

1. Introducere în sistemele de acționare ale roboților industriali

1.1. Actuator

Modul de definire a actuatorului, ca și componentă indispensabilă sistemului mecatronic, este extrem de variată cu unele aspecte comune la diverși autori. Principiile de realizare și modalitățile de integrare a actuatorilor în sistemele mecatronice sunt abordate de o serie de lucrări [11.5],[11.14],[11.16]. În [11.16] se definește actuatorul ca un sistem care transformă energia electrică / termică într-o mișcare controlabilă. Un cumul de definiții referitoare la actuator se găsesc în [11.24]:

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

În [11.14] 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 reprezentare schematică a funcției unui actuator este dată în figura 11.1.



Fig. 1.1 Reprezentarea schematică a funcției unui actuator

O primă clasificare a actuatorilor poate lua în considerare două clase, pornind de la principiul de funcționare [11.5]:

- Actuatore clasice / convenționale;
- Actuatore speciale.

Într-o sistematizare a actuatorilor se consideră ca un prim criteriu cel referitor la principiul de interacțiune și crearea a mișcării (fig.11.3)[11.14].

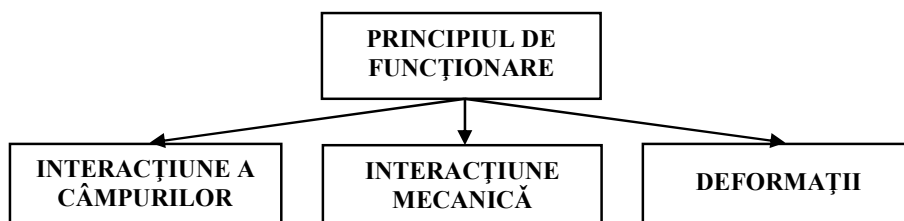


Fig. 1.2 Sistematizare a principiului de funcționare a actuatorilor

Interacțiunea câmpurilor electromagnetice stă la baza realizării 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) [11.5].

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 [11.6].

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. [11.6].

Semnalul de intrare care determină principiul de conducere a actuatorului este un alt criteriu de clasificare [11.16].

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

$$dW = F \cdot dx \quad (1.1)$$

Funcție de valoarea admisibilă instantanee, actuatorele se pot clasifica în [11.7]:

- 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 [11.16]. 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.11.3).

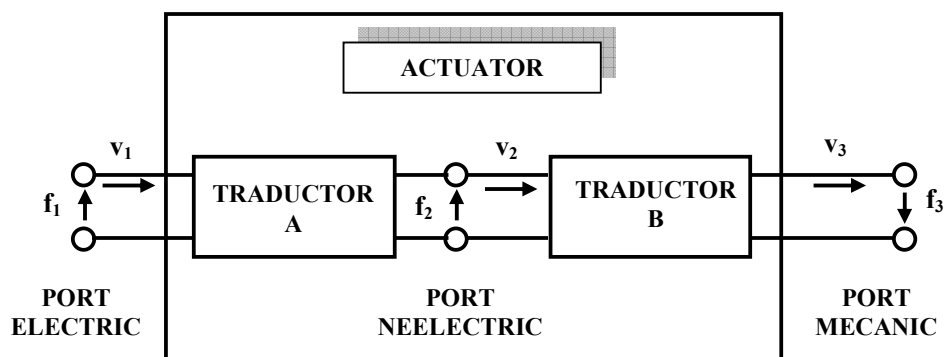


Fig. 1.3 Mod de definire a unui actuator

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 [11.16]. 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.
 - *Actuatorele 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 actuatore.
 - *Actuatore termice pe bază de structură compozită bimetalică;*
 - *Actuatore termice pe bază de geluri polimerice;*
 - *Actuatore termice pe baza efectului de dilatare / comprimare.*
- *Conversia magnetomecanică.* În acest caz actuatorele stabilesc o conversie energetică din domeniul magnetic în domeniul mecanic și invers.
 - *Actuatore magnetostrictive* care au la bază efectul magnetostrictiv prin care un material feromagnetic își modifică dimensiunile sub acțiunea unui câmp magnetic exterior.
 - *Actuatore meagnetoreologice.* Actuatorele magnetoreologice au ca element de bază în structură fluidul magnetoreologic sau ferofluidul (lichid magnetic).

- *Actuatoare pe bază de memoria magnetică a formei*
- *Actuatoare piezoelectrice*

Cele prezentate anterior permit o abordare generalizată a sistemului de acționare din structura unui robot.

Pe lângă noțiunea de actuator, se impune definirea în continuare a altor două definiții:

- servomechanism (în engleză), system asservi (în franceză) sau servomecanism (în română) se definește ca un sistem de reglare automată;
- servomotor – este un motor pentru care poziția rotorului este controlată și corectată în mod continuu.

1.2. Generalități

Roboții industriali constituie componente de bază ale sistemelor de fabricație flexibilă. Sistemul mecanic al robotului industrial (RI) are sarcina de a deplasa un punct caracteristic "P" aparținând efectorului final (EF) conform unui program stabilit pentru o operație humanoidă. În acest scop, dispozitivul de ghidare (DG) al RI trebuie să posede un număr de grade de mobilitate $M \in [3 - 6]$ distribuite între mecanismul generator de traiectorie (MGT) și mecanismul de orientare (MO).

Deplasarea punctului caracteristic este asigurată prin aportul sistemului de acționare (SA) al RI. Acesta transformă o categorie de energie - energia electrică, energia hidraulică, pneumatică, chimică, etc. - în energie mecanică și transmite mișcarea rezultată la cuplele cinematice conducătoare ale RI.

SA îndeplinește astfel funcția de acționare: poziționarea relativă a elementelor care compun cupla cinematică conducătoare [1.1].

În figura 11.4 se prezintă amplasamentul SA pentru MGT ($M = 3$) al robotului industrial SIROBOT 1 cu lanț cinematic deschis.

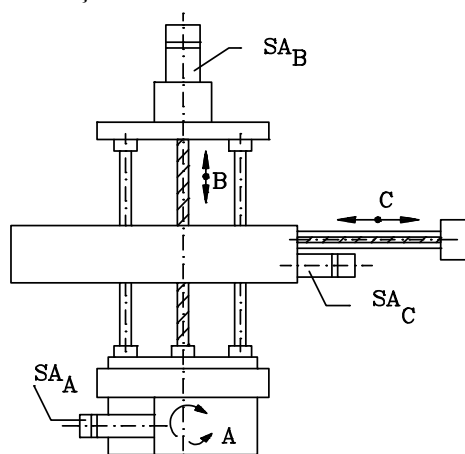


Fig. 1.4 Amplasamentul SA pe MGT al unui robot industrial

Amplasamentul SA pentru un MGT ($M = 3$) cu lanț cinematic parțial deschis

este prezentat în figura 11.5. La prima analiză s-ar putea concluziona că o arhitectură a RI cu lanț cinematic parțial deschis, are un comportament dinamic necorespunzător (în raport cu prima variantă) datorită jocurilor din cuplele cinematice (ale lanțului cinematic închis LCI), datorită frecărilor suplimentare, elasticității și masei proprii ale LCI. Această arhitectură prezintă însă un avantaj deosebit prin transferul masei componentelor SA spre zone unde efectul lor static sau dinamic este mai redus.

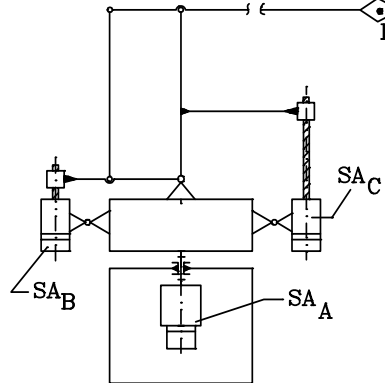


Fig. 1.5 Amplasamentul SA pe un MGT parțial deschis

Sucesiunea parametrilor cinematici ai cuplelor cinematice conducătoare este asigurată de sistemul de comanda (SC) al RI în baza funcției de comandă (fig.11.6) ($M = 6$; $\Theta_1 \dots \Theta_6$ sunt coordonatele generalizate din cuplele cinematice).

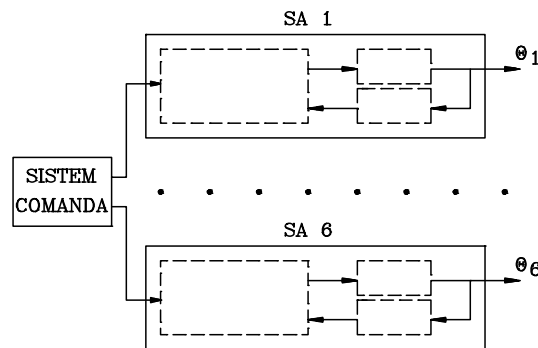


Fig. 1.6 Conectarea SC și SA

Schema principială pentru acționarea unui grad de mobilitate și elementele componente ale sistemului de acționare electrică sunt prezentate în figura 11.7. Semnificația notațiilor este următoarea: SE - servomotor electric; TG - tahogenerator; TP - traductor de poziție; A - amplificator de putere; RC, RV, RP - regulator de curent, viteză, poziție).

Funcție de destinația SA (pentru DG sau EF) acesta primește moduri diferite de realizare. Se poate vorbi astfel despre o acționare prin cuplare indirectă când servomotorul electric (SE) este cuplat cu elementul mobil al cuplei cinematice conducătoare printr-o transmisie reductoare. Este cazul SA clasice.

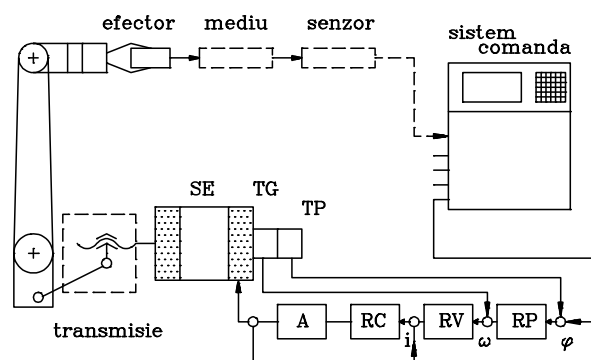


Fig. 1.7 Schema principală de acționare a unui grad de mobilitate al RI

La ora actuală se face remarcată și tendința spre acționare directă când rotorul servomotorului este cuplat fie direct la elementul mobil, fie prin intermediul unui mecanism paralelogram cu bare sau transmisii cu raport de transmitere unitar.

Suprimarea transmisiei mecanice reductoare constituie un avantaj deosebit prin reducerea masei ansamblului, dispariția unor surse de jocuri, frecări etc. De exemplu masa robotului ADEPT - 2 (clasa SCARA) a fost redusă în acest mod cu 30 %. Se pot obține în acest mod parametri cinematici deosebiți pentru punctul caracteristic al RI. RI realizat la MIT (SUA) a permis atingerea de viteze de 10 m/s și accelerații de 50 m/s². Realizarea unei astfel de acționări implică: utilizarea unui servomotor de putere specifică ridicată, realizarea unei structuri suple pentru SM al RI (materiale composite), realizarea unui sistem de comandă adecvat având în vedere faptul că SA devine mai sensibil la variațiile de sarcină și perturbații, utilizarea unor traductoare de poziție și viteză de precizie ridicată. În figura 11.8 se prezintă schema principală a acționării prin cuplare directă pentru două grade de mobilitate ale unui RI (model al Univ. Minnesota).

