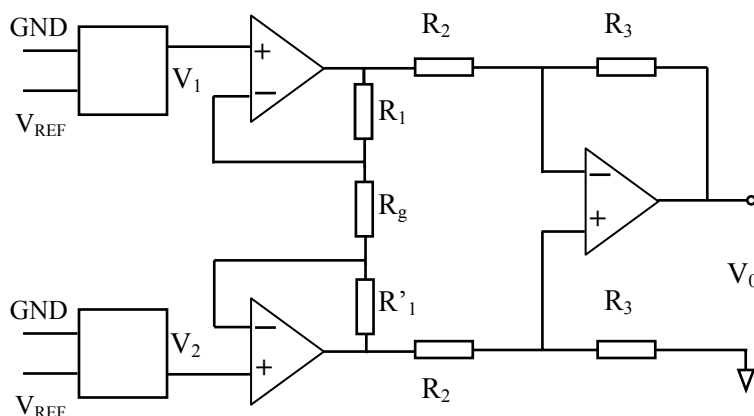


Fig. 7.97 Modalitate de diagnosticare

Structura hardware a unui senzor inteligent se poate situa între o structură minimală (fig.7.98) și o structură complexă (fig.7.99).

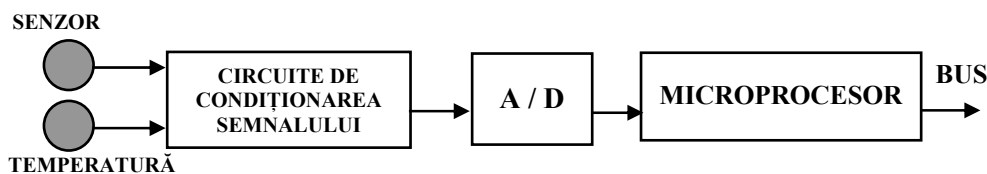


Fig. 7.98 Structura unui senzor inteligent

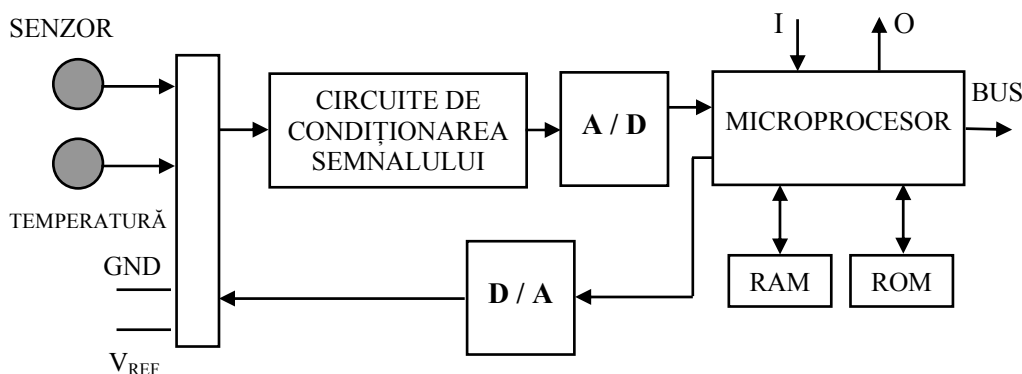


Fig. 7.99 Structură complexă a unui senzor inteligent

În ambele cazuri se poate observa o identificare a structurilor prezentate și schema bloc de definire a elementului senzorial inteligent (fig.7.92). Ambele structuri prezintă o compensare cu temperatura și unitatea de calcul local necesară. Varianta complexă include în mod suplimentar și diverse funcțiuni suplimentare.

Structura software este determinată de limbajele utilizate și modalitatea de prelucrare a datelor. Limbajul utilizat (cod mașină) este specific microprocesorului inclus, cu excepția cazului în care se utilizează limbajul C. Utilizarea limbajului cod mașină permite o optimizare în viteza de lucru și gestionarea memoriei. Limbajul C prezintă avantajul generalității.

Prelucrarea datelor se realizează fie în cadrul unui flux de informație fie ca și bloc de date. În cadrul unui flux de informații se tratează fiecare dintre date în momentul recepției. Validarea unei date recepționate este un exemplu edificator pentru această variantă. Prelucrarea datelor dintr-un bloc recepționat înseamnă recepția a "n" date după care se trece la prelucrarea acestora. Un exemplu în acest sens este cel al calculării valorii medii statistice pentru cele "n" valori recepționate.

7.5.2. Integrarea hardware prin sisteme plug-play

Standardul IEEE 1451, cu referire directă la elementele senzoriale are ca obiective:

- Simplificarea și ușurarea integrării elementelor senzoriale în aplicații;
- Definirea unei interfețe comune pentru elementele senzoriale;
- Realizarea unei interfețe simple pentru rețelele de traductoare independente;

Evoluția standardului 1451, prin componentele sale, se referă în mod succint la următoarele:

- 1451.1 – model independent de rețea;
- 1451.2 – traductoare inteligente;
- 1451.3 – magistrală multidrop dedicată traductoarelor;
- 1451.4 – funcționarea mixtă a traductoarelor.

sau prin obiectivele pe care și le propun:

- 1451.1:
 - Definiște modelul rețelei cu procesor de aplicație (NCAP);
 - Modelul NCAP adaptat la diverse rețele.
- 1451.2:

- Definește modulul interfață pentru senzorul inteligent (STIM);
- Definește fișa electronică de date a traductorului (TEDS);
- Definește interfața independentă a traductorului (TII) cu specificațiile protocolului de comunicație între STIM și NCAP.
- 1451.3:
 - Propune o interfață digitală standard (TBIM) capabilă a conecta traductoare multiple fizice separate într-o configurație multi-drop.
- 1451.4:
 - Propune o interfață standard care permite ca traductoarele analogice să funcționeze într-un mod mixt de semnal (analogic / digital).

Standardul 1451.4 stabilește o metodă acceptată universal pentru capabilitatea plug-and-play ale senzorilor. În figura 7.100 se prezintă schema principală a senzorilor inteligenți dotați cu TEDS [7.84].

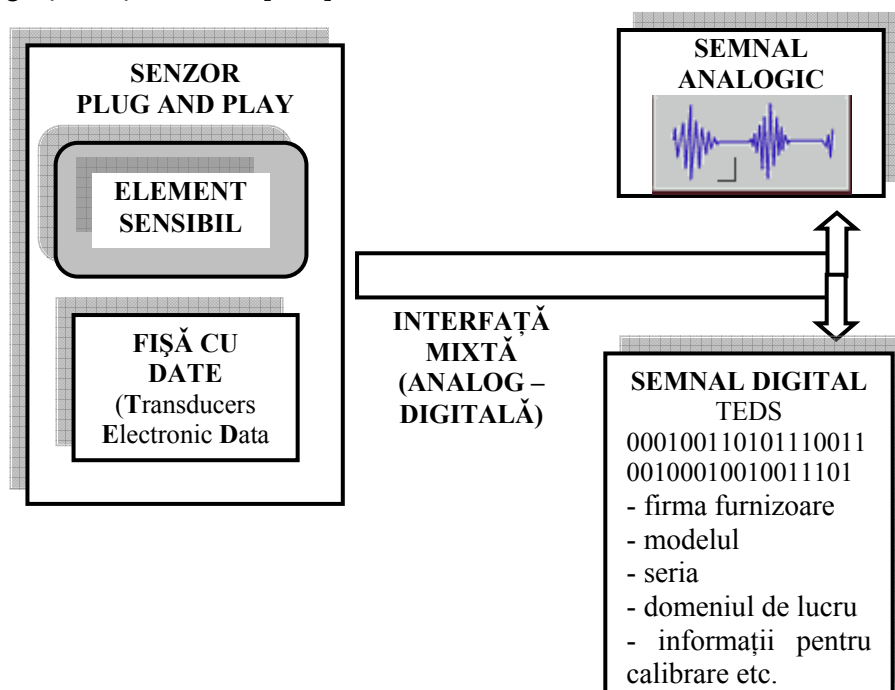


Fig. 7.100 Schema principală a senzorilor inteligenți dotați cu TEDS

Informația TEDS este divizată în mai multe secțiuni:

- *Primul fragment* – componenta de bază – conține informații necesare pentru identificarea senzorului. Sunt incluse date referitoare la: fabricant, model și numărul serial.
- *Componenta standard* – conține date specifice pentru senzori, necesare configurării interfeței electrice și conversiei datelor în sistemul de unități de măsură. Se pot menționa: domeniul de măsurare, domeniul semnalului electric de ieșire, sensibilitate, putere necesară și date de calibrare.
- *Componenta referitoare la utilizator* – se referă la localizarea senzorului, data de calibrare.

În tabelul 7.13 se prezintă o structură TEDS cu referire concretă la două traductoare: un accelerometru și respectiv un senzor tensometric [7.84].

Tabelul 7.13

Structura TEDS	exemplu			
	Accelerometru IEPE		Senzor tensometric (mV / V)	
Structura de bază	Cod ID producător	43	Cod ID producător	21
	Cod ID model	7115	Cod ID model	19
	Versiunea	B	Versiunea	D
	Seria	00731F	Seria	0008451
Structura standard și extensie TEDS (funcție de categoria de senzor)	Data de calibrare	29. 01. 2000	Data de calibrare	10. 02. 2001
	Sensibilitate	1.094E+03 mV/g	Domeniul de măsurare	± 250 N
	Frecvența de referință	100.0 Hz	Semnalul de ieșire	± 3 mV/V
	Temperatura de referință	23 0C	Impedanța de intrare	350 Ω
	Domeniul de măsurare	± 50 g	Tensiunea nominală de alimentare	10 V c.c.
	Semnalul de ieșire	± 5 V	Tensiune minimă	7 V c.c.
	Factorul de calitate	300 E-3	Tensiune maximă	18 V c.c.
	Coef. de temp.	- 0.48 % / °C	Timpul de răspuns	5 ms
	Direcția (X, Y, Z)	X		
Domeniul utilizator	Localizarea senzorului	Traversă 3A-p2	Localizarea senzorului	R32-1
	Următoarea dată de calibrare	15. 04. 2002	Codul înregistrării de calibrare	543-01.23

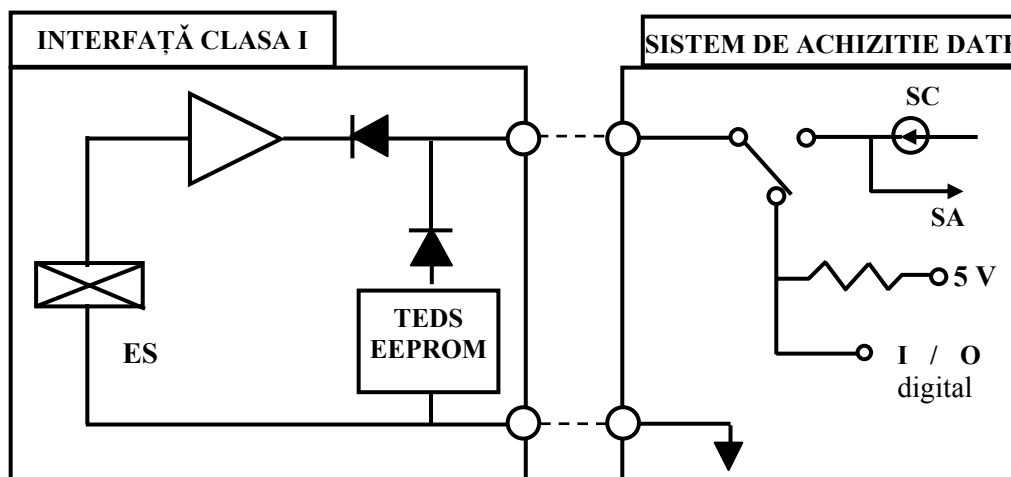
Modul de realizare a interfeței este divizat în două submodele denumite Clasa_I și Clasa II [7.83] fiecare dintre acestea referindu-se la o anumită categorie de elemente senzoriale.

Clasa_I este nominalizată pentru traductoare de curent constant piezoelectrice (accelerometre, microfoane) (fig.7.101). Soluția adoptată are avantajul existenței de facto a unei interfețe standard analogică cu suplimentarea prin TEDS. Există posibilitatea selectării modului de lucru analogic sau digital.

Clasa_II este aplicabilă oricărui element senzorial: termocuplu, RTDs (Resistance Temperature Detectors), termistor, punte senzorială, celule chimice la un

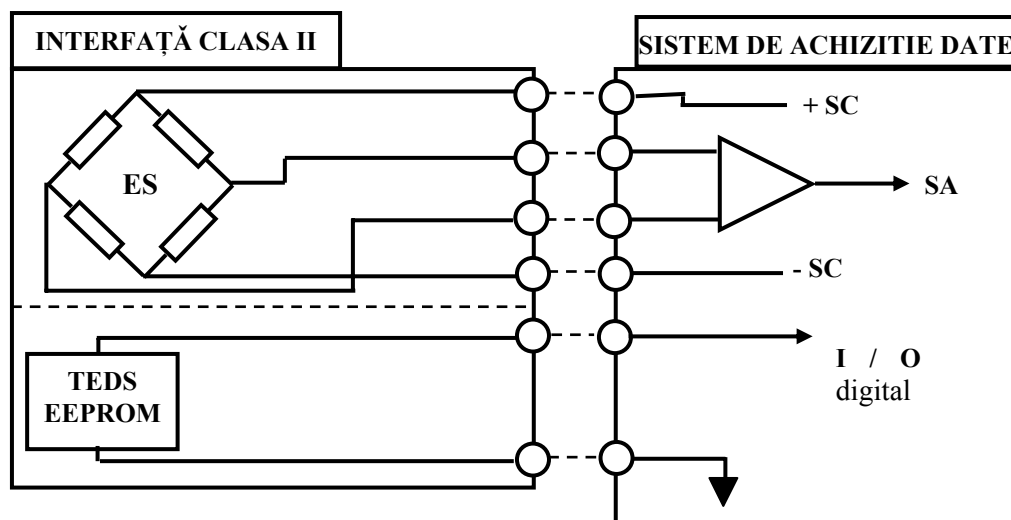
curent de circuit 4 ...20 mA (fig.7.102). Varianta adoptată necesită fire suplimentare pentru conectarea TEDS.

Fracțiunea digitală a interfeței (Clasa_1 sau Clasa_2) se bazează pe un protocol a firmei Maxim/Dallas Semiconductor. Este un protocol de comunicare serială (circuitele DS2430, ds2433)[7.84]. Modul de lucru este prezent sugestiv în figura 7.103.



- * - ES – element sensibil;
- SC – sursă curent;
- SA – semnal analogic de ieșire

Fig. 7.101 Interfața din CLASA_1



- * - ES – element sensibil;
- SC – sursă curent;
- SA – semnal analogic de ieșire

Fig. 7.102 Interfața din CLASA_2

National Instruments prezintă realizări hardware și software în domeniul abordat [7.83].

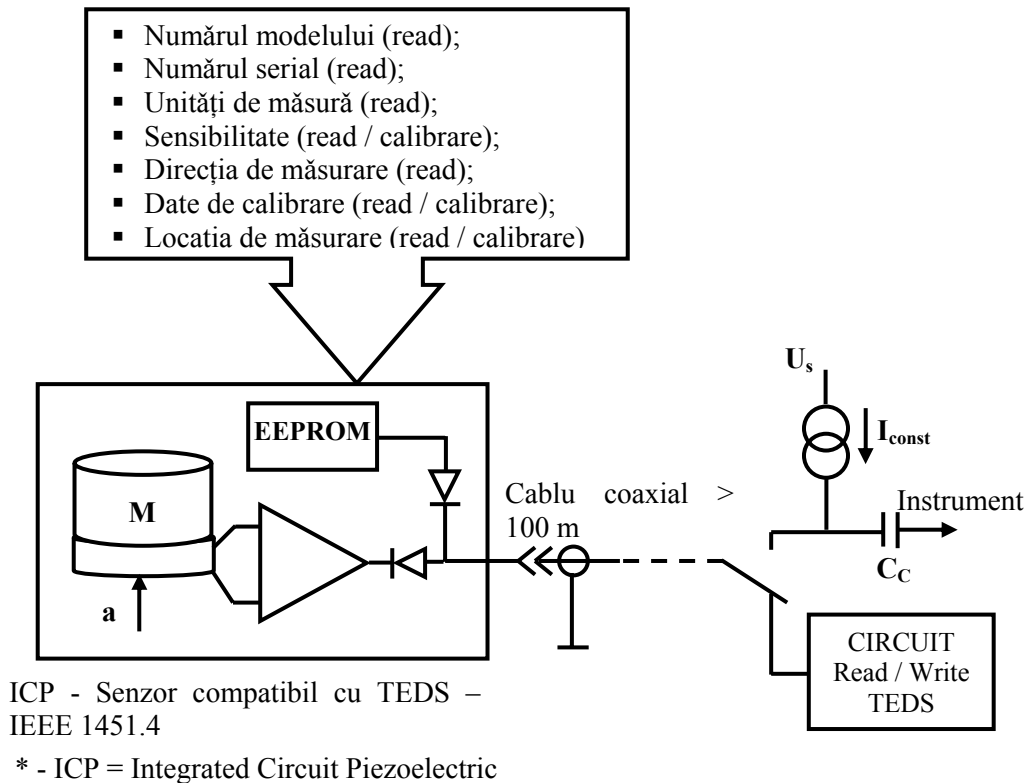


Fig. 7.103 Principiul de lucru în sistemele integrate plug-play

Programarea și citirea memoriei DS 2430 (256 Bit) este posibilă prin cablul elementului senzorial. Comunicarea utilizează protocolul Dallas Semic. 1-Wire. Pentru datele TTL schimbate se utilizează nivelul cu polaritate negativă. Aceste produse permit separarea semnalelor analogice și digitale în interiorul sensorului prin două diode simple.

Beneficiile care pot fi nominalizate prin utilizarea senzorilor plug and play sunt [7.83]:

- Simplificarea depanării;
- Reducerea riscului de avarie;
- Reducerea costurilor pentru setare;
- Nu este necesară recalibrarea la înlocuirea senzorilor;
- Sistemul de achiziție a datelor se poate recalibra el însuși.

Avantajele care se estimează pentru viitor includ:

- Integrarea în rețele fără fir;
- Eliminarea firelor lungi;
- Reducerea costurilor de instalare, mentenanță și up-grade pentru sistemele de măsurare și control;
- Oportunități pentru adăugarea “inteligenței” senzorilor.

Un senzor clasic care nu dispune de facilitatea TEDS poate fi convertit într-un senzor cu capabilități conform IEEE 1451.4 prin: modificarea conectorului, recalibrare și programarea memoriei EEPROM.

Firma National Instruments a dezvoltat o bibliotecă online de fișe (virtual REDS) care conține informațiile asemănător cu cele incluse în EEPROM TEDS dar care există și pentru senzori care nu dispun de memorie EEPROM.

În figura 7.104 se prezintă schema bloc a componentelor care fac subiectul standardului 1451 și a relațiilor dintre acestea. Semnificația notațiilor este cea prezentată anterior.

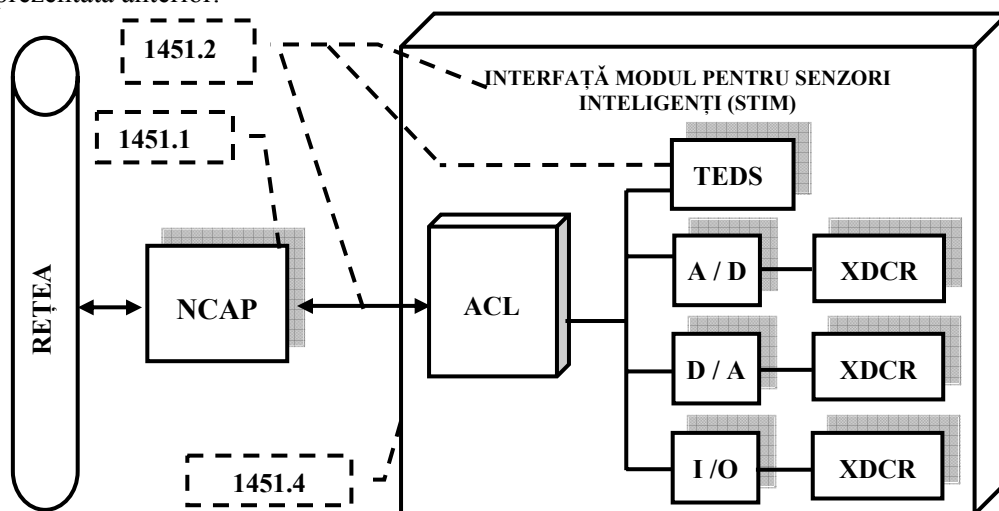


Fig. 7.104 Schema bloc a componentelor subiect al standardului 1451

Structurarea și relația reciprocă a componentelor conform standardului 1451.2 este prezentată în figura 7.105. STIM este controlată prin NCAP care mediază între STIM și rețeaua de control. NCAP poate conține elemente de inteligență locală.

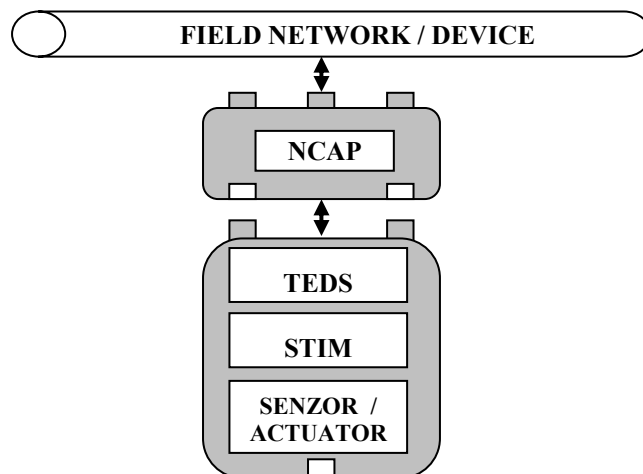


Fig. 7.105 Structura și relațiile dintre componente conform standardului 1451.2

Un exemplu referitor la posibilitatea oferită de structurarea prezentată este ilustrat în figura 7.106 [7.85].

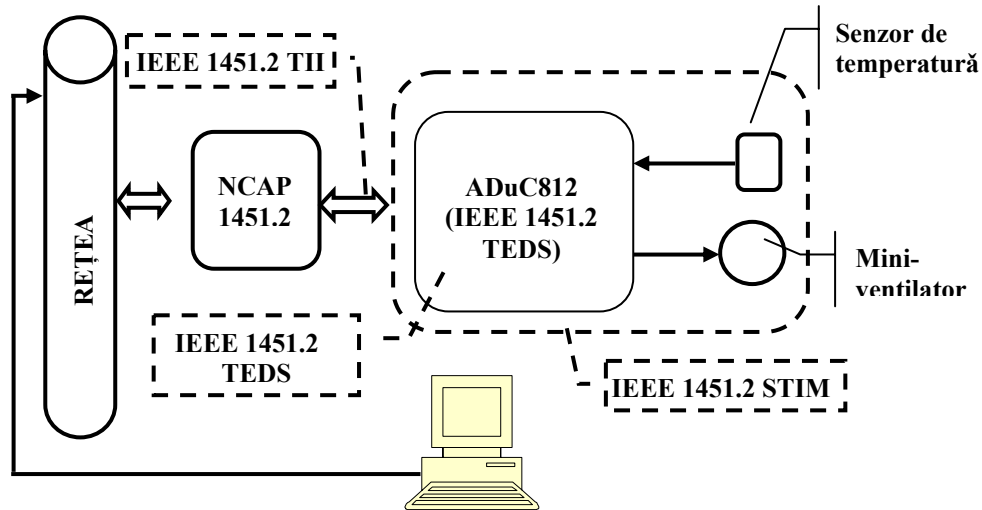


Fig. 7.106 Exemplu de integrare hardware plug-play

ADu C812 este un microconvertor al firmei Analog Devices. Un canal este utilizat pentru măsurarea temperaturii iar cel de-al doilea canal poate fi utilizat în procesul de control pentru acționarea unui mini-ventilator [7.86].

7.5.3. Integrarea hardware prin actuator

7.5.3.1. Aspecte funcționale și constructive

Integrarea actuatorilor constituie o altă formă de integrare hardware (componente) în sistemele mecatronice.

Modul de definire a actuatorului, ca și componentă indispensabilă sistemului mecatronic, este extrem de variată cu unele aspecte comune.

Principiile de realizare și modalitățile de integrare a actuatorilor în sistemele mecatronice sunt abordate de o serie de lucrări [7.23],[7.54],[7.64],[7.71]. O reprezentare schematică a funcției unui actuator este dată în figura 7.107.



Fig. 7.107 Reprezentarea schematică a funcției unui actuator

În [7.64] se definește actuatorul ca un sistem care transformă energia electrică / termică într-o mișcare controlabilă. Un cumul de definiții referitoare la actuator se regăsesc în [7.92]:

- Mecanisme pentru activarea procesului de control din echipamente prin utilizarea semnalelor pneumatice, hidraulice sau electronice;
- Mecanisme alimentate energetic pentru acționarea dispozitivelor mecanice.

În [7.54] prin actuator se înțelege un subansamblu care produce un lucru mecanic ca răspuns la un semnal exterior iar structura sa nu mai poate fi descompusă în sub-structuri decât cu riscul de a pierde capacitatea de generare a mișcării.

O primă clasificare a actuatorelor poate lua în considerare două clase, pornind de la principiul de funcționare [7.23]:

- Actuatore clasice / convenționale;
- Actuatore speciale.

Într-o sistematizare a actuatorelor se consideră ca un prim criteriu cel referitor la principiul de interacțiune și crearea a mișcării (fig.7.108)[7.54].

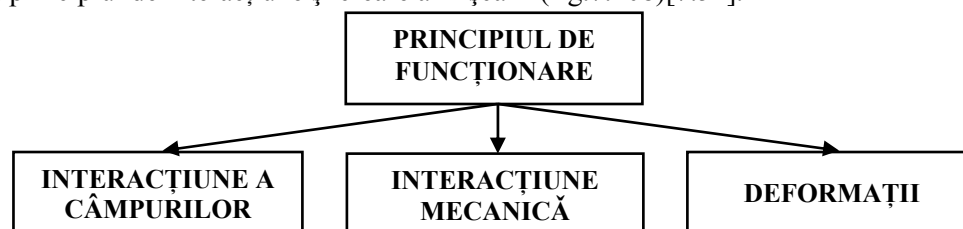


Fig. 7.108 Sistematizare a principiului de funcționare a actuatorelor

Interacțiunea câmpurilor electromagnetice stau la baza materializării unor actuatore care au cursă teoretic nelimitată. Se includ în această categorie micromotoarele de c.c., micromotoare de curent alternativ asincrone și sincrone (cu rotor pe bază de magneți permanenți) sau limitată (micromotoare liniare, electromagneți) [7.23].

Actuatorele, a căror principiu de funcționare este o interacțiune mecanică, presupun existența unui flux energetic prin intermediul agentului fizic (lichid sau gazos) care impune deplasarea unui element mobil [7.28].

Actuatorele a căror funcționare se bazează pe deformații liniare sau unghiulare au în componența structurală materiale inteligente (*smart materials*): materiale piezoelectrice, materiale electrostrictive și magnetostrictive, materiale reologice, materiale cu memoria formei (sensibile termic), materiale sensibile pH, materiale electrocromice (își modifică proprietățile optice funcție de tensiunea aplicată pe materialul electrod) etc. [7.93].

