

13. ACȚIONĂRI ELECTRICE SPECIALE PENTRU ROBOȚI INDUSTRIALI

13.1 Introducere

În unele aplicații, sistemele de acționare ale roboților industriali primesc diverse soluționări atât din punct de vedere funcțional cât și constructiv. Aceste acționări pot fi incluse în categoria acționărilor electrice speciale. Cu toată extinderea relativ redusă, se impune abordarea acestora datorită importanței domeniului aplicativ unde se întâlnesc.

Ca localizare aceste sisteme sunt întâlnite atât în dispozitivul de ghidare cât și dispozitivul de prehensiune (efectorul final). În plus, aceste sisteme mai echipează module de poziționare locală dispuse, în unele aplicații, între cele două dispozitive amintite anterior.

13.2 Acționarea cu motoare electrice liniare

13.2.1 Introducere

Motorul electric liniar este compus din două părți: una fixă (echivalentă statorului de la mașina clasică) și una mobilă (echivalentă rotorului clasic) prevăzute cu circuite electrice și magnetice cuplate magnetic între ele. Intuitiv aceste componente se obțin printr-o secționare longitudinală a motorului clasic și desfășurarea acestuia într-un plan. Motorul electric liniar transformă energia electrică într-o energie mecanică pe baza căreia partea mobilă se deplasează într-o mișcare de translație.

Motoarele electrice liniare se pot clasifica după patru criterii de clasificare: principiul de funcționare, caracterul secundarului așezat de-a lungul căii, după cuplajul electromagnetic dintre primar și secundar, după planul liniilor câmpului magnetic principal.

În figura 13.1 se prezintă principial motorul liniar de inducție (fig.13.1a) și cel sincron (fig.13.1b) cu indicarea elementelor componente.

După principiul de funcționare motoarele liniare se clasifică în motoare liniare de inducție, motoare liniare sincrone și motoare liniare de curent continuu. Partea fixă a motorului se întinde pe întreaga lungime de mișcare și se realizează din aluminiu. La interacțiunea dintre curenții turbionari induși în acest element și partea mobilă se produce propulsia.

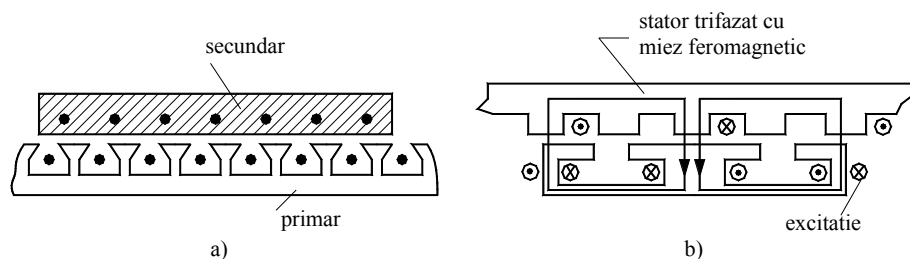


Fig.13.1

13.2.2 Utilizarea motoarelor liniare în acționarea modulelor roboților industriali

Acționarea prin motoare liniare se utilizează în general la roboții de viteză ridicată ce conțin module de translație sau în construcția unor module de poziționare locală. Structura robotului industrial este de tip portal iar motoarele liniare echipează modulele de translație orizontală.

Unele aplicații ale roboților industriali impun curse reduse (1-2 mm), frecare minimă, jocuri mecanice extrem de reduse, elasticitate în sistem, viteză ridicată. Este cazul aplicațiilor cu mișcări finale “fine” care succed mișcărilor inițiale “grosiere” de manipulare. Aceste aplicații recomandă ca pentru mișcărilor fine să se utilizeze micromodule de poziționare. Una din posibilitățile de acționare este cea a motoarelor electrice liniare. Principiul de funcționare este prezentat în figura 13.2 și are la bază principiul motorului liniar pas cu pas.

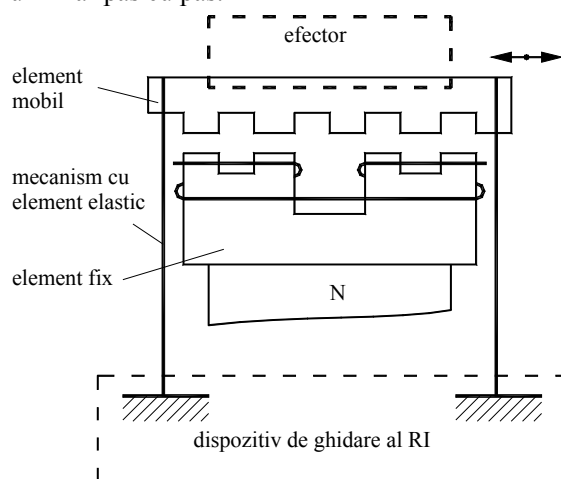


Fig.13.2

Elementul mobil al motorului este ghidat în mișcarea de translație prin intermediul unui mecanism cu elemente elastice care asigură frecare zero și lipsa jocurilor. În același timp, elementul mobil constituie suportul pentru fixarea efectorului

