

MINISTERUL EDUCATIEI NATIONALE  
UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMISOARA

*Facultatea Mecanica*

*Doctorand*  
*Ing. Gheorghe I. Gheorghe*

*Contributii*  
*la studiul si constructia traductoarelor*  
*fotoelectrice incrementale de deplasare si*  
*pozitie utilizate in mecanica fina si robotica*

*Teza de doctorat*

CONDUCATOR STIINTIFIC:  
*Prof. dr. ing. FRANCISC KOVACS*

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

619.476  
366 C

TIMISOARA 1997



## CUPRINS

<b>Cap.1</b>	<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>4</b>
1.1.	Actualitatea și utilitatea temei.....	4
1.2.	Scopul lucrării.....	6
<b>Cap. 2</b>	<b>STADIUL ACTUAL PE PLAN MONDIAL AL CERCETĂRILOR ȘI REALIZĂRILOR PRIVIND TRADUCTOARELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE DEPLASARE ȘI DE POZIȚIE.....</b>	<b>7</b>
2.1	Scurt istoric.....	7
2.2.	Franje Moiré.....	7
2.2.1.	Clasificarea franjelor Moiré.....	8
2.2.2.	Principii de utilizare a rețelelor Moiré în metrologia deplasărilor.....	12
2.2.3.	Studiul geometric al franjelor Moiré.....	13
2.3.	Tructoare fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție.....	20
<b>Cap.3</b>	<b>CERCETĂRI PRIVIND ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC PENTRU PROIECTAREA PE CALCULATOR A REȚELEI FOTOELECTRICE INCREMENTALE "DE NUL" PENTRU RIGLELE ȘI DISCURILE INCREMENTALE DIVIZOR ȘI VERNIER.....</b>	<b>32</b>
3.1.	Definirea modelului matematic.....	32
3.2.	Rezolvarea modelului matematic.....	35
3.2.1.	Procedeu de generare ordonată a elementelor lui D.....	37
3.2.2.	Teoreme pentru obținerea de restricții filtru.....	40
3.2.3.	Determinarea primului element cu care se începe testarea elementelor de sumă S.....	44
3.2.4.	Determinarea calculului expresiilor ce apar în testarea elementelor lui $D_k$ .....	46
3.2.5.	Schema logică și programul (vezi anexa 3.2.5.1.).....	46
<b>Cap.4</b>	<b>CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND FUNDAMENTAREA BAZELOR TEORETICE, DETERMINAREA ȘI CORELAREA ERORILOR LA REȚELELE ȘI TRADUCTOARELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE.....</b>	<b>54</b>
4.1.	Bazele teoretice ale rețelelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție	54
4.2.	Erori ale fascicolului și ale fantei incrementale.....	56
4.2.1.	Erori de iluminare.....	56
4.2.2.	Erori de formă ale fantei și ale sticlei optice.....	56
4.3.	Erorile sistemului de citire.....	57
4.4.	Subdivizarea electronică cu un număr dat.....	58
4.5.	Studiu privind surse de erori de fază la sistemele fotoelectrice incrementale de măsurat lungimi.....	60
4.5.1.	Erori de fază cauzate de imprecizia lăgărării.....	60
4.5.2.	Eroarea de fază cauzată de sistemul receptor (fotoelementele).....	61
4.6.	Metode de compensare a impulsului de perturbație la sistemele fotoelectrice incrementale de măsurat lungimi.....	63
4.6.1.	Metode tradiționale pentru suprimarea impulsurilor de perturbație.....	63
4.6.2.	Compensarea impulsului de perturbație prin circuite logice.....	64
4.7.	Influența excentricității și bătăii frontale a discurilor incrementale asupra legii de variație a semnalelor de ieșire sinus-cosinus, la tructoarele fotoelectrice incrementale de poziție....	65
4.8.	Corelarea între erorile obținute pe rețelele incrementale și erorile de realizare a configurațiilor.....	73
<b>Cap. 5</b>	<b>CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ELABORAREA ȘI INTEGRAREA PROCEDURELOR ȘI TEHNOLOGIILOR SPECIALE DE GENERARE ȘI EXECUȚIE A MĂȘTILOR ȘI ȘABLOANELOR MASTER ȘI DE LUCRU PENTRU DISCURILE ȘI RIGLELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DIVIZOR ȘI VERNIER.....</b>	<b>76</b>
5.1.	Realizarea măștilor originale master pentru execuția discurilor incrementale divizor și vernier de la tructoarele incrementale de poziție.....	76
5.1.1	Considerații fundamentale.....	76
5.1.2.	Determinarea configurației de mască.....	76
5.1.3.	Cotarea tehnologică.....	77
5.1.4.	Fluxul tehnologic.....	80
5.1.5.	Programarea.....	80
5.1.6.	Trasarea.....	82
5.1.7.	Tehnologia de procesare a măștii foto.....	83
5.1.8.	Condiții de realizare practică a procesării.....	86

5.1.9.	Controlul calității trasării și procesării.....	86
5.1.10.	Măsurarea măștii.....	86
<b>5.2.</b>	<b>Generarea automată a măștilor rețelelor incrementale de divizare liniară și circulară, prin metoda fotocompoziției cu mai multe reduceri microfotografice.....</b>	<b>89</b>
5.2.1.	Etapele metodei de generare automată.....	89
5.2.2.	Generarea măștilor rețelelor incrementale liniare.....	89
5.2.3.	Tipuri de subprograme, programe și sisteme de coordonate folosite în timpul procesului de fotocompoziție a rețelelor liniare.....	90
5.2.4.	Tipuri de programe de poziționare: Z 000; Z 0800; Z 4000.....	91
5.2.5.	Generarea măștilor rețelelor circulare.....	93
<b>5.3.</b>	<b>Efectuarea cercetărilor de proces.....</b>	<b>98</b>
5.3.1.	Principalele cercetări asupra procesului tehnologic.....	98
5.3.2.	Realizarea programelor de desenare și tăiere automată a măștilor.....	99
<b>5.4.</b>	<b>Cercetări privind realizarea șabloanelor master pentru rețelele incrementale liniare și circulare.....</b>	<b>105</b>
5.4.1.	Tehnologia de realizare a șabloanelor master pentru riglele incrementale divizor și vernier prin fotografiere cu interferometrul cu laser în infraroșu.....	105
5.4.2.	Flux tehnologic (etape principale) pentru realizarea măștilor rețelelor incrementale liniare și circulare, prin două metode de generare (linia I și linia II).....	106
<b>5.5</b>	<b>Cercetări privind realizarea elementelor de lucru pentru rețelele incrementale liniare și circulare.....</b>	<b>110</b>
5.5.1.	Tehnologia de execuție a discurilor incrementale divizor și vernier la traductoarele incrementale de poziție experimentată, la I.O.R. București.....	110
5.5.2.	Flux tehnologic operațional pentru realizarea rețelelor incrementale circulare și radiale, (experimentat și integrat la S.C. ICE - Băneasa).....	114
<b>5.6.</b>	<b>Cercetări privind realizarea și integrarea tehnologiei de realizare a riglelor și discurilor incrementale divizor și vernier.....</b>	<b>118</b>
5.6.1.	Tehnologia de realizare a riglelor incrementale cu transfer tehnologic la S.C. Mecanică Fină S.A. Buc.....	118
5.6.2.	Tehnologia de realizare a discurilor incrementale experimentată și integrată la S.C. Mecanică Fină S.A. Buc.....	122
5.6.3.	Factorii limitativi din tehnologia de realizare a unor rețele incrementale de mare precizie.....	125
<b>Cap.6</b>	<b>CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA ȘI REALIZAREA DE TRADUCTOARE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE DEPLASARE ȘI DE POZIȚIE.....</b>	<b>130</b>
<b>6.1.</b>	<b>Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip Tid -L.....</b>	<b>130</b>
<b>6.2.</b>	<b>Traductor fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO.....</b>	<b>136</b>
6.2.1.	Subansamblul bloc fotoelectric incremental de rotație.....	138
<b>Cap. 7</b>	<b>CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA CUPLAJELOR ELASTICE, DISPOZITIVUL DE CONTROL ȘI STANDUL DE ÎNCERCĂRI PENTRU TRADUCTOARELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE POZIȚIE.....</b>	<b>140</b>
<b>7.1.</b>	<b>Analiza, proiectarea și sinteza cuplajelor elastice de torsiune pentru traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție.....</b>	<b>140</b>
7.1.1.	Aspecte generale.....	140
7.1.2.	Aspecte constructive originale.....	140
7.1.3.	Raporturile de mișcare și de forță la un cuplaj elastic de torsiune.....	144
7.1.4.	Raporturile de mișcare și de forță la un cuplaj cu două și mai multe articulații elastice.....	145
7.1.5.	Considerații după experimentare.....	148
<b>7.2.</b>	<b>Dispozitiv de centrare a discurilor fotoelectrice incrementale de poziție la traductoarele fotoelectrice incrementale, tip TIRO.....</b>	<b>148</b>
<b>7.3.</b>	<b>Stand de încercare și măsurare a caracteristicilor tehnico-funcționale ale cuplajelor elastice de torsiune.....</b>	<b>149</b>
<b>7.4.</b>	<b>Standul de încercări și măsurări pentru traductoare fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO.....</b>	<b>151</b>
<b>Cap. 8</b>	<b>CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTEGRAREA TRADUCTOARELOR FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE DEPLASARE ȘI POZIȚIE, ÎN MECANICĂ FINĂ, MECATRONICĂ ȘI ROBOTICĂ.....</b>	<b>159</b>
<b>8.1.</b>	<b>Soluții constructive originale de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție în construcția de mașini.....</b>	<b>159</b>
8.1.1.	Șubler de exterior cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare tip TIL, cu afișare digitală / Brevet. nr. Ro/ 92177.....	176
8.1.2.	Șubler de exterior cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO, cu afișare digitală / Brevet	

nr. Ro/ 92519.....	177
8.1.3. Aparat de măsurat și trasat pe verticală cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală / Brevet nr. Ro/117465.....	178
8.1.4. Echipament de măsurat și trasat în trei coordonate, cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare tip TIL și de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală și calculator specializat.....	179
8.1.5. Cap micrometric cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală (Brevet nr. Ro/ 92176).....	181
8.1.6. Micrometru de exterior, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL, cu afișare digitală (Brevet nr. Ro/ 92175).....	182
8.1.7. Micrometru de exterior, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală (Brevet nr. Ro/ 92175).....	184
8.1.8. Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de translație și pentru suprafețe curbe, tip TID - LP.....	186
8.1.9. Traductor de deplasări mari cu sistem fotoelectric incremental liniar, tip TIL (Brevet nr. Ro/ 118484.).....	187
8.1.10. Aparat de control activ automat, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL cu afișare digitală și microprocesor.....	190
8.1.11. Aparat de măsurat lungimi pe verticală, tip ABBE, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL cu afișare digitală.....	191
8.1.12. Cap divizor cu sistem fotoelectric incremental, tip TIRO, cu afișare digitală (Brevet nr. Ro/120620).....	192
8.1.13. Masă divizoare cu sistem fotoelectric incremental tip TIRO, cu afișare digitală (Brevet nr. Ro/ 120620).....	194
8.1.14. Echipament de verificat abateri de formă și de poziție, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu microcalculator.....	195
8.1.15. Microscop de măsurare pentru ateliere, cu sisteme fotoelectrice incrementale, tip cap micrometric fotoelectric cu afișare digitală.....	196
8.1.16. Proiector de profile pentru atelier, cu sisteme fotoelectrice incrementale, tip cap micrometric fotoelectric cu afișare digitală.....	198
8.1.17. Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TID - R (Brevet nr. Ro/92178).....	199
8.1.18. Traductor fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu două axe la ieșire (TIRO-2A).....	201
8.1.19. Echipament de măsurat în două coordonate cu cameră TV, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală.....	202
8.1.20. Echipament de prereglat scule tip cuțit, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL cu afișare digitală.....	203
8.1.21. Instalație de măsurare și trasare în trei coordonate cu sisteme fotoelectrice incrementale de rotație, tip TIRO, cu afișare digitală.....	205
8.1.22. Instalație de prereglat scule tip bară de alezat, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL și de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală.....	206
8.1.23. Manivelă electronică cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO.....	208
<b>8.2. Soluții constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție și de deplasare în construcția roboților industriali.....</b>	<b>210</b>
<b>8.3. Robot de control dimensional cu cinci grade de libertate pentru industria de mecanică fină.....</b>	<b>213</b>
<b>8.4. Soluții constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție și de deplasare în structura roboților de control.....</b>	<b>216</b>
<b>8.5. Sistem de vedere artificială sau de recunoaștere a formelor, la roboții de control dimensional.....</b>	<b>220</b>
<b>8.6. Robot de control dimensional cu cinci grade de libertate pentru deservirea sistemelor flexibile din industria constructoare de mașini.....</b>	<b>221</b>
<b>8.7. Roboți de montaj, cu mai multe grade de libertate pentru industria de mecanică fină, mecatronică și industria constructoare de mașini.....</b>	<b>225</b>
<b>8.8. Roboți industriali, cu mai multe grade de libertate pentru industria constructoare de mașini.....</b>	<b>226</b>
<b>8.9. Aplicațiile sistemelor fotoelectrice incrementale de deplasare, tip TIL.....</b>	<b>229</b>
<b>8.10. Aplicațiile sistemelor fotoelectrice incrementale de deplasare, tip TID - L.....</b>	<b>230</b>
<b>8.11. Aplicațiile traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO.....</b>	<b>230</b>
<b>8.12. Aplicațiile sistemelor fotoelectrice incrementale de poziție, tip TID-R.....</b>	<b>233</b>
<b>8.13. Aplicațiile traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație, tip TIRO în robotica ind.....</b>	<b>235</b>
<b>Cap 9 CONCLUZII FINALE ȘI DE PERSPECTIVE.....</b>	<b>237</b>
<b>Cap10 BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>242</b>



# Capitolul 1. INTRODUCERE

## 1.1. Actualitatea și utilitatea temei

Cercetarea științifică și tehnologică reprezintă un factor fundamental de modernizare și informatizare a unei societăți, punând în evidență necesitatea prelucrării și transformării inteligente a materiilor prime în produse finite de calitate superioară într-o industrie durabilă și eficientă.

Capabilitatea și competitivitatea produselor pe o piață permanent concurențială, depind de tehnologia de prelucrare și de tehnica măsurării în condițiile de asigurare reală a calității, productivității și flexibilității.

Tehnica măsurării îndeplinește în special rolul de supraveghere și deservire a calității producției industriale, de asigurare a funcționării proceselor tehnologice din majoritatea ramurilor industriale, de asigurare a funcționării proceselor tehnologice din majoritatea ramurilor industriale și de economisirea și gospodărirea eficientă a energiei, combustibilului și materiei prime.

Evoluția și dezvoltarea tehnologiei și tehnicii măsurării, odată cu maturizarea microelectronicii, automatizării și informatizării, a condus în ultima perioadă la creșterea substanțială a performanțelor mijloacelor și echipamentelor de măsură și control ce au ca principal scop, definirea geometriei și preciziei pieselor industriale.

Majoritatea acestor mijloace și echipamente de măsură și control au la baza construcțiilor și principiilor de funcționare, tehnica de senzori și traductoare, aceasta dând posibilitatea dezvoltării armonioase a domeniului, creșterii performanțelor și gradului de automatizare și informatizare, descoperirii de noi metode de prelucrare a datelor și rezultatelor și nu în ultimul rând, a obținerii și asigurării calității totale a produselor.

În acest scop, dublat și de facilitățile majore privind compatibilitatea prelucrării informațiilor prin calculator, este imperios necesar dezvoltarea domeniului de senzori și traductoare pe principii noi și modernizate, care să satisfacă dezideratele deja menționate, o latură principală în acest sens, cu pondere majoritară, fiind cea a senzorilor și traductoarelor fotoelectrice incrementale.

Domeniul senzorilor și traductoarelor fotoelectrice incrementale este foarte puțin tratat în literatura de specialitate din punct de vedere al bazei matematice și al tehnologiilor speciale, de realizare a rețelelor fotoelectrice incrementale divizoare, vernier și de nul, fiind în general prezentat numai printr-o varietate sortotipodimensională de produse, realizată de diferite firme pe plan mondial.

Așadar, acest domeniu este cercetat, experimentat și realizat de firme de specialitate, reprezentând la majoritatea firmelor, o pondere însemnată (ex. firma Mitutoyo - Japonia) iar la mai puține firme, o pondere aproape în totalitate (ex. firma Heidenhain - Germania), în ansamblul activității acestora.

Toate aceste elemente prezentate constituie de fapt, confirmarea oportunității alegerii lucrării de doctorat.

Lucrarea de doctorat este de actualitate și utilitate, atât din punct de vedere teoretic, dar mai ales din punct de vedere al aplicabilității industriale și reprezintă în mare parte rezultatele investigațiilor și cercetărilor autorului.

Lucrarea de doctorat este structurată pe 9 capitole în care sunt tratate problemele descrise în continuare.

Capitolul 1 arată actualitatea, utilitatea și scopul lucrării de doctorat, evidențiind obiectivele majore rezolvate în cadrul cercetărilor și experimentărilor.

Capitolul 2 tratează stadiul actual pe plan mondial al cercetărilor și realizărilor privind traductoarele fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție, privind franjele moiré, studiul geometriei, principiile de utilizare a rețelelor moiré în metrologia deplasărilor și sinteza elementelor de calcul pe tipuri de rețele fotoelectrice utilizate în construcția de senzori și traductoare..

Capitolul 3 studiază modelul matematic și proiectarea pe calculator a rețelelor fotoelectrice incrementale de nul cu pas variabil, evidențiind noile teoreme și procedee de generare ordonată a rețelelor incrementale divizoare, vernier și de nul, precum și organigrama logică a algoritmului matematic prin care a fost elaborat programul de proiectare al rețelelor.

Tot în acest capitol sunt prezentate și graficele impulsului de nul obținut cu performanțe superioare, comparativ cu cea mai renumită firmă de pe plan mondial, firma Heidenhain din Germania.

Capitolul 4 tratează bazele teoretice ale rețelelor incrementale de deplasare și poziție, inclusiv subdivizarea electronică, compensarea impulsului de perturbație prin circuite logice, influența excentricității și bătăii frontale ale discurilor incrementale asupra legii de variație a semnalelor de ieșire sinus - cosinus și corelarea între erorile obținute pe rețele fotoelectrice incrementale și erorile de execuție a configurațiilor.

Capitolul 5 se ocupă cu realizarea măștilor master pentru execuția discurilor incrementale divizor și vernier ale traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție, experimentată și integrată în tehnologia de la S.C. ICPE - București, privind determinarea configurațiilor de mască, cotarea tehnologică, tehnologia de procesare a măștii. În acest capitol se tratează în continuare, generarea automată a măștilor rețelelor incrementale de divizare liniară și circulară (prin metoda fotocompoziției cu mai multe reduceri microfotografice), tehnologia de realizare a șabloanelor master pentru riglele incrementale divizor și vernier (prin fotografierea cu interferometru cu laser) experimentată și integrată la S.C. Cercetări Electronice - Băneasa.

Deasemenea este prezentată tehnologia de execuție a discurilor incrementale divizor și vernier la traductoarele incrementale de poziție, experimentată și integrată în tehnologia de la S.C. IOR S.A. București și tehnologia de realizare a riglelor fotoelectrice incrementale, integrată în tehnologia de la S. C. Mecanică Fină S.A. București.

Capitolul 6 tratează rezultatele obținute în cercetare privind conceperea și realizarea de traductoare fotoelectrice de deplasări mici (tip TID - L) și de traductoarele fotoelectrice de poziție (tip TIRO).

Capitolul 7 studiază analiza, proiectarea și realizarea cuplajelor elastice de torsiune pentru traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție cu determinarea matematică a raporturilor de mișcare și de forță la unele tipuri de cuplaje elastice, precum și standul de încercare și măsurare a caracteristicilor tehnico-funcționale ale cuplajelor elastice.

Capitolul 8 prezintă o gamă largă de soluții constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție, în mecanică fină, mecatronică, robotică și în special în construcția aparatelor și echipamentelor de măsură și control, în principal pentru:

- șublere de exterior cu afișare digitală, cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare tip TIL și tip TIRO;
- micrometre de exterior cu afișare digitală, cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare tip TIL și tip TIRO;
- capete micrometrice cu sisteme fotoelectrice incrementale tip TIRO;
- aparate de măsurat și trasat într-o coordonată și trei coordonate, cu afișare digitală pe calculator, cu sisteme fotoelectrice incrementale de tip TIL și de tip TIRO.
- traductoare de deplasări mari cu sistem fotoelectric incremental tip TIL;
- aparate de control activ automat cu afișare digitală și microprocesor, cu sistem fotoelectric incremental tip TIL;
- aparate tip masă divizoare și cap divizor, cu afișare digitală și calculator, cu sistem fotoelectric incremental tip TIRO;
- aparate tip proiector de profile și microscop de măsurare, cu afișare digitală, cu sistem fotoelectric incremental tip cap micrometric fotoelectric;
- echipamente de prereglat scule tip cuțit de strung și bară de alezat, cu afișare digitală, cu sistem fotoelectric incremental tip TIL și tip TIRO;

Sunt prezentate soluțiile constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție, în construcția roboților industriali, în principal pentru:

- roboți de control dimensional cu 5 grade de libertate pentru industria de mecanică fină, cu sisteme fotoelectrice incrementale tip TIL și TIRO;
- roboți de control dimensional cu 5 grade de libertate pentru industria constructoare de mașini (pentru sistemele flexibile de prelucrare) cu sisteme fotoelectrice incrementale tip TIL și tip TIRO;
- roboți industriali tehnologici și de montaj, cu mai multe grade de libertate pentru industria de mecanică fină și industria constructoare de mașini, (cu sisteme fotoelectrice incrementale) tip TIL și tip TIRO;



Capitolul 9 tratează principalele concluzii ale lucrării de doctorat, privind contribuțiile originale, rezultatele teoretice și practice obținute și valorificate de către autor dar și câteva din perspectivele cercetărilor ce vor urma acestei lucrări de doctorat.

## 1.2. Scopul lucrării

Cercetările fundamentale aplicative și experimentale realizate și redade în prezenta lucrare de doctorat, definesc următorul scop:

- definirea și cunoașterea problematicii complexe privind studiul și construcția traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție;
- definirea și elaborarea tehnologiilor speciale în camere curate privind realizarea rețelelor fotoelectrice incrementale divizoare, vernier și de nul, liniare și circulare;
- elaborarea bazei matematice de determinare precisă a rețelei fotoelectrice incrementale de nul cu pas variabil;
- îmbunătățirea concepției proiectării, utilizării, dezvoltării și integrării traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție, în industria de mecanică fină și robotică;
- modernizarea și dezvoltarea domeniului de aparate, echipamente și instalații de măsură și control prin integrarea optimă a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție;
- dezvoltarea domeniului de mecatronică și robotică prin selectarea și integrarea traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție;
- informatizarea parțială și/sau completă a mijloacelor de măsură și control dimensional.

Lucrarea de doctorat este structurată pe 9 capitole, 220 figuri, 44 tabele și o bibliografie cu 112 titluri.

Pe tot parcursul cercetărilor și experimentărilor, precum și a elaborării lucrării, am beneficiat de sprijinul și îndrumarea domnului profesor dr. ing. Francisc Kovacs, căruia îi aduc mulțumiri și expresia sentimentelor mele de înaltă considerație.

Pentru desfășurarea întregii activități necesare realizării lucrării de doctorat și pentru asigurarea condițiilor fundamentale necesare realizării cercetării aplicative și experimentale, am beneficiat de sprijinul total al Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Mecanică Fină București, dar mai ales de ajutorul și înțelegerea deplină a colegilor, în special din Departamentul Control Dimensional, al cărui nume nu îl amintesc pentru a nu scrie o listă prea lungă.

Deasemenea, am primit sprijin, pe parcursul elaborării tezei, din partea membrilor corpului profesoral de la Catedra de Mecanică Fină din Universitatea Politehnică Timișoara, pentru care aduc mulțumirile mele cu deosebită considerație, prof. dr. ing. D. Perju, prof. dr. ing. N. Gheorghiu.

O bună colaborare cu rezultate pozitive ce a influențat finalizarea tezei de doctorat, am avut-o cu membrii corpului profesoral de la Catedra de Mecanică Fină din Universitatea Politehnică București, drept pentru care aduc mulțumirile mele cu deosebită considerație, prof. dr. ing. Nicolae Alexandrescu, prof. dr. ing. Constantin Micu, prof. dr. Petre Dodoc, prof. dr. ing. Adrian Pascu, prof. dr. ing. Valeriu Banu, conf. dr. ing. Valentin Pau.

Cu scuzele de rigoare, așezate în relativitatea timpului, doresc să aduc mulțumiri *post mortem* soției mele, pentru înțelegerea și dăruirea "timpului de atunci, ce a devenit acum"!

## Capitolul 2. STADIUL ACTUAL PE PLAN MONDIAL AL CERCETĂRILOR ȘI REALIZĂRILOR PRIVIND TRUCTOARELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE DEPLASARE ȘI DE POZIȚIE

### 2.1. Scurt istoric

Fenomenul purtând numele exotic moiré se face ușor remarcat fie în faldurile perdelelor, fie pe ecranele TV.

Exemplul clasic îl constituie suprapunerea a două straturi de mătase transparentă examinate în lumină naturală.

În afară de firele ce urzesc cele două texturi, se observă un desen tremurător, sclipitor, numit moirure.

Proprietatea de a da naștere acestui desen, alcătuit din franje de diferite forme, se caracterizează prin adjectivul moiré.

În /1/ 5/ 8/ 28/ 34/ 63/ 85/ 92/ se face prima mențiune a franjelor moiré sub forma:

"Dacă două copii fotografice, ce conțin același număr de linii drepte pe cm, se suprapun în așa fel încât liniile celor două copii să fie aproape paralele, atunci se formează un sistem de linii paralele, " franje moiré", a căror direcție bisectează unghiul dintre direcțiile liniilor inițiale".

În /63/ 85/ 92/ 96/ 97/ 104/ se tratează influența grosimii liniilor rețelelor asupra factorului de transmisie.

Totuși, fenomenul moiré capătă un loc bine precizat în tehnică abia după 1950, fapt datorat în special următoarelor dezvoltări :

a) Începând din 1951, se introduce o nouă concepție în producția de mașini-unelte: comanda numerică;

b) simultan, se pune la punct o metodă de producere a rețelelor metrologice, plecându-se de la obținerea unor rețele de difracție din material plastic, drept replici ale unor rețele martor strunjite elicoidal (rețele de fază, cu profilul în formă de dinți de fierăstrău);

c) pentru a verifica fidelitatea replicilor confecționate s-a examinat în transmisie prin metode moiré, stabilind condițiile optice simple și riguroase, necesare pentru obținerea unei configurații moiré corecte.

Între 1958 - 1960 se pun la punct o serie de metode fotolitografice, ce permit obținerea de rețele foarte lungi, precise, cu densitate mare de linii.

După 1970, intrând în atenția a numeroase institute și firme de prestigiu din țările dezvoltate ale lumii, tehnica moiré cunoaște un mare număr de aplicații metrologice: măsurarea deplasărilor liniare și unghiulare; măsurarea indicelui de refracție și a gradientului acestuia; măsurarea distorsiunii obiectivelor fotografice; studiul solicitărilor dinamice; studiul deformațiilor (fotoelasticimetrie); studiul vibrațiilor și al unor fenomene tranzitorii etc.

### 2.2. Franje Moiré

Fenomenul moiré constă în apariția unei figuri formate din benzi luminoase, alternând cu benzi întunecate, atunci când se examinează două rețele suprapuse.

Dacă examinarea se face în lumină albă, figura moiré obținută este formată din franje în diferite nuanțe de gri, ce marchează trecerea de la "alb" (linia mediană a franjei = benzi luminoase) la "negru" (idem banda întunecată) .

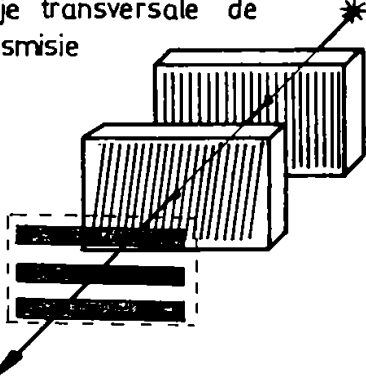
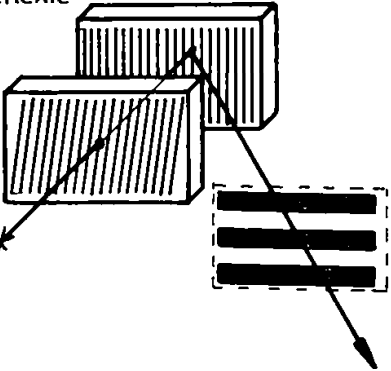
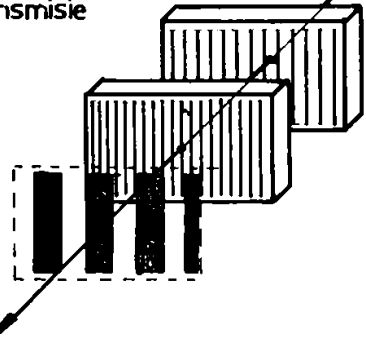
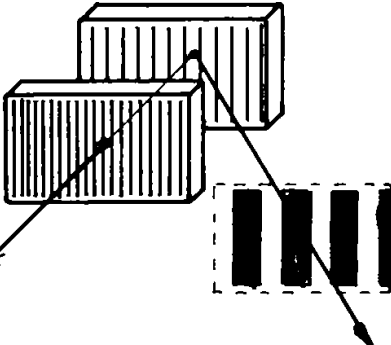
Apariția franjelor moiré nu este condiționată de vreo formă particulară a liniilor rețelelor, nici de planeitatea suporturilor acestora .

Metrologia deplasărilor folosește însă rețelele plane cu o distribuție particulară și regulată a liniilor /1/ 5/ 8/ 30/ 85/ 86/ 89/ 92/ 97.

Tabelul 2.2.1.1. conține o clasificare a franjelor moiré în funcție de tipul rețelelor, de frecvența și orientarea acestora, cu exemplificare pentru două rețele liniare / 5/ 8/ 34/ 35/ 85/.

## 2.2.1. Clasificarea franjelor moiré (exemplificare pentru două rețele liniare) :

Tabelul 2.2.1.1.

DUPĂ TIPUL DUPĂ REȚELELOR FRECVENȚA SI ORIENTAREA REȚELELOR	REȚELE DE TRANSMISIE	REȚEA DE REFLEXIE & REȚEA DE TRANSMISIE
REȚELE CU PAȘI IDENTICI RECIPROC INCLINATE	Franje transversale de transmisie 	Franje transversale de reflexie 
REȚELE CU PAȘI DIFERIȚI SI LINII RECIPROC PARALELE	Franje longitudinale de transmisie 	Franje longitudinale de reflexie 

Dacă se suprapun două rețele liniare identice astfel încât liniile sunt reciproc înclinate cu  $\varphi$ , se obțin "franjele transversale", rezultate din încrucișarea liniilor.

Dacă se suprapun două rețele liniare cu pași diferiți astfel încât liniile acestora sunt reciproc perfect paralele, se obțin "franjele longitudinale", rezultând din suprapunerea variabilă a liniilor.

Reținem ca franjele moiré apar atunci când cele două rețele diferă ca orientare sau  $\varphi$  și ca frecvență a liniilor.

Fenomenul moiré poate fi interpretat prin interferență mecanică, adică geometric și prin interferență fizică, pe baza fenomenului de difracție.

Studiile au arătat că, pentru cazul unor "rețele grosiere", tratarea geometrică este satisfăcătoare, iar pentru "rețele fine", se impune tratarea fizică.

În scopuri metrologice se pot folosi, însă, ambele tipuri de rețele /1/ 5/ 8/ 30/ 34/ 35/ 85/ 89/

Se consideră două rețele formate din linii opace separate de intervale transparente, cu același pas  $p$ , reciproc înclinate cu unghiul  $\varphi$  (fig. 2.2.1.1.) Se obțin franje cu perioada  $f$ , rezultate din încrucișarea liniilor.

Familia franjelor de intensitate minimă este locul geometric al punctelor unde liniile opace coincid cu dreptele ce unesc diagonalele mici ale romburilor formate din liniile mediane ale liniilor

opace /85/. În afara acestor franje vizibile, teoria pune în evidență un tablou de franje invizibile, corespunzătoare diagonalelor mari ale aceluiași romburi .

Vizibilitatea franjelor depinde de raportul dintre grosimea liniilor opace și respectiv transparente.

S-a constatat că cel mai bun contrast se obține atunci când valoarea raportului este 1 / 85/. Aspectul de zig-zag al franjelor dispăre dacă liniile rețelelor sunt suficient de apropiate, astfel încât să nu mai fie rezolvate de sistemul optic ce formează imaginea franjelor .

Dacă franjele sunt examinate cu ochiul emetrop la distanța minimă a vederii clare (250 mm) se vor vedea net dacă rețelele au mai mult de 13 linii / mm .

Ținând seama și de cele arătate, motivăm apariția franjelor moiré printr-o variație a factorului de transmisie,  $\tau$ , ce modelează radiația emergentă cuplului de rețele.

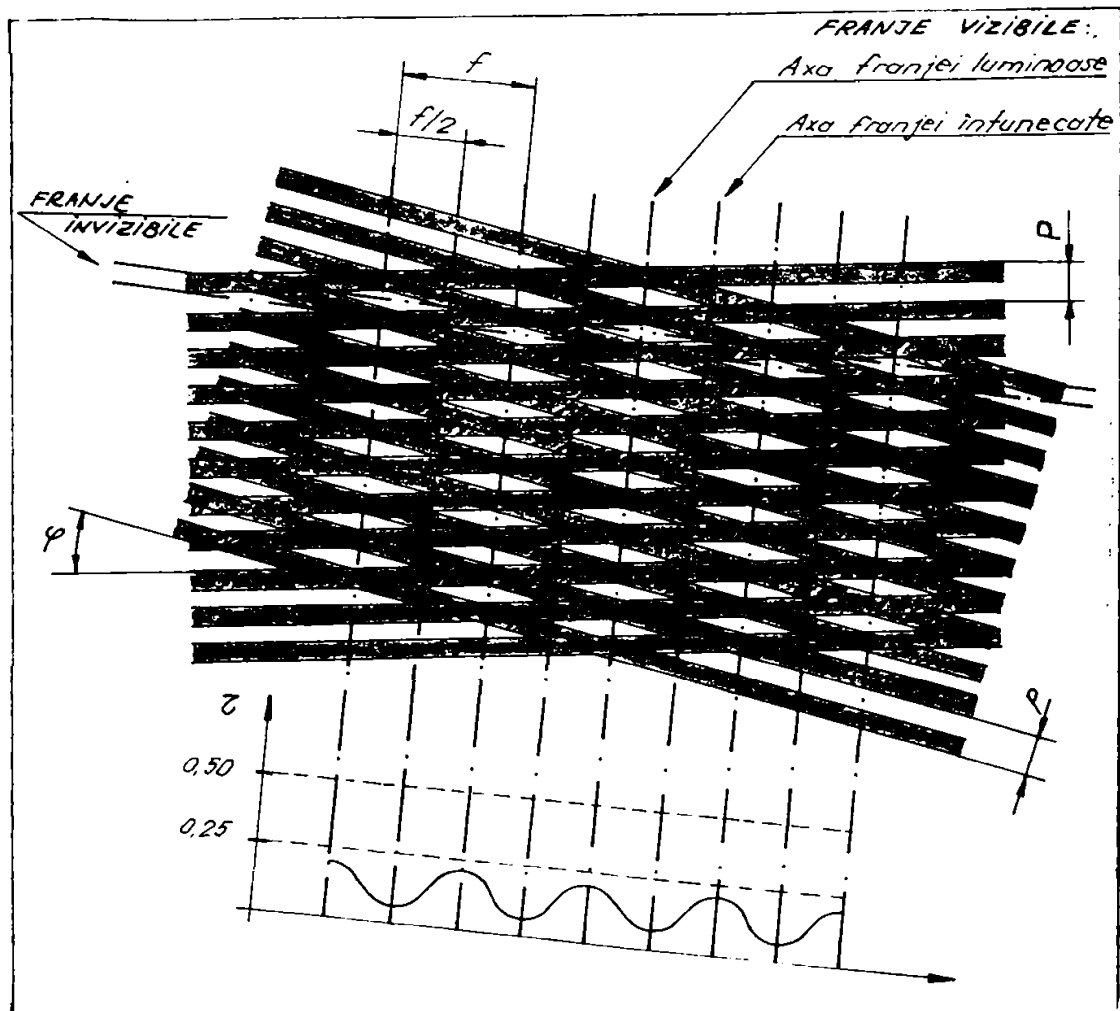


Fig.2.2.1.1

Considerând acum două rețele liniare cu pași diferiți  $p_1$  și  $p_2$ , cu liniile reciproc paralele, obținem franje cu perioada  $f$ , rezultate din suprapunerea variabilă a liniilor (fig.2.2.1.2.) .

Ca și în cazul precedent sunt indicate axa franjei luminoase și a celei întunecată, franjele propriu-zise neputând fi distinse din motivele enunțate anterior.

O clasificare constructiv - tehnologică a rețelelor moiré este prezentată în tabelul 2.2.1.2. // 5/ 8/ 29/ 62/ 85/ 86/ 89/. Datorită frecvenței mari a liniilor lor, rețelele fine produc franje afectate de fenomenul de difracție.

În cazul rețelelor grosiere, difracția poate fi neglijată, ceea ce justifică o tratare exclusiv geometrică.

Actuala tendință pe plan mondial constă tocmai în utilizarea cu precădere a rețelelor grosiere, urmare a avantajelor acestora.

Rețelele grosiere sau fine sunt utilizate pentru măsurarea sau înregistrarea deplasărilor liniare și unghiulare ale părților mobile ale unor aparate, echipamente sau mașini-unelte; pentru poziționarea automată, controlul deplasărilor și corecția erorilor în mișcarea relativă a părților acestora. Rețelele metrologice utilizate pot fi, din punct de vedere constructiv - tehnologic :

- rețele liniare de transmisie de fază, obținute prin replicare;
- rețele liniare de reflexie de amplitudine, obținute fotografic (sunt rețele grosiere cu mai puțin de 100 linii / mm) ;
- rețele liniare de transmisie de amplitudine, obținute fotografic (sunt rețele grosiere);
- rețele radiale de transmisie de amplitudine, obținute tot fotografic;
- rețele holografice de amplitudine liniare, radiale, cilindrice, care pot ajunge până la 10.000 linii / mm .

Rețelele de amplitudine modelează amplitudinea luminii emergente, iar rețelele de fază modifică faza luminii.

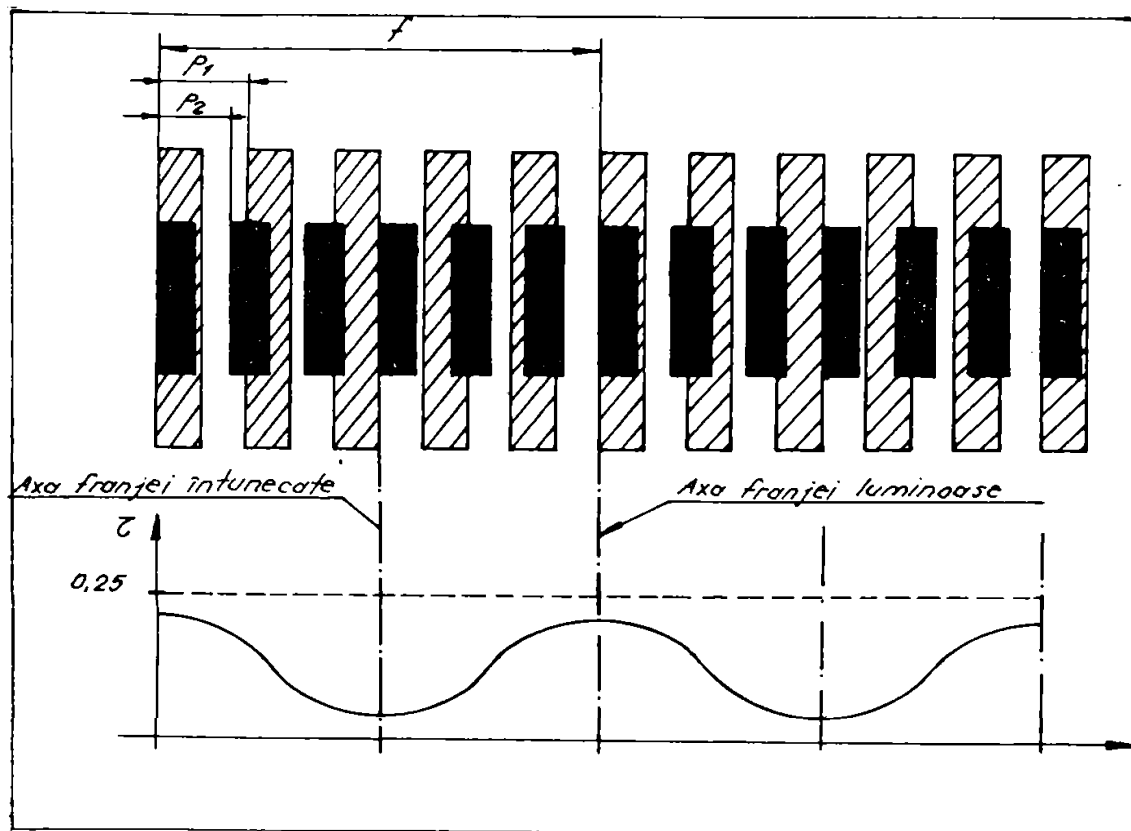
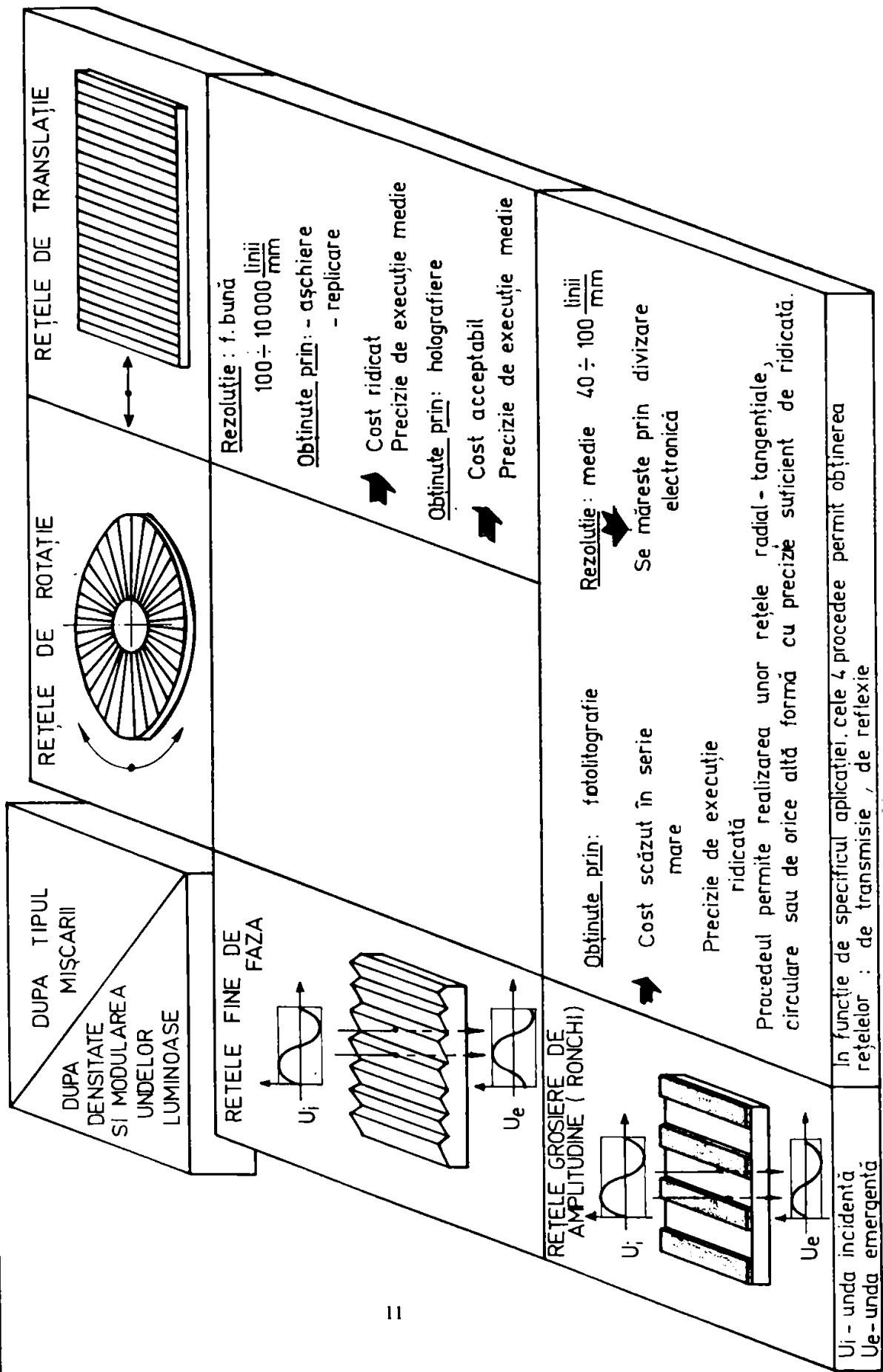


Fig. 2.2.1.2.

CLASIFICAREA CONSTRUCTIV-TEHNOLOGICA A REȚELOR MOIRÉ



### 2.2.2. Principii de utilizare a rețelelor moiré în metrologia deplasărilor

În fig. 2.2.2.1. este indicată schema de principiu a unui traductor liniar moiré cu franje transversale. Rigla vernier conține rețeaua vernier, cu pasul  $p$ . Rigla divizoare, considerată a fi elementul mobil, conține rețeaua divizoare, cu același pas.

Sursa luminoasă emite lumină albă sau monocromatică al cărui maxim de intensitate corespunde sensibilității maxime a fotoreceptorului. Sistemul optic colimator asigură un fascicul în general paralel ce coincide normal sau nu, pe rețele. Sistemul optic condensor este necesar numai la folosirea rețelelor de fază, când se consideră că difracția și fotoreceptorul selectează unul din ordinele de difracție.

Sistemul optic este principial același, în cazul oricărui traductor de deplasare moiré, nedepinzând de tipul franjelor sau de tipul mișcării sesizate de traductor.

Toate elementele, cu excepția rețelei divizoare, sunt solidare și formează capul cititor.

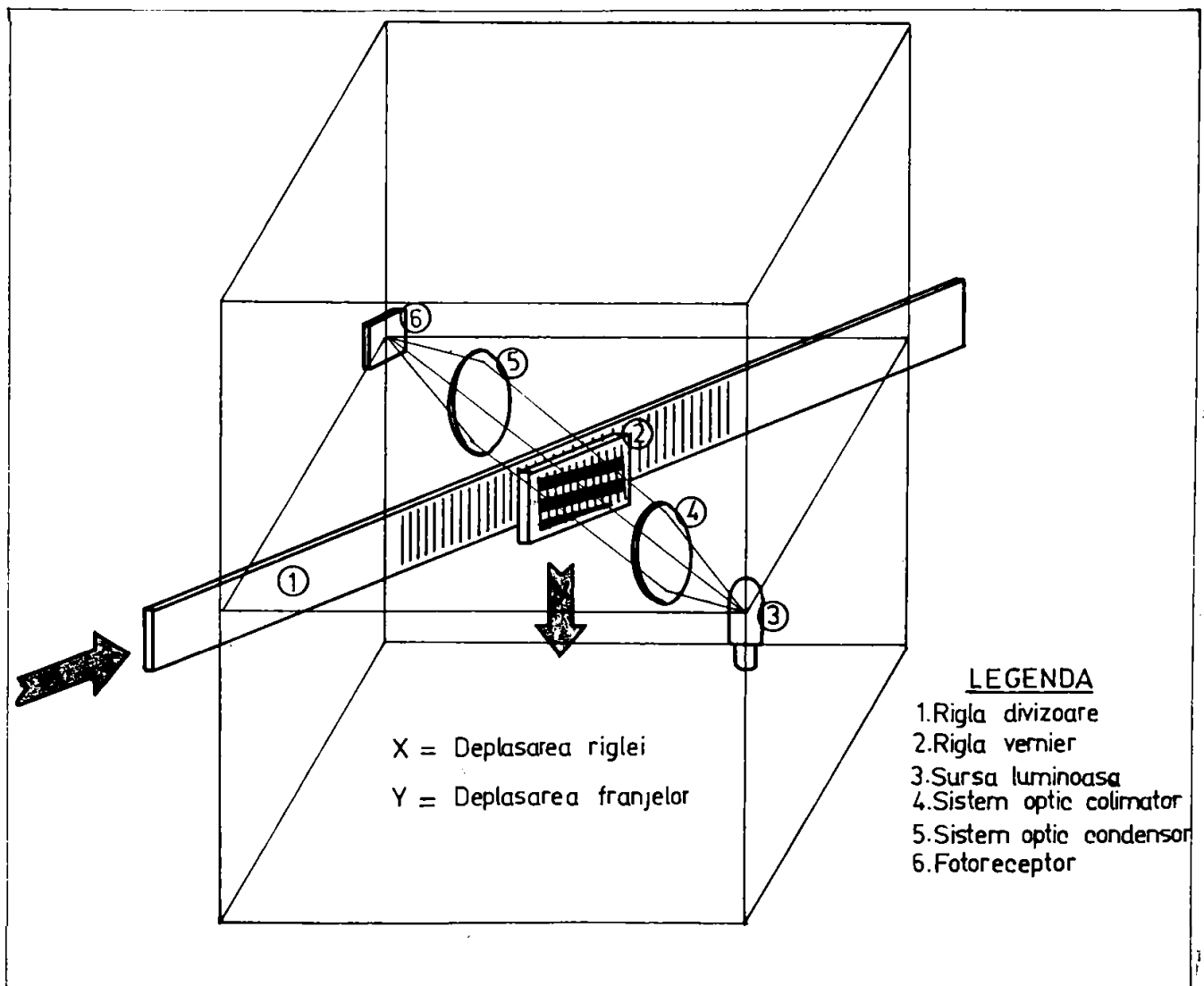


Fig. 2.2.2.1.

