

I. SISTEME DE REGLARE AUTOMATĂ

I.1 Noțiunea de sistem

În ansamblul ei, existența umană se datorează unei activități continue a omului, pentru asigurarea condițiilor de viață necesare perpetuării speciei.

Această activitate se desfășoară într-un ansamblu de fenomene ce caracterizează universul, fenomene pe care omul le constată, le observă, le interpretează și încearcă să le înțeleagă.

Pentru înțelegerea și interpretarea acestor fenomene înconjurătoare, în mijlocul cărora trebuie să viețuiască, omul a asociat acestora „mărimi” ce caracterizează evoluția spațio-temporală a acestora.

În acest proces al cunoașterii pe sine, precum a fenomenului care îl înconjoară, omul a urmărit și urmărește, evoluția în timp a unor mărimi caracteristice în raport cu evoluția altor mărimi, evidențiind astfel grupul mărimilor ce definesc „cauza” și grupul mărimilor ce definesc „efectul”. Observarea cauzelor și efectelor au condus la evidențierea unor legi ce caracterizează legăturile „cauză – efect” specifice fenomenelor.

Stabilirea unor legi ce caracterizează fenomenele naturale înconjurătoare, respectiv identificarea unor modele ale acestor fenomene, a permis omului o cunoaștere și interpretare aprofundată a acestora. Urmare a acestei cunoașteri și interpretări, s-a reușit dirijarea acestora în scopul creșterii nivelului de viață: reducerea eforturilor fizice, alături de creșterea calitativă a condițiilor de trai.

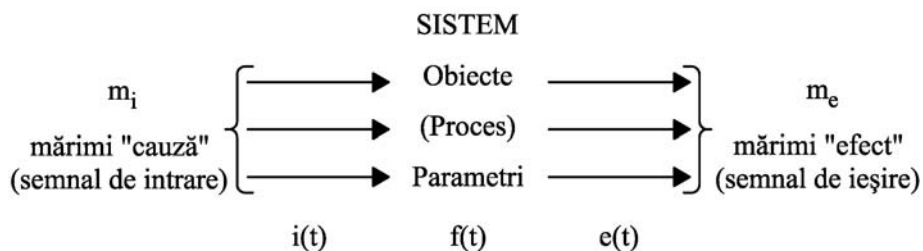


Fig. I.1.1. Ilustrarea noțiunii de sistem

Ansamblul de fenomene înconjurătoare omului, împreună cu interacțiunile dintre ele care guvernează viața și existența omului, constituie un ansamblu de sisteme, caracterizate prin mărimi de „cauză”(mărimi de intrare) și mărimi de „efect”(mărimi de ieșire) ce acționează în timp asupra unor obiecte (proces).

Prin definiție, noțiunea generală de *sistem este un ansamblu de elemente (principii, reguli, forțe etc.) dependente între ele și care formează un tot organizat, care pune ordine într-un domeniu de gândire teoretică, reglementează o activitate practică astfel încât aceasta să funcționeze potrivit scopului urmărit.*

Noțiunea de sistem la modul concret: sistemul este un model fizic realizabil al unui ansamblu de obiecte naturale sau create artificial de om, la care un grup al mărimilor m_i , care constituie cauza, determină un alt grup de mărimi m_e , ce constituie efectul (v.Fig. I.1.1.).

I.2 Clasificarea sistemelor automate

Clasificarea sistemelor se face în raport cu următoarele criterii mai importante:

a) Natura sistemului.

Clasificarea are în vedere trei grupe mari de sisteme:

- social-politice (sisteme sociale, sisteme de conducere, sisteme economice, juridice, filozofice);
- biologice (specifice fenomenelor din celulele sau organismele vii: sistemul nervos, sistemul limfatic, sistemul osos, ...);
- tehnice (mecanice, termice, electrice, electronice);
- fizice, fizico-chimice, matematice etc.

b) Complexitatea sistemului.

- simple (cu număr redus de obiecte, cu mărimi specifice puține);
- complexe (cu multe obiecte și mărimi specifice – multivariabile).

c) Forma mărimilor de intrare (semnale intrare) – se referă la comportarea deterministă sau aleatoare (stohastică) în raport cu timpul a acestora, rezultând sisteme:

- deterministe (cu intrări deterministe, adică mărimi de intrare care cauzează sigur desfășurarea procesului, în timp, după legi obiective, bine definite);
- aleatoare (întâmplătoare, care cauzează întâmplător, nesigur, desfășurarea procesului în timp);
- analogice;
- numerice.

d) Structura parametrilor care definesc obiectele (procesele) sau elementele sistemului.