. Elementul fix al motorului este montat pe dispozitivul de ghidare al robotului industrial. Principiul de funcționare se bazează pe reductanța magnetică variabilă a circuitului feromagnetic format de cele două elemente ale motorului. Prin dublarea mecanismului cu elemente elastice și a elementului fix al motorului și dispunerea acestora într-un plan x-y se obține modulul de poziționare locală în acest plan. O privire spațială a construcției este prezentată în figura 13.3

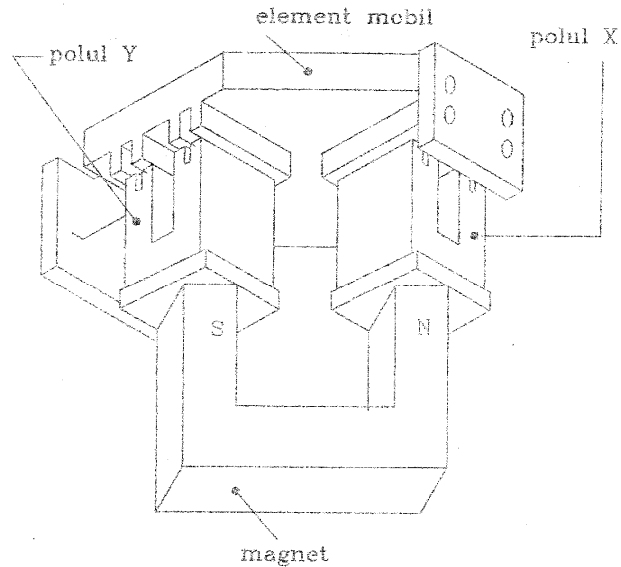


Fig.13.3

Mecanismul cu elemente elastice permite mișcarea în planul x-y dar prezintă o rigiditate ridicată după axa z (în modelul realizat $k_z=2,13 \text{ N}/\mu\text{m}$). Funcție de parametrii geometrici ai arcurilor lamelare, care compun mecanismul, elementul mobil (indusul motorului liniar) poate prezenta mici deplasări după axa z. Această deplasare este dată de relația:

$$z \cong \frac{x^2}{2 \cdot L} \quad (13.1)$$

și este în general limitată superior (în exemplul realizat $z=11\mu\text{m}$). Elementele elastice se realizează din oțel de arc cu o rigiditate corespunzătoare la încovoiere (de ex. $k_z=2,8 \text{ N}/\text{mm}$) și luând în considerare și solicitarea la flambaj a acestora (pentru modelul realizat forța critică este $P_{cr}=138\text{N}$).

Magnetul permanent utilizat este realizat din aliaj Alnico și are o formă de "U". Pe fiecare pol este montată o bobină cu două înfășurări înseriate. Lățimea dintelui pe fiecare pol nu trebuie să depășească 2.23 mm. Lungimea dinților pe indus în direcția x și y este superioară lungimii de pe fiecare pol.

În figura 13.4 sunt prezentate posibilitățile de montaj relativ a dinților indusului și inductorului. În cazul montajului simetric (fig.13.4b) fluxul magnetic ϕ se

distribuie uniform între cele două ramuri (stânga și dreapta) a inductorului: $\phi = \phi_S + \phi_D$ și $\phi_S = \phi_D$. Pentru cazul din fig.13.4c $\phi = \phi_D$ și $\phi_S = 0$.

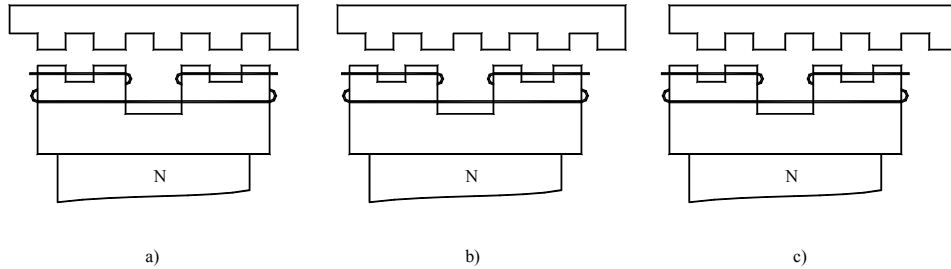


Fig.13.4

Forța tangențială care acționează în întrefierul de sub un pol este dată de relația:

$$F = -\Phi^2 \cdot \frac{dR}{du} \quad (13.2)$$

unde: “ ϕ ” este fluxul magnetic total sub pol, “R” este reluctanța magnetică sub pol iar “u” definește poziția părții mobile față de cea fixă. Sub o formă dezvoltată forța de tracțiune este:

$$F(s) = -\frac{\Phi^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot z \cdot t \cdot \delta} \cdot \left[\frac{\beta}{\alpha^2} \right] \quad (13.3)$$

unde: α - reprezintă permeanța magnetică adimensională și este definită prin relația $\alpha(u) = \frac{R(u)}{\mu_0 \cdot t}$; $\beta = \frac{d\alpha}{du}$; z - numărul dinților pe o jumătate de pol; t - lățimea dintelui; δ - mărimea întrefierului; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m - permeabilitatea magnetică a vidului.