Presupunând că rețeaua vernier, respectiv capul cititor se deplasează în sensul indicat cu cantitatea  $x$ , franjele moiré capătă o mișcare în direcție perpendiculară cu cantitatea  $y$ . Cu

aproximație, 
$$y = \frac{x}{\varphi}; \quad (2.2.2.1)$$

$\varphi$  fiind unghiul dintre liniile celor două rețele. Cum are valori foarte mici ( $\varphi \ll 1$ ) se obține astfel o puternică amplificare a mișcării, ceea ce permite măsurarea deplasării rețelei mobile prin intermediul deplasării franjelor.

Din punct de vedere metrologic, spațiul parcurs de rețeaua mobilă constituie măsurandul în tabloul franjelor - măsurare, a cărei diviziune este egală cu perioada moiré.

Citirea, respectiv, interpolarea franjelor, se face fotoelectric; se obține o variație quasisinusoidală în timp a fluxului luminos emergent, față de care intensitatea curentului fotoelectric se află într-o relație de proporționalitate.

Deplasării  $x$  a rețelei mobile îi corespunde o variație  $2\pi \frac{x}{p}$  a fazei franjelor.

Se observă că dacă rețeaua mobilă avansează cu un pas ( $x = p$ ), o franjă ia locul alteia, adică faza variază cu  $2\pi$ . Se obține deci direct o subdivizare a deplasării în incremente:  $1 \text{ bit} = p \cdot y$

Divizarea în continuare a acestui increment se realizează electronic, până la valori foarte înalte.

### 2.2.3. Studiul geometric al franjelor moiré

Se tratează modelul matematic al franjelor moiré rezultate prin suprapunerea a două rețele plane ale căror linii pot fi descrise prin două familii de curbe oarecare  $/1/ 8/ 85/$ .

Se reduc rețelele la două plane, considerate suprapuse cu planul  $xoy$  al unui triedru ortogonal  $oxyz$  (fig. 2.2.3.1.).

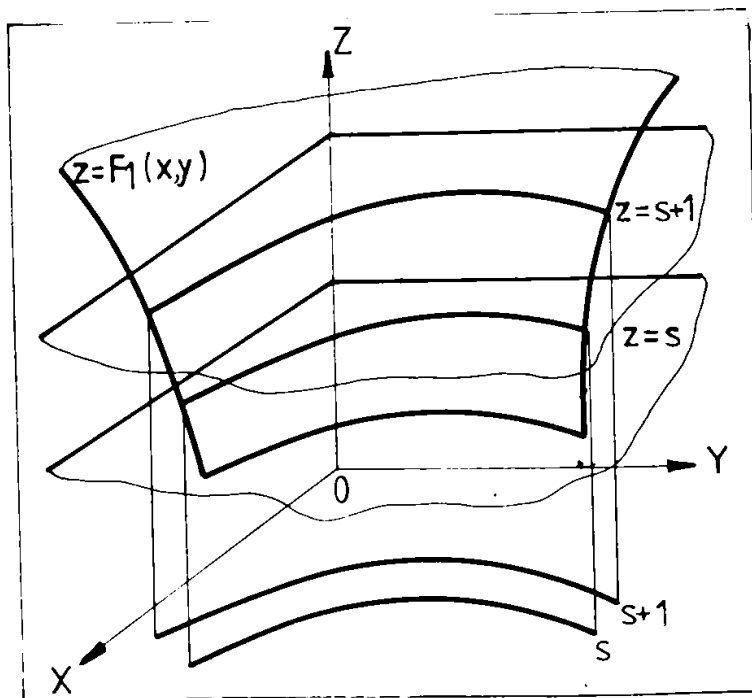


Fig. 2.2.3.1.

În figură se indică modul de obținere a familiei de  $F_1$  ale primei rețele (teoretic): proiectează în  $xoy$  curbile intersecție ale unei suprafețe  $Z = F_1(x, y)$  (2.2.3.1) cu o familie de plane  $Z = S = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  (2.2.3.2) Pentru a doua rețea avem similar:  $Z = F_2(x, y)$  (2.2.3.3) și  $Z = h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  (2.2.3.4)

Figura moiré construită în planul  $xoy$  este obținută geometric al punctelor verifică ecuația indicată  $h \pm s = n$  (2.2.3.5) unde:  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  (2.2.3.6)  $r$  prezintă ordinul franjelor moiré.



Semnul + indică franje aditive, iar semnul -, franje sustractive.

Aceasta este o simplă convenție, deoarece dacă xoy este fix și coincide cu planele rețelelor, semnul axei OZ este arbitrar.

Din cele două posibilități, una corespunde franjelor vizibile (de ordin I), iar cealaltă, franjelor invizibile (de ordin II).

Înlocuind relațiile (2.2.3.1 ÷ 2.2.3.4) în (2.2.3.5) se obține ecuația în coordonate carteziene a familiei franjelor moiré :

$$F_1(x,y) \pm F_2(x,y) = n \quad (2.2.3.7)$$

Prin deplasarea reciprocă a rețelelor se poate trece de la franje aditive la franje sustractive, adică de la o diagonală a patrulaterelor curbilinii formate de liniile rețelelor, la cealaltă diagonală.

În cazul limită, diagonalele sunt egale și franjele sunt deopotrivă invizibile (lumina se distribuie uniform). În cazul rețelelor cu linii oarecare, apar simultan cele două tipuri de franje, separate printr-o zonă de frontieră (fără franje).

Aici diagonalele sunt egale, dacă liniile rețelelor sunt perpendiculare adică produsul coeficienților unghiulari ai curbelor este :

$$\frac{F'_{1x}}{F'_{1y}} \times \frac{F'_{2x}}{F'_{2y}} = -1 \quad (2.2.3.8)$$

de unde rezultă ecuația liniilor de frontieră :

$$\psi(x,y) = F'_{1x} \times F'_{2x} + F'_{1y} \times F'_{2y} = 0 \quad (2.2.3.9)$$

Dacă  $\psi(x,y) = 0$ , franjele vor fi sustractive și invers.

În metrologie nu se folosesc, însă, rețele de forme complet neregulate, ci doar unele cu linii descrise de ecuații simple, ce pot fi tratate fiecare prin metode adecvate.

Acestea sunt prezentate în tabelul 2.2.3.1., /1/ 8/ 85/. Menționăm că ecuația indiceală indicată are un caracter informativ.

Apariția împreună a semnelor + și - semnifică faptul că cele două tipuri de franje apar simultan.

FRANJE TRANSVERSALE

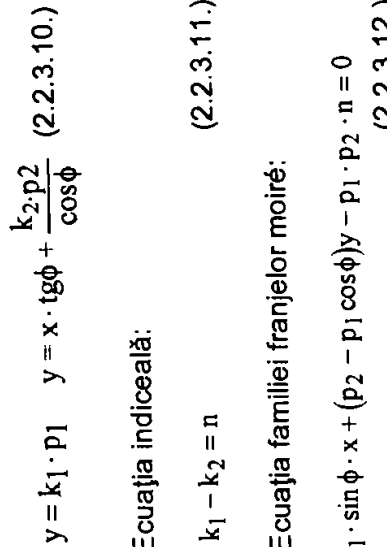
Forma rețelelor	Reprezentarea grafică	Elemente de calcul	Forma franjelor
<p>1. REȚELE LINIARE</p>		<p>- Ecuatiile fasciculelor de linii:</p> $y = k_1 \cdot p_1 \quad y = x \cdot \operatorname{tg} \phi + \frac{k_2 \cdot p_2}{\cos \phi} \quad (2.2.3.10.)$ <p>- Ecuatia indiceală:</p> $k_1 - k_2 = n \quad (2.2.3.11.)$ <p>- Ecuatia familiei franjelor moiré:</p> $p_1 \cdot \sin \phi \cdot x + (p_2 - p_1 \cos \phi) y - p_1 \cdot p_2 \cdot n = 0 \quad (2.2.3.12.)$ <p>- Perioada moiré:</p> $f = \frac{p_1 \cdot p_2}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2} - 2p_1 p_2 \cos \phi} \quad (2.2.3.13.)$ <p>dacă:</p> $p_1 = p_2 = p, \quad f = \frac{1}{2} p \cdot \operatorname{cosec} \frac{\phi}{2}$ <p>Panta franjelor moiré:</p> $\operatorname{tg} \alpha = \frac{p_1 \cdot \sin \phi}{p_1 \cos \phi - p_2} \quad (2.2.3.14.)$ $p_1 = p_2 = p, \quad \alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{\phi}{2}$	<p>- Fascicul de linii paralele                  - Dacă rețelele au același p, franjele sunt perpendiculare pe bisectoarea unghiului φ.                  - Folosesc la măsurarea deplasărilor liniare</p>

Fig. 2.2.3.2

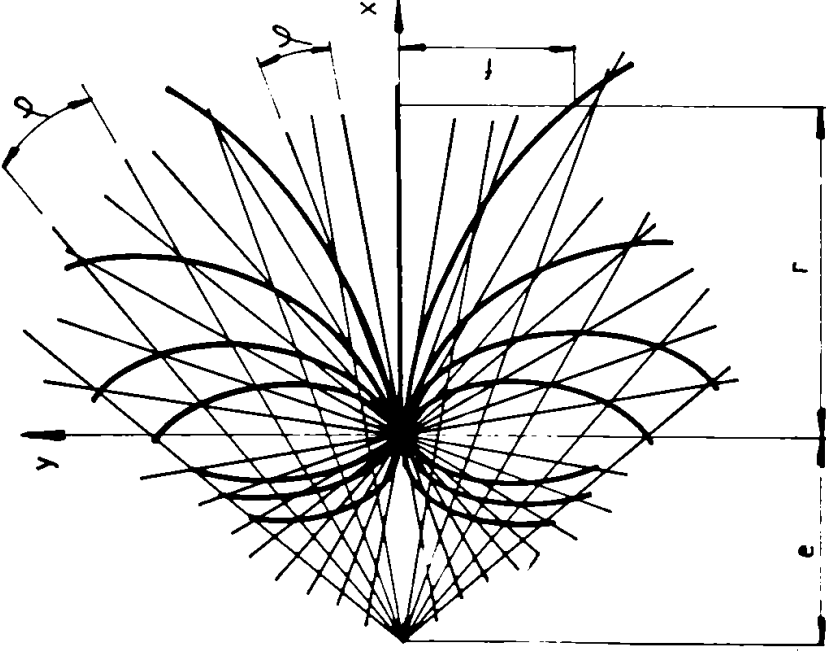
Forma rețelelor	Reprezentarea grafică	Elemente de calcul	Forma franjelor
<b>2. REȚELE RADIALE EXCENTRICE</b>		<p>- Ecuațiile fasciculelor de drepte:</p> $y = x \cdot \operatorname{tg} k_1 f; \quad y = (x + e) \cdot \operatorname{tg} k_2 f \quad (2.2.3.15)$ <p>- Ecuația indiceală:</p> $k_1 \pm k_2 = n \quad (2.2.3.16.)$ <p>- Ecuația familiei franjelor moiré:</p> $y = \frac{1}{2} e \cdot \operatorname{ctg} n \phi \pm \sqrt{\frac{1}{4} e^2 \operatorname{ctg}^2 n \phi - x(x + e)} \quad (2.2.3.17.)$ <p>- Perioada moiré:</p> $f = e \cdot \operatorname{ctg} \frac{\phi}{2} - \sqrt{e^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\phi}{2} - 4r \cdot (r + e)} \approx \frac{r(r + e)}{e} \cdot \phi$ <p>NOTĂ: S-au tratat franjele circulare (2.2.3.18)</p>	<p>- Pentru <math>x \in (-\infty, -e) \cup (0, \infty)</math> franjele sunt cercuri apolonice ce folosesc la măsurarea deplasărilor unghiulare</p> <p>- Pentru <math>x \in (-e, 0)</math> franjele sunt hiperbole, fără rol metrologic.</p>

Fig. 2.2.3.3.

Forma rețelelor	Reprezentarea grafică	Elemente de calcul	Forma franjelor
<b>3. REȚEA RADIALĂ + REȚEA RADIAL-TANGENȚIALĂ</b>		<p>- Ecuațiile familiilor de linii:</p> $\begin{cases} x = \phi \cdot \cos k_1 \phi \\ y = \rho \cdot \sin k_1 \phi \end{cases} \quad (2.2.3.19)$ $\begin{cases} x = \rho \cdot \sin \left( \arcsin \frac{r}{\rho} - k_2 \phi \right) \\ y = \rho \cdot \cos \left( \arcsin \frac{r}{\rho} - k_2 \phi \right) \end{cases} \quad (2.2.3.20)$ <p>- Ecuația indiciale:</p> $k_1 \pm k_2 = n \quad (2.2.3.21)$ <p>- Raza franjelor moiré:</p> $\rho = r \cdot \sec \cdot n \cdot \phi \quad (2.2.3.22)$ <p>- Perioada moiré:</p> $f = \frac{\rho \cdot r}{r \cos \phi - \sqrt{\rho^2 - r^2} \cdot \sin \phi} - \rho = r \left\{ \sec \left[ (m+1) \cdot \phi \right] - \sec m \cdot \phi \right\} \quad (2.2.3.23)$	<p>- Franjele sunt cercuri concentrice și folosesc la măsurarea deplasărilor unghiulare</p>

Fig. 2.2.3.4.

NOTĂ: Rețeaua radial-tangențială este formată din tangente duse la cerc de rază r

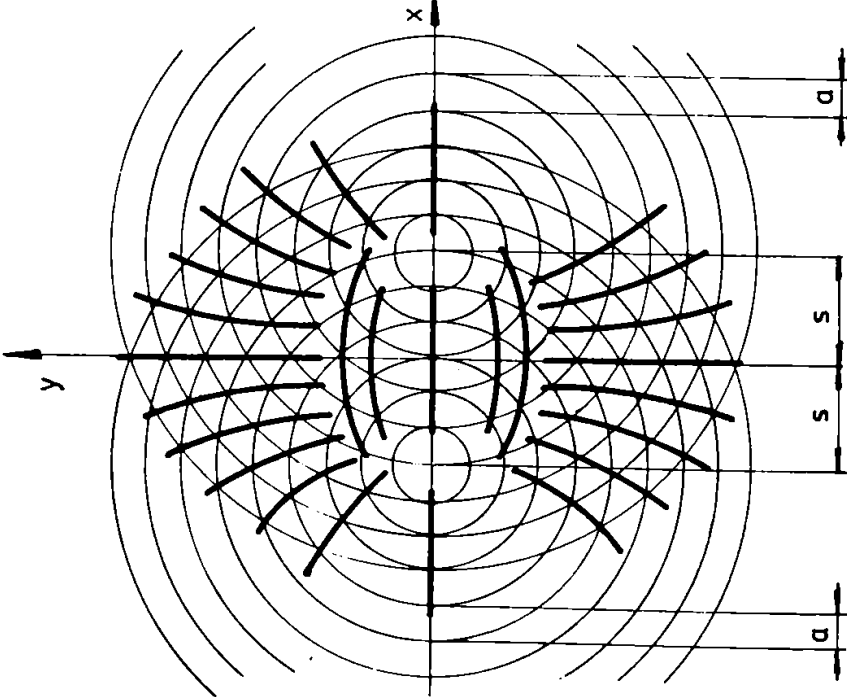
Forma rețelelor	Reprezentarea grafică	Elemente de calcul	Forma franjelor
<b>4. REȚELE CIRCULARE EXCENTRICE</b>		<p>- Ecuațiile familiilor de cercuri:</p> $(x-s)^2 + y^2 = k_1^2 \cdot a^2$ $(x+s)^2 + y^2 = k_2^2 \cdot a^2$ <p>- Ecuația indicială:</p> $k_1 \pm k_2 = n$ <p>- Ecuațiile familiilor de franje:</p> $\frac{x^2}{n^2} \pm \frac{y^2}{4 - s^2} = 1$	<p>Franjele formează o familie de hiperbole și una de elipse, ce folosesc la realizarea unor centrări de precizie.</p>

Fig. 2.2.3.5.

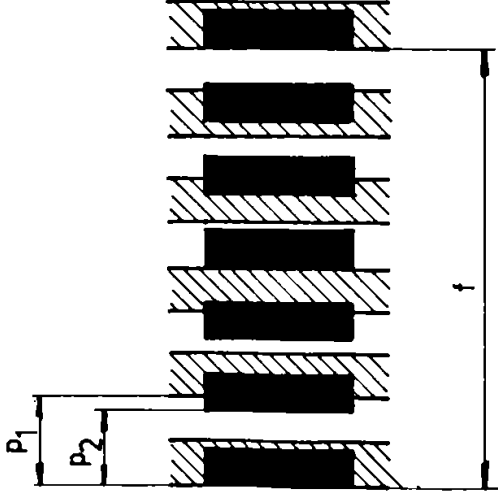
Forma rețelelor	Reprezentarea grafică	Elemente de calcul	Forma franjelor
<p><b>5.RETELE LINIARE</b></p> <p>Notă: Teoria este valabilă pentru orice alte franje longitudinale (produse de rețele radiale concentrice, rețele circulare concentrice).</p>		<p>- Dacă <math>p_1, p_2 \in \mathbb{N}</math> și c.m.m.d.c. <math>(p_1, p_2) = 1</math>, perioada moiré este:</p> $f = p_1 \times p_2 \text{ (numeric)} \quad (2.2.3.28)$ <p>în caz contrar,</p> $f = \text{c.m.m.m.c.} (p_1, p_2) \quad (2.2.3.29)$ <p>sau</p> $f = \frac{n \cdot p_1 \cdot p_2}{p_1 - p_2} \quad (2.2.3.30)$ <p>unde <math>n</math>, este cel mai mic număr natural pentru care obținem <math>f \in \mathbb{N}</math></p>	<p>Franjele sunt paralele cu liniile celor două rețele</p>

Fig. L.2.3.6.

### 2.3. Traductoare fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție

Datorită dezvoltării impetuoase a industriei pe plan mondial dar mai ales cerinței mereu crescânde a calității producției a automatizării acesteia, și a productivității, știința mondială, prin cercetări fundamentate și aplicative, au realizat descoperiri de noi principii de măsurare, noi metode de măsurare și control, noi aparate și sisteme de măsurare automatizate, cibernetizate și informatizate.

În această direcție se înscriu realizările și dezvoltările din domeniul traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție.

Indiferent dacă ne referim la traductoare fotoelectrice incrementale de deplasare sau de poziție, principiul de funcționare al acestora, se sintetizează în baleiajul opto-electronic, diasopic sau episcopocic, prin care semnalele optice sunt transformate în semnale electrice, acestea fiind supuse prelucrării, subdivizării electronice și afișării digitale /112/.

După rolul funcțional îndeplinit, rețelele incrementale cuprind: rețeaua de măsurare care constituie intervalul de măsurare iar pasul incremental determinând rezoluția traductorului de măsură; rețeaua vernier dispusă într-un număr de patru ferestre egale constituite dintr-un număr de incremente cu același pas ca și rețeaua de măsurare (poziția celor patru ferestre este determinată așa încât să se obțină un decalaj de un sfert de pas, al rețelei de măsurare între ele); rețeaua pentru impulsul de nul este constituită dintr-o înșiruire de incremente cu pas inegal [această rețea găsiindu-se atât pe rigla (discul) de măsurare cât și pe rigla vernier (discul vernier)]; rețea de referință constituită dintr-o înșiruire de incremente cu pas constant (de regulă, mai mare decât pasul rețelei de măsurare).

Rețeaua de măsurare, împreună cu rețeaua impulsului de nul, sunt dispuse pe rigla (discul) divizoare, iar rețeaua vernier împreună cu rețeaua impulsului de nul și rețeaua de referință sunt dispuse pe rigla (discul) vernier. De regulă, rigla (discul) divizoare este fixă iar rigla (discul) vernier este mobilă.

După modul cum este realizată rețeaua de măsurare și după modul în care este transmisă lumina pe fotoelemente, există pe plan mondial două tipuri de traductoare: traductoare episcopice, cu rețeaua incrementală realizată pe suport metalic, pe care lumina se reflectă; traductoare discopice, cu rețeaua incrementală realizată pe suport de sticlă optică, prin care trece lumina;

După tipul rețelei fotoelectrice utilizate, incrementale sau codate, există pe plan mondial două tipuri de traductoare: traductoare fotoelectrice incrementale; traductoare fotoelectrice absolute.

După modul de distribuție în plan a rețelelor incrementale sau codate, pe plan mondial există două tipuri de traductoare: traductoare de deplasare; traductoare de poziționare.

Realizarea pe plan mondial a riglelor sau discurilor incrementale divizoare și vernier, care stau la baza tuturor traductoarelor fotoelectrice, aplică ca tehnologii : tehnologiile de gravare cu diamant, tehnologiile de fotodivizare (cu rază laser), tehnologiile de metalizare (auto-dur; crom-dur), tehnologiile de fotolitografiere și litografiere.

Producția mondială de astfel de traductoare a fost diversificată și dezvoltată în direcția creșterii preciziei și integrării complete cu tehnica de calcul și cuprinde cele mai noi domenii de aplicabilitate, cu preponderență, domeniul automatizărilor.

În cadrul aplicațiilor, traductoarele fotoelectrice incrementale sunt utilizate ca atare sau împreună cu modulele de subdivizare electronică și cu blocurile de numărare, afișare comandă numerică și comandă numerică cu calculator.

În continuare este prezentat în sinteză stadiul actual pe plan mondial pentru domeniul traductoarelor fotoelectrice incrementale:

- traductoare fotoelectrice incrementale de rotație (tabelul 2.3.1);
- traductoare fotoelectrice incrementale de deplasare (tabelul 2.3.2);
- module de subdivizare electronică (tabelul 2.3.3);
- blocuri electronice de numărare, afișare și cu comandă numerică (tabelul 2.3.4).

Domeniul traductoarelor fotoelectrice a fost realizat și sintetizat, în baza unui studiu complex asupra tuturor firmelor producătoare în domeniu /112/, existente pe plan mondial, indiferent de mărimea și nivelul de dezvoltare, studiu efectuat prin Banca de Date Tehnice - Domeniul Control Dimensional /111/, înființată, dezvoltată și înregistrată pe plan internațional, de către autorul tezei (aceasta funcționând în cadrul Institutului Național de C-D pentru Mecanică Fină din București).

Tabelul 2.3.1.

Traductoare fotoelectrice incrementale de poziție

Nr. crt.	Tipul- mensuri	Semnale de ieșire	Nr. standard impulsuri / 360° Nr. maxim impuls. cu interpoare/360°	Pas incremental Rezoluție max. subdivizare	Tensiune alim. (V) Frecvența max. (KHz)	Eroare de justețe ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) Eroare de fidelitate	Moment de frecare (cN.cm) Grad de protecție	Țări, firme
0	1	2	3, 4	5, 6, 7	8, 9	10, 11	12, 13	14
1.	126	analogice	30; 50; 100; 120; 180; 200; 300 12.000	$\frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{300}$ $\frac{360^\circ}{12.000}$ X40	$5 \pm 5\%$ 12	$\pm \frac{1}{2} R_N = \pm \frac{1}{2} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{300} \right]$ $\left[ \pm \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} \right] R_N =$ $= \pm \left[ \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} \right] x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{300} \right]$	0,5 IP 50 IP 54	Japonia: Copal; SUA: Itek; Franța: Thomson; Olanda: Philips;
2.	212	analogice	30; 50; 100; 200; 250; 300 500; 600; 900; 1000; 2500; 3600 72.000	$\frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{3600}$ $\frac{360^\circ}{72.000}$ X20	$5 \pm 5\%$ 100	$\pm \frac{1}{2} R_N = \pm \frac{1}{2} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{3600} \right]$ $\left[ \pm \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} \right] R_N =$ $= \pm \left[ \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} \right] x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{3600} \right]$	10 IP 50 IP 54	Japonia: Sunx; Mitsutoyo; Germania: Heidenhain; Balluff; Franța: Sopenem; Crouzet; Roch; Anglia: Muirhead; Vactric România: INCDMF; S.C. Mecanică Fină



3	125	analogice	30;50;60;100;120; 125;128;150;180; 200;250;254;256;  360;400;420;500; 512;600;625;635; 720;800;900;1000;  1024;1080;1125; 1250;1270;1500; 1800;2000;2048; 2080;2500;2540; 3000;3600;4096; 4500;5000.	$\frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000}$  $\frac{360^\circ}{20.000}; (100.000)$ X20	$\frac{5 \pm 5\%}{(12 + 15)}$ 300	$\pm \frac{1}{2} R_N = \pm \frac{1}{2} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000} \right];$ $\pm \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000} \right];$ $\pm \frac{1}{4} R_N = \pm \frac{1}{4} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000} \right];$ $\pm \frac{1}{16} \div \frac{1}{32} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000} \right];$ $\pm \frac{1}{10} R_N = \frac{1}{10} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000} \right];$ $\pm \frac{1}{20} \div \frac{1}{40} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{5000} \right];$	$\frac{15 \div 100}{IP 50}$ IP 54	<p><b>Germania:</b> Heidenhain; Balluff; Jena;</p> <p><b>Ungaria:</b> Miki;</p> <p><b>Austria:</b> RSF Elektronik;</p> <p><b>Cehia:</b> Somet;</p> <p><b>Olanda:</b> Philips;</p> <p><b>SUA:</b> BEI Electronics; Dyneer; Itek;</p> <p><b>Anglia:</b> Mullhead; Vactric; Moore Reed;</p> <p><b>Franta:</b> Sopelem; Crouzet; Roch; Thomson;</p> <p><b>Japonia:</b> Mitutoyo;</p> <p><b>Romania:</b> INCDMF; S.C. Mecanică Fină;</p>
	116	HTI colector în gol						

4	116	analogice	9000; 18000; 25.920; 32.400; 36.000	$\frac{360^\circ}{9000} \div \frac{360^\circ}{36000}$ $\frac{360^\circ}{180.000}; (3.600.000)$ X50; X100;	$\frac{5 \pm 5\%}{-}$	$\pm \frac{1}{10} R_N = \pm \frac{1}{10} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{9000} \div \frac{360^\circ}{36.000} \right]$	$\frac{1.200}{IP 54}$ IP 64	Germania: Balluff; Anglia: Muirhead; Vactric; Moore Reed; SUA: Dyneer; Itak; Verniteh; Litton; Cehia: Somet Japonia: Mitutoyo Franța: Sapelem; Crouzet; Roch; Romania : INCDMF; S.C. Mecanică Fină;
5	123	analogice  TTL  HTL	360;400;500;512; 600; 720; 800; 900; 1000;1024;1156; 1250; 1500  2000;2048;2500; 3600;4096;5000  6000;7854;8192 9000;10000 10800;12500; 18000;36000	$\frac{360^\circ}{360} \div \frac{360^\circ}{36000}$ $\frac{360^\circ}{20000}; (72000)$ $\frac{360000}{X4; X10; X20}$	$\frac{5 \pm 5\%}{(12 \pm 15)}$ 10.000	$\pm \frac{1}{2} R_N = \pm \frac{1}{2} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{360} \div \frac{360^\circ}{36000} \right]$  $\pm \left( \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} \right) x$  $x \left[ \frac{360^\circ}{360} \div \frac{360^\circ}{36000} \right]$	$\frac{40 \div 800}{IP 50}$ IP 64	Germania: Heidenhain; Jena; Austria: RSF Elektronik; Ungaria: Miki; Anglia: Muirhead; Vactric Moore Reed; Cehia: Somet; Japonia: Mitutoyo SUA: Verniteh; Litton Franța: Sapelem; Crouzet; Roch; România: INCDMF; S.C. Mecanică Fină;

6	110	analogice TTL HTL colector în gol	$\frac{9000 \div 72000}{1.800.000}$	$\frac{360^\circ}{9000} \div \frac{360^\circ}{72000}$ $\frac{1.800.000}{360^\circ}$ X5; X10; X25	$5 \pm 5\%$	$\pm \frac{1}{10} R_N = \pm \frac{1}{10} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{360} \div \frac{360^\circ}{36000} \right]$ $\pm \left[ \frac{1}{20} \div \frac{1}{40} \right] x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{360} \div \frac{360^\circ}{36000} \right]$	$\pm \frac{1}{8} R_N = \frac{1}{8} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{9000} \div \frac{360^\circ}{72000} \right]$ $\pm \left[ \frac{1}{16} \div \frac{1}{32} \right] x R_N =$ $= \left[ \frac{1}{16} \div \frac{1}{32} \right] x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{9000} \div \frac{360^\circ}{72000} \right]$	$\frac{10 \div 100}{IP 50}$ IP 54	<b>Austria:</b> RSF <b>Electronik;</b> <b>Germania:</b> Heidenhain; <b>SUA:</b> Dymner; <b>Anglia:</b> Moore Reed;
---	-----	--	-------------------------------------	--	-------------	---	---	--------------------------------------	--

7	180	analogice  TTL HTL  colector în gol	30;50;100; 200; 250; 300; 500  600;900;1000; 1500;2000;  2500;2540; 3000; 3600;  4000;4500; 5000; 6000; 8000; 9000; 10000 100.000	$\frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{10000}$ $\frac{360^\circ}{100000}$ X20	$\frac{5 \pm 5\%}{100;300}$	$\pm \frac{1}{2} R_N = \pm \frac{1}{2} x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{10000} \right]$ $\left[ \pm \frac{1}{8} \div \frac{1}{16} \right] x$ $x \left[ \frac{360^\circ}{30} \div \frac{360^\circ}{10000} \right]$	$\frac{15 \pm 100}{IP 50}$ IP 54	<b>Japonia:</b> Sunx; Mitutoyo; Copal; <b>SUA:</b> Itek; BEI; Electronics; Dyneer; <b>Anglia:</b> Muirhead; Vactric; Moore Reed; <b>Germania:</b> Heidenhain; Balluff; Jena <b>Franta:</b> Thomson; Sopalem; Crouzet; Roch; <b>Olanda:</b> Philips; <b>Austria:</b> RSF Electronik; <b>Cehia:</b> Somet; <b>Ungaria:</b> Miki; <b>Romania:</b> INCDMF; S.C. Mecanică Fină
---	-----	--	---	---	-----------------------------	---	-------------------------------------	---

Tabelul 2.3.2.

## Traductoare fotoelectrice incrementale liniare

Nr. crt.	Tipodimensiunea de bază (mm) Tip constructiv	Semnale de ieșire	Pas incremental (mm)		Viteza maximă de deplasare m/min	Tensiune alim. (V) Frecvența max. (KHz)		Eroare de justețe ( $\mu\text{m} / \text{m}$ ) Eroare de fidelitate ( $\mu\text{m}$ )	Grad de protecție	Țări, firme
			Rezoluția max. cu interpolare (mm)							
0	1,2	3	4,5	6	7,8	9,10	11	12		
1	10 x 14 x max. 1000 - încapsulat - diascopic	analogice	0,02 0,001	24 + 60	5 ± 5% -	±1; ±2; ±3; ±5; ±10 ±0,5; ±1; ±2	IP 53 IP 54	Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo; Sunx;		
2	14 (16 x 45 x max 1740 (x max 2840) - încapsulat - diascopic	analogice	0,01; 0,02 0,001; 0,0005; 0,0001	24 + 60	5 ± 5% -	±1; ±2; ±3; ±5; ±10 ±0,5; ±1; ±2; ±3; ±5	IP 53 IP 54	Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo; Sunx; Germania: Heidenhain SUA: Teledyne; Bendix;		
3	31(37) x 76 x max. 5840 (60000) - încapsulat și sistem deschis - diascopic	analogice	0,01; 0,02 0,001; 0,0005	24 + 60	5 ± 5% -	±2; ±3; ±5; ±10 ±1; ±2; ±3; ±5	IP 53 IP 54	Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo; Sunx; Germania: Heidenhain; Franța: Crouzet; Rue Chaptol;		
4.	14 (16) x 45 x max 1740 - încapsulat și sistem deschis - diascopic - episcopic	TTL; colector în gol	0,04 0,01 0,02 0,005; 0,002	30 + 60	5 + 29 ± 5% -	±2; ±3; ±5; ±10 ±1; ±2; ±3; ±5	IP 53	Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo; Tomagawa; Germania: Heidenhain SUA: Teledyne; Bendix;		
5	31(37) x 76 x max. 5840 (60000) - încapsulat și sistem deschis - diascopic - episcopic	TTL; colector în gol	0,04 0,01 0,02 0,005	30 + 60	5 + 29 ± 5% -	±2; ±3; ±5; ±10 ±1; ±2; ±3; ±5	IP 53	Austria: RSF Electronik Japonia: Mitutoyo; Tomagawa Germania: Heidenhain SUA: Teledyne; Bendix; Franța: Crouzet; Rue Chaptol Bulgaria: Brown - Sharpe		

6	26 (44) x 25,4 x max	TTL	0,04; 0,1; 0,2 0,001; 0,002; 0,005; 0,001	30 + 60	5 ± 5%	±3; ±5; ±10 ±1; ±2	-	Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo; Sunx; RFG: Heidenhain; SUA: Teledyne; Bendix;
	2840 - sistem deschis - diascopic - episcopic							
7.	Speciale	analogice TTL; colector în gol	0,04; 0,02; 0,01 0,01; 0,02; 0,001; 0,0005; 0,0001	15 + 60	5 ± 5%	±0,5; ±1; ±2; ±3; ±5;	-	Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo; Sunx; Germania: Heidenhain; SUA: Teledyne; Brown - Sharpe Franța: Crouzet; Rue Chaptol; Brown - Sharpe;
	- sistem deschis - încapsulat - diascopic - episcopic							

## Module de subdivizare electronică

Nr. crt.	Număr de axe	Semnal de ieșire	Factor de subdivizare	Tensiune de alimentare (V)	Frecvență maximă de intrare (KHz)	Dimensiuni de gabarit (în principal);(mm)	Tări, firme
0	1	2	3	4	5	6	7
1.	1	TTL	1; 5; 10	5	12 ÷ 50	57 x 80 x 175	SUA: Bei Electronics; Germania: Heidenhain Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo, Sunx; Olanda: Philips; Franța: Crouzet;
2.	1	HTL	1; 4; 5	12 ÷ 15	12 ÷ 50	60 x 77,5 x 125	SUA: Bei Electronics Germania: Heidenhain Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo, Sunx; Olanda: Philips; Franța: Crouzet;
3.	1	TTL	25	100 - 240	10 ÷ 15	115 x 280 x 270	SUA: Bei Electronics Germania: Heidenhain; Austria: RSF Electronik; Japonia: Mitutoyo, Sunx; Olanda: Philips; Franța: Crouzet;
4.	2	TTL	1; 5	115/220	15 ÷ 50	115 x 280 x 270	SUA: Bei Electronics; Germania: Heidenhain

5.	3	TTL	1; 5; 25	115/220	15 ÷ 50	115 x 280 x 270	<b>Austria:</b> RSF <b>Electronik;</b> <b>Japonia:</b> Mitutoyo, <b>Sunx;</b> <b>Olanda:</b> Philips; <b>Franța:</b> Crouzet;  <b>SUA:</b> Bel Electronics; <b>Germania:</b> <b>Heidenhain;</b> <b>Austria:</b> RSF <b>Electronik;</b> <b>Japonia:</b> Mitutoyo, <b>Sunx;</b> <b>Olanda:</b> Philips; <b>Franța:</b> Crouzet;
----	---	-----	----------	---------	---------	-----------------	--

- \* Frecvența maximă de intrare depinde de factorul de subdivizare electronică;
- \*\* Gabaritele modulelor de subdivizare în funcție de noile componente electronice apărute sunt foarte reduse, ajungându-se la: 98 x 64 x 34 mm;
- \*\*\* Temperatura de lucru a modulelor: 0 ÷ 50° C, iar temperatura de depozitare: - 30° C ÷ + 70° C;
- \*\*\*\* Frecvența maximă de intrare: 25 KHz iar frecvența maximă de ieșire: 150 KHz;
- \*\*\*\*\* Semnalele de ieșire: două semnale dreptunghiulare și un semnal pentru impulsul de referință;
- \*\*\*\*\* Mufe de legătură electrică a modulelor; pentru intrare, sunt cu 3 contacte, iar pentru ieșire, sunt cu 12 contacte;
- \*\*\*\*\* Modulele de subdivizare sunt compatibile cu toate tipurile de traductoare fotoelectrice incrementale de deplasare și cu toate blocurile electronice de afișare și prelucrare a informațiilor, inclusiv cu sistemele NC și CNC.



Tabelul 2.3.4.

## Blocuri electronice de numărare, afișare și cu comandă numerică

Nr. Crt	Număr de axe	Semnal de ieșire	Tensiune de alimentare	Frecvență maximă de intrare (Khz)	Factor de subdiv. (X)	Funcții	Dimensiuni principale de gabarit (mm)	Țări, firme
1.	1	BCD paralel	115/220	4	1; 2; 4	- resetare - preset cu contor mecanic; - resetare automată cu impuls de referință	302 x 262 x 82	SUA: Bei Electronics Germania: Heidenhain; Austria: RSF Elektronik; Japonia: Mitutoyo, Sunx Olanda: Philips; Franța: Crouzet
2.	2	BCD paralel	115/220	-	1; 2; 4	- resetare - preset cu contor mecanic; - resetare automată cu impuls de referință	270 x 224 x 155	SUA: Bei Electronics; Germania: Heidenhain; Austria: RSF Elektronik; Japonia: Mitutoyo, Sunx Olanda: Philips; Franța: Crouzet;
3.	1	BCD paralel	115/220	-	1; 2; 4; 5	- resetare - 2 preseturi mecanice pentru clasificarea în câmpul de toleranță	302 x 262 x 82	SUA: Bei Electronics; Germania: Heidenhain; Austria: RSF Elektronik;

									<b>Japonia:</b> Mitutoyo, Sunx;; <b>Olanda:</b> Philips; <b>Franța:</b> Crouzet; <b>SUA:</b> Bei Electronics; <b>Germania:</b> Heidenhain; <b>Austria:</b> RSF Elektronik; <b>SUA:</b> Bei Electronics; <b>Germania:</b> Heidenhain; <b>Austria:</b> RSF Elektronik;
4.	2, 3	interfață RS-232-C	115/220	-	1; 2; 4	- resetare automată - stop afișaj	270 x 221 x 155		
5.	2	BCD paralel	115/220	-	5; 10; 20; 40	- reset - preset mecanic - preset automat - preset electronic pentru 4 cote: - compensare diametru palpăre - conversie mm/inch	270 x 221 x 155		
6.	1	BCD paralel	115/220	-	5; 10; 20	- reset - preset mecanic - preset automat	302 x 262 x 82		
7.	3	BCD paralel	115/220	-	5; 10; 20; 40	- reset - preset mecanic - preset automat - preset electronic pentru 4 cote - compensare diametru palpăre - conversie mm/inch	270 x 221 x 155		

### Capitolul 3. CERCETĂRI PRIVIND ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC ȘI PROIECTAREA PE CALCULATOR A REȚELEI FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE "NUL" PENTRU RIGLELE ȘI DISCURILE INCREMENTALE DIVIZOR ȘI VERNIER

#### 3.1. Definirea modelului matematic

În construcția traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare sau de poziție, un rol deosebit de important îl are generarea semnalului de "nul".

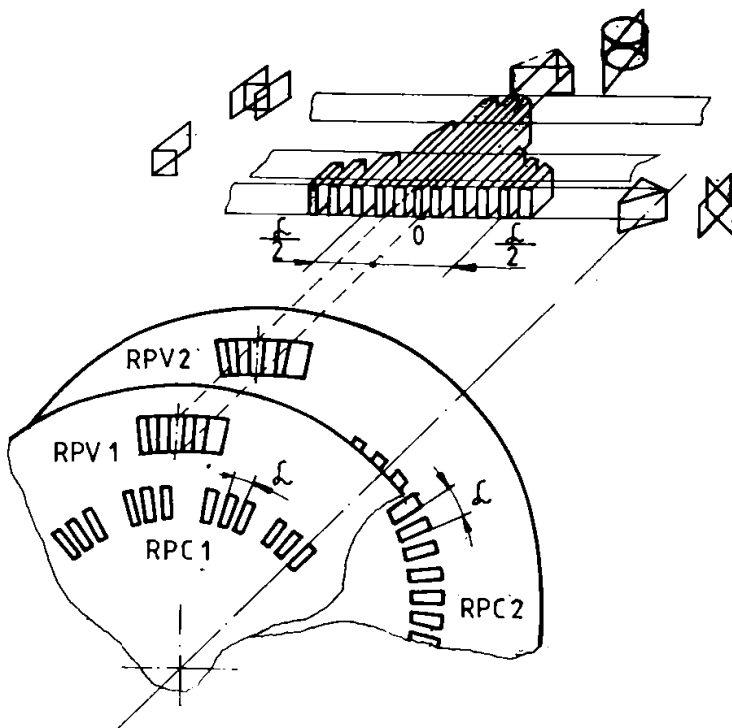


Fig. 3.1.1.

Acest semnal permite, în cazul traductoarelor de poziție, sesizarea efectuării unei rotații complete sau determinarea cu mare precizie a momentului când se termină o rotație și începe alta.

În cazul traductoarelor de deplasare, sesizarea efectuării unei lungimi standard sau determinarea zonelor de capăt a îmbinării cap la cap a riglelor fotoelectrice incrementale, obținându-se în final lungimea dorită /Brevet nr. RO/118484/.

În acest sens, se consideră două discuri incrementale pe care sunt dispuse câte două rețele fotoelectrice incrementale (fig. 3.1.1.), rețele cu pas constant (RPC1, RPC2) și cu pas variabil (pentru rețeaua de "nul"), (RPV1, RPV2).

Se presupune că rețeaua (RPC2) este aceea de a genera semnale pentru măsurarea deplasărilor unghiulare, iar al rețelelor (RPV1, RPV2), de a

genera impulsul de "nul" ori de câte ori sunt suprapuse.

Acest impuls trebuie să fie maxim la coincidența rețelelor (RPV1, RPV2), iar la deplasarea cu  $(\alpha/2)$  să scadă în intensitate de 3 ori, astfel încât precizia de sesizare să fie maximă (fig.3.1.2.).

Creșterea preciziei de sesizare a acestei poziții de semnal "nul" se poate realiza fie prin micșorarea pasului rețelei ( $\alpha$ ) și utilizarea iluminării cu lungimi de undă mici, spre violet, aceasta având ca dezavantaj important, dificultăți tehnologice la fotogravare, sensibilitate deosebită la vibrații și erori la montaj, fie prin eliminarea ferestrelor și spațiilor opace ce au dimensiuni egale cu pasul ( $\alpha$ ) și construirea unei noi rețele ca în fig. 3.1.3.

În acest ultim caz, avantajele tehnologice de execuție sunt evidente ca și scăderea sensibilității față de vibrații. În esență, problema se reduce la a determina distribuția și lungimea zonelor transparente (opace) pe rețelele RPV1 (F) și RPV2 (M).

În vederea descrierii metodei de generare a rețelei de "nul", se va face o analogie de funcționare cu analiza semnalelor de formă dreptunghiulară dintr-un circuit logic de tip "AND".

Se convine ca, pentru porțiunile transparente, semnalele să aibă nivelul logic "1", iar pentru cele opace, nivel logic "0".

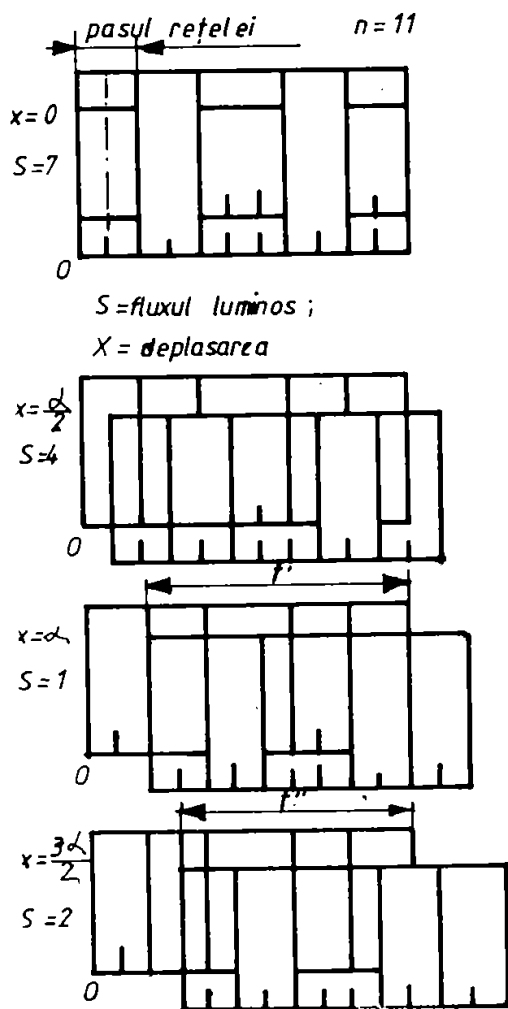


Fig. 3.1.2.

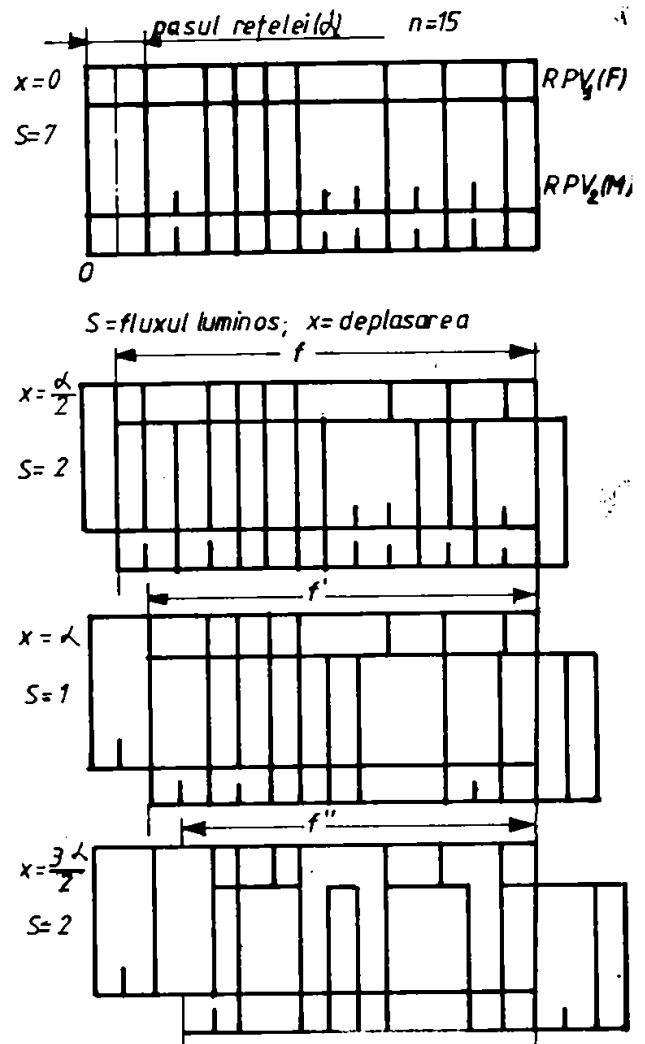


Fig. 3.1.3.

În figura 3.1.4. este prezentată schema de funcționare pentru semnalul de "nul", /43/ 48/ unde:

- poziția (A) prezintă cele două rețele incrementale la coincidență ( $x = 0$ ,  $x = \text{deplasarea}$ ), iar din componerea semnalelor corespunzătoare cu ajutorul funcției "AND", rezultă valoarea fluxului luminos prin intermediul valorii suprafeței transparente  $S_{\text{MAX}} = 9$ ;
- poziția (B) : RPV2 (M) se deplasează cu un semipas ( $\alpha/2$ ) față de rețeaua RPV1 (F), din componerea semnalelor rezultă  $S = 3$ ; ș.a.m.d. pentru poziția (C).

