

Universitatea POLITEHNICĂ din Timișoara

## Facultatea de Mecanică

Inginer Dan Tulvan

# ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚELOR METROLOGICE ALE UNUI SISTEM DE CONTROL ACTIV PNEUMATIC PENTRU SUPRAFEȚE CILINDRICE EXTERIOARE DISCONTINUI

TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător doctorat:

Prof. Dr. Ing. Aurel Dreucean

2006

UNIV. "POLITEHNICA"	
TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Nr. vol.	45.151
Dulap	369 Lit. 7

# Cuprins

<b>1</b>	<b><i>Sisteme de control activ pentru rectificarea suprafețelor discontinue</i></b>	<b>1</b>
1.1	<b><i>Generalități</i></b> .....	<b>1</b>
1.2	<b><i>Posibilități de control</i></b> .....	<b>3</b>
1.2.1	Sisteme de control activ cu legătură rigidă între vârful de măsurare și dispozitivul de comandă-control .....	3
1.2.2	Sisteme de control activ cu legătură elastică între vârful de măsurare și dispozitivul de comandă-control .....	12
<b>2</b>	<b><i>Stadiul actual al sistemelor de control activ al suprafețelor discontinue</i></b> .....	<b>15</b>
2.1	<b><i>Senzori și principiile lor de construcție</i></b> .....	<b>15</b>
2.1.1	Generalități.....	15
2.1.2	Particularități de construcție a saboților în “arc de cerc” .....	15
2.1.3	Saboți tip “cuțit”.....	21
2.1.4	Sisteme de evitare a transmiterii semnalelor false prin comandarea coborârii captorului.....	23
2.1.5	Sisteme de evitare a semnalelor false cu frânare mecanică.....	24
2.1.6	Sisteme de evitare a semnalelor false cu frânare magnetică.....	26
2.1.7	Sisteme de evitare a semnalelor false prin frânare cu amortizoare hidraulice sau electromagnetice .....	32
2.1.8	Sisteme de evitare a semnalelor false cu frânarea semnalului de măsurare .....	39
2.2	<b><i>Sisteme automatizare dedicate controlului suprafețelor discontinue</i></b> .....	<b>44</b>
2.3	<b><i>Precizia obținerii și prelucrării informației de măsurare</i></b> .....	<b>57</b>
2.3.1	Mijloace de măsurare .....	57
2.3.1.1	<b><i>Generalități</i></b> .....	<b>57</b>
2.3.1.2	<b><i>Clasificarea mijloacelor de măsurare</i></b> .....	<b>58</b>
2.3.2	Erorile de măsurare și influența lor asupra preciziei de evaluare a informației de măsurare	58
2.3.3	Erorile de indicație ale mijloacelor de măsurare.....	63
2.3.4	Erorile inițiale de indicație.....	63
2.3.4.1	<b><i>Erorile teoretice ale aparatelor de măsurare</i></b> .....	<b>63</b>
2.3.4.2	<b><i>Erorile constructive</i></b> .....	<b>65</b>

2.3.4.3	<i>Erorile datorate forțelor interne</i> .....	67
<b>2.4</b>	<b><i>Erorile de indicație datorate utilizării</i></b> .....	<b>69</b>
2.4.1	Erorile de temperatură .....	70
2.4.2	Erorile datorate zgomotelor electrice .....	71
2.4.3	Erorile datorate vibrațiilor .....	72
<b>2.5</b>	<b><i>Obiectivele tezei</i></b> .....	<b>72</b>
<b>3</b>	<b><i>Structura mijloacelor de control activ</i></b> .....	<b>73</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Considerații generale</i></b> .....	<b>73</b>
3.1.1	Aspecte generale și concepte de bază.....	73
3.1.2	Clasificarea sistemelor de control automat activ .....	73
3.1.3	Conceperea sistemelor de control automat .....	74
<b>3.2</b>	<b><i>Structura mijloacelor de control activ</i></b> .....	<b>75</b>
3.2.1	Elementele constructive ale mijloacelor de control activ .....	75
3.2.2	Capul de măsurare .....	75
3.2.2.1	<i>Elemente de contactare</i> .....	76
3.2.2.2	<i>Palpatoare sferice</i> .....	76
3.2.2.3	<i>Palpatoare cilindrice</i> .....	76
3.2.2.4	<i>Palpatoare tip cuțit</i> .....	77
3.2.2.5	<i>Palpatoare profilate</i> .....	77
3.2.2.6	<i>Palpatoare cu role</i> .....	77
3.2.2.7	<i>Palpatoare tip vârf</i> .....	78
3.2.3	Elemente de urmărire .....	79
3.2.3.1	<i>Clasificare. Cerințe generale</i> .....	79
3.2.3.2	<i>Elemente de urmărire de tip paralelogram cu lamele elastice</i> .....	81
3.2.3.3	<i>Elemente de urmărire de tip pârghie oscilantă cu articulație în cruce</i> .....	91
3.2.3.4	<i>Elemente de urmărire cu sănii sau coloane mobile ghidate pe bile, role sau rulmenți</i> .....	96
3.2.4	Traductoare .....	103
3.2.4.1	<i>Generalități; clasificare</i> .....	103
3.2.4.2	<i>Traductoare capacitive</i> .....	103
3.2.4.3	<i>Traductoare inductive</i> .....	105
3.2.4.4	<i>Traductoare pneumatice</i> .....	112
3.2.4.5	<i>Traductoare fotoelectrice</i> .....	116

3.2.5	Elemente de amortizare .....	121
3.2.6	Elemente de protecție .....	126
3.2.7	Dispozitive de introducere, menținere și retragere din zona de măsurare.....	128
3.2.8	Unități electronice de achiziție, prelucrare, afișare și comandă.....	132
<b>3.3</b>	<b>Capul de măsurare a suprafețelor cilindrice exterioare discontinue</b>	
	<b>DISCON 2E.....</b>	<b>136</b>
3.3.1	Schema constructivă a capului de control activ DISCON 2E .....	136
3.3.2	Schema de montaj a capului de control activ pe mașina de prelucrare.....	138
<b>4</b>	<b>Probleme ale impreciziei de măsurare în automatizarea controlului...</b>	<b>139</b>
	.....	
4.1	Aprecierea impreciziei de măsurare .....	139
4.2	Probleme ale impreciziei de măsurare în automatizarea controlului.....	140
4.2.1	Rezultatul măsurării .....	140
4.2.2	Imprecizia de măsurare și toleranța la execuția măsurandului .....	140
4.2.2.1	Stabilirea teoretică a mărimii riscurilor producătorului și beneficiarului.....	142
4.2.2.2	Alegerea rațională a raportului precizie de prelucrare/precizie de măsurare..	147
4.2.3	Dependența riscului producătorului/beneficiarului de precizia mijloacelor de măsurare .....	150
4.3	Eroarea așteptată la prelucrările cu control activ. Introducere în bazele reglării dimensiunii piesei prelucrate.....	157
4.3.1	Eroarea așteptată a procedeelelor de control activ.....	157
4.3.2	Metode de reglare a dimensiunilor prelucrate .....	164
4.3.3	Optimizarea reglării dimensiunilor .....	167
4.3.3.1	Influența numărului de piese $n_s$ .....	167
4.3.3.2	Influența mărimii corecției $\delta_d$ .....	168
4.3.3.3	Influența algoritmului de reglare .....	169
<b>5</b>	<b>Posibilități de îmbunătățire a performanței sistemelor de control activ</b>	<b>175</b>
	.....	
5.1	Traductor capacitiv cu element sensibil de tip membrană circulară.....	175
5.1.1	Dependența presiune deformație.....	175
5.1.2	Expresia simplificată a capacității condensatorului sollicitat mecanic .....	176

5.1.3	Capacitatea măsurată a condensatorului real.....	177
5.1.4	Sensibilitatea condensatorului real la variația presiunii.....	178
5.1.5	Montajul oscilator.....	179
5.1.6	Măsurători experimentale.....	180
5.1.7	Concluzii.....	181
<b>5.2</b>	<b><i>Utilizarea indicatorilor statistici pentru controlul proceselor de fabricație ..</i></b> .....	<b>182</b>
5.2.1	Metodologia statistică.....	182
5.2.2	Controlul calității prin utilizarea indicatorilor de capabilitate.....	187
5.2.2.1	<i>Controlul statistic al calității.....</i>	<i>187</i>
5.2.2.2	<i>Starea de control statistic, identificarea și eliminarea cauzelor speciale .....</i>	<i>191</i>
5.2.2.3	<i>Analiza și evaluarea sistemului de măsurare: Repetabilitate și Reproductibilitate, R&amp;R.....</i>	<i>200</i>
5.2.2.4	<i>Metoda PRE-Control.....</i>	<i>207</i>
5.2.2.5	<i>Capabilitatea proceselor .....</i>	<i>211</i>
<b>5.3</b>	<b><i>Utilizarea programului Statexp .....</i></b>	<b>213</b>
5.3.1	Meniul Histograms.....	217
5.3.1.1	<i>Data Analysis.....</i>	<i>217</i>
5.3.1.2	<i>Capability.....</i>	<i>220</i>
5.3.2	Charts for variables.....	222
5.3.2.1	<i>X-bar-r 3 sigma, X-bar-r 2 sigma, X-bar-s, X-chart moving-range .....</i>	<i>222</i>
5.3.3	Charts for atributives data.....	224
5.3.3.1	<i>p-charts constant size, p-charts variable size, np-charts, c-charts, u-charts ....</i>	<i>224</i>
5.3.4	Normalities Tests.....	225
5.3.4.1	<i>Student, chi-square.....</i>	<i>225</i>
5.3.4.2	<i>z-test, f-test, henry, wilks-shapiro, multidir-test, stability.....</i>	<i>226</i>
5.3.5	R & R.....	227
5.3.5.1	<i>Testul R&amp;R cu valori atributive.....</i>	<i>227</i>
5.3.6	Pareto.....	228
5.3.7	Implementarea programului Statexp.....	229
5.3.7.1	<i>Tehnica folosită la implementare, subsistemele și modulele componente .....</i>	<i>229</i>
5.3.7.2	<i>Subsistemul Histograms .....</i>	<i>229</i>
5.3.7.3	<i>Subsistemul Charts for variables.....</i>	<i>230</i>
5.3.7.4	<i>Subsistemul Charts for atributives data.....</i>	<i>232</i>
5.3.7.5	<i>Subsistemul Normalities Tests.....</i>	<i>234</i>

5.3.7.6	<i>Pareto</i> .....	234
<b>5.4</b>	<b><i>Utilizarea proceselor Markov în controlul calității</i></b> .....	<b>235</b>
5.4.1	Introducere .....	235
5.4.2	Procese Markov .....	236
<b>6</b>	<b><i>Concluzii finale și contribuții personale</i></b> .....	<b>240</b>
6.1	<i>Concluzii finale</i> .....	240
6.2	<i>Contribuții personale</i> .....	242
<b>7</b>	<b><i>Anexe</i></b> .....	<b>247</b>
7.1	<i>Studiu de caz la analiza capabilității unui proces</i> .....	247
7.2	<i>Studiu de caz la analiza cu fișa de control <math>\bar{x}</math>-bar R</i> .....	250
7.3	<i>Studiu de caz la analiza R&amp;R pentru variabile</i> .....	251
7.4	<i>Studiu de caz la analiza R&amp;R pentru atribute</i> .....	254
7.5	<i>Studiu de caz la R&amp;R pentru inspecție atributivă folosind calibre de     măsurare</i> .....	257
7.6	<i>Studiu de caz, fundamentarea deciziei de alegere a metodei de de măsurare     .....</i> .....	258
7.7	<i>Studiu de caz complet</i> .....	261
7.8	<i>Studiu de caz la utilizarea proceselor Markov în controlul calității</i> .....	269
<b>8</b>	<b><i>Bibliografie</i></b> .....	<b>270</b>

# 1 Sisteme de control activ pentru rectificarea suprafețelor discontinue

## 1.1 Generalități

Mai mult de 25% din prelucrările în construcția de mașini sunt realizate asupra suprafețelor discontinue (rotunde sau plane). Pentru suprafețele plane, regimul de prelucrare discontinuu este specific [12].

Totuși mijloacele de control activ destinate suprafețelor discontinue sunt dezvoltări specifice a celor pentru controlul suprafețelor netede.

În tabelul următor se prezintă parametrii de condiționare în alegerea mijloacelor de control pentru prelucrările exterioare a suprafețelor rotunde ( $v_{periferica\ piesa}=15\text{ m/min}$ ). Se evidențiază timpul de măsurare  $t_M$  pentru care captorii sunt pe suprafața piesei ca fiind parametrul principal de condiționare [49].

Grupă de piese	Toleranța ( $\mu\text{m}$ ) sau clasa de precizie	Coef. Discontin. K	Timp măsurare (ms)	Frecvența discontin. (Hz)	Lățimea proeminență (mm)	Număr proeminențe
Arbori sau alezaje cu canale de pană		2.7÷7.2	100	4÷8	-	1
Arbori canelați	Clasa 1÷3	0.6÷0.9	10÷100	12÷40	2.5÷18	6÷20
Arbori canelați cu profil în evolență		0.4÷0.6	4÷16	20÷50	1÷4	11÷50
Alezoare	4÷23	0.1÷0.2	1.5÷10	16÷36	0.4÷30	6÷10
Freze cilindro-frontale pt. canale de pană	20÷37	0.05÷0.07	5÷16	4÷10	-	2
Freze cilindro-frontale	120÷340	0.1÷0.2	5÷10	8÷80	1.2÷2.4	3÷6
Burghie	20÷70	0.05÷0.07	4÷16	4÷10	1÷4	2
Tarozi	30÷120	0.35÷0.07	10÷20	10÷15	1.8÷5	3÷4

Formele și situațiile în care se realizează prelucrarea suprafețelor discontinue cele mai frecvent întâlnite sunt prezentate în Fig. 1.

Timpul de măsurare, ca parametru principal de condiționare, este definit diferit pentru prelucrarea suprafețelor rotunde sau plane [49]:

- ◆ Suprafețe rotunde:

$$t_M = l/v = (\varphi/360^\circ)(1/n) \quad (1)$$

unde:

- $\varphi$ : unghiul corespunzător porțiunii continue a suprafeței
- $n$ : numărul de rotații ale piesei
- $l$ : lungimea suprafeței continue calculată cu formula  $l = (d/2)(\varphi/360^\circ)$

-  $v$ : viteza periferică a piesei

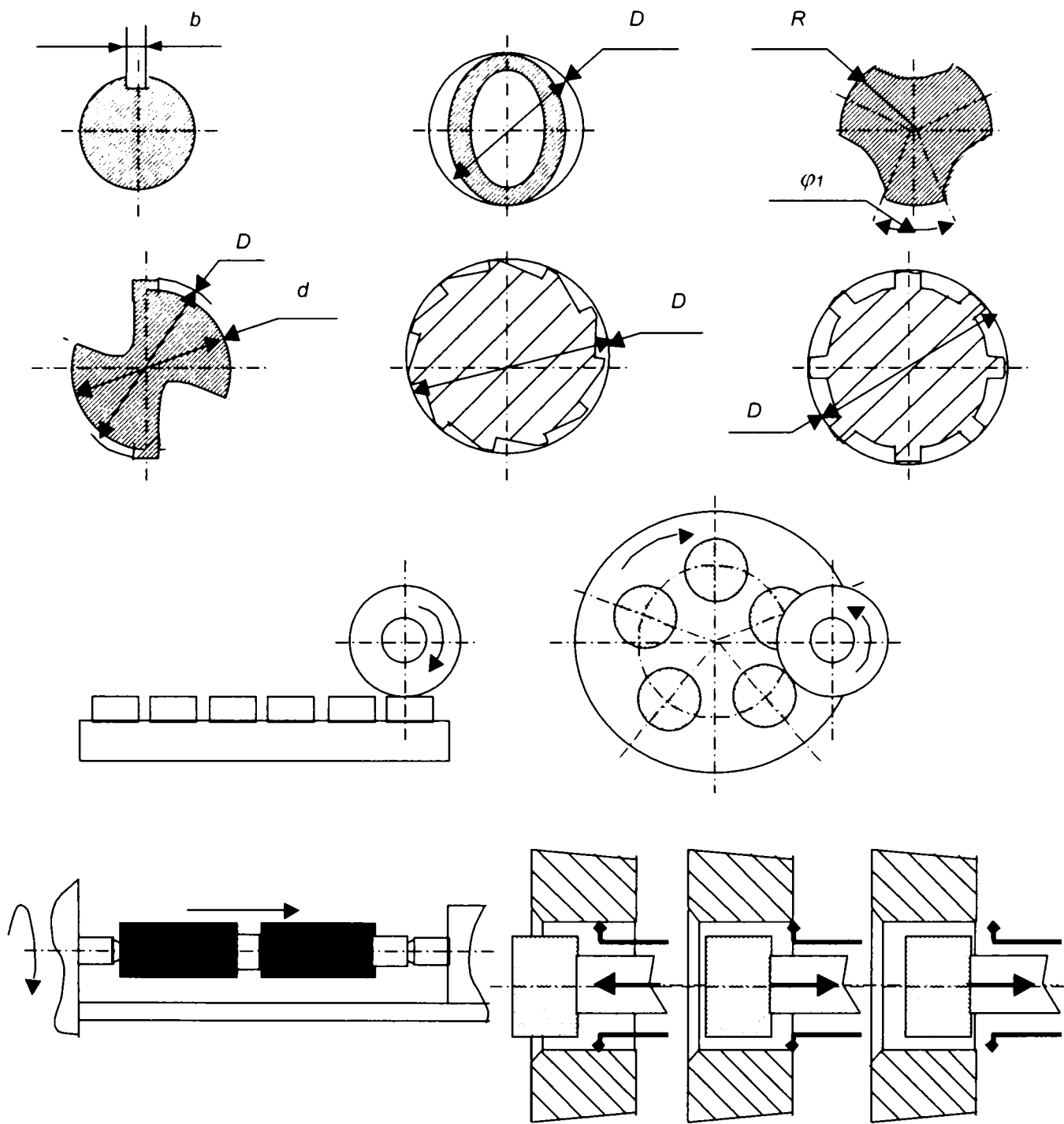


Fig. 1 Forme și situații de prelucrare a suprafețelor cu discontinuități

Unghiul  $\varphi$  interpretat ca unghi de rotație în timpul de măsurare  $t_M$ , depinde pentru aceeași configurație de piesă de numărul de contacte de măsurare așa după cum se vede din Fig. 2.

Raportul dintre suprafața continuă și suprafața discontinuă este caracterizat de "coeficientul de discontinuitate" și este definit în formula următoare [49]:

$$K = \varphi / \omega \quad (2)$$



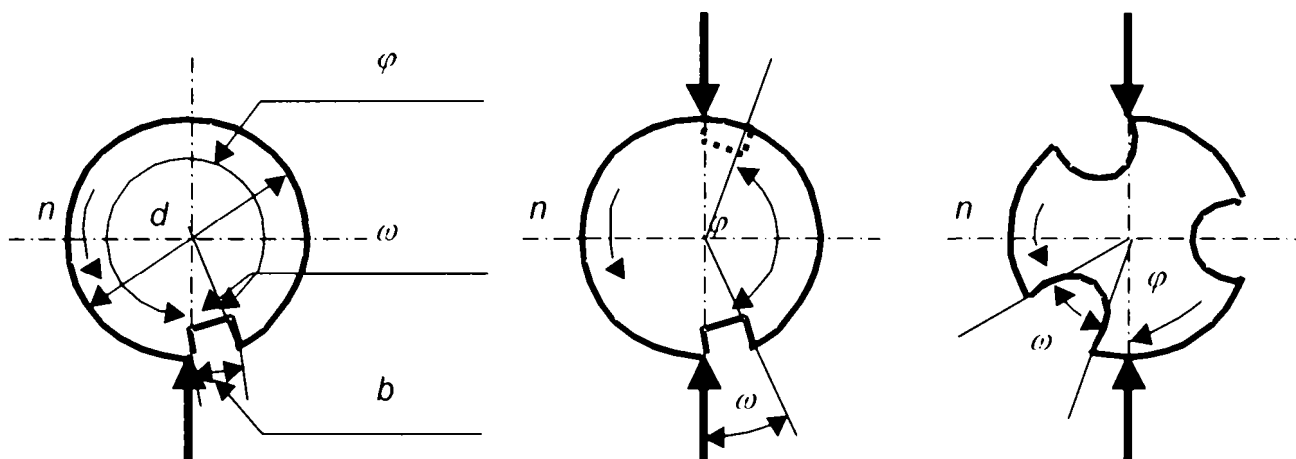


Fig. 2 Controlul cu unul sau doi captori. Determinarea timpului de măsurare la suprafețele rotunde

Mărimea raportului de discontinuitate  $K$  condiționează și el în mod hotărâtor aplicabilitatea unui anumit senzor.

◆ Suprafețe plane:

$$t_M = l/v \quad (3)$$

unde:

- $l$ : lungimea suprafeței continue;
- $v$ : viteza periferică a piesei.

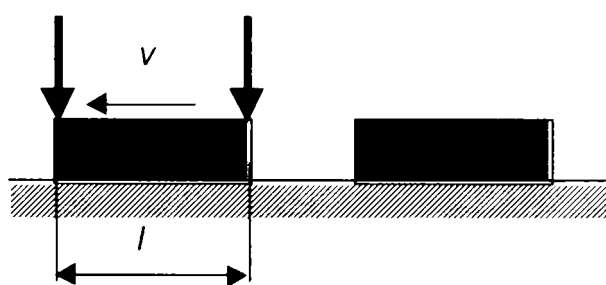


Fig. 3 Controlul cu unul sau doi captori. Determinarea timpului de măsurare la suprafețele plane

Calculul de mai sus se aplică și în cazul suprafețelor rotunde în trepte sau la prelucrarea fără centre.

## 1.2 Posibilități de control

### 1.2.1 Sisteme de control activ cu legătură rigidă între vârful de măsurare și dispozitivul de comandă-control

Indiferent de tipul traductorilor utilizați, pentru controlul suprafețelor cu intermitențe apar dificultăți constructive în plus față de controlul suprafețelor continue.

Regimul de lucru al captorilor sistemelor de control destinate suprafețelor discontinue se deosebește esențial de regimul de lucru al captorilor sistemelor destinate suprafețelor continue prin:

- ◆ în mod constant aceștia sunt obligați să părăsească porțiunea continuă a suprafeței de prelucrat (în dreptul porțiunii discontinue);
- ◆ după parcurgerea porțiunii discontinue, captorii sunt obligați să reintre pe porțiunea continuă a suprafeței de prelucrat.

De aici și cerințele suplimentare impuse sistemelor de control ale suprafețelor discontinue:

- ◆ preîntâmpinarea introducerii semnalelor false în circuitul de măsurare și comandă;
- ◆ prevenirea deteriorării captoarelor/piese.

Prima cerință este impusă de necesitatea luării unor măsuri speciale în scopul evitării indicațiilor și comenzilor false atunci când în dreptul capului de măsurare ajung goluri ale suprafeței măsurate (exemplu: canale de pană, caneluri, etc).

A doua cerință este impusă de existența efectului de șoc al discontinuității.

Nici un principiu constructiv și de funcționare al aparatelor de control activ pentru suprafețe discontinue nu este universal valabil. Alegerea soluției optime este condiționată pe lângă raționamentele de ordin economic (cost, eficiență, etc) și cele de ordin tehnic:

- ◆ modul de prelucrare;
- ◆ particularitățile piesei și mașinii-unelte;
- ◆ numărul pieselor;
- ◆ toleranța cerută;
- ◆ erorile de măsurare admise.

În continuare, Fig. 4, se prezintă câteva soluții constructive de control dimensional al suprafețelor discontinue [49].

Pentru un număr mic de discontinuități longitudinale (de regulă  $1 \div 3$ ) și volume mici de producție (serie mică sau unicat) se recomandă umplerea discontinuităților cu rășini dure necasante. Prima operație de prelucrare realizată după umplerea canalelor este aceea de uniformizare de degroșare.

Modul de funcționare al sistemului de control este următorul: vârful de palpare 8 este apăsat în permanență de către arcul 6 prin intermediul tijei palpatoare 7 pe suprafața de controlat a piesei 1. Contactul reglabil 5 este astfel reglat încât tot timpul fazei de degroșare legătura dintre acesta și contactul mobil 4 să fie menținută. La terminarea fazei de degroșare se întrerupe contactul 4-5. În mod automat se trece de la faza de degroșare la cea de finisare. Prelucrarea de finisare se realizează până la atingerea cotei finale  $D$ . Semnalul de oprire a prelucrării se face prin închiderea contactelor 3-4 prin care se dă comanda de oprire a mașinii.

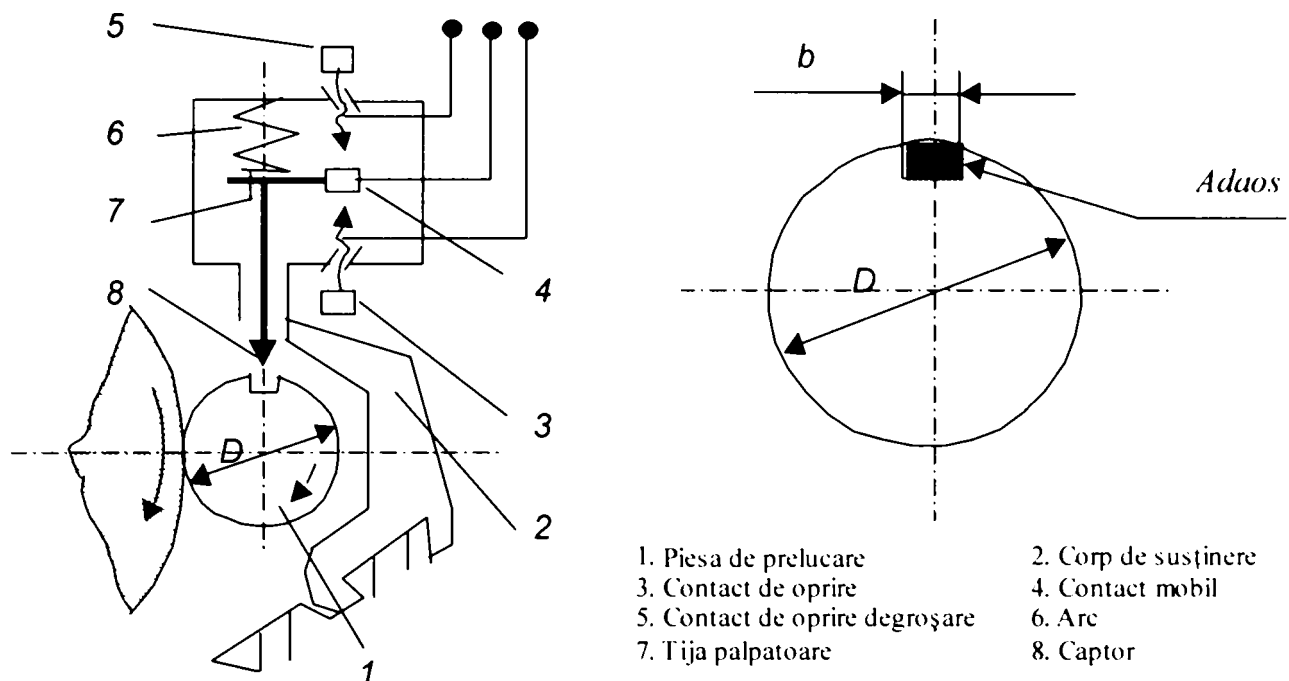


Fig. 4 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue. Umplerea discontinuităților cu rășini:

a. Sistemul de control:

b. Configurația piesei pregătite pentru prelucrare:

O altă soluție este aceea în care se utilizează, în locul captorilor sferici, saboți în "arc de cerc" [49]. Sistemul de control este similar cu cel prezentat anterior. Deosebirea esențială este aceea a saboților de palpare 8 și de sprijin 9 folosiți. Funcționarea lină și precisă a dispozitivelor de acest gen este condiționată de alegerea corectă a formei și dimensiunilor saboților.

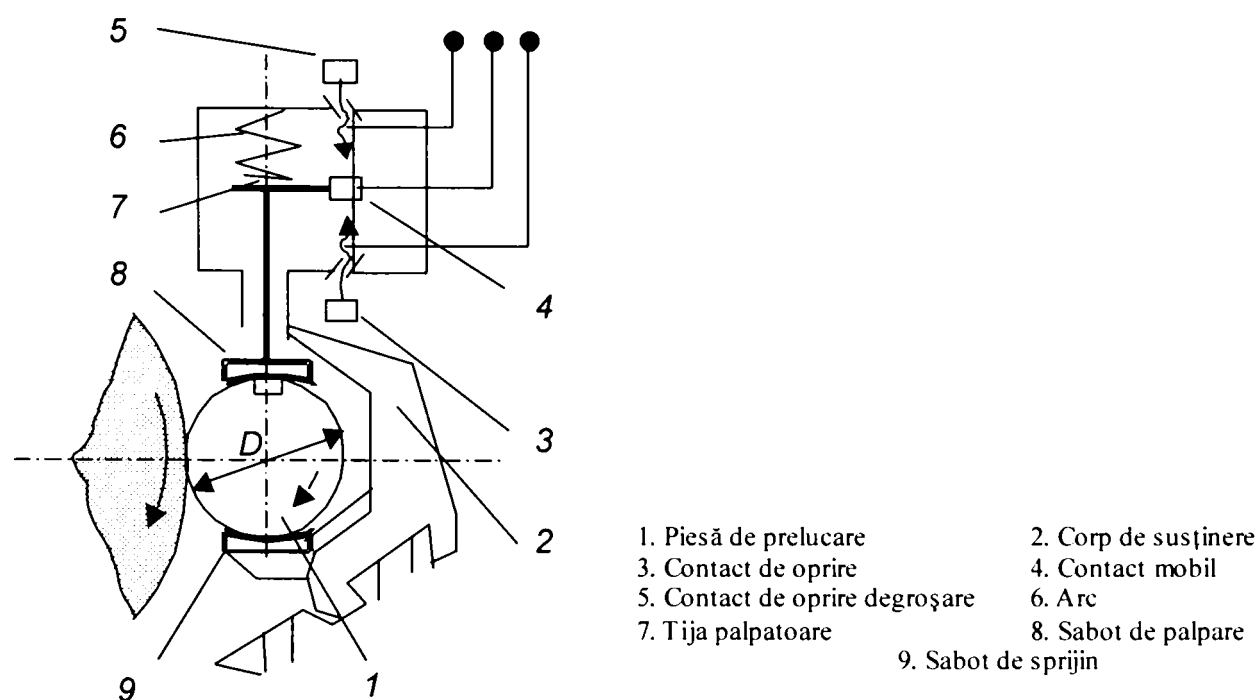


Fig. 5 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue. Sisteme cu saboți în "arc de cerc"

În schema din figura 6 este prezentat schematic un sistem de control activ care utilizează pentru evitarea comenzilor false un mecanism de ridicare a palpatorului [49]. În mod periodic, atunci când palpatorul ajunge în dreptul golului suprafeței prelucrate, mecanismul de ridicare (de tip electromagnet, camă, etc) ridică tija palpatorului (mișcarea III).

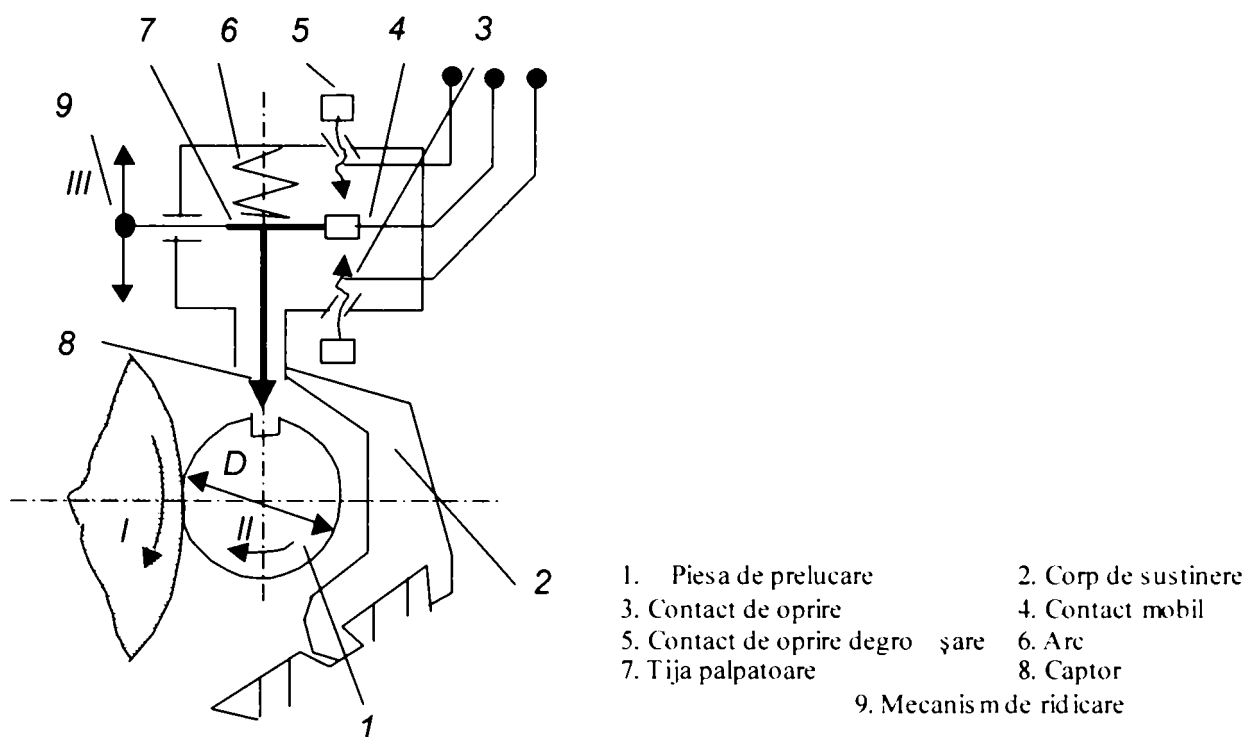


Fig. 6 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue. Sisteme cu mecanisme de ridicare

Fig. 7 prezintă modul de funcționare al mecanismului de ridicare cu camă.

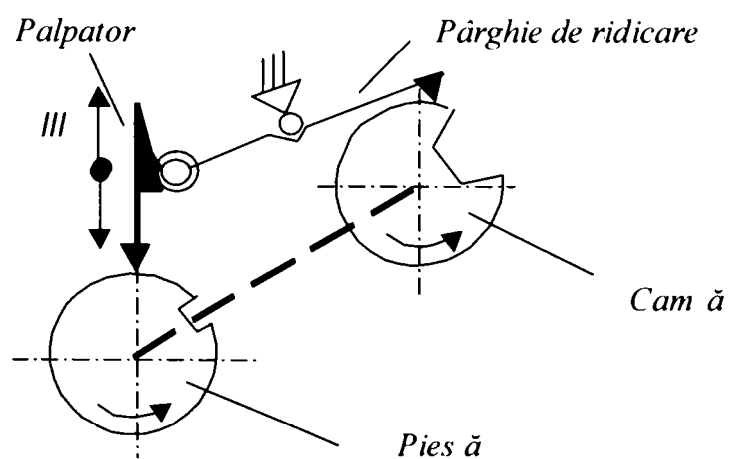


Fig. 7 Mecanism de ridicare/blocare cu camă

În

Fig. 8 este prezentată o altă variantă constructivă de evitare a comenzilor false: prin blocarea tijei palpatorului [39].

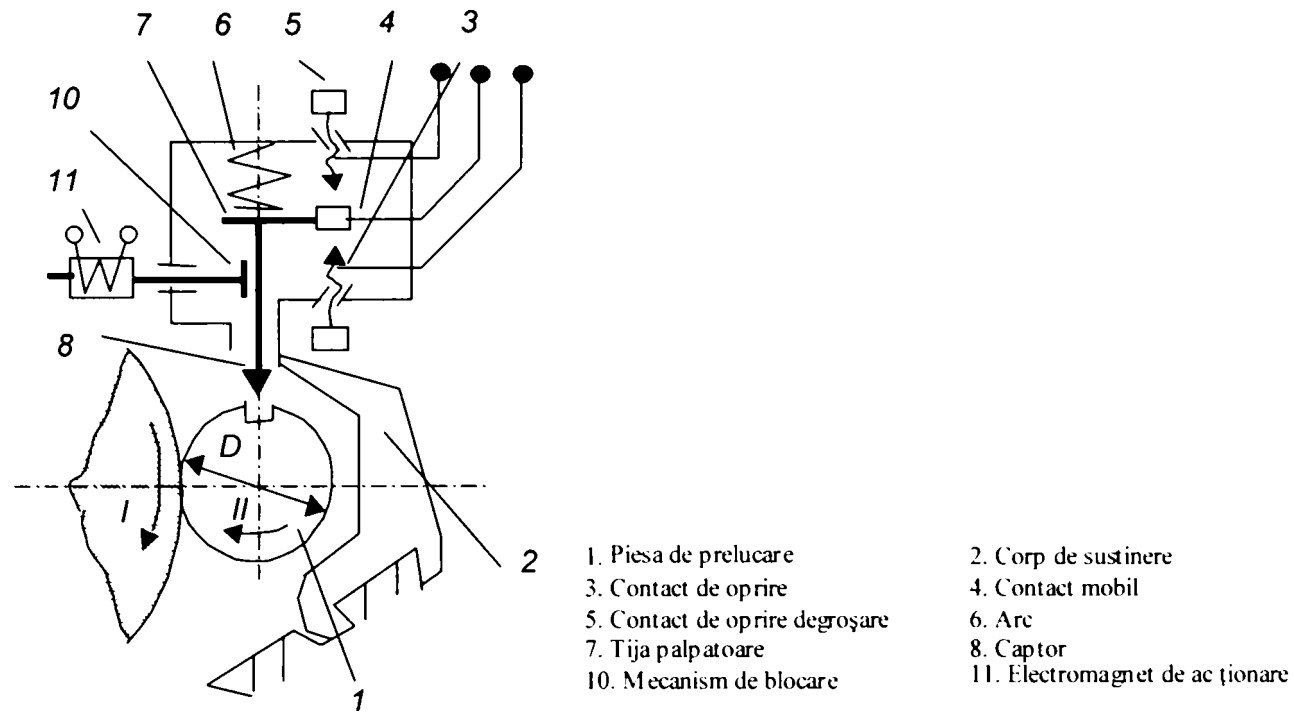


Fig. 8 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue. Sisteme cu mecanisme de blocare a tijei palpatorului

În perioada când pe sub vârful de palpăre trece un gol al suprafeței de măsurare mecanismul de blocare 10 realizează blocarea tijei palpatorului în poziția corespunzătoare porțiunii continue. O modalitate practică de realizare a blocării este aceea prin frecare. Acționarea mecanismului de blocare 10 este realizată de către electromagnetul 11.

În figura 9 este prezentat în detaliu modul de lucru al electromagnetului care acționează sistemul de blocare: la trecerea golului suprafeței de măsurare prin dreptul palpatorului, cama de comandă realizează schimbarea stării micro-întrerupătorului care, la rândul său, dă semnalul de alimentare a electromagnetului. Odată intrat în funcționare, electromagnetul acționează dispozitivul de frânare (nereprezentat în figură), astfel încât tija palpatorului rămâne pe toată durata de acționare a electromagnetului blocat la poziția corespunzătoare porțiunii continue a suprafeței de măsurare.

O alternativă la această soluție este aceea în care nu se blochează tija palpatorului ci se blochează dispozitivul de semnalizare prin aceasta micșorându-se forța necesară electromagnetului de frânare.

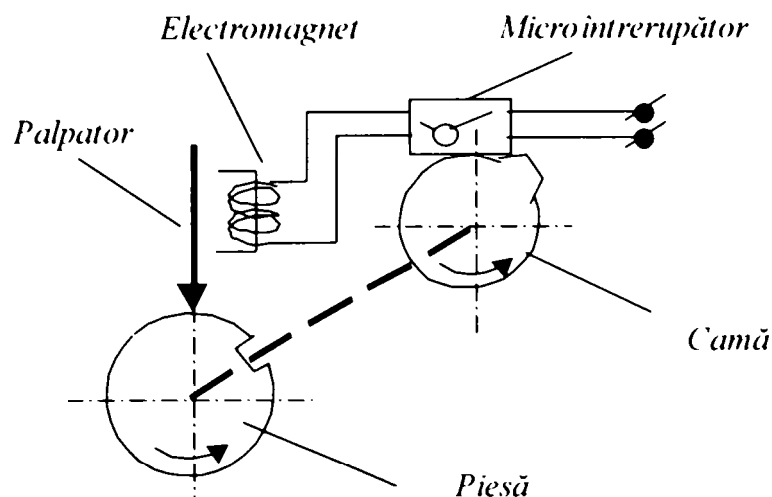


Fig. 9 Mecanism de blocare. Comanda electromagnetului de acționare

Avantajele generale ale dispozitivelor de blocare sunt următoarele:

- ◆ permit folosirea dispozitivelor existente pentru transformarea impulsului de măsurare;
- ◆ se asigură condiții bune de măsurare datorită lipsei sarcinilor dinamice.

Dintre dezavantaje menționăm construcția mai complicată prin introducerea în cadrul dispozitivului de măsurare a:

- ◆ dispozitivului de blocare a tijei palpatorului (sau a dispozitivului de semnalizare);
- ◆ dispozitivului de sincronizare a perioadei de frânare cu perioada de trecere a golului suprafeței controlate pe sub palpator.

O altă măsură de evitare a comenzilor false este aceea a utilizării unor dispozitive de limitare a vitezei de deplasare a tijei de palpate [49]. Un astfel de sistem este prezentat succint în Fig. 10.

Tija palpatoare 7 este legată printr-un dispozitiv cu fricțiune de sania 12. Forța de frecare este astfel realizată de dispozitivul cu fricțiune încât tija palpatoare să nu alunece față de sanie sub acțiunea forței de măsurare creată de arcul 6. Cu ajutorul unui dispozitiv special 13 (format de obicei dintr-un electromotor cu reductor și o transmisie melcată, cu camă, etc) sania se deplasează cu o viteză mai mare decât viteza de îndepărtare a adaosului de prelucrare, astfel ca tija palpatorului să poată urmări permanent variația dimensiunii piesei.

Când sub vârful de palpate apare un gol, vârful nu cade în golul respectiv ci coboară cu viteza saniei 12 care este foarte mică. La capătul golului, vârful de palpate se izbește de muchia suprafeței prelucrate iar tija palpatoare se ridică alunecând față de dispozitivul cu fricțiune al saniei, urmărind în continuare variația dimensiunii suprafeței prelucrate. În plus, schema electrică a aparatului este astfel concepută încât închiderea sau deschiderea de scurtă durată a contactelor (corespunzător timpului de trecere a golului prin dreptul vârfului de palpate) să nu dea nici o comandă.

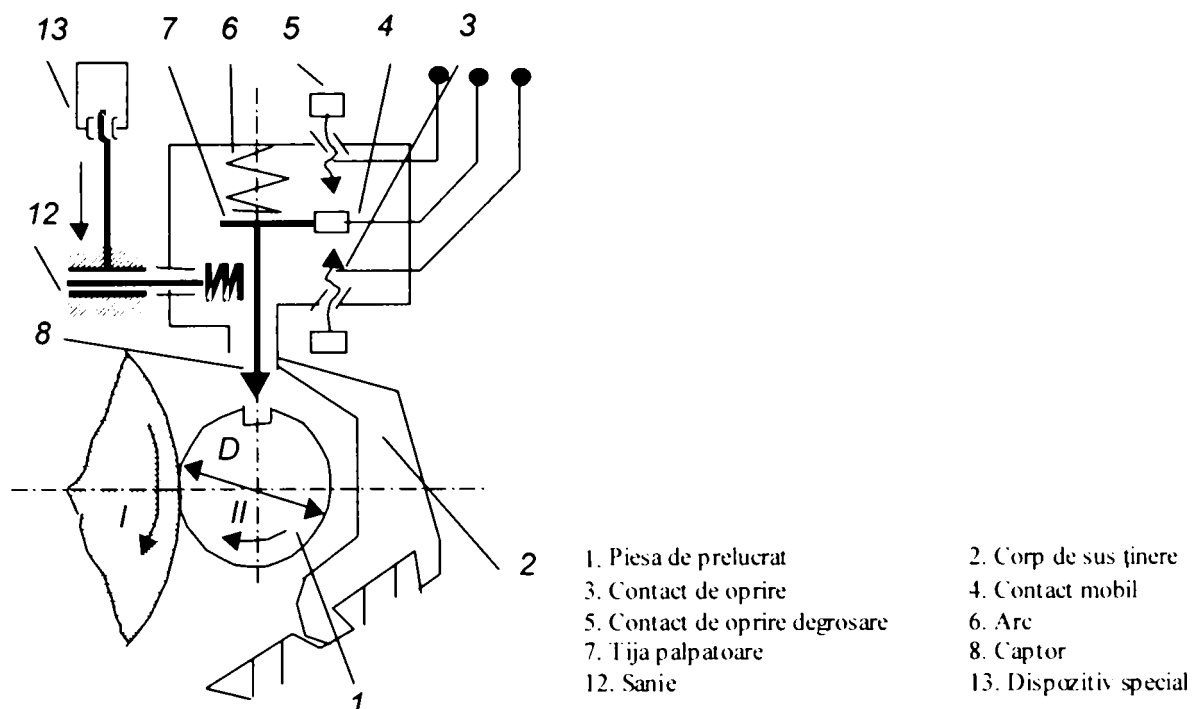


Fig. 10 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue.

### Sisteme cu mecansime de limitare a vitezei de deplasare a tije palpatorului

O variantă de limitare a vitezei de deplasare a tije de palpate este aceea cu amortizor cu ulei prezentată pe scurt mai jos (figura 11) [49]:

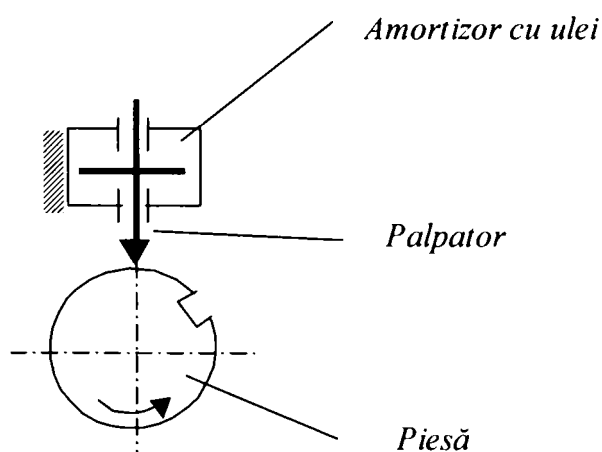


Fig. 11 Sisteme de limitare a vitezei palpatorului. Utilizarea amortizoarelor cu ulei

Pornind de la ideea de limitare a vitezei tije palpatorului, s-a dezvoltat varianta cu amortizor de semnal (care realizează practic o limitare a modului de transmitere a semnalului la dispozitivul de comandă-control) [49]. Sistemul este similar cu cel prezentat în Fig. 12 cu particularitățile din Fig. 13:

- ♦ vârful de palpate 14 se poate deplasa independent față de tija traductorului 7;

- ◆ la căderea palpatorului în golul suprafeței tija palpatorului 7 se blochează cu frâna 10 comandată de electromagnetul 11 (evitând transmiterea de comenzi false).

În figura 13 este redat un sistem model de amortizor de semnal. Se observă că la apariția unor variații bruște (ca și în situația în care vârful de palpate trece pe sub un gol al suprafeței de măsurare) amortizor de semnal limitează transmiterea semnalului la sistemul de comandă-control, circuitul de comandă continuând să fie alimentat de condensatorul C.

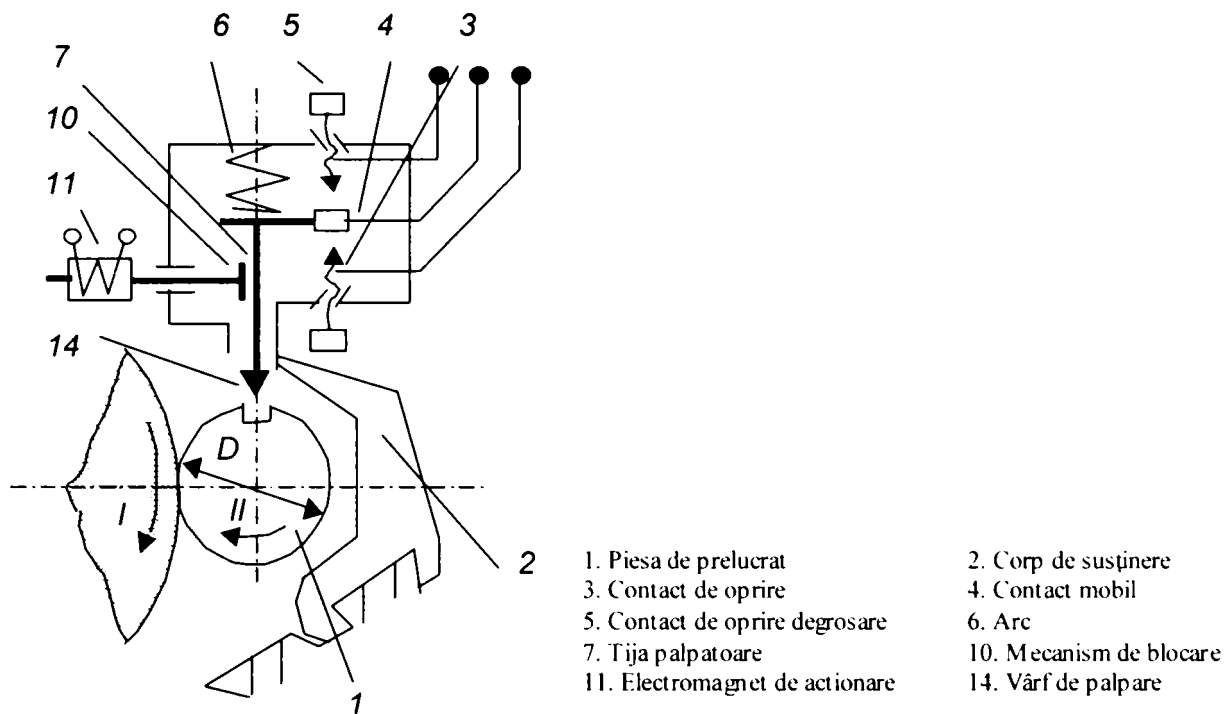


Fig. 12 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue.

### Sisteme cu mecanisme de amortizare de semnal

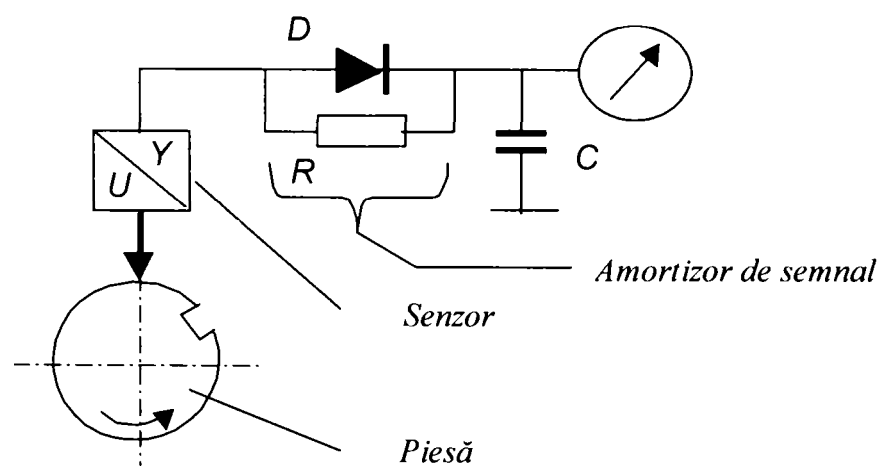


Fig. 13 Sisteme de amortizare a semnalului.

O ultimă variantă prezentată este aceea cu întrerupător de semnal [49]. Schema electrică este astfel concepută încât atunci când apare pericolul de a se transmite semnale false de comandă să se



blocheze circuitele electrice care leagă dispozitivul de mașină. Schema electrică a dispozitivului de control automat este astfel concepută încât comanda de scurtă durată creată prin coborârea palpatorului în golul suprafeței de controlat să nu se transmită în circuitul de comandă a mașinii. Schema de principiu este redată în figura 14 iar două variante de realizare practică a întreruperii circuitelor electrice sunt prezentate în figurile 15 și 16:

- ◆ pentru sistemul din figura 15 întreruperea circuitelor electrice este comandată de o camă;
- ◆ pentru sistemul din figura 16 întreruperea circuitelor electrice este realizată cu ajutorul unui dispozitiv electronic.

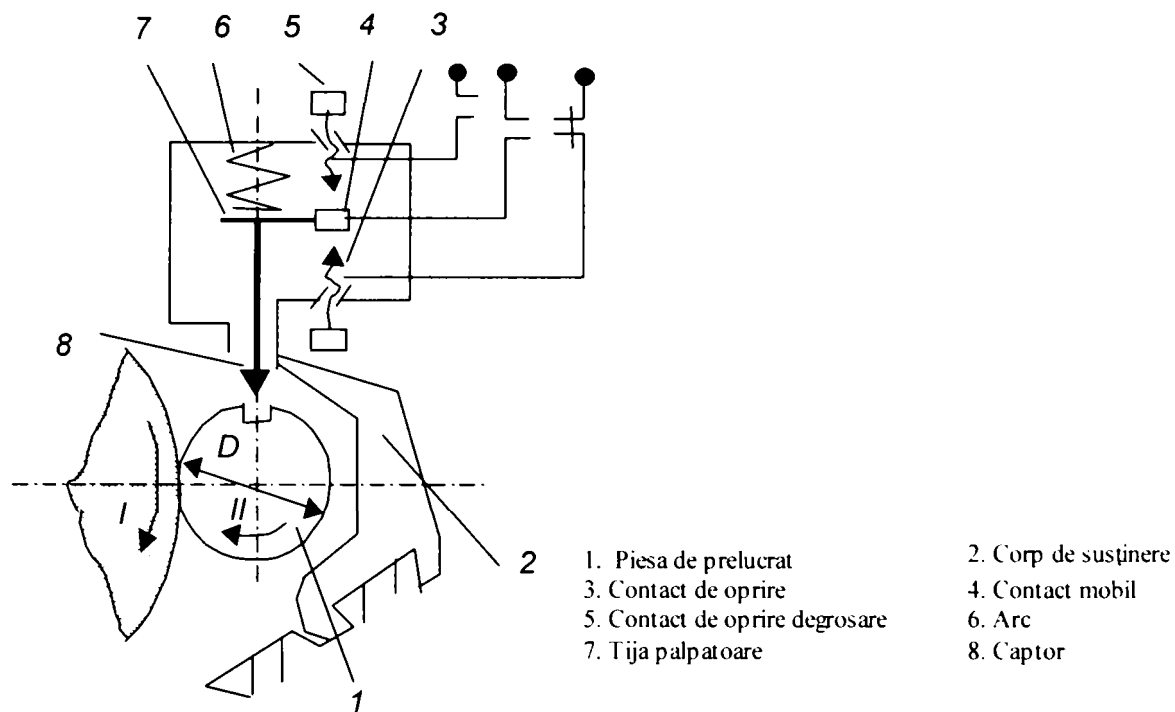


Fig. 14 Sisteme de control activ pentru suprafețe discontinue.

### Sisteme cu mekansime de blocare a circuitelor electrice

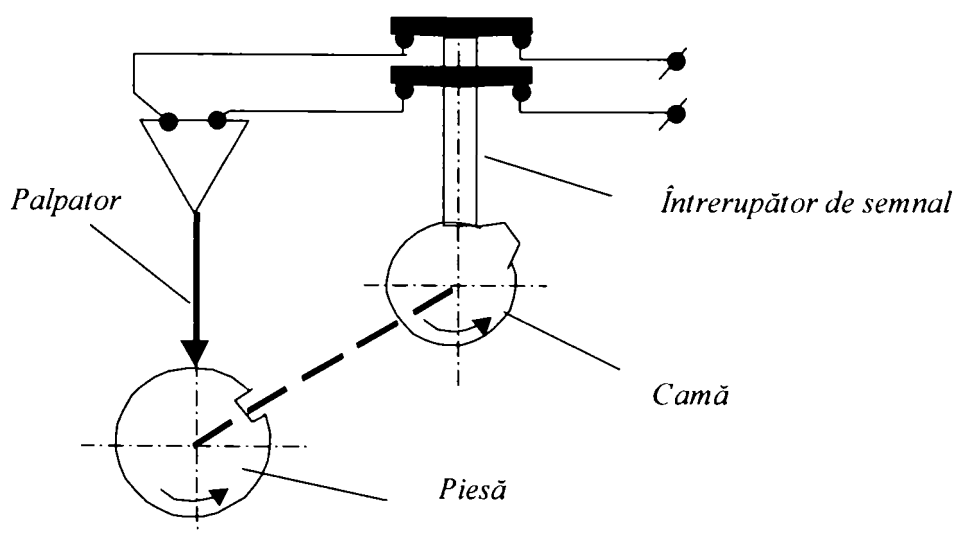


Fig. 15 Mecansim de întrerupere a circuitelor electrice cu camă.

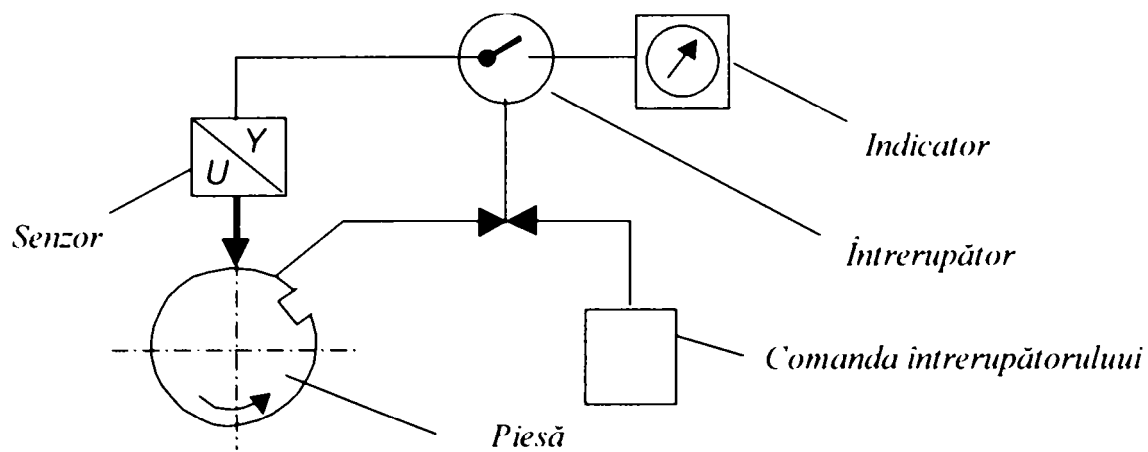


Fig. 16 Mecanism de înterupere a circuitelor electrice comandat de un dispozitiv electronic.

### 1.2.2 Sisteme de control activ cu legătură elastică între vârful de măsurare și dispozitivul de comandă-control

În afara soluțiilor prezentate în paragraful 1.2.1 mai există și sisteme la care legătura dintre vârful de măsurare și dispozitivul de comandă-control al sistemului de control activ este de natură elastică [49].

Asemenea legături prezintă avantajul că amortizează oscilațiile vârfului de măsurare (comanda creată corespunde în acest caz valorii medii a dimensiunilor măsurate). Astfel de sisteme sunt realizate îndeosebi pe baza metodelor pneumatice de măsurare (uneori ca și combinații ale schemelor precedente).

La metoda pneumatică de măsurare a dimensiunilor, măsurarea se poate face fără contact (adică fără ca vreun organ al aparatului să vină în contact cu suprafața controlată sau prin contact. Indiferent de tipul contactului, aparatul de măsurare trebuie să îndeplinească aceleași condiții ca și în cazul aparatelor prezentate la capitolul 1.2.1: eliminarea comenzilor false și eliminarea/diminuarea deteriorării vârfului de măsurare.

În figura 17 este prezentat schematic un sistem pneumatic destinat controlului suprafețelor discontinue pentru care eliminarea comenzilor false este asigurată de un volum suplimentar [12].

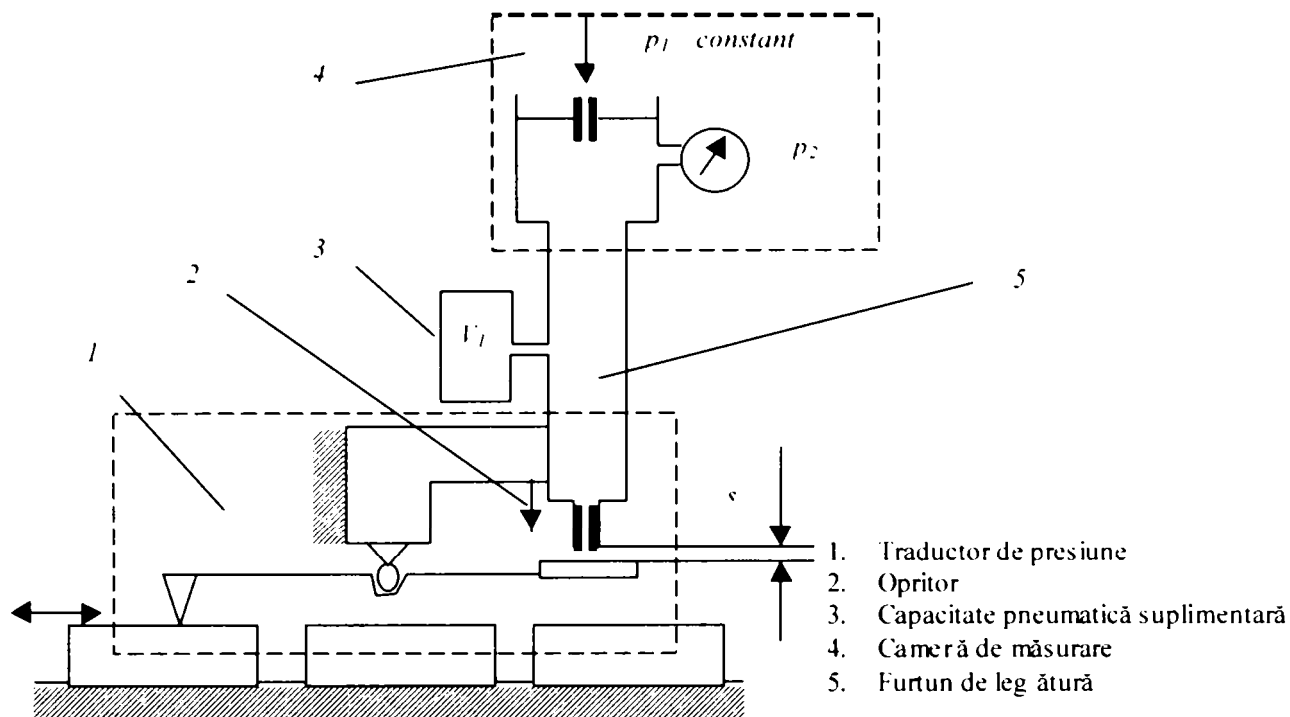


Fig. 17 Schema aparatului pneumatic de măsurare cu volum suplimentar.

Datorită inerției determinată de variația masei aerului, variația presiunii nu poate să urmărească instantaneu variația interstițiului. Acest fenomen este sesizabil mai ales la căderi de scurtă durată a palpatorului astfel ca variația indicației aparatului nu va fi prea mare. Racordarea unei capacități suplimentare de aer 3 la furtunul de legătură 5 dintre camera de măsurare 4 și traductorul de presiune 1 duce la:

- ◆ scăderea și mai mult a variațiilor indicațiilor aparatului;
- ◆ reducerea oscilațiilor indicatorului.

Valoarea capacității suplimentare este de regulă de 10 ori mai mare decât valoarea capacității camerei de măsurare. Alegerea se face pe cale experimentală între limitele  $(500 \div 1000) \text{ cm}^3$  la volume ale camerei de măsurare de  $(50 \div 100) \text{ cm}^3$ .

Alegerea volumului camerei suplimentare trebuie să țină cont de următoarea observație: volume mult prea mari ale camerei duc la creșterea inerției aparatului astfel că se introduc erori mari de măsurare și întârzieri mari la darea comenzilor de oprire a ciclului de lucru a mașinii-unelte față de momentul în care dimensiunea piesei a atins cota programată.

O variantă mai avantajoasă din punct de vedere funcțional este aceea în care camera de măsurare este împărțită în două de către un drosel de amortizare [12]. Aceasta este prezentată în figura 18.

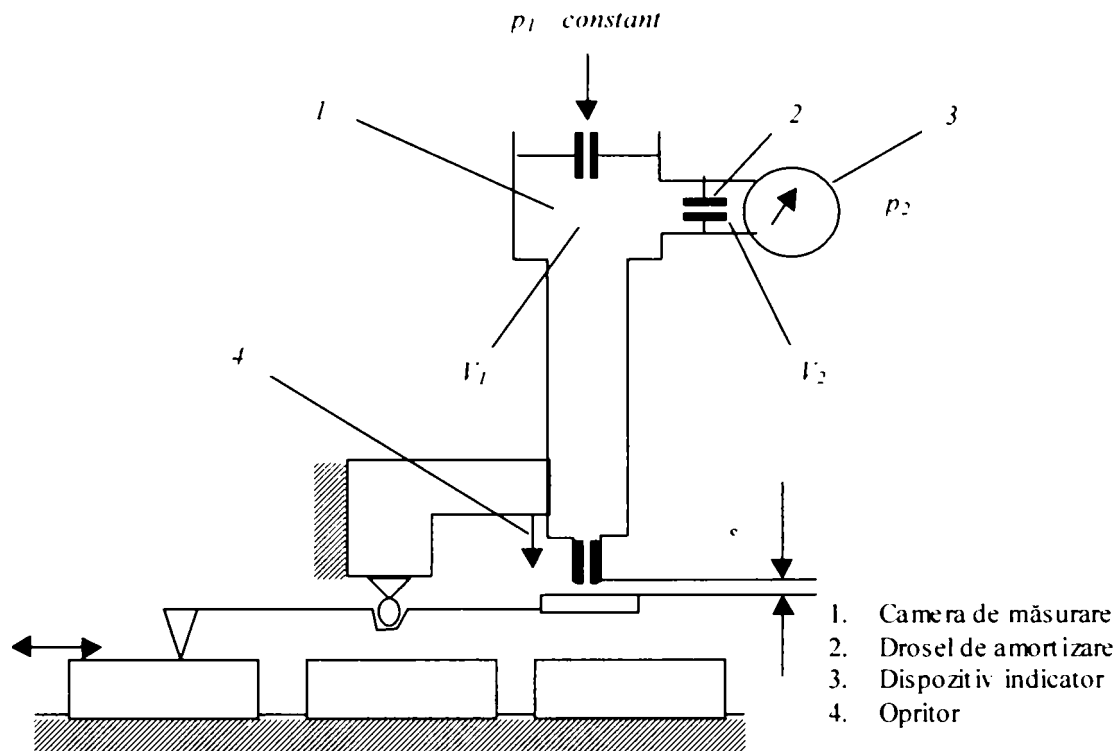


Fig. 18 Schema aparatului pneumatic de măsurare cu drosel de amortizare.

Unul dintre dezavantajele sistemului pneumatic de măsurare cu volum suplimentar este acela al întârzierii transmiterii comenzilor. Durata de întârziere a comenzilor se reduce semnificativ (de 2÷3 ori) dacă se folosește această soluție cu drosel de amortizare. Droselul de amortizare se introduce pe conducta de legătură a camerei de măsurare 1 cu dispozitivul indicator 3. În acest fel se realizează împărțirea camerei de măsurare 1 în două camere distincte de volume  $V_1$  și  $V_2$ . Prin această schimbare în zona camerei de măsurare, variațiile interstițiului  $s$  se transmit în camera de volum  $V_2$  cu amplitudine mult redusă din cauza rezistenței droselului.

## 2 *Stadiul actual al sistemelor de control activ al suprafețelor discontinue*

### 2.1 *Senzori și principiile lor de construcție*

#### 2.1.1 **Generalități**

În paragraful 1.2 s-au prezentat schematic posibilitățile de control pentru suprafețe discontinue. Așa după cum se observă, în majoritatea cazurilor cinematica de bază a măsurării este similară cu a sistemelor cu unul, două sau trei contacte destinate suprafețelor continue, completată cu elemente pentru prevenirea semnalelor false și deteriorarea captorilor de măsurare. În continuare se vor prezenta mai în detaliu posibilitățile de control enunțate până acum.

#### 2.1.2 **Particularități de construcție a sabotilor în “arc de cerc”**

Indiferent de tipul prelucrării (exterioară sau interioară), pentru ca sabotul să acopere singur discontinuitatea [39], se recomandă ca deschiderea sa față de lățimea discontinuității să fie:

$$B \geq (2\lambda 2.5) * b \quad (4)$$

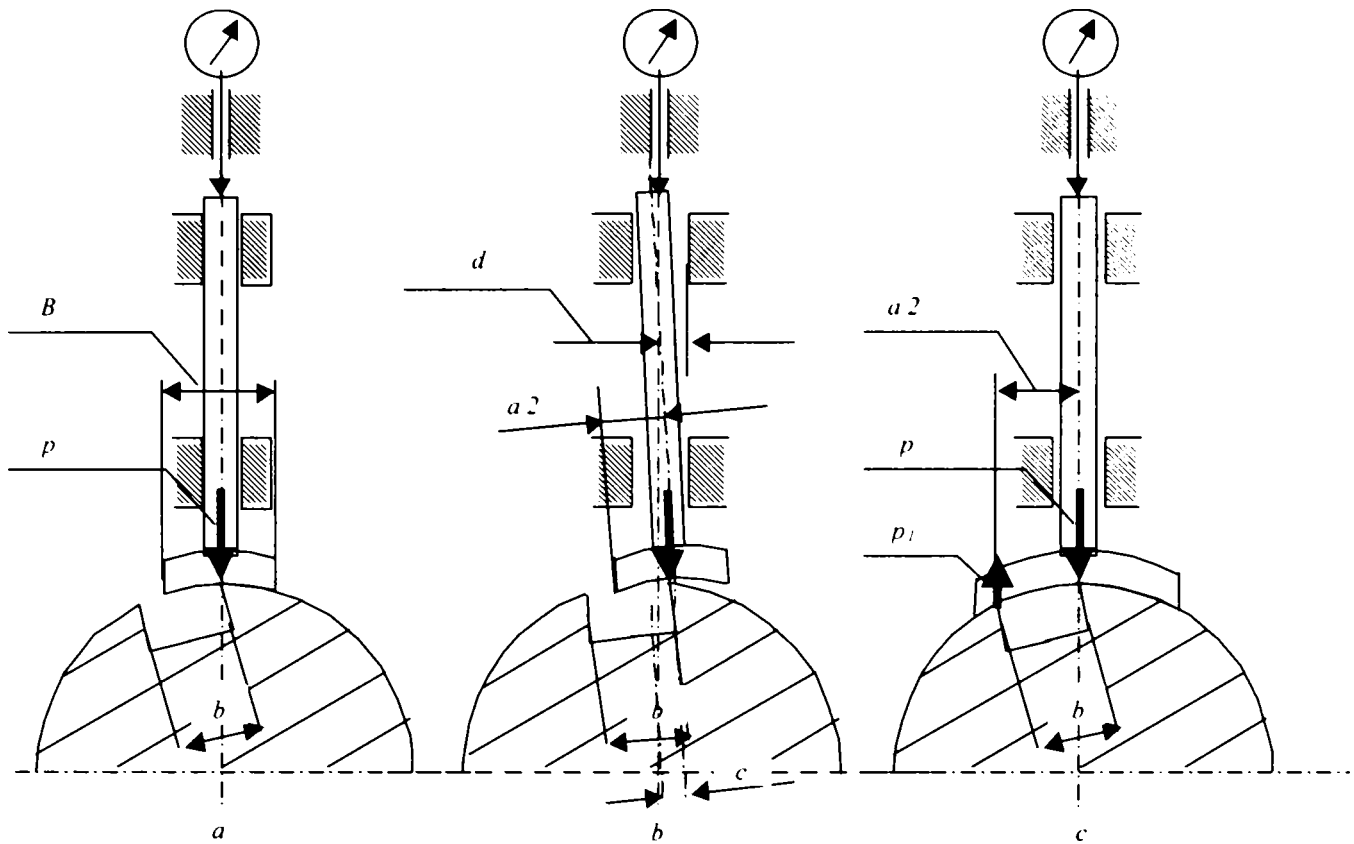
Figura 19 justifică necesitatea alegerii judicioase a lățimii sabotului:

Mărimile care influențează funcționarea sabotului în “arc de cerc” sunt (conform Fig. 19.a) [39]:

- ◆  $B$ : lățimea sabotului în “arc de cerc”;
- ◆  $b$ : lățimea discontinuității;
- ◆  $p$ : forța de măsurare .

Fig. 19,b prezintă cazul în care lățimea palpatorului este mai mică decât cea limită impusă (cazul  $b > B/2$ ). Se observă că la trecerea discontinuității pe sub sabotul în “arc de cerc”, din cauza contactului punctiform dintre palpator și suprafața de controlat, palpatorul este supus unei solicitări complexe [39]:

- ◆ o forță de reacțiune din partea corpului de măsurat, egală și de sens contrar forței de măsurare;
- ◆ un moment de valoare:  $M = p * c$  unde  $c$  este brațul forței de măsurare  $p$  datorită noii poziții a palpatorului. Brațul forței rezultă ca urmare a consumării de către palpator a întregului joc oferit de către lăgăruirea tijei palpatorului.



- a. mărimile caracteristice ale schemei de încărcare  
b. schema de încărcare în cazul  $b > B/2$   
c. schema de încărcare în cazul  $b < B/2$

Fig. 19 Schema de încărcare a sabotului în "arc de cerc".

O funcționare diferită este cea a cazului în care palpatorul are o lățime suficientă pentru a menține pe toată durata funcționării a unei reacțiuni  $p_1$  care să echilibreze acțiunea forței de măsurare  $p$  (Fig. 19,c) [39]. În acest fel palpatorul se menține în aceeași poziție fără a introduce erori de poziționare a sa față de suprafața de măsurare.

Raza sabotului se alege și aceasta în funcție de raza suprafeței de controlat. Astfel:

- ◆ pentru controlul suprafețelor exterioare:  $R_S > r$

unde:

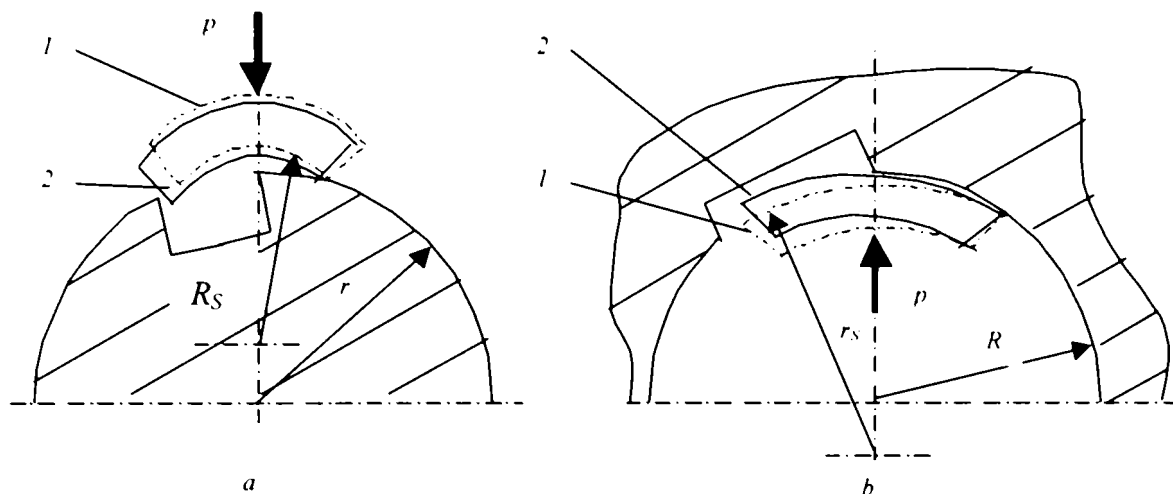
- ◆  $R_S$  este raza sabotului în cazul controlului suprafețelor exterioare;
- ◆  $r$  este raza suprafeței exterioare controlate;

- ◆ pentru controlul suprafețelor interioare:  $R < r_S$

cu:

- ◆  $r_S$  este raza sabotului în cazul controlului suprafețelor interioare;
- ◆  $R$  este raza suprafeței interioare controlate.

Situațiile în care condițiile de mai sus nu sunt îndeplinite sunt ilustrate în figura 20:



- a. Cazul controlului suprafețelor exterioare cu raza sabotului ( $R_s$ ) mai mică decât raza suprafeței de controlat ( $r$ )  
 b. Cazul controlului suprafețelor interioare cu raza sabotului ( $r_s$ ) mai mare decât raza suprafeței de controlat ( $R$ )

Fig. 20 Modul de realizare a contactului între sabot și suprafața de măsurat

În Fig. 20 a este prezentat cazul controlului suprafețelor exterioare cu saboți care au o rază sub valoarea critică:  $R_s < r$  [39]. Pe toată perioada în care sub palpator se află zona continuă a suprafeței de controlat, poziția sabotului este simetrică față de suprafața de controlat (poziția 1). În momentul în care sub sabot se afla zona discontinuă a suprafeței de controlat se observă că palpatorul se situează asimetric față de suprafața de măsurat (poziția 2). O comportare similară o are sabotul în "arc de cerc" în cazul controlului suprafețelor interioare în situația dezavantajoasă în care raza sabotului ( $r_s$ ) este mai mare decât raza suprafeței de controlat ( $R$ ).

În toate cazurile prezentate anterior s-a făcut abstracție de influența mărimii adaosului de prelucrare. În realitate, deoarece raza suprafeței prelucrate este o mărime variabilă între anumite limite (date de starea inițială a suprafeței, de la care se pornește prelucrarea, și de starea finală, cea la care se ajunge la finalul prelucrării) trebuie să se asigure condițiile optime de control și în situațiile cele mai dezavantajoase: la începutul prelucrării când adaosul de prelucrare este maxim.

Astfel, raza sabotului este în strânsă corelație nu numai cu raza suprafeței controlate ( $r_0$  sau  $R_0$ ) ci și cu mărimea adaosului de prelucrare ( $\Delta r$  sau  $\Delta R$ ):

- ◆ pentru suprafețe exterioare:

$$R_s \geq (r_0 + \Delta r)_{\max} \quad (5)$$

- ◆ pentru suprafețe interioare:

$$r_s \leq (R_0 + \Delta R)_{\min} \quad (6)$$

Se observă că dimensionarea constructivă a saboților se face după:

- ◆ limita maximă a semifabricatelor la prelucrarea exterioară și

- ♦ limita minimă a semifabricatelor la prelucrarea interioară.

Se observă ca sabotul realizează contactul cu suprafața prelucrată:

- ♦ pe marginea discontinuităților, atunci când discontinuitatea este poziționată în dreptul sabotului sau
- ♦ într-un punct tangent la cercul de baza al porțiunii continue a suprafeței de prelucrat.

În cazul controlului suprafețelor exterioare poziția sabotului oscilează în jurul celor două poziții cu o amplitudine a mișcării date de relația [39]:

$$|\Delta h| = h_2 - h_1 = (r - R_s) - \left( \sqrt{R_s^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (7)$$

unde:

- ♦  $h_1 = R_s - \sqrt{R_s^2 - \frac{b^2}{4}}$

- ♦  $h_2 = r - \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}}$  cu:

$$h_{2\max} = (r_0 + \Delta r) - \sqrt{(r_0 + \Delta r)^2 - \frac{b^2}{4}}$$

$$h_{2\min} = (r_0) - \sqrt{r_0^2 - \frac{b^2}{4}}$$

$r_0$  raza suprafeței finale

$r_0 + \Delta r$  raza suprafeței initiale

Valoarea maximă a amplitudinii se obține la începutul prelucrării și are valoarea:

$$|\Delta h_{\max}| = h_{2\max} - h_1 = [(r_0 + \Delta r) - R_s] - \left( \sqrt{R_s^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{(r_0 + \Delta r)^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (8)$$

Valoarea minimă a amplitudinii se obține la sfârșitul prelucrării și are valoarea:

$$|\Delta h_{\min}| = h_{2\min} - h_1 = [r_0 - R_s] - \left( \sqrt{R_s^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{r_0^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (9)$$

Folosind relațiile de calcul de mai sus se observă că amplitudinea mișcării scade cu valoarea:

$$|\Delta h_{\max}| - |\Delta h_{\min}| = h_{2\max} - h_{2\min} = \Delta r + \left( \sqrt{(r_0 + \Delta r)^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{r_0^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (10)$$

Figura 21 prezintă modul de realizare a contactului în momentul în care sub sabotul în "arc de cerc" trece discontinuitatea și exemplifică modul de calcul al amplitudinii mișcării sabotului.



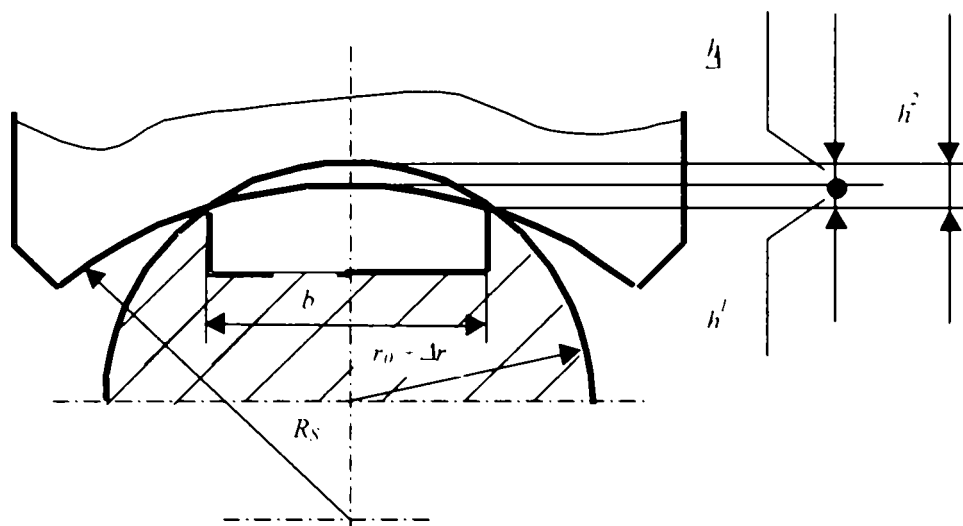


Fig. 21 Sabot în "arc de cerc" pentru controlul suprafețelor exterioare. Schema de calcul a amplitudinii mișcării sabotului.

În cazul controlului suprafețelor interioare funcționarea este similară cu a cazului controlului suprafețelor exterioare: sabotul oscilează în jurul celor două poziții cu o amplitudine a mișcării date de relația [39]:

$$|\Delta h| = h_1 - h_2 = (r_s - R) - \left( \sqrt{r_s^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (11)$$

unde:

$$\diamond h_1 = r_s - \sqrt{r_s^2 - \frac{b^2}{4}}$$

$$\diamond h_2 = R - \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{4}} \text{ cu:}$$

$$h_{2\max} = (R_0) - \sqrt{(R_0)^2 - \frac{b^2}{4}}$$

$$h_{2\min} = (R_0 - \Delta R) - \sqrt{(R_0 - \Delta R)^2 - \frac{b^2}{4}}$$

$R_0$  raza suprafeței finale

$R_0 - \Delta R$  raza suprafeței inițiale

Valoarea maximă a amplitudinii se obține la începutul prelucrării și are valoarea:

$$|\Delta h_{\max}| = h_1 - h_{2\min} = \left[ r_s - (R_0 - \Delta R) \right] - \left( \sqrt{r_s^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{(R_0 - \Delta R)^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (12)$$

Valoarea minimă a amplitudinii se obține la sfârșitul prelucrării și are valoarea:

$$|\Delta h_{\min}| = h_1 - h_{2\max} = [r_s - R_0] - \left( \sqrt{r_s^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{R_0^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (13)$$

Folosind relațiile de calcul de mai sus se observă că amplitudinea mișcării scade cu valoarea:

$$|\Delta h_{\max}| - |\Delta h_{\min}| = h_{2\max} - h_{2\min} = \Delta R + \left( \sqrt{(R_0 - \Delta R)^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{R_0^2 - \frac{b^2}{4}} \right) \quad (14)$$

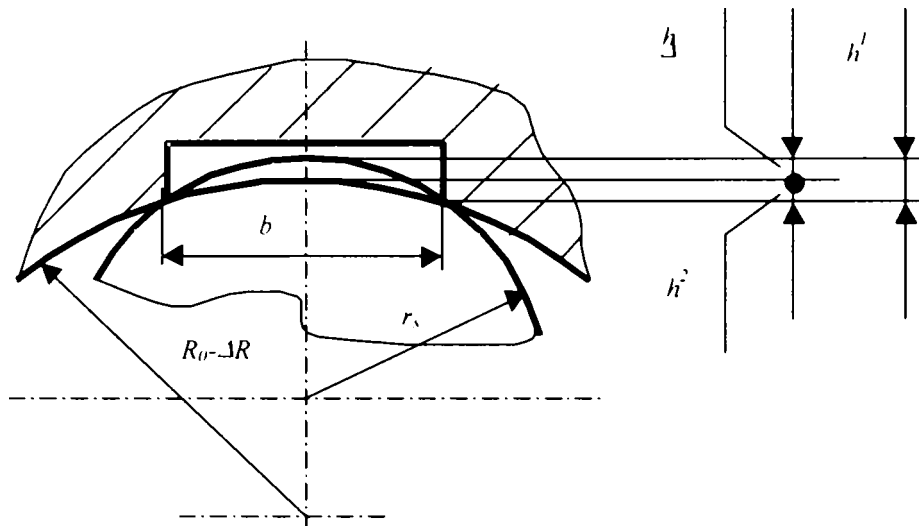


Fig. 22 Sabot în "arc de cerc" pentru controlul suprafețelor interioare. Schema de calcul a amplitudinii mișcării sabotului.

În Fig. 23 se prezintă câteva soluții constructive de senzori echipați cu saboți în "arc de cerc".

Fig. 22 prezintă modul de realizare a contactului în momentul în care sub sabotul în "arc de cerc" trece discontinuitatea și exemplifică modul de calcul al amplitudinii mișcării sabotului.

Prin influența acestei variații asupra mărimii dispersei, practica limitează utilizarea acestor saboți la piese cu discontinuități înguste (maximum de 10÷20 mm) și cu toleranțe la dimensiune de (20÷30)  $\mu\text{m}$ .

În plus, senzorii utilizați sunt echipați cu convertori inductivi sau pneumatici care, prin medierea rezultatelor măsurării, nu reacționează la impulsurile rapide care se produc la trecerea sabotului deasupra discontinuității.

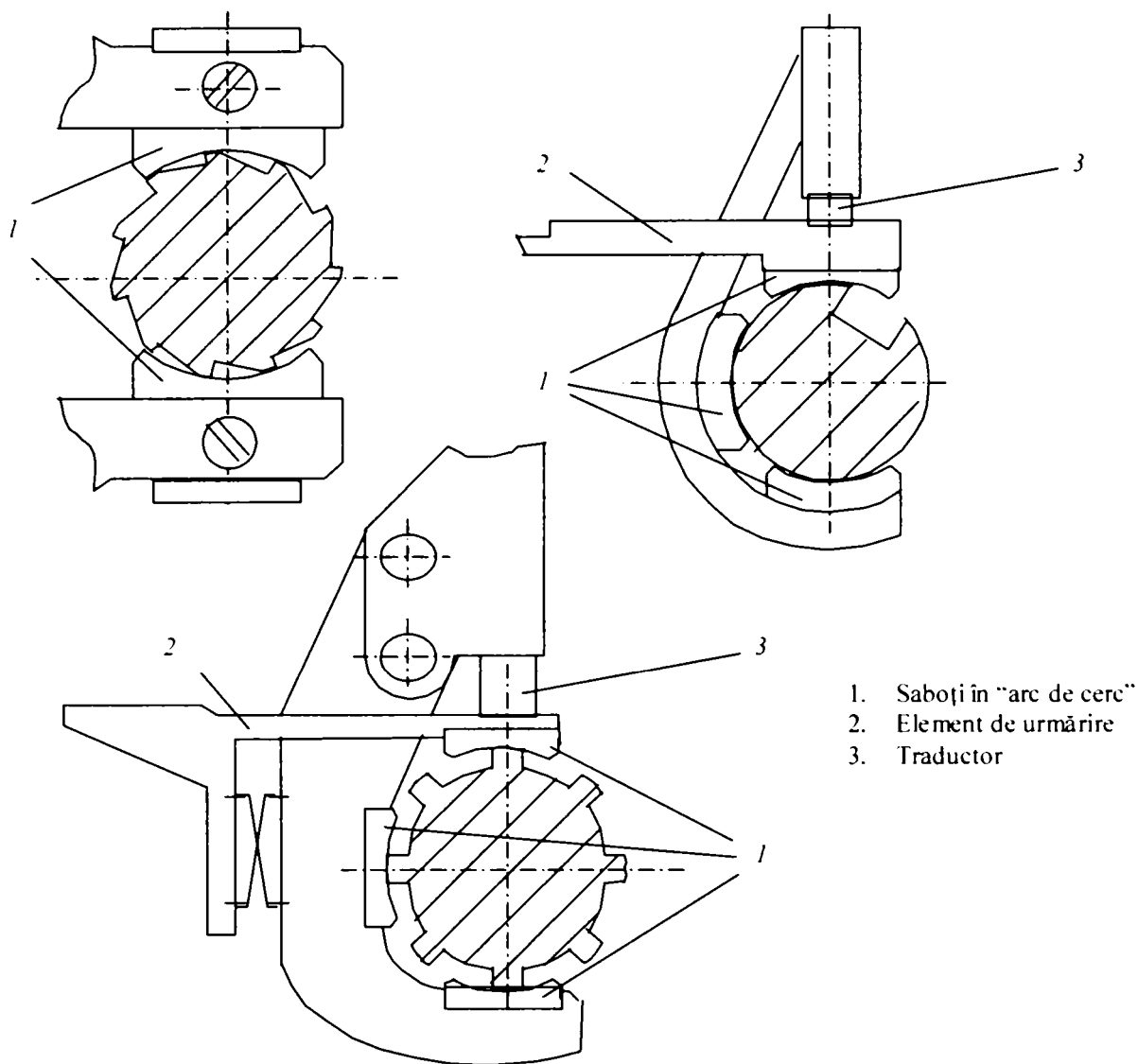


Fig. 23 Soluții constructive de sisteme de control activ care folosesc saboți în "arc de cerc".

### 2.1.3 Saboți tip "cuțit"

Rezultate bune s-au obținut la utilizarea senzorilor echipați cu saboți tip "cuțit" în special la controlul suprafețelor exterioare prevăzute cu canale elicoidale sau transversale [39]. Orientarea saboților este, în acest caz, longitudinal față de suprafața piesei. Utilizarea senzorilor cu saboți tip "cuțit" s-a extins pentru o gamă largă de diametre ( $8\div 120$  mm) rezultând împrăștieri de pînă la  $5\ \mu\text{m}$ .

În Fig. 24 se prezintă schemele de principiu celor două situații des întîlnite în utilizarea saboților de tip "cuțit":

- ◆ cazul suprafețelor discontinue cu canale elicoidale și
- ◆ cazul suprafețelor discontinue cu canale transversale

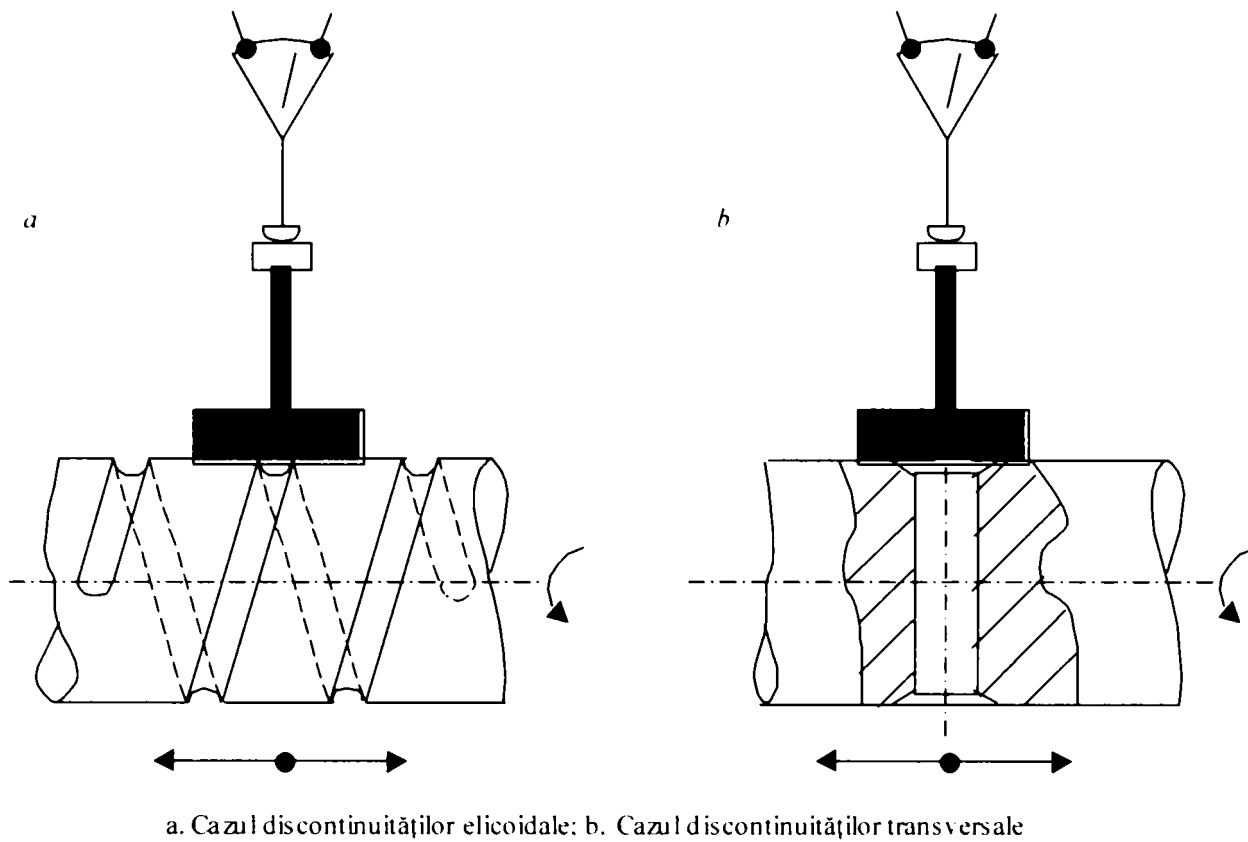


Fig. 24 Utilizarea saboților de tip “cuțit” pentru controlul suprafețelor cu discontinuități.

În continuare, Fig. 25. este prezentată o soluție constructivă de cap de control activ cu trei contacte realizat cu saboți tip “cuțit”.

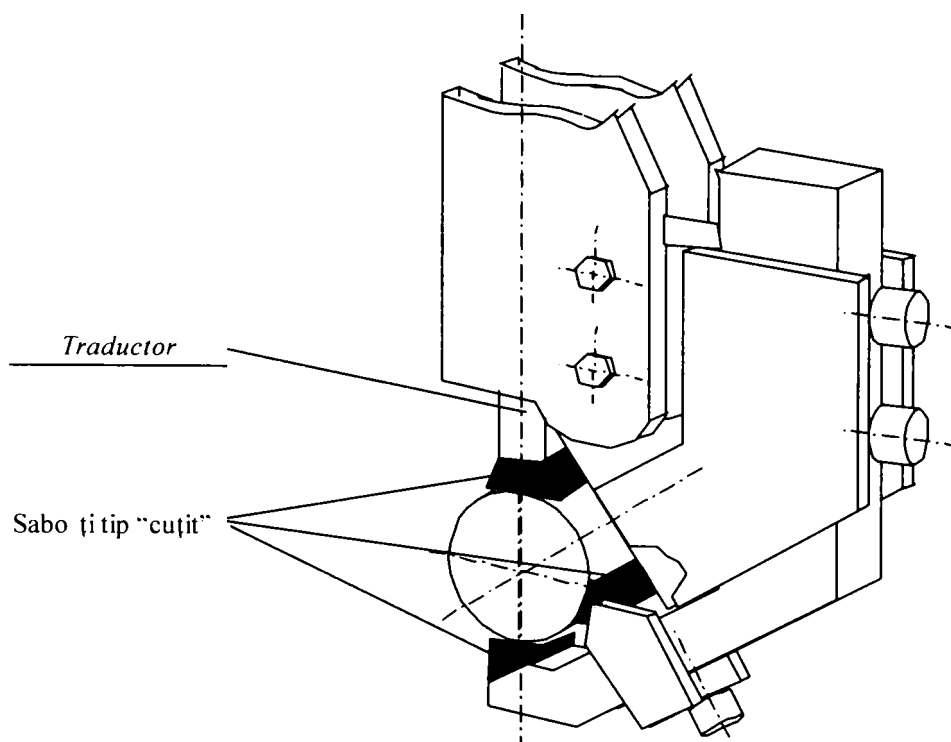


Fig. 25 Cap de control activ cu trei contacte cu saboți tip “cuțit”

## 2.1.4 Sisteme de evitare a transmiterii semnalelor false prin comandarea coborârii captorului

În paragraful 1.2 s-a făcut o prezentare succintă a sistemelor la care evitarea transmiterii semnalelor false ale sistemelor se face prin urmărirea unor came cu profilele geometrice conjugate cu ale piesei. În acest fel, se realizează coborârea comandată a contactului de măsurare și păstrarea pe o durată bine determinată de timp. Sistemul a dat satisfacție doar în cazul unor viteze mici ale piesei și în cazul unor repere cu 1÷3 discontinuități [39] [49].

Funcționarea sistemului este similară cu a unui sistem de control activ destinat controlului suprafețelor continue în cazul în care captorul nu se află în zona discontinuității: informația referitoare la stadiul prelucrării este preluată de către captor și transmisă dispozitivului de comandă-control. În momentul în care captorul 5 este în apropierea discontinuităților, acesta este împiedicat să urmeze forma discontinuității de către pârghia 3 care la rândul ei este comandată de către cama 4. Construcția camei 4 este în strânsă corelație cu profilul piesei de prelucrat 9. În acest fel la dispozitivul de control-comandă al sistemului de control activ sunt transmise semnale care caracterizează porțiunea continuă a suprafeței de prelucrat. Sistemul de control realizează conducerea în timp real a prelucrării prin darea următoarelor comenzi:

- ◆ schimbarea regimului de prelucrare (trecerea la regimul de finisare) atunci când contactul mobil solidar cu captorul 5 închide circuitul 2 (momentul de schimbare se fixează prin intermediul sistemului de reglare a schimbării regimului de prelucrare 7);
- ◆ oprirea prelucrării atunci când contactul mobil solidar cu captorul 5 închide circuitul 1 (momentul opririi se fixează prin intermediul sistemului de reglare a opririi prelucrării 6)

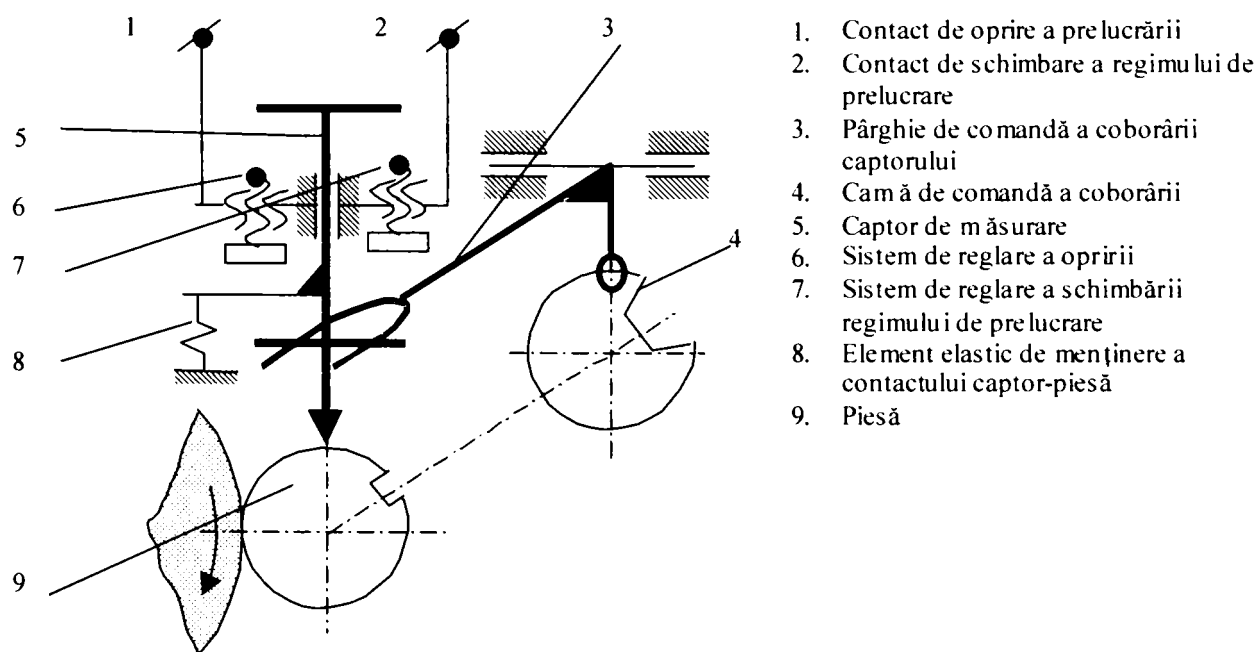


Fig. 26 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false. Controlul coborârii captorului prin comanda mecanică (cu camă)

Menținerea unei forțe de palpate adecvate pe tot parcursul prelucrării este realizată de elementul elastic 8.

### 2.1.5 Sisteme de evitare a semnalelor false cu frânare mecanică

O altă soluție de transmitere doar a semnalelor corespunzătoare stării suprafeței de măsurat este aceea în care captorul este împiedicat să urmărească discontinuitatea prin exercitarea unei forțe de frânare [39] [49]. Schema de principiu a soluției este prezentată în Fig. 27.

La fel ca și alte soluții de evitare a semnalelor false și aceasta funcționează diferit pe perioada în care sub palpator se găsește zona continuă a suprafeței de controlat (Fig. 27,a) față de perioada în care sub palpator se găsește porțiunea discontinuă a acesteia (Fig. 27,b).

Elemente esențiale în funcționare sunt cele două sesizoare 6 și 8. Acestea au rolul de a evidenția cele două regimuri distincte în funcționare menționate anterior. Aceste sesizoare comandă două contacte mobile identice (4) care în mod periodic realizează închiderea unor circuite de comandă prin atingerea contactelor fixe identice 5. Pe toată perioadă în care sub palpator nu ajunge discontinuitatea suprafeței de măsurat, cele două contacte mobile se găsesc ridicate iar circuitele de comandă sunt deschise (nerealizându-se contactul cu elementele fixe 5). Palpatorul urmărește suprafața de controlat și transmite comenzile necesare conducerii procesului de prelucrare. Între palpator și suprafața de măsurat se exercită forța de reacțiune  $N$  ca rezultat al forței de măsurare.

În momentul în care discontinuitatea ajunge sub sesizorul de intrare 6, sesizorul coboară în golul creat de discontinuitate și închide primul contact al circuitului de sesizare. Acesta comandă dispozitivul de frânare 9 care prin intrarea în funcționare dezvoltă o forță mai mare decât cea a arcului elicoidal 3. În acest fel asupra tijei palpatorului se exercită o forță de orizontală ( $P - P_1$ ) care va genera în cele două lăgăruri ale tijei palpatoare două forțe de frecare direct proporționale cu valoarea apăsării exercitate de tija pe suprafețele de lăgăruire. Acestea sunt forțele care se opun coborârii palpatorului în golul discontinuității. Condiția este ca forța de frecare să învingă greutatea proprie a tijei palpatoare și forța de măsurare. Aceasta se transpune în următoarea inecuație:

$$F_{fr} > N \quad (16)$$

Forța de frecare se determină cu relația:

$$F_{fr} = (P - P_1) * \mu \quad (17)$$

unde:

- $P$  este forța exercitată de arcul elicoidal
- $P_1$  este forța exercitată de către dispozitivul de frânare
- $\mu$  este coeficientul de frecare

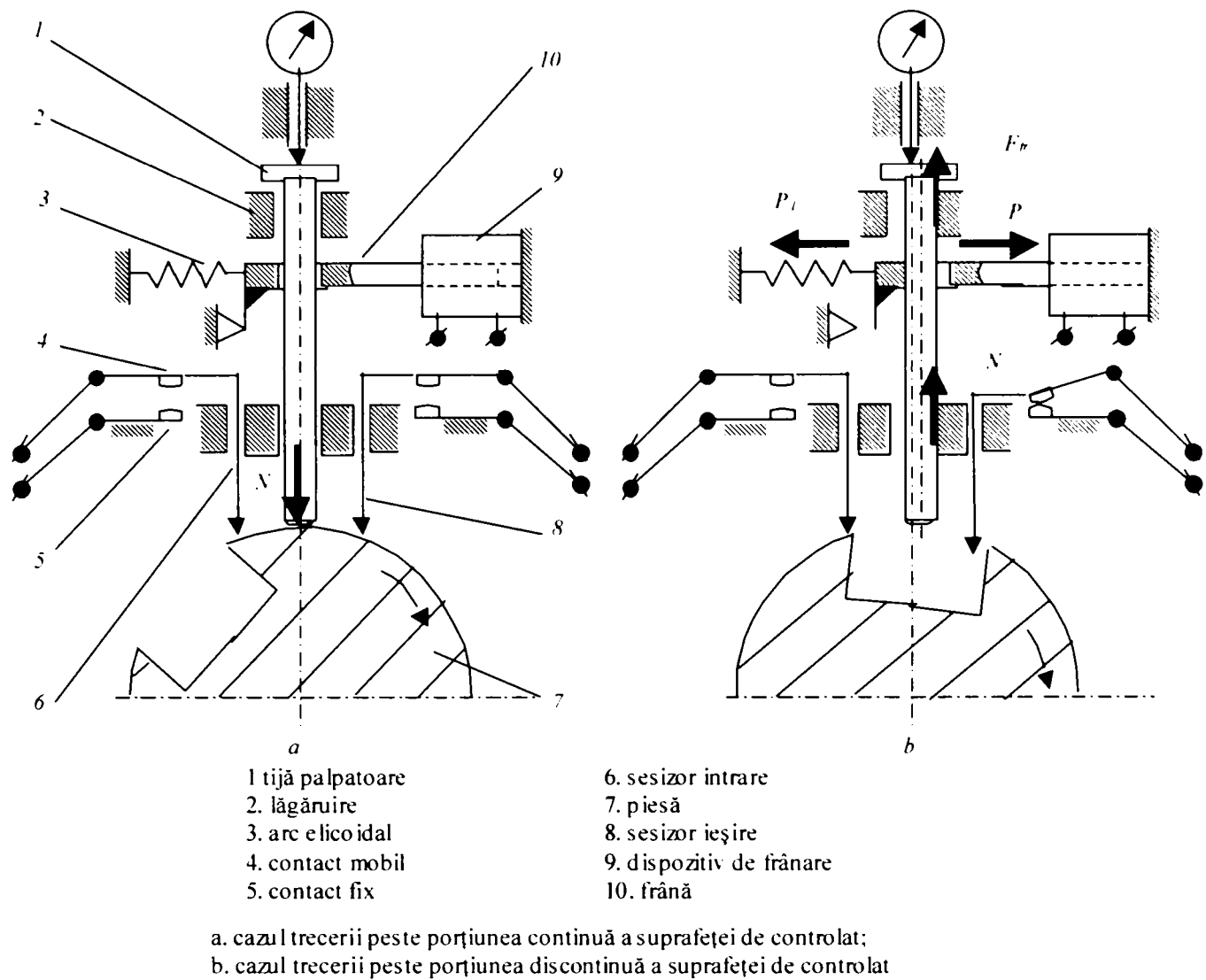


Fig. 27 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false prin frânarea captorului

Cu aceste precizări condiția de împiedicare a coborârii palpatorului devine:

$$F_{fr} = (P - P_1) * \mu > N \quad (18)$$

Forța dezvoltată de dispozitivul de frânare este:

$$P > \frac{N}{\mu} + P_1 \quad (19)$$

Frânarea tijei palpatorului este menținută pe toată perioada în care cel puțin unul dintre contacte sunt realizate:

- ◆ pe perioada în care sesizorul de intrare închide primul circuit;
- ◆ pe perioada în care sesizoare de intrare și de ieșire închid cele două circuite;
- ◆ pe perioada în care sesizorul de intrare deschide circuitul de intrare iar sesizorul de ieșire menține închis al doilea circuit.

---

În momentul în care discontinuitatea a depășit porțiunea controlată de cele două sesizoare sistemul revine în regimul de funcționare inițial. Tija palpatoare este liberă să urmeze porțiunea continuă a suprafeței de măsurat.

### 2.1.6 Sisteme de evitare a semnalelor false cu frânare magnetică

La senzorii cu frânare magnetică blocarea captorului se face în momentul trecerii discontinuității prin dreptul său. Avantajul principal al acestui tip de comandă este acela al adaptabilității la diverse tipuri de suprafețe inclusiv la cele cu discontinuități mari (lățimi de peste 30÷40 mm) și sub diverse orientări.

Comanda frânării se obține astfel [39] [49]:

- ◆ cu came de sincronizare montate coaxial pe piesa prelucrată și profilată corespunzător suprafeței (la un unghi radial  $\omega$  al discontinuității se alege un unghi radial  $\omega'$  al camei cu  $\omega' > \omega$ ) sistem prezentat în figura 28. În cazul în care sub palpator se găsește porțiunea continuă a suprafeței semnalul este transmis prin intermediul tije palpatoare 2 la sistemul de prelucrare a datelor 1. Forța de palpate este asigurată de arcul elicoidal 3. În cazul în care discontinuitatea este în dreptul palpatorului, cama de sincronizare 5 închide circuitul de comandă al electromagnetului de frânare 7 prin intermediul microîntrerupătorului 6. Forța electromagnetică dezvoltată în circuitul format din electromagnetul de frânare 7 și tija palpatoare 2 împiedică palpatorul să urmeze profilul discontinuității. Frânarea tije se întrerupe în momentul în care microîntrerupătorul deschide circuitul de comandă al electromagnetului de frânare.