Funcție de curentul I_x prin înfășurarea polului, pasul polar τ , inducția B și deplasarea pe direcția x, expresia forței tangențiale primește forma:

$$F(u) = -\frac{z \cdot t \cdot \tau \cdot N \cdot I_x \cdot B_m}{4 \cdot \mu_0 \cdot \delta} \cdot \left[\frac{\beta(x)}{\alpha^2(x)} \right] \quad (13.4)$$

Efectele neliniare datorate circuitului feromagnetic pot fi compensate prin sistemul de comandă.

Deplasările indusului pe cele două direcții sunt sesizate prin intermediul unui senzor optic care are cele două componente – sursă de lumină și receptor – dispuse pe indus și respectiv inductor.

Comanda sistemului se poate realiza numeric, analogic sau combinat și este integrată în sistemul de comandă al robotului.

O altă variantă a sistemului de acționare este cea care utilizează un motor pas cu pas liniar de tip Sawyer (fig.13.5).

Motorul este realizat dintr-un magnet permanent, doi electromagneți (A și B) și o placă feromagnetică danturată. Ansamblul este menținut suspendat cu ajutorul unei perne de aer (grosime $12\mu\text{m}$). În absența curentului în electromagnetul B, ansamblul electromagneți – magnet se așează astfel încât reductanța circuitului său magnetic să

fie minimă. Alimentarea unui electromagnet (electromagnetul A, fig.13.5) se realizează astfel încât să se anuleze câmpul magnetic sub pol (polul P₃) și să-l majoreze sub celălalt (polul P₄).

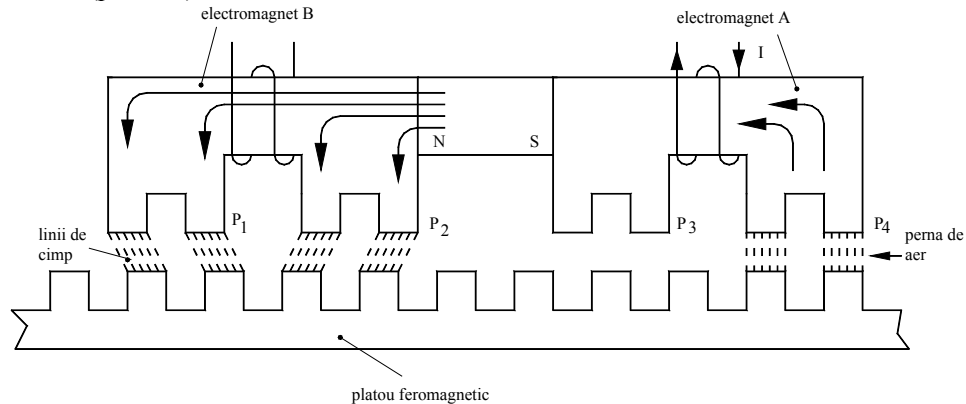


Fig.13.5

În secvența următoare se alimentează electromagnetul B și se decuplează electromagnetul A. Sub acțiunea forțelor electromagnetice tangențiale, partea mobilă se deplasează cu sfert de pas dentar. Procesul continuă atâta timp cât există alimentare pe unul din electromagneți. Pasul dentar (0,04 – 1 mm) se realizează atât pe platoul electromagnet cât și pe fiecare pol. Motorul poate realiza forțe până la 45N și viteze liniare de până la 2,54 m/s.

Utilizând două motoare liniare dispuse pe două axe rectangulare, se obține un sistem de deplasare X – Y cu motoare pas cu pas liniare (fig.13.6).

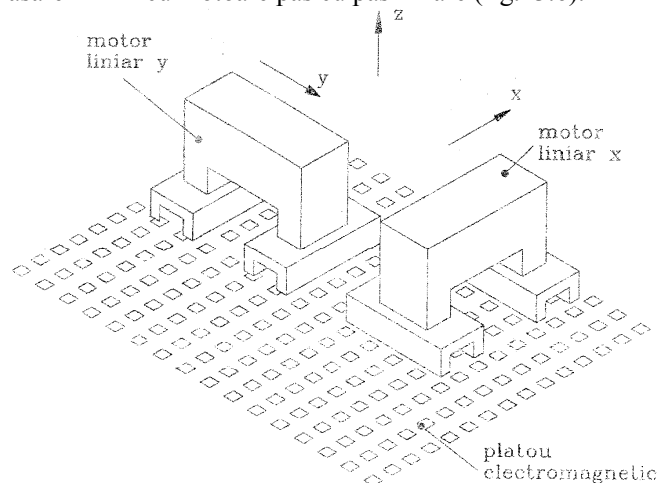


Fig.13.6

Dacă ansamblului reprezentat pe cele două motoare îi sunt atașate alte cuple cinematice conducătoare, se obțin diverse variante structurale de roboți industriali. O astfel de variantă este prezentată în figura 13.7. Motorului liniar X – Y i-au fost atașate cupla de translație verticală și cea de rotație. Marele avantaj al acestei variante cu

motor liniar pas cu pas constă în faptul că același platou feromagnetic orizontal poate fi utilizat pentru un număr mărit de structuri echivalente celor prezentate în figura 13.7. O astfel de structură concură roboții SCARA în ceea ce privește “abilitatea” în operațiile de asamblare.