Modelul matematic în variabile bivalente (0,1) al simulării schemei de funcționare pentru semnalul de "nul" este următorul :

$$\left\{ \begin{array}{l} S_j = \sum_{i=1}^{N-j+1} X_i \cdot X_{i+j-1}, \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n \\ S_j \leq P \end{array} \right. \quad (3.1.1)$$

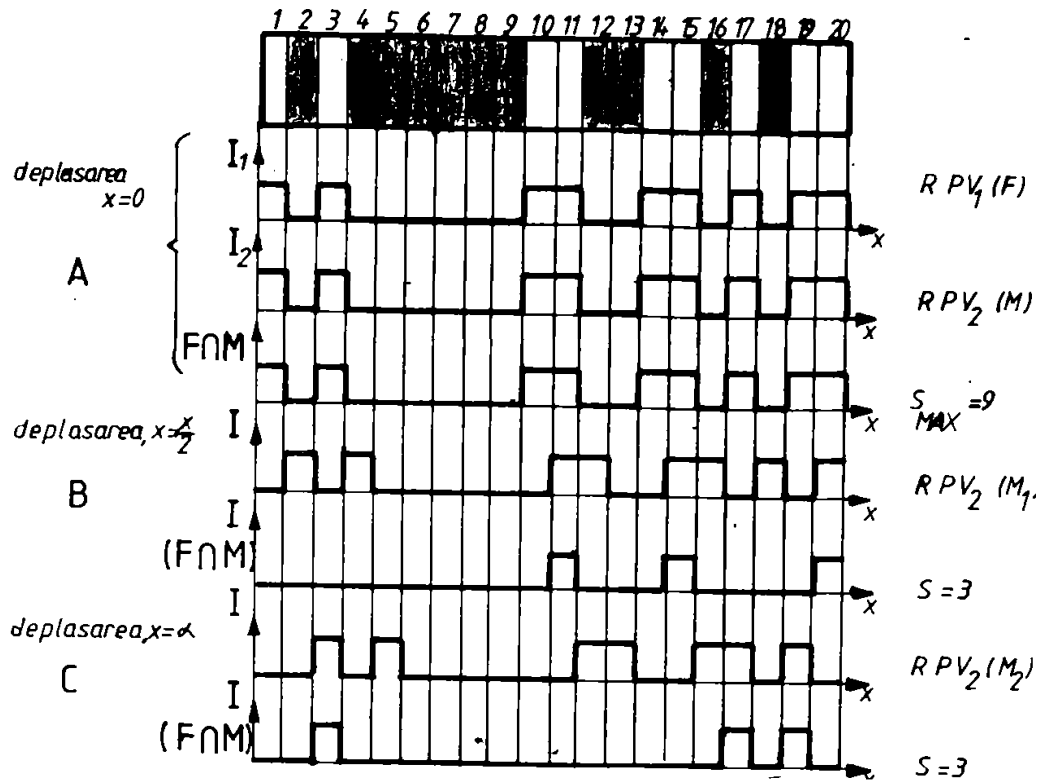


Fig. 3.1.4.

unde :  $S_j$  = valoarea fluxului luminos corespunzător deplasării cu  $(j \times \alpha/2)$  față de poziția de coincidență;  $P$  = prag minim de sesizare;  $X_i$  = valoarea logică a porțiunii din rețeaua mobilă ce se compune prin funcția "AND" (poate fi înlocuită cu operația " $\cdot$ ") cu valoarea logică a porțiunii din rețeaua fixă ( $X_{i+j-1}$ );  $n$  = numărul de incremente ( $\alpha/2$ ) în care este divizată rețeaua.

În cazul considerat,  $n = 20$ , este redată matricea bivalentă și graficul fluxului (aria transparentă) funcție de deplasarea rețelelor ( $X$ ), fig. 3.1.5.

Calculul ariei transparente ( $S$ ), ținând cont de :

- pe prima linie (notată I) sunt numerotate pozițiile ocupate de porțiunile transparente și opace (nivel logic "1" și "0") ale rețelei fixe;
- pe linia a doua (notată II) se află codificarea rețelei fixe;
- similar coloana I și II pentru rețeaua mobilă, se face astfel: la coincidență se ia  $X_1$  de pe coloana II și se înmulțește cu  $x_1$  de pe linia II; apoi  $X_2$  de pe coloana II cu  $X_2$  de pe linia II, etc., după care rezultatele se înmulțesc, obținându-se matricea din fig. 3.1.5.

După efectuarea acestor calcule, se observă următoarele :

1) Pornind din colțul dreapta jos, în sus, avem codificarea rețelei, deplasându-se cu o unitate spre stânga, avem aceeași codificare a rețelei minus ultima poziție, dacă coloana corespunde codificării cu "1".

2) Coloanele corespunzătoare codificării cu "0" au în toate pozițiile, "0".

3) Coloanele corespunzătoare codificării cu "1" conțin codificarea rețelei minus un număr de poziții corespunzătoare fiecărei poziții de "1" de pe linia I, de la dreapta spre stânga.

4) Valoarea suprafeței transparente se obține însumând pe linie elementele matricii, iar în fig. 3.1.5. se află și graficul fluxului (ariei transparente) funcție de deplasarea rețelelor ( $X$ ).

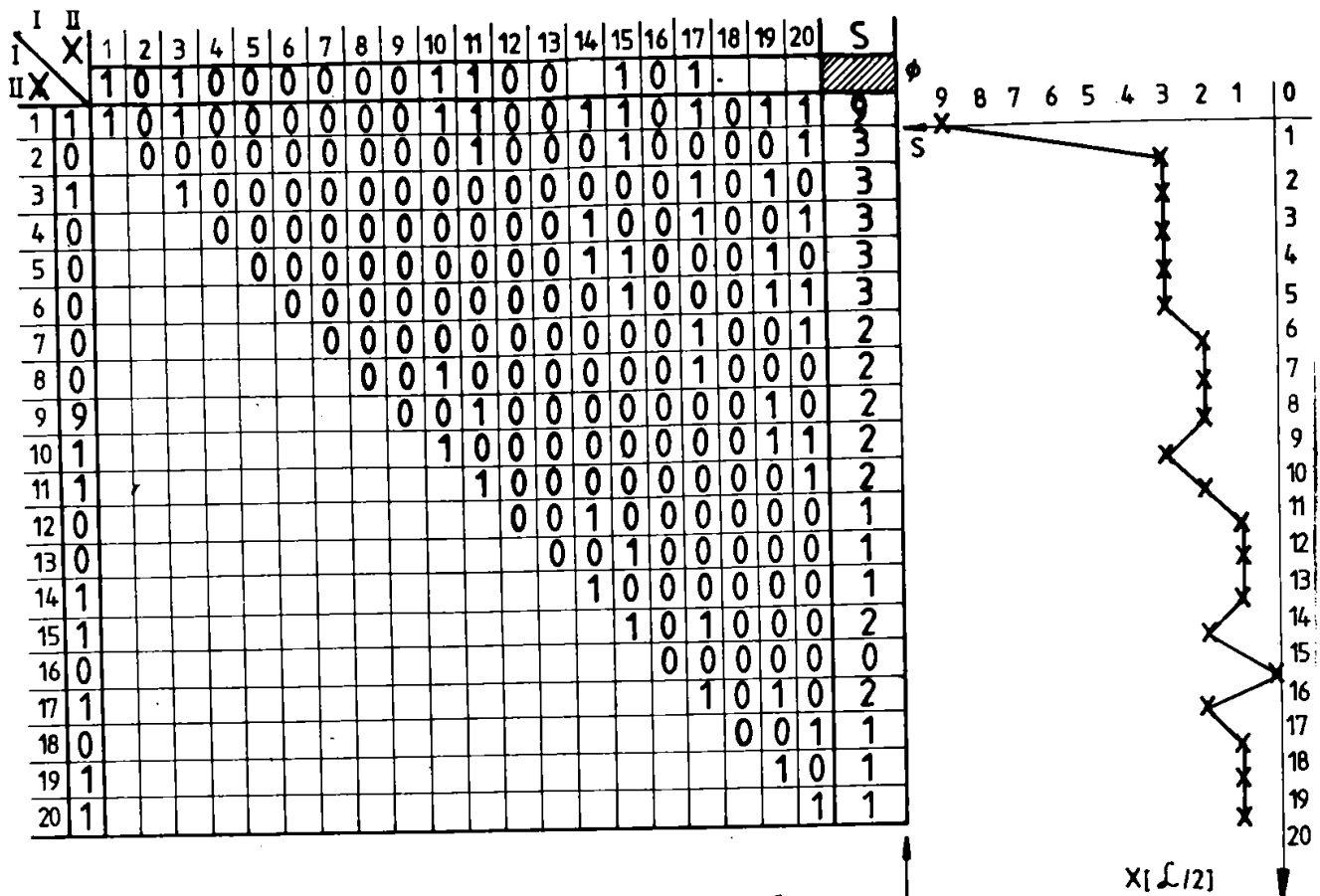


Fig. 3.1.5.

### 3.2. Rezolvarea modelului matematic

Din cele descrise mai sus, rezultă că trebuie să determinăm vectorul  $X = (x_1, x_2, \dots, x_M) \in R^M$  care să verifice următoarele condiții :

$$\begin{cases} x_1x_2 + x_2x_3 + \dots + x_{M-2}x_{M-1} + x_{M-1}x_M \leq \frac{1}{3}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_M^2) \\ x_1x_3 + x_2x_4 + \dots + x_{M-2}x_M \leq \frac{1}{3}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_M^2) \\ \dots \\ x_1x_M \leq \frac{1}{3}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_M^2) \end{cases} \quad (3.2.1)$$

$$\frac{M}{3} < x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_M^2 < \frac{M}{2} \quad (3.2.2)$$

$$\begin{cases} |(x_1x_3 + x_2x_4 + \dots + x_{M-2}x_M) - (x_1x_2 + x_2x_3 + \dots + x_{M-1}x_M)| \leq 2 \\ |(x_1x_4 + x_2x_5 + \dots + x_{M-3}x_M) - (x_1x_3 + x_2x_4 + \dots + x_{M-2}x_M)| \leq 2 \\ \dots \\ |x_1x_M - (x_1x_{M-1} + x_2x_M)| \leq 2 \end{cases} \quad (3.2.3)$$

$$x_1 = x_M = 1, x_i \in \{0,1\} \quad i = 2, \dots, M-1 \quad (3.2.4)$$

și pentru care funcția

$$S(X) = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_M^2 \quad (3.2.5)$$

este maximă.

Modelul matematic asociat mai sus este în esență o "problemă de programare neliniară bivalentă", problemă pentru care, până la ora actuală nu există un algoritm general de rezolvare. Pentru a putea explica mai ușor algoritmul pe care îl propunem pentru rezolvarea acestei probleme și a teoremelor ce-l justifică, introducem în cele ce urmează următoarele notații :

$$D = \{X = (x_1, \dots, x_M) \in R^M / x_1 = x_M = 1, x_i \in \{0,1\}, i = 2, \dots, M-1\} \quad (3.2.6.)$$

$$C(i, X) = \sum_{j=1}^{M-i} x_j x_{j+i}, \quad i = 1, \dots, M-1 \quad (3.2.7.)$$

$$S_1(X) = \frac{1}{3} S(X) \quad (3.2.8.)$$

Cu aceste notații modelul de mai sus devine :

$$C(i, X) \leq S_1(X), \quad 1 \leq i \leq M-1 \quad (3.2.9.1)$$

$$\frac{M}{3} < S(X) < \frac{M}{2} \quad (3.2.9.2)$$

$$|C(i, X) - C(i-1, X)| \leq 2, \quad i = 2, \dots, M-1 \quad (3.2.9.3) \quad [3.2.9.]$$

$$X \in D \quad (3.2.9.4)$$

$$\begin{cases} \max. S(X) \\ X \in S \end{cases} \quad (3.2.9.5.)$$

Să notăm de asemenea cu :

$$S_1 = \{X \in D / X \text{ verifică } (3.2.9.1.)\}$$

$$S_2 = \{X \in D / X \text{ verifică } (3.2.9.2.)\}$$

$$S_3 = \{X \in D / X \text{ verifică } (3.2.9.3.)\}$$

[3.2.10]

$$S = S_1 \cap S_2 \cap S_3$$

Cu aceste notații problema revine la a determina :

$$\max_{X \in S} S(X) = \max \{ S(X) / X \in S \}; \quad (3.2.11.)$$

Fie :

$$D_0 = \{ (1, 0, 0, \dots, 0, 1) \}$$

$$D_k = \{ X = (x_1, x_2, \dots, x_M) \in D / x_2 = x_3 = \dots = x_{M-k-1} = 0, x_{M-k} = 1 \} \quad 1 \leq k \leq M-2 \quad (3.2.12)$$

$$D(s) = \{ X \in D / S(x) = s \}, \quad s = 2, \dots, M;$$

$$D_k(s) = D_k \cap D(s);$$

Avem evident următoarea propoziție :

### Propoziția 1.

a) Familiile  $\{ D_k, k = 0, \dots, M-2 \}, \{ D(s), s = 2, \dots, M \}$

$$\{ D_k(s) \mid k = 0, \dots, M-2; s = 2, \dots, M \} \quad \text{sunt partiții ale lui } D \quad (3.2.13)$$

b) card.  $D_i = 2^{i-1}$ ,  $i = 1, \dots, M-2$

c) card.  $D = 2^{M-2}$

Ținând seama că  $D$  este finită și că  $S \in D$ , rezultă că  $S$  este finită și prin urmare problema admite soluții optime ori de câte ori  $S \neq \emptyset$ . Notăm cu  $S^*$  mulțimea soluțiilor optime ale problemei și cu  $SO$ , valoarea maximă a lui  $S(X)$ ,  $X \in S$ ; cu alte cuvinte:

$$X^* \in S^* \Leftrightarrow S(x^*) = SO = \max_{X \in S} S(X), \quad (3.2.14)$$

Deoarece  $S$  este finită problema se rezolvă astfel :

- i) se găsește un procedeu de a genera ordonat toate elementele lui  $D$  pe calculator;
- ii) fiecare  $X$ , generat este testat dacă aparține lui  $S$ ;
- iii) după fiecare testare se păstrează acel  $X \in S$ , pentru care  $S(X)$  este cel mai mare;
- iv) când toate elementele lui  $D$  au fost generate și testate s-a obținut soluția optimală.

Un astfel de procedeu ar fi însă valabil numai în cazul în care  $M$  ar fi mic. Pentru  $M$  mai mare, timpul de generare și testare a elementelor lui  $D$  este foarte mare chiar pe un calculator din ultimele generații. De exemplu pentru  $M = 34$  :

$$\text{card } D = 2^{32} = (2^{10})^3 \cdot 4 \geq (10^3)^3 \cdot 4 = 4 \cdot 10^9 = 4 \text{ miliarde}. \quad (3.2.15)$$

Dar un calculator mediu performant face un milion de operații pe 1/2 secundă și deci 4 miliarde le face în cca 2 ore. Cum însă generarea și testarea unei singure soluții cere mult mai mult decât o operație, rezultă că testarea tuturor soluțiilor este practic imposibilă în cazul  $M > 30$ .

De aceea se impune problema introducerii unor "restricții filtru" în procedeu propus mai sus.

### 3.2.1. Procedeu de generare ordonată a elementelor lui $D$ .

Pentru ordonarea elementelor lui  $D$ , se consideră mulțimea,

$$\text{Fie } D' = \{ n \in \mathbb{N} \mid 2^{M-1} < n < 2^M, n \text{ - impar} \} \quad (3.2.1.1.)$$

Dacă  $n \in D'$  atunci în scrierea lui  $n$  în bază 2 avem :

- cifra lui  $2^k$  este 0, pentru orice  $k \geq 2^M$ , deoarece  $n < 2^M$
- cifra lui  $2^{M-1}$  este 1 (deoarece  $2^{M-1} < n < 2^M$ )
- cifra lui  $2^k$  este  $x_i \in \{0, 1\}$ ,  $\forall k = M-2, \dots, 1$
- cifra lui  $2^0$  este 1 (numărul fiind impar)

Prin urmare:

$$n = 2^{M-1} + x_2 2^{M-2} + x_3 2^{M-3} + \dots + x_{M-1} 2^1 + 1, \quad x_i \in \{0, 1\}, i = 2, \dots, M-1 \quad (3.2.1.3.)$$

Rezultă că, corespondența :

$$X = (1, x_2, \dots, x_{M-1}, 1) \in D \rightarrow f(X) = n = 2^{M-1} + x_2 2^{M-2} + \dots + x_{M-1} 2^1 + 1 \in D'; \quad (3.2.1.4.)$$

aceasta este o bijecție de la  $D$  la  $D'$ . Aceasta ne permite să introducem pe  $D$  în următoarea relație de ordine totală :

$$X < Y \Leftrightarrow f(X) < f(Y), \quad \forall X, Y \in D \quad (3.2.1.5.)$$

Această relație ordonează elementele lui  $D$  după care urmează :

$$X^{(1)} = (1, 0, 0, \dots, 0, 0, 0, 0, 1) \in D_0$$



$$\begin{aligned}
X^{(2)} &= (1,0,0,\dots,0,0,0,1,1) \in D_1 \\
X^{(3)} &= (1,0,0,\dots,0,0,1,0,1) \in D_2 \\
X^{(4)} &= (1,0,0,\dots,0,0,1,1,1) \in D_2 \\
X^{(5)} &= (1,0,0,\dots,0,1,0,0,1) \in D_3 \\
X^{(6)} &= (1,0,0,\dots,0,1,0,1,1) \in D_3 \\
X^{(7)} &= (1,0,0,\dots,0,1,1,0,1) \in D_3 \\
X^{(8)} &= (1,0,0,\dots,0,1,1,1,1) \in D_3
\end{aligned} \tag{3.2.1.6}$$

$$X^{(2M-2)} = (1,1,1,\dots,1,1,1,1,1) \in D_{M-2}$$

Mulțimea  $D'$  în care elementele sunt ordonate este :

$$D' = \{ 2^{M-1} + 1, 2^{M-1} + 3, 2^{M-1} + 5, 2^{M-1} + 7, \dots, 2^{M-1} + 2^{M-1} - 1 \} \tag{3.2.1.7.}$$

În mulțimea  $D$  ordonată apar mai întâi elementele lui  $D_0$ , apoi ale lui  $D_1$ , ultimele fiind ale lui  $D_{M-2}$ .

De aici rezultă că un element al lui  $D'$  se obține adunând 2 la precedentul. Acest fapt împreună cu teorema ce urmează ne va permite să construim algoritmul de generare ordonată a elementelor lui  $D$ .

**Teorema 1.**

Fie,

$$X = (1, x_2, x_3, \dots, x_M, 1) \in D, n = f(X), n' = n + 2^{M-A}, f(X') = n'; \tag{3.2.1.8.}$$

$$\text{Dacă } K \in \{ 0, 1, 2, \dots, A-2 \}, \tag{3.2.1.9.}$$

este astfel încât

$$x_A = x_{A-1} = \dots = x_{A-K+1} = 1, x_{A-K} = 0 \tag{3.2.1.10.}$$

atunci :

$$1) x'_A = x'_{A-1} = \dots = x'_{A-K+1} = 0; x'_{A-K} = 1; x'_j = x_j, j \in \{ 1 \dots M \} - \{ A-K, \dots, A \} \tag{3.2.1.11}$$

$$2) S(X') = S(X) - K + 1 \tag{3.2.1.12}$$

**Demonstrație:**

Avem :

$$n = 2^{M-1} + x_2 \cdot 2^{M-2} + \dots + 0 \cdot 2^{M-A+K} + 1 \cdot 2^{M-A+K-1} + \dots + 1 \cdot 2^{M-A} + x_{A+1} \cdot 2^{M-A-1} + \dots + 1 = \tag{3.2.1.13}$$

$$= 2^{M-1} + x_2 \cdot 2^{M-2} + \dots + 0 \cdot 2^{M-A+K} + 2^{M-A} (2^{K-1} + 2^{K-2} + \dots + 1) + x_{A+1} \cdot 2^{M-A-1} + \dots + 1 =$$

$$= 2^{M-1} + x_2 \cdot 2^{M-2} + \dots + 0 \cdot 2^{M-A+K} + 2^{M-A} (2^K - 1) + x_{A+1} \cdot 2^{M-A-1} + \dots + 1$$

$$n' = n + 2^{M-A} = 2^{M-1} + x_2 \cdot 2^{M-2} + \dots + 0 \cdot 2^{M-A+K} + 2^{M-A} (2^K - 1 + 1) + x_{A+1} \cdot 2^{M-A-1} + \dots + 1 = \tag{3.2.1.14}$$

$$= 2^{M-1} + x_2 \cdot 2^{M-2} + \dots + x_{A-K-1} \cdot 2^{M-(A-K-1)} + 1 \cdot 2^{M-A+K} + x_{A+1} \cdot 2^{M-A-1} + \dots + 1$$

De aici rezultă că :

$$x'_j = x_j, j \in \{ 1, 2, \dots, M \} - \{ A-K, \dots, A \}$$

$$x'_{A-K} = 1$$

$$x'_i = 0, i \in \{ A-K+1, \dots, A \}$$

și deci rezultă punctul 1) al teoremei, (3.2.1.11);  
Pentru punctul 2) ținem seama că :

$$S(X) = \sum_{i=1}^M x_i^2 = \sum_{i=1}^M x_i, \text{ deoarece } x_i \in \{0,1\} \Rightarrow x_i^2 = x_i \quad (3.2.1.15)$$

Avem :

$$S(X) = \sum_{i=1}^{A-K-1} x_i + 0 + \sum_{i=A-K+1}^A 1 + \sum_{i=A+1}^M x_i = \sum_{i=1}^{A-K-1} x_i + K + \sum_{i=A+1}^M x_i \quad (3.2.1.16)$$

$$S(X') = \sum_{i=1}^{A-K-1} x_i + 1 + \sum_{i=A-K+1}^A 0 + \sum_{i=A+1}^M x_i = \sum_{i=1}^{A-K-1} x_i + 1 + \sum_{i=A+1}^M x_i \quad (3.2.1.17)$$

De unde:

$$S(X) - S(X') = K - 1 \Rightarrow S(X') = S(X) - K + 1, \text{ și deci rezultă punctul 2) al teoremei (3.2.1.12).}$$

Ținând seamă că elementele lui D' se obțin unul din precedentul adăugând 2, avem următorul algoritm pentru generarea ordonată a elementelor lui D.

$$\text{PAS 1. Se generează } X^{(1)} = (1, 0, 0, \dots, 0, 1) \quad (3.2.1.18)$$

$$\text{PAS 2. Dacă } X^{(n)} = (1, x_2, \dots, x_{M-1}, 1) \quad (3.2.1.19)$$

a fost generat,

atunci

$$X^{(n+1)} = (1, x'_2, \dots, x'_{M-1}, 1) \quad (3.2.1.20)$$

se obține astfel :

$$1. \text{ Se calculează } x''_{M-1} = x_{M-1} + 1 \quad (3.2.1.21)$$

și dacă

$$a) x''_{M-1} = 1, \text{ atunci } x'_{M-1} = x''_{M-1}, x'_K = x_K, \forall K = 2, \dots, M-2;$$

$$b) x''_{M-1} = 2, \text{ atunci } x'_{M-1} = 0;$$

$$2. \text{ Se calculează: } x''_{M-2} = x_{M-2} + 1 \quad (3.2.1.22)$$

și dacă

$$a) x''_{M-2} = 1, \text{ atunci } x'_{M-2} = x''_{M-2}, x'_K = x_K, K = 2 \dots M-3$$

$$b) x''_{M-2} = 2, \text{ atunci } x'_{M-2} = 0$$

și

$$3. \text{ Se calculează } x'_{M-3} = x_{M-3} + 1 \quad (3.2.1.23)$$

Continuând în același mod, două situații sunt posibile :

$$i) \exists K \in \{ 1, \dots, M-2 \} \text{ astfel încât } x'_{M-K} = 1$$

și în acest caz

$$\begin{cases} x'_{M-1} = x'_{M-2} = \dots = x'_{M-K+1} = 0 \\ x'_{M-K} = 1 \\ x'_j = x_j, \quad j = 2, \dots, M-K-1 \end{cases} \quad (3.2.1.24)$$

și se trece la generarea noului element.

ii)  $X_1 = 2$ ; în acest caz au fost generate toate elementele lui  $D$  și algoritmul se termină.

### 3.2.2. Teoreme pentru obținerea de "restricții filtru".

#### Teorema 3.

Dacă  $X \in \mathcal{S}$ ,  $X' \in D$  și  $S(X') < S(X)$  (3.2.2.1.)

atunci

$X' \notin \mathcal{S}^*$  (3.2.2.2)

#### Demonstrație:

$X \in \mathcal{S}$  și  $SO = \max_{X \in \mathcal{S}} S(X) \Rightarrow S(X) \leq SO$ . Dar  $S(X') < S(X)$

Deci  $S(X') < SO$

și prin urmare

$X' \notin \mathcal{S}^*$ .

#### Observația 4.

Dacă s-a obținut  $X \in \mathcal{S}$ , atunci pentru elementele  $X'$  generate din  $X$  nu se mai face testarea  $X' \in \mathcal{S}$  decât în cazul

$S(X') > S(X)$  (3.2.2.3)

#### Teorema 5.

Dacă  $X \in \mathcal{S}$  atunci  $M13 \leq S(X) \leq M11$ , (3.2.2.4.)

unde:

$M13 = \lfloor \frac{M}{3} \rfloor$  iar  $M11 = \begin{cases} \lfloor \frac{M}{2} \rfloor & \text{daca } M \text{ este impar} \\ \lfloor \frac{M}{2} \rfloor - 1 & \text{daca } M \text{ este par} \end{cases}$  (3.2.2.5.)

#### Demonstrație:

$X \in \mathcal{S} \Rightarrow X \in \mathcal{S}_2 \Rightarrow M/3 < S(X) < M/2$

Din  $M/3 < S(X)$  și  $S(X) \in \mathbb{N}$  rezultă că,

$\lfloor M/3 \rfloor + 1 \leq S(X)$

Dacă  $M = 2K$ ,  $K \in \mathbb{N}$ , atunci  $\lfloor M/2 \rfloor = K$ ; Din  $S(X) < M/2 = K$  și  $S(X) \in \mathbb{N}$ ;

deducem că  $S(X) \leq K-1 = \lfloor M/2 \rfloor - 1$

Dacă  $M = 2K + 1$ ,  $K \in \mathbb{N}$  atunci  $\lfloor M/2 \rfloor = K$ .

Din  $S(X) < M/2 = K + 1/2$  și

$S(X) \in \mathbb{N}$ ,  
deducem că,

$S(X) \leq K = \lfloor M/2 \rfloor$

#### Observația 6.

Testarea unei soluții generate  $x$  nu se face decât dacă:

$S(X) \in \{ M13, M13+1, \dots, M11 \}$  (3.2.2.6.)

#### Teorema 7.

Fie  $X = (1, 0, \dots, 0, 1, x_{K+1}, \dots, x_{M-1}, 1) \in D_K$  și  $x' = (1, 0, \dots, 0, x_{K+1}, \dots, x_{M-1}, 1)$  (3.2.2.7.)

Dacă  $X \in \mathcal{S}_\gamma$  și  $S(X) = 3m + \gamma$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $\gamma \in \{1, 2\}$  (3.2.2.8.)  
 atunci  $X' \in \mathcal{S}_\gamma$  (3.2.2.9)

**Demonstrație:**

Avem :

$$S(X') = S(X) - 1 = 3m + \gamma', \gamma' \in \{0; 1\} \Rightarrow \left\lfloor \frac{S(X')}{3} \right\rfloor = m = \left\lfloor \frac{S(X)}{3} \right\rfloor;$$

Deoarece  $X \in \mathcal{S}_\gamma$  și  $C(i, X) = \sum_{j=1}^{M-1} x_j x_{j+1} \in \mathbb{N}$  rezultă că:

$$C(i, X) \leq \frac{S(X)}{3} \Rightarrow C(i, X) \leq m \Rightarrow C(i, X) \leq \frac{S(X')}{3};$$

Dar cum  $C(i, X') \leq C(i, X)$  rezultă că  $C(i, X') \leq S_1(X')$

și deci

$$X' \in \mathcal{S}_\gamma;$$

**Teorema 8 :**

1) Dacă  $\mathcal{S}_\gamma \cap D(3m) = \emptyset$  atunci  $\mathcal{S}_\gamma \cap D(3m + \gamma) = \emptyset$ ,  $\forall \gamma \in \{1, 2\}$  (3.2.2.10.)

2) Dacă  $\mathcal{S}_\gamma \cap D(3m+1) = \emptyset$  atunci  $\mathcal{S}_\gamma \cap D(3m+2) = \emptyset$  (3.2.2.11.)

3) Dacă există  $X \in \mathcal{S}_\gamma$  astfel încât  
 $D(S(X)) \cap \{X' \in \mathcal{S}_\gamma / X' < X\} = \emptyset$  (3.2.2.12.)

atunci

i)  $D(S(X) + K) \cap \{X' \in \mathcal{S}_\gamma / X' < X\} = \emptyset$ ,  $\forall K \in \mathbb{N}^*$  (3.2.2.13.)

astfel ca

$$\left\lfloor \frac{S(X)}{3} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{S(X) + K}{3} \right\rfloor; \quad (3.2.2.14.)$$

ii) dacă  $X' \in \mathcal{S}_\gamma \cap D(S(X) + 1)$ ,  $\left\lfloor \frac{S(X)}{3} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{S(X')}{3} \right\rfloor$  și  $X' > X$ ; (3.2.2.15.)

atunci

$$X' \geq \bar{X}; \quad (3.2.2.16.)$$

unde,

$$X = (1, 0 \dots 0, 1, x_{k+1} \dots x_{M-1}, 1) \in D_{M-K} \Rightarrow \bar{X} = (1, 0 \dots 0, 1, 1, x_{k+1} \dots x_{M-1}, 1) \quad (3.2.2.17.)$$

**Demonstrație:**

Punctele 1), 2), 3i) sunt consecințe directe ale teoremei 7.

iii) presupunem prin absurd că  $X' < \bar{X}$ .

Fie

$$X' = (1, 0 \dots 0, x'_{k-1}, x'_k, \dots, x'_{M-1}, 1)$$

Dacă  $x'_{k-1} = x'_k = 0$  atunci,

$$X' \in D(S(X) + 1) \cap \{X' \in \mathcal{S}_\gamma / X' < X\} = \emptyset$$

conform punctului I),

$$\text{deoarece } \left\lfloor \frac{S(X)}{3} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{S(X) + 1}{3} \right\rfloor;$$

Dacă  $x'_{k-1} = 0$ ,  $x'_k = 1$

atunci,

$$X' = (1, 0, \dots, 0, 1, x'_{k+1}, \dots, x'_{m-1}, 1)$$

Cum  $X'_1 \in \mathcal{S}_1$  și  $S(X') = S(X) + 1$  rezultă că,

$$X'' = (1, 0, \dots, 0, x'_{k+1}, \dots, 1) \in \mathcal{S}_1$$

conform teoremei 7, deoarece

$$\left\lfloor \frac{S(X')}{3} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{S(X'')}{3} \right\rfloor;$$

Dar cum  $S(X'') = S(X)$ ,

$$X'' \in \mathcal{S}_1 \text{ și } X'' < X$$

rezultă că,

$$X'' \in D(S(X)) \cap \{ X' \in \mathcal{S}_1 / X' < X \},$$

ceea ce contrazice ipoteza.

Dacă  $x'_{k-1} = 1, x'_k = 0$ ,

atunci fie

$$X'' = (1, 0, \dots, 0, x'_{k+1}, \dots, x'_{m-1}, 1)$$

ca și în cazul precedent

$$X' \in D(S(X)) \cap \{ X' \in \mathcal{S}_1 / X' < X \},$$

ceea ce contrazice ipoteza.

Dacă

$$x'_{k-1} = 1, x'_k = 1,$$

atunci din

$$X' < \bar{X}$$

deducem că

$$X'' = (1, 0, \dots, 0, 1, x'_{k+1}, \dots, x'_{m-1}, 1) < X$$

și din nou contrazice ipoteza.

Introducem în cele ce urmează

$$C(i, j, X) = \sum_{t=1}^j x_t x_{t+i} \quad , \quad 1 \leq j \leq M-i \quad (3.2.2.18)$$

### **Teorema 9.**

Fie:

$$X = (1, x_2, \dots, x_{m-1}, 1) \in D. \quad (3.2.2.19)$$

$$\text{Dacă există } j \in \{ 1, \dots, M-i \} \quad (3.2.2.20)$$

astfel ca:

$$C(i, j, X) > S_1(X) \quad (3.2.2.21)$$

atunci

$$D(\mathcal{S}(X)) \cap \{ X' \in \mathcal{S}_1 / X \leq X' \leq X_A \} = \emptyset \quad (3.2.2.22)$$

unde:

$$A = \begin{cases} j+i, & \text{daca } j < M-i \\ j, & \text{daca } j = M-i \end{cases} \quad (3.2.2.23)$$

$$X_A = (1, x_2, \dots, x_A, 1, 1, \dots, 1) \quad (3.2.2.24)$$

**Demonstrație:**

Fie:

$$X' \in D(S(x)) \cap \{ X' \in D/X \leq X' \leq X_A \};$$

Deoarece

$$X \leq X' \leq X_A$$

rezultă că

$$X' = (1, x_2, \dots, x_A, x'_{A+1}, \dots, x'_{M-1}, 1);$$

$$\text{unde } (1, 0, \dots, 0, x_{A+1}, \dots, x_{M-1}, 1) \leq (1, 0, \dots, 0, x'_{A+1}, \dots, x'_{M-1}, 1) \leq (1, 0, \dots, 0, 1, 1, \dots, 1);$$

Deoarece  $X' \in D(S(X))$  rezultă că  $S_1(X') = S(X)$ ;

și deci

$$C(i, X') \geq C(i, j, X') = C(i, j, X) > S_1(X) = S_1(X');$$

Prin urmare

$$X' \in S_1.$$

**Observația 10.**

Dacă se investighează elementele lui  $D(s)$  și există  $X \in D(s)$  pentru care  $C(i, j, X) > S_1(X)$ , atunci următorul element cercetat trebuie să fie mai mare strict decât  $X_A$  definit în teorema 9 și deci mai mare sau egal decât  $\bar{x}_A$ ,

unde

$$f(\bar{x}_A) = f(X_A) + 2. \tag{3.2.25}$$

Să remarcăm că  $X_A$  se poate obține din  $X$  astfel :

- se calculează  $n^\circ = f(X) + 2^{M-A}$ ; (3.2.26.)

- se calculează  $X^\circ = f^{-1}(n^\circ)$  și  $S(X^\circ)$  conform teoremei 1 (3.2.27.)

- se generează  $\bar{x}_A$ , făcând 0, elementele  $x^\circ_{A+1}, \dots, x^\circ_{M-1}$  (3.2.28.)

Algoritmul pe care-l propunem testează soluțiile după cum urmează :

- se determină  $m_1, m_2, \gamma_1, \gamma_2$  astfel ca

$$M13 = 3m_1 + \gamma_1, M11 = 3(m_1 + m_2) + \gamma_2, \gamma_i \in \{0, 1, 2\} \quad i=1,2 \tag{3.2.29.}$$

- ținând seama de teorema 5 rezultă că soluția optimă se află printre elementele mulțimilor.

$$D(s), s = 3m_1 + \gamma_1, \dots, 3(m_1 + m_2) + \gamma_2 \tag{3.2.30.}$$

- se testează mai întâi elementele mulțimii  $D(3(m_1+m_2))$  și dacă există  $X \in D(3(m_1+m_2)) \cap S$  atunci soluția optimă se află în

$$\bigcup_{k=0}^{\gamma} D(3(m_1 + m_2) + k) \tag{3.2.31.}$$

conform teoremei 3

și în acest caz se trece la testarea elementelor lui

$$D(3(m_1 + m_2) + 1) \text{ și } D(3(m_1 + m_2) + 2) \text{ (dacă acestea există) ținându-se seama de teorema 8;}$$

dacă

$$D(3(m_1 + m_2)) \cap S = \emptyset$$

atunci

$D(3(m_1 + m_2) + K) \cap \mathbf{S} = \emptyset, \forall 0 < K \leq \gamma$  conform teoremei 8 și,

• se testează elementele lui  $D[3(m_1 + m_2) - 1]$ ;

în acest caz :

$$a) D[3(m_1 + m_2 - 1)] \cap \mathbf{S} \neq \emptyset \text{ și } X^* \in \bigcup_{k=0}^2 D[3(m_1 + m_2 - 1) + k] \quad (3.2.2.32.)$$

$$b) D(3(m_1 + m_2 - 1)) \cap \mathbf{S} = \emptyset \quad (3.2.2.33.)$$

și atunci

• se testează elementele lui  $D(3(m_1 + m_2 - 1))$ .

Se continuă în același mod. Una din următoarele situații sunt posibile :

$$1) \exists K \in \{3m_1 + \gamma - 1, 3(m_1 + 1), \dots, 3(m_1 + m_2)\} \text{ astfel încât, } D(K) \cap \mathbf{S} \neq \emptyset \quad (3.2.2.34.)$$

și în acest caz

$$\mathbf{S}^* \cap \left( \bigcup_{s=0}^2 D(K + s) \right) \neq \emptyset \quad (3.2.2.35)$$

$$2) D(3m_1 + \gamma - 1) = \emptyset \quad (3.2.2.36)$$

și atunci

$$\mathbf{S}^* = \emptyset \quad (3.2.2.37)$$

### 3.2.3. Determinarea primului element cu care se începe testarea elementelor de sumă s.

Avem evident:

$$D(s) = D_0(s) \cup D_1(s) \cup \dots \cup D_{M-2}(s) \quad (3.2.3.1.)$$

**Propoziția 11.**

$$1) \text{ Dacă } X \in D_K \text{ atunci } S(X) \leq K + 2, \dots, K = 0, \dots, M-2 \quad (3.2.3.2.)$$

$$2) D(s) = D_{s-2}(s) \cup D_{s-1}(s) \cup \dots \cup D_{M-2}(s) \quad (3.2.3.3.)$$

$$3) \text{ Dacă } X_s^{(1)} (1, 0 \dots 0, 1, 1, \dots, 1, 1) \in D_{s-2} \quad (3.2.3.4.)$$

atunci

$$X_s^{(1)} \in D_{s-2}(s) \text{ și}$$

$$D(s) \cap \{X \in D / X < X_s^{(1)}\} = \emptyset \quad (3.2.3.5.)$$

**Demonstrație:**

$$1) X \in D_K \Rightarrow X_2 = X_3 = \dots = X_{M-K-1} = 0, X_{M-K-1} = 1;$$

și deci

$$S(X) = 1 + \sum_{j=M-K}^M x_j \leq 1 + \sum_{j=M-K}^M 1 = 1 + K + 1 = K + 2;$$

$$2) X \in D_K(s) \Rightarrow s \leq K + 2 \Rightarrow K \geq s - 2;$$

și deci  $D_K(s) = \emptyset$  dacă  $K < s - 2$ ;

$$3) S(X_s^{(1)}) = 1 + \sum_{j=M-(s-2)}^M 1 = 1 + s - 1 = s$$

și deci

$$X_s^{(1)} \in D_{s-2}(s);$$

$$X < X_s^{(1)} \Rightarrow X = (1, 0 \dots x_{M-s-2}, x_{M-s-1}, \dots, x_{M-1}, 1);$$

$$S(x) < S(X_s^{(1)}) = s.$$

Prin urmare primul element cu care ar trebui efectuată testarea elementelor de sumă  $s$  este  $X_s^{(1)}$ .  
Se arată ce condiție trebuie să îndeplinească  $s$  astfel încât să existe  $X \in DK(s)$  și  $X \in \mathcal{S}_r$ . Pentru aceasta ne bazăm pe teorema următoare:

**Teorema 12.**

$$1) \text{ Dacă } X = (1, x_1, \dots, x_2, 1) \in D_{s-2+K}(s), \quad (3.2.3.6.)$$

atunci numărul elementelor nule ale mulțimii

$$\{ x_{M-(s-2+K)+1}, x_{M-(s-2+K)+2}, \dots, x_{M-1} \} \text{ este } K. \quad (3.2.3.7.)$$

$$2) \text{ Oricare ar fi } X \in D_{s-2+K}(s) \text{ avem } C(1, X) \geq s-2-K \quad (3.2.3.8.)$$

3) Există un element unic  $X_{s,K}^{(1)} \in D_{s-2+K}(s)$ ,  
astfel încât

$$a) C(1, X_{s,K}^{(1)}) = s-2-K \quad (3.2.3.9.)$$

$$b) \text{ dacă } X \in D_{s-2+K}(s) \text{ și } C(1, X) = s-2-K \quad (3.2.3.10.)$$

$$\text{atunci} \quad X > X_{s,K}^{(1)}. \quad (3.2.3.11.)$$

**Demonstrație:**

1) Rezultă direct din definiția lui  $D_{s-2+K}(s)$

$$2) C(1, X) = \sum_{j=M-(s-2+K)}^{M-1} x_j \cdot x_{j+1} \geq (s-2+K) - 2K = s-2-K;$$

în care  $s-2+K$  reprezintă numărul de termeni ai sumei  $C(1, x)$  iar  $2k$  reprezintă numărul maxim al termenilor nuli ai sumei (deoarece există  $k$  elemente nule și fiecare element apare în doi termeni ai sumei);

$$3) \text{ Fie } x_{s,K}^{(1)} = (1, \dots, 1, 0, 1, 0, \dots, 0, 1, 1, \dots, 1);$$

unde,

$$x_1 = 1, x_2 = x_3 = \dots = x_{M-(s-2+K)-1} = 0, x_{M-s-K-2} = 1;$$

$$\begin{cases} x_{M-s-K+2+j} = 1, & j = 0, \dots, K-1 \\ x_{M-s-K+2+j-1} = 0, & j = 1, \dots, K \\ x_j = 1, & j = M-s+K+2, \dots, M \end{cases}$$

$$a) C(X_{s,K}^{(1)}) = \sum_{j=M-s+K+2}^{M-1} 1 \cdot 1 = s-K-2;$$

b) Rezultă din faptul că dacă  $X \in D_{s-2+K}(s)$  atunci el are  $k$  zerouri.

Cum  $C(1, X) = s-2-k$  este maximală și cum aceasta se obține numai în cazul în care între două zerouri se află cel puțin un 1; rezultă că zerourile lui  $X$  sunt separate de serii de 1 de lungime cel puțin 1. Cum dintre două numere de aceeași lungime cu același număr de cifre nule cel mai mic este cel care are zerourile mai spre stânga rezultă că  $x_{s,K}^{(1)}$  este cel mai mic element al lui  $D_{s-2+K}(s)$  pentru care  $C(1, X) = s-2-K$ .



**Teorema 13.**

$$D_{s-2+k}(s) \cap S_1 = \emptyset, \quad \text{dacă } K < s - [s/3] - 2; \quad (3.2.3.12.)$$

**Demonstrație:**

Într-adevăr dacă  $X \in D_{s-2+k}(s)$ ;

atunci

$$C(1, X) \geq s - 2 - K > s - 2 - s + \left[ \frac{s}{3} \right] + 2 = \left[ \frac{s}{3} \right] = S_1(X)$$

și deci

$$C(1, X) > S_1(X)$$

și deci

$$X \in S_1,$$

**Observația 14.**

Deoarece  $D_{s-2+k}(s) \cap S_1 \neq \emptyset$  numai dacă  $K \geq K_S = s - [s/3] + 2$ ; rezultă că investigarea elementelor de sumă  $s$  ce pot aparține lui  $S$  trebuie începută cu  $x_{K_S, s}^{(1)}$ .

**3.2.4. Determinarea calculului expresiilor ce apar în testarea elementelor lui  $D_k$ .**

Fie  $X \in D_k$  și  $IT = M - K$ . Avem atunci

**Propoziția 15**

$$a) C(i, X) = x_1 x_{i+1} + \sum_{j=IT}^{M-1} x_j \cdot x_{j+i}, \quad i = 1, M - IT \quad ; \quad (3.2.4.1.)$$

$$b) C(i, X) = x_1 x_{j+i}, \quad i = M - IT + 1, M - 1 \quad ; \quad (3.2.4.2.)$$

$$c) |C(i, X) - C(i - 1, X)| \leq 2, \quad i = M - IT + 1, M - 2 \quad ; \quad (3.2.4.3.)$$

**Demonstrație:**

Rezultatele sunt imediate dacă se ține seama că:

$$X \in D_k \text{ și } IT = M - K,$$

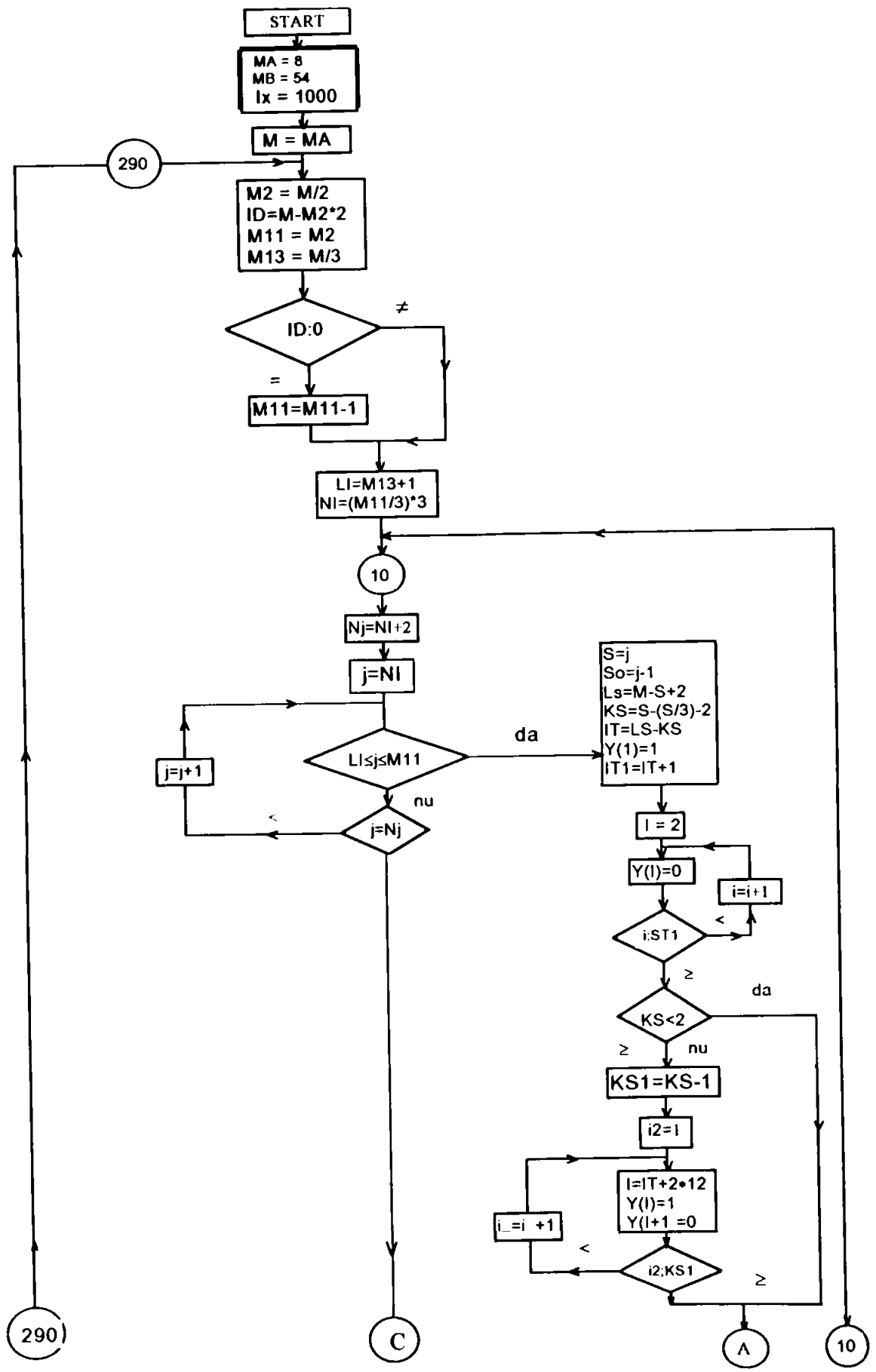
atunci

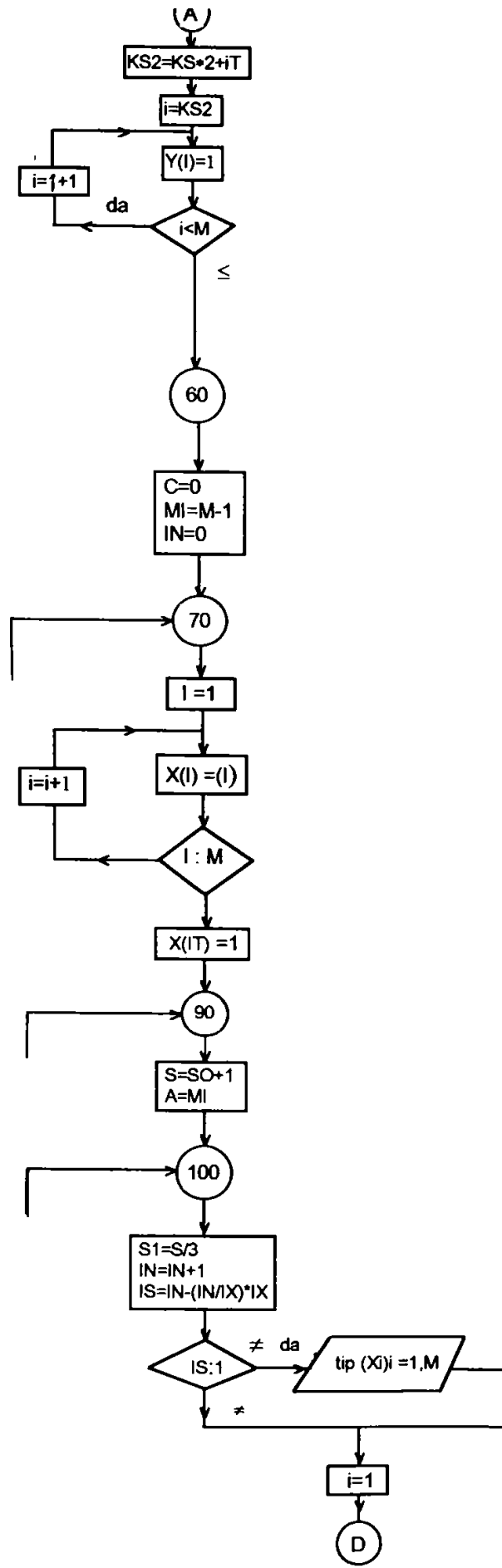
$$x_2 = x_3 \dots \dots x_{IT-1} = 0$$

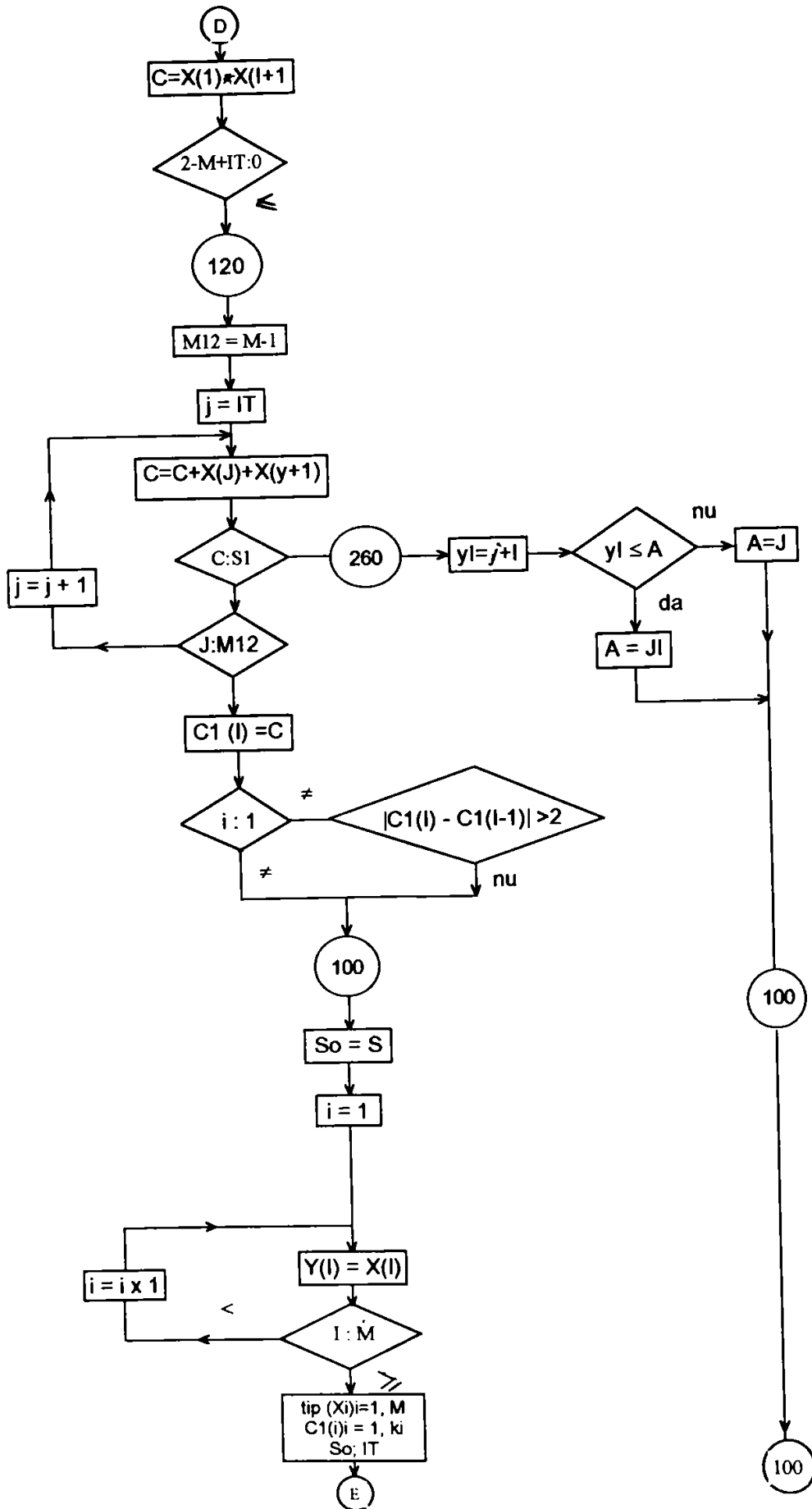
și că, dacă  $i > M - IT$ ,  $0 \leq C(i, X) \leq 1$ , iar  $0 \leq C(M - IT, X) \leq 2$

**3.2.5. Algoritmul de program și graficele impulsului de nul pentru rețelele și traductoarele fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție**

- Figura 3.2.5.1.: Schema desfășurată a algoritmului de program pentru generarea rețelei fotoelectrice incrementale de nul la traductoarele fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție;
- Figura 3.2.5.2. : Graficul impulsului de nul (în soluția autorului);
- Figura 3.2.5.3.: Graficul impulsului de nul (în soluția firmei Heidenhain - Germania);
- Figura 3.2.5.4.: Graficele comparative ale impulsului de nul (în cele două soluții).







