

## 2.3. Elemente de execuție

### 2.3.1. Generalități. Clasificări. Alegerea elementelor de execuție

*Elementul de execuție (EE) este acel subsistem al unui SRA prin intermediul căruia sistemul de conducere sau regulatorul automat acționează asupra procesului propriuzis.*

Elementul de execuție primește, ca mărime de intrare, mărimea de comandă  $u$  elaborată de sistemul de conducere și asigură, la ieșire, mărimea de execuție  $m$  prin care se influențează parametrul reglat. El este constituit din două subansamble principale (Figura 2-33):

- elementul de acționare (EA): servomotor, motor;
- organul de reglare (OR).

Elementul de acționare are rolul de a converti mărimea  $u$  într-o mărime intermediară  $h$  (cuplu, forță), capabilă să acționeze organul de reglare.

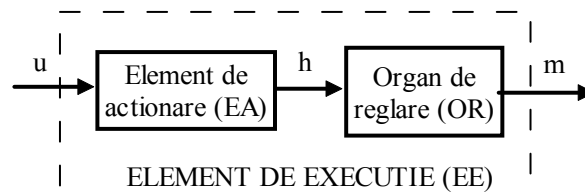


Figura 2-33 Subsistemele constitutive ale elementului de execuție

După modul în care EE acționează asupra procesului, se deosebesc două posibilități: cu acțiune continuă și cu acțiune discontinuă. Din punct de vedere al relației intrare-iesire, EE pot fi cu acțiune integrală sau proporțională și de aceasta dependența trebuie să se țină seama în stabilirea legii de comandă.

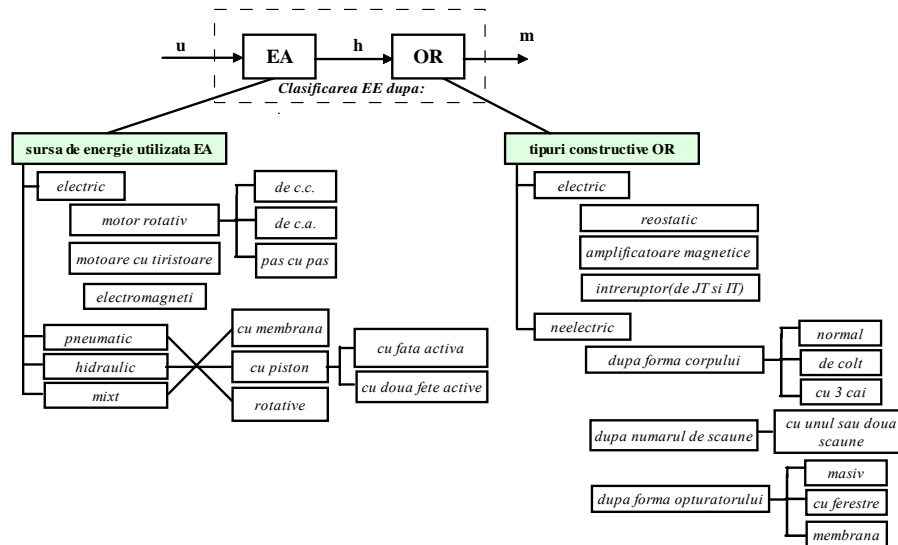
Alegerea unui EE constă, în mod practic, în alegerea organului de reglare și, corelat cu acesta, a elementului de acționare. La alegerea OR se au în vedere, în primul rând, caracteristicile constructive legate de tipul OR (electric sau neelectric), tipul variantei constructive (a corpului OR, numărul de scaune, forma opturatorului) și în funcție de temperatura, corozivitate și toxicitatea mediului de lucru.

Dimensionarea propriuzisă a OR se face pe baza caracteristicii intrinseci, ținând cont de datele inițiale (debitul de fluid, mediul de lucru, căderea de presiune, etc). În alegerea EE trebuie să se țină seama, de asemenea de asigurarea unei funcționări sigure, de caracteristicile statice și dinamice, de domeniul de liniaritate, de viteza de răspuns, etc.

În *Figura 2-34* se prezintă o clasificare a elementelor de execuție după sursa de energie utilizată de EA și după tipurile constructive de OR.

După sursa de energie utilizată, EA pot fi:

- *electrice*: motoare electrice rotative (de c. c., c.a. sau pas cu pas), convertoare cu tiristoare sau electromagneți (electrovalve);
- *pneumatice*: cu membrană sau piston;
- *hidraulice*: cu piston (cu o față activă două fețe active).



*Figura 2-34* Clasificarea elementelor de execuție

### 2.3.2. Elemente de acționare electrice

Sunt utilizate în două variante principale constructive: cu electromagneți (electrovalve) și cu motoare electrice (servomotoare electrice). Drept servomotoare electrice pot fi folosite motoare de c.a. bi- și tri-fazate și motoare de c.c. cu comandă pe circuitul rotor.

Din punct de vedere al caracteristicii dinamice, aceste sisteme sunt de tip integral, cu una sau două constante de întârziere de ordinul întâi.

### A. Elemente de acționare cu electromagneți

Aceste elemente sunt utilizate pentru comenzi de tip bipozițional și, constructiv, sunt constituite dintr-o bobină  $B$  și o armătură feromagnetică  $AF$  (Figura 2-35). Armătura mobilă este în legătură cu supapa organului de reglare prin intermediul unei tije  $T$ . Electromagnetul este izolat de organul de reglare prin garnituri de etanșare. Sub acțiunea curentului de comandă  $I_c$  aplicat bobinei  $AF$  este atrasă în interiorul bobinei până la o poziție determinată de echilibrul dintre forța de atracție proporțională cu pătratul lui  $I_c$  și forța de sens opus dezvoltată de resortul  $R$ . În poziția de repaus, când  $I_c = 0$ ,  $AF$  apasă supapa pe scaunul ventilului datorită greutateii proprii resortului sau presiunii exercitate de fluid. Mărimea de comanda poate fi în c.c. sau c.a. Comanda este dată prin intermediul unui releu intermediar cu contacte întărite.

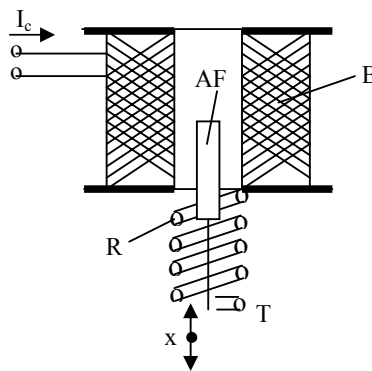


Figura 2-35 Element de acționare cu electromagnet.

### B. Elemente de acționare cu motoare electrice

Elementele de acționare cu motoare electrice au la bază utilizarea motoarelor electrice de curent continuu sau de curent alternativ pentru comanda organelor de reglare prin intermediul unui reductor. În acest scop, motoarele electrice trebuie să îndeplinească anumite caracteristici:

- puterea pentru care se construiesc este mult mai mică decât a motoarelor obișnuite (fracțiuni de W la servomotoarele de c.a. bifazate, sute de kW la motoarele de c.c.)
- gama largă, continuă, de variație a vitezei, cu frecvente schimbări de sensuri de rotație;

- caracteristica de reglaj biunivocă și, pe cât posibil, liniară;
- constante de timp cât mai mici.