În figura 13.8 este prezentată configurația unui RI portal care utilizează un motor liniar Sawyer și care sugerează și ideea enunțată anterior.

Comanda acestor motoare este asemănătoare cazurilor clasice.

Utilizarea motoarelor liniare în acționarea roboților industriali este recomandată de câteva aspecte:

- lipsa transmisiilor mecanice crește siguranța în funcționare (acest tip de acționare poate fi inclus și la categoria acționărilor directe);
- precizia de poziționare;
- simplificarea construcției;
- posibilitatea utilizării unui număr sporit de motoare pentru creșterea forței de tracțiune;
- posibilitatea realizării unor module de translație de dimensiuni mari recomandate în sisteme de transfer.

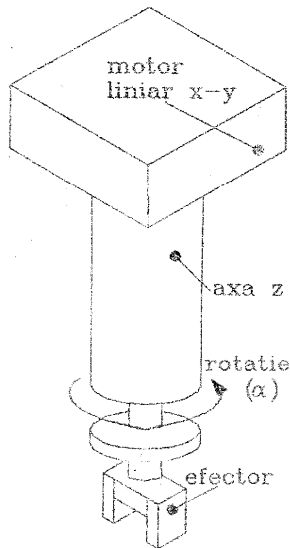


Fig.13.7

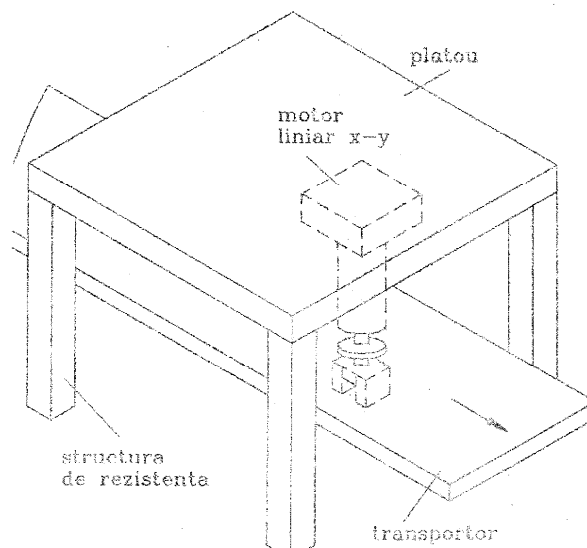


Fig.13.8

Motoarele asincrone liniare sunt la ora actuală cele mai răspândite. Din analiza diverselor aplicații tehnologice robotizate (prelucrări mecanice, asamblare, prese etc) s-a desprins ideea realizării roboților industriali într-o construcție portal iar motoarele liniare, pentru acționarea acestora, vor avea inductorul pe partea mobilă iar indusul (din cupru sau aluminiu) pe partea fixă a căii de rulare.

În tabelul 13.1 sunt prezentate câteva caracteristici pentru roboți industriali care au în dotare motoare electrice liniare.

Tabelul 13.1

Domeniul de utilizare	Tipul motorului liniar	Comanda, precizie	Viteza maximă, cursă
robot pentru stivuire	asincron, bilateral	în poziție, 0,25 mm	1m/s, 0,6×0,8 m
robot pt. manipulare sarcină mică	motor liniar pas cu pas, plan	conturare, 0,01 mm	0,5 m/s, 1×1 m
robot pentru transfer	asincron, bilateral	în poziție, limitator de cursă	< ,6 m/s, 2 m
robot pt.găurirea plăcilor imprimate	sincron	în poziție, 0,02 mm	0,5 m/s

În figura 13.9 este prezentată o variantă principală a unui motor liniar asincron din dotarea unui robot industrial. Partea mobilă este realizată sub forma unui cărucior mobil prevăzut cu role ce calcă pe calea de rulare, din aluminiu, care se identifică cu indusul motorului liniar. Pe calea de rulare sunt prevăzute limitatoare de cursă și traductoare de deplasare. Pentru fixarea în poziție de repaus, sistemul trebuie să prezinte un dispozitiv special.