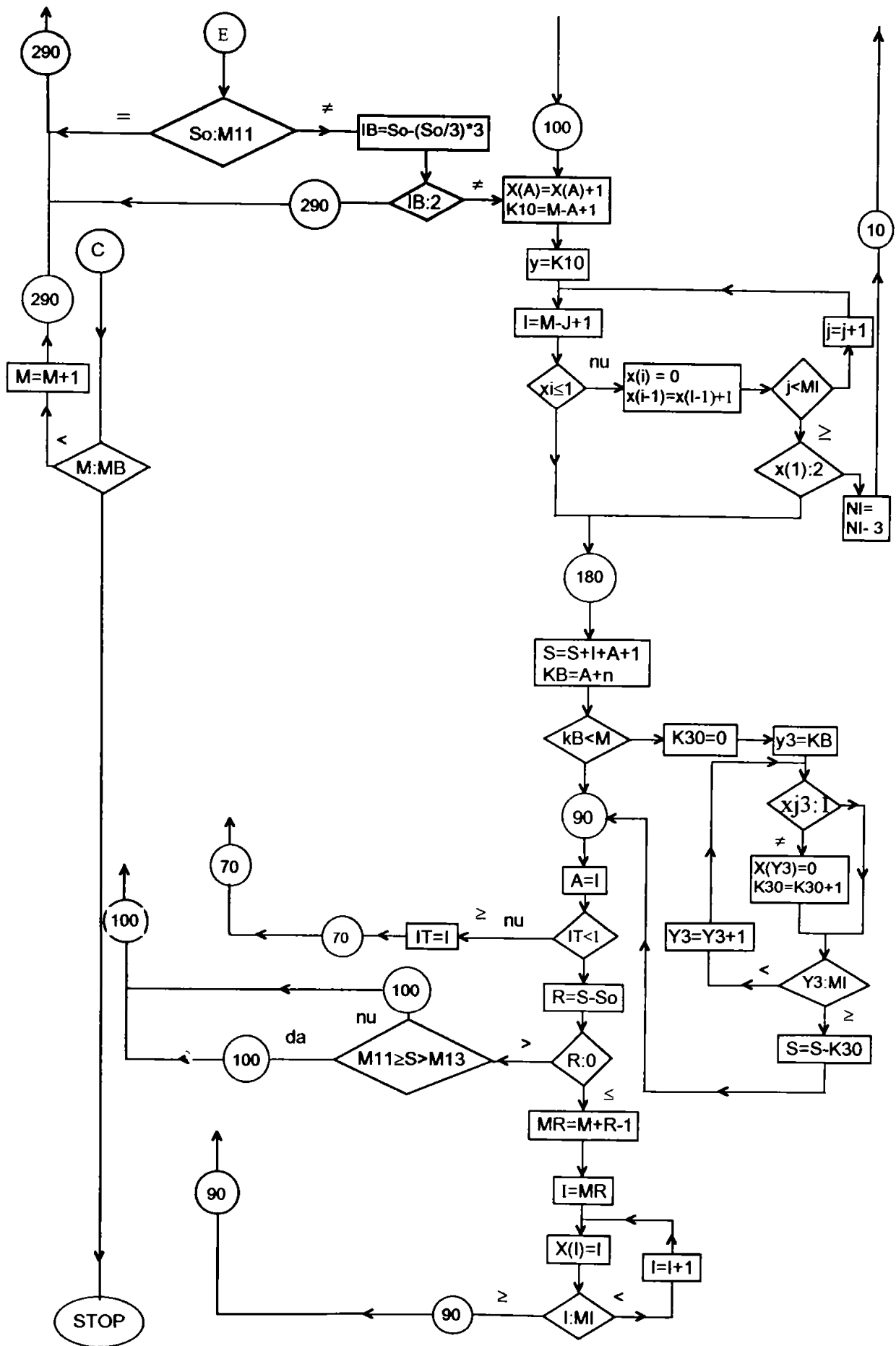


Fig. 3.2.5.1.

• G r a f i c G H E O R G H E

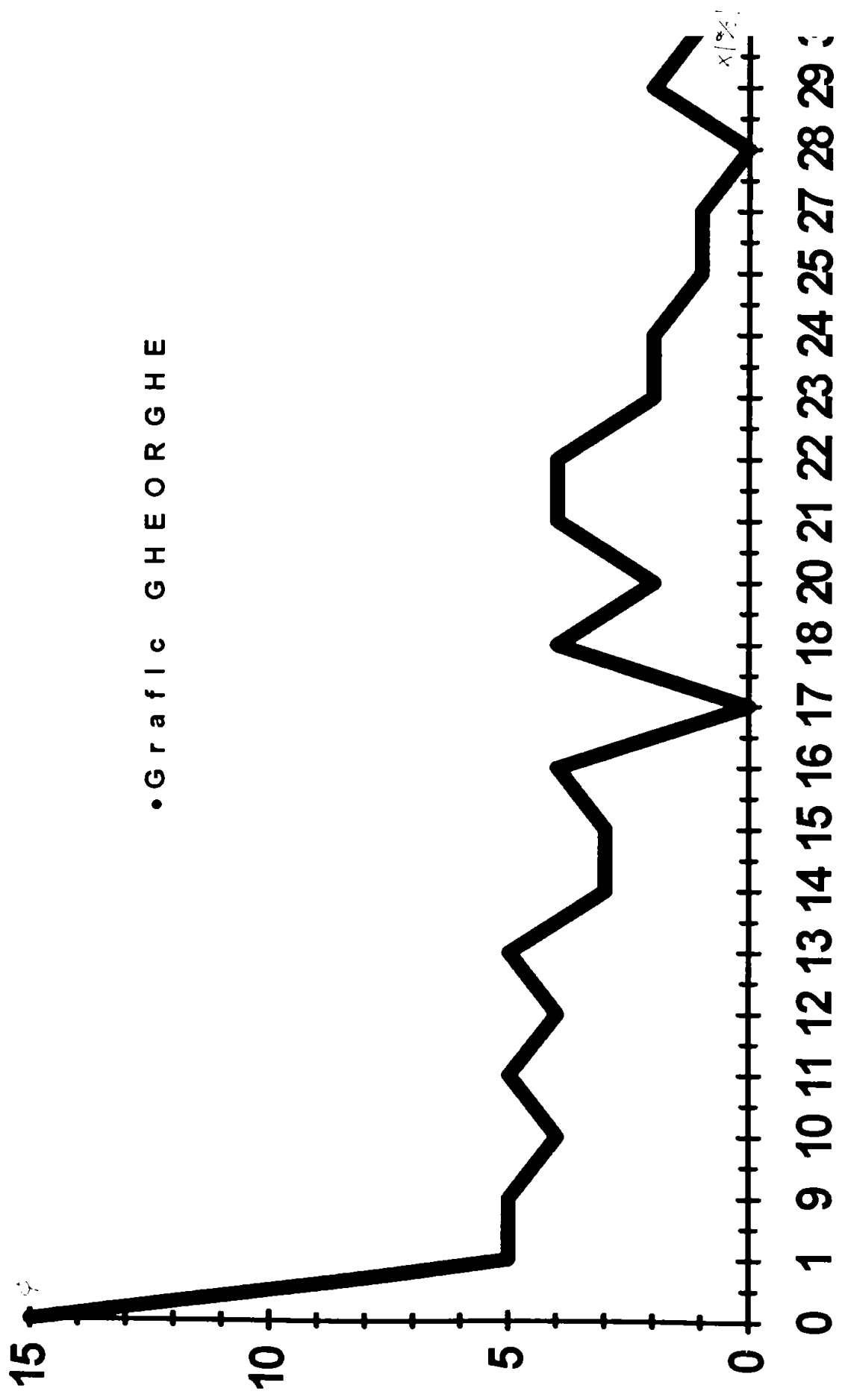


Fig. 3.2.5.2.

• G r a f i c H E I D E N H A I N

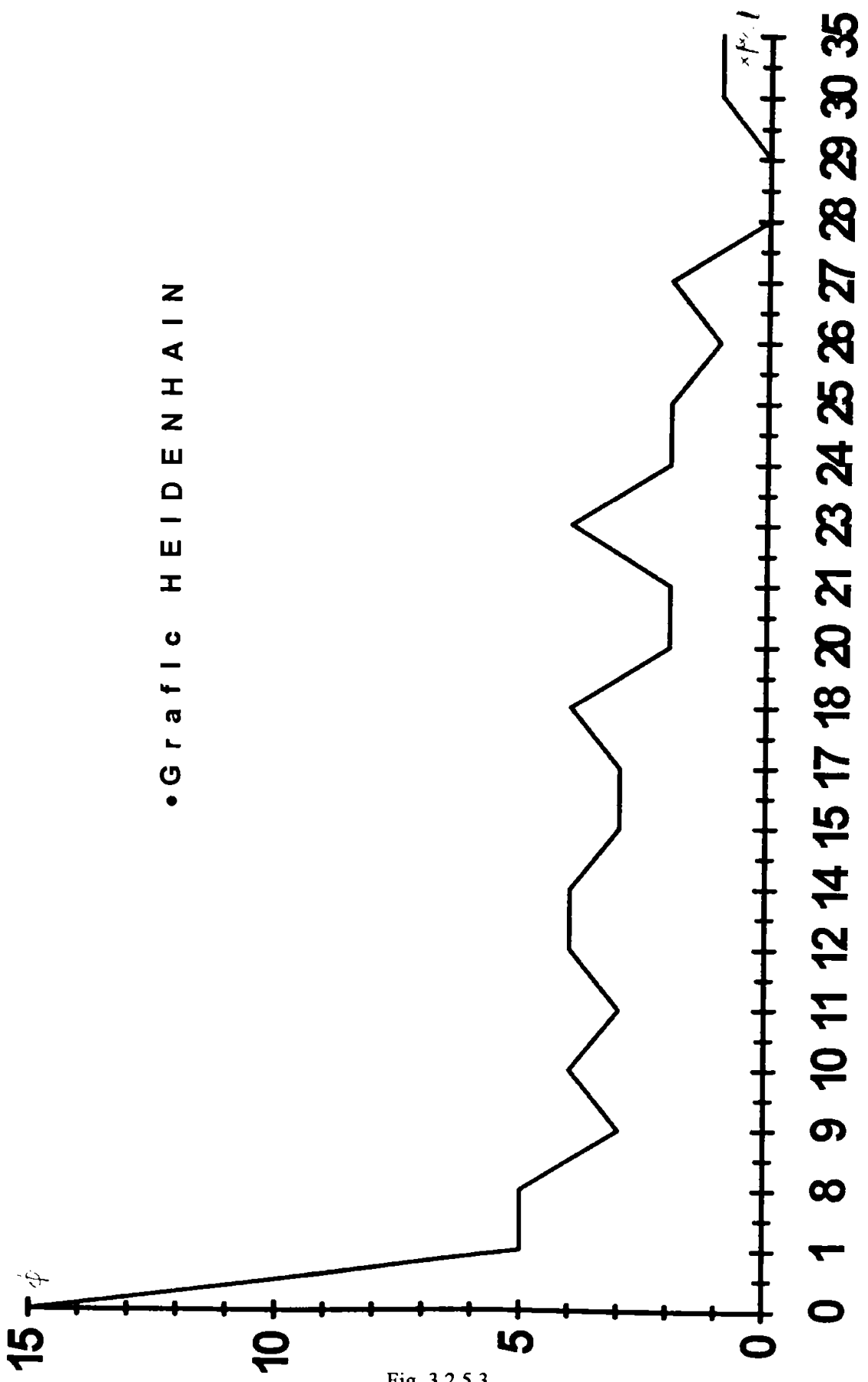


Fig. 3.2.5.3.

• Grafice GHEORGHE - HEIDENHEIN

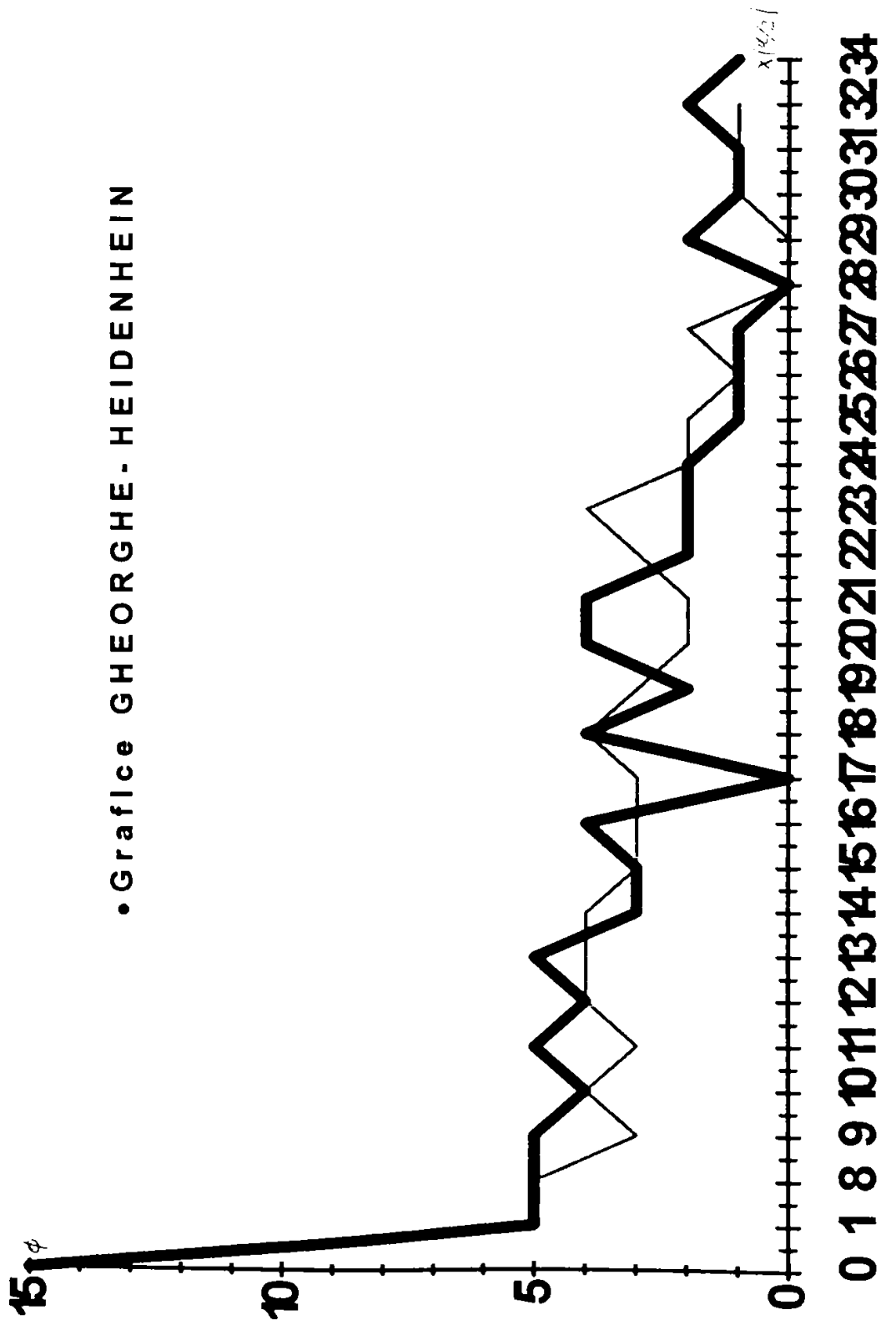


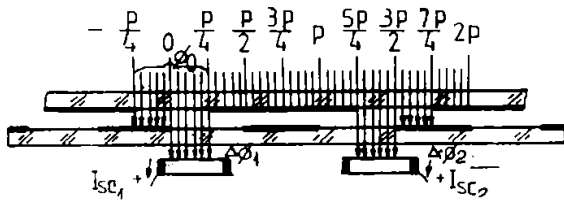
Fig. 3.2.5.4.



## Capitolul.4 CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND FUNDAMENTAREA BAZELOR TEORETICE, DETERMINAREA ȘI CORELAREA ERORILOR LA REȚELELE ȘI TRADUCTOARELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE

### 4. 1. Bazele teoretice ale rețelelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție

Considerând fig. 4.1.1., unde capul de citire și fotocelulele sunt solidare, se notează:  $p$  = pasul riglei incrementale;  $\phi_0$  = fluxul luminos , care trece printr-o fantă incrementală a capului de citire;  $\Delta\phi_1, \Delta\phi_2$  = fluxul luminos, care cade pe fotocelula  $E_1$  și respectiv  $E_2$ ;  $I_{sc1}, I_{sc2}$  = curentul de scurt circuit dat de fotocelulele  $E_1, E_2$ , la fluxurile  $\Delta\phi_1, \Delta\phi_2$ .



În condițiile ideale (fluxul luminos este perfect paralel și transmisia luminii se face în condiții ideale) avem :

Fig. 4.1.1.

$$\Delta \phi_1 = \begin{cases} \frac{1}{2} \phi_0 \left( 1 + 4 \frac{X}{p} \right), & \text{pentru } X \in \left[ 0; \frac{p}{4} \right] \\ \frac{3}{2} \phi_0 \left( 1 - \frac{4}{3} \frac{X}{p} \right), & \text{pentru } X \in \left[ \frac{p}{4}; \frac{p}{2} \right] \\ \frac{3}{2} \phi_0 \left( 1 - \frac{4}{3} \frac{X}{p} \right), & \text{pentru } X \in \left[ \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} \right] \\ \frac{3}{2} \phi_0 \left( \frac{4}{3} \frac{X}{p} - 1 \right), & \text{pentru } X \in \left[ \frac{3p}{4}; p \right] \end{cases} \quad (4.1.1)$$

$$\Delta \phi_2 = \begin{cases} \frac{1}{2} \phi_0 \left( 1 - 4 \frac{X}{p} \right), & \text{pentru } X \in \left[ 0; \frac{p}{4} \right] \\ \frac{1}{2} \phi_0 \left( 4 \frac{X}{p} - 1 \right), & \text{pentru } X \in \left[ \frac{p}{4}; \frac{p}{2} \right] \\ \frac{1}{2} \phi_0 \left( 4 \frac{X}{p} - 1 \right), & \text{pentru } X \in \left[ \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} \right] \\ \frac{5}{2} \phi_0 \left( 1 - \frac{4}{5} \frac{X}{p} \right), & \text{pentru } X \in \left[ \frac{3p}{4}; p \right] \end{cases} \quad (4.1.2)$$

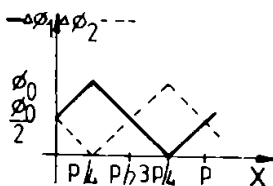


Fig. 4.1.2.

Dacă se reprezintă în fig. 4.1.2.,  $\Delta\phi_1$  și  $\Delta\phi_2$ , avem :  
Se presupune ca fotocelulele  $E_1$  și  $E_2$  au o caracteristică perfect liniară în funcție de fluxul ce cade pe ele și este de forma :

$$I_{sc} = K \cdot \phi \quad (4.1.3.)$$

unde  $K$  este o constantă de proporționalitate.

În acest caz avem :

$$I_{sc1} = \begin{cases} \frac{1}{2} K \phi_0 (1 + 4 \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [0; \frac{p}{4}] \\ \frac{3}{2} K \phi_0 (1 - \frac{4}{3} \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [\frac{p}{4}; \frac{p}{2}] \\ \frac{3}{2} K \phi_0 (1 - \frac{4}{3} \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [\frac{p}{2}; \frac{3p}{4}] \\ \frac{3}{2} K \phi_0 (\frac{4}{3} \frac{X}{p} - 1), & \text{pentru } X \in [\frac{3p}{4}; p] \end{cases} \quad (4.1.4)$$

$$I_{sc2} = \begin{cases} \frac{1}{2} K \phi_0 (1 - 4 \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [0; \frac{p}{4}] \\ \frac{1}{2} K \phi_0 (4 \frac{X}{p} - 1), & \text{pentru } X \in [\frac{p}{4}; \frac{p}{2}] \\ \frac{1}{2} K \phi_0 (4 \frac{X}{p} - 1), & \text{pentru } X \in [\frac{p}{2}; \frac{3p}{4}] \\ \frac{5}{2} K \phi_0 (1 - \frac{4}{5} \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [\frac{3p}{4}; p] \end{cases} \quad (4.1.5.)$$

Dacă printr-o metodă oarecare se scad cei doi curenți (ex. ca în fig. 4.1.3.) se obține pentru curentul de scurtcircuit :

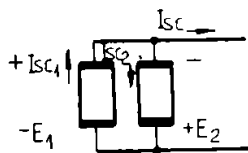


Fig. 4.1.3.

$$I_{sc} = \begin{cases} 4 I_{sco} \frac{X}{p}, & \text{pentru } X \in [0; \frac{p}{4}] \\ 2 I_{sco} (1 - 2 \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [\frac{p}{4}; \frac{p}{2}] \\ 2 I_{sco} (1 - 2 \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [\frac{p}{2}; \frac{3p}{4}] \\ -4 I_{sco} (1 - \frac{X}{p}), & \text{pentru } X \in [\frac{3p}{4}; p] \end{cases} \quad (4.1.6)$$

unde am notat  $I_{sco} = K \phi_0$ ;  $I_{sc}$  arată ca în fig. 4.1.4.

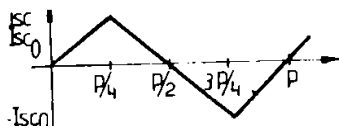


Fig. 4.1.4

Se observă că, dacă avem cele două rigle și sistemul de citire cu două fotocelule (pe care le înțelegem ca fiind în rețea cu  $p/2$  (cu d. altfel și  $p$ ), se obține o variație a curentului de scurtcircuit a celor două fotocelule legate ca în fig. 4.1.3. În funcție de deplasarea cursorului prin fața riglei, ca în fig. 4.1.4.

De asemenea, se observă că după deplasarea cu un pas a cursorului prin fața riglei, se ajunge la poziția inițială. În consecință, la o deplasare oarecare, valorile lui  $I_{sc}$  sunt date de relațiile:

$$I_{sc} = \begin{cases} I_{sco} (\frac{X}{p} - n), & \text{pentru } X \in [np; (4n+1) \frac{p}{4}] \\ 2 I_{sco} [(2n+1) - 2 \frac{X}{p}] & \text{pentru } X \in [(4n+1); (2n+1) \frac{p}{2}] \\ 2 I_{sco} [(2n+1) - 2 \frac{X}{p}] & \text{pentru } X \in [(2n+1); \frac{p}{2} (4n+3) \frac{p}{4}] \\ -4 I_{sco} [(n+1) - \frac{X}{p}] & \text{pentru } X \in [(4n+3); (n+1)p] \end{cases} \quad (4.1.7.)$$

Rezultă deci, că funcția  $I_{sc} = f(x)$  este o funcție periodică cu perioada  $p$ .

Cazul tratat mai sus este un caz ideal. Real, lucrurile se petrec altfel având, față de relațiile de mai sus, diferențe mai mari sau mai mici în funcție de erorile care apar.

## 4.2. Erori ale fascicolului luminos și ale fantei incrementale

### 4.2.1. Erori de iluminare (fluxul luminos ce cade pe sistemul optoelectronic nu este paralel).

Aceste erori se datorează atât faptului că sursa luminoasă nu este punctiformă și monocromatică, cât și faptului că lentila condensor, care are rolul de a transforma un fascicul provenit de la o sursă luminoasă într-un fascicul de raze paralele, nu este perfectă.

Din acest motiv, fasciculul de raze care iluminează sistemul de fante va arăta ca în fig. 4.2.1.1., unde razele pleacă de la lentilă în diferite direcții, apărând un con de lumină care pe un ecran, la o distanță oarecare, va fi mai intens în centru și mai slab la extremitățile acestuia.

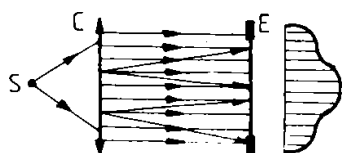


Fig. 4.2.1.1

Pentru a determina modul în care apare eroarea de citire, se observă ce se întâmplă în cazul în care acest fascicul de raze trece prin două fante aflate în opoziție (vezi fig. 4.2.1.2.).

Se observă că, atunci când fantele sunt decalate între ele, cu  $p/2$ , fotocelula încă este luminată (bineînțeles foarte puțin).

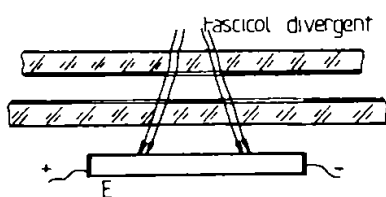


Fig. 4.2.1.2.

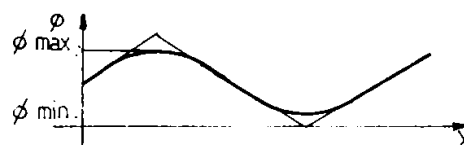


Fig. 4.2.1.3.

Dacă am desena modul în care este luminată fotocelula într-o vecinătate a decalajului de  $p/2$ , atunci lumina căzută pe fotocelulă crește relativ lent de la valoarea de decalaj,  $p/2$ , după care crește după o lege aproximativ liniară până în vecinătatea decalajului,  $p$ , unde se prind din razele convergente.

În consecință, fluxul luminos, care cade pe fotocelulă, are forma din fig. 4.2.1.3.

Printr-un calcul matematic se poate determina cantitativ eroarea datorată neparalelismului dintre razele care iluminează sistemul opto-electronic.

### 4.2.2. Erori de formă ale fantei și ale sticlei optice

#### a. Erorile laturilor perpendiculare pe direcția de mișcare

Aceste erori influențează negativ forma de undă în același sens cu eroarea de iluminare (adică la iluminare maximă și iluminare minimă). Aceste erori nu pot fi neglijate și de aceea, tehnologic, rețelele incrementale trebuie să aibă erori mult mai mici decât dimensiunile fantei.

#### b. Erorile laturilor paralele cu direcția de mișcare

Aceste erori sunt, de regulă, mici, deși apar pe tot parcursul curbei de flux, deoarece, de regulă, lungimea laturii (de ordinul milimetrilor) este mult mai mare în comparație cu defectele de construcție (de ordinul micronilor).

c. Erorile datorate defectelor de grosime ale sticlei optice sunt asociate cu eroarea de iluminare (dacă fasciculul incident ar fi paralel și perpendicular pe sticla optică, această eroare ar fi zero). Această eroare apare de asemenea aleatorie (ca și cu eroarea laturilor paralele cu direcția de mișcare). Ea poate fi foarte importantă și de aceea este necesar ca grosimea riglei/ discului să fie, tehnologic, riguros controlată.

d. Erorile datorate defectelor de suprafață și interne ale sticlei optice (rugozitate inconstantă, impurități sau bule)

Aceste erori pot deveni de asemenea importante și de aceea este necesară o bună calitate a sticlei optice.

e. Erorile datorate de distanța între riglă și cursor sunt de asemenea erori ce trebuie micșorate pe cât este posibil tehnologic.

f. Erorile de pas, care sunt cele mai importante, determină, de fapt, calitatea și precizia traductorului.

### 4.3. Erorile sistemului de citire (ale fotocelulei)

Principala eroare a unui astfel de element este caracteristica curentului de scurtcircuit-flux, care nu este ca cea descrisă mai sus, ci are caracteristica din fig. 4.3.1.

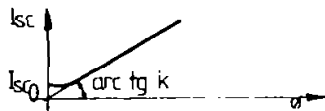


Fig. 4.3.1.

unde : K este constanta de proporționalitate;

$I_{sc0}$  este curentul de scurtcircuit în condiții de întuneric,

Se observă că ... ip...z... I... care toate erorile enumerate mai sus sunt nule, atunci curentul de scurtcircuit va fi rotunjit la  $3p/4$ .

Erorile de la o anumite tipuri de iluminare în sus sunt foarte mici în raport cu pretențiile unui traductor fotoelectric.

De asemenea, se are în vedere că erorile datorate iluminării au loc la  $p/4$  și  $3p/4$  și că, de regulă, iluminarea rămasă este suficientă pentru a ne plasa pe porțiunea liniară a caracteristicii din fig. 4.3.2..

Având în vedere erorile enumerate mai sus și presupunând că acestea pot fi aduse la o valoare minim acceptată (acest minim este dat de pretențiile traductorului), curentul de scurtcircuit furnizat de cele două fotocelule  $E_1$  și  $E_2$  va avea forma din fig. 4.3.2., unde eroarea la maxime este mai mică decât cea dorită, iar erorile de liniaritate sunt neglijate în raport cu pretențiile traductorului.

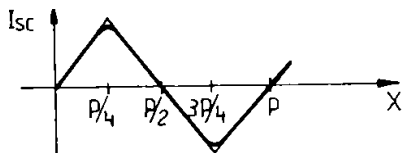


Fig. 4.3.2

În cazuri ideale se poate accepta ideea că această formă de undă este suficientă pentru un traductor de poziție sau deplasare.

Cazul ideal, în acest sens, este inexistența vibrațiilor și existența unui detector în sens. În practică, vibrațiile nu pot fi neglijate și doar forma de undă din fig. 4.3.2. nu este suficientă.

O metodă de a anula efectul vibrațiilor de-a lungul direcției de deplasare este aceea de a folosi alte două fante decalate între ele cu  $p/2$ , dar decalate față de celelalte două cu  $p/4$ , obținându-se astfel două semnale periodice identice, dar decalate cu  $p/4$  (vezi fig.4.3.3.) .

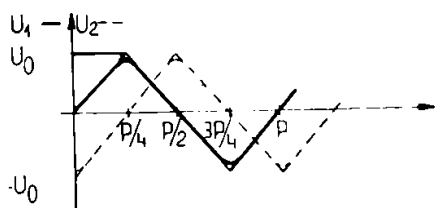


Fig. 4.3.3 a

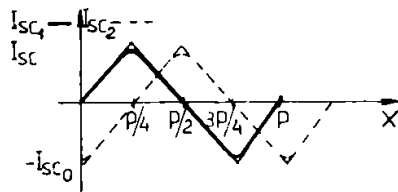


Fig. 4.3.3.b

Cu un montaj electronic adecvat (vezi fig. 4.3.4..) fiecare din cei doi curenți de scurtcircuit se poate transforma în tensiuni care vor avea formele din fig. 4.3.5.

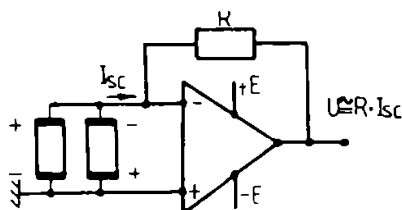


Fig. 4.3.4

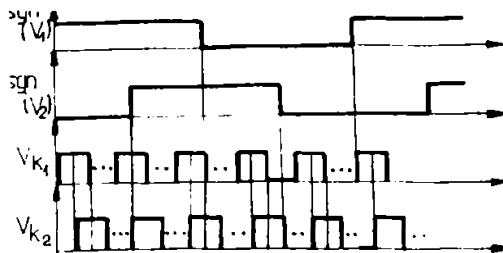


Fig. 4.3.5

Aceste două semnale pot fi utilizate prin montaje electronice adecvate care au rolul de a da poziția curentă și de a introduce subdivizarea electronică cu un număr dat.

#### 4.4. Subdivizarea electronică cu un număr dat

Dacă notăm: N, numărul de subdivizare

U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, tensiunile din fig.4.3.5.) putem avea:

$$U_1 = \begin{cases} 4 U_0 \frac{X}{p}, & \text{pentru } X \in [ 0; \frac{p}{4} ] \\ 2 U_0 ( 1 - 2 \frac{X}{p} ), & \text{pentru } X \in [ \frac{p}{4}; \frac{p}{2} ] \\ 2 U_0 ( 1 - 2 \frac{X}{p} ), & \text{pentru } X \in [ \frac{3p}{4}; p ] \\ -4 U_0 ( 1 - \frac{X}{p} ), & \text{pentru } X \in [ \frac{3p}{4}; p ] \end{cases} \quad (4.4.1.)$$

$$U_2 = \begin{cases} -U_0 ( 1 - 4 \frac{X}{p} ), & \text{pentru } X \in [ 0; \frac{p}{4} ] \\ U_0 ( 4 \frac{X}{p} - 1 ), & \text{pentru } X \in [ \frac{p}{4}; \frac{p}{2} ] \\ U_0 ( 3 - 4 \frac{X}{p} ), & \text{pentru } X \in [ \frac{p}{4}; \frac{3p}{4} ] \\ U_0 ( 3 - 4 \frac{X}{p} ), & \text{pentru } X \in [ \frac{3p}{4}; p ] \end{cases} \quad (4.4.2.)$$

Se definește funcția:  $\text{sgn}(X) = \begin{cases} 0, & \text{pentru } x \leq 0 \\ 1, & \text{pentru } x > 0 \end{cases}$

Se formează funcția :

$$V_K = \begin{cases} \underbrace{\text{sgn} [ ( \frac{K}{N} - 1 ) U_1 + U_2 ]}_{V_{K1}}, & \text{pentru } K = 1, 2 \dots N - 1 \\ \underbrace{\text{sgn} ( \frac{1 - \frac{K}{N}}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} U_1 - U_2 )}_{V_{K2}}, & \text{pentru } K = N + 1; N + 2; 2N - 1 \end{cases} \quad (4.4.3.)$$

și funcțiile decalate la 90°, (care sunt funcții normale) :

$$\begin{aligned} V_0 &= \text{sgn}(U_1) \\ V_n &= \text{sgn}(U_2) \end{aligned} \quad (4.4.4.)$$

Înlocuind relațiile ( 4.4.3.) și ( 4.4.4.) și rezultă :

$$V_{K1} = \begin{cases} \text{sgn} [ 4 \frac{N}{K} U_0 ( \frac{X}{p} - \frac{K}{4N} ) ], & \text{pentru } X \in ( 0; \frac{p}{4} ) \\ \text{sgn} \left\{ \frac{N}{K} U_0 [ 2 - \frac{3K}{N} - 4 ( 1 - \frac{2K}{p} ) ] \right\}, & \text{pentru } X \in ( \frac{p}{4}; \frac{p}{2} ) \\ \text{sgn} \left\{ 4 \frac{N}{K} U_0 [ \frac{1}{2} ( 1 + \frac{1}{2} \frac{K}{N} ) - \frac{X}{p} ] \right\}, & \text{pentru } X \in ( \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} ) \\ \text{sgn} \left\{ \frac{N}{K} U_0 [ - ( 4 - 7 \frac{K}{N} ) + 4 ( 1 - 2 \frac{K}{N} ) \frac{X}{p} ] \right\}, & \text{pentru } X \in ( \frac{3p}{4}; p ) \end{cases} \quad (4.4.5.)$$

$$V_{K2} = \begin{cases} \operatorname{sgn} \left\{ \frac{U_0}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} \left[ - \left( 4 \frac{K}{N} - 6 \right) \frac{X}{p} - \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N} \right) \right] \right\}, & \text{pentru } X \in \left( 0; \frac{p}{4} \right) \\ \operatorname{sgn} \left\{ \frac{2}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} U_0 \left( \frac{X}{p} - \frac{1}{4} \frac{K}{N} \right) \right\}, & \text{pentru } X \in \left( \frac{p}{4}; \frac{p}{2} \right) \\ \operatorname{sgn} \left\{ \frac{U_0}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} \left[ - \left( 6 - 4 \frac{K}{N} \right) \frac{X}{p} + 3 + 2 \frac{K}{N} \right] \right\}, & \text{pentru } X \in \left( \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} \right) \\ \operatorname{sgn} \left\{ \frac{2U_0}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} \left[ \frac{X}{p} - \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{K}{N} \right) \right] \right\}, & \text{pentru } X \in \left( \frac{3p}{4}; p \right) \end{cases} \quad (4.4.6.)$$

Se poate demonstra că :

$$\begin{aligned} \operatorname{sgn} \left\{ \frac{K}{N} U_0 \left[ \left( 2 - 3 \frac{K}{N} \right) - 4 \left( 1 - \frac{2K}{N} \right) \frac{X}{p} \right] \right\} &= 1, \text{ pentru } X \in \left( \frac{p}{4}; \frac{p}{2} \right) \quad K = 1, \dots, N-1 \quad (4.4.7.) \\ \operatorname{sgn} \left\{ \frac{K}{N} U_0 \left[ -4 + 7 \frac{K}{N} + 4 \left( 1 - \frac{2K}{N} \right) \frac{X}{p} \right] \right\} &= 0, \text{ pentru } X \in \left( \frac{3p}{4}; p \right) \quad K = 1, \dots, N-1 \\ \operatorname{sgn} \left\{ \frac{U_0}{1 - \frac{K}{2N}} \left[ \left( \frac{4K}{N} - 6 \right) \frac{X}{p} + \left( 1 - \frac{K}{2N} \right) \right] \right\} &= 0, \text{ pentru } X \in \left( 0; \frac{p}{4} \right) \quad K = N+1, \dots, 2N-1 \\ \operatorname{sgn} \left\{ \frac{U_0}{1 - \frac{K}{2N}} \left[ \left( 6 - \frac{4K}{N} \right) \frac{X}{p} - 3 + 2 \frac{K}{N} \right] \right\} &= 1, \text{ pentru } X \in \left( \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} \right) \quad K = N+1, \dots, 2N-1 \end{aligned}$$

Rezultă :

$$V_{K1} = \begin{cases} \operatorname{sgn} \left[ 4 \frac{K}{N} U_0 \left( \frac{X}{p} - \frac{K}{4N} \right) \right], & \text{pentru } X \in \left( 0; \frac{p}{4} \right) \\ 1, & \text{pentru } X \in \left( \frac{p}{4}; \frac{p}{2} \right) \\ \operatorname{sgn} \left\{ 4 \frac{K}{N} U_0 \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{K}{N} \right) \frac{X}{p} \right] \right\}, & \text{pentru } X \in \left( \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} \right) \\ 0, & \text{pentru } X \in \left( \frac{3p}{4}; p \right) \end{cases} \quad (4.4.8.)$$

$$V_{K2} = \begin{cases} 0, & \text{pentru } X \in \left( 0; \frac{p}{4} \right); \\ \operatorname{sgn} \left[ \frac{2U_0}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} \left( \frac{X}{p} - \frac{1}{4} \frac{K}{N} \right) \right], & \text{pentru } X \in \left( \frac{p}{4}; \frac{p}{2} \right); \\ 1, & \text{pentru } X \in \left( \frac{p}{2}; \frac{3p}{4} \right); \\ \operatorname{sgn} \left[ \frac{2U_0}{1 - \frac{1}{2} \frac{K}{N}} \left[ \frac{X}{p} - \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{K}{N} \right) \right] \right], & \text{pentru } X \in \left( \frac{3p}{4}; p \right); \end{cases} \quad (4.4.9.)$$

Aceste două funcții sunt periodice cu perioada  $p$ . Făcându-se combinații logice, se obțin două semnale decalate cu  $p/4N$  între ele.

#### 4.5. Studiu privind surse de erori de fază la sistemele fotoelectrice incrementale de măsurat lungimi

În ultimii ani s-a observat o dezvoltare dinamică a cercetării pentru sistemele fotoelectrice incrementale de măsurat lungimi. Astfel se deosebesc trei grupe principale de factori ce limitează capacitatea de rezoluție a acestor sisteme :

- precizia execuției măștii master incrementale (etalon incremental);
- erori datorate lăgării imprecise;
- erori ale sistemului emitor - receptor.

Erorile care apar în legătură cu efectul moiré pot fi reduse la două tipuri de erori, la ieșirea semnalelor traductorului : erori de fază și erori de amplitudine. Erorile de amplitudine au numai o influență redusă asupra preciziei caracteristicii traductorului și pot fi compensate cu ușurință. De aici rezultă că factorii principali ce limitează capacitatea de rezoluție și, prin aceasta, domeniul de măsurare al traductorului ( cu excepția etaloanelor) sunt erorile de fază.

##### 4.5.1. Erori de fază cauzate de imprecizia lăgării

Un etalon incremental imobil se află la unghiul "0" și este amplasat la distanța "g<sub>0</sub>" de etalonul mobil.

Se utilizează o sursă de lumină punctiformă. Peste etalonul imobil se găsește sistemul - receptor cu două fotoelemente. Trebuie subliniat faptul că este mai avantajos să folosim pentru sistemul receptor, patru fotoelemente. Ele sunt amplasate într-un circuit diferențial. Fotoelementele se află exact pe o axă și pot fi deplasate reciproc cu o valoare a, astfel încât defazarea "a", să îndeplinească următoarea condiție :

$$\varphi = \frac{a}{D\eta 2\pi} = \frac{\pi}{2} \quad (4.5.1.1.)$$

Dacă această condiție nu este îndeplinită, apar erori de fază.

Imaginea fantei - moiré este definită cel mai ușor prin locul geometric al punctelor de intersecție între două familii de linii, ce sunt reprezentate prin două etaloane incrementale așezate unul peste altul (de exemplu, rețea de difracție). Bazele teoretice sunt exprimate prin formarea constantei de fantă  $D = f(\theta, d_1, d_2)$ , unde "d<sub>1</sub>" și "d<sub>2</sub>" sunt etaloane constante / 31 / 35 / 87 / .

Aberația unghiulară a sursei de iluminare pe perioada proiecției unui etalon pe celălalt etalon duce la o diferență de constante aparente (fig. 4.5.1.1.). Ecuațiile pentru determinarea constantei de fantă precum și a direcției ei de orientare sunt :

$$D(\theta, \delta) = d \frac{1 + \delta}{\sqrt{1 - 2(1 + \delta)\cos\theta + (1 + \delta)^2}} \quad ; \quad (4.5.1.2.)$$

$$\psi(\theta, \delta) = \arctan \frac{(1 + \delta)\sin\theta}{(1 + \delta)\cos\theta - 1} \quad ; \quad (4.5.1.3.)$$

unde :

$$d = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \quad \text{și} \quad \delta = \frac{g_0}{L} \quad ;$$

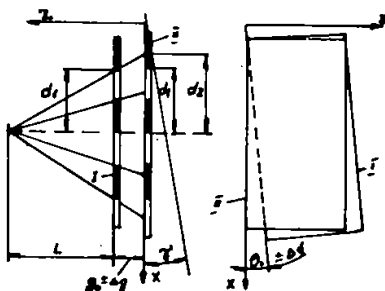


Fig. 4.5.1.1

Ambii parametri  $\theta$  și  $\delta$  se modifică pe parcursul timpului de lucru al traductorului datorită influenței jocului lăgării. Domeniile de varianță  $\Delta\theta$  și  $\Delta\delta$  sunt dependente de parametrii constructivi ai traductorului ( $r, l, L, g_0$  și  $p$ ).

Diagrama spațială a funcțiilor  $D$  și  $\Psi$  (fig. 4.5.1.2. și 4.5.1.3.) ilustrează influența modificării acestor parametri asupra modificării constantei fantei moiré, precum și asupra unghiului ei de orientare  $\psi$  și duce la eroare de fază.

Valoarea acestei erori poate fi calculată prin :

$$|\Delta\phi| = |\Delta\phi(\theta, \delta)| = \left| \frac{\pi}{2} - 2\pi \frac{a \cos[\eta(\theta, \delta)]}{\Delta(\theta, \delta)} \right| \quad (4.5.1.4.)$$

unde:  $a$  = intervalul între fotoelemente;  $\eta$  = unghiul între linia ce trece prin axa fotoelementelor și linia verticală la fantă.

Cu ajutorul unui algoritm numeric corespunzător pentru  $\Delta\phi = f(\theta, \Delta\theta, \delta, \Delta\delta, \psi, \Delta\psi, \eta)$  se determină valorile maxime sau valorile limită ale erorii de fază în dependență de parametri constructivi stabiliți  $r, l, p, g_0$  și  $L$  ai traductorului fotoelectric incremental.

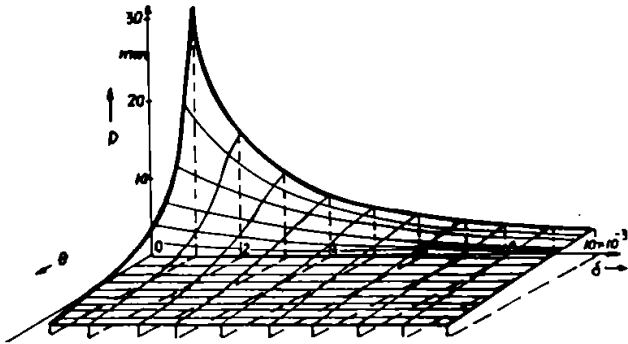


Fig. 4.5.1.2.

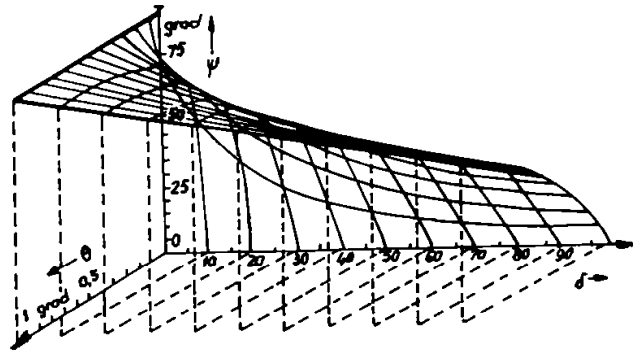


Fig. 4.5.1.3.

Dacă se presupune că reglajul cel mai precis al axului în lagărul traductorului se modifică conform concentricității cercului, atunci valoarea erorii de fază  $\Delta\phi$  oscilează ciclic.

Mărimile ce influențează valoarea  $\Delta\phi$  sunt alternativ parametrii  $\phi$  sau  $\delta$ .

În practică un interes deosebit pentru construcție îl prezintă erorile de fază maxime  $\Delta\phi_{\max}$ .

În diagramă (fig. 4.5.1.4.) sunt reprezentate, spre exemplu, trei curbe care descriu modificarea erorii de fază maxime în dependență de modificarea aberației unghiulare a sursei de lumină (determinată de parametrul  $L$ ) pentru parametri de construcție selectați.

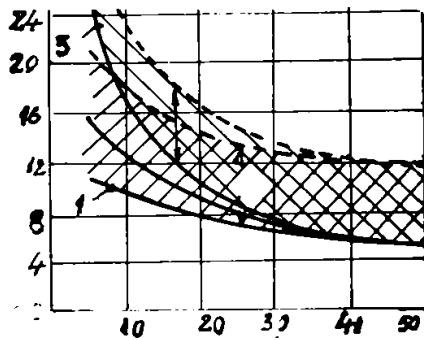


Fig. 4.5.1.4.

