

# 1

## GENERALITĂȚI

### 1.1. ROBOTICĂ

Societatea industrializată în general presupune o automatizare flexibilă a proceselor de producție, în care o pondere însemnată o ocupă manipulatoarele și roboții industriali.

Crearea unor mijloace de tipul manipulatoarelor și roboților industriali a fost determinată, printre altele, de creșterea nomenclatorului de produse și de reducerea cotei relative a producțiilor de masă și de serie mare, în favoarea producției de serie mică și de unicate. Roboții au apărut pe scara evoluției tehnice în continuarea mecanismelor automate și au constituit multă vreme un ideal al tehnicii. Abia recent, în urma dezvoltării electronicii industriale și a metodelor de control numeric, au apărut primele realizări care au putut fi numiți roboți. Aceștia, spre deosebire de mașinile specializate și automate, oricât de complexe, se disting printr-o mare flexibilitate.

Dezvoltarea roboticii a condus la apariția specializării roboților: s-au desprins numeroase ramuri, cum ar fi: -telemanipulatoarele (pentru efectuarea unor manevre în medii periculoase pentru om); -roboții mobili (utilizați îndeosebi în astronautică și în tehnica militară); -dispozitivele protetice tip exoskeleton; -roboții și dispozitivele robotice pentru explorări în mediul marin sau în spațiul cosmic. Cea mai importantă și cuprinzătoare direcție de evoluție a roboților o reprezintă însă roboții industriali, deoarece principala utilizare a lor constă în automatizarea flexibilă a proceselor industriale. Roboții industriali sunt destinați să înlocuiască operatorul uman în operațiile care se desfășoară în medii nocive și periculoase (vopsitorii, sudări, tehnica nucleară), în medii greu accesibile sau inaccesibile omului (fundul oceanelor, cosmos), acolo unde se cer precizii ridicate în repetabilitatea unor operații, productivitate și stabilitate a proceselor, în activitățile dificile și obositoare, prin efort sau monotonie, sau în sectoarele de activitate deficitare în forță de muncă specializată și calificată.

Robotul industrial este o mașină automată, alcătuită dintr-un mecanism cu mai multe grade de mobilitate, constituind unul sau mai multe brațe articulate, capabil să manevreze în mod repetitiv, pe traiectorii care pot fi cu ușurință reprogramate.

În robotică calculatorul joacă rolul principal, astfel că se pune un accent deosebit pe explicitarea modului în care acesta "transformă" subsistemul format din motoare, senzori, brațe și articulații, într-un robot.

Pentru o înțelegere rapidă a subiectului tratat, ca și în scopul evitării confuziilor, în acest capitol se dau unele definiții fundamentale pentru domeniul roboticii și se precizează obiectivele conducerii automate cu roboți a proceselor tehnologice din domenii industriale și neindustriale.

#### **Definiții. Terminologie. Structuri de roboți.**

**Robot.** Definim drept *robot* un automat pentru manipulat obiecte (repere, materiale, piese și scule), caracterizat prin versatilitate și prin capacitatea de a opera independent de comanda și supravegherea omului [ ]. Există mai multe definiții ale robotului, diferențele dintre ele putând fi sesizate prin consultarea cataloagelor și standardelor internaționale care descriu clase, tipuri și particularități ale produselor de firmă.

**Manipulator.** Cel mai popular tip de dispozitiv antropomorfic este Manipulatorul; este asemănător unui ansamblu braț-mână umană. Deși au fost dezvoltate dispozitive mobile, reproducerea picioarelor sau a altor părți anatomice, se află încă într-un stadiu de cercetare științifică, și ca atare acestea nu vor fi luate în discuție. *Manipulator* însemnând *braț*, cei doi termeni vor fi utilizați alternativ aproape ca sinonime.

**Teleoperator.** Un manipulator care operează strâns cuplat cu un operator uman este denumit *teleoperator*. Exemplul cel mai cunoscut de teleoperator este reprezentat de "mâinile" comandate de la distanță, care lucrează într-o incintă separată printr-un ecran de protecție față de operatorul uman.

Astfel de sisteme sunt proiectate pentru manipularea materialelor radioactive, a eprubetelor și vaselor ce conțin culturi de viruși patogeni, sau a materialelor care reacționează sau interacționează în exclusivitate în medii speciale (vid, incinte purificate, temperaturi înalte, etc.). Teleoperatoarele sunt prevăzute cu calculatoare în bucle de reglare, dar nu sunt proiectate pentru a opera fără prezența omului în buclă, deci nu sunt roboți.

**Robot industrial.** Este un manipulator cu scop general, care constă din mai multe corpuri rigide, denumite brațe, conectate în serie prin intermediul unor cuple cinematice de rotație sau translație antrenate de motoare comandate automat de un sistem de calcul (calculator). Un capăt al lanțului - primul braț - este conectat rigid la bază, în timp ce ultimului braț - liber - i se atașează un dispozitiv pentru manipularea obiectelor, pentru asamblare sau pentru realizarea unor operații tehnologice de sudură, vopsire, polizare, control calitativ, etc. Aplicații ale unor astfel de automate nu sunt desigur, limitate la sarcini industriale, ci se extinde în sectoarele agricol, educațional și de cercetare științifică.

Mișcarea în articulații determină o mișcare relativă a brațelor. Mecanic, un robot este constituit dintr-un mecanism de poziționare (generator de traiectorie) de tip *braț articulat*, dintr-un mecanism de orientare de tip *încheietură* și din *gripper* (dispozitiv de prehensiune sau mână), la care se adaugă scula, întregul mecanism fiind proiectat astfel încât să poată accede la o piesă localizată în spațiul (volumul) său de lucru.