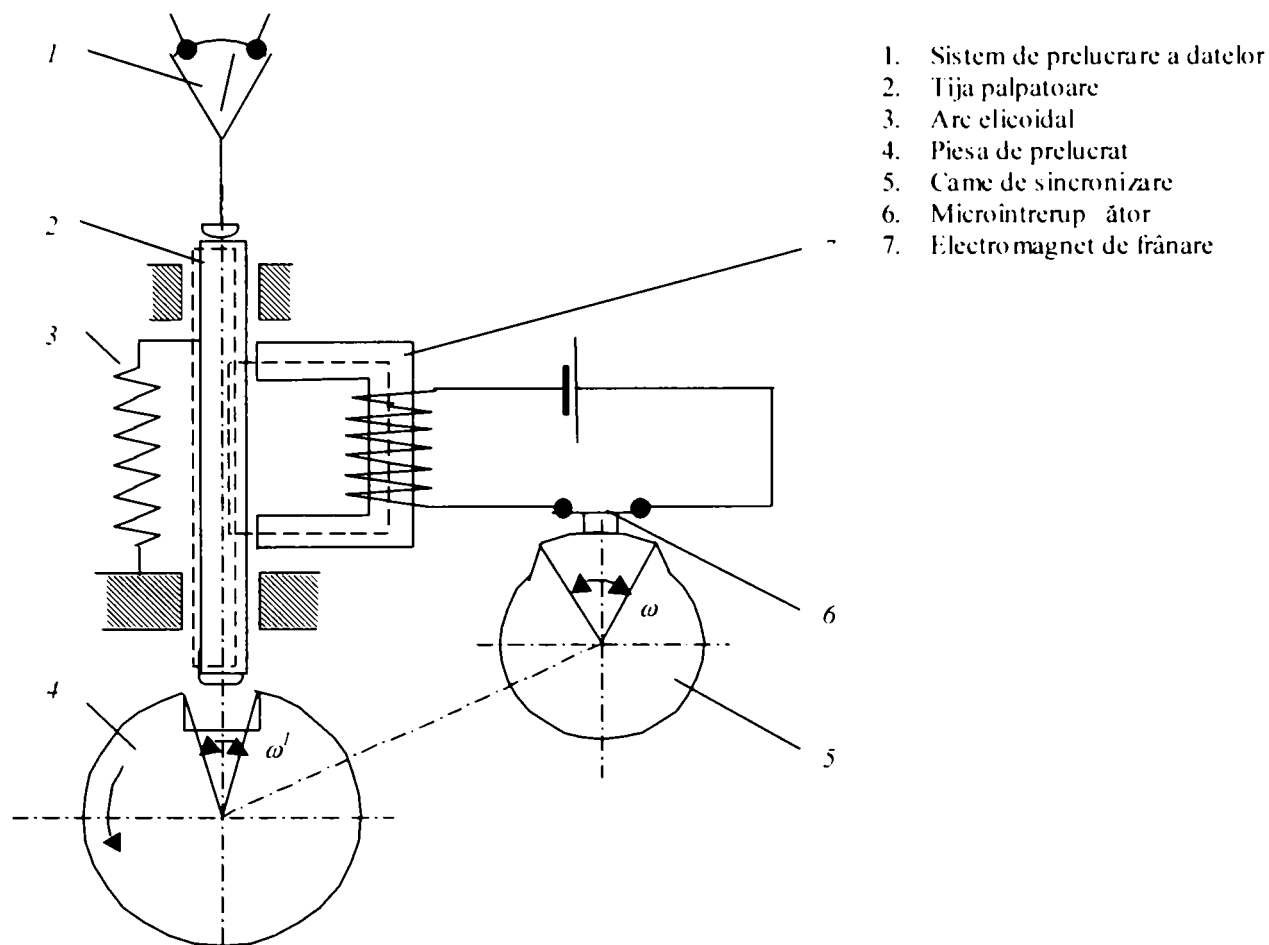


Fig. 28 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false prin frânarea magnetică a captorului și comandă prin came de sincronizare

- ◆ similar sistemului prezentat anterior cu deosebirea ca jugul electromagnetului de frânare este un alt element constructiv solidar cu tija palpatoare (fig 29):
  - în Fig. 29 a este prezentată o soluție constructivă cu jugul solidarizat cu tija palpatorului. În momentul în care microîntrerupătorul 6 închide circuitul de comandă, electromagnetul 7 acționează asupra jugului 8 care, solidar fiind cu tija palpatorului 2, va frâna mișcarea acesteia.
  - În Fig. 29 b este prezentată o altă soluție constructivă funcționând pe același principiu. Solidară cu tija palpatorului 2 este, în acest caz, banda de frânare 8. În cazul în care se palpează porțiunea continuă a suprafeței de măsurat, banda de frânare 10 se deplasează liber împreună cu tija palpatoare 2. Când se dă comandă de frânare, forța electromagnetică dezvoltată de electromagnetul de frânare 7 învinge forța dezvoltată de elementul de reținere 9 astfel încât banda de frânare 10 este presată pe ghidajul său. Funcționarea sistemului este similară celui prezentat anterior.

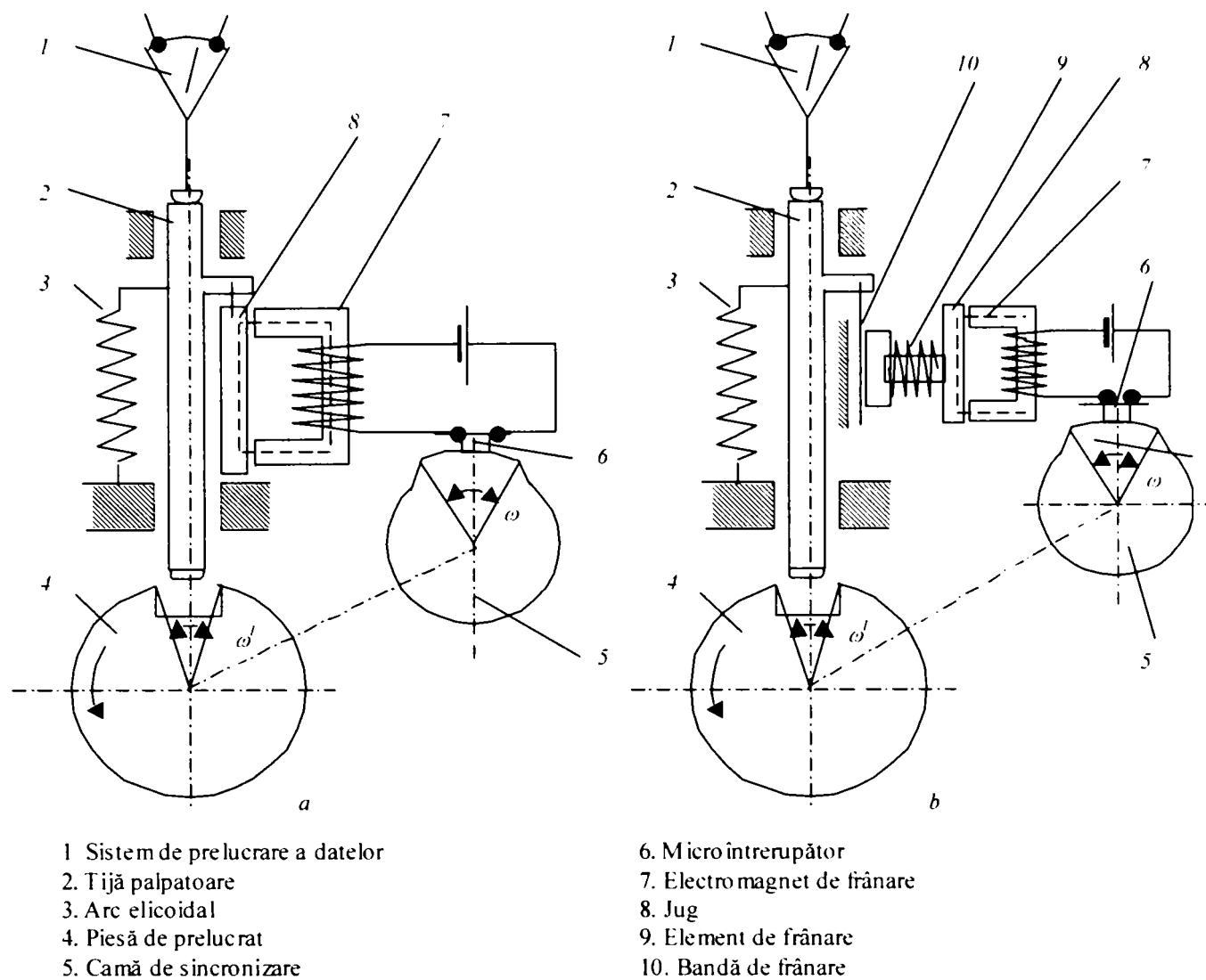


Fig. 29 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false prin frânarea magnetică a captorului și comandă prin came de sincronizare

- ◆ cu microîntrerupătoare de sincronizare cu contact direct pe piesa prelucrată pentru sesizarea începutului și sfârșitului discontinuității (Fig. 30). Și în acest caz atâta timp cât sub palpator se găsește porțiunea continuă a suprafeței de măsurat semnalul este transmis de tija palpatoare 2 sistemului de prelucrare a datelor 1, arcul elicoidal 3 asigurând forța de palpate corespunzătoare. Cei doi senzori, de intrare 8 și de ieșire 6, delimitează perioada în care tija este necesar a fi frânată pentru a nu transmite semnale false sistemului de măsurare-comandă. În toată această perioadă cel puțin unul dintre circuitele de alimentare al electromagnetului de frânare 9 este închis (contactul mobil 4 solidar cu senzorii este împins printr-un arc elicoidal spre contactul fix 5) astfel încât se dezvoltă o forță de frânare mai mare decât forța de palpate dezvoltată de arcul elicoidal 3. Forța de frânare este de natură electromagnetică, tija palpatoare 2, fiind obligată să se mențină la ultima poziție măsurată înainte de intrarea în acest regim tranzitoriu. În

momentul în care ambele circuite de alimentare sunt întrerupte (cazul în care nici un senzor nu este în dreptul discontinuității) forța de frânare devine nulă iar palpatorul reia traiectoria descrisă de porțiunea continuă a suprafeței de măsurat. și pentru acest sistem unghiul de comandă  $\omega$  este mai mare decât unghiul  $\omega'$ .

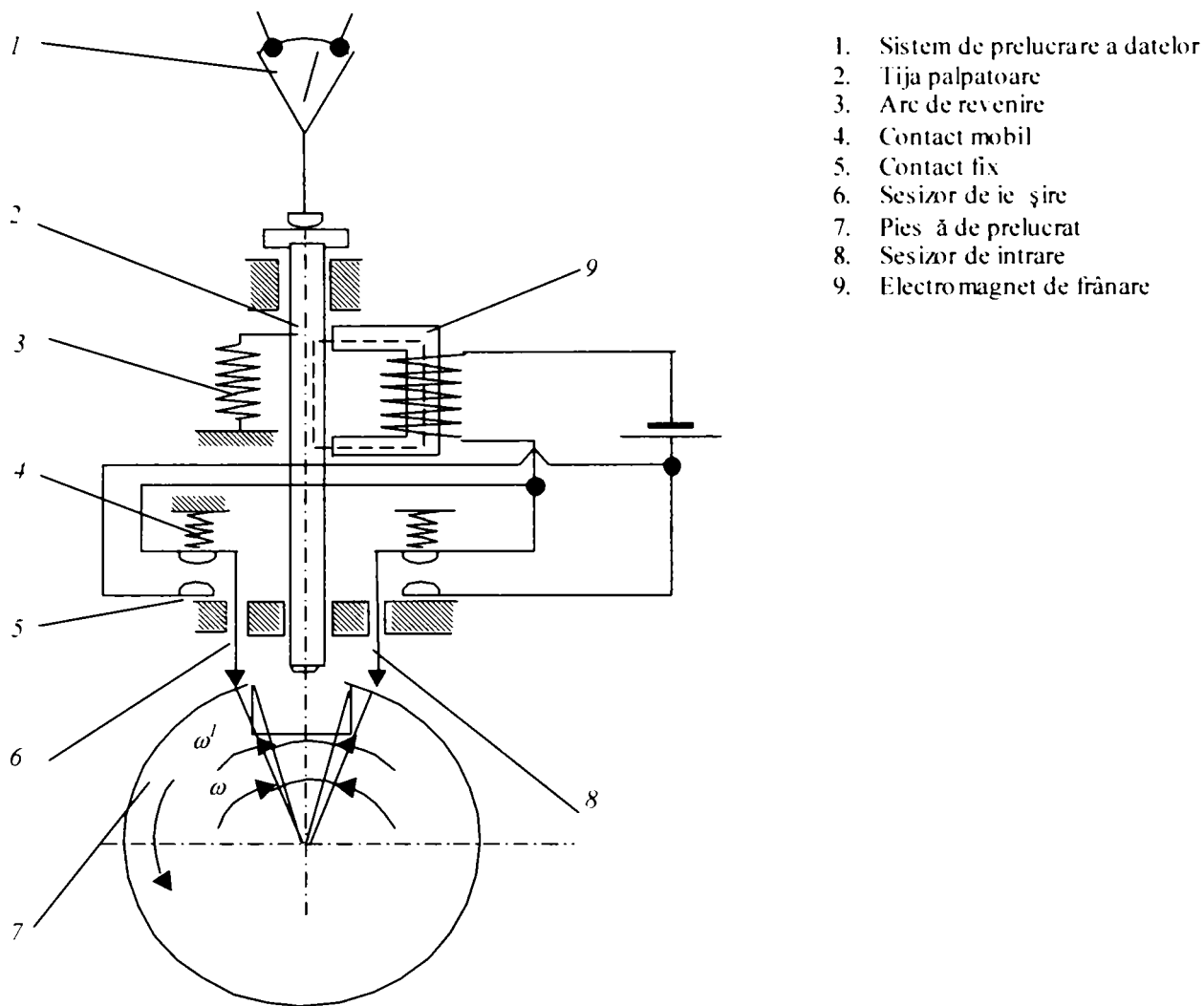


Fig. 30 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false prin frânarea magnetică a captorului și comandă prin microîntrerupător de sincronizare

- ◆ urmărirea inductivă cu câmp magnetic frontal închis prin suprafața continuă a piesei. Pentru a percepe momentul în care sub palpator se găsește porțiunea discontinuă a suprafeței de măsurat se folosește un electromagnet de comandă 4. Circuitul magnetic se închide prin corpul piesei de măsurat. Semnalul de la electromagnetul de comandă 4 este transmis de circuitul de comandă 6 la electromagnetul de frânare 7. În momentul în care câmpul magnetic străbate zona golului creat de discontinuitatea suprafeței de prelucrat regimul de lucru al electromagnetului de comandă și liniile de câmp magnetic se închid printr-un mediu cu permeabilitatea magnetică diferită de cea a materialului prelucrat (în acest caz aerul). Semnalul transmis la circuitul de comandă 6 este diferit astfel că acesta

dă comandă de frânare magnetică a tije palpatorului 2. Când în dreptul electromagnetului de comandă 4 revine porțiunea continuă a suprafeței, forța de frânare dezvoltată de electromagnetul de frânare 7 încetează, astfel ca tija palpatoare urmărește porțiunea continuă a suprafeței de măsurat, singura forță care acționează asupra tije palpatorului fiind forța de palpate asigurată de către arc de revenire 3.

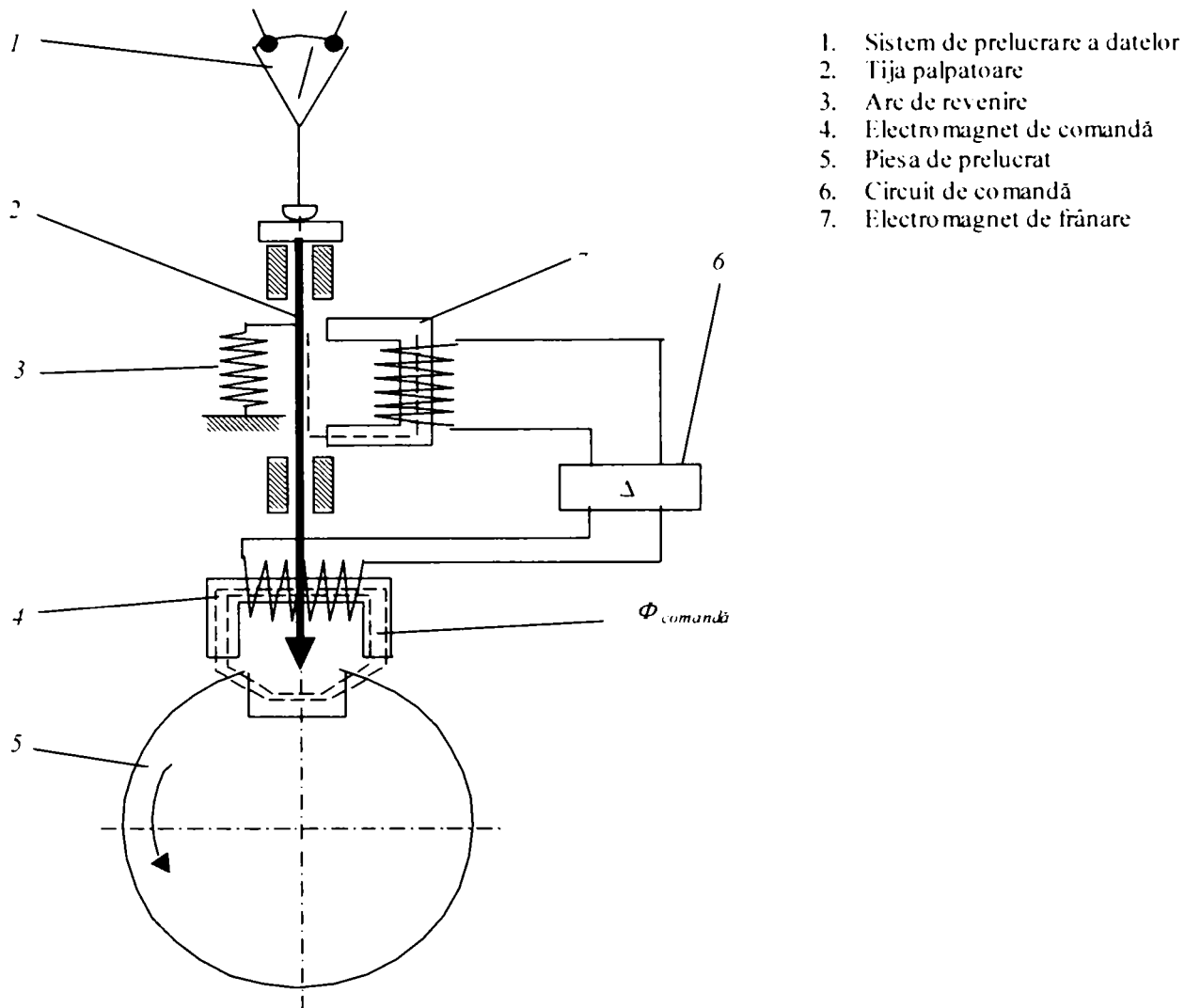


Fig. 31 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false prin frânarea magnetică a captorului și comandă cu câmp magnetic frontal

O variantă a sistemelor cu came de sincronizare este aceea în care rolul camelor este luat de către discuri cu sectoare de contact montate coaxial pe piesă. Fig. 32 prezintă schema de principiu al unor astfel de sisteme. În Fig. 32 a este prezentat cazul în care sub palpator se găsește porțiunea continuă a suprafeței de măsurat. Sistemul de prelucrare a datelor 1 preia informațiile referitoare la suprafața de măsurat de la captorul sistemului de control prin intermediul tije de palpate 2. Forța de palpate este asigurată de către arcul elicoidal 3. Pe tot parcursul acestui regim este și singura forță care acționează asupra tije palpatoare 2. În momentul în care palpatorul se găsește deasupra zonei cu discontinuități a suprafeței de măsurat (Fig. 32 b) cele două perii de urmărire 6 fac contact cu

sectoarele de contact 5 în acest fel făcându-se punerea sub tensiune a electromagnetului de frânare 7. Electromagnetul dezvoltă forța necesară pentru a frâna tija palpatoare 2, astfel încât pe toată durata în care tija palpatoare este deasupra golului discontinuităților suprafeței tija este frânată în mișcarea sa de urmărire a discontinuităților. Dimensionarea și reglarea elementelor de sincronizare se realizează astfel că frânarea și eliberarea tijei palpatorului să fie în avans, respectiv în întârziere, cu  $1 \pm 2$  mm față de începutul, respectiv sfârșitul discontinuităților.

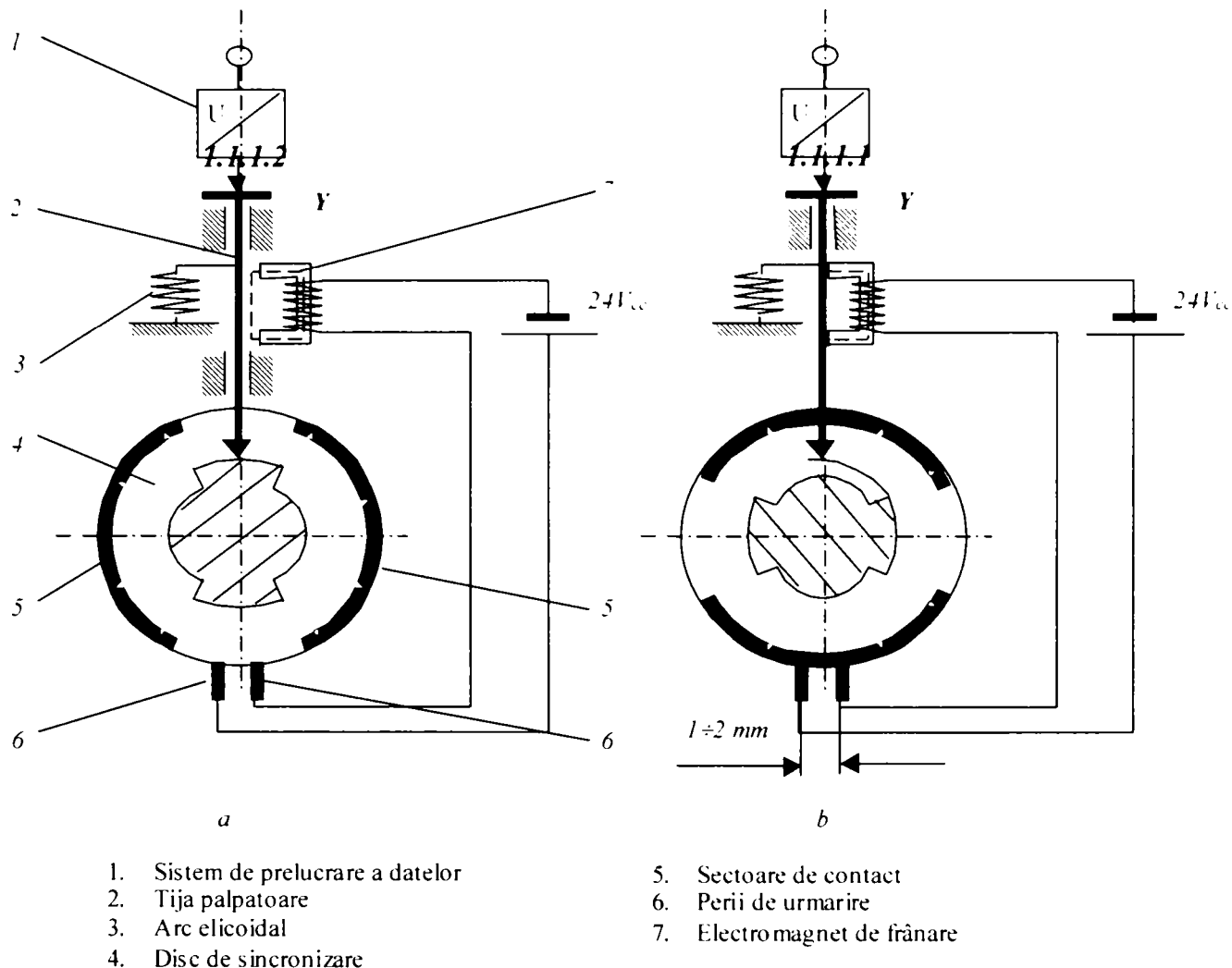


Fig. 32 Schema de funcționare a unui sistem de control activ cu evitare a semnalelor false prin frânarea magnetică a captorului (fig 32.a) și comandă de discuri cu sectoare de contact coaxiale piesei (fig 32.b)

La toate construcțiile cu frânare magnetică, întrefierul magnetului se alege mai mic decât jocul de ghidare al elementului frânat cu  $2/3$  maximum. Ca și la sistemele cu frânare mecanică, condiția de funcționare este [39]:

$$F_{fr} = F_M * \mu > Q_{st} \quad (20)$$

unde:

- ◆  $F_{fr}$  este forța de frecare (în acest caz și forța de frânare)

- ◆  $F_M$  este forța dezvoltată de electromagnetul de frânare
- ◆  $\mu$  coeficientul de frecare
- ◆  $Q_{st}$  este forța de măsurare (palpare)

Se observă că în cazul unei forțe de palpare uzual întâlnite de valoare  $Q_{st} \approx 200$  cN forța dezvoltată de electromagnetul de frânare se situează la valori de  $F_M \approx (2 \div 5)$  daN. Asigurarea unei astfel de forțe este posibilă numai în cazul unor gabarite mari ale electromagneților de frânare și deci și al întregului ansamblu al senzorului.

De aici și principalele dezavantaje ale acestor sisteme:

- ◆ gabaritul mare al senzorului;
- ◆ dependenta frânării și deci și al semnalului transmis de variații de temperatură și de realizarea, montarea elementelor care concură la frânare;
- ◆ limitarea aplicabilității sistemului funcție de numărul și lățimea discontinuităților (prin legătură directă cu frecvența de maximă schimbare a curentului prin bobina electromagnetului);
- ◆ timpul de întârziere la frânare/defrânare mai mare de 20 ms.

Toate acestea restrâng aplicabilitatea acestor sisteme doar la prelucrarea anumitor suprafețe rotunde și mai rar la cele plane.

### **2.1.7 Sisteme de evitare a semnalelor false prin frânare cu amortizoare hidraulice sau electromagnetice**

Principial, senzorii cu frânare hidraulică sau electromagnetică sunt conformi ca funcționare schemelor din figura 33 [39].

Aparatul este realizat în forma unei pârgii cu două brațe  $1$  care se rotește în jurul unui reazem articulat  $8$  amplasat în corpul dispozitivului  $9$  (fixat la rândul său pe masa mașinii unelte). Unul dintre capetele brațului de palpare este înzestrat cu vârful de măsurare  $7$  care intră în contact direct cu suprafața de măsurat iar capătul opus este înzestrat cu o crapodină  $10$  care acționează asupra traductorului  $3$  care transformă deplasările pârgiei în semnale electrice cu amplitudinea tensiunii proporțională cu dimensiunea controlată.

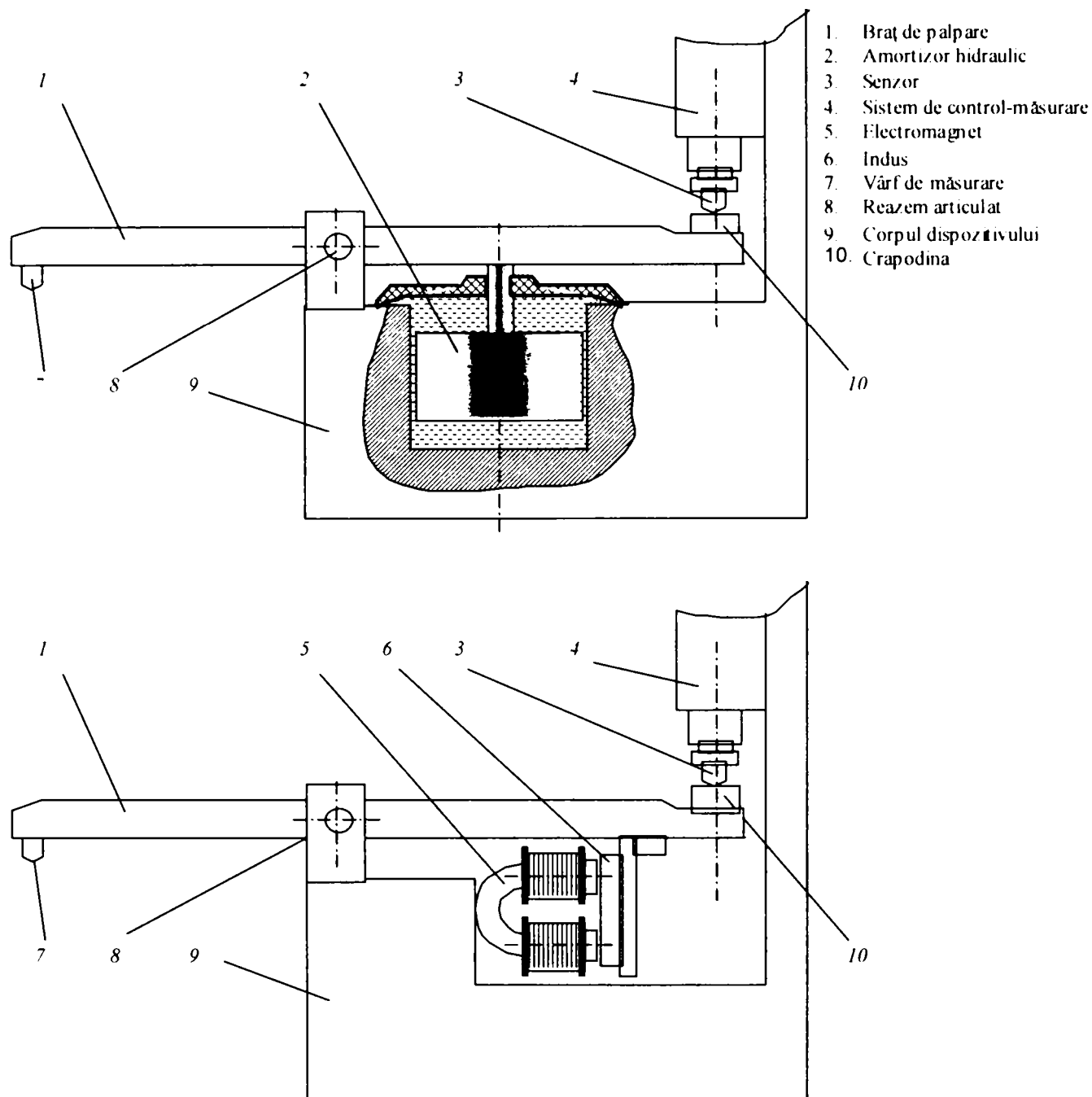


Fig. 33 Principii ale senzorilor cu frânare prin amortizare hidraulică sau electromagnetică

Amortizarea este asigurată de dispozitivul de amortizare (hidraulic sau electromagnetic) care:

- ◆ împiedică deplasarea bruscă a pârghiei și limitează în acest fel valoarea pătrunderii vârfului în golul discontinuității;
- ◆ împiedică desprinderea vârfului de măsurare de pe suprafața măsurată în cazul șocului ce se produce la intrarea vârfului pe o nouă porțiune continuă a suprafeței de măsurat.

În cazul amortizării hidraulice, dispozitivul este format dintr-o diafragmă elastică închisă (de ermetizare) care închide cilindrul hidraulic fixat în corpul dispozitivului. Diafragma este de

construcție specială: în secțiune transversală este ondulat astfel încât la deplasarea tijei pistonului volumul interior al cilindrului hidraulic poate să rămână neschimbat. Cavitățile de ambele părți ale pistonului sunt umplute cu lichid vâscos astfel încât în volumul acestuia să nu existe bule de aer. Dintr-o cavitate în alta lichidul trece printr-o fantă inelară ce există între pereții laterali ai cilindrului și piston.

În cazul amortizării electromagnetice (fig 33), electromagnetul 5 este fixat de corpul dispozitivului. Electromagnetul este în permanență alimentat cu curent alternativ. Indusul 6 este suspendat de pârghia de măsurare 1 prin intermediul unui arc plan și exercită o mișcare oscilatorie cu o frecvență dublă frecvenței curentului alternativ de alimentare. Conectarea și deconectarea indusului cu vârful de pol crează o legătură intermitentă de fricțiune dintre cele două piese. Funcția de amortizare este rezultatul rezistenței la rotire a pârghiei de măsurare ca urmare a forței de fricțiune create.

O importanță deosebită o are alegerea regimului de funcționare a acestor senzori. Reglarea lor trebuie să se facă dinamic, în condiții de prelucrare.

Pentru exemplificare să studiem traiectoria captorului (Fig. 34):

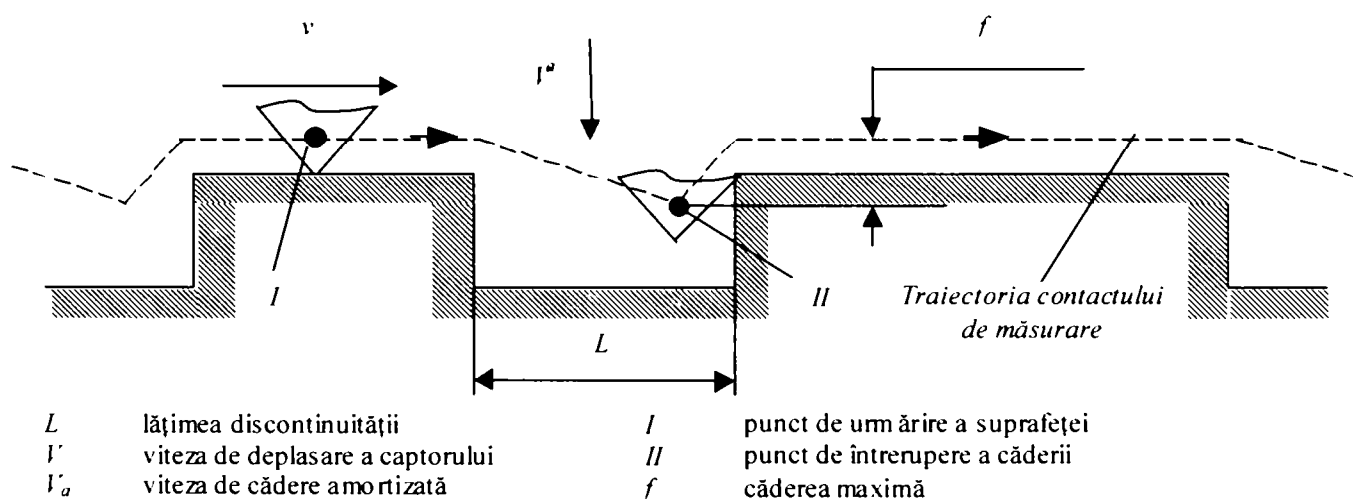


Fig. 34 Traiectoria punctului caracteristic al captorului

### Senzori cu frânare cu amortizoare hidraulice

Mărimea  $f$  a semnalului obținut la cădere este dependent de viteza de deplasare a palpatorului, lățimea discontinuității și viteza de cădere amortizată după relația [39]:

$$f = v_a L / v \tag{21}$$

unde s-au folosit notațiile:

- ◆  $v$  viteza de deplasare a captorului relativ la piesă;
- ◆  $v_a$  viteza de cădere amortizată;
- ◆  $L$  lățimea discontinuității.



Se pot face câteva estimări ale erorilor de măsurare introduse în cazul unor situații reale (în funcție de numărul de discontinuități  $z$  și de parametrii enunțați mai sus):

- ◆ pentru:  $z=7$ ;  $v=10$  m/min;  $v_a=200$   $\mu$ m/s;  $f=7,7$   $\mu$ m rezultând o eroare de  $\Delta d=15,4$   $\mu$ m
- ◆ pentru:  $z=9$ ;  $v=6,3$  m/min;  $v_a=200$   $\mu$ m/s;  $f=12$   $\mu$ m rezultând o eroare de  $\Delta d=24,6$   $\mu$ m

Viteza de cădere amortizată nu trebuie să fie prea mică. Ea este obligatoriu să fie corelată cu viteza de coborâre a captorului astfel încât să realizeze urmărirea integrală a variației adaosului de prelucrare. Condiția se transpune în relația:

$$t_{\text{coborare}} < t_{\text{prelucrare}} \quad (22)$$

Viteza de cădere amortizată este în strânsă legătură cu forța de amortizare, relația de dependență dintre cele două mărimi fiind:

$$v_a = K * s^3 * F_a / (d^3 * \pi * \eta * b) = F_a / \rho_a \quad (23)$$

unde:

- $K$ : coeficient dependent de poziția pistonului cu valori între 8/3 și 3/3 (8/3 la tendința de așezare a pistonului pe fundul cilindrului și 3/3 la poziția mediană);
- $d$ : diametrul pistonului;
- $b$ : înălțimea pistonului;
- $s$ : interstițiul dintre piston și cilindru;
- $\eta$ : vâscozitatea dinamică a uleiului;
- $F_a$ : forța de amortizare.

Figura 35 exemplifică toate aceste mărimi.

O altă caracteristică a frânării hidraulice este "timpul de ridicare"  $t_h$  dependent de mărimea razei captorului și de viteza de deplasare a captorului relativ la piesă:

$$t_h = \sqrt{2fr} / v \quad (24)$$

"Viteza de ridicare"  $v_h$  este maximă imediat după ciocnirea captorului de marginea discontinuității (la finele cursei de coborâre) când în direcție verticală acționează asupra captorului forța de ridicare  $F_h$ :

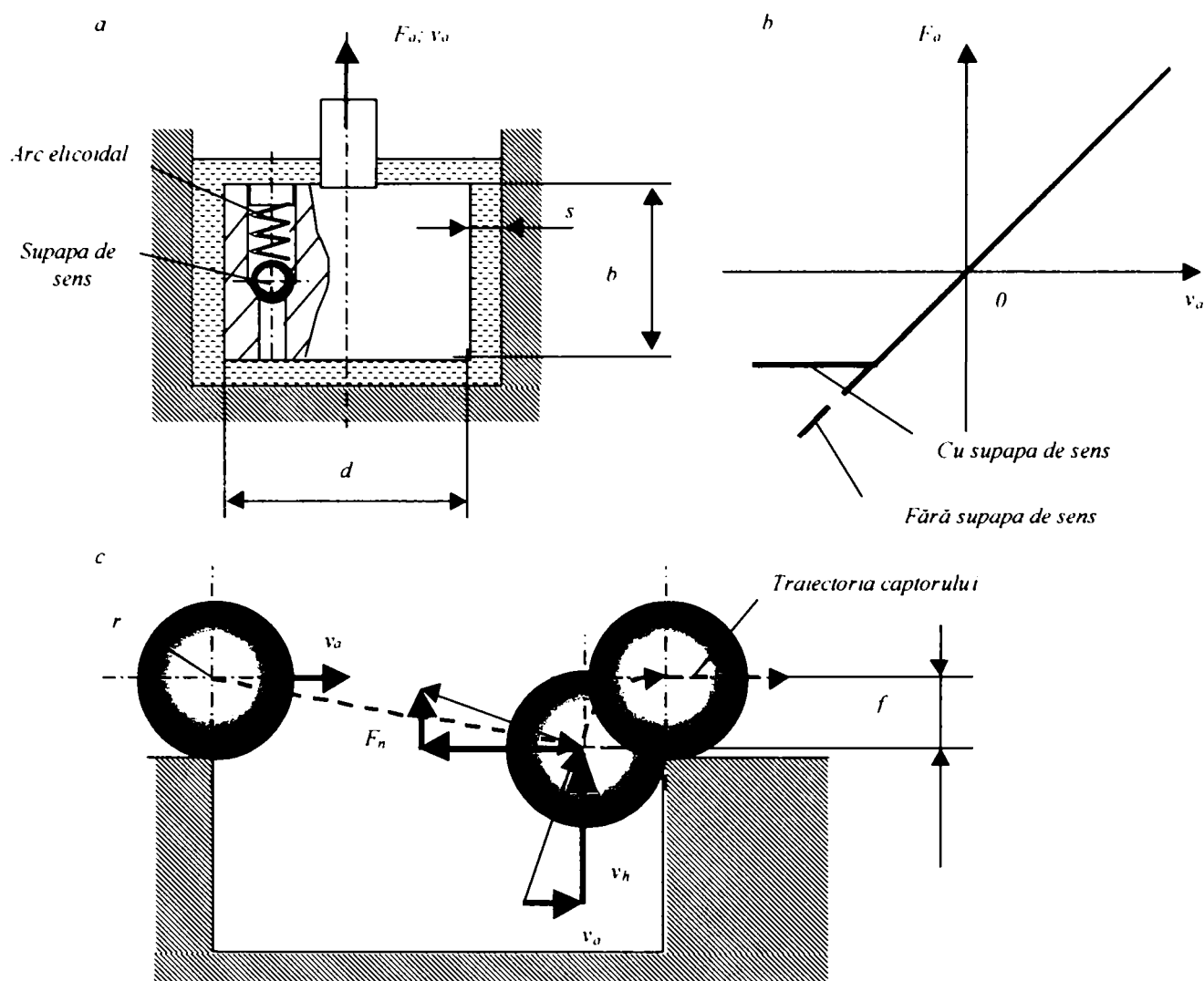
$$F_h = \overline{Q_{st}} \sqrt{(1/2r)(v/v_a)} \quad (25)$$

unde  $\overline{Q_{st}}$  este forța statică de măsurare.

Raportul  $F_h / \overline{Q_{st}}$  ia valori în intervalul (10 ÷ 40). În măsurare  $F_h$  este rezultatul direct al ciocnirii captorului de marginea discontinuității dar există și soluții de a controla această forță prin realizarea unităților de măsurare:

- ◆ cu electromagnet de ridicare a captorului (Fig. 36 a);

- ◆ cu electromagnet de ridicare a captorului și amortizor hidraulic (Fig. 36 b)



a. structura; b. caracteristica de funcționare; c. traiectoria și forțele care acționează asupra captorului

Fig. 35 Amortizor hidraulic

Pentru reducerea forțelor mari de ridicare a captorului se prevede amortizorul cu o supapă de întoarcere (vezi figura 35 a) care limitează inferior variația forței de amortizare  $F_a(v_a)$  pe un palier constant (vezi figura 35 b).

Extinderea posibilităților de utilizare a unităților de măsurare se realizează prin folosirea de cele mai multe ori a senzorilor cu un singur captor montați în opoziție [49]:

- ◆ compactă (fig 37 a);
- ◆ detașată (fig 37 b).

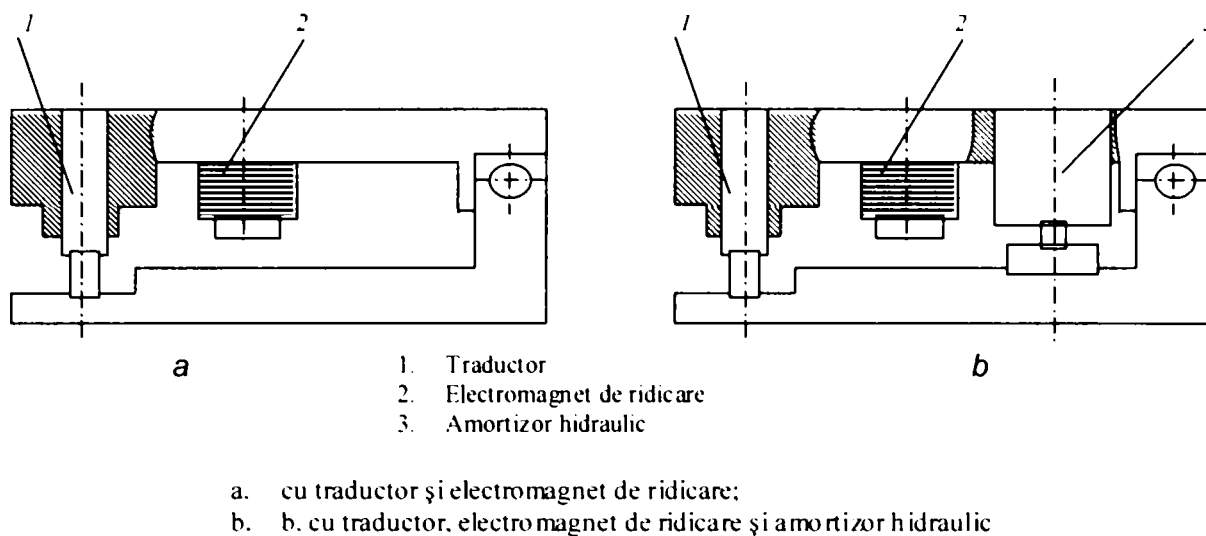


Fig. 36 Unitate de măsurare:

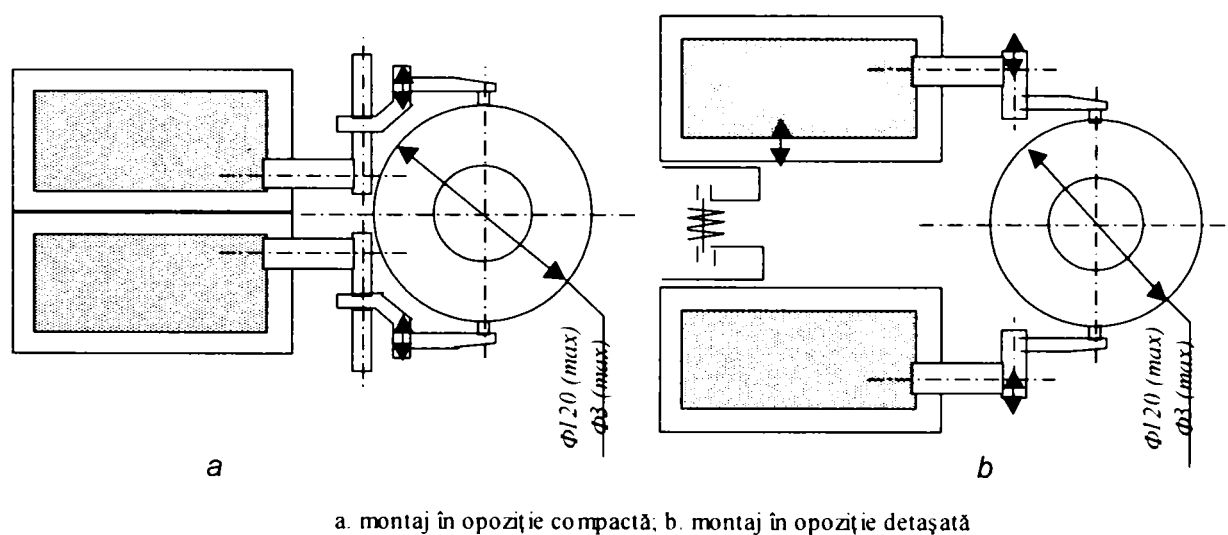


Fig. 37 Posibilități de montare a unităților de măsurare

### Senzori cu frânare cu amortizoare electromagnetice

Utilizarea amortizoarelor electromagnetice este o variantă mai nou utilizată în construcția senzorilor și se bazează pe efectul de frânare prin frecare generat de un electromagnet cu indusul atras în permanență [49]. Alimentarea electromagnetului se face la o tensiune de 24 V la frecvența de 50 Hz.

Forța de frânare  $F_R$  oscilează între zero și valoarea maximă cu frecvența 100 Hz (Fig. 38, b). Valoarea forței de frecare depinde de forța dezvoltată de electromagnetul de frânare  $F_M$  și de coeficientul de frecare  $\mu$ :

$$F_R = \mu * F_M \quad (26)$$

Condiția de a se realiza frânarea captorului este ca forța de frecare să fie mai mare decât forța de măsurare  $Q_M$ :

$$F_R > Q_M \quad (27)$$

În acest fel captorul se deplasează foarte puțin sub acțiunea forței de măsurare cea mai mare perioadă fiind blocat. Regimul de funcționare în cazul amortizării electromagnetice este asemănător celui cu amortizare hidraulică.

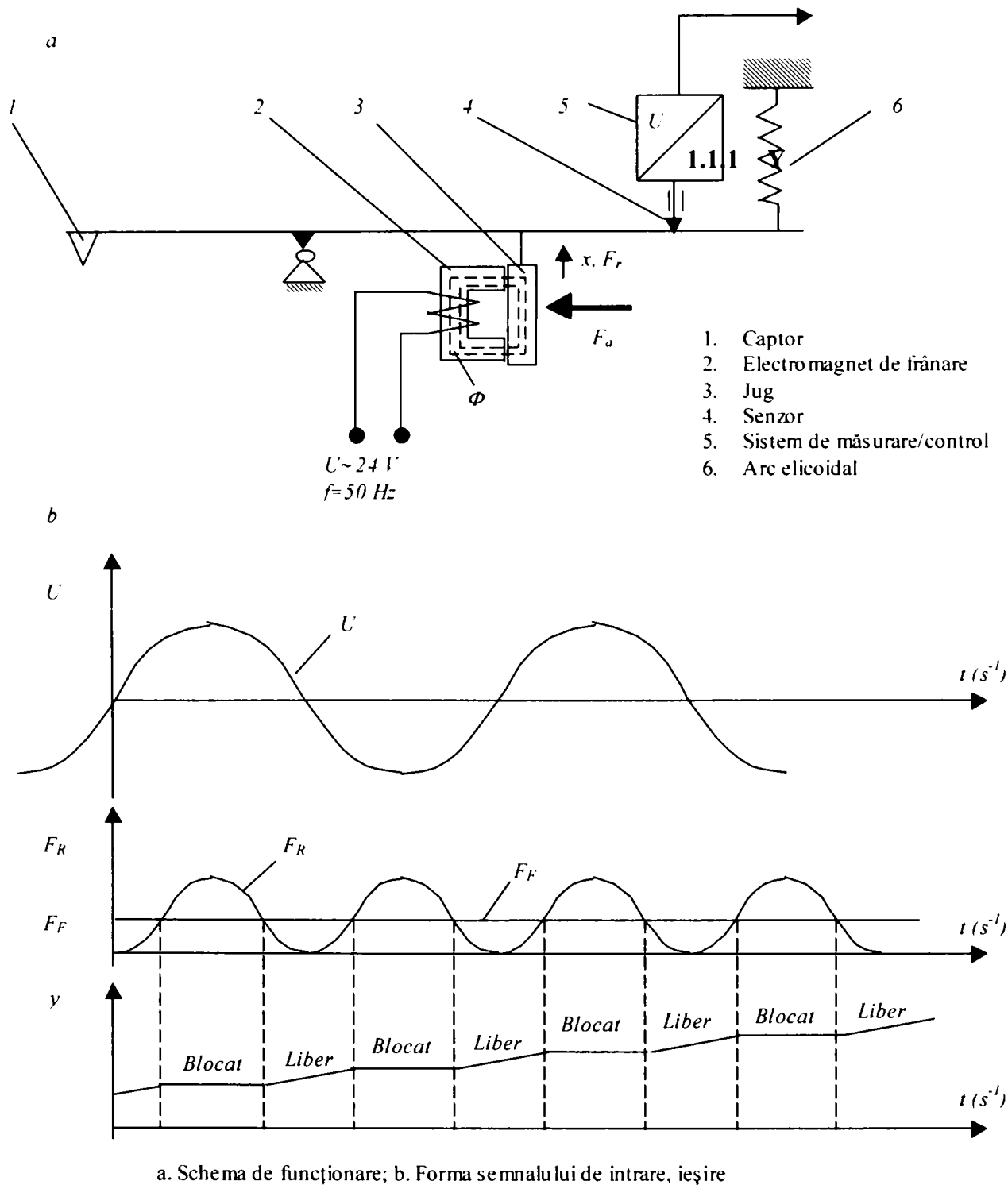


Fig. 38 Amortizarea electromagnetă

## 2.1.8 Sisteme de evitare a semnalelor false cu frânarea semnalului de măsurare

În paragraful 1.2.2 s-a făcut referire la posibilitatea de a utiliza frânarea semnalului de măsurare și prin aceasta de a evita transmiterea comenzilor false. Realizarea practică a acestui deziderat se face prin utilizarea unor senzori de natură pneumatică sau electronică.

### Frânarea pneumatică

Pentru a înțelege principiul de funcționare al acestei metode să considerăm cazul unui sistem pneumatic clasic cu jet transpus față de suprafața de măsurat utilizat pentru măsurarea-controlul unei suprafețe cu intemitențe fără a fi prevăzut cu sisteme speciale de evitare a semnalelor false.

În structura sistemului se evidențiază vârful de măsurare 1 care este solidarizat cu pârghia articulată 2. Semnalul preluat de duza furtunului de legătură este transmis camerei de măsurare 4. Opritorul 3 are rolul fundamental de a opri căderea vârfului de măsurare 1 sub un anumit nivel limitat pentru care interstițiul creat la duza de măsurare este de valoare minimă  $s_0$  [12] [36] [49].

Se observă că pârghia articulată 2 va avea o mișcare oscilatorie iar vârful de măsurare 2 va fi poziționat între două poziții limită [49]:

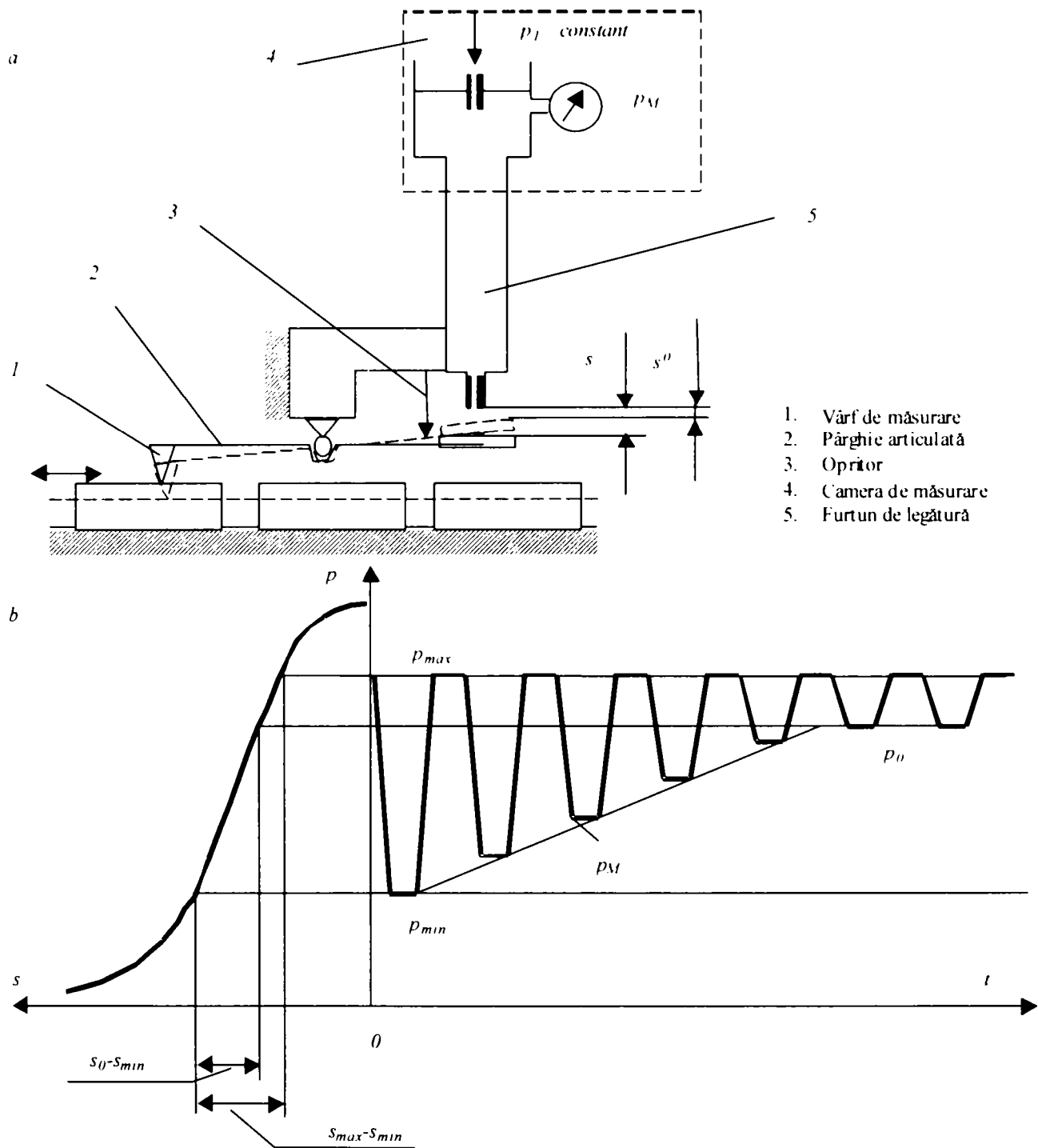
- ◆ poziția limită superioară corespunzătoare contactului vârf de măsurare-suprafața de măsurare (poziție care variază pe măsură ce adaosul de prelucrare este îndepărtat);
- ◆ poziția limită inferioară corespunzătoare situației în care pârghia este oprită în cădere de opritorul 3 (poziție stabilă).

Pozițiilor limită le corespunde o anumită valoare a interstițiului  $s$  la duza de măsurare:

- ◆  $s$  care variază între  $s_{max}$  și  $s_{min}$  (corespunzător dimensiunii inițiale respectiv dimensiunii finale);
- ◆  $s_0$  care are în permanență aceeași valoare (aleasă cu  $10\div 15 \mu m$  mai mică decât valoarea corespunzătoare interstițiului  $s_{min}$  corespunzător dimensiunii finale).

Mișcarea oscilatorie a pârghiei va genera la rândul său un semnal oscilant prezentat în figura 39 b. Variația interstițiului  $s$  se transformă într-o variație de presiune  $p$  în camera de măsurare [39] [12] [36] [49]. Dacă volumul care preia aceasta variație este mic atunci presiunea urmărește practic fără întârziere schimbarea mărimii interstițiului de măsurare.

Defilarea discontinuităților prin fața captorului pneumatic stabilește în volumul camerei de măsurare 4 o variație pulsatorie a presiunii de măsurare  $p_M$  fără întârziere față de schimbarea interstițiului  $s$ . Pe tot parcursul prelucrării amplitudinea pulsațiilor variază (de la valoarea maximă la începutul prelucrării spre valoarea minimă la sfârșitul prelucrării). Stabilizarea amplitudinii mișcării pulsatorii a semnalului  $p_M(t)$  se face la finalul prelucrării când interstițiul variază doar între valoarea  $s_{min}$  și  $s_0$ .



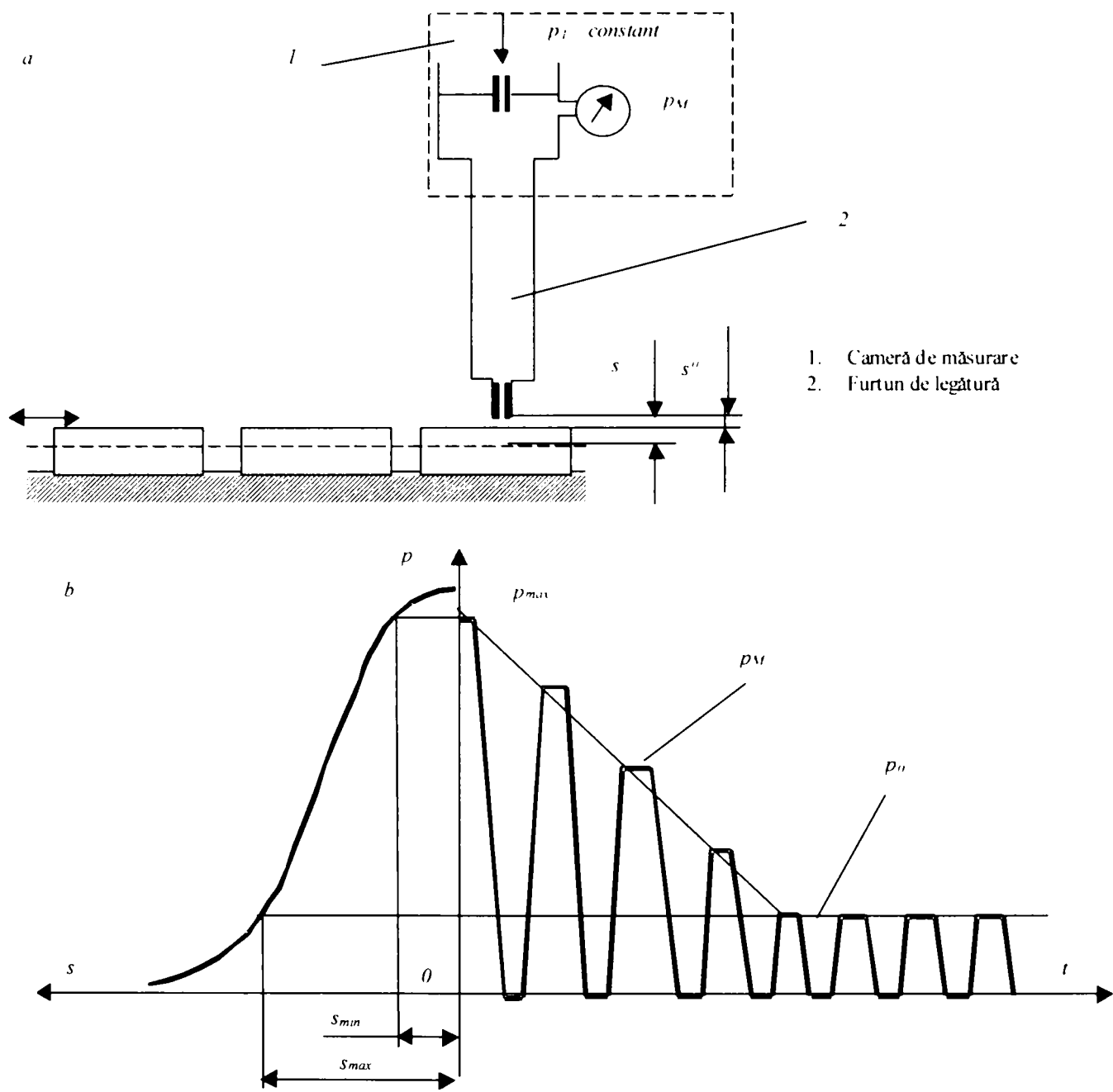
a. Structura sistemului; b. Caracteristica de funcționare

Fig. 39 Aparat pneumatic de măsurare. Utilizarea unui sistem clasic (cu jet transpus) la controlul suprafețelor cu discontinuități

O funcționare similară o are sistemul pneumatic de măsurare (cu jet deschis localizat) dacă nu este prevăzut pentru controlul suprafețelor discontinue (Fig. 40) [12] [36] [49]. Singura diferență este aceea a formei semnalului:

- ◆ presiunea din camera de măsurare va tinde spre o valoare minimă a presiunii corespunzătoare interstițiului maxim  $s_{max}$  (obținut la finalul prelucrării)

- ◆ în acest caz semnalul în dreptul golului discontinuității scade în mod necontrolat în acest caz neexistând opritorul pentru căderea în gol a captorului (cu care este prevăzut sistemul pneumatic cu jet deschis transpus)



a. Structura sistemului; b. Caracteristica de funcționare

Fig. 40 Aparat pneumatic de măsurare. Utilizarea unui sistem clasic (cu jet transpus) la controlul suprafețelor cu discontinuități

Modalități simple de a limita amplitudinea semnalului pulsatoriu în camera de măsurare sunt [12] [36] [49]:

- ◆ utilizarea unui volum suplimentar (prezentat în Fig. 17)
- ◆ utilizarea unui droșel de amortizare (prezentat în Fig. 18)

În acest caz semnalul transmis sistemelor de control este ca în Fig. 41:

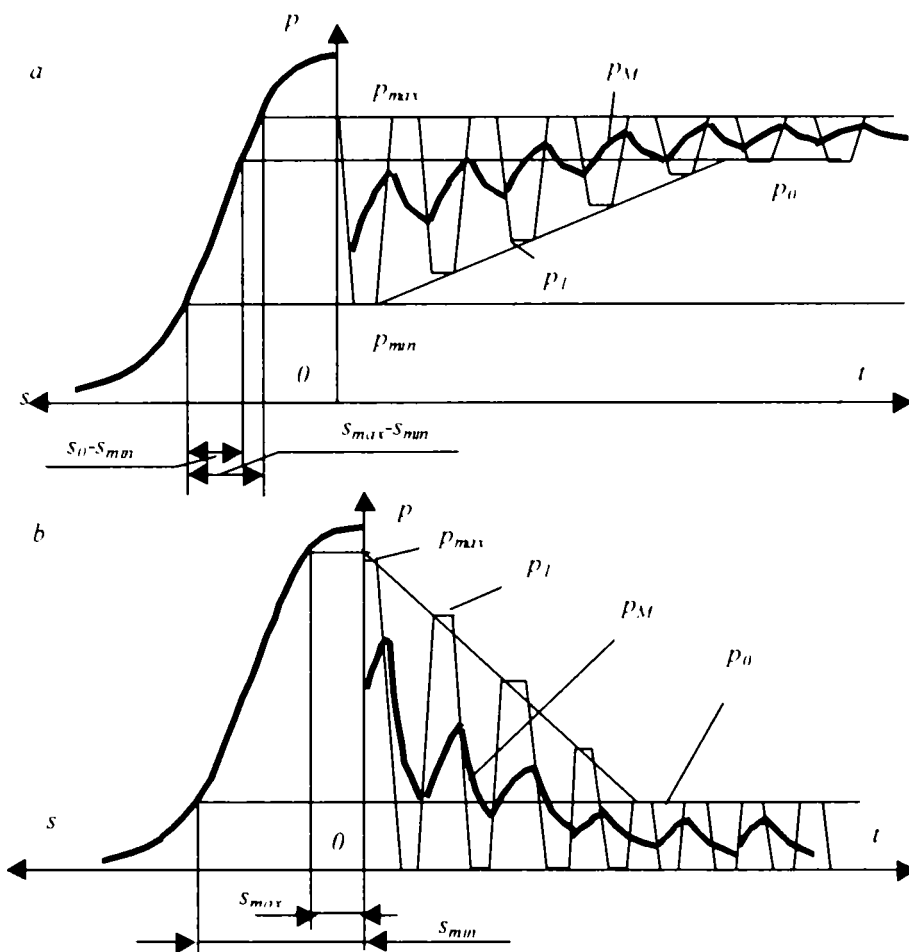


Fig. 41 Caracteristica de funcționare a sistemelor pneumatice cu volum suplimentar sau drosel de amortizare. a. Sistem cu jet deschis transpus; b. Sistem cu jet deschis localizat

În cazul în care sistemul pneumatic de măsurare este prevăzut cu aceste elemente specifice (cu cameră de volum suplimentar sau drosel de amortizare) variația presiunii  $p_t$  nu este resimțită cu aceeași intensitate la camera de măsurare astfel că variația presiunii măsurate (indicate la aparatul de măsurare)  $p_M$  este un proces exponențial care se schimbă succesiv întocmai unui proces de încărcare-descărcare. Droselul de amortizare (de forma unui tub capilar) și camera de volum suplimentar (sau capacitate tampon) acționează ca elemente de întârziere de ordin I cu constantă de timp [49]:

$$T_2 = (V_2 / \bar{P}_1) * [128\eta l / (\pi d^4)] \quad (28)$$

unde:

- ◆  $V_2$  este volumul suplimentar
- ◆  $\bar{P}_1$  este presiunea medie absolută indicată
- ◆  $\eta$  este vâscozitatea dinamică a aerului
- ◆  $l$  este lungimea droselului de amortizare



◆  $d$  este diametrul interior al drozelului de amortizare (tubului capilar)

Variația presiunii indicate  $p_1(t)$  se poate considera ca o oscilație a presiunii în jurul valorii medii:

$$\overline{p_1} = \lambda p_{1static} \quad (29)$$

unde:

$\lambda = K / (1 + K)$  cu  $K$  coeficientul de discontinuitate;

$p_{1static}$  este presiunea stabilită pentru suprafața continuă a piesei.

Se observă oscilațiile de presiune la senzorii cu jet localizat sunt mult mai mari decât la cei cu jet transpus datorită căderii totale a presiunii  $p_1$  deasupra discontinuității.

O altă situație defavorabilă în funcționare o reprezintă aceea în care valoarea coeficientului  $\lambda$  este foarte mică ( $\lambda \ll 1$ ). În acest caz se poate întâmpla ca presiunea medie indicată  $\overline{p_1}$  să fie în afara porțiunii liniare a caracteristicii pneumatice a traductorului.

De aici și soluția de îmbunătățire a caracteristicii pneumatice indicate: limitarea căderii de presiune în zona discontinuității în așa fel ca oscilațiile presiunii indicate să fie:

$$\overline{p_1} = p_{1max} - \lambda^* (p_{1max} - p_{1static}) \quad (30)$$

ceea ce conduce la creșterea presiunii indicate aproximativ la valoarea maximă. Pe măsura apropierii de dimensiunea finală a piesei oscilațiile presiunii tind să se diminueze.

Indiferent de soluțiile adoptate, între condițiile statice de funcționare (de ajustare inițială) și cele dinamice (de utilizare) există o diferență determinată de parametri tehnologici (numărul de rotații, constanța regimului de prelucrare, numărul și lățimea discontinuităților, etc).

## 2.2 Sisteme automatizare dedicate controlului suprafețelor discontinue

În Fig. 42 este prezentat sistemul cu supape și cu închidere automată a aparatului de măsurare la căderea palpatorului în discontinuitățile suprafețelor de controlat [2] [3] [12].

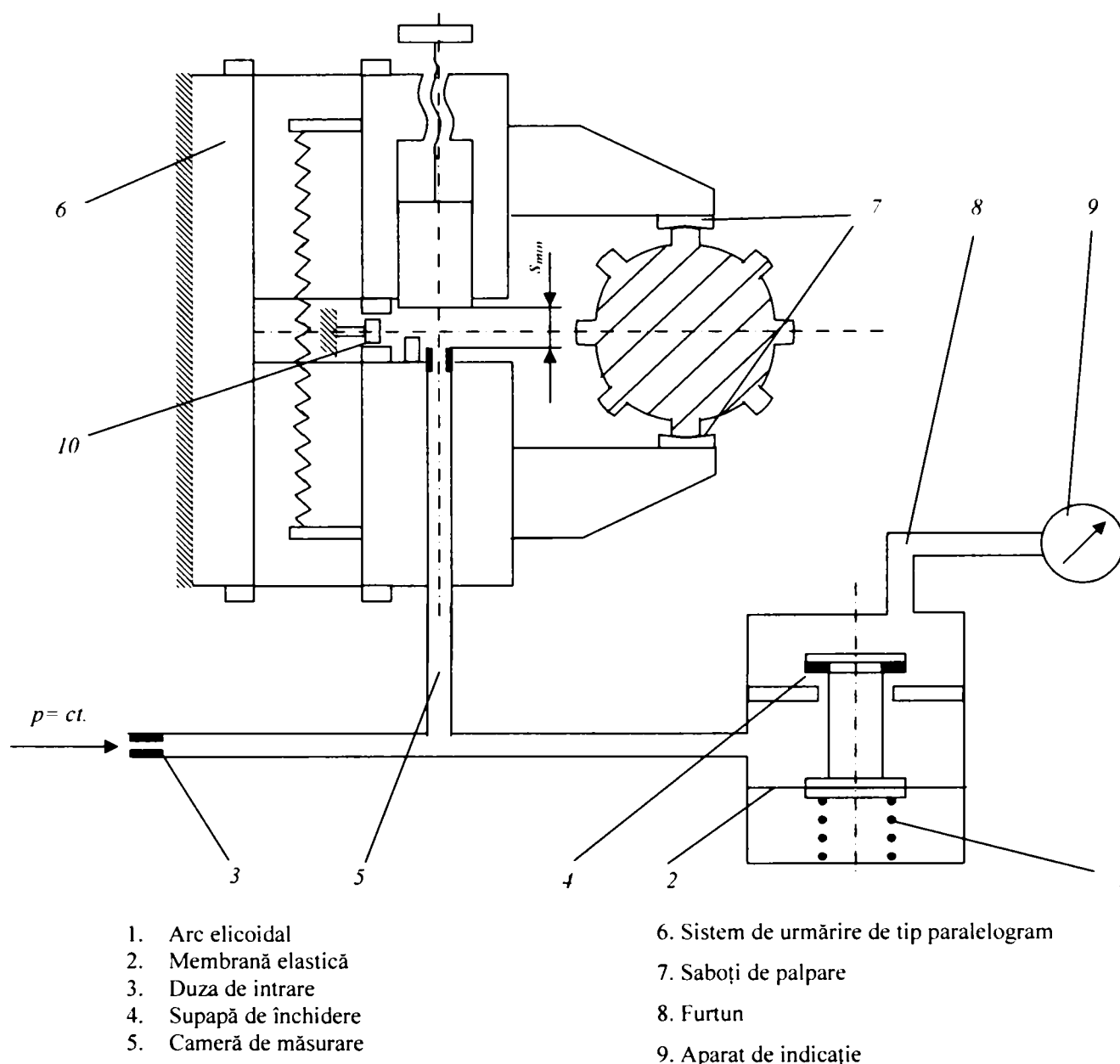


Fig. 42 Sistem de control activ cu supapă de închidere automată a aparatului de măsurare

Aerul intră în aparatul de măsurare prin duza de intrare 3 sub presiune constantă  $p$  în camera de măsurare 5 de unde iese în atmosfera prin interstițiul  $s$  creat între suprafața de controlat și suprafața de referință a saboților 7. Mărimea interstițiului  $s$  depinde de mărimea dimensiunii  $D$  a suprafeței prelucrate. Pentru ca mărimea interstițiului să nu scadă sub o anumită valoare limită, și implicit, pentru ca valoarea presiunii să nu crească peste o valoare maximală se utilizează un opritor 10 care împiedică, în dreptul discontinuităților, căderea brațelor de palpare. Opritorul este astfel ales

încât să se respecte condiția ca și în cazul în care prelucrarea este la final, sistemul să aibă posibilitatea să urmărească porțiunea continuă a suprafeței.

Aerul sub presiune intră în aparatul de măsurare 9 după ce trece pe sub supapa 4 în furtunul 8 după care ajunge în aparatul de indicație 9. Măsurarea este similară unui sistem cu jet deschis transpus.

Supapa 4 este legată rigid cu membrana 2 care la rândul ei este comprimată de către arcul 1. Tensionarea arcului și dimensionarea elementelor subansamblului supapă-membrana se face astfel încât la trecerea saboților în dreptul discontinuităților suprafeței de măsurat supapa 4 să se închidă. Închiderea supapei în dreptul discontinuităților este cauzată de scăderea interstițiului  $s$  sub o valoare limită, creșterea corespunzătoare a presiunii peste o valoare minimală care duce la învingerea forței exercitată de arcul 1 asupra membranei 2. În acest fel se întrerupe transmiterea semnalelor pe perioada în care saboții de palpare 7 sunt în dreptul porțiunilor discontinue ale suprafeței de controlat.

La scăderea presiunii în camera de măsurare 5, scădere ce are loc odată cu depășirea porțiunii discontinue și revenirea la porțiunile continue ale suprafeței de măsurat, arcul 1 apasă asupra membranei 2 și implicit deschide calea aerului spre furtunul 8 și aparatul de indicație 9 prin ridicarea supapei 4. Acesta este modul în care funcționează acest aparat destinat măsurării suprafețelor discontinue.

În Fig. 43 este prezentat un sistem pneumatic de măsurare cu două duze de ieșire [2] [3].

Cele două duze de ieșire ale aparatului de control sunt: duza de măsurare 6 și duza de referință 10.

Ambele duze sunt acoperite de către o suprafață comună, clapeta 9, între care se realizează interstițiul de ieșire a aerului. Între marginea duzei de măsurare 6 și marginea duzei de referință există o diferență de poziționare astfel încât interstițiul de la duza de măsurare să fie mai mare cu 0.1 mm față de cel de referință. În cazul în care saboții de palpare 7 cad în discontinuitățile suprafeței de măsurare duza de referință servește drept reazem pentru clapeta 9.

Sistemul de măsurare este format din duza de intrare 5, camera de măsurare 4 și duza de măsurare 6. Aerul cu presiune constantă  $p$  intră în instalația de măsurare prin duza de intrare 5. Presiunea obținută în camera de măsurare este proporțională cu variația dimensiunii măsurate, variație evidențiată de către aparatul de indicație 16. Funcționarea aparatului de indicație 16 este condiționată de către deschiderea supapei 15. Spre deosebire de supapa automată (prezentată la sistemul anterior) supapa 15 este condusă de un sistem pneumatic special compus din:

- ◆ duza de intrare 13 în camera de referință;
- ◆ duza de referință 10;
- ◆ camera de referință 11.

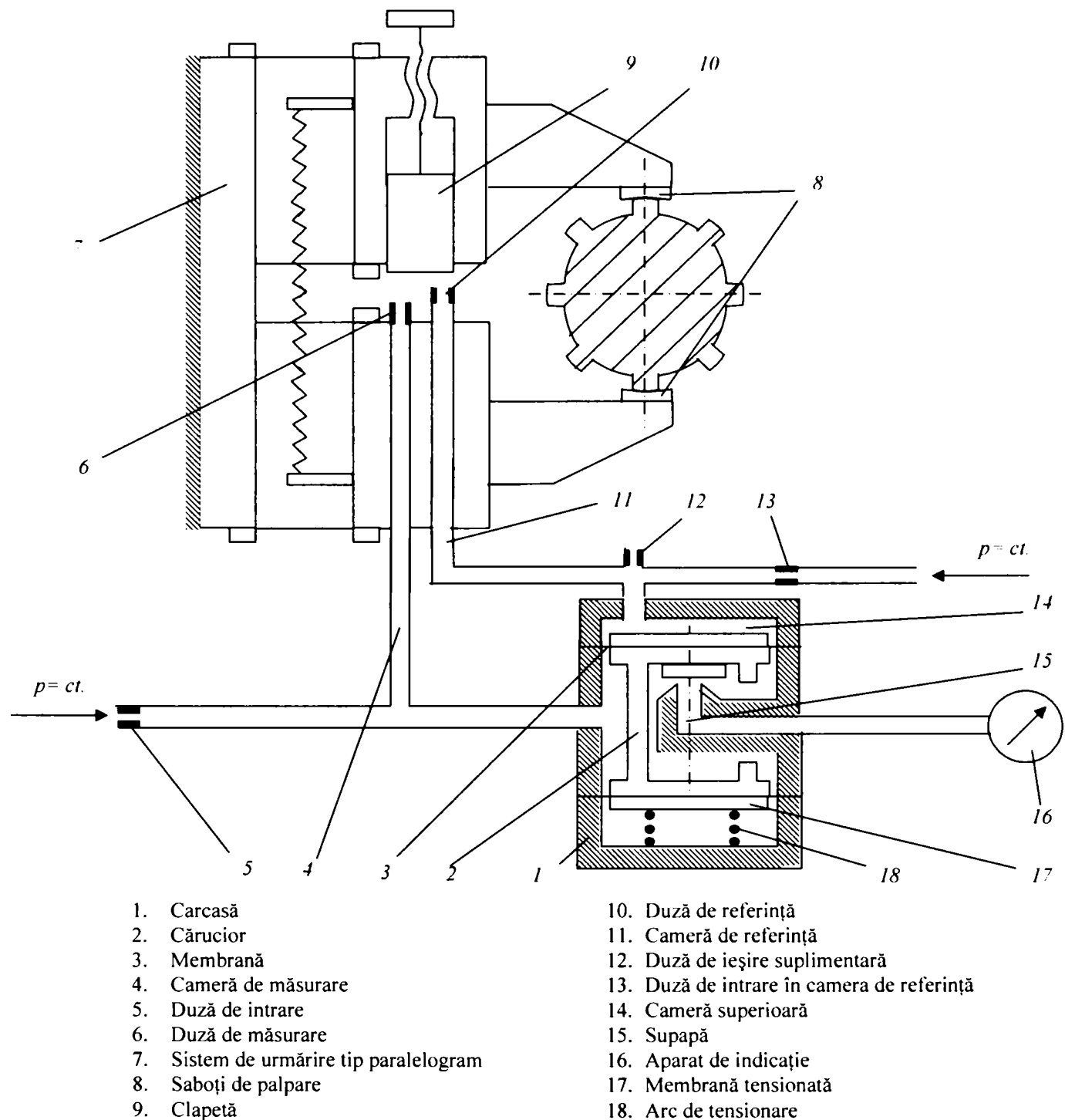


Fig. 43 Sistem de control activ cu două duze de ieșire și clapetă

Funcționarea supapei 15 este următoarea: prin căderea saboților de palpare 7 în discontinuitățile suprafeței de controlat, presiunea în camerele de referință 11 și superioară 14 crește. Căruciorul 2 este deplasat ca urmare a presiunii exercitate asupra membranei 3. Deplasarea căruciorului 2 duce la închiderea orificiului de intrare a supapei 15 și izolează elementul sensibil al aparatului de indicație 16 de aparatul de măsurare. În elementul sensibil al aparatului de indicație rămâne memorată presiunea corespunzătoare porțiunii continue a suprafeței controlate. Arcul 18 este fixat rigid de talerul membranei tensionate 17. Reglarea pretensionării arcului se face astfel

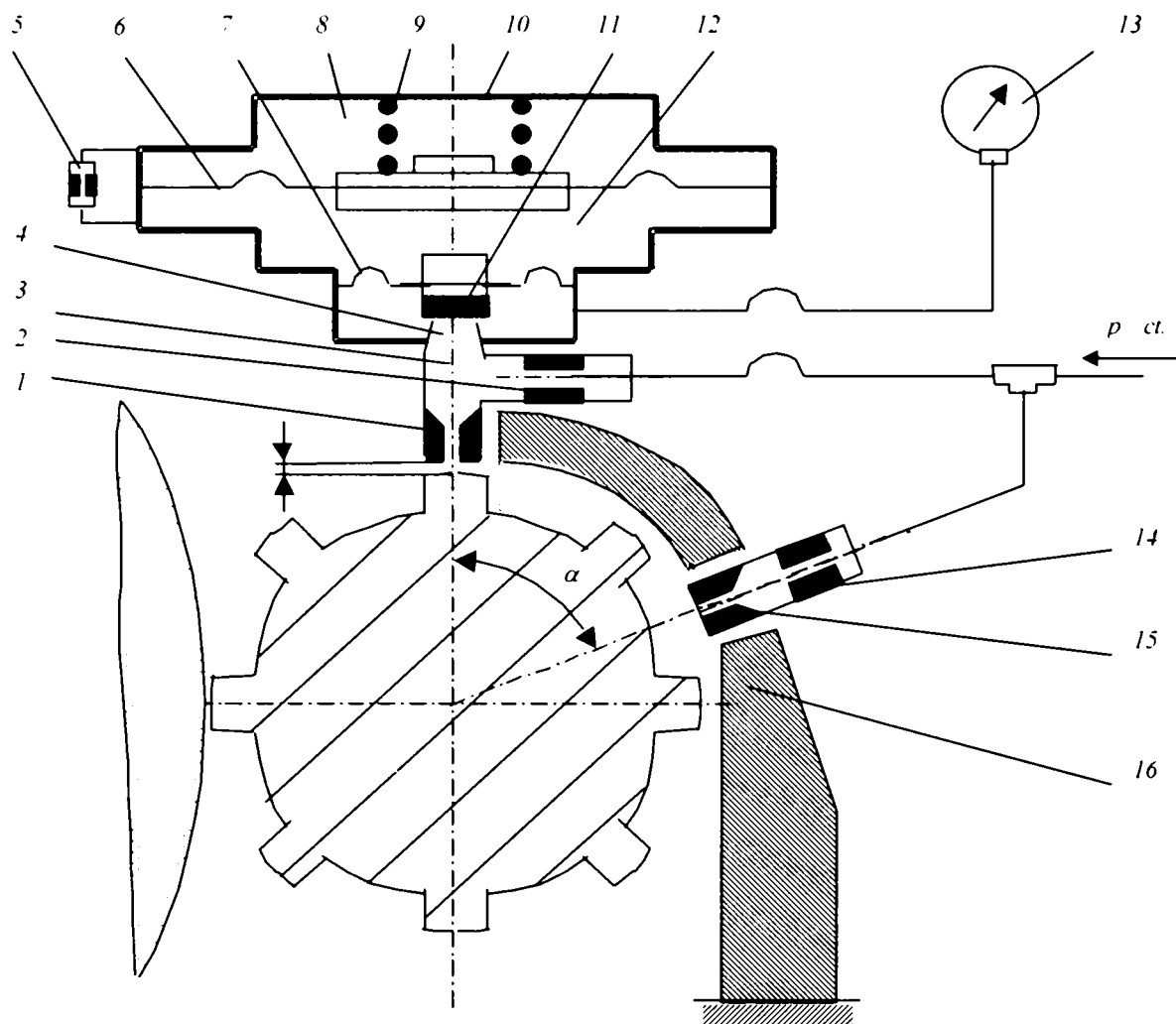
încât închiderea supapei 15 să asigure un răspuns corespunzător la variațiile suprafeței măsurate asupra presiunii elementului sensibil al aparatului de indicație 16.

În figura 44 este prezentat un altfel de sistem de control care are posibilitatea de a evita transmiterea semnalelor false spre aparatul de indicație/comandă [36].

Întreg subansamblul este poziționat în spațiul de lucru pe elementul de susținere 16.

Sistemul de măsurare este echipat cu două duze de ieșire:

- ◆ duza de ieșire 1 din camera inferioară de măsurare 3;
- ◆ duza de comandă 15.



- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. Duza de măsurare              | 9. Arc                   |
| 2. Duza de intrare               | 10. Bloc de membrane     |
| 3. Camera inferioară de măsurare | 11. Supapă               |
| 4. Obturator                     | 12. Cameră de compensare |
| 5. Drosel                        | 13. Aparat de indicație  |
| 6. Membrana superioară           | 14. Duza de intrare      |
| 7. Membrana inferioară           | 15. Duza de comandă      |
| 8. Cameră de comandă             | 16. Element de susținere |

Fig. 44 Sistem de control activ cu două duze de ieșire și clapetă

Intrarea aerului sub presiune constantă  $p$  în sistemul pneumatic se face prin două duze de intrare 2 și 14 în camera inferioară de măsurare 3 respectiv spre duza de comandă 15. Informația este transmisă în final de la sistemul pneumatic la aparatul de indicație 13.

Blocul cu membrane 10 este împărțit de către membranele superioară 6 și inferioară 7 în trei camere:

- ◆ camera inferioară de măsurare 3;
- ◆ camera de comandă 8;
- ◆ camera de compensare 12.

Camera inferioară de măsurare 3 este în directă legătură cu suprafața prelucrată prin intermediul duzei de măsurare 1 și transmite informația elementului sensibil al aparatului de indicație 13. Membrana inferioară 7 are o construcție specială: centrul rigidizat al membranei este prevăzut în partea inferioară cu o supapă 11. Sub acțiunea arcului 9 cele două membrane 6 și 7 (legate rigid între ele) coboară supapa 11 pe obturatorul 4 astfel încât se realizează izolarea elementului sensibil al aparatului de indicație 13 de camera inferioară de măsurare 3.

Sistemul de comandă este compus din cele două camere de comandă 8 și de compensare 12 între care este instalat droselul 5. Camera de comandă 8 preia aerul de la duza de comandă 15.

Funcționarea sistemului este următoarea: aerul comprimat intră în camera inferioară de măsurare 3 prin duza de intrare 2 și iese în atmosfera prin duza de ieșire 1 prin interstițiul  $s$  creat între această duză și suprafața de controlat. În timpul prelucrării suprafețelor cu discontinuități variația valorii interstițiului  $s$  are un salt brusc la apariția discontinuității în dreptul duzei de măsurare 1. Acest lucru se evidențiază în figura 45 a.

La întreruperea zonei discontinue interstițiul crește până la o valoare  $s_1$  în timp ce presiunea scade la valoarea  $h_1$ . Modul de variație a presiunii în camera de măsurare 3 este dat în figura 45 b (curba 2) și se poate observa că depinde de modul de variație a interstițiului  $s$  arăt în figura 45 a (curba 1).

Variația presiunii  $h_y$  din camera de comandă 8 urmează același mod de variație ca și a presiunii din camera de măsurare pentru ca în dreptul ambelor duze, de măsurare 1 și de comandă 15, modul de variație a interstițiului  $s$  este identic. Între cele două presiuni,  $h_y$  în camera de comandă (curba 3) și  $h$  în camera de măsurare (curba 2), există un decalaj în timp datorat faptului că discontinuitățile suprafeței de controlat ajung în dreptul duzelor cu un anumit decalaj în timp dependent de locul de montare al duzelor una față de cealaltă. Pentru o funcționare corespunzătoare a sistemului se face o poziționare a duzelor în felul următor:

- ◆ duza de măsurare 1 este poziționată la începutul discontinuităților suprafeței de controlat;
- ◆ duza de comandă 15 este poziționată la sfârșitul discontinuităților suprafeței de controlat

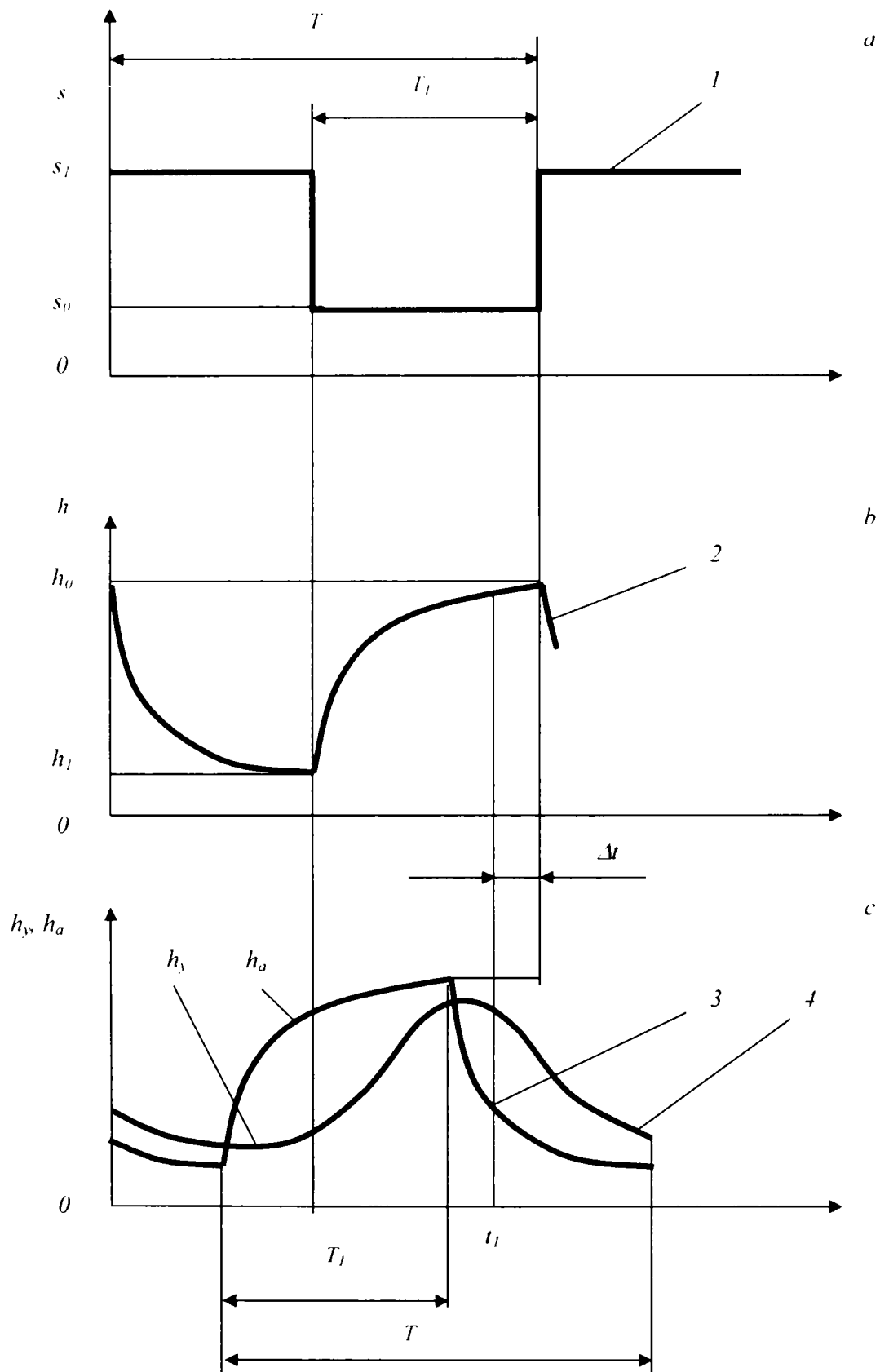


Fig. 45 Funcționarea sistemului de control activ cu două duze de ieșire și clapetă

Fig 45 a: Modul de variație a mărimii interstițiului;

Fig 45 b: Modul de variație a presiunii în camera de măsurare;

Fig 45 c: Modul de variație a presiunii în camera de comandă și de compensare

Presiunea  $h_a$  în camera de compensare 12 va avea în consecință o variație dependentă de modul de variație a celor două presiuni  $h_y$  și  $h_a$ . Modul de variație este prezentat în figura 45 c (curba 4).

Presiunea în camera de compensare este dată de presiunea în camera de comandă pe toată perioada în care duza de comandă este în dreptul porțiunii continue a suprafeței de controlat. Modul de atingere a acestei presiuni depinde de valoarea rezistenței hidraulice a droselului 5 și de mărimea camerei 12.

În cazul în care în dreptul duzei de comandă ajunge o porțiune cu discontinuități, valoarea interstițiului  $s$  crescând de la valoarea  $s_0$  la valoarea  $s_1$ , presiunea în camera 8 scade. În acest fel asupra membranei superioare 6 presiunea mare este exercitată din partea camerei de compensare 12. Rezultatul scăderii presiunii în camera de comandă 8 în comparație cu presiunea în camera de compensare este că, la un anumit moment  $t_1$ , forța exercitată asupra membranei 6 este suficient de mare ca să învingă forța de pretensionare a arcului 9 și să deplaseze supapa 11 în sus. În acest fel se deschide calea între camera de măsurare 3 și elementul sensibil al aparatului de indicație 13. Pe toată aceasta perioadă are loc măsurarea.

După un anumit interval de timp  $\Delta t$ , diferența de presiune între cele două camere micșorându-se, arcul 9 apasă asupra membranei 6. Prin coborârea membranei, supapa 11 apasă la rândul ei talerul obturatorului 4 întrerupând comunicarea dintre camera de măsurare 3 și aparatul de indicație 13. Intervalul de timp în care camera de măsurare comunică elementului sensibil al aparatului de indicație nu depinde de configurația piesei ci doar de rezistența hidraulică a droselului 5.

Mărimea unghiului  $\alpha$  dintre cele două duze (de comandă și de măsurare) se alege astfel încât supapa 11 să se deschidă când presiunea  $h$  se apropie de valoarea sa maximă  $h_0$ . După determinarea valorii rezistenței hidraulice a droselului 5, supapa trebuie să rămână închisă până la începutul căderii presiunii în camera de măsurare 3. Realizarea acestor condiții duce la transmiterea semnalului de la camera de măsurare la elementul sensibil al aparatului de indicație doar pe perioada în care duza de măsurare este în dreptul porțiunii continue a suprafeței de controlat.

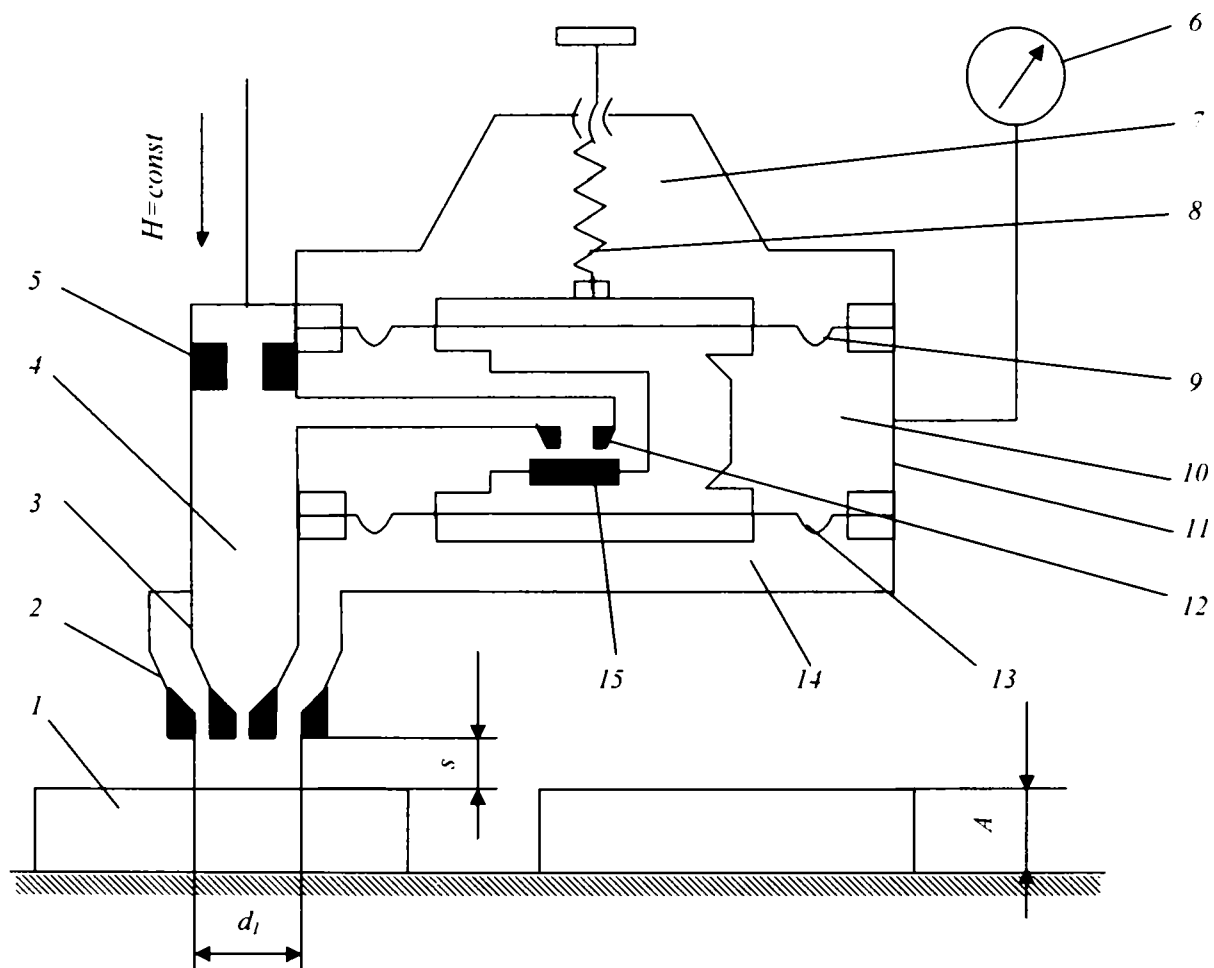
Măsurarea suprafețelor cu discontinuități în regim dinamic este foarte dificilă pentru că poate să introducă o serie de erori strâns legate de viteza de deplasare a măsurandului. Reducerea erorilor se face prin alegerea corespunzătoare a dimensiunilor critice ale sistemului pneumatic astfel încât timpul de măsurare să fie cât mai redus. În acest scop următoarele condiții trebuie respectate:

- ◆ camera de măsurare 3 este obligatoriu să fie cât mai mică;
- ◆ reglarea sistemului se face astfel încât supapa 11 să funcționeze doar în vecinătatea valorii maxime a presiunii;



- ◆ fie prin schimbarea valorii rezistenței hidraulice a droselului 5;
- ◆ fie prin pretensionarea corespunzătoare a arcului 9.
- ◆ întreruperea transmiterii semnalului la elementul sensibil al aparatului de indicație se face imediat ce presiunea în camera de comandă scade;
- ◆ reglarea aparatului de indicație se face astfel încât la rotirea măsurandului cu unghiul  $\alpha$  acul aparatului de indicație să parcurgă tot domeniul.

Un alt sistem destinat controlului suprafețelor cu discontinuități este acela cu clapetă conducătoare [36]. Sistemul este alimentat similar cu oricare alt sistem pneumatic: printr-un bloc cu filtre și cu stabilizator de presiune (nereprezentate în figura 46).



- |                         |                          |                         |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1. Măsurand             | 6. Aparat de indicație   | 11. Sistem de memorare  |
| 2. Clapetă conducătoare | 7. Cameră superioară     | 12. Obturator           |
| 3. Duza de măsurare     | 8. Arc                   | 13. Membrană inferioară |
| 4. Cameră de măsurare   | 9. Membrană superioară   | 14. Cameră de comandă   |
| 5. Duza de intrare      | 10. Cameră de compensare | 15. Supapă              |

Fig. 46 Sistem de control activ cu clapetă conducătoare

Aerul cu presiune constantă  $H$  intră în sistemul de măsurare prin duza de intrare 5 în camera de măsurare 4 și se scurge în atmosferă prin interstițiul creat între duza de măsurare 3 și măsurandul 1. Ca la toate sistemele pneumatice mărimea interstițiului  $s$  influențează valoarea presiunii în camera de măsurare 4.

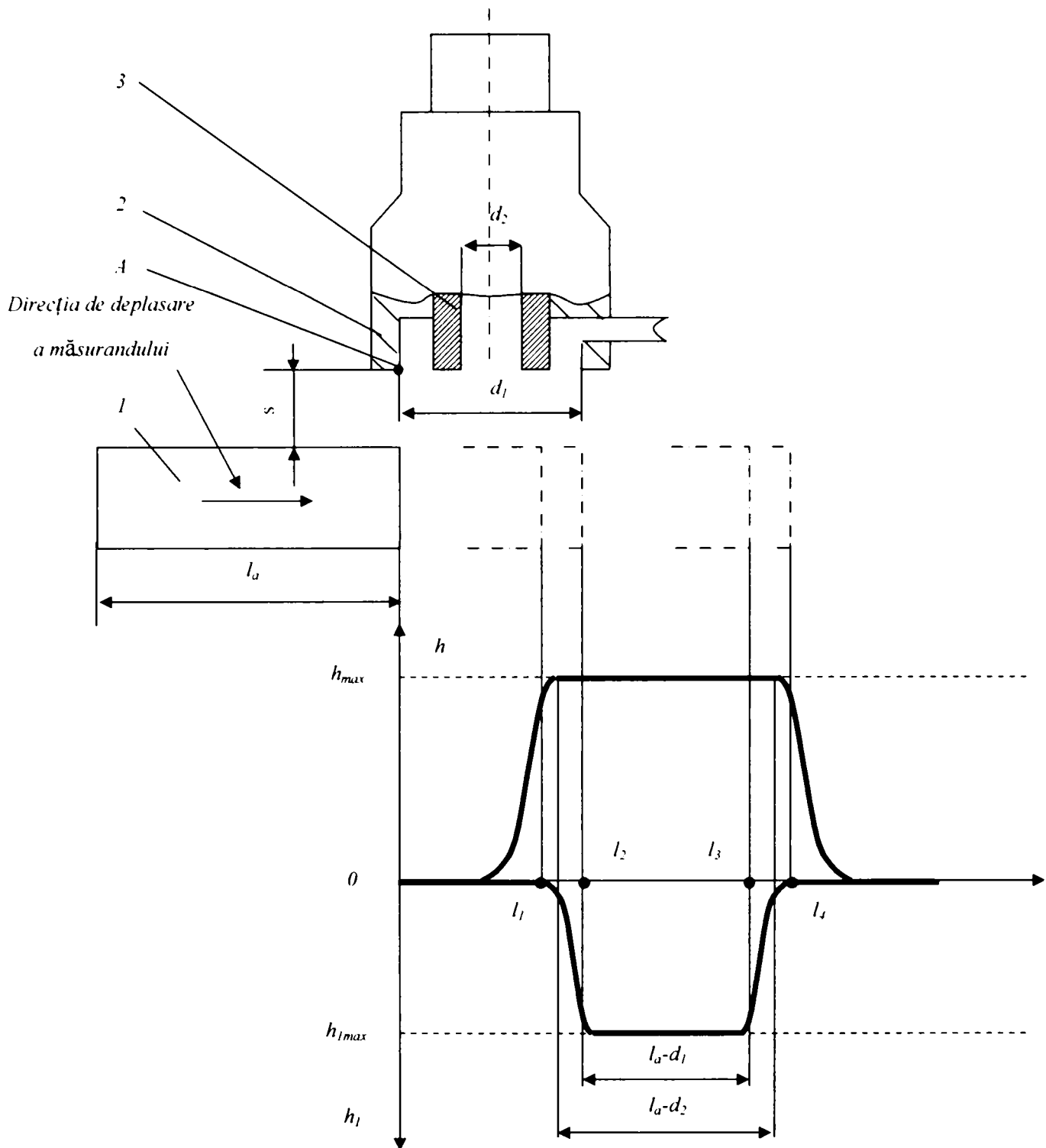


Fig. 47 Funcționarea sistemelor de control pneumatice cu duza ejectoare

Sistemul de comandă este format din clapeta conducătoare 2 și sistem de "memorare" 11 care are scopul de a transmite elementului sensibil al aparatului de indicație 6 semnale în concordanță cu dimensiunea și configurația suprafeței controlate fără a lua în considerație căderea presiunii în camera de măsurare pe perioada în care sub duza de măsurare se găsește în porțiunea discontinuă a suprafeței de controlat. Clapeta conducătoare are rolul de a închide/deschide calea de transmitere a semnalului elementului sensibil al aparatului de indicație.

Pentru a prezenta modul de funcționare a sistemelor cu clapetă conducătoare să considerăm pozițiile succesive pe care le poate ocupa măsurandul în mișcarea sa relativă față de senzorul pneumatic. Poziția relativă a celor două elemente (senzor și măsurand) se va judeca în funcție de punctul marginal al suprafeței active a clapetei conducătoare (punctul  $A$  din figura 47).

Mișcarea se poate descompune în trei etape distincte:

1. intrarea măsurandului în zona de acțiune a senzorului pneumatic;
2. regimul stabil de măsurare;
3. ieșirea măsurandului din zona de acțiune a senzorului pneumatic.

În prima perioadă, corespunzător lungimilor cu care a înaintat măsurandul sub clapeta conducătoare și sub duza de măsurare, se pot evidenția următoarele regimuri de lucru:

- a. deoarece inițial nici una dintre duze nu este deasupra măsurandului, ambele presiuni (din camera de măsurare  $h$  și din camera de comandă  $h_2$ ) sunt nule;
- b. pe măsură ce măsurandul începe să obtureze duza de măsurare, presiunea crește de la valoarea zero la valoarea maximă  $h_{max}$  corespunzător unui interstițiu  $s$ . Acest lucru se întâmplă în momentul în care măsurandul a înaintat la lungimea  $l_1$ ;
- c. pe măsură ce măsurandul începe să obtureze și clapeta de comandă presiunea în camera de comandă  $h_2$  începe să crească și ea de la zero (valoarea inițială) la valoarea ei maximă  $h_{2max}$ . Acest lucru se întâmplă la înaintarea măsurandului până la lungimea  $l_2$ .

A doua perioadă de funcționare este aceea de măsurare propriu zisă și este caracterizată de următorii parametri funcționali:

- d. este un regim stabil în care măsurandul obturează ambele duze și presiunile în camera de măsurare  $h$  și în camera de comandă au ambele valorile maximă  $h_{max}$  respectiv  $h_{2max}$ . Situația este întâlnită între lungimile de înaintare a măsurandului  $l_2$  și  $l_3$ .

A treia etapa distinctă în funcționare, ieșirea măsurandului de sub acțiunea senzorului pneumatic, este similară primei etapei, de intrare, cu deosebirea că este realizată antisimetric:

- e. pe măsură ce măsurandul începe să nu mai obtureze și clapeta de comandă presiunea în camera de comandă  $h_2$  începe să scadă și ea de la valoarea ei maximă  $h_{2max}$  (valoarea inițială) la zero (valoarea ei finală). Acest lucru se întâmplă la înaintarea măsurandului până la lungimea  $l_4$ ;
- f. pe măsură ce măsurandul începe să nu mai obtureze nici duza de măsurare, presiunea scade de la valoarea maximă  $h_{max}$  la valoarea zero corespunzător unui interstițiu  $s$ . Acest lucru se întâmplă în momentul în care măsurandul a înaintat cu o lungime care face ca marginea din partea stângă să iasă complet de sub acțiunea senzorului;
- g. deoarece nici una dintre duze nu mai este deasupra măsurandului, ambele presiuni (din camera de măsurare  $h$  și din camera de comandă  $h_2$ ) sunt nule și vor rămâne la aceasta valoare atâta timp cât nu se va apărea un nou măsurand în zona de acțiune a senzorului.

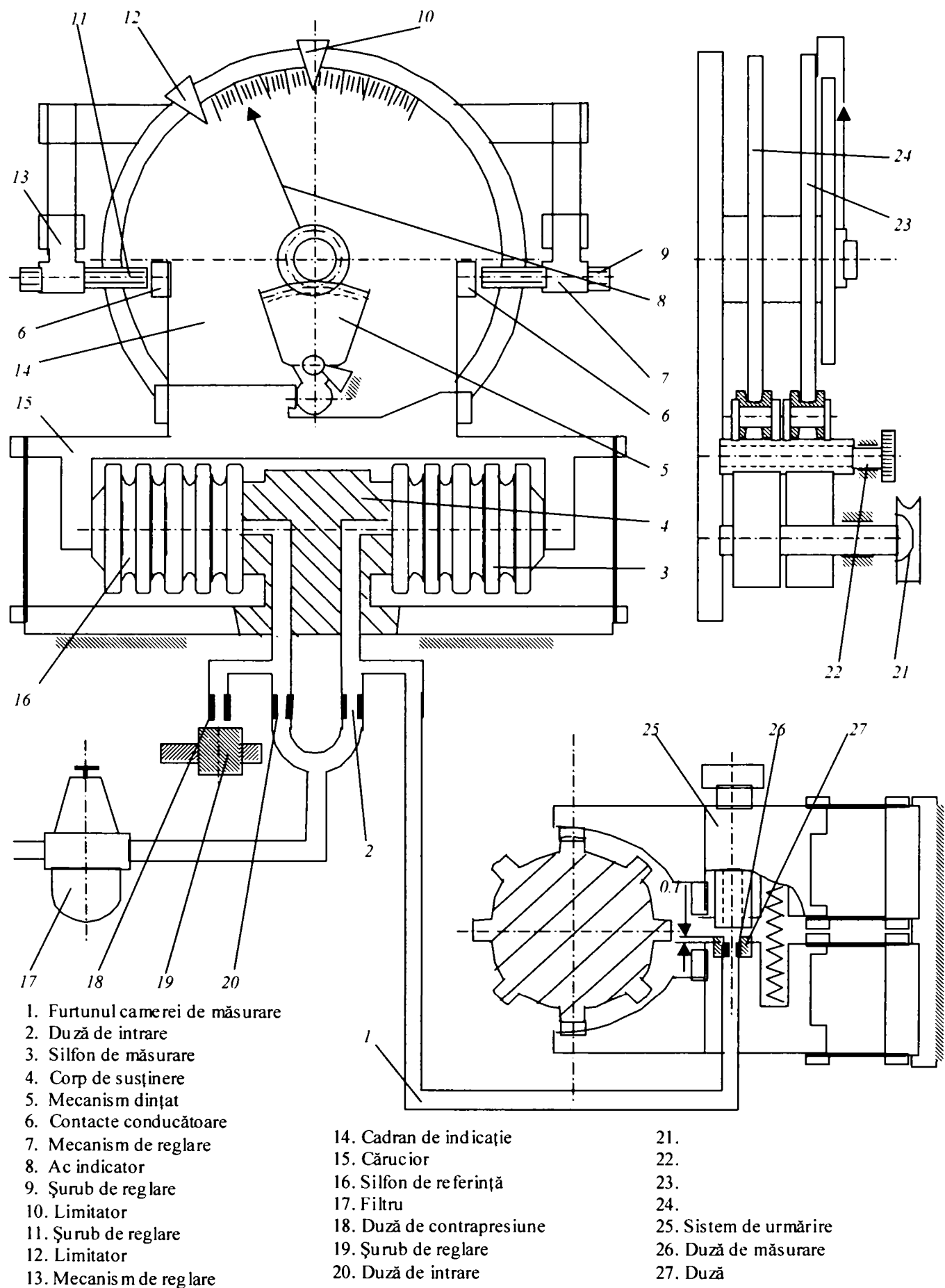


Fig. 48 Sistem de control activ cu silfon destinat controlului suprafețelor rotund exterioare cu discontinuități

În Fig. 48 este prezentat un alt sistem de control activ destinat suprafețelor exterioare cu discontinuități [2] [3] [12] [36].