Se pot grupa în sisteme cu parametrii:

- concentrați: în număr finit și definiți prin ecuații diferențiale ordinare;
- distribuiți: în număr finit → ecuații cu diferențe finite;
- variabili – în timp sau în raport cu alte mărimi ale sistemului;
- invariabili – în timp sau în raport cu alte mărimi ale sistemului.

**Parametru:* orice mărime care poate defini starea unui sistem de corpuri (timp, presiune, temperatură, volum etc.).

e) Dependența mărimilor de ieșire față de cele de intrare – se referă la comportarea de ansamblu a unui sistem conform principiului cauzalității „cauză – efect”:

- liniare, neliniare (cu coeficienți constanți sau nu) → ecuații diferențiale de ordin 1 sau mai mare ca 1;
- continue, discontinue (au continuitate în timp sau nu);
- cu memorie și fără memorie (dependența de timpul de referință).

f) Prezența sau absența circuitelor de reacție – dacă sistemele sunt prevăzute sau nu cu circuite de reacție:

- deschise (fără circuit de reacție);
- închise (cu circuit de reacție).

g) comportarea sistemului față de condițiile inițiale:

- sistem omogen → ecuație diferențială omogenă;
- sistem neomogen → ecuație diferențială neomogenă.

h) Concentrarea ierarhizată a funcțiilor de conducere: clasificare după complexitatea nivelelor de conducere ierarhizată.

Știința care se ocupă cu studiul proceselor tehnice, a legilor și aparatelor prin intermediul cărora se asigură conducerea proceselor tehnice, fără intervenția directă a omului poartă denumirea de **AUTOMATICĂ**.

Automatizarea reprezintă introducerea în practică a principiilor automatizării. În context se introduce noțiunea de sistem automat ca fiind ansamblul format din procesul tehnic condus și echipamentul de automatizare (de conducere), care asigură desfășurarea procesului după anumite legi. Echipamentul de automatizare este un ansamblu de obiecte materiale care asigură conducerea unui proces tehnic fără intervenția directă a omului.

I.3 Structuri de sisteme automate. Sistem de reglare automată.

Cu plecare de la definiția sistemului automat, putem asocia acestuia un sistem structural alcătuit din:

- procesul tehnic condus (PTC);
- procesul de conducere – echipamentul de automatizare (PEMC).

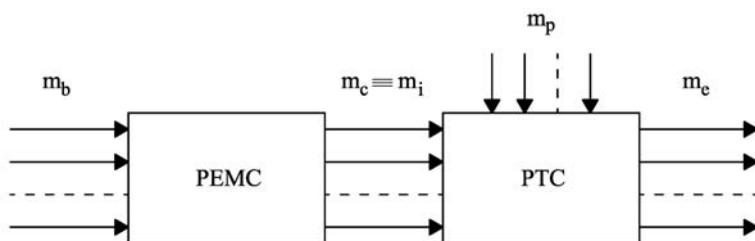


Fig. I.3.1. Reprezentarea unui sistem automat deschis

În Fig. I.3.1 este prezentat un sistem automat compus structural din procesul tehnic condus (PTC) și procesul de conducere (PEMC – procesul de elaborare a mărimilor de conducere). Procesul de conducere utilizează mărimile de bază „ m_b ” și în baza unor algoritmi de conducere, elaborează mărimile de comandă „ $m_c \equiv m_i$ ” pentru procesul condus. Urmare a transformărilor (energetice, masice, fizico-chimice etc.) petrecute în procesul tehnic condus, caracterizat de parametrii de funcționare, rezultă din aceste transformări, mărimile de ieșire „ m_e ”. Pe toată durata desfășurării transformărilor în PTC, desfășurate după legi general valabile, în condiții considerate normale, pot să apară perturbații. Acestea perturbă condițiile normale de funcționare ale PTC, având efect asupra mărimilor de ieșire.

Aceste perturbații sunt caracterizate de mărimile perturbatoare „ m_p ”. Mărimile de bază „ m_b ” se introduc în PEMC și pot fi foarte eterogene. Ca exemplu, în afara mărimilor specifice procesului condus, pot să fie și mărimi de referință ce condiționează încadrarea funcționării procesului tehnologic într-un regim optim tehnico-economic (randament, productivitate, preț de cost etc.) și mărimi de limită (turații, temperaturi, presiuni etc.), cu rol de a constrânge evoluția procesului condus, într-un regim nepericulos și admisibil sub raport funcțional. În Fig. I.3.1 este reprezentat un sistem automat deschis, adică PEMC nu ține cont la elaborarea „ m_c ”, de ceea ce s-a petrecut în PTC. Un sistem automat închis (v. Fig. I.3.2), spre deosebire de cel deschis, conține în plus un circuit de reacție care include elementele de reacție „ER; „ m_r ” sunt mărimile de reacție rezultate din prelucrarea mărimilor de ieșire din PTC, care în cazul unui proces tehnologic condus, pot corespunde pentru debite, temperaturi, presiuni concentrații chimice, turații, deplasări liniare sau unghiulare, tensiuni, curenți sau diferite funcții ale acestora (derivate sau integrale, în raport cu timpul).