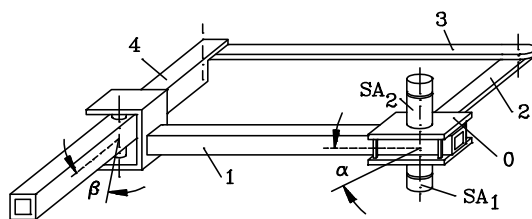


Fig. 1.8 Acționare directă pentru un RI

Cele două sisteme de acționare sunt montate pe batiul "0". Primul sistem de acționare SA₁ asigură funcția de acționare pentru cupla cinematică conducătoare (0,1) (coordonata generalizată α) prin cuplarea rotorului servomotorului direct la elementul "1". Cel de-al doilea sistem SA₂ asigură cel de-al doilea grad de mobilitate prin intermediul mecanismului paralelogram format din elementele 1, 2, 3, 4 (coordonata generalizată β).

Tot în această categorie de acționare directă se pot include și acționările prin servomotoare liniare. O serie de realizări ale sistemelor de acționare pot fi incluse în

acționări speciale. Aceasta clasificare se datorează fie pe motivul destinației (de ex. SA pentru module de poziționare locală) fie datorită principiului de realizare a servomotorului.

Componenta principală a servosistemului este servomotorul de acționare. Se utilizează la ora actuală cu preponderență servomotoare de c.c. în una din formele: servomotor cu întrefier axial, servomotor cu rotorul în pahar, servomotor cu rotor cilindric.

Complexitatea funcțiilor care trebuie realizate în cadrul aplicațiilor robotizate și necesitatea unui concept comun referitor la realizarea conversiei energie – lucru mecanic au condus la introducerea noțiunii de actuator

1.3. Comparații critice ale actuatorilor

Performanțele robotului depind într-o mare măsură de parametrii motoarelor de acționare utilizate. Arhitectura unui control inteligent, pentru întreg sistemul robotic, ia în considerare atât parametrii actuatorului cât și dualitatea actuator – senzor [11.23].

În tabelul 11.1 se prezintă un set de criterii pentru evaluarea performanțelor motorului de acționare. Fiecare dintre criteriile admise sunt analizate prin prisma influențelor pe care le au în selecția optimală a motoarelor.

Tabelul 1.1

Criteriul	Descriere
Domeniul operațional	Indică viteza maximă și cuplul dependent de sarcina dinamică
Temperatura	Temperatura mediului ambiant este cauza unor multiple efecte negative în funcționare.
Randamentul motorului	Raportul dintre puterea de la arbore și puterea absorbită de la sursa de energie
Pierderile în motor	Pierderile în cupru, pierderile în miezul feromagnetic, pierderile prin frecare, etc. sunt concludente pentru un actuator performant
Timpul de răspuns	Caracterizează dinamica motorului ca un răspuns la diverse semnale de intrare
Accelerația	Sunt importante eventualele limitări a accelerației la nivele ale cuplului motor
Cuplul impulsional	Sugerează capacitatea actuatorului de a crea un cuplu motor de valori ridicate pentru un scurt timp
Cuplul de frecare	Frecare este unul dintre factorii neliniari ai sistemului

În aceeași idee de analiză criterială, în tabelul 11.2 se prezintă o comparație critică a diverselor tehnologii de realizare a actuatorilor utilizabile în robotică. Sunt admise în analiză categorii diverse de realizare pornind de la considerația că actuatorii realizate se pot utiliza în aplicații diverse din robotică.

Tabelul 1.2

Categoria tehnologiei utilizate	Efort maxim	Tensiune maximă	Eficiență	Viteză relativă (ciclu)	Putere specifică
Aliaje cu memoria formei (TiNi)	> 5	> 200	< 10	Scăzută	Foarte mare
Electromagnetic	50	0.1	> 90	Ridicată	Mare
Piezoelectric ceramic (PZT)	0.2	110	>90	Ridicată	Mare
Piezoelectric polimer (PVDF)	0.1	4.8	-	Ridicată	Mare
Electrostatic	50	0.03	>90	Scăzută	Scăzută
Polimer cu memoria formei	100	4	<10	Ridicată	Medie
Magnetostrictiv (terfenol)	0.2	70	60	Ridicată	Foarte mare

O comparație pertinentă, a motoarelor de acționare din cuplele cinematice conducătoare ale RI, se poate realiza pe baza unor parametri de performanță:

- Cuplul impulsional C_{\max} – este impus prin valoarea maximă a curentului;
- Puterea tranzitorie P_S , pentru un moment de inerție la arborele motorului – este definită prin relația:

$$P_S = \frac{C_{\max}^2}{J} \quad (1.2)$$

- Accelerația maximă ε_{\max} - caracterizează proprietățile de demaraj ale servomotorului și este definită prin relația:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{C_{\max}}{J} \quad (1.3)$$

- Timpul de lansare T_0 – este definit ca timpul necesar atingerii vitezei nominale la cuplu nominal:

$$T_0 = \frac{J\Omega_n}{C_n} \quad (1.4)$$

O comparație a servomotoarelor de c.c. cu motoarele hidraulice (în planul P_sW - "putere tranzitorie - energie cinetică dublă") este prezentată în figura 11.9.

Dreptele de pantă -1 reprezintă servomotoarele de aceeași putere ([W]). Dreptele de pantă 1 se referă la servomotoare ce au același timp de lansare ([s]). Se remarcă că acționările electrice sunt performante la puteri reduse. În această comparație nu se ține

cont de puterea specifică sau cuplul specific.

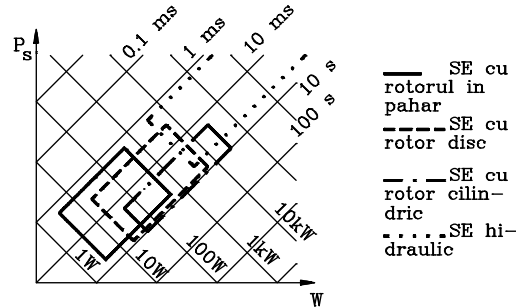


Fig. 1.9 Comparație critică a servomotoarelor în robotică

O comparație între servomotoarele de c.c. pentru parametri analizați anterior și funcție de cuplul motor este prezentată în figura 11.10.

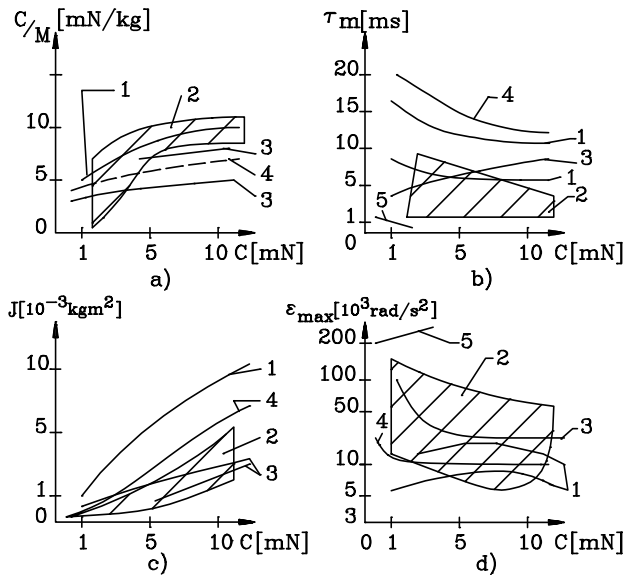


Fig. 1.10 Comparație între motoarele de c.c.: a) cuplu masic; b) constanta de timp mecanică; c) momentul de inerție rotoric; d) accelerație maximă

Semnificația notațiilor este următoarea: 1-servomotor cu magneți permanenți din pământuri rare; 2 - servomotor cu comutație statică; 3- servomotor cu rotor disc; 4-servomotor cu magneți din ferite; 5- servomotor cu rotor cilindric.

Compararea servomotoarelor de c.c. poate lua în considerare și alți parametri: geometrici (diametru D, lungime L, masa M); termici (rezistența termică R_{th} , capacitate termică C_{th} , constanta de timp termică τ_t).

1.4. Elementele componente ale sistemului de acționare.

1.4.1. Servomotorul electric

Servomotoarele de c.c. ocupă primul loc în cadrul sistemelor de acționare electrică. Se pot menționa în acest sens servomotoarele cu întrefier axial, cu rotor cilindric sau cu rotor în pahar (fig.11.11).

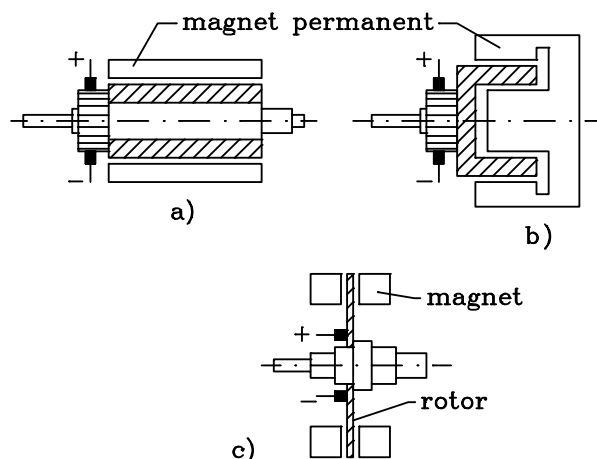


Fig. 1.11 Schema principală: a) motor c.c. cu rotor cilindric; b) motor c.c. cu rotor "pahar"; c) motor c.c. cu rotor disc

Excitația servomotoarelor utilizate în robotică este realizată în general prin magneți permanenți. Sunt utilizați trei tipuri de magneți permanenți: ALNICO, pe bază de ferite și pe bază de pământuri rare. Magneții Alnico se realizează, prin turnare, pe bază de aliaj în proporții variabile de fier, cobalt, nichel, aluminiu și cupru (Ex: Alnico 5: 13.5 % Ni, 24 % Co, 8 % Al, 3 % Cu, 51.5 % Fe). Stabilitatea termică a caracteristicilor magnetice la variații de temperatură, tehnologia de fabricație relativ simplă sunt câteva avantaje ale acestor magneți.

Magneții din ferite sunt realizați pe bază de oxid de fier și de bariu (sau de strontiu) în anumite proporții, amestecul fiind sinterizat (~ 13000 C) prin presare (sub acțiunea unui câmp magnetic H puternic). Acești magneți prezintă o sensibilitate ridicată a caracteristicilor magnetice la variația temperaturii.

Magneții pe bază de pământuri rare se obțin prin sinterizare în atmosferă inertă. Cei mai utilizați sunt magneții pe bază de samarium - cobalt Sm-Co5 (65 % Co). Variația magnetizării cu temperatura este neglijabilă.

În tabelul 11.3 sunt prezentați parametrii unor magneți permanenți specificați anterior iar în figura 11.12 curbele de demagnetizare a acestora.

Având în vedere acțiunea de demagnetizare a curentului prin indus asupra magneților, firmele constructoare limitează curenții de pornire la aprox. $10I_n$ (I_n reprezintă curentul nominal al servomotorului).

Tabelul 1.3

Material	(BH)max [kJ/m ³]	B _r [T]	H _c [kA/m]	Variația magnetizării cu temperatura [%/°C]
Alnico 1500	82	1.08	125	- 0.02
Spinalor 6H – (ferita)	29.5	0.4	285	- 0.18
SmCo ₅	145	0.85	650	- 0.04

Este de remarcat faptul că nici unul din materialele magnetice utilizate pentru excitare nu posedă proprietăți magnetice ideale din punctul de vedere al proiectării optime a mașinii de c.c.

Unele servomotoare dispun de bobine de magnetizare (dispuse pe magneți) pentru remagnetizarea magneților în cazul unor demagnetizări accidentale.