**Servomotoarele de c.c.**, deși constructiv sunt mai complicate decât cele de c.a., corespund cel mai bine caracteristicilor elementelor de acționare cu motoare electrice mai sus amintite. Ele cuprind o înfășurare statorică (inductor) și o înfășurare rotorică (indus) alimentate de la surse independente.

Există două posibilități de a comanda un servomotor de c.c.: prin inductor sau prin indus.

a) *Reglarea prin excitație sau prin inductor* : semnalul de comandă modifică curentul de excitație prin înfășurarea statorică, curentul prin înfășurarea rotorică rămânând constant (Figura 2-36 a).

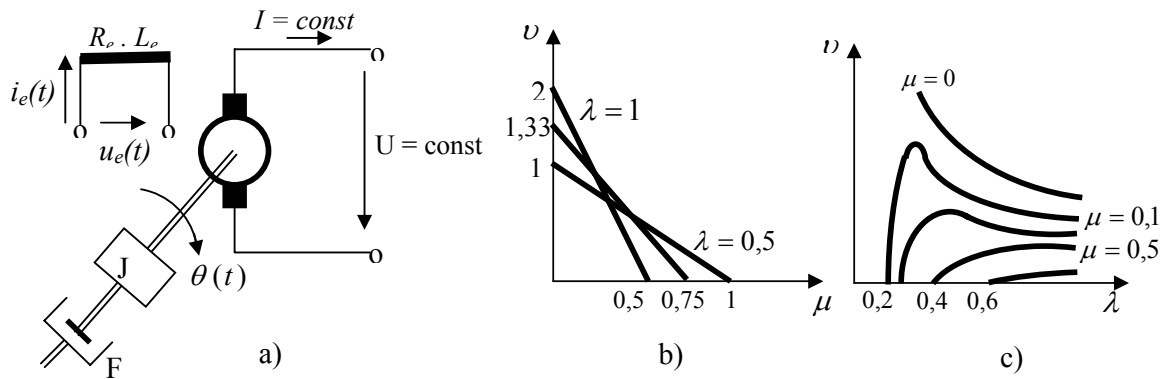


Figura 2-36 Element de acționare cu motor electric de c.c. cu reglare pe excitație;

a - schema electrică; b - caracteristica mecanică; c - caracteristica de reglare.

Comportarea dinamică se poate analiza pe baza următorului set de ecuații, considerându-se mașina nesaturată și frecări vâscoase simple:

$$u_e(t) = R_e \cdot i_e(t) + L_e \cdot \frac{di_e(t)}{dt} \quad (2.36)$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = m_{el}(t) - m_r(t) \quad (2.37)$$

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2.38)$$

$$m_{el}(t) = k_m \cdot \Phi(t) \cdot i(t) = k_m \cdot k_\phi \cdot i(t) \cdot i_e(t) \quad (2.39)$$

$$m_r(t) = F \cdot \omega(t) \quad (2.40)$$

$$i(t) = I = \text{const.} \quad (2.41)$$

unde  $m_{el}$  este cuplul electromagnetic (activ),  $m_r$  - cuplul rezistent,  $\omega(t)$  - viteza unghiulară,  $\theta(t)$  - poziția unghiulară,  $k_m, k_\phi$  - constante,  $F$  - coeficient de frecare vâscoasă.

Dacă se aplică transformata Laplace se obține următoarea funcție de transfer:

$$H_{m.e}(s) = \frac{\Theta(s)}{U_e(s)} = \frac{K}{s \cdot (T_M + 1) \cdot (T_e + 1)} \quad (2.42)$$

cu factorul de amortizare  $K = \frac{k_m \cdot k_\phi \cdot I}{F \cdot R_e}$ , constanta de timp mecanică  $T_M = \frac{J}{F}$  și constanta

de timp electrică a circuitului de excitație  $T_e = \frac{L_e}{R_e}$

Considerând următoarele mărimi:  $u_e$  - tensiunea de comandă,  $U$  - tensiunea constanta,  $n_0$  - viteza ideala la mersul in gol,  $M_k$  - cuplul de scurtcircuit, se fac notațiile pentru coeficientul de semnal -  $\lambda = \frac{u_e}{U}$ , pentru cuplul relativ -  $\mu = \frac{m}{M_k}$  și pentru viteza relativă

$v = \frac{n}{n_0}$  și astfel se poate obține următoarea relație din ecuațiile (2.36. - 2.41) :

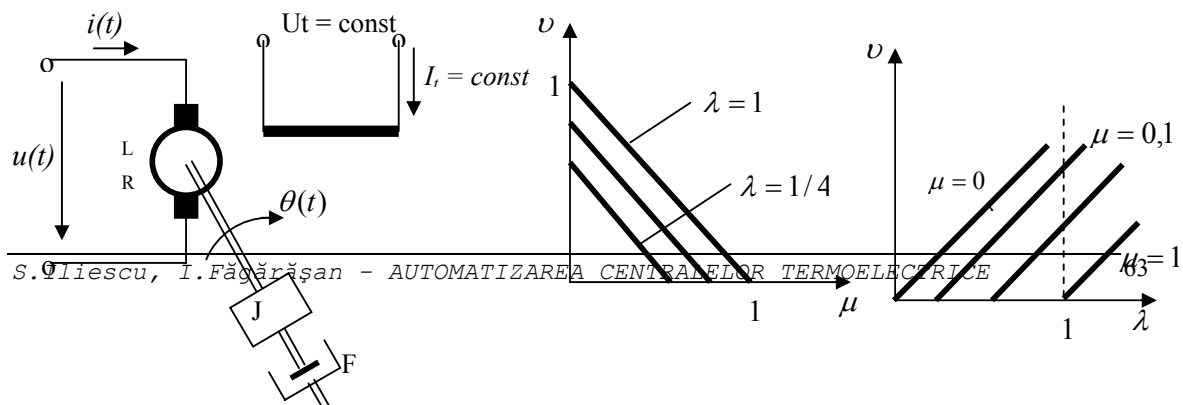
$$\mu = \lambda - \lambda^2 v. \quad (2.43)$$

Pe baza relației (2.43.) se obțin caracteristicile mecanice și de reglaj (Figura 2-36,b, respectiv Figura 2-36,c).

Referitor la caracteristicile de reglaj, se constată că nu sunt liniare, iar de exemplu pentru  $\mu = 0.1$  sau  $\mu = 0.5$  sunt și neunivoce.