**Volumul de lucru** este mulțimea pozițiilor de acțiune a robotului, al cărui braț poate plasa subansamblul în orice punct din interiorul anvelopei. Subansamblul braț asigură mișcări conform gradelor de mobilitate și plasează subansamblul încheietură în zona piesei de manipulat. De obicei, modulul încheietură permite trei mișcări de rotație, adesea denumite în literatura de specialitate *pitch* (P-tangaj), *yaw* (Y-derivă) și *roll* (R-ruliu), și combinarea lor R-P-Y asigură orientarea sculei în concordanță cu configurația obiectului, pentru o apucare comodă. Rezultă că, pentru un robot cu șase grade de mobilitate, subansamblul braț reprezintă mecanismul de poziționare, iar subansamblul încheietură - mecanismul de orientare.

**Structuri de roboți.** Realizați într-o largă varietate, roboții pot fi grupați în patru categorii de bază, din punctul de vedere al geometriei și al caracteristicilor de mișcare, criterii care își pun amprenta puternic asupra calculului matematic în sistemul de conducere:

**Coordonate carteziene** (trei axe de translație). Acești roboți au cuple de translație care permit mișcări în direcții rectangulare ortogonale. Sunt cel mai comod de tratat de către sistemul de calcul, căci o mișcare cu  $x$  mm la motorul X corespunde direct unei mișcări cu  $x$  mm a mâinii (fig. 1.1).

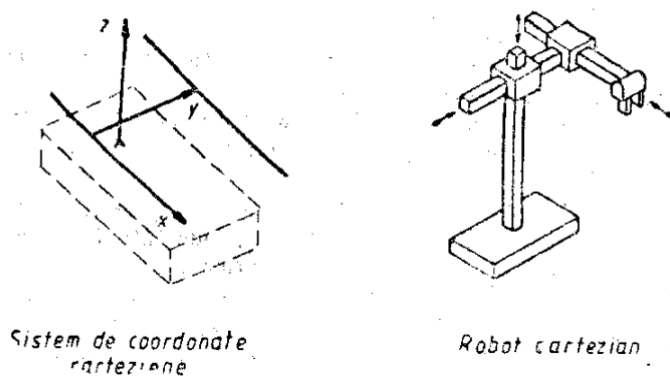


Fig. 1.1 Sistemul de coordonate cartesian și robot în coordonate cartesiene

**Coordonate cilindrice** (două axe de translație și una de rotație). La un manipulator cu geometrie cilindrică, primele trei cuple cinematice corespund celor trei variabile principale ale sistemelor de coordonate cilindrice:  $\theta$  (rotație),  $h$  (înălțare),  $r$  (întindere a mâinii), ca în fig. 1.2.

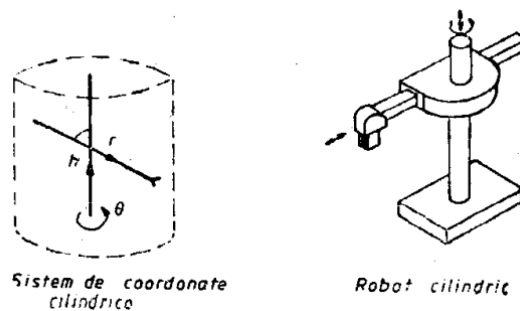


Fig. 1.2 Sistemul de coordonate cilindric și robot în coordonate cilindrice

*Coordonate sferice sau polare* (o axă de translație și două axe de rotație). După cum este reprezentat schematic în fig.1.3, primele trei articulații ale acestor roboți corespund direct celor trei variabile principale ale unui sistem de coordonate sferice :  $\theta$  - rotație ;  $\Phi$  - rotație perpendiculară pe planul lui  $\theta$ ;  $r$  - translație pe direcție radială.

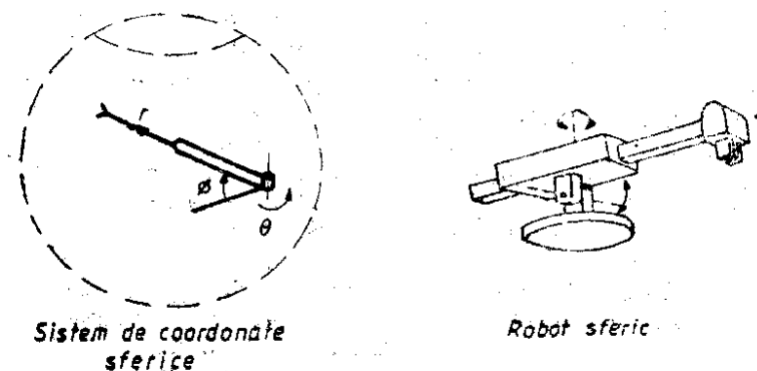


Fig. 1.3 Coordonatele sferice și robot în coordonate sferice

*Coordonate de revoluție sau articulate* (trei axe de rotație). Un mare număr de roboți, în prezent, reproduc funcțional cotul uman, introducând un set de variabile de articulații constând din trei rotații pentru primele trei articulații (fig. 1.4). Geometria articulată este avantajoasă din punctul de vedere al supleței robotului și al accesului comod al dispozitivului de prehensiune (gripper) la obiectul manipulat, motive pentru care astfel de roboți se utilizează în aplicații de sudură, vopsire-metalizare, montaj.