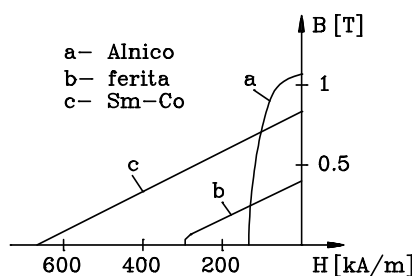


Fig. 1.12 Caracteristicile de demagnetizare pentru magneți permanenți

Indusul – rotorul - servomotoarelor utilizate în robotică este "fără fier" înfășurările (din cupru) fiind dispuse pe suport izolator.

Se remarcă câteva avantaje remarcabile ale acestor servomotoare: caracteristici mecanice riguros liniare din cauza inexistenței saturației magnetice, a efectelor curenților turbionari sau a histerezei; constanta de timp electrică neglijabilă din cauza inductivității reduse; constanta de timp mecanică redusă (de ordinul ms).

Caracterizarea unui servomotor de c.c. presupune luarea în considerare a valorilor nominale (tensiune, viteză, cuplu, curent) și a valorilor maxime a acestor parametri în regimuri tranzitorii.

Motoarele pas cu pas (m.p.p.) sunt de asemenea incluse în sistemele de acționare ale roboților industriali. Motorul pas cu pas este un convertor electromecanic care realizează conversia impulsurilor de comandă aplicate fazelor motorului într-o mișcare discretă - pașii motorului.

Constructiv m.p.p. se clasifică în:

- m.p.p. cu reluctanta magnetica variabila
- m.p.p. cu magnet permanent
- m.p.p. hibride

În figura 11.13 se prezintă schema principială (în secțiune transversală) a unui

m.p.p cu reluctanță magnetică variabilă.

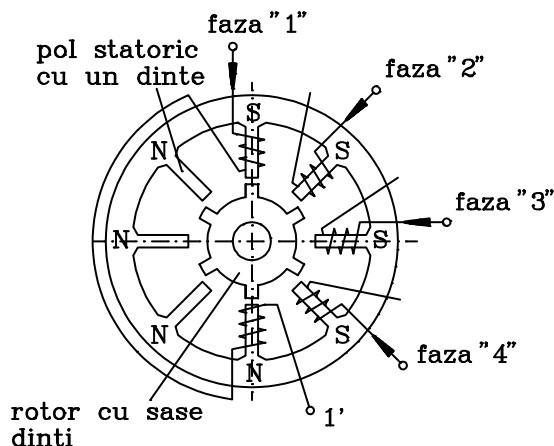


Fig. 1.13 Schema principială a m.p.p. cu reluctanță magnetică variabilă

Aceste motoare sunt cu rotor pasiv, putând avea pe suprafața rotorului dinți și creștături (de ex. șase creștături în figura 11.13). Partea statorică (un stator sau mai multe) cuprinde înfășurări distribuite sau concentrate (de ex. opt înfășurări concentrate în figura 11.13). Bobinele polilor diametral opuși se conectează în serie și se alimentează de la o sursă de curent continuu prin intermediul unui comutator electronic.

Prin alimentarea unei faze statorice (de ex. 1-1'), rotorul se va roti astfel încât circuitul magnetic să prezinte reluctanța magnetică minimă (axa înfășurării alimentate să coincidă cu axa unor dinți rotorici). Întrerupând alimentarea fazei 1-1' și alimentând faza 2-2', rotorul va ocupa o nouă poziție de reluctanță minimă rotindu-se cu un unghi "Θ" - pasul unghiular. O micșorare a pasului unghiular se poate obține prin mărirea numărului de poli statorici și rotorici sau prin reunirea în aceeași mașină a mai multor seturi independente (electric și magnetic) de statoare și rotoare decalate spațial între ele.

M.p.p. cu reluctanță magnetică variabilă au următoarele avantaje principale:

- frecvența maximă de comandă atinge limite relativ mari și deci se pot realiza viteze ridicate;
- construcție mecanică simplă;
- poate fi realizat pentru o gamă largă de pași unghiulari;
- este bidirecțional dacă dispune de un număr mărit de faze.

Dintre dezavantajele m.p.p cu reluctanță magnetică variabilă se pot menționa:

- nu memorează poziția și nu dezvoltă cuplu electromagnetic în lipsa alimentării fazelor statorice;
- oscilații importante ale rotorului la alimentarea unei singure faze statorice la un moment dat.

În figura 11.14 se prezintă varianta unui m.p.p cu magnet permanent în rotor.

Prin alimentarea fazei de comandă statorice se creează un flux ce interacționează cu cel al magnetului permanent. Rotorul se va roti astfel încât să ocupe o poziție ce corespunde unei reluctanțe minime pentru circuitul magnetic. Avantajele utilizării unui astfel de motor sunt:

- dezvoltă un cuplu de fixare a rotorului chiar în cazul nealimentării fazelor;
- consum energetic mai redus;
- rotorul are o mișcare amortizată datorită prezenței magnetului permanent.

Principalele dezavantaje ale acestui motor sunt:

- performanțele motorului sunt afectate de variația caracteristicilor magnetilor permanenți;
- tensiunea electromotoare indusă în înfașurarea de comandă are valori ridicate.

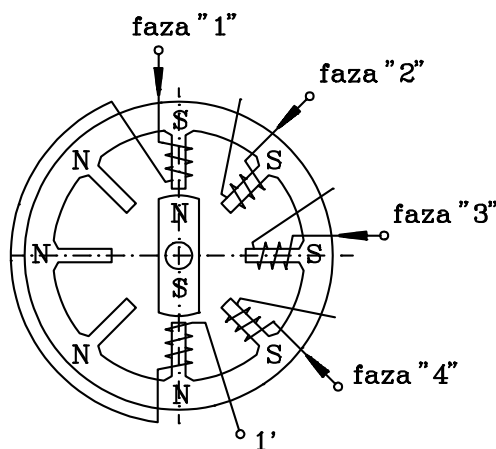


Fig. 1.14 Schema principială a m.p.p. cu magnet permanent

Referitor la construcția m.p.p. se mai pot aminti variantele constructive ale m.p.p. electromecanice (o combinație compactă m.p.p. și reductor armonic cu angrenare radială = m.p.p. RESPONSYN, sau angrenaj frontal = m.p.p. MEASURMATIC) și a m.p.p. electrohidraulice (combinație m.p.p. cu amplificator de cuplu hidraulic cu piston axial).

Realizarea principială - constructivă și funcțională - a unui m.p.p. liniar este prezentată în figura 11.15. Partea activă este realizată din doi electromagneți (EM_1 și EM_2) și separați de un magnet permanent. Partea pasivă feromagnetică este danturată cu același pas ca și cel al electromagneților din partea activă. Magnetul permanent asigură un flux magnetic ce se închide prin electromagneți și prin circuitul magnetic al părții pasive. Alimentarea unui electromagnet se realizează de așa manieră încât câmpul sub un pol al acestuia se va dubla iar sub celălalt se anulează. La alimentarea doar a electromagnetului EM_2 partea mobilă tinde să ocupe poziția de reluctanță minimă (fig.11.15a). Decuplând alimentarea pe EM_2 și alimentând EM_1 partea mobilă se va deplasa cu un sfert de pas sub acțiunea forțelor electromagnetice și va ocupa o nouă poziție de reluctanță minimă (fig.11.15.b). În figurile 11.15c,d sunt prezentate

următoarele două poziții succesive ale părții mobile pentru realizarea în cadrul unui ciclu complet a deplasării pe un pas dentar. Partea mobilă este suspendată prin intermediul unei perne cu aer sau prin intermediul unui mecanism cu cuple cinematice elastice.

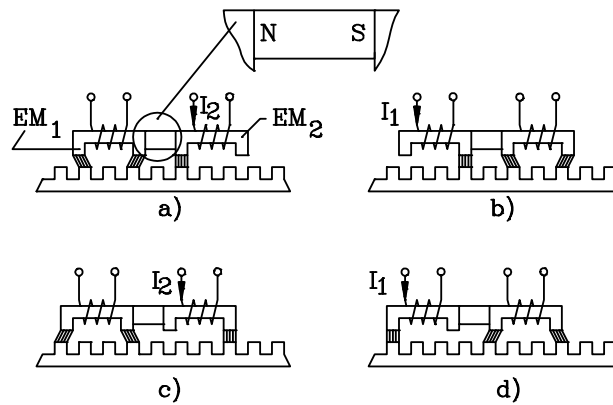


Fig. 1.15 M.p.p. liniar

Motorul sincron cu magnet permanent, autopilotat, are posibilitatea de înlocuire a motoarelor de c.c. utilizate în construcția roboților industriali. În figura 11.16 este prezentată schema principal-funcțională a unui astfel de motor.

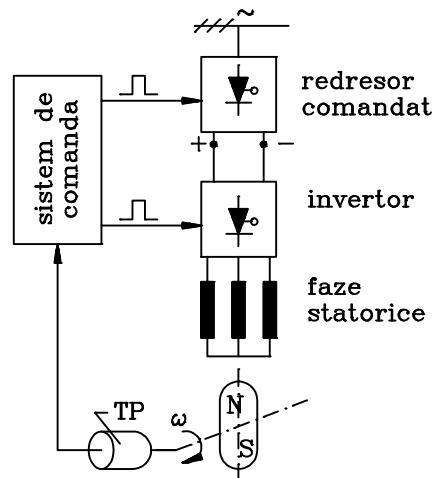


Fig. 1.16 Schema principală a motorului sincron cu magnet permanent

Dintre argumentele care recomandă aceste motoare se pot aminti:

- lipsa colectorului și a tuturor contactelor alunecătoare care înrăutățesc funcționarea;

- constanta de timp termică favorabilă;
- posibilitatea realizării unui cuplu masic (Cuplu / masa motorului) de valori ridicate prin utilizarea unor curenți intensi prin indus.

Deoarece motorul sincron funcționează la viteze de sincronism (atâta timp cât cuplul rezistent la arbore nu depășește cuplul electromagnetic maxim) $\Omega = \frac{2\pi f}{p}$, rezultă că practice reglarea vitezei se poate realiza numai prin variația frecvenței f de alimentare (modificarea numărului p de perechi de poli nefiind acceptabilă).

Modificarea frecvenței se poate realiza pe baza convertoarelor cu comutație externă independentă sau convertoare conduse de motor (cazul din figura 11.16). Motorul este alimentat prin mutatorul de frecvență compus dintr-un redresor și un inverter comandat prin traductorul de poziție TP.

Bineînțeles că o parte din neajunsurile și deficiențele colectorului (specifice mașinilor de curent continuu) au fost transferate convertizoarelor statice (relativ complexe, cu preț de cost mai ridicat) lucruri de care trebuie să se țină cont.

Procesele tranzitorii ale SA (pornire, frânare, oprire, reversare) sunt determinante în consumul de energie electrică, productivitate, calitatea procesului tehnologic activat, solicitarea mecanică, electromagnetică și termică a acestuia. Influența SA se manifestă în cadrul acestor procese printr-o inerție mecanică, electromagnetică, termică de care se ține cont prin constantele de timp corespunzătoare.

Inerția mecanică este datorată pieselor în mișcare, caracterizate de momentul de inerție redus la elementul de reducere, echivalat cu rotorul motorului electric. Influența acesteia se manifestă prin modul de variație a vitezei în timp și se ia în considerare prin constanta de timp mecanică τ_m . Modul de definire a constantei funcție de variația în timp a vitezei este prezentat în figura 11.17 iar relația de definiție pentru motoarele c.c.este:

$$\tau_m = \frac{RJ}{k^2} \quad (1.5)$$

unde: R este rezistența din circuitul indusului; J este momentul de inerție redus; K este constanta electrică a mașinii.