Se recunoaște faptul că sursa de lumină are o influență considerabilă asupra capacității de rezoluție și preciziei valorilor de măsurare a traductorului (ex: pentru  $L = 50$  mm, aberația unghiulară a sursei de lumină valorează  $\approx 2,2'$ )

#### 4.5.2. Eroare de fază cauzată de sistemul receptor (fotoelementele)

În sistemul receptor al traductorului, fotoelementele sunt amplasate într-o anumită configurație. În practică, ca urmare a toleranțelor de fabricație, amplasarea fotoelementelor, precum și deplasarea lor sunt determinate de domeniul de dispersie al intervalului " $a$ " (fig. 4.5.2.1.).

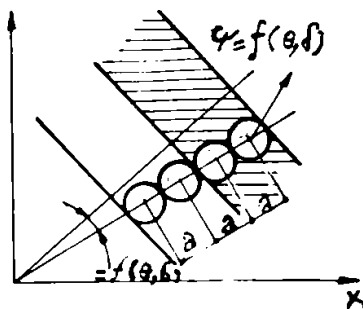


Fig. 4.5.2.1.

Cel mai mare domeniu de dispersie al locurilor teoretice pentru fotoelementele A, B, C, și D (fig. 4.5.2.1) rezultă prin imprecizia la montarea fotoelementelor, precum (de exemplu) deplasarea în ceea ce privește axele lor, precum și prin montare necentrată pe baza configurației fotoelementelor.

Toate aceste domenii de dispersie sunt surse de erori de fază. Pentru calcularea acestor erori se pleacă de la aceea că distribuțiile normale sau bidimensionale cu variabile accidentale  $x$  și  $y$  și nu



corelează una cu alta.

Funcțiile de corelație:

$$g(x, y) = 0;$$

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi S_x \cdot S_y} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{S_x^2} + \frac{y^2}{S_y^2} \right) \right\} \quad (4.5.2.1.)$$

Dacă  $S_x = S_y = S$ , atunci se obține din ecuația (4.5.2.1) :

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi S^2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2 + y^2}{S^2} \right) \right\} \quad (4.5.2.2.)$$

Pentru condiția numită, domeniul de dispersie al fotoelementelor are loc o influență dominantă asupra distribuției erorilor în ceea ce privește poziția axială a fotoelementelor. Cercetarea distribuției erorilor în ceea ce privește direcțiile  $x$  sau  $y$  (fig. 4.5.2.1.) a dus la concluzia că erorile sunt distribuite normal și distribuția în ceea ce privește simetria sistemului în orice direcție arbitrară este aceeași.

Ca exemplu sse dă direcția "u" :

$$P(u_1 \leq u \leq u_2) = \int_{u_1}^{u_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot s} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \cdot \frac{u^2}{s^2} \right\} du \quad (4.5.2.3.)$$

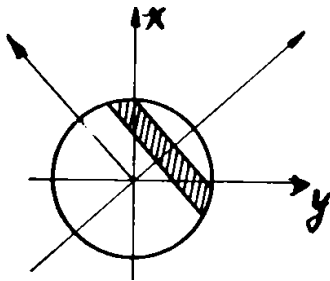


Fig.4.5.2.2.

Pe această bază erorile de fază ale sistemului receptor pot fi 'escrise, după cum urmează' :

$$e\varphi = \frac{2\pi e_a}{D(\theta, \delta)} \quad (4.5.2.4.)$$

$e_a = 3 \delta_a$  = valoarea limită a domeniului de dispersie a axei fotoelementelor într-un câmp de toleranță circular.

Dacă se compară ecuația (4.5.2.3.) cu ecuația (4.5.2.4.), atunci rezultă că odată cu interpretarea teoretică dată erorii de fază, valoarea ei este independentă de funcția orientării unghiulare  $\psi$  ( $\theta, \delta$ ). Concomitent, poate fi calculată valoarea acestei erori pentru cazul nefavorabil ( $\cos \eta$  ( $\theta, \delta$ )  $\leq 1$ ).

Interpretarea grafică a erorii de fază pentru traductor este prezentată în fig. 4.5.2.2. Suprafețele hașurate reprezintă

domeniul de variație unilateral al întregii erori de fază (pentru curbele 1 și 3), (fig.4.5.1.4.) care pot fi determinate cu ajutorul relației :

$$\Delta\varphi = |\Delta\varphi_{\max}| \pm e\varphi \quad (4.5.2.5.)$$

În concluzie:

Dacă se presupune că fiecare semnal al fotoelementelor  $S_A, S_B, S_C$  și  $S_D$  prezintă aceleași erori de fază, atunci:

$$e_A = e_B = e_C = e_D = e\varphi; \quad (4.5.2.6.)$$

se obține în cazul sumelor diferențiate ale semnalelor:

$$\varphi_{AC} = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} \quad (4.5.2.7.)$$

$$\varphi_{AC} = \sqrt{\frac{e^2\varphi_A + e^2\varphi_C}{4}} = \frac{e\varphi}{\sqrt{2}} \quad (4.5.2.8.)$$

și

$$\varphi_{BD} = \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}; \quad e\varphi_{BD} = \sqrt{\frac{e^2\varphi_B + e^2\varphi_D}{4}} = \frac{e\varphi}{\sqrt{2}} \quad (4.5.2.9.)$$

Eroarea reciprocă a deplasării semnalului de fază a semnalelor  $S_{AC}$  și  $S_{BD}$  este :

$$C_a = \sqrt{\frac{1}{2}e^2\varphi + \frac{1}{2}e^2\varphi} = e\varphi \quad ; \quad (4.5.2.10.)$$

Aceste ecuații ilustrează faptul că utilizarea sumelor diferențiate ale semnalelor este avantajoasă. Această metodă permite eliminarea componentelor continue ale semnalelor și compensează eroarea de amplitudine.

În final se poate afirma că metoda propusă pentru analizarea erorii de fază permite calcularea suficient de exactă a acestor erori.

#### **4.6. Metode de compensare a impulsului de perturbație la sistemele fotoelectrice incrementale de măsurat lungimi**

Sistemele fotoelectrice incrementale de deplasare se caracterizează prin aceea că fiecare din pașii egali ai deplasării (incrementale) poate fi numărat înainte sau înapoi, în funcție de direcția de mișcare a riglei incrementale aferente.

Premiza pentru un mod de lucru de operativitate sigură a acestor sisteme de măsurat lungimea este "prevenirea numărărilor eronate prin impulsuri perturbatorii" ce pot apare. Aceste impulsuri perturbatoare pot fi declanșate, de exemplu, prin comutarea unor inductivități în cadrul sau în imediata vecinătate a mașinii (echipamentului), la care lucrează sistemul fotoelectric incremental de măsurat lungimea. Impulsurile perturbatoare pot prezenta pași de măsurare ce nu au fost totuși efectuați. Urmarea este declanșarea unor informații de comandă și cuplare false. Piesa de prelucrat nu este fabricată la calitatea dorită, respectiv poate apare ca rebut parțial sau total al mașinii. Aceste impulsuri de perturbare sau eroare, ce se deosebesc în ceea ce privește mărimea, durata și polaritatea, pot mări, respectiv micșora, numărul real de impulsuri de numărare.

Ele sunt conduse prin surse de perturbații electrice, mai ales în cazul de măsurare cu amplificator și treapta de formare impuls și în conductele de transmisie către electronica de evaluare. Pentru compensarea acestor impulsuri eronate, respectiv prevenirea influenței lor asupra dispozitivelor de numărare ale sistemului fotoelectric incremental de măsurat lungimi, au fost concepute, construite și probate, mai multe variante de conexare. Aceste operații au avut loc în corelație cu modelul funcțional - dezvoltarea unui sistem fotoelectric incremental de măsurare a deplasării pentru utilizare în diferite domenii de activitate. În plus, au fost observate și aplicate măsuri pentru prevenirea dispersării vârfurilor de tensiune asupra tensiunii de lucru și alte conducte de alimentare cu curent pentru perioada testării.

##### **4.6.1. Metode tradiționale pentru suprimarea impulsurilor de perturbație.**

În particular, există atât pentru tehnica discretă, cât și pentru cea integrată, următoarele metode:

- seriile de conductoare pe plăcile conductoare pentru tensiunile de alimentare trebuie să prezinte o secțiune transversală dublă și pentru conducta de legare la pământ triplă până la cvadriplă față de conductele de semnal;
- între conductele de alimentare cu tensiune și conductorul neutru de legare la pământ sunt prevăzuți pe fiecare placă conductoare, condensatori - electrolit ( de  $\approx 10 \mu F$ ) pentru decuplarea tensiunii de perturbație;
- fiecare modul constructiv integrat pe o placă conductoare va fi asigurat între tensiunea de alimentare și masă printr-o conductă foarte scurtă și un condensator ( de  $10 \mu F$ );
- la intrarea seriei de conductori a tensiunii de alimentare se va conecta o bobină de șoc ( de cel puțin  $10 \mu F$ );
- între fiecare serie de conductor de semnal, la intrare și seria de conductori a tensiunii de alimentare, se va conecta un condensator ( de  $\approx 0,47 \mu F$ );
- conductele de semnal, între traductorii valorii de măsură (printre care se numără și sistemul de măsurare a deplasării) și comanda ce prelucrează semnalul, se vor executa ca, în conducte ecranate (atenție la lungimea minimă a conductei!).

Ecranul se va lega cu masa mașinii, respectiv cu pământul dar nu cu conducta de legare la pământ, a alimentării cu curent,

- la toate contactele active în cadrul sau vecinătatea imediată a mașinii va fi prevăzut un stingător de scântei;
- cablul de curent înalt și cel de curent slab se va separa.

#### 4.6.2. Compensarea impulsului de perturbație prin circuite logice. Înlocuirea nivelului.

Pentru mărirea distanței tensiunii de perturbație între capul de măsurare și electronica de evaluare, este indicat să se lucreze cu un nivel semnal mai înalt în capul de măsurare, care să fie transmis prin conducte la electronica de evaluare. La intrarea electronicii de evaluare, nivelul înalt este coborât printr-un circuit de trecere (transformator nivel) la nivelul de semnal TTL.

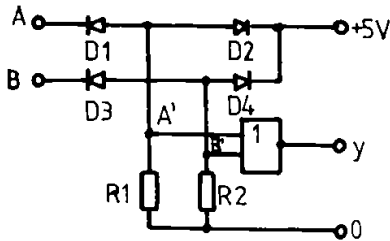


Fig. 4.6.2.1.

Pentru realizarea acestui fapt sunt utilizate în principal circuite logice: un circuit (fig. 4.6.2.1.) prin care sunt legate două procese ce se desfășoară paralel de-abia după transmiterea semnalului și coborârea nivelului, printr-o legătură și în scopul prelucrării ulterioare.

Transmisia semnalului se realizează cu un nivel de tensiune (de 12V), iar limitarea nivelului are loc prin diode.

Dacă este necesară o legare și la sfârșitul conductei de transmisie, atunci sunt conectate paralel, iar diodele, precum și rezistența pot lipsi. În această formă transformată, circuitul pentru coborârea nivelului informației ce vine de la capul de măsurare este utilizat la intrarea electronicii de evaluare (fig. 4.6.2.2.).

Intervalul tensiunii de perturbație se mărește la transmisia semnalului cu + 12V față de nivelul TTL (de 0,5 la 3,5 V).

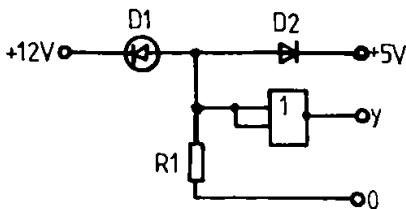


Fig. 4.6.2.2.

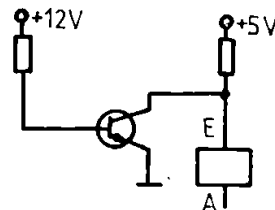


Fig. 4.6.2.3.

O a doua posibilitate de adaptare a nivelului, respectiv a semnalului, este: prin transmisia semnalului are loc cu un nivel semnal (de 12 V) (fig. 4.6.2.3.)

Un tranzistor acționează ca un comutator negativ.

Dacă amplitudinea semnalului se află la baza cipului, atunci acesta este comandat și el. Pentru recrearea stării inițiale, este neapărat necesar un negator. Acest circuit a fost probat practic în combinație cu metodele de suprimare a impulsurilor de perturbare.

Compensarea impulsului de perturbare a fost asigurată numai atunci când toate aceste metode au fost respectate cu consecvență. Dacă nu s-a întâmplat așa sau toate măsurile indicate nu au fost

realizate corect, s-a observat că au apărut răspunsuri eronate, ce au dus la numărări false. O corecție a avut loc atunci prin sistemul de numărare a cursei, abia la atingerea impulsului de zero.

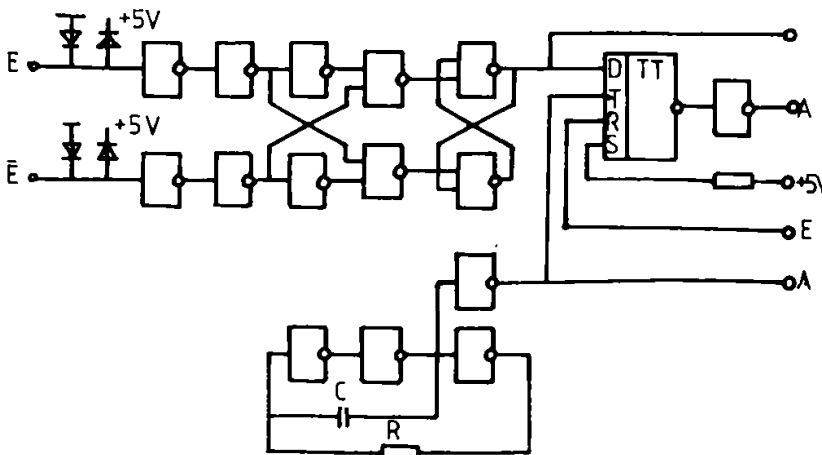


Fig. 4.6.2.4.

#### Circuit de legătură Si (UND/AND)

Principiul acestui circuit constă în aceea că pentru transmiterea semnalului sunt utilizate informația propriuzisă și negației.

Aceste două serii de impuls ajung de la capul de

măsurare prin două conducte de transmisie separate la electronica de evaluare (fig. 4.6.2.4.).

Diodele de la intrările circuitului asigură limitarea tensiunii față de vârfurile de tensiune nedorite în ambele direcții potențiale.

După aceasta are loc, mai întâi, prin negatori dubli intercalați în conducte, o înprospătare a semnalului, în final având conexiunea SI (AND).

### Circuit comparator

Comparatorii indică, dacă o tensiune de semnal este mai mare sau mai mică, decât o anumită tensiune de referință.

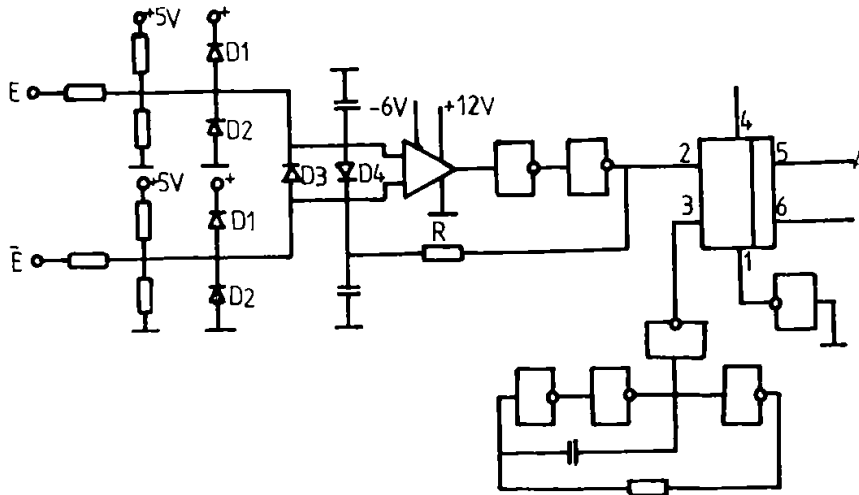


Fig. 4.6.2.5.

Deoarece intrarea inversată și neinvertată este acoperită de câte un semnal de intrare, este amplificată numai tensiunea diferențială (fig. 4.6.2.5.).

Ambele serii de impuls (informații pro-riu-zisă și negația ei) ajung de la capul de măsurare, prin două conducte de transmisie separate la intrări.

Are loc mai întâi o divizare a tensiunii de intrare pentru

amplificatorul operațional. Vârfuri de tensiune nedorite în ambele direcții de potențial împiedică din nou ambele diode.

Limitarea tensiunii de intrare diferențiale a amplificatorului operațional are loc cu ajutorul circuitului antiparalel a altor diode la valorile tensiunii - ecluză.

Prerezistențele protejează sursa de semnal în cazul în care ea prezintă o impedanță de ieșire redusă. La desfășurare neperturbată a impulsului, se poate vorbi între intrări de un mod de lucru - contrafază, deoarece o tensiune diferențială se află la amplificatorul operațional, ce este amplificată de acesta.

Dacă apar impulsuri de perturbație, atunci modul de lucru contrafază devine mod de lucru în fază, pentru care circuitul comparator este impenetrabil, deoarece în acest caz la intrări se află același potențial și ca urmare, la amplificatorul operațional nu apare tensiune diferențială, ce trebuie amplificată.

Această afirmație este valabilă și pentru impulsuri de perturbație ce apar concomitent pe ambele conducte, dar și pentru impulsurile de perturbație ce apar numai pe o conductă (caz special foarte rar), deoarece impulsul de perturbație cauzează mereu la amplificatorul operațional un mod de lucru în fază.

Rezistența la recuplare limitează amplitudinea semnalului de intrare după transformarea semnalului la nivel TTL prin negatorul dublu.

Acest circuit nu este penetrabil pentru impulsuri de perturbație. Această afirmație a fost confirmată prin testare practică.

### 4.7. Influența excentricității și bătăii frontale a discurilor incrementale asupra legii de variație a semnalelor de ieșire sinus-cosinus la traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție.

Traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție cu discuri incrementale divizor și vernier, având incrementele dispuse radial, au o largă întrebuințare în tehnica de măsurare unghiulară și în automatizare.

La baza acestor traductoare se află transformarea deplasării unghiulare pe baza a două discuri circulare care determină o modulație periodică a semnalului spațial reprezentat de un flux luminos.

Precizia acestor traductoare depinde în mare măsură de eroarea de montaj a elementelor de măsurare față de axa geometrică a traductorului, și în particular, precizia discurilor incrementale depinde de excentricitatea și bătaia frontală a rețelei incrementale.

Pentru a cunoaște eroarea determinată de excentricitatea și bătaia frontală a rețelei incrementale, trebuie determinată ecuația care să permită determinarea în același timp a influenței excentricității și a bătaii frontale a zonelor incrementale asupra legii de modificare a semnalelor de ieșire.

Pentru aceasta se consideră fig. 4.7.1., unde sunt prezentate discurile incrementale, divizor ( $D_d$ ) și vernier ( $D_v$ ), cu zonele incrementale ( $R_d$ ) și respectiv ( $R_v$ ) cu pasul unghiular incremenatal ( $\gamma_p$ ) și respectiv ( $\gamma_c$ ), sursa de lumină și filtru spațial; se consideră și fig. 4.7.2. unde este dată poziția incrementelor unghiulare pentru excentricitate și bătaia frontală existente.

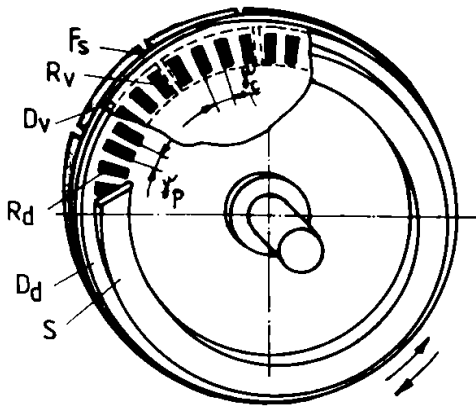


Fig. 4.7.1.

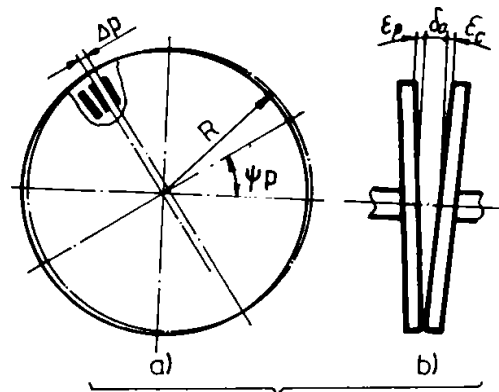


Fig. 4.7.2.

Plecându-se de la geometria arătată, se exprimă matematic ecuația fluxului luminos modulat de discul incremental vernier /35/ 83/ :

$$\phi(\alpha_0) = \int_0^{2\pi} \int_{r_p}^{R_p} \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n N_p(\alpha + \alpha_0) \right] \times \left[ \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k \cos k p_c \cdot \alpha \right] \times \left[ \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos i z_{aN}(\alpha + \alpha_{aN}) \right] \times \eta_p(\rho) \cdot K_{\delta} \cdot \rho \cdot d_p \cdot d_{\alpha} \quad (4.7.1.)$$

unde:

$a_0, a_n, c_0, \alpha_k$  - sunt coeficienții armonicilor spațiale ale funcției de trecere a zonei incrementale divizoare și vernier;

$b_i$  - coeficienții șirului Fourier ai ecuației  $\eta_{aN}(\alpha, \rho)$  care descrie funcția unică de trecere spațială filtru - analizor (constructiv, suprapusă zona incrementală vernier și fotoelement) în limita perioadei analizatorului  $\gamma_{aN} = \left( \frac{2\pi}{z} \right)$ ;

$K_{\delta}$  - coeficientul care ține seama de variația semnalului de ieșire a traductorului în funcție de jocul frontal  $\delta_f$  între suprafețele de lucru ale zonelor incrementale;

$$K_{\delta} = f[\delta_f(\alpha)] = \text{constant}, \text{ pentru } \delta_f(\alpha) = \text{constant};$$

$$\eta_p(\rho) = \begin{cases} 1, & \text{pentru } R_p > \rho > r_0 \\ 0, & \text{pentru } R_p > \rho < r_p, R_p < R_c, r_p > r_c \end{cases}$$

unde:

$N$  și  $P$  - numărul de repetare a elementelor incrementale divizoare dispuse pe suprafețele învecinate ale zonei;

$Z$  - numărul de repetare a elementelor incrementale, pentru zonele incrementale vernier.

$$\left| \frac{N-P}{N} \right| \ll 1, \text{ dar } Z = |N-P| \quad ; \quad (4.7.2.)$$

În construcțiile abordate la traductoarele incrementale de poziție, tip TIRO, semnalul de ieșire este practic determinat de primele armonici ale zonei incrementale; atunci fără a se ține seama de armonicele următoare  $\varepsilon(\alpha, \rho)$ ;  $\eta(\alpha, \rho)$ ;  $\eta_{aN}(\alpha, \rho)$ , relația (4.7.1.) poate fi transformată în forma:

$$\begin{aligned} \phi(\alpha_0) = \int_0^2 \int_{r_p}^{R_p} \left[ \frac{a_0}{2} + a_1 \cos N(\alpha + \alpha_0) \right] \times \left[ \frac{c_0}{2} + a_1 \cos p\alpha \right] b_1 \cos \left[ (N-P)(\alpha - \alpha_{aN}) \right] \times \\ \times \eta_p(\rho) \cdot K_\delta \cdot \rho \cdot d\rho \cdot d\alpha ; \end{aligned} \quad (4.7.3.)$$

unde:

$$\phi(\alpha_0) = \phi_0 K_\delta \cdot \cos \left[ N \cdot \alpha_0 - (N-P) \alpha_{aN} \right] ; \quad (4.7.3.a.)$$

unde:

$$\phi_0 = \frac{\pi}{4} (R_p^2 - r_p^2) a_1 \cdot \alpha_1 \cdot b_1 ;$$

sau pentru:

$$\begin{aligned} \alpha_{aN} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{(N-P)} , \quad ; \quad (4.7.3.b.) \\ \phi_1(\alpha_0) = \phi_0 K_\delta \cdot \sin N\alpha_0 , \end{aligned}$$

sau pentru:

$$\begin{aligned} \alpha_{aN} = 0, \\ \phi_2(\alpha_1) = \phi_0 K_\delta \cdot \cos N\alpha_0 , \quad ; \quad (4.7.3.c.) \end{aligned}$$

În cazul deplasării centrului unuia dintre discurile incrementale, cum arată fig. 4.7.2., rezultă o deplasare radială și de fază ale elementelor incrementale divizoare față de originea axelor de coordonate inițiale, după legea armonică de perioadă  $2\pi$ .

În acest caz ecuația care descrie funcția de trecere (sau semnalul de ieșire) a zonei incrementale corespunzătoare notațiilor din fig. 4.7.2. este dată :

$$\eta(\alpha, \rho) = \left\{ \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \epsilon_k \cos K \left[ p\alpha - \Delta\varphi_c \cos(\alpha + \psi_c) \right] \right\} \eta'_c \quad ; \quad (4.7.4.)$$

unde:

$\Delta\varphi_c$  -deplasarea de fază a incrementelor discului vernier, în radiani;

$$\Delta\varphi_c = \frac{\Delta_c}{R_{cp}} \cdot \rho;$$

$$R_{cp} = \frac{R_c + r_c}{2};$$

$$\eta'_c(\rho) = \begin{cases} 1, & \text{pentru } \left[ R_c + D_c \sin(\alpha + \psi_c) \right] \leq \rho \leq \left[ r_c + D_c \cdot \sin(\alpha + \varphi_c) \right] ; \\ 0, & \text{pentru celelalte valori ale lui } \rho ; \end{cases}$$

după cum semnalul de ieșire al traductorului incremental, ținând seama de ecuația (4.7.3.), ca regulă, este determinat de primele armonici ale incrementelor, atunci ecuația (4.7.4.), ținând seama de (4.7.3c) se poate transforma în forma:

$$\eta(\alpha, \rho) = \left\{ \frac{c_0}{2} + \alpha_1 \cos p \alpha \left[ J_0(\Delta \varphi_c) - 2J_2(\Delta \varphi_c) \cdot \cos 2(\alpha + \psi_c) + 2J_4(\Delta \varphi_c) \cos 4(\alpha + \psi_c) + \dots \right] + \alpha_1 \sin p \alpha \left[ 2J_1(\Delta \varphi_c) \cdot \cos(\alpha + \psi_c) - 2J_3(\Delta \varphi_c) \cdot \cos 3(\alpha + \psi_c) + \dots \right] \right\} \quad (4.7.5.)$$

unde:  $J_0(\Delta \varphi_c), J_1(\Delta \varphi_c) \dots$  - funcția Bessel de ordin  $m$ ; unde:  $(m = 0, 1, 2, \dots)$ .

În practică  $\Delta c$ ,  $R_{cp}$  și  $N$  - de obicei satisfac următoarea inegalitate:  $\Delta c \leq 0.01$  mm;  $R_{cp} \geq 50$  mm;  $N \leq (2^{10} \dots 2^{12})$ ; în acest caz, deplasarea de fază  $\Delta \varphi_c$  nu este mai mare de 1 radian.

În acest caz ecuația (4.7.5.), după eliminarea termenilor de ordin mic se poate scrie:

$$\eta(\alpha, \rho) = \left\{ \frac{a_0}{2} + \alpha_1 \cos p \alpha J_0(\Delta \varphi_c) + \alpha_1 \sin p \alpha 2J_1(\Delta \varphi_c) \cdot \cos(\alpha + \psi_c) \right\} \cdot \eta'_c(\rho); \quad (4.7.6.)$$

Dacă se ține seama de forma ecuației (4.7.3), aceasta devine:

$$\begin{aligned} \phi(\alpha_0) = & \int_0^{2\pi} \int_{r_p + \Delta_p \sin(\alpha + \alpha_0 + \psi_p)}^{R_p + \Delta_p \sin(\alpha + \alpha_0 + \psi_p)} \left\{ \left[ \frac{c_0}{2} + \alpha_1 J_0(\Delta \varphi_c) \cdot \cos p \alpha + \alpha_1 \sin p \alpha 2J_1(\Delta \varphi_c) \cdot \cos(\alpha + \psi_c) \right] \times \right. \\ & \times \left[ \frac{a_0}{2} + a_1 J_0(\Delta \varphi_c) \cdot \cos N(\alpha + \alpha_0) + a_1 \cdot \sin N(\alpha + \alpha_0) \times 2J_1(\Delta \varphi_p) \cos(\alpha + \alpha_0 + \psi_p) \right] \times \\ & \times \left[ b_1 J_0(\Delta \varphi_{aN}) \cdot \cos(N - P) \cdot (\alpha + \alpha_{aN}) + b_1 \sin(N - P) (\alpha + \alpha_{aN}) \cdot 2J_1(\Delta \varphi_{aN}) \cdot \cos(\alpha + \psi_c) \right] \times \\ & \times \eta'_p(\rho) \cdot K_\delta \cdot \rho \cdot d_p \cdot d\alpha \}; \end{aligned} \quad (4.7.7.)$$

unde:

$$\eta'_p(\rho) = \begin{cases} 1, & \text{pentru } \left[ R_p + \Delta_p \sin(\alpha + \alpha_0 + \psi_p) \right] \leq \rho \leq \left[ r_p + \Delta_p \cdot \sin(\alpha + \alpha_0 + \psi_p) \right] \\ 0, & \text{pentru celelalte valori ale lui } \rho \end{cases};$$

$$R_p < \left[ R_c - |\Delta_p + \Delta_c| \right];$$

$$r_p > \left[ r_c + |\Delta_p + \Delta_c| \right];$$

$\Delta \varphi_p$  - deplasarea de fază a primei armonici a zonei incrementale divizoare determinată de deplasarea geometrică a axei sale;

$$\Delta \varphi_p = \frac{\Delta_p}{R_{cp}} N;$$

$$R_{cp} = \frac{R_p + r_p}{2};$$

$\Delta\varphi_{aN}$  - deplasarea de fază a primei armonice a rețelei incrementale divizoare în urma deplasării geometrice a axei sale suprapusă cu axa zonei incrementale vernier.

$$\Delta\varphi_{aN} = \frac{\Delta C}{R_{cp}}(N-p) ;$$

și cum rezultă din (4.7.2.) și (4.7.4),

$$\Delta\varphi_{aN} \leq (\Delta\varphi_p, \Delta\varphi_C) ;$$

Ecuția obținută permite obținerea semnalului de ieșire al traductorului ținând cont de excentricitate, în condițiile în care suprafețele de lucru ale zonelor incrementale ale traductorului sunt perpendiculare pe axa geometrică a traductorului, adică jocul frontal între suprafața de lucru a zonelor incrementale nu se schimbă în intervalul 0 - 360°.

În cazul înclinării suprafețelor de lucru a zonelor incrementale va avea loc o bătaie frontală adică modificarea jocului frontal între suprafețele de lucru ale zonelor incrementale care, ținând seama de fig. 4.7.2 , poate fi scrisă sub forma:

$$\delta_f(\alpha) = \delta_0 + \varepsilon_p \sin(\alpha + \psi_p + \alpha_0) + \varepsilon_C \sin(\alpha + \psi_C) ; \quad (4.7.8)$$

unde:  $\delta_0$  - valoarea calculată a jocului frontal

$\varepsilon_p, \varepsilon_C$  - valoarea abaterii maxime a jocului frontal față de valoarea calculată;

în practică are loc inegalitatea:

$$\left( \frac{\varepsilon_p}{\delta_0}, \frac{\varepsilon_C}{\delta_0} \right) \ll 1 ;$$

Se cunoaște / 65/ 81/ că, dacă în traductoarele fotoelectrice incrementale se folosește un izvor de lumină punctiformă, atunci semnalul spațial,  $\varepsilon(\alpha, \rho)$  al zonei incrementale divizoare, care cade pe suprafața de lucru a zonei incrementale vernier, practic nu se modifică în funcție de joc frontal între suprafețele de lucru ale zonelor incrementale.

În acest caz, în ecuațiile (4.7.5), (4.7.7.);  $K_\delta = f_{(\delta_f)}(\alpha) = \text{constant}$ .

În cazul folosirii unor surse de lumină inelare, semnalul spațial al zonei incrementale divizoare care cade pe suprafața de lucru a zonei incrementale vernier, se modifică în funcție de jocul frontal  $\delta_f$ , în condițiile în care modificarea intensității semnalului spațial  $\varepsilon(\alpha, \rho)$ , în funcție de jocul frontal  $\delta_f$  corespunzător cu notațiile din fig. 4.7.3. , poate fi arătată sub forma:

$$K_\delta = f(\delta_f) = \mu_\delta [1 - \theta_\delta \cdot \delta_f] \quad (4.7.9.)$$

unde:

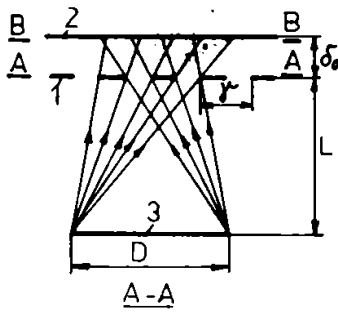
$$\theta_\delta = \begin{cases} 0, \text{ pentru } \delta_f \leq \delta_{\max} = L \cdot \left[ \frac{D}{D - \frac{\gamma N f}{2}} - 1 \right] \\ \frac{1}{\delta_{\max}}, \text{ pentru } \delta_{\max} \leq \delta_f \leq 2 \delta_{\max} \end{cases} ; \quad (4.7.9.a.)$$

$\mu_\delta$  - coeficient care ține seama de panta de variație a funcției  $f[\delta_f(\alpha)]$ , depinzând de soluția constructivă a traductorului.

În afară de bătaia frontală, în cazul înclinării suprafețelor de lucru a zonelor incrementale va avea loc o coincidență radială a elementelor de măsurare, care poate fi determinată din formula:



$$\Delta_{CM} \approx R_{cp} \cos \left[ \arcsin \left( \varepsilon / R_{cp} \right) \right]; \quad (4.7.9.b)$$



Pentru  $R_{cp} = 50 \text{ mm}$  și  $\varepsilon_p = 0,1 \text{ mm}$ , care se obțin u. or în practică, coincidența radială a fantelor este mult mai mică decât deplasarea radială a fantelor care apar în cazul real de excentricitate al axelor zonelor incrementale, adică:

$$|\Delta_{CM} < 1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}| \ll (\Delta_p, \Delta_c); \quad (4.7.9.c)$$

Se exprimă ecuația (4.7.9.) sub forma de serie Taylor, pentru  $\delta_f = (\delta_o \pm \varepsilon) \geq \delta$ ;

$$f(\delta_f) = \mu'_\delta \cdot \left[ 1 \pm \frac{\theta_\delta}{(2 - \theta_\delta \cdot \delta_o)} \cdot \varepsilon \right]; \quad (4.7.10)$$

unde:

$$\mu'_\delta = \frac{\mu_\delta}{2 - \theta_\delta \cdot \delta_o};$$

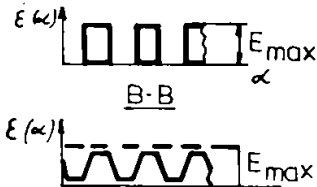


Fig. 4.7.3.

Funcția  $f(\delta_f)$ , ținând seama de ecuația (4.7.8.) pentru  $\delta_o = \delta_{max}$  se poate scrie:

$$f(\delta_f) = \mu'_\delta \cdot \left[ 1 \pm \frac{\varepsilon_p}{\delta_o} \sin(\alpha + \alpha_o + \psi_p) \pm \frac{\varepsilon_c}{\delta_o} \sin(\alpha + \psi_c) \right]; \quad (4.7.11.)$$

După introducerea ecuației (4.7.11.) în (4.7.7.) , integrând și transformând ecuația semnalului la ieșirea din traductorul incremental, obținem:

$$\phi(\alpha_o) = \phi_n(\alpha_o) + \phi_{supl}; \quad (4.7.11.a)$$

unde:  $\phi_n(\alpha_o)$  - semnal util care coincide ca formă cu semnalul de ieșire (4.7.3.) al unui traductor incremental ideal:

$$\phi_n(\alpha_o) = \phi_o \cdot \mu'_\delta J_0(\Delta\varphi_p) \cdot J_0(\Delta\varphi_c) \cos[N\alpha_o - (N-P)\alpha_{aN}]; \quad (4.7.11.b)$$

$\phi_{supl}$  - semnal suplimentar în cazul erorii de montaj a zonelor incrementale:

$$\phi_{supl} = \phi(\alpha_o) - \phi_n(\alpha_o); \quad (4.7.11.c.)$$

unde:

$\phi(\alpha_o)$  se determină cu ecuațiile integrale (4.7.7.), (4.7.11.).

Din analiza soluției (4.7.7.) rezultă că pentru micșorarea amplitudinii semnalului suplimentar  $\phi_{supl}$  între parametrii traductorului incremental trebuie să existe relația:

$$(N - P) \geq 3, 4, \dots;$$

În acest caz, ecuația semnalului suplimentar, după transformarea și eliminarea termenilor de grad mic, obținem:

$$\begin{aligned} \phi_{\text{supl.}} = & \phi_0 \frac{\mu'_\delta}{1} \left\{ 2J_1(\Delta\varphi_p) \cdot J_1(\Delta\varphi_c) \cdot \cos(\alpha_0 + \psi_p - \psi_c) \cdot \cos[N\alpha_0 - (N-P) \cdot \alpha_{aN}] + \right. \\ & + \frac{\varepsilon_p}{\delta_0} \left[ J_1(\Delta\varphi_c) \cdot J_0(\Delta\varphi_p) \cdot \sin(\alpha_0 + \gamma_p - \psi_c) + J_1(\Delta\varphi_p) \cdot J_0(\Delta\varphi_c) \cdot \sin(\gamma_p - \psi_p) \right] + \\ & + \frac{\varepsilon_c}{\delta_0} \left[ -J_1(\Delta\varphi_c) \cdot J_0(\Delta\varphi_p) \cdot \sin(\gamma_c - \psi_c) + J_1(\Delta\varphi_p) \cdot J_0(\Delta\varphi_c) \cdot \sin(\alpha_0 - \psi_p - \gamma_c) \right] \times \\ & \left. \times \sin[N\alpha_0 - (N-P) \cdot \alpha_{aN}] \right\}; \end{aligned} \quad (4.7.11.d)$$

iar semnalele de ieșire ale traductorului incremental, ținând seama de (4.7.3.a.), (4.7.3.b.), (4.7.3.c.), capătă forma:

$$U_1(\alpha_0) = U_0 \left\{ \left[ G_0 + G_{\text{supl}} \cdot \cos(\alpha_0 + \psi_p - \psi_c) \cdot \sin N\alpha_0 - Q_{\text{supl}}(\alpha_0) \cdot \cos N\alpha_0 \right] \right\}; \quad (4.7.12)$$

$$U_2(\alpha_0) = U_0 \left\{ \left[ G_0 + G_{\text{supl}} \cdot \cos(\alpha_0 + \psi_p + \psi_c) \cdot \cos N\alpha_0 + Q_{\text{supl}}(\alpha_0) \cdot \sin N\alpha_0 \right] \right\}; \quad (4.7.13)$$

unde:

$$U_0 = \phi_0 \cdot \mu \frac{\mu'_\delta}{1};$$

$$G_0 = J_0(\Delta\varphi_p) \cdot J_0(\Delta\varphi_c);$$

$$G_{\text{supl}} = 2J_1(\Delta\varphi_p) \cdot J_1(\Delta\varphi_c);$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{supl}} = & \frac{\varepsilon_p}{\delta_0} \left[ J_1(\Delta\varphi_c) \cdot J_0(\Delta\varphi_p) \sin(\alpha_0 + \gamma_p - \psi_c) + J_1(\Delta\varphi_p) \cdot J_0(\Delta\varphi_c) \sin(\gamma_p - \psi_p) \right] + \\ & + \frac{\varepsilon_c}{\delta_0} \left[ -J_1(\Delta\varphi_c) \cdot J_0(\Delta\varphi_p) \sin(\gamma_p - \psi_c) + J_1(\Delta\varphi_p) \cdot J_0(\Delta\varphi_c) \cdot \sin(\alpha_0 - \psi_p - \gamma_c) \right]; \end{aligned}$$

Pentru  $Q_{\text{supl}}(\alpha_0) \leq G_0$ , ecuațiile (4.7.12.), (4.7.13.) se pot transforma :

$$U_1(\alpha_0) = U_0 \left\{ \left[ G_0 + G_{\text{supl}} \cdot \cos(\alpha_0 + \psi_p - \psi_c) \right] \cdot \sin N(\alpha_0 - \Delta\alpha_{\text{er}}) \right\}; \quad (4.7.14)$$

$$U_2(\alpha_0) = U_0 \left\{ \left[ G_0 + G_{\text{supl}} \cdot \cos(\alpha_0 + \psi_p - \psi_c) \right] \cdot \cos N(\alpha_0 - \Delta\alpha_{\text{er}}) \right\}; \quad (4.7.15)$$

unde:

$\Delta\alpha_{\text{er}}$  - eroarea unghiulară a traductorului incremental;

$$\Delta\alpha_{\text{er}} \cong \pm \frac{Q_{\text{supl}}(\alpha_0)}{G_0 \cdot N}; \quad (4.7.16)$$

sau,

$$\Delta\alpha_{\text{er}} \cong \pm 2 \cdot 10^5 \frac{Q_{\text{supl}}(\alpha_0)}{G_0 \cdot N}, \text{ (unghi sexagesimal);}$$

Din (4.7.16.), rezultă că știindu-se excentricitatea și bătaia frontală a zonelor incrementale, în semnalele de ieșire ale traductoarelor incrementale apar semnale suplimentare.

Unul dintre ele,  $G_{supl}$  duce la modulația amplitudinii cu fază sinusoidală a semnalelor utile (4.7.3.b), (4.7.3.c) iar celelalte  $Q_{supl}$  duc la coincidența unghiulară de zero a semnalelor utile ale traductoarelor incrementale cu perioada  $2\pi$ , adică la eroarea liniară, a transformării.

Pentru :

$$\Delta\phi_p = \Delta\phi_c < 1; \quad \psi_c \cong \psi_p \cong \gamma_p \cong \gamma_c = 0;$$

care are loc de obicei în practică, ecuația (4.7.15) capătă forma:

$$\Delta\alpha_{er} \cong 2 \cdot 10^5 \frac{J_1(\Delta\phi_c)}{J_0(\Delta\phi_c)} \left[ \frac{1}{\delta_o} (\varepsilon_p + \varepsilon_c) \right] \cdot \frac{1}{N} \sin\alpha_o \quad ; \quad (4.7.17)$$

iar mărimea erorii unghiulare (cu iluminare inelară), depinzând de excentricitatea și de bătaia frontală a zonelor incrementale, pentru:

$$\begin{aligned} N &= 2^{12}; \quad P = 2^{12} - 16; \\ \varepsilon_p / \delta_o &\cong \varepsilon_c / \delta_o \cong 0,2 \quad \delta_o = \delta_{max}; \\ \Delta_p &= \Delta_c = 0,005 \text{ mm}, \\ \text{va fi: } \Delta\alpha_{er} &= \pm 4''; \end{aligned}$$

În cazul folosirii unei surse de lumină punctiformă cu parametri obținuți din (4.7.9.a), adică pentru:

$$\begin{aligned} \delta_f &= (\delta_o \pm \varepsilon) < \delta_{max}, \\ \text{unde:} & \end{aligned} \quad (4.7.18)$$

$$\delta_{max} = L \left[ \frac{D}{D - \frac{\gamma_f}{2}} - 1 \right]$$

coeficientul  $\theta_\delta$  în (4.7.9.a) va fi egal cu zero, funcția  $f(\delta_r)$  este:

$f(\delta_r) = \text{constant}$ .

În acest caz, ecuațiile (4.7.14. ), (4.7.15. ), pentru  $(\delta_o \pm \varepsilon) < \delta_{max}$ , vor avea forma:

$$U_1(\alpha_o) = U_o \left[ G_o + G_{supl} \cdot \cos(\alpha_o + \psi_p - \psi_c) \sin N\alpha_o \right]; \quad (4.7.19)$$

$$U_2(\alpha_o) = U_o \left[ G_o + G_{supl} \cdot \cos(\alpha_o + \psi_p + \psi_c) \cos N\alpha_o \right];$$

iar eroarea unghiulară a traductorului, în urma excentricității și a bătaii frontale, ale zonelor incrementale, va fi egală cu zero. Din (4.7.14), (4.7.15) rezultă că pentru valori mari  $(\Delta\phi_p, \Delta\phi_c) > 1$ , are loc o micșorare a semnalului de ieșire al traductorului incremental în punctele:

$$(\alpha_o + \psi_p - \psi_c) < > q\pi,$$

unde:  $q = 0, 1, 2, \dots$

Când, după cum se vede din ecuațiile (4.7.12), (4.7.13) pentru  $(\Delta\phi_p, \Delta\phi_c) \approx 1,1$  din

amplitudinea semnalului de ieșire al traductorului vor fi egale cu zero, adică traductorul este nefuncțional.

Pentru o funcție stabilă a traductorului în diverse regimuri este admisă variația amplitudinii semnalelor de ieșire nu mai mult de 10...20%.

Folosind orice sursă de iluminare, mărimea admisibilă a excentricității axelor fantelor, trebuie aleasă din relațiile:

$$G_{adm} = (0,1-0,2) G_0; \left( \frac{\Delta p}{R_{cp}} \cdot N, \frac{\Delta_{cp}}{R_{cp}} \cdot P < (0,3 \div 0,6) \right) \quad (4.7.20)$$

**În concluzia autorului:**

**a. în cazul excentricității și bătăii frontale ale zonelor fotoelectrice incrementale apar două semnale suplimentare dintre care unul duce la modulația amplitudinii semnalelor utile ale traductorului, corespunzător ecuațiilor (4.7.14), (4.7.15), iar celălalt semnal pentru  $Q_{supl.}(\alpha_0) \leq G_0$ , la coincidența unghiulară a punctului de zero a semnalelor de ieșire ale traductorului, adică la o eroare liniară a transformării ce se poate afla din ecuațiile (4.7.16), (4.7.18);**

**b. pentru eliminarea erorii unghiulare a traductorului fotoelectric incremental cauzate de excentricitatea și bătaia frontală între parametrii constructivi ai fantelor rețelelor incrementale și sursa de iluminare trebuie să existe relațiile date de ecuația (4.7.18); în acest caz, excentricitatea admisă trebuie aleasă în funcție de instabilitatea dată de amplitudinea semnalelor de ieșire din ecuațiile (4.7.12; 4.7.13) sau (4.7.19).**

#### **4.8. Corelarea dintre erorile obținute pe rețele fotoelectrice incrementale și erorile de realizare a configurațiilor.**

Experimentările s-au efectuat în scopul realizării unor rețele incrementale cu pas de 20 μm.

În acest scop s-au tăiat 7 măști la scara 100:1:

M. 1 - rețea 25 incremente, reprezentând 5 mm;

M. 2 - rețea 100 incremente, reprezentând o fereastră vernier;

M. 3 - rețea incrementală pentru impuls de nul;

M. 4 - fereastră pentru partea de comutare și referință de nul;

M. 5 - emblemă și cod;

M. 6 - linie orizontală de poziționare vernier;

M. 7 - chenare.

Machetele de rubylith au fost reduse pe instalația Klimsch, la un raport 1:20, iar rețeaua incrementală pentru prima încercare de riglă divizoare (și vernier) incrementală s-a realizat la fotorepetor cu un raport de reducere 1:5.

Pe microscopul cu fantă oscilantă cu rezoluție 0,01 μm (BMG) s-au măsurat zonele de îmbinare, rezultând:

$\alpha = 10,25; 12,47; 10,20; 10,33; 10,38; 10,27; 10,31; 10,15; 9,93; 10,25; 10,16; 9,98; 10,00$  μm (pentru 15 îmbinări, în ordine);

$\beta = 7,22; 13,70; 13,91; 13,73; 17,82; 13,75; 13,77; 13,91; 14,05; 13,93; 14,13; 13,90; 13,88$  14,17; 14,04 μm (pentru 15 îmbinări, în ordine);

$\gamma = 12,32; 10,13; 10,04; 10,15; 10,22; 10,12; 10,19; 10,00; 9,94; 9,99; 9,84; 10,09; 10,02;$  9,84; 9,89 μm (pentru 15 îmbinări, în ordine);

unde:

$\alpha$  = linie opacă înainte de îmbinare;

$\beta$  = linie transparentă înainte de îmbinare;

$\gamma$  = linie opacă după îmbinare.

A rezultat că poziționarea la fotorepetor a fost greșită, suprapunându-se liniile externe aparținând la două expuneri succesive (eroare de program). Excepție face îmbinarea (1) unde suprapunerea este mai accentuată (eroarea aleatoare la fotorepetor: posibilă existența unei impurități la sistemul de măsurare cu LASER).

S-au măsurat pe microscop (BMG) fantele normale pe trei rețele de pas de 20 μm.

du-se:

- N [ $\mu\text{m}$ ] = 9,46; 9,72; 9,68; 9,69; 9,74 (pentru rețeaua 1);
- N [ $\mu\text{m}$ ] = 10,07; 9,95; 9,95; 9,85 (pentru rețeaua 2);
- N [ $\mu\text{m}$ ] = 9,87; 0,78; 9,77; 9,66; 9,67 (pentru rețeaua 3);
- A [ $\mu\text{m}$ ] = 10,14; 13,10; 10,07; 10,01; 10,01 (pentru rețeaua 1);
- A [ $\mu\text{m}$ ] = 9,84; 9,88; 9,87; 9,84 (pentru rețeaua 2);
- A [ $\mu\text{m}$ ] = 10,03; 10,04; 10,00; 9,98; 10,00 (pentru rețeaua 3),

unde:

N = opac; A = transparent.