Semnalul de intrare care determină principiul de conducere a actuatorului este un alt criteriu de clasificare [7.64].

Interacțiunea dinamică dintre actuator și sistemul controlat poate fi definită în acord cu valoarea energiei schimbate:

$$dW = F \cdot dx \quad (7.4)$$

Funcție de valoarea admisibilă instantanee, actuatorele se pot clasifica în [7.42]:

- Actuatore semiactive unde lucrul mecanic poate fi $dW \leq 0$ și care în practică înseamnă o disipare de energie ca urmare a unei interacțiuni cu sistemul controlat;
- Actuatore active unde $dW \begin{cases} > \\ < \end{cases} 0$ și în practică înseamnă o creștere sau descreștere a nivelului energetic din sistemul controlat.

Componenta fundamentală a actuatorului este traductorul [7.64]. Traductorul a fost definit ca un dispozitiv care transformă energia neelectrică în energie electrică sau invers. Traductorul a fost definit și ca un dispozitiv care transformă o formă de energie în alta: energia cinetică de translație în energie cinetică de rotație sau invers.

În baza celor prezentate anterior și utilizând noțiunea de port \equiv bornă de intrare și respectiv de ieșire, un actuator poate fi asimilat cu o înseriere de două traductoare cu două porturi: portul de intrare electric și portul de ieșire mecanic (fig.7.109).

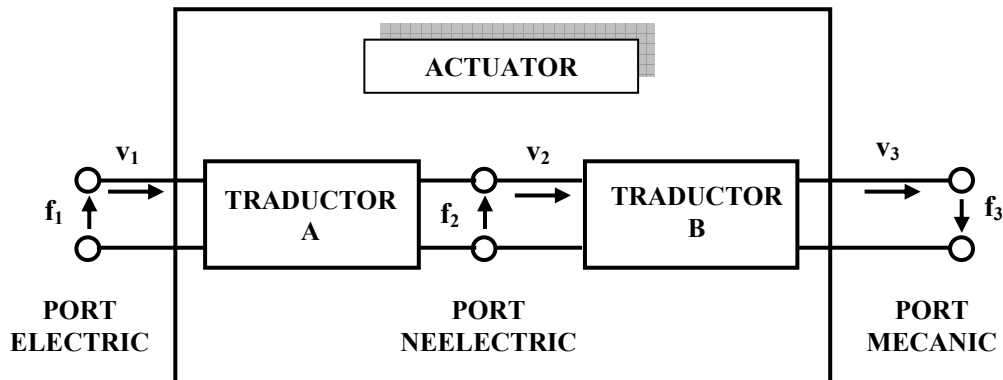


Fig. 7.109 Mod de definire a unui actuator

Într-o abordare asemănătoare, pornind de la noțiunea de traductor, se poate realiza o nouă interpretare a noțiunii de actuator. Astfel, actuatorul poate fi analizat pe baza a două tipuri de traductoare care pot fi luate în considerare:

- *Traductoare pe bază de caracteristici geometrice* în care efectul de cuplaj între cele două forme de energie – intrare și de ieșire – se bazează pe formele geometrice ale elementelor componente. Actuatorele rezultate din această categorie de traductoare sunt denumite actuatore geometrice [7.64]. Este cazul tuturor actuatorelor rotative.
- *Traductoare pe bază de caracteristici de material* în care fenomenul de conversie între formele de energie este direct utilizat pentru dezvoltarea actuatorelor. Exemple caracteristice: actuatorele piezoelectrice, actuatore cu memoria formei etc.

În funcție de forma energiei de intrare folosite pentru concretizarea funcției actuatore și implicit pe baza principiului de conversie energetică, se pot distinge categoriile:

- *Conversia termomecanică.* În acest caz energia de intrare este din domeniul termic iar cea de ieșire este energie mecanică.

- *Actuatoarele pe bază de materiale cu memoria formei (AMMS)* (pe bază de transformare de fază) asigură controlul forței într-o plajă largă, comparabilă cu alte variante de actuatoare.

În plus, proiectarea simplă a schemei de control asigură posibilitatea de miniaturizare, un consum energetic redus, etc. Clasa de aplicații a acestor actuatoare este extrem de largă: microroboți, echipamente medicale, sisteme de siguranță termice etc. În figura 7.110 se prezintă o aplicație a acestor actuatoare pentru construcția unui efector final [7.19].

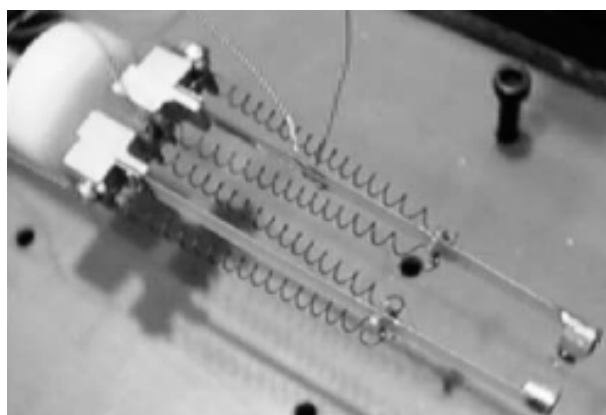
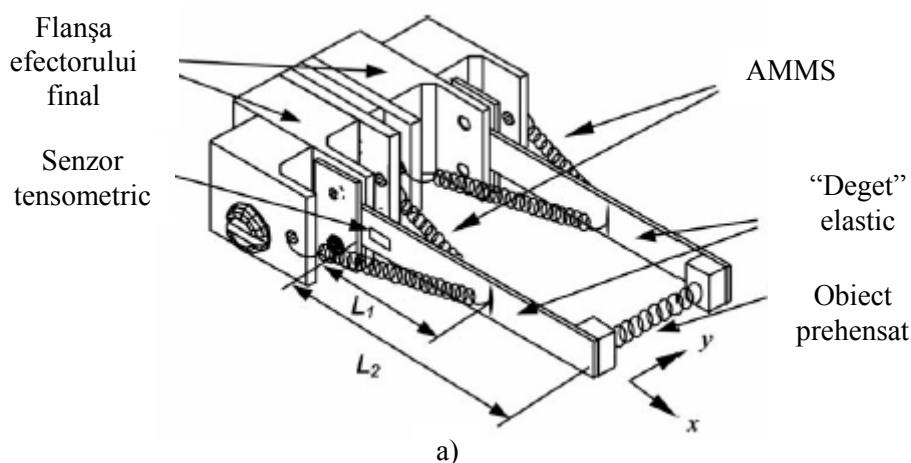


Fig. 7.110 Actuator pentru efector final [7.19]

- *Actuatoare termice pe bază de structură compozită bimetalică;*
- *Actuatoare termice pe bază de geluri polimerice;*
- *Actuatoare termice pe baza efectului de dilatare / comprimare.*
- *Conversia magnetomecanică.* În acest caz actuatoarele stabilesc o conversie energetică din domeniul magnetic în domeniul mecanic și invers.
 - *Actuatoare magnetostrictive* care au la bază efectul magnetostrictiv prin care un material feromagnetic își modifică dimensiunile sub acțiunea unui câmp magnetic exterior (fig.7.111).

Parametrul geometric “ x ” și respectiv forța “ F ” este ca rezultat a câmpului magnetic exterior în care se află epruveta 1. În figura 7.112 se prezintă realizarea fizică a unui actuator magnetostrictiv [7.50] în care mișcarea de translație este ghidată printr-un mecanism cu elemente elastice (1- elemente elastice; 2 - tijă din material cu proprietăți magnetostrictive; 3- bobină alimentată în c.c.; 4 – bobină alimentată în c.a.; 5 – traductor Hall).

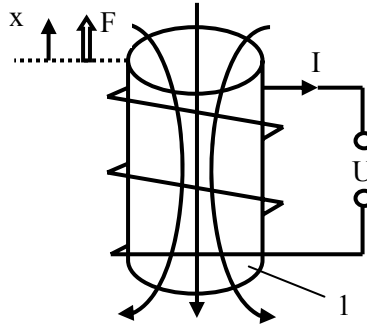


Fig. 7.111 Efectul magnetostrictiv

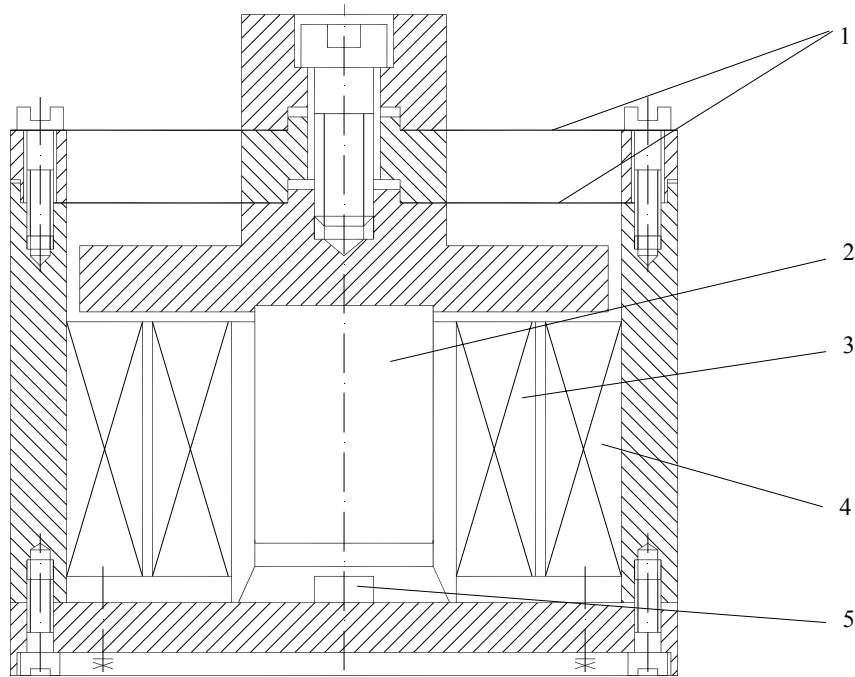


Fig. 7.112 Actuator magnetostrictiv

- *Actuatoare meagnetoreologice.* Actuatoarele magnetoreologice au ca element de bază în structură fluidul magnetoreologic sau ferrofluidul (lichid magnetic).

Ferofluidurile sunt dispersii de particule magnetice într-un lichid de bază. Ferofluidurile răspund parctic instantaneu la aplicarea unui câmp magnetic exterior

modificându-și vâscozitatea.

În figura 7.113 este prezentată soluția constructivă a unui actuator magnetoreologic destinat eliminării influențelor negative ale vibrațiilor dintr-un sistem [7.16]. În construcția actuatorului este montat, pe structura pistonului, un circuit magnetic. La baza cilindrului hidraulic este încorporat un acumulator cu nitrogen cu rolul de a preveni cavitația (metoda standard) la presiunile joase dezvoltate asupra pistonului în mișcare. Fluidul magnetoreologic curge printr-un orificiu circular practicat în piston și unde este activat circuitul magnetic. Caracteristicile avantajoase ale actuatorului sunt: posibilitatea de control electric printr-o metodă fără contact; nu există părți mecanice care să influențeze calitatea funcționării; nu există posibilitatea pierderii de lichid.

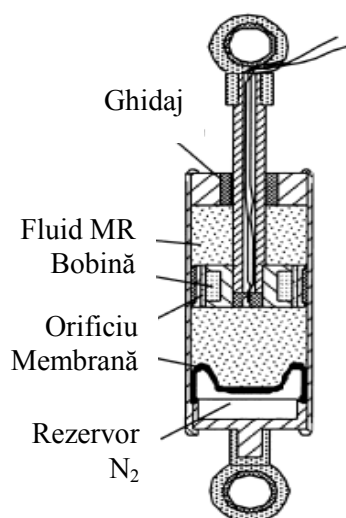


Fig. 7.113 Actuator magnetoreologic

Utilizarea unor actuatore reologice este analizată pentru acționarea unui robot paralel destinat operațiilor de montaj [7.18]. Aceste actuatore au la bază lichidele reologice care își modifică parametrii (vâscozitatea) în prezența unui câmp electric sau câmp magnet (lichide magnetoreologice) [7.71]. Principiul de funcționare în cazul actatoarelor electroreologice este prezentat în figura 7.114, vâscozitatea fluidului fiind dependentă de tensiunea U aplicată [7.37].

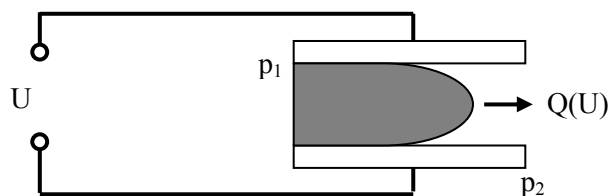


Fig. 7.114 Principiul de funcționare a actoarelor reologice

În acest mod se poate controla debitul de fluid din dispozitivul realizat. În figura 7.115 se prezintă principiul de realizare a unui microdispozitiv pe baza lichidului magnetoreologic [7.49].

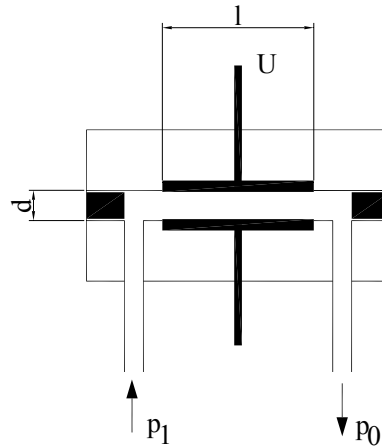


Fig. 7.115 Principiul de realizare a unui dispozitiv magnetoreologic

Vâscozitatea fluidului este dependentă de diferența de potențial U dintre cei doi electrozi, parametrii geometrici ai dispozitivului (d – distanța dintre electrozi; l – lungimea de suprapunere a electrozilor; b – lățimea canalului) și diferența de presiune:

$$\eta(U) = \frac{1}{12} \cdot \frac{d^3 \cdot b}{l} \cdot \frac{p_1 - p_2}{Q(U)} \quad (7.5)$$

Modul de constituire a unui microactuatoare pe baza a două dispozitive din categoria celor prezentate anterior este ilustrat în figura 7.116 [7.49]. Microactuatoarele realizate sunt cu un singur port de control (cu presiunea p_c).

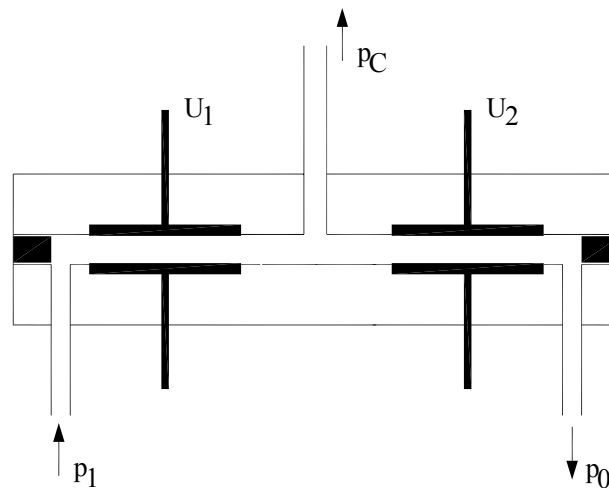


Fig. 7.116 Microactuatoare magnetoreologice

➤ *Actuatoare pe bază de memorie magnetică a formei.*

Actuatoarele realizate pe bază de elemente active din aliaje cu memorie au tot mai mult o largă aplicabilitate. Modul de realizare a unui astfel de actuatoare liniar cu

posibilități de integrare diversă este prezentat în figura 7.117 pentru cursa maximă de acționare [7.94]. Starea de extensie minimă este prezentată în figura 7.118.

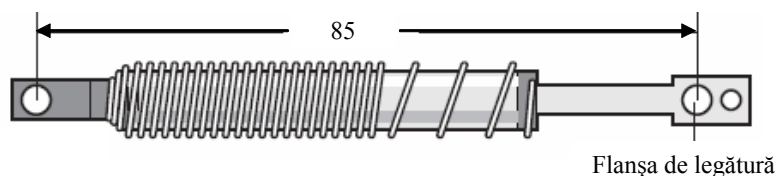


Fig. 7.117 Actuator liniar la extensie maximă

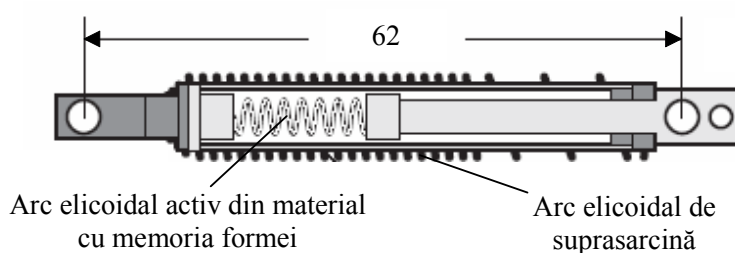


Fig. 7.118 Actuatorul liniar la extensie minimă

- *Actuatoare piezoelectrice.* Un sistem de acționare având la bază actuatoare piezoceramice bimorfe destinat unui CD player este prezentat în figura 7.119 [7.17].

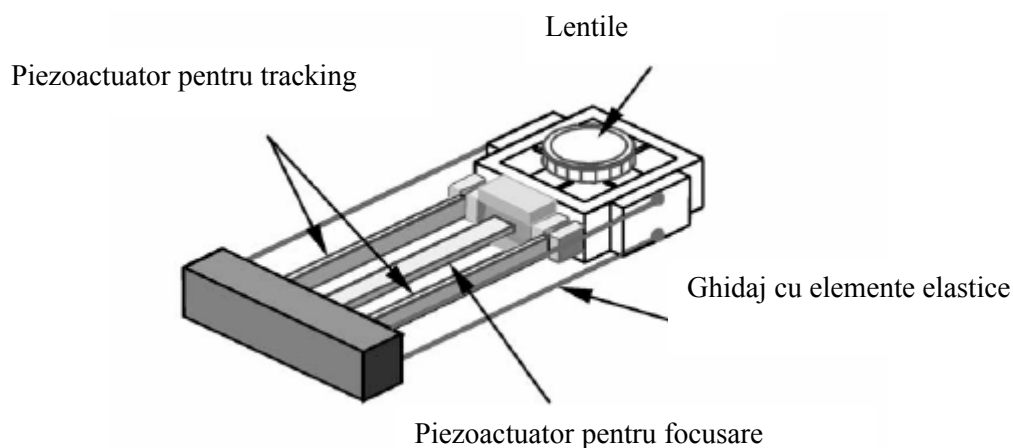


Fig. 7.119 Actuator piezoelectric într-o aplicație

O soluție originală a unui actuator este propusă în [7.4] și realizată practic la IPA Stuttgart (fig.7.120). Soluția se bazează pe o reuniune principială a unui reductor armonic și a unui motor liniar piezoelectric (simbolizat printr-un cilindru liniar). Piezomotoarele (3) (echivalentul generatorului de undă clasic din reductorul armonic) deformează roata dințată flexibilă (2) aflată în angrenare cu roata dințată rigidă (1). Deformarea roții flexibile se realizează prin comanda corespunzătoare a unui număr de

piezomotoare. Numărul de axe de acțiune (4) depinde de dimensiunea de gabarit și cerințele unei funcționări sigure.

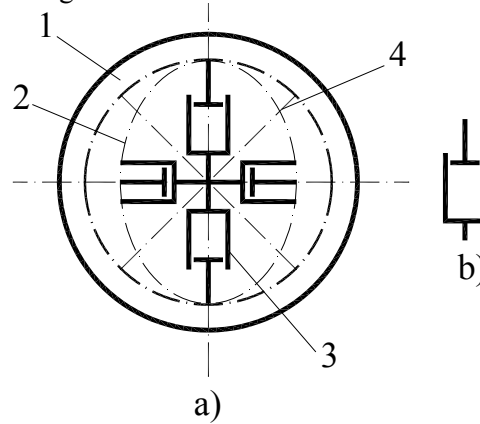


Fig. 7.120 Reuniune motor liniar piezoelectric – reductor armonic

Utilizarea unor actuatore piezoelectrice în construcția roboților industriali este prezentată în figura 7.121 [7.72].

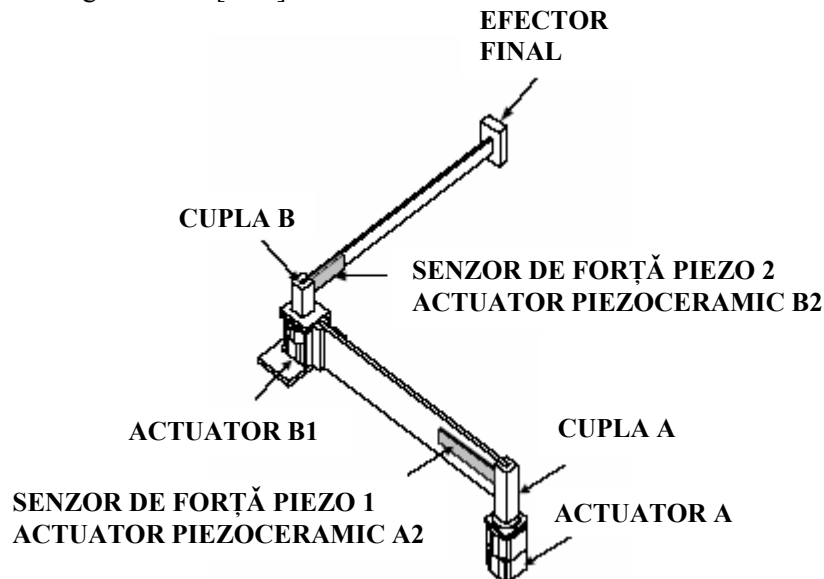


Fig. 7.121 Actuatore piezoelectrice în construcția unui robot industrial

Poziționarea efectorului final al unui robot industrial a fost analizată după integrarea suplimentară a două actuatore piezoceramice în structura mecanică a robotului. Robotul are o structură din clasa SCARA (pentru eliminarea efectelor gravitaționale) cu două cuple cinematice A și B. Fiecare cuplă motoare are actuatorul aferent (A1 și respectiv B1), realizat pe principiile clasice (m.c.c.). În mod suplimentar pe elementele 1 și 2 s-au inserat actuatorele A2 și respectiv B2. Aceste actuatore au rolul de suprima vibrațiile elementelor 1 și 2 (fig.7.121).

Aplicațiile prezentate pentru doar o parte din tipurile de actuator existente în literatura de specialitate sunt sugestive pentru principiul de integrare hardware în etapa de proiectare.

7.5.3.2. Integrarea hardware într-un sistem de acționare electrică. Exemplu

Exemplul abordat are în vedere proiectarea unui sistem de acționare electrică destinat unui proces nenominalizat. Se are în vedere prezentarea unor corelații între componentele sistemului în conformitate cu o structură a sistemului relativ clasică (fig.7.122)[7.95].

Dintre posibilitățile avute la dispoziție [servomotor de c.c. cu comutație electronică (brushless dc motor), un motor pas cu pas (m.p.p.), un servomotor de c.c., un servomotor de c.a.] se prezintă în continuare doar varianta cu m.p.p.

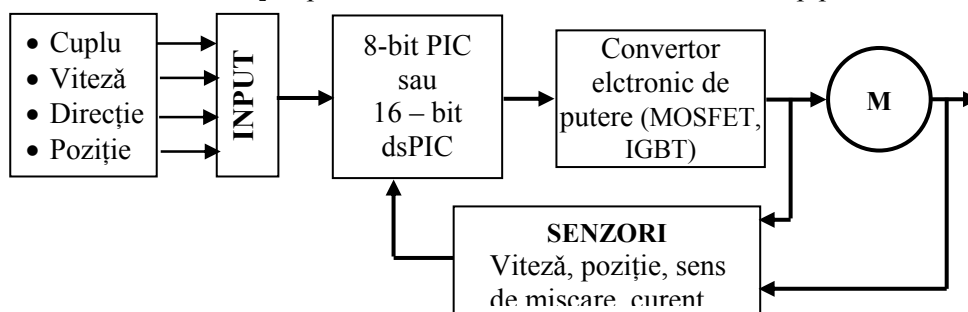


Fig. 7.122 Schema sistemului de acționare electrică

Schema logică de corelare a diverselor componente pentru varianta cu utilizarea motorului pas cu pas este prezentată în figura 7.123 [7.95].

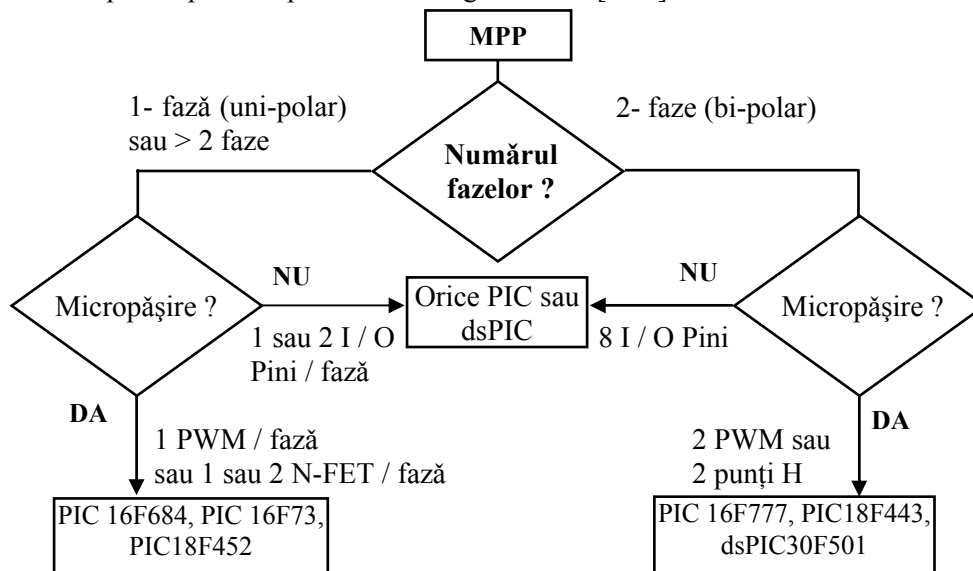


Fig. 7.123 Schema logică de alegere a componentelor sistemului

7.5.4. Concluzii

Integrarea hardware este strâns legată de integrarea software. Acest lucru trebuie avut în vedere în integrarea mecatronică. În susținerea acestei afirmații în figura 7.124 este prezentat principiul de integrare hardware a componentei sistemului de calcul (microcontroler) [7.22].