Elementele componente sistemului sunt redate în figură. Funcționarea întregului sistem este descrisă în cele ce urmează.

Aerul, înainte de a intra în sistem, este filtrat prin filtrul 17. Aerul astfel curățat intră, prin duza de intrare 2 în camera de măsurare prin furtunul 1 și în silfonul de măsurare 3.

Instalația este construită după principiul măsurării pneumatice diferențiale. Marele avantaj al schemelor de măsurare diferențiale este acela că se obțin precizii ridicate de măsurare fără a mai depinde esențial de stabilizarea presiunii aerului la intrare. Aerul provenit de la un singur stabilizator de presiune străbate două compartimente distincte ale aparatului de măsurare: compartimentul de măsurare și compartimentul în care se păstrează o presiune constantă numită de obicei contrapresiune. În cazul particular al aparatului prezentat această ramificație este formată între duza de intrare 20 și duza de contrapresiune 18. Aerul pe această ramură trece prin silfonul de referință 16 și iese în exterior prin interstițiul de valoare reglabilă dintre duza de contrapresiune 18 și șurubul de reglare a contrapresiunii 19. Valoarea presiunii în compartimentul de realizare a contrapresiunii depinde de valoarea interstițiului  $s_n$  reglat.

În compartimentul de măsurare presiunea se modifică în funcție de mărimea interstițiului creat între duze de măsurare 26 și piesa de controlat. Diferența de presiune dintre cele două compartimente este sesizată în aparat și în mod corespunzător căruciorul 15 se deplasează lateral învingând forța elastică a elementelor lamelare de susținere a căruciorului. Deplasarea căruciorului 15 este transmisă la acul indicator 8 prin intermediul unui mecanism dințat 5. Deplasarea acului indicator 8 față de scala gradată a cadranului de indicație 14 și poziția lui față de cele două limitatoare 10 și 12 evidențiază în fiecare moment evoluția dimensiunii măsurate. Căruciorul 15 are rigidizate două lamele elastice 6 cu rol de comandă asupra a două contacte reglabile 9 și 11.

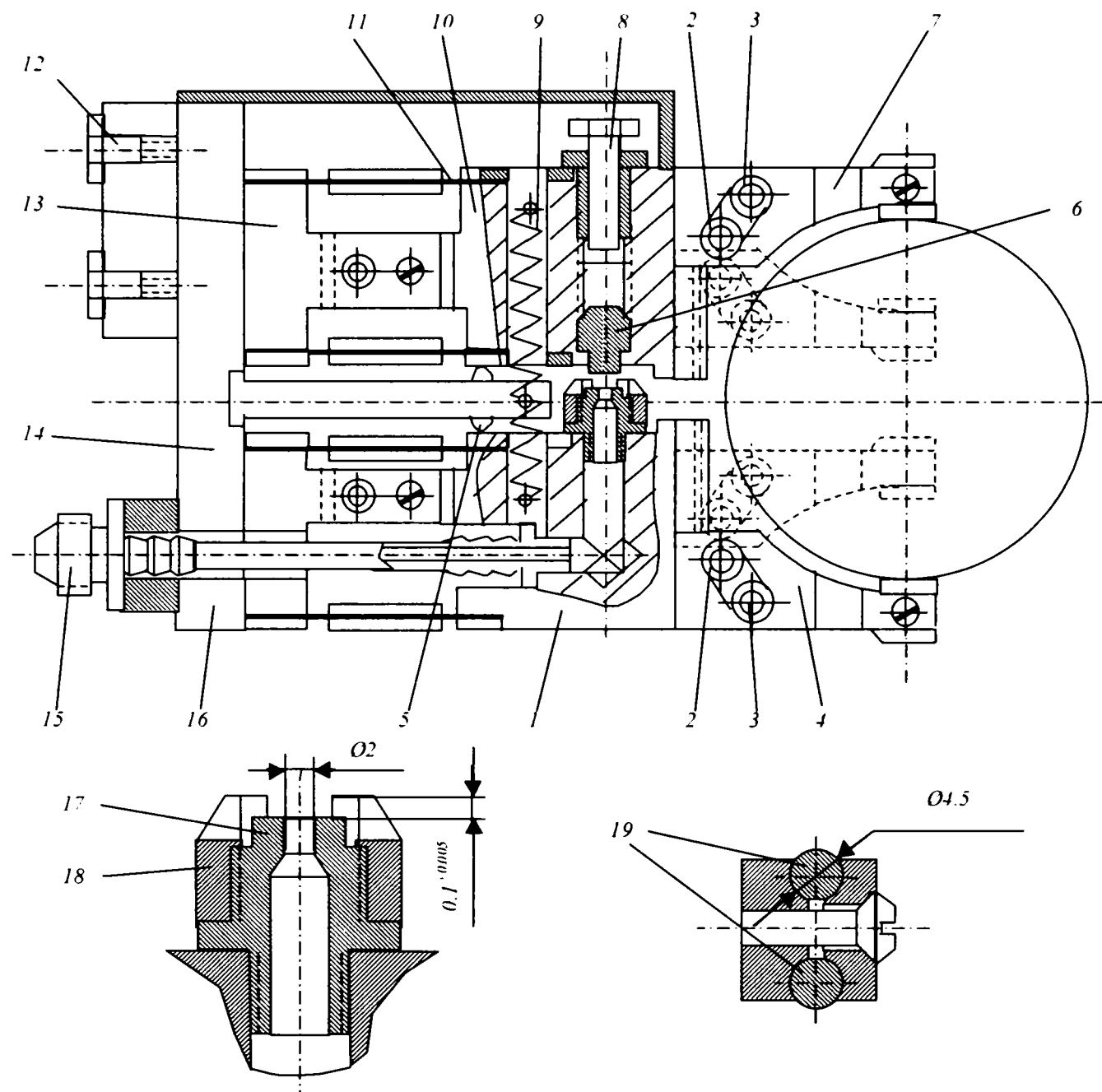
Sistemul este dotat cu un aparat electropneumatic cu patru comenzi redat în detaliu în Fig. 49.

Clapeta de măsurare a aparatului poate asigura controlul atât a suprafețelor cilindrice exterioare cu discontinuități cât și a suprafețelor continue. Diametrul minim care poate fi palpat este de 6 mm iar diametrul maxim controlat este de 60÷70 mm. Întregul subansamblu este construit pe o placă de susținere 14 care are rolul de poziționare și fixare a aparatului pe mașina de lucru (fixarea se realizează cu ajutorul a două șuruburi M6 notate în Fig. 49 cu 12).

Pe placa de susținere sunt montate două structuri elastice ambele având la bază elemente de tip paralelogram cu lamele elastice rigidizate 11. Elementele fixe sunt notate cu 13 și 16 iar elementele libere sunt 1 și 10.

Cărucioarele mobile 1 și 10 au fiecare montate pe suprafața frontală ghidaje sub formă de “coadă de rândunică” pe care se pot deplasa cuțitele 4 și 7. Aceste două cuțite se reglează la poziția corespunzătoare valorii dimensiunii de controlat, reglare realizată cu ajutorul pieselor de reglaj 2, după care se fixează la poziția prestabilă cu ajutorul șuruburilor 3. Pentru controlul pieselor cu diametru mare (30÷70 mm) cuțitele se pun ca în Fig. 49 (poziția redată cu linie continuă) iar pentru controlul reperelor cu diametru mic (6÷30 mm) cuțitele se întorc (poziția redată cu linie punctată).

După poziționarea definitivă a cărucioarelor 1 și 10 reglarea jocului se face cu ajutorul șurubului 6 fixat în corpul căruciorului mobil 10. Șurubul 6 este adus în poziția dorită de către șurubul 8 (șurub care are o formă specială: un capăt conic în legătură directă cu șurubul 6).



- |                                 |                             |   |
|---------------------------------|-----------------------------|---|
| 1. Cărucior mobil inferior      | 13. Cuțit                   | 7. Placă de fixare                      |
| 2. Piesă de reglare a cuțitelor | 14. Șurub cu cap conic      | 8. Duză de intrare                      |
| 3. Șurub de fixare a cuțitelor  | 15. Arc                     | 9. Element fix inferior                 |
| 4. Cuțit                        | 16. Cărucior mobil superior | 10. Duză de măsurare                    |
| 5. Distanțier                   | 17. Lamele elastice         | 11. Duză conducătoare                   |
| 6. Șurub de reglare a jocului   | 18. Șuruburi de fixare (M6) | 12. Bare de fixare $\varnothing 4.5$ mm |
|                                 | 19. Element fix superior    |   |

Fig. 49 Cap de măsurare cu patru comenzi

## 2.3 Precizia obținerii și prelucrării informației de măsurare

### 2.3.1 Mijloace de măsurare

#### 2.3.1.1 Generalități

*Măsurarea* este operația metrologică prin care mărimea fizică de măsurat, al cărui purtător este obiectul de măsurat se compară direct sau indirect cu unitatea de măsură de aceeași natură, încorporată într-un mijloc de măsurare, în scopul stabilirii raportului numeric dintre mărimea de măsurat și unitatea de măsură admisă.

*Principiul de măsurare* reprezintă fenomenul fizic care stă la baza unei măsurări.

*Metoda de măsurare* reprezintă procedee relaționale de executare a operațiilor de măsurare, modurile de aplicare a principiului de măsurare determinat de un fenomen fizic.

*Măsurandul*, obiectul de măsurat, care este purtătorul mărimii de măsurat, transmite o anumită informație “ $Y_i$ ”, numită semnalul sau funcția de intrare în *mijlocul de măsurare*. Acesta o prelucrează și o livrează *receptorului* sub formă semnalului (funcției) de ieșire “ $Y_e$ ”. Cele două semnale se numesc semnale de măsurare.

De altfel, acestea sunt și cele trei elemente care interacționează în timpul unei măsurători:

- ◆ *măsurandul*,
- ◆ *mijlocul de măsurare* și
- ◆ *receptorul*.

*Mijloacele de măsurare* sunt definite ca o combinație de subsansambluri mecanice, electrice, optice, pneumatice, etc, capabile să capteze, să transmită și să emită semnale în scopul măsurării mărimilor fizice.

Un mijloc de măsurare se poate considera ca o “cutie neagră” în care mărimea de intrare este “ $Y_i$ ”, mărimea de ieșire este “ $Y_e$ ”. În multe cazuri aceasta cutie neagră poate fi considerată ca o unitate funcțională de sine stătătoare [49]. Această schemă de funcționare este redată în figura 1.

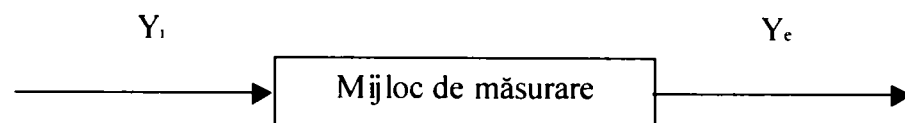


Fig. 50 Schema de funcționare a mijloacelor de măsurare

### 2.3.1.2 Clasificarea mijloacelor de măsurare

În funcție de complexitatea lor, mijloacele de măsurare sunt clasificate astfel [49]:

- ◆ măsurii: acestea materializează unitate de măsură, multiplii sau submultiplii ai acesteia;
- ◆ instrument de măsurare: mijloc de măsurare care permite compararea directă a mărimii de măsurat cu o scară de repere (exemple: șublere, etc.);
- ◆ aparate de măsurare: mijloc de măsurare constituit din asocierea unuia sau mai multor subansambluri traductoare, a unui subansamblu intermediar cu rolul de a adapta și prelucra semnalele de măsurare, și a unui subansamblu de prezentare a rezultatelor măsurării;
- ◆ instalații de măsurare: ansamblu de aparate, măsurii și dispozitive anexă, reunite printr-o schemă sau metodă comună și care servesc la măsurarea unuia sau mai multor parametri;
- ◆ sisteme de măsurare: ansamblu complex de instalații sau aparate de măsurare reunite fie prin natura obiectului de deservit, fie prin prelucrarea centralizată a informațiilor de măsurare.

### 2.3.2 Erorile de măsurare și influența lor asupra preciziei de evaluare a informației de măsurare

Erorile de măsurare sunt erorile care apar în timpul procesului de măsurare. Clasificarea erorilor se poate face în funcție de mai multe criterii [49]:

- ◆ din punct de vedere statistic;
- ◆ al exprimării matematice;
- ◆ al sursei de erori;
- ◆ al operației metrologice (conform STAS 2873-74).

Din punct de vedere statistic, clasificarea erorilor se face ca în tabelul următor:



Întâmplătoare	Au valori și semne diferite deși se folosește: - același mijloc de măsurare - același observator - același timp - aceeași acuratețe și îndemânare - aceeași sensibilitate - aceeași condiții de mediu		Cauze	- erori specifice măsurilor și măsurandului; erori cauzate de mediul înconjurător; erori cauzate de operator - frecări, uzări, jocuri în lagăre și ghidaje, poziția relativă a măsurandului față de măsură, etc
			Înlăturare	- prin măsurări complexe ( $x_i$ , $x_{med}$ , $S$ ) - corectarea măsurării cu corecția $\pm\Delta y$ care reprezintă diferența dintre valoarea efectivă și cea nominală
Sistematice	Cunoscute (stăpânite)	Constante	Cauze	- erori specifice măsurilor și măsurandului; erori cauzate de mediul înconjurător; erori cauzate de operator - erori de ajustare, erori de paralaxa, erori de transfer, etc
		Variabile proporțional		
		Variabile periodic	Înlăturare	- prin compensarea liniară a erorilor - corectarea măsurării cu corecția $\pm\Delta y$ care reprezintă diferența dintre valoarea efectivă și cea nominală
Sistematice	Necunoscute (nestăpânite)	Mărimi și semne necunoscute	Cauze	- erori specifice măsurilor și măsurandului; erori cauzate de mediul înconjurător; erori cauzate de operator; erori datorate variațiilor temporare și locale ale parametrilor constructivi
			Înlăturare	- prin estimarea valorii maxime posibile - prin admiterea valorii $\pm\Delta U_y$ ca parte a impreciziei de măsurare $U_y$

Din punctul de vedere al sursei, erorile sunt clasificate ca în tabelul următor:

<p>Erori aferente principiului de măsurare, elementelor, mecanismelor și subsansamblurilor componente</p>	<p>b</p> <p>Erori din cauza influenței mediului înconjurător</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Temperatura și umiditatea necorespunzătoare</li> <li>◆ Presiune</li> <li>◆ Umiditatea și compoziția aerului necorespunzătoare</li> <li>◆ Tensiune și frecvență</li> <li>◆ Câmpuri electrice și magnetice</li> <li>◆ Forțe de măsurare</li> <li>◆ Iluminare</li> <li>◆ Contrast</li> </ul>
	<p>c</p> <p>Erori din cauza măsurandului</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Erori de formă a suprafețelor</li> <li>◆ Erori de poziționare a suprafețelor</li> <li>◆ Diferite deformații</li> <li>◆ Duritate necorespunzătoare a suprafeței piesei</li> </ul>
	<p>a</p> <p>Erori specifice măsurilor și mijloacului de măsurare</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Eroarea principiului de măsurare și a procedurii de măsurare (nerespectarea principiului ABBE, erori de rotire, etc)</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia dimensiunilor elementelor constructive și mecanismelor care determină planul de măsurare și sensibilitatea</li> <li>◆ Erori provenite din jocuri, divizări, ajustări</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia formei macro și microgeometrice</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia poziției relative a suprafețelor</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia de montaj a elementelor, mecanismelor, mijloacelor de măsurare</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia de materializare a suprafețelor de măsurare și a celor de referință</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia de bazare a piesei de controlat</li> <li>◆ Erori provenite din deformații elastice</li> <li>◆ Erori provenite din imprecizia și deformarea contactului de măsurare</li> <li>◆ Erori de reglare la zero</li> <li>◆ Influența măsurilor, calelor, etc</li> <li>◆ Eroarea caracteristică aparatului de măsurare indicator</li> </ul>
<p>e</p> <p>Variații temporare și locale ale parametrilor constructivi</p>	<p>d</p> <p>Erori din cauza operatorului</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Alegerea necorespunzătoare a metodei și mijloacelor de măsurare</li> <li>◆ Alegerea greșită a planului de măsurare</li> <li>◆ Evaluarea greșită a indicațiilor și rezultatelor măsurării</li> <li>◆ Calități ale observatorului: acuitate vizuală, atenție, apreciere, viteză de reacție, capacitate de acomodare, exercițiu</li> <li>◆ Acuratețea suprafețelor de lucru</li> </ul>

### Clasificarea erorilor

---

O alta modalitate de prezentare a cauzelor erorilor de măsurare este utilizând diagrama cauza-efect (sau diagrama Ishikawa) [8] [15] [16] [37]. Construirea unei diagrame cauza-efect se face clasificând grupele mari de cauze care au o influență asupra efectului considerat.

Practica industrială recomandă utilizarea diagramei 5M ca o modalitate cu aplicabilitate universală proceselor tehnologice. Metoda consideră clasificarea grupelor mari de cauze după cum urmează:

- metoda de lucru: influențele date de metodele de lucru definite, organizarea procesului tehnologic, etc
- materialul procesat: influențele aduse de către variabilitatea în caracteristicile fizice, mecanice, comportarea materialului în diverse condiții de stocare, transport inter-operații, etc
- mașina: influențele date de echipamentul de lucru, mașina-unealtă, dispozitivarea, erorile de prindere ale reperului, etc
- mediul de lucru: influențele date de către modificările aparute în mediul de lucru (modificari de temperatură și/sau umiditate, existența vibrațiilor și șocurilor perturbatoare, gradul de iluminare, etc)
- muncitor: influențele aduse de către operator în urma aplicării în practică a ansamblului de pași de lucru (în strânsă legătură cu competența profesională, abilitățile dovedite și dobândite, motivarea, gradul de încărcare, stresul, atitudinea, etc)

Metoda cauza-efect este o metodologie de analiză în grup (participarea multidisciplinară asigură succesul aplicării metodei). Metoda poate fi combinată cu aplicarea tehnicilor moderne de analiză, cum ar fi brainstorming sau diagrama afinităților (care este o aplicare mai aprofundată a diagramei cauza-efect).

Scopul aplicării acestei metode este acela de a structura familiile și sub-familiile de cauze care influențează un anumit efect scontat. Un alt scop al utilizării diagramei cauze-efect este acela al unui bun management vizual (problemele sunt bine structurate prin vizualizarea familiilor și sub-familiilor). În plus metoda se recomandă a fi aplicată ca un prim pas în construirea unei diagrame Pareto (diagrama A-B-C sau 80-20). Prin realizarea diagramei Pareto se conturează ponderea principalelor cauze și sub-cauze (având ca și criteriu esențial modificările aduse de către cauză asupra efectului analizat)

În cazul nostru efectul este variabilitatea sistemului de măsurare iar grupele mari de cauze sunt [34]:

- standardele de lucru
- reperatele de măsurare
- instrumentul de măsurare

- mediul de lucru
- operatorul

Figura 51 poate fi utilizată ca mijloc de analiză a comportării oricărui echipament de măsurare și inspecție. Ponderea influenței fiecărei cauze sau sub-cauze asupra variației mijlocului de măsurare și inspecție diferă de la caz la caz.

În detaliu cauzele și subcauzele sunt prezentate în diagrama din figura 51:

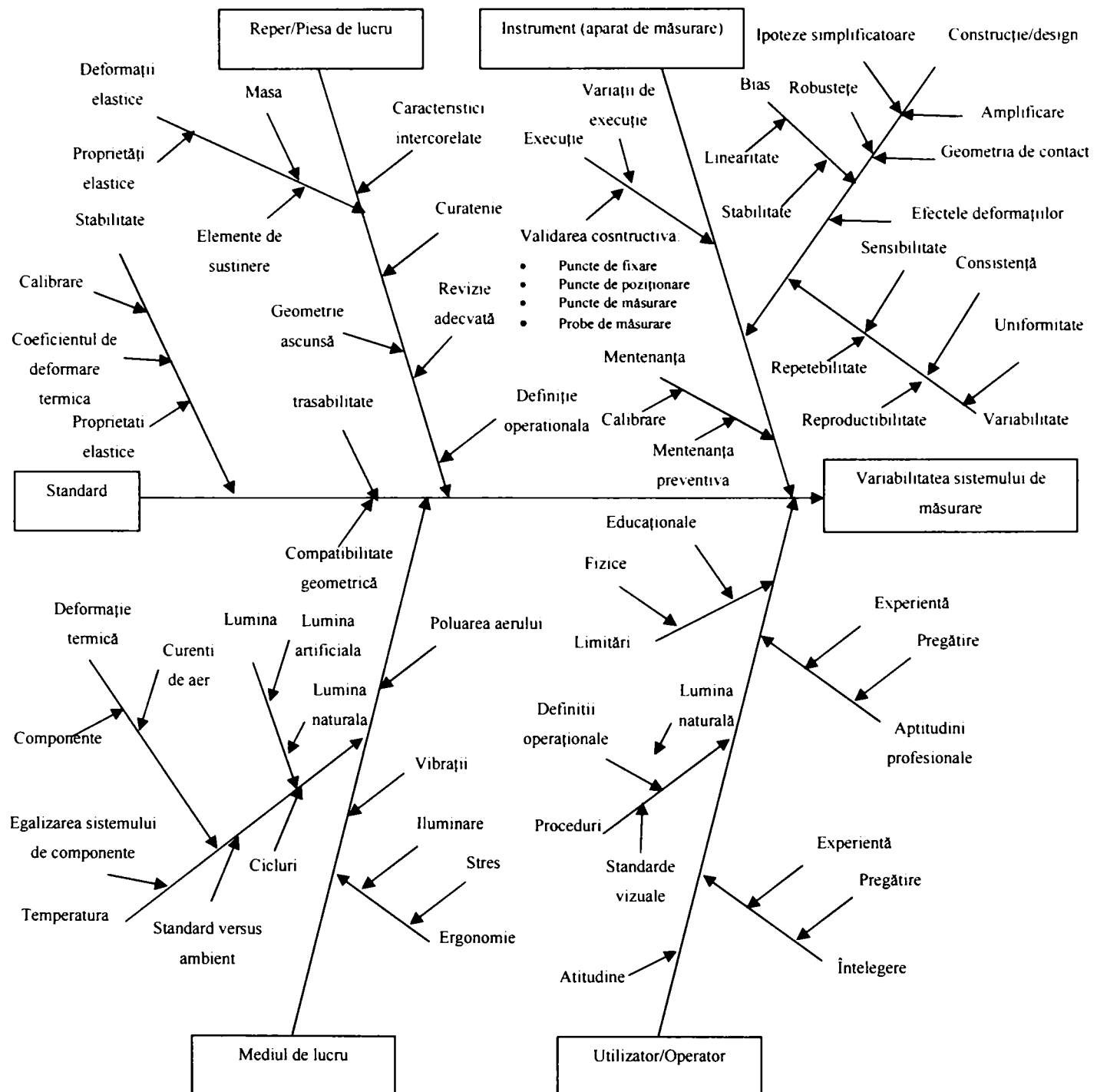


Fig. 51 Diagrama cauză-efect a surselor de proveniență a erorilor de măsurare

### 2.3.3 Erorile de indicație ale mijloacelor de măsurare

Toate erorile mijloacelor de măsurare se manifestă ca erori de indicație [35] [49]. Eroarea de indicație este definită ca diferența dintre indicația mijlocului de măsurare și mărimea reală a măsurandului. Astfel pentru o mărime  $x_{el}$  a măsurandului, mijlocul de măsurare indică o valoare  $x'_{el}$  iar valoarea reală este  $x^r_{el}$ . În acest caz se poate cuantifica eroarea de indicație cu formula:

$$\Delta x_{el} = x'_{el} - x^r_{el} \quad (31)$$

În funcție de regimul de utilizare erorile de indicație pot fi:

- statice;
- dinamice.

În funcție de momentul apariției, erorile sunt:

- erorile de indicație inițiale, erori care sunt determinate cu ocazia verificărilor metrologice și care sunt specificate de către producător în cartea tehnică a aparatului de măsurare;
- erorile de indicație datorate utilizării, erori care apar pe parcursul utilizării datorită diverselor motive legate de:
  - nerespectarea condițiilor metrologice de măsurare;
  - uzura și modificările survenite în timp.

### 2.3.4 Erorile inițiale de indicație

Erorile de indicație sunt date de erorile teoretice, erorile de construcție și erorile datorate forțelor interne.

#### 2.3.4.1 Erorile teoretice ale aparatelor de măsurare

Între caracteristica statică teoretică și caracteristica statică reală a mijloacelor de măsurare există o diferență care își păstrează valoarea indiferent de precizia de execuție a mijlocului de măsurare în cauză [35] [49].

Existența acestui tip de eroare este rezultatul înlocuirii caracteristicii reale cu caracteristicile statice de calcul obținute de cele mai multe ori prin liniarizarea celei reale. În literatura de specialitate sunt date formulele de calcul ale erorilor teoretice pentru cele mai utilizate mecanisme folosite în construcția de aparate de măsurare. Formulele au la baza dezvoltarea în serie a expresiei caracteristicii statice a mecanismului, reținerea primilor termeni ai dezvoltării și compararea caracteristicilor astfel liniarizate cu caracteristicile reale.

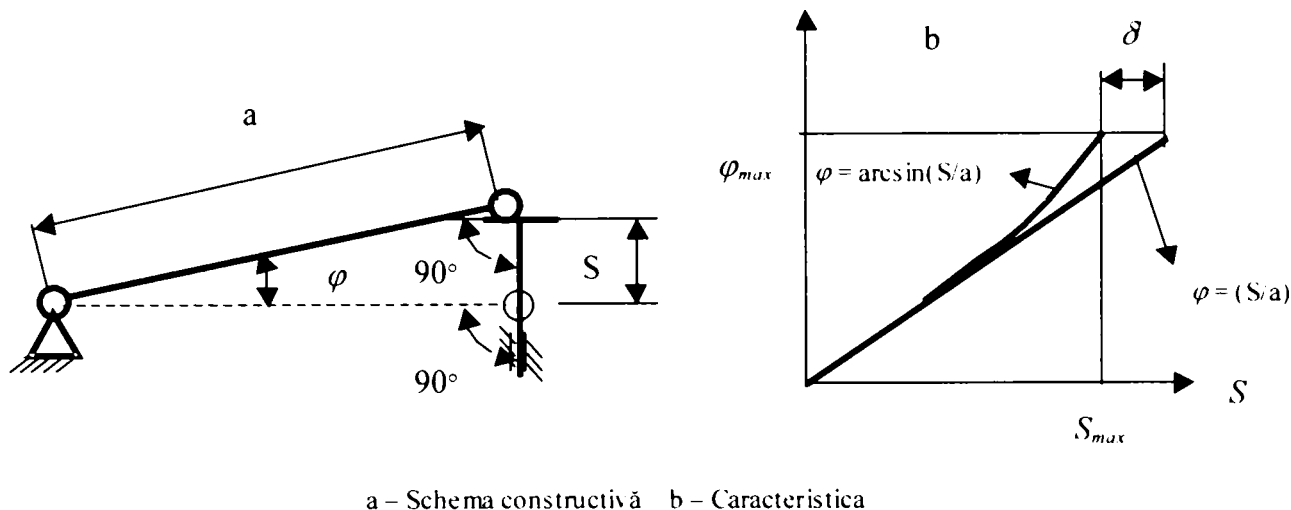
Spre exemplu, în cazul mecanismului sinus caracteristica reală este dată de [35]:

$$\varphi = \arcsin \frac{S}{a}$$

iar cea teoretică este dată de:

$$\varphi = \frac{S}{a} \quad (32)$$

Schema de funcționare și caracteristicile reale și teoretice (liniarizate) sunt reprezentate, pentru acest mecanism, în figura 3 a și b.



a – Schema constructivă b – Caracteristica

Fig. 52 Mecanism sinus

Se observă că eroarea teoretică rezultă din diferența celor două caracteristici.

În general, eroarea teoretică (deliniarizare) a unui subansamblu se calculează cu o expresie de tipul [35]:

$$\delta' = f[x_i] - \bar{S}x_i \quad (33)$$

În relația de mai sus  $\bar{S}$  este sensibilitatea medie sau sensibilitatea adoptată pentru realizarea legii teoretice liniare.

Când subansamblul, care are o eroare teoretică, este parte a unui ansamblu în a cărui configurație apar legături de tip serie și/sau paralel, este necesar să se calculeze valoarea erorii teoretice la ieșirea ansamblului.

Pornind de la relația de mai sus, se poate exprima eroarea teoretică a unui subansamblu  $j$  aflat în structura unui ansamblu de elemente legate în serie:

$$\delta'_j = f[x_{e(j-1)}] - \bar{S}x_{e(j-1)} \quad (34)$$

În această relație  $x_{e(j-1)}$  reprezintă mărimea de ieșire a subansamblului precedent elementului luat în considerare. În ipoteza că toate subansamblele până la  $j-1$  au o caracteristică liniară sau liniarizată, expresia mărimii  $x_{e(j-1)}$  este:

$$x_{e(j-1)} = x_i \prod_{k=1}^{j-1} S_k \quad (35)$$

Expresia erorii teoretice a subansamblului considerat la ieșirea din ansamblu va fi  $E_j'$ :

$$E_j' = \delta_j' \left[ \prod_{k=j+1}^n S_k \right] \quad (36)$$

În cazul legării în paralel a subansamblurilor

$$\delta_j' = E_j' \quad (37)$$

iar eroarea teoretică  $\delta_j'$  se calculează

$$\delta_j' = f[x_j] - \bar{S}x_j \quad (38)$$

Tot în cadrul erorilor teoretice sunt cuprinse și cele datorate liniarizării caracteristicilor de tip histerezis.

#### 2.3.4.2 Erorile constructive

Eroarea constructivă este eroarea datorată variației parametrilor constructivi ai reperelor din structura mijloacelor de măsurare, variațiilor proprietăților materialelor din care sunt executate, etc. Constructorul mijlocului de măsurare precizează câmpurile de toleranțe în care trebuie să se încadreze variațiile respective [35].

În cazul general, caracteristica statică a unui subansamblu este dată de relația dintre mărimea de intrare și o serie de parametrii:

$$x_e = f(x_i, p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (39)$$

Dacă mărimea parametrilor se modifică, la aceeași valoare a mărimii de intrare  $x_i$ , mărimea de ieșire se modifică. Diferența dintre cele două valori ale semnalului de ieșire este chiar eroarea constructivă:

$$\delta^c = f(x_i, p_1 + \Delta p_1, p_2 + \Delta p_2, \dots, p_n + \Delta p_n) - f(x_i, p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (40)$$

Având în vedere că deviațiile  $\Delta p_i$  sunt de obicei mici, expresia erorii constructive poate fi descrisă cu ajutorul diferențialei totale a funcției  $f(x_i, p_1, p_2, \dots, p_n)$ :

$$\delta^c = \left( \frac{\partial f}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 + \left( \frac{\partial f}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial p_n} \right)_0 \Delta p_n = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i \quad (41)$$

Notând derivatele parțiale  $\left( \frac{\partial f}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i$  cu  $\alpha_i$  relația de mai sus devine:

$$\delta^c = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta p_i \quad (42)$$

Un caz particular este cel al mijloacelor de măsurare care prezintă caracteristici statice liniare. Expresia caracteristicii statice a fiecărui subansamblu este dată de relația de mai jos:

$$x_e = Sx_i, \quad (43)$$

unde  $S$  este sensibilitatea subansamblului și este dependentă de parametrii constructivi ai mijlocului de măsurare.

Folosind relația de dependență sensibilitate-parametrii constructivi, caracteristica statică devine:

$$x_i = x_i S(p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (44)$$

Expresia erorii constructive a mijlocului de măsurare este în acest caz:

$$\delta^c = x_i \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial S}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i \quad (45)$$

Folosind aceeași notație ca în cazul general:

$$\left( \frac{\partial f}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i = \alpha_i \quad (46)$$

eroarea constructivă se poate exprima astfel:

$$\delta^c = x_i \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta p_i \quad (47)$$

Calculul erorii constructive totale a unui ansamblu având diferite elemente legate în serie sau în paralel se face utilizând relațiile de calcul al legării în serie sau paralel:

◆ legarea în serie:

◆ eroarea de ieșire a subansamblului respectiv: 
$$\delta_j^c = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f_i}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i \quad (48)$$

◆ eroarea la ieșirea ansamblului: 
$$E_j^c = \delta_j^c \left[ \prod_{g=j+1}^n S_g \right] \quad (49)$$

◆ eroarea constructivă totală: 
$$E^c = \sum_{j+1}^n E_j^c \quad (50)$$

◆ legarea în paralel:

◆ eroarea de ieșire a subansamblului respectiv: 
$$\delta_j^c = x_{e(j-1)} \left[ \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial S_i}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i \right] \quad (51)$$

◆ eroarea la ieșirea ansamblului: 
$$E_j^c = \delta_j^c \quad (52)$$

Pentru exemplificarea implicațiilor variației dimensiunilor elementelor considerăm un mecanism sinus [35]. Trei dintre variațiile dimensiunilor constructive influențează hotărâtor eroarea constructivă:

- ◆ variația lungimii pârghiei ( $\Delta L$ );
- ◆ variația poziției inițiale ( $\Delta \alpha$ );
- ◆ variația înclinării suprafeței de contact ( $\Delta \beta$ ).



Pentru calculul impactului variațiilor asupra mărimii de ieșire se va recurge la Fig. 53:

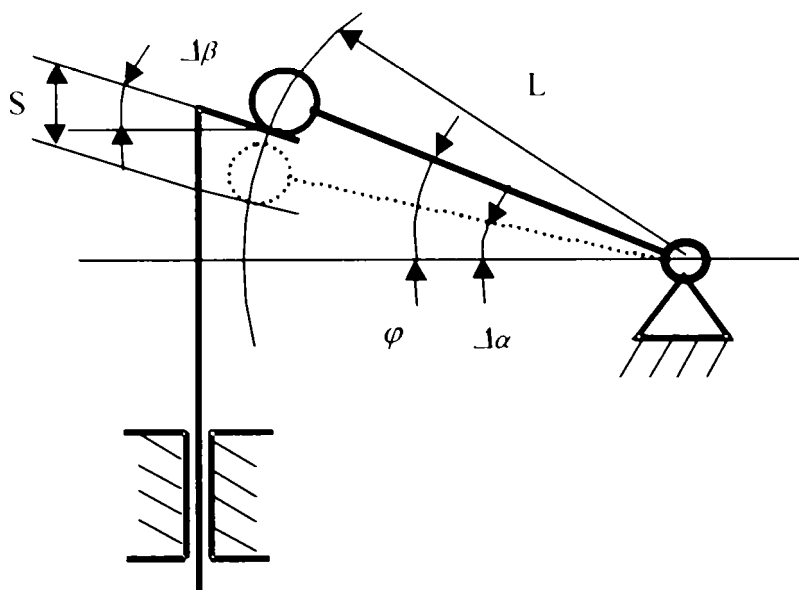


Fig. 53 Mecanism sinus. Influența erorilor constructive

Expresiile rapoartelor de transmitere al erorii la mărimea de ieșire sunt date mai jos:

◆ variația lungimii pârghiei ( $\Delta L$ ): 
$$\frac{\partial \varphi}{\partial L} = -\frac{S}{L^2} - \frac{S^3}{2L^4} \quad (53)$$

◆ variația poziției inițiale ( $\Delta \alpha$ ) 
$$\frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} = \frac{S^2}{2L^2} + \frac{3S^4}{8L^4} \quad (54)$$

◆ variația inclinării suprafeței de contact ( $\Delta \beta$ ): 
$$\frac{\partial \varphi}{\partial \beta} = -\frac{S^2}{2L^2} - \frac{3S^4}{8L^4} \quad (55)$$

### 2.3.4.3 Erorile datorate forțelor interne

Erorile datorate forțelor interne se manifesta mai ales în cazul mijloacelor de măsurare cu transmisie mecanică, acestea având la intrare forțe sau cupluri. Mărimea rezultantei forțelor interne influențează în special asupra mărimii sensibilității mijlocului de măsurare [35] [49].

În general, folosirea mijloacelor de măsurare cu contact mecanic este caracterizat de o eroare de măsurare cauzată de forța de măsurare și de greutatea proprie a măsurandului sub forma de deformații de încovoiere și de aplatizare a contactului de măsurare.

Forța de măsurare, cauza acestor tipuri de erori, este definită ca rezultanta forțelor date de elementele elastice, forțele de frecare și greutatea maselor în mișcare la măsurare.

#### 2.3.4.3.1 Erorile datorate deformațiilor macrogeometrice cauzate de greutatea proprie a măsurandului și de forța de măsurare.

În general forța de măsurare are valori cuprinse între 30 cN și 300 cN. Anumite mijloace de măsurare asigură valori și mai mici ale forței de măsurare de (5÷10) cN. Condiția pe care trebuie să

o îndeplinească mijlocul de măsurare este aceea de limitare a forței de măsurare, astfel ca să nu inducă deformații macrogeometrice ale sistemului măsurand/măsură.

Fig 54 prezintă variația forței statice de măsurare (sub forma generalizată) [49]:

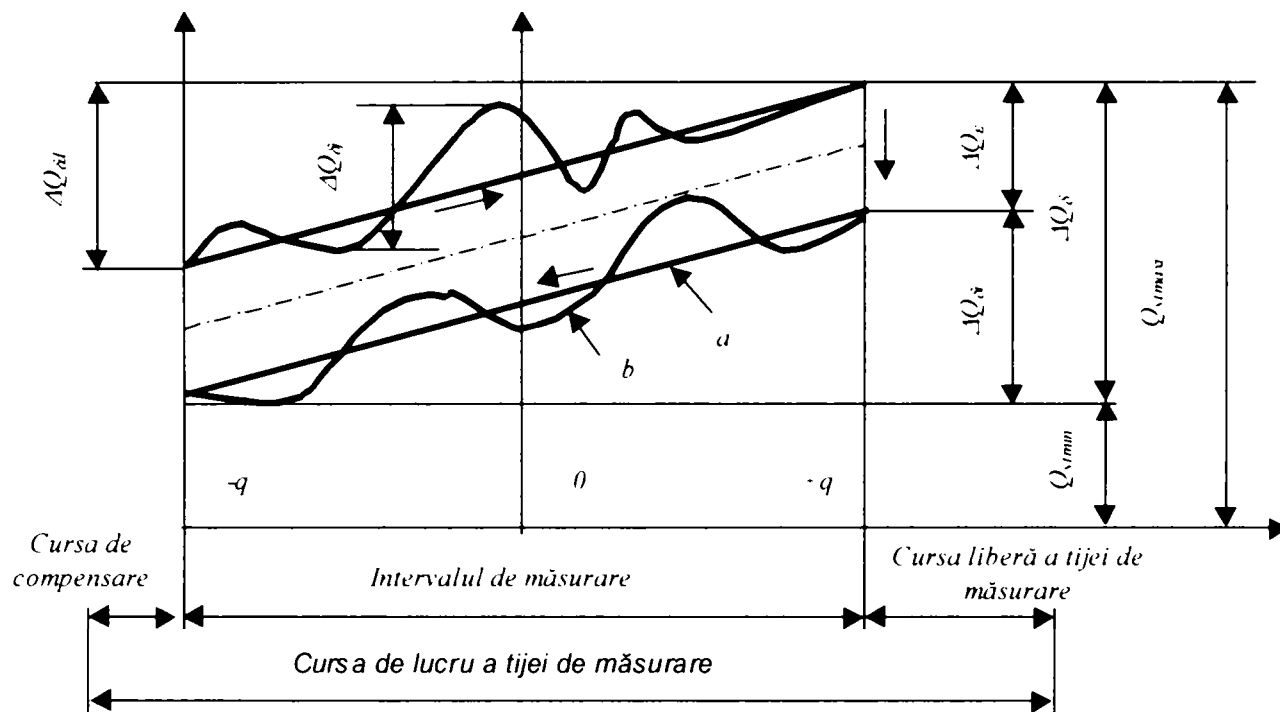


Fig. 54 Variația forței de măsurare

În aceasta figură s-au folosit următoarele notații:

- ◆  $Q_{stmax}$ : forța maximă de măsurare
- ◆  $Q_{stmin}$ : forța minimă de măsurare
- ◆  $\Delta Q_{\delta}$ : variația totală
- ◆  $\Delta Q_{\delta f}, \Delta Q_{\delta d}$ : variația pentru cursa de dus respectiv de întors a tijei de măsurare
- ◆  $\Delta Q_{\epsilon}$ : variația forței de măsurare la schimbarea sensului de mișcare a tijei de măsurare
- ◆  $\Delta Q_{\delta l}$ : variația locală

Forța maximă de măsurare  $Q_{stmax}$  determină în primul rând gama posibilităților de utilizare ale mijlocului de măsurare prin limitarea comprimării, încovoierii sau flambării măsurandului/măsurii.

Variațiile totale ale forței de măsurare  $\Delta Q_{\delta}$  limitează domeniul de utilizare ale mijloacelor de măsurare în funcție de încovoierea întregului sistem de măsurare.

Influența variației forței de măsurare la schimbarea sensului de măsurare  $\Delta Q_{\epsilon}$  induce erori suplimentare în special la măsurarea formei geometrice. Pe lângă aceasta eroare, variația forței de măsurare la schimbarea cursei tijei duce, la fel ca și variația totală a forței de măsurare  $\Delta Q_{\delta}$ , la variații ale încovoierii subansamblului măsurand/măsură.

Variațiile locale ale forței de măsurare  $\Delta Q_s$  sunt specifice sistemelor care au cel puțin o treptă de amplificare cu roți dințate. Aceste variații sunt induse de inconstanța forțelor de angrenare. În general, se impune o limitare a acestor variații locale la  $1 \div 5$  diviziuni.

#### **2.3.4.3.2 Erorile datorate deformațiilor microgeometrice ale suprafeței măsurandului/măsurii**

Deformarea contactului de măsurare (sau aplatizarea contactului de măsurare) este în bună parte generată de energia transmisă în spațiul de contact măsurand/măsură, în funcție de valoarea acestei energii, contactul își pierde caracterul elastic, devenind elastoplastic sau chiar plastic [49].

### **2.4 Erorile de indicație datorate utilizării**

Erorile de indicație datorate utilizării sunt acele erori care apar la beneficiar și sunt cauzate de diverși factori:

- ◆ din cauza modificărilor survenite în timp asupra parametrilor funcționali ai diverselor subansambluri componente;
- ◆ din cauza condițiilor de utilizare ale utilizatorului;

Erorile datorate modificărilor survenite în timp asupra parametrilor funcționali ai diverselor subansambluri aflate în construcția mijloacelor de măsurare au o variație crescătoare și duc în final la depășirea erorilor de indicație admise și deci la defectarea mijlocului de măsurare. Ele sunt evaluate de obicei statistic (prin urmărirea variațiilor caracteristicilor metrologice în timp).

Condițiile normale de determinare reprezintă valorile sau domeniile de referință ale parametrilor care caracterizează mediul ambiant. Acestea se aleg în mod convențional și se standardizează (STAS 6300-74) [35] [49].

În cele ce urmează, pornind de la prevederile standardelor în vigoare, prin atmosfera standard de referință se înțelege:

- ◆ temperatură de  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- ◆ presiune  $101\,325\text{ Nm}^{-2} = 760\text{ mm col Hg}$ ;
- ◆ accelerația normală a căderii libere în vid la altitudinea zero metri și latitudinea geografică de  $45^{\circ}$  de  $g=9,80665\text{ ms}^{-2}$  (STAS 2848-72);
- ◆ umiditate relativă de 65%;
- ◆ absența câmpurilor electrice și magnetice .

Pentru ceilalți factori (vibrații, iluminat, zgomot, componenta și acuratețea aerului) care pot influența de asemenea considerabil rezultatul măsurării nu s-au stabilit încă condiții de referință. În cazul acestor parametri este necesară completa descriere de către proiectantul mijlocului de măsurare a condițiilor în care se face măsurarea.

Erorile cauzate de modul de utilizare a mijlocului de măsurare sunt cel mai bine reprezentate de către:

- ◆ erorile de temperatură;
- ◆ erorile datorate umidității aerului;
- ◆ erorile datorate iluminării;
- ◆ erorile datorate vibrațiilor;
- ◆ erorile cauzate de către zgomotele electrice;

Caracteristic acestor ultime tipuri de erori este faptul că au o durată comparabilă cu cea a factorilor perturbatori și de cele mai multe ori încetează la dispariția cauzelor care le-au generat.

Erorile datorate umidității aerului și datorate iluminării sunt erori, de regulă, cu pondere mică și pot fi eliminate prin efectuarea de măsuratori în mediul de lucru.

O pondere semnificativă o au în schimb celelalte tipuri de erori (datorate temperaturii, vibrațiilor, zgomotelor electrice).

#### **2.4.1 Erorile de temperatură**

Temperatura mediului standard este stabilită la valoarea de 20°C. Utilizarea mijloacelor de măsurare la o altă temperatură decât cea standard influențează rezultatul măsurării prin variația parametrilor care stau la baza principiului de măsurare. Erorile datorate temperaturii sunt erori sistematice și pot fi calculate, și respectiv compensate. Pentru aceasta este necesar să se cunoască legea de variație a parametrilor cu temperatura. În calcul se ține seama de [35] [49]:

- ◆ Temperatura la care se face măsurarea;
- ◆ Temperatura măsurandului;
- ◆ Temperatura la care s-a făcut etalonarea;

Situația ideală este aceea în care toate elementele sistemului măsurand/măsură au temperatura de 20°C. În practică însă, acest lucru este greu realizabil și cu atât mai mult în cazul liniilor automate de prelucrare unde măsurarea are loc în ciclul de lucru. În această ultimă situație condițiile de măsurare sunt:

- ◆ Piesa are temperatura apropiată de cea rezultată din prelucrare (atunci când nu se face racirea prealabilă a măsurandului);
- ◆ Etaloanele au temperatura apropiată de cea a mediului ambiant (etalonarea se face la o temperatură diferită de cea standard, etaloanele având o altă valoare decât cea măsurată la 20°C);

Variația unui parametru caracteristic mijlocului de măsurare este de obicei o funcție liniară cu temperatura și are forma generală:

$$p_i = p_{0i}(1 + \alpha_i \Delta t) \quad (56)$$

iar eroarea parametrului se determină cu relația:

$$\Delta p_i = p_{0i} \alpha_i \Delta t \quad (57)$$

Aceste relații permit stabilirea erorii totale:

$$\delta_{icomp} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial p_i} \right)_0 \Delta p_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial p_i} \right)_0 p_{0i} \alpha_i \Delta t \quad (58)$$

Această eroare fiind una sistematică, eliminarea ei se face prin compensarea:

$$\delta_{icomp} = 0 \quad (59)$$

În cazul în care măsurandul și/sau măsura au temperaturi diferite de cea standard, se poate elimina eroarea datorată temperaturii prin:

- ◆ Aducerea elementelor menționate mai sus la temperatura standard de 20°C;
- ◆ Corectarea rezultatului măsurării prin compensare.

#### 2.4.2 Erorile datorate zgomotelor electrice

În cazul sistemelor de control bazate pe prelucrarea unor semnale electrice se manifestă un alt tip de eroare specifică cauzată de zgomotele electrice [35] [49].

Zgomotele electrice sunt acțiuni perturbatoare care se suprapun peste semnalul electric purtător al informației de măsurare.

Clasificarea zgomotelor electrice se face după originea lor și după legea de variație care o respectă. După origine zgomotele electrice sunt clasificate astfel:

- ◆ Zgomote electrice exterioare;
- ◆ Zgomote electrice interioare.

După legea de variație în timp, zgomotele electrice sunt:

- ◆ Cu spectru de frecvență îngust (de exemplu: frecvența rețelei);
- ◆ Sub formă de impulsuri (de exemplu: descărcări electrice, întreruperi de circuite, comutație);
- ◆ Fluctuante.

Zgomotele electrice exterioare se pot elimina sau atenua printr-o ecranare corespunzătoare, filtrarea circuitelor de alimentare și a semnalelor, printr-o modulare adecvată, etc.

Zgomotele interioare provin din fenomenele fizice legate de funcționarea normală a dispozitivelor și circuitelor electronice. Ele nu se pot elimina complet. Comportarea mijlocului de

măsurare în prezența acestor zgomote electrice interioare condiționează limita inferioară a mărimii semnalului care poate fi prelucrat de subansamblul electronic respectiv.

### 2.4.3 Erorile datorate vibrațiilor

Utilizarea mijloacelor de măsurare în condiții de vibrații poate duce la apariția unor perturbații ale semnalelor de măsurare [35] [49]. Eliminarea acestor efecte negative se face prin izolarea mecanică a sistemului măsurand/măsură.

Alte măsuri de limitare a influenței vibrațiilor sunt:

- ◆ Alegerea unor frecvențe proprii diferite de cele ale factorilor perturbatori;
- ◆ Utilizarea unor mase în mișcare de valori cât mai reduse.

## 2.5 Obiectivele tezei

Domeniul cercetării realizate este centrat pe automatizarea controlului calității. În condițiile în care sistemele de producție sunt din ce în ce mai complexe, problemele legate de noncalitate capătă o importanță tot mai mare. Datorită progresului tehnic și exigenței crescânde a beneficiarilor, asigurarea unui nivel ridicat al calității este de neconceput fără existența unui sistem de control care să furnizeze la timp informații în legătură cu desfășurarea procesului de fabricație și care să intervină operativ și eficient pentru înlăturarea cauzelor perturbatoare din sistemul de producție.

În cadrul lucrării s-au avut în vedere următoarele obiective principale:

- Extinderea domeniului de aplicabilitate a traductoarelor pneumatice prin dezvoltarea unui traductor pneumo-capacitiv cu facilități de integrare mai ușoară în sisteme de automatizare a controlului calității
- Dezvoltarea unui sistem informatic capabil să proceseze date colectate din diverse faze ale procesului de fabricație cu scopul obținerii operative de rapoarte referitoare la calitatea proceselor de fabricație și a produselor finite și conducere cu ajutorul calculatorului electronic a proceselor tehnologice. Informațiile luate din aceste rapoarte permit luarea unor decizii în legătură cu prevenirea și eliminarea factorilor care perturbă procesele tehnologice, descoperirea cauzelor care pot duce la pierderi de producție, produse rebutate sau declassate, obținerea nivelului tehnic și calitativ cerut de beneficiarii produselor. Un astfel de sistem trebuie să poată funcționa în buclă deschisă (off-line), corecțiile parametrilor procesului de fabricație fiind efectuate de către personalul care supraveghează procesul respectiv pe baza informațiilor furnizate de calculatorul electronic sau în buclă închisă (on-line), corecțiile parametrilor fiind efectuate de către calculatorul electronic prin intermediul unor dispozitive speciale.

## **3 Structura mijloacelor de control activ**

### **3.1 Considerații generale**

#### **3.1.1 Aspecte generale și concepte de bază**

Modernizarea și perfecționarea tehnologiilor de prelucrare și a mașinilor-unelte aferente, diversificarea mare a tipodimensiunilor pieselor prelucrate precum și evoluția microelectronicii, automatizării avansate, a informaticii și sistemelor numerice de procesare a datelor au condus la o creștere accentuată a importanței performanțelor măsurătorilor și controlului automat în cadrul sistemelor de prelucrare mecanice.

Pentru corecta înțelegere a diverselor aspecte legate de sistemele de control automat integrate în liniile de prelucrare (rigide sau flexibile) este necesară introducerea și precizarea unor noțiuni și elemente de bază despre sistemele automate.

Controlul activ constă în conducerea procesului de prelucrare după rezultatele măsurătorilor efectuate asupra piesei sau după rezultatele observațiilor facute asupra stării mijloacelor de producție.

În general structura unui sistem automat cuprinde două părți principale distincte:

- instalația automatizată sau obiectul automatizat: sistemul tehnic sau instalația tehnologică ce constituie scopul uneia sau mai multor funcții de automatizare (de reglare, comanda, control, protecție, optimizare, etc)
- instalația de automatizare sau dispozitivul de automatizare: totalitatea aparatelor și elementelor cu ajutorul cărora se realizează funcția sau funcțiile de automatizare.

#### **3.1.2 Clasificarea sistemelor de control automat activ**

Dispozitivele de control automat activ acționează asupra mașinii-unelte în procesul de prelucrare a piesei, funcție de valoarea măsurată a dimensiunii care se prelucrează modificând desfășurarea procesului de prelucrare în scopul obținerii pieselor în limitele prescrise.

Dispozitivele de control automat activ sunt de mai multe tipuri:

- dispozitive pentru controlul pieselor în procesul de prelucrare: care au rolul de a întrerupe prelucrarea când piesa ajunge la dimensiunea stabilită sau de a schimba automat regimul de prelucrare în acest moment
- dispozitive regloare: au rolul de a acționa asupra organelor de lucru ale mașinii-unelte după măsurarea pieselor care au fost prelucrate.
- dispozitive de blocare și protecție: au rolul de a opri mașina sau a întrerupe alimentarea cu semifabricate în cazul ruperii sculei așchietoare, în cazul alimentării

cu semifabricate necorespunzătoare sau în alte situații care pot provoca deteriorarea utilajului.

### 3.1.3 Conceperea sistemelor de control automat

Ca în cazul oricăror activități economice, competitivitatea și succesul și în cazul conceperii sistemelor de control automat este condiționat de îndeplinirea a patru condiții:

- calitate
- productivitate
- flexibilitate
- rentabilitate

Având în vedere complexitatea problematicii controlului dimensional în liniile de prelucrare mecanice, conceperea sistemelor de control automat sunt realizate de către colective multidisciplinare care se află într-un dialog permanent cu specialiștii care proiectează linia de prelucrare, intervenind uneori chiar la proiectarea reperului și a tehnologiei de fabricație.

Mai jos este redat un sistem modern de control automat realizat de firma Renishaw (Anglia).

Fig. 55 Sistemul QC10 ballbar system

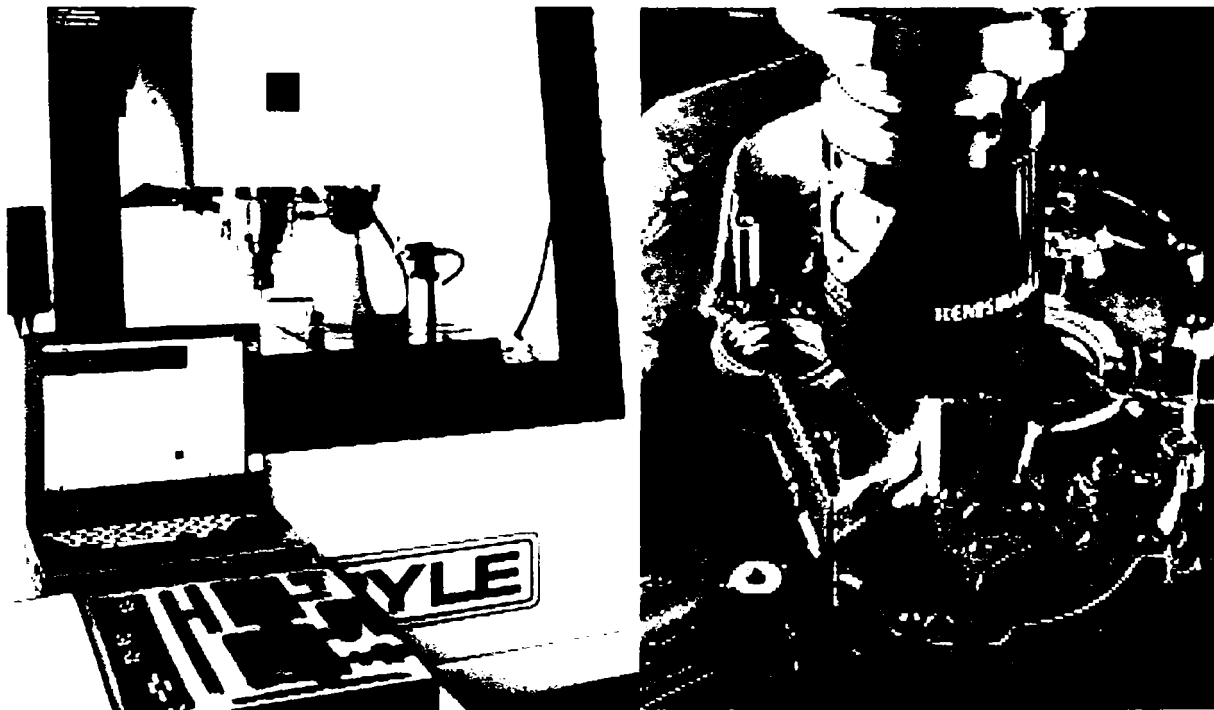


Fig. 56 Exemplu de control al unui reper complex realizat de către un sistem de control automat

După cum se observă din Fig. 55, sistemul de control automat este unul complex, care trebuie:

- să realizeze funcțiile de bază ale sistemelor de control



- să răspundă în timp real condițiilor impuse de conducere a procesului de prelucrare
- să îndeplinească cerințele de ergonomie a spațiului de prelucrare

Fig. 56 arată în detaliu modul de realizare a măsurării unui reper complex de către un palpator Renishaw, miezul oricărui sistem de control automat.

Sistemele de control automat propuse de către firmele specializate (similare celor prezentate în Fig. 55 și Fig. 56) asigură:

- reducerea rebuturilor nerecuperabile și a opririlor accidentale ale mașinilor-unelte prin controlul performanțelor mașinii înainte de prelucrarea reperelor
- planificarea mentenanței preventive
- creșterea performanței mașinii-unelte
- creșterea productivității mașinii-unelte

## **3.2 Structura mijloacelor de control activ**

### **3.2.1 Elementele constructive ale mijloacelor de control activ**

Aparatele clasice de control activ au în structura lor următoarele elemente [39]:

- Capul de măsurare
- Dispozitivul de introducere, menținere și retragere din zona de măsurare
- Unitatea electronică de achiziție, prelucrare, afisare și comandă

În continuare vom face câteva considerații referitoare la fiecare dintre aceste elemente.

### **3.2.2 Capul de măsurare**

Capul de măsurare este elementul care urmărește continuu sau intermitent evoluția dimensiunii care se prelucurează și convertește mărimea sesizată într-o mărime electrică (specifică tipului de traductor utilizat) pe care o transmite unității electronice pentru prelucrare [39].

Acesta are la rândul său în structură:

- Elemente de contactare
- Elemente de urmărire
- Traductoare
- Elemente de amortizare a vibrațiilor
- Elemente de protecție

### 3.2.2.1 Elemente de contactare

Controlul activ tradițional se realizează prin contactul cu suprafața care se prelucurează prin intermediul unor elemente specifice de contactare [39]. Forma și dimensiunile elementelor de contactare sunt influențate de forma și dimensiunile suprafeței prelucrate.

Elementele de contactare cele mai utilizate sunt:

- Palpatoare sferice
- Palpatoare cilindrice
- Palpatoare tip cuțit
- Palpatoare profilate (pentru suprafețe întrerupte)
- Palpatoare cu role
- Palpatore tip vârf

### 3.2.2.2 Palpatoare sferice

Acestea sunt recomandate pentru suprafețe exterioare prelucrate pe mașini de rectificat rotund exterior sau mașini de rectificat fără centre.

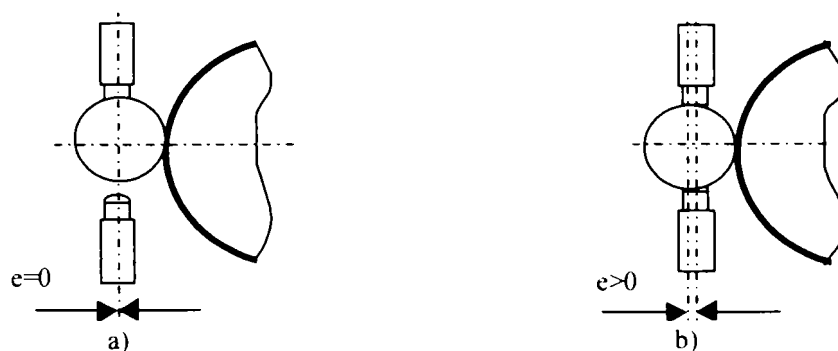


Fig. 57

În figura 57 este prezentat un sistem de control cu palpatoare sferice. Dezavantajul acestui tip de palpate este faptul că excentricitatea rezultată în urma montajului sau execuției acestuia poate să afecteze precizia de măsurare (fig 57 b).

Pentru a evita această influență asupra rezultatului final se impune menținerea excentricității constante la valori mai mici decât 0,05 mm.

### 3.2.2.3 Palpatoare cilindrice

Acest tip de palpator elimină imprecizia indusă de excentricitatea rezultată în urma montajului (dezavantaj specific palpatoarelor sferice).

În figura 58 este prezentat un sistem de palpate cu palpatoare cilindrice:

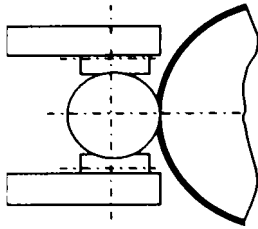


Fig. 58 Sistem de palpare cu palpatoare cilindrice

#### 3.2.2.4 *Palpatoare tip cuțit*

Palpatoarele de tip cuțit au suprafețele de palpare paralele între ele.

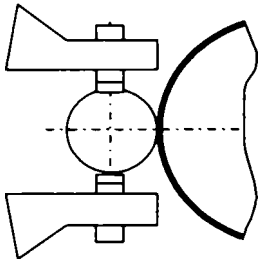


Fig. 59

#### 3.2.2.5 *Palpatoare profilate*

Palpatoarele profilate se folosesc pentru controlul suprafețelor discontinue. Palpatoarele sunt realizate astfel încât discontinuitățile suprafeței prelucrate să nu influențeze rezultatul măsurării.

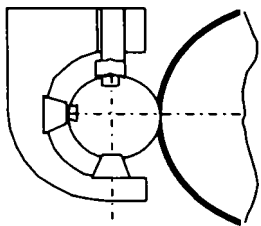


Fig. 60 Sistem de palpare cu palpatoare profilate

#### 3.2.2.6 *Palpatoare cu role*

Acest tip de palpator este folosit în special pentru suprafețe plane laminate (pentru controlul benzilor sau tablelor).

Rolele pot fi fixe sau mobile.

Dacă baza de măsurare este precisă se poate utiliza un sistem de control format dintr-o rolă și un vârf de diamant.

Rolele mobile de palpare prezintă avantajul unei uzuri reduse (datorate frecării de rostogolire). Dintre dezavantaje cel mai important este cel al influenței asupra fidelității

măsurătorilor a erorilor de prelucrare (ex: bătaia radială trebuie să fie sub 0,002 mm pentru a nu influența măsurătorile).

Precizia măsurării cu role cu varf de diamant este și ea influențată de impreciziile de execuție și de montare a sistemului de control. Cea mai mare influență o are bătaia radială a cilindrului de întindere.

În figura 61 a este prezentată structura unui sistem de control cu role mobile iar în figura 61 b aceea a unui sistem cu vârful de diamant.

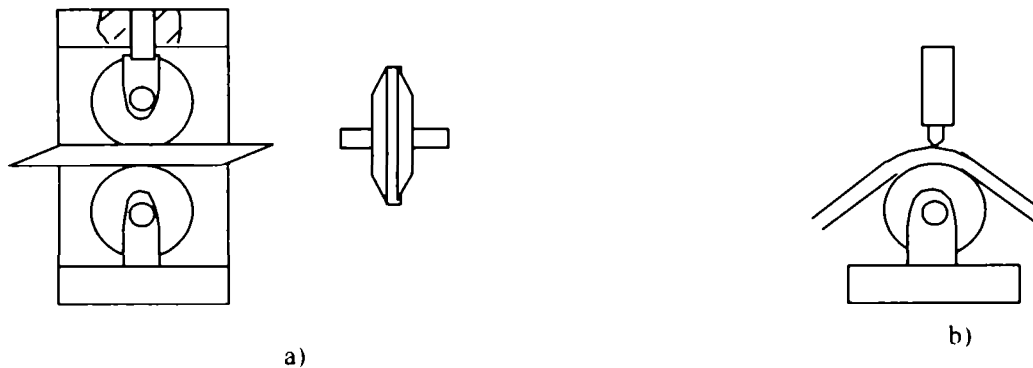


Fig. 61 Sistem de control cu role și cu vârful de diamant

Tot palpatoarele cu role se folosesc și pentru măsurarea suprafețelor plane discontinue (figura 62 a). În acest caz rolele sunt conice (figura 62 b).

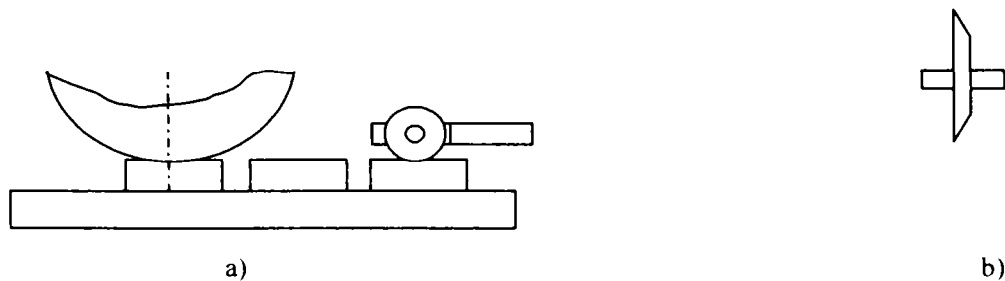


Fig. 62 Sistem de control cu role conice

### 3.2.2.7 *Palpatoare tip vârful*

Pentru palparea suprafețelor cilindrice interioare se folosesc palpatoarele tip vârful. Aceste palpatoarele sunt profilate funcție de suprafața prelucrată, palparea propriu-zisă se realizează de obicei cu un vârful de diamant cu raza la vârful  $R_{vf} \leq 0,2$  mm. Forțele de contact sunt menținute la valori cuprinse între 50 și 75 cN. Prin aceasta se evită ca deformările elastice să influențeze rezultatele finale ale măsurătorilor.

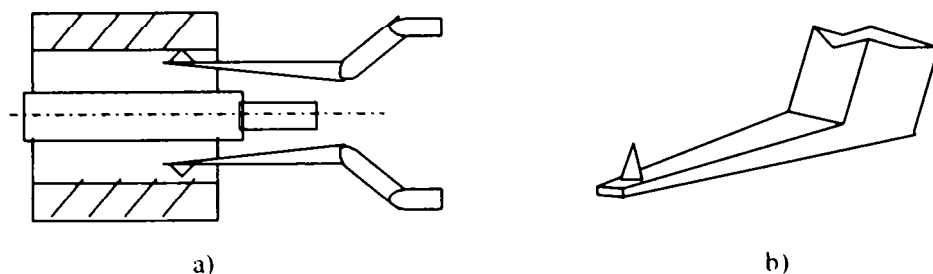


Fig. 63 Sistem de control cu palpatoare tip vârf

Elementele de contactare trebuie să îndeplinească o serie de caracteristici tehnico-funcționale:

- Gabarit mic (în general  $R_{sf} = 1,5 \div 2 \text{ mm}$ ;  $d_{rola} = 3 \div 4 \text{ mm}$ );
- Rugozitatea suprafețelor active  $R_a \leq 0,0001 \text{ mm}$ ;
- Rezistență mare la uzură;
- Duritate ridicată;
- Coeficient de dilatație termică redus.

Materialele care îndeplinesc aceste cerințe sunt carburile metalice de tipul K05, K10, K15, K30. Caracteristicile câtorva carburi metalice sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tip carbura	Structura	Densitate	Duritate Vickers	Rezistența la comprimare	Modul de elasticitate
K10	92% carbura wolfram	14,8 g/cm <sup>2</sup>	1500 N/mm <sup>2</sup>	5800 N/mm <sup>2</sup>	630000 N/mm <sup>2</sup>
K30	91% carbura wolfram	14,6 g/cm <sup>2</sup>	2000 N/mm <sup>2</sup>	5000 N/mm <sup>2</sup>	590000 N/mm <sup>2</sup>

### 3.2.3 Elemente de urmărire

#### 3.2.3.1 Clasificare. Cerințe generale

Elementele de urmărire se diferențiază, constructiv și funcțional, după metoda de măsurare, astfel [39]:

- elemente de urmărire cu mecanism tip paralelogram cu lamele elastice
- elemente de urmărire cu pârghie oscilantă cu articulație în cruce
- elemente de urmărire cu sănii sau coloane mobile, ghidate pe bile, role, rulmenți

Elementele de urmărire cu mecanism tip paralelogram sau cu pârghie oscilantă sunt destinate metodei comparative de măsurare, asigurând deplasări pe intervale mici ( $0,4 \div 0,6 \text{ mm}$ ).

---

Extinderea intervalelor de măsurare se face prin intercalarea unor mecanisme de translație, portpalpatoare, fixate la partea mobilă. În acest caz, cursa maximă este de 120mm.

Elementele de urmărire cu sănii sau coloane mobile se folosesc în special la aparate de control dimensional având la bază metoda absolută. Deplasările realizate sunt de ordinul (100÷200 mm).

Principial, elementul de urmărire preia variațiile dimensionale ale piesei prelucrate fie printr-o deplasare liniară (mișcare de translație) fie printr-o deplasare unghiulară (mișcare de rotație). Această deplasare este transmisă traductorului de măsurare, care o convertește într-o mărime electrică.

Indiferent de tipul elementului de urmărire, acesta trebuie să asigure îndeplinirea următoarelor cerințe funcționale:

- deplasările realizate să fie exacte
- deplasările să fie repetabile
- deplasările să aibe rezoluție de poziționare.

Primele două cerințe funcționale sunt caracteristice modului în care elementul de urmărire se deplasează în lungul direcției dorite, în timp ce ultima cerință caracterizează cele mai fine deplasări care se pot realiza cu ajutorul mecanismelor portpalpatoare.

În continuare se prezintă pe larg cele trei tipuri de elemente de urmărire menționate mai sus.

### 3.2.3.2 Elemente de urmărire de tip paralelogram cu lamele elastice

#### 3.2.3.2.1 Structura, elemente constructive

Acest tip de elemente de urmărire produc o mișcare de translație atunci când sunt deformate elastic [39]. Utilizarea lor în construcția de aparate de măsurare este determinată de următoarele avantaje:

- Lipsa jocului
- Rigiditate ridicată
- Capacitate de încărcare bună
- Frecare zero (datorită lipsei oricărui tip de frecare, de rostogolire sau de alunecare, uzură lipsește și durabilitatea este foarte ridicată)
- Rezistență la soc
- Imunitate la contaminare (praf, lichide, etc)
- Întreținere ieftină
- Variațiile de temperatură nu influențează măsurătorile

Dintre dezavantaje se menționează doar:

- Interval mic de măsurare ( $0,2 \div 1$  mm)
- Răsucire a părții mobile a elementului de urmărire în cazul încărcărilor longitudinale

Ghidajul cu elemente elastice este format dintr-un ansamblu de două lamele paralele încastrate la ambele capete. Una dintre încastrări este fixată la carcasa aparatului iar cealaltă poartă brațul palpator.

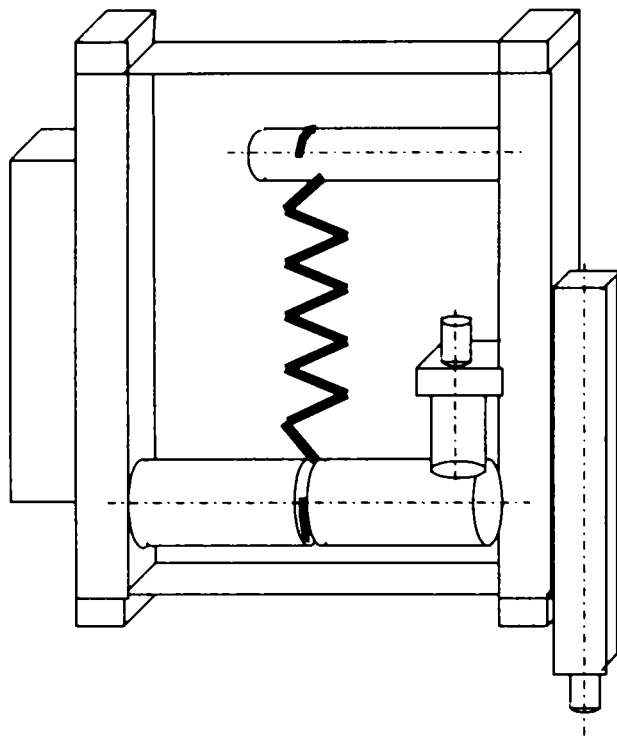


Fig. 64 Ghidaj cu elemente elastice

Deplasarea pe direcția x este:

$$x = (P * l^3) / (24 * H_0) \quad (60)$$

Deplasarea după direcția y este:

$$y = (P^2 * l^5) / (960 * H_0^2), \quad (61)$$

unde:

$P$  este forța de deformare elastică;

$H_0$  reprezintă rigiditatea la încovoiere și este dată de relația:

$$H_0 = E * I$$

$E$  fiind modulul de elasticitate iar  $I$  momentul de inerție.

Traectoria unui punct de pe elementul mobil este dată de relația:

$$y = f(x) \quad (62)$$

care în cazul de mai sus este:

$$y = [3 * (5 * I)] / x^2 \quad (63)$$



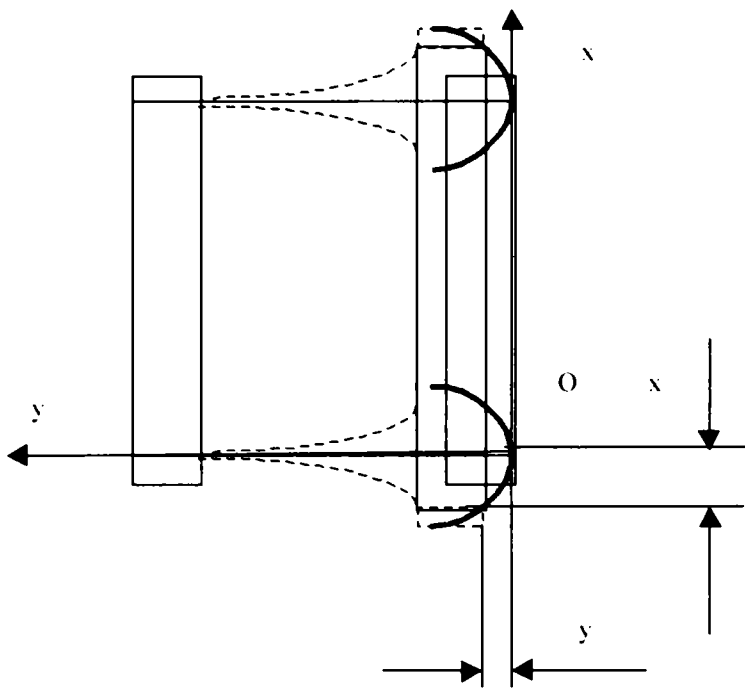


Fig. 65 Traiectoria elementului de urmărire la deformarea elementelor elastice

### 3.2.3.2.2 Dimensionarea lamelor; relații de calcul

Cerințele unei funcționări precise a ghidajului cu arcuri lamelare sunt [39]:

- săgeata lamelor elastice să nu depășească 2% din lungimea lor adică:

$$(f/l) \leq 2\%; \quad (64)$$

- deplasarea plăcii mobile să fie plan paralelă fără rotire.

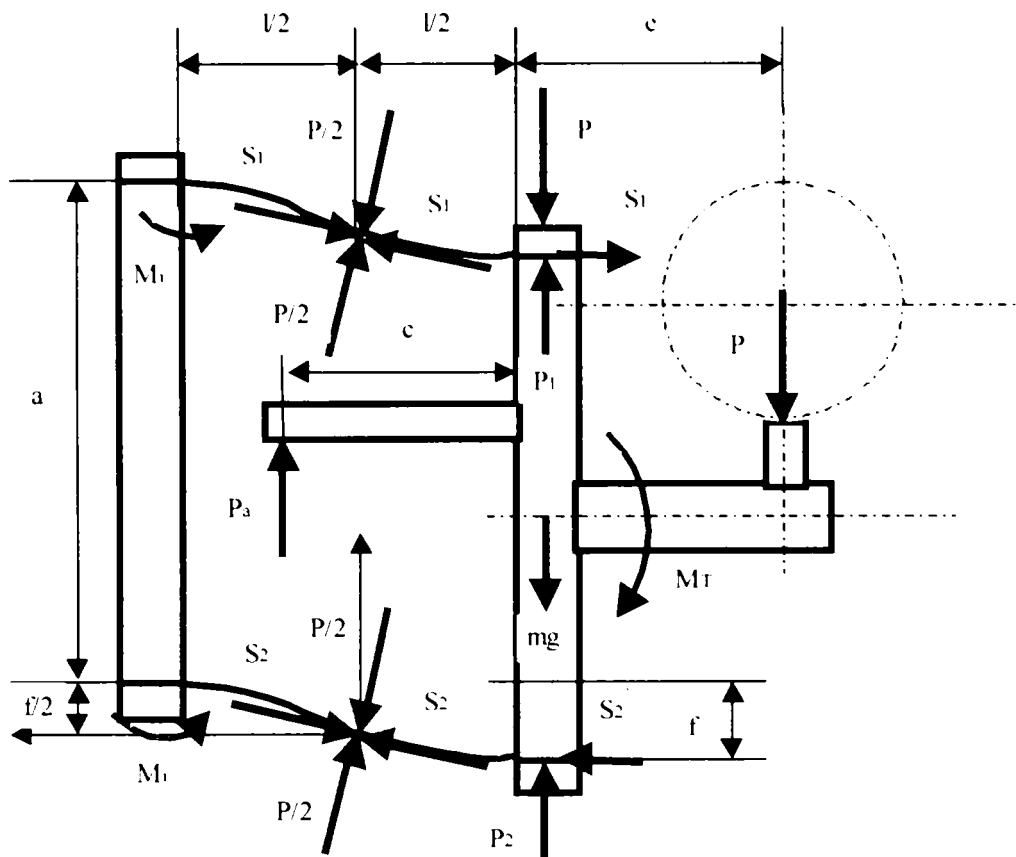


Fig. 66 Sistemul încărcărilor elementului de urmărire tip paralelogram

Ghidajul de translație cu arcuri lamelare constituie o structură static nedeterminată.

În figura de mai sus este reprezentat sistemul de încărcare la care este supus întregul subansamblu (placă fixă, arcuri lamelare, placă mobilă, palpator, element de revenire) în timpul procesul de măsurare.

Forțele și momentele care încarcă sistemul de măsurare sunt:

- ◆ forța exterioară  $P$  (reacțiunea piesei)
- ◆ forța elastică a arcului spiral  $P_a$
- ◆ forțele elastice din lamele,  $P_1$  și  $P_2$
- ◆ greutatea elementului mobil,  $mg$
- ◆ momentul de răsucire,  $M_T = P * e$
- ◆ momentul de răsucire produs de forța elastică,  $P_a * a$

Ghidajul este supus unor solicitările exterioare compuse formate din forțele exterioare  $P_a$  și  $P$  și un moment de răsucire ( $P * e + P_a * c$ ) care tinde să rotească placa mobilă. Lamela superioară este solicitată la întindere iar cea inferioară la comprimare, forțele interioare fiind  $S_1$  și  $S_2$ . În lamele se produc reacțiunile  $S_1$  și  $S_2$  al caror cuplu se opune răsucirii plăcii mobile.

Încărcarea limită la care începe să se producă răsucirea lamelelor este dată de sarcina critică de flambaj a lamelei inferioare  $S_{2cr}$ .

Pentru calculul de dimensionare al elementelor elastice se consideră următoarele ipoteze simplificatoare:

- arcurile lamelare sunt identice ca dimensiuni și material
- încastrarea liberă a celor două lamele (placă mobilă) execută o mișcare de translație fără rotație

Respectând aceste ipoteze se poate observa că pe fiecare lamelă apare un punct de inflexiune: acesta împarte fiecare lamelă în două jumătăți:

- una convexă apropiată de încastrarea fixă
- una concavă apropiată de încastrarea mobilă

Punctul de inflexiune are proprietatea următoare:

- forța tăietoare este maximă
- momentul încovoietor este nul

În urma acestor considerațiuni, se poate impune condiția de rezistență a lamelor elastice:

- tensiunea normală maximă nu trebuie să depășească tensiunea normală de încovoiere adică:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{ai} \quad (65)$$

Tensiunea normală maximă se obține prin suprapunerea efectelor de compresiune și încovoiere:

$$\sigma_{\max} = \sigma_c + \sigma_{i, \max} \quad (66)$$

unde:

- $\sigma_c = \frac{S_2}{b * h}$  este tensiunea normală de compresiune
- $\sigma_{i, \max} = \frac{M_{i, \max}}{W} = \frac{P * l}{2 * W}$  este tensiunea normală de încovoiere  
( $W = \frac{b * h^2}{6}$  reprezintă modulul de rezistență al lamelei elastice)
- $\sigma_{ai}$  este tensiunea admisibilă la încovoiere

Flambajul lamelei inferioare se produce la depășirea sarcinii critice de flambaj  $S_{2cr}$ :

$$S_2 \leq S_{2cr} \quad \text{unde:} \quad (67)$$

- $S_{2cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{l^2}$  este sarcina critică de flambaj
- $S_2 = \frac{P * e + P_a * c}{a}$

Figura următoare prezintă în detaliu sistemul de forțe care soliciță lamela inferioară a elementului de urmărire (care este elementul critic).

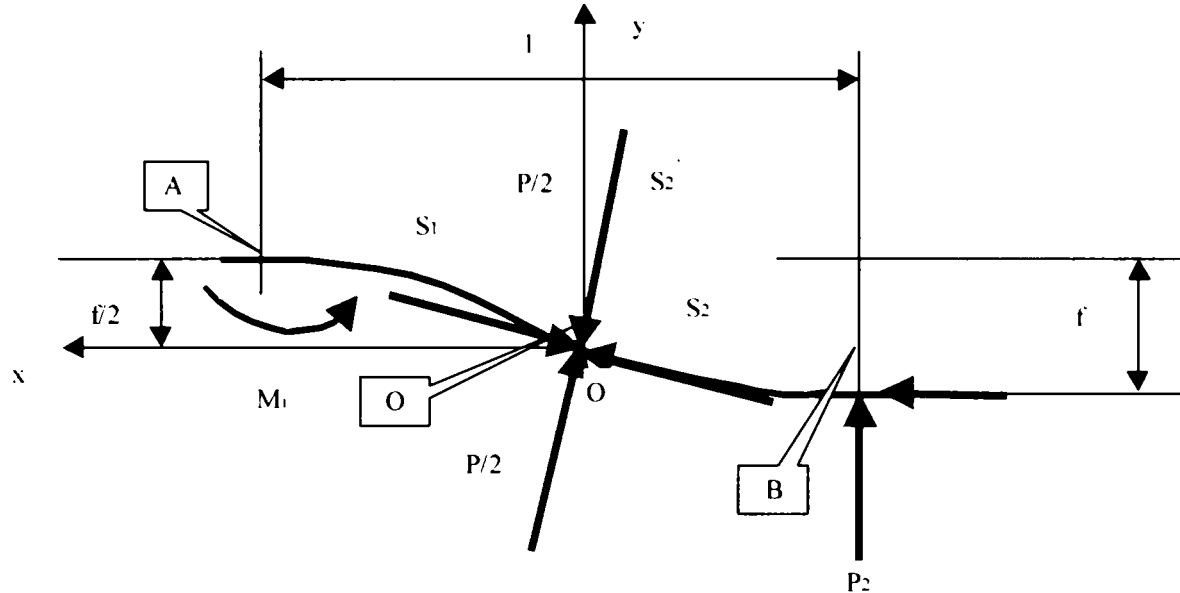


Fig. 67 Sistemul de forțe și momente care soliciță lamela inferioară

Tensiunea maximă de încovoiere (solicitarea principală la care este supusă lamela inferioară) este dată de relația:

$$\sigma_{i, \max} = \frac{M_{i, \max}}{W} = \frac{P * l}{2 * W} \quad (68)$$

Această tensiune trebuie să fie sub valoarea tensiunii admisibile de încovoiere:

$$\sigma_{i, \max} \leq \sigma_{ui} \quad (69)$$

Deformația dată de solicitările exterioare din lamela inferioară este descrisă de ecuația fibrei medii deformată:

$$E * I * \frac{d^2 y}{dx^2} = -P * x \quad (70)$$

Prin integrare între limitele OA și OB și impunerea condițiilor limită se obține expresia fibrei medii deformată în acest caz particular. Sistemul de ecuații care trebuie rezolvat este:

$$\left\{ \begin{array}{l} y = -\frac{P}{2EI} * \frac{x^3}{6} + C_1 * x + C_2 \quad (\text{rezultată din integrarea ecuației diferențiale a fibrei medii deformată}) \\ \frac{dy}{dx} = 0 \quad \text{pentru } x = (l/2) \quad (\text{condiția limită în punctul A}) \\ y = 0 \quad \text{pentru } x = 0 \quad (\text{condiția limită în punctul O}) \end{array} \right. \quad (71)$$

Ținând seama că punctul A este punct de antisimetrie pentru fibra medie deformată, adică:

$$y = f/2 \quad \text{pentru } x = l/2 \quad (72)$$

expresia săgeții maxime devine:

$$f = \frac{P * l^3}{24E * I} \quad (73)$$

Pentru determinarea dimensiunilor h și b ale arcurilor lamelare se impun condiții de încărcare și parametrii funcționali ai ghidajului de translație. Aceste condiții sunt forță de contactare maximă, săgeata maximă și lungimea maximă l a lamelei care trebuie să respecte condițiile:

$$l \leq 50f \quad (74)$$

$$P = \frac{W}{l/2} * \sigma_{ai} = \frac{1}{6} * \frac{b * h^2}{l} * \sigma_{ai} \quad (75)$$

$$f = \frac{P * l^3}{24E * I} = \frac{P * l^3}{24E * b * h^3} \quad (76)$$

Din relațiile de mai sus se determină grosimea și lățimea lamelei elastice:

$$\left\{ \begin{array}{l} h = \frac{l^2}{2E * f} * \sigma_{ai} \\ b = \frac{6P * l}{h^2 * \sigma_{i, \max}} \end{array} \right. \quad (77)$$

Cu dimensiunile lamelei determinate se trece la verificarea rezistenței lamelei la flambaj prin calcularea forței critice și impunerea condiției de stabilitate la flambaj:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{cr} = \frac{\pi^2 E * I}{l^2} \\ S_{1,2} < 0,7P_{cr} \end{array} \right. \quad (78)$$

Dezavantajul soluției constructive clasice este acela al apariției pericolului de torsionare și flambare a lamelilor elastice.

Pentru deplasări mai mari, deplasări date de forțe și momente care pot să producă torsiune și flambaj, stabilitatea lamelilor elastice se menține prin mărirea momentului de inerție în zona lor centrală.

În acest fel secțiunea lamelilor elastice este variabilă:

- zonele centrale sunt zone cu rezistență mărită (deci deformație minimă)
- zonele marginale sunt zone de deformație elastică maximă

Realizarea unei structuri cu secțiune variabilă se poate realiza fie prin mărirea secțiunii centrale, prin utilizarea unor lamele de rigidizare, fie prin reducerea secțiunii transversale a lamelilor în zonele marginale, prin practicarea unor decupări.

Structurile lamelor în cele două cazuri sunt prezentate mai jos:

- lamele rigidizate prin placarea lamelor cu plăcuțele 1 și 2.

În acest caz pachetul rezultat are grosimea

$$h_r = (5 \wedge 10) * h \quad (79)$$

iar momentul de inerție rezultat în zona centrală mult mai mare decât în zona marginală

$$I_r = \frac{b * h_r^3}{12} \gg \frac{b * h^3}{12} \quad (80)$$

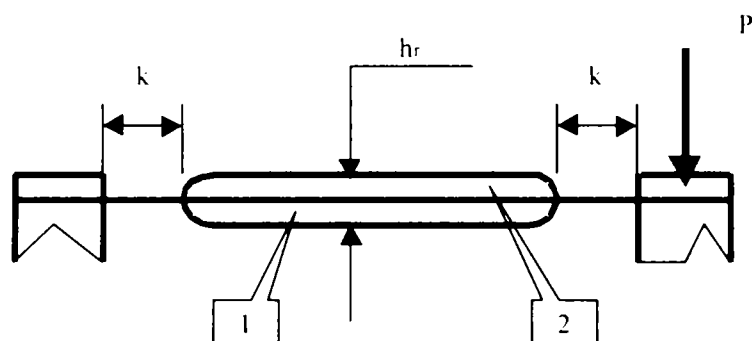


Fig. 68 Rigidizarea zonei centrale a lamelei elastice

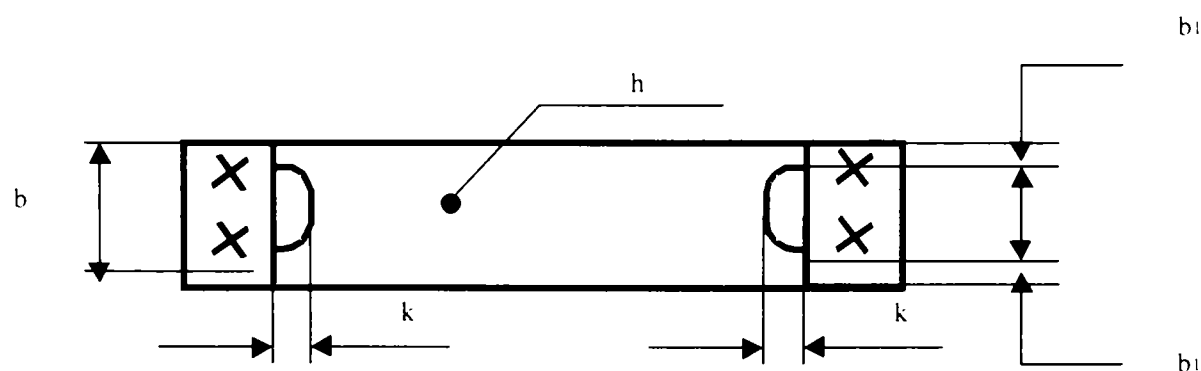


Fig. 69 Decuparea zonelor marginale ale lamelei elastice

- lamele decupate:

Decuparea lamelor se face la dimensiunile

$$b_1 \approx 0,2 * b \quad (81)$$

rezultând în acest caz în zona decupată un moment de inerție mult mai mic decât în zona centrală

$$I = \frac{b * h^3}{12} \gg \frac{2b_1 * h^3}{12} \quad (82)$$

Schema de încărcare a arcului lamelar în cazul secțiunii variabile este prezentată în figura de mai jos:

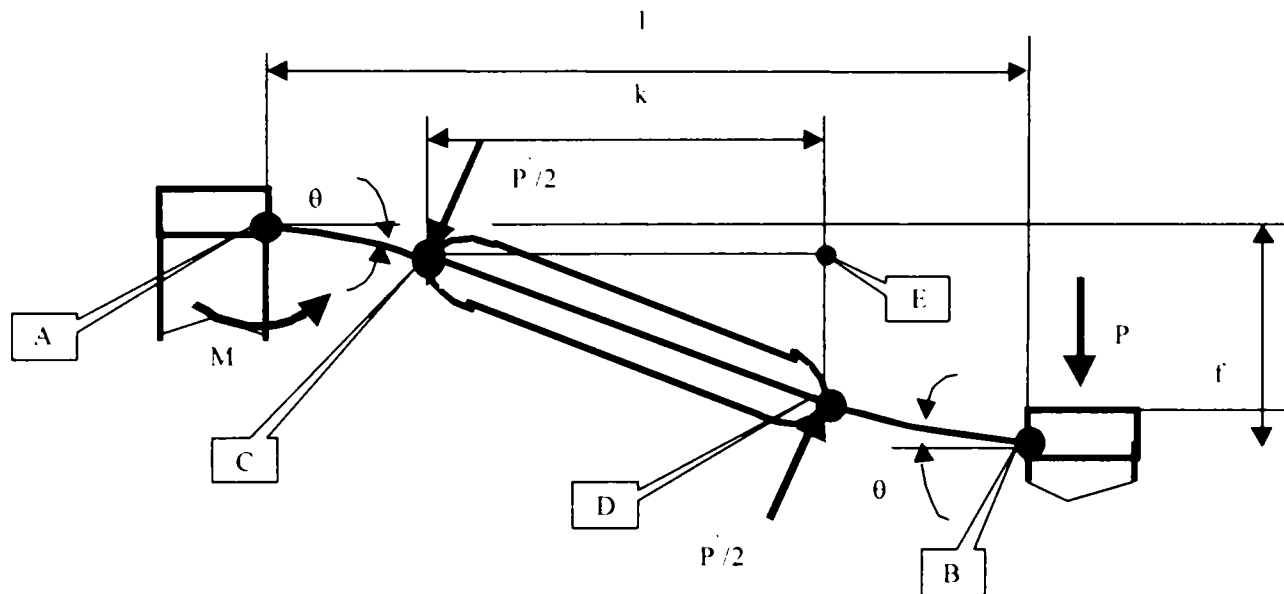


Fig. 70 Sistemul de forțe și momente care sollicită lamela inferioară de rigiditate variabilă

Săgeata totală se calculează cu ajutorul formulei:

$$f = f_{AC} + f_{BD} + DE \quad (83)$$

Sistemul fiind antisimetric se observă că:

$$f_{AC} = f_{BD} = \frac{P * \left(\frac{l-k}{2}\right)^3}{3E * I} = \frac{P * (l-k)^3}{24E * I} \quad (84)$$

și că unghiul  $\theta$  pe porțiunea AC este egal cu unghiul  $\theta$  pe porțiunea BD

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P * \left(\frac{l-k}{2}\right)^2}{2E * I} = \frac{DE}{k} \quad (85)$$

Astfel săgeata totală este:

$$f = \frac{P * (l-k)^3}{12E * I} + k * \frac{P * (l-k)^2}{8E * I} \quad (86)$$

În aceste calcule se neglijează săgeata porțiunii CD (care este nesemnificativă în raport cu deformațiile celorlalte porțiuni ale arcului lamelar. Pentru a susține valabilitatea acestor ipoteze, putem să calculăm săgeata zonei CD în condiția în care se consideră că zona centrală este încastrată:

$$f_{CD} = \frac{P * k^3}{3E * I_r} \ll f_{AC} \quad (87)$$

unde:

$$I_r = \frac{(b * h_r^3)}{12} \gg I, \quad (I_r \approx (100 \wedge 150) * I)$$

## Materiale utilizate în construcția arcurilor lamelare

Pentru alegerea materialelor destinate construcției arcurilor lamelare trebuie să se țină seama de proprietățile cerute:

- constanta proprietăților elastice în timp
- rezistența la oboseala, la șoc, la rupere
- rezistența la coroziune.

Caracteristicile mecanice ale unor semifabricate și ale unor oțeluri utilizate în construcția arcurilor lamelare sunt date în prezentate mai jos:

Semifabricat	Modul de elasticitate		Rezistența admisibilă		Duritate
	Longitudinal	Transversal	$\sigma_a$	$\sigma_{0a}$	
	daN/mm <sup>2</sup>	daN/mm <sup>2</sup>	daN/mm <sup>2</sup>	daN/mm <sup>2</sup>	HRC
Banda din otel	$2,1 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	180	140	42÷45
Banda din otel tare, inoxidabil	$2,1 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^3$	48	44	45÷50

Marca de otel	Limita de curgere $\sigma_c$ (daN/mm <sup>2</sup> )	Rezistența la rupere la tractiune (daN/mm <sup>2</sup> )	Alungirea la rupere A <sub>5</sub> (%)
OLC 85A	98	113	8
51 Si 17A	108	118	6
51 V Cr 11A	118	132	6
56 Si 17A	108	127	6
60 Si 15A	127	147	6
12 Ni Cr 180	20	50	45
12 Cr 130	41	59	20



### 3.2.3.3 Elemente de urmărire de tip pârghie oscilantă cu articulație în cruce

Structură; elemente constructive

Elementele de urmărire cu pârghie oscilantă cu articulație în cruce preiau variațiile dimensionale ale măsurandului și le transformă în mărimi unghiulare [39]. Aceste mărimi unghiulare sunt transmise (în raport 1:1 sau diferit) la traductorul de măsurare.

Structura unui astfel de element este prezentată în figura de mai jos:

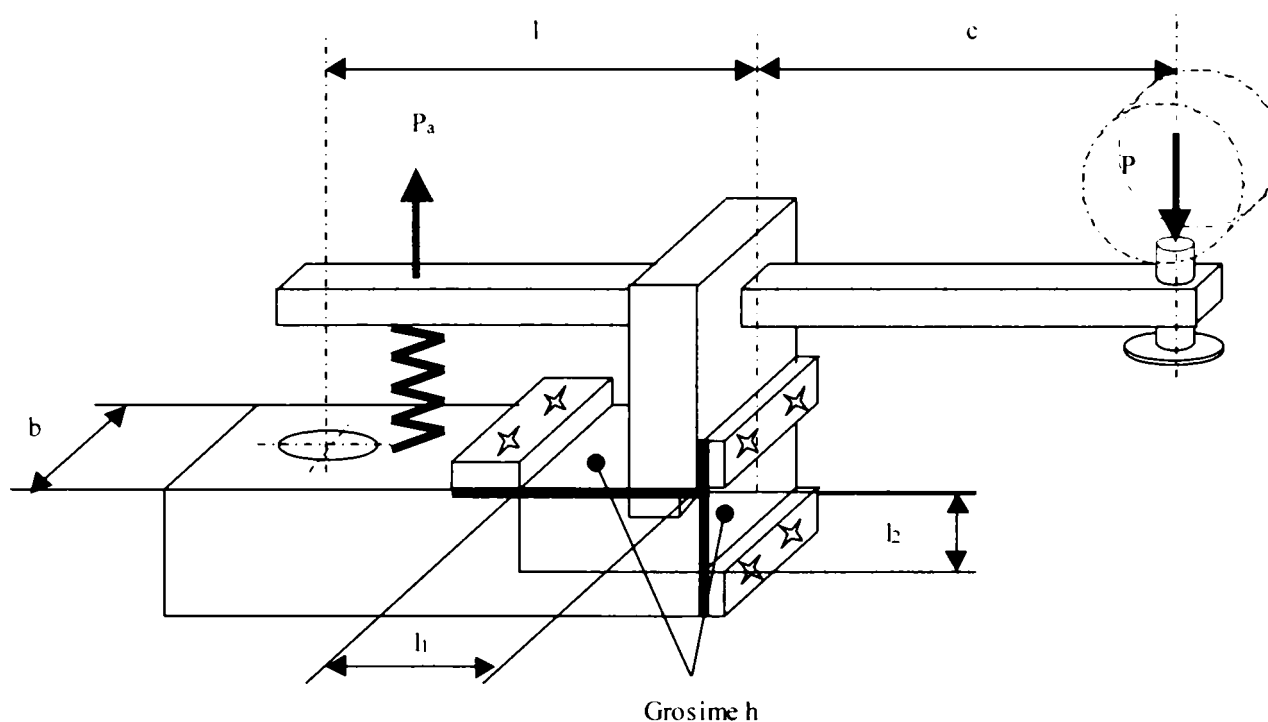


Fig. 71 Element de urmărire cu pârghie oscilantă

Utilizarea unui raport de transmitere 1:1 este impusă de:

- condițiile de măsurare
- spațiul disponibil pe masină-unealtă

Indiferent de raportul de transmitere, principiul de funcționare al elementelor de urmărire este același. Singura diferență este aceea că semnalul de măsurare diferit de variația reală a dimensiunii măsurandului este corectat în unitatea electronică astfel încât raportul total de transmitere să devină 1:1.

Elementele de urmărire cu pârghie oscilantă cu articulație în cruce prezintă avantajele:

- lăgăruire fără joc
- lipsă frecării
- rigiditate și capacitate de încărcare bună

- imunitate la contaminare (praf, lichide)
- influență mică a variațiilor de temperatură ale mediului
- cost scăzut
- durabilitate ridicată
- întreținere ieftină

Acest sistem are și anumite dezavantaje:

- interval mic al deplasărilor măsurate (unghi de rotație sub  $2^\circ$ )
- rezistență mică la șocuri și sensibilitate la vibrații
- instabilitate a centrului de rotație funcție de mărimea unghiului de rotație

### 3.2.3.3.1 Dimensionarea lamelor, relatii de calcul

Cea mai răspândită soluție constructivă este aceea cu lamele concurente la  $90^\circ$ . În figura de mai jos este reprezentată schema de încărcare al unui astfel de element de urmărire:

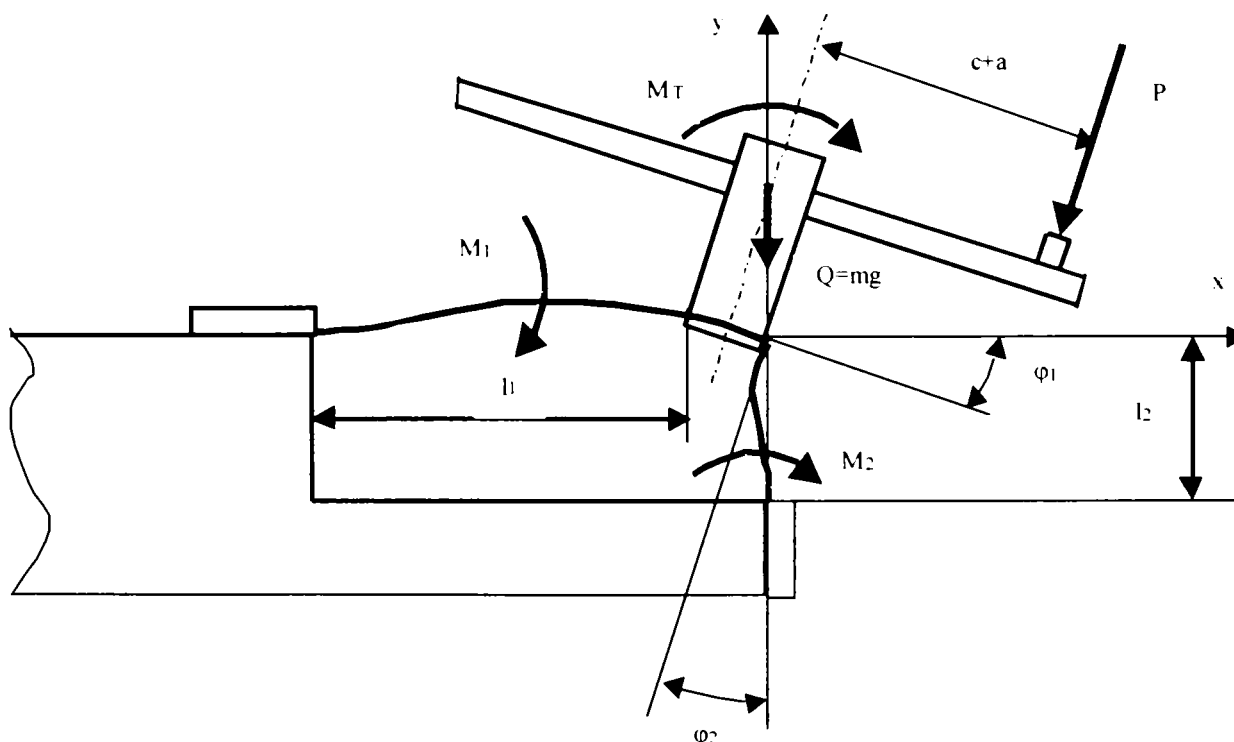


Fig. 72 Sistemul încărcărilor elementului de urmărire tip pârghie oscilantă

Cele două arcuri lamelare care intră în construcția elementului de urmărire (arcuri care fac un unghi de  $90^\circ$  între ele) au fiecare:

- o extremitate incastrată la partea fixă a elementului de urmărire
- cealaltă extremitate incastrată la partea mobilă a elementului de urmărire

Forța continuă de contactare dintre palpator și măsurand este asigurată de un arc cilindric elicoidal.  $P$  este reacțiunea piesei asupra palpatorului elementului de urmărire. Aceasta forță produce un moment de răsucire [39]:

$$M_T = P * (c + a) \quad (88)$$

Pe lângă aceste sarcini mai apare și forța de greutate a părții mobile:

$$Q = m * g \quad (89)$$

Structura arcurilor lamelare este una static nedeterminată.

Dimensionare elementelor articulației în cruce se efectuează în baza următoarelor ipoteze simplificatoare:

- Deplasarea incastrării mobile este nulă, cele două arcuri suferind doar o rotire. Această ipoteză este valabilă tinând cont de faptul ca unghiul de rotire este de sub  $2^\circ$ .
- Greutatea părții mobile nu trebuie să producă flambajul arcului lamelar vertical adică:

$$Q = m * g < P_{cr} \text{ unde } P_{cr} = \frac{\pi^2 E * I}{l^2} \text{ este forța critică de flambaj.} \quad (90)$$

- Lungimea arcului lamelar vertical se alege la jumătate din lungimea arcului lamelar orizontal

$$l_2 = l_1 / 2 \text{ din considerentul de a avea arcul vertical mai rigid decât cel orizontal.} \quad (91)$$

- Momentul de răsucire  $M_T$  al reacțiunii piesei asupra palpatorului produce două momente de rezistențe  $M_1$  și  $M_2$ . Aceste momente se determină rezolvând sistemul static nedeterminat punând condiția:

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad (92)$$

- Calculele de dimensionare se fac asupra arcului lamelar vertical deoarece acesta este cel mai sollicitat; în urma calculelor de dimensionare, dimensiunile secțiunii transversale rezultate vor fi adoptate și pentru arcul lamelar orizontal

Cu aceste considerente de ordin simplificator se poate trece scrierea relațiilor care stau la baza calcului de dimensionare al arcului lamelar:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{M_1 * l_1}{4E * I} = \frac{M_2 * l_2}{4E * I} \\ \sigma_{\max} = \frac{M_2 + Q * f}{W} + \frac{Q}{b * h} \leq \sigma_a \end{cases} \quad (93)$$

Având în vedere cea de a treia ipoteză simplificatoare, în prima ecuație a sistemului putem să facem următoarele observații:

$$M_1 + M_2 = M_T \text{ și} \quad (94)$$

$$M_1 = \left( \frac{l_2}{l_1 + l_2} \right) * M_l \quad (95)$$

$$M_2 = \left( \frac{l_1}{l_1 + l_2} \right) * M_l \quad (96)$$

Deci:

$$M_2 = 2 * M_1 \text{ deoarece } l_1 = 2 * l_2 \quad (97)$$

Determinarea dimensiunilor secțiunilor transversale  $b$  și  $h$  se face pornind de la ecuația fibrei medii deformatate:

$$E * I * \frac{d^2 y}{dx^2} = -P * x \quad (98)$$

Forța tăietoare se calculează cu formula:

$$P = \frac{M_l}{x} = \frac{(M_2 + Q * f)}{x} \quad (99)$$

Cu aceasta ecuația fibrei medii deformatate devine:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{(M_2 + Q * y)}{x} * \frac{1}{E * I} * x = -\frac{M_2}{E * I} - \frac{Q * f}{E * I} \quad (100)$$

Soluția generală a ecuației diferențiale este:

$$y = A \sin(mx) + B \cos(mx) - \frac{M_2}{Q} \quad (101)$$

Prin impunerea condițiilor la limită se obțin expresiile momentului  $M_2$  și a săgeții  $f$ :

$$M_2 = \frac{Q}{m * \operatorname{tg}(ml)} * \operatorname{tg}(\varphi) \text{ și} \quad (102)$$

$$f = \frac{M_2}{Q} * \frac{1 - \cos(ml)}{\cos(ml)} \quad (103)$$

unde:

$$m = \left( \frac{Q}{EI} \right)^{1/2} \text{ și } \operatorname{tg} \varphi \cong \varphi \text{ (pentru unghiuri mici).}$$

Pornind de la parametrii funcționali și de încărcare ai sistemului de urmărire (determinați mai sus) se poate dimensiona secțiunea transversală a arcului lamelar:

$$\begin{cases} \cos(ml) = \frac{M_2}{Q * f + M_2}, \\ \frac{6 * (M_2 + Q * f)}{b * h^2} + \frac{Q}{b * h^2} = \sigma_a \end{cases} \quad (104)$$

$$\begin{cases} b * h^3 = \frac{12Q}{E * \left(\frac{1}{l} \arccos M_2(Q * f + M_2)\right)^2} \\ b * h^3 - \left(\frac{Q}{\sigma_a}\right) * h = 6 * \frac{M_2 + Q * f}{\sigma_a} \end{cases} \quad (105)$$

Verificarea finală a arcului se face la flambaj cu relația:

$$P_{cr} = (\pi^2 * E * I) / (l^2) \quad (106)$$

condiția de corectă dimensionare fiind

$$Q \leq 1.3 * P_{cr} \quad (107)$$

### 3.2.3.4 Elemente de urmărire cu săniile sau coloane mobile ghidate pe bile, role sau rulmenți

#### 3.2.3.4.1 Avantaje, dezavantaje

##### Avantaje

Lagărele pe bile, role sau rulmenți asigură o mișcare liniară în care forțele de frecare sunt  $(5 \div 2.5)\%$  din mărimea forțelor de frecare prezente în lagărele cu frecare de alunecare [39]. Un alt avantaj al acestor sisteme de urmărire este că frecarea dinamică este foarte apropiată de cea statică și de aceea fenomenul de stick-slip nu apare.

##### Dezavantaje

Sensibilitate la supraincărcare, șocuri și uzură

Structură: elemente constructive

În figura de mai jos se prezintă un astfel de sistem.