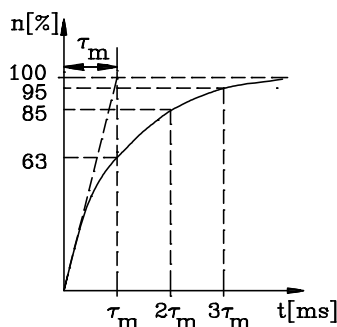


Fig. 1.17 Constanta de timp mecanică

Inerția electromagnetică are ca sursă inductivitatea înfășurărilor, influențează modul de variație a curentului în circuitul înfășurării și este caracterizată prin constanta de timp electromagnetică:

$$\tau_e = \frac{L}{R} \quad (1.6)$$

Inerția termică este determinată de masa, forma și proprietățile termice ale corpurilor și este caracterizată de constanta de timp termică τ_t .

Pentru mașinile electrice rezistența termică R_t și capacitatea termică C_t a motorului sunt date de catalog și definesc constanta de timp termică:

$$\tau_t = R_t \cdot C_t \quad (1.7)$$

1.4.2. Traductoarele de poziție

Traductoarele de deplasare și poziție au rolul de a sesiza cantitativ mișcarea din cuplele cinematice conducătoare ale roboților industriali și a echipamentelor periferice din sistemul de fabricație.

Trebuie să se facă distincție între deplasare și poziție. Deplasarea pune în evidență mișcarea în sine fără a oferi informație despre poziția elementului mobil față de un reper fix. În același timp poziția oferă informație despre situarea reperului mobil, atașat punctului mobil P_{i+1} , față de reperul fix considerat într-un punct P_0 .

Mărimea de ieșire din traductor și care oferă informația despre deplasare sau poziție este o mărime electrică:

- analogică: traductoarele resolver, inductosyn, rezistiv, capacitiv;
- numerică: traductoare în general electro-optice.

În marea majoritate traductoarele folosite în construcția roboților industriali sunt din categoria celor numerice.

În unele cazuri deplasarea elementului mobil din componența cuplei cinematice nu poate fi sesizată prin cuplare directă fiind necesară intercalarea unui ansamblu cinematic între traductor și elementul mobil. Pot fi evidențiate astfel două posibilități:

- măsurare directă (MD);
- măsurare indirectă (MI.)

Din problematica realizării sistemului de măsurare și din datele tehnice pretinse acestuia rezultă o serie de concluzii concrete cu privire la sistemul de măsurare. Se impune determinarea celei mai bune variante (MD/MI) și parametrii de legătură.

Măsurarea directă este cea mai simplă din punct de vedere tehnic, dar în unele cazuri nu poate fi aplicată fie din motive de gabarit, fie din motive de asigurarea preciziei de măsurare sau a celor economice. Traductoarele rotative de exemplu revin la un cost mai redus în comparație cu cele liniare.

Prin reducerea deformațiilor statice și dinamice, a jocurilor la mișcarea de rotație, în cazul cuplării directe se obțin preciziile cele mai ridicate. O importanță deosebită se impune modului de cuplare a traductorului la elementul în mișcare mai ales când se impune parcurgerea unei distanțe mari cu viteză mare.

Roboții industriali din punct de vedere mecanic sunt lanțuri cinematice în general deschise sau parțial deschise. Starea de mișcare între cele două elemente componente ale cuplei cinematice conducătoare (fix respectiv mobil) este sesizată de traductorul de deplasare/ poziție.

În figura 11.18 sunt prezentate două cuple cinematice conducătoare (R) respectiv (T) din structura unui robot industrial. Semnificația notațiilor din figură este următoarea: (a) 1-motor; 2-transmisie; 3-traductor; (b) 1-element mobil; 2-motor liniar; 3-traductor.

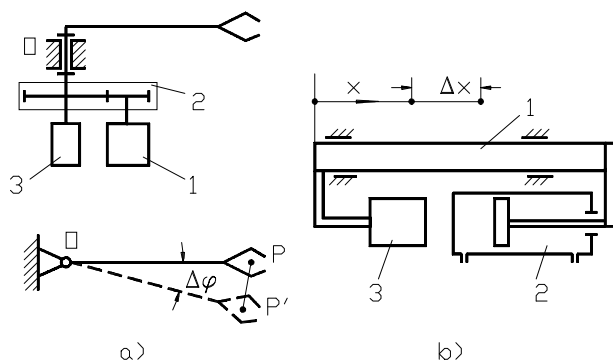


Fig. 1.18 Locul traductorului de deplasare la cuplarea directă

Se impune unui robot industrial executarea unor mișcări cu o anumită precizie Δx_{\min} . Pentru cupla cinematică conducătoare de rotație (fig.11.18a) unghiul $\Delta\varphi$ se poate determina ca fiind dat de relația:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x_{\min}}{R} \quad (1.8)$$

unde $R = OP$ este raza de mișcare a punctului caracteristic P. Rezoluția traductorului trebuie să fie inferioară valorii obținute din (11.8). Același lucru se impune și în cazul unei mișcări de translație.

Pentru traductoarele incrementale de rotație rezoluția este:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N_{imp}} \quad (1.9)$$

unde N_{imp} este numărul de impulsuri la o rotație completă. Se impune astfel să fie îndeplinită inegalitatea:

$$\frac{2\pi}{N_{imp}} \leq \frac{\Delta x_{\min}}{R} \quad (1.10)$$

În cazul traductoarelor de deplasare rezistive potențiometrice (utilizate în peste 33 % din aplicații) erorile de neliniaritate sau a coeficientului de temperatură, zgomotele la tensiuni mici, erorile datorate contactului cursor - rezistor limitează

utilizarea acestora. Pentru aceste traductoare utilizate la controlul unei mișcări liniare există relația:

$$\Delta x = \Delta x_{\min} = \frac{\Delta U_{\min}}{U_a} \cdot l = \frac{\Delta R_{\min}}{R} \cdot l \quad (1.11)$$

unde: U_a este tensiunea de alimentare; U_{\min} este valoarea minimă a tensiunii de ieșire; l este cursa traductorului; R_{\min} este valoarea minimă a rezistenței traductorului; R este rezistența maximă a traductorului.

În cazul mișcării de rotație, pentru traductoare rezistive, relația de legătură dintre deplasările liniare este (fig.11.19):

$$\frac{\Delta x_{\min}}{r_{RI}} = \frac{\Delta x}{r_C} \quad (1.12)$$

unde: r_{RI} este raza de mișcare a RI; r_C este raza cursorului traductorului.

Relația anterioară devine:

$$\frac{\Delta x_{\min}}{r_{RI}} = \frac{\Delta U_{\min}}{U_a} \cdot \varphi_{\max} \quad (1.13)$$

unde φ_{\max} este cursa maximă a traductorului.

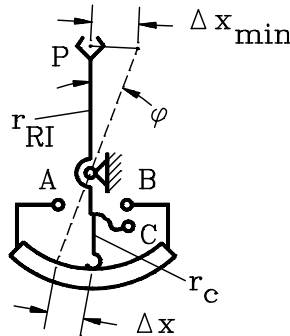


Fig. 1.19 Traductor rezistiv de deplasare în cupla cinematică conducătoare

Măsurarea indirectă constituie soluția în care măsurarea se face prin intermediul subansamblului cinematic de măsurare. Acest subansamblu intervine în cadrul sistemului informațional prin toate caracteristicile sale de precizie, repetabilitate, domeniu de măsură etc.

În figura 11.20 sunt prezentate câteva modalități de conectare a traductorului la elementul mobil a cărui mișcare trebuie sesizată.

Semnificația notațiilor este următoarea:

a:1,4-roți dintate; 2-motor; 3-traductor;

b:1-cremalieră;2-cilindru pneumatic;3-traductor;4-roată dințată;

c:1-motor; 2-reductor; 3-traductor; 4-transmisie șurub-piuliță; 5-masă în mișcare;

d: 1-cupla cinematică conducătoare; 2-transmisie cu element flexibil; 3-traductor.

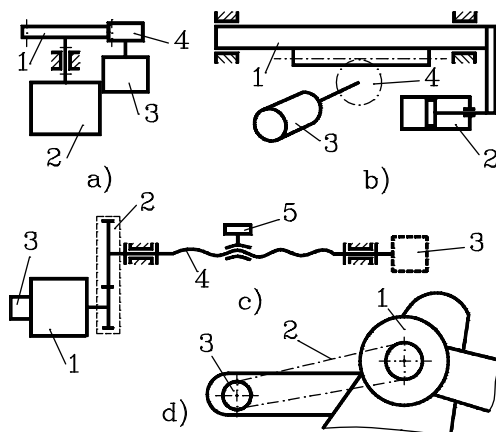


Fig. 1.20 Traductor rezistiv de deplasare în cupla cinematică conducătoare

În cazul traductoarelor incrementale din dotarea modulelor de rotație între unghiul minim de înregistrat și rezoluția traductorului există relația:

$$i = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\min}} = \frac{z_4}{z_1} = \frac{\Delta x_{\min}}{R} \cdot \frac{N_{imp}}{2\pi} \quad (1.14)$$

unde: i este raportul de transmitere; z_4 și z_1 sunt numerele de dinți ale roților dințate 4 (aparținând cuplei cinematice conducătoare) și 1 (de pe arborele traductorului).

Pentru cupla cinematică conducătoare de translație din figura 11.20b, unghiul de rotație al pinionului 4 este dat de relația:

$$\varphi = \frac{\Delta x_{\min}}{r_4} \quad (1.15)$$

și este egal cu unghiul de rotație al traductorului (r_4 este raza pinionului). Există deci relația:

$$\varphi = \varphi_{\min} = \frac{2\pi}{N_{imp}} \quad (1.16)$$

În cazul cuplei cinematice conducătoare de translație din figura 11.20c traductorul se poate cupla direct pe șurubul (3) sau pe arborele motorului (M). În primul caz unghiul de rotație al șurubului (3) este:

$$\varphi = \Delta x_{\min} \cdot \frac{2\pi}{p} \quad (1.17)$$

unde "p" este pasul șurubului. Având în vedere relația de definire a rezoluției

traductorului se impune să existe condiția:

$$p \leq \Delta x_{\min} \cdot N_{imp} \quad (1.18)$$

În cel de-al doilea caz raportul de transmitere "i" al reductorului 2 permite definirea relației de legătură dintre cele două unghiuri:

$$i = \frac{\varphi_{\min}}{\varphi} = \frac{p}{N_{imp} \cdot \Delta x_{\min}} \quad (1.19)$$

Cuplarea indirectă a traductorului rezistiv potențiometric permite utilizarea traductorului de rotație și la înregistrarea unei mișcări de translație. Fie modulul de rotație cu schema cinematică prezentată în figura 11.21a, notațiile având semnificația: M - motor; Tr- traductor; 1 - reductor; 2 - modul de translație; 3,3'- pinion / cremalieră.

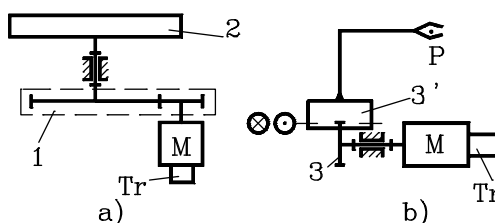


Fig. 1.21 Variante de conectare mecanică a traductorului

Dacă reductorul 1 are raportul de transmitere "i" atunci:

$$i = \frac{\varphi_{\min}}{\varphi} = \frac{\Delta U_{\min}}{U_a} \cdot \varphi_{\max} \cdot \frac{r_{RI}}{\Delta x_{\min}} \quad (1.20)$$

Pentru modulul de translație (fig.11.21b) relația de legătură este (r_3 este raza pinionului (3)):

$$\frac{\Delta x_{\min}}{r_3} = \frac{\Delta U_{\min}}{U_a} \cdot \varphi_{\max} \quad (1.21)$$

Analiza condițiilor ce trebuie îndeplinite de traductorul ales trebuie făcută pentru fiecare caz concret în parte.