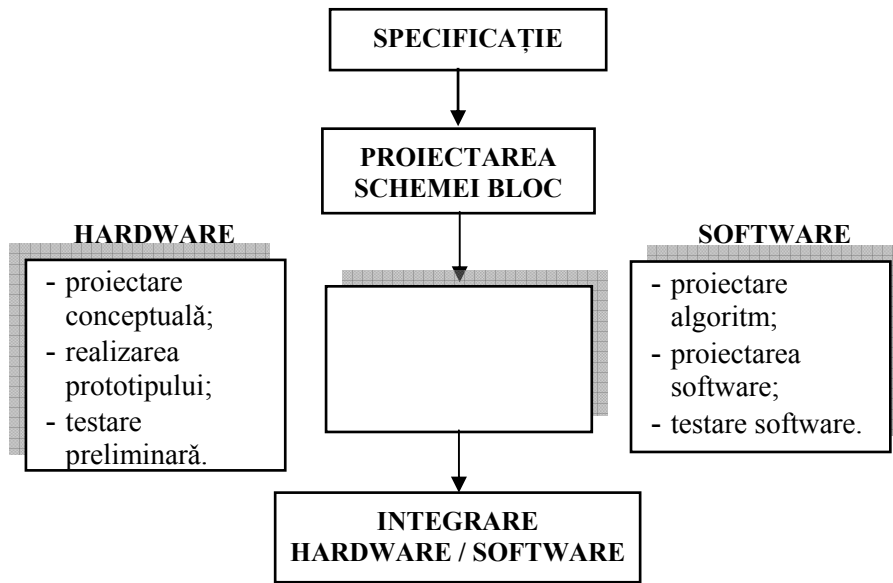


Fig. 7.124 Integrare hardware / software

7.6. Integrarea software

7.6.1. Aspecte generale

Integrarea software semnifică o integrare pentru procesarea informației și semnifică în esență evoluția sistemului de control cu toate implicațiile sale. În cadrul unei evoluții specifice domeniului, noțiunea clasică de control (*process control*) se extinde căpătând noi valențe prin înglobarea de domenii noi: controlul automat al calității, prelucrarea datelor cu scop decizional în sistemele ierarhizate pentru conducere strategică, asigurarea neîntreruptă a mentabilității sistemului. Asigurarea securității și a viabilității unui sistem (*system safety and availability*) este esența acestei evoluții.

În ideea celor specificate anterior, integrarea software are în vedere rezolvarea unor probleme de genul:

- Dezvoltarea de modele analitice pentru estimarea unor variabile nemăsurabile din cadrul unui proces;
- Compensarea neliniarităților din sistem prin algoritmi specifici;
- Amortizarea unor oscilații prin algoritmi originali de reacție;
- Algoritmi originali pentru funcționarea sistemului la pornire, oprire, supraîncălzire etc.;

- Diagnoză și detectarea defectelor;
- Redundanță analitică și structuri robuste cu toleranță la defecte.

Se poate menționa că aspectele înglobate prin *integrare software* sunt multiple și complexe necesitând o abordare mult mai largă decât posibilitățile oferite de spațiul alocat în această lucrare. În același timp aceste aspecte sunt astfel structurate încât urmăresc creșterea fiabilității sistemelor.

7.6.2. Estimarea unor valori nemăsurabile. Filtru Kalman

7.6.2.1. Considerații teoretice

În modul de descriere a unui sistem se specifică că acesta are la bază elemente între care există o serie de relații de dependență și interacțiune. Aceste aspecte sunt descrise printr-un set de ecuații bazate pe variabilele interne ale sistemului. Aceste variabile sunt denumite drept variabile de stare ale sistemului. Expresia este sinonimă cu cea de starea sistemului. Alegerea variabilelor de stare nu este unică.

Într-o serie de aplicații ingineresti există situații în care variabile importante nu pot fi măsurate on-line. Pentru analiza performanțelor sistemului în cauză aceste variabile sunt însă importante. S-a impus de-a lungul timpului necesitatea unei variante alternativă la sistemul de măsurare clasic prin utilizarea traductorului / senzorului. O astfel de alternativă este denumită recent ca și *soft - senzor* [7.82]. Un *observator de informație* – care interpretează rolul soft-senzorului – poate face o predicție a variabilelor urmărite utilizând modele matematice și pornind de la valori măsurate. Calculul on-line a variabilelor nemăsurabile devine performant prin integrarea sistemului de ecuații a observatorului de informație.

Pot fi enumerate, sub forma de black – box, dintre variantele posibile de interpretare a observatorului de informație: filtru Kalman, rețelele neuronale, regresia multi-liniară etc.

Filtrul Kalman este cel mai bun estimator pentru o clasă largă de probleme. Acesta poate fi descris ca o metodă (implementare, program de calculator) de combinare a datelor de măsurare, care sunt contaminate cu zgomot în așa fel încât să se obțină un estimat “optimal” al unei variabile oarecare dorite [7.32], [7.80].

Perturbațiile (zgomotele) se pot considera, ca în cadrul analizelor și a etapelor de proiectare, ca fiind semnale ce acționează în sensul reducerii conținutului informațional al semnalelor utile.

Rolul filtrului și a operației de filtrare este de a extrage semnalul util din semnalul perturbat. Pentru înțelegerea aspectelor de filtrare și de conexiune cu semnificația de estimare, prezentăm în continuare aspecte privind filtrarea în cadrul proceselor de măsurare.

Considerăm un sistem a cărui stare unidimensională poate fi măsurată succesiv obținându-se valorile x_1, x_2, \dots, x_n . Acestea permit calculul valorii medii (pe principiile cunoscute):

$$\mu_n = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.6)$$

Dacă o nouă valoare x_{n+1} este măsurată se pune evident întrebarea: care este

noua valoare medie ?

Răspunsul poate fi dat în două moduri:

- se poate recalcula valoarea medie pe principiul calcului anterior al valorii medii μ_n ;
- mai eficient este de a utiliza valoarea valoare anterioară μ_n și a realiza o corecție utilizând noua valoare x_{n+1} . Se poate scrie în mod simplu:

$$\begin{aligned}\mu_{n+1} &= \frac{1}{n+1} \sum_1^{n+1} x_i = \frac{n}{n+1} \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i + \frac{1}{n} \cdot x_{n+1} \right) = \\ &= \frac{n}{n+1} \cdot \mu + \frac{1}{n+1} \cdot x_{n+1} = \mu + K \cdot (x_{n+1} - \mu)\end{aligned}\quad (7.7)$$

unde $K = \frac{1}{n+1}$ poartă denumirea de coeficient de amplificare. Noua valoare μ_{n+1} este media ponderată a valorii anterioare μ_n și noii valori x_{n+1} .

Pentru cele "n" puncte date în prima fază se poate calcula deviația standard σ_n :

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (x_i - \mu)^2 \quad (7.8)$$

Procesul anterior este un proces iterativ care se poate sintetiza prin:

- pentru cele "n" puncte anterioare se calculează valoarea medie μ_n (rel. 7.6) și deviația standard σ_n (rel. 7.8);
- se calculează factorul de amplificare $K = \frac{1}{n+1}$ în momentul determinării unei noi valori x_{n+1} ;
- se calculează o nouă estimare a mediei μ_{n+1} (rel. 7.7);
- se calculează o nouă estimare pentru deviația standard:

$$\sigma_n'^2 = \sigma_n^2 + K \cdot (x_{n+1} - \mu)^2 \quad (7.9)$$

- se corectează valoarea anterioară:

$$\sigma_n^2 = (1 - K) \cdot \sigma_n'^2 \quad (7.10)$$

Dacă se consideră o cantitate (x) ca rezultat a două măsurări diferite (doi senzori diferiți), dar în același moment (asupra aceluiași măsurand) se vor obține valorile x_1 și x_2 . Acestea sunt caracterizate de probabilitatea de distribuție Gauss de forma:

$$p(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} \cdot e^{-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}\right)^2} \quad (i=1,2) \quad (7.11)$$

unde \bar{x}_i ($i=1, 2$) sunt valorile medii iar σ_i ($i=1, 2$) deviațiile standard.

Cele două măsurători sunt combinate pentru estimarea valorii medii:

$$\hat{x} = k \cdot x_1 + (1-k)x_2 \quad (7.12)$$

unde k este coeficientul de încredere pentru prima metoda de măsurare.

Având în vedere distribuția Gauss admisă pentru valorile măsurate, atunci valoarea estimată va fi afectată tot de o distribuție Gauss cu o deviație standard:

$$\hat{\sigma}^2 = k^2 \cdot \sigma_1^2 + (1-k)^2 \cdot \sigma_2^2 \quad (7.13)$$

Relația anterioară permite obținerea valorii optime pentru coeficientul de încredere care minimizează incertitudinea:

$$k_{opt} = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (7.14)$$

Valoarea estimată va fi în acest caz:

$$\hat{x} = k_{opt} \cdot x_1 + (1-k_{opt})x_2 = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \cdot x_1 + \left(1 - \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}\right)x_2 \quad (7.15)$$

cu deviația standard:

$$\hat{\sigma}^2 = k_{opt}^2 \cdot \sigma_1^2 + (1-k_{opt})^2 \cdot \sigma_2^2 = \frac{\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (7.16)$$

Ecuția anterioară pentru valoarea estimată se poate scrie sub o formă prelucrată:

$$\hat{x} = x_2 + \left[\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right] \cdot (x_1 - x_2) = x_2 + k \cdot (x_1 - x_2) \quad (7.17)$$

unde $k = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$.

Dacă cele două măsurări se realizează secvențial, se impun următoarele precizări. La momentul de timp t_1 se consideră obținută doar valoarea x_1 care va și valoarea estimată (indicele se referă la coincidența timp):

$$\hat{x}_1 = x_1 \quad (7.18)$$

iar $\hat{\sigma}_1^2 = \sigma_1^2$.

La momentul t_2 se obține valoarea x_2 , astfel că valoarea estimată pentru acest moment, va fi:

$$\hat{x}_2 = \hat{x}_1 + \left[\frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_1^2 + \sigma_2^2} \right] \cdot (x_2 - \hat{x}_1) \quad (7.19)$$

și deviația standard:

$$\hat{\sigma}_2^2 = \left(1 - \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_1^2 + \sigma_2^2}\right) \cdot \hat{\sigma}_1^2 \quad (7.20)$$

Coefficientul

$$K = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_1^2 + \sigma_2^2} \quad (7.21)$$

poartă denumirea de *coeficient de actualizare*.

Ecuatiile anterioare permit definirea valorilor estimate în noul caz secvențial:

$$\hat{x}_2 = \hat{x}_1 + K \cdot (x_2 - \hat{x}_1) \quad (7.22)$$

$$\hat{\sigma}_2^2 = (1 - K) \cdot \hat{\sigma}_1^2 \quad (7.23)$$

care descriu forma generală a unui filtru Kalman clasic.

Modelul matematic prezentat anterior se poate generaliza pentru un filtru Kalman multidimensional.

Reamintim că matricea de covarianță Σ pentru "m" date n-dimensionale (x_1, x_2, \dots, x_m) este:

$$\Sigma = \frac{1}{n} \cdot (x_1 x_1^T + x_2 x_2^T + \dots + x_m x_m^T) \quad (7.24)$$

În cazul unor date n-dimensionale x_1 și x_2 necorelate matricile de covarianță sunt diagonale ($i = 1, 2$):

$$\Sigma_i = \begin{bmatrix} \sigma_{i1}^2 & 0 & \dots & 0 \\ & \sigma_{i2}^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{in}^2 \end{bmatrix} \quad (7.25)$$

În acest caz factorul de amplificare se definește ca fiind:

$$K = \frac{\Sigma_1}{\Sigma_1 + \Sigma_2} \quad (7.26)$$

Astfel se poate determina valoarea estimată pe baza unei relații asemănătoare cu (7.24). Variația estimată pentru noua valoare se poate prezenta sub forma:

$$\hat{\Sigma} = (I - K) \cdot \Sigma_1 \quad (7.27)$$

unde $I_{n \times n}$ este matricea unitate.

Să încercăm să revenim acum la sistemul nostru dinamic caracterizat de stările x_1, x_2, \dots . Valoarea anticipată x_{k+1} pentru momentul "k+1" se poate determina pe baza valorii estimate x_k din momentul de timp "k":

$$\hat{x}_{k+1}^- = A \cdot \hat{x}_k + w \quad (7.28)$$

unde A este matricea de propagare.

Valoarea prognozată este afectată de un zgomot alb, Gaussian de medie zero. Dacă matricea de covarianță a sistemului pentru momentul k este " P_k ", matricea de covarianță a sistemului estimat pentru momentul " $k+1$ " este determinabilă pe baza unei relații de forma:

$$P_{k+1}^- = A \cdot P_k \cdot A^T + Q \quad (7.29)$$

unde $Q(t)$ este matricea de covarianță pentru zgomot de proces " w ".

Semnalul de ieșire este însoțit de asemenea de zgomot (zgomotul de măsurare). Forma liniară a ecuației de măsurare are forma:

$$z_k = H \cdot x_k + R \quad (7.30)$$

unde " H " este matricea de măsurare iar " R " este matricea de covarianță a zgomotului de măsurare.

Factorul de amplificare calculabil pentru secvența " $k+1$ " este:

$$K_{k+1} = \frac{P_{k+1}^- \cdot H^T}{H \cdot P_{k+1}^- \cdot H^T + R} \quad (7.31)$$

iar covarianța recalculată:

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} \cdot H) \cdot P_{k+1}^- \quad (7.32)$$

Parametrul de stare recalculat este în aceste condiții:

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} \cdot [z_{k+1} - H \cdot \hat{x}_{k+1}^-] \quad (7.33)$$

Un sistem general neliniar poate fi descris discret printr-un sistem de două ecuații de forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \mathbf{f}[\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}, \boldsymbol{\gamma}_{k-1}] \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{h}[\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_{k-1}] \end{aligned} \quad (7.34)$$

unde: \mathbf{x}_k – este vectorul de stare al sistemului iar \mathbf{z}_k – este vectorul de măsurare la momentul k ; $\mathbf{f}(\cdot)$ și $\mathbf{h}(\cdot)$ sunt funcțiile sistemului neliniar și respectiv funcția de măsurare; \mathbf{u}_k – este vectorul de intrare (de comandă); \mathbf{w}_{k-1} , $\boldsymbol{\gamma}_{k-1}$ și \mathbf{v}_{k-1} – sunt zgomotele sistemului, de intrare și respective de măsurare [7.47].

Eliminând reprezentarea explicită a zgomotelor și utilizând o reprezentare a lor prin probabilitatea de distribuție se obțin estimările de stare și măsurare:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_k &= \mathbf{f}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_k, \mathbf{0}, \mathbf{0}) \\ \hat{\mathbf{z}}_k &= \mathbf{h}(\mathbf{x}_k, \mathbf{0}) \end{aligned} \quad (7.35)$$

Se presupune că zgomotele din sistem, de intrare și măsurare sunt Gaussiene cu medie zero și reprezentate prin matricile de covarianță \mathbf{Q} , $\boldsymbol{\Gamma}$ și \mathbf{R} .

Forma extinsă a filtrului Kalman estimează starea viitoare a sistemului $\hat{\mathbf{x}}_k^-$ pe baza modelului disponibil al acestuia $\mathbf{f}(\cdot)$ și matricii de covarianță a erorilor de stare

\mathbf{P}_k^- prin ecuațiile actualizare în timp:

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \mathbf{f}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_k, \mathbf{0}, \mathbf{0}) \quad (7.36)$$

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{A}_k \cdot \mathbf{P}_{k-1} \cdot \mathbf{A}_k^T + \mathbf{B}_k \cdot \Gamma_{k-1} \cdot \mathbf{B}_k^T + \mathbf{Q}_{k-1} \quad (7.37)$$

Factorul de amplificarea Kalman exprimabil prin matricea \mathbf{K} are forma (7.31) iar matricea de covarianță actualizată \mathbf{P}_k și parametrul de stare recalculat se exprimă prin relațiile (7.32), (7.33).

Matricea sistemului \mathbf{A} , matricea de intrare \mathbf{B} și matricea de măsurare \mathbf{H} se determină pe baza sistemului (7.35):

$$A_{(i,j)} = \frac{\partial f_{(i)}}{\partial x_{(j)}} \quad (7.38)$$

$$B_{(i,j)} = \frac{\partial f_{(i)}}{\partial u_{(j)}} \quad (7.39)$$

$$H_{(i,j)} = \frac{\partial h_{(i)}}{\partial x_{(j)}} \quad (7.40)$$

7.6.2.2. Exemplu de estimare a deplasării unui robot mobil

Metodologia următoare prezintă aspectele teoretice referitoare la estimarea deplasărilor unui vehicul autonom pe baza unui sistem multisenzorial [7.47].

Ideea fundamentală de estimare se bazează pe măsurarea rotației la arborele fiecărei roți motoare RM1, RM2 (fig.7.125b)

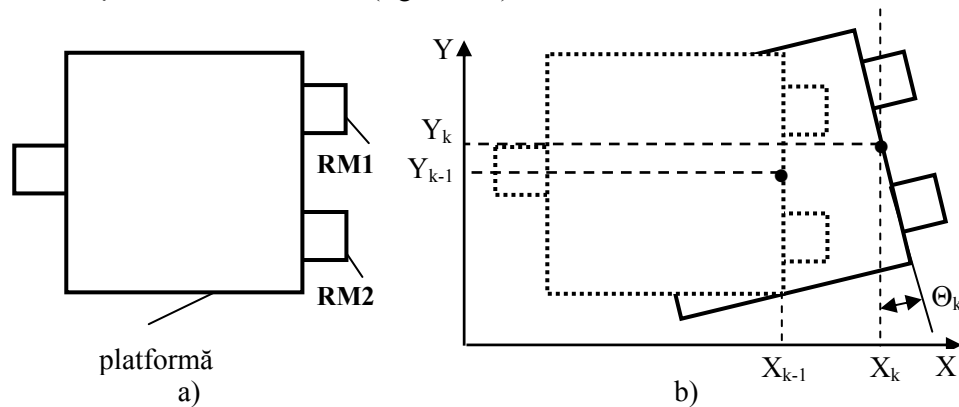


Fig. 7.125 Vehicul autonom cu 2 roți motoare

Pentru obținerea rotațiilor la cele două roți sunt utilizate două traductoare de rotație pe bază de impulsuri.

Modelul matematic descris prin ecuațiile următoare, realizează o conversie a rotației în deplasare liniară relativ la teren, podea. Informațiile de la cele două

traductoare se pot utiliza pentru a integra mișcarea incrementală.

Presupunând existența unui număr diferit de impulsuri de la cele două traductoare N_{TR1} și respectiv N_{TR2} se poate analiza mișcarea în spațiul XOY pe baza unui model matematic adecvat.

Factorul de conversie “informație traductor – deplasare liniară” este dat de relația:

$$K_{TR} = \frac{\pi \cdot D_n}{i \cdot R_{TR}} \quad (7.41)$$

unde: D_n – este diametrul nominal al roții, i – este raportul de transmitere a redutorului intercalat între arborele motorului și axa roții; R_{TR} – este rezoluția traductorului incremental.

Deplasările liniare ale celor două roți vor fi în acest caz:

$$ds_{r,l} = K_{TR} \cdot N_{TR1, NTR2} \quad (7.42)$$

În concordanță cu cele specificate anterior și figura 7.125 modelul matematic al situației vehiculului este următorul:

$$d\theta_{(k)} = \frac{ds_{r(k)} - ds_{l(k)}}{L} \quad (7.43)$$

$$ds_{(k)} = \frac{ds_{r(k)} + ds_{l(k)}}{2} \quad (7.44)$$

$$x_{(k)} = x_{(k-1)} + ds_{(k)} \cdot \cos\left(\frac{\theta_{e(k)} + \theta_{e(k-1)}}{2}\right) \quad (7.45)$$

$$y_{(k)} = y_{(k-1)} + ds_{(k)} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{e(k)} + \theta_{e(k-1)}}{2}\right) \quad (7.46)$$

$$\theta_{e(k)} = \theta_{e(k-1)} + d\theta_{e(k)} \quad (7.47)$$

unde: $x(k)$, $y(k)$ sunt coordonatele vehiculului în momentul “k”; L - este distanța dintre cele două roți motoare; $d\theta_e(k)$, $ds(k)$ sunt variațiile unghiulare și a poziției vehiculului între două momente successive “k-1” și “k”.

Din modelul prezentat se observă că estimarea poziției vehiculului în raport cu sistemul de referință se bazează pe informația traductorului incremental iar conversia în deplasare liniară este dependentă de diametrul roții. În mod inevitabil o astfel de abordare va conduce la o acumulare de erori de situare a robotului. Se impune obținerea unei informații suplimentare referitoare la orientarea robotului printr-o metodă oarecare (de ex.: sensor electronic de orientare – electronic compass).

Pornind de la considerentele teoretice prezentate anterior (§7.6.2) (filtru Kalman clasic) unghiul de “compass” al vehiculului este:

$$\theta = \theta_e + \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2 + \sigma_e^2} \cdot (\theta_c - \theta_e) \quad (7.48)$$

unde:

- θ este valoarea estimată după filtrarea Kalman;

- θ_e este valoarea estimată pe baza traductoarelor incrementale;
- θ_e este valoarea estimată pe baza echipamentului de ghidare electronic;
- σ_e^2 este varianța estimării pe baza traductoarelor incrementale;
- σ_e^2 este varianța estimării pe baza echipamentului electronic.

Această valoare se va utiliza în (7.42) reducându-se astfel influența erorilor din sistem. Încercările experimentale au în vedere și utilizarea unei a doua metode pentru determinarea orientării obiectului și a poziției acestuia. Această metodă utilizează un modul GPS cu sistem de orientare a antenei [7.47], [7.67].

O altă abordare a estimării stării sistemului analizat – robotul mobil – în spațiu se poate baza pe o formă extinsă a filtrului Kalman (7.36 – 7.40).

Modelul matematic anterior al cinematicii robotului mobil (7.43 – 7.47) se poate transforma în mod simplu obținându-se ecuațiile:

$$\begin{aligned} f_x &= x_{k+1} = x_k + \Delta s_k \cdot \cos\left(\theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2}\right) \\ f_y &= y_{k+1} = y_k + \Delta s_k \cdot \sin\left(\theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2}\right) \end{aligned} \quad (7.49)$$

$$f_\theta = \theta_{k+1} = \theta_k + \Delta\theta_k$$

Vectorul de stare al sistemului este de forma (vezi și 7.34):

$$\mathbf{x} = [x_k \quad y_k \quad \theta_k]^T \quad (7.50)$$

Vectorul de intrare este descris de deplasările liniare ale celor două roți (7.41 – 7.44) și are forma:

$$\mathbf{u} = [\Delta d_{rk} \quad \Delta d_{sk}]^T \quad (7.51)$$

Pe baza relațiilor de definiție (7.38 – 7.40) și a funcției sistemului $\mathbf{f}(\cdot)$ (7.49) se obțin matricile \mathbf{A} , \mathbf{B} . De exemplu matricea \mathbf{A} va avea forma:

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta s_k \cdot \sin\left(\theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2}\right) \\ 0 & 1 & \Delta s_k \cdot \cos\left(\theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2}\right) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.52)$$

Zgomotele sistemului se consideră necorelate astfel că matricea de covarianță a zgomotului este diagonală:

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\theta^2 \end{bmatrix} \quad (7.53)$$

unde σ_x , σ_y , σ_θ sunt deviațiile standard pentru parametrii de situare a robotului. Considerente asemănătoare se pot stabili și pentru matricea de covarianță a zgomotului de măsurare \mathbf{R} .

Deviația standard a zgomotului de intrare (datorat informațiilor obținute de la traductoarele incrementale) se poate considera identică pentru cele două traductoare σ_γ . În acest caz relația (7.37) va deveni:

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{A}_k \cdot \mathbf{P}_{k-1} \cdot \mathbf{A}_k^T + \sigma_\gamma^2 \cdot \mathbf{B}_k \cdot \mathbf{B}_k^T + \mathbf{Q} \quad (7.54)$$

Matricea de măsurare \mathbf{H}_k se calculează pe baza funcției $\mathbf{h}(\cdot) = [x_k \ y_k \ \theta_k]$ și va fi în acest caz identică cu matricea unitate.

În acest moment este posibilă aplicarea filtrului Kalman pentru estimarea poziției robotului mobil fiind definiți toți termenii algoritmului.

7.6.3. Detectarea defectelor

7.6.3.1. Introducere

Siguranța în funcționare a sistemelor tehnologice în general și deci și a celor mecatronice în particular, este în atenția specialiștilor. Factorii de risc pot fi reduși prin metode specifice fiecărui domeniu: reducerea hazardului, detecția și localizarea defectelor, înlăturarea defectelor, conducerea sistemelor în condiții de defect. Realizarea și conducerea unor sisteme robuste și tolerante la defecte se consideră în literatura de specialitate ca fiind o țintă pentru mecatronică.

Abordarea problematicii enunțate depinde de structura sistemului analizat. Totuși, se pot menționa câteva idei de ordin general care stau la baza algoritmilor de detectare a defectelor. Stabilirea modelului matematic al sistemului cu funcționare corectă este esențială pentru atingerea scopului de integrare software specificat. Mulțimea defectelor și categoria acestora pentru sistemul analizat constituie o abilitate a proiectantului. Diagnosticarea sistemului are astfel două etape:

- detecția prezenței defectului;
- localizarea defectului.

Un sistem are o funcționare corectă dacă evoluția sa nu conține erori iar timpul de execuție a unei comenzi nu depășește o limită specificată.

Defectul este o imperfecțiune a unui element al sistemului ce generează o funcționare eronată. O clasificare a defectelor se poate realiza după mai multe criterii: după formă – sistematice sau aleatorii; după durată – permanente, tranzitorii, intermitente, zgomot, derivă (fig.7.126); după extensie – local sau global.

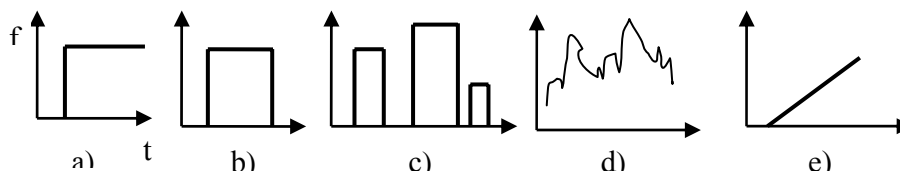


Fig. 7.126 Defecte: a) permanent; b) tranzitoriu; c) intermitent; d) zgomot; e) derivă

Într-o altă clasificare funcție de timp, defectul din figura 7.126a se poate încadra

în categoria defectelor bruște în timp ce defectul din figura 7.127e este considerat ca progresiv.

În sistemele mecatronice defectele incipiente prezintă un interes major. Aceste defecte sunt asociate cu uzura în timp și sunt “governate” prin modele neliniare. Defectele incipiente sunt dependente atât de timp cât și factori de mediu (variații ale temperaturii, umezeală, radiații etc.).

Modul de influențare a parametrilor de intrare și de ieșire din sistem permite o nouă clasificare a defectelor:

- *defecte adiționale* (D_A) care afectează atât intrarea cât și ieșirea sistemului (fig.7.127). De ex.: cazul senzorilor de temperatură (efectul coroziv asupra joncțiunii termocuplului constituie o eroare cu un efect aditiv), cazul senzorilor tensorezistivi (temperatura are ca efect o eroare aditivă la un montaj în sfer sau semipunte).

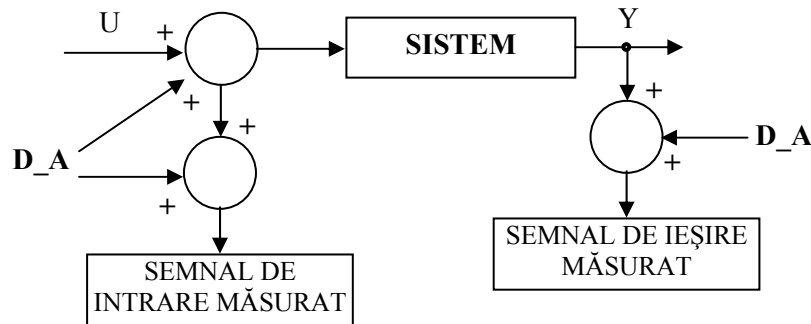


Fig. 7.127 Defecte (eroari) aditive

- *defecte multiplicative* (D_M) manifestabile prin coeficienți multiplicativi în modelul neliniar (7.128). De ex.: contaminarea lubrifiantului din sistemul de ungere a unui lagăr conduce la creșterea coeficientului de frecare și implicit la comportament cu efect multiplicativ și echivalat cu defect multiplicativ.