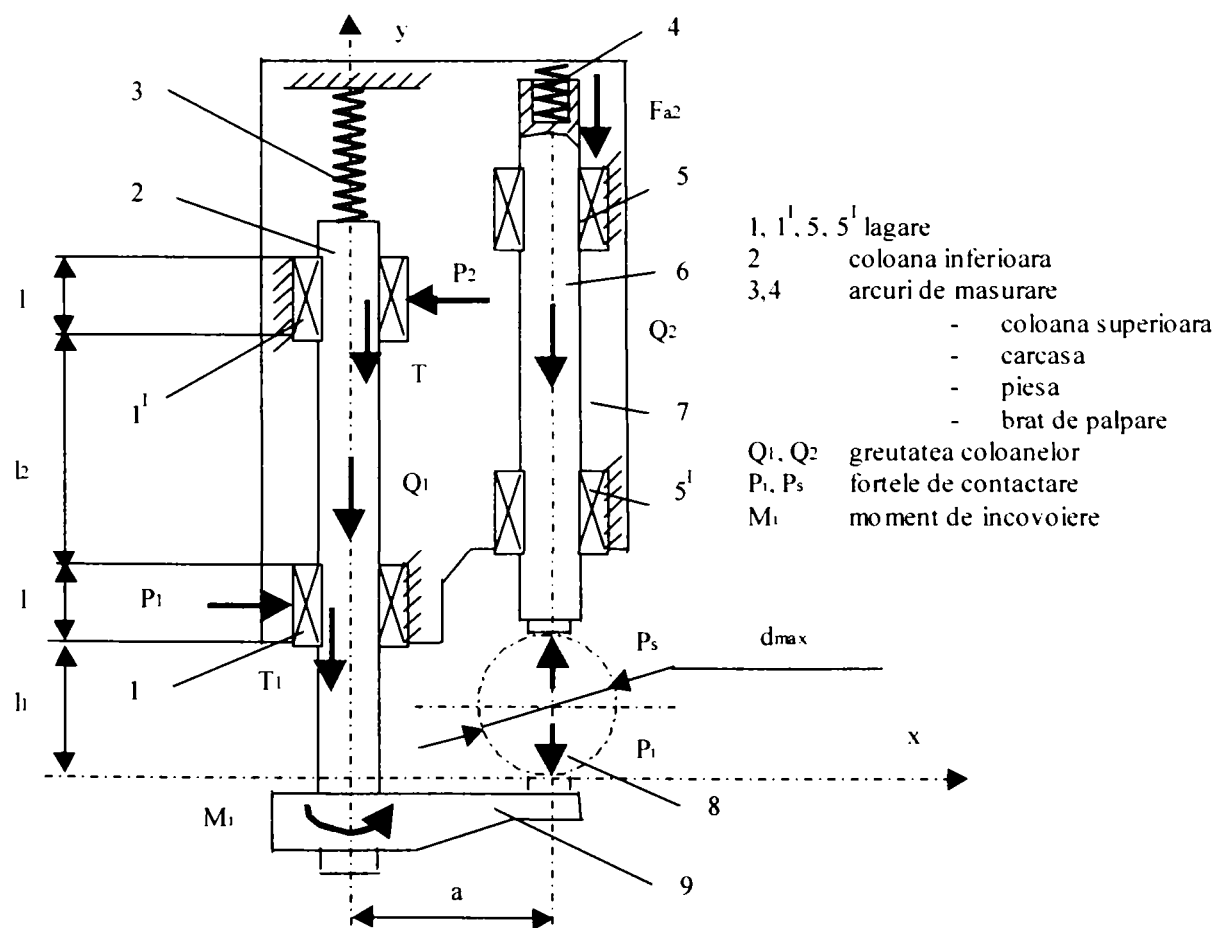


Fig. 73 Sistemul încărcărilor elementului de urmărire cu coloane

Cele două coloane ghidate în lagărele cu bile, role sau rulmenți se deplasează pe direcții paralele, în sensuri opuse urmărind scderea continuă a diametrului măsurandului. Arcurile din

structura sistemului de urmărire prezentat mai sus asigură permanent forțele de contactare dintre coloane și măsurand.

Forța de frecare din ghidajele cu elemente de rostogolire variază funcție de:

- Tipul lagărului
- Vâscozitatea uleiului folosit
- Sarcina impusă
- Viteza de deplasare a elementului mobil

Forța de frecare din lagăr se calculează cu relația de mai jos [39]:

$$F = \mu * P + f \quad (108)$$

unde:

$P$  este sarcina din lagăr

$f$  este frecarea din etansare

$\mu$  este coeficientul de frecare (cu valori cuprinse între 0.002 și 0.004)

Pentru dimensionarea unui asemenea dispozitiv se fac următoarele ipoteze simplificatoare:

- viteza de deplasare a coloanelor este mică (sub 2 mm/min)
- încărcarea coloanelor este redusă, forțele de măsurare fiind de ordinul (125÷250)N, și de aceea nu este afectată calitatea suprafeței măsurate
- dimensiunile elementelor constitutive ale sistemului de urmărire se aleg constructiv și se verifică la solicitarea la contact dintre corpul de rostogolire (rolă sau bilă) și suprafețele de ghidare
- coloana inferioară este supusă, suplimentar față de coloana superioară, momentul dat de reacțiunea  $P_i$ :

$$M_i = P_i * a \quad (109)$$

care acționează în zona de incastrare a bratului de palpate

- calculele de dimensionare se fac asupra coloanei inferioare iar dimensiunile adoptate pentru lagărele coloanei inferioare se adoptă și pentru lagărele coloanei superioare care este mai puțin solicitată
- dimensionarea se face la poziția de măsurare care generează cele mai mari solicitări adică pentru măsurandul cu diametrul maxim  $d_{max}$  pentru care palpatorul se găsește în poziția  $l=l_{max}$

Cu aceste simplificări se poate menționa sistemul de forțe și momente care solicită sistemul de urmărire:

- greutate proprie  $Q_l$
- momentul de încovoire  $M_l = P_i * a$  și reacțiunile  $P_s$  și  $P_i$  induse de acesta în cele două coloane

- forțele de frecare  $T_1 = \mu * P_1$  și  $T_2 = \mu * P_2$
- forța elastică de ridicare  $F_{el}$

$$\sum F_y = F_{el} - Q_1 - \mu * (P_1 + P_2) - P_1 = 0 \quad (110)$$

$$\sum F = 0; \quad (111)$$

$$P_1 = P_2 = M_i / (l_2 + l) \quad (112)$$

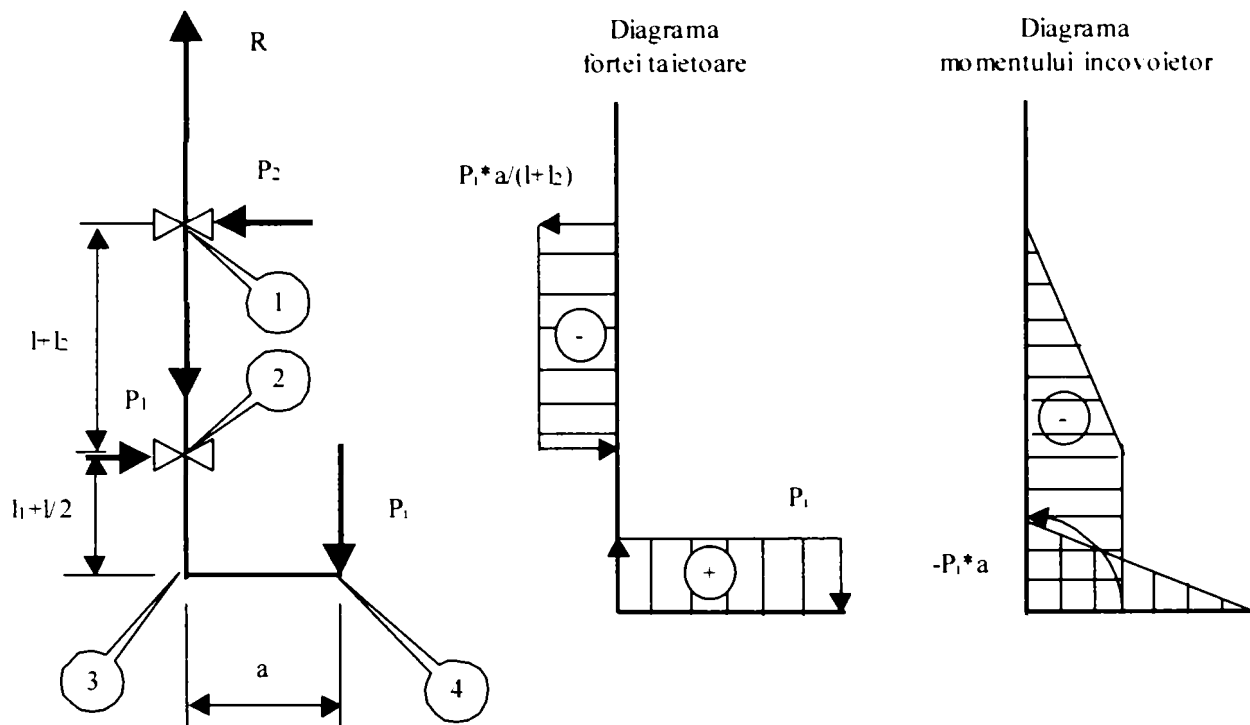


Fig. 74 Sistemul încărcărilor coloanei inferioare

În figurile de mai sus sunt prezentate sistemul de forțe și momente ce acționează asupra bratului inferior, diagramele forței tăietoare și momentului încovoietor pentru elementul cel mai sollicitat (conform ipotezelor menționate).

Forța  $R$  dată de relația:

$$R = F_{el} - Q_1 - \mu * (P_1 + P_2) \quad (113)$$

și  $P_i$  determină apariția reacțiunilor în lagăre  $P_1$  și  $P_2$ .

Din diagramele de moment încovoietor și forță tăietoare se observă că secțiunile periculoase sunt secțiunile 2 și 3.

Verificarea lagărelor la presiunea de contact se face la încărcarea  $P$  dată de relația:

$$P = \frac{f_w}{f_H * f_T * f_C} * P_1 \quad \text{unde:} \quad (114)$$

$f_w$  este coeficientul de încărcare



$f_H$  este coeficientul de duritate

$f_T$  este coeficientul de temperatură

$f_C$  este coeficientul de contact

iar  $P_1$ :

$$P_1 = \frac{a}{l+1} * P_i \quad (115)$$

Pentru căi de ghidare cu duritatea cuprinsă între 58 și 64 HRC și temperaturi de lucru de maxim 100°C (condiții specifice controlului activ):

$$f_H = f_T = 1 \quad (116)$$

Coeficientul  $f_C$  se stabilește tabelar și este funcție de numărul de lagăre susținătoare pentru coloanele de ghidare.

Nr lagăre/coloana	Coeficient de contact $f_C$
1	1
2	0.81
3	0.72
4	0.66

Coeficientul de încărcare  $f_W$  se definește în funcție de condițiile de funcționare și de viteza de deplasare.

Șocuri și Vibrații	Viteza de deplasare, $v$ (m/min)	Amplitudinea vibrației măsurate, $A$	$f_W$
Fără vibrații sau șocuri externe	$v \leq 15$	$A \leq 0.5$	$1 \div 1.5$
Nivel redus al vibrațiilor și șocurilor externe	$15 < v < 60$	$0.5 < A < 1$	$1.5 \div 2$
Nivel ridicat al șocurilor și vibrațiilor externe prezente	$v > 60$	$1 < A \leq 2$	$2 \div 3.5$

Alegem, pentru sistemul în cauză, coeficienții care intra în calculul solicitării de contact sunt:

- $f_W = 1.25$  (nivelul vibrațiilor este redus și viteza de deplasare este mică)
- $f_C = 0.81$  (coloana inferioară are două ghidaje de sprijin)

și rezultă o sarcină de contact:

$$P = 1.5 * P_1 \quad (117)$$

Aceasta sarcină se distribuie bilelor care intra în construcția lagărelor de susținere a coloanei bratului inferior. Distribuția se face în mod neuniform (în special pe bilele care se găsesc în zona mai solicitată a lagărului) și depinde de numărul de rânduri de bile și de dispunerea lor față de direcția forței de încărcare.

Dacă notăm cu  $P_0$  sarcina ce revine unei bile, aceasta se folosește pentru determinarea presiunilor de contact și a deformațiilor elastice dintre bila, coloana mobilă și inelul exterior fix al lagărului.

Presiunile de contact maxime se determină cu formula lui Herz în cazul contactului punctiform după cum urmează:

- pentru punctul de contact sfera-cilindru:

$$\sigma_{K_{\max}} = \alpha * \sqrt[3]{\frac{P_0 * E^2}{R_1^2}} \leq \sigma_{ka} \quad (118)$$

- pentru punctul de contact sfera-jgheab cilindric:

$$\sigma_{K_{\max}} = \alpha * \sqrt[3]{\frac{P_0 * E^2 * (R_2 - R_1)^2}{R_1^2 * R_2^2}} \leq \sigma_{ka} \quad (119)$$

unde:

- $E$  este modulul de elasticitate transversal
- $R_1$  este sferii
- $R_2$  este raza jgheabului cilindric (a coliviei cu bile recirculabile)
- $\alpha$  este coeficient funcție de razele de curbura ale corpurilor în contact
- $P_0$  este sarcina distribuită pe o bila
- $\sigma_{ka}$  este rezistența admisibilă la solicitarea de contact

Determinarea deformațiilor  $\delta$  în cele două lagăre permite calculul unghiului de înclinare, în planul de măsurare, al coloanei de susținere a bratului inferior :

$$\operatorname{tg} \varepsilon = 2\delta / (l + l_2) \quad (120)$$

La deplasările datorate deformațiilor din lagăre se adaugă deformațiile elastice ale coloanei inferioare și ale brațului de palpăre (schema de încărcare a ansamblului coloana inferioară-braț de palpăre a fost prezentat în schemele de mai sus).

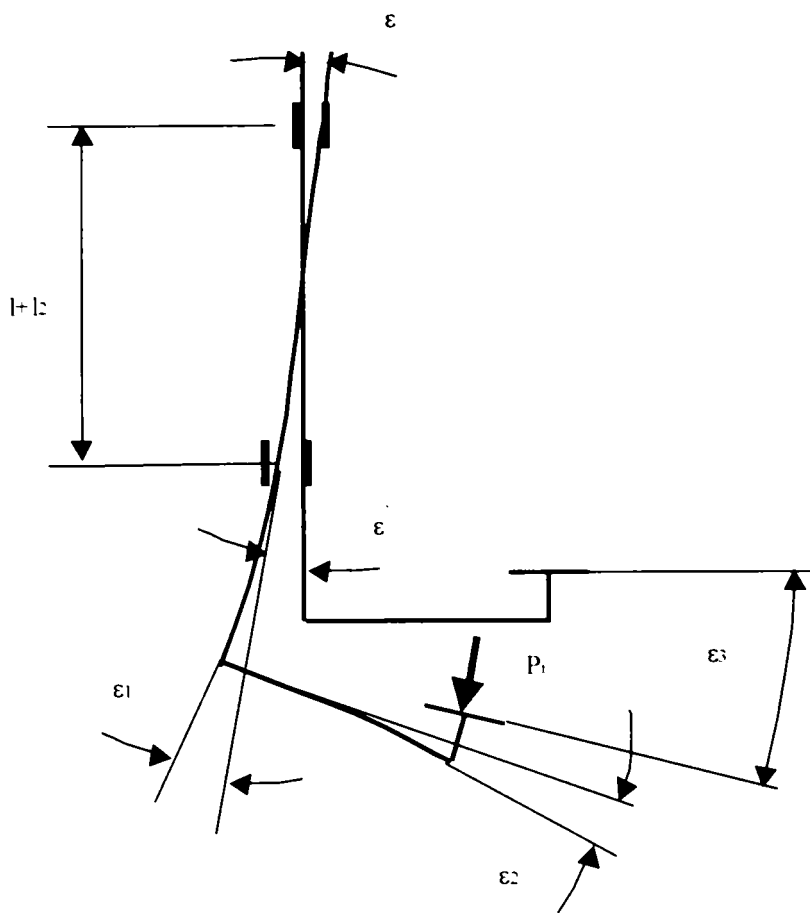


Fig. 75 Deformațiile și deplasările coloanei inferioare

Se observă că:

- unghiul de incovoiere al coloanei inferioare în secțiunea periculoasă 3 (conform numerotării facute în cadrul schemei de încărcare) este:

$$\varepsilon_1 = \frac{M_l * l_1}{E_c * I_c} = \frac{P_l * a * l_1}{E_c * I_c} \quad \text{unde:} \quad (121)$$

$I_c$  este momentul de inerție polar al secțiunii transversale a coloanei inferioare

$E_c$  este modulul de elasticitate longitudinal

- unghiul de incovoiere al brațului de palpare în secțiunea 4 (conform numerotării facute în cadrul schemei de încărcare) este:

$$\varepsilon_1 = \frac{P_l * a^2}{2 * E_b * I_B} \quad \text{unde:} \quad (122)$$

- $I_B$  este momentul de inerție polar al secțiunii transversale a brațului de palpare
- $E_c$  este modulul de elasticitate longitudinal al brațului de palpare

---

După determinarea deformațiilor unghiulare în cele trei secțiuni ( $\varepsilon$ ,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ) se poate trece la evaluarea deformației unghiulare în dreptul punctului de palpate adică valoarea unghiului  $\varepsilon_3$ .

Această valoare caracterizează erorile de măsurare induse de către:

- deformațiile elastice ale ansamblului (coloana mobilă; braț de palpate; lagăre) și
- jocurile din cadrul lagărelor de susținere.

## 3.2.4 Traductoare

### 3.2.4.1 Generalități; clasificare

Pentru determinarea dimensiunii măsurandului, sistemele de control activ au în structura lor acel element care convertește valoarea măsurată într-un semnal electric [39]. Funcție de principiul care sta la baza convertirii valorii măsurate în semnal electric s-au dezvoltat o serie de tipuri de traductoare:

- traductoare capacitive
- traductoare inductive
- traductoare pneumo-electrice
- traductoare opto-electronice

Aceste tipuri de traductoare (prin formă și dimensiune) influențează foarte mult construcția capului de măsurare. De asemenea caracteristicile proprii traductorului (caracteristicile de liniaritate, sensibilitate, stabilitate) determină performanțele sistemului de control activ.

### 3.2.4.2 Traductoare capacitive

Traductoarele capacitive sunt din gama traductoarelor analogice [39]. Principiul de funcționare al acestui traductor se bazează pe modificarea capacității unui condensator dacă mărimea măsurată acționează asupra unuia dintre parametrii care intră în formula de calcul a capacității condensatorului:

$$C = \frac{\varepsilon * A}{x} \quad \text{unde:} \quad (123)$$

$\varepsilon$  este permitivitatea dielectricului

$A$  este aria armăturilor condensatorului

$x$  este distanța dintre armături

În continuare vom prezenta principiul de funcționare al unui traductor cu întrefier variabil de tipul condensatoarelor cilindrice diferențiale. Mediul dielectric folosit este aerul.

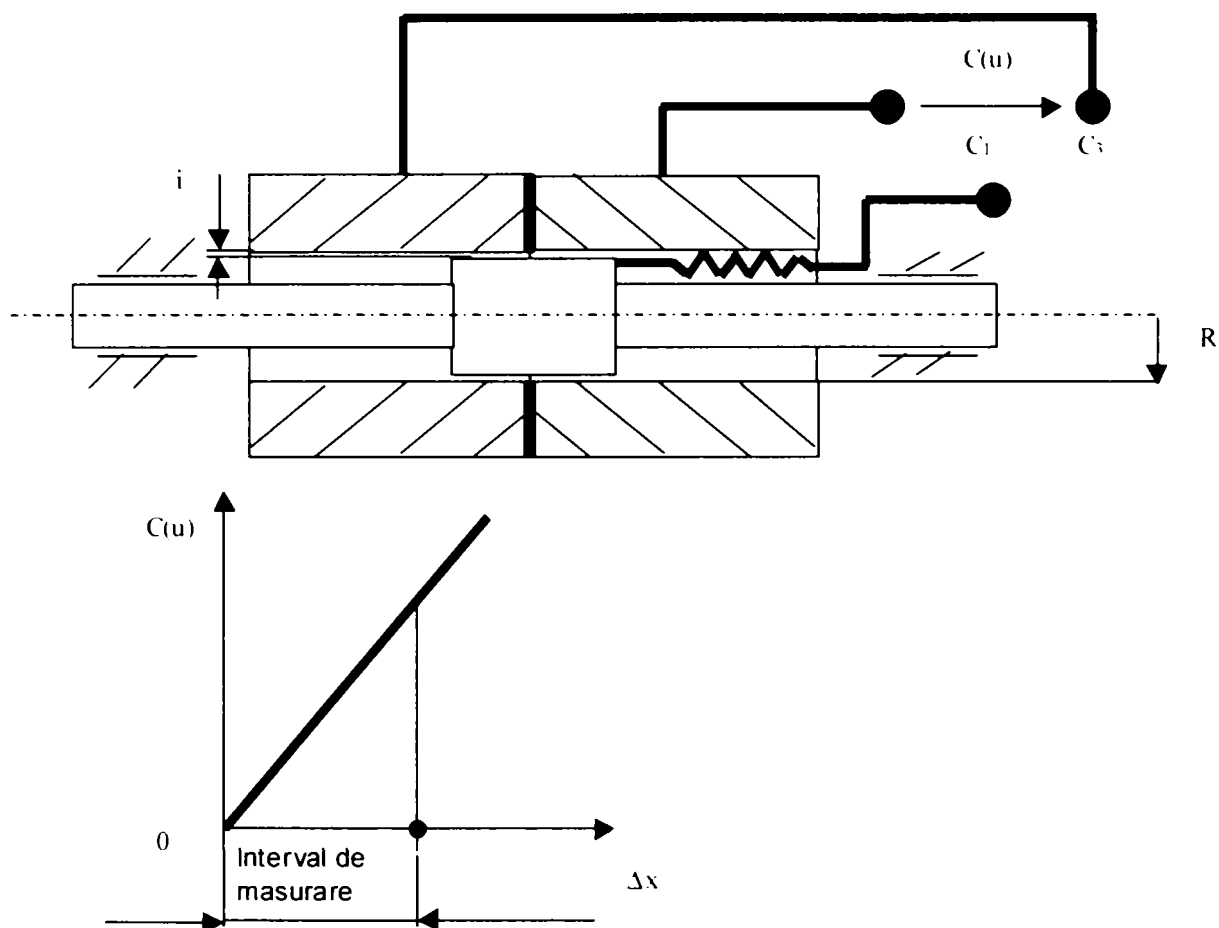


Fig. 76 Traductor capacitiv:

- a. Schema constructiva
- b. Caracteristica statică

Capacitatea dintre miezul și inelele condensatorului variază liniar funcție de deplasarea axială a miezului. Inelele condensatorului sunt separate printr-o șaibă izolatoare.

În poziția mediană capacitățile  $C_1$  și  $C_2$  sunt egale ca valoare:

$$C_1 = C_3 = \frac{\varepsilon * A}{i} \text{ unde:} \quad (124)$$

$i$  este locul existent între miez și inele

În cazul în care sistemul de control urmărește măsurândul și acesta imprimă miezului o deplasare axială  $\Delta x$ , capacitatea variază și ea cu valoarea  $\Delta C$  calculată cu formula:

$$\Delta C = C_1 - C_2 = \frac{\varepsilon}{i} (A + 2\pi R * \Delta x) - \frac{\varepsilon}{i} (A - 2\pi R * \Delta x) = \frac{4\pi R \varepsilon}{i} * \Delta x = K * \Delta x \quad (125)$$

Modificarea capacității duce la variația corespunzătoare a tensiunii  $\Delta U$ :

$$\Delta U = U_3 - U_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_3} * U - \frac{C_3}{C_1 + C_3} * U = \frac{C_1 - C_3}{C_1 + C_3} * U = \frac{2\pi R U}{A} * \Delta x \text{ unde} \quad (126)$$

$U$  este tensiunea aplicată pe armaturile condensatorului.

Deoarece variația capacității este o funcție liniară a variației măsurandului

$$\Delta C = K * \Delta x \quad (127)$$

și variația tensiunii are și ea o dependență liniară funcție de variația capacității:

$$\Delta U = \frac{2\pi R U}{A} * \Delta x \quad (128)$$

se deduce că variația mărimii de ieșire (în acest caz variația tensiunii) depinde după o funcție liniară de mărimea de intrare (în acest caz variația dimensională a măsurandului) rezultând o caracteristică liniară a traductorului. Caracteristica statică a traductorului este, în acest caz o dreaptă care trece prin origine. Este evident că traductoarele de acest gen beneficiază de avantajul unei liniarități deosebite.

Pentru construcția traductoarelor capacitive se folosesc materiale cu proprietăți deosebite (oteluri inoxidabile) ceea ce conferă traductorului o mare stabilitate mecanică și termică. Liniaritatea și intervalul de măsurare depind doar de precizia de execuție și de dimensiunile componentelor care intră în structura traductorului propriu-zis.

Firmele producătoare asigură traductoare cu intervale de măsurare de 0.2 mm; 0.4 mm; 1.4 mm.

Liniaritatea acestor traductoare este de 0.1÷0.2%.

Gabaritul este în general de 1.5÷2 ori mai mare decât al altor traductoare echivalente din punct de vedere al performanțelor.

Un alt dezavantaj este acela al stabilității reduse la condițiile de umiditate și acela al unui preț destul de ridicat.

Un producător care include traductoare capacitive în construcția capetelor de măsurare este firma MOVOMATIC (Elveția).

### 3.2.4.3 Traductoare inductive

Și aceste traductoare sunt din gama traductoarelor analogice. Acestea își bazează funcționarea pe variația impedanței unei bobine, variație dictată de modificarea uneia dintre mărimile care intră în formula de calcul a impedanței [39]. Toate aceste modificări sunt generate de variația dimensională a măsurandului.

Indiferent de parametrul care dictează modificarea inductanței, variația dimensională a măsurandului este preluată fie de miezul interior al bobinei fie de către una dintre armăturile bobinei.

## Avantaje

Tructoarele inductive au aceleași avantaje ca și cele capacitive. În plus sunt mult mai compacte, robuste și mai stabile față de influența condițiilor de mediu (umiditate, praf, etc). Aceste avantaje suplimentare le fac să fie cel mai frecvent utilizate în construcția sistemelor de control automat.

Tructoarele inductive folosite în industrie sunt:

- tructoare inductive cu întrefier variabil (simple)
- tructoare inductive diferențiale (LDTS)
- transformatoare diferențiale (LVDT)

### Tructorul inductiv cu armătura frontală mobilă (întrefier variabil)

Tructorul este compus dintr-o bobina înfășurată pe un miez din material feromagnetic și o armatură a carei poziție relativă față de miezul feromagnetic variază în funcție de variația dimensiunii măsurandului. Prin modificarea întrefierului dintre armătura mobilă și suprafața frontală a suportului bobinei se modifică inductanța bobinei:

$$L = \frac{N^2}{R} = \frac{\mu_0 * A * N^2}{x} = \frac{4 * \pi * 10^{-7} * A * N^2}{x} = K * \frac{1}{x} \quad (129)$$

unde:

- $R$  este reluctanta magnetica a circuitului magnetic
- $\mu_0$  este permitivitatea magnetica a aerului
- $N$  este numarul de spire ale bobinei
- $A$  este sectiunea circuitului magnetic
- $x$  este mărimea întrefierului

După cum se observă din relația de mai sus, variația întrefierului duce la o variație neliniară a inductanței după o caracteristică statică:

$$L = f\left(\frac{1}{x}\right) \quad (130)$$



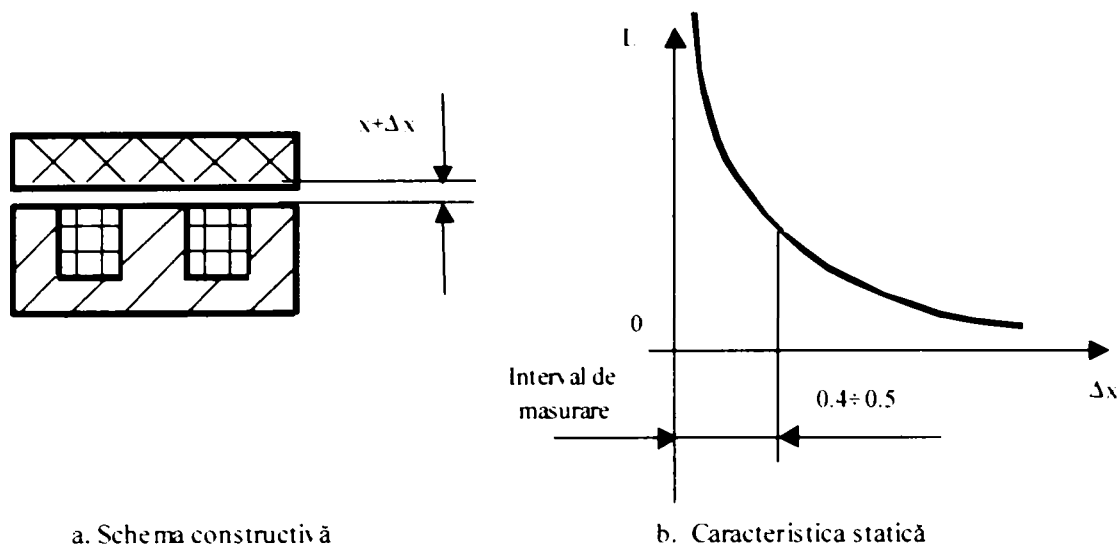


Fig. 77 Traductor inductiv cu armatură frontală

Problema neliniarității caracteristicii statice se rezolvă prin utilizarea doar a unor porțiuni ale caracteristicii. Prin această caracteristică se liniarizează pe porțiuni. Astfel din întreaga caracteristica a traductorului se poate utiliza doar un interval de  $(0.4 \div 0.5)$  mm cu o liniaritate de  $(2 \div 2.5)\%$ . Eroarea de liniaritate este unul dintre dezavantajele acestui tip de traductor, dar avantajele ca: gabarit mic, comoditate și simplitate la montaj duc la folosirea pe scară largă a acestuia în cadrul sistemelor de control activ.

Una dintre firmele care au dezvoltat acest tip de traductor este firma MARPOSS, cele mai dese aplicații fiind în cadrul controlului pieselor cu adaosuri mici de prelucrare (rectificarea plană sau rectificarea fără centre).

### Traductorul inductiv diferențial cu deplasare liniară (LDTS)

Acest tip de traductor este prezentat în figura de mai jos.

Structura și schema de funcționare a acestui traductor sunt următoarele: cele două înfășurări 1 și 2 au un suport comun și sunt încorporate într-o carcasa cilindrică 3. În lungul axei traductorului se deplasează un miez cilindric 4 din fier fixat pe o tijă nemagnetică. Această deplasare duce la modificarea inductanțelor bobinelor 1 și 2.

Cele două inductanțe sunt legate într-un circuit în punte Wheatstone cu două rezistoare de balans de valori identice pentru a se obține o caracteristică statică liniarizată.

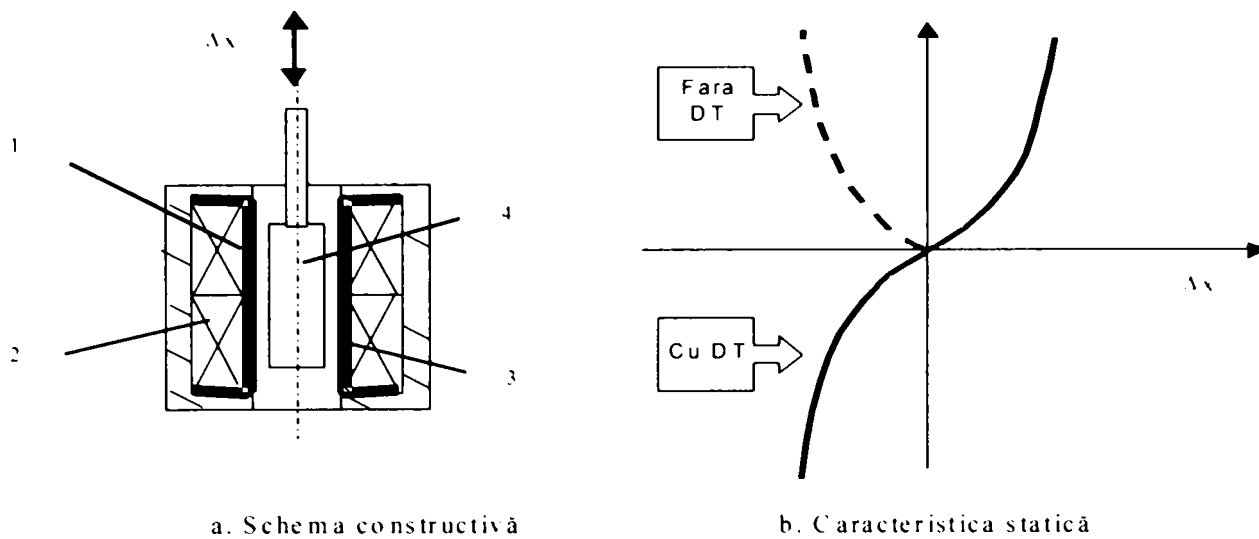


Fig. 78 Traductor inductiv cu armatură frontală:

Schema electrica de funcționare a traductorului este următoarea:

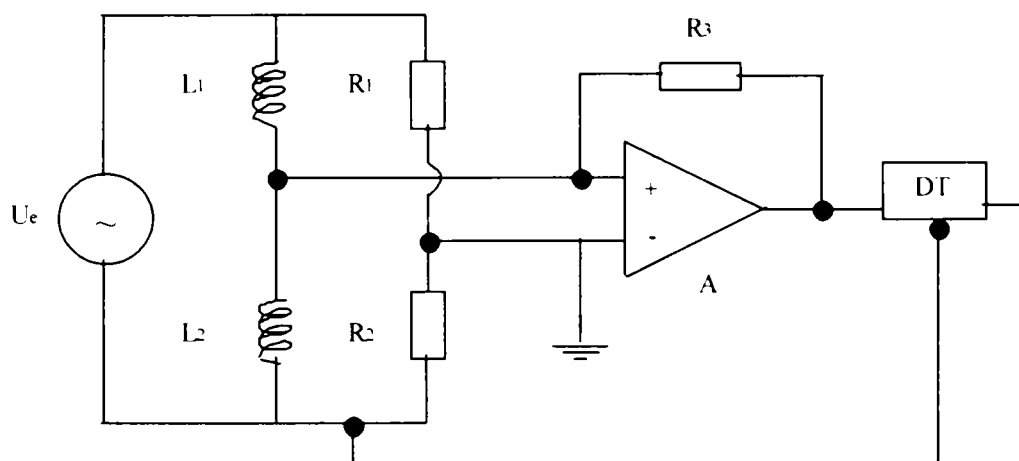


Fig. 79 Montajul electronic al traductorului

Când miezul 4 este plasat simetric față de cele două bobine, inductanțele acestora sunt egale, adică:

$$L = L_1 = L_2 \quad (131)$$

La o schimbare a poziției miezului cele două inductivități variază după legile următoare:

$$L_1 = L \frac{1}{1 - A * x} \quad (132)$$

$$L_2 = L \frac{1}{1 + A * x} \quad \text{unde:} \quad (133)$$

- $x$  este deplasarea miezului față de poziția de echilibru (simetric față de cele două bobine)
- $A$  este un coeficient dat de caracteristicile dimensionale și magnetice ale traductorului prin formula:

$$A = \frac{1}{b} * \frac{1 + (\mu_r - 1) \left(\frac{d}{D}\right)^2}{1 + (\mu_r - 1) \left(\frac{d}{D}\right)^2 \left(1 - \frac{l}{2b}\right)} \quad (134)$$

cu notatiile:

- $b$  lungimea unei bobine
- $d$  diametrul miezului
- $D$  diametrul interior al bobinelor
- $l$  lungimea miezului

Puntea inductivă este de regulă alimentată cu o tensiune alternativă de  $(2 \div 5)$  V. Montajul mai conține un amplificator A și un detector de fază DT.

Rolul acestui detector de fază este de a elimina ambiguitățile referitoare la sensul de deplasare al miezului. DT are ca referință semnalul din circuitul de excitație. Dacă semnalul referință (măsurare) este în fază cu excitația  $U_e$  tensiunea de ieșire  $U_f$  este pozitivă. Dacă semnalul referință (măsurare) este în antifază cu excitația  $U_e$  tensiunea de ieșire  $U_f$  este negativă.

Caracteristica statică a acestui tip de traductoare este una cvasistatică. Traductorul este folosit doar pentru anumite intervale ale deplasărilor (între 0.5 și 2 mm) unde sensibilitatea este de și eroarea de liniaritate este de  $(0.3 \div 1)\%$ . Aceste caracteristici îl fac cel mai folosit traductor din construcția capetelor de control activ.

În figura de mai jos este prezentat un traductor folosit de către INCDMF-CEFIN București pentru măsurarea deplasărilor liniare de până la 1 mm.

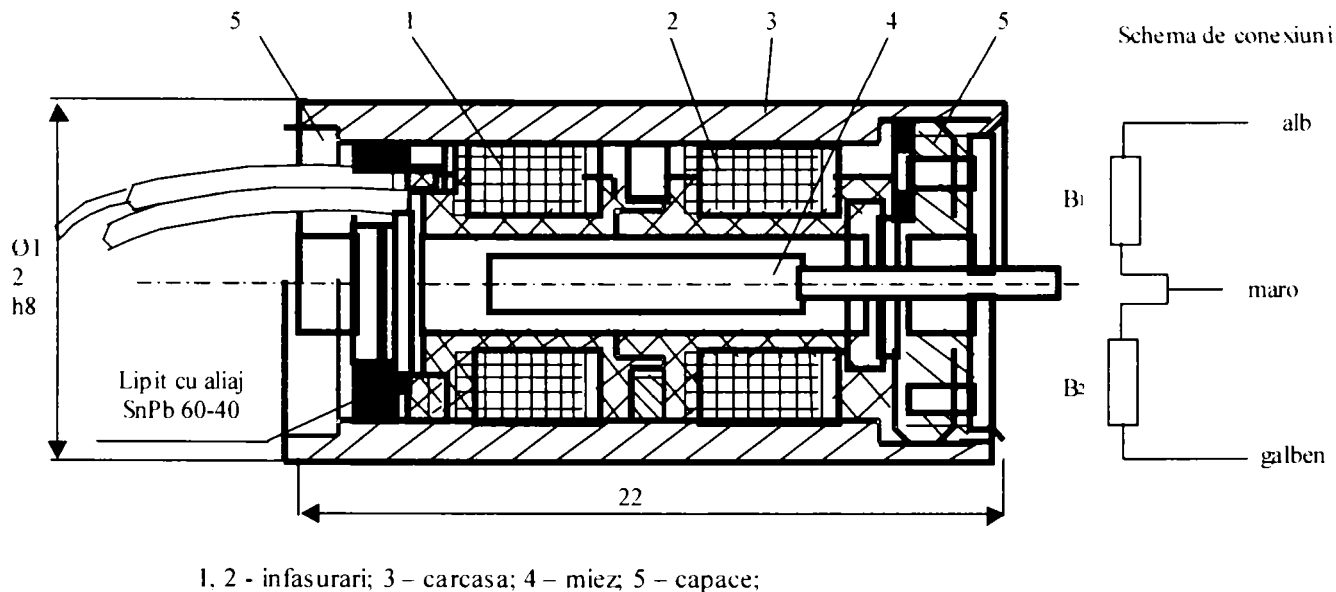


Fig. 80 Traductor INCDMF-CEFIN București

## Traductorul inductiv tip transformator diferențial (LVDT)

Traductorul inductiv tip transformator diferențial cu deplasare liniară se bazează pe fenomenul de variație a unui cuplaj electromagnetic dintre o înfășurare primară și două înfășurări secundare la deplasarea unui miez feromagnetic față de o poziție de echilibru.

Întreg subansamblul format din suportul 5 și cele trei înfășurări sunt introduse într-o carcasă cilindrică din material feromagnetic. Miezul este fixat pe o tija nemagnetica.

Toate înfășurările au aceeași lungime  $l$  iar miezul are lungimea  $2l$ . Înfășurările secundare sunt conectate în serie și au sensuri opuse de bobinare. Prin alimentarea înfășurării primare cu tensiuni alternative joase, în înfășurările secundare se induc tensiuni dependente de:

- valoarea tensiunii de alimentare a înfășurării primare  $U_a$
- numărul de spire ale înfășurării primare și secundare  $N_s$  și  $N_p$
- deplasarea  $x$  a miezului față de poziția de echilibru (simetric față de cele două înfășurări secundare).

Valoarea tensiunilor în înfășurările secundare sunt:

$$U_1 = U_a * \frac{N_s}{N_p} * f(x)$$

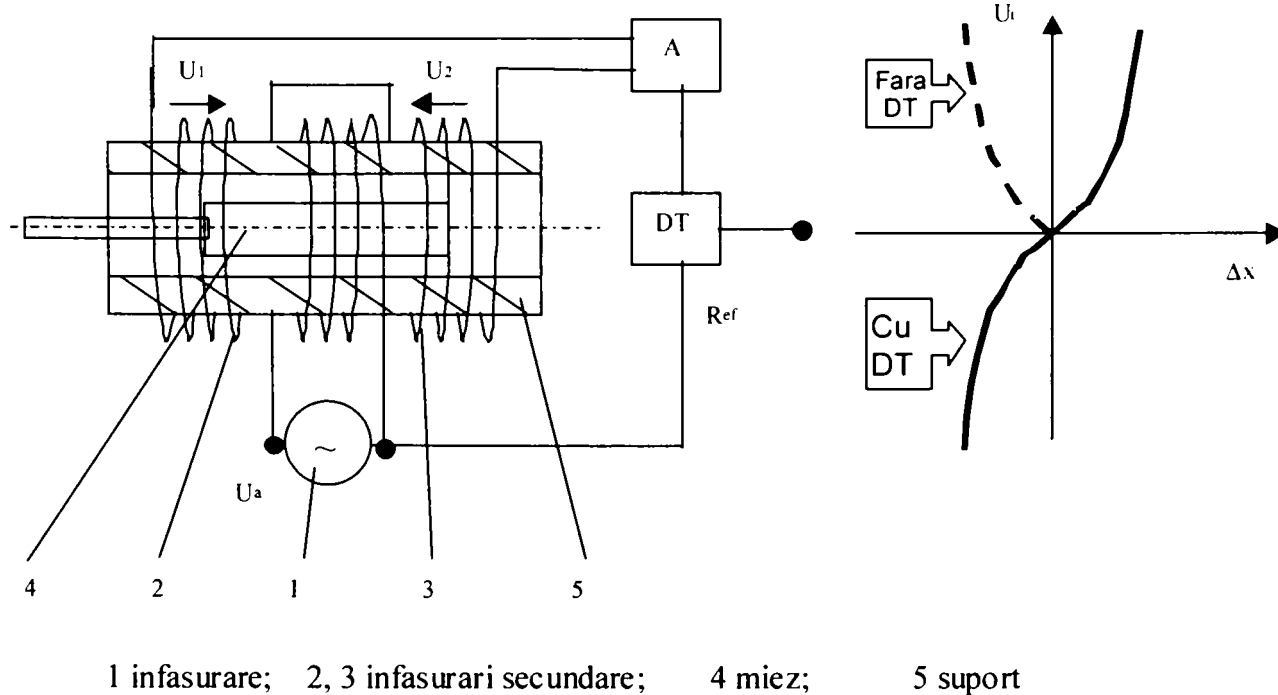


Fig. 81 Traductor inductiv tip transformator diferențial

$$U_2 = U_a * \frac{N_s}{N_p} * f(-x) \quad (135)$$

unde

- $f(x)$  este o funcție complexă depinzând de parametrii circuitului magnetic al traductorului și este crescătoare pentru valori pozitive ale deplasării și descrescătoare pentru valori negative ale deplasării.
- $N_S$  este numărul de spire al unei înfășurări secundare
- $N_P$  este numărul de spire al înfășurării primare

Prin modul de realizare a montajului, într-un circuit diferențial se obține o tensiune de ieșire  $U_i$  data de relația:

$$U_e = U_1 - U_2 = U_a * \frac{N_S}{N_P} * [f(x) - f(-x)] \quad (136)$$

După cum se poate observa pentru deplasări nule (deci pentru  $x=0$ ) tensiunile induse în secundare sunt de valori egale, dar din cauza sensurilor opuse de bobinare ele se anulează și, de aceea, semnalul de ieșire este nul.

Când miezul se deplasează cu o distanță  $x$  în jurul acestei poziții de echilibru, tensiunile induse în înfășurările secundare se modifică față de valorile pentru  $x=0$  cu  $+\Delta U_{\varphi}$  respectiv  $-\Delta U$ . Tensiunile induse în cele două bobine secundare vor fi armonice, la fel ca și tensiunea de alimentare  $U_a$  dar vor fi defazate. De aceea, după amplificarea în amplificatorul  $A$ , este obligatoriu ca la demodulare  $DT$  să se folosească un demodulator sensibil la fază.

Astfel că la ieșire se va obține un semnal proporțional cu mărimea deplasării cu polaritatea fazei date de sensul de deplasare al miezului în lungul axei sale.

Traductorul se folosește pentru măsurarea deplasărilor față de poziția de echilibru prin aproximarea porțiunii caracteristicii statice din jurul punctului  $x=0$  cu o dreaptă.

Unul dintre producătorii de sisteme de control activ care utilizează această variantă de traductor, denumit și LVDTs (Linear Variable Differential Transformer), este firma italiană MARPOSS. Treptele domeniilor de măsurare sunt, de regulă, 1; 2; 5; 20; 200 mm (deci se pot măsura intervale de dimensiuni destul de largi) cu o eroare de liniaritate obținută pe aceste intervale de  $(0.2 \div 0.5) \%$  (deci o reducere a erorilor legate de liniaritatea traductorului față de celelalte tipuri de traductoare inductiv prezentate). La aceste avantaje se mai adaugă:

- posibilitatea urmăririi variației lente a unei dimensiuni
- sensibilitate ridicată obținută prin creșterea numărului de spire din înfășurarea primară
- forțe electromagnetice reduse (fără a influența sistemul supus măsurării)

Dintre dezavantaje menționăm:

- realizarea celor două înfășurări secundare identice este foarte dificilă
- variațiile de inductanță, rezistență și capacitate greu de compensat
- influența factorilor de mediu (în special variația temperaturii)

Un alt producător de traductoare inductive este firma Renishaw (Anglia) care are o gama foarte largă de produse. Câteva din variantele constructive propuse de aceasta sunt prezentate în figurile de mai jos:

Fig. 82 Traductor inductiv MP 3

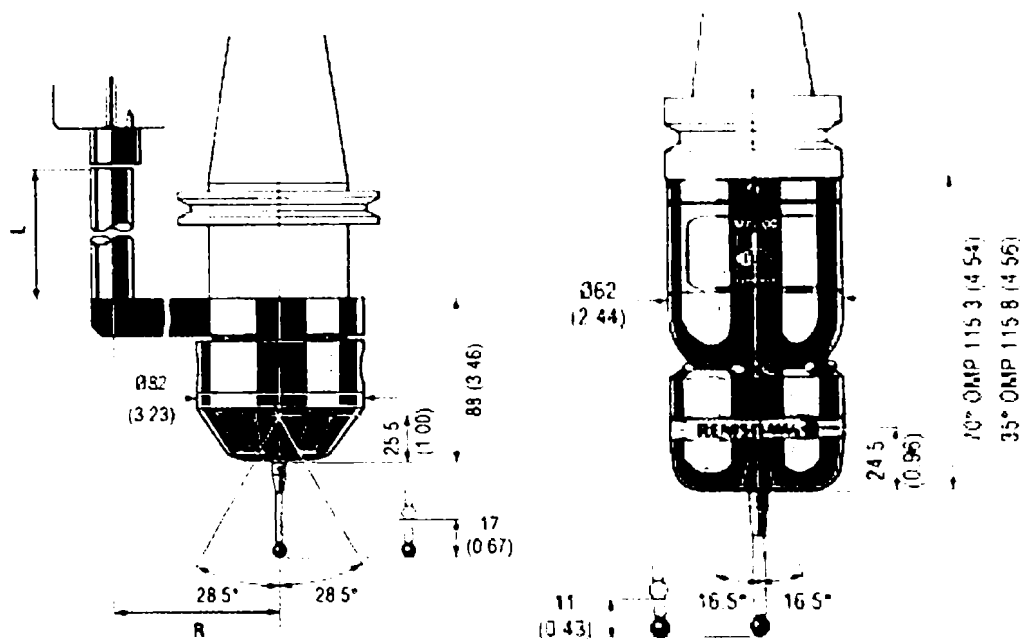


Fig. 83 Traductor inductiv MP 700

### 3.2.4.4 Traductoare pneumatice

Traductoarele pneumatice sunt primele tipuri de traductoare folosite în structura sistemelor de control activ. Dezvoltarea puternică a traductoarelor bazate pe principii electrice a imprimat o nouă direcție pe linia utilizării semnalului pneumatic: de regulă semnalul este convertit într-un semnal electric mult mai ușor, mai rapid și mai precis de prelucrat. Această înseamnă utilizarea pe scară largă a efectului care sta la baza traductorului pneumatic clasic la nivelul senzorului sistemelor de control activ, traductoarele fiind în acest caz de tip electro-pneumatice.

Principiul metodelor pneumatice de măsurare a dimensiunilor

La toate sistemele de control dimensional care au în construcția lor senzori pneumatici, funcționarea acestora se bazează pe legile de scurgere a gazelor. În figura următoare se evidențiază acest principiu [12] [35] [39]:

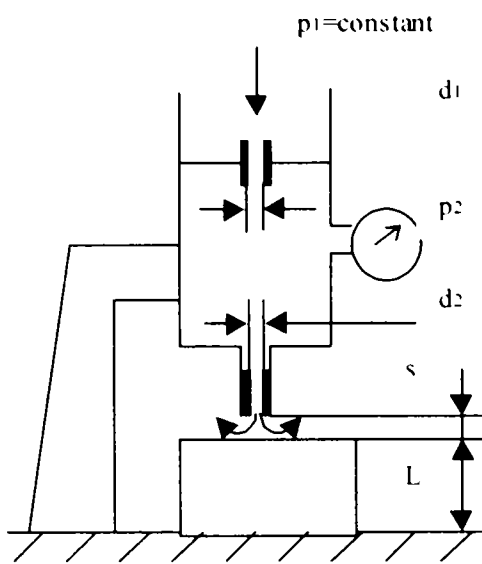


Fig. 84 Traductor pneumatic. Principiul de funcționare

Aerul cu presiunea constantă  $p_1$  intră prin duza de intrare cu diametrul  $d_1$  în camera de măsurare 1 și iese prin duza de ieșire cu diametrul  $d_2$  și prin interstițiul inelar cu diametrul  $d_2$  și înălțimea  $s$  în atmosferă. Prin modificarea dimensiunii  $L$  a piesei controlate se modifică interstițiul  $s$  și prin aceasta se schimbă debitul de aer care se scurge prin duza de ieșire. Odată cu debitul se modifică și presiunea  $p_2$  din camera de măsurare. Presiunea din camera de măsurare  $p_2$  este o funcție de interstițiul  $s$ , dependența acestuia fiind prezentată în figura de mai jos:

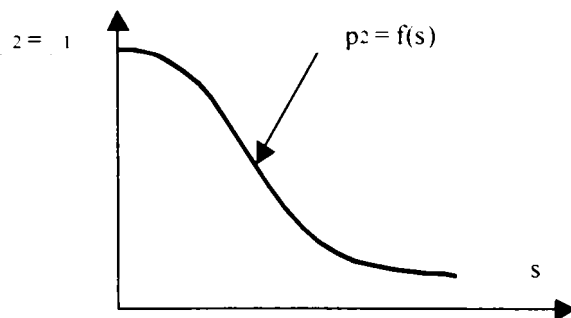


Fig. 85 Traductor pneumatic. Caracteristica statică

Această dependență reprezintă caracteristica statică a aparatului [12] [35] [39].

Sistemele de control pneumatice sunt grupate, funcție de metoda care sta la baza măsurării pneumatice, după cum urmează [12] [35]:

- sisteme bazate pe măsurarea presiunii
- sisteme cu rotametrul sau volumetrice
- sisteme bazate pe măsurarea vitezei

Măsurarea presiunii este realizată fie la joasă presiune ( $100 \div 1500$  mm col.H<sub>2</sub>O), fie la înaltă presiune ( $1.5 \div 3.5$  daN/cm<sup>2</sup>).

Metoda de măsurare la joasă presiune este redată schematic în figura 86 [12] [35].

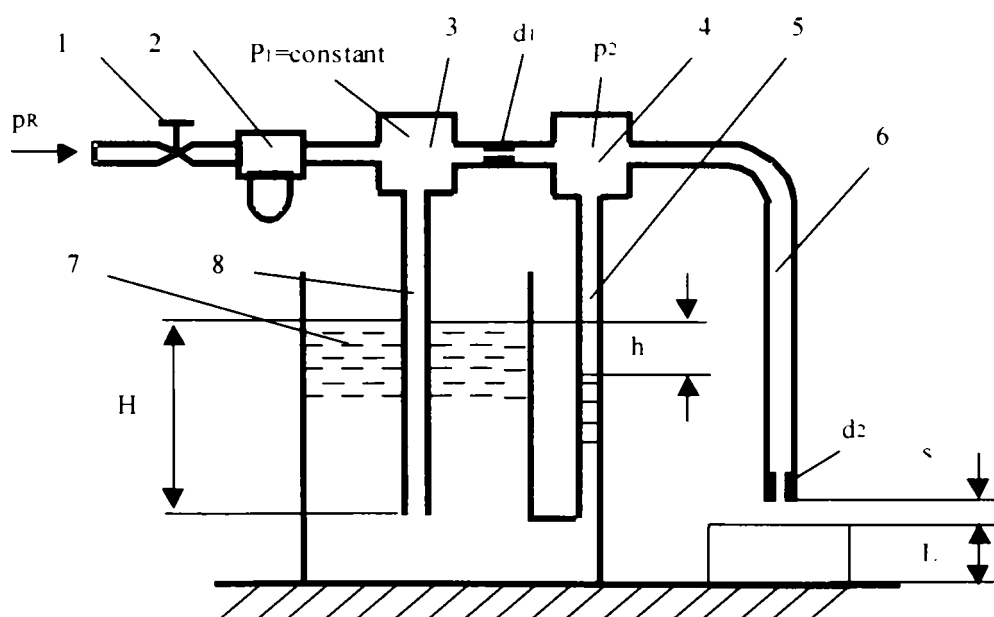
Aerul de la rețeaua de aer comprimat sau de la sursa proprie a aparatului intra cu presiunea  $p_R$  printr-un robinet de strangulare 1 și filtrul 2 în camera de presiune constanta 3 în care se mentine presiunea nominala (de intrare) la o valoare riguros constanta data de formula:

$$p_1 = \gamma_l * H \quad (138)$$

Mentinerrea la aceasta valoare constantă este realizată de un stabilizator de presiune foarte simplu format dintr-un rezervor cu apa 7 în care este scufundata teava 8 racordată direct la camera de presiune constanta 3. Surplusul de aer este evacuat, prin lichid, în atmosfera.

Din camera de presiune constanta 3 aerul este trecut prin duza de intrare de diametru  $d_1$  în camera de presiune variabila 4. Camera 4 comunica pe de o parte cu tubul piezometric 5 iar pe de alta parte cu atmosfera prin tubul flexibil 6, duza de iesire cu diametrul  $d_2$  și poziționata la distanta  $s$  față de suprafața măsurandului. Tubul piezometric arata în fiecare moment valoarea presiunii din camera de presiune variabila, formula de calcul a presiunii în camera 4 fiind:

$$p_2 = \gamma_l * h$$



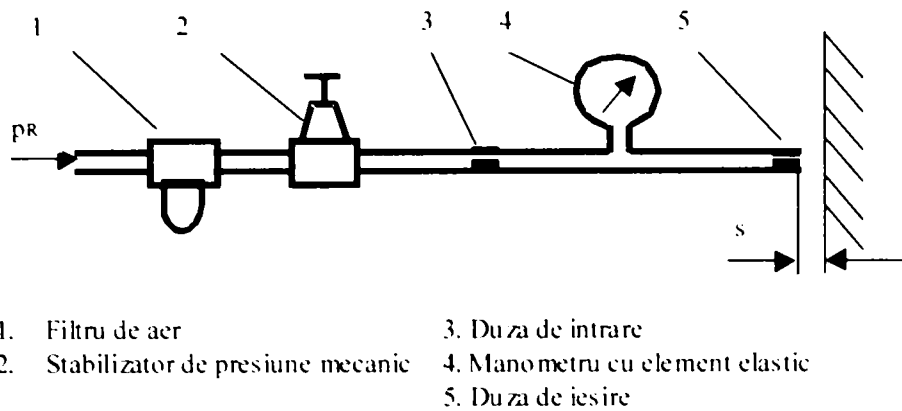
- |                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1. Robinet de strangulare       | 5. Tub piezometric        |
| 2. Filtru                       | 6. Tub flexibil de iesire |
| 3. Camera de presiune constanta | 7. Rezervor de apa        |
| 4. Camera de presiune variabila | 8. Teava de scufundare    |

Fig. 86 Sistem de măsurare de joasă presiune

Printr-o etalonare corespunzătoare a tubului piezometric, înaltimea piezometrica  $h$  poate sa indice direct variația dimensiunii măsurandului.

Principiul de funcționare a sistemelor de măsurare la presiune înalta este similar cu al celor de joasa presiune, cu diferenta că în locul manometrului cu lichid, pentru măsurarea presiunii se folosesc manometre cu element elastic iar în locul stabilizatorului de presiune cu lichid se folosesc diferite tipuri de stabilizatoare de presiune mecanica (regulatoare de presiune) [12] [35].

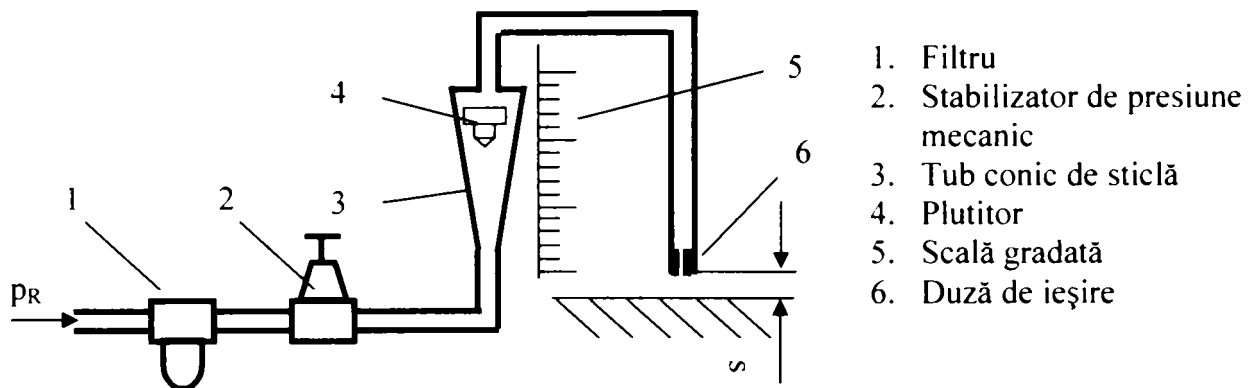




- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Filtru de aer                    | 3. Duza de intrare              |
| 2. Stabilizator de presiune mecanic | 4. Manometru cu element elastic |
|                                     | 5. Duza de iesire               |

Fig. 87 Sistem de măsurare de în alta presiune

A doua grupa mare sisteme de control bazate pe măsurători pneumatice sunt cele care au în structura lor aparatele pneumatice volumetrice sau cu rotametri [12] [35].



- |                                     |
|-------------------------------------|
| 1. Filtru                           |
| 2. Stabilizator de presiune mecanic |
| 3. Tub conic de sticlă              |
| 4. Plutitor                         |
| 5. Scală gradată                    |
| 6. Duză de ieșire                   |

Fig. 88 Sisteme de măsurare volumetrice

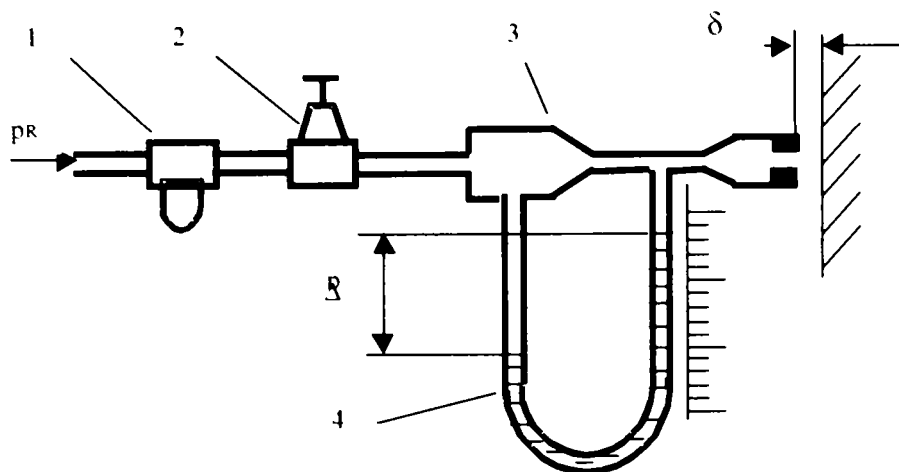
La fel ca la sistemele de înaltă presiune, aerul intră în filtrul 1 și în stabilizatorul de presiune 2. De aici aerul este condus într-un debitmetru format dintr-un tub conic de sticlă 3, plutitorul 4 și scală gradată 5 după care iese în atmosferă prin duza de ieșire 6 și interstițiul  $s$ .

Prin modificarea interstițiului  $s$  se modifică debitul de aer care iese în atmosferă. Funcție de acest debit, plutitorul urcă sau coboară în tubul conic. Prin etalonarea corespunzătoare a scalei gradate aceasta poate să indice direct valoarea interstițiului  $s$ .

Aparatele cu rotametri au avantajul că asigură liniaritatea între debitul de aer și interstițiul  $s$  pe tot domeniul de măsurare spre deosebire de metodele bazate pe măsurarea presiunii, unde caracteristica statică a aparatului este liniară doar între anumite limite.

Aparatele pneumatice de măsurare a vitezei curentului de aer (aparate de măsurare după principiul Venturi) sunt formate dintr-un filtru 1, un stabilizator de presiune 2, un tub Venturi 3, și un manometru 4 (cu lichid sau cu element elastic) [12] [35].

Viteza curentului de aer în tub se modifică odată cu variația interstitiului  $s$ . Variația vitezei atrage după sine apariția unei căderi de presiune corespunzătoare  $\Delta p$ .



1. Filtru
2. Stabilizator de presiune mecanic
3. Tub venturi
4. Manometru cu lichid

Fig. 89 Aparate de măsurare a vitezei aerului

Domeniu de măsurare al acestor aparate este limitat deoarece porțiunea liniară a caracteristicii statice a aparatelor de tip Venturi este foarte redusă (explicabil datorită faptului că variația presiunii este proporțională cu pătratul interstitiului  $\delta$ ).

Avantajele sistemelor de măsurare pneumatice sunt:

- măsurarea fără contact (lipsa uzurii)
- suprafața măsurandului este curățată de către jetul de aer
- liniaritatea are erori sub 1%
- posibilitatea aplicării controlului suprafețelor dificil sau imposibil de măsurat prin alte metode (ex: alezaje rectificat, honuite)

### 3.2.4.5 Traductoare fotoelectrice

#### Traductoare fotoelectrice incrementale

Deplasarea de translație sau de rotație este măsurată, în cazul acestor traductoare, ca urmare a scanării fotoelectrice a unei rețele de fante foarte fine care se deplasează între un dispozitiv de iluminare fix (emisie) și un dispozitiv de recepție de asemenea fix, compus dintr-o rețea de scurta de fante și fotocelule de recepție a fluxului luminos [39].

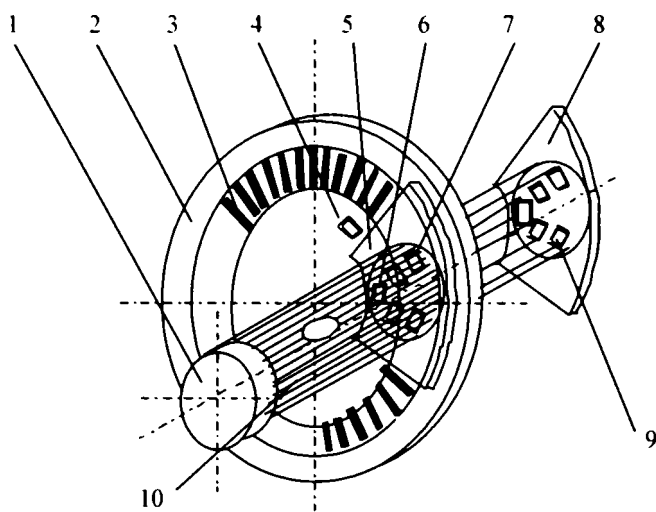
Traductorul fotoelectric incremental rotativ măsoară deplasări liniare sau unghiulare prin intermediul mecanismelor surub-piulita, pinion-cremaliera sau rola mobilă.

Traductorul este prezentat în figura 90 (din punct de vedere al principiului constructiv și al principiului de funcționare).

Subansamblele principale ale traductorului sunt:

- subansamblul fix (subansamblul dispozitivului optoelectronic de emisie-recepție)
- subansamblul mobil (de revoluție)

Subansamblul mobil conține un disc gradat 2, cu o rețea radială 3 de fante opace și transparente de latimi controlate. Discul conține această rețea radială dispusă pe întreaga circumferință și o altă rețea mai scurtă, de referință sau de nul.



- |                       |                                  |                   |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1. LED                | 5. Placa vernier                 | 9. Fotoreceptori  |
| 2. Disc mobil         | 6. Fereastra impuls de referință | 10. Ax de rotație |
| 3. Pista de fante     | 7. Fereastra de scanare          |                   |
| 4. Rețea de referință | 8. Placa fotoreceptoare          |                   |

Fig. 90 Schema constructivă

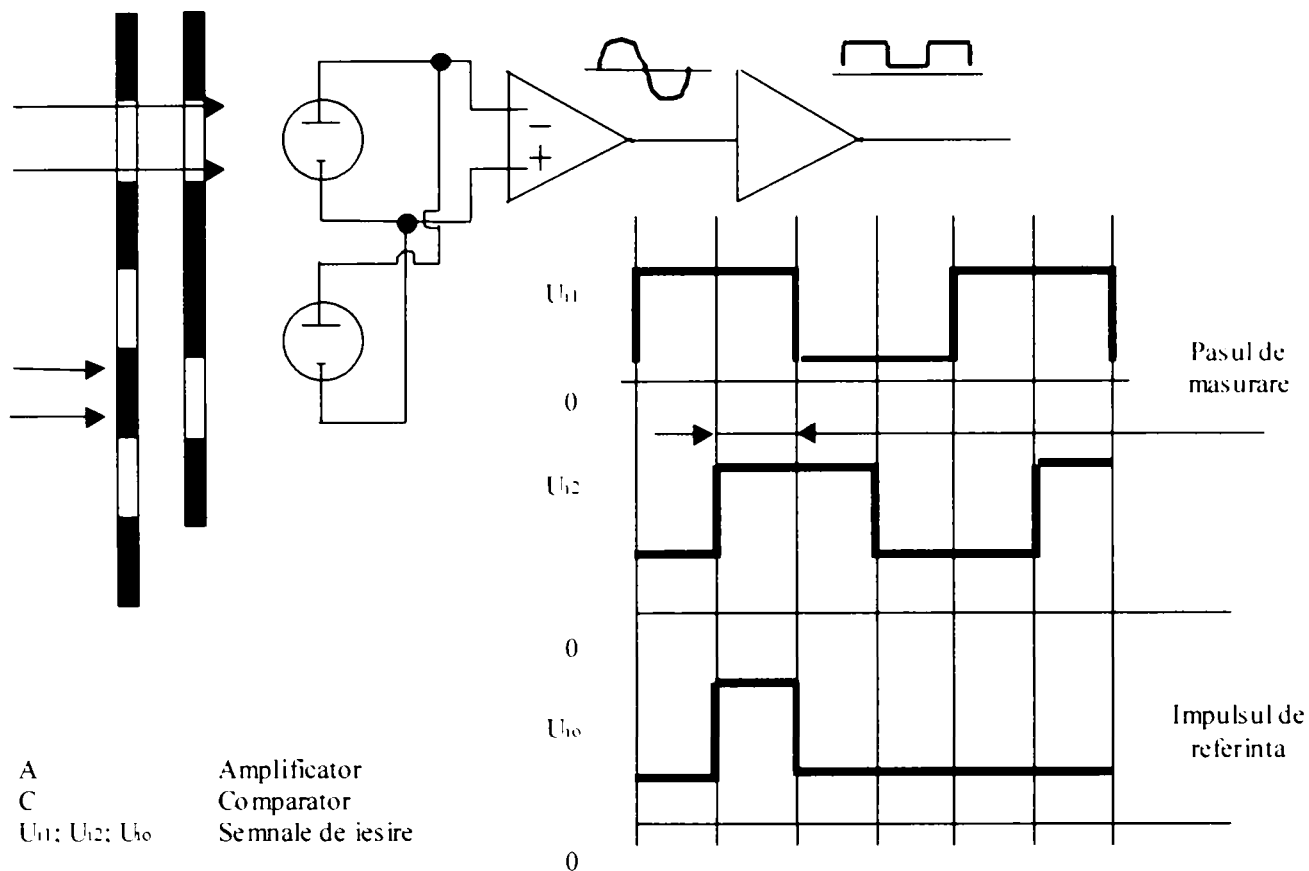


Fig. 91 Schema electrica și forma semnalelor de iesire

Subansamblu fix conține o sursă de lumină 1 (de obicei un LED sau un bec) care emite către receptorul 8 compus dintr-o placă specială. Fasciculul luminos emis este perpendicular pe discul mobil gradat și, înainte de a ajunge la receptor, trece printr-o rețea de scanare fixă 5. Rețeaua de scanare fixă are patru ferestre mici 7 (cu o gradare identică celei a rețelei discului mobil) și o a cincea fereastră de scanare pentru impulsul de referință sau de nul.

Fluxul luminos este modulat prin rotația discului gradat și intensitatea sa este sesizată de placa cu fotoreceptori. Fotoreceptorii, iluminați în antifază, generează două semnale sinusoidale de ieșire și unul varf pentru semnalul de referință. Semnalele sinusoidale sunt defazate cu  $90^\circ$  electrice ( $1/4$  din pasul rețelei). Numărul de pași de rotație ai unui semnal este egal cu numărul de linii gradate pe discul mobil. Semnalul de referință este convertit într-un semnal de tip impuls patrat, ușor de utilizat.

Din punct de vedere funcțional, cele două semnale sinusoidale, după ce sunt amplificate în amplificatorul a, sunt digitizate în comparatorul C sub forma unor impulsuri patrate  $U_{11}$ ,  $U_{12}$ . Ieșirea din comparator este un semnal logic ceea ce face ca deplasările unghiulare făcute de discul mobil pot fi numărate de un numărator.

O îmbunătățire a performanțelor traductoarelor fotoelectrice incermentale este realizată prin subdivizarea electronică a semnalelor: pasul de măsurare este în acest caz valoarea unghiulară

corespunzătoare distanței dintre două fronturi de unda succesive ale celor două trenuri de impulsuri de formă pătrată.

Discul gradat mobil este montat pe un ax lagăruit pe rulmenți într-o carcasa cilindrică. Carcasa realizează prin intermediul unui capac frontal și a unor garnituri, etansarea totală a subansamblului mobil. Gamele în care se divizează discurile mobile sunt: 10, 50, 100, 200, 250, 500, 1000, 1024, 2000, 3600, 4000, 4096, etc.

Legătura între numărul gradațiilor  $n$  de pe disc, rotația  $m$  a discului și frecvența impulsurilor generate este dată de relația de mai jos:

$$f = \frac{m * n}{60} \text{ (Hz)} \quad (139)$$

Traductorul fotoelectric incremental liniar măsoară direct dimensiuni sau deplasări liniare, folosind asemenea traductorului fotoelectric incremental rotativ, principiul scanării fotoelectrice a unei rețele foarte fine. Traductorul este similar celui rotativ, deosebirea fiind aceea că în locul discului mobil se utilizează o riglă gradată de sticlă. Gradațiile sunt și ele grupate în două serii paralele între ele: una dispusă pe întreaga lungime a riglei de măsurare și alta scurtă de referință.

Traductoarele de mai sus sunt folosite în special pentru măsurarea deplasărilor elementelor mobile care intră în structura sistemelor de control activ (dispozitivelor de introducere, menținere, retragere).

### Traductoare opto-electrice pentru control direct

Traductoarele pe principiul opto-electronic sunt folosite și pentru controlul direct al pieselor supuse prelucrării. Un exemplu în acest sens este traductorul dezvoltat de firma Renishaw (Anglia)

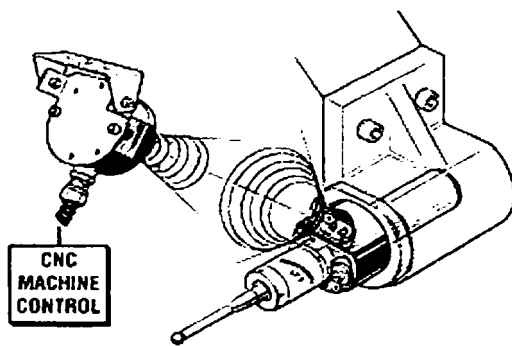


Fig. 92 Traductor opto-electric pentru control dimensional direct;

Schema de funcționare

Acesta este format dintr-un transmitator și un receptor:

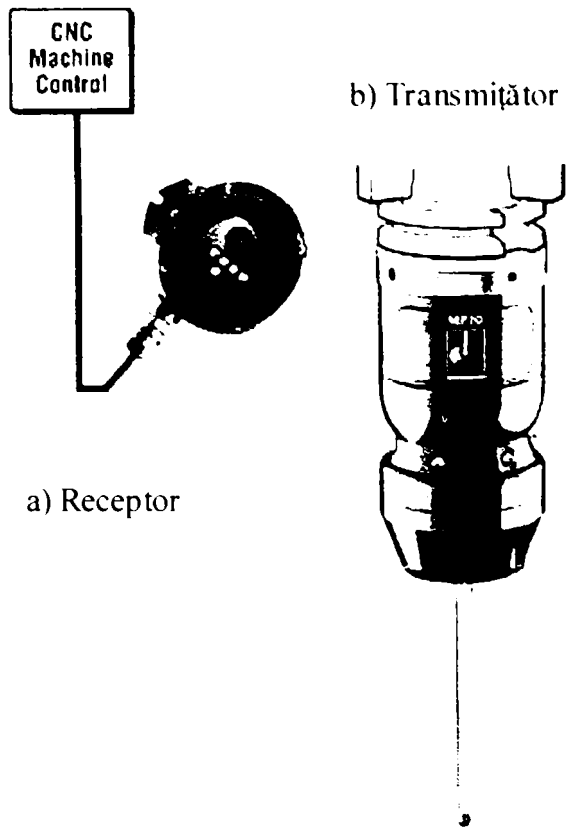


Fig. 93 Traductor opto-electric pentru control dimensional direct:

Parti componente: a. receptor: b. transmițător:

Aceste parti sunt prezentate în detaliu în figurile de mai jos:

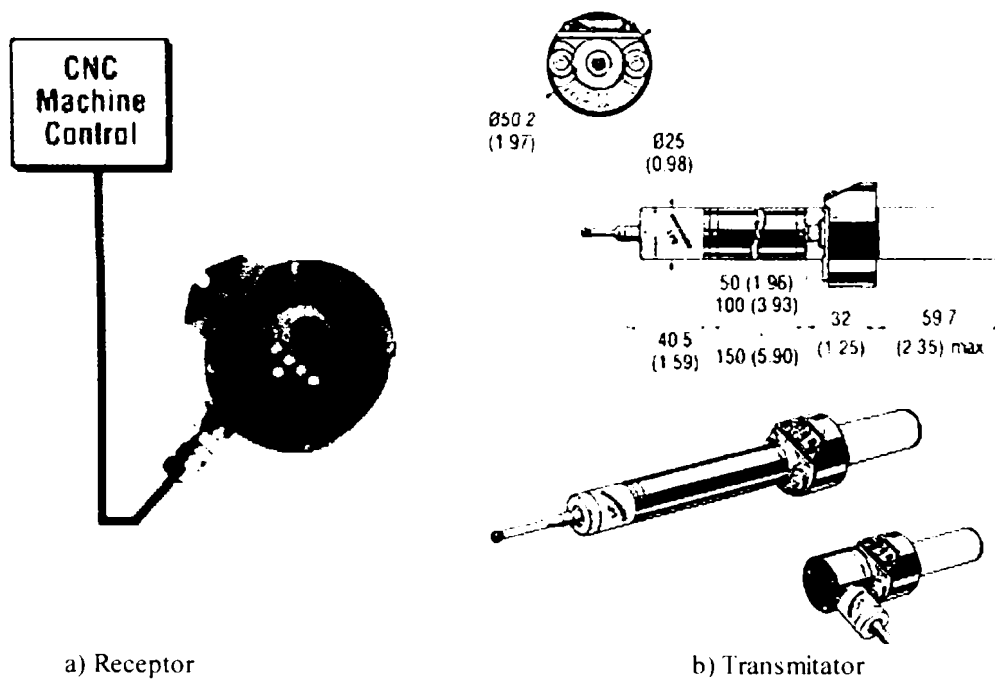


Fig. 94 Traductor opto-electric: parti componente

### 3.2.5 Elemente de amortizare

Elementele de amortizare sunt utilizate în structura sistemelor de control care măsoară în special suprafețe discontinue [39]. Aici efectul șocurilor și vibrațiilor aparute în timpul măsurării suprafețelor au un efect daunator asupra stabilității și integrității structurii capetelor de măsurare.

Un amortizor este un element care produce forța de frecare controlată funcție de necesitățile sistemului. Forța de frecare este generată de un corp în mișcare fiind, după principiul care stă la baza funcționării amortizorului, clasificate astfel:

- de tip vascos
- de tip uscat
- de tip cuplaj electric
- de tip inertial

Caracteristicile amortizoarelor sunt efectele următoare:

- amortizoarele cu lichid:
  - produc forțe și momente de amortizare de valori ridicate
  - au gabarit mic
  - parametrii amortizorului se modifică la variații mari de temperatură
  - necesită etansări fără pierderi de lichid
- amortizoarele cu aer:
  - produc forțe și momente de amortizare de valori reduse
  - parametrii amortizorului nu se modifică chiar la variații mari de temperatură
  - nu necesită etansări pretențioase
- amortizoarele cu frecare uscată
  - amortizoarele sunt eficiente în special pentru vibrații torsionale
  - amortizarea este independentă de viteza de oscilație
  - nu sunt eficiente la amortizarea vibrațiilor longitudinale
- amortizoarele magneto-inductive
  - produc forțe și momente de amortizare de valori mici, proporționale cu viteza de oscilație
  - parametrii amortizorului nu se modifică chiar la variații mari de temperatură
- amortizoarele inertiabile
  - sunt eficiente doar pentru amortizarea vibrațiilor torsionale
  - au gabarit mare
  - performanțele lor depind foarte mult de caracteristica vibrațiilor (doar pentru frecvențe constante ale excitațiilor)

---

Tinând cont de aceste efecte specifice și de caracteristicile impuse de sistemele de control activ, cele mai utilizate amortizoare sunt amortizoarele cu lichid. Hotărâtor în impunerea acestor amortizoare sunt gabaritul mic și capacitatea ridicată de amortizare.

În cele ce urmează este prezentat în detaliu un model de amortizor folosit în construcția capetelor de control activ al suprafețelor discontinue (fig 95).

Forța de amortizare maximă apare la deplasarea în jos a pistonului 1 în lungul cilindrului 2, cilindru umplut cu lichid. În acest caz, volumul de lichid  $Q_1$  este dislocat și trecut prin interstiul dintre piston și cilindru în camera inferioară în cea superioară. La sensul opus de mișcare forța de amortizare este mai redusă din cauza faptului că volumul de lichid dislocuit  $Q_1'$  este mai mic decât volumul  $Q_1$  dislocuit în primul caz și un alt volum  $Q_2$  trece prin interstiul dintre tija pistonului și piulita 3 de limitare a cursei în camera delimitată de piulita 3 și membrana de etansare 4. Membrana de etansare este fixată prin forma de corpul cilindrului 2 și este centrată de către tija pistonului 1. Forma, dimensiunile (grosimi de  $0.25 \div 0.35$  mm) și materialul membranei (de regulă cauciuc) fac ca aceasta să se comporte ca membrana elastică cu centrul rigid. Placuta 5 are rolul de a fixa pe corpul cilindrului 2 inelele O de etansare a orificiilor de umplere cu lichid a amortizorului. Forța frontală de stangere a inelelor în locașele practicate în corpul cilindrului este asigurată de suruburile de fixare (nereprezentate în figura) a placutei.

Calculul forței de amortizare generate de elementul de amortizare cu lichid porneste de la ecuația de continuitate a debitului:

$$Q = Q_1 \quad \text{unde:} \quad (140)$$

$Q$  este debitul de lichid generat de deplasarea pistonului în cilindru

$Q_1$  este debitul prin interstiul dintre piston și cilindru.



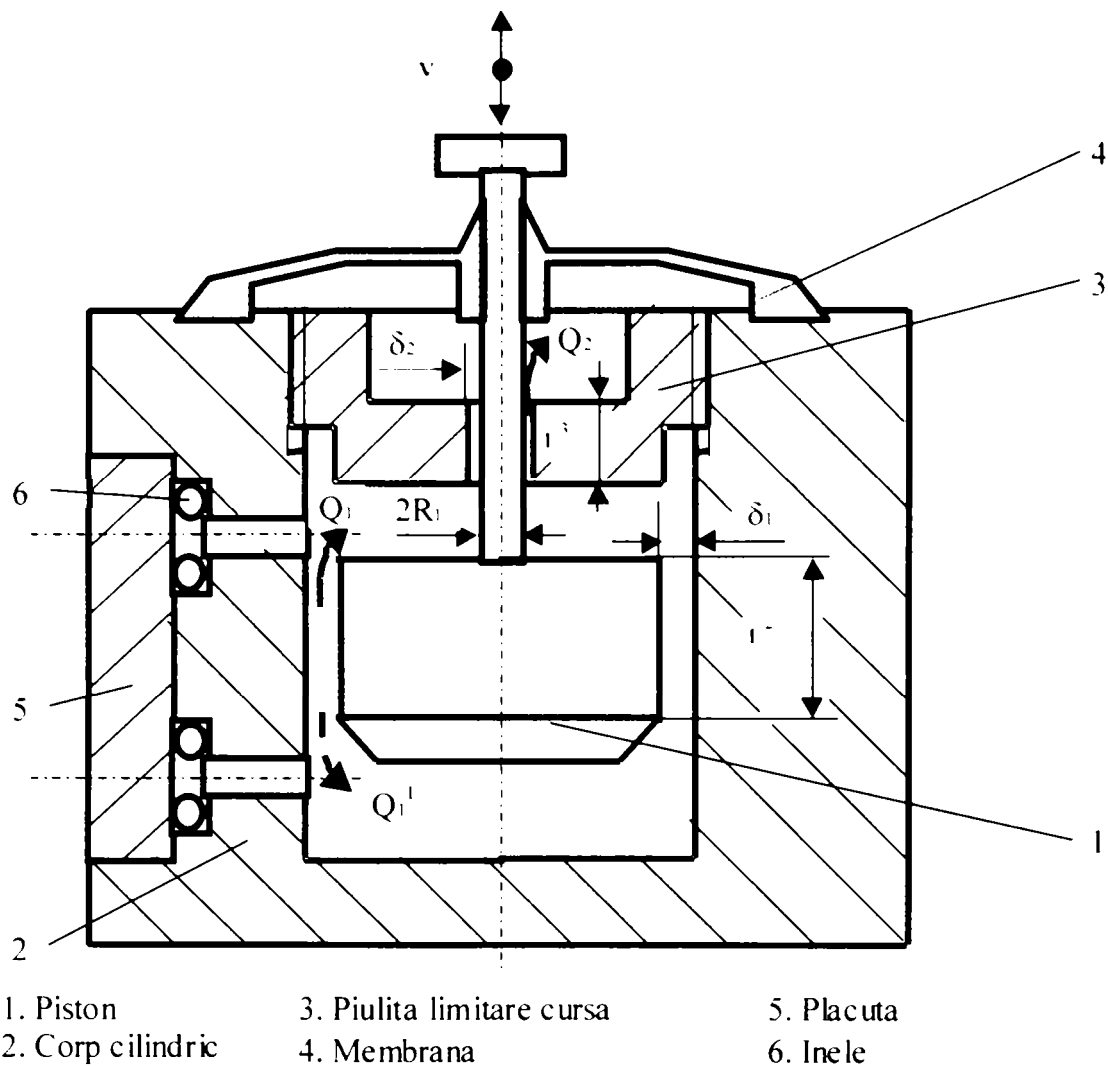


Fig. 95 Amortizor: schema funcționala

Formulele de calcul al acestor debite sunt date mai jos [39]:

$$Q = \pi * R^2 * v \quad (141)$$

$$Q_1 = \frac{\pi * \delta_1^3 * R_m * p}{6 * \eta * l_2} \quad \text{în care:} \quad (142)$$

- $R$  este raza pistonului
- $v$  este viteza de deplasare a pistonului
- $\delta_1$  este jocul dintre piston și cilindru
- $R_m$  este raza medie ( $R_m = R + \delta_1/2$ )
- $l_2$  este lungimea pistonului
- $p$  este presiunea lichidului
- $\eta$  este vâscozitatea dinamică a lichidului

Din relațiile de mai sus, prin impunerea condiției de egalitate a debitului, rezultă relația de calcul a presiunii  $p$ :

$$p = \frac{6\eta * l_2 * R^2 * v}{\delta_1^3 * (R + \delta_1/2)} \quad (143)$$

Forța de amortizare este data de legătura între expresia presiunii și a ariei pe care ea este exercitată:

$$F = \pi R^2 p = \pi R^2 \frac{6\eta * l_2 * R^2 * v}{\delta_1^3 * (R + \delta_1/2)} = \frac{6 * \pi * l_2 * R^4}{\delta_1^3 * (R + \delta_1/2)} * \eta * v = c * v \quad (144)$$

unde  $c$  este o coeficient de amortizare și are expresia:

$$c = \frac{6 * \pi * l_2 * R^4}{\delta_1^3 * (R + \delta_1/2)} * \eta$$

Expresia de calcul a coeficientului  $c$  evidențiază faptul că forța de amortizare depinde de parametrii geometrice ai cilindrului și pistonului (prin valoarea razei pistonului și a jocului dintre cilindru și piston) și de proprietățile lichidului folosit (prin vâscozitatea dinamică a acestuia).

Cursa în jos a pistonului este considerată cursa activă.

Revenirea pistonului (ridicarea sa) este realizată și ea cu o forță de amortizare. Expresia acesteia se determină similar cu expresia forței data la coborare și anume prin impunerea condiției de continuitate a debitului:

$$Q = Q_1' + Q_2 \quad \text{unde:} \quad (145)$$

$Q_1'$  este debitul prin jocul pistonului

$Q_2$  este debitul prin interstiul tija-piulita limitatoare

$$Q = \pi(R^2 - R_1^2)v' \quad (146)$$

$$Q_1' = \frac{\pi\delta_1^3(R^2 + \delta_1/2)}{6\eta l_2} p' \quad (147)$$

$$Q_2 = \frac{\pi\delta_2^3 R_m'}{6\eta l_3} p' = \frac{\pi\delta_2^3(R_1 + \delta_2/2)}{6\eta l_3} p' \quad (148)$$

în care:

$v'$  este viteza pistonului în cursa de revenire

$R_1$  este raza tijei pistonului

$\delta_2$  este jocul dintre tija pistonului și piulita

$R_m'$  este raza medie ( $R_m' = R_1 + \delta_2/2$ )

$l_3$  este lungimea alezajului de trecere din piulita

$p'$  este presiunea lichidului

Din ecuațiile de mai sus se obține expresia presiunii lichidului la cursa de revenire:

$$p' = \frac{6\eta l_2 l_3 (R^2 - R_1^2) * v'}{\delta_1^3 l_3 (R + \delta_1/2) + \delta_2^3 l_2 (R_1 + \delta_2/2)} \quad (149)$$

Forța de amortizare produsă la cursa de revenire este:

$$F = \pi(R^2 - R_1^2) * p' = \frac{6\pi\eta l_2 l_3 (R^2 - R_1^2)^2 * v'}{\delta_1^3 l_3 (R + \delta_1/2) + \delta_2^3 l_2 (R_1 + \delta_2/2)} \quad (150)$$

Analiza exresiilor forțelor de amortizare dezvoltate în timpul celor două curse (de coborare și de ridicare) releva faptul că la ridicare forța  $F_a^I$  este mult mai mica decât la coborare  $F_a$ .

Caracteristic pentru lichidele folosite în construcția amortizoarelor este:

- necesitatea de a-și păstra parametrii constanti la apariția variațiilor de temperatură (în special vâscozitatea dinamică)
- necesitatea de a avea o bună stabilitate chimică
- să nu conțină acizi sau sulf
- să nu fie higroscopice

Lichidele cele mai folosite precum și densitatea lor sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Lichid	Densitate (kg/m <sup>3</sup> )
Glicerina	1.14 x 10 <sup>3</sup>
Mercur	1.23 x 10 <sup>4</sup>
Ulei lubrifiant	7.72 x 10 <sup>3</sup>
Ulei silionic	8.80 x 10 <sup>3</sup>

Una dintre condițiile esențiale cerute lichidelor este stabilitatea vâscozității dinamice la variațiile temperaturii mediului ambiant. Alegerea lichidelor se face funcție de condițiile de funcționare și de această proprietate. Se utilizează diagrame care redau variația vâscozității dinamice a fluidului în funcție de temperatură. Din analiza unor astfel de diagrame se observă că scăderea temperaturii duce la creșterea vâscozității dinamice și implicit la creșterea forței de amortizare. Acest fapt duce la scăderea capacității de urmărire a variației dimensiunii prelucrate.

Din acest punct de vedere cel mai bine se comportă mercurul și uleiul silionic.

### 3.2.6 Elemente de protecție

Capetele de control activ utilizate pentru controlul suprafețelor prelucrate prin așchiere trebuie protejate împotriva pătrunderii șpanului, prafului abraziv și a lichidului de răcire-ungere. Rolul acesta este realizat de către elementele de protecție ale capetelor de control care realizează etanșarea capului de măsurare [39].

Protecția capetelor de măsurare se proiectează astfel încât să respecte condițiile impuse de gradul IP64 de protecție:

- protecție totală împotriva pătrunderii prafului fin
- protecție totală împotriva pătrunderii lichidelor

Protecția se realizează folosind elemente active sau elemente pasive de protecție:

- elementele pasive sunt realizate cu garnituri și inele "O" fixate între elementele de închidere (capace laterale și conectoare electrice) și carcasa capului de măsurare
- elementele active cuprind membrane sau burdufuri gofrate cu pereți subțiri de (0.2÷0.3) mm fixate între carcasa capului de măsurare și elementele mobile de măsurare (brațele de palpare).

La proiectarea elementelor de protecție active, pe lângă condițiile cerute pentru etanșarea corectă a capului de măsurare, se mai impun condiții suplimentare de alegere a elementelor astfel încât să nu fie afectate forța și cursa de măsurare.

În funcție de cele expuse mai sus, construcția capetelor de măsurare are două variante distincte de etanșare:

- varianta deschisă (firma Movomatic utilizează acet tip de etanșare)
- varianta închisă (practicată de marea majoritate a firmelor producătoare)

Materialele care se folosesc în construcția elementelor de etanșare se cere a fi rezistente la uzura prin frecare și la acțiunea uleiului. Cea mai bună comportare o are perbutanul produs în calitațile PO și PT. Caracteristicile mecanice și domeniul de temperatură recomandat acestor materiale sunt date în tabelul următor:

	PO						PT				
Domeniul de temperatură (°C)	-30°C÷+100°C						-30°C÷+100°C				
Duritatea (°ShA)	4	5	6	70	8	9	40	50	60	70	8
	0	0	0		0	0					0
Rezistența de rupere la tracțiune (N/mm <sup>2</sup> )	5	7	8	12	8	8	40	70	90	12	8
	0	0	0	0	0	0				0	0

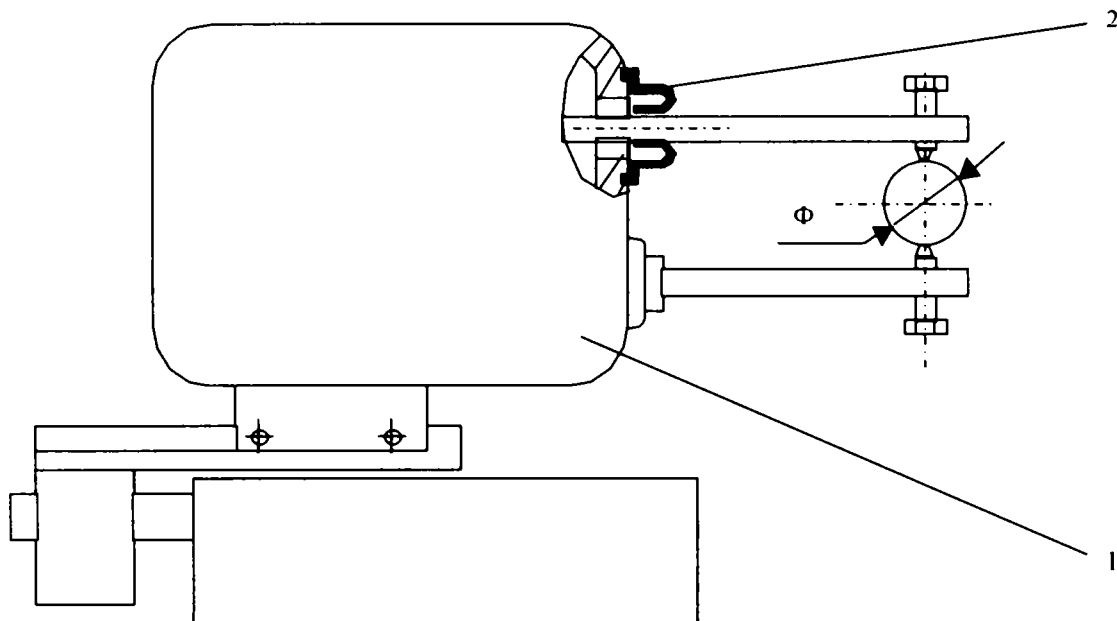


Fig. 96 Sistem de control activ. Varianta inchisă

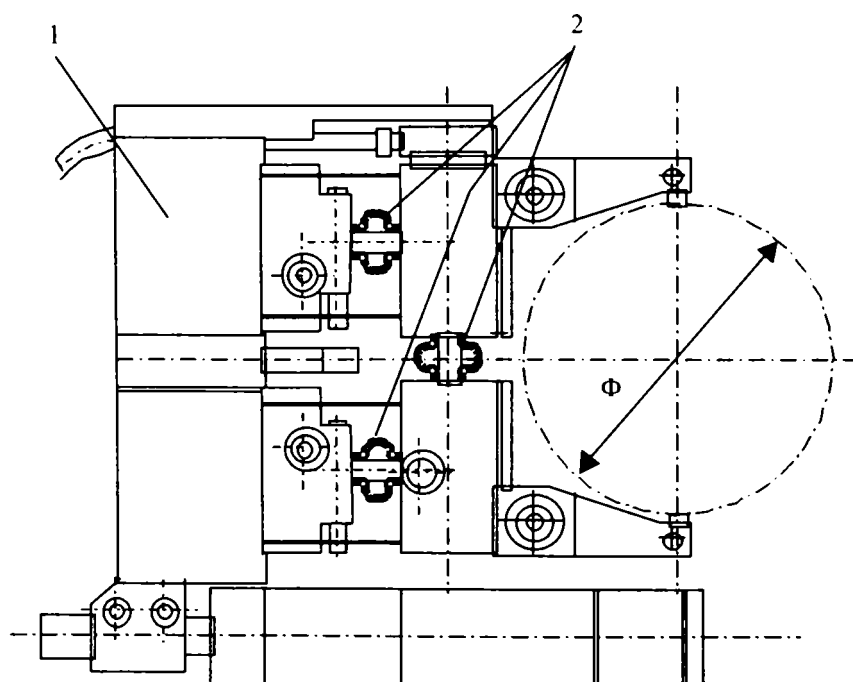


Fig. 97 Sistem de control activ. Varianta deschisă

unde:

- 1 corpul capului de control
- 2 membrane gofrate

### 3.2.7 Dispozitive de introducere, menținere și retragere din zona de măsurare

Dispozitivul de introducere, menținere și retragere din zona de măsurare sau dispozitivul de avans reprezintă suportul mobil al capului de măsurare[39]. Pornind de la aceasta descriere succintă a rolului său, dispozitivului i se impun următoarele funcții pe care trebuie să le îndeplinească:

- robustețe și insensibilitate la vibrațiile mașinii-unelte
- imunitate la contaminarea cu praf, șpan, lichid de răcire-ungere (grad de protecție IP65)
- precizie ridicată la deplasarea în lungul direcției de măsurare
- repetabilitate (0.002 mm)
- adaptabilitate ridicată pentru diverse construcții
- aducerea capului de măsurare în poziția de măsurare și retragerea lui la încheierea ciclului de prelucrare și măsurare
- acționarea simplă și rapidă, ușor de automatizat

Forma și dimensiunile dispozitivului de avans sunt în strânsă corelație cu:

- tipul mașinii-unelte,
- geometria mesei mașinii,
- dimensiunile pieselor prelucrate
- gabaritul capului de măsurare

După tipul mișcărilor care le realizează, dispozitivele de introducere, menținere și retragere sunt clasificate în:

- dispozitive cu deplasare liniară
- dispozitive cu deplasare unghiulară în plan vertical
- dispozitive cu deplasare unghiulară în plan orizontal

Acționarea dispozitivelor de avans ale sistemelor de control activ se face de obicei hidraulic pornind de la sistemul hidraulic al mașinii-unelte. Presiunile de lucru sunt cuprinse între 6 și 25 bari.

Dacă nu este posibilă acționarea hidraulică prezentată mai sus, se recurge la acționarea pneumatică la presiuni de 4÷6 bari.

Tot ca variante pentru sistemul de avans se numără și aceea în care se face acționarea mixtă: hidraulică pe cursa de apropiere și mecanică (cu arc) pe cursa de retragere.

Dispozitivul de avans cu deplasare liniară este, schematic, prezentat în figura următoare:

Figura 42. Dispozitiv de avans cu deplasare liniară

- a. poziție de repaos (deplasarea este  $h_{\max}$ )
- b. poziție de măsurare (deplasarea este  $h_{\min}$ )

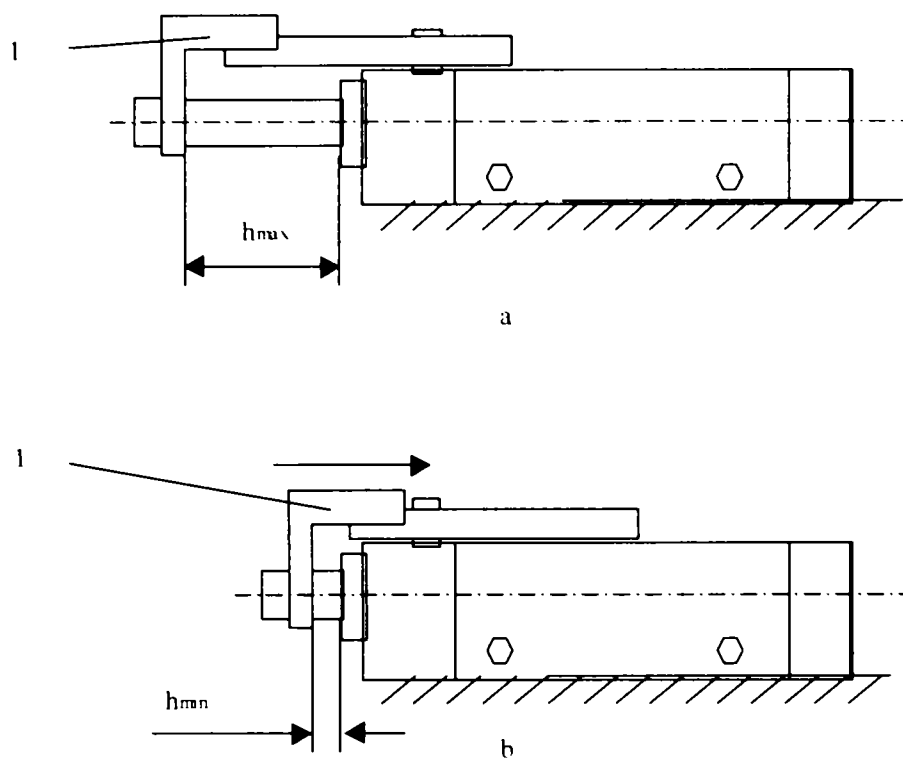


Fig. 98 Dispozitive de avans cu deplasări liniare

Dispozitivele cu deplasări liniare, principal reprezentate în figura de mai sus, se folosesc pentru asigurarea curselor de avans ale capetelor de control activ pentru dimensiuni exterioare. Cursele sunt realizate cu ajutorul unui cilindru hidraulic cu dublă acționare.

O variantă de dispozitiv de avans cu deplasare unghiulară în plan vertical este prezentată în figura următoare:

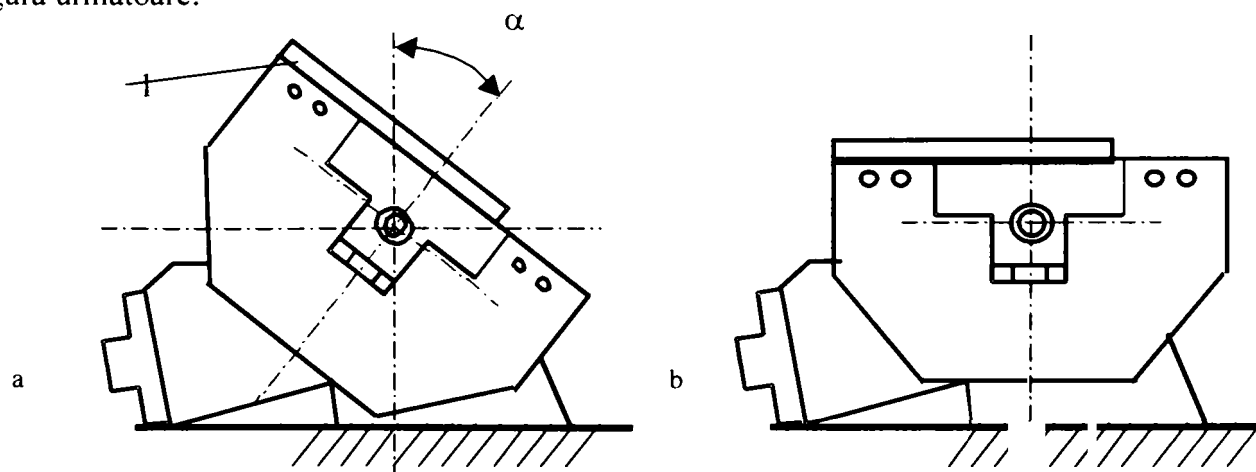


Fig. 99 Dispozitiv de avans cu deplasare unghiulară în plan vertical

unde:

- a. poziție de repaos (cu l este marcat suportul capului de măsurare)
- b. poziție de măsurare

În acest caz întregul sistem de avans este format dintr-un cilindru hidraulic cu simplă acționare și dispozitivul de avans propriu-zis.

O alta variantă de dispozitiv cu deplasări unghiulare este aceea în care deplasările se fac în plan orizontal.

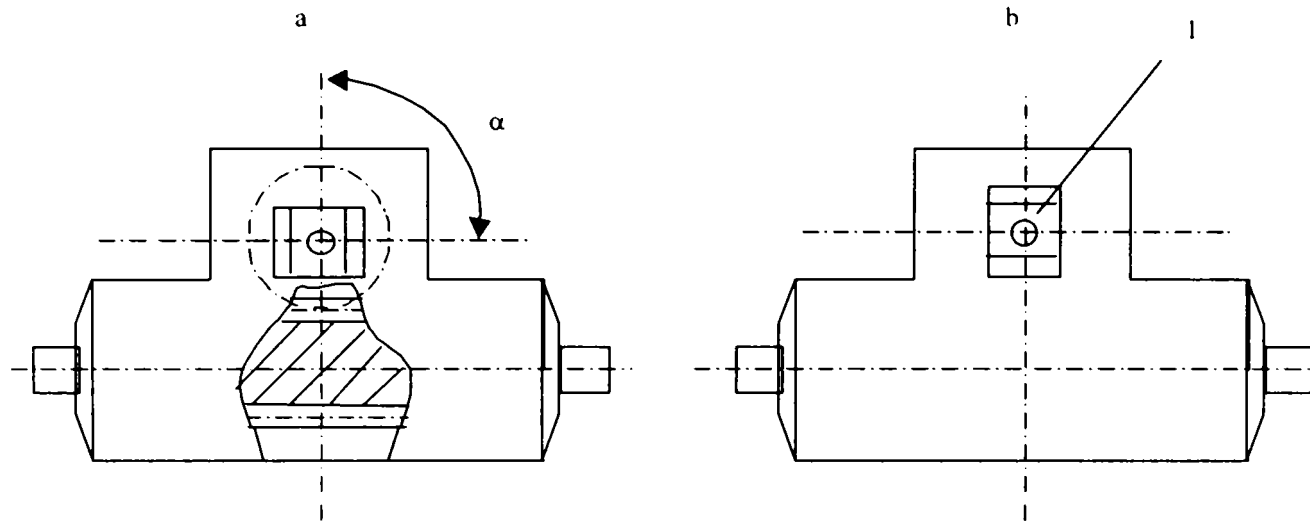


Fig. 100 Dispozitiv de avans cu deplasare unghiulară în plan orizontal

- Figura 44. Dispozitiv de avans cu deplasare unghiulară în plan orizontal
- poziție de repaos (cu 1 este marcat suportul capului de măsurare)
  - poziție de măsurare

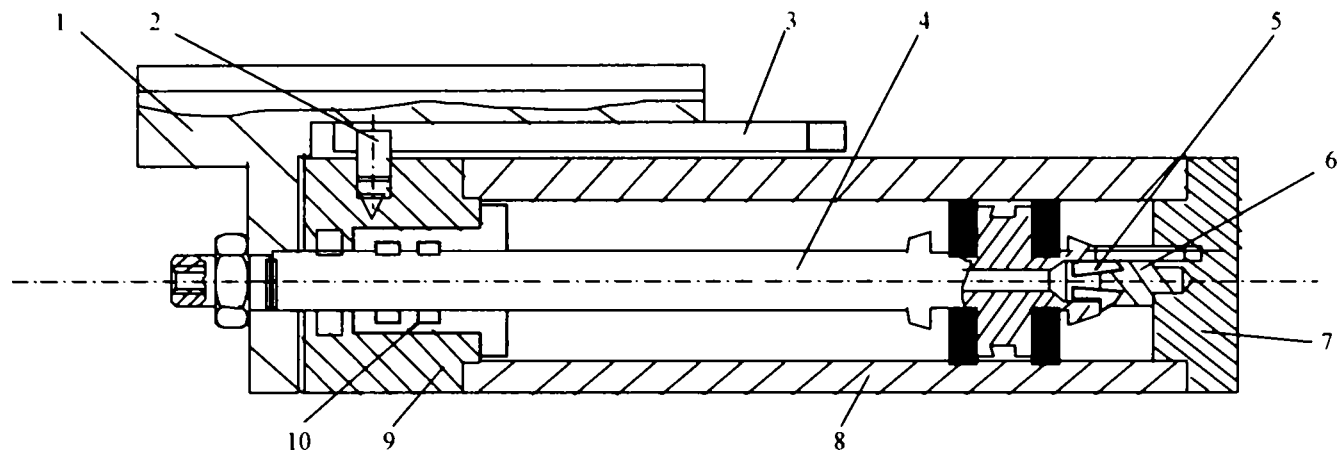
Acest dispozitiv folosește mekansimul pinion-cremalieră pentru a transforma mișcarea de translație a cilindrului hidraulic cu dublă acționare într-o mișcare de rotație a suportului capului de măsurare (1). Această soluție este folosită la controlul activ al diametrelor interioare.

Dispozitivele de avans se realizează în condiții de precizie de execuție foarte strânse astfel încât să se asigure repetabilități ale deplasărilor de 0.002 mm. Tehnologia lor de execuție implică prelucrări de găurire realizate pe mașini în coordonate, rectificări, honuiri, lepuiri. Precizia mișcărilor date capului de măsurare este în strânsă corelație cu precizia de indexare și oprire la cap de cursă a elementului mobil.

O altă condiție care se cere este aceea de folosire a unor materiale rezistente la coroziune: oțeluri inoxidabile călibile, mai rar aliaje dure de aluminiu.

O prezentare în detaliu a unui dispozitiv de avans cu deplasare liniară este făcută în continuare.





- |                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| 1. suportul capului de masurare | 6. prisma            |
| 2. cep de ghidare               | 7. capac I           |
| 3. rigla                        | 8. corp              |
| 4. tija                         | 9. capac II          |
| 5. cutit                        | 10. bucsa de ghidare |

Fig. 101 Structura unui dispozitiv de avans cu deplasare liniară

Elementul mobil al dispozitivului de avans este suportul 1 al capului de măsurare. Suportul 1, fixat pe tija 4 are o deplasare liniară în corpul cilindrului 8. Asigurarea mișcării liniare este făcută de cepul de ghidare 2 și de rigla de ghidare 3. Tija 4 este lăgăruită în bucsa 10 presată la rândul ei în capacul 9. Cea de a doua lăgăruire, relativ elastică, este realizată de garniturile de etanșare ale cilindrului. La fiecare capăt de cursă, cuțitul 5 este indexat în prisma 6 presată în capacul 7. Precizia de poziționare a capului de măsurare față de măsurand (a suportului 1 al capului de măsurare) este dependența tocmai de precizia cu care se realizează aceasta indexare. După cum se observă și din figura de mai sus, tija de acționare este găurită de la un capăt la altul astfel încât, pentru realizarea cursei de revenire și retragerea palpatoarelor din zona de lucru, microcilindrul hidraulic se alimentează cu ulei sub presiune.

Mărimea curselor de lucru realizate prin astfel de dispozitive sunt dependente de geometria mesei mașinii și de dimensiunile măsurandului.

### 3.2.8 Unități electronice de achiziție, prelucrare, afișare și comandă

Unitatea electronică are rolul de [39]:

- a prelua informația de la traductorul sistemului de măsurare
- a compara această valoare cu o valoare de referință
- a comanda, în funcție de comparația făcută anterior, ciclul de prelucrare
- a informa operatorul de evoluția ciclului de prelucrare
- a prezenta în mod continuu diferența existentă între valoarea măsurată și valoarea de referință

Toate aceste acțiuni trebuie să asigure realizarea prelucrării în timp optim și la performanțele maxime ale mașinii-unelte.

Unitatea electronică poate avea diverse configurații, în funcție de rolul pe care trebuie să-l îndeplinească și de particularitățile sistemului de măsurare/prelucrare care îl deservește.

O clasificare a unităților electronice de achiziție, prelucrare, afișare și comandă se face mai jos:

- după numărul parametrilor mășurați/controlați:
  - cu un parametru măsurat/controlat
  - cu mai mulți parametri mășurați/controlați
- după criteriul prezenței/absenței acțiunii dispozitivului de control asupra procesului tehnologic de prelucrare
  - cu comenzi pentru ciclul automat
  - fără comenzi pentru ciclul automat (doar cu afișarea evoluției valorii măsurate)
- după forma semnalului de ieșire:
  - cu ieșiri analogice
  - cu ieșiri BCD (digitale)

În general, unitatea electronică are o structură modulară. Acest mod de concepție asigură flexibilitatea funcțională (prin realizarea de noi funcții prin adăugarea/scoaterea unor module din structura existentă).