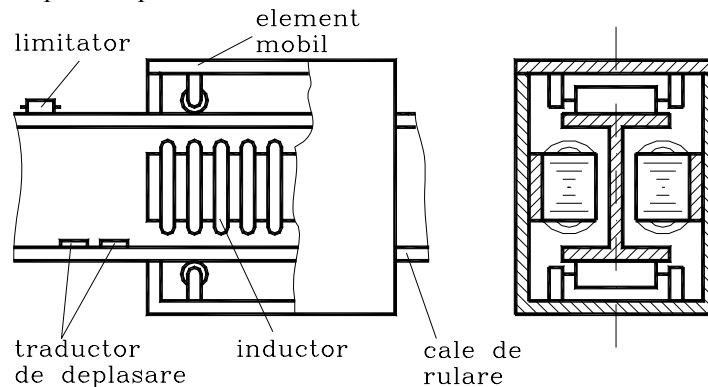


Fig.13.9

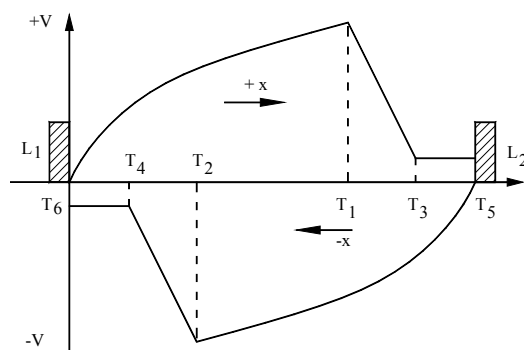


Fig.13.10

Motorul liniar poate lucra și în regim de frână (contracurent, cu recuperare). Succesiunea regimurilor de lucru a motorului liniar se realizează pe baza informației traductoarelor $T_1 - T_2$ montate pe calea de rulare. O astfel de diagramă de lucru este prezentată în figura 13.10. La mișcarea spre dreapta, deplasarea între limitatoarele L_1 și L_2 se realizează după următorul algoritm: accelerare la tensiunea

maximă de alimentare, comutarea în regim de frânare dinamică la semnalul traductorului T_1 , comutarea în regim de viteză scăzută în aceeași direcție la semnalul traductorului T_3 , cuplarea dispozitivului de imobilizare și decuplarea tensiunii de alimentare la semnalul traductorului T_5 , care coincide cu limitatorul L_2 . Mișcarea în sens invers se realizează în mod asemănător pe baza semnalelor de la traductoarele T_2 , T_4 , T_6 . Reversarea mișcării se obține prin schimbarea ordinii de succedare a alimentării fazelor motorului. Utilizarea pe scară largă a motoarelor liniare impune rezolvarea problemei comenzii în poziție fără necesitatea existenței limitatoarelor de tamponare.

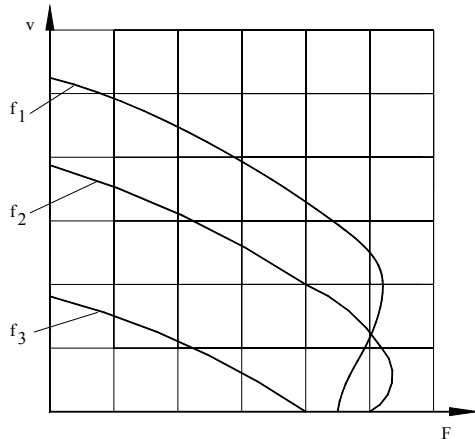


Fig.13.11

În figura 7.11 sunt prezentate calitativ caracteristicile mecanice la diverse frecvențe “ F ” de alimentare. Viteza motorului este proporțională cu frecvența de alimentare.

Motorul liniar sincron cu invertor și comandat prin traductoare de poziție în câmpul de excitație, se poate realiza fie prin excitație magnetică, fie electromagnetică.

A doua componentă a motorului se poate realiza fie nemagnetică conținând numai înfășurarea indusului, fie feromagnetică cu porțiuni alternante pasive. În primul caz se montează pe o structură portantă specială, iar în al doilea caz elementul

secundar lung coincide cu calea de rulare și modulează câmpul magnetic în întregul. Varianta principală a unui astfel de motor cu excitație prin magneți permanenți este prezentată în figura 13.12. Magneții permanenți se montează pe toată lungimea elementului fix care materializează inductorul.

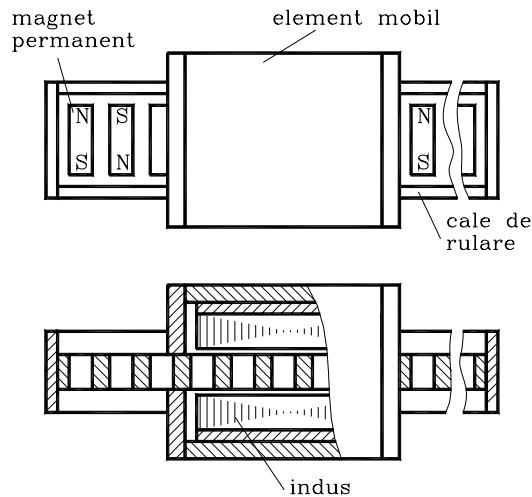


Fig.13.12

Motoarele liniare sincrone cu magneți permanenți au avantajul posibilității comenzii simple și se pot utiliza în sistemele de poziționare cu o precizie ridicată în oricare punct din cursa sa.