Aceste aspecte pledează împotriva utilizării reglării prin excitație.

b) Reglarea pe înfășurarea rotorică (indus): semnalul de comandă modifică curentul rotoric, curentul prin înfășurarea statorică (excitație) rămânând constant (Figura 2-37.a).



a) b) c)

Figura 2-37 Element de acționare cu motor electric de c.c. cu reglaj pe înfășurarea rotorică:  
 a - schema electrică; b - caracteristica mecanică; c - caracteristica de reglaj

Comportarea dinamică poate fi analizată pe baza următorului set de ecuații :

$$u(t) - e(t) \equiv L \cdot \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) \quad (2.44)$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = m_{el}(t) - m_r(t) \quad (2.45)$$

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2.46)$$

$$m_{el}(t) = k_m \cdot k_\varphi \cdot i_e(t) \cdot i(t) \quad (2.47)$$

$$m_r(t) = F \cdot \omega(t) \quad (2.48)$$

$$e(t) = k_e \cdot k_\varphi \cdot i_e(t) \cdot \omega(t) \quad (2.49)$$

$$i_e(t) = I_e = \text{const.} \quad (2.50)$$

unde semnificația mărimilor este aceeași ca în relațiile (2.36. - 2.41), iar  $e(t)$  este tensiunea contraelectromotoare la perii.

Prin aplicarea transformatei Laplace se obține funcția de transfer a motorului:

$$H_{me}(s) = \frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{k_1}{s[(L_s + R)(Js + F) + k_1 k_2]} = \frac{K}{s(T^2 s + 2\zeta Ts + 1)} \quad (2.51)$$

unde factorul de amplificare este  $K = \frac{k_1}{RF + k_1 k_2}$  (cu  $k_1 = k_m \cdot k_\varphi \cdot I_e$  și  $k_2 = k_e \cdot k_\varphi \cdot I_e$ ),

constanta de timp  $T = \sqrt{\frac{LJ}{RF + k_1 k_2}}$  iar factorul de amortizare  $\zeta = \frac{LF + RJ}{2\sqrt{LJ(RF + k_1 k_2)}}$ .

Se constată că dacă  $F=0$  se obține un  $\zeta \neq 0$

Din relațiile (2.44 – 2.50) se obține următoarea relație :

$$\mu = \lambda - \nu \quad (2.52)$$

pe baza căreia se definesc caracteristicile mecanice și de reglaj (Figura 2-37, b) respectiv (Figura 2-37, c):

Se poate constata, comparativ cu servomotorul cu comanda pe excitație, că performanțele din punct de vedere al liniarității și univocității caracteristicii, precum și al domeniului de reglaj mult mărit, pledează pentru utilizarea în automatizări a servomotoarelor de c.c. cu comandă pe circuitul rotoric. Singura problema care mai apare în cazul acestei soluții, este nivelul mult mai înalt cerut semnalului de comandă. Această problemă a fost rezolvată prin utilizarea convertoarelor cu tiristoare. Comanda pe circuitul de excitație poate apare numai în cazul alimentării rotorului de la o sursă de curent constant. În această situație se obțin caracteristici de reglaj liniare. Este necesară introducerea unei reacții negative, fie printr-un tahogenerator, fie măsurându-se t.e.m. de la bornele mașinii pentru a se obține caracteristici mecanice cu pantă căzătoare.

Din punct de vedere constructiv se folosesc următoarele tipuri de servomotoare de c.c.: cu rotor cilindric, cu rotor disc și cu rotor pahar. Servomotoarele cu rotor cilindric pot fi cu excitație electromagnetă, cu magneți permanenți sau cu sistem hibrid de excitație. Construite pentru puteri mai mari, servomotoarele cu excitație electromagnetă încep să fie înlocuite tot mai mult cu servomotoare cu magneți permanenți, întrucât ultimele au randamente mai bune și dimensiuni mai reduse.

În aplicațiile industriale de joasă putere sunt folosite servomotoarele cu acționarea cu rotor disc. Rotorul acestor servomotoare este realizat sub forma unei înfășurări de tip ondulat dispusă pe un disc izolat ce se poate roti prin fața unor magneți permanenți plasați axial. Aceste servomotoare prezintă avantajul unei constante de timp electrice reduse (sub 0,1 ms), unei densități de curent mult crescute (de 8-10 ori mai mari decât la servomotoarele cu rotorul cilindric) și unui randament relativ ridicat. Aceste servomotoare lucrează însă la tensiuni relativ reduse (30 - 60 V pe disc).

Servomotoarele cu rotorul pahar se folosesc în special în sistemele foarte rapide, de exemplu la perifericele calculatoarelor, deoarece prezintă momente de inerție foarte mici și constante de tip electromagnetice foarte reduse.

**Servomotoarele de c.a.** au aplicabilitate largă datorită unor avantaje cum ar fi: robustețe mai mare și inerție mai mică decât motoarele de c.c., ușurință în realizarea amplificatorului de c.a. de comandă etc. Sunt utilizate în special servomotoarele asincrone

bifazate și trifazate. Elementele constructive principale ale servomotorului bifazat sunt rotorul în scurtcircuit și statorul, pe care sunt plasate două înfășurări decalate electric (de cele mai multe ori și geometric) la  $90^\circ$ . Una dintre înfășurări este alimentată în permanență de la rețeaua monofazată cu o tensiune constantă și reprezintă înfășurarea de excitație  $IE$ . A doua înfășurare este alimentată de la tensiunea de comandă printr-un amplificator  $A$  și poartă denumirea de înfășurare de comandă  $IC$ .

Există trei posibilități de a comanda servomotorul de c.a.:

a) *Reglaj în amplitudine.* Se variază amplitudinea semnalului de comandă  $U_c$  ( $\lambda$  coeficientul de semnal), în timp ce tensiunea de excitație  $U_e$  rămâne constantă ca valoare efectivă și decalată la  $90$  de  $U_c$  (Figura 2-38.a,b).

b) *Reglaj în fază.* Valorile efective a lui  $U_c$  și  $U_e$  rămân constante în permanență ( $\lambda = 1 = const.$ ) dar faza  $\beta$  dintre ele se modifică (Figura 2-39, a,b)

c) *Reglaj în amplitudine și fază.* Se variază amplitudinea lui  $U_c$  și faza  $\beta$  (fig. 11.8, a,b)

Funcționarea motorului bifazat are la baza existența, la periferia interioară a statorului, a două câmpuri învârtitoare, care vor determina două cupluri, unul în sens direct și altul în sens invers. În prezența semnalului de comandă cele două amplitudini vor fi diferite și, ca urmare, cuplul rezultant, care este cuplul efectiv al motorului, va fi diferit de zero.

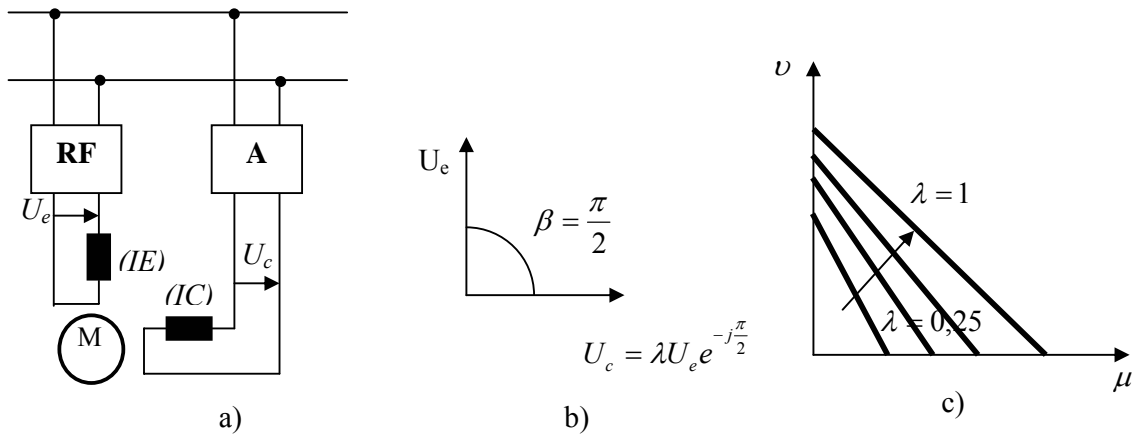


Figura 2-38 Element de acționare cu motor electric de c.a. (bifazat) cu reglaj în amplitudine :

a - schema electrică; b - diagrama fazorială; c - caracteristica mecanică.