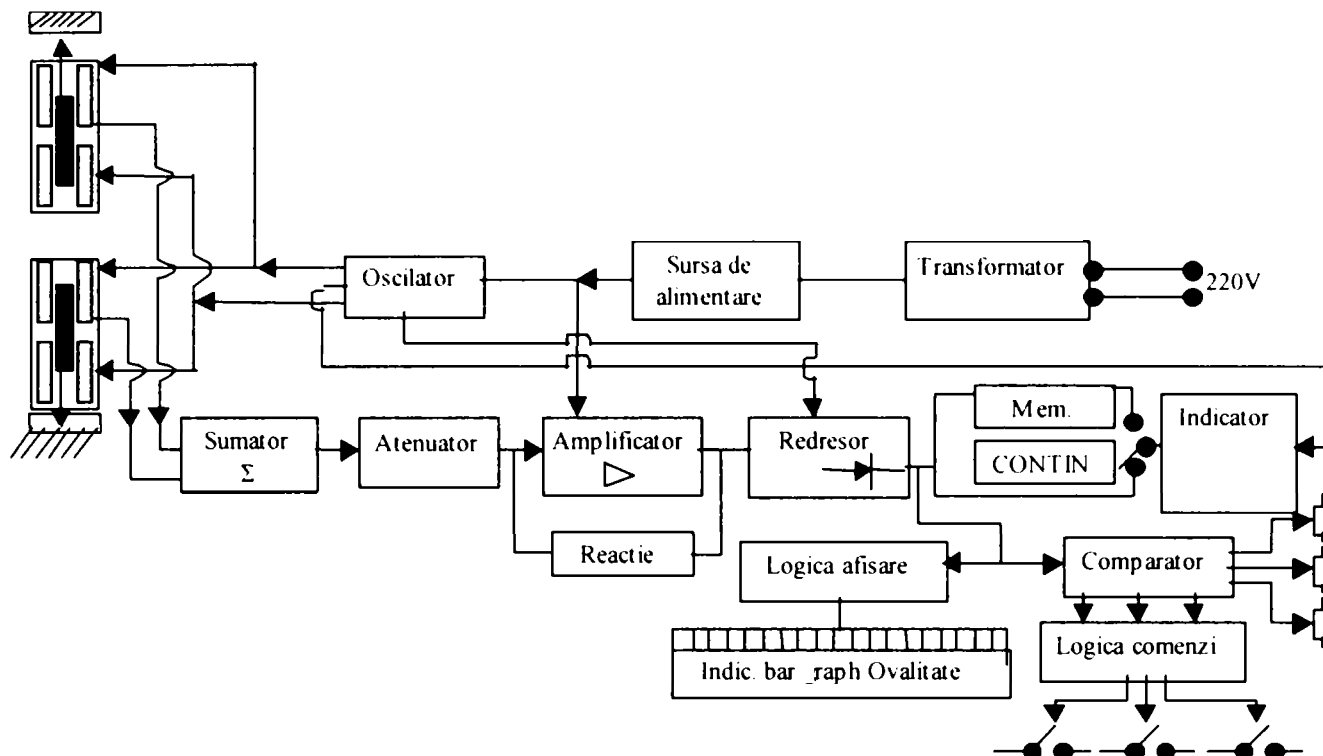


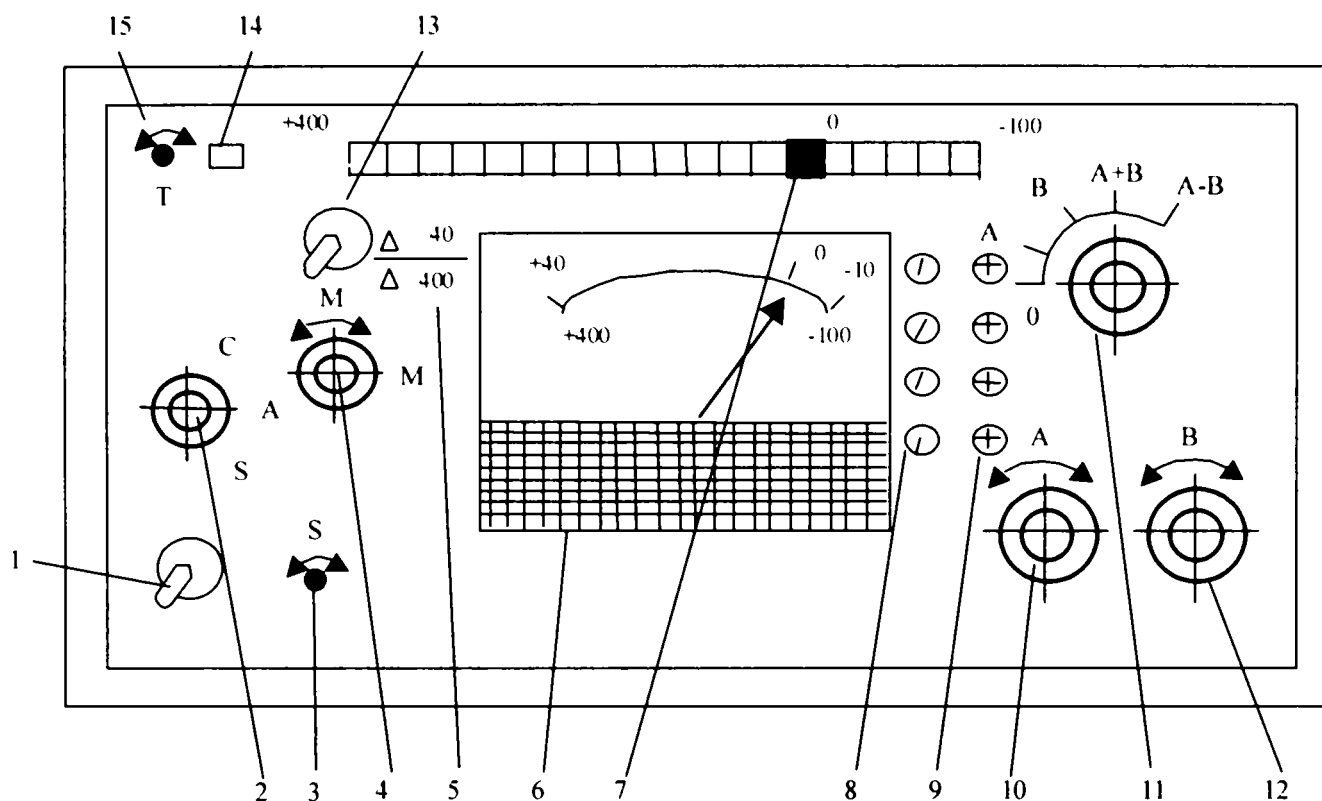
Fig. 102 Schema bloc a unității electronice

Schema bloc a unei unități electronice este prezentată în Fig. 102 [39].

Următoarele module intră în structura unei unități electronice:

- blocul de alimentare
- modulul de amplificare diferențială
- convertorul analogic-digital
- circuit de eșantionare și memorie
- circuite de comandă
- circuite de întârziere

Un exemplu de unitate electronică de comandă este și cea produsă de INCDMF Bucuresti CEFIN.



- |  |   |                                      |
|--|---|--------------------------------------|
| 1. Buton pornire-oprire                                    | 6. Instrument indicator cu zero decalat | 6. Potentiometru de reglaj zero      |
| 2. Selector de functii (C-calibrare; A-automat; S-similar) | 7. A fisor cu diode                     | 7. Potentiometru de reglaj zero      |
| 3. Buton de reglaj memorie                                 | 8. Potentiometru de reglaj comenzi      | 8. Comutator regim masurare          |
| 4. Potentiometru de reglaj                                 | 9. Lampi de semnalizare                 | 9. Led temporizare                   |
| 5. Leduri de semnalizare a intervalelor de masurare        | 10. Selector canale de masurare         | 10. Potentiometru reglaj temporizare |

Fig. 103 Unitatea electronică CE-CA

Intr-o configurație maximală aceasta asigură controlul a doi parametrii:

- dimensiunea
- ovalitatea

prin achiziția simultană de date de măsurare de la două capete de control activ A și B.

Funcțiile logice sunt selectabile de la comutatorul 9 (A+B; A-B). Aducerea la zero a semnalelor electrice A și B se face de la potențiometrele 10 și 12.

Selectorul 2 asigură alegerea a trei regimuri de funcționare:

- C: calibrare (fără comenzi de ieșire)
- A: automat (cu comenzi pentru cititul automat)
- S: simulare (prin acest regim de funcționare se generează un semnal de măsurare necesar pentru reglarea limitelor de comandă din potențiometrele 8;

Regimul de măsurare este ales prin comutatorul 13, asigurând două poziții:

- N: măsurare normală pentru suprafețe continue

- M: măsurare cu memorie de maxim, pentru măsurarea suprafețelor întrerupte

Tactul de memorare este ajustat cu ajutorul potențiometrului de reglaj 4.

Unitatea electronică asigură afișarea analogică pe ecranul 6 a evoluției semnalului măsurat.

Se pot selecta două domenii:

- domeniul de măsurare grosier ( $+0.4\text{mm} \div -0.1\text{mm}$ )
- domeniul de măsurare fin ( $+0.04\text{mm} \div -0.01\text{mm}$ )

Ledurile 5 indică în permanență domeniul de măsurare ales.

Unitatea asigură în cadrul regimului automat emiterea unor comenzi către mașina-unealtă (schimbarea vitezei de avans, oprirea prelucrării la atingerea valorii de referință). Reglarea punctelor de comanda se face cu potentiometrele 8 iar vizualizarea comenzilor emise este făcută de ledurile 9.

Ovalitatea piesei prelucrate este afișată pe o scară liniară din diodele luminescente 7.

Comenzile externe emise la începutul ciclului de funcționare automată pot fi reglate cu o anumită întârziere de la potențiometrul de reglaj 15 (funcția de întârziere este vizualizată optic de ledul 14).

Caracteristicile acestei unități de comandă este faptul că asigură controlul nu numai cantitativ ci și calitativ a suprafeței prelucrate prin urmărirea și controlul simultan exercitat asupra a doi parametri de precizie: dimensiunea și ovalitatea.

Caracteristicile tehnice generale ale unității sunt:

- traductor inductiv de măsurare de tip LVDs
- două canale de măsurare
- domeniu de măsurare:
  - ( $+400 \mu\text{m} \div 0 \div -100 \mu\text{m}$ )
  - ( $+40 \mu\text{m} \div 0 \div -10 \mu\text{m}$ )
- exactitatea de măsurare: 1% din intervalul total de măsurare
- patru comenzi emise spre mașina-unealtă
- semnalele de ieșire sunt de tip contacte normal deschise de releu
- curentul nominal de contact este de 2 A
- tensiunea de alimentare este de 22Vca / 50Hz
- puterea absorbită este de 200 W

Dezvoltarea puternică a producției de microprocesoare a determinat modificări esențiale în structura unităților electronice de comandă ale sistemelor de control activ, în strategia de măsurare, de autotestare, în precizia și capacitatea de prelucrare a informațiilor.

---

### **3.3 Capul de măsurare a suprafețelor cilindrice exterioare discontinue DISCON 2E**

#### **3.3.1 Schema constructivă a capului de control activ DISCON 2E**

Un exemplu de cap de măsurare dedicat suprafețelor exterioare discontinue este și cel produs de INCDMF București CEFIN denumit DISCON 2E .

Acesta se fixează pe masa mașinii de rectificat rotund exterior pe suportul reglabil al dispozitivului de avans. Dispozitivul de avans asigură mișcarea de apropiere și de retragere.

Dispozitivul se bazează pe principiul măsurării comparative cu două traductoare montate în sistem aditiv,  $T_1$  și  $T_2$ . Măsurarea este continuă cu memorie de maxim.

Capul de măsurare, în construcție modulară, este de tip casetă etanșă dotat cu două palpatoare în exterior. Elementul de urmărire ales ca soluție constructivă este pârghia oscilantă cu articulație în cruce.

Structura capului de măsurare este prezentată în detaliu în figura 104 [39]. Brațele palpatoare 2 susțin cele două vârfuri de măsurare 1. Impreună cu suporturile  $s$  și  $s^1$  și brațele 6 și  $6^1$ , acestea formează două pârghii care oscilează în jurul articulațiilor în cruce date de arcurile lamelare  $L$  ( $L^1$ ) și  $l$  ( $l^1$ ).

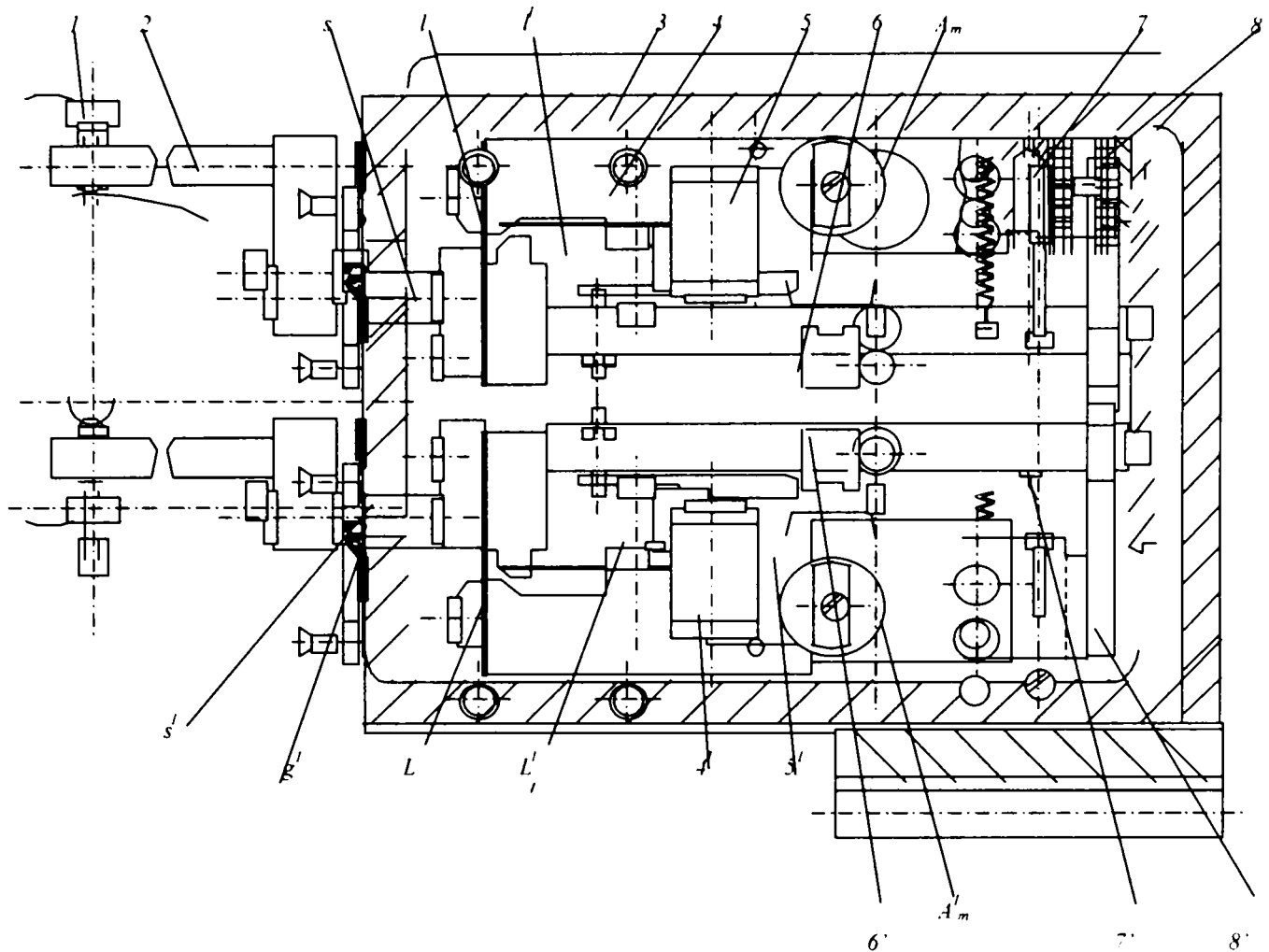


Fig. 104 Structura capului de control activ DISCON 2E

Aceste elemente împreună cu electromagnetii 5 și 5<sup>l</sup>, amortizoarele hidraulice A<sub>m</sub> și A<sub>m</sub><sup>l</sup> și bobinele inductive 8 și 8<sup>l</sup> sunt susținute de către placile suport 4 și 4<sup>l</sup>. Forța de măsurare este asigurată de către arcurile reglabile 7 și 7<sup>l</sup>.

În timpul prelucrării suprafețelor cilindrice, îndepărtarea adaosului de prelucrare este sesizată de către cele două pârghii oscilante care poartă miezurile mobile ale traductoarelor inductive diferențiale de tip LVDS. Modificându-se poziția miezurilor mobile ale bobinelor 8 și 8<sup>l</sup> se generează două semnale de măsurare Δr<sub>1</sub> și Δr<sub>2</sub>, semnale care se transmit la unitatea electronică. Prelucrarea semnalelor electrice constă în însumarea lor și prelucrarea acestei sume ca un singur semnal:

$$\Delta d = \Delta r_1 + \Delta r_2 \quad (151)$$

Intrarea și ieșirea din zona de măsurare a palpatoarelor este asigurată de către electromagnetii cu clapeta 5 și 5<sup>l</sup>.

O problemă specifică măsurării suprafețelor discontinue este aceea a impactului palpatoarelor cu suprafața prelucrată precum și aceea a atenuării caderii brațelor palpatoare în dreptul

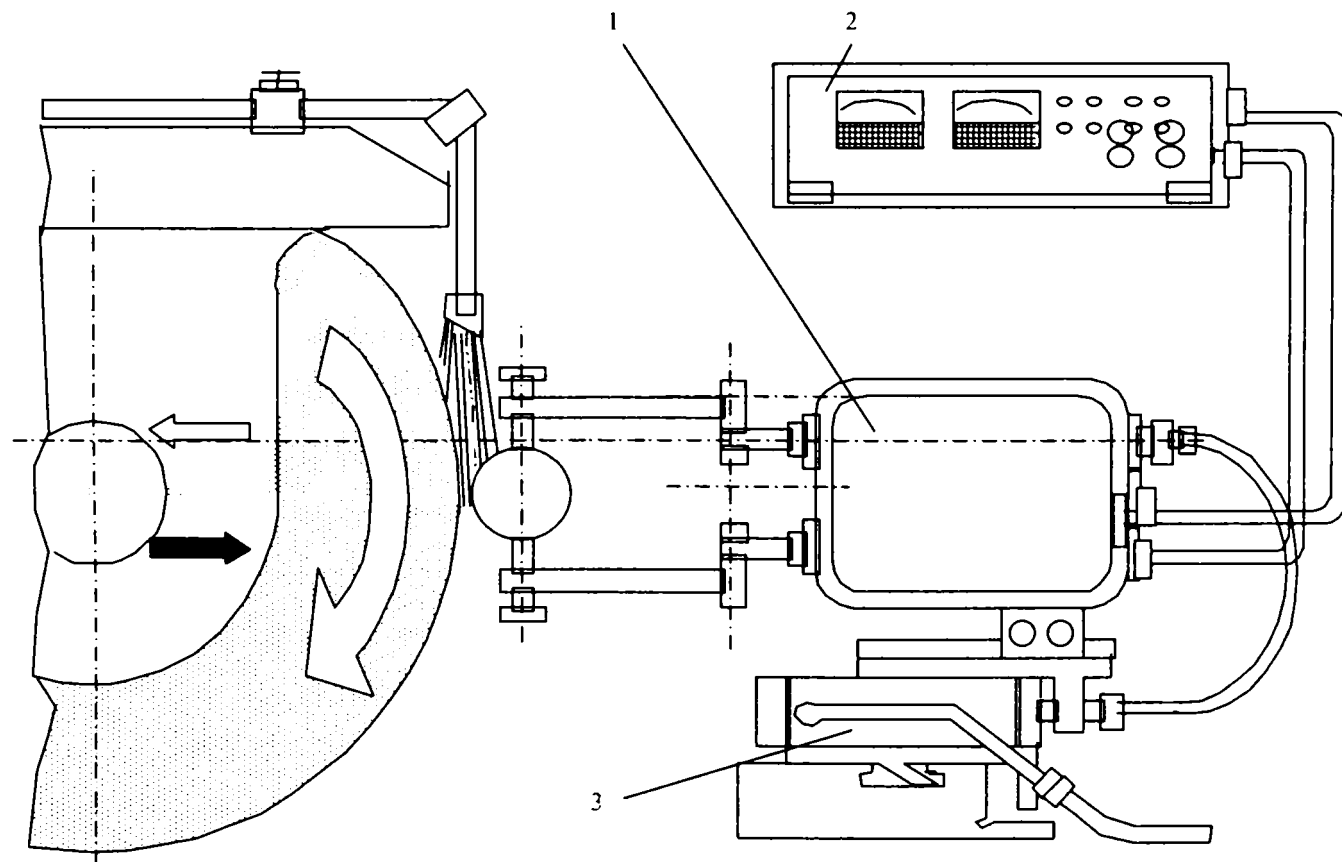
discontinuitatilor piesei. Din multitudinea de solutii constructive dezvoltate se utilizeaza amortizoarele hidraulice  $A_m$  și  $A_m^I$

Elementele de etanșare folosite sunt de natură activă și pasivă. Acestea realizeaza protejarea interiorului capului de măsurare față de patrunderea lichidelor de racire-ungere folosite în timpul prelucrării.

### 3.3.2 Schema de montaj a capului de control activ pe mașina de prelucrare.

În figura de mai jos este prezentată schema de montaj a capului de control activ *DISCON 2E* pe mașina de prelucrare [39]. Se evidentiază și conexiunile care există:

- între elementele constitutive ale sistemului de control activ
- între mașina-uneltă și sistemul de control activ



1. Cap de masurare; 2. Bloc electronic de semnalizare si comanda; 3. Cilindru hidraulic

Fig. 105 Schema de ansamblu, cu prinderea pe mașina a sistemului de control activ DISCON-2E

Caracteristicile tehnice de bază ale capului de control activ DISCON 2 E sunt:

- ◆ număr de traductoare de măsurare: 2 ( $T_1, T_2$ )
- ◆ metodă de măsurare: aditiva ( $T_1+T_2$ )
- ◆ domeniul de măsurare:  $\Phi 6 \div \Phi 100 \text{ mm}$
- ◆ forța de măsurare:  $50 \div 75 \text{ cN}$
- ◆ fidelitatea de măsurare: 0.0



## 4 Probleme ale impreciziei de măsurare în automatizarea controlului

### 4.1 Aprecierea impreciziei de măsurare

La alegerea metodei, mijlocului și condițiilor de măsurare este necesar să se țină seamă de toleranța  $T$  a mărimii de măsurat. Toleranța mărimii de măsurat este acoperită de către două componente de bază [49]:

- ◆ Toleranța de execuție notată cu  $T_{exec}$ ;
- ◆ Imprecizia de măsurare notată cu  $\pm U$ .

Dacă abaterile de execuție au o distribuție normală sau gaussiană (cazul cel mai des întâlnit în practică), toleranța mărimii de măsurat este dată de relația:

$$T = \sqrt{T_{exec}^2 + (2U)^2} \quad (152)$$

În cazul în care abaterile de execuție nu respectă legea distribuției normale, toleranța mărimii de măsurat se apreciază în cazul cel mai defavorabil cu ajutorul relației:

$$T = T_{exec} + 2U \quad (153)$$

Pentru o toleranță totală a modelului  $T$ , execuția trebuie să se realizeze cu o toleranță maximă de aproximativ 90% din aceasta, pentru a avea o rezervă de 10% necesară efectuării măsurării cu imprecizia  $\pm U$ .

Este necesară menționarea a două aspecte foarte importante:

- ◆ Valoarea diviziunii aparatului de măsurare nu reprezintă precizia măsurării;
- ◆ Indicația mijlocului de măsurare nu reprezintă rezultatul măsurării, valoarea corectă obținându-se numai după stabilirea exactă a impreciziei.

Asa cum s-a văzut în paragraful anterior factorii care influențează imprecizia de măsurare sunt grupați astfel:

- ◆ Erori cauzate de aparate (erorile de indicație și dobândite în utilizare), măsurări, măsurand și condițiile de măsurare (de utilizare), notate cu  $f_A$ ;
- ◆ Erori cauzate de observator, notate cu  $f_O$ .

La fel ca și în cazul formulei de calcul al toleranței, și pentru calculul impreciziei de măsurare se are în vedere cele două cazuri posibile:

- ◆ cazul în care distribuția erorilor respectă legea lui Gauss:

$$U = \pm \sqrt{f_A^2 + f_O^2} \quad (154)$$

- ◆ cazul în care nu se cunoaște legea de distribuție a erorilor și se consideră varianta cea mai dezavantajoasă situație, însumarea algebrică a erorilor:

$$U = |f_A| + |f_O| \quad (155)$$

În formulele de mai sus eroarea cauzată de aparat, măsură, măsurand, mijloace de măsurare este data de relația:

$$f_A^2 = f_i^2 + f_r^2 + f_m^2 + f_R^2 + f_d^2 + f_T^2 + f_M^2 + f_Q^2 \quad (156)$$

și este formată din însumarea următoarelor erori:

- ◆ eroarea de indicație:  $f_i$ ;
- ◆ eroarea de de reversibilitate:  $f_r$ ;
- ◆ eroarea de măsurii:  $f_m$ ;
- ◆ eroarea de de reglare:  $f_R$ ;
- ◆ eroarea cauzată de deformații:  $f_d$ ;
- ◆ eroarea dată de temperatură:  $f_T$ ;
- ◆ eroarea metodei de măsurare:  $f_M$ ;
- ◆ eroarea cauzată de forța de măsurare:  $f_Q$ ;

Calculul erorii aparatului de măsurare poate să țină cont și de alți factori cum ar fi: mijlocul de poziționare al măsurandului, mijlocul de fixare al măsurandului, etc.

## 4.2 Probleme ale impreciziei de măsurare în automatizarea controlului

### 4.2.1 Rezultatul măsurării

Rezultatul unei măsurări este dat de relația:

$$X_e = \bar{X} - C \pm U \quad (157)$$

unde:

- ◆  $\bar{X}$  este media aritmetică simplă sau ponderată a șirului de  $N$  măsuratori individuale;
- ◆  $C$  este corecția calculată ca suma algebrică a erorilor sistematice cunoscute;
- ◆  $U$  este imprecizia de măsurare.

### 4.2.2 Imprecizia de măsurare și toleranța la execuția măsurandului

La automatizarea controlului dimensiunilor, imprecizia de măsurare influențează dimensiunile măsurandului, în special la limitele câmpului de toleranță, ceea ce impune valori limită pentru aceasta. Limitarea impreciziei de măsurare se face în funcție de toleranța prescrisă  $T_p$ , a parametrului controlat, astfel că operația de control să se efectueze cu o precizie corespunzătoare și la un cost acceptabil.

Să considerăm cazul unei fabricații în care dimensiunile măsurandului respectă distribuția normală (Gauss). Mărimea  $6\sigma_{tehnologic}$  a acestei distribuții poate să depășească mărimea toleranței prescrise  $T_{prescrisă}$ . În acest caz, o parte din reperatele prelucrate sunt înlaturate. În plus rezultatele măsurării, dependente de mijlocul și metoda de măsurare, respectă și ele o distribuție normală caracterizată prin mărimea  $6\sigma_{control}$ . Aceste observații conduc la următoarele concluzii:

- ◆ Există riscul acceptării ca piese bune a unor piese care în realitate sunt neconforme, denumit riscul beneficiarului (aspect negativ din punct de vedere calitativ și funcțional);
- ◆ Există riscul respingerii unor piese care în realitate sunt bune, denumit riscul producătorului (aspect negativ din punct de vedere economic).

Cele două cazuri de mai sus au, așa după cum am văzut, implicații calitative și economice și alterează siguranța măsurării. De aceea, în special în cazul automatizării controlului, în funcție de destinația măsurandului și de precizia de măsurare, este necesară:

- ◆ verificarea nivelului de încredere care poate fi acordat operației de control-măsurare;
- ◆ alegerea celui mai potrivit (din punct de vedere tehnic și economic) mijloc de măsurare.

Pentru limitarea apariției riscurilor producătorului și beneficiarului, se definesc două limite de siguranță:

- ◆  $L_{ss}$  limita superioară de siguranță;
- ◆  $L_{is}$  limita inferioară de siguranță.

Acceptarea se va face doar pentru reperatele situate între cele două limite ceea ce implică îndeplinirea următoarei condiții:

$$T_{productie} = T_{prescrisă} - 2f_p \quad (158)$$

Se observă că toleranța producție  $T_{productie}$  este, la aceeași valoare a toleranței prescrise  $T_{prescrisă}$ , cu atât mai mică cu cât eroarea procedurii  $f_p$  este mai mare, acest lucru ducând la scumpirea fabricației.

Pornind de la cele constatate mai sus se impune rezolvarea a două probleme [49]:

1. Stabilirea teoretică (pe baza de calcul) a mărimii riscurilor producătorului și beneficiarului
2. Alegerea rațională a uneia dintre cele două situații posibile:
  - ◆ executarea măsurandului la o valoare a toleranței  $T_{productie}$  apropiată de cea prescrisă  $T_{prescrisă}$  și folosirea unui procedeu de măsurare-control cu erori limită  $f_p$  scăzute;
  - ◆ executarea măsurandului la o valoare a toleranței  $T_{productie}$  mai mică decât cea prescrisă  $T_{prescrisă}$  și folosirea unui procedeu de măsurare-control cu erori limită  $f_p$  mari.

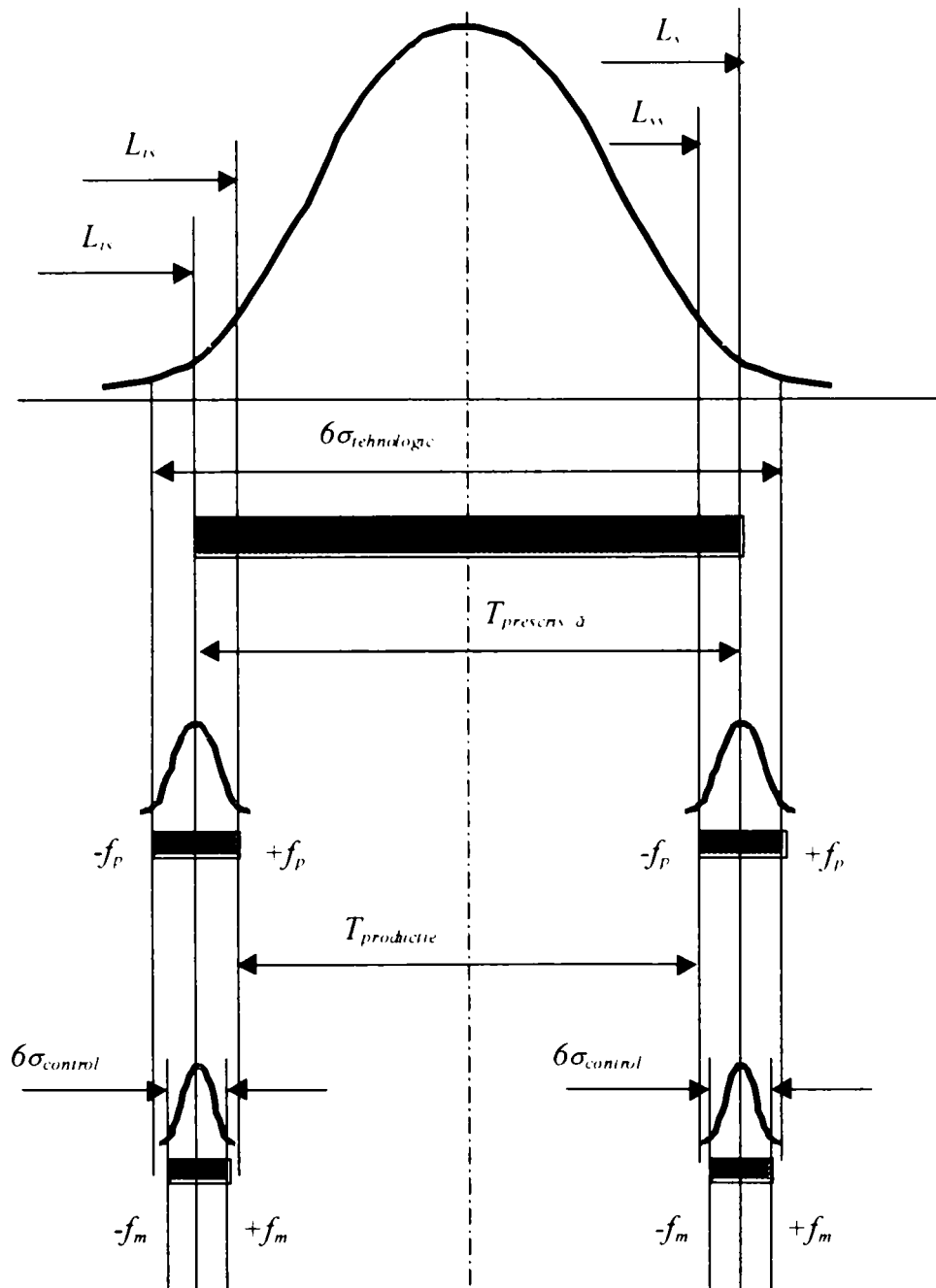


Fig. 106 Dependența incertitudinii controlului de toleranța de producție

#### 4.2.2.1 Stabilirea teoretică a mărimii riscurilor producătorului și beneficiarului

În prima fază se pornește de la ipotezele în care cele două erori, de prelucrare și ale procedeeului de măsurare [1] [49]:

- ◆ au o distribuție normală (adică sunt influențate de un număr mare de factori independenți între ei și care au aceeași pondere de influență asupra fenomenului în cauză);
- ◆ sunt simetrice în raport cu toleranța prescrisă.

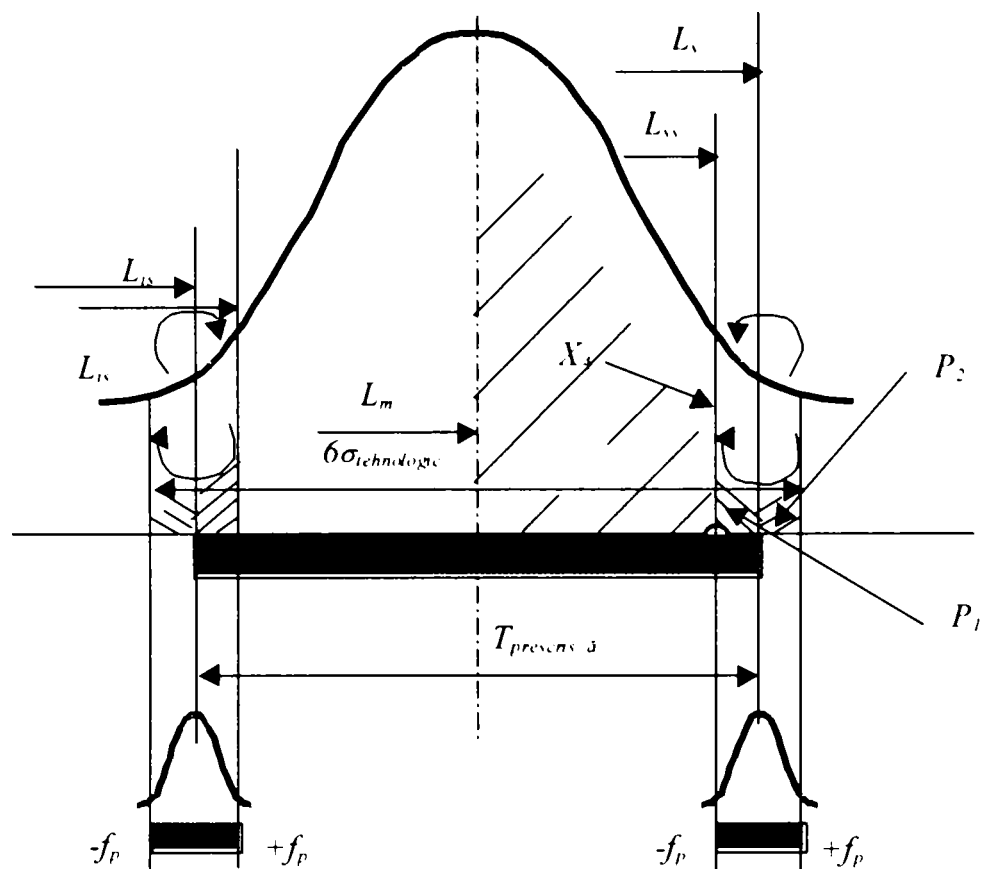


Fig. 107 Stabilirea riscului beneficiarului și producătorului;

Cazul distribuției normale simetrice în raport cu toleranța prescrisă

Se cunoaște că probabilitate totală de 100% este echivalentă cu aria cuprinsă sub curba de distribuție a erorilor de prelucrare. În acest caz:

$$P_1 + P_2 = 0.5 - A_A \quad (159)$$

unde:

- ◆  $P_1$  este probabilitatea ca o piesă bună să fie declarată rebut
- ◆  $P_2$  este probabilitatea ca o piesă neconformă să fie declarată bună
- ◆  $A_A$  este aria corespunzătoare abscisei:

$$x_A = L_s - f_p - L_m$$

În relația de mai sus s-au făcut notațiile:

- ◆  $L_s$  limita superioară a toleranței
- ◆  $f_p$  eroarea limită a procedurii de măsurare
- ◆  $L_m$  dimensiunea medie prescrisă

Mărimea ariei  $A_A$  se determină cu ajutorul formulei de mai jos:

$$A_A = \frac{1}{2\pi} \int_{L_m - \bar{X}}^{L_s - f_p} \exp\left(-\frac{x_A^2}{2\sigma_c^2}\right) \frac{dx_A}{\sigma_c}, \quad (160)$$

unde s-au folosit notațiile consacrate:

- ◆  $\bar{X}$  pentru media dimensiunilor efective
- ◆  $\sigma_c$  pentru abaterea medie pătratică a dimensiunilor efective în raport cu  $\bar{X}$

În urma schimbării de variabile:

$$Z_A = x_A / \sigma_c = [(L_N - f_p) - L_m] / \sigma_c \quad (161)$$

expresia de calcul a ariei  $A_A$  devine:

$$A_A = \Phi(Z_A) = \frac{1}{2\pi} \int_{l_m = \bar{X}}^{l_N = l_p} \exp\left(-\frac{Z_A^2}{2}\right) dZ_A \quad (162)$$

Aria  $A_A$  se determină pe bază tabelară (funcția  $\Phi(Z_A)$  este denumită și funcția de repartiție a distribuției normale) pornind de la valoarea  $Z_A$  și prin interpolare liniară.

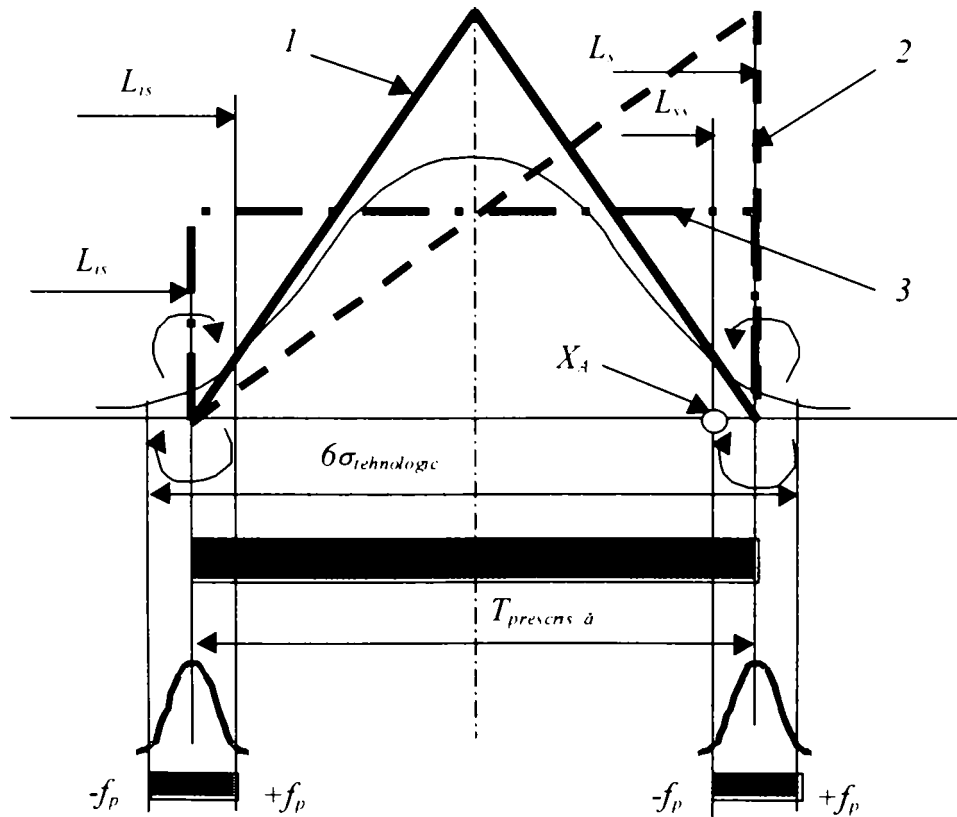


Fig. 108 Stabilirea riscului beneficiarului și producătorului;

Cazul distribuțiilor triunghiulare, liniare și dreptunghiulare simetrice în raport cu toleranța prescrisă

În cazul în care unul dintre factorii de influență asupra erorilor de prelucrare are o influență hotărâtoare (exemplu temperatura, uzura sculei, etc.) distribuția erorilor de prelucrare nu mai respectă legea normală. Fig. 108 detaliază cazurile cele mai des întâlnite.

Se observă că valorile probabilităților  $P_1$  și  $P_2$  depind foarte mult de forma distribuției erorilor de prelucrare. Cazurile cele mai dezavantajoase sunt cele ale distribuției liniare (2) și dreptunghiulare (3) când valorile probabilităților pot atinge valori inadmisibil de mari.

Dacă distribuția erorilor este poziționată asimetric față de toleranța prescrisă, probabilitatea riscurilor beneficiarului și ale producătorului cresc considerabil de mult. Cuantificarea acestor riscuri se face în funcție de asimetria  $d_T$ .

În acest caz relația de calcul a riscurilor este următoarea:

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0.5 - A_A^* \quad (163)$$

unde:

- ◆  $P_1$  este probabilitatea ca o piesă bună să fie declarată rebut
- ◆  $P_2$  este probabilitatea ca o piesă neconformă să fie declarată bună
- ◆  $P_3$  este probabilitatea certă a rebuturilor
- ◆  $A_A^*$  este aria corespunzătoare abscisei:

$$x_A^* = (L_s - f_p) - (L_m + d_T) \quad (164)$$

În relația de mai sus s-au făcut notațiile:

- ◆  $L_s$  limita superioară a toleranței
- ◆  $f_p$  eroarea limită a procedurii de măsurare
- ◆  $L_m$  dimensiunea medie prescrisă
- ◆  $d_T$  asimetria procesului

Mărimea ariei  $A_A^*$  se determină cu ajutorul formulei de mai jos:

$$A_A^* = \frac{1}{2\pi} \int_{L_m + d_T}^{L_s - f_p} \exp\left(-\frac{x_A^{*2}}{2\sigma_c^2}\right) \frac{dx_A^*}{\sigma_c} \quad (165)$$

unde s-au folosit notațiile consacrate:

- ◆  $\bar{X}$  pentru media dimensiunilor efective
- ◆  $\sigma_c$  pentru abaterea medie pătratică a dimensiunilor efective în raport cu  $\bar{X}$

În urma schimbării de variabile:

$$Z_A^* = x_A^* / \sigma_c = [(L_s - f_p) - (L_m + d_T)] / \sigma_c = (0.5T_p - f_p - d_T) / \sigma_c, \quad (166)$$

expresia de calcul a ariei  $A_A^*$  devine:

$$A_A^* = \Phi(Z_A^*) = \frac{1}{2\pi} \int_{L_m - d_T}^{L_s - f_p} \exp\left(-\frac{Z_A^{*2}}{2}\right) dZ_A^* \quad (167)$$

Probabilitatea certă a rebuturilor este calculată în acest caz astfel:

$$P_3 = 0.5 - (A_A^* + P_1 + P_2) = 0.5 - \Phi(Z_{A_1P_1P_2}^*) \quad (168)$$

pentru care:

$$Z_{A_1P_1P_2}^* = x_{A_1P_1P_2}^* / \sigma_c = [(L_s + f_p) - (L_m + d_T)] / \sigma_c = (0.5T_p + f_p - d_T) / \sigma_c$$

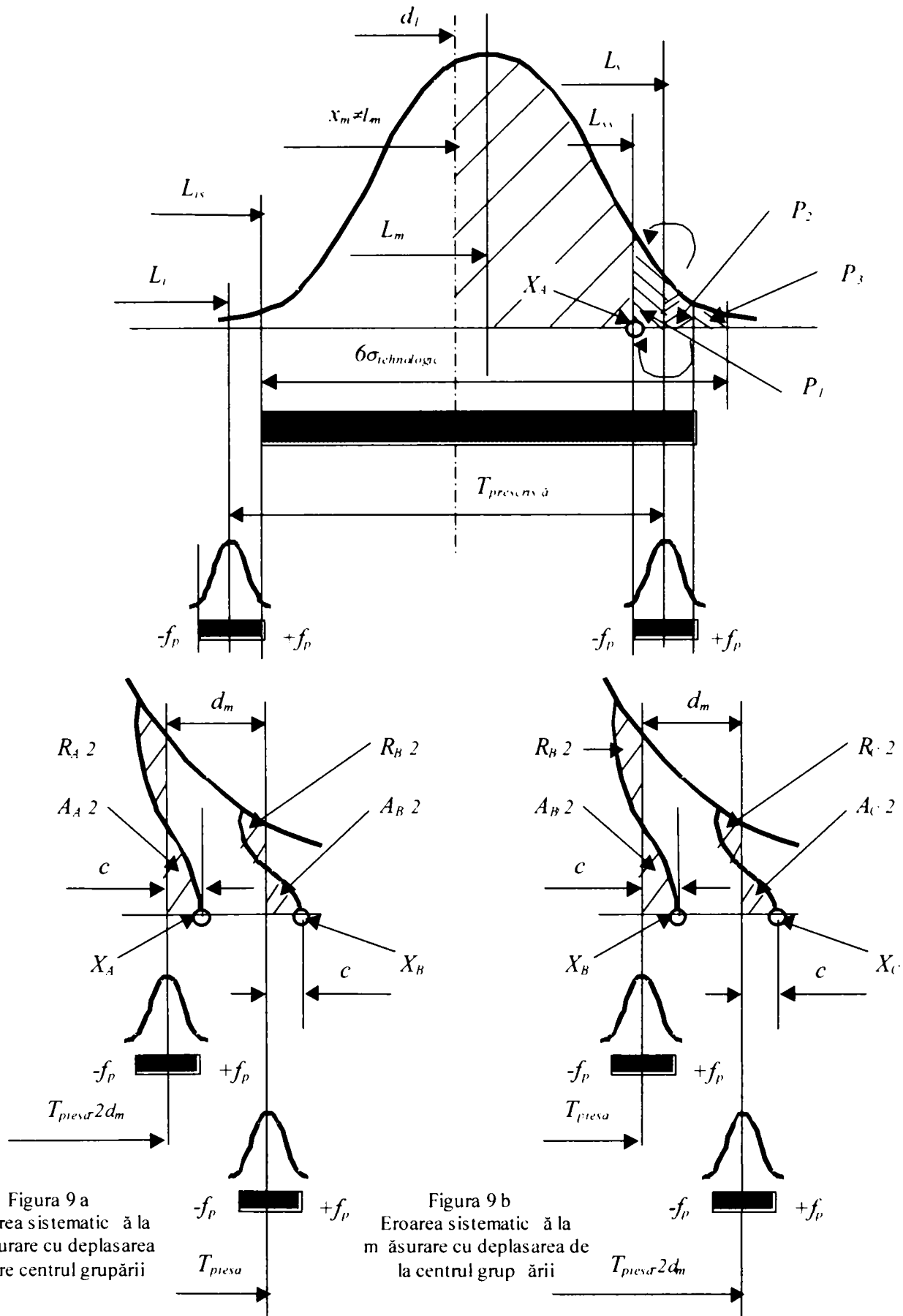


Figura 9 a  
Eroarea sistematică la  
măsurare cu deplasarea  
c către centrul grupării

Figura 9 b  
Eroarea sistematică la  
măsurare cu deplasarea de  
la centrul grupării

Fig. 109 Stabilirea riscului beneficiarului și producătorului;

Cazul distribuției normale asimetrice în raport cu toleranța prescrisă



Cunoscându-se mărimea  $Z_{A_1 P_1 P_2}$  se determină tabelar valoarea funcției repartiției de probabilitate:

$$\Phi(Z_{A_1 P_1 P_2}) = A_A^* + P_1 + P_2 \quad (169)$$

Acesata valoare stă la baza determinării probabilității certe a rebuturilor  $P_3$ .

#### 4.2.2.2 Alegerea rațională a raportului precizie de prelucrare/precizie de măsurare

Soluționarea celei de a doua probleme ridicate de limitarea riscului producătorului și a beneficiarului, în practică se întâlnesc trei cazuri tipice [49]:

1. Acceptarea doar a pieselor aflate între limitele de siguranță  $L_{ss}$  și  $L_{sl}$  unde:

$$L_{is} = L_l + f_p \quad (170)$$

$$L_{ss} = L_s - f_p \quad (171)$$

iar toleranța de execuție este:

$$T_{productie} = T_{prescris} - 2f_p \quad (172)$$

Se recomandă ca toleranța  $T_{productie}$  să nu depășească 60% din toleranța  $T_{prescris}$ .

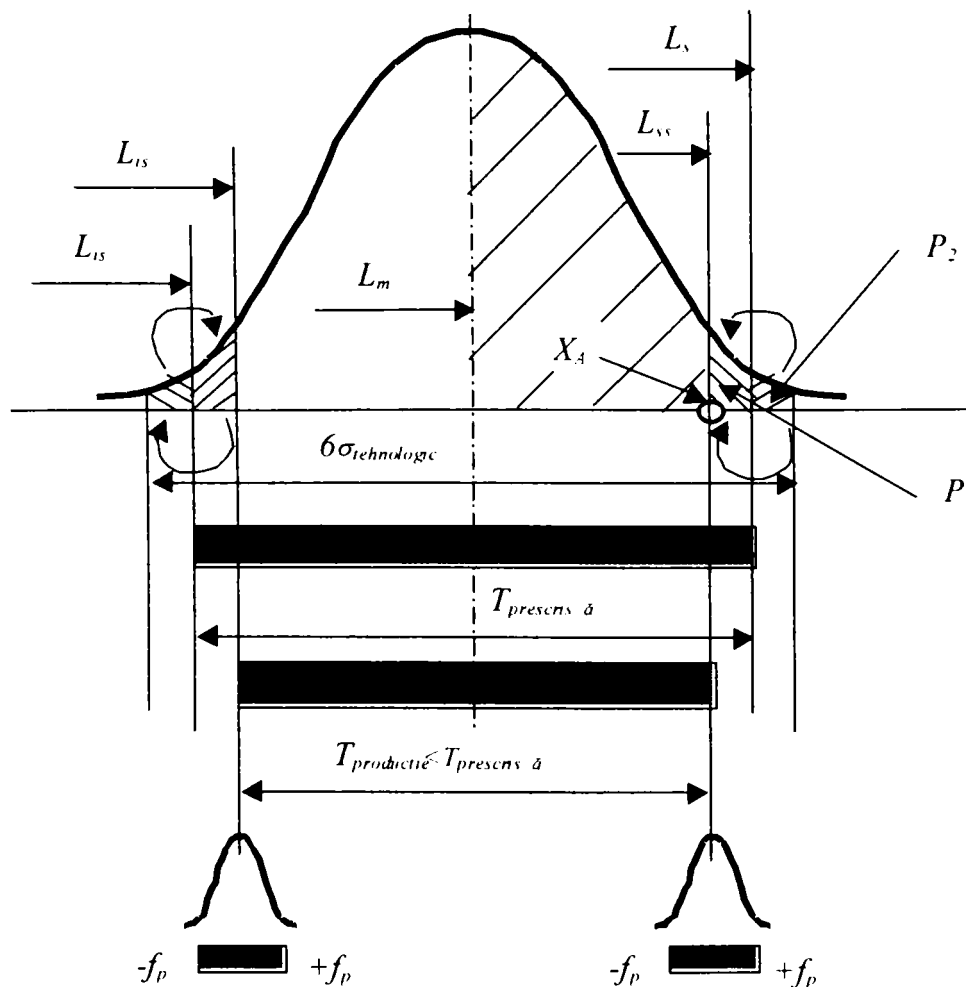


Fig. 110 Cazul  $T_{productie} = T_{prescris} - 2f_p$

2. Acceptarea doar a pieselor aflate între limitele de siguranță  $L_s$  și  $L_l$ , unde:

$$L_s = L_l + (f_p - c) \quad (173)$$

$$L_{ss} = L_s - (f_p - c) \quad (174)$$

iar toleranța de execuție este:

$$T_{productie} = T_{prescris} - 2(f_p - c) \quad (175)$$

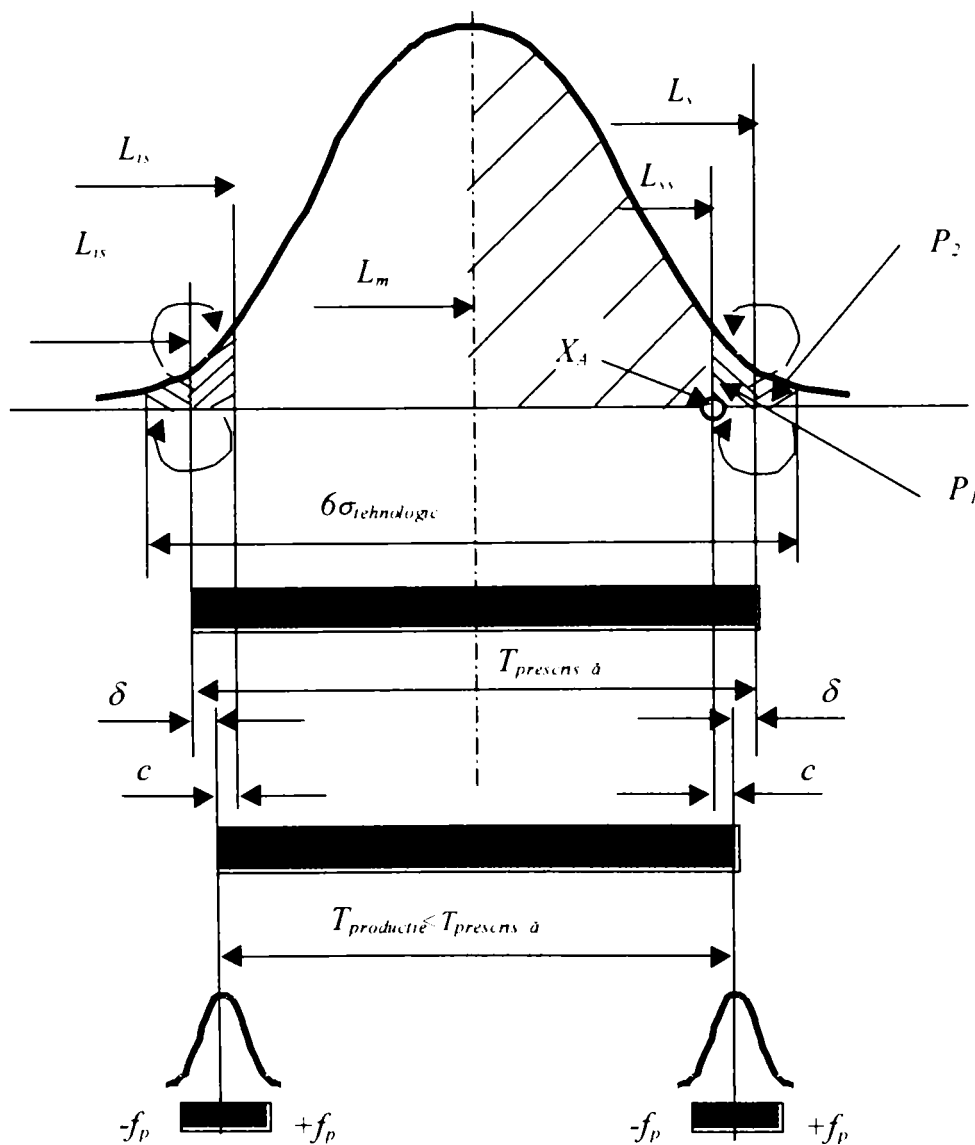


Fig. 111 Cazul  $T_{productie} = T_{prescris} - 2(f_p - c)$

Această soluție elimină parțial dezavantajul soluției anterioare, acela de reducere a toleranței de producție față de cea prescrisă. În acest caz câștigul este reprezentat chiar de cele două benzi de lățime  $c$  situate de o parte și de alta față de limitele de siguranță  $L_s$  și  $L_l$ .

Dezavantajul care nu este eliminat și care este caracteristic și soluției precedente este faptul că există două toleranțe diferite:

- ◆ De execuție  $T_{productie}$
- ◆ De execuție  $T_{prescrisă}$

Acest lucru complică documentația tehnică a produsului.

3. Acceptarea pieselor aflate între limitele de siguranță  $L_s$  și  $L_t$  unde:

$$L_{is} = L_t \quad (176)$$

$$L_{is} = L_s \quad (177)$$

iar toleranța de execuție este:

$$T_{productie} = T_{prescris} \quad (178)$$

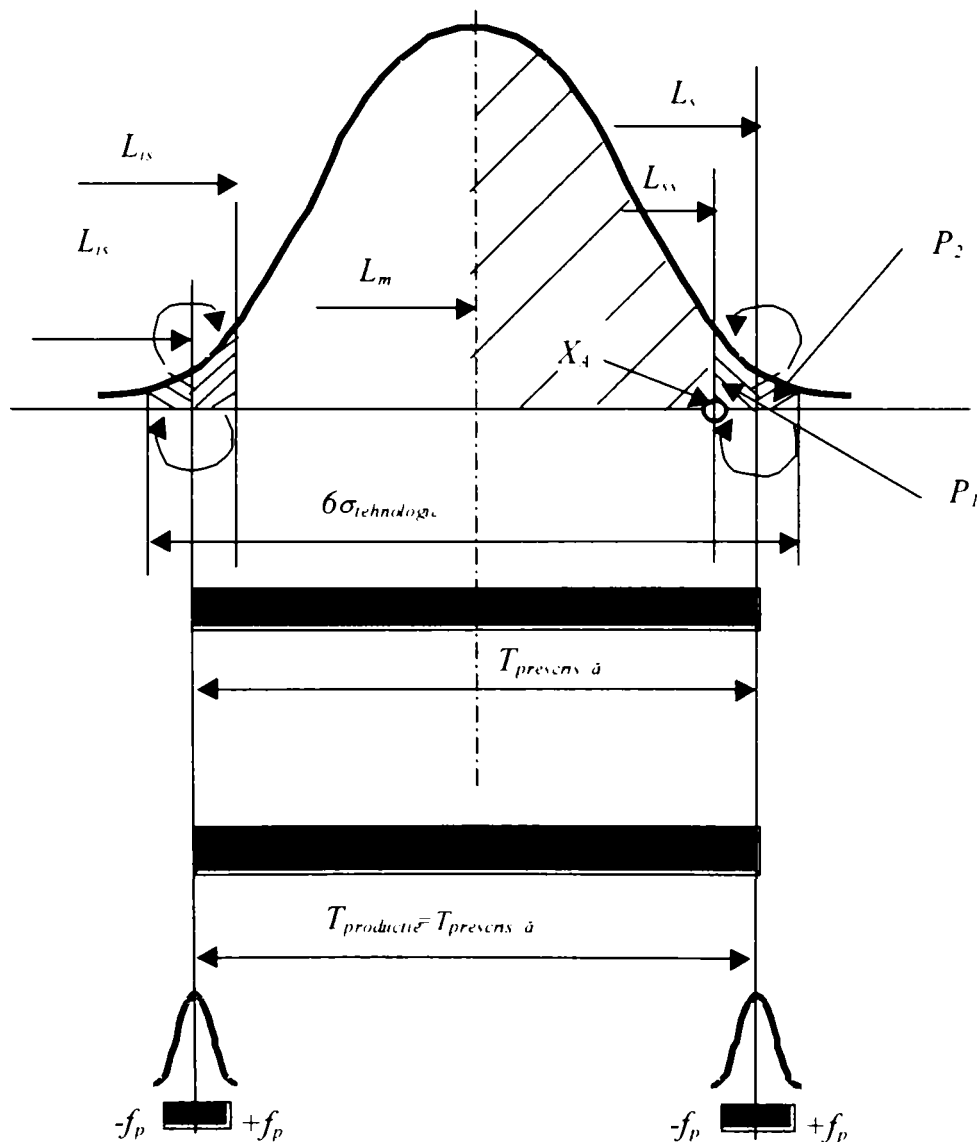


Fig. 112 Cazul  $T_{productie} = T_{prescris}$

Această ultimă soluție este cea mai des întâlnită în practică. Motivele pentru care se recurge la aceasta sunt prezentate după cum urmează:

- ◆ În majoritatea cazurilor de prelucrări, erorile de prelucrare și cele de măsurare respectă distribuția normală (deci cu frecvențe maxime în mijlocul câmpului de împrăștiere);
- ◆ În majoritatea cazurilor de prelucrări, distribuția dimensiunilor este simetrică față de centrul câmpului de toleranță;

- ◆ Modalitatea practică de realizare a ajustajelor este descrisă cel mai bine de modelul de calcul probabilistic, metoda care permite luarea în calcul și a utilizării unui mijloc de măsurare caracterizat de o imprecizie diferită de zero ( $f_p \neq 0$ );
- ◆ Simplificarea documentației de execuție și ieftinirea fabricației.

Pentru implementarea acestui ultim mod de control al procesului este necesară luarea unor măsuri suplimentare care să ducă în final la asigurarea condiției:

$$T_{\text{productiv}} = T_{\text{prescris}} \quad (179)$$

Dintre aceste măsuri suplimentare amintim cele două care au cea mai mare influență asupra rezultatelor metodei:

- ◆ ținerea sub control a asimetriei procesului ( $d_T=0$ );
- ◆ alegerea unor mijloace de control cu imprecizii optime (maxim 10% din toleranța  $T_{\text{prescrisă}}$ ).

În concluzie, este necesar să se utilizeze mijloace de control cât mai precise. În favoarea măririi preciziei de măsurare pledează și următoarele considerații:

- ◆ măsurarea, ca parte integrantă a operațiilor de certificare, devine argument al progresului tehnic;
- ◆ detectarea deficiențelor existente în fabricație se face doar cu ajutorul unor mijloace de măsurare de precizie ridicată astfel încât deciziile să fie corect fundamentate.

În cazul producție de serie mare sau de masă, costurile care le generează utilizarea de mijloace de măsurare precise pot fi recuperate din volumul mare de repere realizate.

În cazul producției de serie mică sau mijlocie sau chiar în cazul producției de unicate alegerea mijloacelor de măsurare este greu de rezolvat având în vedere costurile ridicate ale mijloacelor precise de măsurare. Tocmai de aceea, problema recuperării investițiilor făcute în tehnologia de măsurare/control se pune tot mai acut, deoarece tendința în ultima perioadă este aceea de limitare a seriilor de fabricație. O soluție în acest caz este realizarea de dispozitive de control de grup, cu grad mare de universalitate.

#### 4.2.3 Dependența riscului producătorului/beneficiarului de precizia mijloacelor de măsurare

Măsurarea are la bază o operație logică descrisă de următorul algoritm [1] [49]:

$$\begin{cases} (X_{p\min} \leq X_c \leq X_{p\max}) \Rightarrow A \\ (X_{p\max} < X_c < X_{p\min}) \Rightarrow R \end{cases} \quad (180)$$

Acest algoritm se explică astfel:

- ◆ “A” semnifică decizia de acceptare și este luată atunci când valoarea efectivă a parametrului controlat se situează în interiorul câmpului de toleranță, adică între valoarea minimă  $X_{p\min}$  și valoarea maximă  $X_{p\max}$  a parametrului respectiv;

- ◆ "R" semnifică decizia de respingere și este luată atunci când valoarea efectivă a parametrului controlat se situează în exteriorul câmpului de toleranță, adică fie este mai mică decât valoarea minimă  $X_{pmin}$ , fie este mai mare decât valoarea maximă  $X_{pmax}$  a parametrului respectiv.

Dacă măsurarea nu ar fi afectată de erori, valoarea efectivă ar fi chiar valoarea măsurată și decizia de acceptare/respingere ar fi pe deplin justificată și ar fi neafectată de erori.

În realitate ceea ce se determină prin măsurare diferă de valoarea efectivă  $X_c$  și este exprimată prin relația:

$$X_c^* = X_c \pm f_p \quad (181)$$

În consecință, prin măsurare se pot lua și decizii eronate privind calitatea măsurandului, adică se pot comite greșeli de control. Acestea, pornind de la expresia algoritmului de măsurare, sunt de două feluri adică:

- ◆ greșeala de speța I, notată cu " $\bar{R}$ ": când se rebutează eronat un măsurand care în realitate este bun;
- ◆ greșeala de speța II, notată cu " $\bar{A}$ ": când se admite eronat un măsurand care în realitate este rebut.

Urmând același mod de exprimare ca și al algoritmului de măsurare, erorile de măsurare sunt exprimate de relațiile [1] [49]:

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_{pmin} \leq X_c \pm f_p \leq X_{pmax}) \\ (X_{pmax} > X_c > X_{pmin}) \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{A} \quad (182)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_{pmin} > X_c \pm f_p > X_{pmax}) \\ (X_{pmax} \leq X_c \leq X_{pmin}) \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{R} \quad (183)$$

Dificultatea identificării situațiilor în care se iau decizii eronate de măsurare constă în faptul că valorile  $X_c$  și  $f_p$  nu sunt cunoscute ci pot fi doar estimate cu o anumită probabilitate.

Problema majoră a deciziilor eronate este legată în final de cheltuielile neproductive induse, singura modalitate de reducere a costurilor acestora fiind aceea de limitare a proporției greșelilor care pot să apară la control.

Compararea impreciziei de măsurare cu toleranța (producției sau cea prescrisă) se face cu ajutorul unei noi mărimi denumite eroarea relativă de măsurare sau coeficientului de precizie definită ca:

$$A_{metr} = f_p / T_{productie} \quad (184)$$

O altă modalitate de exprimare a preciziei relative este aceea care pornește de la abaterea medie pătratică a erorii procedeeului de măsurare:

$$A_{metr}(\sigma) = \sigma_{metr} / T_{productie} \quad (185)$$

Erorile de procedeu de măsurare au distribuții variate dar care pot fi încadrate între cele două cazuri extreme:

- ◆ legea distribuției normale;
- ◆ legea de egală probabilitate.

Rezultatele controlului (de exemplu în cazul controlului activ sau a celui de sortare automată), din practica industrială, diferă în limitele unei neîncrederi de 10÷15% din valorile determinate în cazul în care abaterile au valori identice adică:

$$\sigma_{metr\ norm} = \sigma_{metr\ egal} \quad (186)$$

Dacă extindem notațiile deciziilor eronate la numărul pieselor incorect acceptate/respinse și vom introduce și valoarea cu care sunt depășite limitele câmpului de toleranță în cazul pieselor incorect acceptate vom obține:

- ◆ “ $\bar{R}$ ”: numărul pieselor incorect rebutate
- ◆ “ $\bar{A}$ ”: numărul pieselor incorect acceptate
- ◆  $c$ : depășirea limitelor de toleranță în cazul acceptării unor piese în realitate rebut

Graficele de variație a ale mărimilor  $\bar{R}$  și  $\bar{A}$  și respectiv  $c$  pentru controlul dimensiunilor sau abaterilor de forma ale parametrului măsurandului considerat sunt construite funcție de:

- ◆ coeficientul de precizie  $A_{metr}(\sigma)$
- ◆ raportul  $T_{prod}/(2\sigma_{iehn})$  sau  $T_{prod}/(\sigma_{iehn})$  (după cum legea de distribuție este sau nu simetrică)

Fig. 113 arată forma acestor grafice [49].

Nomogramele se utilizează direct în cazul în care se cunosc legile de variație a erorilor. Dacă legile de variație nu sunt cunoscute se vor adopta mediile aritmetice ale mărimilor  $\bar{R}$  și  $\bar{A}$  și respectiv  $c$  pentru același coeficient de precizie  $A_{metr}(\sigma)$  (având în vedere că nomogramele prezintă cazurile extreme, acelea ale unei distribuții normale și ale unei distribuții asimetrice după “legea mărimilor substanțial pozitive”).

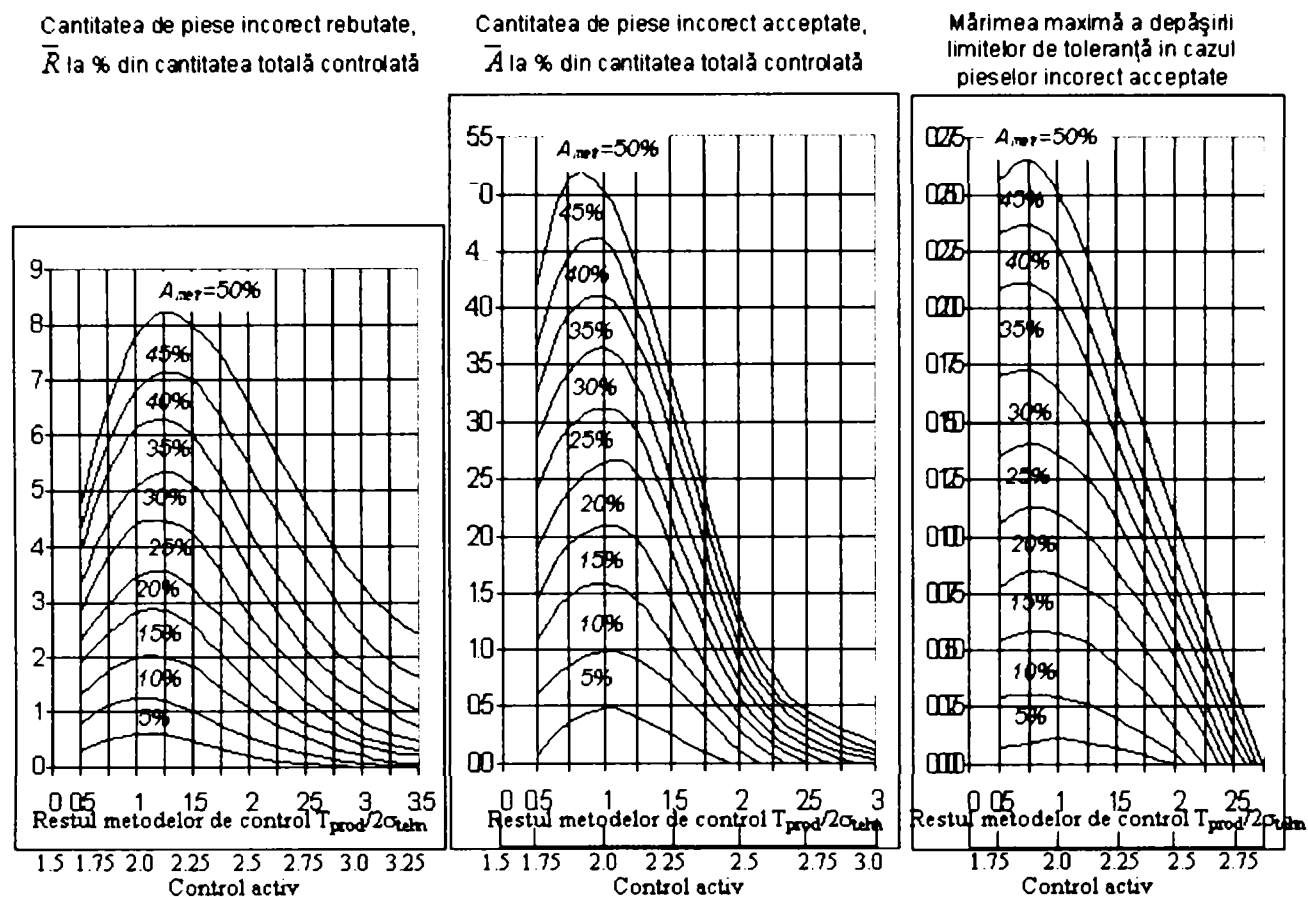


Fig. 113 Nomograme de alegere a cantității de piese incorect rebutate, incorect acceptate și a depășirii limitelor

Graficele prezentate se referă doar la cazul în care procesul este centrat. În cazul în care procesul este deplasat spre una dintre limite se pot folosi aceleași grafice cu modificarea corespunzătoare a calculelor. În locul raportului  $T_{prod}/\sigma_{tehn}$  se folosește raportul  $(T_{prod} \pm 2d_T)/\sigma_{tehn}$ . Se consideră figura explicativă 114 (similară cu cea dată în paragraful 4.2.2.1).

Cazul în care reglajul este asigurat descentrat față de centrul câmpului de toleranță este des întâlnit. Aceste erori sistematice sunt rezultatul, cel mai adesea a dorinței de a deplasa reglajul spre limita rebutului recuperabil. Valoarea  $d_T$  reprezintă chiar valoarea erorii sistematice. Calculul exact al mărimilor  $\bar{R}$  și  $\bar{A}$  se face în două etape [49]:

- ◆ se calculează separat mărimile  $\bar{R}$  și  $\bar{A}$  pentru cele două limite (a rebutului recuperabil și a celui nerecuperabil)
- ◆ valoarea finală a mărimilor  $\bar{R}$  și  $\bar{A}$  sunt rezultatul însumării jumătăților mărimilor calculate anterior

Valoarea mărimii depășirii  $c$  este dată separat pentru fiecare limită în parte.

Eroarea sistematică a procedurii de control poate avea semn diferit și se poate deplasa față de limitele câmpului de toleranță fie către centrul grupării (ca în figura 114.a), fie de la centrul grupării (ca în figura 114.b).

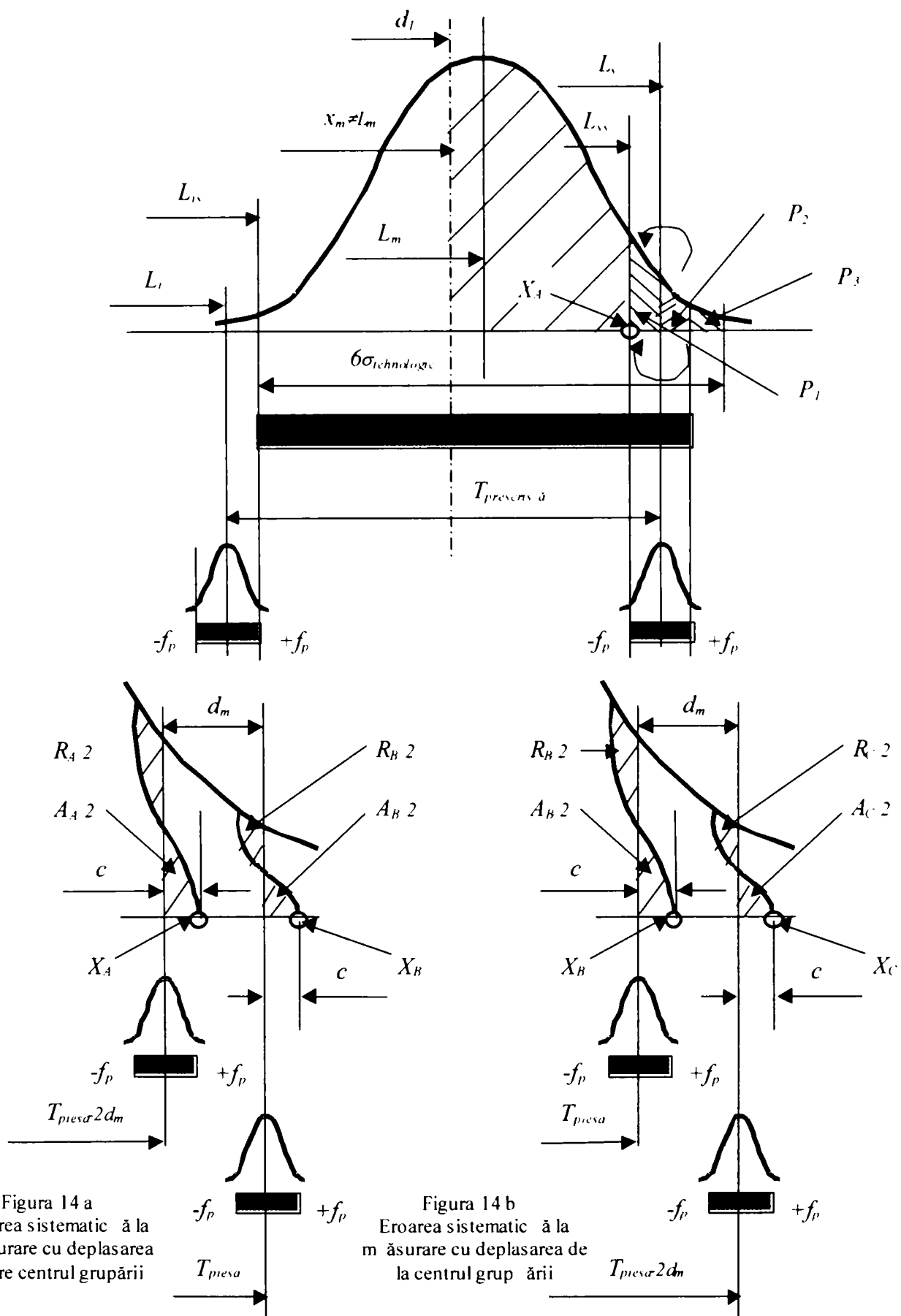


Fig. 114 Stabilirea procentului pieselor incorect acceptate/rebutate;

Cazul distribuției normale asimetrice în raport cu toleranța prescrisă



Să considerăm cazul deplasării către centrul grupării. Cazul este întâlnit în situația în care se dorește să se evite apariția în cadrul pieselor bune a pieselor rebut. Ca urmare nu vor exista piese incorect acceptate, numărul pieselor incorect rebutate pentru una din limitele câmpului de toleranță fiind:

$$\bar{R}_{total} = [\Phi_B - \Phi_A] + (\bar{R}_A / 2 - \bar{A}_A / 2) \quad (187)$$

unde:

- ◆  $\Phi_A$  și  $\Phi_B$  sunt valorile funcției integrale a distribuției tehnologice pentru limita superioară a câmpului de toleranță, respectiv pentru limita superioară deplasată
- ◆  $\bar{R}_A [(T_{prod} - 2d_m) / \sigma_{tehn}]$  este numărul de piese incorect rebutate pentru poziția deplasată a reglajului din cauza erorii sistematice
- ◆  $\bar{A}_A [(T_{prod} - 2d_m) / \sigma_{tehn}]$  este numărul de piese incorect acceptate pentru poziția deplasată a reglajului din cauza erorii sistematice

În situația deplasării limitei de reglare de la centrul grupării cazul este similar dar numai în privința pieselor incorect acceptate deoarece limita de reglare s-a deplasat înspre zona rebutului efectiv și pentru majoritatea metodelor de control, eroarea sistematică este mai mare decât eroarea întâmplătoare. Ca urmare nu vor exista piese incorect rebutate, dar va crește numărul pieselor incorect acceptate:

$$\bar{R}_{total} = [\Phi_C - \Phi_B] + (\bar{A}_C / 2 - \bar{R}_C / 2) \quad (188)$$

unde:

- ◆  $\Phi_B$  și  $\Phi_C$  sunt valorile funcției integrale a distribuției tehnologice pentru limita superioară a câmpului de toleranță, respectiv pentru limita superioară deplasată
- ◆  $\bar{R}_C [(T_{prod} + 2d_m) / \sigma_{tehn}]$  este numărul de piese incorect rebutate pentru poziția deplasată a reglajului din cauza erorii sistematice
- ◆  $\bar{A}_C [(T_{prod} + 2d_m) / \sigma_{tehn}]$  este numărul de piese incorect acceptate pentru poziția deplasată a reglajului din cauza erorii sistematice

Mărimea cea mai probabilă a depășirii câmpului de toleranță este:

$$c = d_m + c(C) \quad (189)$$

Și în acest caz mărimea depășirii  $c(C)$  pentru limita deplasată a câmpului de toleranță determinându-se în mod obișnuit pentru raportul  $(T_{prod} + d_m) / \sigma_{tehn}$ .

Un caz aparte este cel al controlului automat activ. Se consideră că dimensiunile pieselor prelucrate se distribuie după legea normală existând zone tehnologice cu o dispersie mai mare decât toleranța de prelucrare. La limita de trecere a câmpului de toleranță are loc o distorsiune suplimentară unilaterală, cauzată de dispersia proprie mijlocului de măsurare.

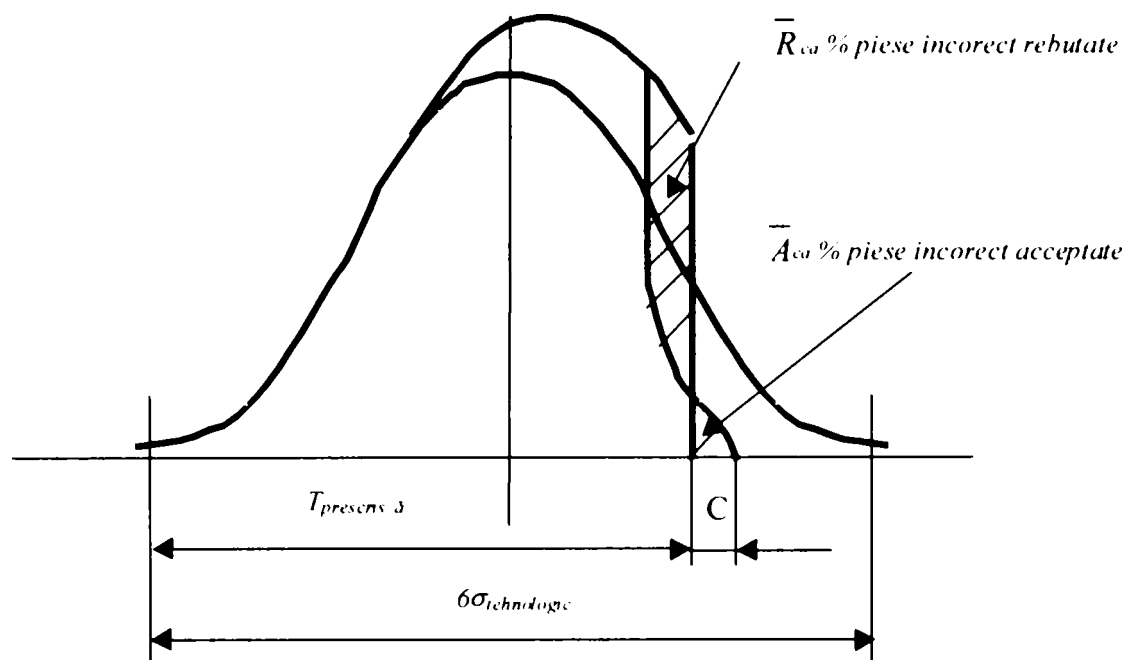


Fig. 115 Curba de distribuție la prelucrările cu control activ

În acest caz al prelucrării cu control activ rezultă fie oprirea, fie prelucrarea suplimentară a măsurandului rebutarea fiind neregulată. Schimbarea de reglaje necesare pentru evitarea rebutării nu poate fi făcută decât prin adoptarea a următoarelor soluții:

- ◆ utilizarea unui control post operațional (aceasta soluție încarcă suplimentar cheltuielile de control-măsurare;
- ◆ prelucrarea cu limite de control restrânse prin deplasarea convenabilă a reglajului comenzii de oprire a prelucrării către interiorul câmpului de toleranță cu valoarea  $c$ ;
- ◆ utilizarea unui mijloc de control activ cu precizie ridicată.

Parametri de apreciere  $\bar{R}_{ca} = \bar{R}/2$  și  $\bar{A}_{ca} = \bar{A}/2$  se stabilesc tot pe baza nomogramelor din figura 113 considerând că influența stabilirii reglajului de cota finală și a erorii procedurii se manifestă numai către o limită a câmpului de toleranță.

Din analiza nomogramelor prezentate în figura 113 se observă că pentru o aceeași valoare a raportului  $T_{prod}/(2\sigma_{tehn})$  eroarea relativă de măsurare  $A_{metr}$  comparativ cu restul procedurilor de control este mult mai mică și unidirecțională. Acest fapt justifică încă odată necesitatea unor precizii mai mari ale metodelor de control precum și utilizarea mijloacelor de control activ.

### 4.3 Eroarea așteptată la prelucrările cu control activ.

#### Introducere în bazele reglării dimensiunii piesei prelucrate.

#### 4.3.1 Eroarea așteptată a procedeeelor de control activ

În estimarea erorii procedeeelor de control activ se va ține cont în continuare de influența următorilor factori [49]:

- ◆  $z_1$ : oscilația mărimii adaosului de prelucrare;
- ◆  $z_2$ : uzura sculei;
- ◆  $z_3$ : deformația elastică și cea datorată temperaturii a sistemului tehnologic;
- ◆  $z_4$ : erorile mijlocului și ale metodei de măsurare (erorile proprii de temperatură, erorile de poziție, deriva de zero, vibrațiile, etc).

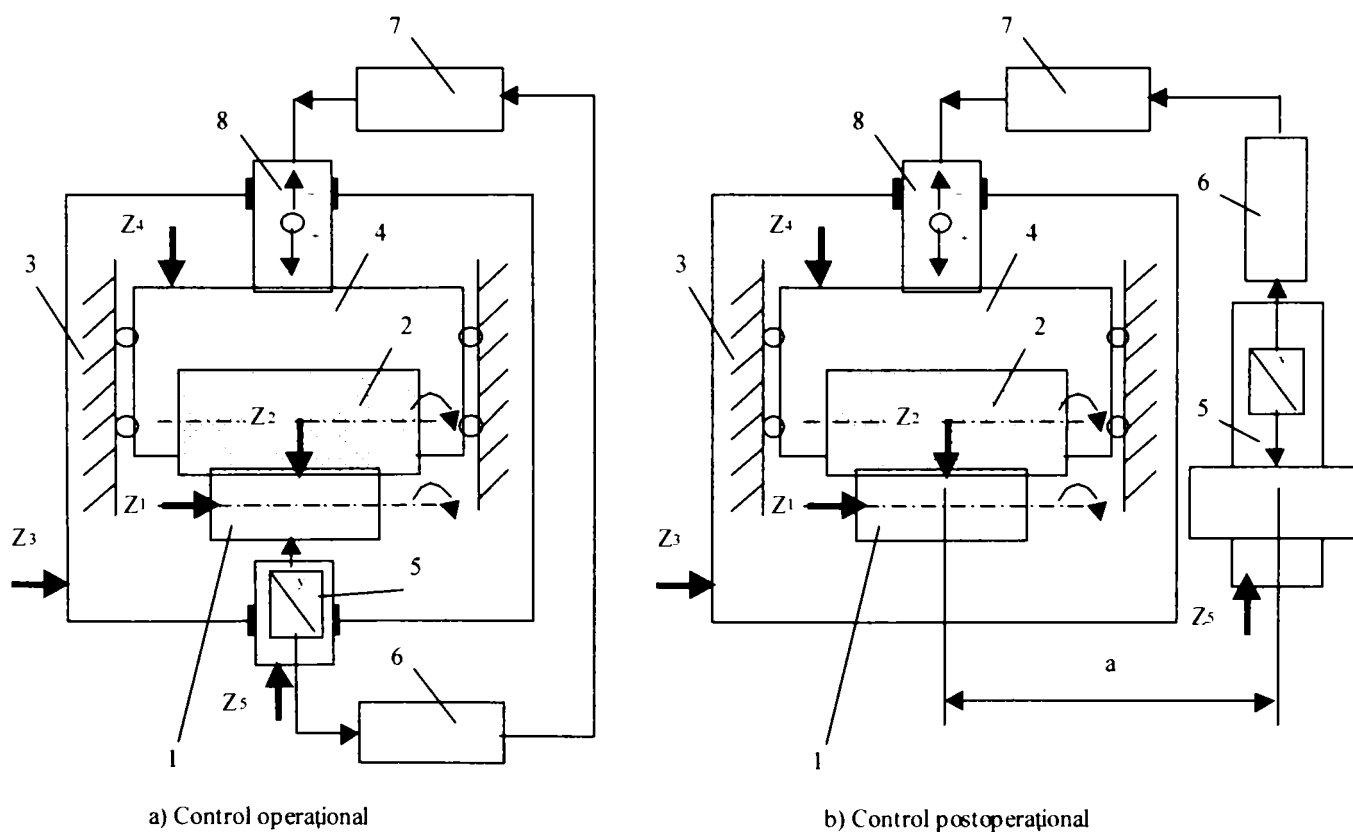


Fig. 116 Factorii de influență a erorilor mijloacelor de control activ

Cauzele erorilor mijloacelor de control activ pot fi structurate ca în Fig. 117:

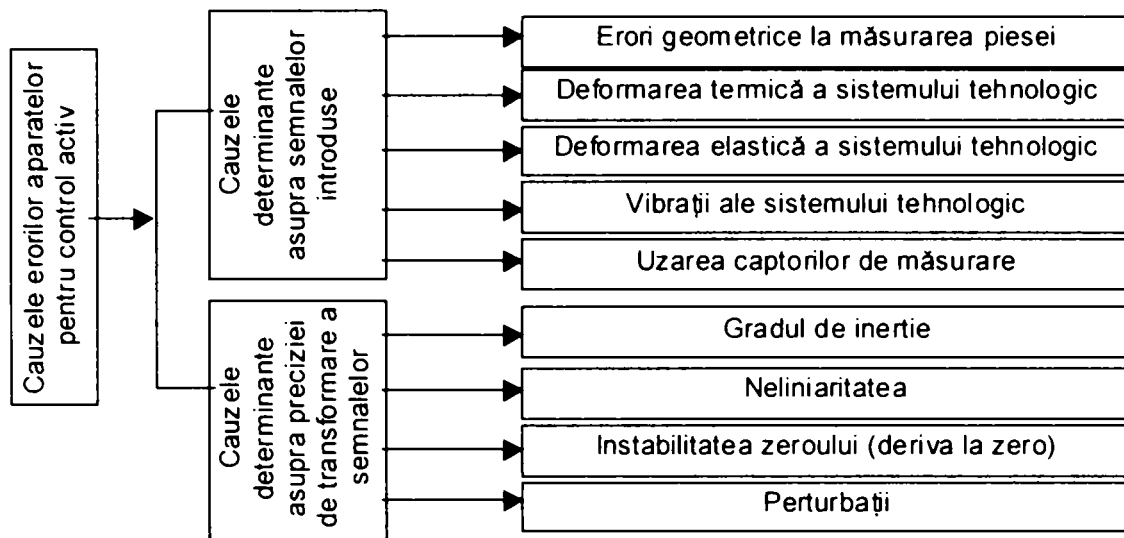


Fig. 117 Cauzele erorilor mijloacelor de control activ

Indiferent de procedeu, variația dimensiunii unei serii succesive de piese prelucrate în condiții normale de atelier este prezentată în figura 118:

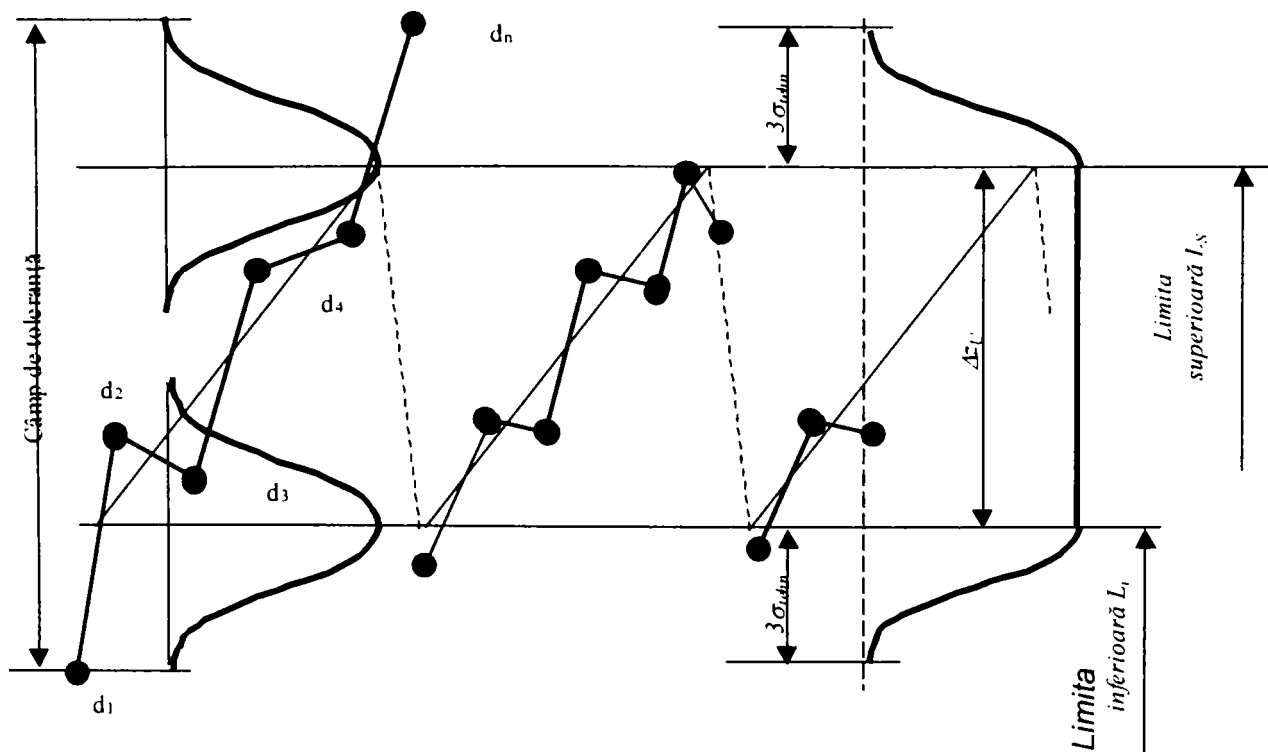


Fig. 118 Distribuția dimensiunilor pieselor prelucrate cu control activ operațional

Variația arată o dependență a dimensiunii după:

- ◆ legea "probabilității egale" față de factorii perturbatori  $z_2, z_4$  și  $z_5$
- ◆ legea "distribuției normale" față de factorii perturbatori  $z_1$  și  $z_3$

La transformarea mărimii de intrare  $Y_i$  în mărime de comandă  $Y_c$  se tinde static către o dependență liniară a semnalului analog:

$$Y_a = Y_a^0 + k * Y_c \quad (190)$$

unde  $k$  este constantă de transfer.

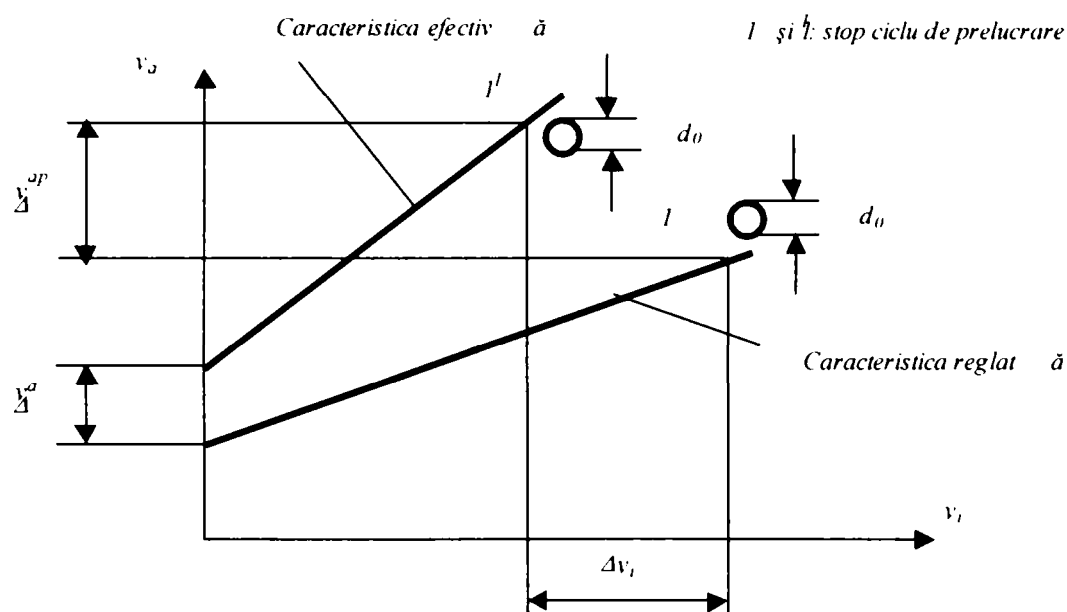


Fig. 119 Erorile datorate modificării caracteristicii și a momentului de oprire a ciclului de prelucrare cu control activ operațional

În principiu, un sistem de control activ operațional realizează compararea semnalului analog  $Y_a$  cu mărimea prescrisă  $Y_{ap}$  furnizată de blocul de prescriere a comenzilor. În urma acestei comparări se formează semnalul discret de comandă:

$$Y_c = \begin{cases} 0, & \text{pentru } Y_a < Y_{ap} \\ L_j, & \text{pentru } Y_a \geq Y_{ap} \end{cases} \quad (191)$$

Erorile funcției de comandă  $Y_c(Y_{cV})$  provin din:

- ◆ instabilitatea zeroului lui  $\Delta Y_a^0$
- ◆ modificarea coeficientului de transfer  $\Delta k$
- ◆ erorarea de precizie a semnalelor de comandă  $\Delta Y_{ap}$  generate de modificarea treptată a parametrilor schemei, a factorilor de temperatură, oscilațiilor alimentării, etc.

Pentru a elimina influența erorii date de  $\Delta Y_a$  se face modificarea semnalului  $\Delta Y_{ap}$ . Eroarea măsurii măsurate este dată de:

$$\Delta Y_i = \Delta Y_{ap} / k - \Delta Y_a^0 / k - \Delta k (Y_{ap} - Y_a^0) / k^2 \quad (192)$$

$\Delta Y_i$  este minimă și egală cu zero în cazul în care  $Y_{ap} = Y_a$ . Aceasta dovedește că mijloacele de măsurare nu foarte stabile în constanta de transfer reușesc o stabilitate bună la declanșarea comenzilor.

Erorile dinamice sunt cauzate de:

- ◆ caracterul temporal al mărimii de intrare  $Y_i(t)$  prin inerția formării semnalului
- ◆ autooscilațiile
- ◆ instabilitatea tranzitorie a sistemului tehnologic

Semnalul analog  $Y_a(t)$ , pentru majoritatea mijloacelor de măsurare considerate elemente de întârziere de ordinul întâi, se determină prin Laplaceanul ecuației:

$$T dY_a(t) / dt + Y_a(t) = k Y_i(t) \quad (193)$$

$$Y_a(t) = F(p) * Y_i(t) = [k / (1 + Tp)] * Y_i(p) \quad (194)$$

unde  $p$  este variabila Laplace iar  $T$  este constantă de timp.

Eroarea dinamică pentru mijlocul de măsurare fără inerție (adică pentru  $T=0$ ) este diferența semnalului real față de cel așteptat:

$$\Delta Y_a(t) = Y_a(t) - k * Y_i(t) \quad (195)$$

Eroarea apărută la piesa prelucrată este:

$$\Delta Y_i(t) = (1/k) \Delta Y_a(t) = (1/k) Y_a(t) - Y_i(t) \quad (196)$$

Aplicând ultimei ecuații transformata Laplace se obține:

$$Y_i(p) = (1/k) [F(p) - k] * Y_i(p) = [-pT / (1 + pT)] * Y_i(p) \quad (197)$$

Eroarea se stabilește în special pentru momentul terminării prelucrării semnalului de intrare  $Y_i(t)$  și când  $Y_a(t) = Y_{ap}$ .

Literatura de specialitate tratează în detaliu cazurile tipice:

- ◆ variația treaptă a mărimii de intrare
- ◆ variația liniară a mărimii de intrare
- ◆ variația prin impuls a mărimii de intrare
- ◆ variația armonică a mărimii de intrare

Eroarea așteptată între două reglaje succesive se poate aprecia cu relația [49]:

$$F = \Delta z_u + 6\sigma_{tehn} + \delta_f + f \quad (198)$$

unde:

- ◆  $\Delta z_u$  este modificarea comutației comenzii de oprire a ciclului de prelucrare
- ◆  $6\sigma_{tehm}$  este împrăștierea erorilor întâmplătoare de prelucrare
- ◆  $\delta_l$  este modificarea comutației comenzii de oprire de oprire a ciclului prin deplasarea centrelor de grupare a erorilor întâmplătoare
- ◆  $f$  este eroarea de măsurare la formarea și transmiterea comenzilor

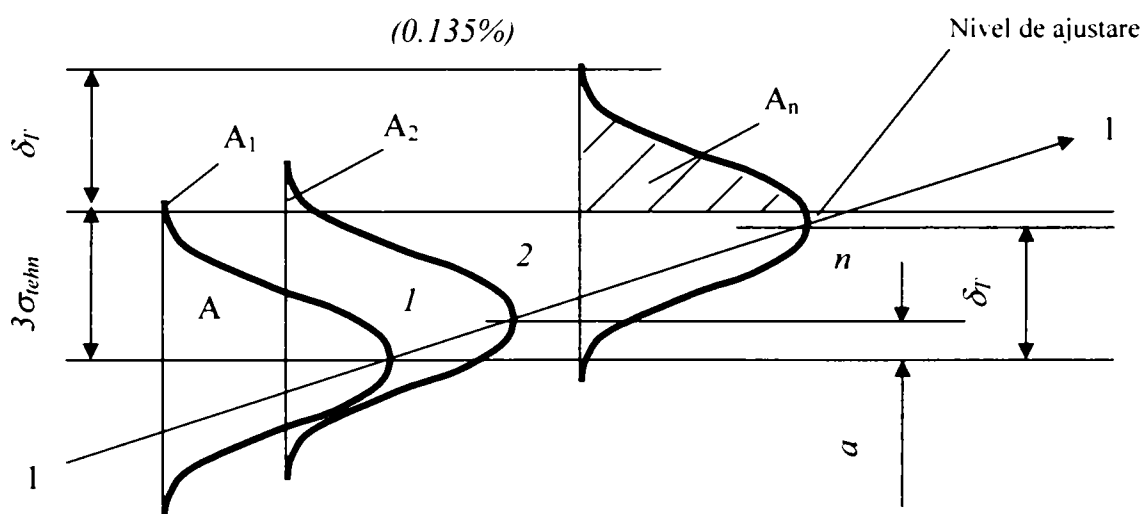


Fig. 120 Alunecarea centrului grupării erorilor întâmplătoare de prelucrare și măsurare

Stabilirea mărimii alunecării centrelor de grupare  $\delta_l$  se face pe baza a două limite:

- ◆ limita la care, practic, apare probabilitatea ajustării
- ◆ limita la care probabilitatea ajustării este egală cu unitatea

Probabilitatea de neajustare în punctul limită "n" este:

$$P_n = \prod_{i=1}^n P_i = (1 - A_1 / A) * (1 - A_2 / A) \Lambda (1 - A_n / A) \quad (199)$$

iar cea de ajustare în același punct este:

$$P_n^* = 1 - \prod_{i=1}^n P_i = 1 - (1 - A_1 / A) * (1 - A_2 / A) \Lambda (1 - A_n / A) \quad (200)$$

unde:

- ◆  $A$  este suprafața totală cuprinsă sub curba de distribuție
- ◆  $A_i$  este suprafața corespunzătoare alunecării "i" separată de linia nivelului de ajustare din cadrul suprafeței totale  $A$

♦  $n$  numărul pieselor din selecția de prelucrat

Mărimea lui  $n$  determină o probabilitate de neajustare convențională sau suficient de mică. Astfel, dacă se alege pentru o anumită valoare (începând cu  $n=1$ ) la care inițial  $P_n = 0$  și  $P_n^* = 1$ , după care se alege o altă poziție pentru centrul grupării (deci și a mărimii  $\delta_T$ ). Se presupune cunoscută media erorilor de prelucrare "a" (de exemplu prin măsurări postoperaționale). Cu "a" determinat, cu ajutorul funcției Laplace, se stabilește "n".

Parametrul  $\delta_T$  se poate stabili mai simplu pornind de la relația de dependență:

$$n = const. (\sigma_{tehn} / a)^\beta \quad (201)$$

Prin logaritmare se obține

$$\delta_T = na = 6.23 \sigma_{tehn}^{0.72} a^{0.28} \quad (202)$$

Parametrul  $\delta_T$  nu coincide cu  $\Delta z_u$  și nici cu  $6\sigma_{tehn}$ . Figura 121 precizează componentele erorii maxime așteptate.

Pentru fiecare ajustare poziția centrului de grupare momentan este întâmplătoare. La un număr oarecare de ajustări acestea vor fi realizate chiar la pozițiile 1 și  $n$ . Deriva centrului de grupare este accentuată de uzarea captorilor și a sculei.

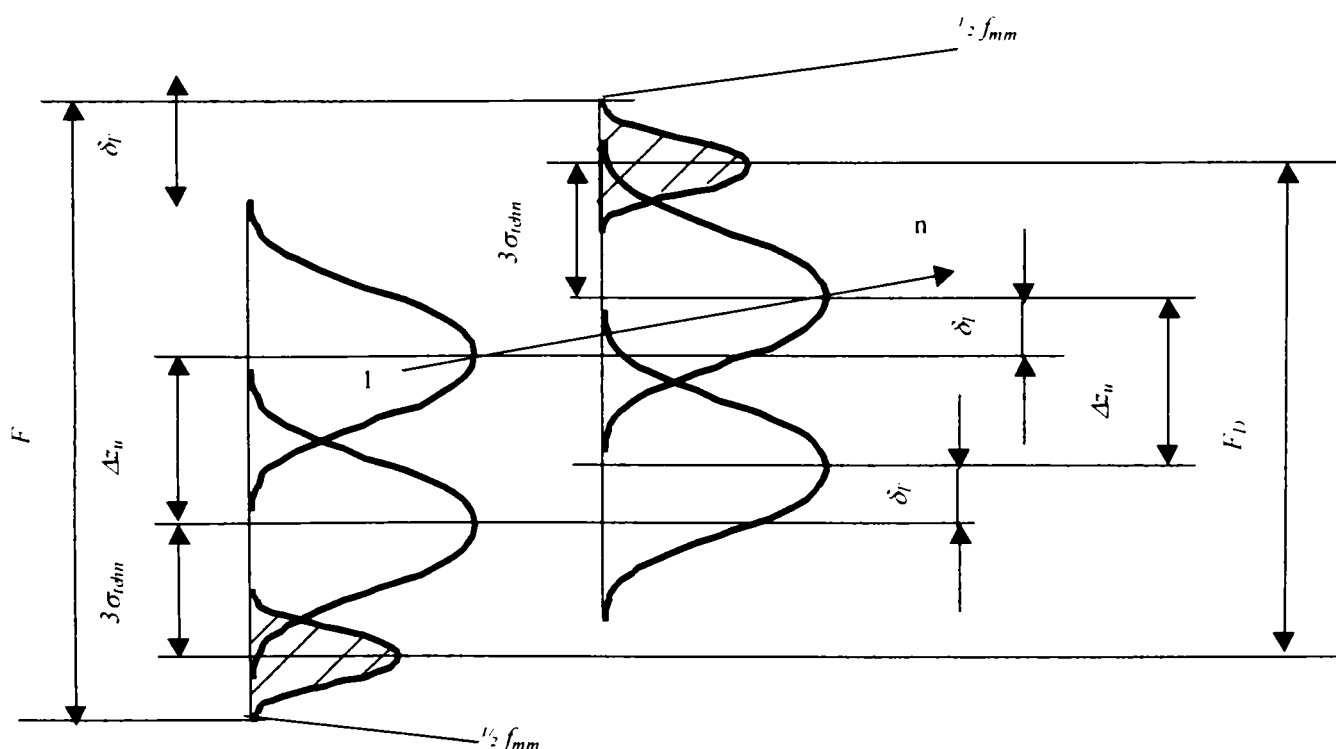


Fig. 121 Structura erorii maxime a procedeelor de prelucrare cu control activ operațional

Eroarea așteptată este [49]:

$$\diamond F \cong 10f \text{ pentru rectificări exteriorare} \quad (203)$$



$$\diamond F \cong 15f \text{ pentru rectificări interioare} \quad (204)$$

Explicația constă în faptul că elementele care influențează mărimea erorii așteptate au valori cuprinse în următoarele intervale:

□ pentru rectificarea exterioară:

$$\diamond \Delta z_u = 2 \div 5 \mu m \quad (205)$$

$$\diamond 6\sigma_{tehn} = 3 \div 5 \mu m \quad (206)$$

$$\diamond \delta_T = 1 \div 3 \mu m \quad (207)$$

$$\diamond f \cong 1 \mu m \quad (208)$$

□ pentru rectificarea interioară:

$$\diamond \Delta z_u = 5 \div 10 \mu m \quad (209)$$

$$\diamond 6\sigma_{tehn} = 3 \div 5 \mu m \quad (210)$$

$$\diamond \delta_T = 1 \div 3 \mu m \quad (211)$$

$$\diamond f \cong 1 \mu m \quad (212)$$

Aceste date se bazează pe observațiile acumulate din practica industrială. Valorile culese evidențiază și ponderea pe care o are eroarea mijlocului de măsurare în totalul erorii maxime: 10÷15%. Ca atare scăderea erorii F este posibilă doar prin micșorarea componentelor  $6\sigma_{tehn}$  și  $\Delta z_u$ . Există o singură restricție și anume:  $\Delta z_u$  este limitată de distanța medie "a"<sub>max</sub> a centrelor vecine de grupare (în caz contrar ajustarea nu elimină erorile de prelucrare).