În figura 13.13 se prezintă schema structurală de comandă a unui motor sincron liniar care are atât inductorul cât și indusul pe partea mobilă iar cel de-al doilea element (partea fixă) prezintă alternant porțiuni feromagnetice cu nemagnetice.

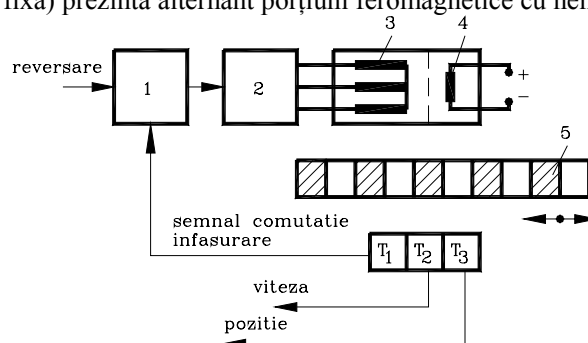


Fig.13.13

Blocul traductoarelor $T_1 - T_3$ oferă informația despre poziția inductorului în raport cu înfășurarea indusului. Pe baza acestei informații blocul de comandă asigură comanda inverterului 2, V_n tensiune și frecvență, pentru alimentarea înfășurărilor motorului și asigurarea vitezei de transport. Inductorul este alimentat în curent continuu.

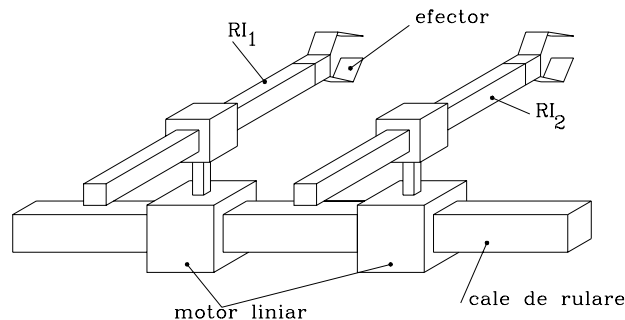


Fig.13.14

În figura 13.14 este indicată o variantă de utilizare a motoarelor liniare în construcția unui robot industrial. Se observă ușor că există și în acest caz posibilitatea montajului mai multor roboți pe aceeași cale de rulare.

13.3 Acționarea electrică cu motoare piezoelectrice

13.3.1 Introducere

În acționările de precizie de mică putere s-au dezvoltat în ultima perioadă vibromotoarele sau motoarele piezoelectrice. Aceste motoare își bazează principiul de

funcționare pe transformarea oscilațiilor elastice de înaltă frecvență și mai multe componente într-o mișcare de direcție dată a unui element mobil. Aceste motoare și-au dovedit eficacitatea în acționarea unor module ale roboților industriali pentru manipularea unor piese de dimensiuni mici. Susțin această afirmație următoarele:

- rezoluția înaltă de deplasare: 1 –10 μm în regim de convertire a oscilațiilor și 0,01 μm la utilizarea conversiei deformațiilor comandate;
- calități dinamice foarte bune în procesele tranzitorii; pentru majoritatea vibromotoarelor timpul de accelerare este de ordinul milisecundelor iar durata de frânare cu 30-50% mai mică;
- gamă înaltă de reglare a vitezei ceea ce permite alegerea optimă a legilor de mișcare;
- posibilitatea realizării unor module de acționare cu mai multe grade de libertate;
- insensibilitatea la câmpuri magnetice și radiații.

Ca neajunsuri ce limitează utilizarea acestor motoare se pot enumera: uzura suprafeței de contact, necesitatea utilizării traductoarelor de deplasare deoarece lipsește dependența dintre numărul perioadelor de oscilație și poziția elementului mobil.

13.3.2. Principiul de funcționare a unui motor piezoelectric

Schema principală a unui motor piezoelectric este prezentată în figura 13.15. Acesta constă din elementul mobil 4 care este presat, prin elementele elastice 2 și 3 (de rigidități c_2 și c_3 ; $c_2 \gg c_3$) vibroconvertorul 1. Generatorul de oscilații 5 este cuplat cu blocul de comandă 6. Blocul de comandă, funcție de semnalul $H(x, \dot{x}, t)$, impune vibroconvertorului forma și tipul oscilației. În zona de contact a elementului mobil 4 și a convertorului 1 sunt generate oscilații bidirecționale care conduc la apariția unei forțe constante dirijată după axa x . Această forță pune în mișcare elementul mobil 4.