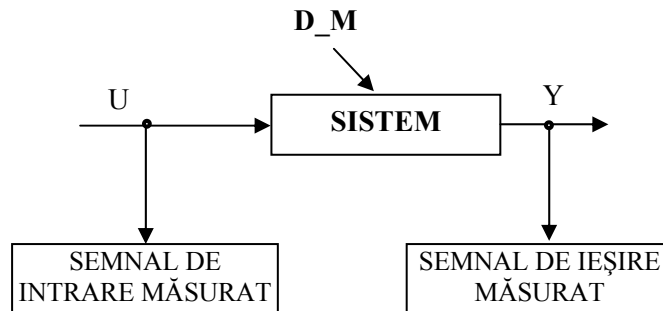


Fig. 7.128 Defect (eroare) multiplicativă

- *defecte structurale* care introduc termeni noi în modelul neliniar (fig.7.129). De ex.: pierderile masice dintr-un sistem hidraulic afectează structural modelul acestuia.

Defectele hardware-ului electronic are aspecte sistematice și se datorează specificației inițiale și fazei de proiectare. În timpul funcționării, defectele

componentelor electronice au o formă aleatorie cu diverse aspecte de durată.

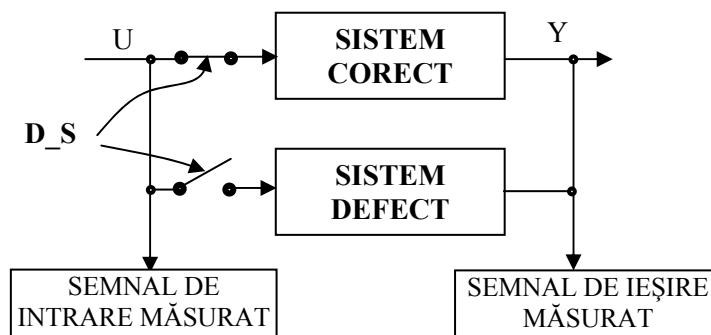


Fig. 7.129 Defecte (erori) structurale

Defectele software sunt în general sistematice și se datorează: specificațiilor, schemei logice, etc.

Defectele sistemelor mecanice au fost prezentate pe larg în cap.3. În aceeași categorie cu acestea se includ și defectele sistemelor electrice: supratensiuni, tensiuni minime, scurtcircuite, străpungeri de material, a unor componente etc.

7.6.3.2. Sisteme tolerante la defecte

Literatura de specialitate distinge două modalități de realizare a sistemelor tolerante la defecte:

- *Sisteme cu redundanță statică* (fig.7.127).

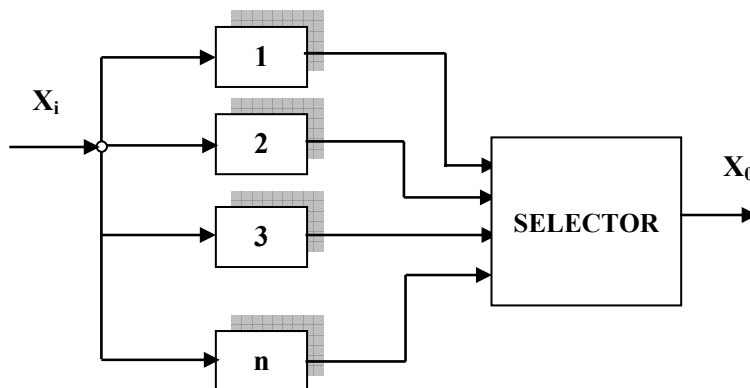


Fig. 7.130 Redundanță statică

Sistemele sunt prevăzute cu redundanță hardware și software de tip static. Esența metodei constă în existența unui număr de module $\{1, 2, \dots, n\}$ cu același semnal de intrare. Semnalele de ieșire sunt conectate la modulul "selector" care compară aceste semnale. Semnalul de ieșire de utilizat este selectat prin votul majoritar: o schemă logică simplă validează doar acel semnal care nu diferă față de celelalte cu mai mult de o valoare de prag, aleasă convenabil funcție de dinamica procesului și a preciziei măsurătorilor. Metoda este aplicabilă traductoarelor din sistemele automate. Acele

traductoare ale căror semnale rămân invalide un timp mai îndelungat sunt declarate defecte și în final izolate.

- *Sisteme cu redundanță dinamică.*

Sunt incluse în această categorie sistemele care au posibilitatea detectării și localizării defectelor și apoi reconfigurarea automată pentru înlocuirea componentei defecte.

Metoda se bazează pe un număr scăzut de module. O configurație minimală utilizează 2 module din care doar unul este utilizat în funcționarea sistemului (fig.7.131). Modulul “DETECȚIA DEFECTELOR” compară semnalele de ieșire ale modulelor {1, 2} și va stabili pe baza unui algoritm corespunzător care dintre acestea este într-o funcționare corectă. Pe baza modulului de reconfigurare va fi selectat, pentru structura în funcționare, modulul corespunzător.

O altă variantă a acestor sisteme (rezervare la “rece”) este ilustrată în figura 7.132. Metoda este asemănătoare cu cea anterioară cu deosebirea că include două module releu montate pe intrarea componentelor {1, 2}. Modul pentru detecția defectelor este esențial. Metoda necesită un interval de timp pentru transferul funcțional și astfel pentru lansarea procedurii START – STOP.

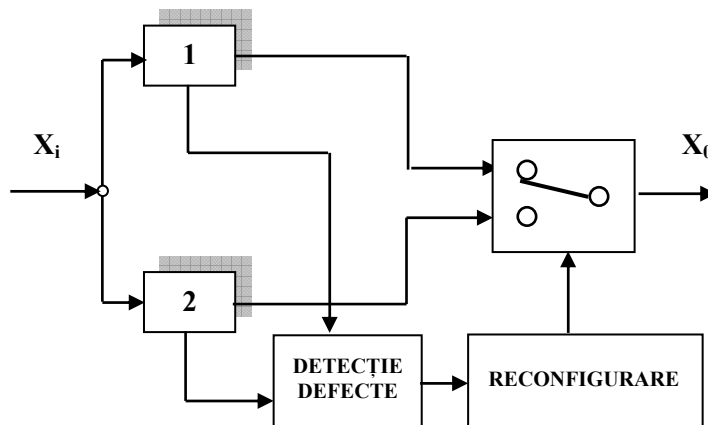


Fig. 7.131 Sistem cu redundanță dinamică

Pentru sistemele de calcul o configurație duplex cu redundanță dinamică este prezentată în figura 7.133 [7.68]. Semnalele de ieșire a două sincronizatoare de proces sunt comparate (software) după care se va selecta, prin intermediul a două releu, care dintre variante va fi conectat la ieșire.

Redundanța dinamică este aplicabilă sistemelor electro-mecanice. Modalitatea de calcul a fiabilității sistemelor mecanice a fost prezentată pe larg în cadrul capitolelor anterioare. Materializarea redundanței în componente se realizează prin fire, bobine, contacte multiple etc.

În cazul sistemelor software, literatura de specialitate identifică două domenii de defecte (fig.7.131):

- Defect de valoare – valoarea asociată unui serviciu este eronată;
- Defect de timp – serviciu este executat într-un timp incorect.

Combinăția defectelor anterioare crează categoria defectelor arbitrare.

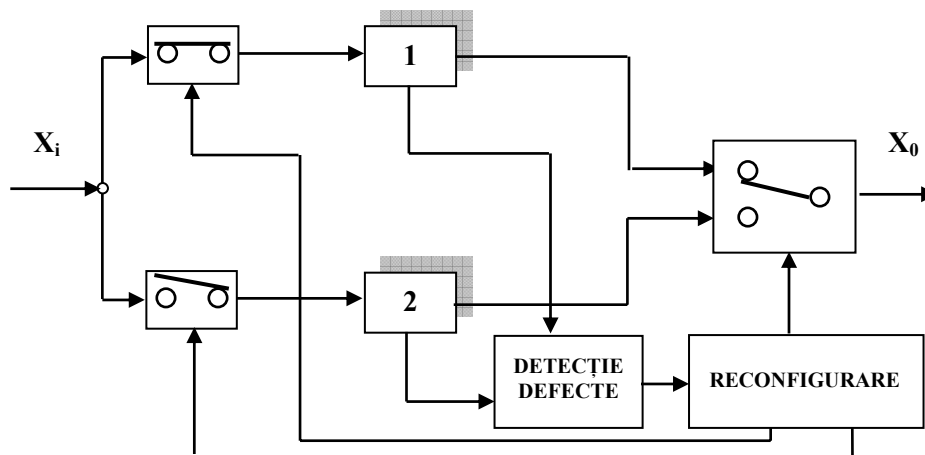


Fig. 7.132 Varianta de sistem cu redundanță dinamică

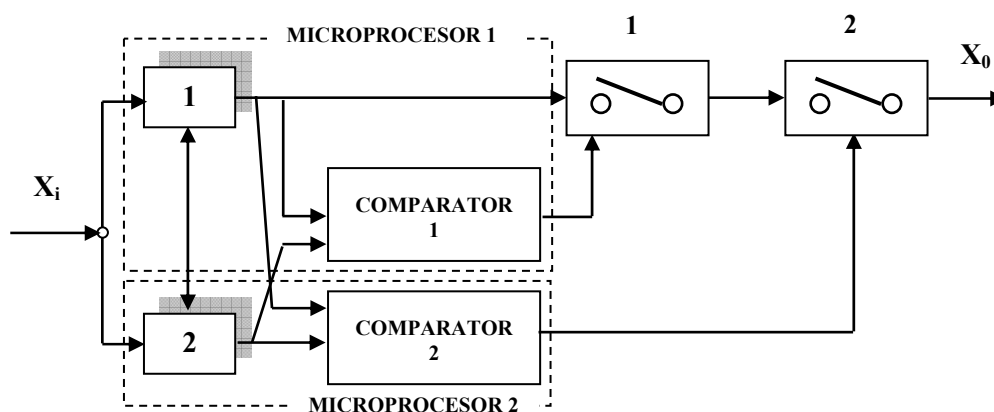


Fig. 7.133 Redundanța dinamică în sisteme de calcul

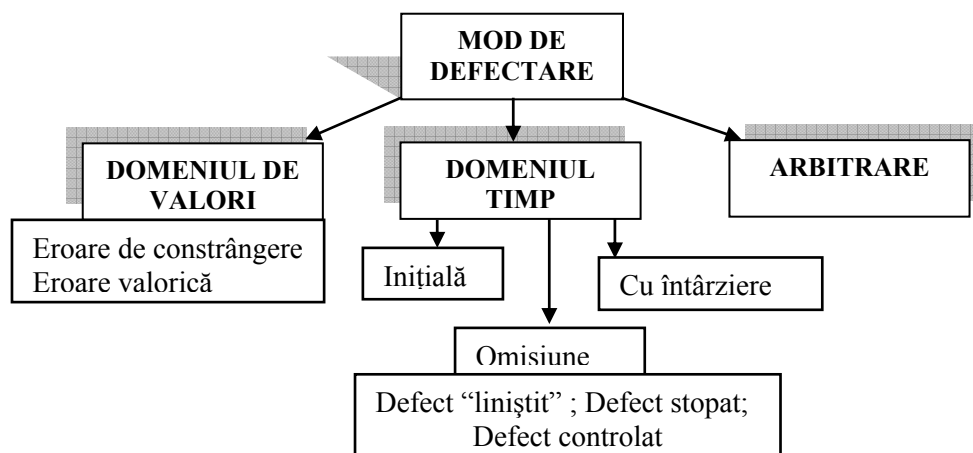


Fig. 7.134 Defecte software

Redundanța statică este utilizabilă și în cazul sistemelor software prin așa numita programare n-versiuni.

Redundanța dinamică pentru sistemele software apelează la schema din figura 7.135. Etapele de aplicare a redundanței dinamice pentru acest caz sunt: *detectarea defectelor* (identificare prin mediu, identificare prin aplicație), *diagnoza defectelor*, *restaurarea sistemului*, *tratarea erorii și continuarea service-ului*.

Literatura de specialitate se referă în general la trei strategii de implementarea toleranței la defecte:

- *Strategii bazate pe mascarea defectelor* – este cazul sistemelor proiectate și realizate cu coeficienți de siguranță mari;
- *Strategii bazate pe detecția și localizarea defectelor (failure detection and identification)* – aplicabilă sistemelor mecatronice
- *Strategii hibride*.

Din cele expuse, pentru sistemele mecatronice strategia de integrare software este esențială în detecția prezenței defectelor, localizarea acestora și reconfigurarea sistemului. Proiectarea sistemelor cu toleranță la defecte este structurată pe mai multe etape prezentate sugestiv în figura 7.135.

↔	Definirea obiectivului și a scopului	- obiectivele sistemului - structura sistemului - aspectele (scopul) fiabilității - nivelul de siguranță dorit
↔	Identificarea hazardului (vezi cap.3)	- modelul defectului (FMEA) - propagarea defectului (FPA) - nivelul de rigurozitate - analiza cauzelor - analiza evenimentelor
↔	Măsurile de reducere a riscului	- analiza structurală
↔	Calculul costurilor	- calculul costului
↔	Proiectarea de detaliu	- strategia diagnozei defectelor - strategia de tratare a defectelor - proiectarea logică

Fig. 7.135 Proiectarea sistemelor tolerante la defecte

În literatură există o varietate largă de procedee pentru detectarea defectelor și care pot fi grupate în trei categorii de bază: detectare bazată pe clasificarea defectelor, detectare bazată pe semnal și detectare bazată pe model. Unele aspecte referitoare la detecția pe bază de semnal au fost menționate și cadrul analizei privind rolul, construcția și utilizarea senzorilor inteligenți în sistemele mecatronice (§ 7.5.1 – Semnificația integrării de componente). O abordare mai largă a metodologiilor de determinare a defectelor este prezentată în [7.40], [7.42], [7.99].

7.6.3.3. Metode de detecție și diagnoză

Scopul detectării automate a unui defect și a izolării acestuia este structurat principal în figura 7.136.

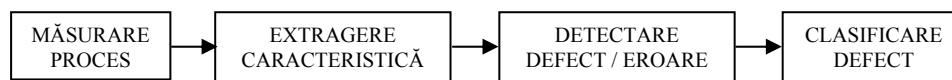


Fig. 7.136 Sarcina detecției și izolării defectelor

Soluționarea problemei este în mod clar o activitate complexă (și care depășește posibilitatea spațiului alocat în prezenta lucrare) cu implicații multidisciplinare.

În practică, volumul datelor măsurabile poate fi într-o serie de cazuri de valoare ridicată. Limitarea numărului de variabile relevante trebuie să se realizeze pe baza caracteristicii extrase. Extragerea caracteristicii este un proces cantitativ în timp ce diagnoza este un proces calitativ.

Proporția mare de integrare software este specifică redundanței analitice care se bazează pe noțiunea de model.

Construcția modelului este realizabilă în general prin două metodologii:

- Pe baza măsurărilor experimentale efectuate când trebuie parcurse etapele: achiziția datelor, selectarea structurii modelului, estimarea modelului, validarea modelului;
- Pe baza legilor fizicii (modelul matematic) și identificarea parametrilor.

Aspecte principale privind detecția și localizarea defectelor utilizând identificarea parametrilor au fost prezentate în § 7.5.1 (fig.7.94, fig.7.95). Metodologia avea la bază datele experimentale și permitea evitarea valorilor false.

Modelul matematic al sistemului dinamic analizat devine reprezentabil printr-un sistem de ecuații diferențiale sau reprezentări echivalente. Utilizând pentru construcția modelului reprezentarea prin spațiul stărilor, se pune în evidență legătură dintre vectorul de stare $x \in R^n$, intrările sistemului $u \in R^m$ și ieșirile măsurabile $y \in R^p$:

$$S_{nom} : \begin{cases} x_{k+1} = A \cdot x_k + B \cdot u_k \\ y_k = C \cdot x_k + D \cdot u_k \end{cases} \quad (7.55)$$

Modelul construit stă la baza simulării funcționării. Pe baza măsurărilor obținute se poate estima starea sistemului. Ordonarea relativă a fluxului informațional pentru cele două etape este prezentată în figura 7.137.

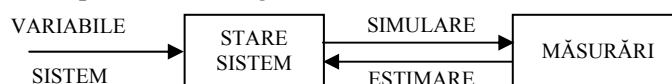


Fig. 7.137 Simulare și estimare

Modelul astfel obținut poate fi utilizat pentru a calcula ieșirile sistemului lipsit de erori / defecte. Apariția unui defect / eroare conduce la modificări de o anumită amploare a variabilelor sistemului cu consecințe asupra performanțelor acestuia. În figura 7.138 se prezintă sugestiv modificarea performanței ca urmare a modificării unei

variabile și corespondența întârzierilor în localizarea defectelor. Defectul real este prezent la momentul T_0 , este detectat la momentul T_1 și diagnosticat la momentul T_2 (V_Lmin și V_Lmax sunt limitele admise pentru valoarea corectă a informației).

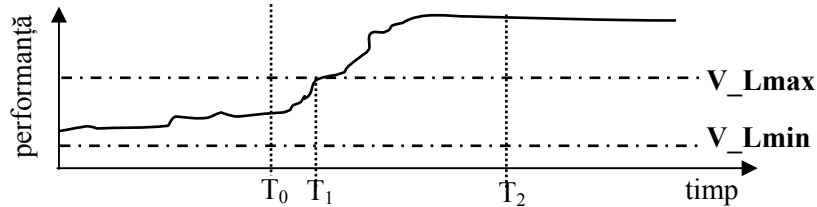


Fig. 7.138 Defectul în timp

Parametrii sistemului pot fi identificați pe baza semnalelor de intrare și de ieșire. Se emit apoi concluzii privind existența sau lipsa unor defecte. Schema bloc generală este prezentată în figura 7.139

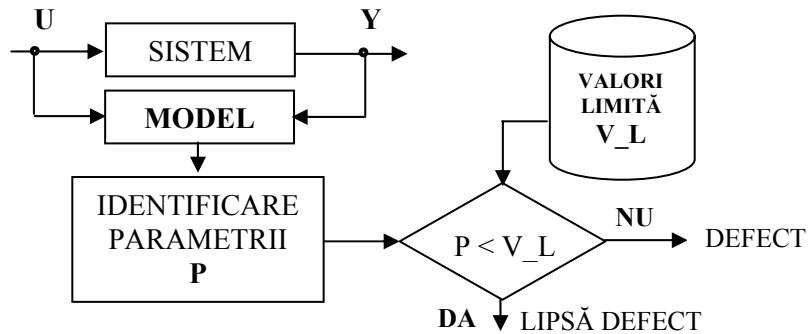


Fig. 7.139 Detecția defectelor prin estimarea parametrilor

Alte două metode – *spațiul de paritate* și *observatorul dedicat* – sunt alături de *estimarea parametrilor* la baza redundanței analitice.

Utilizarea estimărilor pentru diagnoza defectelor și a perturbațiilor este prezentată sugestiv în figura 7.140.

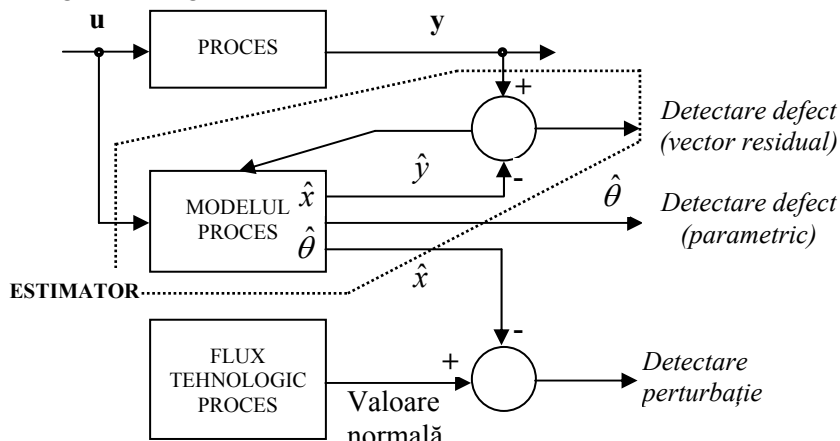


Fig. 7.140 Utilizarea modelului și a estimării în diagnoză

În schema prezentată este sesizabilă structura unui estimator pentru generarea vectorului rezidual (x – este variabila de stare iar θ variabila parametrilor din proces).

Metoda observatorului dedicat (7.141) permite o analiză multiplă a defectelor necesitând însă câte un estimator pentru fiecare defect analizat.

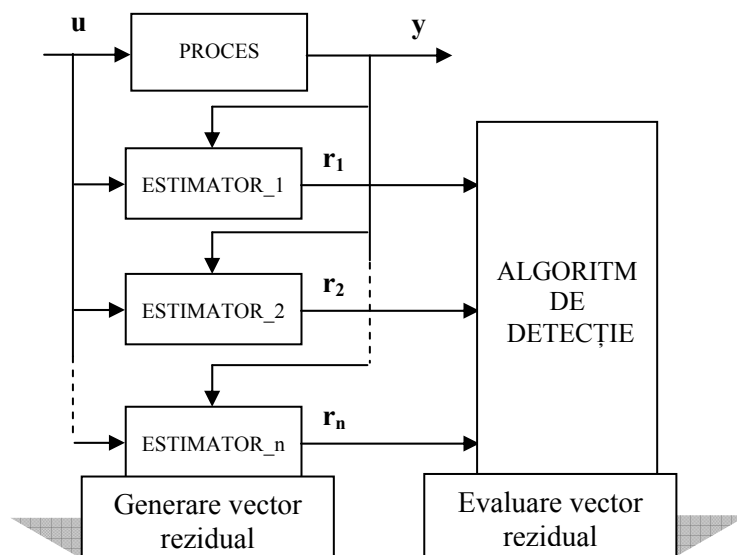


Fig. 7.141 Metoda observatorului dedicat

Un algoritm adecvat permite stabilirea existenței unui anumit defect și lansarea unui semnal de alarmă.

În afara metodelor bazate pe model (*model – based methods*) o a doua categorie este disponibilă și prezentată în literatura de specialitate [7.39] – metodele independente de model (*model – free methods*). În această categorie sunt incluse redundanța hardware, analiza spectrală și sistemele logice / sistemele expert. *Redundanța hardware* prin concepție și realizare a fost specificată în paragrafele anterioare. Metodele *analizei spectrale* utilizează vibrațiile mecanice, zgomotul (ca și informație din mediu analizat), semnale ultrasonice, intensitatea curentului, tensiunea electrică etc. în detectarea și diagnoza defectelor [7.15], [7.33]. *Sistemele expert* sunt implementate software. Acestea utilizează informații euristice referitoare la vârsta sistemului, condiții de operare etc. și statistici ale defectelor pe de o parte și condiționări logice IF, THEN, ELSE pe de altă parte, pentru detecția și localizarea unui defect. Implementarea unei astfel de metodologii este condiționată de experiența proiectantului de a pune în evidență corespondența semnal – efect – cauză. Trebuie precizat că sistemele expert își găsesc aplicabilitatea și în cadrul metodelor bazate pe model pentru diagnoza defectelor.

7.6.3.4. Integrare software în X – by - wire

Un domeniu cu implicații majore specific mecatronicii este cel al automobilelor. În conexiune directă design – integrare software – diagnoză, “X-by-wire” reclamă atât

o integrare hardware cât și software în industria automobilului: comanda direcției, frânarea etc. Metodologia prezintă o serie de avantaje: funcționare de bază fără componenta complexă mecanică, adaptare simplă a sistemelor de asistare ABS, ESP prin software, cost redus.

Conceptul de “frânare prin fir” (brake – by – wire) înlocuiește sistemul de frânare hidraulic printr-o integrare hardware / software: pedală frână – actuator electromecanic sau electrohidraulic (fig.7.142).

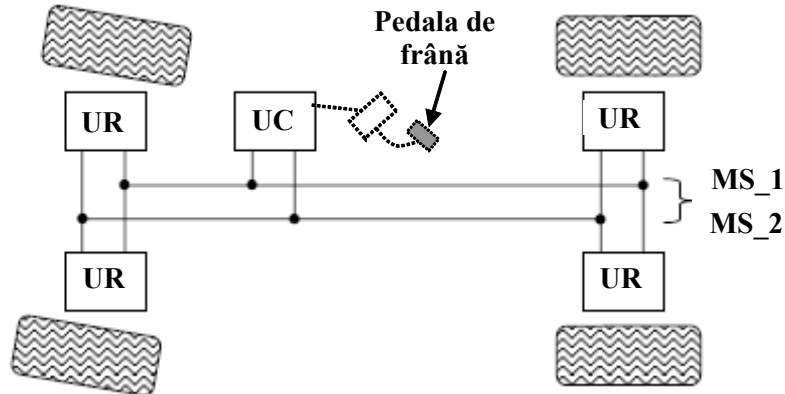


Fig. 7.142 Frânarea prin fir (*brake – by – wire*)

Pedala frână este conectată la unitatea centrală de control (UC). Apăsarea pedalei determină transmiterea unui semnal spre cele patru unități – roată (UR). Transferul informației este asigurat de două magistrale seriale MS_1, MS_2.

Conceptul de “conducere prin fir” (*steer-by-wire*) înlocuiește legătura tradițională mecanică între volan și roată printr-o integrare hardware electrică (fig.7.143).

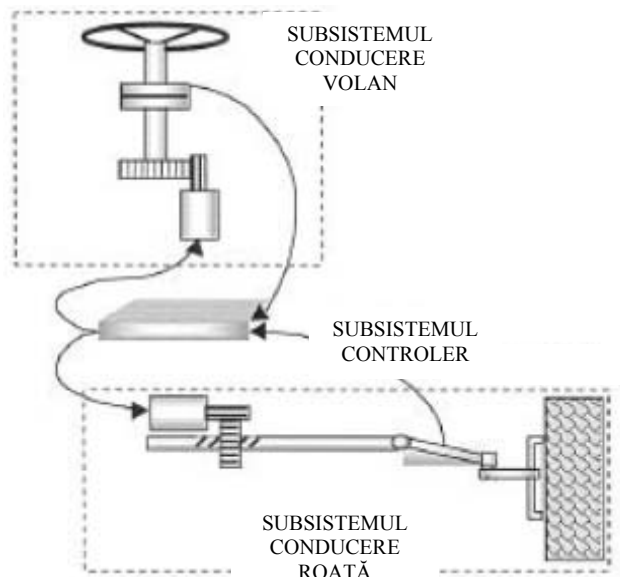


Fig. 7.143 Conducere prin fir (*steer - by – wire*)

Subsistemul conducere volan transmite informația despre unghiul de rotație al volanului și în același timp controlează actuatorul inclus în subsistem pe baza informațiilor feedback. *Subsistemul conducere roată* conduce actuatorul fiecărei unități și transferă informații de la senzori privind starea roții. *Subsistemul controler* coordonează centralizat întregul sistem.