Ajustarea comenzii de oprire a ciclului după un număr restrâns de piese elimină erorile funcționale nu și cele întâmplătoare. De aici și condiția de fabricație:

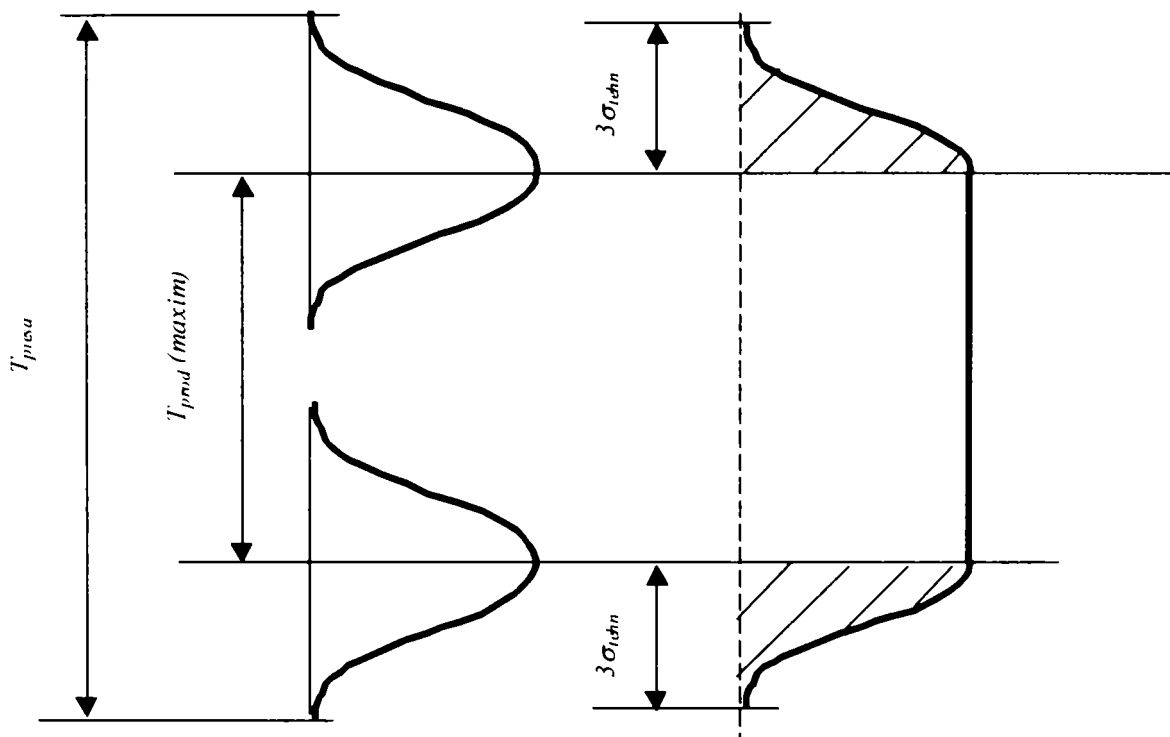


Fig. 122 Relația dintre toleranța prescrisă și toleranța de producție

În situația în care  $\Delta z_u < \delta_T$  este necesară o nouă ajustare, dar care mărește eroarea de prelucrare. În cazul în care corecția se face după mediana selecției  $N$  de piese se evită influența erorilor întâmplătoare de prelucrare și de măsurare. Trebuie să se țină cont de reducerea împrăștierii erorilor la ajustarea pentru grupe de  $N$  piese decât în cazul ajustării după o piesă:

$$\sigma_{ien}^* = \sigma_{iehn} / \sqrt{N} \quad (213)$$

Prin corecția adusa împrăștierii erorilor relația de calcul a parametrului  $\Delta z_u^*$  devine:

$$\Delta z_u^* = 6.23 * (\sigma_{iehn} / \sqrt{N})^{0.72} * a^{0.28} = N^{-0.36} * (6.23 * \sigma_{iehn}^{0.72} * a^{0.28}) = N * \Delta z_c \quad (214)$$

Dacă se ține cont și de valoarea erorii medii pătratice:

$$\sigma_m = (\sqrt{\pi/2} * \sigma_{iehn}) / \sqrt{N} \quad (215)$$

parametrului  $\Delta z_u^*$  devine:

$$\Delta z_u^* = 1.1 * N^{-0.36} * \Delta z_c \text{ cu } N \leq 5 \div 6 \quad (216)$$

### 4.3.2 Metode de reglare a dimensiunilor prelucrate

Realizarea preciziei de prelucrare este determinată în final de algoritmul de corecție a comenzii finale de oprire a ciclului de prelucrare. Dacă limitele comenzii de reglare sunt strânse ele

vor fi depășite haotic în ambele părți din cauza suprapunerii corecției peste abaterile aleatoare ale dimensiunii. Dispersia astfel obținută este mai mare decât în cazul lipsei corecției.

Algoritmii uzuali folosiți sunt următorii [49]:

- ◆ reglarea după câte o piesă
- ◆ reglarea după mediana unei selecții
- ◆ reglarea după valoarea medie a selecțiilor
- ◆ reglarea după valoarea medie dinamică
- ◆ reglarea programată a mașinilor

Reglarea după o piesă: se operează la depășirea limitelor de control, constatată la măsurarea piesei executate. Aducerea prelucrării în interiorul câmpului de toleranță prescris se face prin aplicarea:

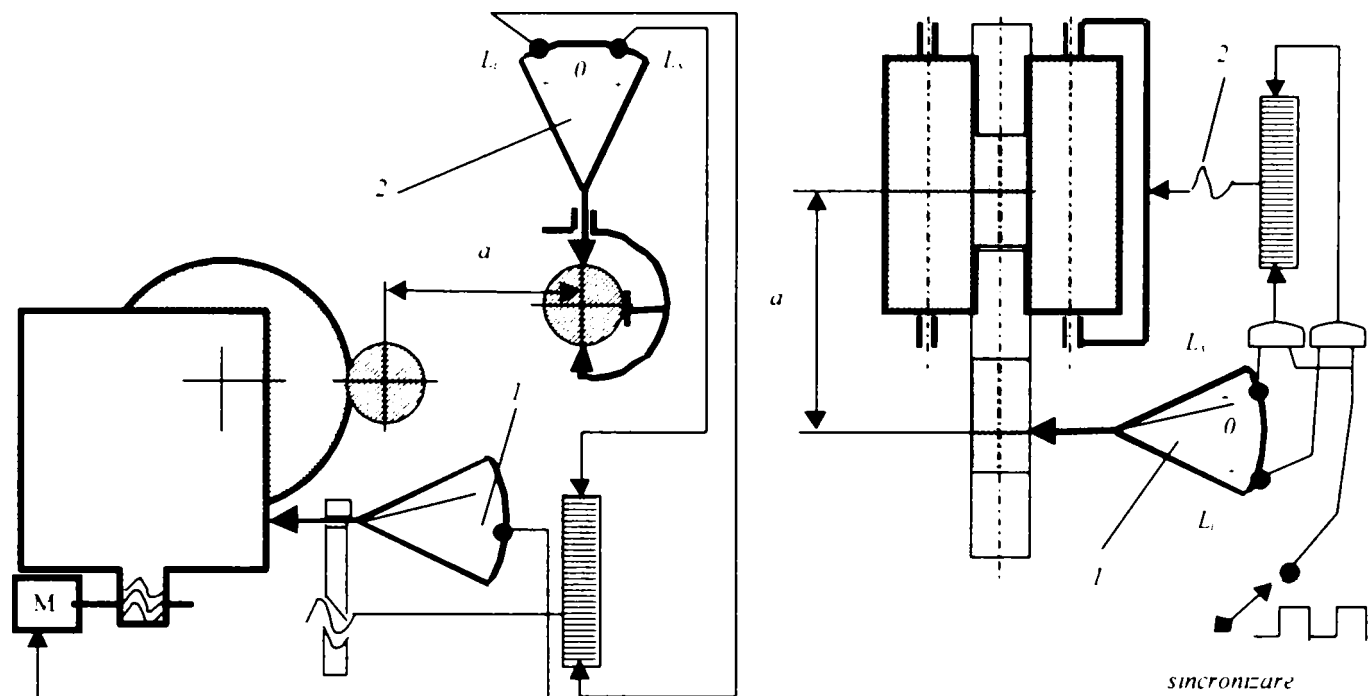
- ◆ unui impuls de corecție (indiferent de mărimea depășirii)
- ◆ unor trepte de impulsuri de corecție (proporțional cu mărimea depășirii)

Reglarea după mediana unei selecții: presupune măsurarea continuă sau eșantionată a pieselor prelucrate și evaluarea diferențiată a celor care depășesc sau nu ating una sau ambele limite de control. Reglarea se realizează prin aplicarea unui impuls de corecție (de valoarea constantă) sau a unor trepte de impulsuri de corecție (proporționale cu valoarea depășirii) când numărul acestor piese depășește mărimea admisă.

Reglarea după valoarea medie a selecțiilor: algoritmul calculează valoarea medie a selecțiilor formate din piese prelucrate succesiv sau a celor eșantionate prin prelevare la intervale prestabilite de timp. Reglarea este asigurată prin aplicarea unor mărimi constante sau proporționale ale impulsurilor de corecție la depășirea limitelor de control.

Reglarea după valoarea medie dinamică: și această metodă presupune măsurarea continuă. Determinarea valorii medii se face cu ajutorul circuitelor inerțiale. Reglarea este asigurată prin aplicarea unor mărimi constante sau proporționale ale impulsurilor de corecție după intervale de timp date.

Reglarea programată a mașinilor: în funcție de numărul pieselor prelucrate, prelabil se stabilește numărul de măsurători facute (de regulă pentru  $1 \div 10$  piese). Sistemul de calcul al mijlocului de control declanșează comenzile de corecție. Se realizează corecția diferenței între valoarea reală obținută și cea programată a dimensiunii prelucrate. Reglajele necesare se realizează manual sau automat prin deplasarea controlată a sculei.



$L_s$  – limita superioară de control  $L_i$  – limita inferioară de control

Fig. 123 Reglaje sau corecțiile intermediare postoperaționale

La reglarea prin corecții automate apar particularități de principiu și erori specifice. Dacă mărimea corecției (impulsului de reglare)  $\delta_d$  este mai mare decât diferența limitelor de reglare (sau de control)

$$b = L_s - L_i \quad (217)$$

după reglare la una din limite va avea loc o deplasare așa de mare a mecanismului de execuție încât următoarea piesă va rezulta cu o dimensiune redusă. Măsurarea acesteia (măsurarea fiecărei piese imediat după prelucrare este o condiție obligatorie) determină o corecție de sens invers.

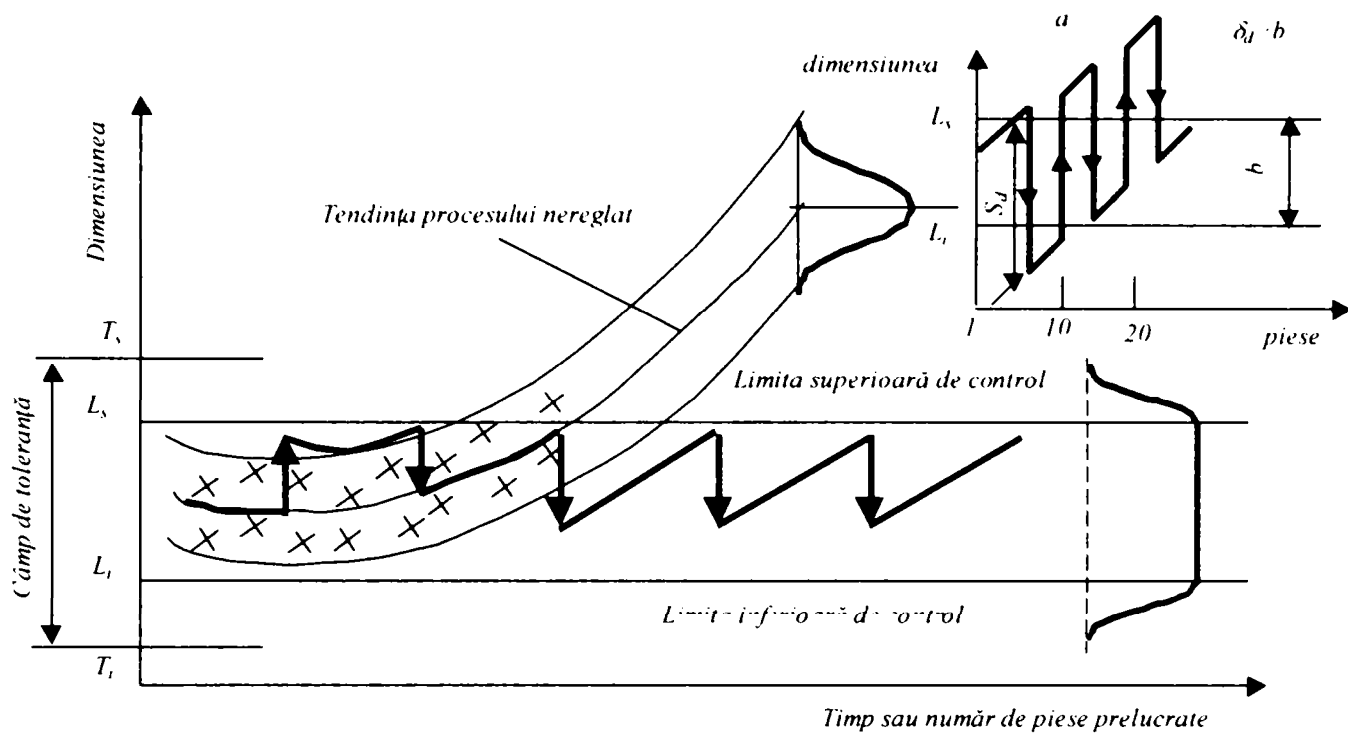


Fig. 124 Împrăștierea dimensiunii prelucrate fără și cu corecții (reglări intermediare).

În lipsa dispersiei întâmplătoare, procesul de producție va decurge ca în figura 124 a. Reglarea prin corecții succesive înainte-înapoi are loc până la liniștirea prin uzare a sculei și a erorilor cursei inverse a organului de execuție.

La prelucrările cu alimentare automată, reglarea cu corecții automate succesive are oscilații puternice la neglijarea întârzierii date de cele  $n_s$  piese aflate între prelucrare și măsurare.

### 4.3.3 Optimizarea reglării dimensiunilor

Împrăștierea dimensiunii prelucrate este mult influențată de următorii factori:

- ◆ numărul de piese  $n_s$  între aplicarea a două corecții succesive
- ◆ mărimea corecției  $\delta_d$
- ◆ algoritmul reglării

#### 4.3.3.1 Influența numărului de piese $n_s$

Figura 125 exemplifică situația reglajelor făcute după fiecare piesă ( $n_s=1$ ) sau după un număr mai mare de piese ( $n_s=5$ ).

- ◆ Cazul  $n_s=1$ : Ținând cont de faptul că aceste piese au valori mari ale dimensiunii măsurate (reglajul făcându-se aproape de limita de control superioară) după fiecare măsurare și corecție (pentru  $n=1$ ) urmează alte corecții în aceeași direcție: de reducere a dimensiunii. Dacă corecțiile  $\delta_d$  sunt suficient de mici, se atinge limita de control

inferioară  $L_r$ . Reglările ulterioare se repetă în sensul creșterii dimensiunii prelucrate. După cum se observă prelucrarea este instabilă.

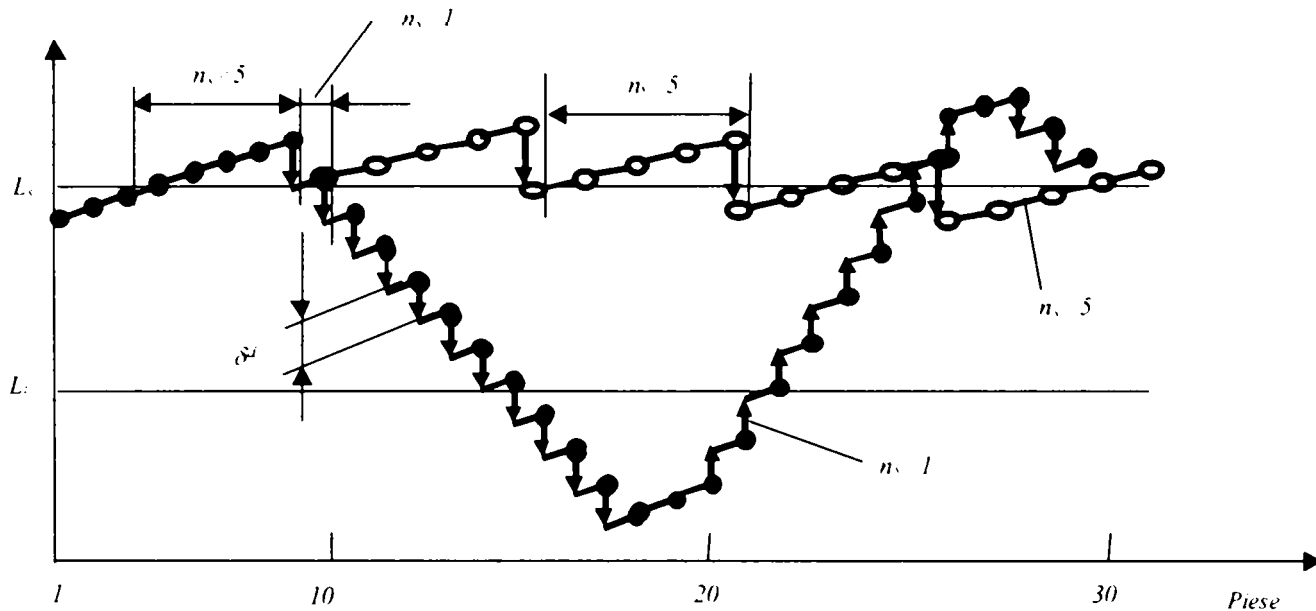


Fig. 125 Variațiile teoretice ale dimensiunii prelucrate cu corectii intermediare prin regula tripozițională (-,0,+);  $n_s=1$  prelucrare instabilă de la o piesa la altă;  $n_s=5$  prelucrare stabilă cu împrăștiere minimă

- ◆ Stabilitatea nu se obține prin corecții succesive ci prin corecții făcute după un număr corespunzător de piese prelucrate. Se observă că, pentru  $n_s=5$ , prelucrarea este stabilă și are o împrăștiere redusă a dimensiunii prelucrate.

#### 4.3.3.2 Influența mărimii corecției $\delta_d$

Cazul prezentat anterior s-a referit la situația în care mărimea corecției este de valoare mică.

Să considerăm cazul în care corecțiile aplicate sunt de valori duble față de cele aplicate în paragraful precedent:  $\delta_{d1}=2\delta_d$ . Se observă cu ușurință că în această situație se mărește și dispersia dimensiunii prelucrate. O îmbunătățire a procesului se realizează prin creșterea corespunzătoare a reglajului (cu  $\delta_{d2}>\delta_{d1}$ ) și, în același timp, prin creșterea lui  $n_s$  ( $n_s=6$ ).

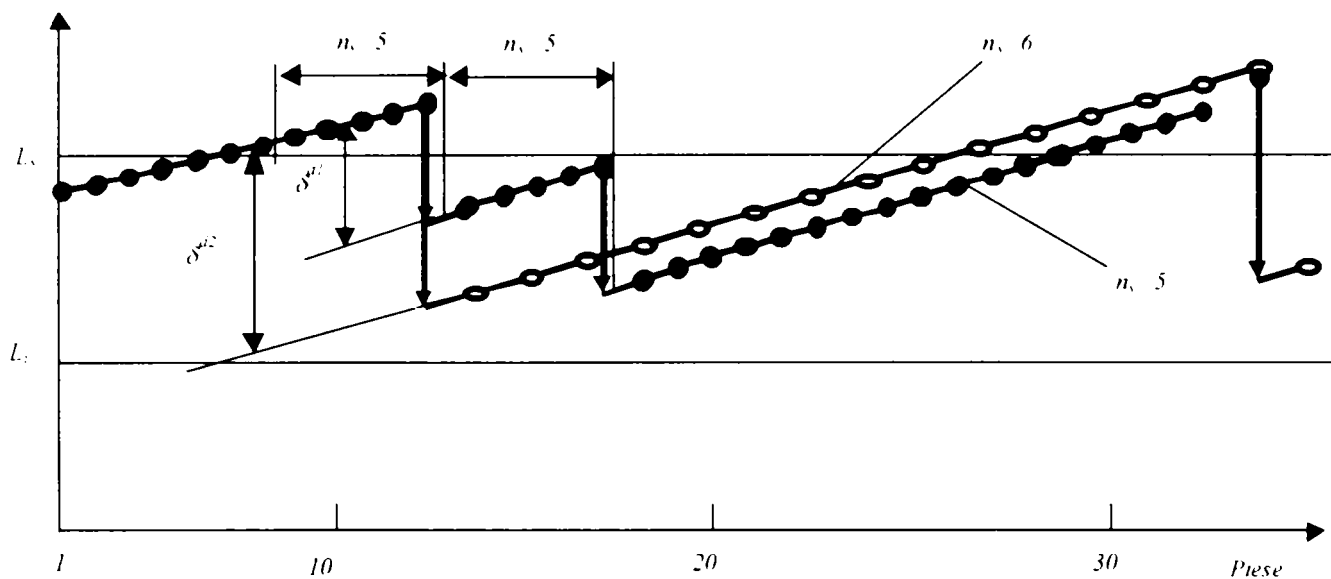


Fig. 126 Variațiile teoretice ale dimensiunii prelucrate cu corecții intermediare prin regula tripozițională (-,0,+): Mărimea corecției prin impulsuri  $\delta_{d2} > \delta_{d1} > \delta_d$

#### 4.3.3.3 Influența algoritmului de reglare

Influența algoritmului este simțită în special asupra stabilității reglării.

- ◆ Reglarea după valoarea medie:

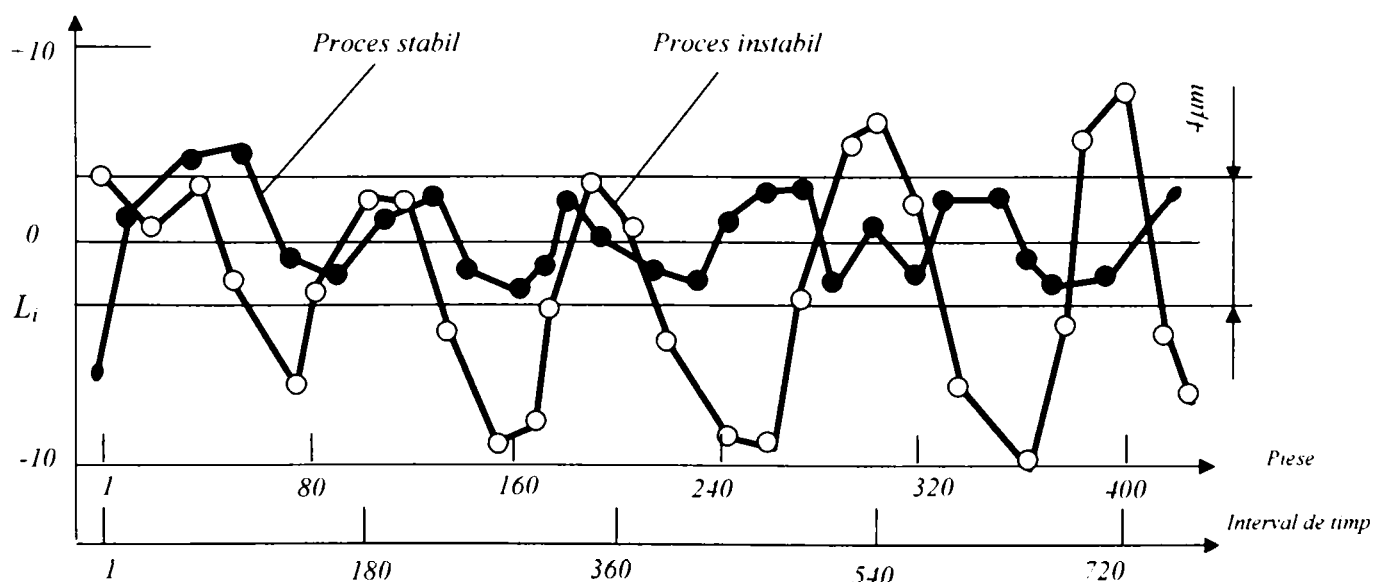


Fig. 127 Variația medie a dimensiunii prelucrate cu corecții intermediare prin regula tripozițională (-,0,+) pentru selecții de 10 piese;

Algoritmul bazat pe valoarea medie a selecțiilor succesive asigură scăderea influenței abaterilor întâmplătoare, reducând corespunzător costurile noncalității.

- ◆ Reglarea după mediană:

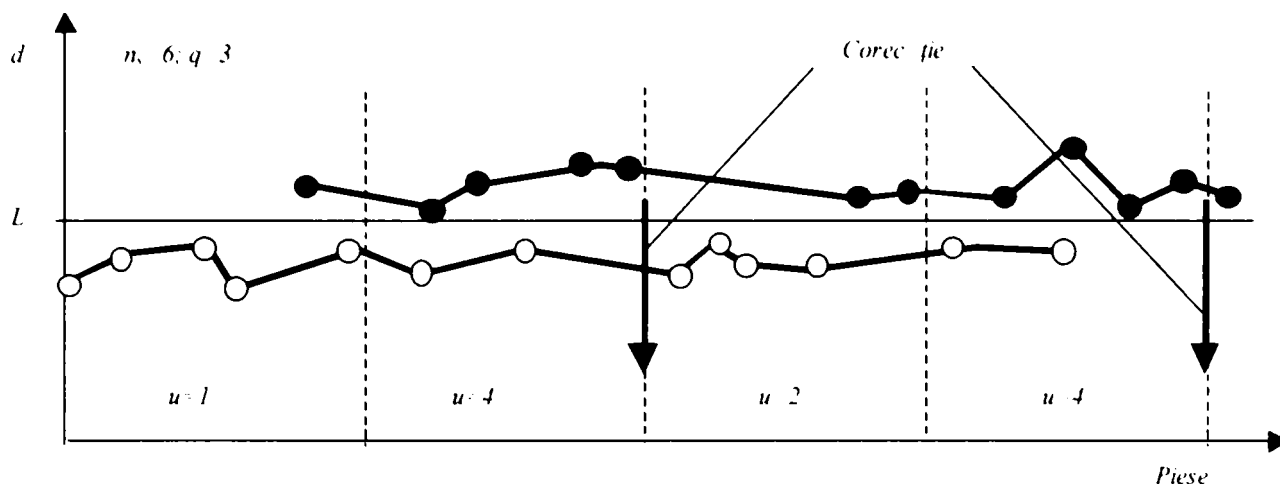


Fig. 128 Corecția prin reglarea după mediană: Cazul unei singure limite de control

Numărul pieselor  $u$  care depășesc limita de control  $L$  este calculat automat pentru fiecare selecție de piese prelucrate  $n_s$ . În figura 24 este exemplificat modul în care se realizează reglajul în cazul în care  $n_s=6$ . Corecția se realizează automat dacă numărul  $u$  depășește valoarea limită  $q$ .

$$\begin{cases} q \geq n/2 + 1 \\ u > q \end{cases} \quad (218)$$

Pe parcursul prelucrării se observă aplicarea a două corecții atunci când se obțin  $u=4$  valori peste limita de control.

În cazul în care se folosesc două limite de control  $L_s$  și  $L_l$  algoritmul de calcul determină automat:

- ◆ numărul de piese  $\ddot{u}$  care depășesc limita superioară  $L_s$
- ◆ numărul de piese  $u$  care depășesc limita inferioară  $L_l$

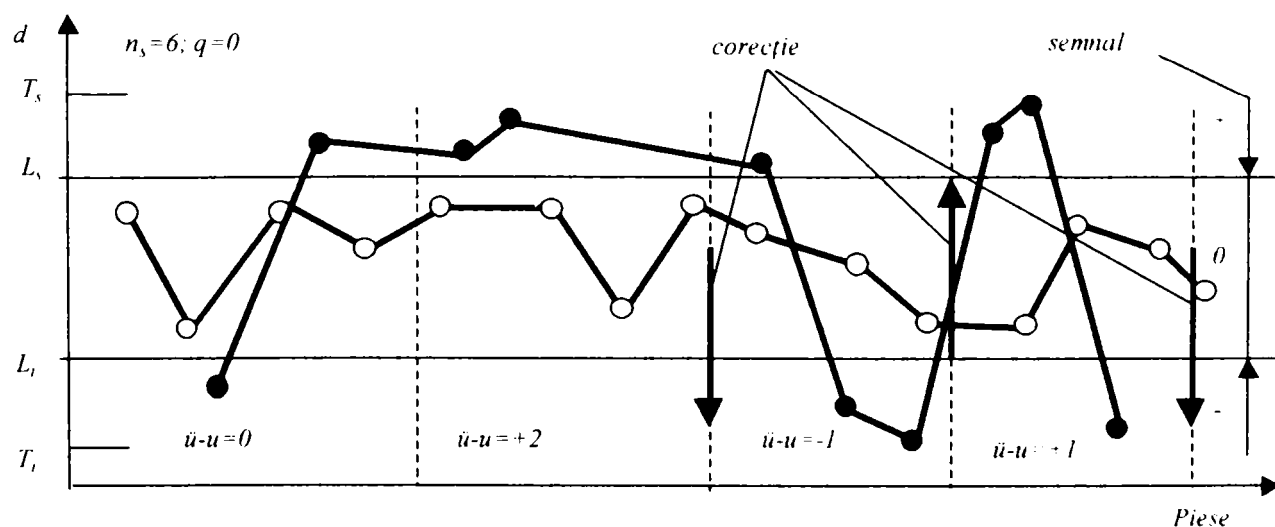


Fig. 129 Corecția prin reglarea după mediană: Cazul a două limite de control



Sistemul calculează în timp real diferența ( $i-u$ ) pe care o compară cu o valoare limită prestabilită  $q \geq 0$ . La depășirea aceste limite se dă comanda corecției. În figura 129 se observă corecțiile realizate în cazul particular în care  $q=0$ .

O variantă a celeilalte metode este și aceea în care realizarea corecției se face la îndeplinirea simultană a două condiții:

- ◆ depășirea uneia dintre limitele de control de către mediana unui număr prestabilit de selecții de piese:
- ◆ depășirea de către diferența ( $i-u$ ) a valorii limita impuse  $q$ .
- ◆ Reglarea după medie:

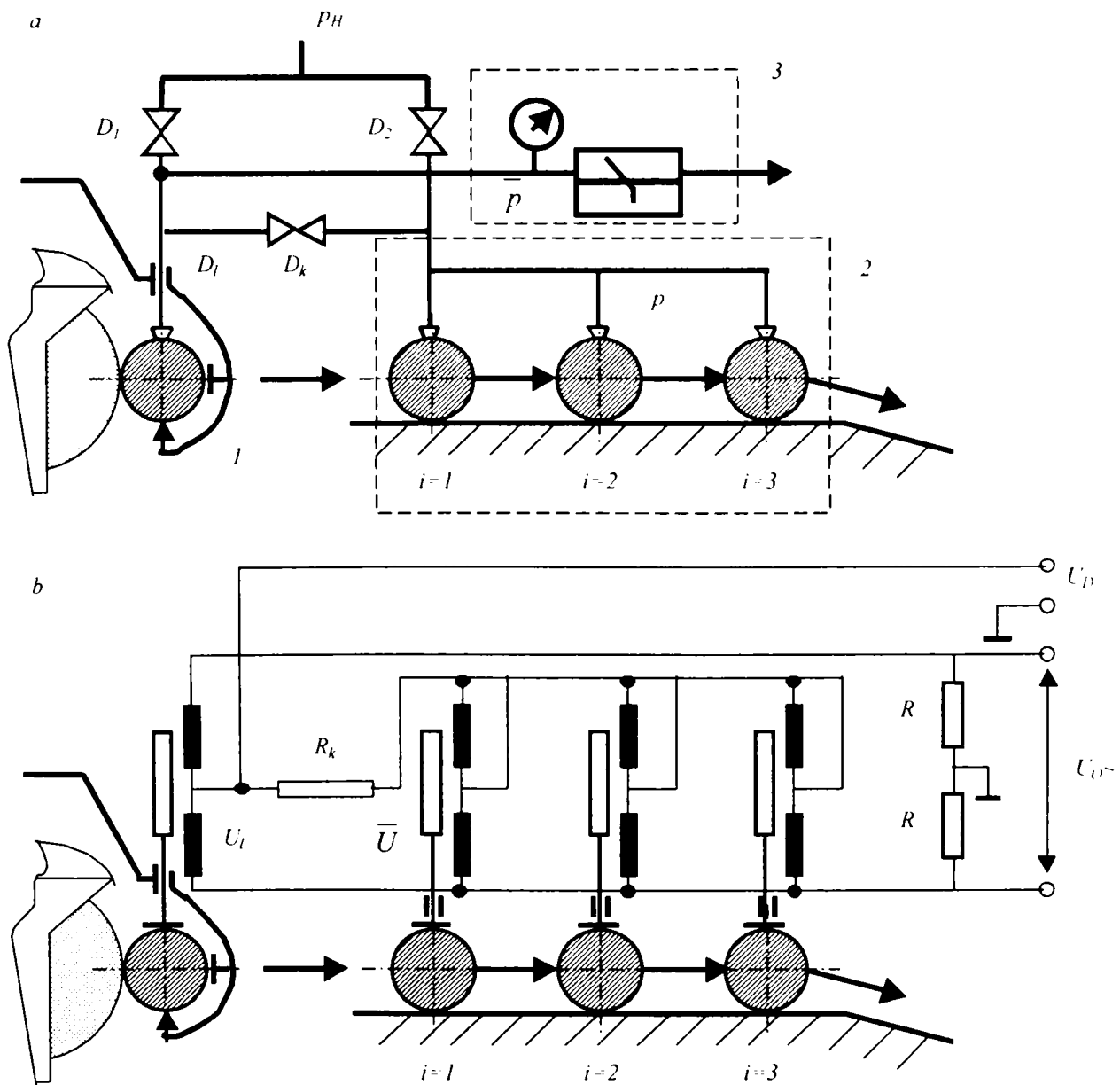


Fig. 130 Corecția prin reglarea după valoarea medie; prelucrarea semnalului pneumatic (a) sau electric (b)

Corecția este bazată pe compararea valorii medii  $\bar{x}$  a selecțiilor  $n_i$  de (2÷10) piese cu valorile  $x_i$  și cu limitele de control simetrice cu o valoare dată în intervalul:

$$V = t / \sqrt{n_i} \quad (219)$$

unde  $t$  este dependența față de rezistența statică selectivă.

Piesele prelucrate sunt măsurate (așa cum arată și figura 130 a și b) într-o secvență de trei piese ( $i=1; i=2; i=3$ ) cu senzori postoperaționali cuplați în paralel. Cu ajutorul lor se determina valoarea medie  $\bar{x}$ . Presiunea  $\bar{p}$  (tensiunea  $\bar{U}$ ) corespunzătoare valorii  $\bar{x}$  se compară la duza  $D_k$  (rezistența  $R_k$ ) cu valoarea curentă  $p_i$  (sau  $U_i$ ), echivalentă dimensiunii măsurate  $x_i$ . Dacă succesiv la prelucrare piesele rezultă la dimensiuni din ce în ce mai mari, semnalul  $\bar{p}$  (sau  $\bar{U}$ ) crește și determină o scădere a semnalului curent  $p_i$  (sau  $U_i$ ) al mijlocului de control. Când diferența depășește limita admisă are loc corecția.

Eroarea rezultată în corecția dimensiunii următoarei piese prelucrate este:

$$f_i = c_i - k(f_{i-1} + f_{i-2} + f_{i-3})/3 \quad (220)$$

unde:

- ◆  $f$  este eroarea de la mărimea prescrisă
- ◆  $k$  este coeficientul legăturii inverse (coeficientul de feed-back)
- ◆ Reglarea după valoarea medie dinamică:

Este o metodă de eliminare a erorilor întâmplătoare aplicabilă îndeosebi la viteze mari de așchiere și de transfer pentru controlul postoperațional de reacție.

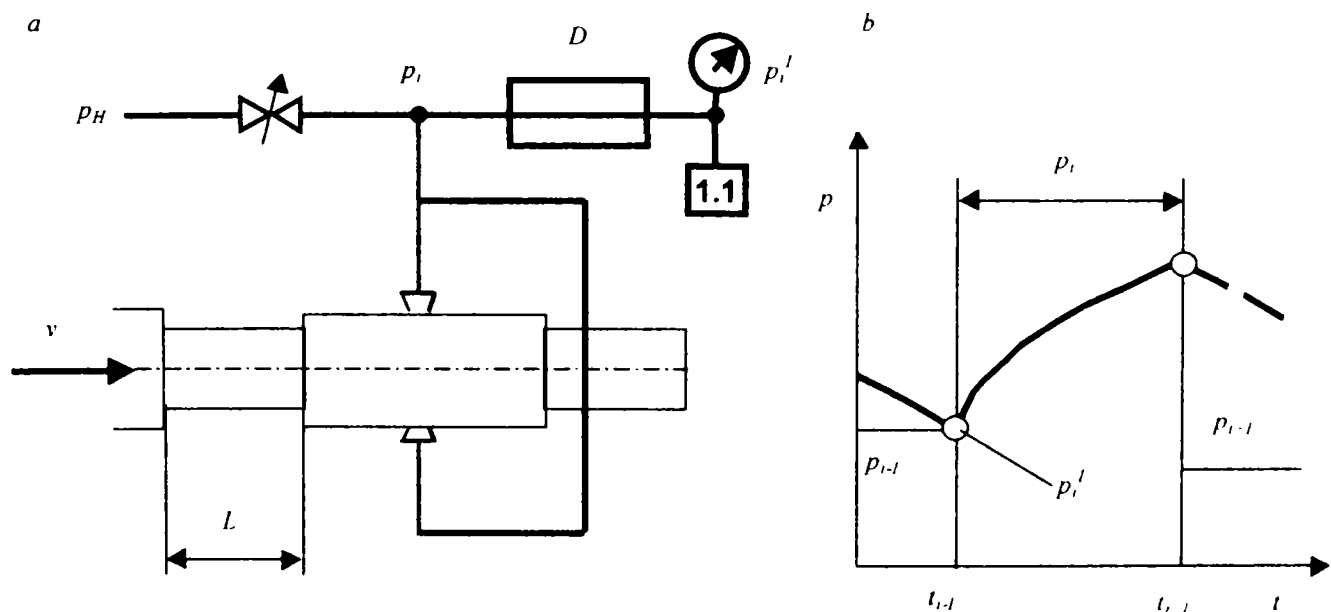


Fig. 131 Corecția prin reglarea după valoarea medie dinamică:

a) sistemul de control activ folosit (control pneumatic)

b) forma semnalului

Se consideră cazul măsurării pneumatice prezentate în figura 131 a. Constantă de timp la formarea semnalului se comportă ca un element de întârziere de ordinul întâi. Presiunea  $p_i^l$  stabilită între duzele de intrare și de măsurare se memorează prin intermediul droselului de amortizare  $D$  și a capacității (volumului)  $V$  caracterizate de constantă de timp  $T$ .

În limitele perioadei de măsurare  $(t_i - \tau)$  la  $t_i$  cu:

$$\tau = 1/\nu \quad (221)$$

mărimea momentană a presiunii  $p_i^l$  este:

$$p_i^l = p_{i-1}^l + (p_i - p_{i-1}^l)[1 - \exp(-\tau/T)] \quad (222)$$

În funcție de valorile anterioare  $p_{i-1}^l \div p_{i-j}^l$

$$\begin{aligned} p_i^l &= [1 - \exp(-\tau/T)] * \{p_i + p_{i-1} \exp(-\tau/T) + p_{i-2} \exp(-2 * \tau/T) + \dots\} = \\ &= [1 - \exp(-\tau/T)] * \sum_{j=0}^{\infty} p_{i-j} \exp(-j * \tau/T) \end{aligned} \quad (223)$$

Prin generalizare, indiferent de natura semnalului:

$$x_i^l = a_0 x_i + a_1 x_{i-1} + a_2 x_{i-2} + a_3 x_{i-3} + \dots = \sum_{j=0}^{\infty} a_j x_{i-j} \quad (224)$$

La această metodă fiecare măsurare are o importanță hotărâtoare. Metoda evidențiază foarte bine variațiile întâmplătoare.

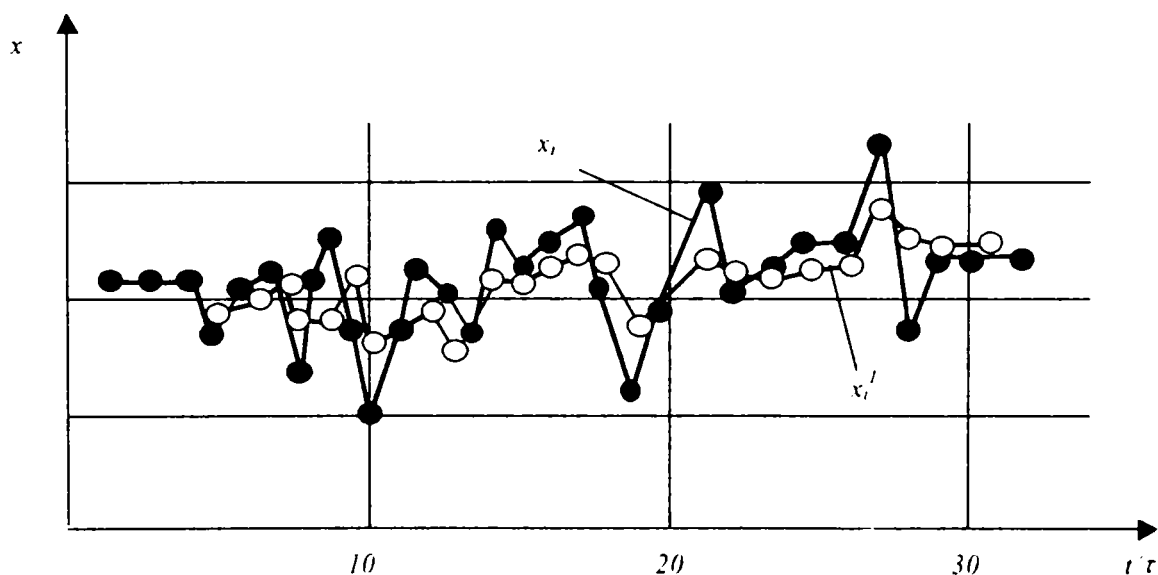


Fig. 132 Corecția după valoarea medie dinamică. Cazul a două limite de control

Tabelul de mai jos prezintă o sinteză a regimurilor de lucru folosite cu rezultate bune în cadrul prelucrărilor prin rectificare.

**Regimurile de lucru ale mijloacelor de control activ pentru prelucrările prin rectificare  
(aplicabile și pentru alte tipuri de prelucrări prin așchiere)**

$S_\sigma \delta d_0$	Corecția prin reglare indicată	Observații asupra caracteristicii prelucrării
$\leq 0.25$	După câte o piesă	-
$0.25 \div 1$	După media unei selecții	Până la 10% corecția prin reglare după câte o piesă
$> 1$	După valoarea medie	Până la 20% corecția prin reglare după câte o piesă

În tabel.  $S_\sigma$  reprezintă deviația standard pentru prelucrarea necorectată iar  $\delta d_0$  mărimea impulsului de reglare.

## 5 Posibilități de îmbunătățire a performanței sistemelor de control activ

### 5.1 Traductor capacitiv cu element sensibil de tip membrană circulară

#### 5.1.1 Dependența presiune deformație

Măsurarea presiunii se bazează pe relația care există între presiune și deformația unei membrane metalice care constituie una din armăturile unui condensator. Considerăm o membrană circulară încăstrată pe contur solicitată de o sarcină uniform distribuită pe toată suprafața [10].

Notăm cu:

- $e$  grosimea plăcii
- $y$  deformația pe cercul de rază  $r$
- $k$  raportul ( $r/R$ )

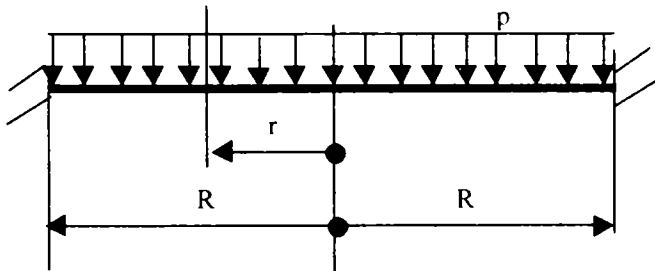


Fig. 133 Diagrama încărcării membranei circulare

Cu notațiile de mai sus și ținând cont de modalitatea de încărcare a plăcii (reprezentată în Fig. 133) se poate calcula expresia săgeții:

$$y = \frac{p \cdot R^4}{64D} (1 - k^2)^2 \quad (\text{unde: } D = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}) \quad (225)$$

Considerăm membrana unui condensator solicitată conform schemei de încărcare descrise mai sus. În coroana circulară de lățime  $dr$  și rază  $r$  capacitatea este dată de:

$$C_c = \epsilon \pi \frac{\left(r + \frac{dr}{2}\right)^2 - \left(r - \frac{dr}{2}\right)^2}{h - y} = \epsilon \pi \frac{2 \cdot r \cdot \frac{dr}{2}}{h - y} = \epsilon \frac{2\pi r}{h - y} \cdot dr \quad (226)$$

unde  $h$  este distanța dintre armături.

Capacitatea condensatorului se obține prin integrare:

$$C = 2\pi\epsilon \int_0^R \frac{r dr}{h - y} \quad (227)$$

Prin înlocuirea lui  $y$  în această formulă cu valoarea calculată la paragraful anterior și prin schimbarea de variabilă  $x = r^2$  pentru care:  $dx = 2r dr$  obținem mai departe:

$$C = \pi\varepsilon \int_0^{R^2} \frac{dx}{h - \frac{pR^4}{64D} + \frac{pR^2}{2D}x - \frac{p}{64D}x^2} \quad (228)$$

Integrala este de forma:

$$C = \pi\varepsilon \int_0^{R^2} \frac{dx}{ax^2 + bx + c} \quad (229)$$

Rezolvarea acestei integrale depinde de valoarea discriminantului ecuației de gradul doi asociate numitorului a cărui valoare este:

$$\Delta = \left(\frac{pR^2}{32}\right)^2 + \frac{ph}{16D} - \frac{(pR^2)^2}{(32D)^2} = \frac{ph}{16D} \quad (230)$$

Se observă că valoarea discriminantului ecuației de gradul doi asociate numitorului integralei este pozitivă. Prin integrare și folosind notațiile coeficienților  $a$  și  $b$  (identificați din ecuațiile (228) și (229)) și după simplificări succesive se obține:

$$C = 4\pi\varepsilon \sqrt{\frac{D}{ph}} \ln \left[ \frac{1 + \frac{R^2}{8} \sqrt{\frac{ph}{Dh}}}{1 - \frac{R^2}{8} \sqrt{\frac{ph}{Dh}}} \right] \quad (231)$$

Punand condiția:

$$\frac{R^2}{8} \sqrt{\frac{p}{Dh}} < 1 \quad (232)$$

putem dezvolta în serie și obținem în final expresia capacității condensatorului a cărui membrană este sollicitată mecanic:

$$C = \pi\varepsilon \frac{R^2}{h} \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{R^4 p}{64Dh} \right) + \frac{1}{5} \left( \frac{R^4 p}{64Dh} \right)^2 + \dots \right] \quad (233)$$

Se observă că în cazul în care membrana condensatorului nu este soliciată mecanic (adică  $p=0$ ) valoarea capacității este:

$$C = \varepsilon \frac{\pi R^2}{h}, \quad (234)$$

care este formula clasică de calcul a capacității unui condensator.

### 5.1.2 Expresia simplificată a capacității condensatorului soliciat mecanic

În formula de calcul al condensatorului (231) introducem următoarele notații:

$$C_0 = \varepsilon \frac{\pi R^2}{h}, \text{ capacitătea condensatorului nesoliciat mecanic;}$$

$$p_{\max} = \frac{64Dh}{R^4}, \text{ presiunea maximă pentru care deformația } y_{\max} \text{ în centrul membranei}$$

este egală cu distanța dintre armături:

$$x = \frac{P}{p_{\max}}, \text{ presiune relativă}$$

În acest caz:

$$C = \frac{C_0}{2} * \frac{1}{\sqrt{x}} * \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{x}}{1 - \sqrt{x}} \right] \quad (235)$$

Capacitatea relativă este definită ca fiind raportul dintre capacitatea condensatorului a cărui membrană este solicitată mecanic și capacitatea condensatorului nesolicitat mecanic, adică:

$$f(x) = \frac{C}{C_0} \quad (236)$$

Aceasta duce la:

$$f(x) = \frac{1}{2 * \sqrt{x}} * \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{x}}{1 - \sqrt{x}} \right] \quad (237)$$

### 5.1.3 Capacitatea măsurată a condensatorului real.

Condensatorul utilizat în cadrul montajului experimental este prezentat în Fig 134.

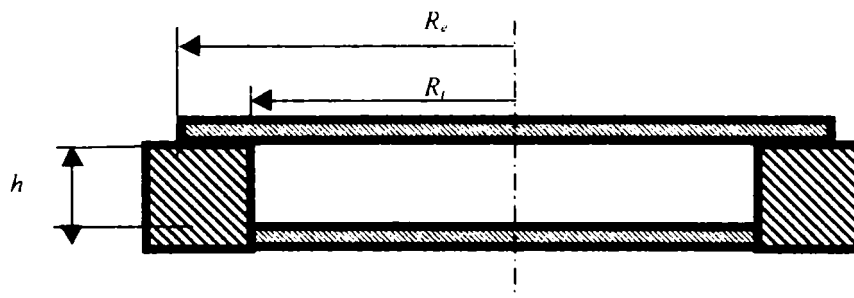


Fig. 134 Schema constructivă a condensatorului folosit

Capacitatea totală a condensatorului real este compusă din capacitatea coroanei circulare pe care se sprijină membrana și a condensatorului care se deformează așa cum am stabilit în paragraful anterior:

$$C = C_1 + C_0 * f(x) \quad (238)$$

unde:

$$C_1 = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{\pi * (R_c^2 - R_t^2)}{h} \quad (239)$$

$$C_0 = \epsilon_0 * \epsilon_0 * \frac{\pi * R_t^2}{h} \quad (240)$$

$$p_{\max} = \frac{16}{3} * \frac{E}{1-\mu^2} * \frac{h * e^3}{R_i^3} \quad (241)$$

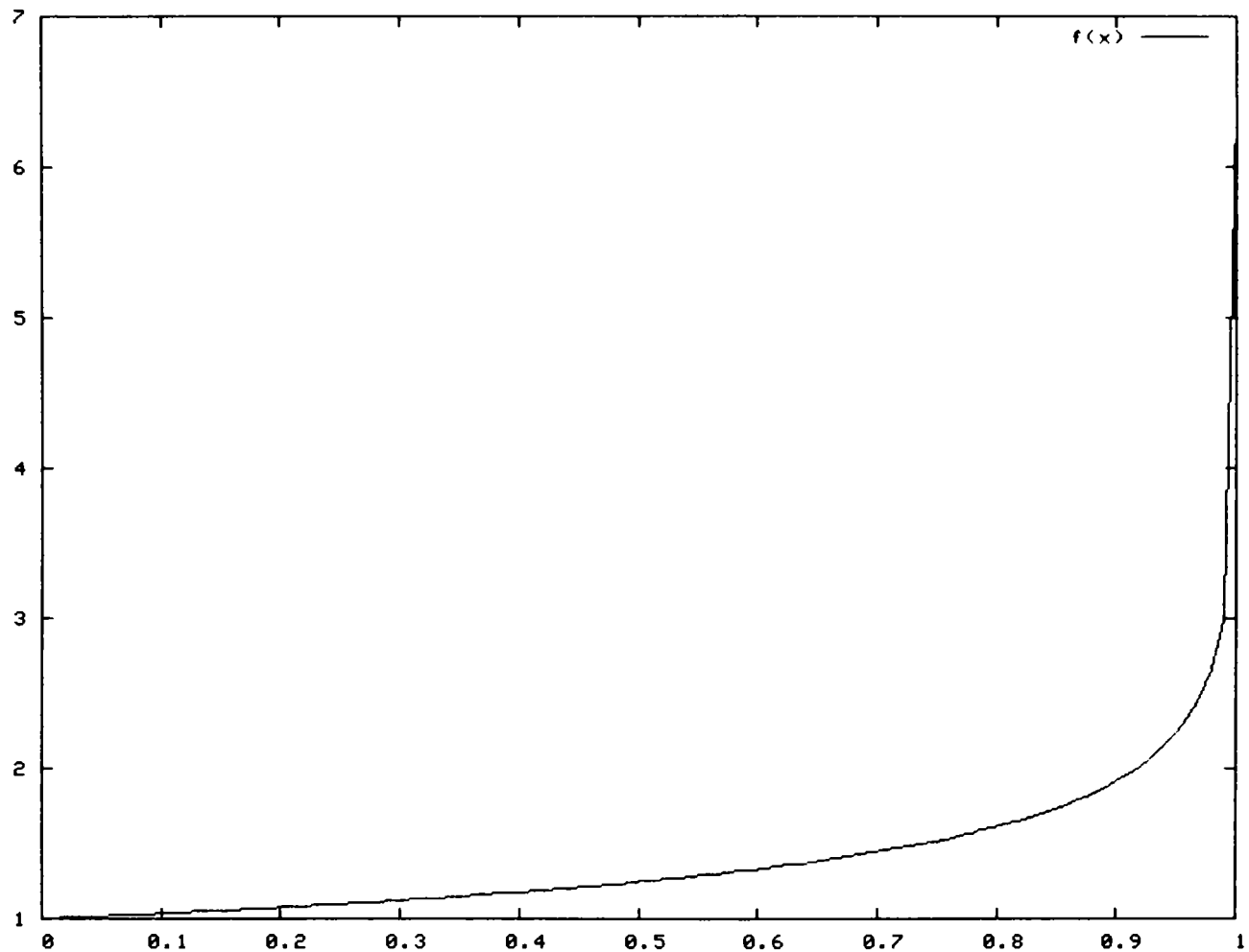


Fig. 135 Graficul funcției  $f(x)$

#### 5.1.4 Sensibilitatea condensatorului real la variația presiunii

Sensibilitatea se obține prin derivarea expresiei (238) și este dată de ecuația:

$$\frac{dC}{dx} = C_0 * \frac{df(x)}{dx} \quad (242)$$

de unde rezultă:

$$\frac{dC}{dx} = C_0 * \left[ -\frac{1}{2 * x} * \ln\left(\frac{1+\sqrt{x}}{1-\sqrt{x}}\right) + \frac{1}{\sqrt{x}} * \frac{1}{1-x} \right] * \frac{1}{2 * \sqrt{x}} \quad (243)$$



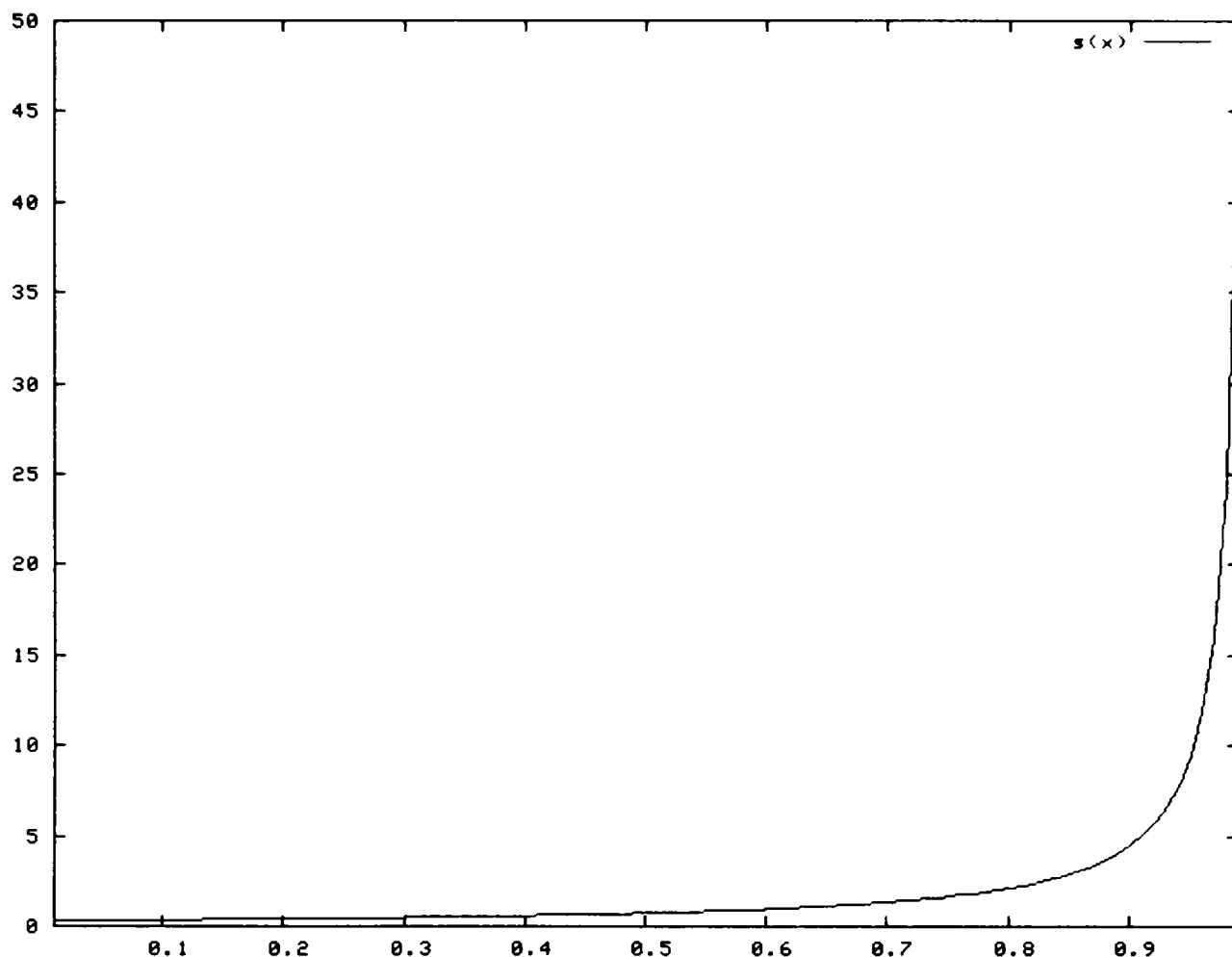


Fig. 136 Graficul funcției  $\frac{df(x)}{dx}$

### 5.1.5 Montajul oscilator

Din [13] am ales un oscilator simplu din punct de vedere constructiv care să poată folosi senzorul capacitiv cu valoarea capacității relativ mică de ordinul zecilor de pF.

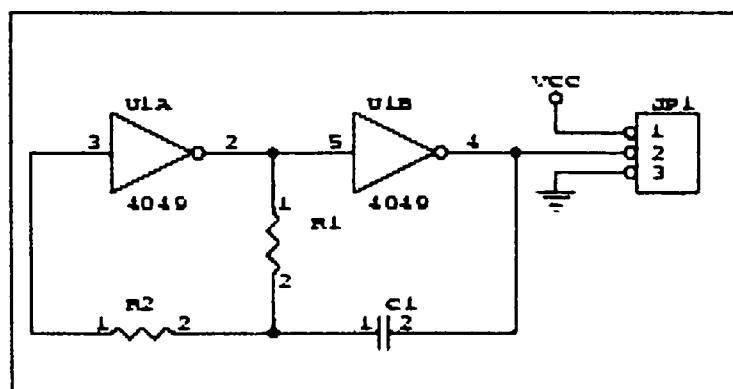


Fig. 137 Montajul experimental

Schema conține condensatorul C1, care este senzorul capacitiv, rezistența R2, care micșorează dependența perioadei oscilației de variațiile tensiunii de alimentare și rezistența R1 care

împreună cu condensatorul stabilesc perioada oscilației, perioadă care poate fi calculată cu formulele:

$$T_1 = -R_1 * C_1 * \ln\left(\frac{V_{tr}}{V_{tr} + V_{DD}}\right) \quad (244)$$

$$T_2 = -R_1 * C_1 * \ln\left(\frac{V_{DD} - V_{tr}}{2 * V_{DD} - V_{tr}}\right) = -R_1 * C_1 * \left[ \ln\left(\frac{V_{tr}}{V_{DD} + V_{tr}}\right) + \ln\left(\frac{V_{DD} - V_{tr}}{2 * V_{DD} - V_{tr}}\right) \right] \quad (245)$$

$$T = T_1 + T_2 = -R_1 * C_1 * \left[ \ln\left(\frac{V_{tr}}{V_{DD} + V_{tr}}\right) + \ln\left(\frac{V_{DD} - V_{tr}}{2 * V_{DD} - V_{tr}}\right) \right] \quad (246)$$

unde:

$V_{tr}$  tensiunea de tranziție, variază între limitele (33÷67)% din  $V_{DD}$  tensiunea de alimentare

$T_1$  intervalul de timp cât semnalul de ieșire este pe 1 logic

$T_2$  intervalul de timp cât semnalul de ieșire este pe 0 logic

$T$  perioada oscilației

Din relația de mai sus se poate constata că la o dispersie a lui  $V_{tr}$  de la 33% la 67% din  $V_{DD}$  duce la o dispersie a lui  $T$  de 5% cea ce micșorează precizia de determinare a capacității și implicit a presiunii. Măsurarea intervalelor de timp  $T_1$ ,  $T_2$  și a perioadei  $T$  ne permite calcularea factorului de umplere (raportul dintre  $T_1$  și  $T$ ) ca fiind:

$$F_u = \frac{\ln\left(\frac{V_{tr}}{V_{DD} + V_{tr}}\right)}{\ln\left(\frac{V_{tr}}{V_{DD} + V_{tr}}\right) + \ln\left(\frac{V_{DD} - V_{tr}}{2 * V_{DD} - V_{tr}}\right)} \quad (247)$$

Aflarea raportului dintre tensiunea de tranziție  $V_{tr}$  și cea de alimentare  $V_{DD}$  și înlocuirea acestuia în ecuația (246) ne permite eliminarea influenței valorilor acestor tensiuni la determinarea valorii condensatorului  $C_1$ . Precizia determinării valorii lui  $C_1$  este dată în acest caz doar de toleranța rezistenței  $R_1$  și de precizia de determinare a intervalelor de timp  $T_1$  și  $T_2$ . Deoarece firele de legătură dintre montajul oscilatorului și senzor introduc capacități parazite montajul trebuie amplasat în imediata vecinătate a senzorului. Deoarece consumul integratelor CMOS este foarte mic iar caracteristica de transfer este foarte stabilă la variațiile de temperatură nu am analizat influența acestora asupra preciziei determinării valorii capacității  $C_1$ .

Dintre avantajele montajului enumerăm simplitatea, costul redus și faptul că nu necesită conversia analog-numerică.

### 5.1.6 Măsurători experimentale

În Fig. 138 este prezentată caracteristica statică a traductorului pneumo-capacitiv.

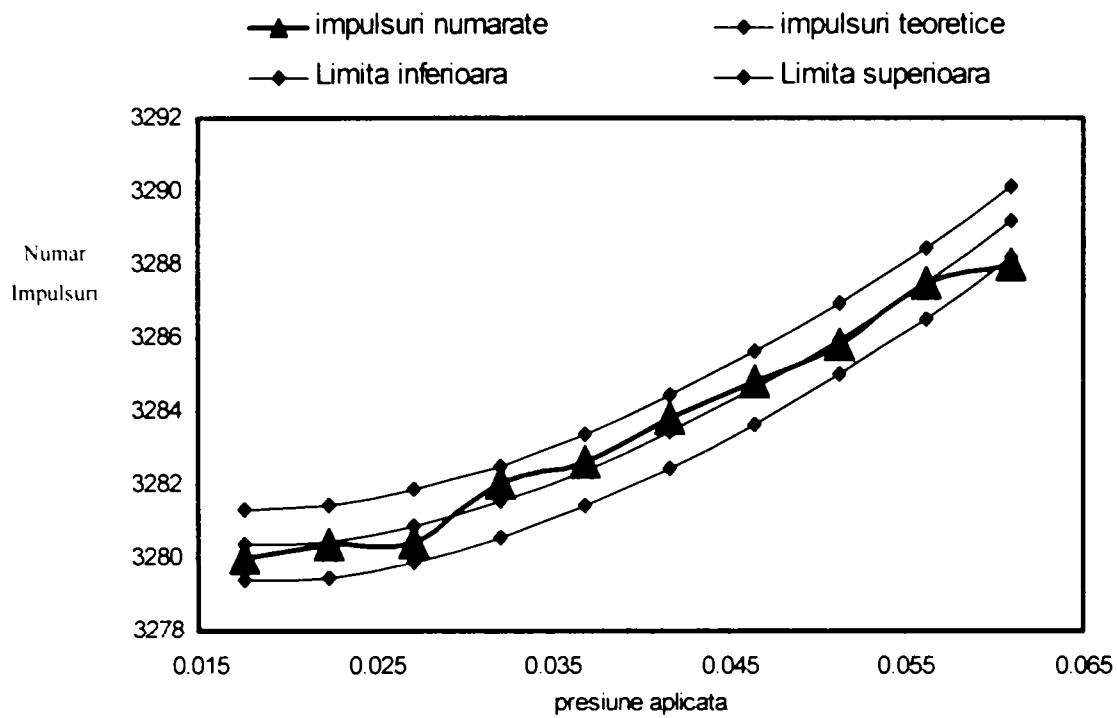


Fig. 138 Caracteristica statică a traductorului

Traductorul a fost supus la o serie de încercări iar valorile măsurate au fost prelucrate statistic cu ajutorul unui program de eliminare a valorilor accidentale( testul Romanovski).

Limitele superioară și inferioară reprezintă precizia realizată de  $\pm 0.03\%$  față de caracteristica teoretică.

### 5.1.7 Concluzii

Traductorul realizat experimental utilizeaza efectul variației capacității cu deformarea uneia dintre armături sub acțiunea unei presiuni. Modelul experimental realizat poate fi îmbunătățit prin extinderea domeniului de măsurare, minimizarea zgomotului și adaptarea acestuia la măsurarea altor parametrii (dimensionali, etc)

## 5.2 Utilizarea indicatorilor statistici pentru controlul proceselor de fabricație

### 5.2.1 Metodologia statistică

Prima componentă majoră a metodologiei statistice este colectarea eficientă, organizarea și descrierea datelor, denumită uzual ca *statistică descriptivă*. Distribuția în frecvență și histogramele sunt folosite pentru organizarea și prezentarea datelor. Determinarea tendințelor centrale (media, mediana și proporțiile) și a dispersiei (amplitudinea, abaterea medie, varianța) furnizează informații importante despre natura datelor [1] [16].

A doua componentă a rezolvării problemelor statistice este inferența statistică. *Inferența statistică* este procesul prin care se trag concluzii despre caracteristicile necunoscute ale populației din care sau prelevat datele analizate. Tehnicile folosite în acest caz include testarea ipotezelor și proiectarea experimentelor[1] [16].

A treia componentă în metodologia statistică este *predicția statistică*, al cărei scop este dezvoltarea predicțiilor valorilor viitoare bazat pe istoricul datelor colectate. Analiza corelației și regresiei sunt două tehnici utile care pot clarifica atât caracteristicile unui proces cât și determinarea rezultatelor care urmează să se obțină [1] [16].

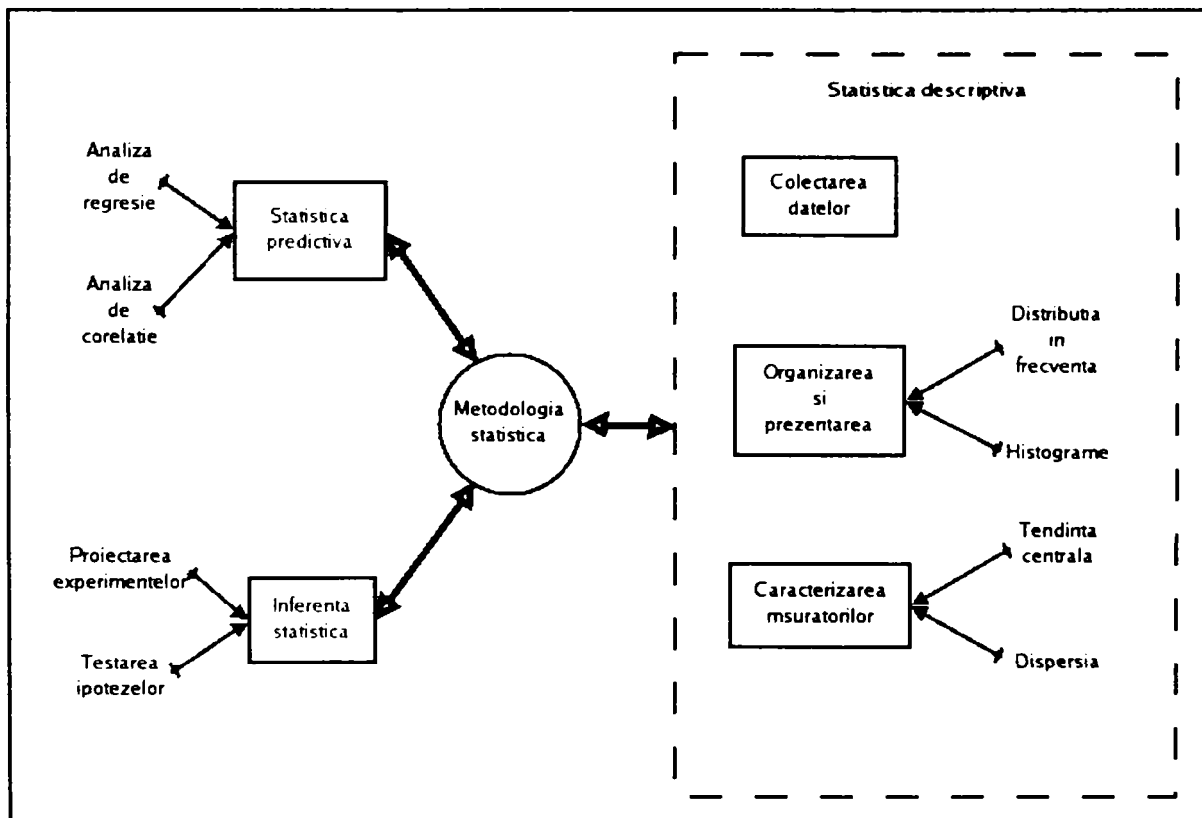


Fig. 139 Metodologia statistica

---

O altă tehnică, descrisă mai pe larg în cadrul acestui capitol este metoda lanțurilor Markov care permite măsurarea efortului de îmbunătățire a performanțelor procesului.

Colectarea și interpretarea datelor statistice nu sunt un scop în sine și lipsa măsurilor de perfecționare a sistemului de producție și a performanțelor acestuia, luarea unor decizii incorecte sau întârzierea luării acestora conduc la eforturi inutile și costisitoare.

Un sistem de control al procesului de producție este un sistem cu feedback în care următoarele patru elemente sunt importante:

- Procesul – prin aceasta înțelegând combinația de furnizori, producători, oameni, echipament, materie primă, metode și mediu din a căror colaborare rezultă produsele realizate și clienții care folosesc aceste produse.
- Informația despre performanța procesului – o mare parte din această informație este obținută studiind produsele obținute. Cea mai mare parte a informațiilor despre performanța procesului provine din înțelegerea procesului în sine și a variabilității lui interne. Concentrarea pe caracteristicile procesului, implică identificarea mărimilor importante, determinarea valorilor țintă care conduc la optimizarea procesului și monitorizarea a cât de aproape sau de departe ne aflăm de aceste valori. Dacă informațiile sunt corect achiziționate și interpretate se pot lua decizii optime pentru corecția procesului.
- Acțiuni asupra procesului – cea mai economică metodă este prevenirea variației caracteristicilor procesului prea departe de valorile țintă. Aceasta determină stabilitatea procesului și variația ieșirii procesului în limitele impuse.
- Acțiuni asupra produselor obținute – este cea mai neeconomică metodă când se rezumă la detecția și corecția produselor care nu respectă specificația impusă.

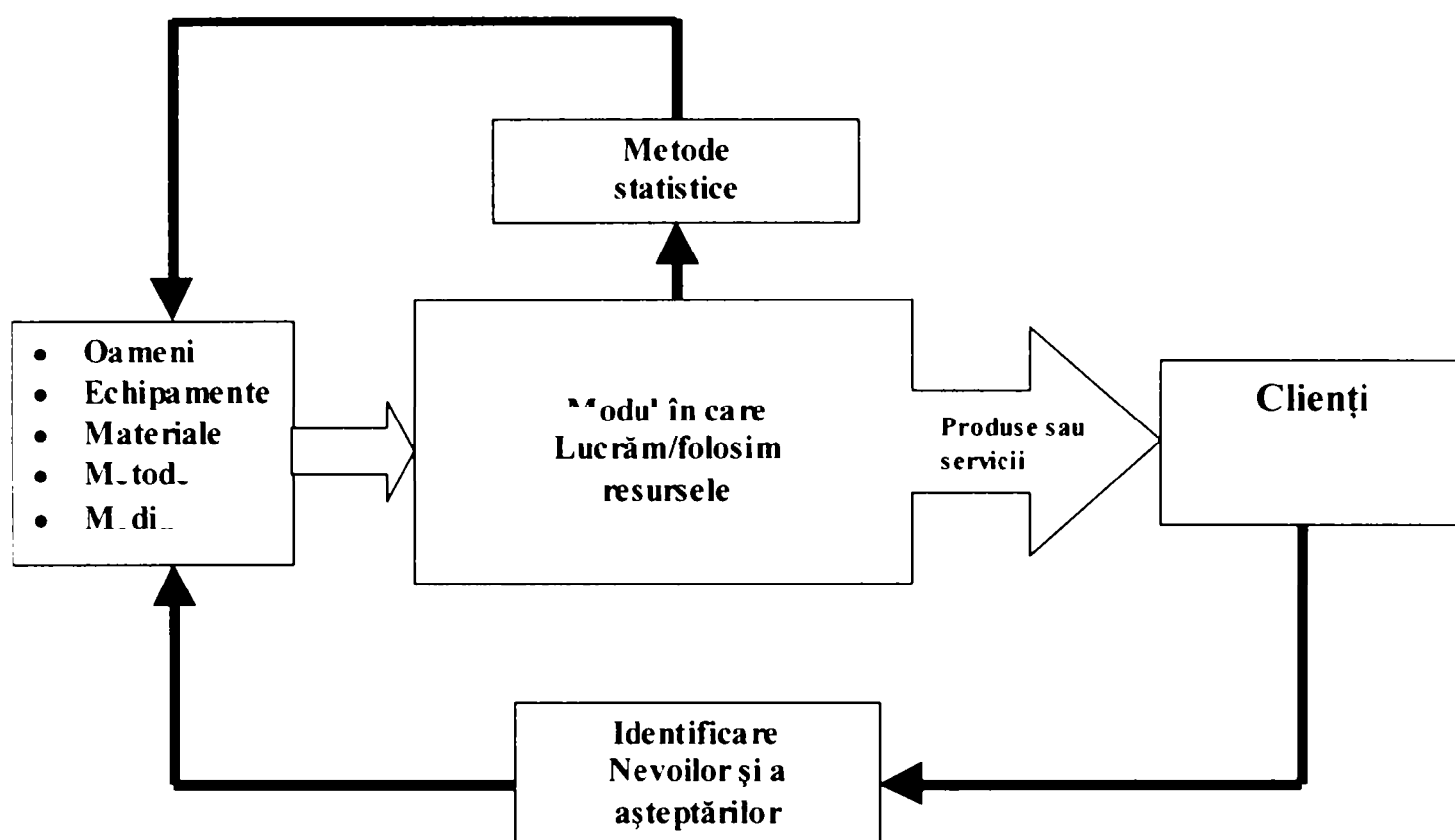


Fig. 140 Modelul sistemului de control al procesului în buclă închisă

Este evident că acțiunile asupra produselor obținute, sortare, re prelucrare sau eliminarea produselor rebutate este o măsură admisibilă doar tranzitoriu și doar în cazul proceselor instabile sau cu capabilitate redusă, cea ce implică concentrarea pe preluarea informațiilor despre proces, prelucrarea, analizarea acestora și luarea deciziilor necesare corectării acestuia.

Deoarece un proces implică multe surse de variație, nu există două produse sau caracteristici ale acestora exact la fel. Diferențele pot fi mari sau oricât de mici dar ele sunt prezente tot timpul și pot provenii din cauze de scurtă durată sau pe termen lung și de acea perioadele și condițiile în care se fac măsurătorile care caracteristicilor afectează proporția variațiilor totale ale acesteia. Din acest motiv trebuie făcută diferența dintre cauzele comune de variație și cauzele speciale.

Când grupăm valorile distincte ale unei caracteristici ele tind să formeze un șablon care poate fi descris ca o distribuție caracterizată prin [1] [16] [50]:

- Localizare, valoare tipică
- Dispersie, împrăștierea valorilor de la cea mai mică la cea mai mare
- Formă, șablonul distribuției oricare ar fi acesta, simetric, deplasat. etc.

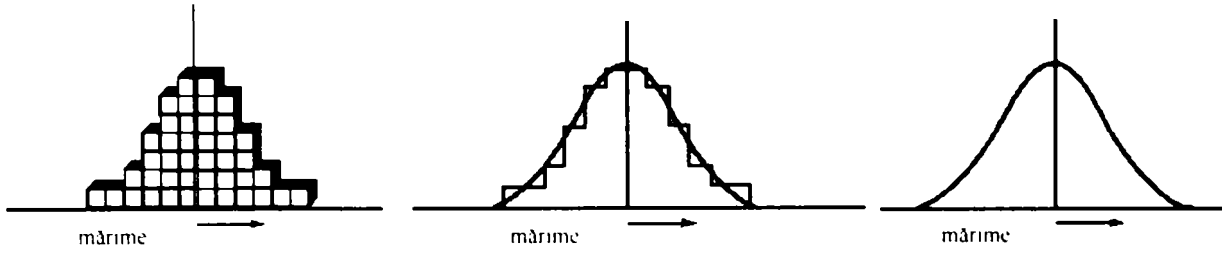
Cauzele comune se referă la sursele de variație a unui proces care are o distribuție stabilă și repetabilă de-a lungul timpului.

Cauzele speciale sunt cele care determină modificarea distribuției caracteristicilor procesului și cât timp ele există, ele determină comportarea impredictibilă a procesului.

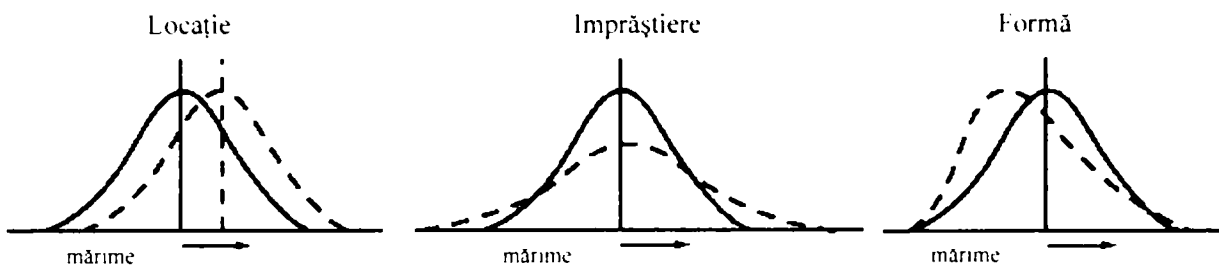
Piesele variază una față de alta



Împreună, ele dau un anumit aranjament care, dacă este stabil, poate fi descris ca o distribuție

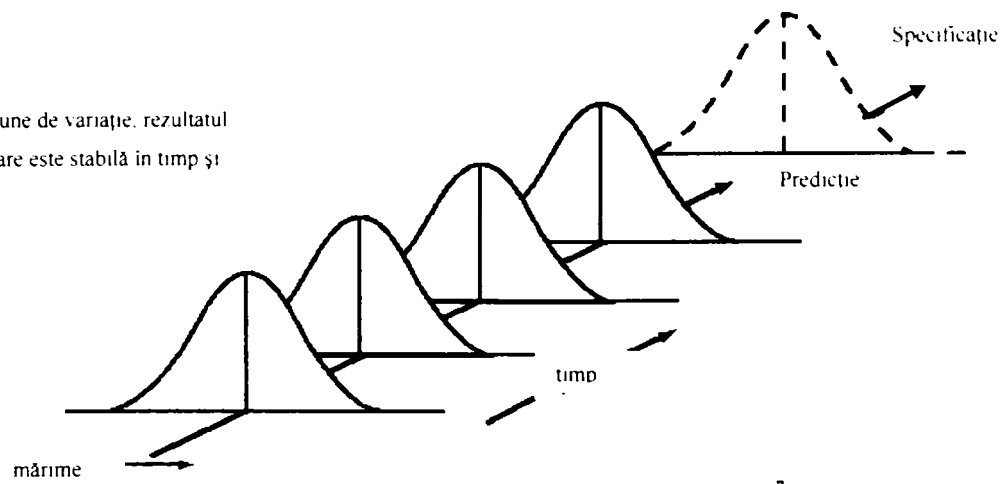


Distribuțiile pot să difere prin:



Sau oricare combinație dintre acestea

Dacă sunt prezente doar cauze comune de variație, rezultatul procesului formează o distribuție care este stabilă în timp și care este predictibilă



Dacă sunt prezente cauze speciale de variație, rezultatul procesului nu este stabil în timp

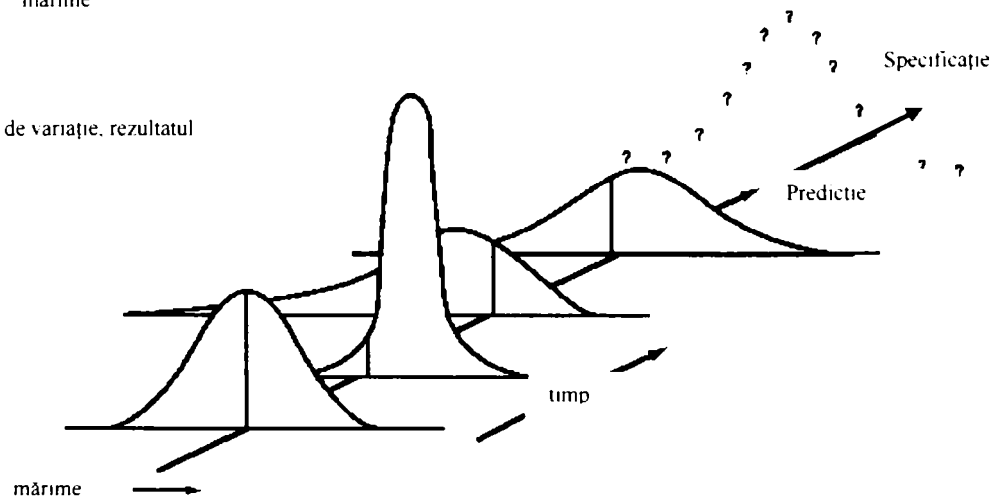


Fig. 141 Implicațiile tipurilor de influențe asupra distribuției în timp a măsurătorilor

Detecția cauzelor speciale se poate face simplu folosind metodele de control statistic al procesului, și de obicei determinarea și eliminarea lor sunt responsabilitatea celor care sunt implicați direct în operația efectuată asupra produsului și reprezintă în medie cam 15% din problemele procesului.

Aceleași metode statistice indică și dimensiunea cauzelor comune de variație dar ele necesită o analiză mult mai detaliată pentru a permite izolarea și eliminarea lor, de obicei responsabilitatea corectării lor fiind a conducerii ele necesitănd acțiuni asupra sistemului de producție și reprezentând în medie restul de 85% din probleme.

Spunem despre un proces că este în stare de control statistic atunci când singurele surse ale variabilității acestuia e dată de cauzele comune.

Capabilitatea unui proces este determinată de variația care provine din cauzele comune și una din funcțiile principale ale unui sistem de control este semnalizarea statistică a prezenței unor cauze speciale și evitarea semnalelor false când acestea nu sunt prezente.

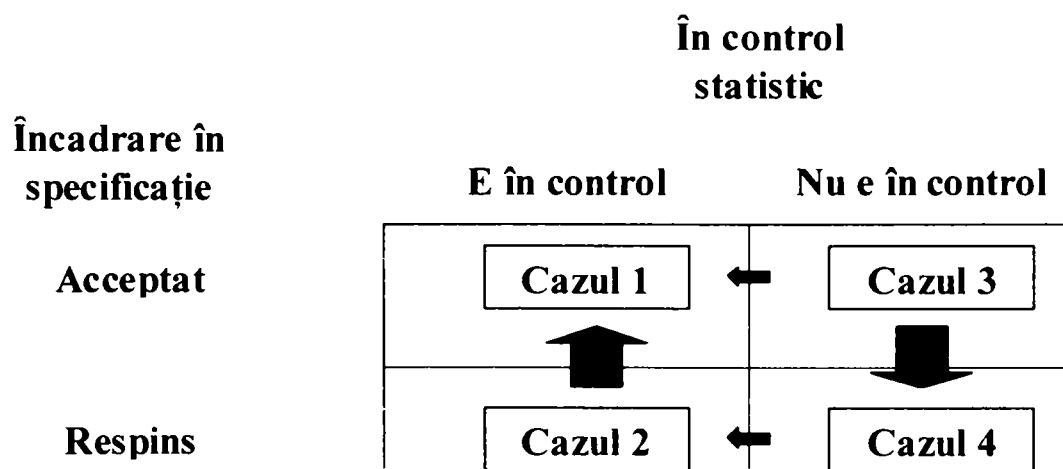


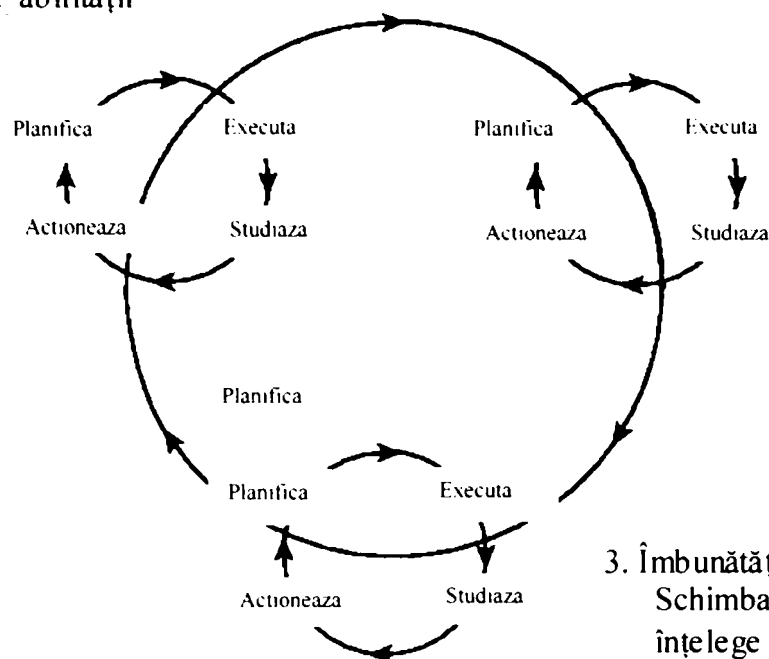
Fig. 142 Etapele parcurse pentru aducerea procesului în stare de control statistic și capabilizare

Prima acțiune asupra procesului este centrarea acestuia pe valoarea țintă și dacă ulterior se constată că dispersia acestuia este inadmisibilă trebuie redusă variația până la încadrarea în specificațiile impuse. Altfel spus procesul trebuie adus într-o stare de control statistic prin detecția și eliminarea cauzelor speciale și de abia după aceea trebuie îmbunătățită capabilitatea acestuia prin reducerea cauzelor comune de variație.



1. Analiza procesului
  - Ce trebuie să facă procesul?
  - Ce nu merge?
  - Ce face procesul?
  - Atingerea stării de control statistic
  - Determinarea cauzelor abilității

2. Menținerea procesului
  - Monitorizarea performanțelor procesului
  - Detecția cauzelor speciale și eliminarea lor



3. Îmbunătățirea procesului  
Schimbarea procesului pentru a înțelege mai bine cauzele variațiilor comune
  - Reducerea variației cauzelor comune

Fig. 143 Etapele îmbunătățirii unui proces

## 5.2.2 Controlul calității prin utilizarea indicatorilor de capabilitate

### 5.2.2.1 Controlul statistic al calității

#### 5.2.2.1.1 Considerații generale.

Controlul statistic al calității este unul dintre domeniile intens aplicative ale statisticii. Cu toate acestea, trecerea de la teorie la practică a fost și este în continuare deosebit de dificilă.

Explicațiile acestei stări de fapt pot fi date de următoarele cauze:

- statistica a fost și este privită numai ca metodă și nu ca mod de gândire și acțiune în domeniul calității;

---

- în general, problemele ridicate de acest domeniu au fost rezolvate de către specialiști strict orientați pe domeniul ingineriei tehnologice sau a matematicii, ceea ce a împiedicat crearea unei viziuni de ansamblu, sistematice asupra multiplelor aspecte ale controlului statistic al calității.

Metodele statistice pot fi utilizate ca suport pentru determinarea stării interne a unui proces tehnologic atât din punctul de vedere al performanțelor fabricației cât și din punctul de vedere al costurilor de fabricație.

#### **5.2.2.1.2 Controlul statistic al calității. Scop**

Controlul statistic constă în prelucrarea sau măsurarea la intervale determinate de timp a unor eșantioane, respectiv unui număr de unități stabilit dinainte. Pe baza valorilor înregistrate, fie:

- se asigură reglarea echipamentului, procesului tehnologic pentru operația respectivă;
- se apreciază calitatea piesei sau a lotului din care face parte;
- se modelează viitorul cu ajutorul datelor din trecut;
- se apreciază dacă realitatea este conformă modelului conceput, aducându-se corecțiile necesare îmbunătățirii.

#### **5.2.2.1.3 Controlul statistic al calității. Metode**

Controlul statistic al calitatii este aplicabil pentru două situații distincte:

- în cazul în care caracteristica este o variabilă măsurabilă, folosind fișele de control prin variabile;
- în cazul în care caracteristica nu poate (nu este economic) să fie măsurată, folosind fișele de control prin atribute;

Pentru alegerea tipului fișei de control se poate apela la organigrama din figura următoare:

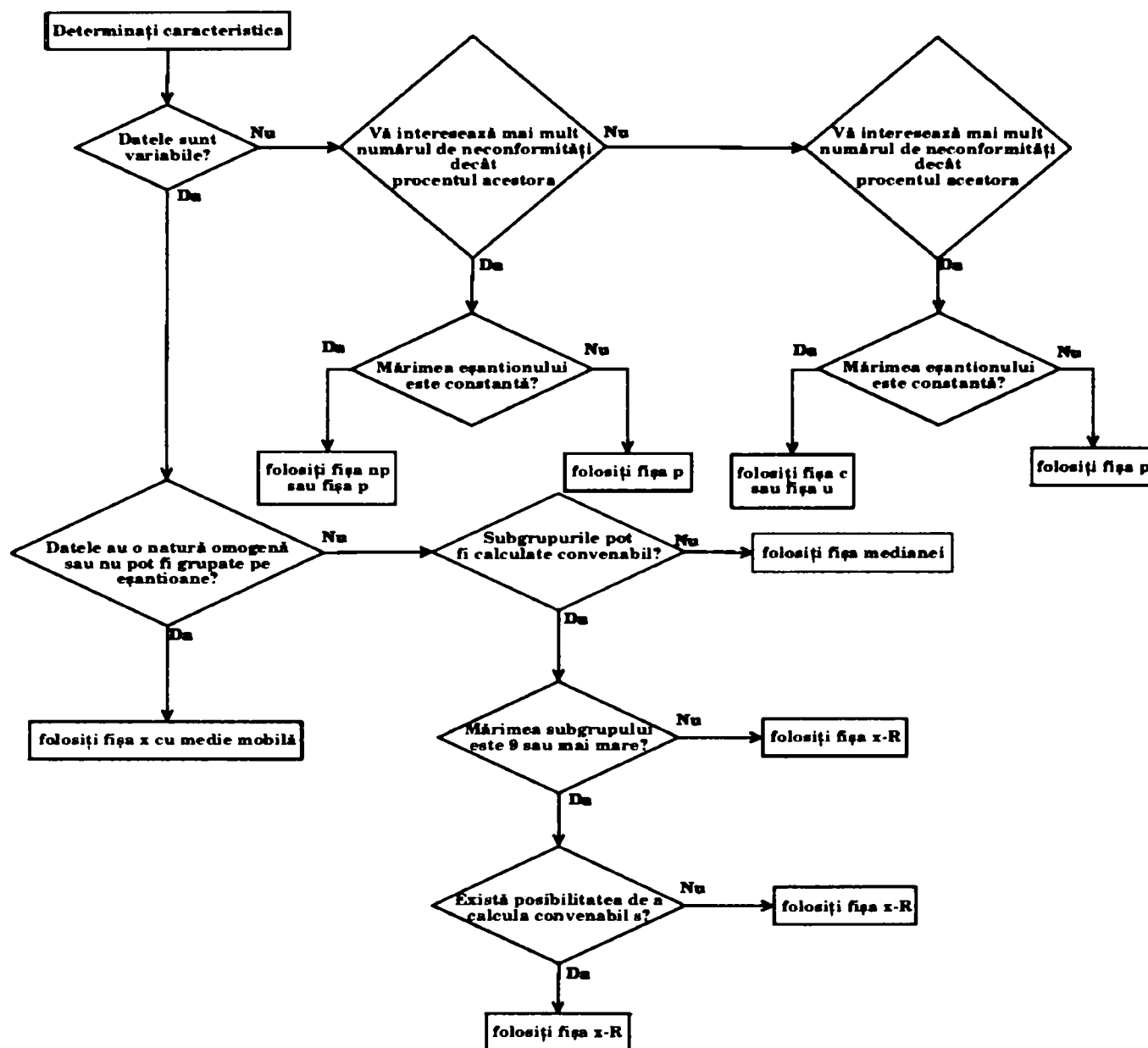


Fig. 144 Algoritm pentru selecția fișei de control

#### 5.2.2.1.4 Controlul statistic al calității. Exigente în aplicarea controlului statistic

Indiferent de scop și de metoda utilizată, pentru implementarea cu succes a controlului statistic este necesară îndeplinirea/trecerea prin următoarele etape:

- Stabilirea unui mediu adecvat de acțiune: managementul trebuie să asigure resursele necesare pentru realizarea ameliorării continue a calității (unul dintre scopurile esențiale ale SPC)
- Definirea procedurii: cunoașterea procesului care se controlează (a relațiilor intrări-iesiri și a factorilor constitutivi (cei 5 M)), a conformității
- Determinarea caracteristicii controlabile: determinarea parametrului/parametrilor care caracterizează cel mai bine procesul studiat

- Definierea sistemului de măsurare: pentru caracteristici prin atribute, separarea pe tipuri de neconformități; pentru caracteristici prin variabile, mijlocul de măsurare care elimină orice mijloc de interpretare
- Eliminarea cazurilor evidente de variație: eliminarea problemelor care pot fi identificate fără a utiliza metodele statistice.

#### 5.2.2.1.5 Controlul statistic al calității. Măsurarea eficacității metodelor statistice

Nu trebuie uitat faptul că aplicarea controlului statistic nu este un scop în sine ci o metoda.

Aplicarea ei este eficientă dacă:

- Permite obținerea informațiilor obiective despre procesul studiat (evaluarea tehnica a acestuia)
- Aduce informații viabile despre evoluția procesului studiat (identificarea momentelor în care trebuie/nu trebuie intervenit) în timp real (fără a intervenii prea des, oprind procesul dar nici intervenind tarziu, cu efect nedorit asupra calitatii produselor)
- Permite luarea unor decizii (acceptarea sau rejectarea produselor)
- Permite familiarizarea operatorului cu acest instrument de control a procesului

În figura de mai jos se prezintă un proces bine condus prin metode statistice (din punct de vedere al evoluției sale):

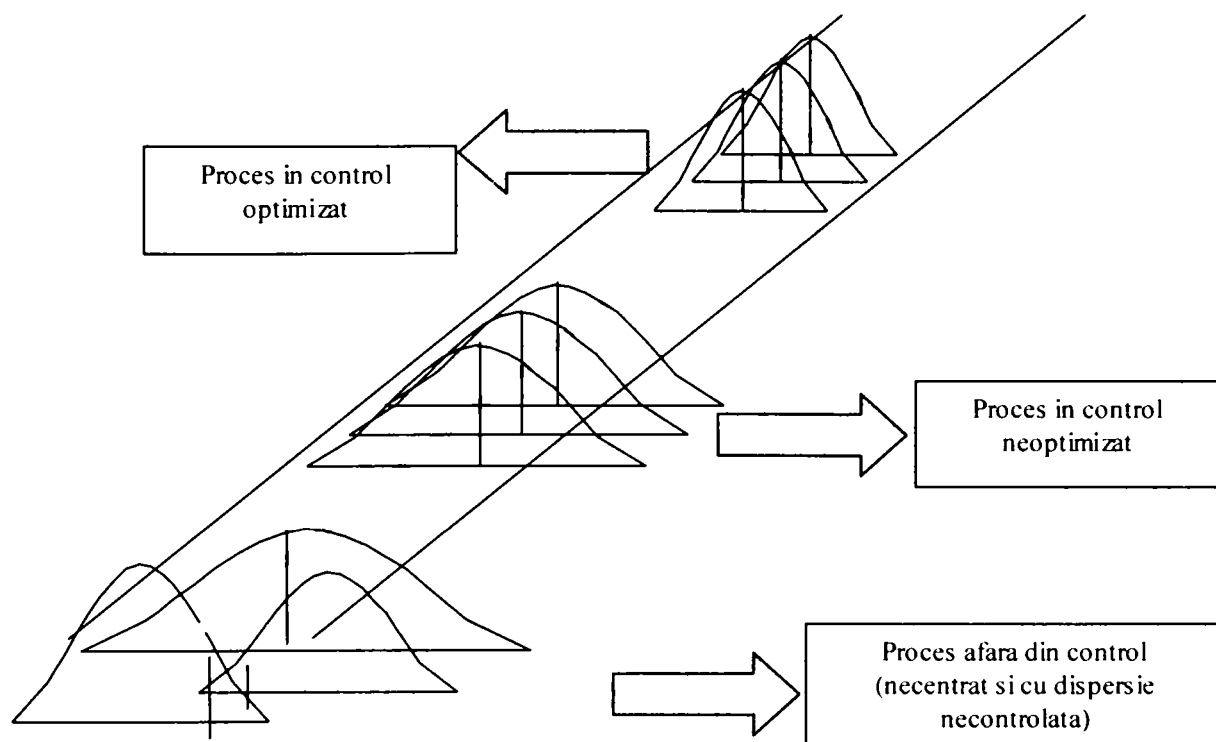


Fig. 145 Strategia de conducere a proceselor

## 5.2.2.2 Starea de control statistic, identificarea și eliminarea cauzelor speciale

### 5.2.2.2.1 Controlul statistic al calității. Fișe de control prin atribute

#### 5.2.2.2.1.1 Generalități

O metodă de control statistic cu largă aplicabilitate este cea a controlului prin atribute. Această metodă se aplică dacă reperetele au un număr mare de caracteristici de calitate, dacă sunt greu sau imposibil de măsurat, dacă măsurarea acestor caracteristici nu aduce informații cu utilizare imediată sau dacă măsurarea are un cost mult prea mare în comparație cu efectul economic general.

În general, sunt patru tipuri de fișe de control prin atribute grupate în două familii [1] [16]:

- fișa pentru procentul de produse necorespunzătoare:
  1. fișa de control  $p$  pentru procentul de produse necorespunzătoare;
  2. fișa de control  $np$  pentru numărul de produse necorespunzătoare;
- fișa pentru numărul de neconformități (defecte):
  3. fișa de control  $u$  pentru numărul de neconformități pe unitate de produs;
  4. fișa de control  $c$  pentru numărul de neconformități constatate.

În cazul studiat se va utiliza fișa de control  $p$  care este fișa cea mai utilizată datorită simplității și ușurinței în aplicare.

#### 5.2.2.2.1.2 Etapele ridicării fișei de control $p$ pentru proporția de piese neconforme.

Proporția de piese neconforme  $p_i$  se exprimă ca raportul dintre numărul de piese neconforme identificate în eșantion  $np_i$  și numărul de piese controlate din cadrul fiecărui eșantion  $n_i$ :

$$p_i = \frac{np_i}{n_i} \quad (248)$$

Putem estima procentul de piese necorespunzătoare cu ajutorul mediei proporțiilor constatate în cadrul fiecărui eșantion:

$$\bar{p} = \frac{\sum p_i}{k}, \quad (249)$$

unde  $k$  reprezintă numărul de prelevări efectuate.

În cele mai frecvente cazuri se efectuează 20 de prelevări, deci: 
$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{20} p_i}{20} \quad (250)$$

Procentul de piese necorespunzătoare se distribuie după o repartiție binomială. Pentru eșantioane care satisfac condițiile  $np > 10$  și  $p < 0.5$  se poate aproxima repartiția binomială cu o

repartiție normală caracterizată prin media  $p$  și ecartul tip  $\sqrt{p * (1 - p) / n}$ . Dacă mărimea eșantioanelor variază în calcule se folosește valoarea medie a eșantioanelor calculată cu formula:

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{k} \quad (251)$$

care pentru  $k = 20$  devine:  $\bar{n} = \frac{\sum n_i}{20}$ . (252)

Dacă aceste mărimi au fost definite se pot calcula limitele superioară și inferioară de control:

$$LSC_p = \bar{p} + 3 * \sqrt{\bar{p} * (1 - \bar{p}) / \bar{n}} \quad (253)$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3 * \sqrt{\bar{p} * (1 - \bar{p}) / \bar{n}} \quad (254)$$

Dacă  $LIC_p$  calculată este un număr negativ se consideră că nu există limită inferioară de control și că  $p = 0$  se află în limitele de variație așteptate.

După calculul procentului de piese neconforme  $\bar{p}$  și a limitelor de control  $LSC_p$  și  $LIC_p$  se reprezintă în fișa proporțiilor:

- Media procentelor  $\bar{p}$  printr-o linie întreruptă;
- Limitele de control  $LSC_p$  și  $LIC_p$  fiecare printr-o linie continuă.

În cadrul fișei de control se reprezintă fiecare eșantion prin intermediul procentelor  $p_i$ .

#### 5.2.2.2.1.3 Interpretarea fișei de control.

După ridicarea fișei de control trebuie verificate ipotezele de stabilitate ale procesului.

Dacă toate punctele sunt în interiorul limitelor de control și nu sunt identificate modele evidente de nestabilitate, putem considera că procesul este sub control din punct de vedere statistic pe toată durata supravegherii și că limitele calculate pot fi acceptate pentru controlul viitor al procesului.

Dacă unul sau mai multe puncte sunt în afara limitelor de control sau sunt identificate modele de instabilitate fișa dă indicii asupra cauzelor și, cu sprijinul unor măsuri de ordin tehnic și economic, se vor elimina aceste cauze astfel că în final să se obțină un proces stabil din punct de vedere statistic.

În continuare vom exemplifica cele mai frecvente cazuri de instabilitate.

#### A. Situația I de instabilitate: un punct în afara limitelor de control (Fig. 146).

Cauze asociate posibile: variații importante ale mărimii eșantionului, deteriorarea accidentală a performanțelor procesului, un lot de materiale neconforme, severitate crescută a controlului, probleme de întreținere a utilajelor.

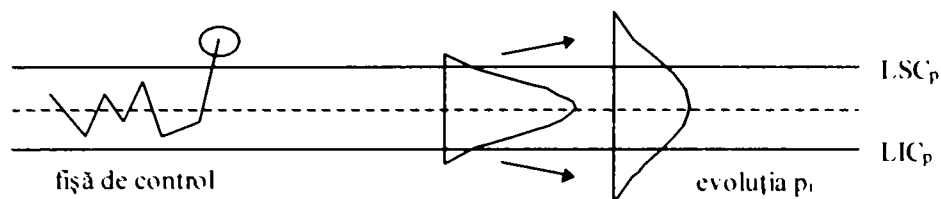


Fig. 146 Proces afară din control: punct în afara limitelor de control

B. Situația II de instabilitate: model cu tendințe în interiorul limitelor de control.

Situația II-1: 8 puncte consecutive de aceeași parte a mediei (Fig. 147.)

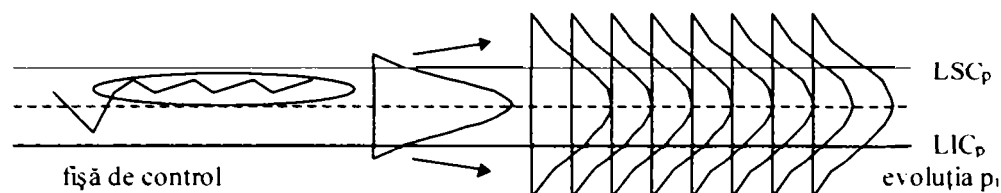


Fig. 147 Proces afară din control: puncte consecutive peste medie

Situația II-2: 7 puncte consecutive în creștere sau în descreștere (Fig. 148.)

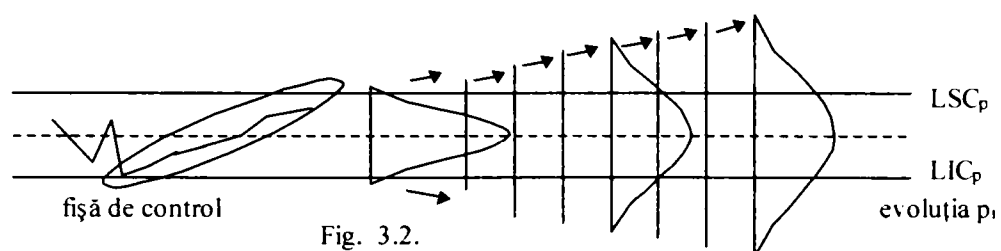


Fig. 148 Proces afară din control: puncte consecutive în creștere

Cauze asociate posibile:

Serie de puncte deasupra mediei sau serie de puncte în creștere: scăderea performanțelor procesului, uzura sculei, deteriorarea calității materiei prime, schimbarea sistemului de control.

Serie de puncte sub medie sau serie de puncte în descreștere: ameliorarea performanțelor procesului, scăderea exigențelor controlului.

C. Situația III de instabilitate: distribuție nealeatoare.

Situația III.1: mai mult de 2/3 din puncte în zona centrală a limitelor de control (Fig. 149)

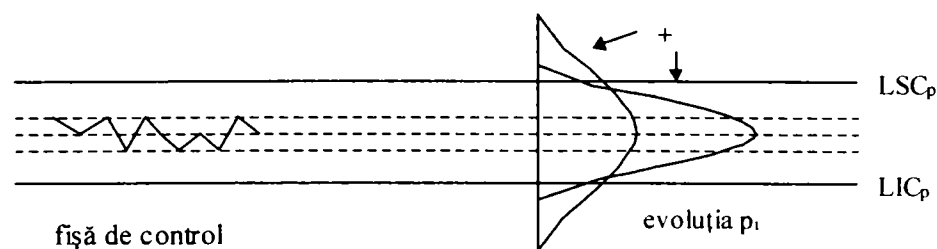


Fig. 149 Proces afară din control: puncte grupate în zona centrală

Cauze asociate posibile: eroare de calcul sau reprezentare a limitelor, stratificare a eșantionării (mai multe lanțuri de producție paralele), date corectate (valorile mari ale mediei).

Situația III.2: mai mult de 1/3 din puncte în zonele extreme (Fig. 150)

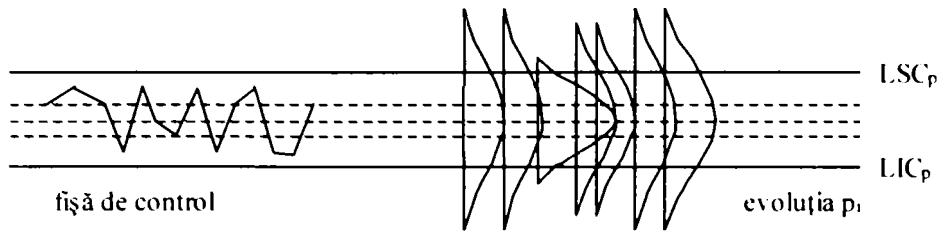


Fig. 150 Proces afară din control: puncte în zonele periferice

Cauze asociate posibile: eroare de calcul, eșantionare nealeatoare (eșantioane provenind de la echipe de lucru cu performanțe diferite), mărimea eșantioanelor foarte diferită.

### 5.2.2.2.2 Controlul statistic al calității. Fișe de control prin variabile

#### 5.2.2.2.2.1 Generalitati

O alta metodă de control statistic este cea a controlului prin variabile [1] [16]. În acest caz se folosesc cel mai frecvent:

- fișa  $\bar{X}; R$  (medie; amplitudine)
- fișa  $\bar{X}; s$  (medie; ecart tip)

Obligativ este ca aceste fișe să dea informații despre:

- media procesului (în acest caz prin  $\bar{X}$ )
- dispersia (variația procesului) (în acest caz fie prin  $R$  fie prin  $s$ )

#### 5.2.2.2.2.2 Etapele ridicării fișei de control prin variabile.

Indiferent de tipul fișei folosite se pleacă de la aceleași considerente:

- se măsoară de obicei 20÷25 de eșantioane pentru care se calculează după cum urmează:

- valoarea medie a eșantioanelor: 
$$\bar{X} = \frac{\left( \sum_{i=1}^{25} \bar{X}_i \right)}{25} \quad (255)$$

- amplitudine medie eșantioanelor: 
$$\bar{R} = \frac{\left( \sum_{i=1}^{25} R_i \right)}{25} \quad (256)$$



▪ estimarea valorii medii și a dispersiei procesului: cu datele care caracterizează eșantioanele se calculează media și dispersia procesului:

▪ valoarea medie a procesului:  $\bar{X} = \frac{\left(\sum_1^{25} \bar{X}_i\right)}{25}$  (media procesului urmează

media eșantioanelor)

▪ amplitudinea medie a eșantioanelor:  $\sigma_X = \frac{\bar{R}}{(\sqrt{n} * d_2)}$  (amplitudinea

eșantionului trebuie corectată cu ajutorul unui coeficient dat tabelar)

▪ calculul limitelor de control:

▪ limitele de control ale valorii centrale:

$$LSC_X = \bar{X} + 3 * \sigma_X = \bar{X} + A_2 * R \quad (257)$$

$$LIC_X = \bar{X} - 3 * \sigma_X = \bar{X} - A_2 * R \quad (258)$$

▪ limitele de control ale dispersiei procesului:

$$LSC_R = \bar{R} + 3 * \sigma_X = D_4 * \bar{R} \quad (259)$$

$$LIC_R = \bar{R} - 3 * \sigma_X = D_3 * \bar{R} \quad (260)$$

▪ După calculul limitelor de control  $LSC$  și  $LIC$  (atat pentru medie cat și pentru dispersie) se reprezintă în fișa corespunzatoare:

- Media printr-o linie întreruptă;
- Limitele de control  $LSC$  și  $LIC$  fiecare printr-o linie continuă
- În cadrul fișei de control se reprezintă fiecare eșantion prin intermediul valorilor corespunzatoare (mediei eșantionului și amplitudinii eșantionului).

### 5.2.2.2.3 Interpretarea fișelor de control prin variabile

Caracteristic controlului statistic prin variabile este faptul că studiul proceselor descrise de aceste fișe se face începând cu fișa de caracterizare a dispersiei (fișa  $\bar{R}$  sau fișa  $\bar{s}$ ).

Regulile de identificare a situațiilor afară din control sunt similare fișelor de control prin atribute. Redăm pe scurt cele mai frecvente cazuri de instabilitate.