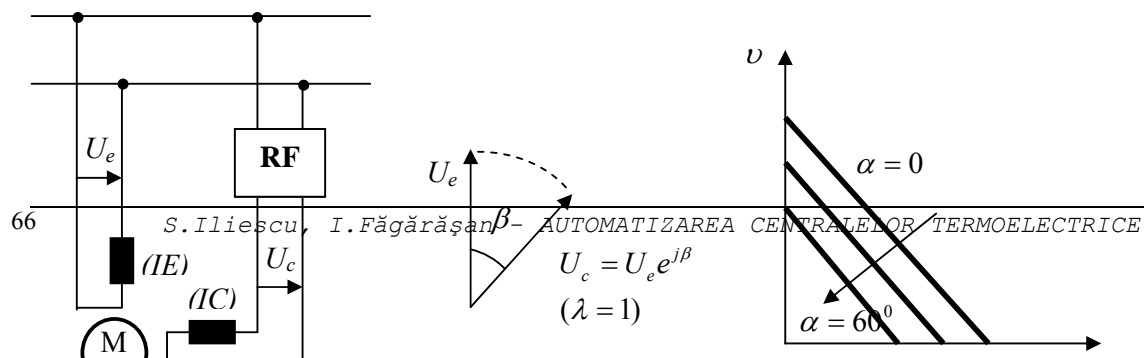




Figura 2-39 Element de acționare cu motor electric de c.a. (bifazat) cu reglaj în fază;  
 a - schema electrică; b - diagrama fazorială; c - caracteristica mecanică.

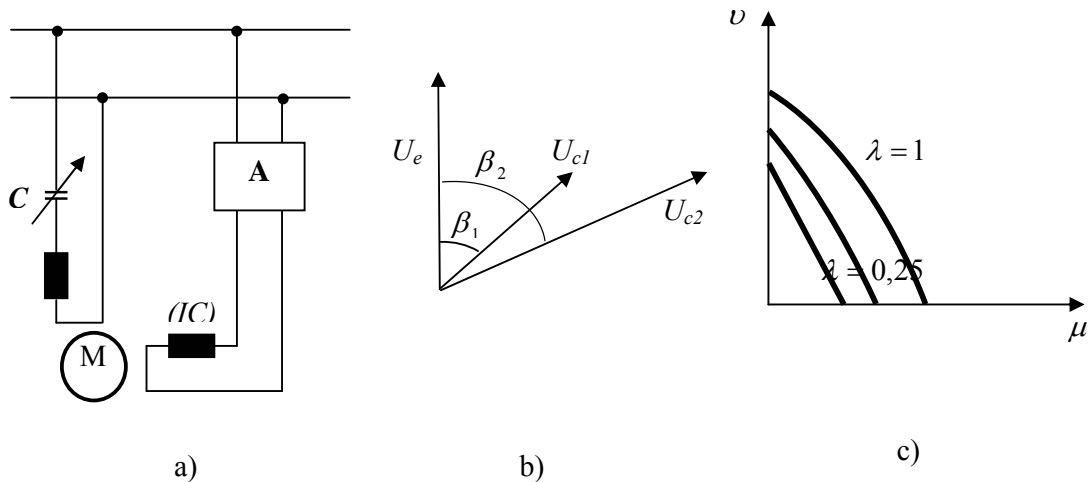


Figura 2-40 Element de acționare cu motor electric de c.a. (bifazat) cu reglaj în amplitudine și fază :  
 a - schema electrică; b - diagrama fazorială; c - caracteristica mecanică.

În absența semnalului de comandă, servomotorul se află în repaus. Asigurarea autofrânării la  $U_c = 0$  se face și prin existența unor rezistențe echivalente rotorice relativ mari, fapt ce determină și caracteristica mecanică permanent scăzătoare.

Funcția de transfer se poate scrie pe baza următoarei ecuații mecanice, în ipoteza unei sarcini având numai inerție și considerându-se constanta de timp electromecanică mult mai mare decât cea electromagnetică:

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = M_p - F \cdot \omega(t) \quad (2.53)$$

S-au notat astfel :  $\omega$  - viteza unghiulară ;  $M_p = k_m \cdot u_e \cdot u_c \cdot \cos \alpha$  - cuplul de pornire ;  
 $\alpha$  -unghiul cu care ar trebui rotit  $U_c$  pentru ca  $\beta = \frac{\pi}{2}$  ;  $k_m$  - constantă constructivă ;  $J$  -  
momentul de inerție al sarcinii ;  $F$  - panta caracteristicii mecanice

În varianta reglajului de amplitudine

$$M_p = k u_c \quad (2.54)$$

și deci :

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + F \cdot \omega(t) = k u_c(t) \quad (2.55)$$

sau

$$\begin{aligned} (Js + F)\Omega(s) &= kU_c(s) \\ H_{ma}(s) &= \frac{\Omega(s)}{U_c(s)} = \frac{k}{J \cdot s + F} \end{aligned} \quad (2.56)$$

Dacă mărimea de ieșire este poziția unghiulară  $\theta(t)$  atunci:

$$H_{ma}(s) = \frac{\Theta(s)}{U_c(s)} = \frac{k}{s(Js + F)} = \frac{K}{s(T_M s + 1)} \quad (2.57)$$

unde  $K = \frac{k}{F}$  este amplificarea iar  $T_M = \frac{J}{F}$  este constanta electromagnetice.

Din reprezentările caracteristicilor mecanice, pentru diferite moduri de comandă a servomotoarelor (Figura 2-38, c, Figura 2-39, c, Figura 2-40, c), se constată că  $F$  variază cu  $U_c$  (sau  $\lambda$ ). La aceasta se adaugă și neliniaritatea introdusă funcțional de servomotor și care constă în aproximarea caracteristicilor mecanice cu drepte. Dacă la frecarea vâscoasă introdusă pe cale funcțională se adaugă și frecarea vâscoasă existentă mecanică, va rezulta o micșorare a constantei  $T_M$ , concomitent cu o mărire a stabilității în funcționare.

Servomotorul cu rotorul în formă de pahar (Ferraris) are o largă aplicație în automatizări, în special la puteri mici (fracțiuni de W - câțiva W) și frecvențe ridicate (400-500 Hz). Principiul de funcționare a acestuia este asemănător celui al motorului asincron cu rotorul în scurtcircuit. El prezintă o serie de avantaje, cum ar fi o constantă electromecanică de câteva zeci de ori mai mică decât în cazul motorului cu rotorul în scurtcircuit.