Din măsurători a rezultat:

- a. media lățime linie opacă: rețeaua 1: 9,73  $\mu\text{m}$  =  $g_o$   
rețeaua 2: 9,85  $\mu\text{m}$  =  $g_o$   
rețeaua 3: 9,74  $\mu\text{m}$  =  $g_o$

- b. media lățime linie transparentă:  
rețeaua 1: 10,03  $\mu\text{m}$  =  $g_t$   
rețeaua 2: 9,94  $\mu\text{m}$  =  $g_t$   
rețeaua 3: 10,01  $\mu\text{m}$  =  $g_t$

$$c. g_t - g_o = \begin{cases} 0,3 \mu\text{m} & (\text{pentru rețeaua 1}) \\ 0,09 \mu\text{m} & (\text{pentru rețeaua 2}) \\ 0,27 \mu\text{m} & (\text{pentru rețeaua 3}) \end{cases}$$

În mod real tebuie să rezulte:

$$g_t = 9 \mu\text{m}; g_o = 11 \mu\text{m} \text{ și } g_t - g_o = -2 \mu\text{m}$$

În baza măsurătorilor rezultă că s-a greșit la expunere - dezvoltare - corodare.

Pașii incrementali calculați prin însumarea datelor de mai sus sunt:

- pentru rețeaua 1 : 19,78; 19,85; 19,75; 19,70; 19,75; 19,93; 19,71; 19,79; 19,71  $\mu\text{m}$ ;  
Pmed.=19,77  $\mu\text{m}$ ;

- pentru rețeaua 2 : 19,91; 19,83; 19,83; 19,69 $\mu\text{m}$ ; Pmed.=19,56  $\mu\text{m}$ ;

- pentru rețeaua 3 : 19,90; 19,192; 19,77; 19,64; 19,67 $\mu\text{m}$ ; Pmed.=19,78  $\mu\text{m}$ ;

Suma primilor 5 pași:

- pentru rețeaua 1 - a. : 98,83  $\mu\text{m}$ ; eroare =  $\epsilon$  = - 1,17  $\mu\text{m}$ ;

b. : 98,87  $\mu\text{m}$ ; eroare =  $\epsilon$  = - 1,13  $\mu\text{m}$ ;

- pentru rețeaua 2 (4 pași):

a. : 78,25  $\mu\text{m}$ ; eroare =  $\epsilon$  = - 1,75  $\mu\text{m}$ ;

b. : 98,90  $\mu\text{m}$ ; eroare =  $\epsilon$  = - 1,10  $\mu\text{m}$ ;

Rezultă: • pasul este greșit în medie cu 0,25  $\mu\text{m}$ /pas;

• nu s-a măsurat corect reducerea de la instalațiaKlimsch.

Rețeaua de nul de pe vernier s-a măsurat cu microscop (BGM) și a rezultat:

• cota măsurată: 19,82; 59,51; 38,84; 20,19; 19,56; 20,03; 39,40; 19,83; 19,94; 39,65  $\mu\text{m}$ ;

• cota corectă: 20; 60; 40; 20; 20; 40; 20; 20; 40  $\mu\text{m}$ ;

• eroare: - 0,12; - 0,49; - 0,16; +0,19; - 0,44; +0,03; - 0,60; - 0,17; - 0,06; - 0,35  $\mu\text{m}$ .

Ținându-se cont de rolul funcțional al rețelei de nul și de faptul că cele două rețele (divizor și vernier) sunt identice când sunt realizate cu aceeași mască, se consideră că acestea corespund.

Eroarea de îmbinare este complet inacceptabilă, având întotdeauna semnul +.

Rezultă pe lungimea riglei de 85 mm o eroare de 64  $\mu\text{m}$  numai din îmbinare. Eroarea a rezultat datorită poziționării eronate a "fluturașilor" (elemente de poziționare pentru fotorepetor față de centrul rețelei).

La rețeaua vernier s-a verificat poziția reciprocă a rețelilor, la proiector (Nikon), cu rezoluție 0,5 $\mu\text{m}$  și a rezultat:

• cote corecte: a = 3,005 mm; b = 6,015 mm; c = 9,010 mm;

• cote măsurate: a = 3,005; 3,0035; 3,0045 mm; b. = 6,0155; 6,0140; 6,0140 mm; c = 9,0200; 9,0205; 9,0200 mm, unde a, b și c sunt cotele de poziționare a rețelilor (II, III și IV) față de marginea primei rețele. Se observă că I, a II-a și a III-a rețea sunt defazate corect; a IV-a rețea este în fază cu prima; rezultă că s-a greșit programul pentru fotorepetor.

Pasul la rețeaua de 100 linii de pe vernier s-a determinat indirect, măsurând la proiector (Nikon) câte 10 linii (incremente). Următoarele rezultate sunt afectate de eroarea de măsurare la proiector (eroarea șurubului micrometric + eroarea de captare a incrementelor cu reperul + eroarea de cosinus). Oricum, o eroare maximă de  $2,5 \mu\text{m}/90$  linii la vernier este neesențială din punct de vedere funcțional (ceea ce nu este același lucru la rigla incrementală).

Poziționarea peste 10 linii:  $0,1995 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 20 linii:  $0,3995 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 30 linii:  $0,5995 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 40 linii:  $0,7985 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 50 linii:  $0,9980 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 60 linii:  $0,1990 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 70 linii:  $1,3975 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 80 linii:  $1,5975 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 90 linii:  $1,7975 \text{ mm}$ ;

Poziționarea peste 99 linii:  $1,9775 \text{ mm}$ .

Poziția impulsului de nul față de rețeaua vernier, determinată ca medie a 3 măsurători, la proiector (Nikon) este  $4,0025 \mu\text{m}$  (este corect).

**În concluzie:**

**a. se reface masca de rețea 250 linii la coordinograf, cu poziționarea corectă față de "fluturași";**

**b. se corectează programul pentru fotorepetor la vernier;**

**c. se refac toate reducerile la instalația Klimsch pentru a avea întotdeauna aceeași reducere 1:20 (aceasta nu poate fi controlată cu precizie mai mare de  $\pm 0,5 \mu\text{m}/10 \text{ mm}$  la scară reală).**

S-a făcut a doua încercare la fotorepetor și s-au măsurat noile rețele obținute la fotorepetor. ca măsură de precauție, focalizarea nu trebuie executată perfect decât la rețele; aceasta deoarece celelalte măști nu avem nevoie de precizie foarte bună și este posibil să "cadă" focalizarea la margine de placă. Pentru realizarea rețelelor de poziție a rețelelor pe vernier, s-a verificat din nou la proiector (Nikon), și a rezultat:

$a = 3,0045 \mu\text{m}$  = distanța de la marginea primei rețele la a doua rețea;

$b = 6,0140 \mu\text{m}$  = distanța de la marginea primei rețele la a treia rețea;

$c = 9,0100 \mu\text{m}$  = distanța de la marginea primei rețele la a patra rețea;

$d = 4,0025 \mu\text{m}$  = distanța de la marginea celei de-a patra rețele la rețeaua de nul.

Pentru înlăturarea eventualei erori de poziționare a rețelei de nul la rigla incrementală cu 1 nul, s-a măsurat cota  $41,080 \text{ mm}$  (teoretic), și a rezultat:  $41,0635 \text{ mm}$ ;  $41,0655 \text{ mm}$ ;  $41,0665 \text{ mm}$ .

În fotorepetor, fiecare mască montându-se separat, există posibilitatea unor erori de poziție reciprocă între figuri generate cu diferite măști.

Între 2 figuri generate cu aceeași mască există o eroare de poziționare de max.  $\pm 0,1 \mu\text{m}$  (teoretic) și  $0,5 \mu\text{m}$  (practic). Rezultă că, dacă se vrea ca nul-ul de pe riglă și cel de pe vernier să fie perfect poziționate ( $\pm 0,5 \mu\text{m}$ ) față de rețele, se impune generarea nul-ului cu aceeași mască, ca și rețeaua. Aceasta este practic imposibilă la rețelele cu rezoluția mare (durează prea mult expunerea și ar apărea și alte erori). Deci, această metodă este preferabilă, deși poziția nul-ului nu poate fi controlată perfect. Funcțional eroarea de  $(-1,5 \mu\text{m})$  nu deranjează.

La riglă se constată că la îmbinare rezultă în loc de o linie opacă de  $11 \mu\text{m}$ , o linie de  $9 - 10 \mu\text{m}$ . Aceasta se datorează unei reduceri greșite a măștii cu 250 linii care în loc de  $25,000 \text{ mm}$  minus  $(0,011 \times 5) = 24,945 \text{ mm}$ , avem:  $24,9515 \text{ mm}$ ;  $24,9520 \text{ mm}$ ;  $24,9510 \text{ mm}$ ;  $24,9494 \text{ mm}$ . Rezultă o eroare medie de  $+6 \mu\text{m}$ , care la scara 1:1 (rețea) echivalează cu  $1,2 \mu\text{m}$ , ceea ce corespunde cu ce se vede la proiector. Aceasta se poate datora faptului că etalonarea la instalația Klimsch s-a făcut cu masca de 100 linii vernier, iar la schimbarea măștii, rubyolith-ul se întinde, iar bancul se poate deplasa.

Ar fi trebuit făcută etalonarea pe masca (1), cea mai importantă.

Ca soluție se impune executarea unui etalon cu "fluturași" la distanța de  $50,000 \pm 0,0005 \text{ mm}$  la fotorepetor, care să fie folosit pentru etalonarea reducerii la microscopul Leitz de superpoziție.

Acesta va garanta că masca (1) va fi redusă corect la instalația Klimsch, cu  $\epsilon = \pm 0,5 \mu\text{m}/10 \text{ mm}$  la scara 1:1.

## Capitolul. 5 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ELABORAREA ȘI INTEGRAREA PROCEDEELOR ȘI TEHNOLOGIILOR SPECIALE DE GENERARE ȘI EXECUȚIE A MĂȘTILOR ȘI ȘABLOANELOR MASTER ȘI DE LUCRU PENTRU DISCURILE ȘI RIGLELE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DIVIZOR ȘI VERNIER

### 5.1. Realizarea măștilor "master" pentru execuția discurilor incrementale divizoare și vernier de la traductoarele incrementale de poziție, (experimentată la S.C. I.C.P.E. București).

#### 5.1.1. Considerații fundamentale

Se prezintă traductorul incremental de poziție (fig. 5.1.1.1.) proiectat și realizat de către autor, pentru prima dată în țară.

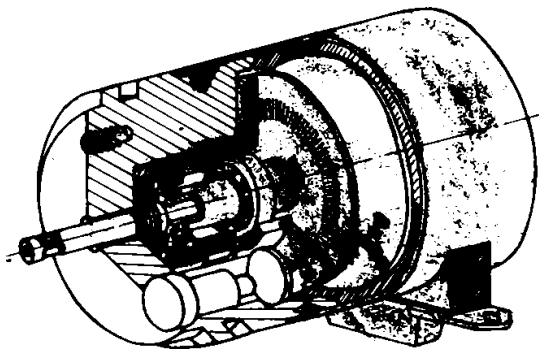


Fig. 5.1.1.1.

Precizia traductorului este dictată direct de precizia de divizare a discurilor, de calitatea contrastului trans-arent-o-ac, de rectilinitatea liniei de demarcație transparent-opac ca și geometria zonelor transparente-opace.

Realizarea discurilor incrementale se face prin tehnica fotografiei: una din metode presupune existența unei măști originale care se multiplică prin transferul imaginii pe care o conține, un suport transparent pe care este depus un metal și un strat fotosensibil; în urma corodării, partea din depunere metalică neprotejată este eliminată, rezultând configurația dorită.

Avându-se în vedere următoarele probleme tehnice de trasare și densitatea mare a acestora, metoda tehnică pentru realizarea acestor discuri este cea a fotografierii, care permite atingerea de dimensiuni submicronice.

În ceea ce privește preciziile de poziționare relativă a traseelor, în cazul depunerii în coordonate X, Y a acestora (frecvent în microelectronică), tehnica de producere a măștilor beneficiază de următorul avantaj: executarea unei măști mai puțin pretențioasă la scara de ordinul sutelor de ori mai mare, care prin reduceri succesive ajunge la precizii deosebite.

În cazul depunerii radiale a traseelor la măștile pentru discuri codoare, în care se pune problema preciziei unghiulare, tehnica reducerii măștilor nu are ca efect creșterea preciziei, deci calitatea mijlocului de generare a măștii se transmite direct produsului.

Execuția măștii la o scară mai mare ar fi adus facilități în execuție, având în vedere mărirea dimensiunilor traseelor, dar ar fi impus folosirea în fluxul de multiplicare a unei măști intermediare obținute pe un banc de reducere.

Pentru eliminarea acestei etape tehnologice (care pe lângă volumul de muncă suplimentară aduce un minus de calitate) s-a mers pe ideea realizării măștilor la scara 1:1.

Principiul de lucru al mijlocului de generare a traseelor este impresiunea prin spot luminos a emulsiei fotosensibile.

Având în vedere că în tehnologia de transfer a imaginii mască-substrat, emulsia foto intră în contact direct cu fotorezistul și ținând seama de rezistența mecanică slabă a emulsiei, pentru mărirea vieții de funcționare, s-a convenit ca măștile de lucru să fie copii de crom ale originalelor.

Aceasta implică măștile originale să fie pozitivul imaginii discurilor.

În concluzie, măștile sunt obținute pe emulsie foto, pe suport de sticlă optică, la scara 1;1, purtând pozitivul configurației discurilor (cu anumite trasee auxiliare impuse de tehnologia de măsurare și multiplicare).

#### 5.1.2. Determinarea configurației de mască

##### Stabilirea reticulelor de aliniere și a traseelor tehnologice.

La baza întocmirii traseelor de mască stau desenele de execuție ale discurilor incrementale divizor și vernier.

Având în vedere necesitatea măsurării măștilor, s-a pus problema materializării discurilor

incrementale și a originii ( $\alpha = 0^\circ$ ) de trasare.

De aceea pe fiecare dintre măști apare o cruce reticulară centrală și câte două perechi de indexuri decalate la  $90^\circ$ .

Dimensiunile acestor trasee sunt impuse de caracteristicile tehnice ale mijloacelor de observare și măsurare a măștilor. Deasemenea, este introdusă o pistă de măsurare (de diametrul 140 mm) pe care se găsește câte un traseu la fiecare 10 incremenți.

Pentru operațiile de centrare, în vederea reproducerii și a debitării substratului discurilor, este necesară existența pe mască a unor cercuri concentrice la dimensiunile specifice.

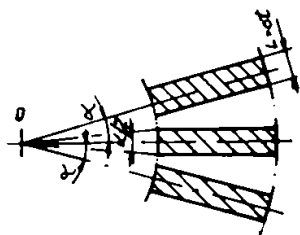


Fig. 5.1.2.1.

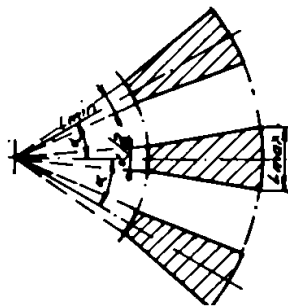


Fig. 5.1.2.2.

În ceea ce privește geometria traseelor și pe pistele de măsură, există două variante de realizare conform fig. 5.1.2.1. și 5.1.2.2.

Existând posibilitatea tehnică de a realiza oricare din cele două variante, s-a stabilit ca geometria să fie cea din fig. 5.1.2.2, aceasta oferind avantaje din punct de vedere al funcționării ansamblului rauc.or.

### 5.1.3. Cotarea tehnologică

Ținându-se cont de tehnica de generare a măștilor în coordonate polare trebuie definite pentru fiecare traseu următoarele elemente:

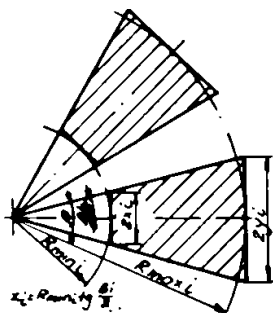


Fig. 5.1.3.1.

- raza medie; grosimea de traseu;
- poziția unghiulară a axei de simetrie radială a traseului;
- raza maximă și raza minimă între care se întinde traseul;
- grosimile de traseu corespunzătoare lui  $R_{min}$  și  $R_{max}$ ; respectiv toate aceste elemente dispuse radial (fig. 5.1.3.1).

Conform acestor cerințe au fost cotate schițele din fig. 5.1.3.2, 5.1.3.3, 5.1.3.4., 5.1.3.5., iar valorile sunt date tabelar pentru fiecare mască, conform tabelelor 5.1.3.1, 5.1.3.2., 5.1.3.3., 5.1.3.4.:

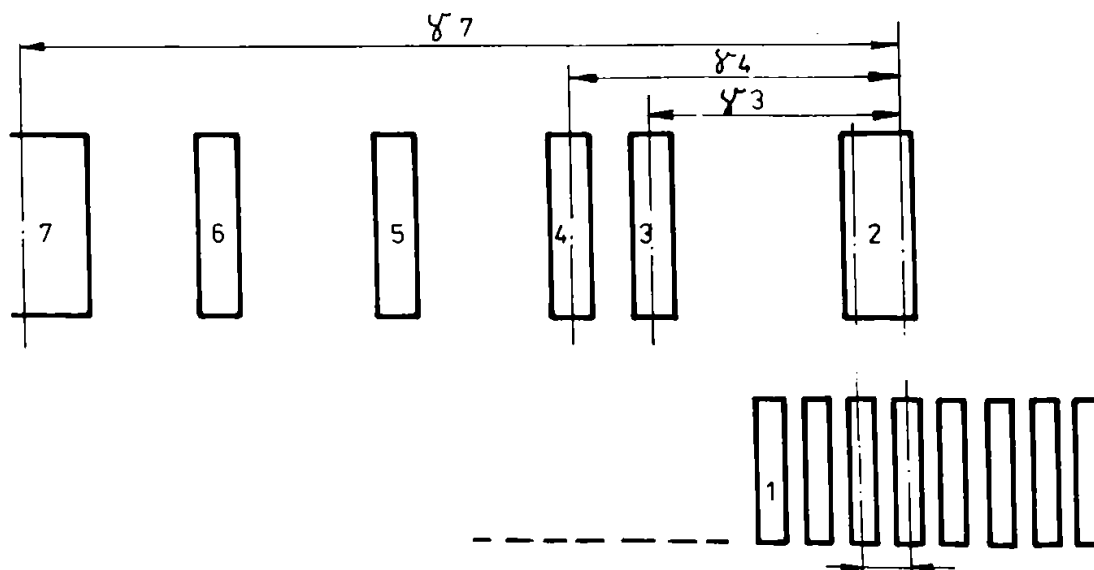


Fig. 5.1.3.2.



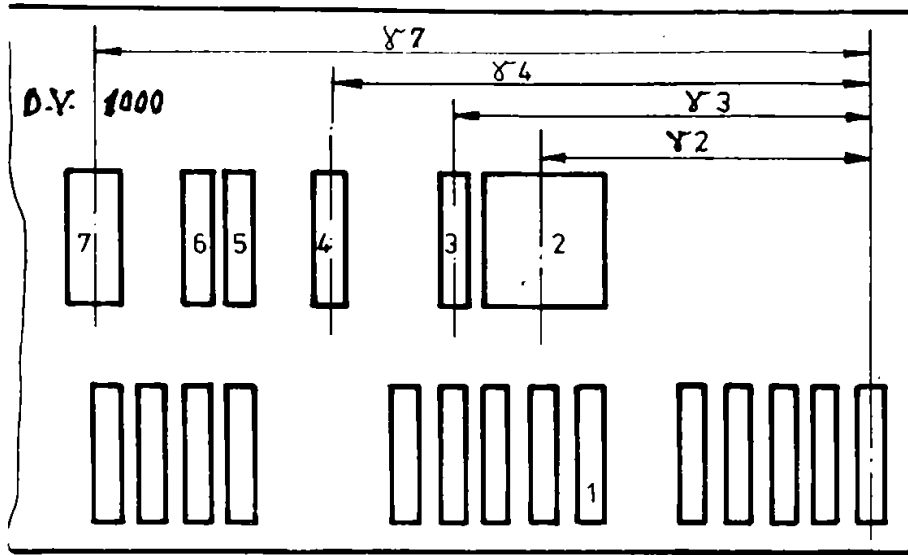


Fig. 5.1.3.3.

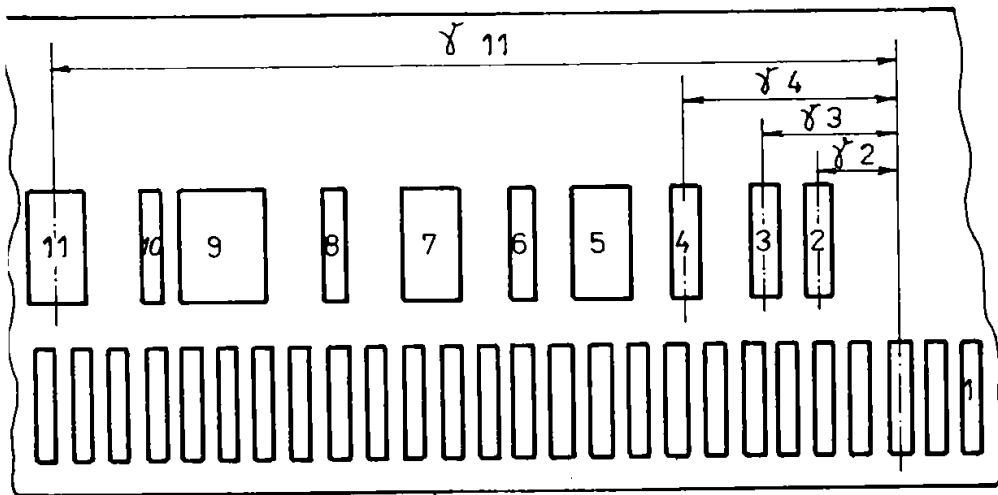


Fig. 5.1.3.4.

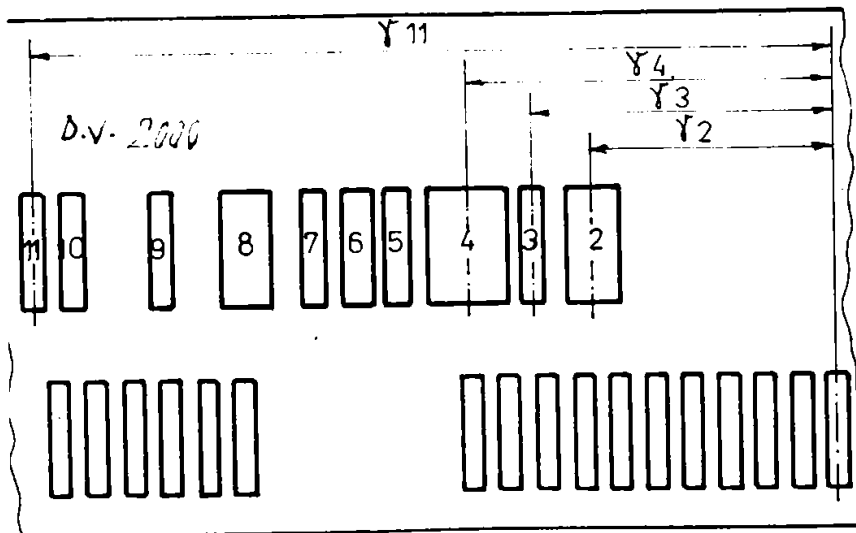


Fig. 5.1.3.5.

Tabel nr. 5.1.3.1.

i	2Rmin <sub>i</sub>	2Rmax <sub>i</sub>	β <sub>i</sub>		2x <sub>i</sub>	2y <sub>i</sub>	γ <sub>i</sub>
1	30	34	α/2	0°10'48"	0,0471	0,0534	0
2	35	39	2 α	0°43'12"	0,2199	0,2450	3 α / 4
3	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	4 α + α / 4
4	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	6 α + α / 4
5	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	9 α + α / 4
6	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	13 α + α / 4
7	35	39	3 α	1°4'48"	0,3298	0,3675	16 α + α / 4

Tabel nr. 5.1.3.2.

I	2Rmin <sub>i</sub>	2Rmax <sub>i</sub>	β <sub>i</sub>		2x <sub>i</sub>	2y <sub>i</sub>	γ <sub>i</sub>
1	30	34	α/2	0°10'48"	0,0471	0,0534	0
2	35	39	3 α	1°04'48"	0,3298	0,3675	49 α + 3 α / 4
3	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	52 α + 3 α / 4
4	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	56 α + 3 α / 4
5	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	59 α + 3 α / 4
6	35	39	α	0°21'36"	0,1099	0,1225	61 α + 3 α / 4
7	35	39	2 α	0°43'12"	0,2199	0,2450	65 α + α / 4

Tabel nr. 5.1.3.3

I	2Rmin <sub>i</sub>	2Rmax <sub>i</sub>	β <sub>i</sub>		2x <sub>i</sub>	2y <sub>i</sub>	γ <sub>i</sub>
1	30	34	α/2	0°05'24"	0,02356	0,0267	0
2	35	39	α	0°10'48"	0,0549	0,06126	3 α / 4 [8'6"]
3	35	39	α	0°10'48"	0,0549	0,06126	2 α + 3α/4 [29'42"]
4	35	39	α	0°10'48"	0,0549	0,06126	5 α + 3α/4 [1°2'6"]
5	35	39	2 α	0°21'36"	0,109956	0,1225	9 α + α / 4 [1°45'18"]
6	35	39	α	0°10'48"	0,0549	0,06126	11 α + 3 α / 4
7	35	39	2 α	0°21'36"	0,1099	0,1225	14 α + α / 4
8	35	39	α	0°10'48"	0,0549	0,06126	18 α + 3 α / 4
9	35	39	3α	0°32'24"	0,1649	0,06126	25 α + 3 α / 4
10	35	39	α	0°10'48"	0,0549	0,06126	28 α + 3 α / 4
11	35	39	2 α	0°21'36"	0,1099	0,1225	33 α + α / 4

Tabel 5.1.3.4

I	2Rmin <sub>i</sub>	2Rmax <sub>i</sub>	$\beta_i$		2xi	2yi	$\gamma_i$
1	30	34	$\alpha / 2$	0°05'24"	0,02356	0,0267	0
2	35	39	2 $\alpha$	0°21'36"	0,1099	0,1225	102 $\alpha$ + 3 $\alpha$ / 4
3	35	39	$\alpha$	0°10'48"	0,0549	0,06126	107 $\alpha$ + $\alpha$ / 4
4	35	39	3 $\alpha$	0°32'24"	0,1649	0,06126	110 $\alpha$ + 3 $\alpha$ / 4
5	35	39	$\alpha$	0°10'48"	0,0549	0,06126	117 $\alpha$ + $\alpha$ / 4
6	35	39	2 $\alpha$	0°21'36"	0,1099	0,1225	121 $\alpha$ + 3 $\alpha$ / 4
7	35	39	$\alpha$	0°10'48"	0,0549	0,06126	124 $\alpha$ + $\alpha$ / 4
8	35	39	2 $\alpha$	0°21'36"	0,1099	0,1225	126 $\alpha$ + 3 $\alpha$ / 4
9	35	39	$\alpha$	0°10'48"	0,0549	0,06126	130 $\alpha$ + 2 $\alpha$ / 4
10	35	39	$\alpha$	0°10'48"	0,0549	0,06126	133 $\alpha$ + $\alpha$ / 4
11	35	39	$\alpha$	0°10'48"	0,0549	0,06126	135 $\alpha$ + $\alpha$ / 4

#### 5.1.4. Fluxul tehnologic

Datorită influenței deosebite a condițiilor mediului ambiant asupra preciziei dimensionale și a calității măștilor, întregul proces de realizare a originalelor se desfășoară în laborator, în condiții climatice strict reglate la următorii parametri:

- temperatură: 20°C ± 2°C;
- umiditate: 45% ± 5%;
- grad înalt de desprăfuire.

Pe lângă aceste caracteristici de climatizare generală sunt folosite și reglaje de temperatură locale pe posturi de lucru în procesare chimică.

Schema bloc a fluxului tehnologic este dată de fig 5.1.4.1, fiind puse în evidență grupurile mari de operații și mijloace de bază cu care se realizează acestea.

#### 5.1.5. Programarea

Programul conține comenzi și informații date sistemului privind dimensiunile traseelor, poziționarea acestora, factori de cinematică a trasării și succesiunea operațiilor.

Toate aceste comenzi sunt întocmite pe ideea realizării unei precizii mari de divizare circulară și pe ideea minimalizării erorilor de metodă (erori cumulate rezultate dintr-un calcul rotunjit - prin însumări repetate ale unui pas, erorile de trunchiere date de limitele impuse de calculator cifrelor semnificative).

Menționăm că incrementul minim de comandă unghiulară în coordonate polare este de 0,25°.

Programul este exprimat într-un limbaj propriu sistemului, iar organigrama care stă la baza întocmirii lui este dată de fig. 5.1.5.1. și 5.1.5.2.

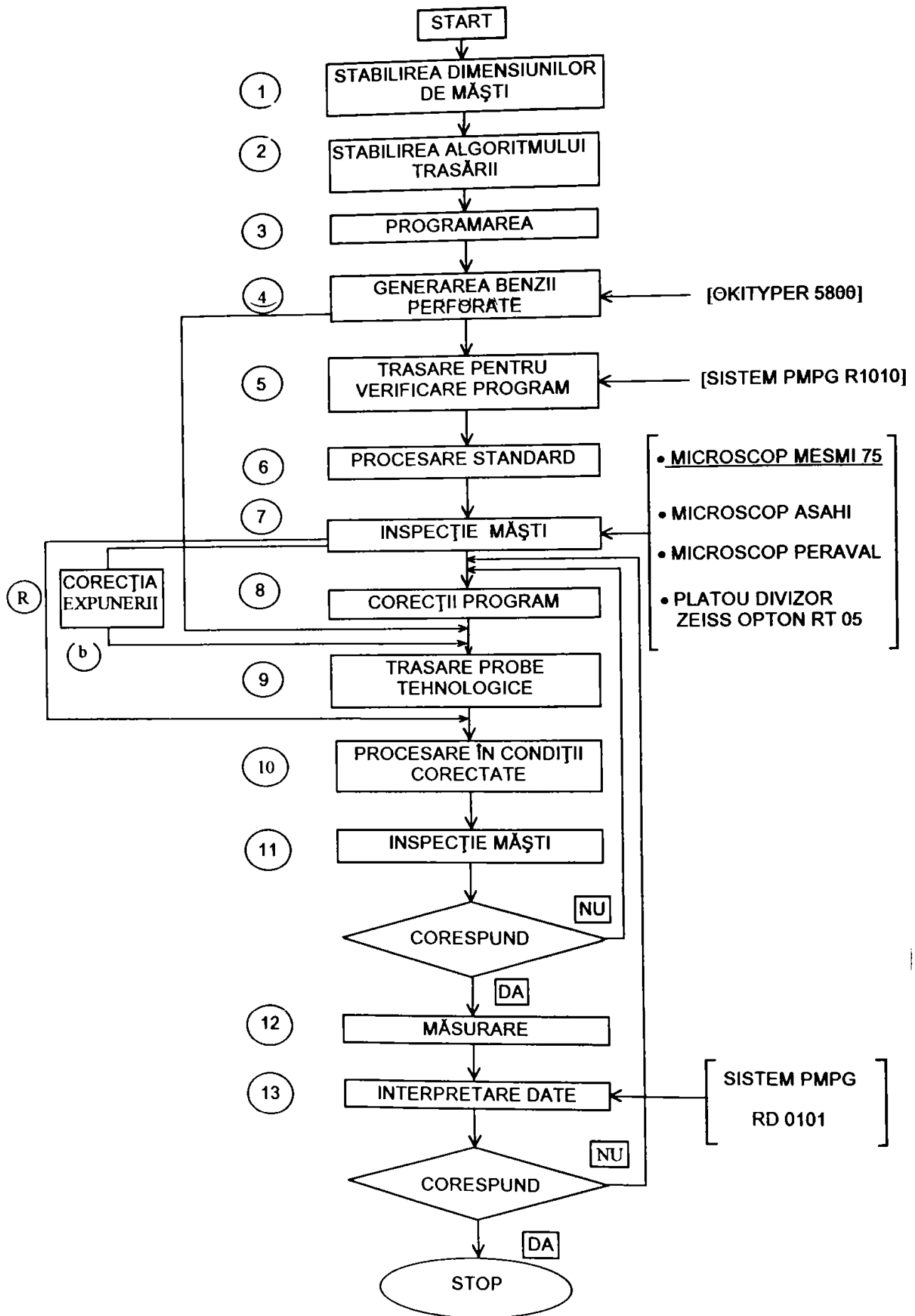


Fig. 5.1.4.1.

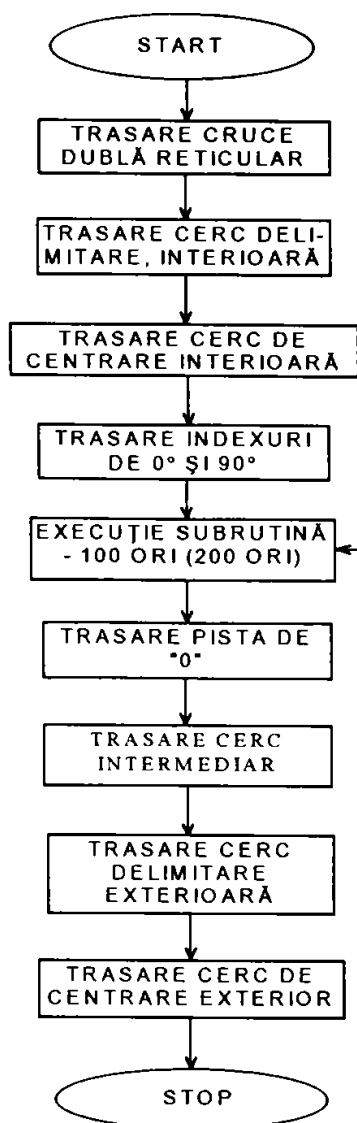


Fig.5.1.5.1.  
Programul este introdus în calculator, în cod ISO.

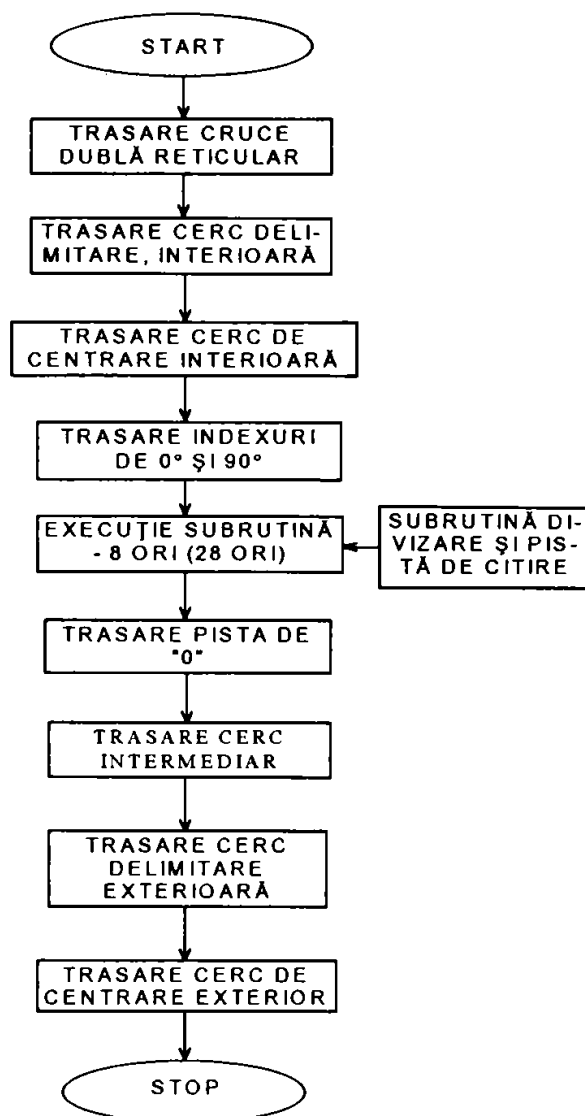


Fig. 5.1.5.2.

### 5.1.6. Trasarea

Principiul de trasare al sistemului [PMG R 0101 - pattern generator] este următorul: un spot controlat dimensional, a cărei axă de simetrie este riguros centrată, focalizat în planul emulsiei foto, se deplasează pe o direcție impresionând placa sensibilă, care fixată pe o masă rotativă se deplasează unghiular (cazul particular al trasării în coordonate polare).

Substratul purtător al materialului fotosensibil este fixat printr-un dispozitiv de vacuumare.

Focalizarea este făcută în două etape:

- focalizare manuală pentru aducerea cu aproximație în plaja de reglare ( $\pm 0,5 \mu\text{m}$ );
- focalizare automată, menținută în timpul trasării pentru preluarea abaterilor de la planeitate suport și perpendicularitate la axa optică.

Pe întregul flux, ca materiale fotosensibile sunt folosite filme AGFA pe suport poliester OP 81 GEVALITH pentru probe de program, aliniere, centrare și filme AGFA pe suport de sticlă HOLOTEST 10 E 56 pentru probe de dimensiuni traseu expunere și măști finale.

În funcție de sensibilitate, sensibilitate spectrală, caracteristici lampă expunere, corecții dimensionale propuse pentru trasee pe calea optică sunt interpușe filtre de culoare și filtre de transmisie.

Valorile pentru lungimile de undă și coeficienții de transmisie au o bază teoretică, fiind apoi ajustate experimental pentru obținerea rezultatelor dorite pe ambele calități de film.

### 5.1.7. Tehnologia de procesare a măștii foto

Alături de expunere și sensibilitatea plăcii fotografice, procesarea chimică este considerată ca fiind al treilea factor critic în obținerea de imagini cu rezoluție ridicată. Tehnica standard de procesare a măștilor expuse (procesul negativ) prezintă o serie de variabile, ceea ce face ca etapele lui să fie mai multe sau mai puține, în funcție de materialele fotosensibile. Dar un procedeu complet va cuprinde în mod obligatoriu următoarele etape:

- 1 - tratament alcalin pentru îndepărtarea stratului antiholo (valabil numai pentru plăcile cu strat antiholo);
- 2 - spălare cu apă curgătoare (de asemeni pentru plăcile cu tratament antiholo);
- 3 - dezvoltare cu agitare continuă;
- 4 - spălare în apă curgătoare;
- 5 - fixare în soluție fixator cu agitare frecventă;
- 6 - spălare în apă curgătoare;
- 7 - uscare.

Dacă tratamentul alcalin aplicat în cazul plăcilor prevăzute pe verso cu strat antiholo nu reprezintă o problemă de un interes deosebit, reacțiile chimice de la operația de dezvoltare sunt semnificative pentru proces.

O soluție tipică de dezvoltare va conține: 1 • solventul (care este apa); 2 • agentul reducător; 3 • activatorul; 4 • agentul de menținere; 5 • moderatorul.

Reacția de bază este reducerea granulelor halogenurii de argint expuse la argint metalic cu ajutorul agentului de reducere, care este un reactiv din familia fenolilor (este exemplificat prin hidrocinonă) și care în soluție alcalină se află în stare ionizată și într-o concentrație relativ ridicată (fig. 5.1.7.1.).

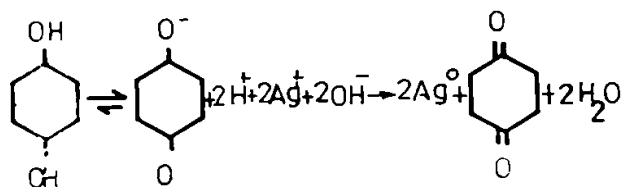


Fig. 5.1.7.1.

Această reacție începe la imaginea în stare latentă formată din granule de halogenură de argint expusă și continuă până la terminarea acestor granule sau până la stoparea dezvoltării.

Fiind o reacție de tip redox, rezultă astfel, produc densitatea optică a imaginii rezultate în emulsie. Ca

moderator tipic se folosește bromura de potasiu care întârzie dezvoltarea la nivelul granulelor neexpuse, formând în jurul acestora un fel de zonă încărcată electrostatic și care acționează ca o barieră față de agentul reducător. Agentul de menținere este antioxidant alcalin de tip sulfid de sodiu, care încetinește mult oxidarea reducătorului activ și care se află în soluția de dezvoltat în contact cu oxigenul atmosferic.

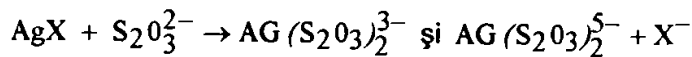
Reacția de dezvoltare având loc în principal în emulsia ce conține granulele expuse, o agitație ușoară este indicată pentru a permite ca agentul proaspăt de dezvoltare să difuzeze în interior.

Reacția de dezvoltare poate fi stopată în faza următoare de spălare în apă curgătoare și mult mai rapid, deși neindicat (deoarece produce defecte la nivelul emulsiei) în soluții ușor acide.

Etapa de dezvoltare este deosebit de critică și necesită un control riguros al procesului. Selectivitatea granulelor de halogenură de argint față de agentul reducător din dezvoltator este limitată la o perioadă scurtă de timp, dacă procesul continuă, reacția de reducere va continua și ea cu o viteză descrescătoare până la reducerea întregii cantități de halogenură de argint, expusă sau neexpusă la argint metalic.

Practica demonstrează că gradul de activitate a dezvoltatorului, timpul, temperatura și starea de agitație a soluției este în legătură cu cantitatea de argint dezvoltat. Controlul riguros al acestor factori a condus la înzestrarea băilor de dezvoltare din instalațiile de procesare, în plus față de celelalte băi (care au filtrare submicronică și agitare) cu termometre de precizie  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ , cronometre și indicatoare de pH pentru nivelul de activitate al dezvoltatorului. În etapa de fixare, are loc înlăturarea halogenurii de argint rămasă în zonele neexpuse.

Reacția are loc între tiosulfatul de sodiu sau amoniu, aflat în soluție apoasă de fixator în stare ionizată și halogenura de argint, care formând astfel complecși solubili, poate fi îndepărtată prin spălare:



Urmele de tiosulfat din emulsie, neîndepărtate la spălare, pot produce ulterior defecte de imagine.

Etapa ultimă de uscare a măștilor și care face parte tot din tehnologia de procesare, deși pare lipsită de importanță, a fost studiată îndelung.

Astfel este foarte important ca indiferent de metoda de uscare, spălarea ce o precede să se facă în apă curată, astfel încât în urma uscării să nu apară pe mască urme de chimicale de la operațiile precedente, produși de reacție, coloranți sau alte tipuri de materiale.

Sunt folosite pentru tehnici de bază pentru uscarea măștilor, fiecare cu o extindere mai mare sau mai mică:

- Uscarea prin evaporarea apei: are ca dezavantaje principale, durata mare de timp când uscarea are loc la temperatura camerei sau pericolul de deformare a imaginii când temperatura de uscare depășește o anumită valoare. De asemenea, sistemul prezintă un grad înalt de pericol de contaminare a măștii.

- Îndepărtarea prin metode fizice a apei: se realizează prin uscare forțată cu jet de aer sau centrifugare. Prin jet de aer, uscarea poate duce la măști foto cu urme de rezidii în zonele marginale, unde apa a părăsit placa, metoda prin centrifugare reprezentând acest defect, dar fiind în general accesibilă într-un domeniu limitat de măști.

- Diluarea cu rapidă evaporare a solventului: este și metoda aplicată în practică, folosește metanol (foarte toxic) sau etanol, solvenți polari ușor volatili și care formează cu apa amestecuri miscibile în orice proporție.

Procedeul ce se indică prevede trei băi succesive în care conținutul de solvent crește de la 25% la 100% în ultima baie, permițând ca extracția de apă din gelatină să se facă cu o viteză moderată fără a o degrada (fenomenul de voal albastru).

- Deplasarea cu solvent cu viteză mare de uscare; uscarea constă în suprapunerea a două fenomene:

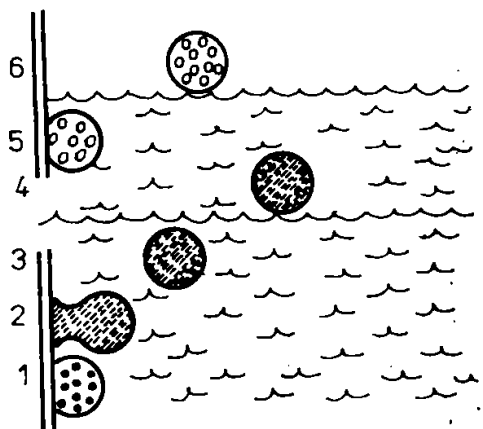
- Înlocuirea apei ce se află pe suprafața de uscat cu un lichid cu tensiunea superficială coborâtă;

- deplasarea picăturilor astfel formate de apă, la suprafață (apa având densitatea mai mică) și adunarea lor într-un sistem cu separator, lichidul fiind recirculat.

În studiile de specialitate realizate apare și o variantă a acestui sistem numită "uscarea cu îndepărtarea între faze".

Cele două faze care participă la îndepărtarea apei pot fi de exemplu tricloretilenă și un amestec de alcool cu freon.

Procesul are loc ca în schița de mai jos, unde sunt înfățișate cele șase etape ale procesului (fig. 5.1.7.2) care au loc:



- picătura de apă de la suprafața plăcii ce a fost imersată în amestecul de solvenți;

- o parte din alcool este extrasă de picătura de apă;

- în urma modificării densității acesteia ca și a tensiunii superficiale a picăturii, picătura se respinge și se ridică;

- la suprafață se formează o fază distinctă formată din apă și alcool;

- placa extrasă din solvent, care are pe suprafața ei un strat absorbit de alcool, freon care a înlocuit apa, aceasta se găsește la suprafața solventului în echilibru cu un strat de vapori de solvent;

- prin evaporare rapidă la aer, acest strat este înlăturat.

În fig. 5.1.7.3. este reprodus și un sistem ce realizează uscarea rapidă a plăcilor foto prin această metodă.

Sistemul are aplicabilitate la realizarea de măști în serii

Fig.5.1.7.2. mai mari.

Chiar și în sistemele cele mai bune de expunere și procesare a măștilor, rezultatul nu poate fi reprezentat sub forma unor zone foarte precise de trecere de la opac la transparent, atât ca urmare a imperfecțiunilor sistemelor optice de expunere, cât și a limitărilor de selectivitate a soluțiilor de procesare.

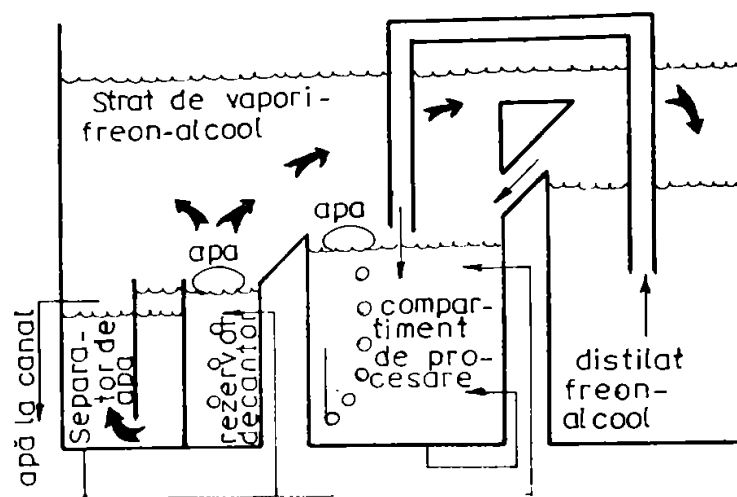
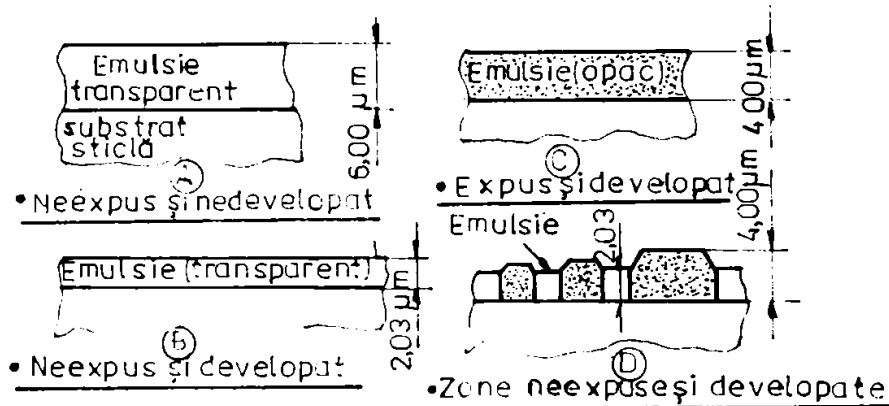


Fig. 5.1.7.3.

În figura 5.1.7.4. se poate vedea influența expunerii și dezvoltării asupra grosimii emulsiei. Se poate vedea la ultima fază expusă și dezvoltată (d) cum în urma procesului au apărut diferențe de grosime ale zonelor opace și care sunt nedorite în special în transferul prin metoda prin contact.



Efectul expunerii și dezvoltării asupra grosimii emulsiei măștii pe sticlă

Fig. 5.1.7.4.

În fig. 5.1.7.5. este reprodusă curba profilului imaginii unei plăci HRP-KODAK - procesată prin procedeul negativ unde se observă comportarea emulsiei față de energia luminoasă absorbită la expunere și care a făcut ca linia de 100 μm (2,54 μ inch) să aibă aspectul (din figură).