A. Situația I de instabilitate: un punct în afara limitelor de control (Fig. 151).

Cauze asociate posibile:

- eroare de calcul; eroare de poziționare a punctului; eroare de poziționare a limitei ce control;

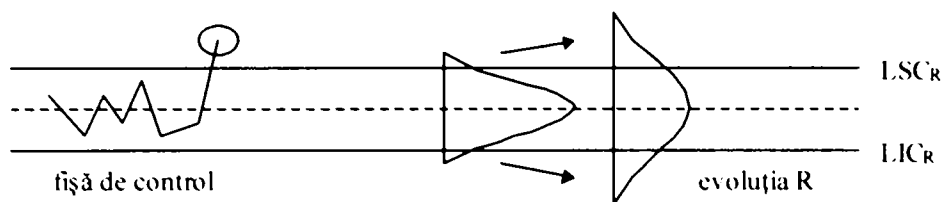


Fig. 151 Proces afară din control: punct în afara limitelor de control

- incident apărut în timpul eșantionării; oprire a mașinii; ruperea sculei de prelucrare; probleme de material, de tratament termic; sfârșit sau început de ciclu de lucru;
- modificarea sistemului de măsurare (sisteme de măsurare mult prea precis care pune în evidență variații mult prea mari)

B. Situația II de instabilitate: model cu tendințe în interiorul limitelor de control.

Situația II-1: 8 puncte consecutive de aceeași parte a mediei (Fig. 152)

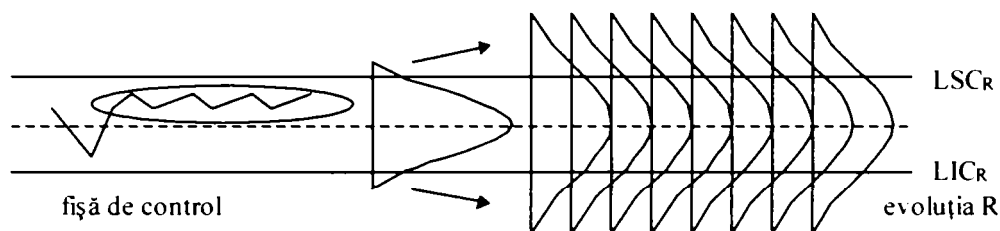


Fig. 152 Proces afară din control: amplitudini mai mari decât media

Situația II-2: 7 puncte consecutive în creștere sau în descreștere (Fig. 153)

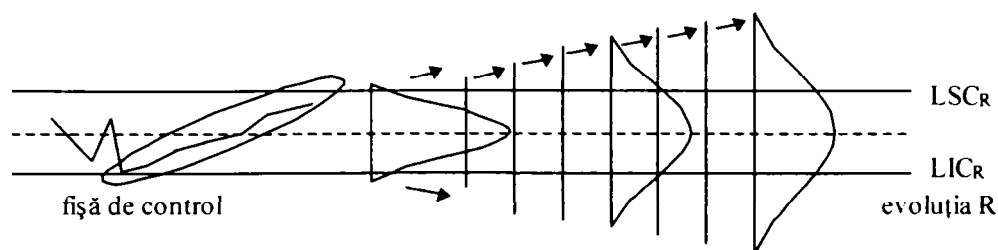


Fig. 153 Proces afară din control: amplitudini în creștere

Cauze asociate posibile:

Serie de puncte deasupra mediei sau serie de puncte în creștere: scăderea performanțelor procesului, uzura sculei, deteriorarea calității materiei prime, schimbarea sistemului de control.

Serie de puncte sub medie sau serie de puncte în descreștere: ameliorarea performanțelor procesului, scăderea exigențelor controlului.

C. Situația III de instabilitate: distribuție nealeatoare.

Situația III.1: mai mult de 2/3 din puncte în zona centrală a limitelor de control (Fig. 154):

- exemplu practic: din 25 de esantioane 90% din ele în zona centrală
- exemplu practic: 15 puncte consecutive în zona centrală

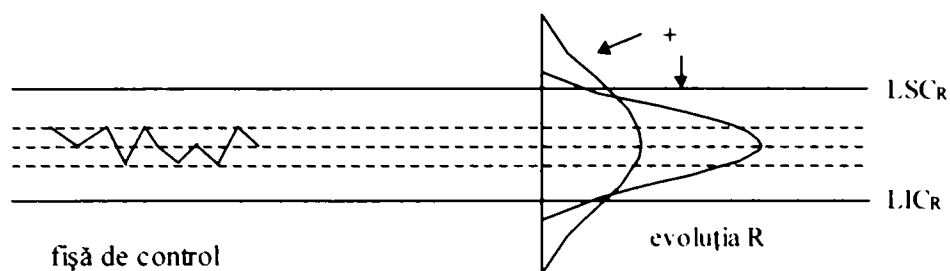


Fig. 154 Proces afară din control: amplitudini în zona centrală

Cauze asociate posibile: eroare de calcul sau reprezentare a limitelor, stratificare a eșantionării (mai multe lanțuri de producție paralele), date corectate (valorile mari ale mediei).

Situația III.2: mai mult de 1/3 din puncte în zonele extreme (Fig.155)

- exemplu practic: din 25 de esantioane 60% din ele afara zonei centrale
- exemplu practic: 2 din 3; 3 din 7 sau 4 din 10 puncte consecutive în afara zonei centrale

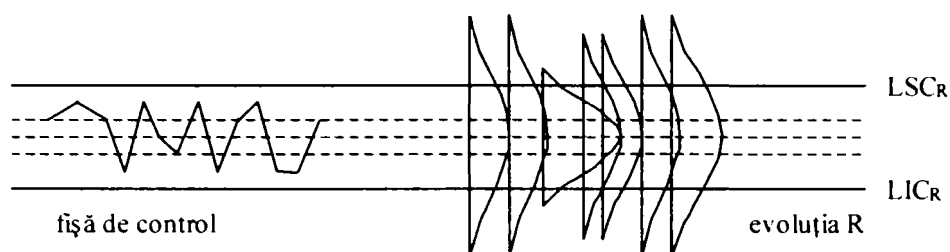


Fig. 155 Proces afară din control: amplitudini în zonele periferice

Cauze asociate posibile: eroare de calcul, eșantionare nealeatoare (eșantioane provenind de la echipe de lucru cu performanțe diferite), mărimea eșantioanelor foarte diferită.

### 5.2.2.2.3 Interpretarea fișei de control a mediei procesului.

Regulile de identificare a situațiilor afară din control sunt similare celor ale variației procesului cu interpretarea diferită a cauzelor posibile. Redam pe scurt cele mai frecvente cazuri de instabilitate.

A. Situația I de instabilitate: un punct în afara limitelor de control (Fig. 156).

Cauze asociate posibile:

- eroare de calcul; eroare de poziționare a punctului; eroare de poziționare a limitei ce control;

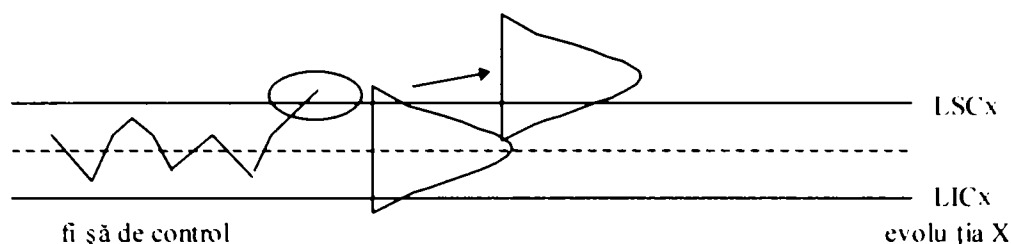


Fig. 156 Proces afară din control: măsurătoare în afara limitelor de control

- incident apărut în timpul eșantionării; oprire a mașinii; ruperea sculei de prelucrare; probleme de material, de tratament termic; începutul unei tendințe;
- modificarea sistemului de măsurare (fie legat de aparatul de măsurare fie legat de operatorul care realizează măsurătoarea)

B. Situația II de instabilitate: model cu tendințe în interiorul limitelor de control.

Situația II-1: 8 puncte consecutive de aceeași parte a mediei (Fig. 157)

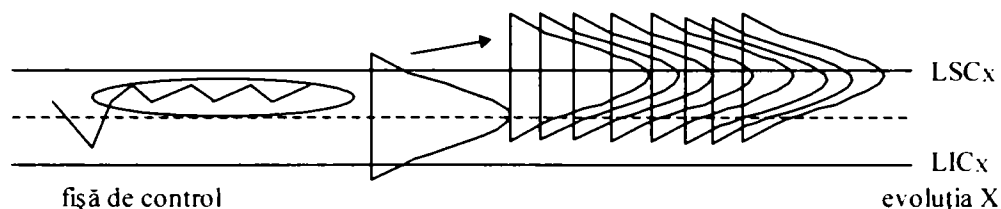


Fig. 157 Proces afară din control: măsurători consecutive peste media calculată

Situația II-2: 7 puncte consecutive în creștere sau în descreștere (Fig. 158)

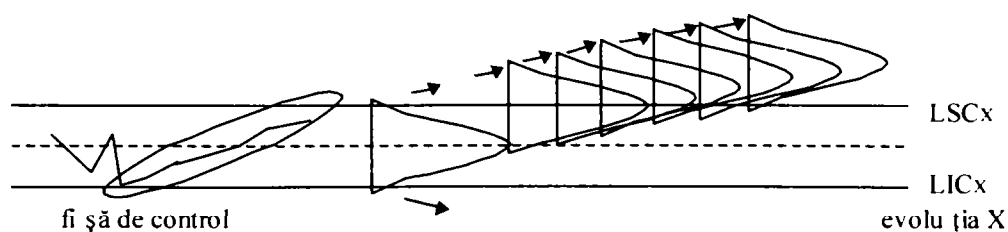


Fig. 158 Proces afară din control: măsurători în continua creștere

Cauze asociate posibile:

Serie de puncte deasupra mediei sau serie de puncte sub medie: regalarea necorespunzătoare a sculei, lot nou de materiale, schimbarea sistemului de control.

Serie de puncte în creștere sau serie de puncte în descreștere: uzurarea continuă a sculei

C. Situația III de instabilitate: distribuție nealeatoare.

Situația III.1: mai mult de 2/3 din puncte în zona centrală a limitelor de control (Fig. 159.):

- exemplu practic: din 25 de esantioane 90% din ele în zona centrală

- exemplu practic: 15 puncte consecutive în zona centrală

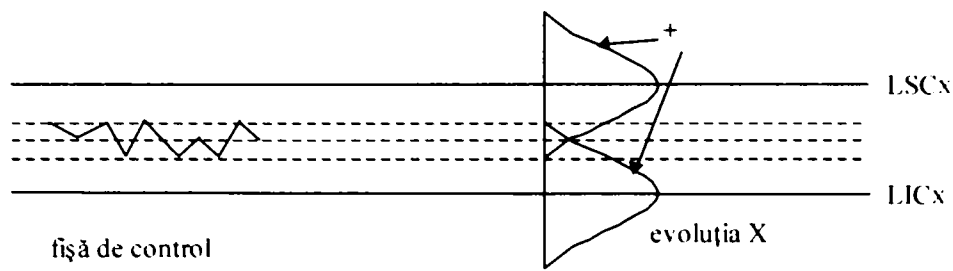


Fig. 159 Proces afară din control: măsurători în zona centrală

Cauze asociate posibile: eroare de calcul sau reprezentare a limitelor, stratificare a eșantionării (mai multe lanțuri de producție paralele), date corectate (valorile mari ale mediei), reglaj făcut de operator înainte de fiecare eșantionare, ameliorarea procesului (variație redusă).

Situația III.2: mai mult de 1/3 din puncte în zonele extreme (Fig. 160.)

- exemplu practic: din 25 de esantioane 60% din ele afara zonei centrale
- exemplu practic: 2 din 3; 3 din 7 sau 4 din 10 puncte consecutive în afara zonei centrale

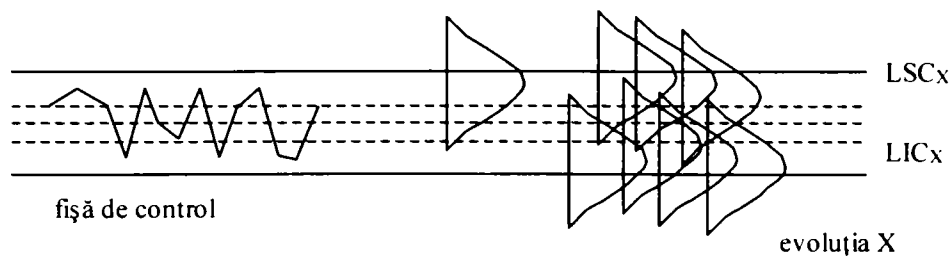


Fig. 160 Proces afară din control: măsurători în zonele periferice

Cauze asociate posibile: eroare de calcul, eșantionare nealeatoare (eșantioane provenind de la echipe de lucru cu performanțe diferite).

### 5.2.2.3 Analiza și evaluarea sistemului de măsurare: Repetabilitate și Reproducibilitate, R&R

#### Introducere

Cea mai mare parte a câmpului de toleranță specificat este utilizată pentru a acoperi pierderi datorită erorilor de măsurare, folosirii incorecte și a variațiilor echipamentului de măsură.

Pentru a evita această situație este în interesul nostru să determinăm dacă sistemul de măsurare este în același timp "corect" și "repetabil".

#### Erorile sistemului de măsurare

Indiferent despre ce echipament de măsurare vorbim sunt patru factori care caracterizează variația acestuia [16] [34] [46] [54]:

- Acuratețea
- Stabilitatea
- Repetabilitatea
- Reproducibilitatea

Acuratețea este definită ca diferența dintre media observată a măsurătorilor și "media adevărată" a acelorași măsurători. Pentru a afla, "media adevărată", este nevoie de cel mai precis echipament disponibil.

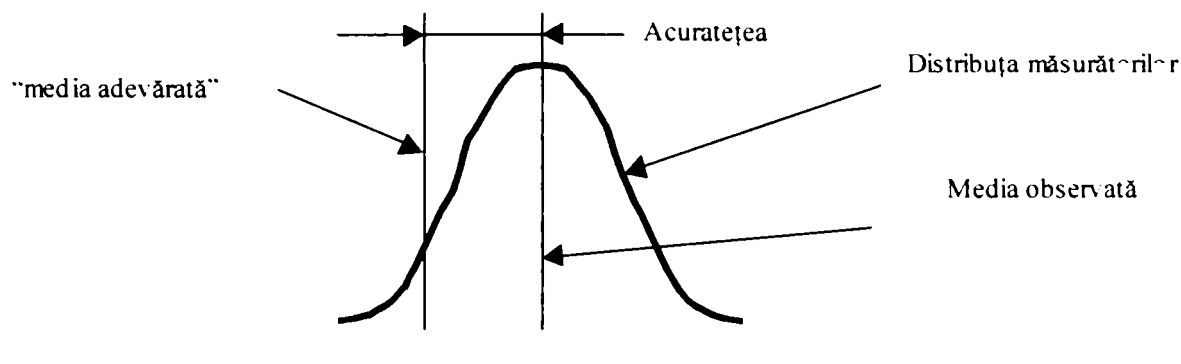


Fig. 161 Acuratețea echipamentului

Stabilitatea este definită ca variația periodică care apare datorită schimbărilor de mediu, fluctuația puterii, umezelii sau uzura echipamentului. Este măsurată ca diferența dintre două medii ale unor măsurători efectuate în aceleași condiții în două perioade de timp diferite.

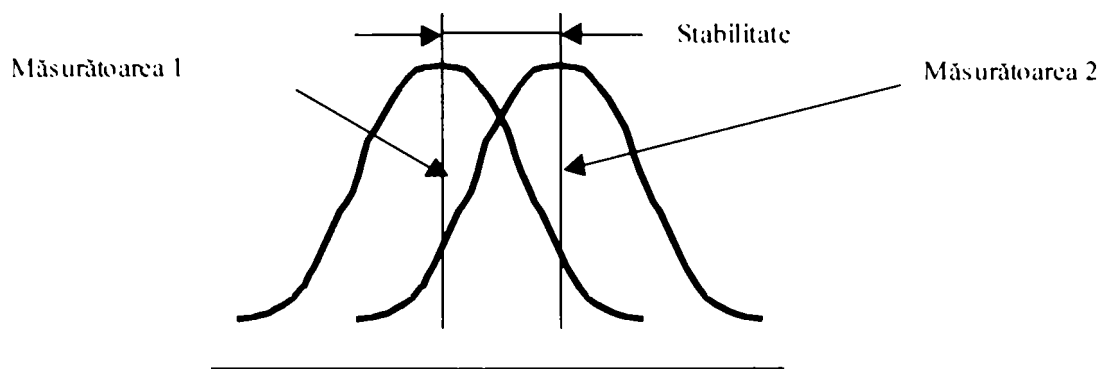


Fig. 162 Stabilitatea echipamentului

Repetabilitatea, variația echipamentului, este definită ca proporția de variație a echipamentului când aceeași piesă și aceeași caracteristică este măsurată de mai multe ori de aceeași persoană.

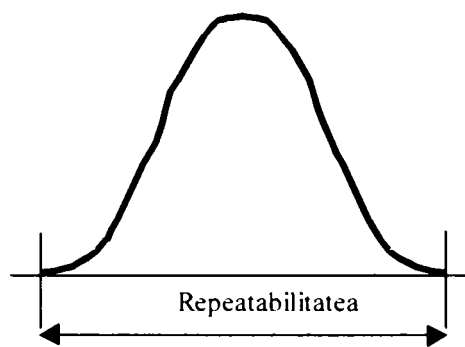


Fig. 163 Repetabilitatea echipamentului

Reproductibilitatea, variația operatorului, este definită ca proporția de variație a măsurătorilor efectuate de diferite persoane, folosind același echipament și măsurând aceeași piesă și aceeași caracteristică.

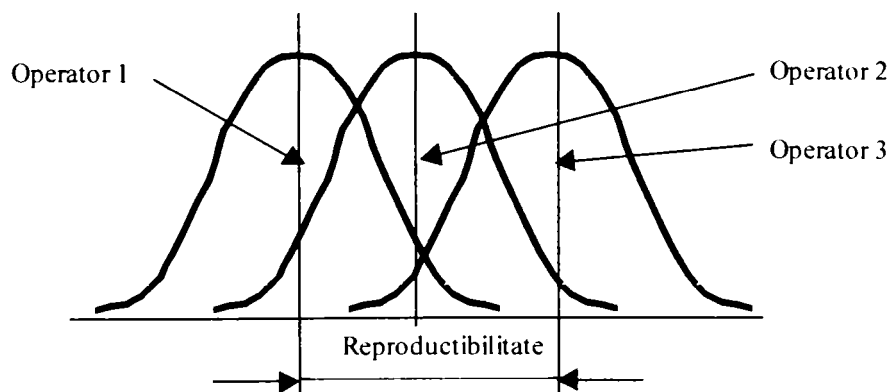


Fig. 164 Reproductibilitatea echipamentului

### ***Repetabilitatea și Reproductibilitatea procentuală (% R&R)***

Toți factorii de variație au fost prezentați în paragraful anterior. Primii doi, acuratețea și stabilitatea sunt de obicei neglijabili în timp ce ultimii doi, repetabilitatea și reproductibilitatea sunt

în general mari și crează probleme la acceptarea sau respingerea produselor. Din acest motiv în continuare ne vom ocupa de ultimii doi factori menționați.

Repetabilitatea și Reproducibilitatea procentuală (% R&R) este procentul din câmpul de toleranță care este pierdut datorită erorilor echipamentului.

### ***Determinarea acceptibilității echipamentului***

Pentru efectuarea cu succes a unui studiu al echipamentului, pregătirea și planificarea echipei are o importanță esențială. Caracteristicile echipamentului, numărul de controlori, semnificația caracteristicii verificate și numărul de piese măsurate sunt toate elementele de care trebuie să ținem cont înainte de punerea în practică a planului.

Se recomandă următoarele:

- Numărul de controlori: 3 sau 2
- Numărul de repetări ale măsurătorilor: testul este proiectat pentru 3 sau 2 repetări. Se recomandă 3 când capabilitatea inițială a echipamentului nu este cunoscută. Pot fi folosite două când capabilitatea inițială a avut un indice R&R mai mic de 20%
- Numărul de repere: de obicei 10, dar pot fi 5 dacă capabilitatea inițială a avut un indice R&R mai mic de 20%
- Sensibilitatea măsurătorii: echipamentul trebuie să fie gradat astfel încât să permită determinarea citirea directă a cel puțin 1/10 din toleranța.

După ce planificarea este terminată, eșantioanele martor trebuie măsurate iar datele calculate folosind următoarele formule:

- Fiecare eșantion este măsurat de trei sau două ori. Măsurătorile prezintă o proporție de variație caracterizată de media R. Media R este media măsurătorilor controlorilor calculată cu formulele:

$$R = (R_1 + R_2 + R_3) / 3 \text{ pentru trei controlori} \quad (261)$$

$$R = (R_1 + R_2) / 2 \text{ pentru doi controlori} \quad (262)$$

- Repetabilitatea, variația echipamentului: EV este dată de formula:

$$EV = K_1 * R \quad (263)$$

unde  $K_1$  este 4.56 pentru 2 repetări sau 3.05 pentru 3.

- Reproducibilitatea, variația operatorului: OV este dată de formula:

$$OV = K_2 * R \quad (264)$$

unde  $K_2$  este 3.65 pentru 2 operatori sau 2.7 pentru 3

- Repetabilitatea și Reproducibilitatea totală (R&R) este dată de formula:

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + OV^2} \quad (265)$$



- determinarea acceparibilității echipamentului:

$$\%R \& R = \frac{R \& R}{\text{Toleranța\_specificată}} \quad (266)$$

Criteriul de determinare a acceparibilității sistemului de măsurare este dependent de procentul de toleranță specificată care este utilizată de erorile acestuia. De obicei, standardul folosit pentru acceparibilitatea echipamentului este:

- $\%R \& R \leq 10\%$  acceparibil
- $10\% \leq \%R \& R \leq 30\%$  acceparibil în funcție de importanță, costul echipamentului, etc.
- $\%R \& R > 30\%$  inacceparibil

Studiul poate scoate în evidență de asemenea și informații semnificative despre cauzele erorilor echipamentului. Spre exemplu în cazul în care reproductibilitatea este mare comparativ cu repetabilitatea, câteva cauze posibile sunt:

- e nevoie de instruire a utilizatorilor echipamentului
- calibrarea echipamentului poate fi mai clar definită

În cazul în care repetabilitatea este mare comparativ cu reproductibilitatea, motivele pot fi:

- echipamentul poate fi reproiectat pentru ușurarea utilizării
- întreținerea echipamentului lasă de dorit

### *Studiu de caz*

Cazul de față se referă la un produs electronic la care s-au semnalat discrepante între raportul acceparat/respins pentru echipamente de test diferite. Parametrul testat în discuție este un parametru critic al produsului iar clientul a cerut o evaluare a echipamentului de testare. Toate datele au fost calculate folosind un program special.

Deoarece nu a mai fost efectuat nici un studiu R&R inițial am ales următoarea strategie:

- Numărul de echipamente de testare: 2
- Numărul de repetări: 3
- Numărul de produse: 10
- Limitele specificate ale parametrilor:
  - Limita specificată superioară: 25
  - Limita specificată inferioară: 17.5
  - Toleranța specificată: 7.5
- Sensibilitatea de măsurare:  $> 1/10$  din toleranță

Măsurătorile sunt date în tabela 1:

Table 1 Initial

Data	Tester No: 1				Tester No: 2			
	Trial			Range	Trial			Range
Sample #	1	2	3		1	2	3	
1	24.01	24.00	23.99	0.02	22.55	22.55	22.56	0.01
2	23.98	23.98	23.98	0.00	22.56	22.56	22.55	0.01
3	23.98	23.98	23.98	0.00	22.54	22.56	22.55	0.02
4	23.98	23.97	23.98	0.01	22.54	22.55	22.55	0.01
5	23.97	23.97	23.97	0.00	22.55	22.56	22.53	0.03
6	23.97	23.97	23.96	0.01	22.58	22.54	22.55	0.04
7	23.96	23.96	23.96	0.00	22.59	22.55	22.55	0.04
8	23.96	23.96	23.96	0.00	22.56	22.55	22.54	0.02
9	23.96	23.95	23.96	0.01	22.55	22.59	22.61	0.06
10	23.96	23.96	23.95	0.01	22.58	22.55	22.55	0.03
	Range average R <sub>1</sub>			0.006	Range average R <sub>2</sub>			0.027
	Sample average X <sub>1</sub>			23.97	Sample average X <sub>2</sub>			22.56
Average range R					0.016			
X-bar range X					1.414			

Datele calculate și evaluarea testului din punctul de vedere al R&R sunt date în tabela 2, starea inițială.

Table 2 R&amp;R test evaluation (initial)

		Tolerance analysis	
Repeatability (EV)	0.050325		0.67%
Reproducibility (AV)	5.161092		68.81%
Repeatability and Reproducibility (R&R)	5.161337		68.82%
Control limit for individual ranges	0.042471		
Note: any ranges beyond this limit may be the result of assignable causes. Identify and correct. Discard values and recomputed statistics.			

Analizând datele prezentate în tabela 2 putem trage următoarele concluzii:

- Repetabilitatea și reproductibilitatea echipamentului este inacceptabilă. Mai mult de 68% din toleranță este pierdută
- Așa cum se poate vedea din tabel, repetabilitatea este acceptabilă, aproximativ 0.67% din toleranță se pierde datorită variației echipamentului
- Problema principală este reproductibilitatea care este de aproximativ 68%

Explicația este dată de graficul următor (graficul fișei X;R pentru măsurători):

- Există două zone pe grafic:
  - Una pentru testorul 1, cu o medie a măsurătorilor de 23.96
  - Una pentru testorul 2, cu o medie a măsurătorilor de 22.55
- Căderea bruscă dintre măsurătorile cele două echipamente de testare e cauza neacceptării
- Amândouă măsoară cu aceeași variație, nu există variații mari în aceste două zone

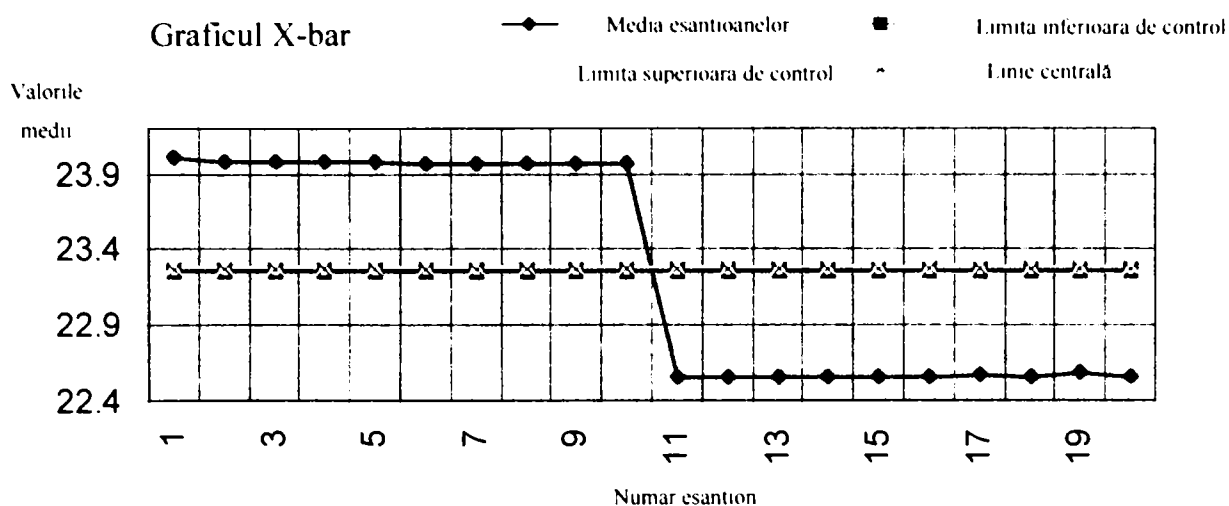


Fig. 165 Fisa X-bar pentru valorile măsurate

Toate datele arată clar că echipamentele de testare au nevoie de recalibrare. După ce această activitatea a fost efectuată s-a efectuat un studiu R&R pentru verificare.

S-a folosit următoarea strategie:

- Numărul de echipamente de testare: 2
- Numărul de repetări: 2
- Numărul de produse: 5
- Limitele parametrilor specificați:
  - Limita specificată superioară: 25
  - Limita specificată inferioară: 17.5
  - Toleranța specificată: 7.5
- Sensibilitatea de măsurare: > 1/10 din toleranță

Măsurătorile sunt prezentate în tabela 166

Final measurements								
Data	Tester 1				Tester 2			
	Trial			Range	Trial			Range
Sample #	1	2	3		1	2	3	
1	24.01	24.00		0.01	23.87	23.88		0.010
2	23.93	23.99		0.06	23.88	24.07		0.190
3	24.00	24.00		0.00	23.87	23.89		0.020
4	24.00	23.99		0.01	23.88	23.95		0.070
5	24.02	24.00		0.02	23.88	23.88		0.000
6								
	Range average R <sub>1</sub>			0.020	Range average R <sub>2</sub>			0.058
	Sample average X <sub>1</sub>			23.994	Sample average X <sub>2</sub>			23.905
<b>Average range</b>					<b>0.039</b>			
<b>X-bar range</b>					<b>0.089</b>			

Fig. 166 Test R&R redus (pentru reverificare)

Datele calculate și evaluarea testului din punctul de vedere al R&R sunt date în tabelul de mai jos, starea finală.

R&R test evaluation (final status)		Tolerance analysis	
Repeatability (EV)	0.178		2.37%
Reproducibility (AV)	0.32		4.27%
Repeatability and Reproducibility (R&R)	0.366		4.88%
Control limit for individual ranges	0.127		
Note: any ranges beyond this limit may be the result of assignable causes. Identify and correct. Discard values and recomputed statistics.			

Studiind datele prezentate în tabelul 166 se pot trage următoarele concluzii:

- Repetabilitatea și reproductibilitatea, R&R este acceptabilă, mai puțin de 5% din toleranță se pierde datorită echipamentului.

Putem compara măsurătorile date de cele două echipamente de testare (vezi graficul fișei X;R de mai jos):

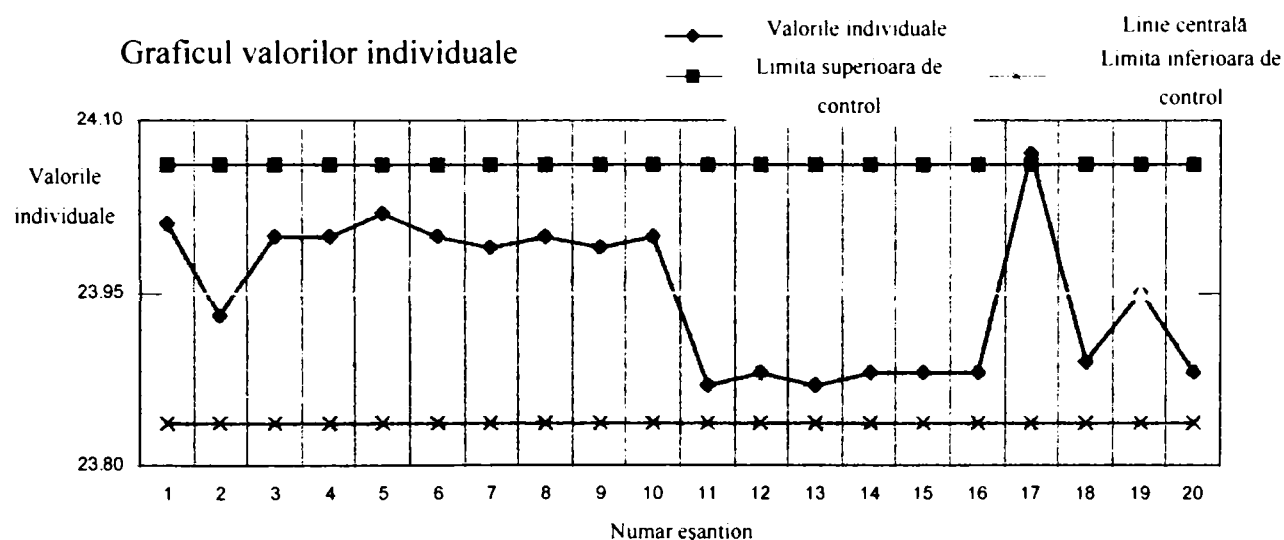


Fig. 167 Graficul dispunerii valorilor individuale măsurate la reverificare

Așa cum se vede din Fig. 167, ambele echipamente sunt setate pe aceeași valoare, 23.9 și testul final are o variație acceptabilă în și între echipamente.

### Concluzii

Pentru ca echipamentul să fie calificat, orice variație a sistemului trebuie să fie în toleranțe acceptabile, bazat pe specificația procesului care trebuie măsurat. Studiul R&R prezentat aici este o metodă ușoară de evaluare a echipamentului. Această tehnică combinată cu alte metode statistice, poate sugera dacă este prezentă vre-o cauză specială de variație și poate evalua complet echipamentul de măsurare.

**5.2.2.4 Metoda PRE-Control**

PRE-Control este o tehnică care ajută operatorii să controleze procesul astfel încât să evite producerea produselor defecte. În PRE-Control, câmpul de toleranță este împărțit în trei zone așa cum se arată în figură. Aceste zone sunt **Verde**, **Galben** și **Roșu**. Zona de mijloc a câmpului de toleranță este zona verde, LTL este limita inferioară de toleranță și UTL este limita superioară de toleranță. UPCL este limita superioară de PRE-Control și LPCL este limita inferioară de de PRE-Control [59].

Dacă indicele Cpk al procesului este 1.0, înseamnă că toleranța este egală cu 6 x Sigma (abaterea medie pătratică) și media procesului coincide cu media toleranței. În astfel de cazuri, presupunând că distribuția este normală, ne așteptăm ca 86% din citiri să fie în zona verde, și 7% în fiecare din zonele galbene. Astfel ne așteptăm ca una din 14 citiri să fie în zona galbenă.

Probabilitatea ca două citiri consecutive să fie în zona galbenă va fi de  $\frac{1}{14} * \frac{1}{14} = \frac{1}{196}$ . Considerând

toate cele patru permutări posibile a două citiri consecutive, probabilitatea devine  $\frac{4}{196}$  adică aproximativ 2%.

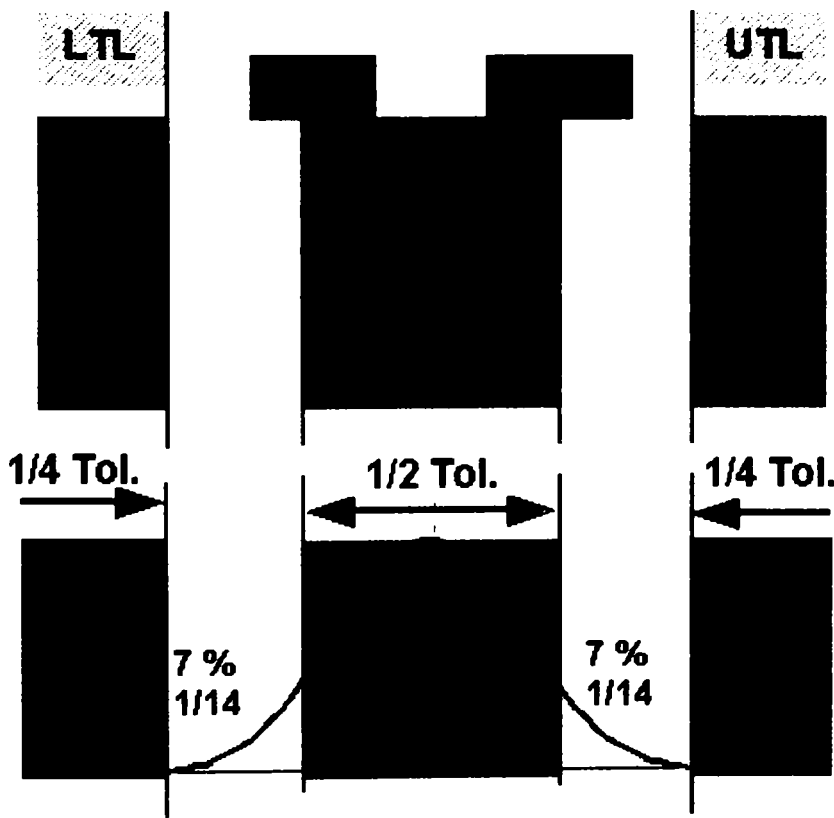


Fig. 168 Zonele de PRE-Control, trebuie tradusă

### Regulile de PRE-Control:

- **Pentru calificarea procesului:**
  - Dacă cinci citiri consecutive sunt în zona verde, ajustarea procesului este corespunzătoare
  - Dacă o citire este în zona galbenă, este necesară reluarea măsurătorilor și clasificarea acestora
  - Dacă două citiri consecutive sunt în zona galbenă, este necesar să se ajusteze procesul
  - Dacă o citire este în zona roșie, este necesar să se ajusteze procesul

Calificarea procesului: 5 Verzi în linie



Fig. 169 Regulile de pre-control la calificarea procesului

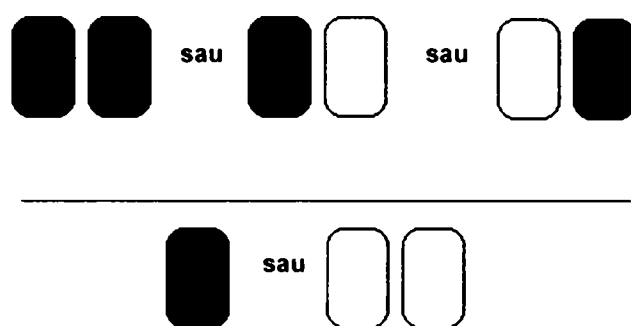
Astfel calificarea procesului nu se poate face decât când avem o linie de cinci citiri în zona verde. Dacă nu putem califica procesul, avem un semnal clar că acesta nu este capabil și produsele nu se pot încadra în specificație. În acest caz eforturile trebuie orientate spre reducerea variației procesului astfel încât să se îmbunătățească indicele de capabilitate. Cea mai importantă caracteristică a metodei PRE-Control este faptul că nu permite unui proces incapabil să continue.

- **În timpul lucrului:**

Se măsoară două piese consecutive A și B:

- Dacă amândouă sunt în zona verde sau una este în zona verde și una în zona galbenă, continuăm.
- Dacă amândouă sunt în zona galbenă de aceeași parte, se corectează procesul iar dacă sunt în zone opuse este nevoie de o revizie completă a procesului
- Dacă oricare dintre citiri sunt în zona roșie, este necesar să se corecteze procesul. În situația aceasta ultimele eșantioane trebuie controlate.

Procesul poate continua: masurarea a 2 piese consecutive



Procesul trebuie sa fie oprit/ajustat.

Dacă măsurătorile sunt în zone galbene diferite este nevoie de re-analiza procesului

Fig. 170 Reguli de pre-control în timpul lucrului

Intervale de măsurare:

Se recomandă o medie de șase perechi de citiri între două ajustări consecutive. Următorul tabel poate fi util în alegerea eșantionărilor necesare:

Timpu mediu între reglaje	Intervalul între măsurători
8 ore	Fiecare 80 minute
4 ore	Fiecare 40 minute
2 ore	Fiecare 20 minute
1 oră	Fiecare 10 minute

Impactul indicatorului Cpk:

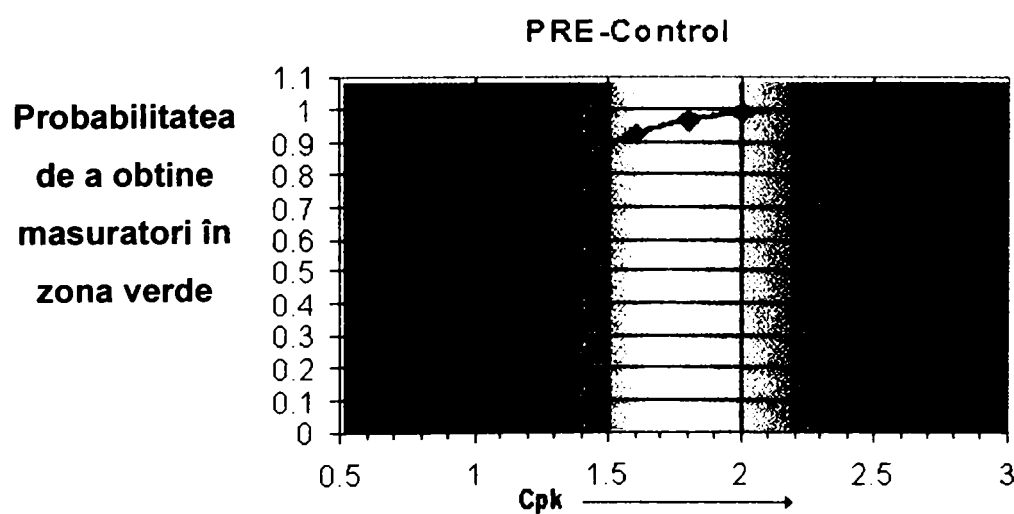


Fig. 171 Corelația dintre indicele Cpk și probabilitatea de a obține “5 măsurători în zona verde”

Graficul de mai sus arată probabilitatea de a obține cinci citiri în zona verde pentru diverse valori ale lui Cpk presupunând că distribuția este normală și media procesului este egală cu media toleranței. Se observă că pentru valori ale indicelui Cpk sub 1.5 probabilitatea scade foarte repede.

Uneori este utilă marcarea instrumentelor de măsurare astfel încât să ajute operatorul la identificarea zonelor ca în figura următoare.

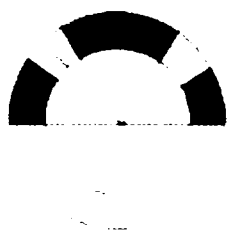


Fig. 172 Exemplu de marcaje pe calibrele de verificare

Metoda PRE-Control poate fi folosită și în cazul în care se lucrează doar cu o limită superioară sau inferioară de toleranță. Divizarea câmpului de toleranță este exemplificată în figurile care urmează:

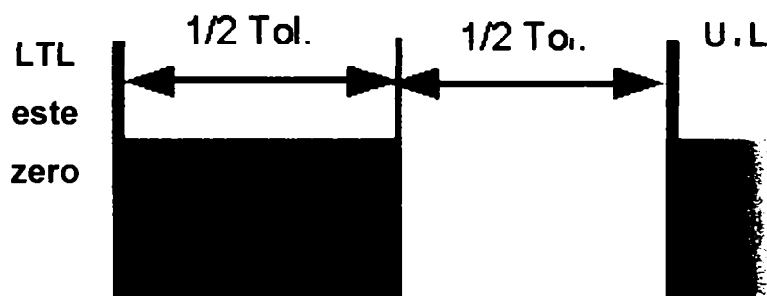


Fig. 173 Aplicarea metodei de pre-control în cazul caracteristicilor unitolerate:

Caz 1: zero este limita dorită (exemplu: planeități, concentricități, etc)

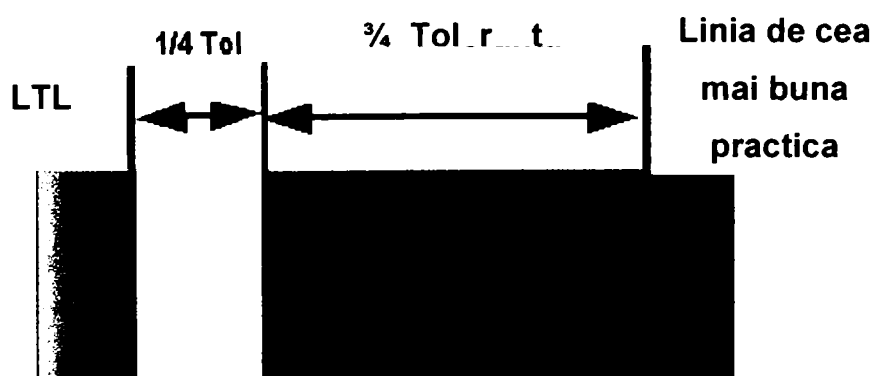


Fig. 174 Aplicarea metodei de pre-control în cazul caracteristicilor unitolerate

Caz2: Limita are o valoare maxima sau minima (exemplu: verificari la rupere)

Ca o concluzie, metoda PRE-Control este foarte simplu de utilizat dar nu înlocuiește fișele de control. Rolul fișelor de control este de a monitoriza procesul și de a determina cauzele speciale de variație, dacă există.



### 5.2.2.5 Capabilitatea proceselor

Capabilitatea unui proces este relația dintre specificațiile impuse caracteristicilor de calitate și posibilitățile efective date de variația naturală a acestuia [1] [16].

Analiza capabilității unui proces are sens doar dacă toate cauzele speciale de variație au fost eliminate și procesul este în stare de control statistic.

Capabilitatea proceselor este importantă atât pentru proiectanții produselor cât și pentru producătorii acestora. Cunoscând capabilitatea proceselor proiectanții pot determina cantitativ cât de bine se încadrează limitele specificate ale produselor în proces, ce echipamente și ce nivel de control sunt necesare pentru producție. Utilizând capabilitatea proceselor, producătorii pot pune la punct strategia planificării inspecției calității și planificarea producției astfel încât să reducă la minim pierderile și costurile de producție.

Capabilitatea unui proces are trei componente:

- Limitele specificate
- Centrea variației naturale
- Domeniul, dispersia sau variația

Figurile alăturate exemplifică patru din cazurile posibile de comparație între variația naturală a unui proces și cea impusă prin specificație.

În prima figura, (fig 175), variația specificată este mai amplă decât variația naturală și centrată pe aceasta ceea ce conduce la concluzia că atât timp cât procesul rămâne în starea de control statistic, produsele obținute se încadrează în cerințele specificate. Mai mult, este posibilă reducerea costurilor de producție prin înlocuirea tehnologiei utilizate cu una mai ieftină a cărei variație naturală să fie mai largă dar în limitele specificate.

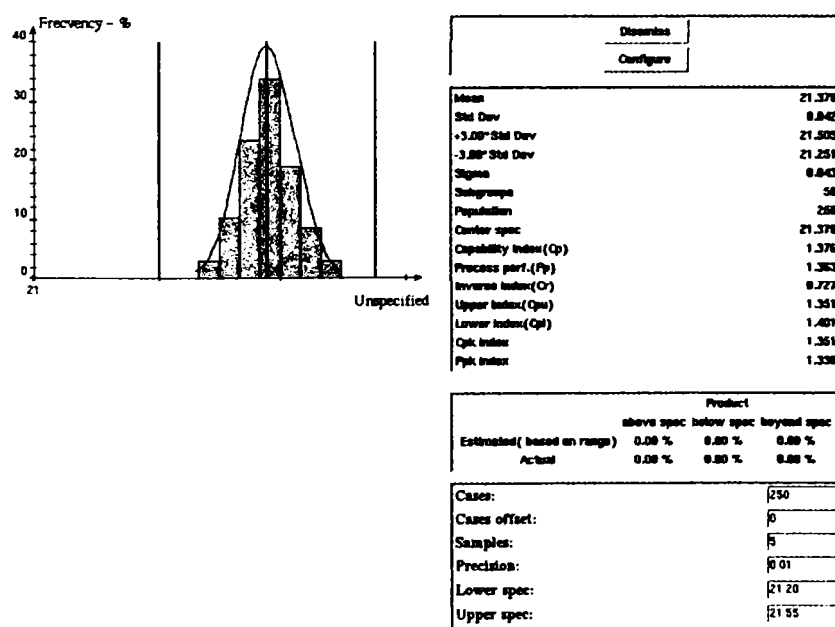


Fig. 175 Proces centrat și capabil (variația naturala mai mica dectă cea specificata)

În a doua figură, (fig 176), variația naturală și cea specificată au aceeași lățime, caz în care se produc un număr mic de rebuturi și de aceea procesul trebuie atent monitorizat.

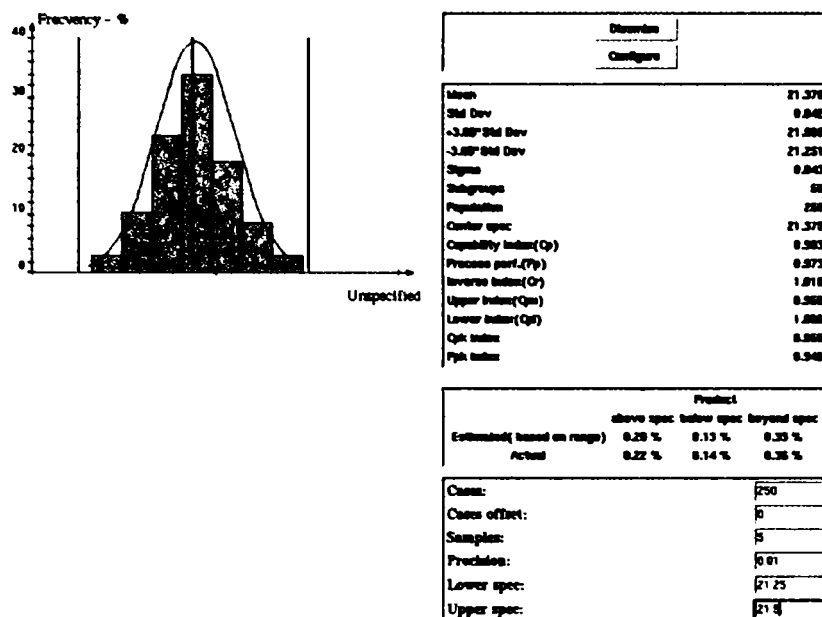


Fig. 176 Proces central și cu variația naturala egala cu cea specificata

În a treia figură, (fig 177), limitele specificate depășesc limitele naturale de variație, procesul nu poate satisface cerințele impuse chiar dacă este în stare de control statistic. Dacă procesul este în control se ridică problema dacă este corect aplicat sau dacă, în cazul în care specificația este realistă, poate fi îmbunătățit pentru încadrarea în limitele specificate.

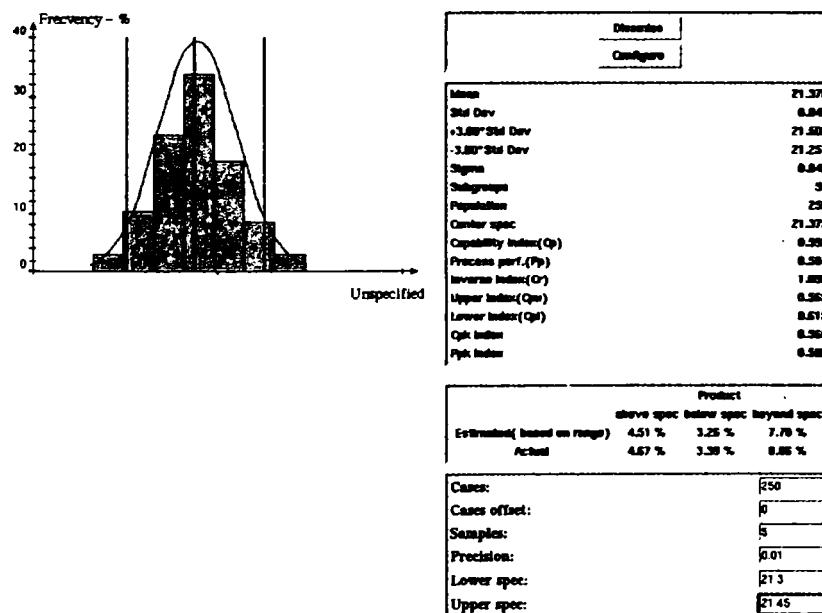


Fig. 177 Proces centrat dar incapabil (variația naturala mai mare decât cea specificata)

În ultima figură, (fig 178), variația naturală și cea specificată au aceeași lățime dar nu sunt centrate ceea ce duce la obținerea unui procent ridicat de rebuturi. De obicei în acest caz este suficientă reglarea mașinilor și/sau recalibrarea echipamentului de măsurare pentru centrarea procesului, situație devenind cea descrisă în al doilea exemplu. Oricum se obține un procent redus

de rebuturi cu condiția păstrării procesului în stare de control statistic și monitorizarea atentă a acestuia.

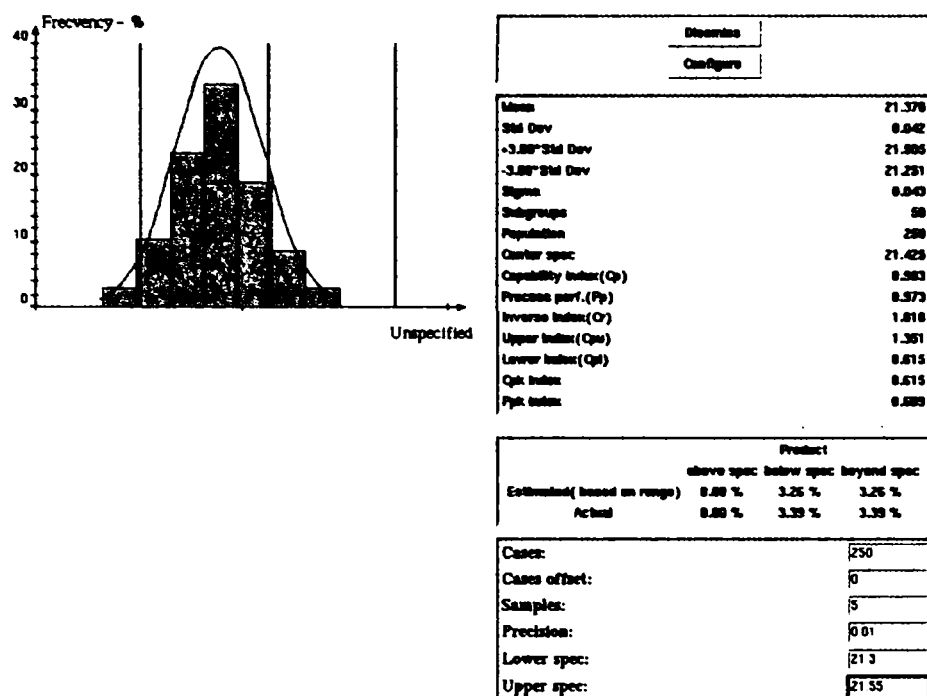


Fig. 178 Proces necentrat și cu variația naturală egală cu cea impusă

### 5.3 Utilizarea programului Statexp

Programul Statexp este o colecție de unelte pentru prelucrarea, analiza și interpretarea datelor care, cu excepția diagramelor Pareto care e o unealtă pentru management, se încadrează în categoria uneltelor dedicate statisticii descriptive.

Meniul principal conține șase grupuri de submeniuri:

- Histograme, Histograms
- Fișe de control pentru variabile, Charts for variables
- Fișe de control prin atribute, Charts for attributives data
- Fișe pentru repetabilitate și reproductibilitate, R&R
- Diagrame Pareto, Pareto chart
- Teste de normalitate, Normalities tests

Ieșirea din program se face apăsând pe submeniul Quit.

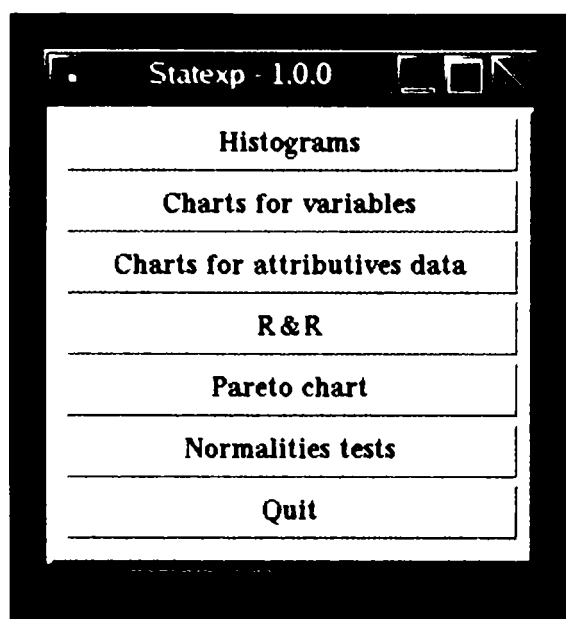


Fig. 179 Meniul principal al programului StatExp

Meniul Histograms conține submeniurile:

- Analiza datelor, Data Analysis
- Analiza capacității, Capabilities analysis

Părăsirea submeniului Histograms se face prin apăsarea meniului Dismiss.

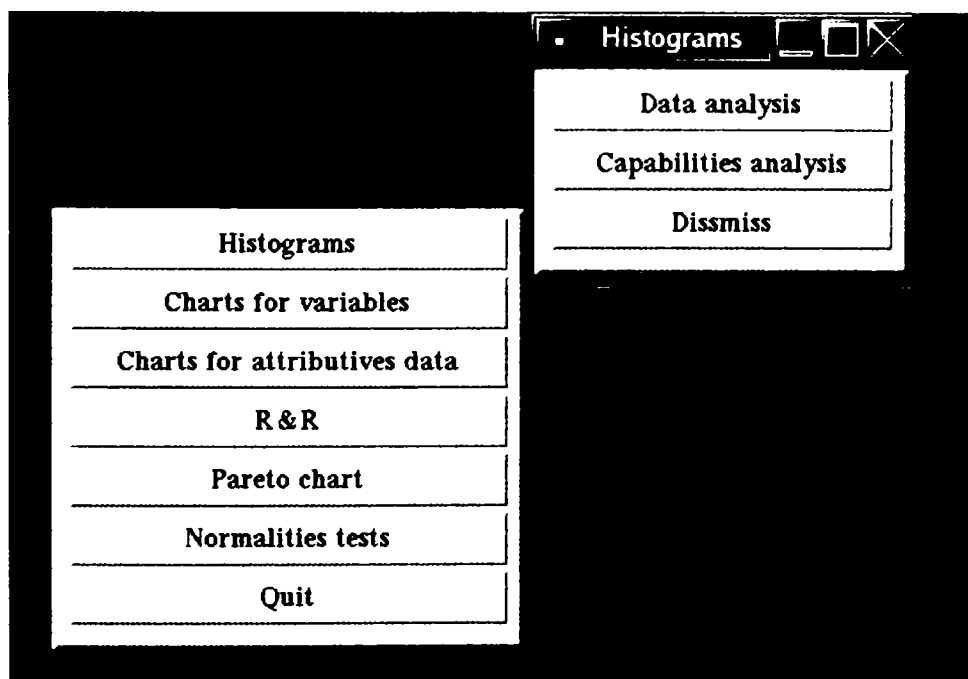


Fig. 180 Submeniul Histograms

Meniul Charts for variables conține submeniurile:

- Fișa de control  $\bar{X}; R$ , medie, amplitudine, metoda 3 sigma
- Fișa de control  $\bar{X}; R$ , medie, amplitudine, metoda 2 sigma
- Fișa de control  $\bar{X}; s$ , medie, ecart tip

- Fișa de control cu medie mobilă

La fel ca la submeniul anterior părăsirea submeniului se face prin apăsarea butonului Dismiss.

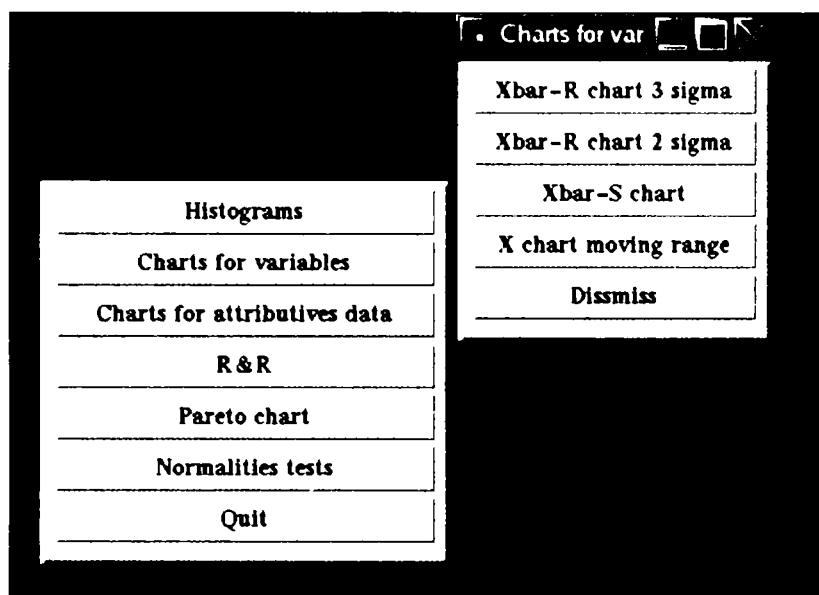


Fig. 181 Submeniul Charts for Variables

Meniul Charts for attributives data conține submeniurile:

- Fișa de control p pentru proporția de neconformități cu dimensiunea fixă a eșantioanelor
- Fișa de control p pentru proporția de neconformități cu dimensiunea variabilă a eșantioanelor
- Fișa de control np pentru numărul de produse necorespunzătoare
- Fișa de control c pentru numărul de neconformități constatate
- Fișa de control u pentru numărul de neconformități pe unitate de produs

La fel ca la submeniul anterior părăsirea submeniului se face prin apăsarea butonului Dismiss.

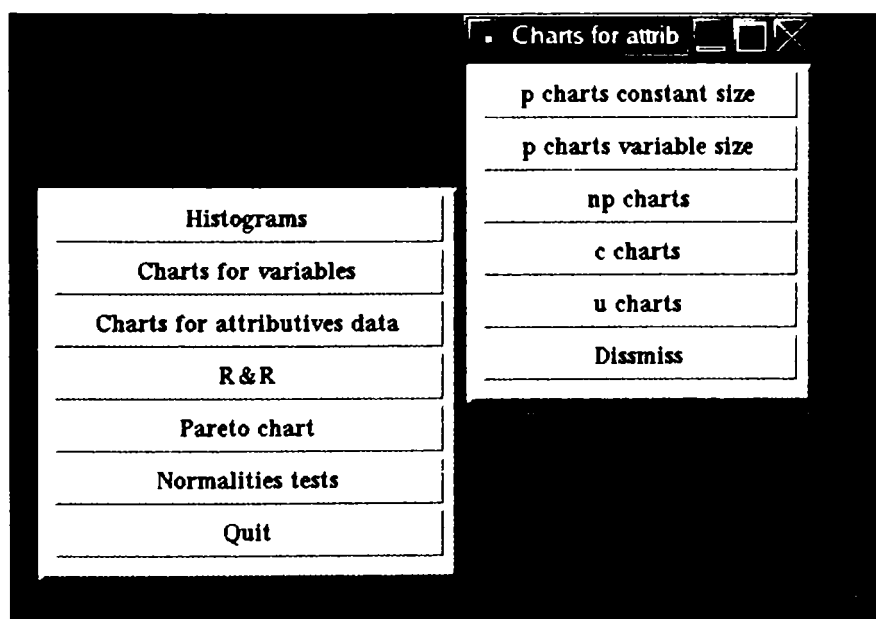


Fig. 182 Submeniul Charts for Attibutives

Meniul Normalities Tests, conține submeniurile pentru testele de normalitate:

- testul Fisher-Student, submeniul Student
- testul  $\chi^2$ , submeniul Chi2-Test
- testul z, submeniul z-Test
- testul f, submeniul f-Test
- dreapta lui Henry, submeniul Henry

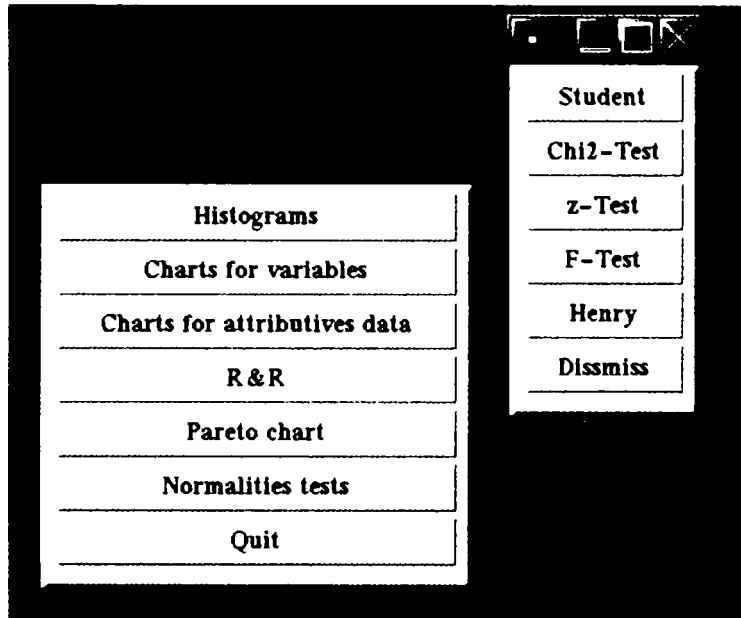


Fig. 183 Submeniul Normalities tests

Programul mai permite analiza Pareto și construcția fișelor R&R prin apelarea meniurilor cu același nume.

La intrarea în fiecare din aceste meniuri există posibilitatea de a alege un fișier de date care trebuie analizat folosind dialogul din figura de mai jos sau de analiza datele dintr-un fișier încărcat anterior, caz în care operatorul este notificat și trebuie să aleagă între încărcarea unui fișier nou sau folosirea datelor curente, vezi figura următoare.

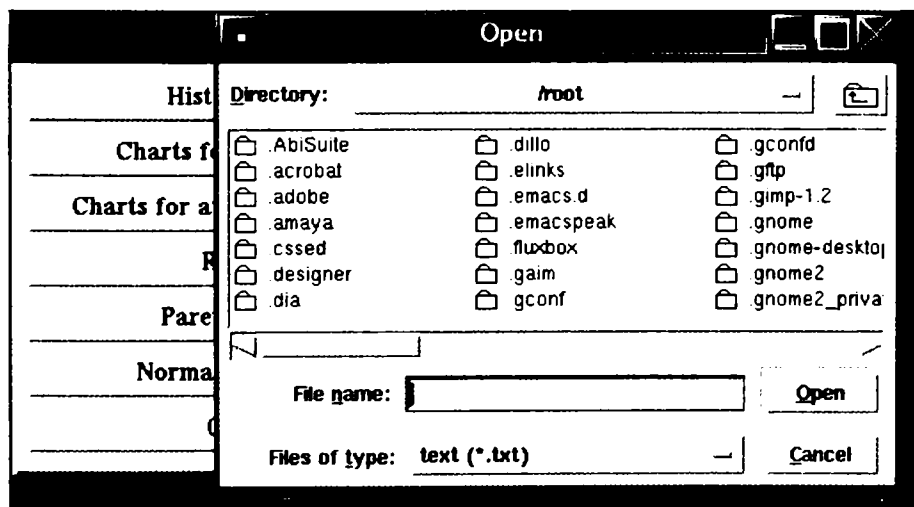


Fig. 184 posibilitatea de a utiliza fișiere de date existente

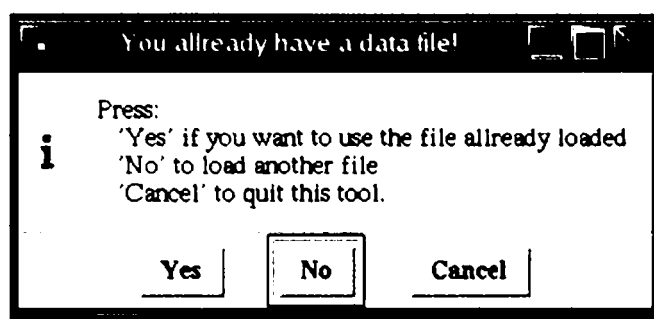


Fig. 185 Notificare de încărcare fișer existent

O altă parte comună la toate uneltele este părăsirea acestora prin apăsarea butonului Dismiss, redesenarea graficelor după modificarea datelor, butonul Redraw și dialogul de configurare a fiecărei scule individual, prin apăsarea pe butonul Configure, și setarea opțiunilor dorite, vezi figura următoare.

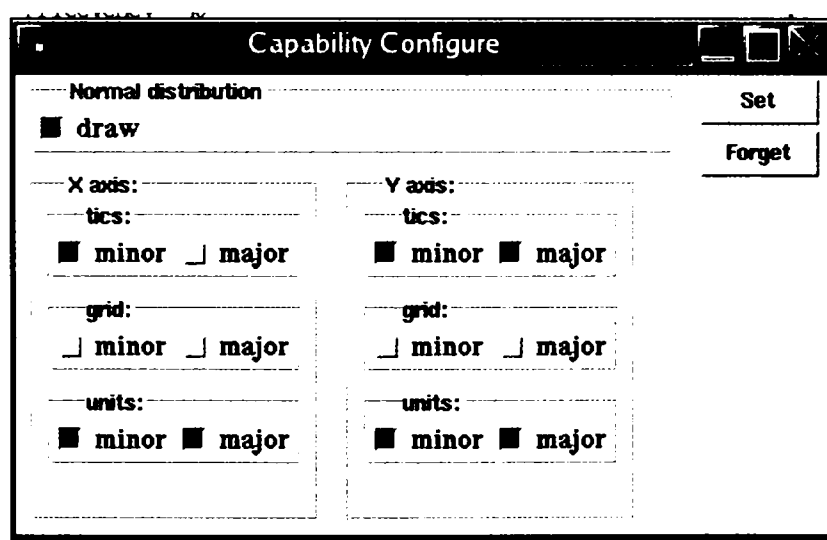


Fig. 186 Setarea opțiunilor dorite

### 5.3.1 Meniul Histograms

#### 5.3.1.1 Data Analysis

Permite determinarea normalității distribuției datelor analizate, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca în figura următoare.

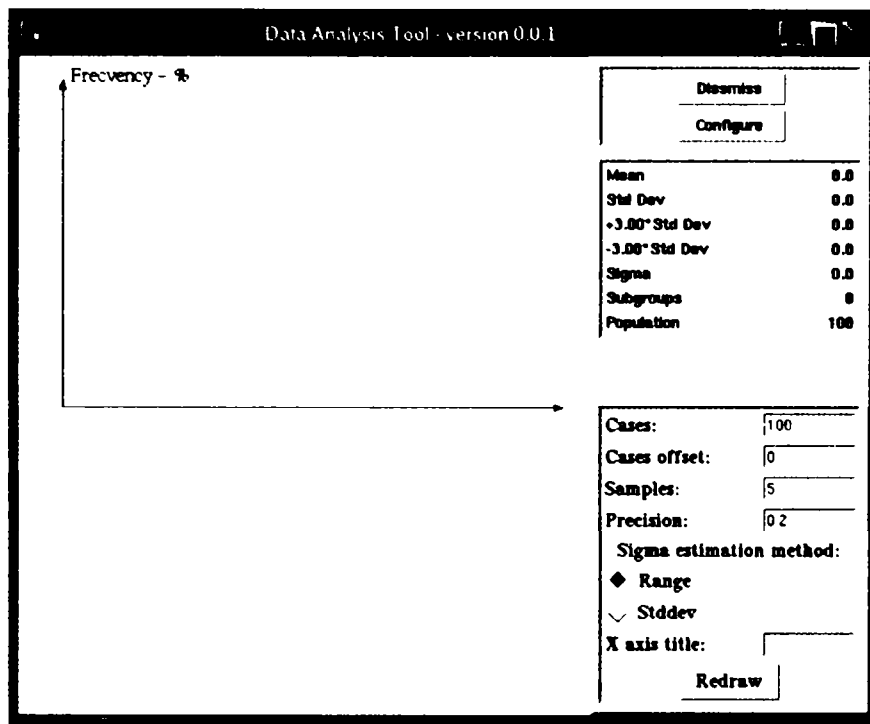


Fig. 187 Intrarea în submeniul Data Analysis

După completarea datelor arătate în figura următoare și a căror semnificație este:

- Cases – numărul total de valori analizate
- Cases offset – numărul de valori, de la începutul șirului de date, peste care se sare, analizându-se doar datele rămase
- Samples – numărul de valori dintr-o grupă
- Precision – sensibilitatea instrumentului folosit la măsurarea datelor
- Sigma estimation method, poate fi range sau stddev și este metoda de estimare a lui sigma, bazat pe amplitudine sau respectiv pe abaterea medie standard
- X axis title – titlul care apare pe axa x a graficului

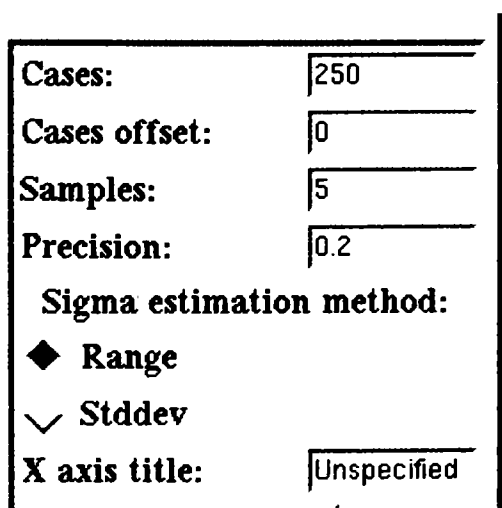


Fig. 188 Alegerea parametrilor statistici



După apăsarea butonului Redraw, programul calculează și afișează valorile calculate ca în figura următoare, valori care au următoare semnificație:

- Mean – media
- Std Dev – abaterea pătratică medie
- +3.00\*Std Dev – limita superioară la 3 sigma
- -3.00\*Std Dev – limita inferioară la 3 sigma
- Sigma - sigma
- Subgroups – numărul de grupe analizate
- Population – numărul total de valori existente în fișier

Mean	0.0
Std Dev	0.0
+3.00*Std Dev	0.0
-3.00*Std Dev	0.0
Sigma	0.0
Subgroups	0
Population	250

Fig. 189 Calcularea parametrilor statistici

Odată cu afișarea valorilor menționate se afișează și histograma construită pornind de la date, ca în figura următoare.

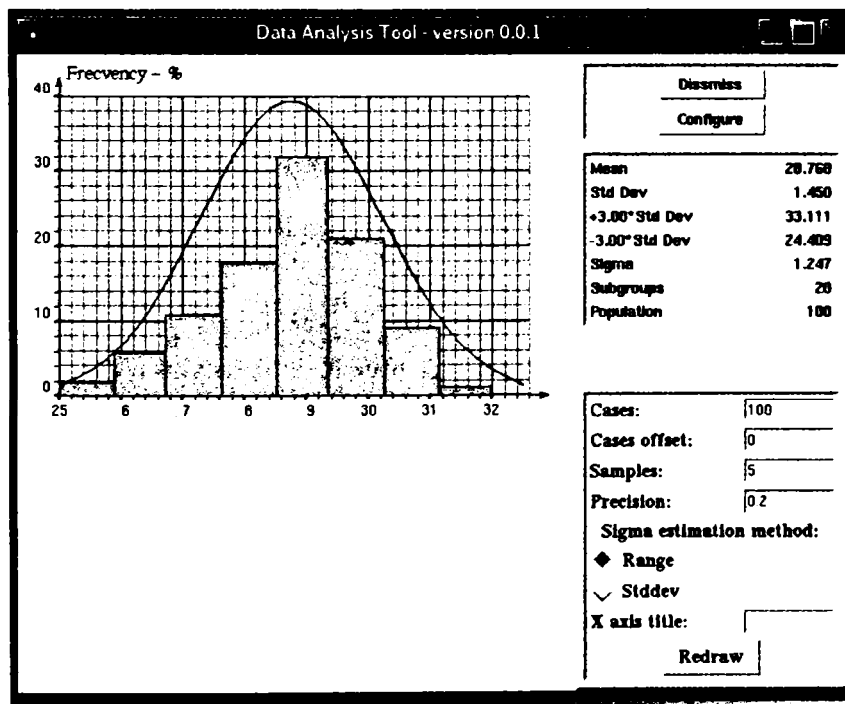


Fig. 190 Cosntruirea histogramei

Intercativ prin cicluri de modificare a informațiilor menționate anterior și apăsarea butonului Redraw se poate relua analiza ori de câte ori este nevoie, vezi Fig. 190

### 5.3.1.2 Capability

Permite determinarea capabilității procesului analizat, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

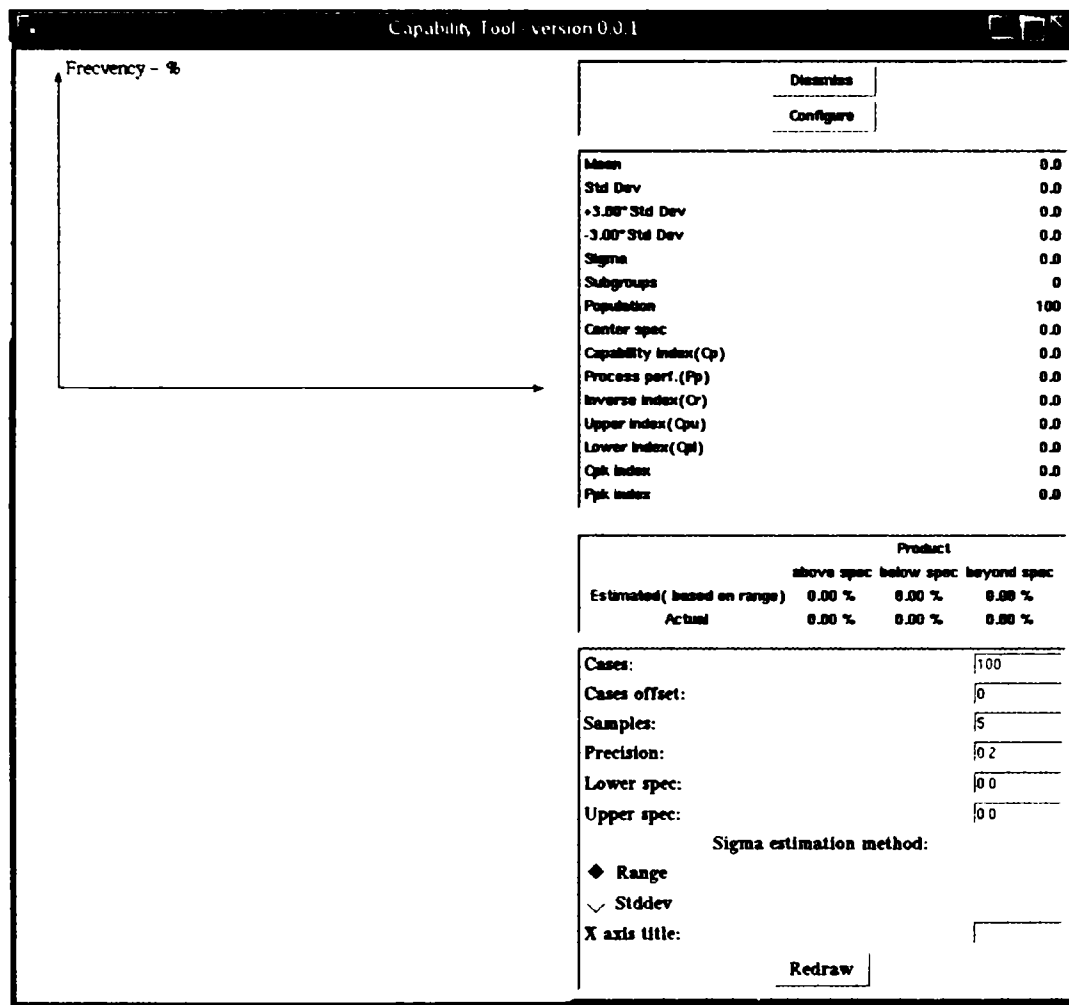


Fig. 191 Intrarea în submeniul Capability

După completarea datelor arătate în figura următoare și a căror semnificație este aceeași ca la Data Analysis, având în plus:

- Lower spec – limita specificată inferioară
- Upper spec – limita specificată superioară

Cases:	100
Cases offset:	0
Samples:	5
Precision:	0.2
Lower spec:	0.0
Upper spec:	0.0
Sigma estimation method:	
<input checked="" type="checkbox"/> Range	
<input type="checkbox"/> Stddev	
X axis title:	
<input type="button" value="Redraw"/>	

Fig. 192 Alegerea parametrilor statistici

După apăsarea butonului Redraw, programul calculează și afișează valorile calculate ca în figura următoare, valori care au următoare semnificație (fără cele explicate deja la Data Analysis):

- Center spec – limita specificată centrală
- Cp – indicele de capabilitate pe termen lung
- Pp – indicele de capabilitate instantanee
- Cr – Inversul indicelui de capabilitate Cp
- Cpu, Cpl – indicele de capabilitate superior respectiv inferior
- Cpk – indicele de centrare a procesului (pe termen lung)
- Ppk – indicele de centrare a procesului (pe termen scurt)

În plus, față de Data Analysis apare și un tabel care conține valorile calculate, procentual, al proporției de neconformități posibile, sub limita inferioară, peste limita superioară și cumulat.

Mean	0.0
Std Dev	0.0
+3.00* Std Dev	0.0
-3.00* Std Dev	0.0
Sigma	0.0
Subgroups	0
Population	250
Center spec	0.0
Capability index(Cp)	0.0
Process perf.(Pp)	0.0
Inverse index(Cr)	0.0
Upper index(Cpu)	0.0
Lower index(Cpl)	0.0
Cpk index	0.0
Ppk index	0.0

	Product		
	above spec	below spec	beyond spec
Estimated( based on range)	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Actual	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Fig. 193 Calculul parametrilor statistici

Odată cu afișarea valorilor menționate se afișează histograma construită pornind de la date și limitele specificate, inferioară, centrală și superioară, ca în figura următoare.

Interactiv prin cicluri de modificare a informațiilor menționate anterior și apăsarea butonului Redraw se poate relua analiza ori de câte ori este nevoie, vezi figura următoare

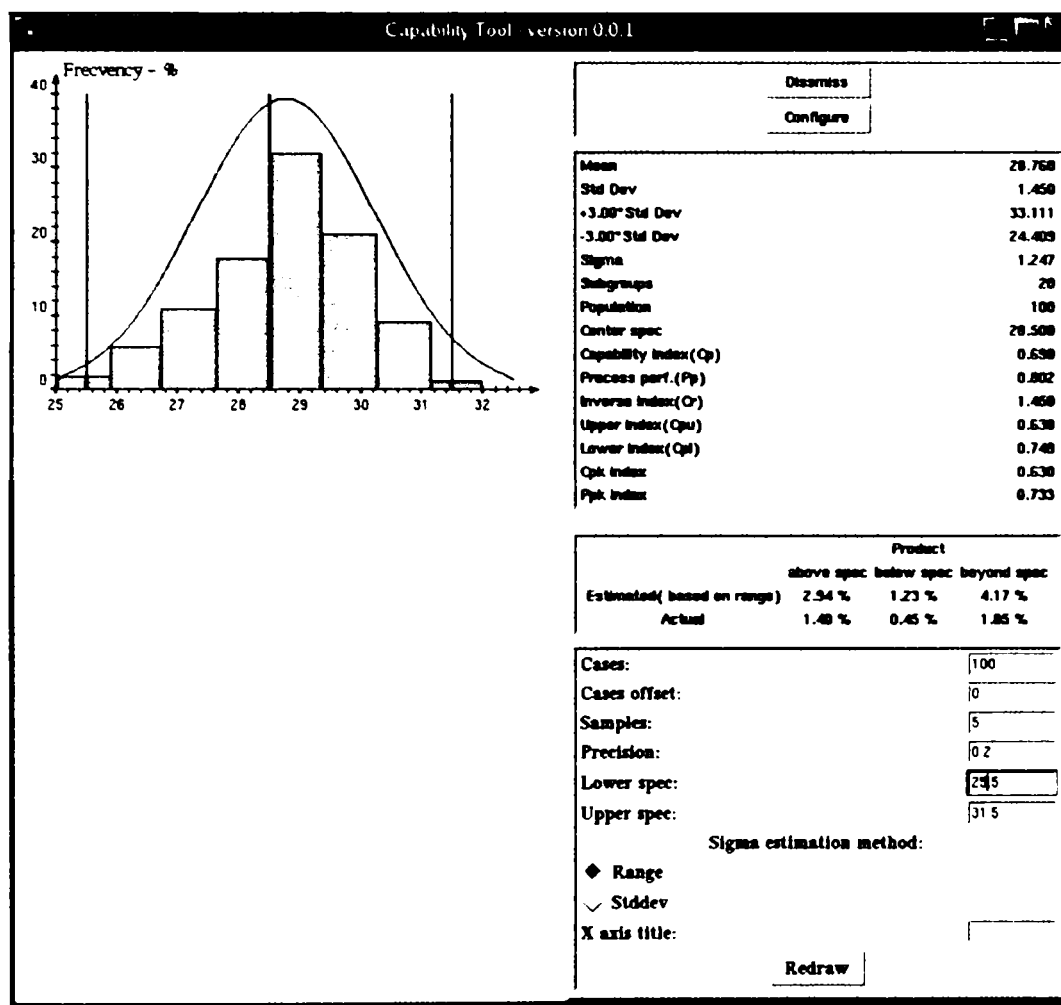


Fig. 194 Construirea histogramei

## 5.3.2 Charts for variables

### 5.3.2.1 *X-bar-r 3 sigma, X-bar-r 2 sigma, X-bar-s, X-chart moving-range*

Permite construcția fișelor de control pentru variabile menționate, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

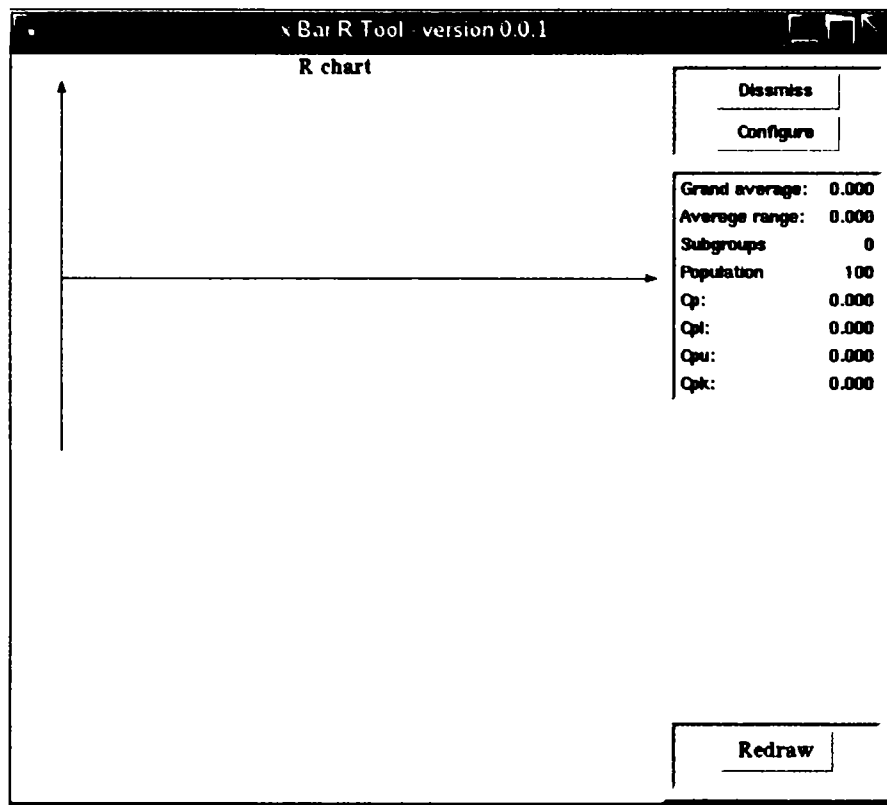


Fig. 195 Intrarea în submeniul Charts for variables

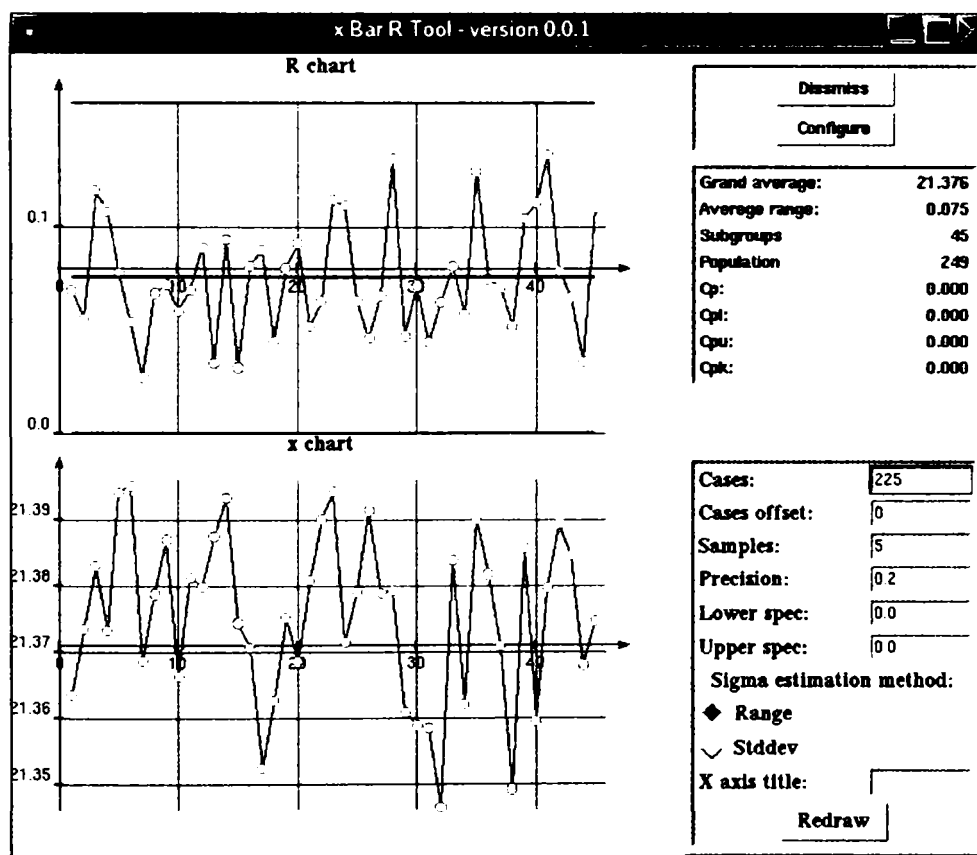


Fig. 196 Afisarea fișelor X-bar și R

### 5.3.3 Charts for atributives data

#### 5.3.3.1 *p*-charts constant size, *p*-charts variable size, *np*-charts, *c*-charts, *u*-charts

Permite construcția fișelor de control pentru variabile menționate, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

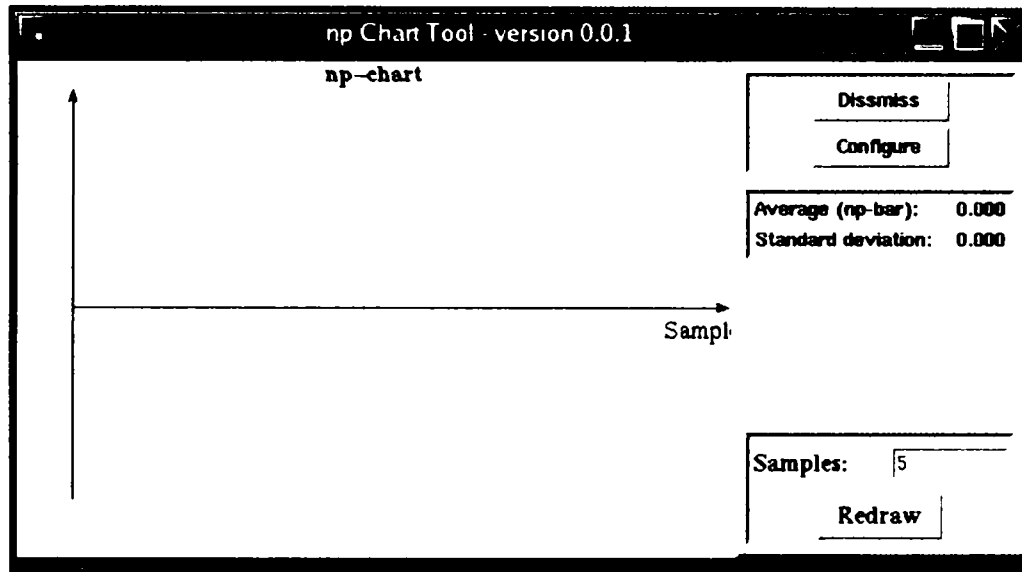


Fig. 197 Intrarea în submeniu Charts for Atributives

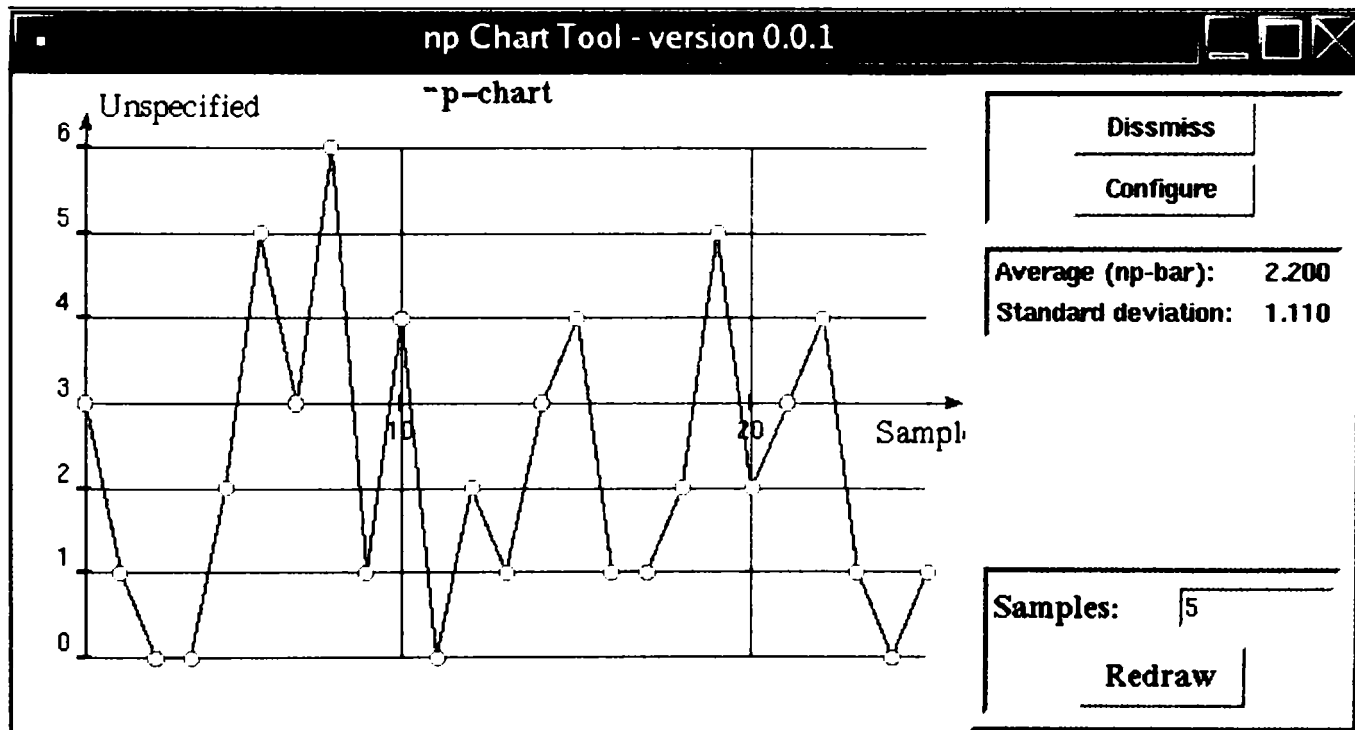


Fig. 198 Afisarea graficelor pentru valorile atributive

### 5.3.4 Normalities Tests

#### 5.3.4.1 Student, chi-square

Permite testarea validității datelor folosind testele menționate, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

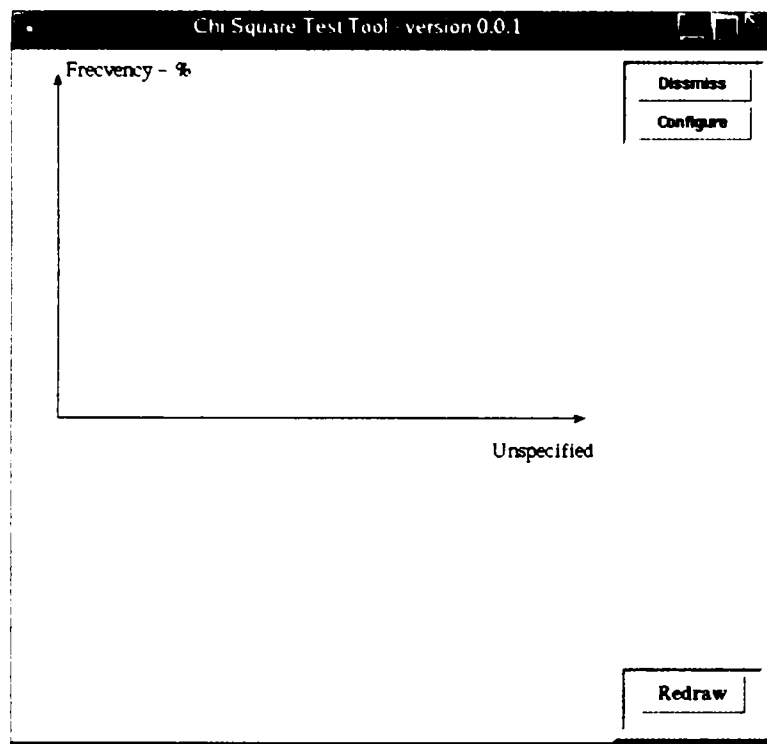


Fig. 199 Intrarea în submeniu Normalities Tests (student sau chi-test)

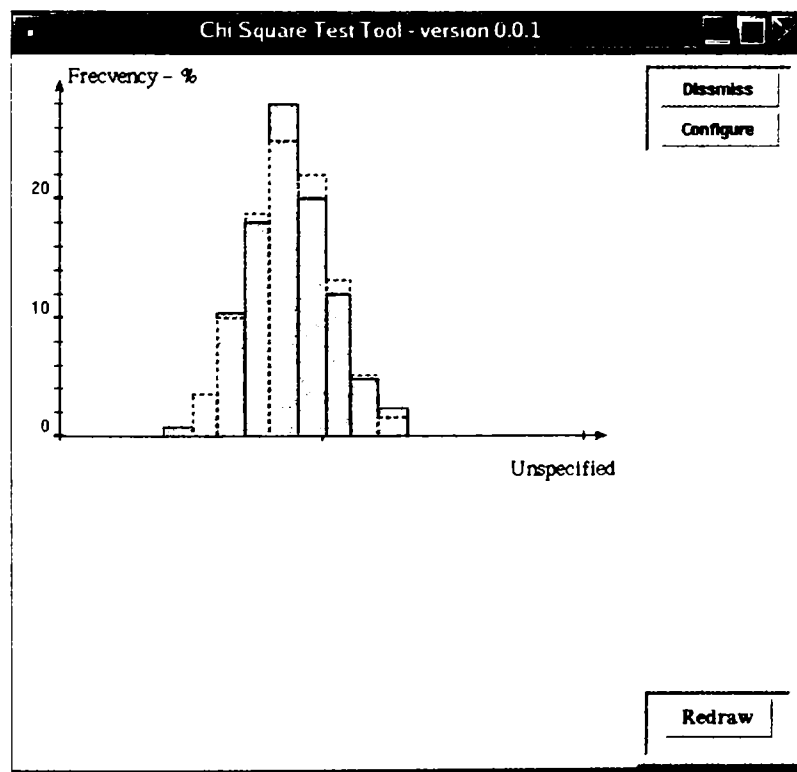


Fig. 200 Afisarea rezultatelor testului de normalitate (student sau chi-test)

### 5.3.4.2 z-test, f-test, henry, wilks-shapiro, multidir-test, stability

Permite testarea validității datelor folosind testele menționate, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

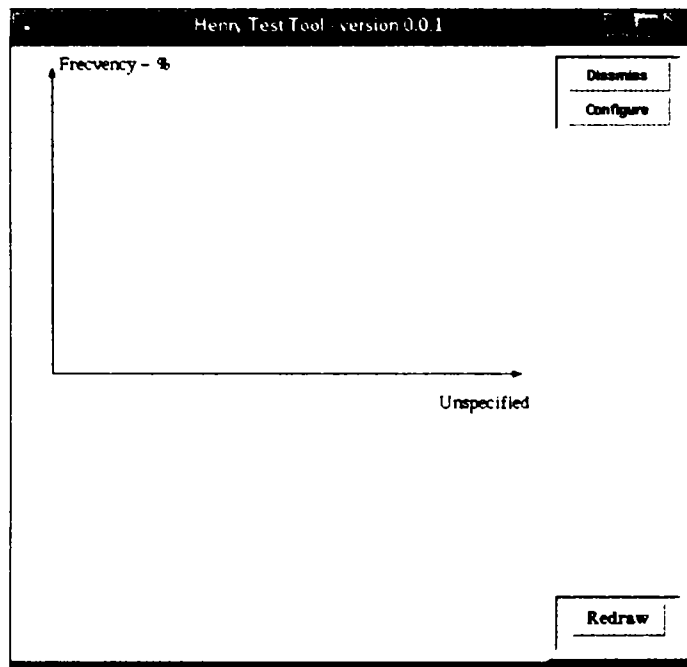


Fig. 201 Intrarea în submeniu Normalities Tests (z-test, f-test, Wilks-shapiro, multidir-test, stability)

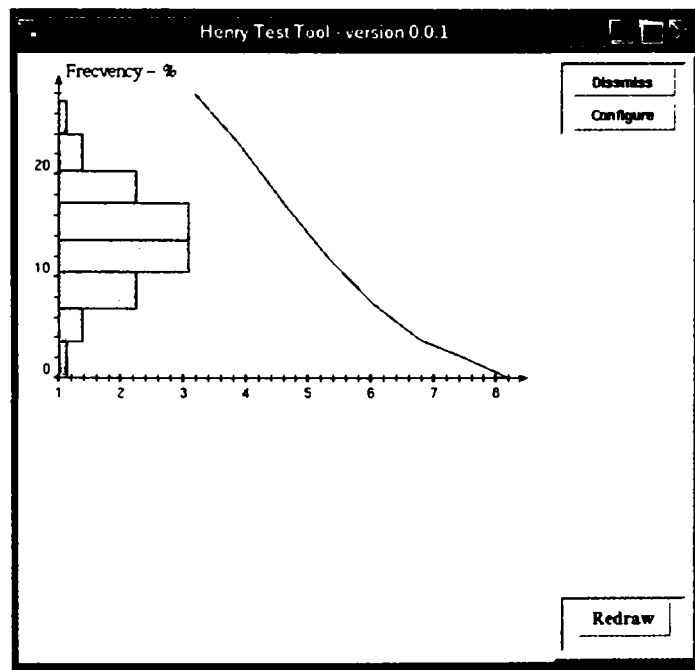


Fig. 202 Afisarea rezultatelor testelor de normalitate



### 5.3.5 R & R

#### 5.3.5.1 Testul R&R cu valori atributive

Permite determinarea repetabilității și reproductibilității sistemului de măsurare, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

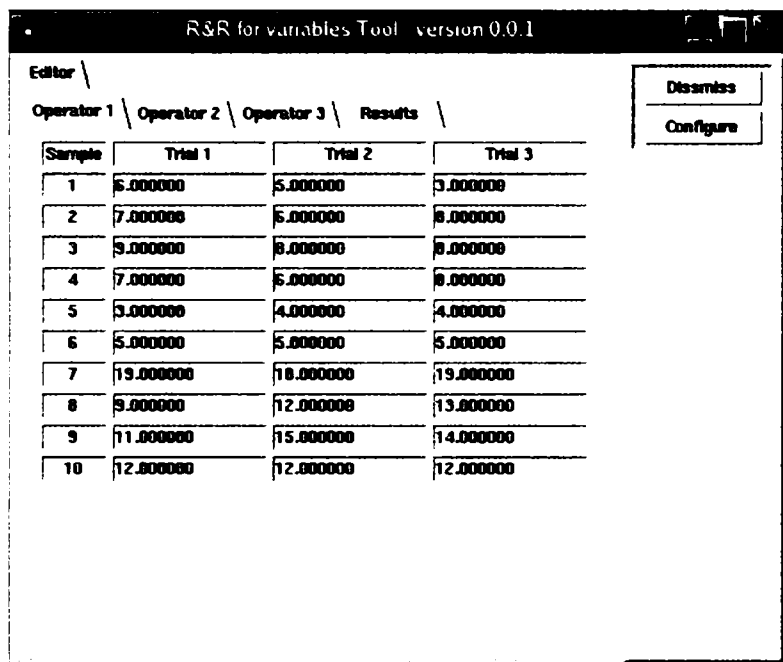


Fig. 203 Intrarea în submeniu R&R

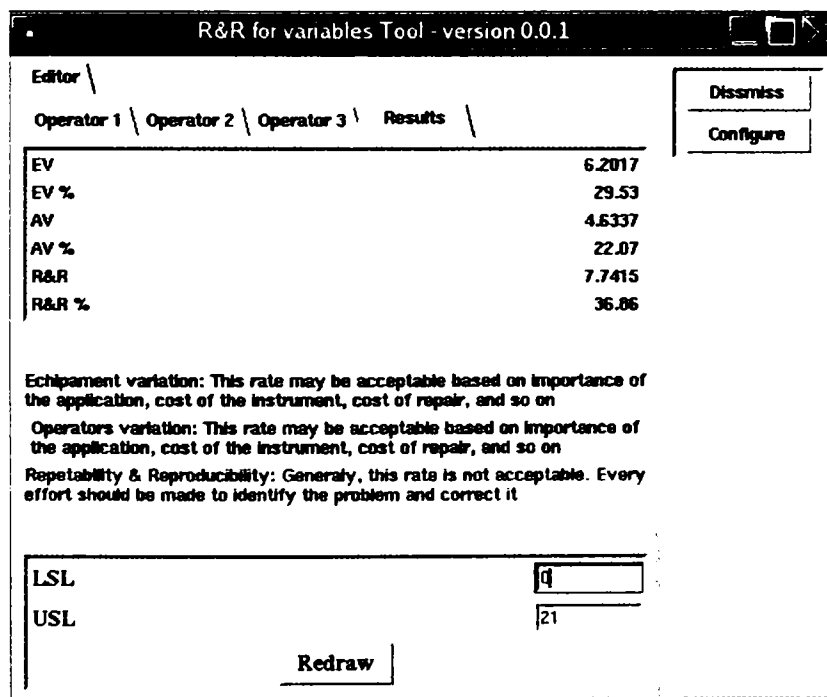


Fig. 204 Posibilitatea evaluarii rezultatelor pe operatori

### 5.3.6 Pareto

Permite analiza Pareto, și la intrarea în submeniu apare o fereastră ca și cea din figura următoare.

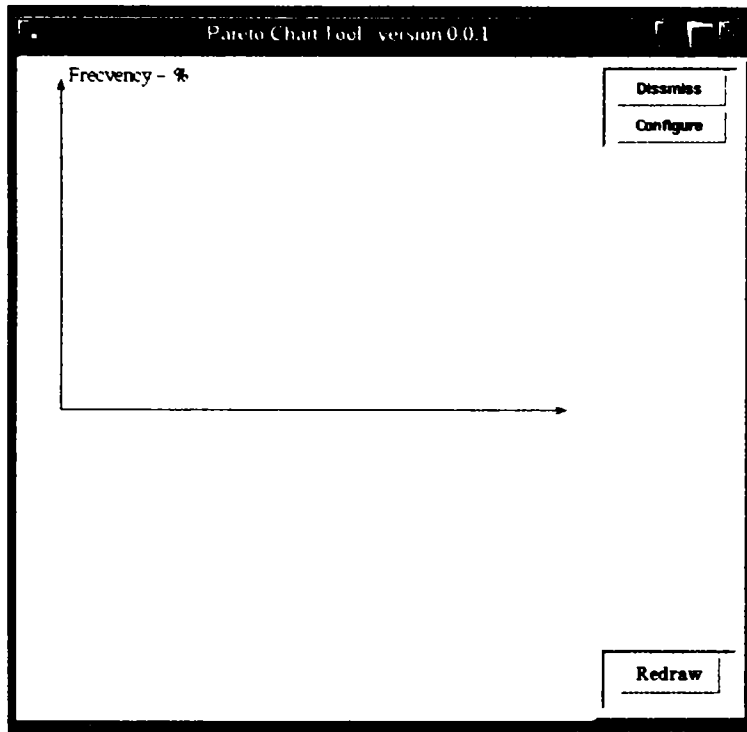


Fig. 205 Intrarea în submeniu Pareto

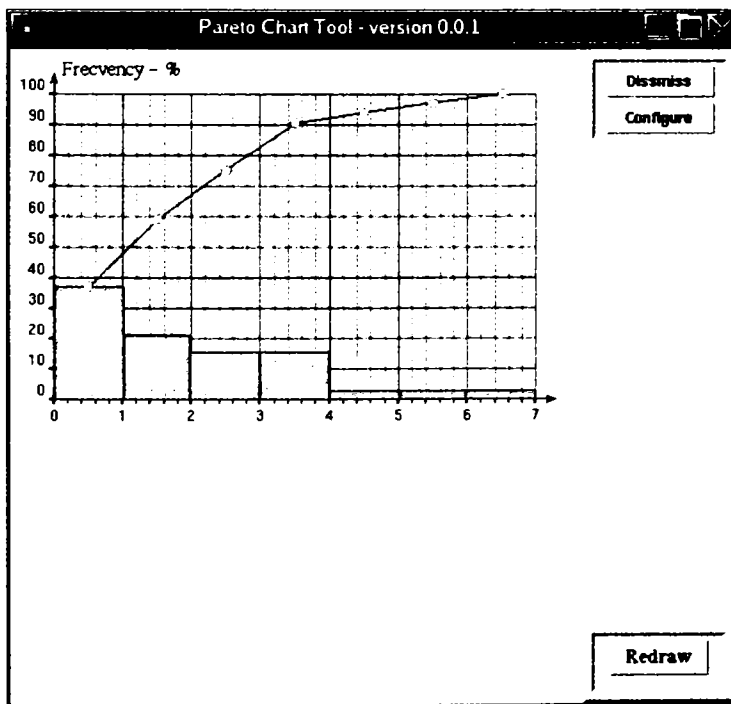


Fig. 206 Afisarea rezultatelor analizei Pareto

## 5.3.7 Implementarea programului Statexp

### 5.3.7.1 Tehnica folosită la implementare, subsistemele și modulele componente

Statexp este implementat în c/c++ și Tcl/Tk, folosind Itcl pentru programare obiectuală. Legătura dintre ele este asigurată prin intermediul bibliotecilor dinamice realizate folosind pachetul Swig. Modul de implementare permite ca programul să poată rula atât pe Windows cât și pe Linux sau alte sisteme de tip Unix.