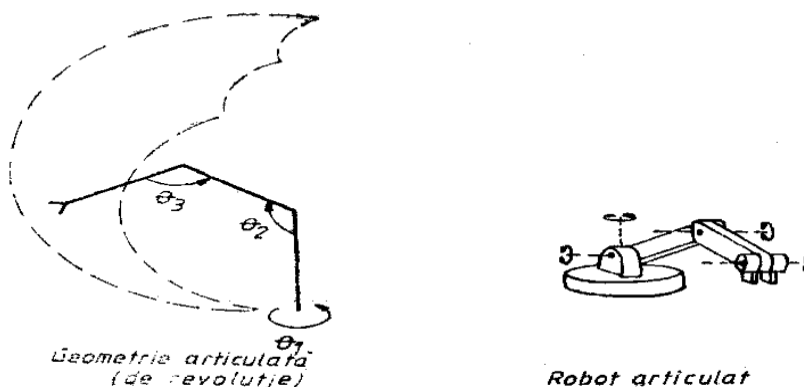


Fig. 1.4 Coordonate de revoluție și robot în coordonate de revoluție

Roboții industriali pot fi clasificați:

- **după geometria lor, sau după performanțele de mișcare:**

*Roboți secvențiali.* Un element de execuție (tipic un piston pneumatic sau hidraulic) deplasează o articulație până când aceasta atinge un limitator mecanic. Programarea aplicațiilor se

face prin poziționarea limitatoarelor de cursă în funcție de dispozitivul de comandă, roboții secvențiali sunt cu program fix (conducere cu automat secvențial) sau reprogramabili (conducere cu automat programabil). Spațiul controlat este format dintr-un număr finit de puncte.

*Roboți incrementalii.* Atunci când pentru acționare se utilizează motoare pas cu pas, iar sistemul de conducere este un automat secvențial (algoritmice sau programabil) robotul controlează un spațiu discretizat.

#### - după gradul de adaptare la mediu:

*Roboți servo-neadaptivi.* Dacă sistemul de conducere este capabil să detecteze poziția instantanee a unei articulații, atunci elementul de execuție poate fi comandat astfel încât să oprească brațul robotului în orice punct de pe traiectoria sa. La un robot servo-comandat i se poate comanda oprirea fiecăreia din axele sale, în puncte arbitrare. El poate accesa orice punct din spațiul de lucru, care devine în acest caz un spațiu compact. Astfel la programarea punct cu punct, echipamentului de conducere a robotului i se furnizează comenzi de tipul: deplasare în punctul A, stop, deschide gripper, deplasare în punctul B, stop, deplasare în punctul C, stop, închide gripper, ș.a. m. d.

Între două puncte, A și B, nu este necesar controlul vitezei axelor individuale, sau al traiectoriei end-effectorului. Din moment ce axele se pot mișca cu viteze diferite, sau pot avea de parcurs distanțe (unghiulare) diferite, un element al structurii poate să-și termine cursa și să se oprească cu mult înaintea altelei. În astfel de mișcări punct cu punct, (PTP) traiectoria gripperului nu este știută dinainte, se cunosc doar pozițiile punctelor de pe traiectoria unde trebuie să se oprească robotul. Comanda de tip PTP, se utilizează frecvent în aplicații industriale, în care spațiul de lucru este relativ gol și există riscuri minore ca mișcarea mâinii să producă avarii datorită diverselor coliziuni. Într-un număr de aplicații mai complexe, trebuie controlată în mod continuu locația (poziția și orientarea) end-effectorului robotului, de-a lungul traiectoriei. În astfel de mișcări cu control de traiectorie (CT), baza de date de mișcare (coordonatele punctului țintă, vitezele) este anterior cunoscută prin instruire, exemplu: sudură, vopsire, polizare, etc., sau, specificată incomplet prin instruire indirectă și completată în timp real, în aplicații ce necesită, coordonarea robotului cu un sistem de referință/aplicație mobil (ex. transportor, conveyor, etc.).

*Roboți adaptivi.* Utilizarea unor senzori tactili, care furnizează informații “locale” referitoare la proprietățile unei suprafețe în contact, sau pe cale de a fi în contact cu mâna robotului, sau a unor senzori optici, care completează sistemul robot, cu vedere ortofotografică și care permit prelucrarea de imagini “locale” sau “globale” din spațiul de lucru, asigurând robotului un înalt grad de adaptare în raport cu activitățile desfășurate în mediu, precum și autonomie în relația de programare a aplicației și robot.

#### Componente ale unui robot

Componentele unui robot pot fi discutate fie din punct de vedere fizic (robot, sursă de putere, calculator personal), fie din punct de vedere sistemic. Din punct de vedere al transferului și prelucrării informațiilor, un robot apare ca în fig. 1.5, în care structura fizică și geometrică a robotului nu este evidențiată.