Proiectarea sistemelor mecatronice specificate trebuie să includă o componentă pentru verificarea și creșterea siguranței în funcționare. *Aceste aspecte sunt părți integrale ale integrării software pentru detecția defectelor și diagnoză.*

Proiectarea unui astfel de sistem se încadrează în metodologia în V specifică mecatronicii (cerințe – concept – model – testare & implementare – cerințe) putând fi reprezentată principial în conformitate cu [7.1],[7.60]. Structurarea etapei de proiectare include într-o mare proporție analiza hazardului posibil să fie prezent în sistem. Se observă ușor prezența integrării hardware specific (fig.7.144).

Creșterea siguranței utilizării automobilului a impus luarea în considerare a proiectării sistemului tolerant la defecte. Pot fi utilizate în construcția sistemului diverse abordări[7.57]:

- fiecare componentă este tolerantă la defecte;
- componentele sunt netolerante la defecte dar intră în componența unor unități / subsisteme de ordin superior tolerante la defecte.

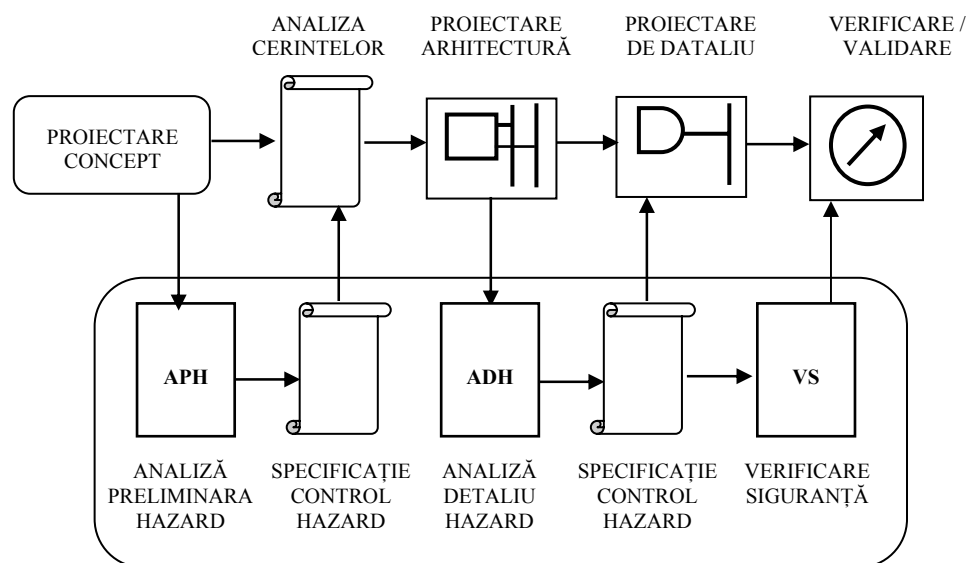


Fig. 7.144 Proiectare și hazard în creșterea siguranței în funcționare

Frânarea prin fir

Analiza siguranței sistemului se bazează pe existența unei funcționări:

- *Varianta A*: corectă în totalitate – ceea ce ar presupune funcționarea celor patru unități (UR), unitatea centrală și cel puțin o magistrală MS_1 sau MS_2;
- *Varianta B*: parțială - ceea ce ar presupune funcționarea a cel puțin trei unități (UR), unitatea centrală și cel puțin o magistrală MS_1 sau MS_2.

Graful corespunzător pentru analiza preliminară a apariției unui defect, în varianta A, cu consecințe în frânare ineficientă este prezentat în figura 7.145. Evenimentele luate în considerare sunt descrise ca și “*apariția unui defect la subsistemul ...x...*”

Pornind de la cerințele sistemului în cadrul elaborării conceptului de proiect, analiza de varianta conduce la concluzia că sistemul de control poate fi implementat în două variante:

- Arhitectură distribuită – algoritmul de control este implementat la nivelul fiecărei unități – roată (UR). Rata de defectare a UR este mai ridicată decât a UC datorită vibrațiilor, umezelii, variațiilor de temperatură etc.
- Arhitectură centralizată – algoritmul de control se execută în UC iar UR reprezintă doar o interfață pentru actuator și senzori. În acest caz asigurarea transferului de informație impune construcția unei rețele. Rata de defectare a UR este scăzută în timp ce a UC este cu atât mai ridicată cu cât este necesară o putere de procesare și memorie mai ridicată.

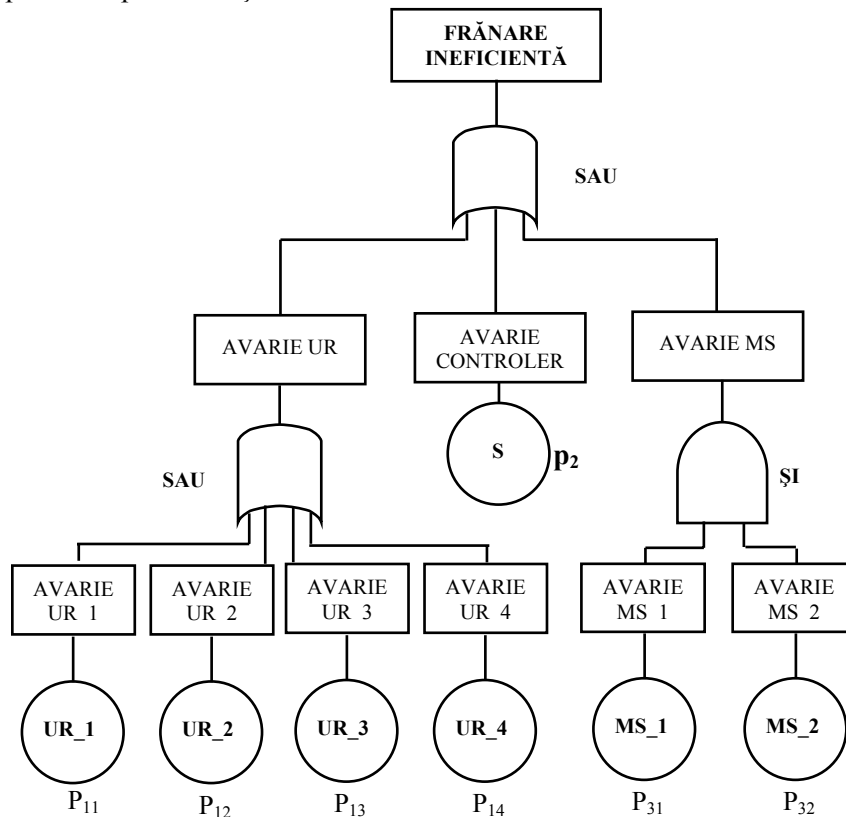


Fig. 7.145 Graful de analiză a hazardului (metoda FTA)

O analiză de detaliu a hazardului se desfășoară pe baza unei arhitecturi generate pentru sistem.

Unitatea - roată (UR) se poate considera compusă din următoarele componente: două sisteme de calculul “tăcute” la defecte (fail-silent computer) (MC_1, MC_2)

(CPU, memorie), doi senzori (S1, S2), un actuator (A) și patru interfețe (I) (fig.7.146). Pentru arhitectura UR considerată se poate dezvolta graficul corespunzător analizei hazardului în conformitate cu cele prezentate anterior.

Integrarea hardware – senzori, actuatore – completează proiectarea de detaliu a sistemului.

Sub aspectul proiectării arhitecturii și în concordanță cu creșterea siguranței în funcționare, unitatea centrală (UC) (cunoscută și ca unitate manager: *brake – by – wire manager*) poate fi realizată în două configurații tolerante la defecte:

- *configurația duplex* pentru arhitectura distribuită. Dacă este detectată o eroare în modulul de calcul (MC) (CPU, memorie, circuite logice) se întrerupe emiterea de rezultate. Unitatea centrală își menține funcționarea utilizând rezultatele modulului în stare de funcționare.
- *configurația triplex* pentru arhitectura centralizată. Ieșirea sistemului se bazează pe votul a două sau trei module de calcul (MC) (redundanță n – modulară).

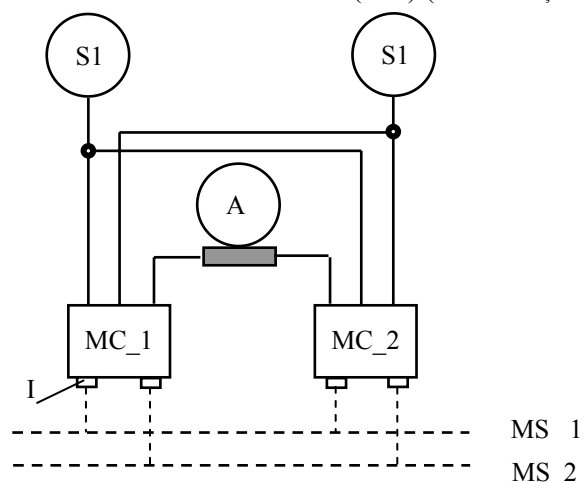


Fig. 7.146 Componenta unității roată (UR)

O analiză de detaliu a hazardului este în acest moment posibilă și la nivelul unității centrale.

Integrarea software pentru sistemul cu siguranță impusă se bucură de o atenție deosebită. Cele patru unități (UR) identice trebuie să reacționeze identic la un același factor perturbator apărut în momente diferite. Sistemul se încadrează în categoria sistemelor de timp real.

Dintre posibilitățile avute la dispoziție *time – triggered protocol* este varianta recomandată pentru sistemul de comunicare. Toate activitățile sunt generate progresiv în timp. Toate sarcinile și acțiunile de comunicare sunt periodice. Structurarea protocolului TTP/C (variante C este corespunzătoare sistemului hardware în timp real) pe layer-e este prezentată în figura 7.147.

Componenta unui nod din sistemul în timp real cu protocol TTP constă dintr-un procesor “gază” și un procesor de comunicare (TTP – controller) (fig.7.148). Această entitate este denumită unitate “tăcută” la defect (FSU - *fail silent unit* – comunicația

există doar dacă lipsesc erorile, nodul asigură rezultate corecte sau nu oferă nimic). Două FSU compun o unitate tolerantă la defecte FTU (*fault – tolerant unit*). Se poate identifica în acest moment corespondența componentelor cu unitatea centrală (UC) a sistemului de frânare.

Structura fiecărei unități FTU din (UC) și arhitectura software-lui (fig.7.149) se stabilesc funcție de cerințele structurale ale acesteia:

- de a detecta cerința de frânare prin interpretarea informației senzoriale de la pedala de frână;
- de a calcula forța de frânare pentru cele patru actuatoare;
- de a verifica corectitudinea operațiilor la toate componentele sistemului;
- de a distribui valorile calculate prin rețeaua de comunicare la componenta de control a (UR).

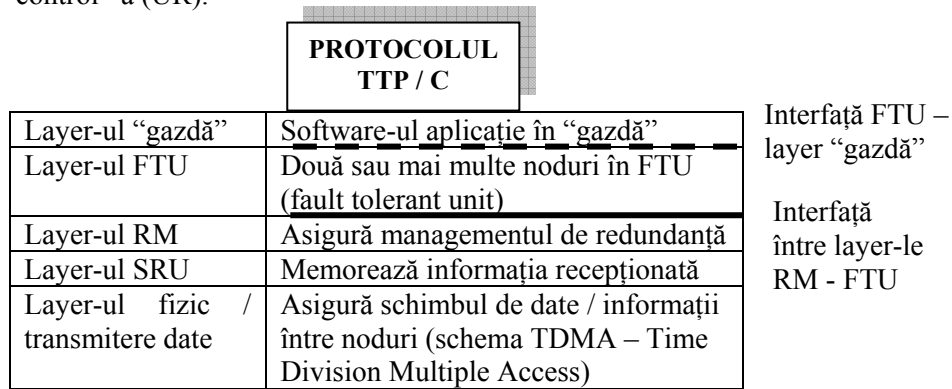


Fig. 7.147 Protocolul TTP / C prin layer

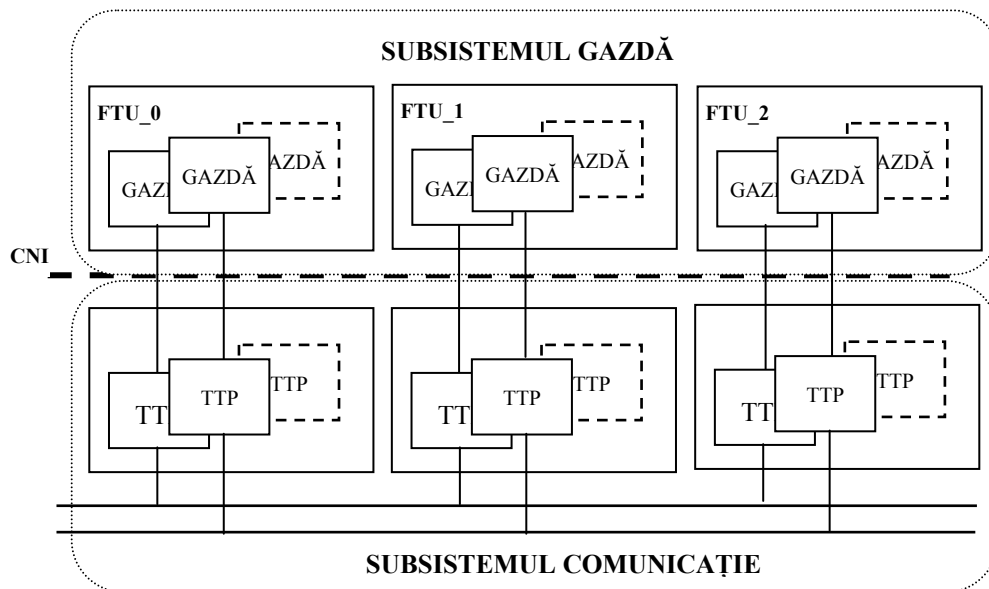


Fig. 7.148 Structura unui sistem cu TTP / C

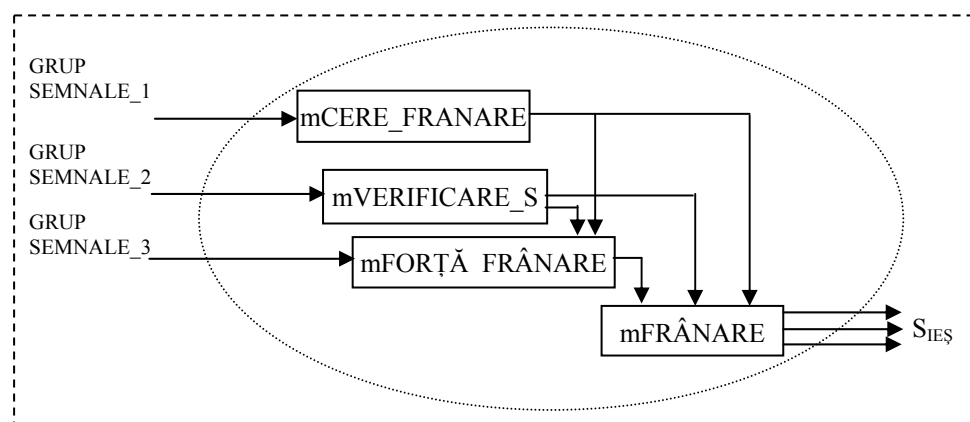


Fig. 7.149 Arhitectura software-ului pentru (UC)

Semnalele de ieșire S_{IES} ale modului $m_FRÂNARE$ permit: fixarea la zero a setului de puncte pentru fiecare unitate (UR), fixarea setului de puncte calculate prin modulul $mFORȚĂ_FRÂNARE$, constrânge FSU de a funcționa în modul *fail – silent*, activează semnalizarea frânării (fig.7.149). Modulul $mCERE_FRANARE$ determină cererea de frânare ca urmare a informației de la senzorul de la pedala de frână (semnal_1). Modulul $mVERIFICARE_S$ verifică dacă sistemul este pregătit (READY) sau există o eroare și nodul trebuie să fie în mod “tăcut” (va emite un semnal FSU_READY) sau dacă nu există suficientă putere disponibilă pentru funcții adiționale (ABS) se emite semnalul NO_ABS. Modulul $mFORȚĂ_FRÂNARE$ calculează setul de valori pentru UR – uri ca urmare a cererii de frânare, a existenței semnalului NO_ABS și a informațiilor de la senzori (semnalele 3). Modulul $mFRÂNARE$ asigură semnalele de ieșire S_{IES} ca urmare a existenței valorilor pentru forța de frânare, a semnalului FSU_READY și a cererii de frânare.

Structura internă a funcțiilor de realizat și algoritmul de lucru a sistemului ce trebuie proiectat sunt prezentate în figura 7.150 Componenta internă a modului $m_FRÂNARE$ decurge din cerințele fiecărei unități FSU (necesare în analiza preliminară) care se referă la:

- impunerea trecerii în modul de funcționare fail – silent dacă există o eroare internă;
- detectarea și tolerarea erorii senzoriale din sistem;
- distribuirea unui set de valori corecte. Dacă informația unui sensor nu se corelează cu alte valori, aceasta nu poate fi utilizată pentru cererea de frânare;
- detectarea erorilor de la nivelul UR.

Într-o funcționare corectă, forța de frânare se calculează în modulul $mFORȚĂ_FRÂNARE$ (fig.7.149) și transmisă prin asociere cu informația $tFORȚĂ_FR_OK$ (fig.7.150). În același timp se stabilește setul de valori pentru cele patru unități UR și este activată semnalizarea. Dacă actuatorul nu își realizează funcția, se distribuie semnalul $tFORȚĂ_FR_ZERO$. La existența unor erori locale, valorile pentru cele patru unități UR sunt declarate zero, se trece în modul fail – silent și se emite semnalul FAIL_SILENT_M (fig.7.150).

Detalierea suplimentară software, verificările funcționării sistemului,

modificările suplimentare care să vizeze corecții inerente fazei de proiectare sunt strict necesare și sunt în general incluse în categoria unor activități clasice.

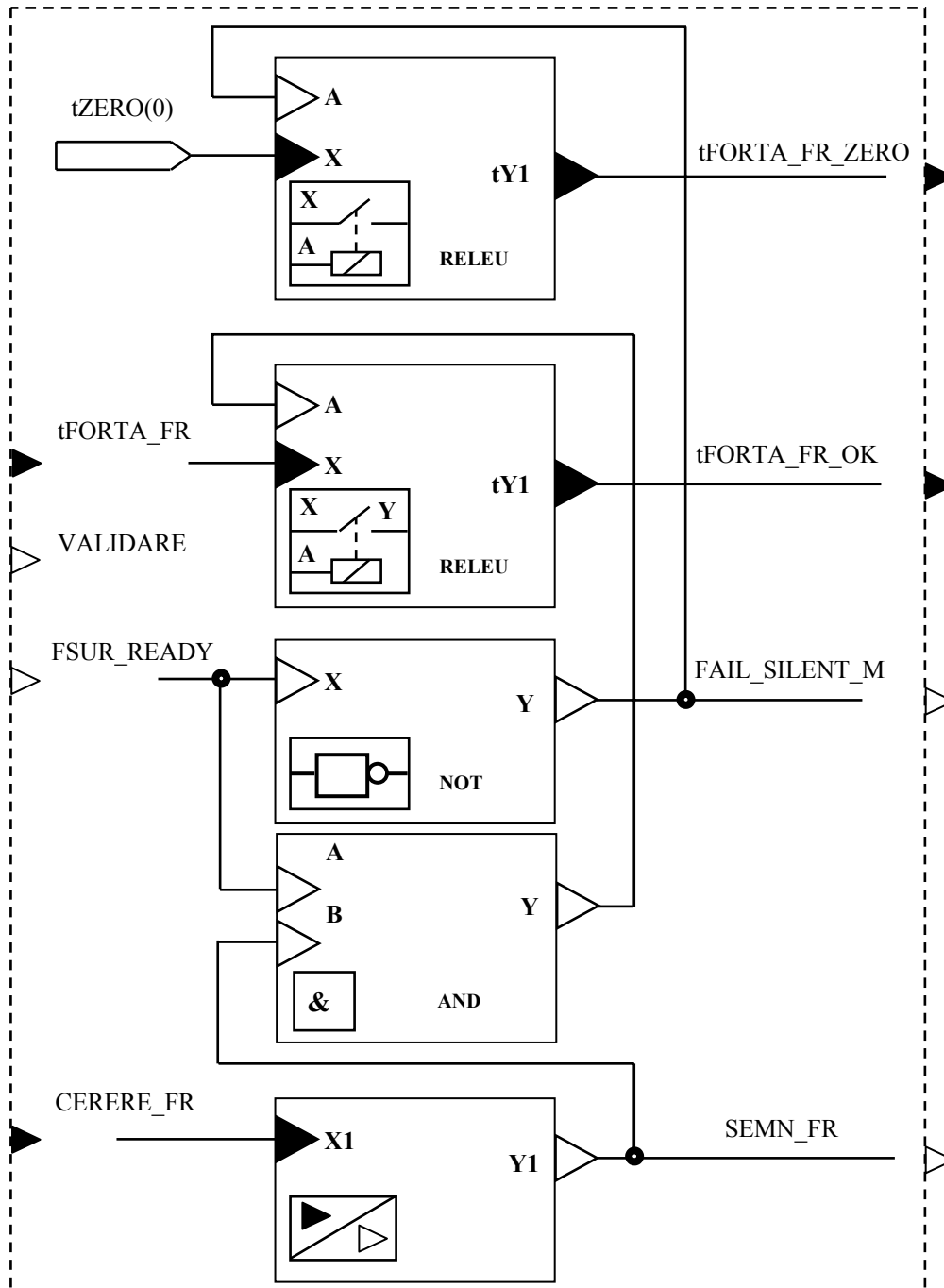


Fig. 7.150 Structura internă a modului mFRÂNARE

Conducerea prin fir

Proiectarea conceptuală a sistemului respectă schema structurală prezentată în figura 7.144. O serie de aspecte din proiectarea sistemului de “conducere prin fir” sunt similare cu cele prezentate anterior în exemplul “brake by wire”. Ilustrăm și accentuăm în cele ce urmează asupra necesității analizei hazardului asupra siguranței în funcționarea sistemului. Graful din figura 7.151 permite o analiză preliminară a influenței hazardului și emiterea unor prime concluzii referitoare la ponderea evenimentelor A (avarie actuator, probabilitate p_1), B (avarie controler, probabilitate p_2) și C (avarie senzor, probabilitate p_3) în pierderea controlului.

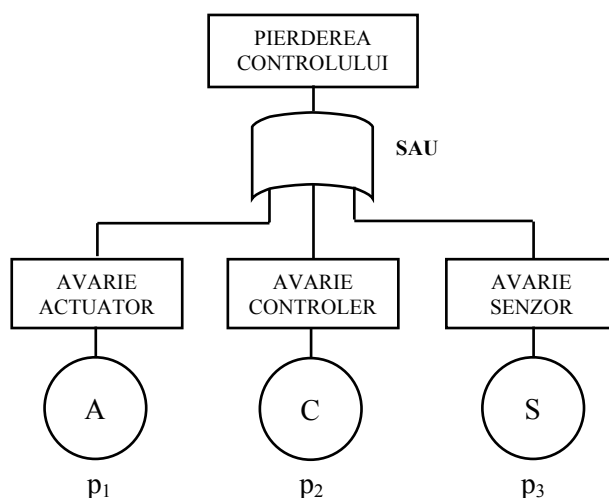


Fig. 7.151 Analiză preliminară a hazardului

În continuarea analizei hazardului, proiectantul admite variante de tolerare a unor componente din sistem. O astfel de analiză conduce la concluzia că un risc major cu consecințe grave (coliziune) îl reprezintă defecțiunile la nivelul controler & actuator. În figura 7.152 se prezintă o arhitectură a sistemului redundant.

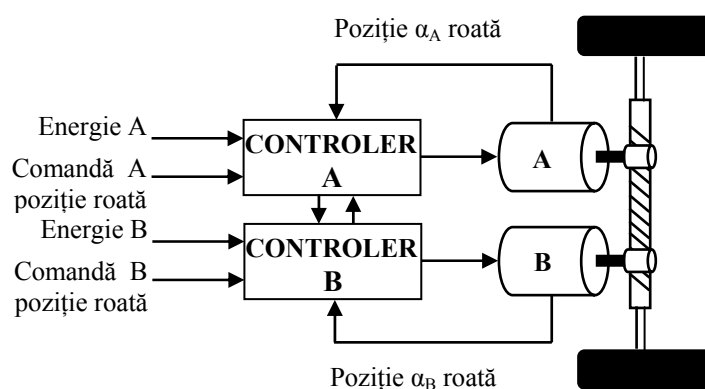


Fig. 7.152 Arhitectură redundantă

În figura 7.153 se prezintă graful analizei pentru varianta de configurare duplex

a unității centrale de conducere.

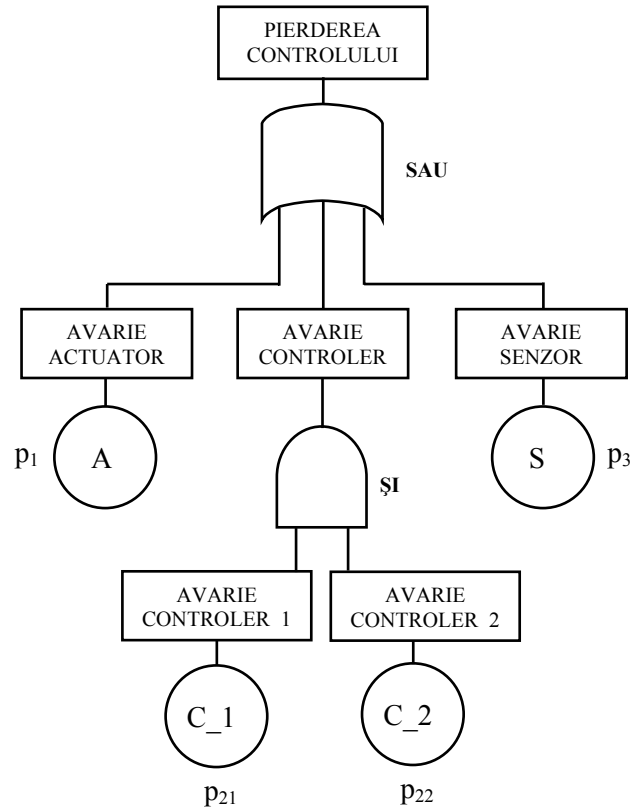


Fig. 7.153 Analiza hazard pentru varianta sistemului cu tolerare a controlerului

Arhitectura hardware redundanță pentru un astfel de sistem (configurare duplex) este ilustrată în figura 7.154. Varianta are redundanță și pentru transferul informației unde se utilizează CAN 1 și CAN 2.