Transmisiile utilizate pentru cuplarea indirectă a traductorului trebuie să aibă o precizie cinematică ridicată și momente de inerție reduse.

Comanda servomecanismului funcție de unghiul de rotație θ_e presupune utilizarea unui traductor adecvat.

Dacă servomotorul de acționare este de c.c. atunci semnalul din bucla de reacție trebuie să fie tot continuu. În cazul în care se utilizează un traductor de poziție în curent alternativ semnalul trebuie demodulat pentru a se obține un semnal echivalent continuu.

Principiul de utilizare a unui traductor rezistiv de deplasare în bucla de reacție

este sugerată în figura 11.22. Semnalul electric aplicat amplificatorului de putere este proporțional cu diferența de semnal impus și realizat:

$$u_e = K_p \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (1.22)$$

Schema bloc pentru sistemul de calcul a erorii de poziție în curent continuu este prezentată în figura 11.22b, factorul de amplificare K_p incluzând atât sensibilitatea traductoarelor cât și amplificarea impusă de amplificatorul sumator "A".

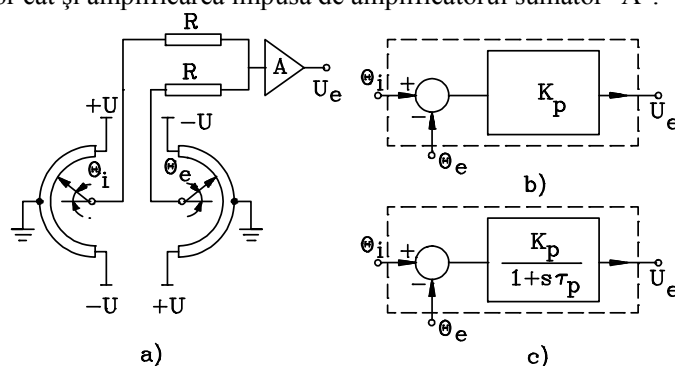


Fig. 1.22 Calculul erorii de poziție:

a) schema principală; b,c) schema bloc în c.c. și c.a.

Pentru traductoarele de poziție în c.a. schema bloc este prezentată în figura 11.22c, acesta comportându-se ca un element de întârziere de ordinul I.

Utilizarea unui traductor de poziție incremental impune folosirea unui numărător reversibil ca element de comparație, alimentat de două succesiuni de impulsuri (de referință primite de la calculator și de reacție de la traductor). Numărătorul se comportă ca un element integrativ.

Integrarea traductorului de poziție în structura motorului de acționare este prezentată în figura 11.23[11.10].

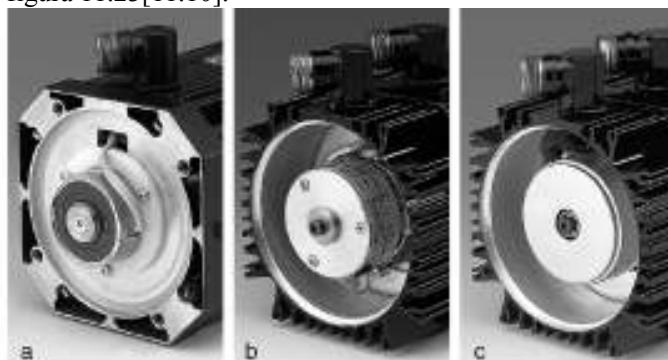


Fig. 1.23 Integrarea traductorului de poziție în structura motorului de acționare: a) traductorul utilizat este un resolver; b) traductorul folosit este incremental optoelectronic; c) traductorul este absolut (sin-cos).

Semnalizarea capetelor de cursă mecanice este realizată de limitatoarele de cursă. Acestea se pot realiza în varianta cu contact (LC) sau fără contact (traductoare de proximitate).

LC se realizează într-o gamă de variante extinse (fig.11.24). Principiul de funcționare este însă același: la realizarea cursei mecanice elementul mobil acționează asupra unei pârghii, rolă etc. deschizând un contact electric (normal închis) (NI) și închizând în același timp un altul (normal deschis) (ND). Contactele (NI) și (ND) se găsesc în circuitul de comandă al motorului (notațiile "1", "2", "3" reprezintă bornele limitatorului).

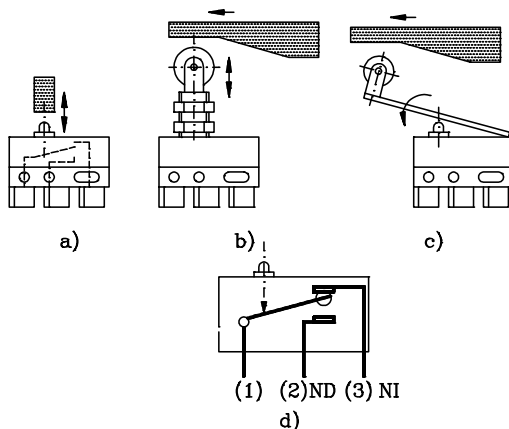


Fig. 1.24 Variante principale ale limitatoarelor de cursă

Funcționarea corectă a limitatorului implică o serie de măsuri constructive privind montajul acestuia și realizarea unor componente. Câteva recomandări privind montajul (LC) sunt prezentate în figura 11.25.

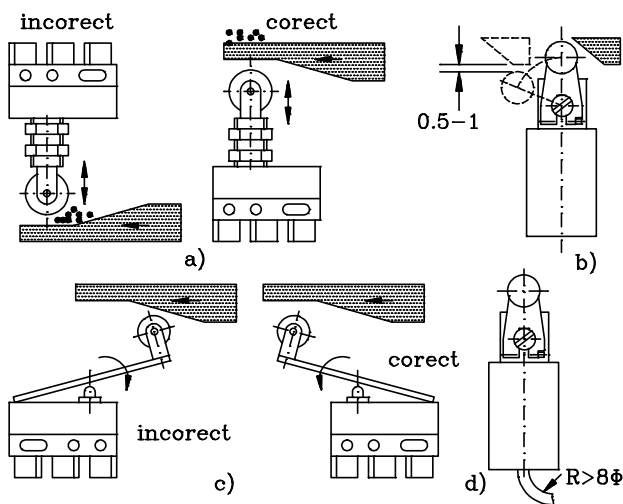


Fig. 1.25 Recomandări privind montajul limitatoarelor de cursă

Prezența unor impurități în zona (LC) recomandă montajul conform figurii 11.25a. Între piesa mobilă (a cărei poziție extremă se detectează) și poziția extremă a rolei limitatorului trebuie să existe un joc de aproximativ 0.5-1 mm (fig.11.25b).

Evitarea deformațiilor pârgheii mobile a limitatorului recomandă varianta din figura 11.25c. Pentru evitarea pătrunderii apei în interiorul limitatorului este necesar montajul limitatorului conform cu figura 11.25d. Raza de deformație a cablului trebuie să fie superioară lui de opt ori diametrul cablului. Piesa suport pe care se fixează (LC) trebuie să fie rigidizată pentru a nu se deforma sub acțiunea forțelor de contact.

1.4.3. Traductoarele de viteză

Traductoarele de viteză convertesc mărimea cinematică (viteză liniară sau de rotație) într-un semnal electric.

Tahogeneratoarele sunt o categorie des utilizată în sistemele de acționare pentru reacția de viteză. Acestea sunt microgeneratoare și au tensiunea de ieșire (U_e) proporțională cu viteza de rotație (ω) a rotorului. În construcția roboților industriali se utilizează fie tahogeneratoare de c.c. (TGC) fie tahogeneratoare asincrone (TGA).



a)



b)

Fig. 1.26 Tahogeneratoare

Tahogeneratoarele de c.c. sunt realizate pe principiul m.c.c. având excitație prin magneți permanenți. Caracteristica traductorului este liniară cu o zonă "moartă" datorită căderii de tensiune la perii.

Sensibilitatea tahogeneratoarelor corespunde în general unor valori de $15 - 25 \text{ mV/rot/min}$ iar tensiunea de ieșire la bornele (TGC) atinge la viteza nominală valori de până la 50 V. O caracteristică statică bidirecțională pentru un traductor de viteză (tahogenerator de c.c.) este prezentată în figura 11.27[11.10].

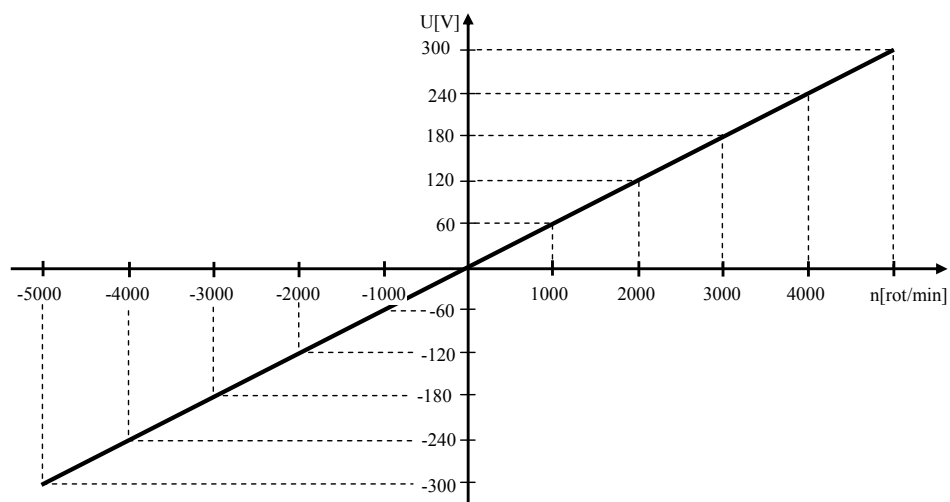


Fig. 1.27 Caracteristică bidirecțională a unui tahogenerator de c.c.

Schema principală a unui (TGC) și schema bloc aferentă sunt prezentate în figura 11.28.

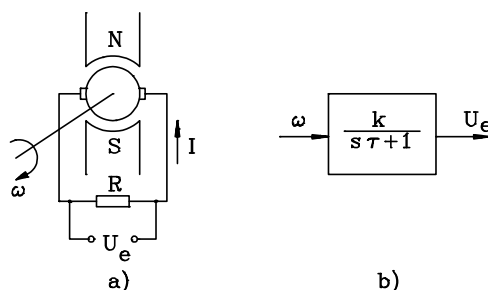


Fig. 1.28 Schema principală și schema bloc pentru un TGC

Sensibilitatea tahogeneratoarelor asincrone se situează în intervalul $2 - 5 \text{ mV/rot/min}$ iar tensiunea de ieșire în intervalul $10 - 60 \text{ V}$.

Servomotoarele de c.c. utilizate în acționarea RI pot avea (TG) înglobat în structura motorului de acționare. Se recomandă ca momentul de inerție al rotorului (TG) să aibă valori cât mai reduse.

În unele aplicații se pot utiliza traductoare de viteză pe bază de impulsuri (fotoelectrice, inductive, magnetice).

1.4.4. Amplificatoare de putere

Utilizarea servomotoarelor electrice utilizate în construcția RI trebuie să permită reglarea vitezei în limite extrem de largi, inversarea sensului de rotație, reglarea automată a regimului de lucru (pornire, frânare etc.).

Amplificatoarele de putere (c.c și c.a.), care acționează direct asupra servomotoarelor electrice, sunt realizate în cazul SAE al RI pe baza componentelor cu

semiconductoare comandate (tranzistoare, tiristoare) fiind cunoscute și sub numele de amplificatoare statice. Schema de principiu al unui amplificator de putere static de c.c. este prezentată în figura 11.29a.