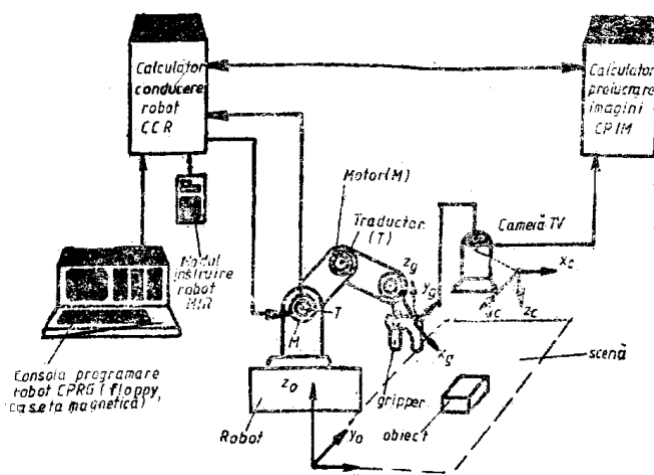
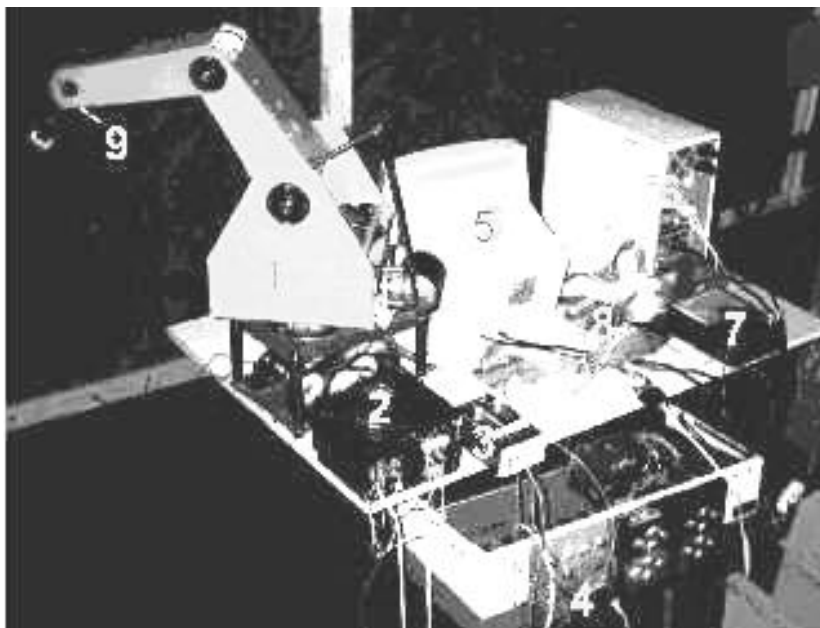


Fig. 1.5 Structura de bază a robotului



**Fig.1.6** Robot didactic realizat în laboratorul DRI - IMST – UPB

Se pot identifica următoarele componente:

*Element de execuție.* Fiecărei articulații a robotului i se asociază un element de execuție care determină mișcarea (de translație sau de rotație) în acea articulație. Elemente de execuție tipice pentru acționarea articulațiilor unui robot sunt motoarele *M*, care pot fi: *electrice* (de curent continuu, de curent alternativ, sau motoare pas cu pas), *pneumatice*, sau *hidraulice* (cilindru - piston). *Traductor.* Pentru a comanda motoarele *M*, sistemul de conducere trebuie să recepționeze informații interne, referitoare la pozițiile și vitezele reale ale articulațiilor. În acest context, poziția se referă la deplasarea în articulație cauzată de motor, în raport cu un punct al unui sistem de referință, considerat fix. Există diferite tipuri de traductoare, *T* pentru măsurarea deplasărilor în articulațiile unui robot; cel mai frecvent se utilizează traductoarele numerice incrementale (discuri sau rigle optice necodificate). În vederea adaptării sistemului robot la mediul ambiant, se utilizează senzori pentru mărimi externe de efort, de imagini (ex. dispozitive cu cuplaj de sarcina, camere vidicon, etc.), pentru preluarea numerică a informațiilor de la aceste traductoare, fiind necesar un volum mare de calcul în prezența unor resurse hardware performante.

*Calculator.* Putem denumi, în mod convențional, echipamentul de conducere a robotului - calculator, căci majoritatea funcțiilor sale: de calcul, transfer și memorare a informației sunt realizate de calculatoare numerice. Totuși în funcție de tipul acționării robotului, de numărul de grade de mobilitate, de gradul de adaptare la mediu, de regimurile de mișcare dorite, "calculatorul" poate avea diferite versiuni de implementare, de la automate programabile specializate (pe funcții de poziționare, reglare și comunicație) la configurații multimicroprocesor sau rețele de microcalculatoare. Calculatorul de Conducere a Robotului (CCR) este conectat atât la periferice standard sau specializate, (ex.: consola de programare în limbaj de nivel înalt a aplicației de robotică, incluzând înregistrarea memoriilor EPROM, care nu pierde informația la deconectarea de la tensiunea de alimentare) ale automatului programabil incorporat în CCR, Modulul de Instruire Robot (MIR), cât și la Calculatorul de achiziție și Prelucrare a IMaginilor (CPIM), care completează în timp real baza de date, de mișcare specificată incomplet în faza de instruire a robotului.

*Modulele procesoare* ale calculatorului realizează următoarele operații de bază :

*Cinematică.* Cinematica brațului robotului se referă la geometria mișcării brațului robotului în raport cu un sistem de coordonate de referință considerat fix, fără a lua în considerație torsorul forțe/momente, care determină această mișcare. Astfel, cinematica abordează configurația spațială a robotului ca o funcție de timp, în particular relațiile între spațiul variabilelor din articulații și poziția și orientarea brațului robotului în spațiul cartezian. Problema de cinematică constă de obicei din două

subprobleme: cinematica directă și inversă. Problema de *cinematică directă* constă în a găsi poziția și orientarea end- effectorului unui robot în raport cu un sistem de coordonate de referință, dându-se vectorul unghiurilor în articulații  $\theta = (\theta_1 \dots \theta_6)^T$  asociat brațului robotului. Problema de *cinematică inversă* constă în a determina vectorul  $\theta$  al unghiurilor în articulații, fiind date poziția și orientarea end- effectorului, în raport cu sistemul cartezian de coordonate de referință.

*Reglare.* Fiind date poziția și deplasarea măsurată, pentru fiecare articulație, se determină semnalul de comandă necesar motorului care asigură deplasarea articulației către o poziție dorită.