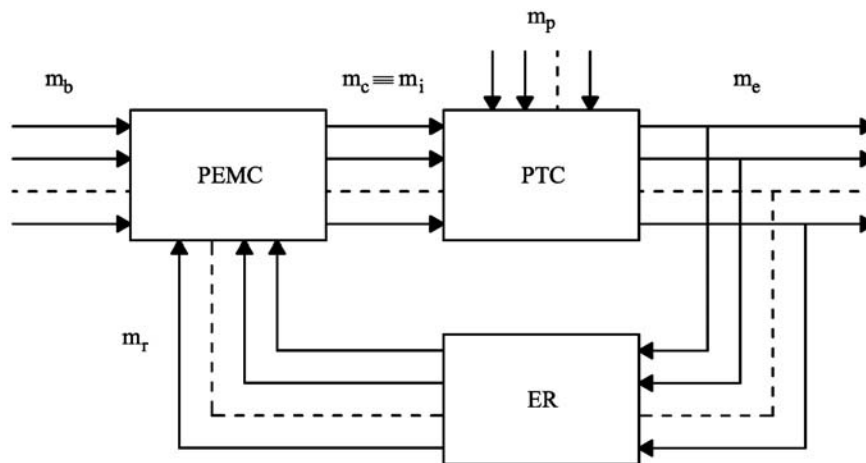


Fig. I.3.2. Reprezentarea unui sistem automat închis

Prin intermediul mărimilor de reacție se poate stabili cât mai exact, comportarea și evoluția PTC. Urmare a prelucrărilor „ m_b ” și „ m_r ” rezultă „ m_c ”, care se aplică prin „ m_i ” în PTC, asupra căruia mai acționează și mărimile „ m_p ”, de obicei cu efect dăunător asupra comportării și performanțelor PTC. Mărimile de ieșire „ m_e ” trebuie să asigure evoluția PTC într-un regim tehnico-economic, cu respectarea încadrării

componentelor „ m_e ” în anumite limite, impuse sub raport funcțional, drept urmare a modului în care „ m_e ” acționează asupra lui PTC, în prezența „ m_p ”.

Observație: Cu excepția mărimilor „ m_e ”, care prezintă o comportare deterministă (de tip analogic sau numeric), toate celelalte mărimi pot fi sau mărimi deterministe sau mărimi aleatoare, de tip continuu ori discontinuu și de formă analogică sau numerică.

Un exemplu de PEMC se prezintă în Fig. I.3.3 sub forma schematică a unui calculator de proces.

Ansamblul mărimilor de reacție „ m_r ” se aplică unui echipament periferic specializat de proces, prin intermediul unor blocuri de intrări pentru semnale analogice sau numerice.