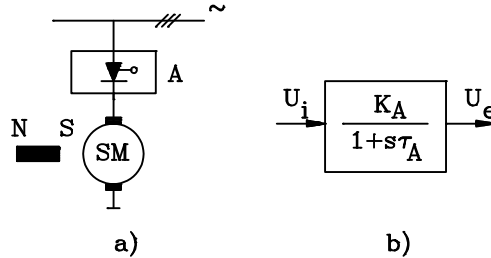


Fig. 1.29 Schema de principiu a unui amplificator static

Amplificatoarele de putere pot fi reprezentate printr-o funcție de transfer având un factor de amplificare K_A și o constantă de timp τ_A (fig.11.29b). Constanta de timp este determinată de timpul mort statistic al acestora și parametrii eventualelor bobine și condensatoare de filtrare din circuitul de putere. Deseori constanta de timp este foarte mică și se poate neglija.

1.4.5. Reglatoare

Reprezentarea schematică a unui sistem de control cu reacție este dată în figura 11.30.

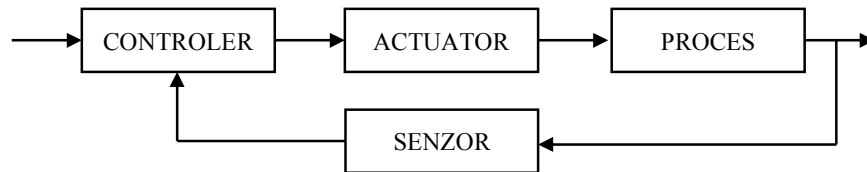


Fig. 1.30 Sistem de control cu reacție

Într-o variantă simplă și de generalitate extremă "Controlerul", are rolul de a prelucra după o anumită lege, eroarea rezultată din comparația mărimii de intrare X și a celei de reacție R :

$$E = X - R \quad (1.23)$$

și de a furniza la ieșire o mărime de comandă U care se aplică obiectului reglat (fig.11.31).

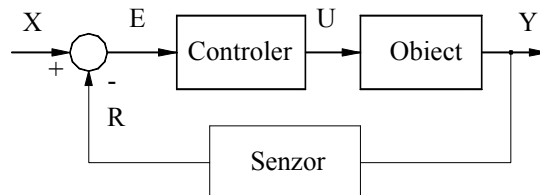


Fig. 1.31 Schema bloc a sistemului de control cu reacție

Relația matematică care leagă cele două mărimi "E" și "U" determină caracteristica regulatorului din punctul de vedere al influenței lui în sistemul de reglare.

În construcția SA ale cuplelor cinematice conducătoare se utilizează regulatoare analogice de curent și de viteză. Aceste regulatoare se realizează pe baza de amplificatoare operaționale. Regulatorul proporțional (P) se caracterizează prin aceea că, în orice moment mărimea de ieșire este proporțională cu mărimea de intrare. Acesta prezintă la intrare o rezistență R_1 iar în circuitul de reacție rezistența R_2 (fig.11.32a).

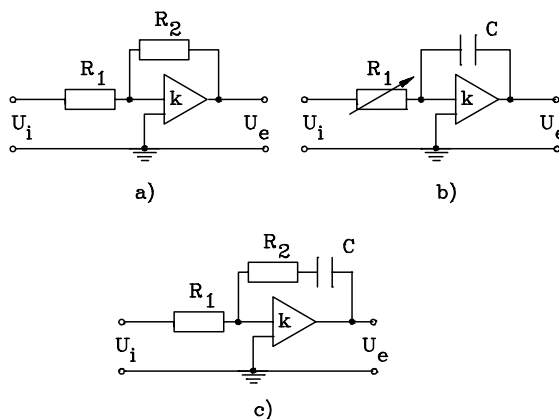


Fig. 1.32 Scheme de regulatoare: a - regulatorul P; b - regulatorul I; c - regulatorul PI

Funcția de transfer a acestui regulator este:

$$Y_P(s) = -\frac{R_2}{R_1} = k_P \quad (1.24)$$

Dintre inconvenientele utilizării regulatorului "P" în sistemele de reglare se pot aminti: apariția unei abateri staționare a mărimii de ieșire la modificarea mărimii de intrare sau la apariția unei perturbații, regim tranzitoriu mai lung. Aceste regulatoare sunt însă simple și de cost redus. Se recomandă utilizarea lor în cazurile în care dezavantajele enunțate nu sunt esențiale.

Regulatorul integral (I) are schema principială prezentată în figura 11.32b.

Efectul "I" este necesar dacă mărimea de intrare în sistemul de reglare se modifică des. Nu este indicată utilizarea efectului "I" în mod singular.

Funcția de transfer a acestui regulator este descrisă de ecuația:

$$Y_I(s) = -\frac{1}{sR_1C} = -\frac{1}{s\tau_I} \quad (1.25)$$

unde τ_I este constanta de timp a regulatorului.

Regulatorul proporțional - integral (PI) este prezentat schematic în figura 11.32c. Costul acestuia nu este cu mult mai mare decât al regulatorului "P". Datorită caracteristicii integrale regulatorul elimină aproape complet abaterea staționară după apariția unei perturbații sau la o modificare a mărimii de intrare.

Funcția de transfer a regulatorului este suma funcțiilor de transfer ale

regulatorului (P) și (I) mărimile având semnificațiile anterioare:

$$Y_{PI}(s) = k_P + \frac{1}{s\tau_I} \quad (1.26)$$

Schema regulatorului proporțional - diferențial (PD) și a celui proporțional - integral - diferențial (PID) sunt prezentate în figura 11.33. Prin adăugarea efectului "D" se urmărește reducerea depășirii valorii prescrise a parametrului reglat. De asemenea acest efect poate îmbunătăți desfășurarea regimului tranzitoriu.

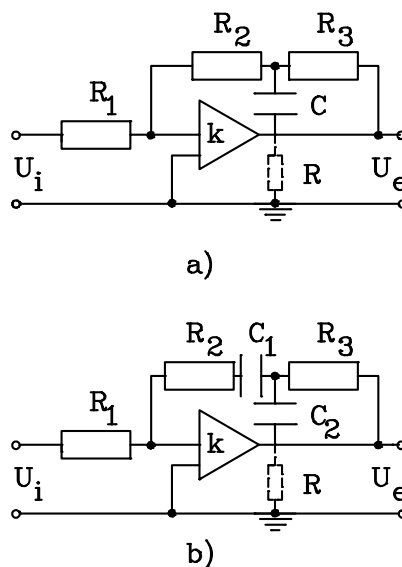


Fig. 1.33 Regulatorul (PD)(a) și (PID)(b)

Funcțiile de transfer a celor două regulatoare sunt descrise de ecuațiile:

$$Y_{PD}(s) = -k_{PD} \cdot (1 + s\tau_{PD}) \quad (1.27)$$

$$Y_{PID}(s) = k_P + \frac{1}{s\tau_I} + s\tau_D \quad (1.28)$$

unde factorul de proporționalitate și constantele de timp sunt:

$$k_{PD} = \frac{R_2 + R_3}{R_1} \quad (1.29)$$

$$\tau_{PD} = \frac{R_2 R_3 C}{R_2 + R_3} \quad (1.30)$$

$$k_P = \frac{1}{R_1 C_2} \cdot \left[(R_2 + R_3) \cdot C_2 + \frac{R_2 R_3 C_1}{R_2 + R_3} \right] \quad (1.31)$$

$$\tau_I = R_1 C_2 \quad (1.32)$$

$$\tau_D = \frac{R_2 R_3 C_2}{R_1} \quad (1.33)$$

În cazul general SAE pentru o cuplă cinematică conducătoare a RI constă din trei bucle de reglare: curent, viteză și poziție (unghi de rotație)(vezi fig.11.7).

Fiecare contur de reglare poate să fie analogic fie numeric. Regulatele numerice impun o abordare specifică.

Sinteza servomecanismului pentru o cuplă cinematică conducătoare cuprinde și determinarea parametrilor optimi ai reglatelelor din contururile de reglare.

Exemplu

În figura 11.34a se prezintă schema principală a sistemului de acționare pentru un dispozitiv de prehensiune dotat cu elemente senzoriale pe ambele bacuri.

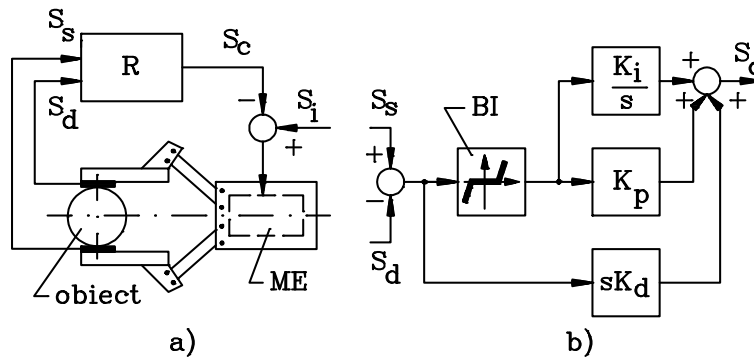


Fig. 1.34 Schema principală a reglării forței de prehensare

Sistemul de acționare (SA) este realizat pe baza unui servomotor electric "ME" și este comandat în funcție de semnalele "S_s" și "S_d" de la cei doi senzori. Schema bloc a circuitului de reglare realizat cu un regulator (PID) este prezentată în figura 11.34b (BI - blocul corespunzător zonei de insensibilitate).

Scopul controlerului este de a asigura un timp de creștere corespunzător, o supracreștere minimă, fără eroare staționară. Modul în care constantele controlerului influențează performanțele este prezentat calitativ în tabelul 11.4.

Tabelul 1.4

	Timpul de creștere	Supracreșterea	Timpul de răspuns	Eroarea
K_P	diminuare	creștere	influență redusă	diminuare
K_I	diminuare	creștere	creștere	elimină
K_D	influență redusă	diminuare	diminuare	influență redusă

Aspecte privind proiectarea optimă a reglatelelor va fi prezentată într-un alt capitol.

Localizarea controlerului într-un montaj real al unui sistem de control pentru un modul al unui robot este ilustrată sugestiv în figura 11.35

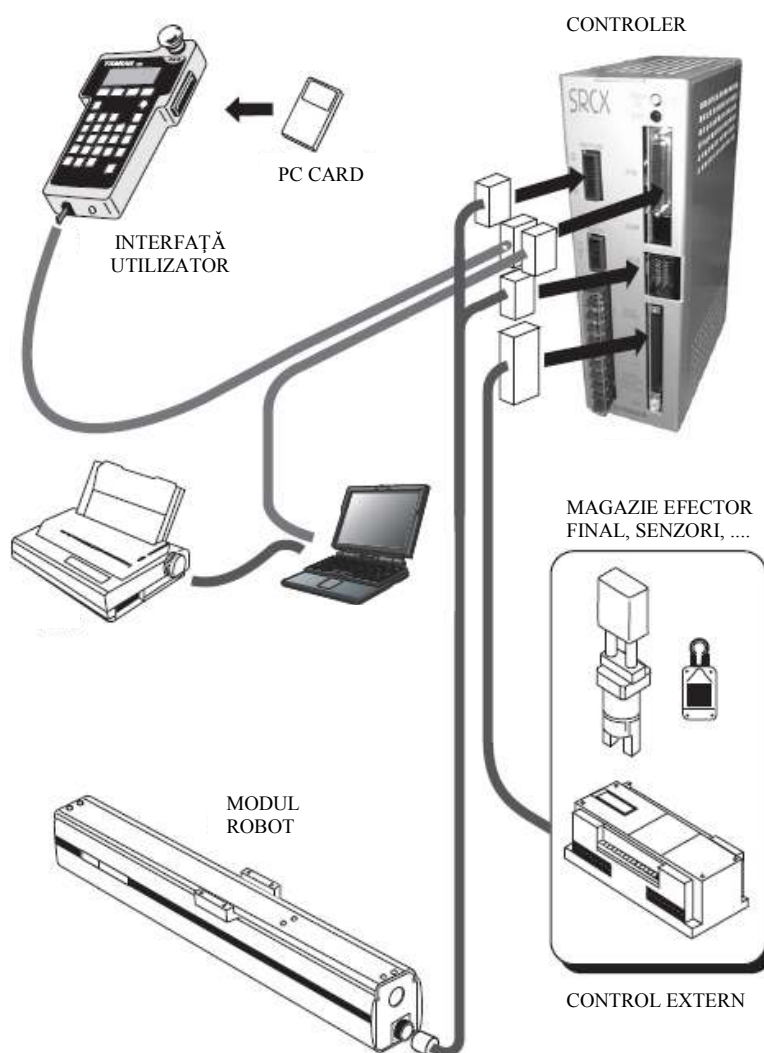


Fig. 1.35 Conexiunile controlerului într-un montaj real

1.4.6. Transmisia mecanică

Transmisia mecanică (TM) se interpune între servomotorul electric și elementul mobil al cuplei cinematice conducătoare. Aceasta permite acordarea caracteristicii mecanice motoare cu cea rezistentă, transferul masei motoarelor de acționare spre zona batiului (funcție de arhitectura RI).