Servomotoarele de c.a. prezintă însă o serie de dezavantaje care le fac prohibitive în unele aplicații : randament mai scăzut, gabarit sporit, comandă mai dificilă, domeniul de variație al vitezei mai restrâns, factor de putere redus.

**Motoarele pas cu pas** își găsesc în ultimul timp largi aplicații, întrucât caracterul discret al mărimilor de intrare permite o cuplare comodă a acestora cu sistemele de conducere numerică.

Funcționarea specifică ”pas cu pas” se realizează prin aceste motoare, mașini sincrone cărora li s-au adus o serie de modificări. Acestea au înfășurările de comandă alimentate cu un sistem  $m$ -fazat de impulsuri dreptunghiulare de tensiune. Impulsurile determină o repartitie discretă a câmpului magnetic în întrefierul mașinii, fapt ce determină deplasări unghiulare elementare succesive ale rotorului. Numărul înfășurărilor de comandă poate fi 1, 2 sau mai multe.

Constructiv, se deosebesc două tipuri de bază:

- *motorul pas cu pas de tip reactiv*, având rotorul sub forma unui cilindru feromagnetic dințat;
- *motorul pas cu pas de tip activ*, la care rotorul este executat din magneți permanenți sau electromagneți.

Schema bloc de comandă a motorului pas cu pas *MPP* (Figura 2-41) este compusă dintr-un generator de impulsuri *GI*, un distribuitor de impulsuri *DI*, care formează sistemul  $m$ -fazat de impulsuri, blocul de reversare *BR* al sensului de rotație, amplificatoarele formatoare *AF* și dispozitivul de comutație *DC*, care realizează cuplarea succesivă și decuplarea înfășurărilor de comandă la sursa de alimentare.

La motoarele pas cu pas performanțele dinamice sunt cu atât mai bune, cu cât puterea și dimensiunile lor sunt mai mici. Pentru a se realiza puteri sau cupluri mai mari, cu păstrarea unor constante de timp mici, se folosește un motor pas cu pas electrohidraulic. Un astfel de motor reprezintă un ansamblu format dintr-un motor hidraulic cu pistoane axiale.

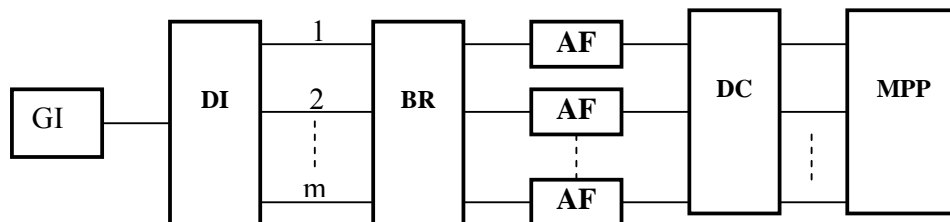


Figura 2-41. Schema bloc de comandă a motorului pas cu pas.

### C. Convertoare

Elementele de acționare cu convertoare cu tiristoare, tranzistoare de putere sau diode semiconductoare se realizează în două variante (în puncte și cu punct median) și prezintă o serie de avantaje, cum ar fi: robustețe mai mare ca la celelalte elemente de acționare electrice, reglarea continuă a mărimii de execuție, putere mare la ieșire etc. Datorită acestor factori ele s-au impus în cadrul sistemelor de acționare reversibilă.

Convertorul reprezintă un dispozitiv care este conectat între două sau mai multe sisteme electrice ce se deosebesc între ele prin natura curentului electric, numărul de faze și frecvența. El are rolul de a modifica parametrii energiei electrice în scopul transferului de energie între sistemele conectate. Convertoarele se pot clasifica după mai multe criterii. Se va menționa în continuare clasificarea din punctul de vedere al modului intern de comutație. Dacă prin comutație, se înțelege procesul de trecere a curentului dintr-o ramură de circuit în altă ramură, curentul continuând să treacă în ambele ramuri pe toată durata comutației, se vor distinge:

- convertoare la care nu are loc procesul de comutație propriu-zisă (întreruptoare și variatoare de c.a. cu elemente semiconductoare);
- convertoare cu comutație naturală (externă) de la rețea sau de la sarcină;
- convertoare cu comutație forțată (internă).

Convertoarele se cuplează la procesul condus fie direct (de exemplu, comanda excitației unui generator sincron), fie prin intermediul unor servomotoare de c.c. sau c.a. (la mecanismele de antrenare). Funcționarea convertorului constă în generarea de impulsuri de putere din curenții și tensiunile de intrare sau în formarea, suprapunerea sau regruparea acestor impulsuri într-o mărime electrică de ieșire dorită. Pentru realizarea acestor operații convertorul dispune de un bloc de comandă (pe grilă) care generează semnalele de amorsare și de blocare, dacă este cazul, pentru elementele semiconductoare de putere comandabile.

Schema principală generală a blocului de comandă este prezentată în Figura 2-42.

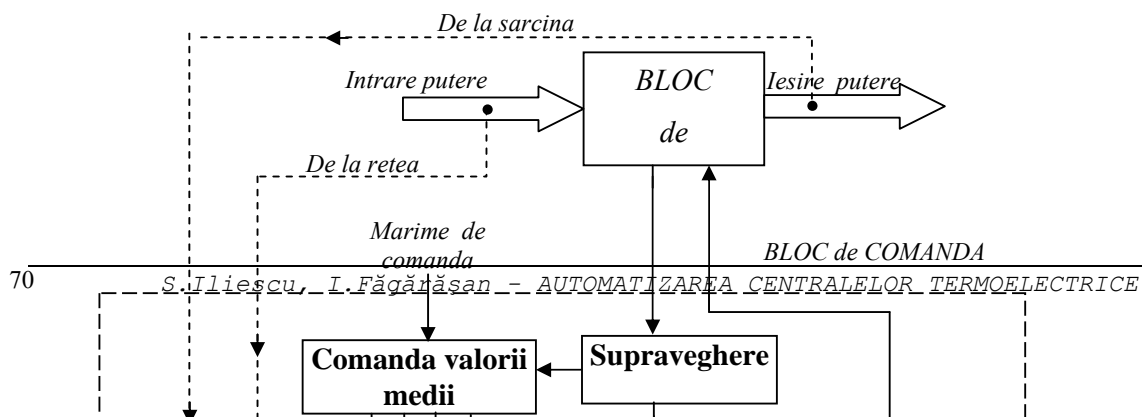


Figura 2-42. Schema principială a blocului de comandă a unui mutator (convertor)

Impulsurile de la generatorul de tact, sub controlul blocului de comandă a valorii medii a mărimii de ieșire din convertor (această valoare este în general variabilă) sunt repartizate elementelor semiconductoare din blocul de putere de către distribuitorul de impulsuri, după o logică prestabilită. De cele mai multe ori necesități energetice și de desfășurare optimă a procesului de comutație impun ca impulsurile generate de distribuitor să treacă printr-un dispozitiv de formare a impulsurilor de comandă și un amplificator.