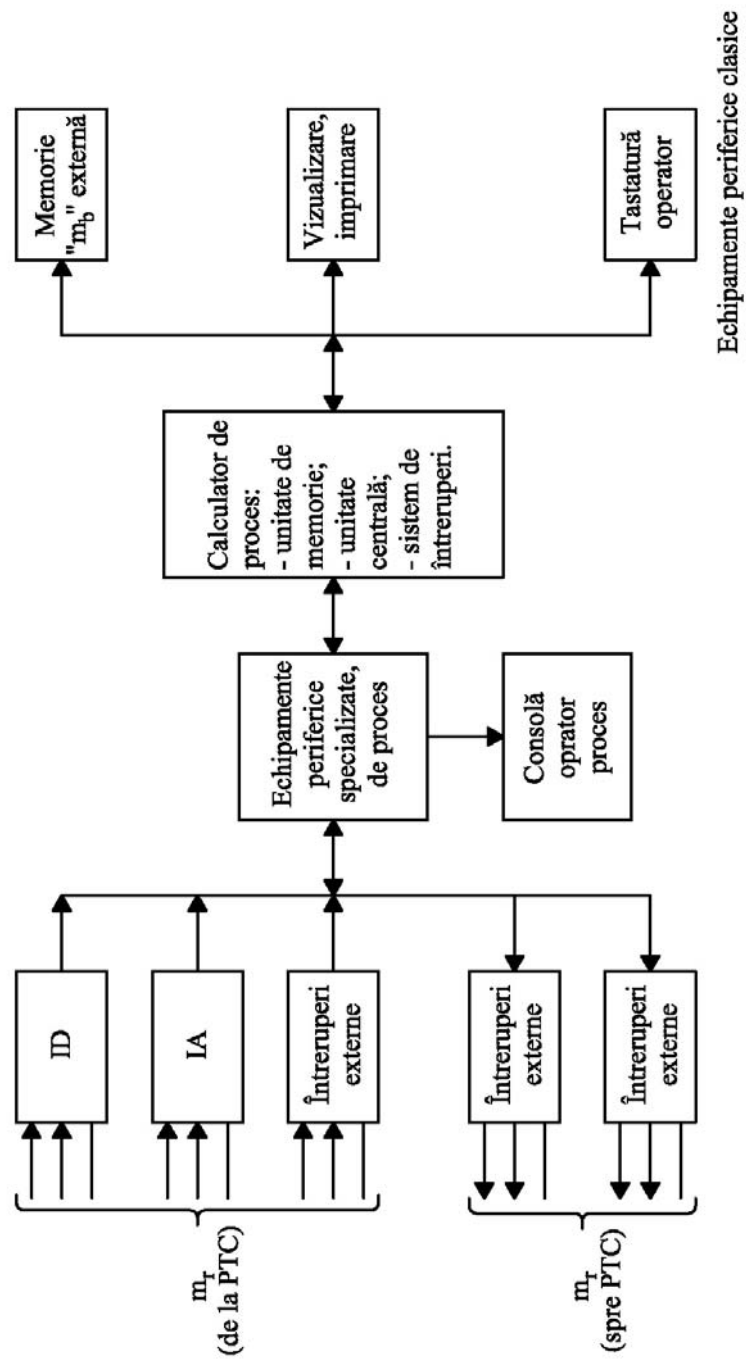


Fig. I.3.3. PEMC sub formă de calculator de proces

Calculatorul propriu-zis este format din unitatea de memorie, unitatea centrală și sistemul de întreruperi, care împreună cu echipamentele periferice clasice, în care se introduc și mărimile de bază „ m_b ” asigură elaborarea strategiei, a algoritmului și a evoluției în timp a tuturor mărimilor de comandă „ m_c ”, care se aplică PRC prin intermediul unor blocuri de ieșire pentru semnale de ieșire analogice și numerice .

În practica uzuală, schema prezentată în Fig. I.3.2 (pentru un sistem automat închis), are delimitarea prezentată în Fig. I.3.4, prin intermediul conturului cu linie întreruptă. În afara dreptunghiului punctat se realizează un proces de elaborare a „ m_c ” iar în interiorul acestui dreptunghi se realizează o anumită dependență – după o lege prestabilită – a lui „ m_c ” față de „ m_i ”, cu efect neglijabil din partea „ m_p ”, proces care se numește „de reglare automată”.

Deci funcția de reglare automată asigură o dependență cât mai rigidă a lui „ m_c ” față de „ m_i ” – în prezența perturbațiilor – pe baza unui proces de comparare, cu efect de reducere în mărime și durată a mărimilor de abatere „ m_a ”. Procesul de reglare automată se consideră o importantă parte a automatizării convenționale.

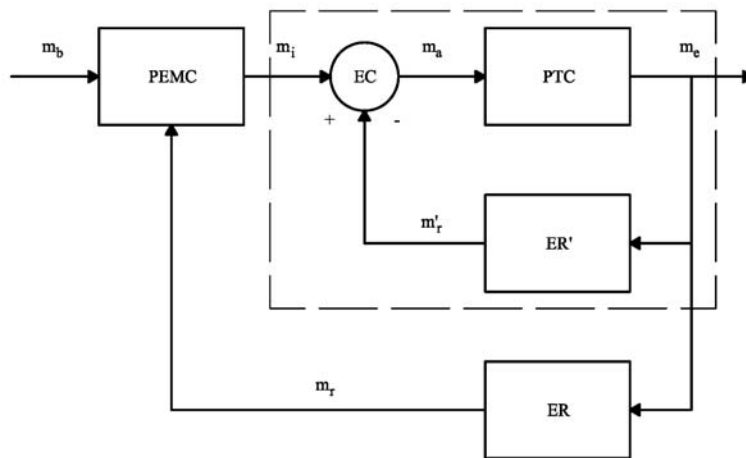


Fig. I.3.4. Delimitarea dintre procesul de elaborare a m_c și realizarea dependenței dintre m_c și m_i (după o lege prestabilită)

Observație: Notăția de mărime „ m ” (cu indice), folosită până acum, a cuprins un anumit grad de generalitate, evidențiindu-se posibilitatea existenței unor semnale de structură foarte diferită (determinate, aleatoare, continue, discontinue, codificate în succesiune serie sau paralel, de tip sincron sau asincron etc.), fapt condiționat în primul rând de PEMC și apoi

de PTC sau ER. Lipsa PEMC presupune structuri mai unitare de semnale ceea ce permite și notații mai simple pentru acestea. În Fig. I.3.5 este prezentată cea mai simplă schemă funcțională a unui sistem de reglare automată cu următoarele elemente componente principale:

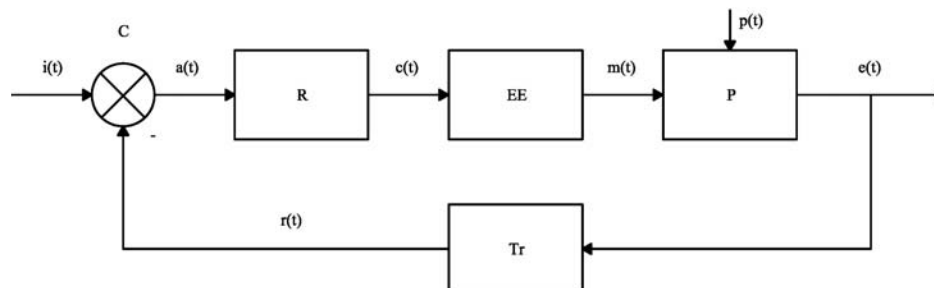


Fig. I.3.5. Schema funcțională a unui SRA cu buclă închisă

- a) **Element de comparație C**, care realizează diferența între mărimea prescrisă de intrare „ i ” (care poate fi dependentă sau nu de timp) și mărimea de reacție „ r ”, dependentă de mărimea de ieșire „ e ”.
- b) **Regulatorul R**, care prelucrează mărimea de abatere „ a ”, unde „ a ” este rezultatul comparării ($a = i \pm r$), astfel încât mărimea de comandă „ c ”, obținută la ieșirea din regulator, să asigure comportarea impusă pentru mărimea de ieșire „ e ” atât în regim staționar, cât și în regim tranzitoriu în prezența perturbațiilor „ p ”.
- c) **Elementul de execuție EE**, permite, printr-un efect de amplificare (de obicei în putere) și adaptare a mărimii de comandă „ c ”, acționarea directă asupra procesului tehnologic P, prin intermediul mărimii de execuție „ m ”. Elementele de execuție (ventile, servomotoare, clapete etc.) trebuie, funcțional și constructiv, să se adapteze condițiilor concrete de acționare nemijlocită asupra procesului P.
- d) **Elementul de măsurare Tr**, denumit traductor, este destinat (prin intermediul unor elemente sensibile) să transforme calitativ și cantitativ semnalul „ e ”, într-un semnal de reacție „ r ”, de aceeași natură cu „ i ” (în vederea asigurării operației de comparare „ $i \pm r$ ”).
- e) **Procesul tehnologic P**, având mărimea de ieșire „ e ” poate fi un aparat simplu (schimbător de căldură, motor electric + mașină de lucru etc.), cu un singur parametru destinat reglării

(temperatură, turație) sau un aparat mai complex (cazan abur, cazan încălzire), unde reglajul se execută asupra mai multor parametri, care se influențează reciproc (debit de combustibil, debit de apă, debit de aer, temperatură, etc.). Se observă că la variația accidentală a ieșirii „e”, urmare a acțiunii perturbației „p”, sensul invers de variație a abaterii „a” rezultat din comparație, impune în continuare prin elementele R, EE și P revenirea semnalului de ieșire reglat „e”, la starea inițială sau foarte aproape de acesta. Schema de reglare din Fig. I.3.5, trece în regim staționar numai atunci când „a” se anulează sau devine neglijabilă. Trebuie subliniată importanța circuitelor de reacție negativă ($e \rightarrow Tr \rightarrow r$), care permite compararea mărimii de intrare „i” cu cea de reacție „r” ($a = i - r \equiv$ reacție negativă), iar prin intermediul circuitului direct ($R \rightarrow EE \rightarrow P$) se asigură reducerea abaterii de reglaj „a”, în modul și durată, la valori cât mai reduse.

I.4 Mărimi și elemente caracteristice sistemelor de reglare automată.

I.4.1 Noțiunea de element în automată.

Automatica operează în mod curent cu noțiunea de element, reprezentat grafic sub forma unui dreptunghi, așa cum se arată în fig. I.4.1. și care cumulează, în majoritatea cazurilor, următoarele proprietăți:

- reprezintă o unitate fenomenologică sau funcțională simplă și bine delimitată; posedă cel puțin o intrare (i) și o ieșire (e), excepție făcând elementele de însumare, la care există mai multe intrări și o singură ieșire;
- transferul de semnale este unidirecțional, de la intrare spre ieșire;
- semnalul de ieșire (e) nu depinde decât de semnalul de intrare (i) și de structura elementului.