*Dinamică.* Fiind cunoscută forța exercitată asupra brațului (inerție, frecare, gravitație, accelerație), se corectează semnalul de comandă în vederea îmbunătățirii performanțelor în regim dinamic ale ansamblului sistem de acționare- structură cinematică robot.

*Analiză a postului de lucru.* Dându-se prin instruire informații (specificate simbolic) asupra aplicației care trebuie realizată, se stabilesc comenzile de mișcare necesare. Această acțiune include analiza imaginilor ale spațiului de lucru, măsurarea și reglarea forțelor care se exercită asupra mâinii mecanice a robotului.

Pe lângă aceste funcții de calcul de bază există și operații de diagnoză automată internă și externă, planificare a traiectoriilor și comunicație cu operatorul și cu sistemele periferice.

### Sisteme de coordonate robot

Pentru a putea realiza întreaga gamă de aplicații de manipulare, un robot trebuie să fie capabil să atingă orice punct din spațiul său de lucru, cu o orientare arbitrară a mâinii. Din acest motiv cele trei variabile ( $x, y, z$ ), sau  $(\theta, \Phi, r)$  care definesc poziția mâinii nu sunt suficiente pentru a descrie și orientarea acesteia. Sunt necesare trei variabile suplimentare de rotație definite ca: *roll* (ruliu), *pitch* (tangaj) și *yaw* (derivă), denumiri preluate din navigație (RPY) (fig.1.6).

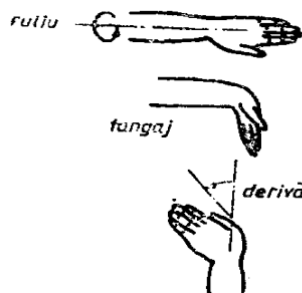


Fig 1.7 Definirea mișcărilor de orientare

Aceste mișcări independente constituie grade de mobilitate, dar trebuie menționat că la articulații nu se manifestă o libertate nelimitată a mișcării. De exemplu, capacitatea de derivă a încheieturii mâinii omului este cca. 60 grade. Există deci anumite combinații ale poziției și orientării end-effectorului imposibil de atins și în cazul roboților. În aplicațiile robotizate, se definește drept *configurație* ansamblul poziției și orientării tridimensionale a end-effectorului (necesitând deci pentru o definire completă, șase valori numerice). O mulțime de configurații, introduse prin acțiunea de instruire (învățare) a robotului, constituie, împreună cu informațiile de viteză, baza de date de mișcare pentru o aplicație a robotului. Configurațiile end-effectorului sunt specificate relativ la un sistem de coordonate atașat piesei de manipulat.

Modelarea matematică și dinamică este determinată pe baza analizei structurii specifice a robotului. În literatura de specialitate se regăsesc multe modele matematice, însă multe nu pot fi aplicate, sau nu pot fi implementate pe calculator. Se prezintă în cele ce urmează o modelare matricial-vectorială cuprinzătoare, pe baza căreia au fost realizate programe de simulare și optimizare a structurilor articulate de roboți și manipatoare. Metoda este ușor de aplicat oricărei structuri de robot.

Ecuția matricial- vectorială pentru analiza de poziții este dată de:

$$(\bar{r}_i^{(0)}) = (\bar{r}_{i-1}^{(0)}) + [D_{0,i-1}] \cdot (\bar{r}_i^{(i-1)}) \quad (1.1)$$

unde:  $(r_i^0)$  este matricea vectorului de poziție absolută a cuplei  $i$ ;  $(r_{i-1}^0)$ - matricea vectorului de poziție absolută a cuplei  $i-1$ ;  $[D_{0,i-1}]$ - matricea pătrată de transfer a vectorului din planul  $i-1$  la planul de bază.

Ecuția iterativă matricial- vectorială pentru vectorul dual de viteză este dat de:

$$(\bar{w}_{i,0}^i) = [T_{i,i-1}] \cdot (\bar{w}_{i-1,0}^{i-1}) + (\bar{w}_{i,i-1}^i) \quad (1.2)$$

unde:  $(w_{i,0}^{(i)})$  este matricea vectorului dual de viteză absolută a cuplei  $i$  redusă la planul  $i$ ;  $(w_{i-1,0}^{(i-1)})$ - matricea vectorului dual de viteză absolută a cuplei  $i-1$  redusă la planul  $i-1$ ;  $[T_{i,i-1}]$ - matricea pătrată 6x6 de transfer a vectorului de viteză din planul  $i-1$  la  $i$ ;  $(w_{i,i-1}^{(i)})$  este matricea vectorului de viteză relativă între cuplele  $i$  și  $i-1$ . Vectorul dual de viteză cuprinde atât viteza unghiulară cât și viteza liniară.

Ecuția iterativă matricial- vectorială pentru vectorul dual de accelerație este dată de:

$$(\bar{A}_{i,0}^{(i)}) = [T_{i,i-1}] \cdot (\bar{A}_{i-1,0}^{(i-1)}) + (\bar{A}_{i,i-1}^{(i)}) \quad (1.3)$$

unde:  $(A_{i,0}^{(i)})$  este matricea vectorului dual de accelerație absolută a cuplei  $i$  redusă la planul  $i$ ;  $(A_{i-1,0}^{(i-1)})$ - matricea vectorului dual de accelerație absolută a cuplei  $i-1$  redusă la planul  $i-1$ ;  $(A_{i,i-1}^{(i)})$ - matricea vectorului dual de accelerație relativă între cuplele  $i$  și  $i-1$ , redusă la planul  $i$ ;  $[T_{i,i-1}]$ - matricea pătrată de transfer a vectorului dual de viteză, dintr-un plan în altul.