Transmisia mecanică intervine în cadrul sistemului cu o serie de neliniarități:

jocuri interne, frecări uscate sau vâscoase, elasticitate și masa proprie. Toate aceste inconveniente înrăutățesc comportarea dinamică, reduc precizia de situare a RI, agravează comportarea vibratorie a structurii mecanice. Transmisia mecanică trebuie să prezinte parametri superiori din aceste puncte de vedere.

În realitate, servosistemul nu funcționează așa cum s-a presupus decât în domeniul liniar. Datorită fenomenelor de saturație și frecărilor de natură statică o modelare adecvată trebuie să țină cont de acestea. În figura 11.36 se prezintă principalele elemente tipice neliniare: a - modelul clasic al frecării uscate; b,c - modele ale frecării; d - modelul jocului din transmisie; e - modelul fenomenului de saturație; f - modelul zonei de insensibilitate al servomotorului.

Aceste modele completează modelul liniar al servomecanismului.

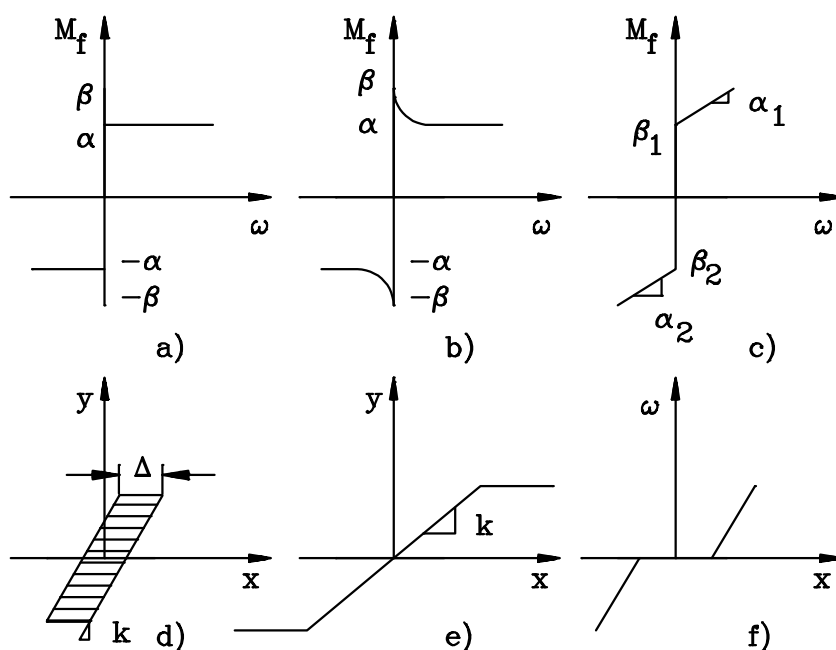


Fig. 1.36 Neliniarități în sistemul de acționare

Jocurile interne sunt în general la originea perturbațiilor aleatorii în cinematica RI. Traductoarele de poziție au un rol hotărâtor în reducerea acestor influențe.

Existența unui joc de angrenare (Δ) implică o caracteristică neliniară (de histereză) între unghiul de intrare θ_I (mărimea X) și cel de ieșire θ_e (mărimea Y)(fig.11.36.k). De abia după ce jocul din angrenare a fost consumat, deplasarea unghiulară a elementului de ieșire este proporțională cu cea de intrare. Modulele, de rotație sau de translație ale robotului industrial utilizează în general transmisii cu soluții de eliminarea jocului.

Datorită cuplului frecărilor statice din sistem (care se neglijează pe parcursul modelării liniare a sistemului) pot apărea mișcări sacadate ale acestuia (în special la viteze reduse). Frecarea prin influențele negative asupra mișcării a determinat o analiză

atență și profundă de-a lungul timpului. Influențele pozitive ale frecării asupra funcționării sistemelor – utilizarea în funcționarea cuplajelor, frânelor, transmisiilor etc – au determinat aceleleași 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 – Helouvy, 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:

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = F - F_f \quad (1.34)$$

Mișcarea reală a corpului, la viteze mici, este ilustrată sugestiv în figura 11.37. Contribuie la acest comportament influența forței de frecare (fenomenul de stick-slip).

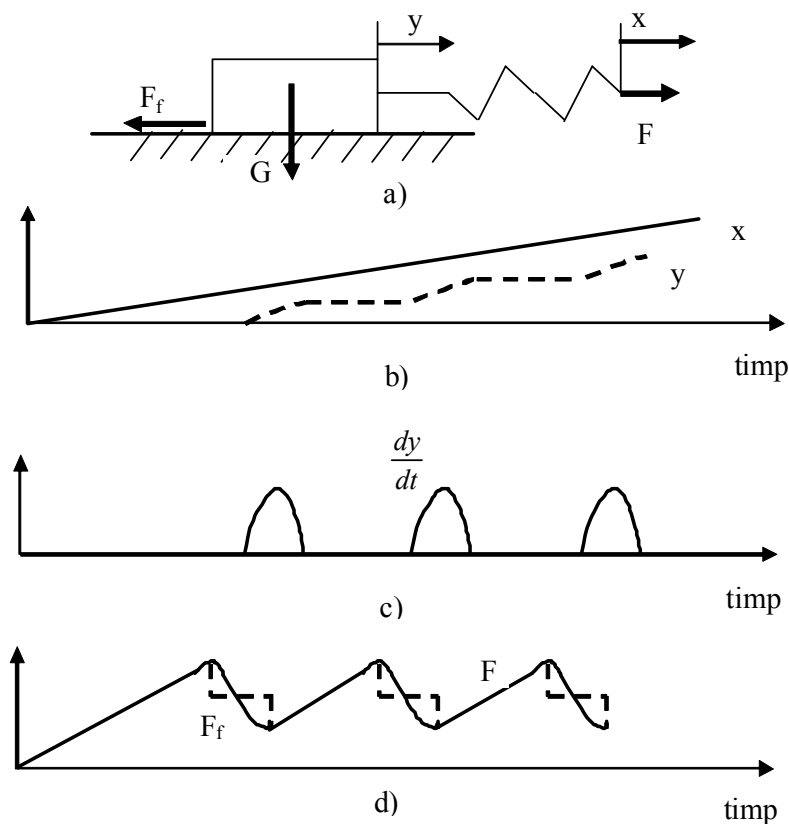


Fig. 1.37 Fenomenul de stick-slip

Aspectele negative ale acestor influențe se reduc fie:

- printr-un sistem de control adecvat

Exemplu

Schema de control în poziție pentru corpul anterior este prezentată în figura 11.38 unde PID semnifică regulatorul utilizat.

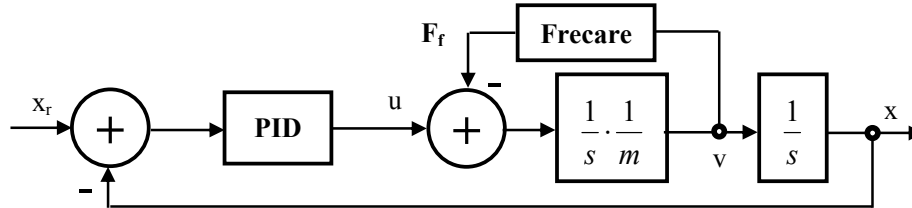


Fig. 1.38 Schema de control a corpului în mișcare cu frecare

Schema bloc de compensare adaptivă a frecării este prezentată în figura 11.39.

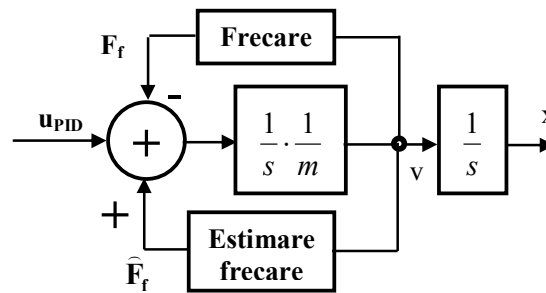


Fig. 1.39 Compensarea adaptivă a frecării

Forța de frecare se consideră evaluată după modelul Coulomb:

$$F_f = a \cdot \text{sgn}(v) \quad (1.35)$$

iar forța de frecare estimată și luată în considerare:

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= k \cdot u_{PID} \cdot \text{sgn}(v) \\ \hat{a} &= z - k \cdot m \cdot |v| \\ \hat{F}_f &= \hat{a} \cdot \text{sgn}(v) \end{aligned} \quad (1.36)$$

Aspectul complex al frecării și a modalităților de compensare prin software constituie o problemă de actualitate pentru literatura de specialitate [11.6].

- prin estimarea parametrilor sistemului astfel încât sistemul să funcționeze apropiat de modelul ideal.

Pentru o pornire lină se recomandă să existe relația:

$$i > 5 \cdot \frac{M_{fs}}{M_{pm}} \tag{1.37}$$

unde: i - este raportul de transmitere; M_{fs} - este cuplul frecărilor statice ale sarcinii considerate din sistemul de acționat; M_{pm} este cuplul de pornire al motorului.

Datorită cuplului frecărilor statice din sistem apare o diferență între poziția impusă și cea realizată $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$ care trebuie să fie inferioară celei impuse de procesul în desfășurare. Se impune să existe inegalitatea:

$$\frac{U_{\min 0} + \frac{M_{fs}}{iK_M}}{K_A \cdot K_P} < (\Delta\theta)_a \tag{1.38}$$

unde: $U_{\min 0}$ este tensiunea minima de pornire în gol a servomotorului ($U_{\min 0} = \frac{M_{fm}}{K_M}$); K_A , K_M , K_P sunt factorul de amplificare, factorul tensiune - cuplu și respectiv factorul de amplificare al traductorului de poziție.

Inegalitatea anterioară permite stabilirea factorului de amplificare global. Trebuie avut în vedere faptul că o creștere a factorului de amplificare conduce la creșterea pulsației proprii și descreșterea factorului de amortizare.

1.5. Reducerea numărului de cabluri și actuatorul inteligent

Sistemul de acționare pentru mai multe axe este afectat negativ de prezența unui număr sporit de cabluri pentru alimentare cu energie și respective cabluri pentru semnale (fig.11.40).