Fig. I.4.1. Reprezentarea elementului de automatizare

Metodele de studiu ale sistemelor – sub raportul analizei și sintezei acestora sunt condiționate atât de forma semnalelor de intrare, cât și de structura elementelor componente.

I.4.2 Semnale. Noțiunea de timp.

Semnalele sunt mărimi fizice, existente la intrarea, ieșirea sau în interiorul elementelor și a căror măsurare furnizează informații. Există semnale utile, care introduc efecte dorite în comportarea unui element (ex. tensiunea de intrare într-un amplificator sau temperatura unui lichid) și semnale perturbatoare (perturbații), care introduc efecte nedorite în comportarea unui element (ex. tensiuni de zgomot la intrarea într-un amplificator, variația tensiunii de alimentare de la rețea). Uzual semnalele se pot grupa în următoarele mari categorii: continue, eșantionate, și aleatoare.

Semnalul continuu – este o mărime dependentă continuu de timp, așa cum este prezentată în Fig. I.4.2. Acest tip de semnale pot avea o comportare *deterministă* – adică ele se pot reprezenta matematic, prin funcții continue în raport cu timpul.

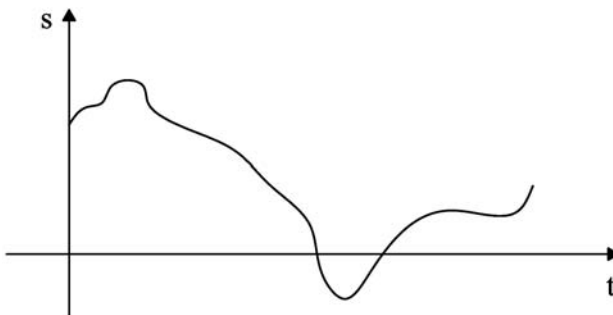


Fig. I.4.2. Reprezentarea unui semnal continuu

Comportarea *nedeterministă* este situația în care semnalul are o evoluție continuă, în raport cu timpul, dar nu poate fi reprezentată într-o formă matematică stabilă.

În practică, cele mai folosite tipuri de semnale continue deterministe sunt semnalul treaptă, semnalul rampă, semnalul sinusoidal și semnalul impuls (v.Fig. I.4.3).

În vederea analizei comportării unui sistem, aceste tipuri de semnale (*cauza*), se aplică la intrarea sistemului sau a procesului analizat, iar

semnalul de ieșire (*efectul*), al procesului, constituie răspunsul sistemului. Astfel, după tipul semnalului de intrare aplicat, răspunsul sistemului este de *tip indicial* (la aplicare de semnal intrare – tip *treaptă unitară*), respectiv răspuns de *tip pondere* (la aplicare de semnal intrare - tip *impuls unitar*) și răspunsul la *frecvență* (la aplicare semnal de intrare – tip *sinusoidal*).

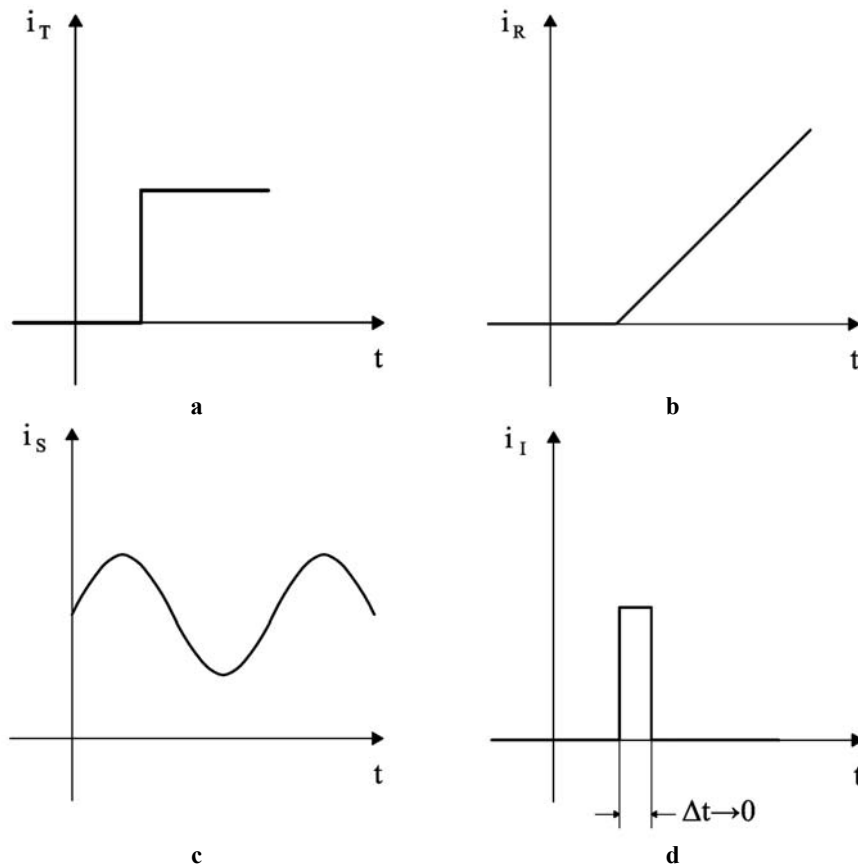


Fig. I.4.3. Tipuri de semnal utilizate în sistemele de reglare automată; a – semnal „treaptă”, b – semnal „rampă”, c – semnal „sinusoidal”, d – semnal „impuls”.