Vectorul dual de accelerație cuprinde atât accelerația unghiulară cât și liniară a cuplelor. Expresia matricii scalare pentru vectorul dual de accelerație relativă este:

$$(A_{i,i-1}^{(i)}) = \left| \frac{(\varepsilon_{i,i-1}^i) + [\hat{\omega}_{i-1,0}^i] \cdot (\omega_{i,i-1}^i)}{(\omega_{i,i-1}^i)^2 + [\hat{\omega}_{i-1,0}^i]^2 \cdot (r_i^0) + 2[\hat{\omega}_{i-1,0}^i] \cdot (v_{i,i-1}^i)} \right| \quad (1.4)$$

Expresia matricii pătrate de transfer a vectorilor duali de viteză și accelerație dintr-un plan în altul este:

$$[T_{i,i-1}] = \begin{bmatrix} [D_{i,i-1}] & [0] \\ -[\hat{r}_i^{i-1}] \cdot [D_{i,i-1}] & [D_{i,i-1}] \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

unde:  $[r^{i-1}]$ - este matricea asimetrică de poziție.

Expresia tursorului forță- moment activ din cuple este sintetic prezentată sub forma:

$$\left( \frac{F}{M} \right) = [[z_u][z_u]] \left[ \left( \frac{F_R}{M_R} \right) - [diag(m_i)] [J_{gi}^0] \left( \frac{(a_{gi}^0)}{(\varepsilon(i)) - [\hat{\omega}_{i-1,0}^i] (\omega(i))} \right) - \left( \frac{(0)}{[\hat{B}][z_u][F_R] - [diag(m_i)](a_{gi}^0)} \right) \right] \quad (1.6)$$

unde:  $(F)$  este matricea coloană a forțelor active din cuple;  $(M)$ - matricea coloană a momentelor active din cuple;  $(F_R)$ - matricea coloană a forțelor rezistente din cuple;  $(M_R)$ - matricea coloană a momentelor active din cuple;  $[diag(m_i)]$ - matricea diagonală a maselor;  $[J_{gi}^0]$ - matricea tensorilor de inerție;  $[\hat{B}]$ - matricea braț antisimetrică.

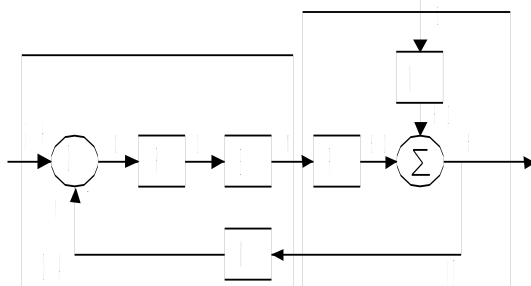
## 1.2. NOTIUNI GENERALE PRIVIND SISTEMELE AUTOMATE

În tehnica acționării roboților și manipuletoarelor, un rol însemnat îl ocupă optimizarea servoacționărilor pentru fiecare grad de mobilitate. În acest scop este strict necesar a se studia comportarea dinamică a servosistemelor prin prisma teoriei din automatica liniară și neliniară.

Un **sistem automat** reprezintă reuniunea a două subsisteme: **subsistemul tehnologic** (instalația tehnologică sau procesul de automatizat, IT) și **subsistemul de automatizare** (dispozitivul de automatizare DA), care stabilește legea, sau algoritmul de conducere al procesului după un program prestabilit. Reprezentarea schemei bloc a unui sistem de reglare automată din fig.1.7.,evidențiază principalele mărimi care intervin în cadrul funcționării sistemului în circuit închis pentru cazul existenței unei singure intrări și a unei singure ieșiri și anume:  $i$ -mărimea de referință sau intrarea programatoare;  $a$ -mărimea de eroare sau de acționare;  $c$ -mărimea de comandă;  $m$ -mărimea de execuție;  $e$ -mărimea de ieșire;  $e_p$ - componenta mărimei de ieșire în absența perturbației  $z$ ;  $e_z$ - componenta mărimei de ieșire datorită perturbației  $z$ ;  $r$ -mărimea de reacție;  $z$ -intrarea perturbatoare sau perturbația. Semnificația notațiilor din fig.1.7 în conformitate cu STAS 6019-85, este:  $D$ -element de comparație, care realizează comparația între mărimea de intrare și mărimea de reacție;  $R$ -regulator, care emite mărimea de comandă  $c$  în funcție de mărimea de acționare  $a$ , de

integrarea și derivarea în raport cu timpul a acestora;  $E$ -element de execuție;  $P$ -procesul automatizat;  $M$ -element de măsurare (traductor sau adaptor);  $N$ -ansamblul prin care perturbația  $z$  produce mărimea  $e_z$ ;  $DA$ - reprezintă dispozitivul de automatizare.

**Dispozitivul de automatizare,  $DA$**  este ansamblul de aparate și legături, care se conectează cu procesul în scopul realizării operațiilor de comandă și de reglare dorite.  **$IT$** -reprezintă instalația tehnologică, sau procesul de automatizat. **Instalația tehnologică** este ansamblul transformărilor, caracterizat prin una sau mai multe mărimi măsurabile, pentru care se realizează o automatizare.



**Fig.1.8** Schema bloc a unui sistem de reglare automată

**Comanda-** este un ansamblu de operații, care se efectuează în circuit deschis și care are ca efect, stabilirea unei dependențe după o lege prestabilită, pentru valoarea unei mărimi de ieșire  $e$  dintr-un proces, în raport cu mărimea de intrare  $i$ , independente de proces (comandă manuală, automată, secvențială, sau cu program).