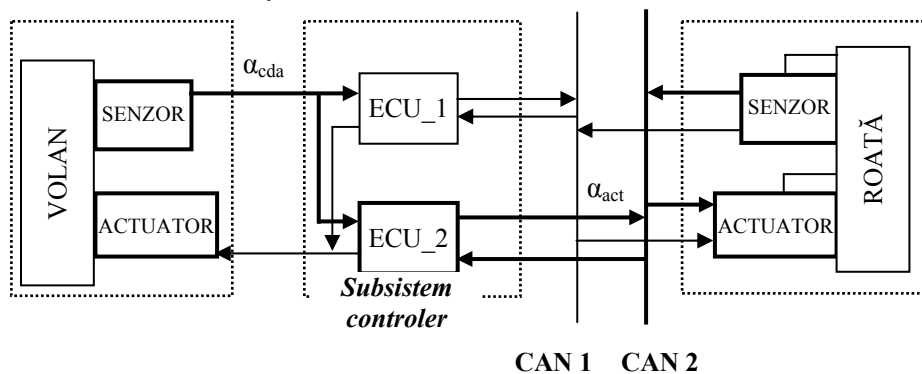


Fig. 7.154 Arhitectură redundanță

O dezvoltare a structurii anterioare se poate realiza printr-o combinație cu varianta din figura 7.152. Sunt posibile determinările poziției roților (unghiul α), viteza

de rotație ω a motorului, tensiunea de alimentare a motorului, cuplul motor M_m . Pentru poziția roților se identifică necesitatea a trei informații: de la volan (S_1) și de la actuator (S_2, S_3). Cele trei valori sunt introduse în modelul de decezie bazat pe “vot” ceea ce definește în final starea unui motor: în așteptare (*standby*), în funcționare sau defect (fig.7.155b).

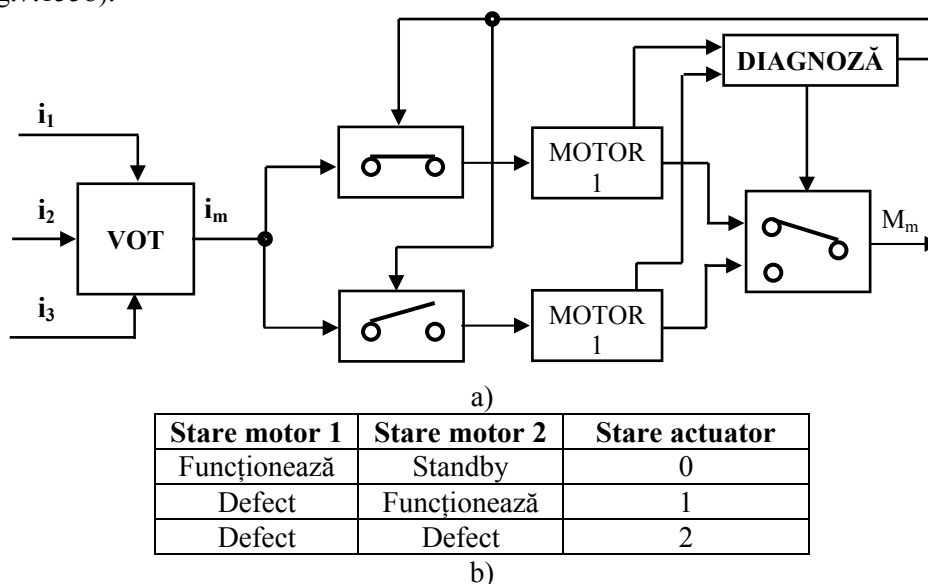


Fig. 7.155 Redundanță dinamică a actuatorului

În corelație cu posibilitățile de recepționare a informațiilor, se prezintă în figura 7.156 principiul redundanței analitice pentru analiza stării actuatorului. Informația de la senzorul S_i este convertită prin modelul matematic M_i în semnalul estimat α care se compară cu valoarea de comandă α_c . Pe baza celor două valori se generează eroarea ϵ_α . Monitorizarea are loc cu o întârziere temporară astfel ca să poată fi determinate schimbările din sistem. Pe acest principiu se concretizează varianta de diagnosticare pe bază de cuplu, tensiune și respectiv current [7.45].

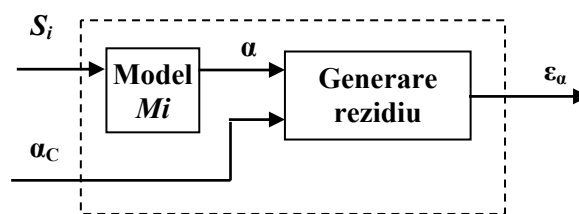


Fig. 7.156 Redundanță analitică

În figura 7.157 se prezintă o localizare (într-o vedere mai apropiată de realitate) a componentelor subsistemelor din categoria x-by-wire [7.97].

În analiza siguranței sistemului și diagnoză un rol esențial este și cel referitor la modalitatea de determinare a unor defecte pe cablurile electrice de alimentare. În figura

7.158 se prezintă schema electrică principală cu un defect serial prin arc electric iar în figura 7.159 schema electrică pentru un defect prin arc în paralel.

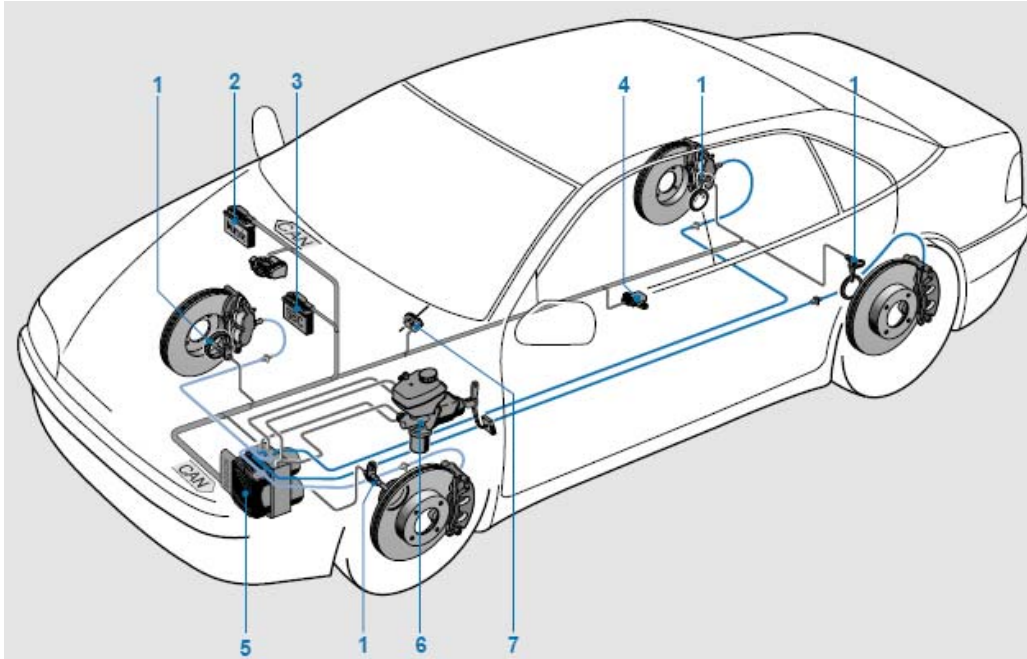


Fig. 7.157 Varianta unui sistem de frânare electrohidraulic (1 – senzor de viteză; 2 - ECU (electronic control unit); 3 – SBC (sensotronic brake sistem); 4 – senzor pentru accelerație laterală; 5 – modulator hidraulic (pentru SBC, ABS, TCS, ESP) cu conectare ECU; 6 – actuator frână (conectat cu senzorul de la pedală); 7 – senzor pentru unghiul de conducere

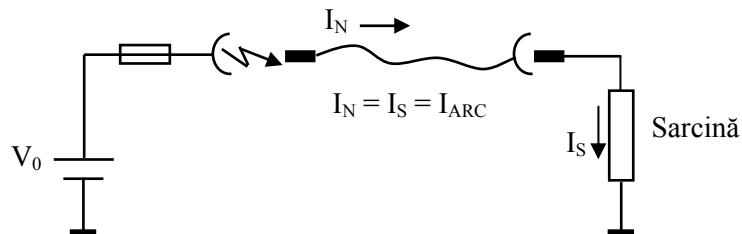


Fig. 7.158 Defect prin arc serial

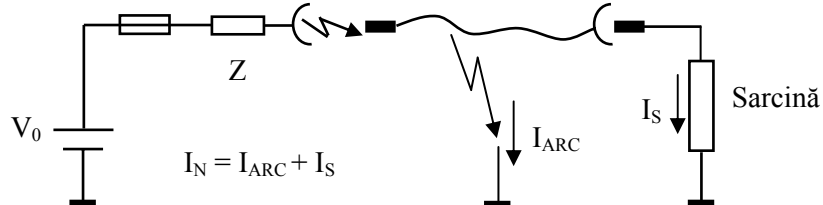


Fig. 7.159 Defect prin arc paralel

Diagnoza pentru circuitul de alimentare se poate realiza pe baza arcului electric dezvoltat sau a curentului din circuit. Prima variantă este prezentată în figura 7.160

unde zona protejată este delimitată de zona de ieşire (de sarcină). Prin traductoarele de current TC_1 și TC_2 se obțin informațiile despre valorile curenților I_1 și I_2 . Releele C_1 și C_2 sunt utilizate pentru recuplarea manuală a zonei după îndepărtarea defectelor.

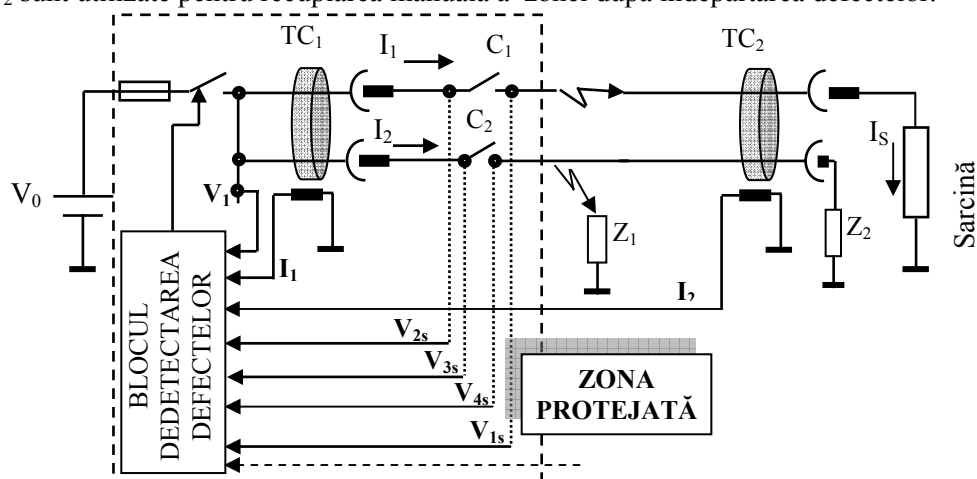


Fig. 7.160 Schemă de detecție a defectelor de tip arc electric

Blocul de detecție are la bază circuite de condiționarea semnalului, amplificatoare operaționale, circuite de ieşire de tip releu [7.59].

7.6.3.5. Tratarea erorilor pe baza rețelelor Petri

Așa cum arătam în capitolele anterioare, sistemele mecatronice sunt compuse din diverse elemente constructive iar interacțiunea dintre acestea poate fi caracterizată ca discretă, asincronă și secvențial. *Rețelele Petri* permit modelarea sistemelor dinamice cu evenimente discrete.

Sistemele de fabricație se pot aborda într-o ierarhizare conformă cu figura 7.161.

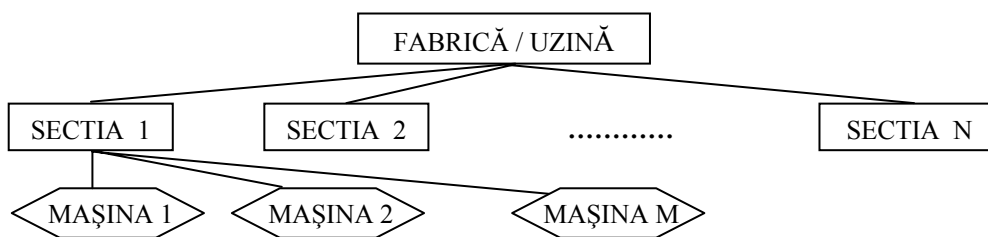


Fig. 7.161 Ierarhizare a unui sistem de fabricație

În general se urmărește detectarea defectelor incipiente. La nivelul echipamentelor se consideră două categorii de defecte detectabile:

- defecte detectabile prin monitorizarea parametrilor specifici ai dispozitivului. De ex.: pierderile de lubrifiant pot fi detectate prin montarea unui senzor care va monitoriza parametrii fluidului. În acest caz o diagnoză nu este necesară.
- defecte care nu pot fi detectate în mod direct prin monitorizarea scenei de lucru. În aceste cazuri se impune o analiză de diagnoză.

În general metodele de detectare a defectelor se pot grupa în trei categorii[7.66]:

- **Metodă bazată pe model:** pentru identificarea defectului se compară parametrul real / actual cu cel probabil / dorit (rezultat din modelul matematic); Din punct de vedere teoretic metoda se recomandă pentru sisteme liniare cu incertitudini reduse.
- **Metoda bazată pe cunoștințe:** pentru raționamente asupra cauzelor defectelor se asociază modele calitative cu simptome euristice. Detectarea și tratamentul defectelor se consideră structurate în mai mulți pași (fig.7.162)
- **Metodă bazată pe analiza spectrală a semnalelor** când nu este inclus nici un model matematic.

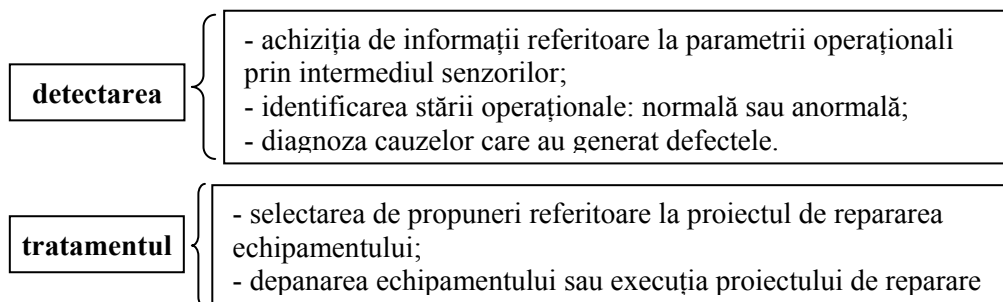


Fig. 7.162 Metoda bazată pe cunoștințe

Tratarea erorilor trebuie adecvată fiecărui nivel din ierarhia sistemului de fabricație. De exemplu, la nivelul echipament se recomandă ca defectul să fie detectat și remediat în mod automat. În figura 7.163 se prezintă structura unei mașini tolerante la defecte bazată pe corecția parametrilor operaționali [7.66].

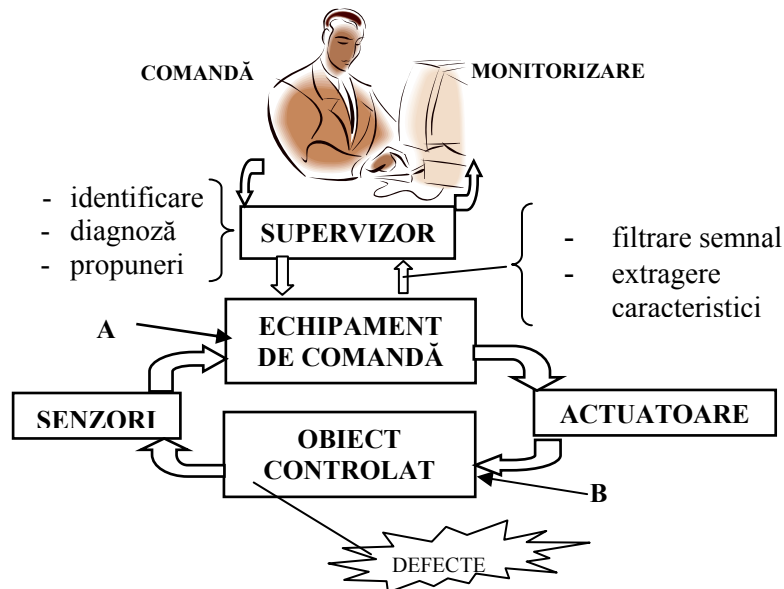


Fig. 7.163 Structura unei mașini tolerante la defecte

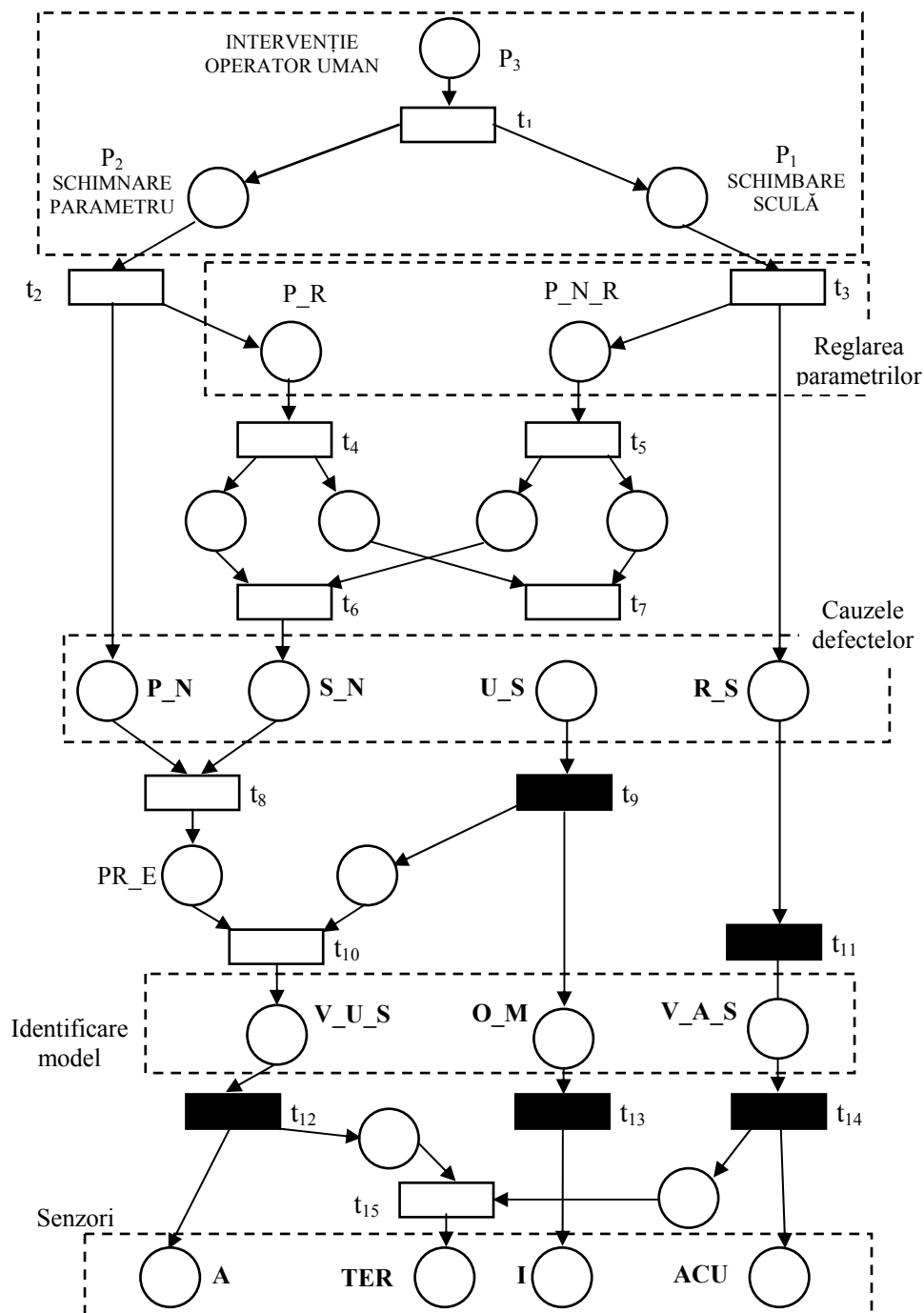


Fig. 7.164 Model bazat pe RP pentru detectarea defectelor

Modul de realizare a modelului bazat pe rețele Petri pentru detectarea defectelor este ilustrat în figura 7.164. Este structura reală a unor operații tehnologice de pe o mașină unealtă [7.66]. Notațiile din figura 7.164 semnifică setul de poziții $\mathbf{P} = \{p_1, p_2, \dots\}$ în tranzițiile $\mathbf{T} = \{\mathbf{T}_n \cup \mathbf{T}_{OR}\} = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$. Echivalența dintre tranzițiile normale \mathbf{T}_n și cele \mathbf{T}_{OR} (tranziție macro pentru modele logice OR) este ilustrată în figura 7.165.

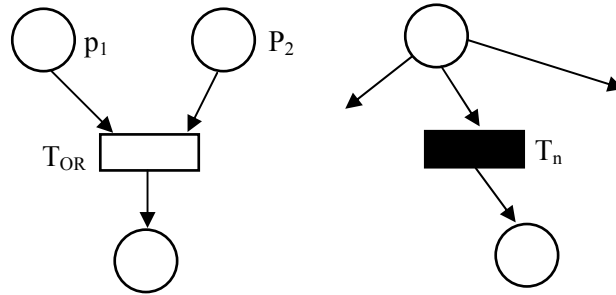


Fig. 7.165 Echivalența tranziției normale și \mathbf{T}_{OR}

Pentru proiectarea unui model de tratarea erorilor se pot utiliza mai multe modalități concretizate prin variantele:

- *Automată* – defectele tipice luate în considerare sunt uzura sculei, ruperea sculei, erori de programare. Tratarea erorilor înseamnă schimbarea sculei sau schimbarea parametrilor.
- *Model bazat pe subrețea Petri*. Tratarea erorilor consemnează schimbarea sculei, schimbarea parametrilor sau intervenție umană.
- *Model bazat pe rețea Petri* (fig.7.164). Metoda se bazează pe o structurare multi-nivel (cinci în acest caz: nivelul - sensor, nivelul - identificare model, nivelul - cauze defecte, nivelul - reglare parametru, nivelul - sugestii).

Nivelul – sensor este conceput pe baza mai multor senzori incluși în sistem și permite achiziția informațiilor referitoare la starea sculei de lucru – normală sau anormală:

- un sensor de curent (**I**) care permite obținerea informațiilor referitoare la variațiile curentului din actuatorul asociat sculei;
- trei senzori de accelerație (**A**) care determină vibrațiile mecanice în structura mașinii și care au ca și cauză, forța de așchiere;
- patru traductoare tensorezistive (**TER**) constituiți într-un sensor de forță care permite determinarea torsorului forțelor de așchiere;
- un sensor acustic (**ACU**) pentru determinarea zgomotelor generate în procesul de așchiere și datorate uzurii sculei sau ruperii acesteia.

Nivelul – identificare permite stabilirea variantei de defect pe baza valorii extreme a semnalului generat din zona sculei:

- Un semnal cu amplitudine aleatoare indică sculă ruptă sau uzură accentuată a acesteia;
- Un semnal cu amplitudine uniformă indică uzură superficială a sculei sau eroare de programare. În concluzie, procesul este corectabil prin schimbarea

sculei sau reglaje ale parametrilor de lucru (de ex.: viteza).

Cauzele defectului se constituie în nivelul de atribuire a defectului pentru uzură sculă (U_S), rupere sculă (R_S), programare eronată (P_N), sculă neadecvată (S_N).

Reglarea parametrilor urmărește ajustarea parametrilor în cazul unei uzuri superficiale sau scule neadecvate. Această procedură respectă următoarele etape:

1. calculul deformației între valoarea scontată și cea reală pe baza informațiilor senzoriale;
2. reglarea parametrilor pentru reducerea diferențelor anterioare. Alegerea celei mai bune combinații impune luarea în considerare a pașilor 3, 4;
3. evitarea parametrilor nesiguri. Parametrii siguri se bazează pe constrângeri mecanice și fizice ale echipamentului, procesului de prelucrare, scule, piese de lucru etc.
4. evitarea efectelor secundare. Trebuie selectați pentru sistem acei parametri cu efecte secundare minime. Algoritmii de lucru poate admite și reglări suplimentare astfel încât să se elimine efectele secundare.

Nivelul *sugestii de tratare* se identifică cu nivelul de recuperare a mașinii defecte. Posibilitățile disponibile sunt: modificarea sculei (poziția p_1), modificarea parametrului de lucru (p_2), sau intervenția umană (p_3). Ultima variantă devine activă dacă celelalte nu au condus la un rezultat pozitiv. Se poate stabili de asemenea o regulă de intervenție după 2 schimbări de scule sau a k-a modificare ale parametrilor de lucru fără succes în corecția defectului.

Amorsarea tranzițiilor poate fi imediată (de ex.: $t_9, t_{10}, t_{12} - t_{14}$), dependentă de proces (t_6, t_7), condiții de finalizare ($t_1 - t_5$), etc.

Semnificația altor notații din figura 7.164 este următoarea: P_R – reglare parametru; P_R_N – parametru neregabil; P_N – parametru neadecvat; S_N – sculă neadecvată; U_S – uzura sculei; R_S – ruperea sculei; V_U_S – valoare uniformă pe sculă; O_M – oscilații ale motorului; V_A_S – valoare aleatoare a torsorului pe sculă.

7.6.4. Compensarea neliniarităților din sistem prin algoritmi specifici

Un sistem fizic este neliniar dacă conține cel puțin un element descris de o ecuație neliniară. În general toate sistemele fizice sunt neliniare. De multe ori neluarea (neglijarea) în considerare a anumitor aspecte este acceptată iar sistemul se consideră liniar.

Sistemele neliniare se pot clasifica în:

- Sisteme cu neliniarități ușoare – caracteristicile sistemelor se pot liniariza;
- Sisteme cu neliniarități severe – neliniaritatea este categorică, fără posibilitate de a fi liniarizată și sunt specifice unor elemente introduse intenționat în sistem pentru a-i îmbunătăți performanțele.

Neliniaritățile se manifestă atât asupra *mărimii de intrare cât și asupra mărimii de ieșire* din sistem.

Formele de manifestare a neliniarităților de la nivelul marimilor de intrare sunt:

- caracteristici statice de tip releu;
- caracteristici statice cu saturație;
- caracteristici statice cu histereză.

Astfel de caracteristici neliniare sunt specifice diverselor elemente mecano-electrice din componența sistemelor mecatronice: elemente feromagnetice, angrenaje cu joc, cursă în gol (“moartă”) (backlash), circuite magnetice, elemente cu frecare, saturația; transformări utilizând funcții “sin”, “cos”. Neliniaritățile caracterizează atât componentele electrice cât și mecanice. Majoritatea neliniarităților existente în sistemele de reglare automată pot fi schematizate prin combinarea a patru categorii fundamentale:

- zonă de *insensibilitate* (fig.7.166).

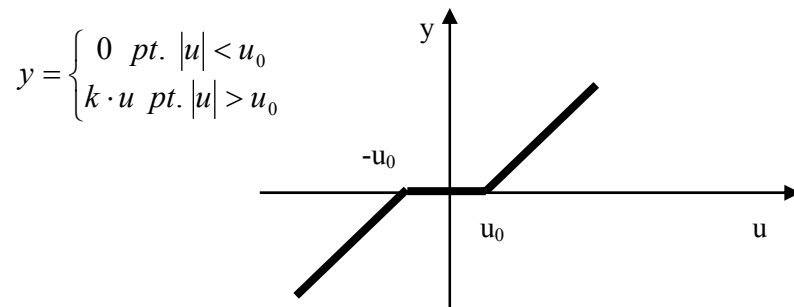


Fig. 7.166 Caracteristica neliniară prin zonă de insensibilitate

- zonă de *saturație* (fig.7.167).