### 2.3.3. Elemente de acționare pneumatice

Elementele de acționare pneumatice folosesc ca sursă de energie aerul comprimat și sunt destinate realizării mișcării de translație sau de rotație alternativă. Sunt realizate constructiv în două variante : cu membrană și cu piston.

#### A. Elemente de acționare cu membrană

Acest tip de *elemente de acționare* au o mai largă utilizare, în special, cele *cu membrană*. Ele constau dintr-o cameră în care se găsește o membrană prevăzută cu o placă disc de susținere a axului ce transmite mișcarea la organul de reglare și un resort antagonist. Sub acțiunea presiunii aerului comprimat  $p_U$ , membrana se deformează și transmite această deplasare prin intermediul axului. Aducerea în poziție inițială a membranei se face cu ajutorul

resortului. Elementele de acționare cu membrană pot fi cu organe de reglare acționate la închidere sau la deschidere (Figura 2-43 a și b), cu simplă sau dublă acțiune.

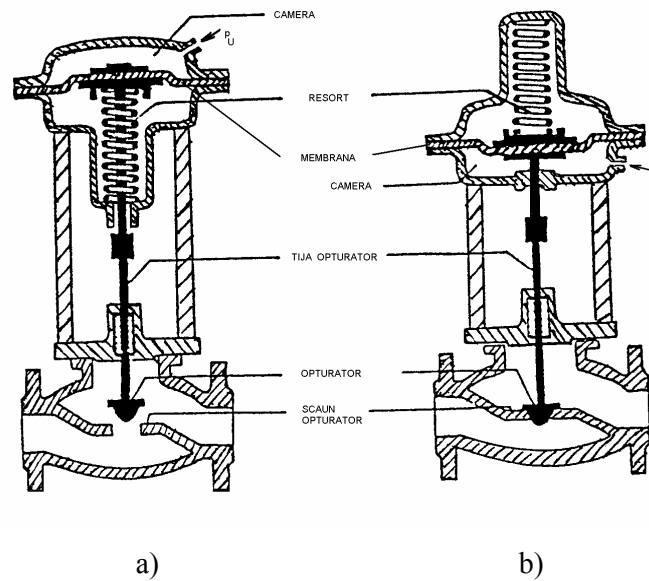


Figura 2-43 EA pneumatic cu membrană cu simplă acțiune:  
a) cu OR acționat la închidere; b) cu OR acționat la deschidere.

Comportarea dinamică poate fi descrisă printr-o ecuație de echilibru a forței dezvoltate de presiunea aerului comprimat cu forța rezistentă din resort:

$$k_1 \cdot h(t) = \alpha \cdot k_2 \cdot S \cdot p_u(t) \quad (2.58)$$

unde:  $h(t)$  - deplasarea axului;

$p_u(t)$  - presiunea aerului comprimat de comandă.

$S$ - suprafața membranei;

$\alpha$  - coeficient de micșorare al încărcării, care ține cont de deformarea membranei;

$k_1$  - constanta elastică a resortului;

$k_2$  - coeficient de încărcare membranei ce depinde de raportul dintre diametrul membranei și diametrul plăcii disc;

Se obține astfel :

$$h(t) = \frac{\alpha \cdot k_2 S}{k_1} \cdot p_u(t) = K p_u(t) \quad (2.59)$$

Se observă că elementul de acționare cu membrană cu simplă acțiune are o comportare ideală proporțională, în Figura 2-44 prezentându-se caracteristica statică și dinamică acestui tip de EA.

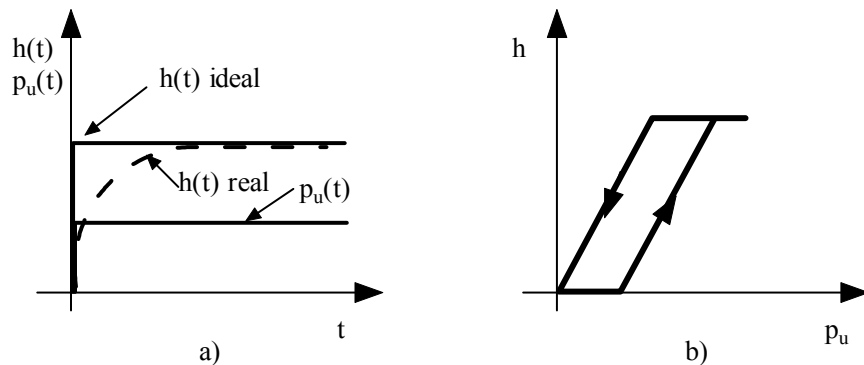


Figura 2-44 EA pneumatic cu membrană cu simplă acțiune:  
a) caracteristica dinamică; b) caracteristica statică

Datorită neliniarităților și întârzierilor pe linia pneumatică EA cu membrană au în realitate o comportare identică cu cea a unui element de întârziere de ordinul întâi.

Deși simple în exploatare, în practică aceste EA au dezavantajul unei caracteristici cu histerezis cu atât mai mare cu cât sarcina acționată va fi mai mare.

Îmbunătățirea caracteristicii statice și dinamice a EA cu membrană se realizează prin utilizarea unui element de poziționare a cărui schemă constructivă simplificată este prezentată în Figura 2-45. Elementul de poziționare are rolul de a poziționa axul EA în raport cu mărimea de comandă  $p_u$  și este constituit dintr-un ansamblu format dintr-un amplificator pneumatic  $AP$  (cu factor de amplificare  $a$ ), traductorul mărimii de intrare și elementul de comparație realizat cu burduful dublu  $B$  și traductorul de poziție  $TP$  constituit dintr-un sistem de pârghii (realizând un factor de amplificare  $k$ ). La modificarea mărimii de comandă  $p_u$ , de exemplu la creșterea sa, are loc o dilatare a burdufului, în cazul nostru în sus. În acest fel se obturează ieșirea aerului ( $p_0$ ) în atmosferă,  $p_u$  crește și prin  $TP$  se acționează  $B$  în sensul comprimării sale. Canalul cu  $p_u$  este opturat și elementul de acționare (servomotorul)  $SM$  încetează să mai fie deplasat. Dacă mărimea de comandă este de natură electrică, este necesară introducerea unui convertor electropneumatic.

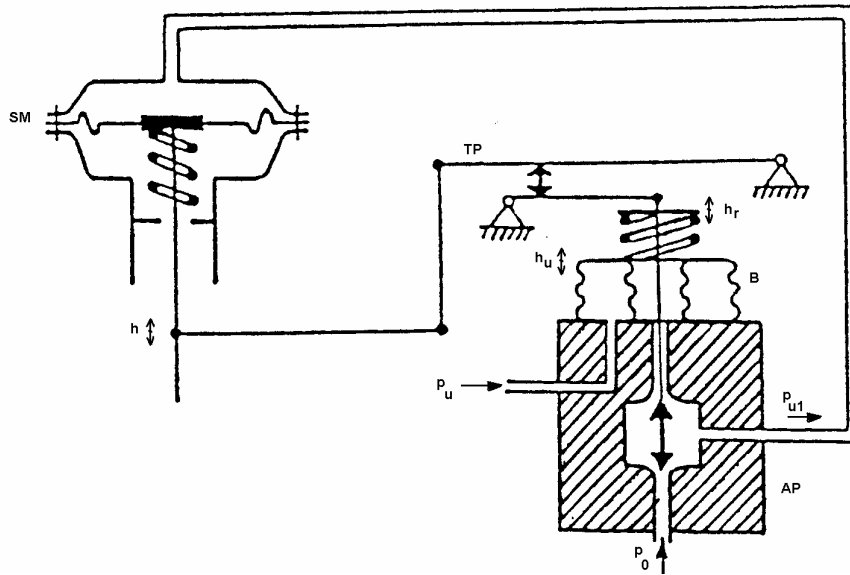


Figura 2-45 EA pneumatic cu membrană cu element de poziționare. Schema constructivă

Principiul elementului de poziționare, de a fi utilizat în mărirea preciziei în poziționarea axului SM, poate fi pusă în evidență pe schema funcțională bloc din Figura 2-46.