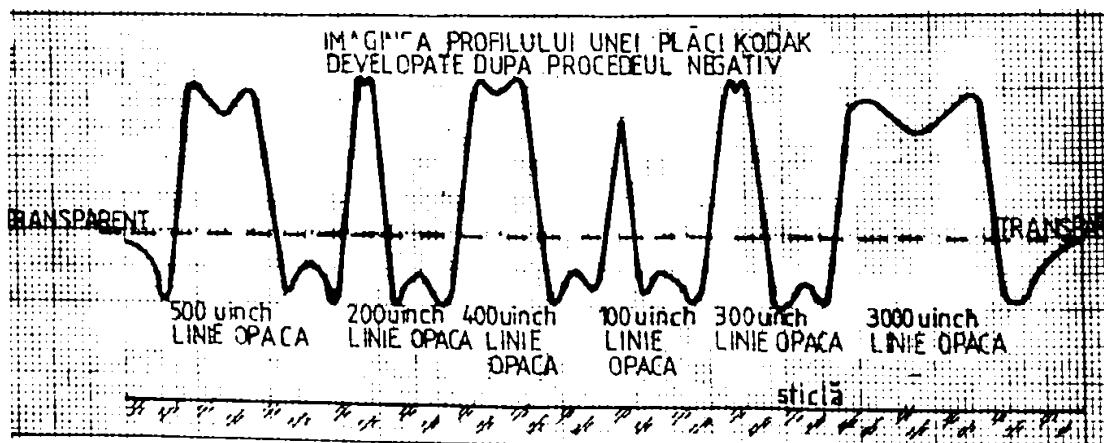


Fig. 5.1.7.5



De altfel, experimentarea a arătat că pe măsură ce linia este mai îngustă, ea este mai puțin densă, astfel încât în aceeași imagine a măștii avem linii mai late cu densitate mai mare și linii mai înguste și mai puțin dense. Dacă controlul de densitate a măștii s-ar face pe zonele mai late, va trebui să avem o densitate mult mai mare aici pentru a asigura valori convenabile la liniile mai subțiri (suprafețele mai înguste). Dar diferențele de densitate între liniile late și cele înguste depind de prea mulți factori, în primul rând de lentilele de dezvoltare.

#### 5.1.8. Condiții de realizare practică a procesării

Realizarea procesării măștilor (AGFA - GEVERT) s-a făcut în următoarele etape:

- Dezvoltare: 4 minute la  $20^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  în dezvoltator G 2820 (o parte concentrat + 2 părți apă distilată);
- Spălare în apă curgătoare la  $20^{\circ}\text{C}$  timp de 2 minute;
- Fixare în fixator G 333 c (1 parte concentrat + 4 părți apă distilată la  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , timp de 2 minute);
- Spălare în apă curgătoare timp de 10 minute;
- Uscare nr.1 în 25% etanol + 75% apă distilată, timp de 30 secunde;
- Uscare nr.2 în 50% etanol + 50% apă distilată timp de 30 secunde;
- Uscare nr.3 în 100% etanol (alcool etilic absolut) timp de 45 secunde;
- Uscare la aer în nișă cu flux laminar timp de 10 secunde;
- Măsurarea măștilor este posibilă după aproximativ 1 oră de la procesare când au ajuns la temperatura constantă din camera de măsurare.

#### 5.1.9. Controlul calității trasării și procesării

Avându-se în vedere funcționalitatea discurilor divizate în ansamblul traductorului incremental de rotație și ținând seama de configurațiile traseelor, tehnologia de control a urmărit determinarea parametrilor:

- contrast;
- calitatea liniei de demarcație opac-transparent;
- măsurarea grosimii de trasare;
- observarea imperfecțiunilor de continuitate ale traseelor.

Tehnologia de obținere a măștilor fiind de tip buclă închisă, toate informațiile furnizate de inspecția măștilor duc la aplicarea de corecții în diferite faze ale realizărilor.

Aprecierile asupra contrastului, dau informații asupra procesării parametrilor de expunere, fiind astfel corectate: puterea lămpii de expunere, valori de filtre, viteză de trasare, reglajul fluxului luminos în regim tranzitoriu (accelerări, decelări). Calitatea liniei de separație între zonele transparente și cele opace au condus la reglaje și alinieri ale componentelor optice aflate în calea luminoasă de expunere și la ajustări ale focalizării spotului.

Compararea dimensiunilor geometrice ale traseelor cu lățimile propuse teoretic, determină efectuarea de reglaje directe asupra aparatului, și indirecte prin interpunerea de filtre pe drumul optic al traseelor ce reprezintă abateri. Întreruperi de trasee, datorate impurităților din mediu și imperfecțiunile emulsiei, duc la reluarea operațiilor cu prevenirea pe cât posibil a factorilor care au creat aceste nereguli.

Datele necesare inspecției măștilor sunt determinate folosindu-se aparatura de laborator, după cum urmează:

- stand de măsurare lungimi cu interferometru laser cu vizare prin microscop [MESMIT 5];
- stand de măsurare deplasări unghiulare pe masă divizoare [ZEISS-OPTON-RT 05] cu microscop [X-Y ASAHI];
- microscop interferențial [PERAVAL].

#### 5.1.10. Măsurarea măștii

Măsurarea măștii se referă la determinarea preciziei unghiulare de poziționare a traseelor dispuse pe pista incrementală. Această caracteristică a discului divizor (transmisă de masca originală) dă calitatea traductorului de poziție incremental.

Măsurarea măștii se face pe stand [PMPG R 0101] cu următorul principiu:

- măștii i se imprimă o mișcare de rotație în jurul centrului ei;

- de o parte și de alta a măștii se găsesc sistemul de iluminare, respectiv sistemul de recepție ale unui microscop fotoelectric;

- fiecare graniță alb-negru sesizată de microscop este transmisă sistemului de măsurare.

Sistemul de măsurare este dimensionat pentru discuri cu gabarit mare, astfel că a fost nevoie să i se aducă anumite modificări constructive. Pe lângă aceste modificări, este necesar ca în măsurare, să se aplice o tehnică indirectă care constă în măsurarea erorilor de poziționare unghiulară ale unor trasee tehnologice generate în acest scop. Astfel, pentru fiecare a zecea diviziune a pistei de incrementale ( $\varphi 40$ ) corespunde o diviziune a pistei de măsurare ( $\varphi 70$ ), cele două diviziuni aflându-se riguros pe aceeași rază. Deci abaterea de poziție a două diviziuni de pe pista de măsurare va fi eroarea între diviziunea "n" și "n + 10" de pe pista incrementală:

- precizia standului de măsurare: 0,5 sec;
- originea măsurătorii: primul traseu indexat;
- sensul măsurării: trigonometric.

Diagonalele erorilor reprezintă abaterile unghiulare între axele de simetrie ale traseelor. Datele figurate cuprind, pe lângă abaterile măștii, și erorile proprii măsurării care nu au fost eliminate având în vedere că masca se înscrie în toleranța prescrisă.

Erorile vernierelor sunt:

- pentru discul vernier, pentru 1000 diviziuni/ circumferință:  
+ 1 secundă arc; - 1,5 secunde arc;
- pentru discul vernier, pentru 2000 diviziuni/ circumferință:  
+ 0,5 secunde arc; - 1,5 secunde arc.

Erorile discurilor incrementale divizoare (fig. 5.1.10.1 și 5.1.10.2):

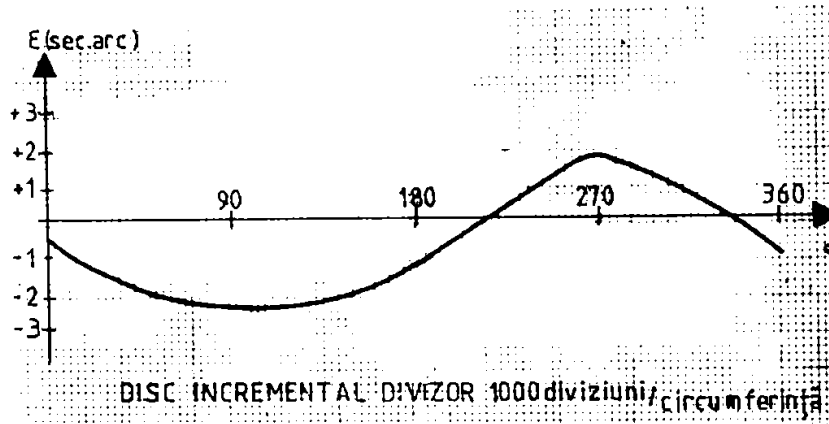


Fig.5.1.10.1

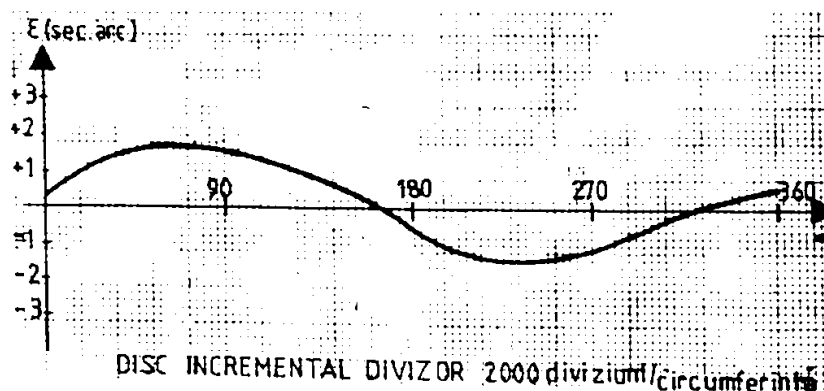


Fig. 5.1.10.2.

- pentru discul incremental divizor cu 1000 diviziuni/ circumferință: + 1,5 secunde arc; - 2,5 secunde arc;
- pentru discul incremental divizor cu 2000 diviziuni/ circumferință: + 1,5 secunde arc; - 1,5 secunde arc.

**Exemplu de măști master pentru rețele fotoelectrice incrementale divizor și vernier realizate pe tehnologia S.C. ICPE - București (fig. 5.1)**



Fig. 5.1.

## **5.2. Generarea automată a măștilor rețelelor incrementale de divizare liniară și circulară prin metoda fotocompoziției, cu mai multe reduceri microfotografice (experimentată la Institutul de Cercetare pentru Electronică Băneasa)**

### **5.2.1. Etapele metodei de generare automată /46/ 52/**

Metoda fotocompoziției, cu mai multe reduceri microfotografice, permite generarea rețelei incrementale liniare și circulare cu dimensiuni de până la 100  $\mu\text{m}$ , pentru rețele liniare și cu dimensiuni de  $\phi$  20... $\phi$  80 mm, cu pasul rețelei de 6...10  $\mu\text{m}$ , pentru rețele circulare.

Metoda constă din etapele:

- generarea manuală a unei machete cuprinzând o linie sau un grup de câteva linii de rețea mărită de 100...200x;
- reducerea într-o etapă, la o scară de 10...20x a acestei machete, pe un clișeu microfotografic de înaltă rezoluție, obținându-se un așa numit "reticul";
- reducerea într-o nouă etapă a geometriei de pe reticul, simultan cu repetarea acesteia una lângă alta (fotocompoziție) pentru "construirea" întregii rețele.

În această etapă este esențială folosirea unor programe speciale pe calculator, diferite pentru rețele liniare față de cele circulare.

Dat fiind că din punct de vedere tehnologic primele două elemente sunt similare cu cele de la metoda unei simple reduceri, vom dezvolta în continuare generarea programelor de fotocompoziție.

### **5.2.2. Generarea măștilor rețelelor incrementale liniare**

#### **a. Date inițiale pentru generare**

Generarea automată a configurațiilor tipice unor rețele de divizare liniară se face prin fotocompoziție, utilizând programe speciale care se rulează pe un calculator (tip IBM-PC) de unde rezultă o bandă perforată care se citește apoi pe instalația de expunere și fotorepetare pas cu pas, [tip UER].

Minicalculatorul instalației UER transformă datele de pe banda perforată în comenzi de deplasare a mesei suport (pe care se află un suport de sticlă cromată, acoperit cu rășină fotosensibilă pe care, în urma expunerii la lumină și în urma procesării chimice, rezultă rețeaua de divizare liniară, precum și comenzi de control al expunerii pentru fotocompoziția rețelelor.

Banda perforată este fie cu 8 piste (situație în care codul de perforare este ISO-7 BIT sau E 1A- 8B) fie cu 5 piste (situație în care se folosește codul CCTT 11).

Dintre cele două moduri posibile de perforare se preferă utilizarea codului ISO-7 BIT, deoarece folosirea numai a 5 piste de perforare nu permite verificarea parității în timpul citirii benzii.

#### **b. Realizarea benzii perforate**

Benzile perforate pentru expunerea configurațiilor tipice rețelelor incrementale pot fi în așa fel realizate încât să permită lipirea lor sub forma unei bucle fără sfârșit.

Deoarece citirea datelor de pe bandă se întrerupe automat la fiecare schimbare a suportului de sticlă pe care se generează rețeaua și se conectează automat, pe astfel de benzi nu este necesar să apară semnalul STOP.

Cantitatea de lumină nu se programează deoarece se determină experimental și se introduce manual.

Benzile perforate în codul ISO - 7 BIT conțin toate datele conform indicațiilor de programare, astfel că după programul de expunere există o propoziție de program care aduce masa în poziția de încărcare, făcând posibilă lipirea benzii în buclă. Deoarece în genere, nu este necesară ajustarea reticulului (aceasta reprezintă în sistemul de expunere UER "obiectul") după fiecare rețea expusă, se recomandă utilizarea programului [Z 4400] cu deplasarea directă în poziția de încărcare (fără trecerea de punctul nul).

Poziția reticulului trebuie verificată și eventual corectată după circa 1 oră. Pe benzile perforate în codul EA 8B, trebuie să se perforeze de la început semnul [IIR] de circa 10 ori (...4 cm), după care urmează [WR] și datele de program conform recomandărilor de programare.

Banda trebuie să fie astfel introdusă în cititor încât periile de contact să se afle în domeniul semnului [IIR] înaintea semnului [WR] (numai atunci poate fi privită).

Deoarece codul [EA 8B] este un cod impar, atunci când nu este perforat nimic (număr par de perforații), citirea se oprește și pe panou se indică eroare de paritate.

La întâlnirea semnului [IRR] banda se deplasează până la semnul [WR] următor și după aceea datele următoare se memorează.

În cazul benzilor fără sfârșit, pentru ca porțiunea neperforată să fie totuși parcursă, trebuie perforat la sfârșitul programului [IRR]; banda fără sfârșit va merge atunci până la primul semn [WR] care se află la începutul programului și al benzii, după care urmează citirea ca la primul "start" după introducerea benzii în cititor.

Pentru o orientare rapidă pe bandă, fiecare semn [WR] se marchează cu o linie transversală.

Între fiecare două linii transversale se găsește o propoziție de program al cărui număr este de asemenea înscris pe bandă.

De aici înainte depărtarea rapidă a propozițiilor de program nu mai prezintă nici o dificultate.

Avantajul utilizării unor benzi ["fără sfârșit"] realizate în modul descris mai înainte, este că prin revenirea benzii la primul start, de mai multe ori, se pot expune cu același program, geometrii repetitive așa cum sunt rețelele incrementale liniare.

### **c. Verificarea benzii perforate**

Înainte de lipirea benzii pe buclă și utilizarea benzii perforate se verifică paritatea și lungimea cuvintelor și se depistează greșelile coordonatelor.

Când se dorește o verificare rapidă a conținutului benzii perforate fără controlul curent al coordonatelor individuale se pornește banda, după care s-a introdus manual,  $s = 0000$ .

Deoarece se dorește o corectare exactă a greșelilor de scriere sau perforare, se derulează întregul program fără deplasarea mesei.

Pentru verificarea coordonatelor după pomirea benzii, se acționează tasta "intrare - date manual", stingerea coordonatelor  $x_L$ ,  $y_L$ , numărătorul se oprește și poate fi citit; după citire se decuplează tasta "intrare - date manual", banda perforată pornește să acționeze din nou tasta "intrare - date manual" și așa mai departe.

Dacă numărătorul se oprește la valorile  $x_L$  și respectiv  $y_L$ , datele sunt greșit programate.

Din același motiv numărătorul se blochează sau afișajul conținutului memorie pâlpâie.

Prin citirea coordonatelor  $x_{Limită}$ ,  $y_{Limită}$ , (având semnificația de  $x_L$ ,  $y_L$ ) se verifică de fapt două lucruri:

- se verifică situația în care prin perforarea unei coordonate greșite, masa micrometrică  $x/y$  a instalației de expunere UER să nu se deplaseze în timpul expunerii rețelelor sau să iasă din cursa ei limită (100) și astfel să se întrerupă complet procesul de fotocompoziție;
- se verifică programul de fotocompoziție prin care întreaga rețea a fost împărțită în zone de expunere, zone având coordonatele  $x_L$ ,  $y_L$ .

În situația în care apar aceste erori se reia programul de perforare al benzii după ce, în prealabil, se generează pe o imprimantă [tip CENTRONIX], atașată calculatorului, întreg programul cu toate coordonatele și comenzile date.

## **5.2.3. Tipuri de subprograme, programe și sisteme de coordonate folosite în timpul procesului de fotocompoziție a rețelelor liniare**

### **Tipuri de subprograme**

În realizarea programului complet pentru expunerea rețelelor incrementale liniare pe plăcile de sticlă cromate, aflate în mașina de fotocompoziție tip UER, se folosesc mai multe programe care optimizează deplasarea mesei  $x/y$  și permit corecții ale poziției mesei la sfârșitul unor zone de expunere, zone în care se poate porționa întreaga rețea.

Subprogramele utilizate sunt:

Z 000, poziționare individuală;

Z 0800, poziționare individuală cu expunere;

Z1000, meandru pe direcția x;

Z 1800, meandru pe direcția x cu expunerea ultimului câmp citit;

Z 2000, lanț în orice direcție  $\pm x$ ,  $\pm y$  (pentru  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$ );

Z 2800, lanț cu expunerea ultimului câmp citit;

Z 4000, poziționare fără expunere;

Z 4100, deplasare în poziția de încărcare cu trecere prin punctul de nul;

Z 4300, deplasare în poziția de încărcare cu ajustarea poziției reticulului în punctul de nul;

Z 4400, deplasare în poziție de încărcare direct cu datele de intrare  $x = 5000$ ;  $y = 0000$ .

Programele cu expunerea ultimului câmp citit sunt necesare pentru evitarea situației în care masa se deplasează într-atât încât, placa suport pe care se expune rețeaua să iasă de sub obiectiv; acest lucru se poate întâmpla pentru cazurile în care se generează rețele lungi de 70 - 80 mm, ceea ce implică expuneri aflate la marginile plăcii.

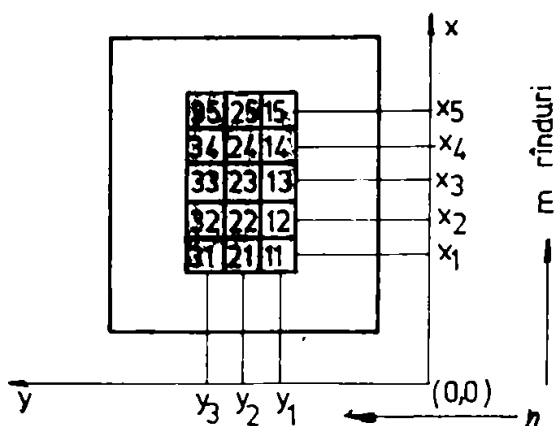


Fig. 5.2.3.1.

În cadrul unei propoziții de program).

Sistemul de coordonate folosit în mașina de expunere UER, precum și simbolurile folosite pentru coordonatele câmpurilor ce se expun pe placa suport pe care se realizează rețeaua liniară sunt reprezentate în fig. 5.2.3.1.

- $(x_i, y_i)$  - coordonate reale;
- $(x_K, y_K)$  - coordonate nominale;
- $(x_0, y_0)$  - coordonate inițiale;
- $(x_L, y_L)$  - coordonatele ultimei poziții

#### 5.2.4. Tipuri de programe de poziționare (fig.5.2.4.1.) Z 000; Z 0800; Z 4000

Aceste programe permit deplasarea mesei  $x/y$  într-o poziție foarte precisă  $(x_j; y_j)$ , plecând din originea sistemului (poziția de start).

##### a. Programul meandru (fig. 5.2.4.2.) Z 1000; Z 1800

Aceste programe permit deplasarea mesei  $x/y$  plecând din poziția de start  $(0; 0)$  în sensul  $+x$  până la poziția  $x_{max}$ , apoi în sensul  $-x$  până la poziția  $x_{min}$  și continuarea acestui meandru pe direcția axei  $x$  până la atingerea unei valori limită pe direcția  $y(y_L)$ .

În acest fel se pot genera configurații de rețele liniare având conturul (ales spre exemplificare) desenat mai sus (câmpurile 1...14).

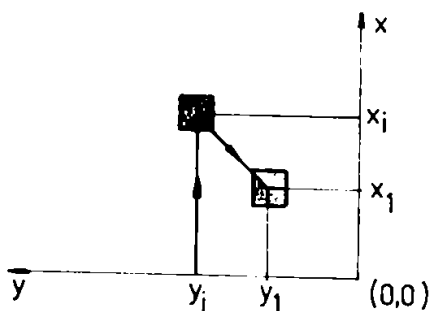


Fig. 5.2.4.1.

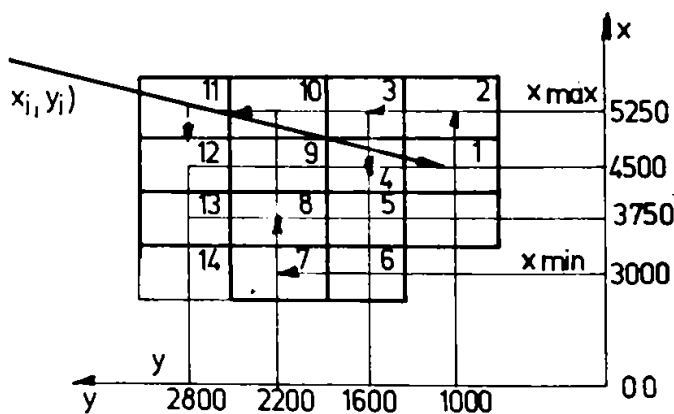


Fig. 5.2.4.2.

#### Exemplul 1 de program:

Pentru  $x_0 \neq x_{max}$  se efectuează:

- deplasarea mesei pe direcția  $+x$  în pași până la  $x = x_{max}$ ;
- la  $x = x_{max}$  urmează un pas pe direcția  $+y$ ;
- deplasarea mesei pe direcția  $-x$  în pași până la  $x = x_{min}$ ;
- la  $x = x_{min}$  urmează un pas pe direcția  $+y$ ;
- deplasarea mesei în direcția  $+x$  și așa mai departe, programul se încheie când simultan  $x = x_L, y = y_L$ .

#### Exemplul 2 (expunere cu întreruperea meandrului pe o coloană) de program:

Z = 1000 S 1000 + 5000 y 2500 x 1000 y 0500  
 $x_{min}$  1000  $x_{max}$  5000  $x_L$  5000  $y_L$  4000 WR

Deplasarea mesei pornește întotdeauna în direcția  $+x$  până la atingerea lui  $x_0 = x_{\max}$ . Aceasta înseamnă că la întreruperile programului pe coloana care lipsește (direcția  $-x$ ) trebuie să se facă expunerea cu un program lanț până la  $x = x_{\min}$ . După aceea se poate continua cu un nou program meandru.

**b. Program lanț: Z 2000; Z 2800.**

Aceste programe permit deplasarea mesei  $x/y$  plecând din orice poziție  $(x_i, y_i)$  la care s-a ajuns mai înainte printr-un program de poziționare (Z 000; Z 0800; Z 4000) într-un "lanț" de expuneri succesive (șir de expuneri succesive) atât după direcția  $x$ , cât și după direcția  $y$ .

Folosind aceste programe se pot genera vernierele rețelelor liniare, care au suprafețe mici cu geometrii, dar plasate în diverse poziții pe suprafața vernierului și mai au și "ferestre" de citire.

Deplasarea posibilă a mesei se prezintă în fig. 5.2.4.3.

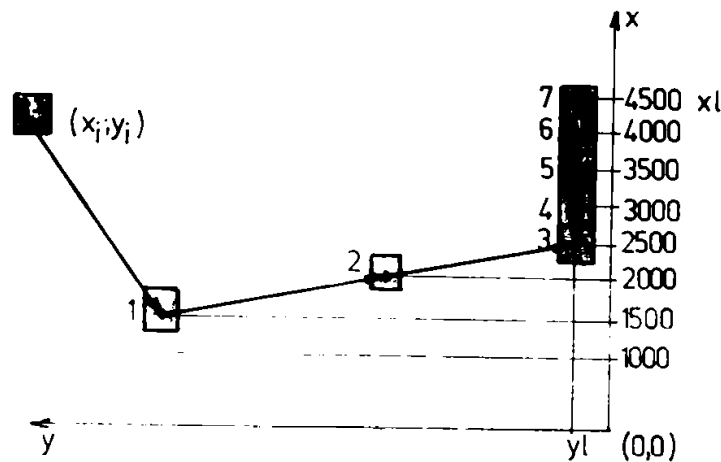


Fig. 5.2.4.3.

**Derularea programului:**

Sunt atinse următoarele poziții:

$$x_{k+1} = x_k + nx \text{ pentru } x_k = x_L; x_L = x_0 + mx; (n, m \text{ numere întregi})$$

$$y_{k+1} = y_k + ny \text{ pentru } y_k = y_L; y_L = y_0 + my;$$

$$x_{k+1} = x_k \text{ pentru } x_k = x_L;$$

$$y_{k+1} = y_k \text{ pentru } y_k = y_L.$$

Programul se încheie când simultan sunt satisfăcute egalitățile:  $x = x_L$  și  $y = y_L$ .

**c. Programe de deplasare în poziția încărcare: Z 4100; Z 4300; Z 4400**

Programul Z 4400 servește la deplasarea directă în poziția de încărcare, presupunând că poziția mesei coincide cu conținutul numărătoarelor pe direcția  $x$  și  $y$ .

Aceste condiții sunt în mod uzual satisfăcute după parcurgerea unei plachete.

Programul nu trebuie folosit atunci când masa a fost deplasată cu mai mult de 0,2 mm și numărătorul blocat.

În timpul mișcării mesei, masa fină este adusă în mod automat în poziția de mijloc.

Datele programului sunt Z 4400; +5000; Y 0000; WR

Programul Z 4100 deplasează masa în punctul de nul, numărătoarele pe direcțiile  $x$  și  $y$  anulându-se, deci poziția mesei este pusă în concordanță cu conținutul numărătoarelor.

În încheiere masa se deplasează în poziția de încărcare  $x = 5000$ ,  $y = 0000$ , iar masa fină este adusă în poziția de mijloc.

Datele programului sunt: Z 4100; WR.

Programul Z 4300 se desfășoară cu programul Z 4100; în plus în punctul de nul al instalației, reticulul este ajustat automat timp de 3 sec. Comutatoarele de selectare ale amplificării trebuie să fie pe poziția "automat". Datele programului sunt: Z 4300; WR.

Aceste programe utilizează în cazul în care funcționarea instalației UER se face automatizat, în sensul că, încărcarea plăcii de sticlă cromată, pe care se va realiza rețeaua incrementală, se face automat, prin trecerea ei dintr-un cărucior ce poate conține până la 24 suportji, pe masa  $x/y$  care se deplasează apoi pentru expunerile succesive, prin programe meandru sau lanț.

Dintre aceste programe, programul Z 4300 este folosit la expunerile rețelelor de mare precizie, întrucât la începerea expunerii, reticulul aflat în instalație se autoaliniază x, y și astfel se asigură o constanță de pas a rețelei, deosebit de bună și se elimină situația în care apar diferențe de pas între zonele în care s-a partiționat geometria.

### 5.2.5. Generarea măștilor rețelelor circulare

#### a. Date inițiale pentru generare

Generarea automată prin fotocompoziție a unor rețele incrementale circulare se face cu aceeași instalație de expunere și fotorepetare pas cu pas (UER) utilizată și la rețelele incrementale liniare, instalație comandată de un minicalculator propriu care citește tot o bandă perforată realizată pe un calculator [IBM PC].

Problema suplimentară care se pune în acest caz este obținerea unor expuneri a căror înfășurătoare să fie un cerc cu diametrul exterior egal cu cel al discului incremental ce se realizează.

Pentru aceasta se folosește un program special de expunere denumit "Programul cerc".

Problema matematică a acestui program constă în acoperirea unei suprafețe circulare de rază dată R cu arii dreptunghiulare mai mici, de dimensiuni Dx, Dy (câmpuri de expunere cuprinzând geometria reticului).

Această acoperire trebuie să țină seama de existența unor pauze în expunere, dreptunghiulare, de dimensiuni Tx, Ty (pentru rețeaua vernier).

Pentru realizarea programului se țin seama de următoarele date și ipoteze:

1. Se consideră originea axelor coordonatelor O (0, 0) în centrul cercului de rază R. Originea coincide cu centrul unui câmp de expunere;
2. Se dau dimensiunile Dx, Dy ale câmpului. Vârful fiecărui câmp trebuie să se găsească în interiorul cercului sau pe cerc;
3. Se dau dimensiunile pauzelor Tx, Ty și D distanța dintre centrele a două pauze. Există un total de maxim 6 pauze cu centrele dispuse în punctele: (0, 0); (D/2, 0); (-D/2, D/2); (D/2, 0); (0, -D/2); (0, D/2);

- centrul unei pauze trebuie să coincidă cu centrul unui câmp;
  - o pauză trebuie să cuprindă un număr întreg de câmpuri;
- Dacă Tx Dx Ty Dy atunci se pune Tx = Dx; Ty = Dy;  
 Dacă Dx Tx (2n + 1) Dx, atunci Tx = (2n + 1) Dx;  
 Dy Ty (2n + 1) Dy, atunci Ty = (2n + 1) Dy.

#### b. Descrierea programului "CERC"

În alcătuirea programului s-a ținut cont de formatul datelor de intrare de pe banda perforată destinată fotorepetorului.

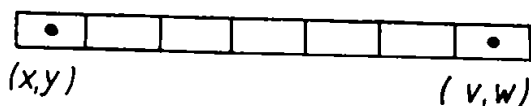


Fig.5.2.5.1.

Astfel pentru expunerea unui rând de forma (fig. 5.2.5.1.) setul datelor de intrare către fotorepetor trebuie să conțină:

(x, y) - punctul inițial;

(v, w) - punctul final;

(T) - pasul de repetare;

Z 1000 - simbolul programului

pentru expunerea de mai sus, program care nu se expune în punctele extreme.

Programul "CERC" calculează punctele extreme [centrele câmpurilor, fig.5.2.5.2.] pe care le introduce într-un vector complex C(l) = (Xi, Yi) în felul următor:

$$C(1) = (X_1, Y_1)$$

$$C(2) = (X_2, Y_2)$$

$$C(4) = (X_4, Y_4)$$

$$C(3) = (X_3, Y_3)$$

$$C(5) = (X_5, Y_5)$$

$$C(6) = (X_6, Y_6)$$



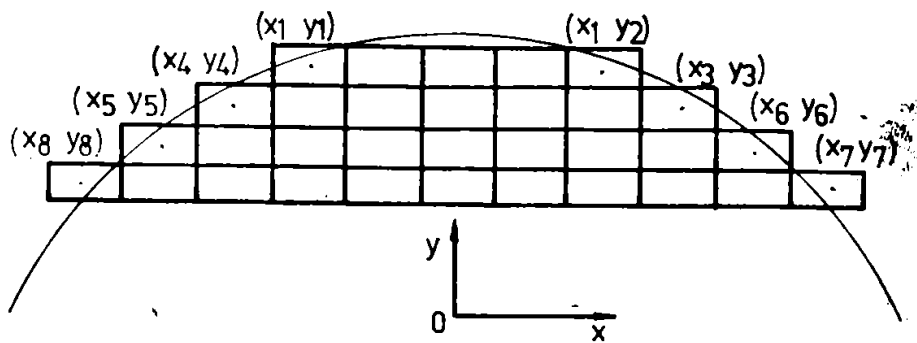


Fig. 5.2.5.2

astfel încât se oferă posibilitatea expunerii printr-un ciclu de forma:

```

DO;          100;          N=1;          LIM;
I = 2 - N - 1;
X = REAL [C(I)];
Y = IMAG [C(L)];
V = REAL [C(I+1)];
W = IMAG [C(L+1)];
T = Dx;
U = 0;
100;  CALL ;          COD (L, X, Y, T, U, V, W);
LIM - este numărul rândurilor cu câmpuri pe suprafața cercului;
T - pasul pe Ox;
U - pasul pe Oy;

```

COD - subprogramul care realizează codurile pentru banda perforată și interpretează parametrii necesari expunerii.

**c. Determinarea constantelor programului "CERC"**

$$NRL = \text{INT} \left[ \left( R - \frac{DY}{2} \right) \frac{1}{DY} \right] + 1, \text{ numărul liniilor deasupra lui Ox}$$

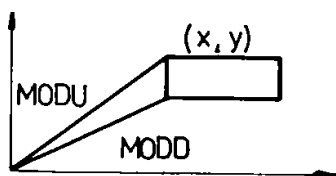


Fig. 5.2.5.3.

NL = 2 x NRL, numărul total de linii  
LIM = NRL - 1, numărul de rânduri de câmpuri deasupra axei Ox;  
NTOT = 4 x NRL - 2, numărul total de câmpuri extreme ale căror coordonate se introduc în C(I) conform fig. 5.2.5.3;  
IN = 0, dacă NRL este par;  
IN = 1, dacă NRL este impar.

**d. Determinarea câmpurilor extreme**

```

Y = 0;
DO 40 I = 1; LIM;
X = 0;
Y = Y + DY;
X = X + DX;
MODD = SQRT (X - DX/2) ** 2 + (y - DY/2) ** 2);
MODU = SQRT (X - DX/2) ** 2 + (y - DY/2) ** 2);
IF (MODD LT R OR MODU LE R) GO TO 30;
X = X - DX;
X = X * (-1) ** (I + IN - 1);
LIX = NL - 2 * I;

```

30

```

C(LIX) = CMPLX (X, Y);
C(LIX -1) = CMPLX (-X, Y);
LIX = NL + 2 * I;
C(LIX) = CMPLX (X, -Y);
C (LIX + 1) = CMPLX (-X, -Y);
40  CONTINUE;

```

Unde:

(X, Y) - sunt coordonatele centrului unui câmp;

MODD, MODU (fig. 5.2.5.3.) sunt distanțele de la originea axelor la colțurile din stânga sus a centrului în punctul (X, Y). Se testează dacă colțurile specificate mai sus se găsesc în interiorul cercului. Dacă DA, prin "30" se mărește pasul pe X. Dacă NU, se fixează centrul câmpului intersectat de cerc prin coordonatele (X, Y). Aceste coordonate se introduc cu semnele specificate în 4 locații ale vectorului C(l) ținând cont că există 4 câmpuri simetrice în raport cu axa Ox sau Oy. Ciclul continuă prin implementarea lui Y cu pasul DY până la terminarea acelor LIM - rânduri de câmpuri.

**e. Centrarea pauzelor de expunere în cerc**

Distanța D - dintre două pauze conform fig. 5.2.5.4. nu asigură ca centrul unei pauze să se găsească în centrul unui câmp:

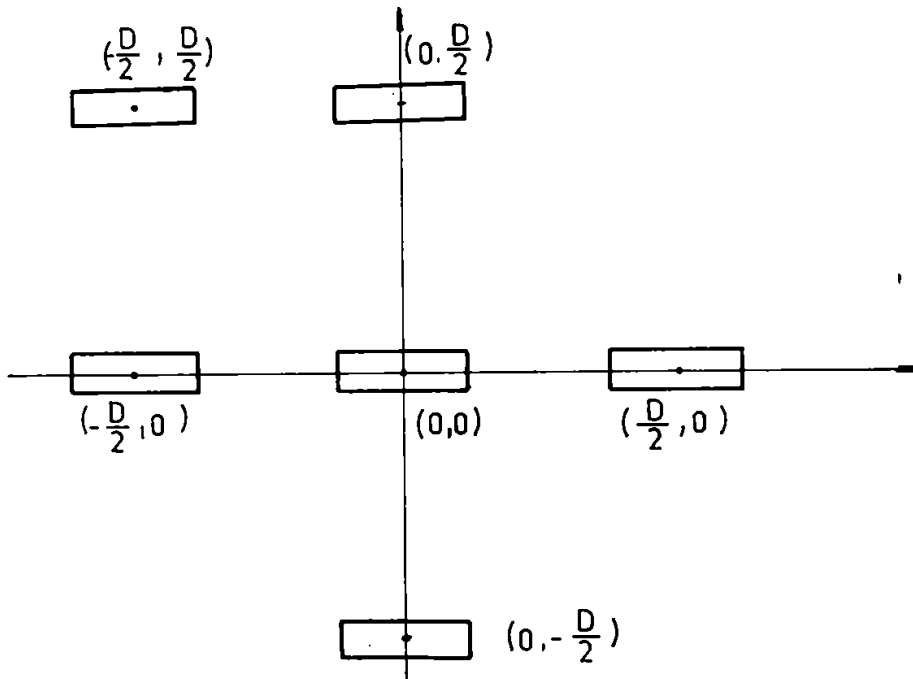


Fig. 5.2.5.4.

Pentru aceasta distanța D se modifică pe axa Ox și Oy până la centrul cel mai apropiat de câmp.

$$DTX = \text{INT} \left( \frac{D - DX}{2 \cdot DX} \right) \times DX + DX;$$

$$DTY = \text{INT} \left( \frac{D - DY}{2 \cdot DY} \right) \times DY + DY;$$

Ca exemplu putem avea următoarea situație înainte și după corectarea lui D. (fig. 5.2.5.5. și fig. 5.2.5.6.)

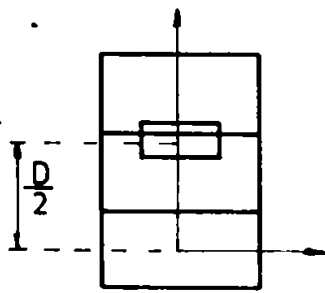


Fig. 5.2.5.5.

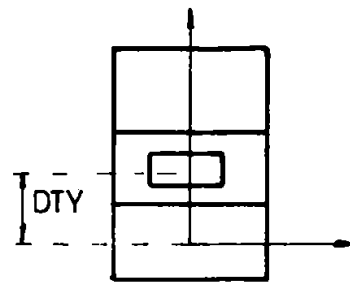


Fig. 5.2.5.6.

**f. Dimensiunile pauzelor în programul "CERC" (fig. 5.2.5.7.)**

Conform ipotezei dimensiunilor unei pauze trebuie să cuprindă un număr întreg de dimensiuni ale unui câmp.

Dacă,

$DX$  ;  $TX$ ;  $(2n - 1) DX$ , se pune  $TX = (2n - 1) DX$ ; porțiunea din program care corectează aceste dimensiuni este următoarea:

```

I = 0;
50 I = I + 1;
FL = 2I - 1;
IF [TX GT (FL * DX) GO TO 50];

```

$NGX = 2 * I - 1$ ;

astfel că după corectarea acestor dimensiuni avem:

$TX = NGX * DX$ ;

$T TX = NGX * DX$ ;

$TY = NGY * DY$ ;

Putem avea următoarea situație înainte și după corectare:

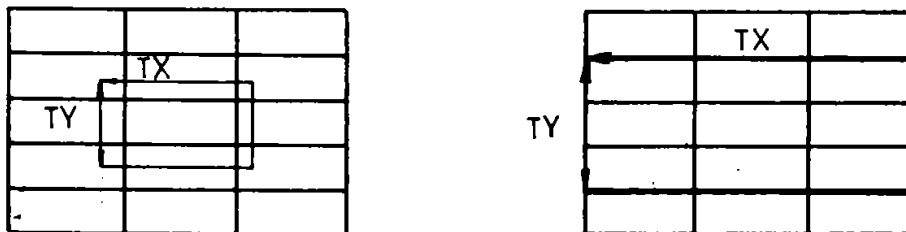


Fig 5.2.5.7.

**g. Determinarea pauzelor**

Ultima parte a programului constă în determinarea centrelor pauzelor și în introducerea coordonatelor acestor centre în locațiile vectorului  $C(l)$ .

Astfel că structura acestui vector se schimbă deoarece între două puncte extreme pot interveni centrele unor pauze unde nu se face expunere.

Un rând fără pauze arată astfel (fig. 5.2.5.8.):

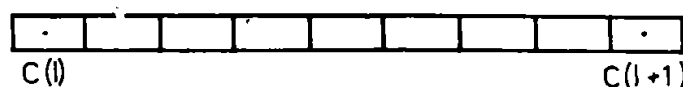


Fig. 5.2.5.8.

Dacă în acest rând se introduc două pauze, componentele vectorului  $C(l)$  se modifică astfel (fig. 5.2.5.9.):

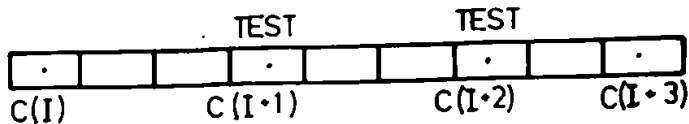


Fig. 5.2.5.9.

#### h. Program pentru determinarea expunerii optime

##### Banda perforată pentru testul de expunere codul E1A - 8B.

Pentru determinarea expunerii optime este necesar un test de expunere în cadrul căruia să se facă un șir de expuneri cu cantitatea de lumină variabilă în trepte: se recomandă ca treptele să aibă diferențe de 5% de la câmp la câmp.

Când cantitatea de lumină trebuie să varieze de la  $s_0$  la  $s_k$  se obține:

$$S_n = S_0 \times 1,05^n, \text{ cu } n = 0, 1, 2, \dots, k;$$

$$S_k = S_0 \times 1,05^k$$

$$K = \frac{\log S_1 / S_0}{\log 1,05}, \text{ } k = \text{se rotunjește la un număr întreg};$$

Sunt necesare  $K + 1$  câmpuri.

Pista de prindere 10 cm.

IRR de 10 ori.

WR

Z 0000	S 0500	x 3620	y 2810	WR
	S 0520	y 3520	WR	
	S 0550	y 4230	WR	
	S 0580	y 4940	WR	
	S 0610	y 5650	WR	
	S 0640	y 6360	WR	
	S 0670	y 7070	WR	
	S 0700	y 7780	WR	
	S 0740	y 4310	WR	
	S 0780	y 7070	WR	
	S 0810	y 6360	WR	
	S 0900	y 4940	WR	
	S 0990	y 3520	WR	
	S 1040	y 5000	WR	
	S 1090	y 5000	WR	
	S 1150	y 3520	WR	
	S 1200	y 4230	WR	
	S 1260	y 4940	WR	
	S 1330	y 5650	WR	
	S 1390	y 6360	WR	
	S 1460	y 7070	WR	
	S 1540	y 7780	WR	
Z 400	x 5000	y 0000	WR	
STOP				

OBSERVAȚIE: La valoarea pentru S contează doar primele trei poziții zecimale.

Valorile  $S_n$  pentru calcul sunt rotunjite corespunzător.

#### i. Exemplu de program

Banda perforată pentru alinierea cu expunerea liberă a câmpurilor.

Cod E1A 8B

pista de prindere 10 cm.

IRR de 10 ori

WR

Z 2001	x 2240	y 3520	Dy 0710	$x_L$ 2240	$Y_L$	WR
Z 2802	x 1550	Dx 0690	$x_L$ 2930	$y_L$ 7780	WR	

Z 2003	y - 0710	y <sub>L</sub> 3520	WR			
Z 2804	x 1550	y 4230	x <sub>L</sub> 3620	y <sub>L</sub> 2100	WR	
Z 2005	x 710	y <sub>L</sub> 7780	WR			
Z 0806	y 8490	WR				
Z 0807	x 4310	WR				
Z 2008	y - 0710	x <sub>L</sub> 4310		y <sub>L</sub> 2810		
Z 0809	y 2100	WR				
Z 0810	x 5000	WR				
Z 2011	y 8420	WR				
Z 0812	y 8490	WR				
Z 0813	x 5690	WR				
Z 2014	y - 0710	x 5690		y <sub>L</sub> 2810		
Z 0815	y 2100	WR				
Z 0816	x 6380	WR				
Z 2017	y 0710	x <sub>L</sub> 6380	y <sub>L</sub> 7780	WR		
Z 2818	x 5690	y 9200	y - 0710	x <sub>L</sub> 7070	y <sub>L</sub> 7780	WR
Z 2079	y <sub>L</sub> 3520	WR				
Z 2820	x 6380	y 2100	y 0710	x <sub>L</sub> 7760	y <sub>L</sub> 3520	WR
Z 2021	y <sub>L</sub> 6360	WR				
Z 0822	y 7070	WR				
Z 4423	x 5000	y 0000	WR			
IRR						

Pista de prindere circa 10 cm.

### 5.3. Efectuarea cercetărilor de proces

#### 5.3.1. Principalele cercetări asupra procesului tehnologic

Au fost efectuate o serie de cercetări de proces /52/ 53/, variații de la procesul standard indicat de fabricantul măștilor metalice utilizate în industria electronică (semiconductorilor), precum și în încercări de procese noi, nespecificate.

Principalele cercetări asupra procesului tehnologic sunt prezentate în continuare:

##### a. Alegerea timpului optim de expunere

S-a constatat că acest timp diferă în raport de 10:1 de cel indicat de firma furnizoare a fotorezistului și în raport de 1,5... 2:1 în funcție de "vârsta" lămpii de expunere.

De asemenea, s-a stabilit că variații ale timpului de expunere sunt datorate și dimensiunilor geometrice ale configurației de reproduc.

##### b. Parametrii procesului de dezvoltare a fotorezistului (timp și temperatură)

S-a stabilit că procesul cel mai bun este cel indicat de fabricant. Orice variație conducând la obținerea unei măști de fotorezist care nu rezistă la corodarea ulterioară a cromului.

După efectuarea acestui tratament se face un control foarte riguros care indică dacă procesul a fost corect făcut sau nu.

##### c. Corodarea stratului de crom

S-au făcut o serie de încercări în vederea înlocuirii agentului de înmuiere a plăcilor înainte de corodare, întrucât nu se dispune de cantități suficiente.

S-au făcut de asemenea încercări de corodare de 3 tipuri de soluții de corodare, având viteză de corodare cuprinsă între 4,2 Å/sec și 33 Å/sec.

S-a determinat în același timp, timpul de viață al soluției de corodare (număr de plăci corodate / litru de soluție).

S-au făcut încercări de dezvoltare și corodare cu diverse moduri de agitare, utilizându-se și ultrasunetele, stabilizându-se un mod de agitare care să nu producă exfolierea stratului de fotorezist sau de crom.

##### d. Îndepărtarea măștii de fotorezist

S-au făcut de asemenea diverse încercări privind soluția de îndepărtare și timpul optim.

S-a găsit că soluția produsă de firma furnizoare și a cărei rețetă nu se cunoaște, asigură cele mai bune rezultate.

Spălarea finală este deosebit de importantă în vederea obținerii unor măști de cea mai bună calitate.

S-a constatat că în lipsa unui sistem de filtrare a apei deionizate cu filtru cu porozitatea de 0,25 μm este necesară o spălare cu alcool metilic c.d.

În urma cercetărilor efectuate s-au stabilit pentru parametrii procesului tehnologic următoarele valori:

- expunereh fotorezist: 180 sec;
- dezvoltare fotorezist: 45 sec. la 20°C cu agitare normală;
- spălare în apă deionizată: 60 sec. la 20°C;
- uscare mască fotorezist: 10 min. în hotă, cu flux laminar;
- tratament termic după spălarea cu metil-etil-cetonă: 30 min la 150°;
- tratament termic după dezvoltare: 15 min la 80°C;
- înmuiere în AGEPON: 30 sec. la 20°C;
- corodare crom: 45 sec. la 20°C;
- spălare în apă deionizată: 30 min. la 20°C;
- îndepărtare mască fotorezist: 300 sec. la 20°C;
- spălare în apă deionizată: 30 min la 20°C;
- spălare în alcool metilic, concentrație 91,99%: 60 sec. la 20°C.

Procesul a fost verificat și definitivat din punct de vedere al reproductibilității pe 1000 discuri incrementale cu 1000 diviziuni.

#### e. Condiții de mediu și dotare cu utilaje pentru fabricația discurilor și riglelor incrementale

În urma cercetărilor efectuate care au condus la stabilirea unor valori optime pentru procesul tehnologic, s-au precizat și condițiile de mediu și de utilaje necesare unei reproduceri optime a rezultatelor obținute.

Ținând cont de cele de mai sus se impun următoarele:

- existența unor camere speciale de procesare, având temperatura controlată la  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  și umiditate controlată la o valoare maximă de  $40\% \pm 5\%$ , extrem de important pentru aderența măștii de fotorezist pe stratul de crom;
- băi speciale de procesare, termostactice la  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  cu cuve speciale, cu posibilități de barbotare a soluțiilor cu azot.

### 5.3.2. Realizarea programelor de desenare și tăiere automată a măștilor

Precizia deosebită cerută de realizarea măștilor necesare rețelelor incrementale liniare și rotative a impus elaborarea de programe în limbajul FORTRAN IV pentru fiecare mască în parte.

În cadrul programelor au fost folosite constante întregi, reale și în dublă precizie. Deoarece obținerea preciziei cerute este condiționată și de reprezentarea constantelor în calculatorul [VARIAN - 73] este necesară o descriere a acestei reprezentări.

#### a. Reprezentarea constantelor [ în VARIAN 73 ]

O constantă întregă este formată din una până la cinci cifre, eventual fiind asociate semnele aritmetice "plus" sau "minus". Dacă constanta nu are semn, ea este interpretată ca o valoare pozitivă.



Fig. 5.3.2.1

este  $2^{15} - 1$ , adică  $(\pm) 32.767$ .

În memorie, un întreg este memorat într-un cuvânt de 16 biți în formatul 5.3.2.1.:  
Întregul maxim, în valoare absolută admis

O constantă reală poate consta din una până la șapte cifre, virgula și un semn optimal plus sau minus.