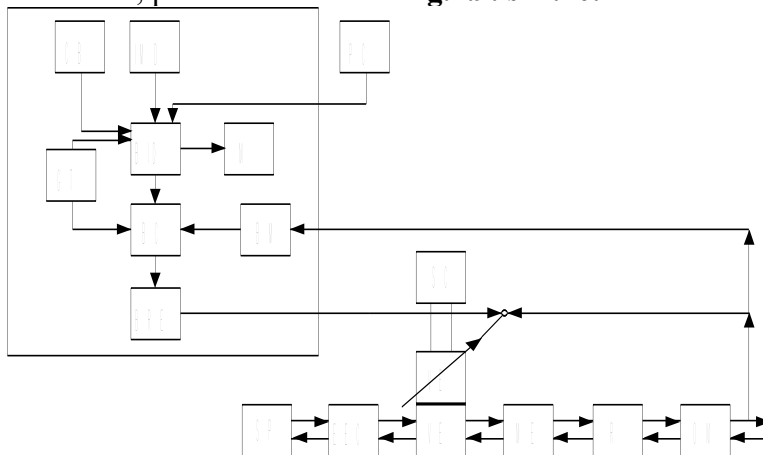
**Reglarea-** este un ansamblu de operații, care se efectuează în circuit închis, formând o buclă și care are ca efect: -fie stabilirea unei dependențe după o lege prestabilită  $e=f(i)$ ; -fie reducerea influenței mărimilor perturbatoare de tip aditiv sau parametric asupra mărimilor din proces,  $e=f(z)$ .

În primul caz, sistemul automat se mai poate numi **sistem de urmărire automată** și are rolul de a garanta că orice modificare,  $\Delta i$  a mărimii de intrare programatoare, chiar în condițiile unei transmisii nerigide, să fie urmată de o modificare  $\Delta e$ , a cărei valoare depinde exclusiv de mărimea  $\Delta i$  și de structura dispozitivului de automatizare.

În cel de al doilea caz, sistemul automat se poate numi **sistem de reglare automată sau de supraveghere** și are rolul de a garanta că orice modificare  $\Delta z$  a mărimii de intrare perturbatoare, în aceleași condiții de nerigiditate a transmisiei, să nu fie urmată decât de o perturbare pasageră a mărimii de ieșire  $e$ , după care, în regim staționar, variația mărimii de ieșire  $\Delta e$ , să devină nulă.

Obținerea unor modele matematice cât mai aproape de comportarea reală a modelului fizic a sistemului de reglare automată, reprezintă etapa cea mai importantă și cea mai dificilă ce se impune a fi rezolvată. Calitatea analizei și sintezei servosistemelor este determinată de precizia cu care se aproximează funcționarea modelului fizic.

**Structura generală a servosistemelor** electrice și electrohidraulice utilizate în construcția roboților și a manipuletoarelor, poate fi urmărită în **fig.1.9. și 1.10.**



**Fig.1.9** Schema bloc a servoacțiunii electrice a roboților industriali

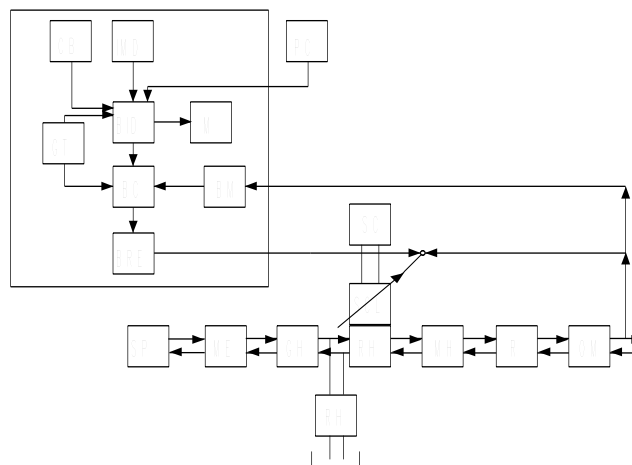


Fig.1.10 Schema bloc a servoacționării electrohidraulice a roboților industriali

Componenta servosistemelor electrice este următoarea: -elemente ale echipamentului de comandă numerică: CB-cititorul de bandă; IMD-dispozitivul de introducere manuală a datelor; PC-calculatorul personal sau de proces; BID-blocul de introducerea datelor; M-memoria hard; BC-blocul de calcul; GT-generatorul de tact; BM-blocul de măsură; BRE-blocul releelor electrice; -elemente ale echipamentului care formează circuitul de putere: SP-sursa de putere; EEC-echipamentul electric conventional; VE-variatorul electric; ME-servomotorul electric; OM-elementul de execuție care cuprinde și reductorul, mecanismul de transformare a mișcării de rotație în translație și sania; -elemente ale echipamentului care formează circuitul de comandă: SC-sursa de comandă; VE-circuitul de comandă din cadrul variatorului electric.