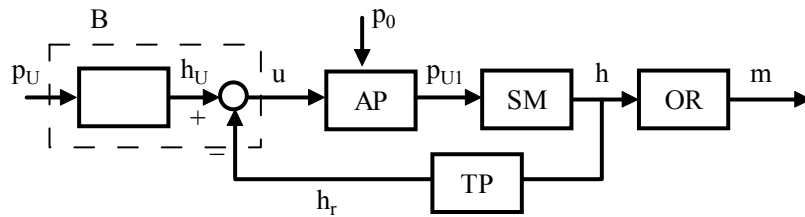


Figura 2-46 EA pneumatic cu membrană cu poziționare. Schema bloc

Se observă că funcția de transfer a elementului de acționare va fi:

$$H_{EA}(s) = \frac{a \cdot H_{SM}(s)}{1 + k \cdot a \cdot H_{SM}(s)} \quad (2.60)$$

Dacă  $a$  este foarte mare (teoretic  $a \rightarrow \infty$ ), atunci

$$H_{EA}(s) \cong \frac{1}{k} \quad (2.61)$$

În concluzie, prin alegerea corespunzătoare a lui  $k$ , precizia EA poate fi mult îmbunătățită. Totodată, se îmbunătățește dinamica acestuia, se compensează neliniaritățile și



histerezisul produs de frecarea garniturilor și o îmbunătățire a sensibilității, permițându-se adaptarea aceluiași servomotor la o gamă largă de ventile cu diverse curse.

Poziționerul este un accesoriu montat pe vană și este prevăzut, de regulă, cu un ventil de ocolire (sau întrerupător) care permite scoaterea lui de pe traseul dintre semnalul de la regulator și EA. Acest lucru este necesar în timpul unor operații de întreținere. Acționarea acestui ventil de ocolire se face după ce s-a verificat dacă poziționerul amplifică sau restrânge domeniul de reglaj sau dacă a fost sau nu folosit cu funcție inversă (inversarea semnalului).

EA cu membrană sunt utilizate pentru curse relativ reduse și dezvoltă forțe mici și variabile.

### B. Elemente de acționare cu piston

Elementele de acționare cu piston, o alta clasa de EA pneumatice din punct de vedere constructiv, pot fi realizate cu simplu sau dublu efect și sunt destinate realizării de curse mari și a unor forțe mari și constante (Figura 2-47).

Funcționarea elementelor de acționare cu piston cu simplu efect este asemanatoare cu funcționarea celor cu membrană cu simplu efect, și sunt sisteme cu caracteristica proporțională.

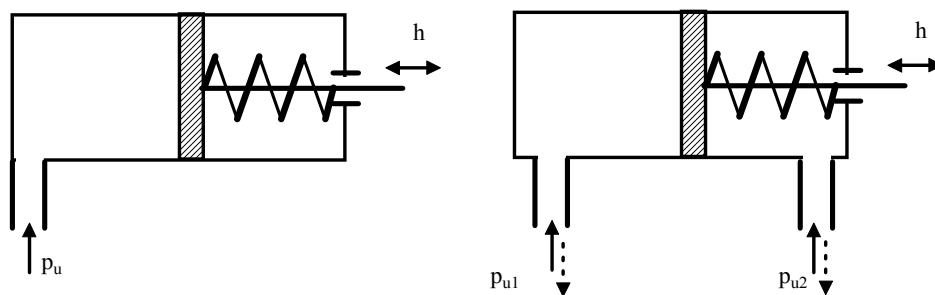


Figura 2-47 Elemente de acționare pneumatice cu piston :

a) cu simplu efect ; b) cu dublu efect.

La servomotoarele cu dublu efect, caracteristica dinamică este de tip integral:

$$dV = Q \cdot dt \quad (2.62)$$

$$Q \cdot dt = S \cdot dt \quad (2.63)$$

și, considerând o relație de dependență proporțională între variația de presiune și debit:

$$S \cdot dh = k \cdot p_u(t) \cdot dt \quad (2.64)$$

se obține :

$$h(t) = \frac{k}{S} \int p_u(t) dt \quad (2.65)$$

unde :

$V$ - volumul camerei de lucru;

$S$ - suprafața pistonului;

$K$ - coeficient de proporționalitate;

$Q$ - debitul de fluid.

Anularea componentei integrale se face cu ajutorul poziționerului.

### **C. Elemente de acționare rotative**

Din punct de vedere funcțional, elementele de acționare rotative sunt similare cu servomotoarele de c.c. sau de c.a., prezentând în raport cu acestea o serie de avantaje, cum ar fi: greutate specifică mult mai mică, reglare ușoară a turației și a puterii, etc. Apar însă o serie de dificultăți tehnologice în construcția lor datorită fluidului de lucru. Există mai multe tipuri de astfel de elemente de acționare: motoare cu roți dințate, motoare cu pistoane axiale, motoare cu palete, motoare cu rotoare profilate sau elicoidale. S-au realizat de asemenea motoare pneumatice pas cu pas (cu reacție cu impact sau cu burdufuri) (Florea și Catană, 1977)

#### **2.3.4. Elemente de acționare hidraulice**

Aceste elemente au avantajul că permit dezvoltarea unei puteri mari la dimensiuni și greutate reduse. Ca fluid de lucru se utilizează, în majoritatea cazurilor, uleiul mineral. Principalele tipuri constructive sunt: servomotoarele cu piston, cu membrană și organe rotative. Primele două tipuri sunt asemănătoare ca structură și funcționare cu cele pneumatice. Elementele cu organe rotative se pot realiza cu un mecanism bielă-manivelă și cu paletă rotativă sau de tipul pompelor volumetrice (cu roți dințate, cu roți profilate cu palete sau cu piston).

### 2.3.5. Organe de reglare

Varietatea mare a proceselor și a parametrilor reglați determină și o diversitate de tipuri și dimensiuni ale organelor de reglare destinate să modifice fie cantitățile de material, fie de energie în sensul impus de legea de reglare.