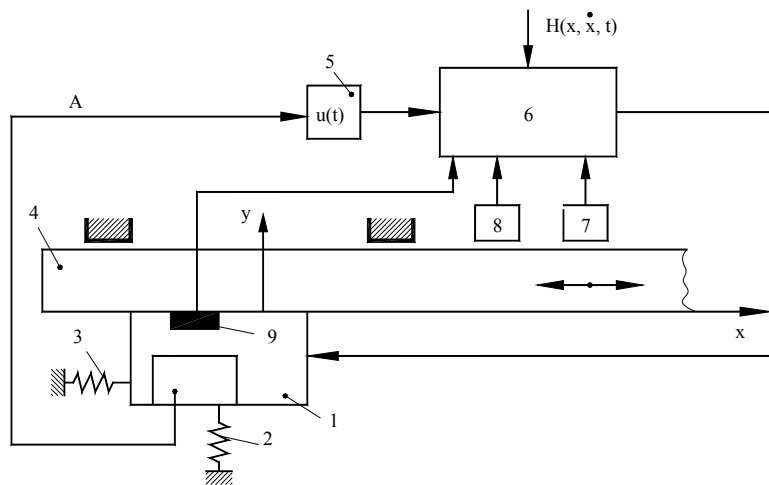


Fig.13.15

Blocul de comandă utilizează informația despre viteză și poziție obținută de la traductoarele 7 și 8. Informația despre forță, necesară la stabilizarea oscilațiilor (circuitul A), este obținută de la traductorul 9.

Principiul de realizare a unor motoare pe baza unor oscilații longitudinale și torsionale este prezentat în figura 13.16.

Vibroconvertorul 1 se găsește în contact cu electrozii A (generarea oscilațiilor longitudinale în cazul fig.13.16a și a oscilațiilor radiale din fig.13.16b) și B (generarea oscilațiilor torsionale). Contactul elementului mobil 2 cu vibroconvertorul este asigurat de un sistem elastic.

Aceste motoare se bazează pe însumarea componentelor tangențiale a impulsurilor de contact. Corespunzător ipotezei fercărilor vâscoase, componenta tangențială a impulsurilor de contact nu depinde de componenta normală a impulsurilor dar este funcție de coeficientul de frecare “ f ” (dependent de calitatea și starea suprafeței de contact).

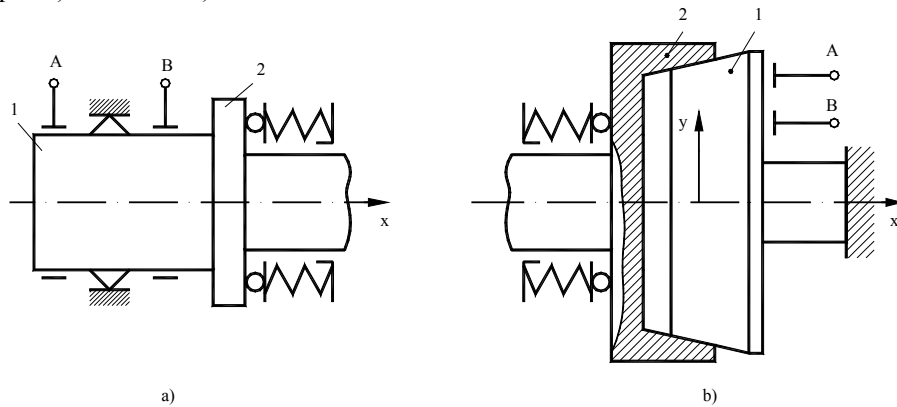


Fig.13.16

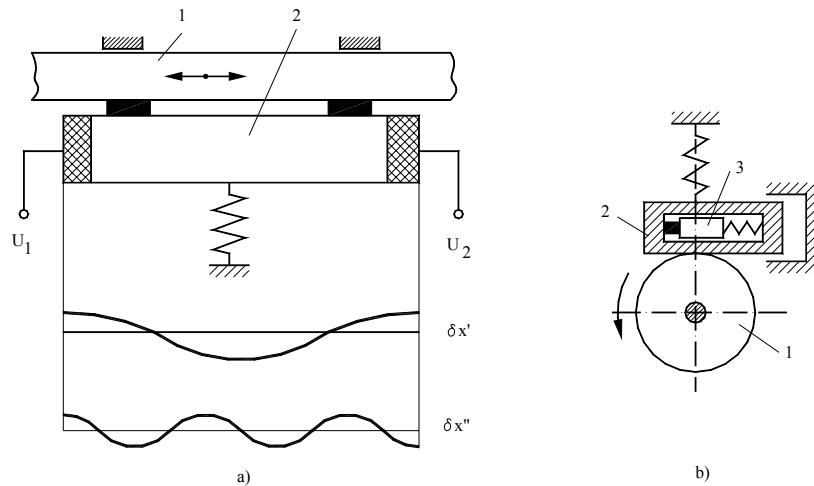


Fig.13.17

Oscilația în zona de contact se poate realiza cu unul sau două elemente.

Variantele unor motoare cu oscilații asimetrice sunt prezentate în figura 13.13. Principiul de funcționare a acestor motoare se bazează pe efectul asimetric a forțelor de frecare (fără ungere) sau deformații neliniare. Cu aceste motoare se pot realiza module cu două grade de libertate.