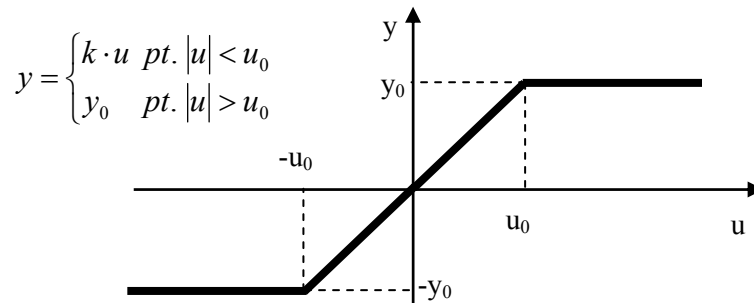


Fig. 7.167 Neliniaritate datorată saturației

- curbura caracteristicii (fig.7.168).

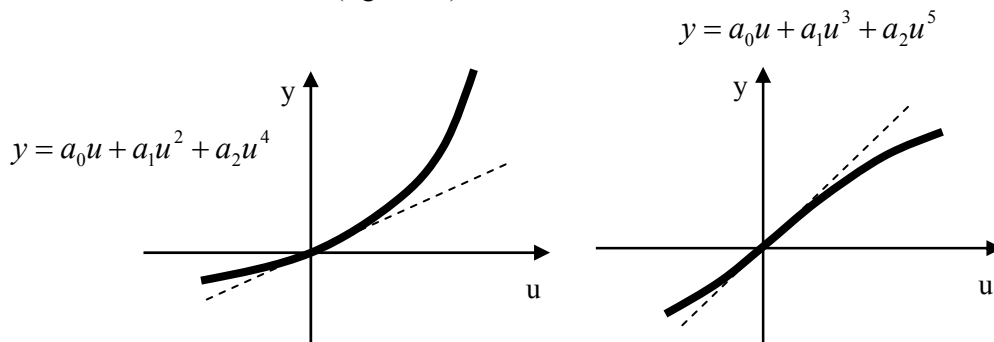


Fig. 7.168 Caracteristici neliniare și ecuațiile corespunzătoare

- histereza (fig.7.169).

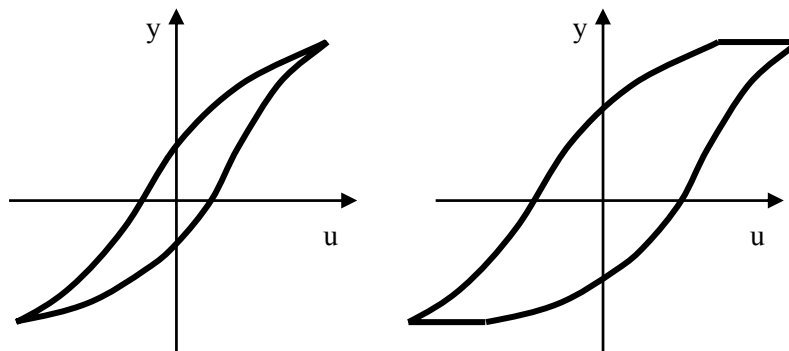


Fig. 7.169 Caracteristică neliniară

Neliniaritatea trebuie analizată funcție de componenta sistemului. De exemplu servomotorul de c.c. este una dintre posibilitățile recunoscute și utilizate pentru sistemele de acționare. Neliniaritățile servomotorului, considerat ca și element al unui sistem, se manifestă la nivelul:

- rezistenței indusului R_a ;

Uzual rezistența indusului servomotoarelor are valori în intervalul $1...10 \Omega$ [7.97]. Valoarea acestei rezistențe include și rezistența electrică la nivelul perie – lamelă colector iar abaterea față de o valoare nominală depinde de numărul de lamele a colectorului, numărul perechilor de poli. Se consideră că o abatere cu 10 % a rezistenței totale datorită contactului din colector este corespunzătoare.

Modelul rezistenței se poate defini ca fiind:

$$R'_a = R_a + dR \quad (7.56)$$

- constantei de cuplu K_m ;

Valoarea lui K_m se consideră constantă dacă se neglijează reacția indusului și reacția creștăturilor. K_m depinde de valoarea curentului din indus (I_a) și de poziția unghiulară a rotorului. Se consideră că metodele de control permit eliminarea influențelor datorate variației lui K_m .

- constantei electromagnetice K_e ;
- frecărilor din lagăre.

Frecarea prin influențele negative asupra mișcării a determinat o analiză atentă și profundă de-a lungul timpului. Influențele pozitive ale frecării asupra funcționării sistemelor – utilizarea în funcționarea cuplajelor, frânelor, transmisiilor etc – au determinat aceleași eforturi de construire a unor modele cât mai eficiente pentru fenomenul fizic.

Modelul clasic al frecării pornește de la proporționalitatea forței de frecare cu forța normală la suprafață și de sens opus mișcării (Leonardo da Vinci). Armstrong – Helouvry, Da Vinci, Amonton (1699) folosesc același model dezvoltat de Coulomb în 1785. Frecarea este luată în considerare ca o forță constantă opusă mișcării pentru orice viteză diferită de zero.

Mișcarea de translație cu frecare a unui corp de masă “m” este descrisă de ecuația:

$$m \cdot \ddot{y} = F - F_f \quad (7.57)$$

Mișcarea reală a corpului, la viteze mici, este ilustrată sugestiv în figura 7.170. Contribuie la acest comportament influența forței de frecare (fenomenul de stick-slip).

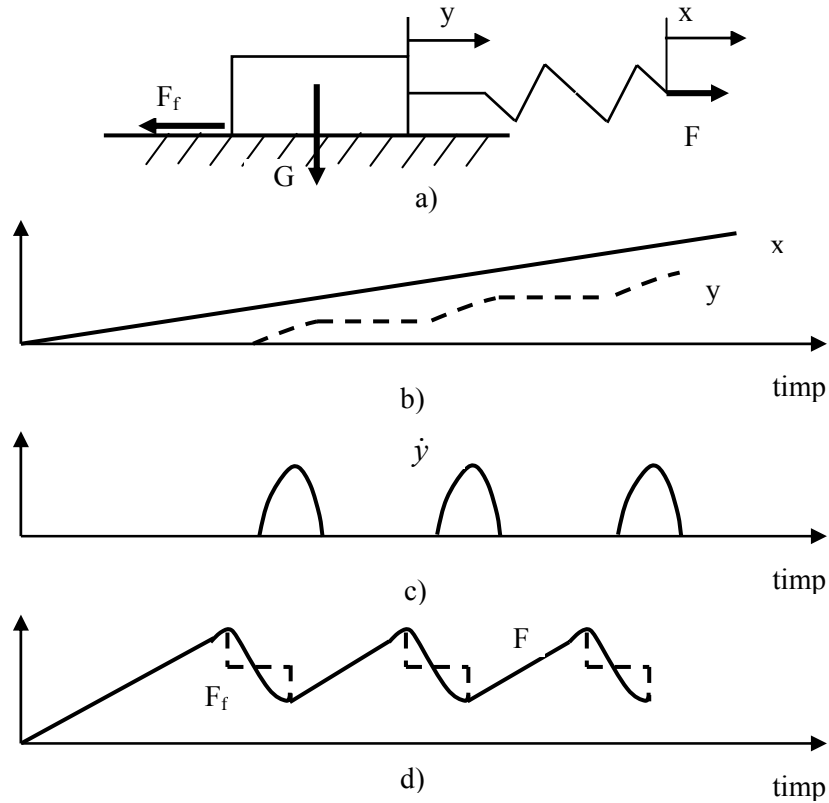


Fig. 7.170 Fenomenul de stick-slip

Schema de control în poziție pentru corpul anterior este prezentată în figura 7.171 unde PID semnifică regulatorul utilizat.

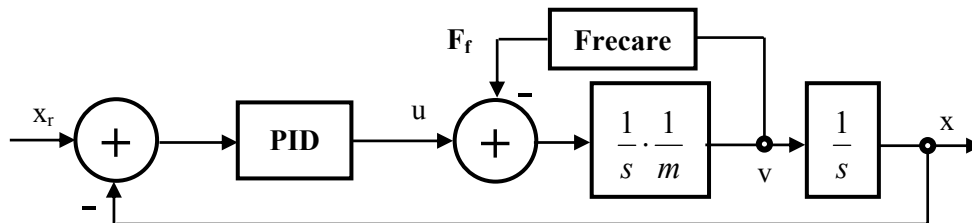


Fig. 7.171 Schema de control a corpului în mișcare cu frecare

Schema bloc de compensare adaptivă a frecării este prezentată în figura 7.172.

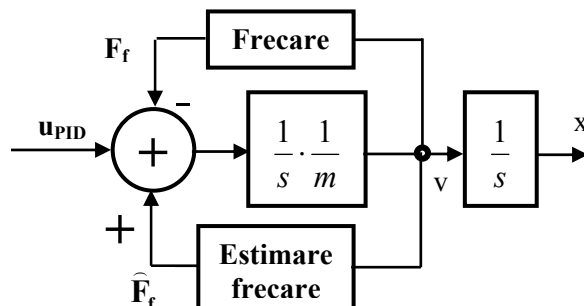


Fig. 7.172 Compensarea adaptivă a frecării

Forța de frecare se consideră evaluată după modelul Coulomb:

$$F_f = a \cdot \text{sgn}(v) \tag{7.58}$$

iar forța de frecare estimată și luată în considerare:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= k \cdot u_{PID} \cdot \text{sgn}(v) \\ \hat{a} &= z - k \cdot m \cdot |v| \\ \hat{F}_f &= \hat{a} \cdot \text{sgn}(v) \end{aligned} \tag{7.59}$$

Aspectul complex al frecării și a modalităților de compensare prin software constituie o problemă de actualitate pentru literatura de specialitate.

Utilizarea unui controler PPR (puls – proporțional – rampă) pentru controlul sistemelor în care este posibilă existența fenomenului de stick-slip, este propus în [7.69]. Principiul controlerului este ilustrat în figura 7.173.

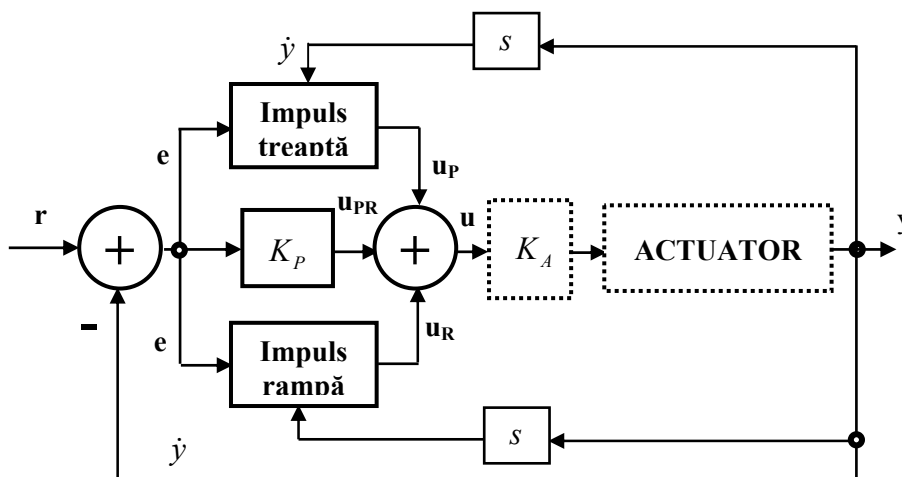


Fig. 7.173 Controler PPR

Controlerul utilizează eroarea “e” și viteza \dot{y} pentru a determina tranziția în procesul de mișcare. Viteza \dot{y} se calculează pe baza relației:

$$\dot{y} = \frac{y(k) - y(k-1)}{T} \quad (7.60)$$

unde $y(k)$ este poziția la a “k” eșantionare și “T” este perioada de eșantionare.

Schema logică pentru funcționarea controlerului este prezentată în figura 7.174.

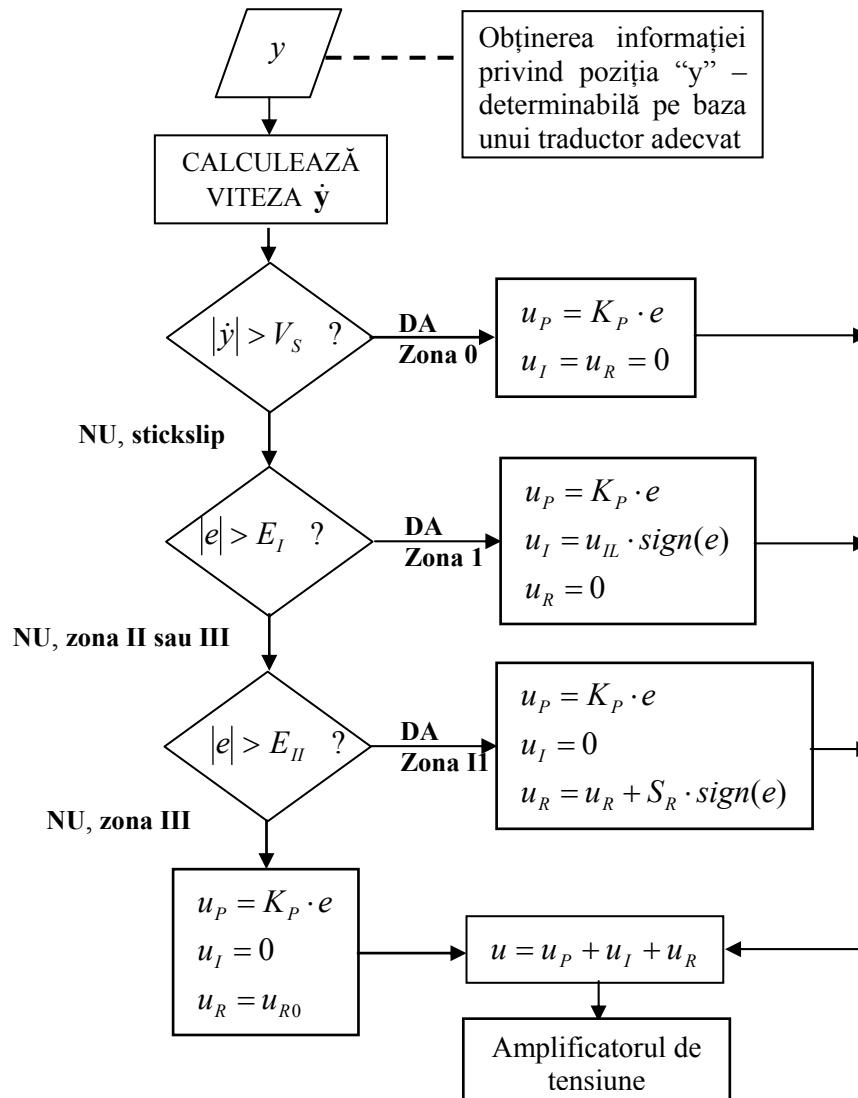


Fig. 7.174 Schema logică de lucru a controlerului

Zonele de activare a controlerului într-o formă sau alta sunt prezentate în figura 7.175 pentru un system de axe $eO\dot{y}$.

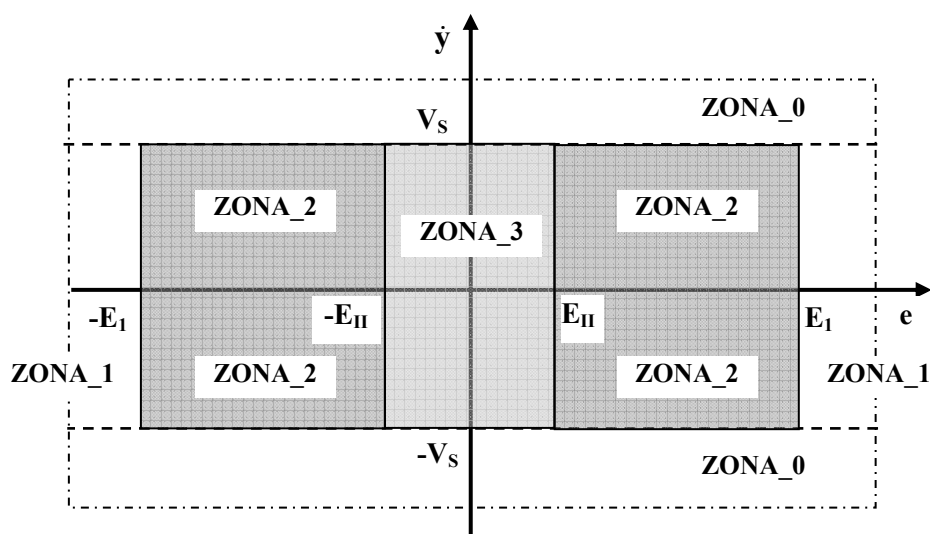


Fig. 7.175 Zonele de activare a controlerului

Viteza V_s reprezintă valoarea de referință determinată experimental pentru delimitarea regimului static și a celui dinamic. În zona 0 este activă funcționarea în control proporțional P. În zona 1 se aplică controlul prin impulsuri iar în zona 2, controlul prin semnal rampă.

Mersul în gol sau cursa moartă (backlash) este un alt mod de manifestare a neliniarității în sistemele tehnice fiind prezent în sistemele mecanice și cele hidraulice. Valoarea acestuia este crescătoare cu uzura componentelor sistemului. Cu toate că o valoare minimă trebuie să existe în angrenajele ce lucrează la temperaturi înalte, prezența lui induce în general oscilații în sistem cu implicații negative asupra controlului.

7.7. Checklist-ul în mecatronică

Aspectele ce trebuie abordate ca și specificație pentru proiect se obțin ca o construcție individuală sau de grup. Toate acestea se constituie într-o listă de cerințe (checklist) care trebuie analizate în etapa de proiectare (fig.7.176.).

Printr-o activitate de grup susținută în diverse momente de timp, multe probleme simple din sistemele mecatronice pot identificate din timp și ocolite printr-o organizare eficientă.

Fiecare dintre problemele incluse în lista de specificație merită o atenție deosebită și suportă la rândul său o dezvoltare separată.

Referitor la *gradele de libertate* trebuie specificat că noțiunea se abordează din punct de vedere mecanic și urmărește clarificarea aspectelor legate de posibilitatea deplasării în spațiu a unui punct material. Se poate considera că trebuie răspuns la o serie de întrebări:

- care este numărul minim de mișcări decuplate și acționate necesare pentru a rezolva problema în cauză ?
- este necesară energie de antrenare pentru toate aceste mișcări?

se poate accepta o acționare pasivă pentru oricare dintre aceste mișcări: gravitațional, prin elemente și cuple cinematice elastice, rezistența aerului etc.?

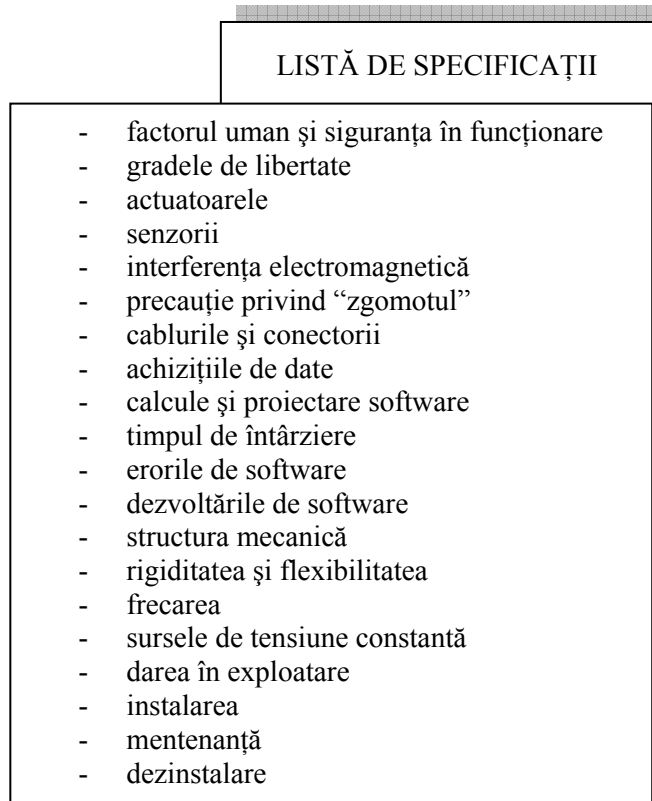


Fig. 7.176 Listă de specificații

- trebuie să existe o aliniere a două componente sau o conectare a acestora ? Cum se preîntâmpină o abatere de coaxialitate între componentele respective?
- cum se pot anula jocurile dintre elemente ? Care sunt ajustajele necesare ?

Pentru oricare dintre **actuatorul** utilizat proiectantul trebuie să definească sau să măsoare:

- forța generalizată (forță sau cuplu) ce trebuie dezvoltată;
- dependența forței generalizate motoare de viteză (caracteristica mecanică motoare);
- variația forței generalizate cu poziția punctului de aplicație;
- viteza impusă și eventualele restricții suplimentare referitoare la aceasta (dependentă de poziție, de solicitare / sarcină etc.) ;
- precizia impusă și eventualele restricții suplimentare referitoare la aceasta (poziție, dependență de viteză etc.);
- inerția efectivă a sistemului, rigiditatea sau flexibilitatea a acestuia, frecarea sau amortizarea;
- domeniul mișcării;
- sarcina constantă sau variabilă, alta decât inerția, din sistem.

Proiectantul trebuie să estimeze în plus:

- care sunt limitele în proiectul dat (de ex.: raportul putere / forță / cuplu capabile și cerințele putere / forță / cuplu impuse pentru fiecare actuator);
- se poate utiliza o aceeași formă de energie pentru toate sistemele de acționare (de ex. energia pneumatică) ?
- se poate reproiecta actuatorul pentru mobilitatea care nu respectă cerința anterioară (de ex.: actuatorul nu utilizează energia pneumatică) ?
- se poate renunța la elementele senzoriale pentru sistemul de acționare ? Se poate utiliza un STOP mecanic sau dependent de timp ? Se poate utiliza un motor pas cu pas pentru a elimina necesitatea unui traductor de poziție ?
- sunt disponibile pentru actuatore facilități de utilizare a dispozitivelor absorbante de energie (pentru coliziune, șoc) ?
- care sunt cerințele impuse actuatorului de menținere a elementului condus într-o poziție dată ? Care sunt posibilitățile de aplicare automată a frânării la apariția unor defecțiuni ale sistemului de alimentare ? Care sunt limitele admise pentru deplasările elementului condus pe intervalul de timp determinat de apariția defecțiunii și momentul realizării frânării ?
- care sunt posibilitățile de control a mișcării pentru fiecare actuator astfel încât să fie eliminate efectele tranzitorii ?
- care este elasticitatea din sistem (compresibilitatea fluidului, elasticitatea mecanică în transmisie etc.) ? Se poate reduce această elasticitate ? Care sunt variantele ?
- care sunt “jocurile” din sistem ? Cum afectează aceste neliniarități controlul sistemului ?
- care sunt consecințele defectării actuatorului ? Cum poate fi detectat un defect sau o funcționare în afara parametrilor impuși în mod automat ? Care sunt alte posibilități disponibile de detectare a defectelor ? Există posibilități de simulare a unei funcționări anormale (în afara parametrilor impuși) a actuatorului ?

Senzorii / sistemul de achiziții constituie una dintre componentele esențiale ale sistemului mecatronic pe care proiectantul trebuie să le analizeze pentru a stabili:

- care sunt senzorii necesari în conversia parametrilor fizici – semnal electric ?
- care sunt condiționările de semnal necesare: amplificare, filtrare etc. ?
- care este forma de lucru: analog sau digital ?
- care este forma de transfer a informației: serial, paralel ?
- care este banda de frecvență necesară pentru semnalele de intrare achiziționate din sistem ?
- care sunt condițiile de eșantionare necesare pentru achiziția întregii bande de frecvență ? Sunt utilizate filtre anti-alias ?
- Care este siguranța funcționării corecte a senzorilor ? Există posibilitatea detectării funcționării incorecte a senzorilor ? Cum sunt eliminate valorile eronate ?
- Există posibilitatea fuziunii informației ?
- Toate elementele senzoriale sunt necesare ? Se pot elimina unul sau mai multe elemente senzoriale ?

- Care sunt posibilitățile de măsurare directă / indirectă ? Care este cea mai bună locație pentru un sensor ?
- Există posibilitatea utilizării senzorilor cu semnal de ieșire standard discret ? Se pot utiliza acești senzori pentru parametrii continui: semnale modulate în lățime, semnale de frecvență variabilă, traductoare numerice ?
- Care sunt influențele negative în achiziția semnalelor provocate de uzură, vibrații, câmpurile termice exterioare, radiații etc. ?
- Care sunt limitele admise în proiectare pentru elementele senzoriale ?

Fenomenul de **interferență electromagnetică** impune o atenție deosebită. Noțiunea de *interferență electromagnetică* s-a introdus ca o necesitate în analiza unor semnale utile în care recepționarea este afectată sau chiar imposibilă din cauza energiei electromagnetice din mediul înconjurător. În conformitate cu standardul VDE 0870 interferența electromagnetică se definește ca fiind “ acțiunea unor fenomene electromagnetice asupra circuitelor și aparatelor electrice, asupra sistemelor fizice abiotice sau biotice”.

Prin *imunitate electromagnetică* se înțelege capacitatea unui sistem electric / electronic de a funcționa normal fără a-și degrada parametrii funcționali în prezența perturbației electromagnetice. *Susceptibilitatea la perturbații* este inabilitatea sistemului de a funcționa normal din cauza perturbațiilor.

În aprecierea și analiza influențelor perturbatoare se utilizează o reprezentare a nivelelor:

- de tensiune $u_{dB} = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}$, unde valoarea de referință este $U_0 = 1 \mu V$;
- de putere $p_{dB} = 10 \lg \frac{P_x}{P_0}$, unde valoarea de referință este $P_0 = 1 pW$.

Pentru aprecierea interferenței electromagnetice dintre diverse sisteme, se utilizează parametrii de compatibilitate și perturbație ai mediului: *nivelul semnalului util*, *nivelul pragului de perturbații (valoarea minimă a semnalului util sub care dacă se scade se face simțită prezența perturbațiilor)*, *nivelul de perturbații funcționale*, *nivelul de zgomot galactic*, *intervalul de compatibilitate electromagnetică (diferența în dB dintre nivelul semnalului util și nivelul pragului de perturbații reglementat pentru o anumită configurație de sistem)*.

Marginea statică de compatibilitate caracterizează influența electromagnetică dintre sisteme din punctul de vedere al amplitudinilor semnalelor utile și perturbatoare. Un sistem este compatibil dacă

$$M_s = \frac{A_{map}}{A_p} > 1 \quad (7.61)$$

unde: A_{map} este valoarea maximă admisibilă a perturbației pentru asigurarea compatibilității; A_p este nivelul real al perturbațiilor.

În tehnica măsurărilor, a transmisiilor radio, TV, telefonie se consideră acceptabile următoarele valori ale raportului semnal – zgomot:

- > 40 dB pentru semnale analogice (pentru erori de măsurare sub 1 %);

- 20 dB – 60 dB pentru receptoare radio, TV;
- ~ 10 dB pentru transmisiile telefonice.