Din punctul de vedere al modulelor este compus din:

- două module c/c++, fișierele statex.cc și statexp.h, care conțin codul propriu-zis și fișierele seplot.cc și seplot.h care conțin rutine adiționale care permit ca interfața grafică să fie mai ușor de gestionat
- un modul Tcl/Tk care conține partea de intergață cu utilizatorul
- trei fișiere de interfață pentru Swig, statexp.i, seplot.i și seconversion.i

### 5.3.7.2 Subsistemul Histograms

#### 5.3.7.2.1 Subsistemul Data Analysis

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet,

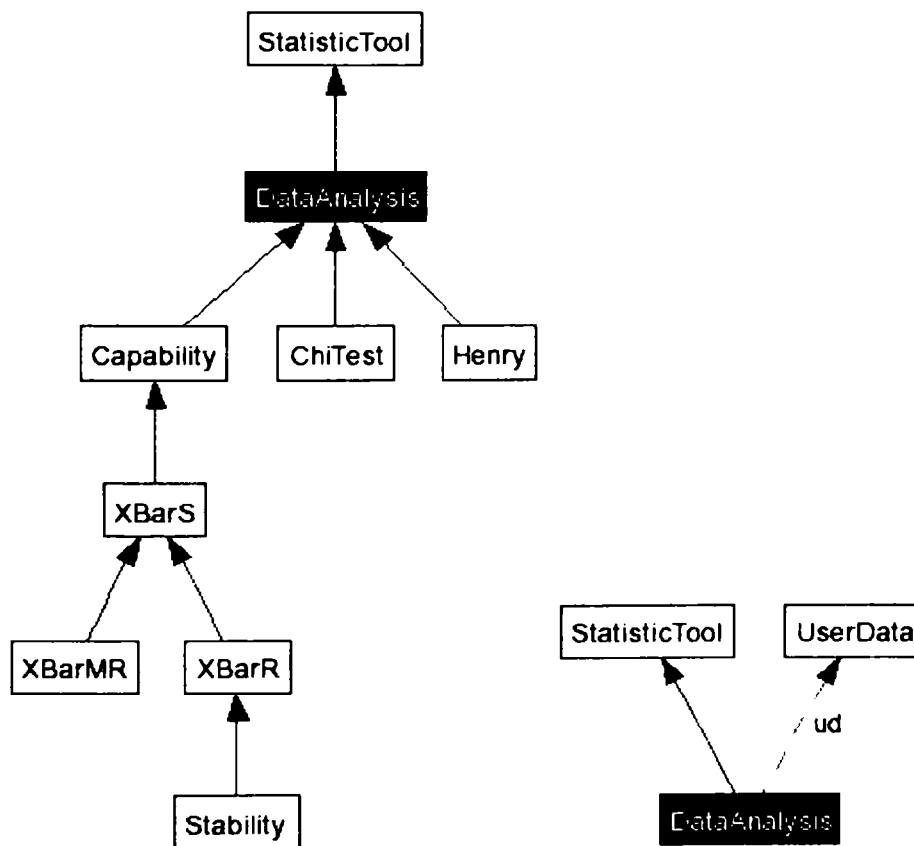


Fig. 207 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.2 Subsistemul Capability

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

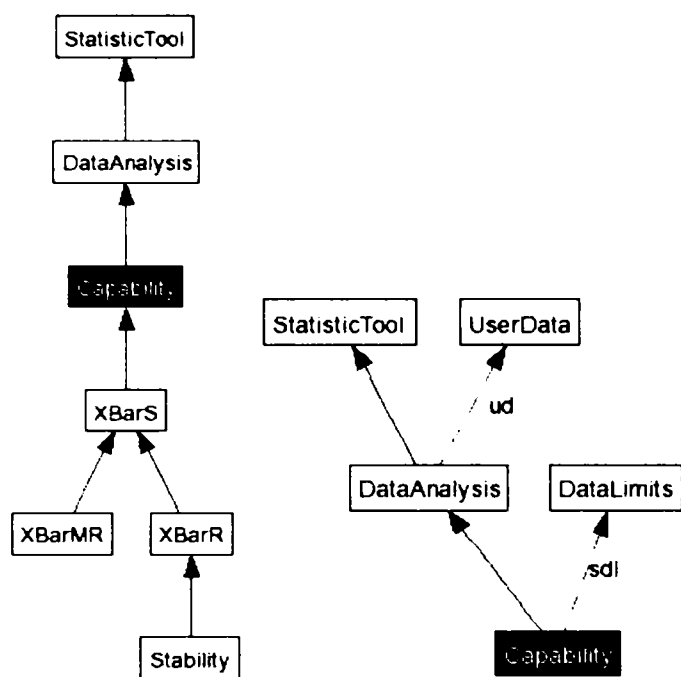


Fig. 208 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.3 Subsistemul Charts for variables

#### 5.3.7.3.1 Subsistemul X-bar-r 3 sigma și X-bar-r 2 sigma

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

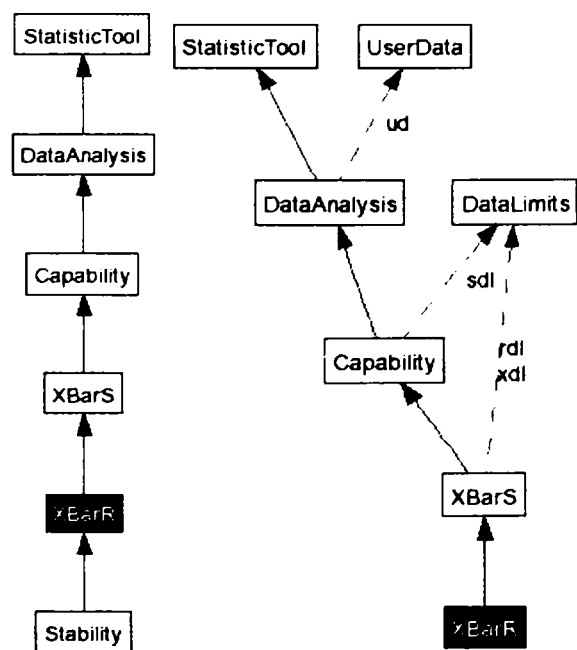


Fig. 209 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.3.2 Subsistemul X-bar-s

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

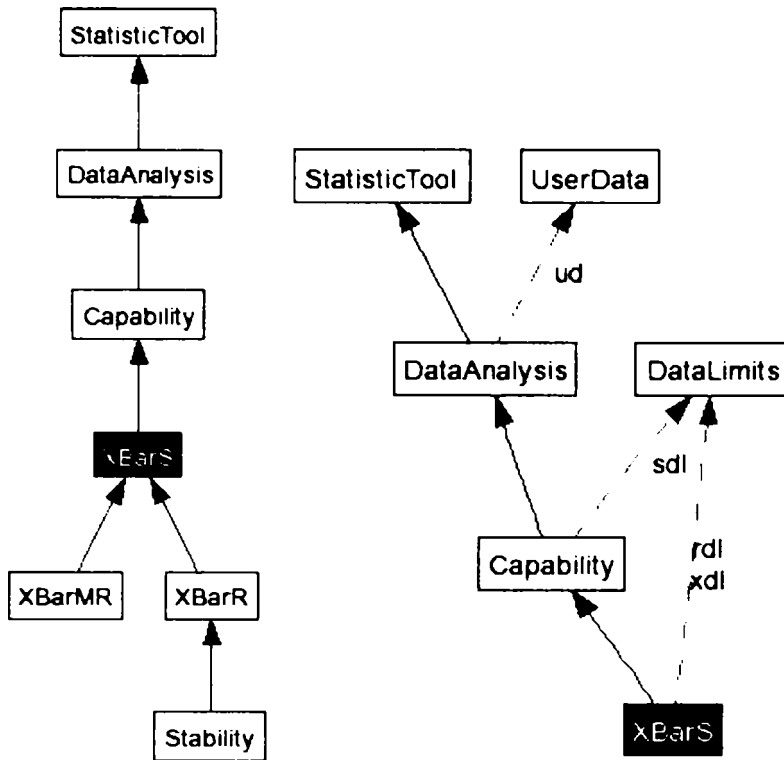


Fig. 210 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.3.3 Subsistemul X-chart moving-range

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

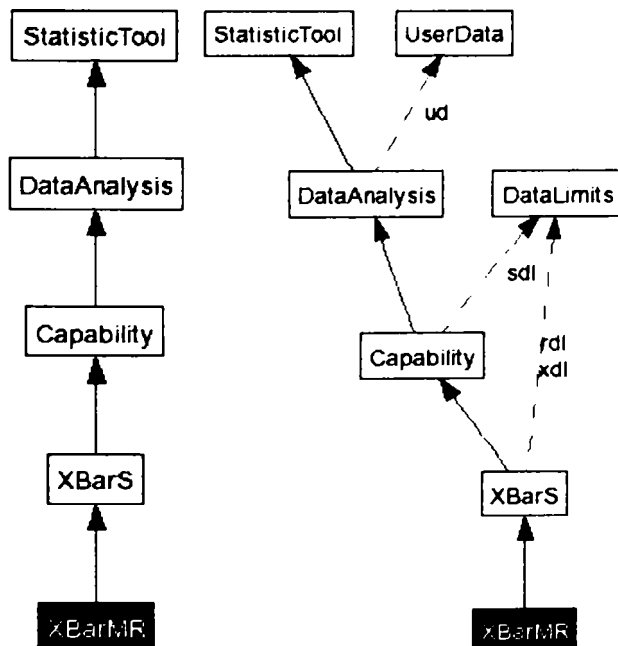


Fig. 211 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.4 Subsistemul Charts for atributives data

#### 5.3.7.4.1 Subsistemul p-charts constant size și p-charts variable size

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

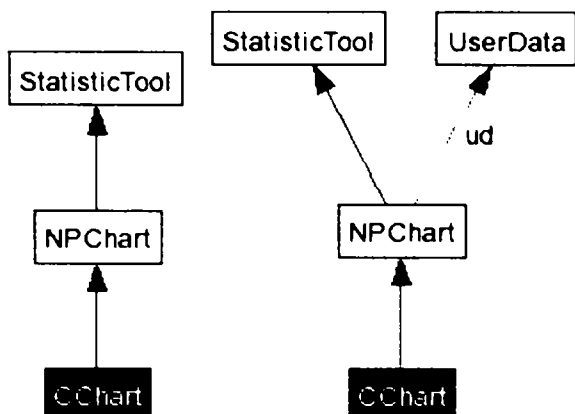


Fig. 212 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

#### 5.3.7.4.2 Subsistemul np-charts

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

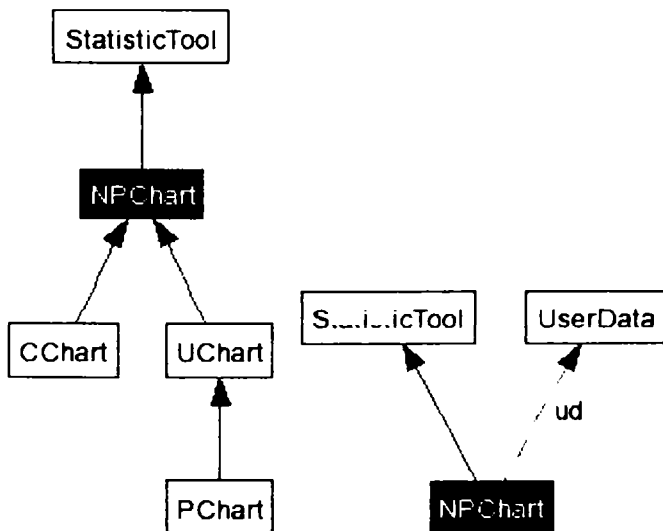


Fig. 213 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.4.3 Subsistemul c-charts

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

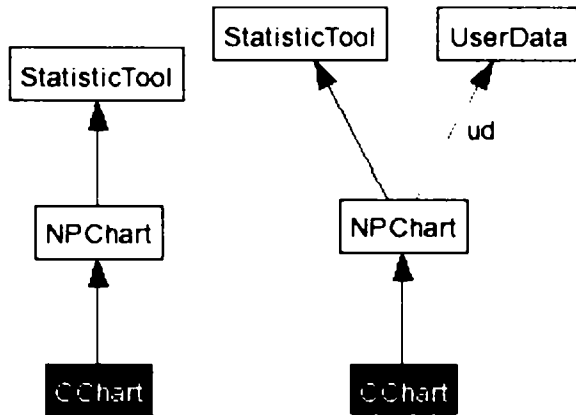


Fig. 214 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.4.4 Subsistemul u-charts

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet.

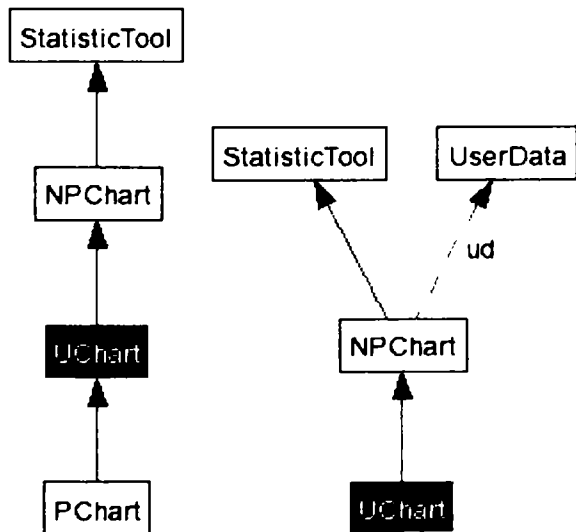


Fig. 215 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.5 Subsistemul Normalities Tests

#### 5.3.7.5.1 Subsistemul chi-square

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet,

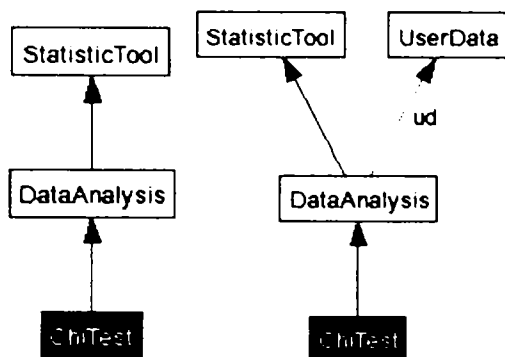


Fig. 216 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

#### 5.3.7.5.2 Subsistemul henry

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet,

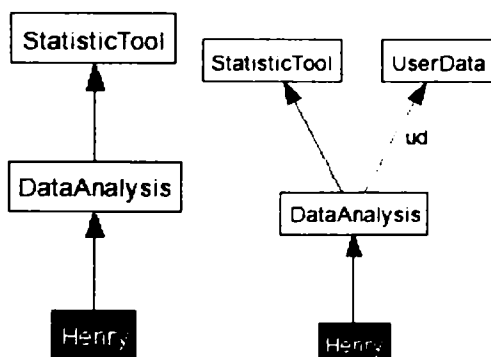


Fig. 217 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program

### 5.3.7.6 Pareto

Relația de moștenire a clasei cu celelalte clase din pachet,

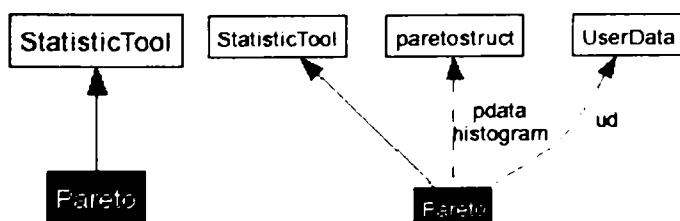


Fig. 218 Relația de colaborare, agregare a clasei cu celelalte clase din program



## 5.4 Utilizarea proceselor Markov în controlul calității

### 5.4.1 Introducere

În prima parte se va arăta cum se construiesc fișele  $p$  de control și cum interpretăm datele. Așa cum se va observa, datele pot fi folosite pentru luarea unor decizii tehnice sau determinarea implicațiilor financiare ale performanțelor procesului. În continuare se prezintă o metodă de determinare a implicațiilor financiare ale performanțelor procesului [57].

În prima etapă este necesar a se detalia fluxul procesului pentru produsul studiat, așa cum e prezentat în fig 219.

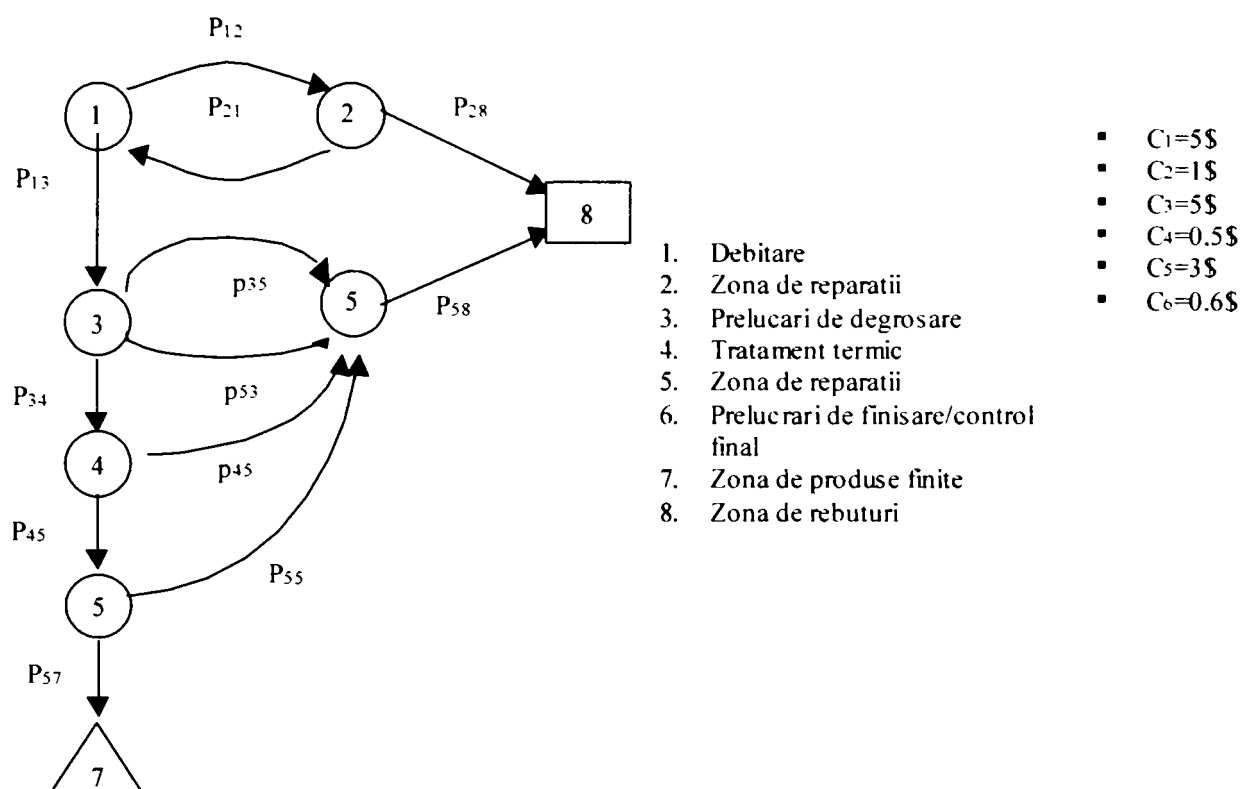


Fig. 219 Fluxul procesului

Semnificative sunt următoarele:

- Materialul urmează fluxul procesului. În etapa finală a auditului de calitate, când produsul este clasificat ca acceptat și este transferat în zona de livrare sau când este respins și este returnat fluxului de producție
- Avem doar două posibilități ca un produs să părăsească sistemul:
  - Acceptat ca produs (în faza finală a auditului de calitate)
  - Respins ca rebut (în diverse etape ale fazelor de controlor)
- Fiecare pas al procesului este legat de alți pași ai acestuia prin două mărimi diferite:
  - proporție conformități:            procentul de unități acceptate de la un pas al procesului la altul, procent notat cu  $p_{ij}$ ,

- costuri: costurile de producție pentru a trece o unitate de la un pas al procesului la altul, cost notat cu  $c_{ij}$ ,

#### 5.4.2 Procese Markov

Una dintre cele mai folosite metode de predicție structurală este metoda lanțurilor Markov. Metoda poate fi folosită de câte ori cunoaștem repartiția reală a elementelor constitutive ale procesului și de asemenea transformările care au avut loc în aceste elemente. Aplicarea acestei metode se bazează pe ipoteza că procesul are o evoluție dinamică în timp. Un lanț Markov este definit prin vectorul stării inițiale și prin matricea probabilităților de tranziție. Vectorul stării inițiale corespunde structurii procesului [8].

În acest caz, procesului de producție pot fi sintetizate într-o matrice ca următoarea:

$$P = \begin{pmatrix} Q & R \\ O & I \end{pmatrix} \quad (267)$$

Această matrice este constituită din patru submatrici, fiecare din ele având o semnificație relevantă:

$Q$  – matrice bidimensională. Această matrice conține probabilitățile de tranziție dintre pașii de producție și/sau pașii de control.

$R$  – matrice care conține probabilitățile de tranziție ca un produs să fie acceptat:

- la faza de acceptare finală sau
- în zona de rebuturi

$O$  – matrice care conține probabilitățile de acceptare în faza finală sau zona rebuturilor. Această matrice este o matrice nulă datorită faptului că este imposibil pentru un produs să fie reintrodus în fluxul de producție dacă deja a fost acceptat sau respins.

$I$  – aceasta este matricea unitate și reprezintă probabilitățile ca un produs să treacă de la un pas la altul în afara sistemului (pasul final de acceptare sau respingere)

Sunt câteva observații relative la aceste matrici. Dacă dorim să calculăm cât timp stă o componentă în proces, este nevoie să estimăm de câte ori această componentă trece printr-o fază specifică a procesului, notată cu “i” (indiferent dacă este o fază de producție sau de control). Acest calcul se face utilizând matricea P:

$$1 \times P \quad \text{începând cu faza “i” a procesului} \quad (268)$$

$$+ 1 \times P \quad \text{din nou în faza “i” după prima trecere} \quad (269)$$

$$+ 1 \times P \quad \text{din nou în faza “i” după a doua trecere} \quad (270)$$

+.....

Matricea  $Q$  conține probabilitățile ca o componentă să fie acceptată de la o fază specificată la alta printr-o singură trecere. Matricea  $Q^2$  ne dă probabilitățile ca o componentă să fie acceptată de la o fază specificată la alta din două treceri. Analog matricea  $Q^n$  ne dă probabilitățile ca o componentă fie acceptată de la o fază specificată la alta din  $n$  treceri.

Lanțul  $Q^0+Q^1+Q^2+Q^3+\dots$  caracterizează de câte ori procesul prezintă o stare neabsorbantă înainte de starea finală (în acest caz faza finală de acceptare). Cât despre definiția probabilităților, toate valorile din submatricea  $Q$  sunt subunitare. Acesta este motivul pentru care valoarea matricii  $Q^n$  tinde spre  $O$  cu creșterea lui  $n$ . Lanțul matricilor poate fi reprezentat prin:

$$x^0+x^1+x^2+x^3+x^4+\dots = (1-x)^{-1} \text{ for } |x| < 1 \quad (271)$$

$$Q^0+Q^1+Q^2+Q^3+\dots = (I-Q)^{-1}. \quad (272)$$

Pentru procesul de producție este foarte interesant să definim semnificația primei linii din matricea  $(I-Q)^{-1}$ . Această linie relevă de câte ori o componentă trece prin fazele de producție înainte de a părăsi procesul ca produs acceptat sau ca rebut.

Matricea  $R$  arată, așa cum s-a menționat, probabilitățile de tranziție ca un produs să treacă dintr-o fază specifică "i" într-o fază finală (fază de acceptare sau respingere) printr-o singură trecere. Trecerea de la o fază specifică de producție la aceleași stări finale sunt date de:

$$(Q \times R) \quad - \text{ pentru două treceri} \quad (273)$$

$$(Q^2 \times R) \quad - \text{ pentru trei treceri}$$

$$(Q^{n-1} \times R) \quad - \text{ pentru } n \text{ treceri}$$

Aceleași tranziții, dar pentru o valoare crescută a lui  $n$ , sunt guvernate de următorul lanț convergent:

$$(R)+(Q^1 \times R)+(Q^2 \times R)+(Q^3 \times R)+\dots = (I-Q)^{-1} \times R \quad (274)$$

Aplicând aceste calcule determinăm, după cum s-a specificat, probabilitățile matricii de absorbție notată cu  $A$  și definită de următoarea formulă:

$$A = (I-Q)^{-1} \times R. \quad (275)$$

Pentru procesul studiat matricea este următoarea:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{28} \\ 0 & 0 & 0 & p_{34} & p_{35} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & p_{46} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{53} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{58} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{65} & 0 & p_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad Q = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & 0 & 0 & 0 \\ p_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{34} & p_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & p_{46} \\ 0 & 0 & p_{53} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{65} & 0 \end{pmatrix}; \quad R = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & p_{28} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & p_{58} \\ p_{67} & 0 \end{pmatrix} \quad (276)$$

unde  $p_{ij}$  sunt probabilitățile de tranziție din starea "i" în starea "j".

matricea  $(I - Q)^{-1}$  are următoarea configurație:

$$(I - Q)^{-1} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{pmatrix} \quad (277)$$

Analizând prima linie a matricii  $(I - Q)^{-1}$ , putem stabili de câte ori o componentă intrată în fluxul de producție este acceptată în fiecare fază a procesului. Costul total așteptat este dat de următoarea formulă:

$$C_p = c_{11} * C_1 + c_{12} * C_2 + c_{13} * C_3 + c_{14} * C_4 + c_{15} * C_5 + c_{16} * C_6 \quad (278)$$

Produsele acceptate în final sunt cuantificate după determinarea matricia A a probabilităților de absorbție:

$$A = (I - Q)^{-1} * R = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \\ a_{51} & a_{52} \\ a_{61} & a_{62} \end{pmatrix} \quad (279)$$

Valoarea  $a_{11}$  reprezintă procentul unităților acceptate după un ciclu complet de producție și valoarea  $a_{12}$  reprezintă procentajul de produse rebutate.

Costul total unitar este determinat de următorul raport:

$$C_t = \frac{C_m + C_p}{a_{11}} \quad \text{unde} \quad (280)$$

---

$C_m$  - costul materialelor (50\$/unitate)

$C_p$  - costul estimat de producție dat prin formula (278)

$a_{11}$  - procentul de produse acceptate la final (date de matricea A a probabilităților de absorbție)

Metoda lanțului Markov aplicată în acest caz special ne dă costul total de producție (calculat cu formula (280)). Acest cost poate fi comparat cu costul total teoretic dat prin formula:

$$C_u = C_m + C_{pt} \quad (281)$$

unde:

$C_u$  - costul total teoretic

$C_{pt}$  - costul de producție teoretic:

$$C_1 + C_3 + C_4 + C_6 = 5 + 5 + 0,5 + 0,6 = 11,1(\$). \quad (282)$$

Probabilitățile de transfer sunt monitorizate utilizând metode variate, cel mai des folosind metode statistice. În anexa 7.8 se arată cum se aplică metoda lanțului Markov în procesul de producție menționat.

---

## 6 Concluzii finale și contribuții personale

### 6.1 Concluzii finale

La prelucrarea pieselor de precizie în industria constructoare de mașini, o parte importantă a normei de timp (uneori între 20% și 30%) este alocată operațiilor de măsurare și control. În unele situații speciale acest timp ajunge să fie chiar mai mare decât timpul de prelucrare. În condițiile actuale, în care creșterea productivității este hotărâtoare în lupta concurențială între întreprinderile producătoare, reducerea acestui timp de măsurare și control este o direcție de urmat. Mijloacele de control automat activ reușesc să îmbunătățească performanțele prin reducerea directă a timpului de măsurare dar și prin reducerea rebuturilor și reprecucerilor prin comanda organelor active ale mașinilor unelte sau a linilor automate de prelucrare în funcție de rezultatul măsurătorilor.

Firmele specializate și literatura de specialitate propun numeroase soluții tehnice. Utilizarea uneia sau alteia dintre soluții în practică este deseori limitată de specificul aplicațiilor. În consecință s-a încercat o analiză critică a diverselor tipuri de sisteme de control automat activ.

În capitolul 1 s-a făcut prezentarea sistemelor de control activ și a dispozitivului de comandă-control, în două subcapitole, în primul, 1.1 s-a făcut prezentarea sistemelor de control activ cu legătură rigidă iar în al doilea, 1.2 prezentarea sistemelor de control activ cele cu legătură elastică subliniindu-se faptul că soluțiile pentru prelucrările suprafețelor discontinue derivă din cele ale prelucrărilor suprafețelor continue.

În capitolul 2 s-a făcut prezentarea stadiului actual în prelucrarea suprafețelor discontinue prezentându-se elementele caracteristice ale acestora. În primul subcapitol, 2.1 au fost descriși senzorii și principiile lor de construcție, particularitățile specifice acestora și mecanismul de evitare a semnalelor false emise în prelucrarea suprafețelor discontinue. În subcapitolul următor, 2.2 s-au prezentat pe scurt sistemele expert dedicate controlului suprafețelor discontinue. Deoarece măsurarea, precizia și erorile acesteia sunt esențiale în sistemele de prelucrare, în special în cele cu control activ, în subcapitolele următoare ne-am ocupat de precizia obținerii și prelucrării informației de măsurare (în subcapitolul 2.3) și de erorile de măsurare datorate utilizării (în subcapitolul 2.4).

În capitolul 3 s-a făcut prezentarea structurii mijloacelor de control activ, în subcapitolul 3.1 fiind prezentate aspecte generale, clasificarea și conceperea acestora urmând ca în subcapitolul 3.2 să fie descrise elementele constructive, capul de măsurare, elemente de urmărire, traductoare, elemente de amortizare, elemente de protecție, dispozitive de introducere, menținere și retragere din zona de măsurare și unități electronice de achiziție, prelucrare, afișare și comandă. În subcapitolul 3.3 s-a prezentat capul de măsurare a suprafețelor cilindrice discontinue de tip DISCON 2E, schema constructivă și cea de montaj pe mașină.

---

În capitolul 4 s-a făcut prezentarea problemelor cauzate de imprecizia de măsurare în automatizarea controlului, începând cu aprecierea impreciziei în subcapitolul 4.1, problemele pe care le crează în automatizare în subcapitolul 4.2, subcapitol în care s-au prezentat și modul de alegere a raportului precizie de prelucrare/precizie de măsurare, stabilirea riscului producătorului și beneficiarului și dependența acestora de precizia mijloacelor de măsurare. În finalul capitolului, în subcapitolul 4.3 s-a prezentat eroarea așteptată la prelucrările cu control activ și s-a făcut o introducere în bazele reglării dimensiunii prelucrate descriindu-se metodele de reglare a acestora și modul de optimizare a reglării precum și influența numărului de piese, al corecției diametrului și a algoritmului de reglare.

În capitolul 5 s-au prezentat câteva posibilități de îmbunătățire a performanței sistemelor de control activ. În subcapitolul 5.1 este prezentat modelul teoretic de calcul al unui traductor capacitiv cu element sensibil de tip membrană circulară, dependența presiune-deformație a acestuia, relația dintre presiunea măsurată și capacitatea traductorului precum și relația sensibilității capacității în funcție de presiune și elementele constructive. În finalul subcapitolului s-a prezentat montajul folosit la conversia presiune-capacitate-frecvență și rezultatele măsurătorilor experimentale. În subcapitolul 5.2 s-a abordat problema utilizării sistemelor expert pentru controlul proceselor făcându-se o introducere în metodologia statistică și controlul calității. Tot în acest subcapitol se descrie utilizarea indicatorilor de capabilitate în controlul calității, analiza și evaluarea sistemului de măsurare prin metoda R&R (Repetabilitate și Reproducibilitate). Un alt aspect prezentat în acest capitol a fost urmărirea performanțelor proceselor. Urmărirea performanțelor proceselor se poate face de către operator, prin evaluarea rezultatelor măsurătorilor și compararea dispunerii acestor rezultate în cadrul câmpului de toleranță, o metodă simplă și eficientă de control fiind metoda PRE-Control. Urmărirea performanței proceselor de prelucrare se poate face însă mult mai eficient prin utilizarea sistemelor expert, așa numitele sisteme CAQ (Computer Aid Quality). În subcapitolul 5.3 s-a prezentat programul Statexp, un sistem CAQ conceput de către autor (coomponența și modul de implementare). În subcapitolul 5.4 s-a descris modul cum pot fi utilizate lanțurile Markov în managementul procesului de producție (integrarea aspectelor referitoare la costurile de prelucrare în luarea deciziilor manageriale).

---

## 6.2 Contribuții personale

În cele ce urmează se prezintă principalele contribuții ale autorului privind sistemele de control automat activ în general și a celor destinate rectificării suprafețelor discontinue în special.

1. S-a conceput de către autor și s-a realizat un nou model de traductor pneumo-capacitiv cu element sensibil tip membrană. Traductorul realizat experimental utilizează efectul variației capacității cu deformarea uneia dintre armaturi sub acțiunea unei presiuni.

Traductorul pneumo-capacitiv conceput de către autor a fost calculat pe baza modelului teoretic (expresia capacității teoretice, expresia simplificată a capacității teoretice și sensibilitatea traductorului capacitiv).

Modelul experimental a fost inclus într-un montaj oscilator sensibil la valoarea capacității relativ mică de ordinul zecilor de pF. Utilizarea acestui tip de montaj oscilator a fost impusă de caracteristicile tehnice ridicate, consumul redus și stabilitatea montajului la variațiile de temperatură.

Verificarile experimentale privind precizia de măsurare a traductorului pneumo-capacitiv au demonstrat calități superioare ale acestuia variația caracteristicii reale fiind încadrată în limita de  $\pm 0.03\%$  față de caracteristica teoretică. Soluția adoptată are numeroase avantaje tehnico-economice dintre care amintim simplitatea, costul redus și faptul că nu necesită conversia analog-numerică.

Soluția găsită poate fi subiectul unor cercetări ulterioare cu scopul de a îmbunătăți caracteristica traductorului pneumo-capacitiv (prin utilizarea unor materiale performante la construirea membranei circulare) și pentru optimizări constructive și adaptarea soluției existente pentru prelucrarea suprafețelor discontinue (prin utilizarea uneia dintre soluțiile practice frecvent de evitare a semnalelor false).

2. S-a definit un algoritm de implementare a unui mod eficient de control al proceselor de producție. După alegerea echipamentului de măsurare și control este esențial ca să se verifice capabilitatea echipamentului ales de a satisface cerințele elementare de precizie pentru aplicația specifică. De aceea s-a propus utilizarea metodei R&R (Repetabilitate și Reproducibilitate) care prin verificarea unui număr limitat de piese poate să indice măsura în care echipamentul de măsurare și control răspunde cerințelor. Analiza măsurătorilor făcute pe eșantionul ales poate să indice mărimea erorilor sistematice și aleatoare din utilizarea echipamentului de măsurare și control. Metoda poate fi aplicată atât echipamentelor de măsurare prin variabile cât și echipamentelor de control atributiv.

După validarea echipamentului de măsurare și control se recomandă analiza stabilității procesului prin aplicarea tehnicilor de control statistic al procesului. Lucrarea prezintă regulile de bază în aplicarea raționamentelor statistice. Metoda de control statistic al procesului este aplicabilă atât în cazul controlului caracteristicilor măsurabile cât și în cadrul controlului caracteristicilor



---

atributive. Regulile descrise sunt usor de implementat în cadrul unor sisteme expert de control al procesului (automate de control, sisteme de conducere a calității, etc). Scopul principal al analizei stabilității procesului este acela de identificare a tendințelor asignabile și de eliminare a cauzelor lor. Lucrarea prezintă și câteva sugestii (recomandări) de eliminare a cauzelor asignabile ținând cont de experiența acumulată din aplicarea în practica a metodelor de Control Statistic al Procesului (metoda SPC-Statistical Process Control)

Odată eliminate cauzele care duc la tendințe de instabilitate a procesului, ca rezultat se obține un proces predictibil. Verificarea normalității distribuției se face pentru a stabili dacă procesul studiat se supune distribuției Gauss-Laplace sau unui alt tip de distribuție.

O altă întrebare la care se cer răspunsuri imediate de fiecare dată când se urmărește un proces de producție este aceea dacă procesul în cauza are sau nu capacitatea de a furniza repere conforme specificației. Algoritmul de control al procesului recomandă analiza capacității procesului prin utilizarea indicilor de capacitate a proceselor  $C_p$ - indicele de capacitate pe termen lung și  $C_{pk}$ - indicele de centrare a procesului. Valorile limită ale indicilor de capacitate se aleg în funcție de tipicul procesului tehnologic (proces dependent de setările inițiale ale mașinilor, proces dependent de calificarea și experiența forței de muncă, proces dependent de calitatea materialelor procesate, proces dependent de factori cu variabilitate cunoscută, etc) și de politica în domeniul calității aplicată în industria respectivă:

- politica bazată pe AQL (Acceptable Quality Level)- nivelul calității acceptabile unde prin contract se admite livrarea unui anumit nivel de produse defective care să nu depășească o limită definită în baza unui standard. Această politică este practică în industrie cu riscuri mici și medii de a aduce atingere siguranței utilizatorului final (electronică, textile, etc).
- politica bazată pe Zero Defecte: obiectivul este acela de a livra produse fără defecte. Această politică este practică în industrie cu riscuri mari de a aduce atingere utilizatorului final (industria aeronautică, industria auto, etc)

Indiferent de valoarea limită a indicelui de capacitate, se concide că procesul este capabil de a furniza o fracțiune cât mai mică de defecte dacă indicele de capacitate  $C_p$  este supraunitar.

Calculul probabilității de rebut este ultima subetapă în analiza capacității fabricației. Obiectivul subetapei este de a determina probabilitatea depășirii limitelor câmpului de toleranță prescris. Literatura de specialitate oferă tabele de calcul al fracțiunii defective în funcție de tipul distribuției măsurătorilor.

3. Lucrarea propune o modalitate de aplicare a metodelor de control statistic al procesului de prelucrare în cazul în care nu este disponibil un sistem de achiziție și procesare automată a datelor. Metoda este denumită metoda de Pre-control și are la bază utilizarea unui set de 2 reguli

---

simple derivate din probabilitățile statisticii industriale. Distribuția valorilor măsurate este corelată cu domeniul de pre-control calculat ca jumătatea câmpului de toleranță specificat.

Prima regulă este aceea a validării unui proces și a parametrilor de lucru doar în cazul în care 5 valori măsurate consecutiv sunt situate în domeniul de pre-control. Validarea în acest mod al proceselor tehnologice furnizează operatorilor o metodă simplă de a califica doar acei parametri de proces capabili de a realiza produse conforme.

A doua regulă este legată de monitorizarea unui proces gata validat. Dispunerea valorilor măsurate pentru un eșantion de 2 piese se poate încadra în una din situațiile:

- Ambele măsurători sunt în zona de pre-control (zona verde) sau o măsurătoare este în zona verde iar cealaltă este în afara zonei de pre-control dar încă în câmpul de toleranță impus: în acest caz procesul este încă sub control și parametrii de procesare continuă furnizarea de produse bune
- Ambele măsurători sunt în afara zonei de pre-control dar încă în câmpul de toleranță impus sau una dintre măsurători este în afara zonei specificate: în acest caz procesul este în afara controlului și parametrii de procesare trebuie ajustați/recalificați.
- Ambele măsurători sunt în afara zonei de pre-control dar încă în câmpul de toleranță impus iar în plus sunt în zone opuse față de mijlocul câmpului de toleranță: întregul proces de verificare trebuie regândit iar parametrii de procesare re-validați pentru că sunt vizibile semne de instabilitate a procesului.

Metoda de pre-control este una simplă care poate fi ușor implementată fără a necesita personal calificat în domeniul statisticii industriale. Acest lucru este susținut și de limitarea regulilor de urmărit știut fiind faptul că operatorii nu pot să urmărească un număr mai mare de trei reguli de ajustare.

Un alt avantaj al acestei metode este reducerea numărului de mostre utilizate pentru validarea unui proces și a parametrilor lui de procesare: în mod normal literatura de specialitate recomandă minimum 20 de eșantioane cu minim 125 de măsurători în total. Metoda de pre-control utilizează un număr de 5 măsurători ceea ce duce la reducerea timpului de validare a unui proces și la importante avantaje economice.

4. S-a conceput de către autor un sistem expert de conducere a calității StatExp. Sistemul face parte din clasa sistemelor CAQ (Computer Aid Quality) care integrează metode clasice în managementul calității.

Integrarea metodelor și instrumentelor clasice din managementul calității este realizată prin module separate pentru fiecare metodă/instrument în parte. Introducerea datelor se poate face în

---

cazul fiecărui modul fie manual fie prin achiziția de date direct din proces în cazul în care se dispune de posibilitatea conectării echipamentelor de măsurare și control direct la sistemul StatExp.

Modulele integrate sunt după cum urmează:

- Modulul Histogame
- Modulul Fișe de control statistic pentru măsurători variabile
- Modulul Fișe de control statistic pentru măsurători atributive
- Modulul teste de normalitate
- Modulul R&R (Repetabilitate și Reproductivitate)
- Modulul Analizei Pareto

Modulul Histograme este destinat verificării distribuției valorilor măsurate (independent de limitele specificate). Utilizarea acestui modul duce la obținerea graficului frecvențelor și, în cazul în care se cunosc limitele specificate, se poate face în mod automat și o estimare a indicilor de capabilitate precum și a fracțiunilor de repere defective.

Modulul fișe de control statistic (pentru măsurători atributive și variabile) este utilizat pentru urmărirea stabilității proceselor tehnologice. Modulul este astfel conceput încât prin introducerea datelor măsurătorilor sistemul să evidențieze și zonele guvernate de cauze sistematice de instabilitate. Acest modul este de ajutor în conducerea proceselor tehnologice prin ușurința cu care sunt evidențiate situațiile afară din control și prin complexitatea situațiilor atipice care pot fi semnalate.

Modulul testelor de normalitate este utilizat pentru a testa concordanța repartiției experimentale rezultate din cercetare sau colectare de date cu repartiția teoretică. Sistemul StatExp pune la dispoziție mai multe posibilități de testare a normalității distribuției experimentale (student, chi-square, f-test, wilks-shapiro, multidir-test, stability)

Modulul R&R (Repetabilitate și Reproductibilitate) utilizează modelul de calcul al capabilității unui anumit sistem de măsurare bazat pe cei doi indici de repetabilitate și reproductibilitate a măsurătorilor. Modulul tratează ambele cazuri întâlnite în practică: caracteristici atributive și caracteristici variabile. Modulul poate face și o analiză a dispunerii valorilor măsurate prin trecerea în mod automat la modulul de fișe statistice.

Ultimul modul integrat în cadrul sistemului StatExp este acela al Analizelor Pareto. Utilizatorul poate să dispună analiza efectelor și impactul acestora asupra performanței procesului tehnologic prin utilizarea metodei Pareto (cunoscută și sub denumirea 80-20 sau diagrama A-B-C). În acest fel cauzele cu efect majoritar asupra evoluției procesului tehnologic pot fi ușor scoase în evidență împreună cu ponderea/contribuția lor asupra performanței procesului.

Sistemul StatExp a fost testat pe numeroase studii de caz cu date luate din activitatea de zi cu zi din întreprinderea în care autorul își desfășoară activitatea:

- 
- Analiza statistică a proceselor utilizând fișele de control statistic (pentru caracteristici atributive și pentru caracteristici variabile). Caracteristicile studiate sunt diverse (de la caracteristici dimensionale până la proprietăți mecanice)
  - Analiza capabilității echipamentelor de măsurare și control prin aplicarea metodei R&R-Repetabilitate și Reproducibilitate (pentru caracteristici atributive și pentru caracteristici variabile). Mijloacele de măsurare și control evaluate sunt diverse și acoperă o plajă largă de precizii (de la precizii de ordinul micrometrilor până la precizii de ordinul zecimilor de milimetri).
  - Analiza performanțelor furnizorilor utilizând fișele de capabilitate și a histogramelelor.

Sistemul s-a dovedit robust și deosebit de util în procesarea automată a datelor. Versiunea actuală a sistemului StatExp se poate optimiza/îmbunătăți prin integrarea altor metode și instrumente din domeniul managementului calității (modulul FMEA- Failure Mode Effect Analysis sau Analiza Modulului de Defectare și a Efectelor lor, conducerea proceselor tehnologice de tip Markov, etc).

5. Lucrarea prezintă și un mod de a lega indicatorii de performanță tehnică a proceselor de producție de performanța economică a acestora. Contribuția personală este aceea de a utiliza teoria proceselor Markov în practica managementului calității. Datele culese de la diverse puncte de control al unei linii de fabricație pot fi procesate ținând cont de matricea de transformare și de absorbție a sistemului tehnologic. În acest fel în orice moment se poate calcula costul de procesare și se poate compara acest cost cu cel estimat. Managementul pe baza proceselor Markov pune la dispoziție o metodă foarte utilă de identificare a eficacității liniei de fabricație. Integrarea analizei pe baza proceselor de tip Markov se poate face și prin colectarea datelor de la un sistem de tip CAQ (Computer Aid Quality) în general, și de la sistemul StatExp în particular. În acest fel se poate lua o decizie în timp real de a intervenii în cadrul liniilor de fabricație atunci când se constată deviații de la costurile estimate.

## 7 Anexe

### 7.1 Studiu de caz la analiza capabilității unui proces

În studiul de caz prezentat în continuare facem analiza capabilității pentru o caracteristică de tip variabilă a unui lagăr pentru o bușă, prin două metode:

a. folosind un fișier Excel special conceput pentru acest tip de analiză, prezentat mai jos:

**Process Capability Analysis**

**LAGERBUCHSE Sw.(1)-991800363800**

**Desen Numar: 9918003638**

**Index (05/06.02.04**

**Dimensiune Nominala**

12.40

**Toleranta Superioara**

12.40

**Toleranta Inferioara**

12.30

**DATA    cavitate 1    cavitate 2    cavitate 3    cavitate 4    cavitate 5    cavitate 6    cavitate 7    cavitate 8**

<b>1</b>	12.30	12.32	12.30	12.29	12.20	12.22	12.20	12.17
<b>2</b>	12.26	12.32	12.29	12.25	12.20	12.21	12.23	12.18
<b>3</b>	12.26	12.29	12.26	12.25	12.21	12.20	12.19	12.16
<b>4</b>	12.24	12.32	12.32	12.26	12.20	12.20	12.20	12.20
<b>5</b>	12.23	12.28	12.25	12.25	12.20	12.19	12.20	12.17
<b>6</b>	12.27	12.27	12.25	12.24	12.19	12.19	12.23	12.25
<b>7</b>	12.24	12.27	12.28	12.26	12.22	12.19	12.20	12.17
<b>8</b>	12.24	12.29	12.26	12.26	12.23	12.19	12.19	12.18
<b>9</b>	12.30	12.30	12.26	12.29	12.20	12.17	12.21	12.21
<b>10</b>	12.22	12.31	12.28	12.25	12.26	12.19	12.20	12.16

<b>Media</b>	<b>12.236</b>
<b>Deviatie Standard</b>	<b>0.044</b>

<b>Cp</b>	<b>0.378</b>
<b>Cpl</b>	<b>-0.488</b>
<b>Cpu</b>	<b>1.245</b>
<b>Cpk</b>	<b>-0.488</b>

Așa cum se observă, după introducerea datelor, cele 80 de valori măsurate, aranjarea în grupe de câte 10, introducerea valorilor limitelor specificate este necesară modificarea formulei de calcul a mediei pentru a cuprinde domeniul din tabel unde au fost introduse datele și se calculează automat valorile pentru medie, abaterea medie standard, Cp, Cpl, Cpu și Cpk.

b. folosind modulul Capabilities al programului Statexp:

<b>Cases:</b>	80
<b>Cases offset:</b>	0
<b>Samples:</b>	10
<b>Precision:</b>	0.2
<b>Lower spec:</b>	12.3
<b>Upper spec:</b>	12.4
<b>Sigma estimation method:</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Range</b>	
<input type="checkbox"/> <b>Stddev</b>	
<b>X axis title:</b>	<input type="text"/>
<b>Redraw</b>	

Fig. 220 încărcarea datelor auxiliare necesare analizei

Analiza datelor a decurs similar, adică sau încărcat datele dintr-un fișier text unde erau dispuse într-o singură coloană și s-au completat valorile pentru numărul eșantioanelor dintr-o grupă, Samples, limitele specificate, inferioară ( Lower spec.) și superioară (Upper spec.) iar după apăsarea butonului Redraw (vezi Fig. 220), s-au calculat automat, pe lângă valorile menționate la punctul anterior, un set de valori suplimentare utile la analiză (vezi Fig. 221), precum și reprezentările grafice, histograma, curba lui Gauss și limitele specificate (vezi Fig. 222).

<b>Mean</b>	<b>12.236</b>
<b>Std Dev</b>	<b>0.044</b>
<b>+3.00*Std Dev</b>	<b>12.368</b>
<b>-3.00*Std Dev</b>	<b>12.103</b>
<b>Sigma</b>	<b>0.020</b>
<b>Subgroups</b>	<b>8</b>
<b>Population</b>	<b>80</b>
<b>Center spec</b>	<b>12.350</b>
<b>Capability index(Cp)</b>	<b>0.378</b>
<b>Process perf.(Pp)</b>	<b>0.821</b>
<b>Inverse index(Or)</b>	<b>2.642</b>
<b>Upper index(Cpu)</b>	<b>1.245</b>
<b>Lower index(Cpl)</b>	<b>-0.488</b>
<b>Cpk index</b>	<b>-0.488</b>
<b>Ppk index</b>	<b>-1.059</b>

	Product		
	above spec	below spec	beyond spec
<b>Estimated( based on range)</b>	<b>0.01 %</b>	<b>92.85 %</b>	<b>92.86 %</b>
<b>Actual</b>	<b>0.00 %</b>	<b>99.93 %</b>	<b>99.93 %</b>

Fig. 221 valorile calculate în urma analizei

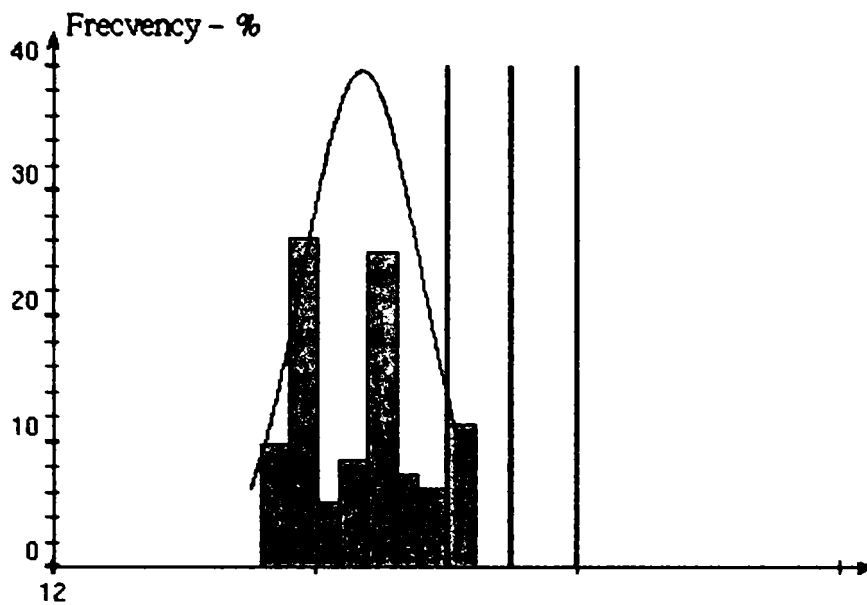


Fig. 222 histograma, curba lui gauss și limitele specificate

Analizând comparativ cele două metode ajungem la concluzia că folosirea programului Statexp este net avantajoasă deoarece:

- din afișarea histogramei s-a putut deduce că procesul nu este în control, apariția celor două maxime pe histogramă ne arată că avem două serii de date (caz identificat ulterior prin analiza folosind modulul X bar R)
- preluarea datelor s-a făcut simplu prin încărcarea fișierului care le conține, ne mai fiind necesară gruparea lor, și în plus prin modificarea valorilor Cases și Cases Offset se puteau analiza mai puține date decât au fost încărcate începând de la o poziție dată de valoarea lui Cases Offset.
- s-a micșorat posibilitatea de a trage concluzii incorecte din folosirea incorectă a metodei, prin micșorarea numărului de pași care trebuie făcuți (în metoda de la punctul a, dacă se uită să se facă modificarea domeniului în care sunt inserate datele, luându-se în calcul doar parte din ele, sunt afectate toate valorile calculate)

## 7.2 Studiu de caz la analiza cu fișa de control x-bar R

Aplicarea programului StatExp pentru analiza unui proces: utilizarea fișei SPC pentru caracteristici variabile.

Fișa R este fără situații în afară din control iar fișa x este în aceeași situație.

Capabilitatea procesului este acceptabilă dar ocupă tot câmpul de toleranță,  $C_p = 1$ , iar  $C_{pk}$  arată faptul că suntem aproape de limita inferioară, procesul este deviat spre una din limite.

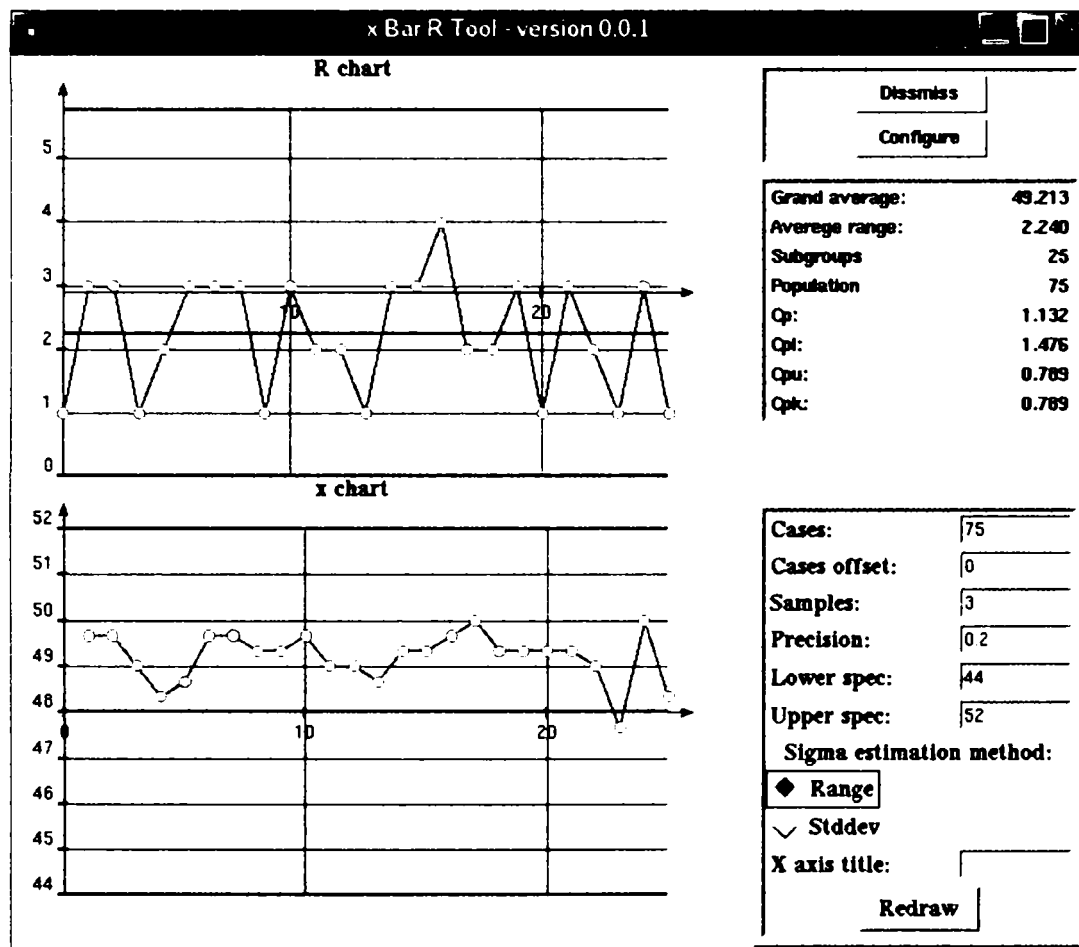


Fig. 223 Fișa de variație a amplitudinilor și valorilor medii

Indicii de capabilitate departe de valorile țintă sunt cauzati de limitele mari de variație ale amplitudinii din fișa R.

În concluzie este necesară îmbunătățirea performanțelor procesului ca să se atingă limitele impuse pentru indicii de capabilitate,  $C_p = 2$  și  $C_{pk} = 1.67$ .



### 7.3 Studiu de caz la analiza R&R pentru variabile

Aplicarea metodei R&R pentru calificarea unui echipament de control destinat caracteristicilor variabile.

- Utilizarea unui tabel Excel

Testul de Repetabilitate si Reproducibilitate													
Produs: Draht		Tester MD-I-L-050			Completed by: Dan TULYAN								
Caracteristica 990300738900					Toleranta superioara			232			Date: 12-Feb-06		
Numar operatori (2 or 3)		3			Toleranta inferioara			231					
Numar teste (1-3)		3											
Numar mostre (1-10)		10											
Data	Operator 1:				Operator 2:				Operator 3:				
	Trial			Range	Trial			Range	Trial			Range	
Mostre #	1	2	3		1	2	3		1	2	3		
1	231.50	231.60	231.50	0.10	231.60	231.60	231.60	0.00	231.60	231.70	231.60	0.10	
2	231.80	231.80	231.80	0.00	231.80	231.80	231.80	0.00	231.80	231.80	231.80	0.00	
3	231.50	231.50	231.50	0.00	231.50	231.50	231.50	0.00	231.50	231.50	231.50	0.00	
4	231.60	231.60	231.60	0.00	231.60	231.60	231.60	0.00	231.60	231.60	231.60	0.00	
5	231.70	231.60	231.70	0.10	231.60	231.50	231.50	0.10	231.60	231.60	231.60	0.00	
6	231.60	231.60	231.60	0.00	231.60	231.60	231.60	0.00	231.60	231.60	231.60	0.00	
7	231.60	231.60	231.60	0.00	231.70	231.60	231.60	0.10	231.60	231.70	231.60	0.10	
8	231.60	231.50	231.70	0.20	231.50	231.50	231.50	0.00	231.50	231.50	231.50	0.00	
9	231.70	231.70	231.70	0.00	231.70	231.70	231.70	0.00	231.70	231.70	231.70	0.00	
10	231.80	231.80	231.80	0.00	231.80	231.80	231.80	0.00	231.80	231.80	231.80	0.00	
Media Amplitudinilor				0.04				0.02				0.02	
Media Mostrelor				231.64				231.63				231.64	
Amplitudinea Amplitu		0.027		Repetabilitatea (EV)				0.08133		Analiza toleranțelor			
Amplitudinea X-bar		0.013		Reproducibilitatea (AV)				0.03279		8.13%			
				Repetabilitatea si Reproducibilitatea (R&R)				0.0877		3.28%			
				Limite de control pentru amplitudini				0.06864		8.77%			
Note: orice amplitudine afara limitelor poate fi rezultatul unor cauze asignabile. Identificati-le si le corectati. Reverificati si recalculati statistica.													
<b>Concluzii:</b>													
- din acest studiu a echipamentului de masurare, se vede ca se poate utiliza pentru tolerante mai mici de 1 mm (procentul R&R este mai mic de 10%)													
<b>Actiuni:</b>													
- nu sunt necesare alte actiuni													
- acest studiu poate fi utilizat pentru calificarea altor echipamente de masurare similare													
<b>Remarci:</b>													
<10% - echipamentul poate fi utilizat pentru control/masurare													
10%-30% - sunt necesare actiuni corective. Echipamentul poate fi eliberat doar cu acordul QA Manager.													
>30% - Echipamentul nu poate fi utilizat.													

- Utilizarea programului Statexp (modulul R&R)

Aceleasi date au fost analizate cu ajutorul programului Statexp (rezultatele fiind prezentate in figurile de mai jos).

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	231.500000	231.600000	231.500000
2	231.800000	231.800000	231.800000
3	231.500000	231.500000	231.500000
4	231.600000	231.600000	231.600000
5	231.700000	231.600000	231.700000
6	231.600000	231.600000	231.600000
7	231.600000	231.600000	231.600000
8	231.600000	231.500000	231.700000
9	231.700000	231.700000	231.700000
10	231.800000	231.800000	231.800000

Fig. 224 Datele pentru operatorul 1

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	231.600000	231.600000	231.600000
2	231.800000	231.800000	231.800000
3	231.500000	231.500000	231.500000
4	231.600000	231.600000	231.600000
5	231.600000	231.500000	231.500000
6	231.600000	231.600000	231.600000
7	231.700000	231.600000	231.600000
8	231.500000	231.500000	231.500000
9	231.700000	231.700000	231.700000
10	231.800000	231.800000	231.800000

Fig. 225 Datele pentru operatorul 2

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	231.600000	231.700000	231.600000
2	231.800000	231.800000	231.800000
3	231.500000	231.500000	231.500000
4	231.600000	231.600000	231.600000
5	231.600000	231.600000	231.600000
6	231.600000	231.600000	231.600000
7	231.600000	231.700000	231.600000
8	231.500000	231.500000	231.500000
9	231.700000	231.700000	231.700000
10	231.800000	231.800000	231.800000

Fig. 226 Datele pentru operatorul 3

Concluziile analizei sunt afisate in mod automat de catre programul Statexp.

In acest fel se evita eventualele greseli de calcul. In plus aceleasi date pot fi procesate in alte module ale programului in cazul in care este nevoie de o analiza a situatiilor afara din control statistic (de exemplu in modulul fise de control X-Bar R).

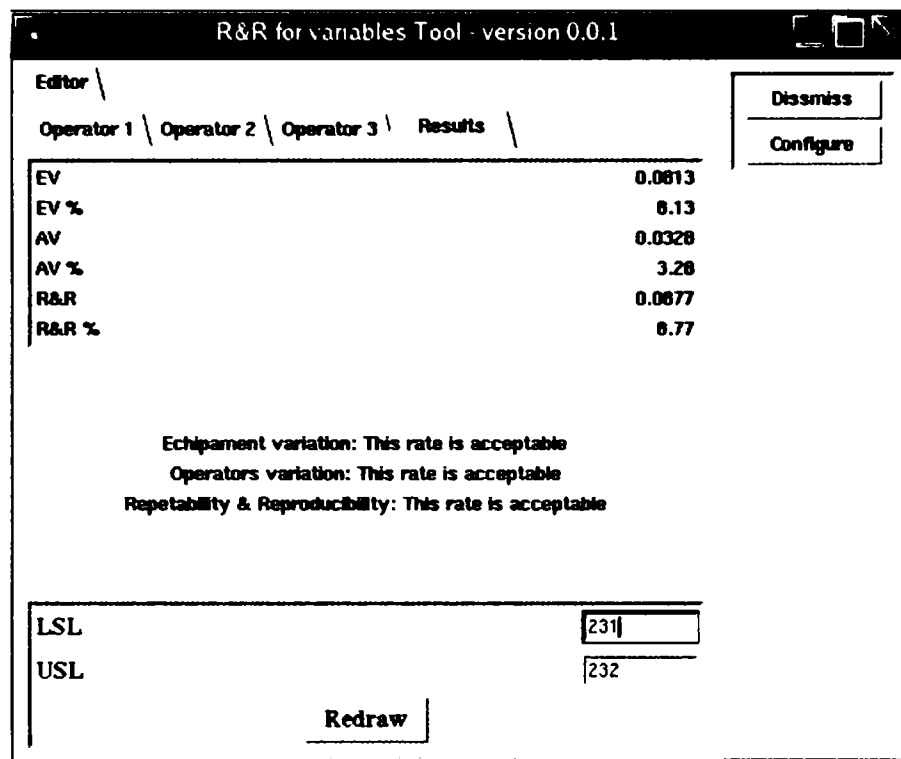


Fig. 227 Rezultatele analizei efectuate

## 7.4 Studiu de caz la analiza R&R pentru atribute

Aplicarea metodei R&R pentru calificarea unei metode de inspecție destinat verificării unor caracteristici atributive.

- Utilizarea unui tabel Excel

### Test de Consistență (pentru Inspecție)

Scurta descriere a testelor.										
1. Au fost utilizați operatori pentru inspecția reperelor										
2. S-au utilizat 30 de repere numerotate de la 1 la 30, pregătite după cum urmează:										
- mostrele 7, 9, 13, 21 și 30 ca fiind afară din specificație.										
- restul mostrelor fiind pregătite în specificație										
3. Fiecare mostră a fost inspectată de către fiecare operator de 2 ori.										
Numar teste (2-3)		2								
Numar mostre (1-30)		30								
Mostra #	Operator 1				Operator 2				Mostre pregătite	Concluzii
	Test				Test					
	1	2	3	Range	1	2	3	Range		
1	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	Operator 1: se observă că operatorul 1 nu are o bună detectabilitate a defectelor (nu toate mostrele defecte au fost găsite) Mai mult a clasificat repere corespunzătoare ca fiind repere neacceptabile. În plus nu are nici o consistență a deciziilor (se observă că nu de fiecare dată a menținut decizia de clasificare a reperelor). Operator 2: operatorul dovedește o bună detectabilitate (găsește fiecare defect). Excepție este reperul 13 care este un reper pregătit la limita specificației. Deciziile operatorului sunt consistente (se mențin la fiecare re-inspecție).  2 probleme majore s-au identificat prin aplicarea testului de consistență: 1. operatorul 1 nu are o bună detectabilitate și nici o consistență în a lua deciziile de acceptare/respingere. 2. reperul 13 s-a dovedit ca fiind limita de detectabilitate a metodei de inspecție.  Acțiuni: - recalificarea operatorului 2. - utilizarea reperului 13 ca limita de acceptare a metodei de inspecție - repetarea testului după 3 luni.
2	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
3	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
4	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
5	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
6	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
7										
8	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
9	1.000	1.000								
10	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
11	1.000				1.000	1.000			1.000	
12	1.000				1.000	1.000			1.000	
13	1.000				1.000	1.000			1.000	
14					1.000	1.000			1.000	
15	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
16	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
17	1.000				1.000	1.000			1.000	
18	1.000	1.000								
19	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
20	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
21	1.000	1.000								
22	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
23					1.000	1.000			1.000	
24	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
25	1.000				1.000	1.000			1.000	
26	1.000				1.000	1.000			1.000	
27	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
28		1.000			1.000	1.000			1.000	
29	1.000	1.000			1.000	1.000			1.000	
30	1.000									
Diferența (Operator 1)				Diferența (Operator 2)						
Suma (Operator 1)				Sua (Operator 2)						
Creat de către: Dan TULVAN										
Testul de Consistență (Z): Consistența Operatorului/Metoda										
Testul de Consistență (Z) Operator 1										
Testul de Consistență (Z) Operator 2										
1. Dacă testul de consistență (Z) este < 1,645, evidentele indică faptul că operatorul utilizând metoda de inspecție existentă va lua o decizie incorectă în mai mult de 20% din cazuri. Respingeți metoda de verificare, identificați cauza, corectati problema și retestati înainte de re-utilizare										
2. Dacă testul de consistență (Z) este ≥ 1,645, evidentele indică faptul că operatorul utilizând metoda de inspecție existentă va lua o decizie corectă în mai mult de 80% din cazuri. Metoda de inspecție este acceptabilă.										
Testul de Consistență (B): Consistența dintre Operatori/Metoda										
Testul de Consistență (B) între Operatori										
1. Dacă testul de consistență (B) este > 2,71, evidentele indică faptul că operatorul utilizând metoda de inspecție existentă nu va lua o decizie consistentă/acceptabilă. Respingeți metoda de verificare, identificați cauza, corectati problema și retestati înainte de re-utilizare.										
2. Dacă testul de consistență (B) este ≤ 2,71, evidentele indică faptul că operatorul utilizând metoda de inspecție existentă va lua o decizie consistentă/acceptabilă. Metoda de inspecție este acceptabilă.										

- Utilizarea programului Statexp (modulul R&R)

Aceleasi date au fost analizate cu ajutorul programului Statexp (rezultatele fiind prezentate in figurile de mai jos).

Operator 1 \ Operator 2 \ Results \	Configure			
Sample	Trial 1		Trial 2	
1	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
2	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
3	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
4	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
5	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
6	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
7	∨ Ok	◆ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
8	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
9	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
10	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
11	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
12	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
13	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
14	∨ Ok	◆ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
15	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
16	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
17	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
18	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
19	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
20	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
21	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
22	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
23	∨ Ok	◆ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
24	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
25	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
26	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok
27	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
28	∨ Ok	◆ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
29	◆ Ok	∨ Not ok	◆ Ok	∨ Not ok
30	◆ Ok	∨ Not ok	∨ Ok	◆ Not ok

Fig. 228 Datele pentru operatorul 1

Operator 1 \ Operator 2 \ Results		Configure						
Sample	Trial 1			Trial 2				
1	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
2	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
3	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
4	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
5	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
6	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
7	∨	Ok	◆	Not ok	∨	Ok	◆	Not ok
8	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
9	∨	Ok	◆	Not ok	∨	Ok	◆	Not ok
10	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
11	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
12	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
13	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
14	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
15	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
16	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
17	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
18	∨	Ok	◆	Not ok	∨	Ok	◆	Not ok
19	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
20	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
21	∨	Ok	◆	Not ok	∨	Ok	◆	Not ok
22	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
23	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
24	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
25	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
26	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
27	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
28	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
29	◆	Ok	∨	Not ok	◆	Ok	∨	Not ok
30	∨	Ok	◆	Not ok	∨	Ok	◆	Not ok

Fig. 229 Datele pentru operatorul 1

Operator 1 \ Operator 2 \ Results		Configure	
Test results	Not ok		

Fig. 230 Rezultatele analizei efectuate

## 7.5 Studiu de caz la R&R pentru inspecție atributivă folosind calibre de măsurare

Aplicarea metodei R&R pentru calificarea unor calibre de măsurare destinat verificării unor caracteristici atributive.

Sample	Trial 1	Trial 2
1	Ok Not ok	Ok Not ok
2	Ok Not ok	Ok Not ok
3	Ok Not ok	Ok Not ok
4	Ok Not ok	Ok Not ok
5	Ok Not ok	Ok Not ok

Fig. 231 Datele pentru operatorul 1

Sample	Trial 1	Trial 2
1	Ok Not ok	Ok Not ok
2	Ok Not ok	Ok Not ok
3	Ok Not ok	Ok Not ok
4	Ok Not ok	Ok Not ok
5	Ok Not ok	Ok Not ok

Fig. 232 Datele pentru operatorul 2

Consistency test Operator 1	-0.5129
Consistency test Operator 2	2.7306
Consistency test for all	0.8392

If consistency (Z) is less than 1.645 the operators decision is wrong in more than 20% of cases. Reject the method and identify the cause.  
 If consistency (Z) is equal or greater than 1.645 the operators decision is correct in more than 80% of cases. The method is acceptable.

Redraw

Fig. 233 Rezultatele analizei efectuate

## 7.6 Studiu de caz, fundamentarea deciziei de alegere a metodei de de măsurare

Aplicarea metodei R&R pentru alegerea celei mai bune metode de măsurare destinat verificării unor caracteristici variabile.

Etapa 1: Analiza efectuată pe rezultatele masuratorilor folosind doua metode de masurare

- S-au comparat masuratorile facute cu un echipament dedicat produsului (mai scump ca valoare) si cu un echipament universal (mai ieftin ca valoare)

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	20.000000	21.000000	21.000000
2	23.000000	23.000000	24.000000
3	24.000000	23.000000	24.000000
4	25.000000	25.000000	24.000000
5	22.000000	22.000000	22.000000

Fig. 234 Datele pentru echipamantul specific

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	22.400000	21.100000	21.000000
2	24.400000	23.000000	26.000000
3	24.400000	26.500000	24.900000
4	26.200000	26.600000	27.200000
5	23.400000	24.200000	25.100000

Fig. 235 Datele pentru echipamantul universal

EV	3.7515
EV %	75.03
AV	6.0057
AV %	120.11
R&R	7.0011
R&R %	141.62

Echipament variation: Generally, this rate is not acceptable. Every effort should be made to identify the problem and correct it

Operators variation: Generally, this rate is not acceptable. Every effort should be made to identify the problem and correct it

Repeatability & Reproducibility: Generally, this rate is not acceptable. Every effort should be made to identify the problem and correct it

LSL	20
USL	25

Redraw

Fig. 236 Rezultatele analizei efectuate



- Rezultatele masuratorilor au fost analizate cu ajutorul modulului Fise de control statistic

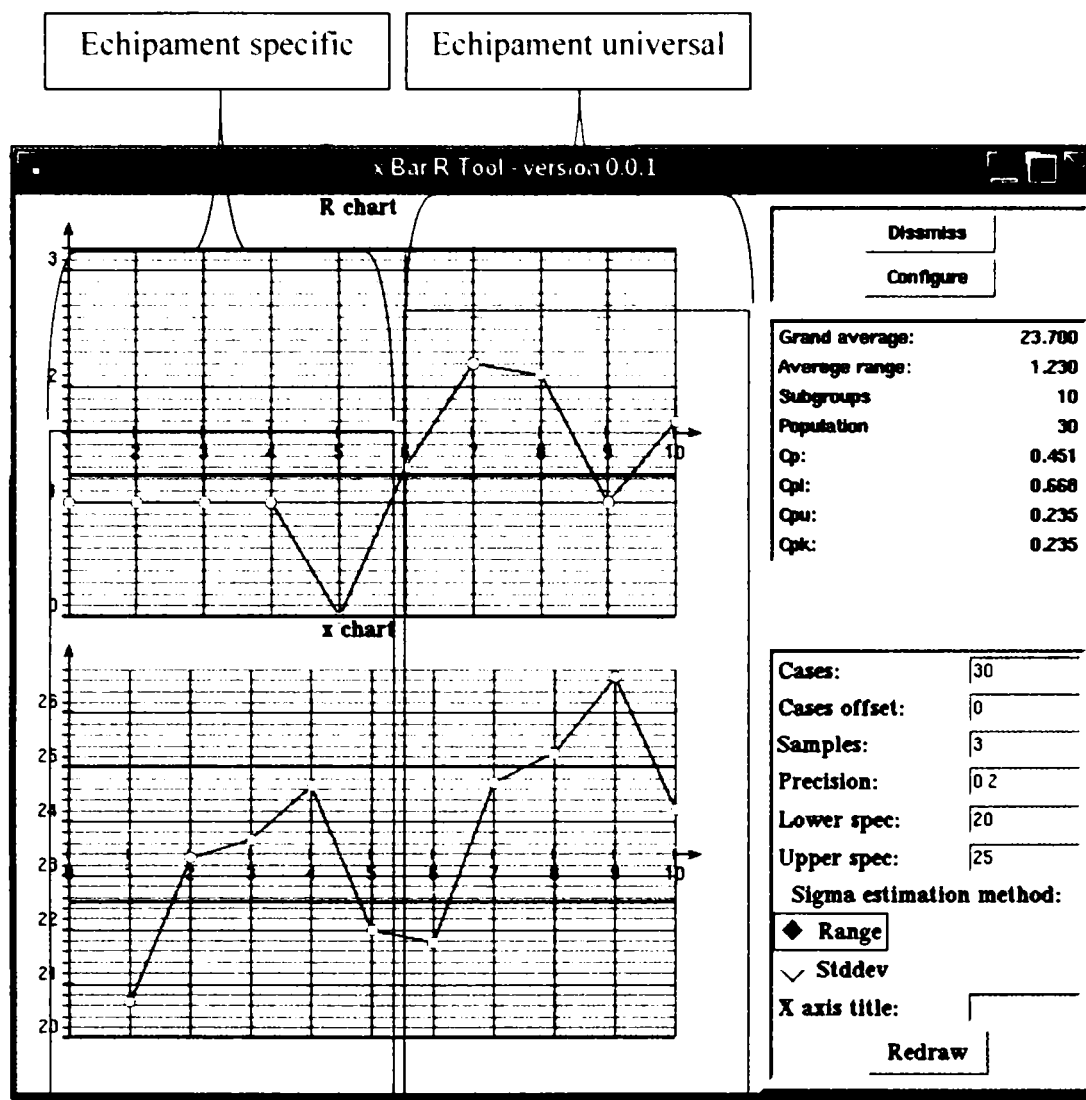


Fig. 237 Fisa X-Bar R construita cu datele colectate de la masurarea comparativa

Etapă 2: Analiza efectuata pe rezultatele masuratorilor folosind cea mai buna metoda de masurare (masurarea cu echipamentul specific)

The figure shows the 'R&R for variables Tool - version 0.0.1' interface. It features a table with the following data:

Sample	Trial 1	Trial 2
1	20.000000	20.000000
2	23.000000	23.000000
3	24.000000	24.000000
4	25.000000	25.000000
5	22.000000	22.000000

Fig. 238 Datele pentru operatorul 1

R&R for variables Tool - version 0.0.1

Editor \

Operator 1 \ Operator 2 \ Operator 3 \ Results \

Sample	Trial 1	Trial 2
1	21.000000	21.000000
2	23.000000	23.000000
3	23.000000	23.000000
4	25.000000	25.000000
5	22.000000	22.000000

Dismiss

Configure

Fig. 239 Datele pentru operatorul 2

R&R for variables Tool - version 0.0.1

Editor \

Operator 1 \ Operator 2 \ Operator 3 \ Results \

Sample	Trial 1	Trial 2
1	21.000000	21.000000
2	24.000000	24.000000
3	24.000000	24.000000
4	24.000000	24.000000
5	22.000000	22.000000

Dismiss

Configure

Fig. 240 Datele pentru operatorul 3

R&R for variables Tool - version 0.0.1

Editor \

Operator 1 \ Operator 2 \ Operator 3 \ Results \

EV	0.0000
EV %	0.00
AV	0.5400
AV %	10.80
R&R	0.5400
R&R %	10.80

Dismiss

Configure

Echipament variation: This rate is acceptable

Operators variation: This rate may be acceptable based on importance of the application, cost of the instrument, cost of repair, and so on

Repetability & Reproducibility: This rate may be acceptable based on importance of the application, cost of the instrument, cost of repair, and so on

LSL	20
USL	25

Redraw

Fig. 241 Rezultatele analizei efectuate

## 7.7 Studiu de caz complet

Așa cum se poate vedea și din diagrama de mai jos, și din cele explicate pe parcursul lucrării, analiza stării unui proces este însoțită de încă două etape obligatorii, achiziția datelor analizate și verificarea corectitudinii, consistenței și relevanței acestora. În aceste două etape trebuie să ne asigurăm că:

- echipamentul și metoda de măsurare folosite corespund cu ce avem nevoie, "analiza variabilității echipamentului de inspecție" de pe diagramă
- datele achiziționate măsoară ceea ce dorim și reflectă parametrii măsurați, "analiza stabilității procesului" și "analiza normalității procesului". Prin utilizarea programului Statexp, unele dintre etape se realizează în același timp (exemplu: analiza indicilor de capacitate și a probabilității de rebut se face în același timp).

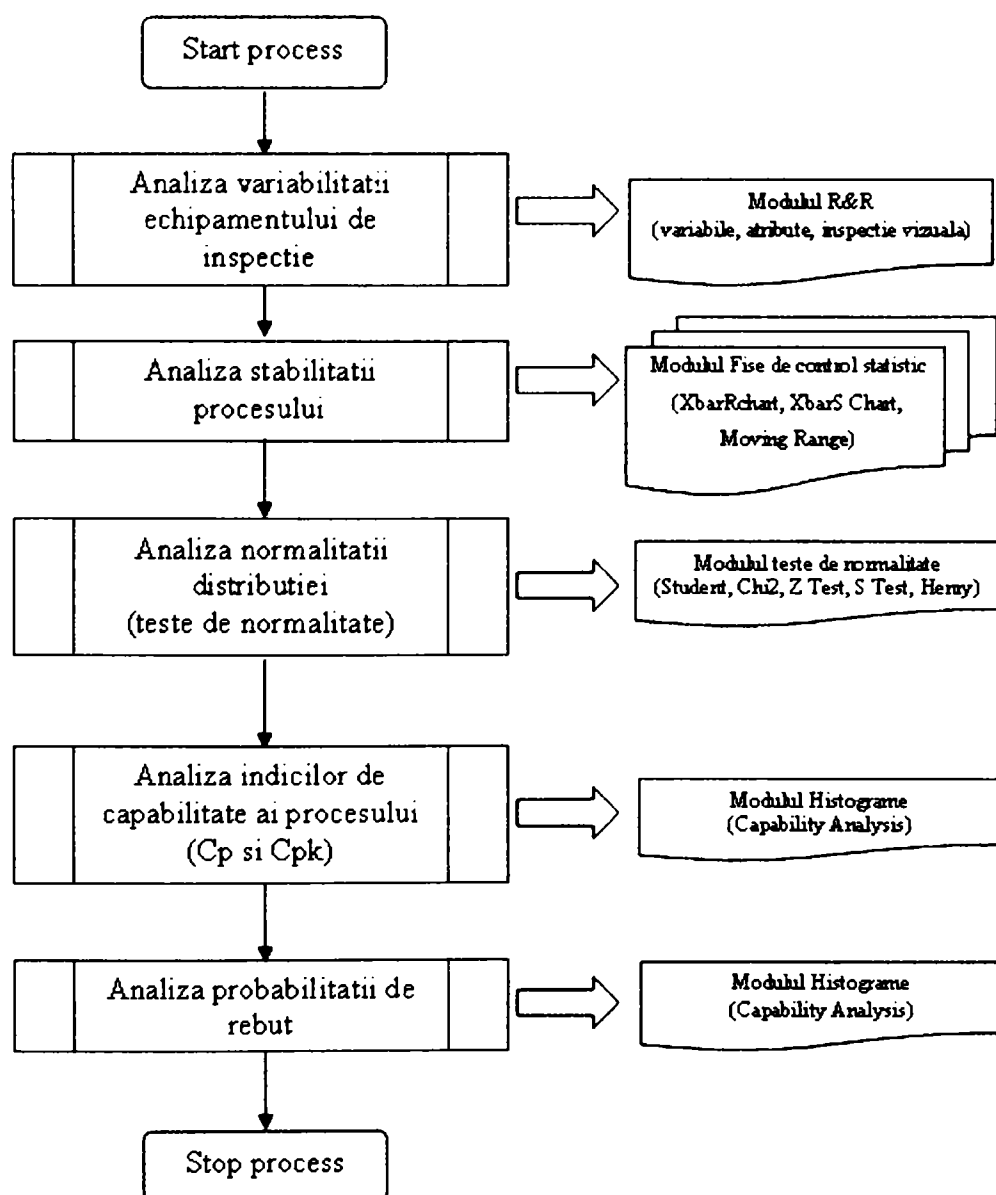


Fig. 242 Diagrama de aplicare a metodelor statistice

Etapa 1: Pentru verificarea echipamentului folosim modulul R&R pentru variabile, cu datele celor doi operatori și rezultatele analizei prezentate în figurile de mai jos.

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	14.700000	15.900000	15.500000
2	14.100000	15.000000	15.200000
3	13.500000	14.200000	14.500000
4	15.300000	14.600000	13.900000
5	15.400000	14.900000	15.600000

Fig. 243 Datele pentru operatorul 1

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	14.700000	14.000000	14.000000
2	16.000000	14.900000	16.100000
3	14.000000	14.000000	14.700000
4	15.600000	15.600000	15.900000
5	14.000000	15.000000	14.700000

Fig. 244 Datele pentru operatorul 2

EV	2.9325
EV %	43.21
AV	0.6379
AV %	10.63
R&R	2.6690
R&R %	44.50

Equipment variation: Generally, this rate is not acceptable. Every effort should be made to identify the problem and correct it.

Operators variation: This rate may be acceptable based on importance of the application, cost of the instrument, cost of repair, and so on.

Repeatability & Reproducibility: Generally, this rate is not acceptable. Every effort should be made to identify the problem and correct it.

LSL	10
USL	16

**Redraw**

Fig. 245 Rezultatele analizei efectuate

Concluzia care se trage este că variația echipamentului este acceptabilă cu condiția unei monitorizări atente a procesului, în schimb variația operatorilor nu este acceptabilă și trebuie determinate cauzele care duc la această situație.

Pentru aceasta folosim modulul x bar R, fișa de control pentru amplitudini.

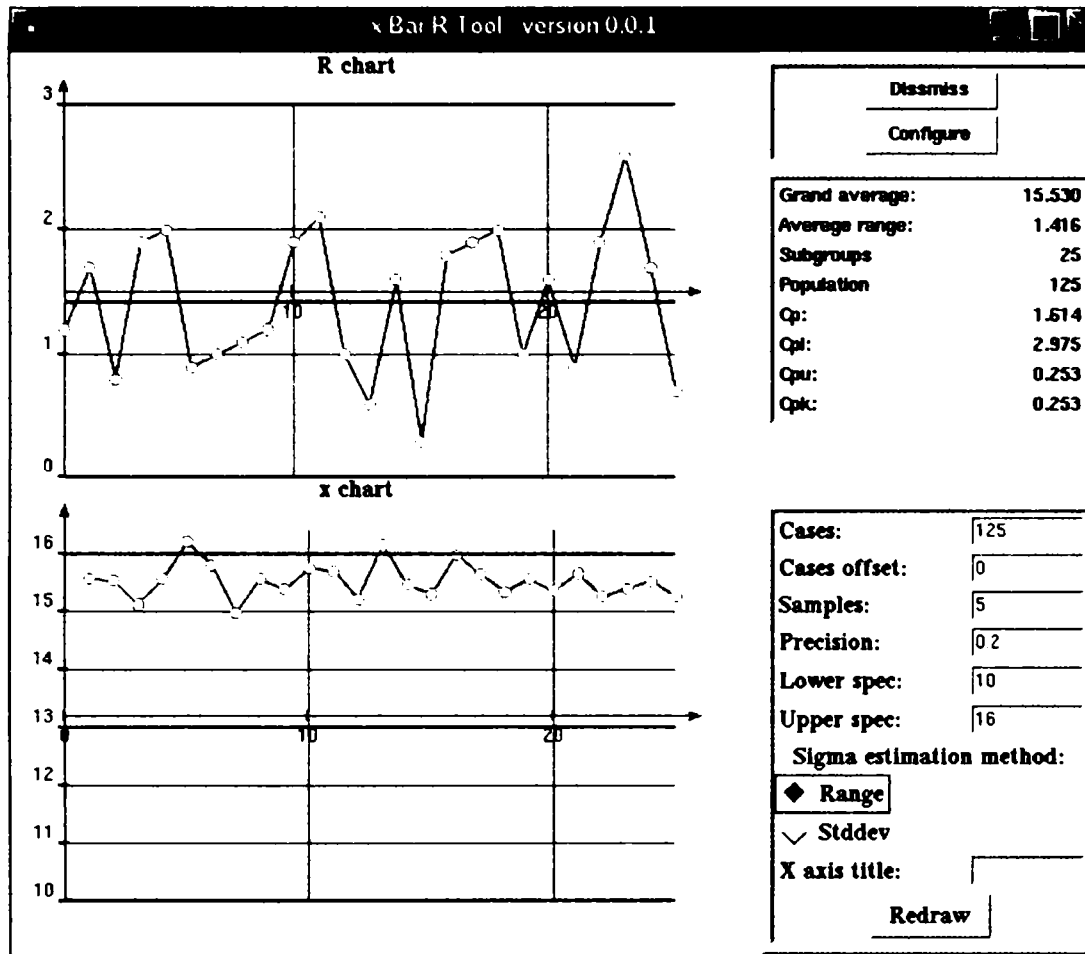


Fig. 246 Fișa X-Bar R construită cu datele colectate din analiza R&R

Fișa de variație a amplitudinii arată că procesul este în stare de control statistic (nu sunt evidențiate situații afară din control).

Totuși, constatăm ca deși variația amplitudinii este acceptabilă procesul este prea aproape de limita superioară, cauza fiind instabilitatea caracteristicii măsurate generate de un proces de îmbătrânire a unor componente din structura produsului analizat.

Pentru rezolvarea situației s-a luat decizia de control 100% și limitarea câmpului de toleranță și eventual a limitelor de control astfel încât procentul de piese neacceptate să fie cât mai mic (cu riscul de a respinge mai multe produse decât ar fi cazul, dar cu avantajul de a nu avea reclamații de la clientul final). Decizia se bazează pe faptul că, în cazul procesului analizat, produsele respinse la control pot fi ușor reparate în așa fel încât să intre în câmpul de toleranță restrâns).

Etapa 2: cu noile limite definite, se reia analiza capabilității echipamentului de măsurare, folosind modulul R&R pentru variabile, cu datele celor doi operatori și rezultatele analizei fiind prezentate în figurile de mai jos. Concluzia este că măsurile luate de optimizare a specificațiilor produsului au dus la o îmbunătățire a capabilității echipamentului de măsurare (fiind apropiat de condițiile impuse)

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	16.500000	15.000000	15.600000
2	16.200000	16.900000	16.400000
3	16.100000	15.800000	16.000000
4	16.100000	16.100000	16.100000
5	16.200000	16.100000	16.300000
6	15.900000	16.200000	16.600000
7	15.600000	15.500000	15.400000
8	15.400000	15.500000	15.600000
9	16.000000	16.000000	16.300000
10	16.400000	16.300000	16.500000

Fig. 247 Datele pentru operatorul 1

Sample	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	16.700000	16.600000	16.700000
2	16.600000	16.600000	16.700000
3	15.900000	15.600000	16.000000
4	16.200000	16.000000	16.100000
5	16.000000	16.000000	16.000000
6	16.600000	16.500000	16.500000
7	15.900000	16.000000	15.900000
8	15.900000	15.600000	15.700000
9	16.200000	16.100000	16.200000
10	16.700000	16.800000	16.900000

Fig. 248 Datele pentru operatorul 2

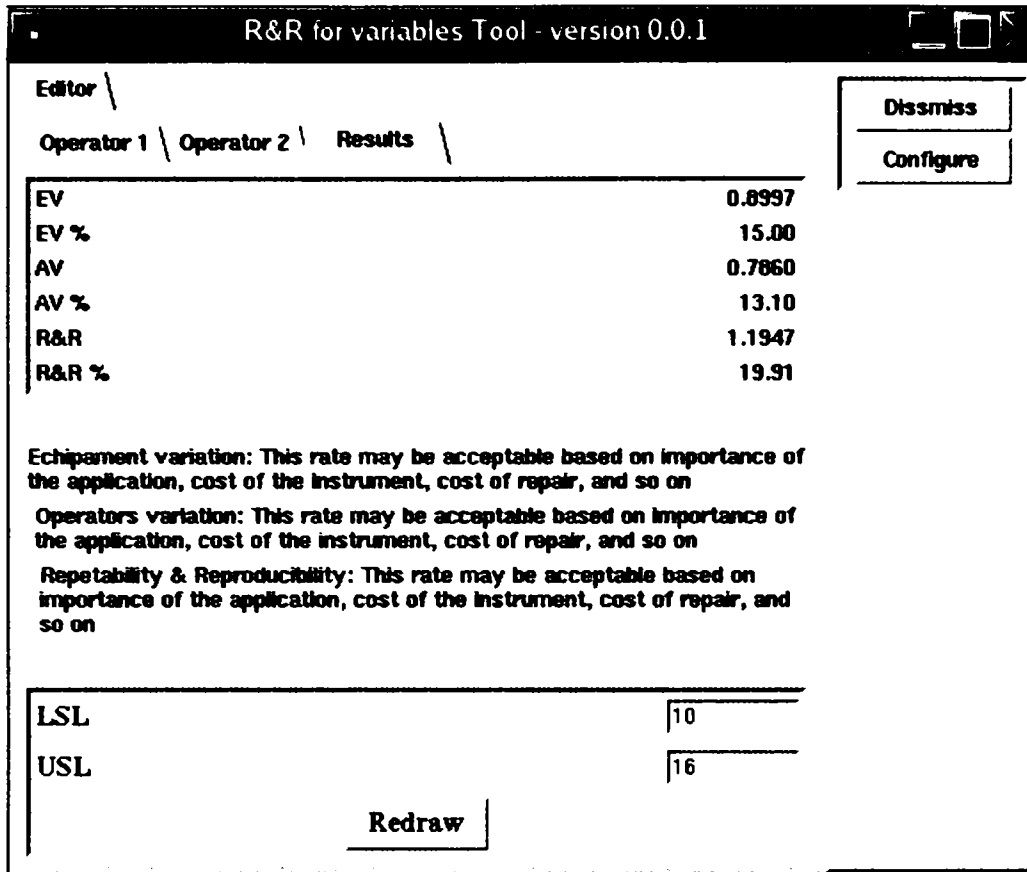
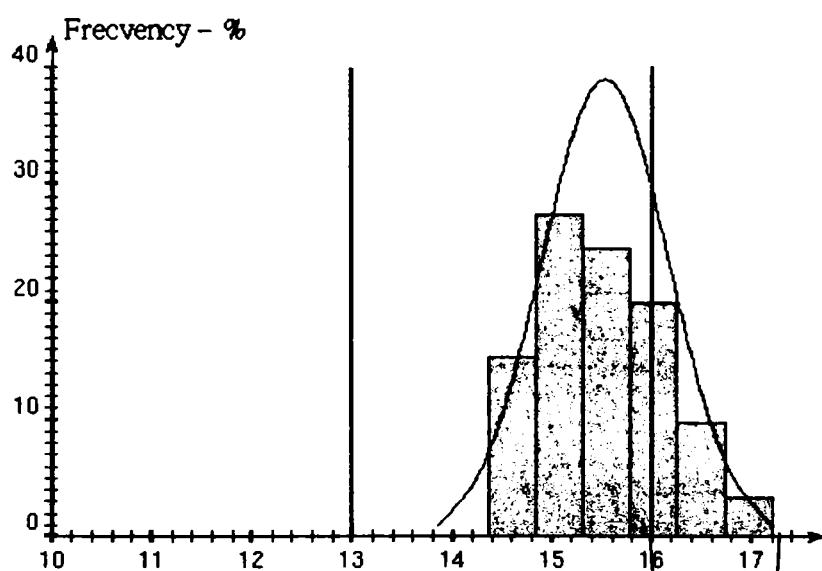
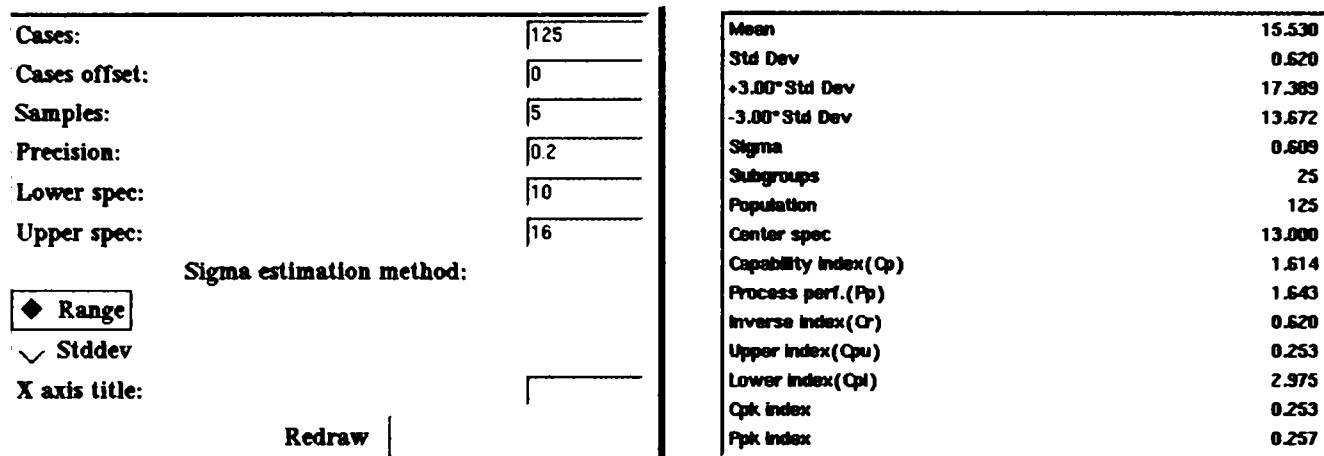


Fig. 249 Rezultatele analizei efectuate

Etapa 3: avand in vedere ca procesul este stabil din punct de vedere statistic cu noile limite definite (vezi etapa 1), se trece la analiza capabilitatii procesului de fabricatie. Pentru aceasta se utilizeaza modulul Histograme (Capability Analysis). Analiza se face utilizand ambele limite specificate (limitele initiale si limitele modificate) pentru a vedea comparativ modificari aduse in structura procesului.

- Analiza folosind limitele initiale (limite largi si indreptate spre valori mai mici)



Se observa un procent mare de produse aflate in afara limitelor specificate

	Product		
	above spec	below spec	beyond s. ec
Estimated( based on range)	22.43 %	0.00 %	22.43 %
Actual	22.02 %	0.00 %	22.02 %

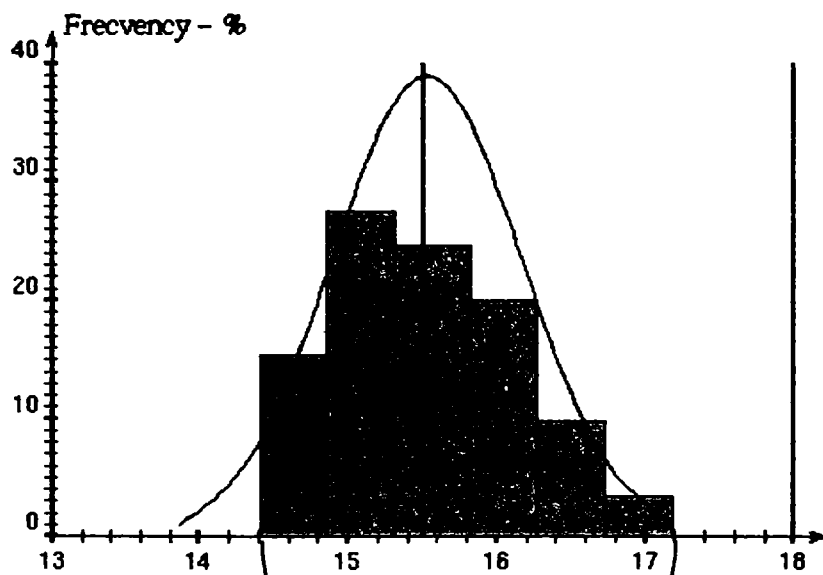
Fig. 250 Analiza capabilitatii procesului de fabricatie in cazul utilizarii vechilor limite specificate



Analiza folosind limitele modificate (limite restranse si indreptate spre valori mai mari)

Cases:	125	Mean	15.530
Cases offset:	0	Std Dev	0.620
Samples:	5	+3.00*Std Dev	17.389
Precision:	0.2	-3.00*Std Dev	13.672
Lower spec:	13	Sigma	0.609
Upper spec:	18	Subgroups	25
		Population	125
		Center spec	15.500
		Capability Index(Cp)	1.345
		Process perf.(Pp)	1.369
		Inverse Index(Cr)	0.744
		Upper Index(Cpu)	1.329
		Lower Index(Cpl)	1.361
		Cpk Index	1.329
		Ppk Index	1.352

Sigma estimation method:  
 Range  
 Stddev  
 X axis title: \_\_\_\_\_  
 Redraw |



Se observa ca toate produsele se afla in campul de toleranta

	Product		
	above spec	below spec	beyond spec
Estimated( based on range)	0.00 %	0.00 %	0.01 %
Actual	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Fig. 251 Analiza capabilitatii procesului de fabricatie in cazul utilizarii noilor limite specificate

Etapa 4: dupa implementarea masurilor de optimizare a procesului de fabricatie se reia studiul indicilor de capabilitate (singurul aspect care pana acum nu a fost indeplinit in conformitate cu asteptarile clientului). Aceasta se face aplicand modulul Histograme (Capability Analysis) dupa metodologia deja descrisa. De data aceasta se utilizeaza doar limitele redefinite (mai stranse si indreptate spre valori mai mari)

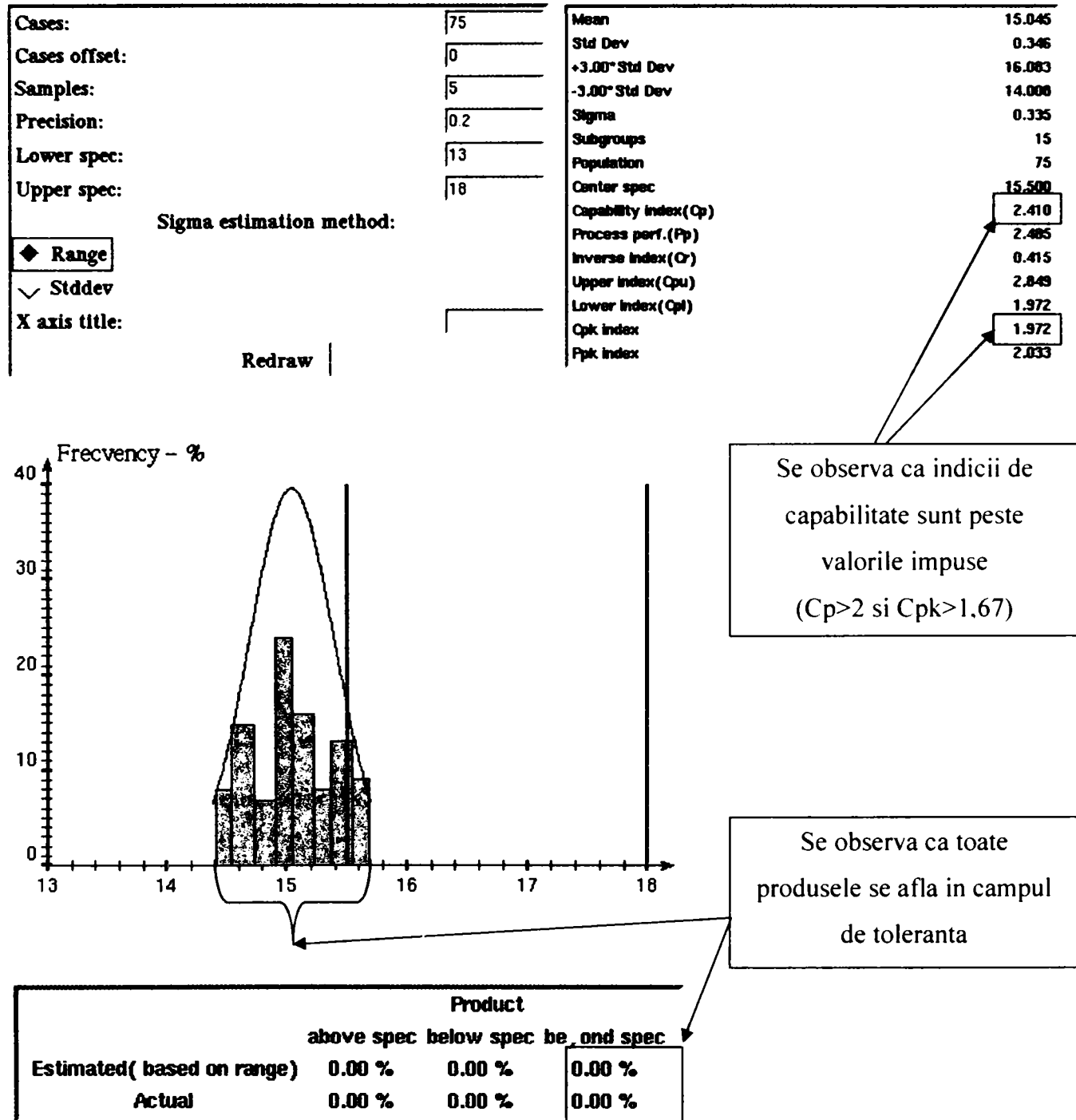


Fig. 252 Analiza capabilitatii procesului de fabricatie in cazul utilizarii noilor limite specificate dupa implementarea optimizarilor tehnologice

## 7.8 Studiu de caz la utilizarea proceselor Markov în controlul calității

Studiul de caz este un model de analiza comparativa a costului real față de costul estimat în cazul procesului de prelucrare prezentat în cadrul capitolului 5.4. Supraveghind procesul de producție pentru o lungă perioadă de timp și utilizând probabilitățile de transfer obișnuite, matricile sunt următoarele:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0,05 & 0,95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 \\ 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0,98 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0,99 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; Q = \begin{pmatrix} 0 & 0,05 & 0,95 & 0 & 0 & 0 \\ 0,95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 \\ 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0,01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0,98 \\ 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,01 & 0 \end{pmatrix}; R = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0,05 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0,1 \\ 0,99 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(I - Q)^{-1} = \begin{pmatrix} 1,04 & 0,05 & 1,12 & 1,01 & 0,14 & 0,99 \\ 0,99 & 1,04 & 1,06 & 0,96 & 0,13 & 0,94 \\ 0 & 0 & 1,12 & 1,01 & 0,14 & 0,99 \\ 0 & 0 & 0,03 & 1,02 & 0,03 & 1,00 \\ 0 & 0 & 1,01 & 0,91 & 1,12 & 0,89 \\ 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0,01 & 1,00 \end{pmatrix}$$

Costul de producție total este:

$$C_p = 1,04 * 5 + 0,05 * 1 + 1,12 * 5 + 1,01 * 0,5 + 0,14 * 3 + 0,99 * 0,6 = 12,46\$$$

Matricea probabilităților de absorție este:

$$A = (I - Q)^{-1} * R = \begin{pmatrix} 0,98 & 0,02 \\ 0,93 & 0,07 \\ 0,98 & 0,02 \\ 1,00 & 0,00 \\ 0,89 & 0,11 \\ 1,00 & 0,00 \end{pmatrix}$$

Costul total unitar este:

$$C_t = \frac{50 + 12,46}{0,98} = 63,54(\$).$$

După cum arată formula, există o diferență de

$$\Delta C = C_t - C_u = 2,44(\$).$$

între costul total teoretic și costul total unitar.

## 8 Bibliografie

1. Baron, T., ș.a. Calitate și fiabilitate, manual practic, vol. I și II, Ed. Tehnică, București, 1988
2. ВЫСОЦКИ, В., Controlul activ al dimensiunilor pieselor cu suprafețe discontinue, Moscova, 1969
3. Bovsunovski, I., Mecanizarea și automatizarea operațiilor de control în construcția de mașini, Ed. Tehnică, București, 1963
4. Brakhahn, W., ș.a. ISO 9000 pentru servicii, Rapid și sigur spre certificare, Ed. Tehnica, București, 1998
5. C.A. Saimac Electrotehnica, Ed. Didactica și Pedagogica, București, 1981
6. Cawley, J., ș.a. SPC and SQC provide the big picture about processing performance, November 2001
7. Cioara, T., Tehnici experimentale în ingineria mecanică, Traductoare și senzori, Ed. Politehnica, Timisoara, 1999
8. Ciurea S., Drăgulănescu N. Managementul calității totale, Editura Economică, 1995
9. DaimlerCrysler Mercedes-Benz Special Terms, January 2003
10. D.R. Mocanu Rezistența materialelor, Ed. Tehnica, București, 1980
11. Dragulanescu, N. Ghid practic pentru managementul calitatii pentru firmele performante, Ed. Niculescu, București, 1999
12. Dreucean, A., Studiul unui sistem de control activ cu traductor pneumatic de joasă presiune utilizat pe mașini de rectificat plan, Teza de Doctorat, Timisoara, 1972
13. Dreucean, A., Tulvan, D., ș.a. Traductor capacitiv cu element sensibil de tip membrană circulară, Sesiune de comunicări științifice, Timisoara, 2001
14. Ealey, L., Les méthodes Taguchi dans l'industrie occidentale, accroître la qualité en diminuant les coûts, Les Édition d'Organisation, 1990
15. Enatescu, A.-M. Calitate, Terminologie comentată, Ed. Tehnica, București, 2000
16. Evans, J.R., Lindsay, W.M. The Management and Control of Quality, Ediția a-IV-a, South-Western Collage Publishing, Cincinnati, Ohio, 1999
17. FMEA Handbook version 4.1. Ford Design Institute, February 2004
18. Ford Motor Company, Q1, Setting the Standard, 2<sup>nd</sup> Edition, February 2002
19. Formel Q Konkret, Quality Management Agreements between the VW Group and its suppliers, 3<sup>rd</sup> Edition, September 1998
20. Frganel, J.-P. Createurs d'entreprise: votre stratégie marketing, Les Édition d'Organisation, 1990
21. Fukuda, R. Productivité, mode d'emploi, Les Édition d'Organisation, 1990

22. <http://tcl.activestate.com> Pachetul ActiveTcl descarcat la data de 15.12.2005, folosit de programul Statexp
23. <http://www.swig.org> Pachetul Swig descarcat la data de 15.12.2005, folosit la implementarea programului Statexp
24. Ionescu, S. Excelenta Industrială-practica și teoria calitatii, Ed. Economica, Bucuresti, 1997
25. Ionescu, B. s.a Managementul Calitatii în viziunea lui W.E. Deming, Editura Q Academia, Bucuresti, 2000
26. Isaic-Maniu, Al., Vodă, Gh. V Manualul calității, Ed. Economică, București, 1997
27. ISO/TS 16949: 2002 Quality Management System: particular requirements for application of ISO 9001: 2000 for automotive production and relevant service part organization, 2<sup>nd</sup> Edition, Automotive Industry Action Group, March 2002
28. Koelsch, J. Manufacturing Processes: Keep your machining in control, Quality Magazine, July 2000
29. Larson, M. Staying competitive with In-Process Gaging, Quality Magazine, June 1996
30. Larson, M. Bolster Your Bore-gage Knowledge, Quality Magazine, April 1996
31. L.I. Ardelean, H. Giuroiu Circuite integrate CMOS, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1986
32. Maizel, L., Controlul automat al dimensiunilor pieselor, Editura Tehnică, București, 1962
33. Masaki, I., Gemba Kaizen: o abordare practica, cu costuri reduse, a managementului, Ed. FINMEDIA, Bucuresti, 1997
34. Measurement System Analysis, Reference Manual, 3<sup>rd</sup> Edition, Automotive Industry Action Group, March 2002
35. Micu, C., s.a Aparate și sisteme de măsurare în constructii de masini, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1980
36. Militaru, C., Măsurări pneumatice în construcții de mașini, Editura Tehnică, București, 1977
37. Mitonneau, H. O noua orientare în managementul calitatii: sapte instrumente noi, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1998
38. Motoiu, R. Ingineria Calitatii, Ed. CHIMINFORM DATA S.A., 1994
39. Niculita, L., s.a Controlul automat integrat în sistemele de prelucrari mecanice, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1998
40. Noye, D. Ghid practic pentru controlul calitatii, principii, metode, mijloace, Ed Tehnica, Bucuresti, 2000

41. Ohno, T. Sistemul de productie Toyota, o alternative la productia de serie, Ed. FINMEDIA, Bucuresti, 2005
42. Olaru, M., s.a. Tehnici și intrumente utilizate în managementul calitatii, Ed. Economica, Bucuresti, 2000
43. Pande, P., s.a The Six Sigma Way. How GE, Motortola, and other companies are honing their performance, Ed. McGraw-Hill, New York
44. Parker, G. Costurile calitatii, Ed. Codecs, Bucuresti, 1998
45. Petrescu,E.,Vodă,Gh.V Fișe de control de proces, teorie și studii de caz, Ed.Economică, București, 2002
46. QS 9000: 1998 Quality System Requirements, 3<sup>rd</sup> Edition, Automotive Industry Action Group, March 1998
47. Raffaldi, J. Software & Analysis: 5 Ways to verify your gauges, Quality Magazine, March 2000
48. Schuetz, G. Air gaging: An "Old tool" is ready for the 21<sup>st</sup> Century, Quality Magazine, December 1999
49. Spineanu, U., Automatizarea controlului dimensiunilor în constructia de masini, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1987
50. Statistical Process Control (SPC), Reference Manual, Automotive Industry Action Group, March 1995
51. Suzik, H., A. Inline gaging: choose between contact and noncontact systems, Quality Magazine, September 1999
52. Trandafir, M., Automatizarea proceselor de productie, OIDICM, Bucuresti, 1992
53. Trandafir, M. s.a. Calitatea, OID.ICM, Bucuresti, 1994
54. Tulvan, D., Dreucean., A., s.a. Measurement system analysis and evaluation: Repeatability & Reproductibility, ICEEMS, 2001
55. Tulvan, D., Dreucean, A., s.a. On Error Training, Sesiune de comunicari stiintifice, Nitra, 2001
56. Tulvan, D., But, A., s.a. Statistical Process Control-Part I: Attribute control charts, Sesiune de comunicari stiintifice, Nitra, 2001
57. Tulvan, D., But, A., s.a. Statistical Process Control-Part II: Markov Processes, Sesiune de comunicari stiintifice, Nitra, 2001
58. UNCTAD/GATT ISO Manualul Sistemului Calitatii, Gid pentru implementarea standardelor internationale ISO 9000, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1998
59. Urdhwareshe, H. The power of pre-control, February 2002
60. Urdhwareshe, H. The six sigma approach, February 2002

- 
61. Vachette J-L. Amélioration continue de la qualité, Les Édition d'Organisation, 1990
  62. Zandin, K., s.a. Maynard's Industrial Engineering Handbook, Fifth Edition, Ed. McGraw-Hill, New York