Semnalul eșantionat – este o mărime formată dintr-o succesiune de impulsuri, care rezultă din eșantionarea unui semnal continuu, pe o durată $\Delta t \rightarrow 0$ și la intervale de timp T , constante. În Fig. I.4.4 este reprezentat semnalul continuu din Fig. I.4.2, dar sub formă de semnal eșantionat. Prin *eșantionare* se înțelege operația de transformare a unui semnal continuu, variabil $s(t)$, într-un semnal discret în timp, format dintr-o succesiune de

impulsuri foarte scurte, numite *eșantioane*, ale căror amplitudini sunt egale cu valoarea semnalului din momentul de eșantionare. Acest semnal este preluat, în continuare, sub această formă de succesiuni de impulsuri.

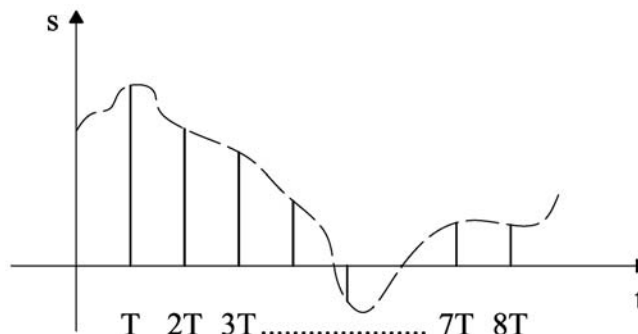


Fig. I.4.4. Semnal eșantionat

Semnalul aleator (stochastic) – are o evoluție întâmplătoare, în raport cu timpul.

Acest semnal se poate exprima cu ajutorul unor proprietăți statistice, ale teoriei probabilităților. Studiul semnalelor aleatoare, pe baza proprietăților statistice, prezintă aplicații utile în domeniul analizei sistemelor de reglare automată.

Timpul – este o mărime fizică continuă, omogenă, nelimitată și care are caracteristic faptul că în același interval de timp se poate reproduce același fenomen, din aceleași cauze, sub aceleași influențe și în condiții identice. La elementele simple (cu o singură intrare și o singură ieșire), semnalul de răspuns apare simultan cu aplicarea semnalului de intrare. Dacă semnalul de răspuns apare cu întârziere de timp (T_m), acest timp de întârziere se numește *timp mort*. Timpul mort se datorează vitezei de parcurgere a semnalului în diferite medii sau dispozitive (ex. transmiterea căldurii, deplasarea fluidelor pe conducte). După durata timpului de răspuns (T_m) există procese rapide ($T_m \leq 10\text{sec}$) și procese lente ($T_m \geq 10\text{sec}$).

I.5 Metode de studiu ale sistemelor automate.

Problemele de bază ale sistemelor automate sunt legate de două etape importante de lucru și anume:

1. **analiza procesului** ce urmează a fi automatizat, care presupune o identificare a procesului, urmată de o determinare a modelului

matematic pentru instalația care urmează a fi supusă automatizării;

2. **sinteza** (proiectarea) **sistemului**, care constă în stabilirea schemei structurale a sistemului automat, împreună cu toate elementele ce urmează să intre în componența lui.

Identificarea proceselor tehnologice, reprezintă ansamblul metodelor și procedeele necesare stabilirii unor modele matematice; aceste modele trebuie să aproximeze cât mai exact comportarea în regim staționar și dinamic (tranzitoriu) a proceselor ce urmează a se desfășura în regim automat. Fazele elaborării modelului matematic sunt expuse în Fig. I.5.1.