Proiectarea unui sistem mecatronic de calitate trebuie să ia în considerare aceste aspecte. Printre altele proiectantul trebuie să admită un nivel de lucru deasupra nivelului stabilit prin standardul de imunitate. Trebuie să se aibă în vedere de asemenea efectul de îmbătrânire a componentelor din sistem astfel că proiectarea sistemului din punct de vedere al emisiei de perturbație trebuie făcută la un nivel sub cel standard.

Trebuie să se aibă în vedere și să se facă diferența calitativă a următoarelor noțiuni:

- *Legarea la pământ* (earth, ground) – care definește legarea unui sistem printr-un conductor electric la priza de împământare în scopul limitării supratensiunilor accidentale;
- *Legarea la masă* (signal ground, signal common) – care definește legarea printr-un conductor la punctul de referință, de potențial 0 V.

Un rol important în proiectarea corectă a sistemului mecatronic îl joacă cunoașterea normelor pentru certificarea produselor: *norme de bază, norme generice și norme de produs*. Normele de produs conțin, pe lângă condițiile și cerințele din nomele generice, referiri cu privire la metodele, succesiunea, secvențele, operațiile de efectuare și de evaluare a rezultatelor pentru un tip de produs sau o clasă de produse.

Proiectantul trebuie să se aibă în vedere dacă există cerințe limitative referitoare la “zgomot” pe oricare semnal din sistem. În plus trebuie să se identifice sursele de zgomot electromagnetic:

- există surse de putere de c.a. ? Care este frecvența sursei (50 Hz, 60 Hz) ?
- sistemul conține motoare electrice ?
- există amplificatoare de comutație ?
- există circuite redresoare necomandate ?
- există componente de electronică de putere (de ex. invertoare) sau surse de putere variabilă ?
- există telefoane mobile sau transmisii radio ?
- sistemul conține bobine cu miez feromagnetic, relee electromagnetice ?
- există surse de lumină fluorescentă, comutator de fază ?
- sistemul dispune de display, calculatoare ?
- există circuite logice de mare viteză ?
- există oscilatoare în sisteme ?
- există procese tehnologice care folosesc arcul electric (cupatoare, instalații de sudare etc.), instalații electrice de electroliză ?

Într-o succesiune logică a modului de lucru, proiectantul trebuie să identifice soluții corespunzătoare pentru limitarea zgomotului electromagnetic pentru fiecare semnal de intrare. În plus trebuie să se precizeze dacă:

- există un singur punct de masă de referință ? Există puncte multiple ?
- toate firele sunt protejate, ecranate (dacă este cazul) ?
- conductoarele flexibile au posibilități largi de mișcare (în cazul vibrațiilor) ? Capacitatea variabilă creată de fire poate afecta semnalul de intrare.
- există posibilitatea utilizării unui filtru digital pentru a reduce zgomotul pe semnalele de intrare ?

Cablurile și conectorii din schemele realizate sunt un alt punct de interes în realizarea proiectului. Trebuie să se răspundă astfel la o serie de probleme cheie:

- au fost eliminate toate conexiunile care nu sunt necesare ? Se pot reduce numărul de conexiuni prin reducerea numărului de module ?
- pot fi eliminate firele de legătură prin utilizarea transmisiei radio, a interfeței seriale sau a fibrelor optice ?
- se pot utiliza transmisiile de date pe frecvență înaltă pe baza cablurilor de alimentare cu energie ?
- au fost eliminate toate mobilitățile inutile ale cablurilor ? Se utilizează cabluri de calitate ? Care este influența costului ?
- au fost reduse / eliminate solicitările de încovoire pentru toate cablurile din instalație ? S-a analizat influența razei de încovoire ? Care sunt parametrii de calitate ai cablurilor referitor la durata de viață – cicluri de solicitare ? Care sunt implicațiile referitoare la legătura cost – defecte ?
- au fost protejate toate cablurile împotriva vibrațiilor ?
- s-au utilizat conectori de calitate ? Se poate utiliza conectorul monobloc (injectat) pentru a crește fiabilitatea sistemului ? Există teste de verificare pentru toate cablurile și conectorii utilizați ? Care sunt procedurile de schimbarea cablurilor ?

Proiectarea **software-lui și analiza erorilor software** este o nouă problemă centrală de maximă importanță pentru sistemele mecatronice. Problemele abordate sunt specifice tehnologiei informației și urmăresc găsirea răspunsurilor la întrebări de genul:

- Ce se întâmplă cu sistemul dacă alimentarea cu energie se întrerupe ? La revenirea alimentării cu energie în cât timp software-ul pentru control devine operațional ?
- Există posibilitatea centralizării operațiilor de calcul într-un singur procesor ? Care sunt posibilitățile de optimizare a organizării software-lui pentru creșterea fiabilității sistemului și a vitezi de lucru ?
- Care sunt posibilitățile de configurare a software-lui pentru hardware-ul instalat ? Care parametri pot fi setați prin măsurările efectuate ?
- Este posibil să detectăm erorile software ? Sunt suficiente informații pentru a putea separa erorile software de erorile de intrare în sistem ?
- Cum este posibilă detectarea erorilor software în oricare modul ?
- Cum sunt detectabile erorile de intrare a datelor ?
- Ce se constituie în eroare și ce se constituie într-o defecțiune ?
- Cum se poate distinge o eroare hardware de o eroare software ?
- Cum poate fi asigurat procesul proiectat la o detecție software sau hardware ?
- Poate transmite echipamentul în mod automat informații despre erorile / rateul software ?
- Este posibilă conectarea la internet a echipamentului și realizarea în mod automat a update – lui ?

Temporizările / întârzierile (time delay) sunt o nouă provocare în fața proiectantului. Se caută răspunsuri la:

- Cât de repede poate software-ul să răspundă la evenimentele externe ? Care sunt temporizările maxim admisibile ?

- Care sunt întârzierile intrinseci în procesul de măsurare ?
- Care este intervalul de timp dintre momentul achiziției informației (la sensor) și momentul recepționării acesteia la sistemul de calcul ?
- Care este întârzierea între momentul setării valorii de ieșire prin software și momentul recepționării semnalului la actuator ?
- Care este constanta de timp a actuatorilor ?

Un capitol aparte îl reprezintă partea mecanică a sistemului mecatronic proiectat. Aceasta se datorează neliniarităților multiple introduse. Din această categorie face parte și fenomenul de uzare și frecare cu întrebări și probleme specifice:

- au fost identificate toate componentele mecanice din sistem care sunt afectate de uzură: rulmenți, frâne, plăcuță de frână, lagăr de alunecare, roți dințate, limitatoare de cursă, conectori ?
- estimați efectul uzării în fiecare componentă în parte. Care este efectul creșterii sau scăderii coeficientului de frecare din sistem ?
- care sunt posibilitățile de reducere a efectelor uzării printr-o lubrificație a componentelor în cauză ?
- există posibilitățile de măsurare automată a coeficientului de frecare sau a jocului din sistem ? Se pot estima și indica în mod automat activitățile de mentenanță ?
- decide care lubrificare este recomandată pentru fiecare punct specific din sistem;
- analizează fenomenul de frecare pentru a reduce zgomotul și vibrațiile din sistem;

Darea în exploatare, instalarea, mentenanța și dezinstalarea sistemului mecatronic sunt obligatorii a fi analizate:

- Toate componentele sistemului au fost testate ? Au fost respectate / prevăzute specificații pentru punerea în funcțiune ? Lista parametrilor de funcționare a sistemului este în detaliu ?
- A fost stabilită lista componentelor, materialelor necesare instalării produsului mecatronic ? A fost stabilită și descrisă pe etape procedura de instalare ? Poate fi simplificată această procedură prin eliminarea unor etape ?
- Care sunt competențele și nivelele de calificare necesare pentru instalarea produsului ? Există necesitatea unor activități / competențe de specialitate restrânsă (inclusiv aparate, consumabile, software etc.) ?
- Care este costul instalării ?
- A fost stabilită lista operațiilor de mentenanță și perioadele de realizare ?
- Care sunt competențele / calificările necesare pentru personalul de mentenanță ?
- Care este lista cu piesele de schimb ?
- Care este procedura de înlocuire a componentelor defecte ? Care este logistica necesară: aparate, scule, consumabile etc. ?
- Care este costul mentenanței ?
- Care sunt competențele / calificările personalului specificat pentru dezinstalarea produsului ? Care este logistica necesară acestor operații ?
- Care sunt secvențele în procesul de dezasamblare ?
- Care sunt componentele recuperabile ? Care sunt componentele reciclabile ?

- Care sunt componentele care pot afecta mediul înconjurător ? Care sunt etapele de eliminare / stocare acestora ? Ce condiții speciale se impun ?

7.8. Concluzii

O serie de metode abordate și prezentate în capitolele referitoare la proiectare în general se aplică și în tratarea mecatronică. Astfel analiza fiabilității și tehnica securității este analizată pentru sistemul mecatronic de proiectat în concordanță cu cele precizate în capitolul 5. Se au în vedere metode de analiză a efectelor produse ca urmare a defectelor (FMEA), analiza hazardului, analiza sistemelor tolerante la defecte (redundanță hardware și respectiv analitică – bazată pe modelul procesului), analiza defectelor și metodelor de reconfigurare.

În literatura de specialitate se consideră cinci etape importante ale procesului de proiectare mecatronică pornind de la sistemul pur mecanic și finalizând prin sistemul integrat mecatronică (fig.7.177) [7.41].

	Mecanică fină	Elemente mecanice	Mașini
Sistem pur mecanic	●	●	●
Adiționare de elemente senzoriale, actuatori, microelectronică, control	↓ ○	↓ ○	↓ ○
Integrare prin componente (integrare hardware)	↓ ○	↓ ○	↓ ○
Integrare prin procesarea informației (integrare software)	↓ ○	↓ ○	↓ ○
Reproiectare a sistemului mecanic	↓ ○	↓ ○	↓ ○
Creare de efecte sinergice	↓ ○	↓ ○	↓ ○
Sistem integral mecatronic	↓ ●	↓ ●	↓ ●
Exemple	- senzori - actuatori - componente multimedia	- amortizoare - cuplaje	- roboți - mașini unelte

Fig. 7.177 Etape ale proiectării sistemului mecatronic

Dimensiunea geometrică a cercului – mare, medie, mică – relevă influența etapei respective în dezvoltarea sistemului mecatronic.

Generarea efectelor sinergice au un rol esențial în proiectarea mecatronică și se bazează pe:

- utilizarea unei componente pentru funcții multiple;
- utilizarea modelului matematic al procesului pentru control și detectarea defectelor;
- utilizarea semnalelor pentru actuator în procesul de estimare a parametrilor din sistemul de acționare prin acordarea unei componente atât a funcției de actuator cât și de senzor;
- creșterea parametrilor dinamici și de precizie prin buclă de reacție în sistemele de control;
- utilizarea masei unor subansamble pentru absorbția vibrațiilor unor module principale;
- creșterea confortului și a siguranței

Utilizarea metodologiilor speciale – CAD, modelare și simulare, experimentare – sunt aspecte esențiale în proiectarea sistemelor mecatronice.

7.9. Bibliografia capitolului 7

- [7.1]Amberkar, S., s.a., A comprehensive Hazard Analysis Technique for Safety – Critical Automotive Systems, SAE 2001 World Congress Detroit, Michigan, 2001
- [7.2]Asada, H.H., Mascaro, S., Chang, K.-W., Human Machine-Interface and Interactive Control. Part I: Instrumented Nails and Virtual Switch Panels, Progress Report, March 31, 1998
- [7.3]Balsiger, W., Intelligent Actuators for Auto. Climate Control Applications, (-)
- [7.4]Barth, O., Harmonic piezodrives – miniaturized servo, Mechatronics, 10 (2000), pp.545-554
- [7.5]Bernardi, M., Bley, H., Schmitt, B., Integrating a Mechatronics-oriented Development Process into a Development Department, www.cam.uni-saarland.de/publikationen/paper/cirp_budapest_2004.pdf
- [7.6]Bernardi, M., Bley, H., Schmidt, B., New approaches for developing mechatronical products in multidisciplinary teamwork, 35th CIRP Intern. Sem. On Manufacturing Systems, 2002, Seul (Korea)
- [7.7]Bernstein, D. S., Enhancing Undergraduate Control Education, IEEE Control Systems, Oct. 1999, p.40-43
- [7.8]Bouzit, M, Burdea, G., Popescu, G., The Rutgers Master II – New Design Force – Feedback Glove, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, vol.7, no.2, june 2002, p. 256
- [7.9][Bradley] Bradley, D.A., Bracewell, R.H., Chaplin, R.V., Computer Support for Engineering Design – The Schemebuilder Project, (stalb92.pdf)
- [7.10]Breitinger, R., Losungskatalogue fur Sensoren, Teil I: Federfuehrungen und Federgelenke, Krausskopf Verlag, Mainz,1976
- [7.11]Breitinger, R., Losungskatalogue fur Sensoren, Teil II: Analoge fluidische Sensoren, Krausskopf Verlag, Mainz,1976
- [7.12]Burns, J., Chengalva, S., Integrated Motor Drive Unit A Mechatronics Packaging

- Concept for Automotive Electronics, Delphi Delco Electronics Systems, <http://www.delphi.com/pdf/techpapers/2000-01-0132.pdf>
- [7.13]Buur, J., A Theoretical Approach to MECHATRONICS DESIGN, Institute for Engineering Design (Tech. University of Denmark), 1990
- [7.14]Buzdugan, Ghe., s.a., Măsurarea vibrațiilor, Ed. Academiei, București, 1979
- [7.15]Carlson, J.D., Jolly, M.R., MR fluid, foam and elastomer devices, *Mechatronics* 10 (2000), pp.555-569
- [7.16]Choi, S.B., Kim, H.K., Lim, S.C., Park, Y.P., Position tracking control of an optical pick-up device using piezoceramic actuator, *Mechatronics* 11 (2001), pp.691-705
- [7.17]Choi, S.-B., Park, D.-W., Cho, M.-S., Position control of a parallel link manipulator using electro-rheological valve actuators, *Mechatronics* 11 (2001), pp.157-181
- [7.18]Choi, S.B., Han, Y.M., Kim, J.H., Cheong, C.C., Force tracking control of a flexible gripper featuring shape memory alloys actuators, *Mechatronics* 11 (2001), pp.677-690
- [7.19]Chung, D.-W., s.a., Nonlinear Friction Compensator Design for Mechatronics Servo Systems Using Neural Network, *Trans. on Control, Automation and Systems Engineering*, vol.3, no.2, june, 2001, p.111-116
- [7.20]Counsell, J., Porter, I., Dawson, D., Duffy, M., Schemebuilder: computer aided knowledge based design of mechatroni systems, (-)
- [7.21]Cruz-Rivera, J.L., A Project Oriented Approach to Teaching Software- Hardware Integration of Microcontroller-Based Systems, <http://fie.engrng.pitt.edu /fie98/papers/1064.pdf>
- [7.22]Dolga, V., Teodorescu, A., Acțiunea electrică a roboților industriali, Editura Eurobit Timișoara, ISBN 973-9441-73-4, 1999
- [7.23]Dolga, V., Dolga, L., Design and evaluation in mechatronics, *Applied Math. and Mechanics*, 49, vol.II, 2006, pag.269-274
- [7.24]Dolga, V., About the intelligent mouvement of a mobile robot adapted for cross-country, *Buletinul Inst. Politehnic Iași*, fasc. 7A, tomul LII, (LVI), 2006, p.201-206
- [7.25]Dolga, V., s.a., Mechatronic design for autonomous mobile systems, *Proc. 15th Intern. Workshop RAAD 2006*, p.189
- [7.26]Dolga, V., About the computer aided design of the torque sensors, *RADMI 2003, Intern. Conf. Research and Development in Mechanical Industry*, Podgorica (Serbia), 2003
- [7.27] Dolga, L., Dolga, V., New approaches in designing mechatronic products, *Anaals of the Oradea Univ. Fasc. of Manag. and Tech. Engineering*, vol.III, p.67, 2004
- [7.28]Dolga, V., Dolga, L., Modelling and simulation of mechatronic systems, *Rev. Mecatronică*, nr.1, 2004, p.34-39
- [7.29]Dumitriu, A., *Mecatronică*, vol.I, Editura Univ. Transilvania, Brașov, 2006
- [7.30]Elmenreich, W., Pitzek, S., *Smart Transducers – Principles, Communications and Configuration*, TU Vienna, Austria
- [7.31]Elmenreich, W., Haidinger, W., Kopetz, H., *Interface Design for Smart Transducers*, TU Vienna, Austria
- [7.32]Eykhoff, P., *Identificarea sistemelor*, Editura Tehnică, București, 1977

- [7.33]Gafițanu, M., s.a., Organe de mașini (vol.I), Editura Tehnică București, 1999
- [7.34]Gausemeier, J., From Mechatronics to Self-optimizing Concepts and Structures in Mechanical Engineering, http://www.hni.uni-paderborn.de/rip/sonstiges/From_Mechatronics_To_Selfoptimization_Gausemeier.pdf
- [7.35]Gausemeier, J., From Mechatronics to Self-optimizing, http://www.sfb614.de/doku/from_mechatronics_to_self-optimization.pdf
- [7.36]Gligor, O., Structuri mecatronice, Editura Politehnica, Timișoara, 2003
- [7.37]Gilberston, R.G., Busch, J.D., A Survey of Micro-Actuator Technologies for Future Spacecraft Missions, The Journal of the British Interplanetary Society, vol.49, pp. 129-138, 1996
- [7.38]Giurgiutiu, V., Lyshevski, S.E., Micromechatronics, CRC Press, Inc.2004, ISBN: 0-8493-1593-X
- [7.39]Hyass, P.B., Tesar, D., Condition Based Maintenance for Intelligent electromechanical Actuators, Robotics Research Group, Univ. of Texas at Austin, 2004
- [7.40]Iancu, E., Mircea, M., Detectarea și izolarea defectelor în cadrul sistemelor dinamice, www.et.utt.ro/psc/works03/PSC41.PDF
- [7.41]Isermann, R., Mechatronische Systeme, Springer Verlag, Berlin, 1999
- [7.42]Isermann, R., A review on detection and diagnosis illustrate that process faults can be detected when based on the estimation of unmeasurable process parameters and state variables. Automatica: IFAC Journal, 20(4):387-404, 1989.
- [7.43]Isermann, R., Diagnosis methods for electromechanical components, (-)
- [7.44]Janocha, H., New Actuators from the Point of View of Mechatronics, Mechatronics 6, no.5, 1996, pp.497-506
- [7.45]Kandasamy, N., Time-constrained Failure Diagnosis in Distributed Embedded Systems:Application to Actuator Diagnosis, IEEE Trans. On Parallel and Distributed Systems, vol.16, no.3, p.258 – 270
- [7.46]Kim, M.-S., Chung, S.C., Integrated Design Methodology for High-Precision / Speed Servomechanisms, (-)
- [7.47]Kiriy, E., Buehler, M., Three-state Extended Kalman Filter for Mobile Robot Localization, CIM Technical Report TR-CIM 05.07, McGill University, Montreal, Canada
- [7.48]Kirschman, C.F., Fadel, G.M., Jara-Almonte, C.C.J., Classifying Functions for Mechanical Design, Proc. Of ASME Design Eng., 1996, Irvine, California
- [7.49]Kohl, M., Fluidic actuation by electrorheological microdevices, Mechatronics 10 (2000), pp.583-594
- [7.50]Kuhnen, K., Schommer, M., Janocha, H., Design of a smart magnetostrictive actuator by sensing the variation of magnetic flux, http://sensors-transducers.globalspec.com/Industrial-Directory/magnetostrictive_actuator
- [7.51]Larses, O., Factors influencing dependable modular architectures for automotive applications, Technical Report 2005, ISSN 1400-1179, Royal Inst. Of Technology Stockholm
- [7.52]Maniu, I., M., Dolga, V., Sisteme de acționare, Editura Politehnica, ISBN 973-625-075-X, Timișoara, 2003
- [7.53]Mavroidis, C., Pfeiffer, Ch., Mosley, M., Conventional Actuators, Shape Memory Alloys and Electrorheological Fluids, www.resonancepub.com/actuator.htm

- [7.54] Mătieș, V., Mândru, D., Tătar, O., Mătieș, M., Csibi, V., Actuatori în mecatronică, Editura Mediamira, Cluj Napoca, 2000
- [7.55] McBean, J., Breazeal, C., Voice Coil Actuators for Human-Robot Interaction, robotic.media.mit.edu/Papers/McBean-Iros04.pdf
- [7.56] Mera, J.M., Vera, C., Felez, J., Influence of the roll Axis Consideration in Vehicle Dynamics. Bond Graph Models, (-)
- [7.57] Muller, A., Plankensteiner, M., Fault-Tolerant Components versus Fault-Tolerant Systems, (-)
- [7.58] Myers, A. B., Burns, J.H., Ratell, M. J., Embedded Electronics in Electro-Mechanical Systems for Automotive Applications, Delphi Delco Electronics Systems, <http://www.delphi.com/pdf/techpapers/2001-01-0691.pdf>
- [7.59] Naidu, M., s.a., Arc Fault Detection Schemes for an Automotive 42 V Wire Harness, SAE Tech. Paper Series, 2005-01-1742
- [7.60] Papadopoulos, Y., Grante, C., Evolving car designs using model-based automated safety analysis and optimization techniques, The Journal of Systems and Software, 2004
- [7.61] Roos, F., Wikander, J., Mechatronics design and optimization methodology, OST-05 Symp. On Machine Design, oct.2005
- [7.62] Mera, J.M., Vera, C., Felez, J., Influence of the Roll Axis Consideration in Vehicle Dynamics. Bond Graph Models, (-)
- [7.63] Perrin, D.P., Wagner, C.R., Geisse, N., Howe, R.D., Parker, K.K., - Haptic Interface for Cardiac Cell Exploration Using AFM, Div. of Eng. And App.Sciences, Harvard University, USA
- [7.64] Pons, J.L., Actuators in motion control systems: mechatronics în, Emerging Actuator Technologies: A Micromechatronic Approach, John Wiley & Sons, Ltd , ISBN 0-470-09197, media.wiley.com/product_data/excerpt/75/04700919/0470091975.pdf
- [7.65] Pozzi, M., King, T., Piezoelectric modelling for an impact actuator, Mechatronics 13 (2003), pp.553-570
- [7.66] Riascos, L.A.M., Moscato, L.A., Miyagi, P.E., Detection and Treatment of Faults in Manufacturing Systems Based on Petri Nets, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., July 2004, no.3, p.280 - 289
- [7.67] Rojas, R., The Kalman Filter, <http://robocup.mi.fu-berlin.de/buch/kalman.pdf>
- [7.68] Roozbeh, I.-Z., Lectures Notes – Practical Approach to Reliability, Safety and Active Fault – tolerance, Aalborg University (Denmark), 2000
- [7.69] Ruh-Hua, Wu, Pi-Cheng, Tung, Fast Pointing Control for Systems with Stick-Slip Friction, Trans. ASME, vol.126, p. 614 – 626, sept.2004,
- [7.70] Salustri, F.A., Morphological Chart, [http:// deed.ryerson.ca/x/bin/xiki/view/learning/MorphologicalChart](http://deed.ryerson.ca/x/bin/xiki/view/learning/MorphologicalChart)
- [7.71] Scruggs, J.T., Structural control using regenerative force actuation networks, Teză de doctorat, Pasadena (California), 2004
- [7.72] Shin, H.-C., Choi, S.-B., Position control of a two-link flexible manipulator featuring piezoelectric actuators and sensors, Mechatronics 11 (2001), pp.701-729
- [7.73] Shetty, D., Kolk, A.R., Mechatronics System Design, Pws Publishing Company, Boston, 2000

- [7.74]Smith, R.C., Well-posedness issues concerning a magnetostrictive actuator model, Proceedings ESAIM, vol.4, 1998, pp.269-283, <http://www.emath.fr/proc/vol.4/>
- [7.75]Song, K.T., Chen, Y.H., Development of Multiple Sensor Fusion Experiments for Mechatronics Education, Proc. Natl. Sci. Coun. ROC., vol.9, no.2, 1999, pp.56-64
- [7.76]Tătar, O., Mătieș, V., Mândru, D., Mini și microroboți, Editura Todesco, Cluj-Napoca, 2005
- [7.77]Thielicke, E., Obermeier, E., Microactuators and their technologies, Mechatronics 10 (2000), pp.431-455
- [7.78]Torres, A.M., Lecture on Engineering Design Methods, C.I. Center, Dept. of Mechanical Engineering, University of Puerto Rico, 2001
- [7.79]Warnecke, H.J., Lohr, G.H., Kiener, W., Montage-technik, Krausskopf Verlag, Mainz, 1975
- [7.80]Welch, G., Bishop, G., An Introduction to the Kalman Filter, <http://www.cs.unc.edu/~welch>
- [7.81]Zanella, M, Koch, T., Scharfeld, F., Development and Structuring of Mechatronic Systems, Exemplified by the Modular Vehicle X-mobile, (-)
- [7.82]Young-Lok Cha, Hitzmann, B., Ultrasonic Measurements and its Evaluation for the Monitoring of *Saccharomyces cerevisiae* Cultivation, Biautomation, 2004, vol.1, p.16
- [7.83]***, Learn about Plug and Play Smart Sensors, www.ni.com
- [7.84]***, Sensor plug & Play. The New Standard for Automated Sensor Measurements, www.ni.com
- [7.85]***, Designing a 1451.2 Smart Sensor, http://www.techonline.com/community/ed_resource/course/13399
- [7.86]***, ADuC812, http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/11291590ADuC812_e.pdf
- [7.87]***, Morphological Charts, http://www.betterproductdesign.net/tools/concept/morph_charts.htm
- [7.88]***, What is Man/Machine Interface?, <http://www.eit.ihk-edu.dk/subjects/mmi/intro.php#0>
- [7.89]***, A Compact 6-DOF Haptic Interface, <http://www.space.mech.tohoku.ac.jp/research/haptic/haptic-e.html>
- [7.90]***, The Human-Machine Interface (HMI) <http://www.iec.org/online/tutorials/hmi/topic01.html>
- [7.91]***, Generation of motion by piezo-electrical devices, www.piezomechanik.com/hp030530/introduction/intro100.htm
- [7.92]***, Definiții pe Web, în engleză, pentru Actuators, www.google.ro/search/actuators
- [7.93]***, Smart Materials, http://www.the-infoshop.com/study/ti4914_smart_materials.html
- [7.94]***, Electric piston, Mondo-tronics Inc., San Rafael (USA)
- [7.95]***, Motor Control Design Center, <http://www.microchip.com/stelleat>
- [7.96]***, definitions, <http://www.realtime-info.be/encyc/techno/terms/defini/otherdef>
- [7.97]***, Procedure for Identifying Permanent Magnet DC Motors, <http://mechatronics.me.vt.edu/book/Section3/motormodelling.html>

- [7.98] ***, Mechatronics Simulink Library, Copernicus Project CP93:10119,
- [7.99] ***, Detectarea și izolarea defectelor, http://automation.ucv.ro/pagina_old/pdf/curs/
- [7.100] ***, Conventional and Electronic Braking Systems, part.no. 1987722103, (Bosch), <http://www.boschautoparts.co.uk/tpDRSS1.asp?c=2&d=2>
- [7.101] ***, Mechatronics Systems Issues Checklist, <http://www.mech.uwa.edu.au/jpt/mecha/MD310/handouts/Mechatronics%20Issues%20Checklist.pdf>