Varianta “a” presupune alimentarea celor doi electrozi ai convertorului piezoceramic 3 cu un defazaj “ α ” astfel încât pe elementul 2 are loc o suprapunere a oscilațiilor longitudinale la o frecvență de rezonanță [$u_1 = U_1 \cos 2\omega t$; $u_2 = U_2 \cos(4\omega t + \alpha)$]. Elementul mobil 1 realizează în final o mișcare de translație după axa x. Epura oscilațiilor de ordinul doi ($\delta x'$) și patru ($\delta x''$) este prezentată în figura 13.17a.

Varianta “b” corespunde unei soluții pentru o mișcare de rotație a rotorului 1.

13.3.3 Utilizarea motoarelor a piezoelectric în construcția roboților industriali

Aplicația motoarelor piezoelectrice cu extindere recunoscută este în domeniul efectorului final al robotului industrial. Pe lângă interesul prezentat în acționarea efectorului un interes aparte îl reprezintă și obținerea informațiilor privind forța de prehensare (echivalent unui senzor tactil). O schemă clasică de efector final (dispozitiv de prehensiune) este prezentată în figura 13.18.

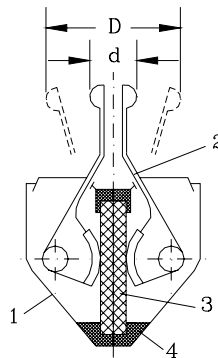


Fig. 13.18

Varianta de dispozitiv utilizează un motor piezoelectric cu oscilații asimetrice. Vibroconvertorul 3 este în contact cu “degetul 2” al efectorului. Mișcarea axială a motorului este transformată într-o mișcare de rotație “degetului”. Lăgăruirea 4 asigură și amortizările de rigoare față de corpul 1 al efectorului. Comanda forței de prehensare se realizează prin modificarea amplitudinii oscilațiilor longitudinale.

Măsurarea forței de prehensare a obiectelor se bazează pe dependența frecvenței de rezonanță a convertorului de forță sau de deformație rezultată ca urmare a dezvoltării forței.

O altă variantă de dispozitiv de prehensiune, care utilizează tot motor piezoelectric, este prezentată în figura 13.19.

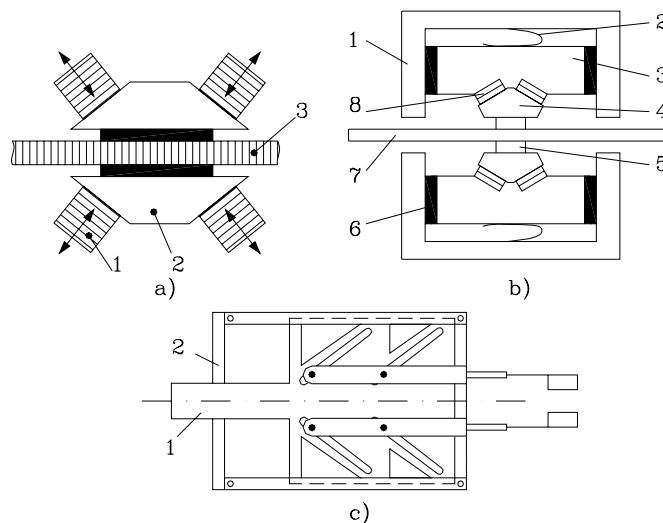


Fig.13.19

Componența motorului este ilustrată în figura 13.19a. Converterul piezoceramic 1 este orientat sub un unghi de 45° față de axa longitudinală a cursorului 3. El este fixat în pana transversală 2 în așa fel încât contactul dintre cursor și pană se realizează la creșterea dimensiunii elementului ca urmare a aplicării tensiunii electrice pe acesta. Includerea motorului într-o structură compactă este prezentată în figura 13.19b. În partea fixă se găsește suportul 3, conectarea făcându-se printr-un strat de elastomer 6. Arcul lamelar 2 asigură presarea componentelor spre cursorul 7. În acest mod se asigură centrarea cursorului și imobilizarea sa în lipsa acționării motorului. Contactul dintre pana transversală 4 și cursorul 7 se realizează prin intermediul piesei metalice 5.

Aspectul principal al dispozitivului de prehensiune care se conectează la motorul piezoelectric este prezentat în figura 13.19c tija 1 echivalentă cursorului asigură mișcarea plan-paralelă a bacurilor față de corpul 2 al dispozitivului.

Utilizarea unor module cu 1 – 3 grade de mobilitate permite realizarea unor micromișcări de poziționare și orientare.

13.4 Concluzii

Au fost prezentate în exemplele anterioare câteva cazuri de acționări electrice speciale utilizate în construcția unor module ale roboților industriali. Exemplele au încercat să scoată în evidență varietatea soluțiilor existente și problematica care apare.

Se mai pot include în această categorie: acționarea directă (fără transmisie mecanică) prin motoare de curent continuu de cuplu ridicat, acționări pe bază de aliaje cu memorie etc.