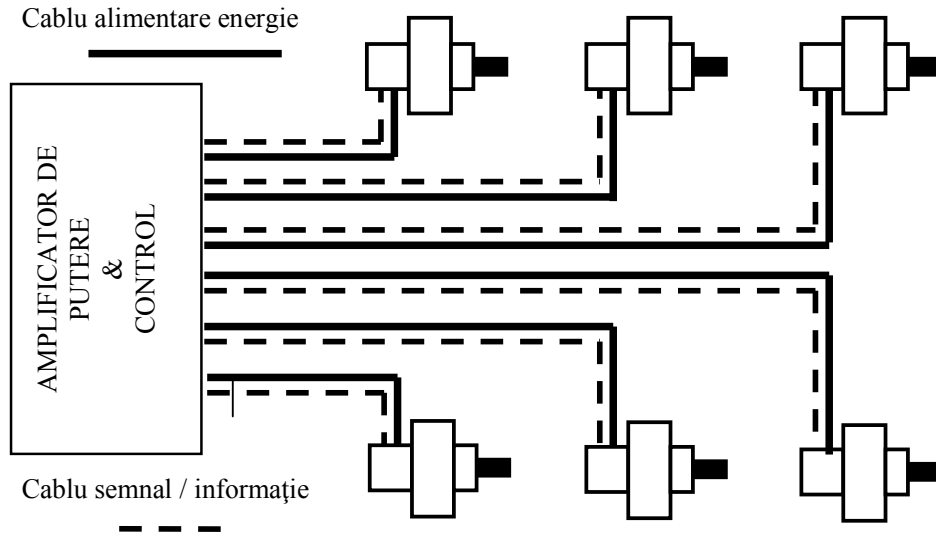


Fig. 1.40 Cabluri pentru sistemul de acționare

O soluție pentru reducerea numărului de cabluri este realizarea actuatorului “intelligent” (fig.11.41) [11.11].

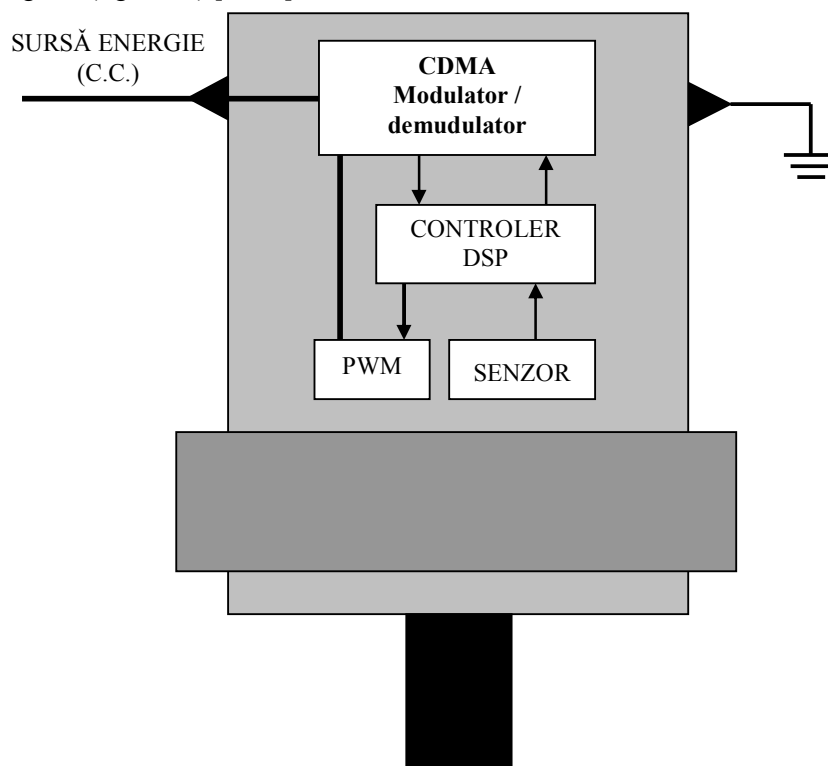


Fig. 1.41 Configurație a actuatorului “intelligent”

O altă soluție de reducere a numărului de cabluri se bazează pe o magistrală de energie și actuatorul “intelligent” (fig.11.42) [11.11].

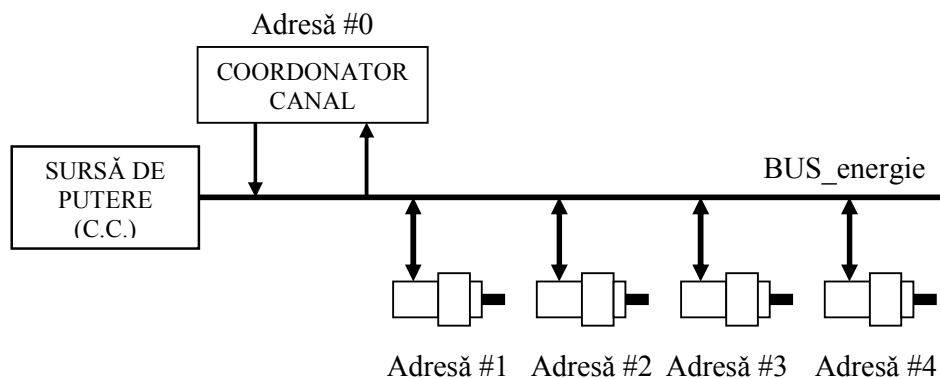


Fig. 1.42 Reducerea numărului de cabluri

1.6. Concluzii

Sinteza servomecanismului este o problemă complexă care constă în alegerea elementelor componente ale SA astfel încât să fie asigurate performanțele dorite în regimul tranzitoriu și staționar.

Schema logică a acestui proces de sinteză este prezentată în figura 11.43.

În abordarea problemei de sinteză trebuie luate în considerare în general mai multe variante de rezolvare a temei de proiectare concomitent cu stabilirea unor criterii și funcții obiectiv pentru optimizare. După optimizarea fiecărei variante se va alege soluția care corespunde cel mai bine criteriilor impuse. Acest aspect presupune și utilizarea unor metode matematice adecvate de alegere multicriterială.

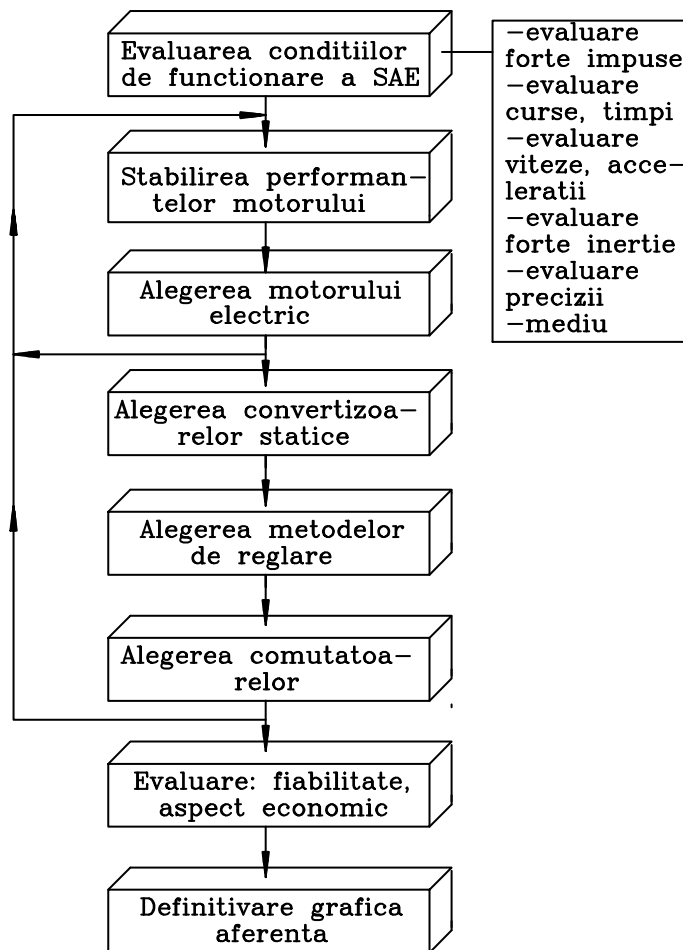


Fig. 1.43 Sinteza sistemului de acționare electrică

1.7. Bibliografie

- [11.1]Andre , P., Kauffmann, J.M, Lhote, F., Taillard, J.P: Les robots. Constituants technologiques, tome 4, Hermes Publishing (France), Paris, 1983
- [11.2]Biscoe, G.I., Mills, A.S.: Actuators for robotic applications, "Meas.+Contr.", 1988, 21, No. 3, p.76-79
- [11.3]Canudas, C., Astrom, K.J., Braun, K.: Adaptive friction compensation in DC-motor drives, "IEEE J.Rob. and Autom.", 1987, 3, No.6, p.681-685
- [11.4]Dolga, V.: Senzori și traductoare, Editura Eurobit, Timișoara , 1998
- [11.5]Dolga, V., Teodorescu, A., Acționarea roboților industriali, Editura Eurobit, 1999, Timișoara
- [11.6]Dolga, V., Proiectarea sistemelor mecatronice, Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-573-1, 2007
- [11.7]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.
- [11.8] Kang, S., D. Cox, D. Tesar, Design of actuator endurance and reliability tested, Proc.of ASME IDETC/CIE 26th Mech. And Robotics Conf., 2000
- [11.9]Kazerooni, H.: Direct drive active compliant end effector (active RCC), "IEEE J.Rob. and Autom.", 1988, 4, No.3, p.324-333
- [11.10]Kiel, E., Drive Solutions. Mechatronics for Production and Logistics, Springer-Verlag, Heidelberg, ISBN 978-3-540-76704-6, 2008
- [11.11]Liu,C.H., Wade, E, Asada, H.H., Reduced-Cable Smart Motors Using DC Power Line Comm., Proc. IEEE Int. Conf. on Rob. & Autom., Seul, p.3831, 2001
- [11.12]Makarov, I.M.: Privodi robototehniceskikh sistem, Vissaia școla, Moskva, 1986
- [11.13]Măgureanu, R.:Mașini electrice speciale pentru sisteme automate, Editura tehnică, București, 1980
- [11.14]Mătieș, V., Mândru, D., Tătar, O., Mătieș, M., Csibi, V., Actuatori în mecatronică, Editura Mediamira, Cluj Napoca, 2000
- [11.15]Pak, A.H., Turner, P.J.: Optimal Tracking Controller Design for Invariant Dynamics Direct-Drive Arms, "J.l of Dyn. Sys., Meas. and Control", 1986, No.4, p.360
- [11.16]Pons, J.L., Actuators in motion control systems: mechatronics în, Emerging Actuator Technologies: A Micromechatronic Approach, John Wiley & Sons, Ltd , ISBN 0-470-09197
- [11.17]Pruvost, J.C.: Point en Robotique, Technique & Documentation, Paris, 1985
- [11.18] Sebastian, L.: Automatica, Editura didactică și pedagogică, București, 1973
- [11.19] Stoia, D.: Motoare de curent continuu excitate cu magneți permanenți, Editura tehnică, București, 1983
- [11.20] Townsend, W.T., Salisbury, J.K.: The effect of Coulomb friction and stiction on force control, "IEEE Int.Conf.Rob. and Autom., vol.2", Washington, 1987, p.883
- [11.21] Tunsoiu, Gh., Seracin, E., Saal, C.: Acționări electrice, Editura didactică și pedagogică, București, 1982
- [11.22] Yedamoh, P., Brushless Motor Fundamentals, AN 885, Microchip Tech., 2003
- [11.23] Yoo, J.O., s.a., Operational Performance Criteria for Intelligent Actuators, Raport de cercetare Austin (Texas), 2003, www.robotics.utexas.edu/urpr
- [11.24]***, Definiții pe Web, pentru Actuators, [www.google.ro /search/actuators](http://www.google.ro/search/actuators)