Organele de reglare pot fi:

- *electrice* și sunt destinate modificării în mod continuu sau discontinuu a tensiunii sau curentului electric: contactoare, întrerupătoare, autotransformatoare, reostate sau amplificatoare magnetice;

- *neelectrice* (de natură mecanică) și permit variația unor debite de fluid (robinete de reglare), cantități de material solid (alimentatoare cu bandă sau cu șurub melcat) și reglări de direcții. În practică cele mai des întâlnite sunt: robinetele de reglare cu ventil (cu unul sau doua scaune, normale, de colț sau cu trei căi) și cele cu clapetă.

Prin caracteristica lor statică și dinamică OR influențează stabilitatea SRA, precum și calitatea procesului de reglare (conducere). De exemplu, prin alegerea corespunzătoare a EA și a OR se pot compensa neliniaritățile celorlalte elemente din bucla de reglare.

În alegerea OR se au în vedere două tipuri de caracteristici statice (Figura 2-48): *caracteristica intrinsecă* și *caracteristica de lucru*.

A. *Caracteristica intrinsecă* se definește pornind de la expresia debitului  $Q$  ce trece prin robinet.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\xi}} \cdot S_r \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta P_r} \quad (2.66)$$

unde:  $\xi$  - coeficientul de pierdere (rezistență) locală;

$\rho$  - densitatea agentului de reglare;

$S_r$  - secțiunea de trecere a robinetului;

$\Delta P_r$  - pierderea de presiune remanentă prin frecare.

$$\text{Notându-se cu } K_v = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi}} \cdot S_r \quad (2.67)$$

$$\text{se obține : } Q = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_r}{\rho}} \quad (2.68)$$

$$\text{sau : } K_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P_r}{\rho}}} \quad (2.69)$$

Pentru un robinet de reglare, parametrul  $K_v$  se poate exprima în funcție de cursa  $h$  a axului acestuia:

$$K_v = K_v(h) \quad (2.70)$$

care reprezintă *caracteristica intrinsecă a robinetului*.

$K_v$  nu depinde de restul ansamblului, ci numai de construcția robinetului și se poate exprima numeric prin debitul unui fluid de  $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$  care trecând printr-un robinet de reglare, determină  $\Delta P_r = 1 \text{ daN/cm}^2$ .

Livrarea robinetelor de reglare se face în funcție de  $K_v$  și acestea sunt realizate cu caracteristici intrinseci de diverse tipuri: liniare, parabolice, logaritmice.

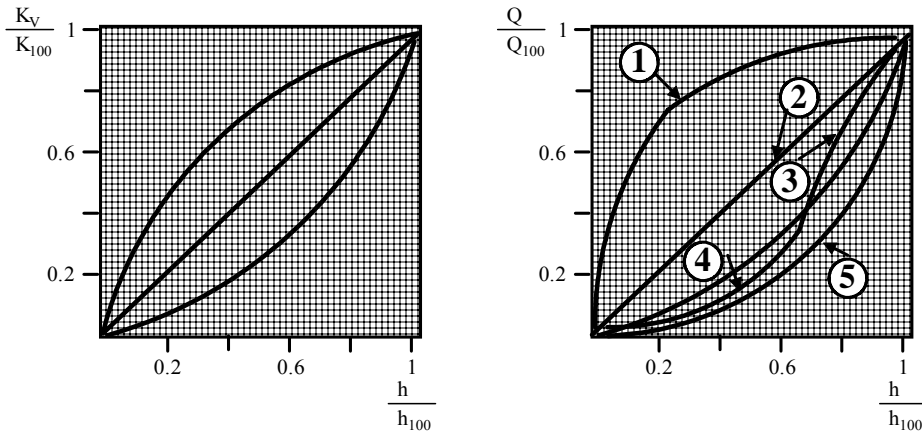


Figura 2-48 Caracteristicile statice ale organelor de reglare:

a) caracteristica intrinsecă ; b) caracteristica de lucru ( 1 – ventil cu închidere rapidă ; 2 – ventil liniar ; 3 – ventil cu bilă ; 4 – ventil fluture ; 5 – ventil parabolic )

B. Caracteristica de lucru definită prin relația:

$$Q = Q(h) \quad (2.71)$$

ține cont de rezistența hidraulică a conductei pe care are loc o cădere de presiune  $\Delta P_c$  și căreia i se poate asocia un parametru  $K_c$ , coeficient de debit, analog cu  $K_v$

$$Q = K_c \sqrt{\frac{\Delta P_c}{\rho}} \quad (2.72)$$

Factorul de amplificare al vanei este dat de panta caracteristicii.

Vana liniară are  $k_{OR} = I$  în timp ce caracteristica parabolică are  $k_{OR}$  mic în vecinătatea poziției închis. Vana cu închidere rapidă se comportă invers în raport cu vana parabolică.

Pentru sistemele condiționat stabile, factorul de amplificare trebuie să nu depășească o valoare maximă.

$$\text{Deoarece: } K = k_{RA} \cdot k_{EE} \cdot k_P \cdot k_T \quad (2.73)$$

$$\text{cu } k_{EE} = k_{EA} \cdot k_{OR} \quad (2.74)$$

unde:

$k_{RA}$  - factorul de amplificare al regulatorului;

$k_{EE}$  - factorul de amplificare al elementului de execuție;

$k_{OR}$  - factorul de amplificare al organului de reglare;

$k_{EA}$  - factorul de amplificare al elementului de acționare;

$k_P$  - factorul de amplificare al procesului;

$k_T$  - factorul de amplificare al traductorului

Rezultă că  $k_{OR}$  trebuie să compenseze pe  $k_P$ . În caz contrar, ar trebui să avem o ajustare permanentă a lui  $k_{RA}$ . Rezultă că vana trebuie să compenseze variațiile amplificării pentru un domeniu larg de regimuri de funcționare.

Modul de alegere a vanei în funcție de tipul procesului se poate exemplifica după cum urmează:

-dacă prin vană se face o tranzitare a unui debit de fluid de la un sistem cu presiune înaltă constantă la un sistem de joasă presiune, cu nivel redus de pierderi prin frecare (distincte de cele ale vanei propriu-zise), atunci  $K$  este practic constant și se va alege o vană cu caracteristică liniară.

- dacă sistemul are pierderi  $\Delta P_C$  mari în raport cu căderea de presiune pe vană, deci amplificare mai mare la debite mici și mai mici la debite mari, se alege o vană cu caracteristică parabolică.

- vana cu deschidere rapidă se folosește în situațiile unui reglaj de tip deschis/închis ca, de exemplu, la un sistem de avarie.

Trebuie menționat faptul că, în practică, caracteristicile de lucru instalate sunt totuși mai mult sau mai puțin diferite de cele determinate în condiții de laborator. Aceasta aceasta depinde de căderea de presiune aleasă pe vană. Dacă căderea de presiune este suficient de

mare, caracteristica instalată va fi foarte apropiată de cea naturală, pusă la dispoziție de fabricant. Dacă căderea de presiune este mică, apare o tendință de deplasare a caracteristicii  $Q=Q(h)$  spre stânga, deci spre caracteristica vanei cu deschidere rapidă. Acest lucru conduce la accentuarea instabilității buclei de reglare. Pentru a evita această situație trebuie să se prevadă, încă din faza de proiectare a sistemului de pompare, o cădere de presiune suficientă, în intervalul de 20-30 % din pierderile prin frecare ale sistemului.