Componenta servosistemelor electrohidraulice este următoarea: -elemente ale echipamentului de comandă numerică sunt aceleași; -elemente ale echipamentului care formează circuitul de putere: SP-sursa de putere; ME- motorul electric; GH- generatorul hidraulic; RH-rezistența hidraulică; MH-motorul hidraulic; OM- aceeași semnificație ca la servosistemele electrice; -elemente ale echipamentului care formează circuitul de comandă: SC-sursa de comandă; SCL-servocontroler. Analizând comparativ schemele bloc ale servoacționărilor electrice și electrohidraulice se poate constata că sistemele au structuri similare, numărul de componente pe circuitul de transmitere a informațiilor de efort, la servosistemele electrohidraulice este mai mare, energia electrică suferind diverse transformări până la energia cinetică de la ieșire. Pe canalul de transmitere a informațiilor de comandă, variatorul electric din schema electrică este similar servocontrolerului din cadrul servoacționării electrohidraulice, având funcțiile de a controla sensul de mișcare, nivelul de turație al motorului, asigurând și regulatorul și corecția necesară optimizării semnalului, funcție de performanțele comportării dinamice impuse servosistemului. Așa cum, spre exemplu blocul de control a grilei tiristoarelor convertizorului electric, comanda deblocarea lor, așa și blocul de transformare tensiune- curent din cadrul servocontrolerului controlează curentul de alimentare a bobinelor servovalvei, sau a distribuitorului proporțional, realizând dezechilibrarea motorului de cuplu a servovalvei, care se transformă în final într-o deplasare proporțională a sertărașului pilot, urmată de alimentarea diferită a căilor motorului hidraulic. Reacțiile pot fi externe, interne, simple sau multiple, utilizând traductori analogici sau incrementali. În cazul în care traductorii utilizați sunt incrementali, schema servoacționării trebuie completată cu convertitoare numeric-analogice. În cazul servoacționărilor electrohidraulice, servocontrolerul poate fi cuplat prin intermediul servovalvelor sau a distribuitorilor proporționali în etajul de putere al generatorului hidrostatic, sau al motorului hidrostatic, asigurând variația continuă volumică primară sau secundară.

**Modelul matematic** aferent funcționării unui servosistem reprezintă cea mai generală caracterizare a acestuia. Modelul matematic poate fi stabilit prin metode analitice sau prin metode experimentale. În cazul modelării analitice a servosistemelor, modelele matematice sunt obținute pe baza unor legi generale, dintre care se menționează:

- legea conservării impulsului  $\frac{\partial H}{\partial t} = \sum F$ ;
- legea conservării momentului cinetic  $\frac{\partial K}{\partial t} = \sum M$ ;
- legea lui Kirchhoff pentru nodurile de rețea electrică, hidraulică sau pneumatică  $\sum i = 0; \sum Q = 0$ ;
- legea lui Kirchhoff pentru ochiurile de rețea electrică, hidraulică sau pneumatică  $\sum E = \sum i \cdot R; \sum p = \sum Q \cdot R_{h,p}$ ;
- legea conservării masei  $S \cdot v = ct$ ;
- legea conservării energiei  $p \cdot V / L = F; p \cdot V / \beta = M$ , etc.

**Modelarea servosistemelor pe baza identificării experimentale** constă în determinarea unui model matematic pe baza măsurării variabilelor de intrare și ieșire. Modelarea pe baza unor perechi de valori se efectuează utilizând metode de aproximare de tipul:

-polinomului de interpolare al lui Lagrange:

$$L = \frac{\sum y_i \cdot \frac{w_i}{z - x_i}}{\sum \frac{w_i}{z - x_i}}$$

-polinomului de aproximare prin metoda celor mai mici pătrate de forma:

$$c_0 + c_1 x^1 + c_2 x^2 + \dots + c_n x^n$$

-funcțiilor de interpolare cubice, spline, de forma :

$$c_{0i} + c_{1i}(x - x_i) + c_{2i}(x - x_i)^2 + c_{3i}(x - x_i)^3$$

Modelele matematice aferente comportării dinamice a unui servosistem sau element component al acestuia pot fi, sub forma unor ecuații diferențiale, a unor funcții de transfer, sau a unor caracteristici de frecvență.

**Analiza și sinteza servosistemelor.** Prin **analiza** unui servosistem se înțelege, identificarea și modelarea servosistemului, urmată de determinarea, pe baza analizei parametrilor caracteristici generalizați și a performanțelor caracteristice, a parametrilor constructivi-funcționali, cu influența prioritară asupra comportării dinamice. Analiza performanțelor evidențiază gradul de precizie cu care se realizează dependența dorită între intrarea și ieșirea sistemului automat, precum și influența anumitor parametri ai servosistemului, asupra performanțelor sale.

Prin **sinteza** unui servosistem se înțelege, proiectarea servosistemului funcție de scopul propus, proiectare care include: stabilirea și proiectarea reguletoarelor, a corecțiilor, alegerea traductoarelor de reacție, alegerea parametrilor constructivi-funcționali, în scopul îmbunătățirii parametrilor caracteristici generalizați, precum și a performanțelor servosistemului. Sinteza unui servosistem presupune: -stabilirea criteriilor de performanță pentru sistem, pornind de la considerațiile și restricțiile impuse; -întocmirea schemei structurale a sistemului automat cu evidențierea tuturor elementelor componente; -alegerea corespunzătoare a elementelor de măsură și a elementelor de execuție; -alegerea și acordarea optimă a regulatorului automat în vederea satisfacerii criteriilor de performanță impuse apriori; -verificarea prin analiză a performanțelor obținute de modelul proiectat, prin simulare asistată. În cazul în care anumite performanțe ale sistemului proiectat și analizat, nu au fost realizate, se trece la reproiectarea lui, sau introducerea corecțiilor cu scopul îmbunătățirii performanțelor numai pe anumite domenii de frecvență.

**Corecțiile** reprezintă elementele suplimentare introduse în structura unui servosistem, cu scopul îmbunătățirii performanțelor comportării dinamice în anumite domenii de frecvență, conform cerințelor din tema de proiectare. Corecția poate fi realizată fie prin modificarea unor parametri constructivi-funcționali a căror influență a fost deja determinată cu ocazia analizei efectuate, fie prin modificarea parametrilor regulatorului determinat pe baza unuia din criteriile impuse de performanțele dinamice cuprinse în tema de proiectare, fie prin introducerea unor elemente compensatoare alese astfel încât să asigure obținerea performanțelor dinamice impuse.