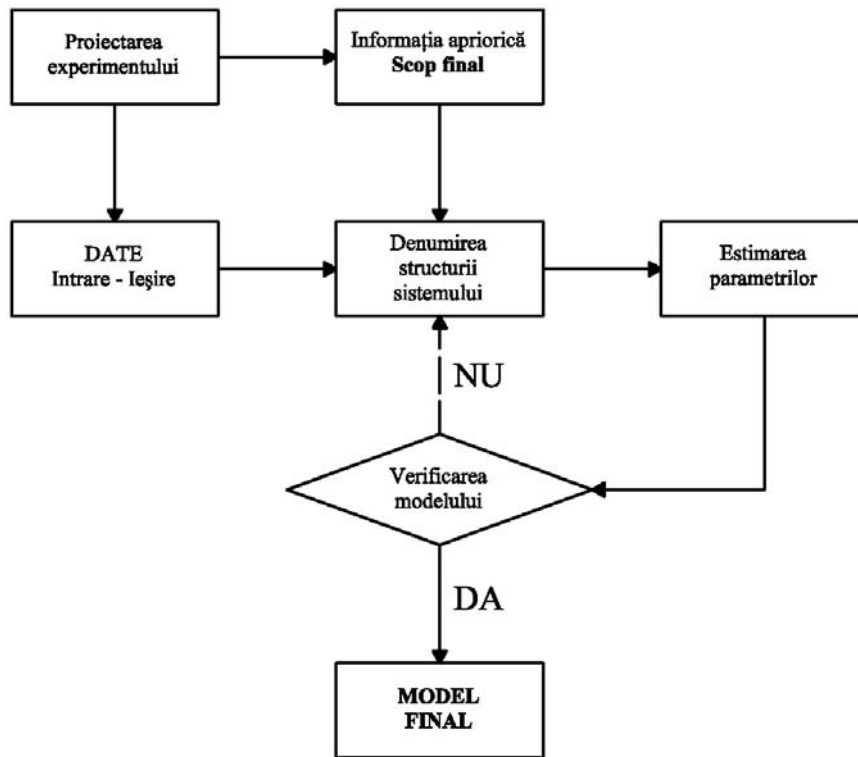


Fig. I.5.1. Fazele elaborării modelului matematic pentru un SRA

Analiza unui sistem automat este o etapă care constă în determinarea mărimilor de intrare și ieșire (respectiv a răspunsurilor), a mărimilor perturbatoare, a comportării în regim staționar și tranzitoriu a sistemului, în condițiile în care este cunoscută structura și modelul funcțional al acestuia.

Prin **analiză** se urmărește stabilirea și determinarea performanțelor care trebuie și urmează a fi realizate de sistem, gradul de precizie cu care se execută relația dorită între intrări și ieșiri, influența anumitor parametri ai sistemului asupra performanțelor sale.

Sinteza unui sistem automat constă în proiectarea acestuia și trebuie să rezolve următoarele probleme:

1. stabilirea criteriilor de performanță ale sistemului, cu plecare de la restricțiile și cerințele impuse de procesul tehnologic;
2. stabilirea schemei funcționale și structurale a sistemului automat, astfel încât să fie create condițiile tehnice de funcționare la performanțele stabilite;
3. alegerea și acordarea reguletoarelor în vederea obținerii criteriilor de performanță impuse aprioric;
4. alegerea corespunzătoare a elementelor de execuție și măsură;
5. verificarea prin analiză a performanțelor obținute și a stabilității sistemului automat nou proiectat. În caz de nereușită, se reface proiectul sau se fac numai corecțiile necesare în schema structurală, până la obținerea rezultatelor așteptate. Corecția unui sistem automat constă în introducerea unor elemente corectoare, în scopul îmbunătățirii performanțelor. Alegerea și dimensionarea acestor sisteme de corecții se face în concordanță cu structura și modelul funcțional inițial al sistemului și cu performanțele care se impun a fi corectate. Realizarea unei proiectări cât mai riguroase a unui reglaj automat convențional, presupune o cunoaștere cu o precizie cât mai bună și cât mai completă a modelului matematic a procesului de automatizare – mărimile de intrare și ieșire esențiale ale procesului, perturbațiile care acționează asupra procesului și locul unde acționează ele.

În cazul în care se urmărește ca sistemul automat să aibă o comportare optimă, dintr-un anumit punct de vedere, atunci se impun, în continuare, și rezolvarea problemelor de optimizare. *Optimizarea constă în aplicarea unor tehnici de optimizare și anume prin extremizarea unor funcții de performanță, care conțin relațiile de legătură între parametrii implicați în optimizare.*

Metodele de calcul pentru analiza sistemelor apelează la modele matematice de tipul ecuațiilor diferențiale, a funcțiilor de transfer sau a variabilelor de stare, din spațiul stărilor. Pentru proiectarea sistemelor sunt utilizate următoarele metode clasice: metoda distribuției poli-zero-uri, metoda locului rădăcinilor, diagramele Nyquist și Bode.

Utilizarea unor modele de tip matriceal-vectorial, cu considerarea stării sistemului, permit accesul comod la tehnica de calcul numeric, cu rezolvarea eficientă și precisă a problemelor de analiză și de sinteză.