VARIAN - 73 admite reprezentarea constantelor în virgulă flotantă, aceasta permițând acoperirea unui domeniu mult mai larg decât reprezentarea în virgulă fixă. O constantă reală reprezentată în virgulă mobilă poate fi scrisă :

$\pm m 10^c$  ;

unde: m = mantisa

c = caracteristica

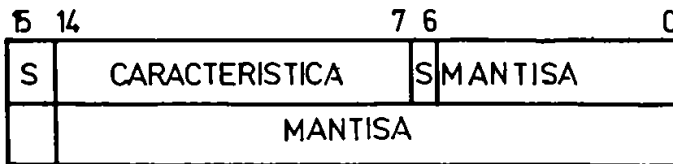


Fig. 5.3.2.2.

În memorie un număr real ocupă două cuvinte de câte 16 biți cu formatul (fig.5.3.2.2.), având:

- caracteristica - 8 biți plus bitul de semn;
- mantisa - 21 biți plus bitul de semn.

În această reprezentare constanta reală poate atinge limitele  $10^{\pm 38}$ , cu primele 6 cifre semnificative exacte. Dacă o constantă reală este dată cu cifre semnificative, mai multe decât cele permise este făcută o trunchiere și numai primele șase cifre semnificative (mantisa) și caracteristica vor fi reprezentate în memorie. În unele aplicații, trunchierea constantelor la primele șase cifre semnificative poate conduce la erori de calcul.

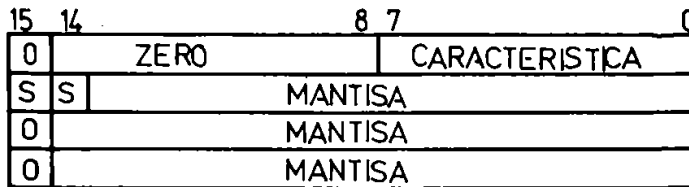


Fig. 5.3.2.3

Reprezentarea constantelor în dublă precizie mărește numărul cifrelor semnificative de la 6 la 13 cifre, prin mărirea numărului de biți ai mantisei de la 21 (în simplă precizie) la 44 în acest format (fig. 5.3.2.3):

Astfel, în dublă precizie constanta este memorată în 4 cuvinte de câte 16 biți, dublu față de scrierea în simplă precizie.

Păstrarea aceluiași număr de biți ai caracteristicii ca în reprezentarea în simplă precizie, conduce la păstrarea limitelor  $10^{\pm 38}$ .

#### b. Surse de erori și măsurile luate

Precizia solicitată (de aplicații) nu a permis utilizarea pachetelor de programe deja existente pentru generarea benzilor magnetice. Pentru obținerea acestei precizii a fost necesară studierea amănunțită a surselor de erori și luarea de măsuri în vederea minimalizării erorii finale. Sursele de erori studiate au fost: metoda, reprezentarea binară, operațiile, execuția.

Pentru a micșora eroarea metodei s-a evitat calculul coordonatelor prin cumulări succesive; pornind de la punct fix, celelalte puncte au fost obținute aplicând de k ori un pas stabilit.

Erorile datorate reprezentării binare se traduc prin erori de conversie și trunchiere. În vederea omogenizării expresiilor aritmetice și pentru minimizarea erorilor datorate reprezentării întregilor în cadrul programelor s-a utilizat conversia la real (FLØAT) și la precizia dublă (DEFLØAT).

Datorită proprietăților constructive ale calculatorului, este necesară limitarea numărului cifrelor semnificative, altfel spus, rotunjirea numerelor. Astfel apar erori de rotunjire (trunchiere).

Pentru eliminarea acestora s-a trecut la utilizarea dublei precizii. Prin măsurile de protecție luate în elaborarea programelor, eroarea finală s-a redus la eroarea mecanică a plotter-ului ( $5 \times 10^{-3}$  mm).

#### c. Descrierea programelor și tăierea automată

Programele au fost elaborate, pe baza schițelor realizate de autor și limbaj [FORTRAN IV] adaptat la calculator [VARIAN - 73]. În cazul existenței unor grupe de linii repetitive, s-au creat subrutine externe care au fost chemate în programul principal respectiv.

De asemenea, s-au luat toate măsurile pentru obținerea unei precizii cât mai bune, ca de exemplu folosirea reprezentării numerelor în dublă precizie.

În cazul rețelilor incrementale circulare, pe lângă folosirea dublei precizii, s-au utilizat coordonatele polare R și  $\theta$ .

Unghiul polar  $\theta$  este măsurat de la axa polară, considerând direcția ei pozitivă, în sensul acelor de ceasornic. Raza vectorială R poate fi atât pozitivă, cât și negativă; în primul caz ea măsoară distanța pe direcția definită de unghiul  $\theta$  și în al doilea caz pe direcția contrară.

Trecerea la coordonatele carteziane rectangulare, luând polul ca centru al axelor de coordonate și axa Ox, se obține aplicând relațiile cunoscute:

$$X = R \cos \theta;$$

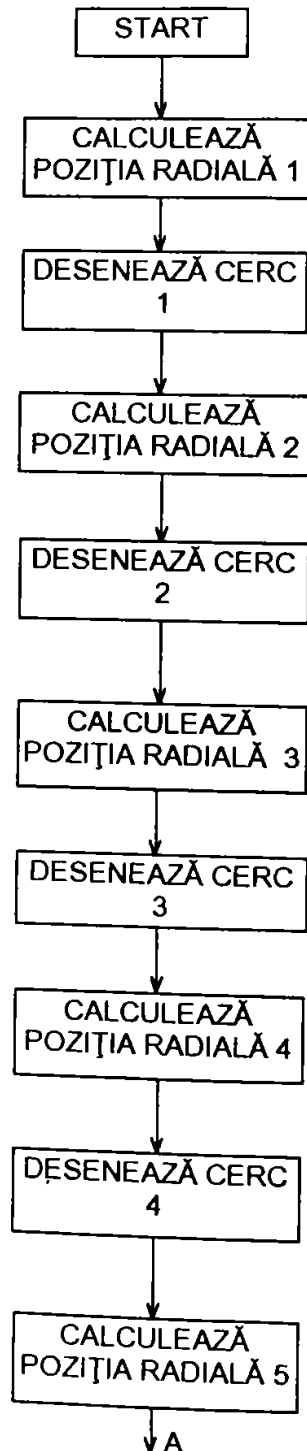
$$Y = R \sin \theta;$$

Unghiul  $\theta$  ( $0^\circ$ ,  $360^\circ$ ) a fost calculat ținând seama de parametri dați  $H$  și  $R$ , aplicând funcția trigonometrică inversă  $\text{arctg}$ , în dublă precizie ( $\text{DATAN}$ ) (fig.5.3.2.4):

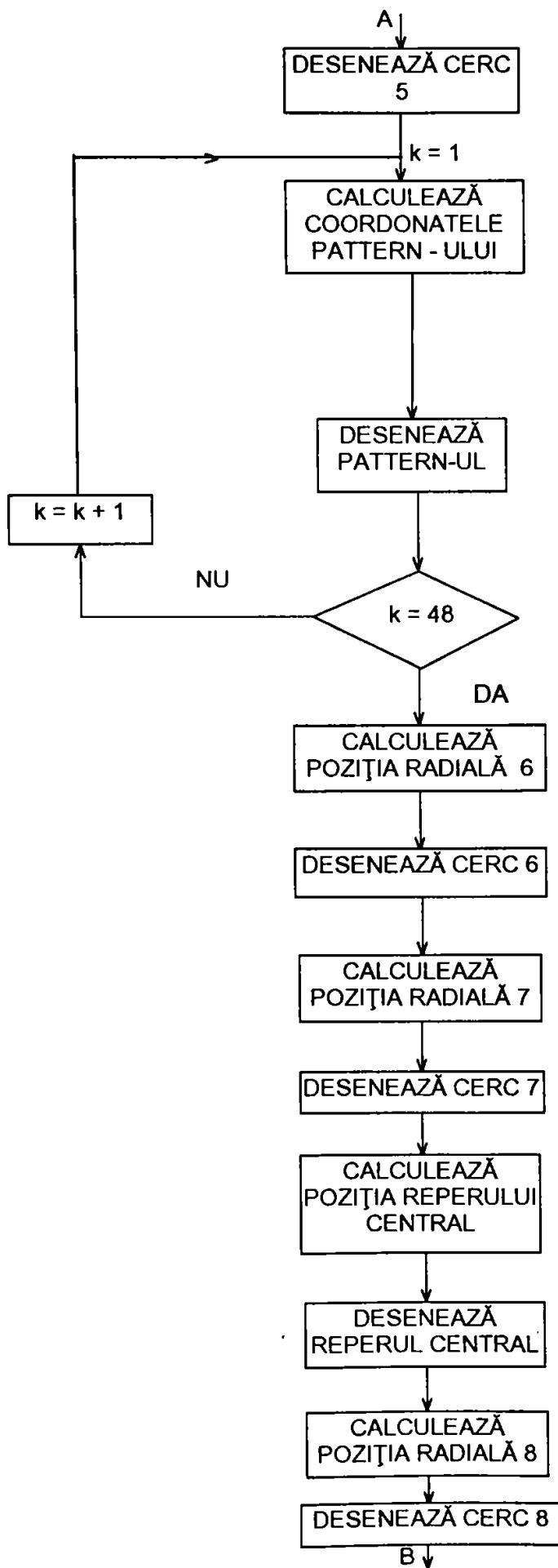
$$\theta = \text{arctg} \left[ \frac{H}{2\sqrt{R^2 - \frac{H^2}{4}}} \right];$$

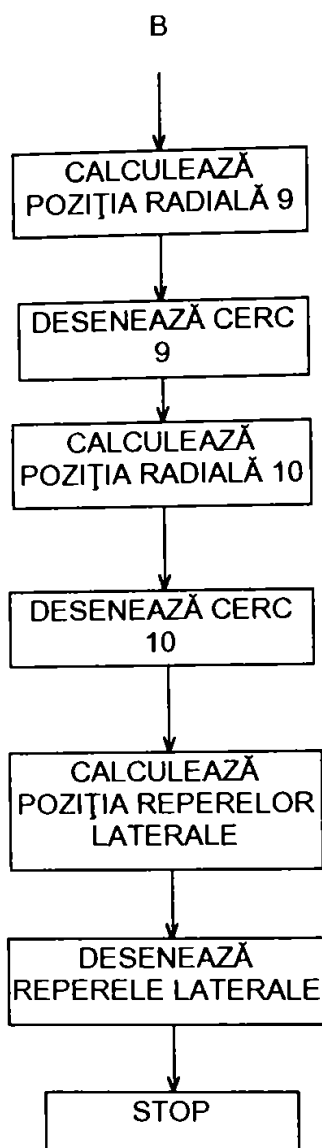
În cadrul programelor au fost apelate subrutine  $\text{CALCOMP}$ :  $\text{PLOT}$ ,  $\text{PLOTS}$ ,  $\text{FACTOR}$ ,  $\text{WHERE}$ ,  $\text{LINE}$ ,  $\text{NEWPEN}$ ,  $\text{BUFF}$ ,  $\text{CIRCL}$ .

Este prezentată organigrama programului de calcul (d) pentru rețeaua incrementală circulară de 250 diviziuni:









**d. Organigrama programelor pentru rețele incrementale circulare.**

Faza intermediară între elaborarea programelor și rularea pe calculator a constituit-o obținerea deck-ului de cartele perforate, fiind necesar un număr mare de cartele IBM.

Pentru rularea programelor pe calculator [VARIAN - 73] a fost necesar un număr considerabil de ore.

Execuția acestor programe a avut ca scop operarea benzilor magnetice.

În continuare tăierea automată pe Rubylith a măștilor s-a făcut folosind coordonatograful CLACOMP care primește informația înscrisă pe banda magnetică.

Verificarea măștilor a fost realizată prin desenarea lor pe plotter (CALCOMP 563 sau CALCOMP 7000) tot pe baza benzilor magnetice generate.

#### **e. Parametrii procesului de fabricație**

Pentru a realiza reducerea machetei de Rubylith în raportul 10...25:1, în scopul realizării măștilor originale pe fotoplăci de înaltă rezoluție, se poziționează ecranul de reducere la cota calculată a scării, iar sistemul obiectivului la cota corespunzătoare obținerii unei focalizări corecte pe mira METATRANS folosită la reglajul scării.

Clișeele foto cu substrat din sticlă optică au fost fixate în interiorul camerei fotografice prin absorbție, la o presiune de 100 torr.

Obiectivul utilizat la operația de reducere a fost tipul CERCO PHOTOREDUCTEUR 105 mm/300 linii/mm.

Iluminarea machetei de rubylith se face prin transparență cu 32 lămpi fluorescente de 63 W și 8 lămpi de 40 W.

Expunerea s-a efectuat utilizând diafragma 22, timp de 25 secunde.

Tratamentele chimice pentru plăcile foto tip MILLIMASK HD s-au efectuat la parametrii:

- dezvoltare soluție 282 C:  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{imp}} = 4,5 \text{ min}$
- stopare:  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{imp}} = 30 \text{ sec}$ ;
- fixare soluție KODAK:  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 5 \text{ min}$ ;
- spălare  $\text{H}_2\text{O D.I.}$  : = 5;  $t = 10 \text{ min}$ .

Uscarea clișeelor dezvoltate s-a efectuat în jet de aer filtrat încălzit la  $35^{\circ}\text{C}$  timp de 30 min.

#### **f. Caracterizarea măștilor master realizate**

Ținând cont de dimensiunile geometrice ale elementelor configurației măștilor de realizat, dimensiuni ce variază de la  $10 \mu\text{m}$  la  $250 \mu\text{m}$ , pentru caracterizarea lor, s-au folosit următoarele echipamente:

- proiector de profil;
- rigla optică de coincidență cu ceas comparator;
- coordinograf.

Pe proiectorul de profil s-a executat controlul măștilor de mărimea 5x, 10x și 50x.

Măsurătorile s-au executat în modul următor:

$\alpha_1$ . Măsurători pentru linii de  $10 \mu\text{m}$  și  $250 \mu\text{m}$

- se fixează masca de film pe suportul de plăci fotosensibile închidere de  $6,3 \times 6,3 \text{ mm}$ , montată pe masa micrometrică cu cursă de  $100 \text{ mm}$ ;
- se aliniaza masca cu geometria perfect paralelă cu firul reticular de pe ecranul proiectorului;
- se deplasează masa micrometrică cu mască cu tot într-un singur sens, citind indicația de pe instrumentul de măsură (se ține cont că ultimul digit reprezintă  $0,5 \mu\text{m}$ );
- se fac în acest fel minim 10 citiri, deplasând masa micrometrică pe ambele sensuri, pentru a elimina o eroare posibilă de citire;

O atenție deosebită se va acorda punerii la punct pe ecran. Pentru aceasta s-a ales mărirea 10x și 50x și folosirea ca sursă de lumină o lampă cu descărcare în vapori de mercur ( $\lambda = 400...500$ ).

$\alpha_2$ . Măsurători pentru dimensiuni maxime ale configurației, (se execută pe rigla optică de coincidență):

- se fixează masca de film în interiorul riglei de coincidență;
- se aduce reperul (din stânga) în dreptul unei diviziuni de pe riglă - de preferință în dreptul diviziunii zero;
- se face aducerea la zero a șurubului micrometric;
- se face fixarea măștii în această poziție prin prinderea cu vid;
- se deplasează masca cu ajutorul șurubului micrometric până la aducerea reperului (din dreapta) în dreptul unei diviziuni de pe riglă;
- se citește pe micrometru valoarea măsurată și se calculează dimensiunea totală.

La efectuarea măsurătorii se urmărește paralelismul între elementele geometriei de măsurat și firul reticular al riglei, pentru eliminarea erorii de paralaxă.

De asemenea, se verifică coincidența între diviziunea de pe riglă și reperul de pe mască prin folosirea unui obiectiv micrometric cu mărirea 25x și cu iluminare a câmpului optic (încorporat în riglă).

Verificarea cotelor unghiulare se efectuează pe coordinograf. Se fixează centrul configurației în centrul mesei coordinografului, punând riglele în poziția de intersecție la centru și verificând centrul cu un vârf montat în locul cuștului de tăiat.

Se rotește platanul instalației până când diviziunea zero de pe platan coincide cu diviziunea zero de pe vernier. Se deplasează vârful ascuțit la periferia elementului configurației al cărui arc de cerc vrem să-l măsurăm.

Se rotește platanul până când axul coincide cu cealaltă extremitate a arcului de cerc.

Se citește arcul de cerc de pe platan și diviziunea de coincidență de pe vernier.

Verificarea definiției imaginii, înnegrirea și gradul de acuratețe, se efectuează pe proiectorul de profil.

Definiția imaginii și înnegrirea se verifică la mărirea 10 x. Verificarea la această scară este justificată, ținând cont că masca inițială s-a desenat pe filmul de rubylith la scara 4x.

Pentru verificarea definiției, se controlează zona centrală a măștii, precum și marginile,, urmărindu-se ca zonele de trecere de la transparent la negru să nu depășească o lățime de 1  $\mu\text{m}$ . Aceasta se verifică la o mărire de 50x, ceea ce asigură o definiție foarte bună ținând cont de granulația filmului utilizat.

Innegrirea se verifică în zona centrală și pe margini, urmărind ca zonele negre să fie complet opace la lumina transmisă.

Se verifică de asemenea transparența perfectă a suportului filmului, urmărindu-se să nu apară voalul chimic rezultat dintr-o supraexpunere sau o supradevelopare.

Controlul gradului de curățenie al măștii se face pe baza normelor de control al unei măști obișnuite, controlându-se prin baleiere toată suprafața măștii și urmărindu-se zonele negre în suprafețele transparente, în suprafețele negre, întreruperi de trasee sau scurt - circuite.

#### 5.4. Cercetări privind realizarea șabloanelor master pentru rețelele fotoelectrice incrementale liniare și circulare.

##### 5.4.1. Tehnologia de realizare a șabloanelor "master" pentru riglele incrementale divizor și vernier prin fotogravare cu interferometru cu laser în infraroșu (experimentată și integrată la Institutul de Cercetări Electronice - Băneasa)

Pentru realizarea șabloanelor master pentru riglele incrementale divizor și vernier, ale traductoarelor incrementale de deplasare, se utilizează tehnologia de fotogravare a circuitelor din industria electronică a semiconducătorilor și a microelectronicii de la S.C. ICE - Băneasa, care are la

bază instalația UER-Germania, cu interferometru cu laser în infraroșu și programare pe calculator (prin bandă perforată), (fig. 5.4.1.- schema logică a programului, care a stat la baza realizării șabloanelor master).

Instalația este caracterizată de sistemul de măsurare interferometric cu laser pentru îndeplinirea celor mai mari cerințe de precizie, de focalizare automată și reglarea cantității (fascicolului) de lumină pentru realizarea unei imagini clare și regulate, de înaltă divizor și finețe a conturilor structurilor realizate, chiar la detalii foarte mici, de menținerea dimensiunilor structurale ca și cantitatea de redare a cantității în jurul câmp al șablonului, de precizie maximă a imaginilor individuale, de diferența minimă a defectului de poziție a imaginilor individuale a unei serii de șablonuri (ori cizi d suprapuneru) etc.

Etapele procesului tehnologic de realizare a șabloanelor master, se desfășoară după cum urmează:

- montarea aparatului, alcătuit din dispozitivul de bază, componenta electronică de comandă și componenta de alimentare;
- termostatarea spațiului unde se execută șablonul;
- alegerea programului pentru reglarea deplasărilor mesei și a

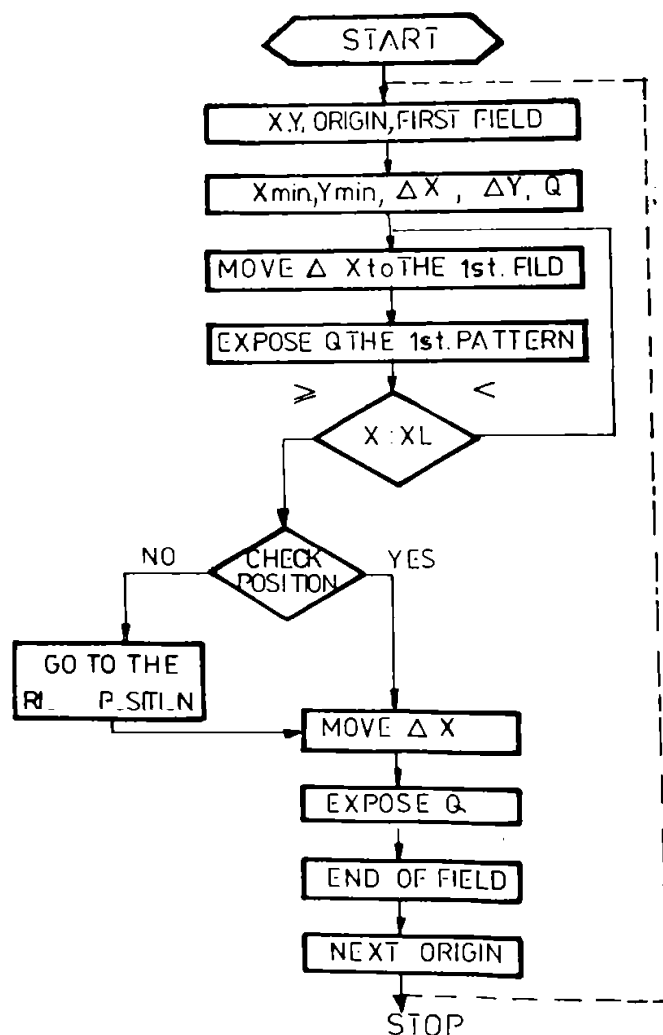


Fig. 5.4.1.

expunerii razei laser în infraroșu;

- introducerea de date (fie manual, fie automat);
- de la introducerea de date prin benzi perforate, se face verificarea parității și erorii în lungimea cuvintelor;
- verificarea conținutului programului;
- prelucrarea programului;
- efectuarea deplasărilor în coordonate, cu un increment minim de  $0,1 \mu\text{m}$  și punct de zero fix reproductibil de  $\pm 0,2 \mu\text{m}$ , ce va constitui de fapt punctul de referință pentru sistemul de măsurare;

- reglarea câmpului imaginii și compensarea erorilor de poziție a imaginilor de testare;
- focalizarea ce asigură distanța de siguranță față de marginea plăcii foto și totodată lățimea de  $1,5; 10$  sau  $20 \mu\text{m}$  pentru fascicolul luminos;
- utilizarea deplină a câmpului imagine prin introducerea de șabloane intermediare;
- introducerea plăcii de înaltă rezoluție, în vederea realizării șablonului master;
- efectuarea desfășurării programului automat cu o reproductibilitate a poziționării de  $\pm 0,1 \mu\text{m}$ , o abatere de la ortogonalitate de  $1,2''$ , cu o productivitate de  $20$  iluminări/ minut;
- trasarea prin tehnologie foto, a plăcii de înaltă rezoluție astfel impresionată;
- controlul geometriei rețelei incrementale prin aparatură optico-mecanică de înaltă precizie.

Aceeași tehnologie se aplică și la realizarea șabloanelor master pentru riglele incrementale vernier, unde trebuie să se țină seama de decalarea precisă a ferestrelor vernier, de marcă de referință și de distribuția rețelelor incrementale prin pasul incremental impus.

Controlul geometriei rețelei incrementale a riglei vernier trebuie făcut în întregime, să verifice prin măsurare, zonele transparente și opace, pasul incremental pe toate lungimile, înălțimile incrementelor, geometria unei zone opace sau transparente, (care trebuie să nu prezinte franjuri pe contur sau alte defecte) și opacitatea zonelor întunecate (care trebuie să nu prezinte găuri, întreruperi etc).

#### **5.4.2. Flux tehnologic (etape principale) pentru realizarea măștilor rețelelor incrementale liniare și circulare, prin două metode de generare (linia I și linia II)**

##### **1.1 Pregătire generare machetă.**

Se desenează geometria rețelei (sau o linie/grupare de linii din rețea) pe folie milimetrică cu suport poliester având precizia  $1 \text{ mm} / 1000 \text{ m}$

##### **2.I. Generare machetă rbylith**

Se taie manual configurația desenată cu instalația de desenat în coordonate Mutoh PR 12 - pe material exfoliabil rbylith. Machetă la scara  $10 \div 25 \times$

##### **2.II. Scriere programe de generare automată**

Programe pentru calculator [VARIAN V-73].

3.I

##### **3.II. Generare bandă magnetică pentru tăiere automată**

Bandă în configurație 9 piste 800 bpi.

4.I.

##### **4.II. Generare machetă rbylith**

Se taie automat întreaga configurație cu instalația de desenat automată (CALCOMP 7000) pe material exfoliabil rbylith Machetă la scara  $100 \div 200 \times$ .

#### **4'.I. Exfoliere machetă rbylith**

Se obțin pe machetă regiuni opace și transparente

#### **5.I. Control dimensional machetă**

Măsurare pe rigla de coincidență a dimensiunilor maxime și cu ocular micrometric 40x a dimensiunilor minime.

#### **6.I. Pregătire reducere**

Curățire machetă.  
Curățire ecran instalație de reducere  
Etalonare scară reducere la precizia 0,1%.  
Stabilire expunere optimă pentru control dimensional și toleranță 10%.

#### **7.I. Reducere machetă rbylith**

(execuție reticul)  
Se execută pe instalația Mikronica E, la scara  $10 \div 20:1$ .  
Reticulul se obține pe fotoplăci de înaltă rezoluție Millimask HD de 63 x 63 mm.

#### **8.I. Procesre fotochimică**

Prelucrare fotochimică a plăcilor prin developare.  
- spălare - fixare - spălare - uscare

#### **9.I. Control fotomască original**

Control defecte.  
Control expunere - înnegrire pentru densitate de înnegrire 745.  
Control dimensional în toleranță 10%.  
Control scară reducere în precizie de 0,1%.

#### **10.I. Pregătirea multiplicării**

Se pregătește copierea originalului pe fotomască având substrat sticlă acoperit cu strat de crom și rășină fotosensibilă tip fotorezist.

#### **11.I. Generare mască rețea**

Se copiază (multiplică) originalul rezultat în urma operațiilor 1.I  $\div$  10.I, prin contact direct între original și placa cu strat de crom, pe instalația de copiere - DWM 2300 A - în lumină UV,  $\lambda = 4360\text{Å}$ .

#### **4'.II. Exfoliere machetă rbylith**

Idem cu 4'.I.

#### **5.II. Control dimensional**

Idem cu 5.I.

#### **6.II. Pregătire reducere**

Idem cu 6.I.

#### **7.II. Reducere machetă**

Idem 7.I.  
Scara de reducere  $10 \div 20 :1$ .  
Fotoplăcile de înaltă rezoluție Millimask HD de 100 x 100 mm

#### **8.II. Procesare fotochimică**

Idem 8.I.

#### **9.II. Control fotomască reticul**

Idem cu 9.I.

#### **10.II Aliniere reticul**

Se aliniază reticulul pe microscopul de aliniere, cu deplasări  $x/ y/ \theta$  pentru operația de fotocompoziție

#### **11.II. Pregătire fotocompoziție**

Reglaj uniformitate intensitate luminoasă în limita  $\pm 5\%$ .  
Verificare planitate fotoplacă prin baleierea suprafeței.

**12.I. Procesare chimică mască rețea**  
(vezi fluxul tehnologic de la realizarea rețelelor, etapele de prelucrare chimică).

**13.I. Control mască**

Se controlează masca ce se va folosi ca "original" pentru multiplicarea rețelelor incrementale pe discurile de sticlă cromate (rețele circulare) sau pe plăci rectangulare cromate (rețele liniare).

Controlul se face pentru:

- număr și dimensiuni defecte ;
- definiția marginilor și colțurilor;
- dimensiuni în toleranță 10%.

**14.I - Urmează Fluxul tehnologic pentru realizarea Rețelelor incrementale**

**12.II. Scriere programe de fotocompoziție în cod mașină**

Se scriu programele de fotocompoziție, pe bandă perforată, cu ajutorul calculatorului IBM-PC utilizând subrutine și subprograme tipice de poziționare și expunere.

**13.II. Verificare programe**

Se "citesc" programele de pe banda perforată pe minicalculatorul instalației UER pentru detectarea erorilor de coordonate, de expunere și de continuitate a fotocompoziției.

**14.II. Generare mască rețea originală**

Fotocompoziția pe instalația UER, cu expunere în lumină UV de 4360 Å, cu precizia de poziționare de  $\pm 0,15 \mu\text{m}$ .

**15.II. Procesare fotochimică**

Idem 8.I

**16. II. Control mască original**

Idem 9.I.

**17. II. Pregătire multiplicare**

Idem 10.I.

**18. II. Generare mască rețea**

Idem 11.I

**19. II. Procesare chimică mască**

Idem 12.I.

**20.II. Control mască rețea**

Idem 13.I

**21.II. - Urmează Fluxul Tehnologic realizare rețele incrementale**

Exemplu de măști master/ șablon/ elemente de lucru fotoelectrice incrementale  
divizor și vernier realizate pe tehnologia de la Institutul de Cercetări Electronice - Băneasa  
(fig. 5.2.):

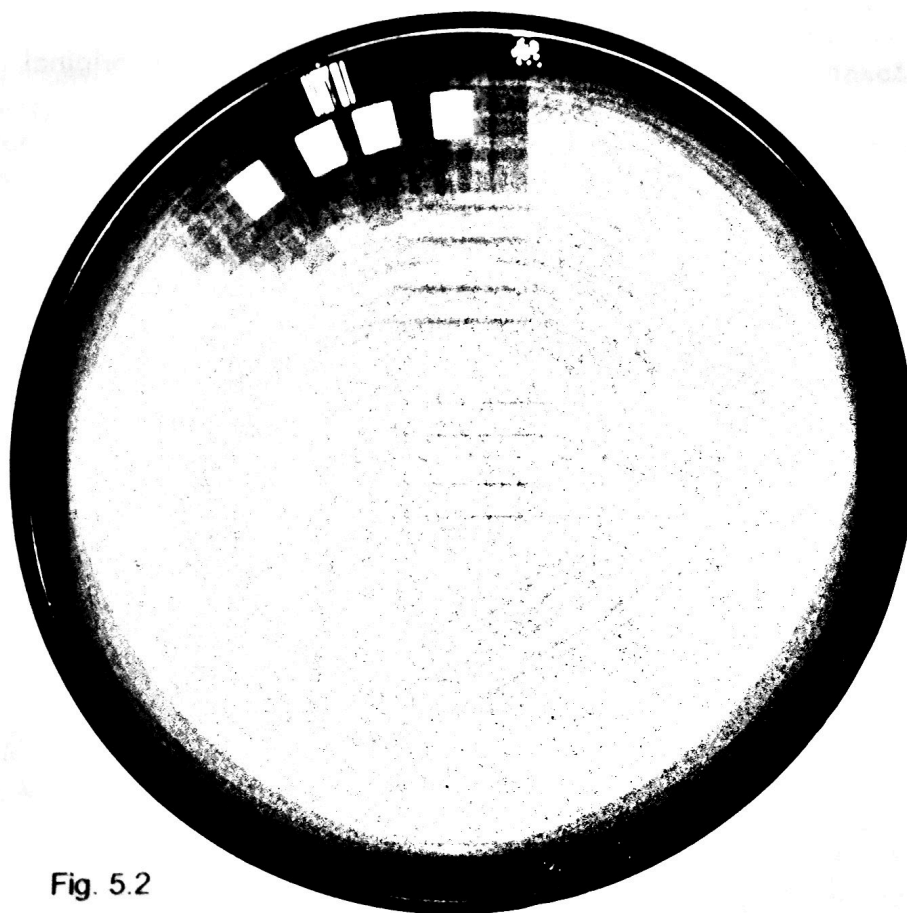
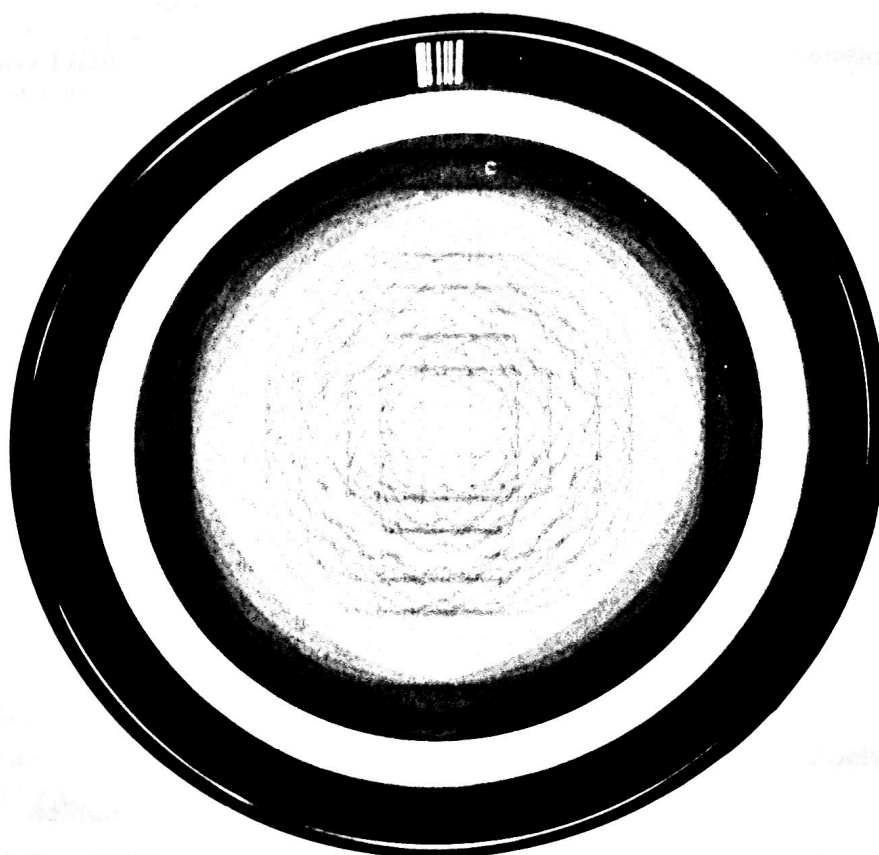


Fig. 5.2



## **5.5.Cercetări privind realizarea elementelor de lucru pentru rețelele incrementale liniare și circulare**

### **5.5.1 Tehnologia de execuție a discurilor incrementale divizor și vernier de la traductoarele, incrementale de poziție, experimentată la S.C.I.O.R. București.**

Pentru realizarea traductoarelor incrementale de rotație, un rol important îl au discurile incrementale divizor și vernier și anume divizarea acestora de la 50 până la 3600 incremente / rotație, acuratețea rețelei incrementale printr-o geometrie de contur și suprafață de înaltă precizie, concentricitatea rețelelor incrementale circulare pe discurile optice cu cercul de control și diametrul alezajului de prindere al acestora și divizarea fără eroare (cu pas unghiular constant) a zonelor circulare active. Pentru execuția și realizarea acestor caracteristici tehnice deosebite a discurilor divizor și vernier, se arată procesul tehnologic de execuție /46/ 52/ 53/, care a stat de altfel la baza realizării discurilor incrementale cu 1000 ÷ 3600 incremente pe circumferință.

#### **a. Materiale de bază și auxiliare**

Ca material de bază, pentru realizarea discurilor incrementale divizor și vernier, se utilizează: sticlă optică românească CSI-1641-77, cod calitate 10, prelucrată mecanic, conform cu documentația tehnică elaborată în acest sens și acoperită cu un strat de crom pe suprafața activă (crom granule tip "Palzers").

Ca materiale auxiliare, pentru divizarea incrementală prin fotolitografiere, sunt utilizate următoarele:

- rășină (fotorezist) Kodak - Microrezist 747 - Eastmon Kodak Company - SUA; • developer - Kodak - SUA; • thinner - Kodak - SUA; • spirt rafinat (petroleum) STAS 44 -67; • ortoxilen n.T. 13581 - 68 - S.C. I.C. Dudești - București; • nitrolac L002 - 1 - N.I. 306-72 - S.C.Policolor București; • alcool etilic absolut N.I. 949 -61 - S.C. Reactivul București; • fenicianural de potasiu - Merok - Germania; • Kalium hydroxy - R. Cehă; • vată medicinală STAS 3311-66; • finet STAS 624 -76.

#### **b. Utilaje de bază**

Pentru desfășurarea procesului tehnologic de fotolitografiere a discurilor incrementale, sunt utilizate următoarele utilaje:

- nișă cu flux laminar; • ramă de copiat cu vid; • lampă cu vapori; • centrifugă de laborator; • microscop de măsurare tip Leitz - Germania; • baie pentru prelucrarea materialelor fotosensibile.

#### **c. Dispozitive și accesorii**

În vederea desfășurării în bune condițiuni a procesului tehnologic, sunt utilizate și următoarele dispozitive și accesorii:

- dispozitive de prindere în centrifuge de laborator; • tăvi PVC tip foto; • seringă de uz medicinal de 10 cm<sup>3</sup> - STAS 3346-69; • pară; • ceas semnalizator de laborator tip KZW 1500 (1-60 minute); • cronometru; • termometru (20° -100° C); • ace de retuș.

#### **d. Executarea clișeului**

Executarea clișeului presupune realizarea atât de clișeu etalon cât și clișeu de lucru (fig. 5.5.1.1.) în condiții de laborator.

Clișeul etalon se obține prin copiere cu șablonul master, original, pe plăci fotografice de înaltă rezoluție AGFA- MILLIMASK, iar clișeul de lucru se obține prin fotolitografiere în strat de crom depus pe un suport din sticlă optică.

În cazul când șablonul master original este executat la o scară mai mare față de dimensiunile reale, se utilizează aparatul pentru reducerea de înaltă rezoluție tip Klimasch, după care se obține clișeul etalon.

#### **e. Pregătirea suprafeței discurilor de sticlă optică pentru acoperirea cu fotorezist.**

Discurile optice sunt acoperite pe o suprafață cu un strat de crom depus în vid, conform N.I. IOR - nr. 1896-79 tip B, strat care trebuie să aibă o transmisie cuprinsă între 0,3 - 1%.

Suprafața cromată a discurilor este ștearsă bine cu alcool etilic absolut, iar controlul stării de curățire se face prin aburire, în nișe cu flux laminar.

#### **f. Depunerea fotorezistului pe discurile optice cromate**

Discurile optice după operația de curățire sunt așezate în dispozitivul de prindere pe centrifuga de laborator, cu suprafața cromată liberă și se asigură bazarea și strângerea.

După aceea, se acționează comutatorul de turații pe treapta a 4-a cu 3000 rot/min și se așteaptă aproximativ 1 minut pentru ca centrifuga să atingă turația maximă.

Fotorezistul se depune prin intermediul unei seringi de 10 cm<sup>3</sup>, astfel ca poziționarea acului seringii să fie aproximativ 1 - 2 mm depărtare de marginea alezajului discului centrat și la o înălțime de aproximativ 5 mm deasupra suprafeței cromate a discului. Când discul optic atinge turația maximă de 3000 rot/min, se apasă pe pistonul seringii cu degetul mare și, în același timp, se face și o deplasare radială a vârfului acului seringii spre marginea exterioară a discului, asigurându-se prin apăsarea pistonului seringii un jet continuu și uniform de fotorezist până se depășește suprafața discului.

Din acest moment se mărește treptat viteza de centrifugare până la 5000 rot/min și se lasă să se usuce stratul de fotorezist timp de aproximativ 60-90 secunde. Soluția de fotorezist cu care se acoperă stratul de crom depus pe discul optic, are următoarea compoziție: 1 parte fotorezist Kodak -

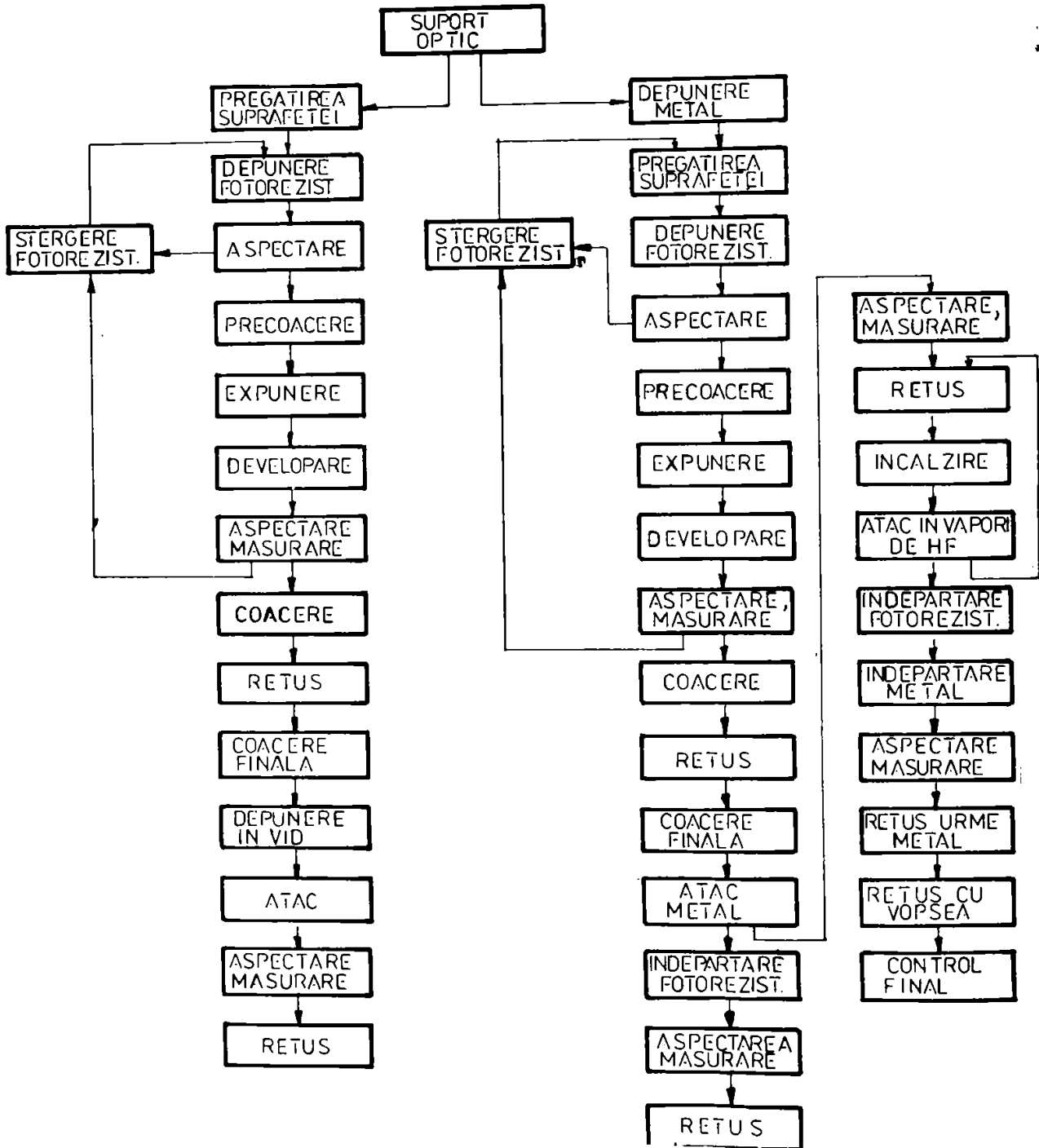


Fig. 5.5.1.1.

Microrezist 747 și 1 parte thinner - Kodak.

Discul optic acoperit trebuie să prezinte un strat uniform și fără defecte. Controlul stratului de fotorezist se face prin aspectare cu lupa de măsurare (6x, 10x). În cazul că stratul prezintă defecte, se șterge cu xilen până la înlăturarea completă a fotorezistului și se reiau operațiile tehnologice de la capăt.

#### **g. Uscarea fotorezistului**

Discurile optice astfel obținute cu strat de fotorezist, se introduc pentru uscare în etuve, la o temperatură de circa 60°. După un timp de 20-25 minute, discurile optice se scot din etuvă și se lasă să se răcească în nișa cu flux laminar, la temperatura camerei.

#### **h. Expunere**

În vederea efectuării operației de expunere, trebuie ca discul optic cu fotorezist și clișeu de lucru să fie controlate cu lupa de măsurare în nișa cu flux laminar și numai dacă ambele sunt curate și dovedesc o acuratețe bună, se trece la operația de expunere.

Pentru operația de expunere propriu-zisă, discul optic cu fotorezist se bazează peste clișeu de lucru, această bazare făcându-se pe diametrul alezajului, după ce în prealabil a fost lipit un inel de centrare pe clișeu de lucru.

Astfel subansamblul disc optic - clișeu de lucru, se așează în rama cu vid.

După crearea vidului de la o pompă cu vid timp de 60 secunde, se face expunerea sub acțiunea unei lămpi cu vapori de mercur timp de 90 secunde.

#### **i. Developare**

Discul optic cu suprafața expusă, se bazează pe dispozitivul de prindere din centrifuga de laborator, în același mod în care s-a depus fotorezistul.

După fixare, pe suprafața discului optic expus, cu ajutorul unei seringi se picură petrolum până ce se acoperă întreaga suprafața a discului.

Se lasă să se înmoaie fotorezistul timp de 1 minut, apoi se pomește centrifuga de laborator, la o turație de 2000 rot/min și se pompează 10 cm<sup>3</sup> petrolum cu ajutorul unei seringi.

În momentul în care începe marcarea suprafeței, se mărește treptat turația până la 4000 rot/min. Se continuă centrifugarea timp de 1 minut la această turație.

După developarea discurilor optice se supun unui control riguros cu ajutorul unei lupe de măsurare și al microscopului de laborator, urmărindu-se aspectarea stării rețelei incrementale, dar mai ales geometria rețelei incrementale care trebuie să corespundă dimensiunilor din documentația tehnică.

#### **j. Coacerea**

Dacă discurile incrementale obținute corespund calității propuse (conform documentației tehnice) se introduc în etuvă la temperatura de 80-90°C. După un timp de 10 minute se întrerupe încălzirea etuvei și se lasă discurile optice incrementale să se răcească ( în etuvă) la temperatura camerei.

#### **k. Atacul stratului de crom**

Discurile optice incrementale astfel obținute, se aspectează din nou din punct de vedere al calității și, dacă este cazul se retușează defectele care apar.

Deasemenea se protejează cu fotorezist nediluat zonele fără gravaj care trebuie să rămână acoperite cu crom după atac.

După retușare, discurile optice se introduc în etuvă pentru uscarea rășinii. Uscarea se face la 80 - 90°C timp de 10-15 minute.

După răcire, discurile optice se introduc în soluția de atac a cromului care are următoarea compoziție:

- feniciamină de potasiu (15 grame),;
- hidroxid de potasiu (de sodiu) (7 grame), apă distilată (100)ml.

Atacul cromului durează aproximativ 15-20 minute. În momentul în care se disting semnele incrementale se întrerupe atacul, discul se spală cu apă și se aspectează cu lupa de măsurare.

Apoi se face o verificare a cotelor cu ajutorul microscopului de laborator. Se continuă atacul până când semnele ating cotele cerute de documentația tehnică.

Ca o observație, trebuie subliniat că operația de atac se execută sub supraveghere și verificare continuă pentru a întrerupe atacul în momentul atingerii cotelor finale.

### I. Operații de retuș

Operațiile de retuș se execută în diferite faze ale procesului tehnologic, după cum urmează:

a. După operația de dezvoltare sau de coacere dacă se observă puncte de rășină care sunt situate între semne (incremente) sau foarte aproape de ele, acestea se înlătură prin zgâriere cu ajutorul unui ac de retuș din bambus sau alamă;

b. În timpul operației de atac, dacă se observă puncte de crom în afara zonei cu semne (incremente). În acest caz se întrerupe atacul, discul se spală cu apă, se usucă în curent de aer dat de para de cauciuc și, cu ajutorul unui ac de retuș, se înlătură rășina care protejează aceste puncte. După această operație se întrerupe atacul;

c. După terminarea atacului și înlăturarea fotorezistului de pe piesă. În acest caz pot apărea puncte de crom între semnele gravajului și în apropierea lor sau în zone care nu conțin semne. Pentru cazul în care apar puncte de crom între semne sau apropierea lor, operația de retuș se execută astfel: discul optic se acoperă cu rășină nediluată pe întreaga suprafață și apoi se usucă în etuvă la 90- 120 °C, timp de 20-30 minute.

După răcire se aspectează discul optic în lumina reflectată cu ajutorul lupei de măsurare (6x; 10x) sau cu microscopul de laborator, punctele de crom rămase devin ușor vizibile în reflexie. Cu ajutorul unui ac de retuș se înlătură rășina de pe punctele de crom și apoi se picură soluție de atac în aceste zone; punctele de crom sunt astfel dizolvate.

Dacă există puncte de crom în zone îndepărtate de semne (incremente) acestea se dizolvă local cu picături mici de soluție de atac, fără să se mai protejeze întreaga suprafață a discului.

După operația de retuș discurile optice se spală bine cu apă, alcool etilic absolut, xilen (dacă este cazul) și se ambalează în foiță subțire.

### m. Condiții tehnice

Discurile incrementale divizor și vernier astfel executate, trebuie să îndeplinească următoarele condiții tehnice:

- stratul de crom depus în vid trebuie să nu prezinte străpungeri vizibile (cu lupa 6x; 10x) și să aibă transmisia cuprinsă între 0,3%- 1%;
- gravajul incremental (de pe ambele discuri) trebuie să aibă o concentricitate ridicată față de diametrul alezajului (max. 0,05 mm);
- lățimea unei fante opace sau transparente să corespundă pasului unghiular de divizare, conform documentației tehnice;
- geometria gravajului incremental divizor și vernier să corespundă gravajului incremental de pe discul de lucru;
- stratul de crom trebuie să se dizolve uniform și complet într-o soluție de atac proaspătă, preparată în timp de aproximativ 20 minute;

• lățimea unei fante opace sau transparente se măsoară ca medie aritmetică  $\frac{5a + 6b}{10}$ , a 10 fante consecutive de pe pista incrementală (pentru discul divizor măsurătoarea se face în 4 zone decalate la 90°, iar pentru discul vernier măsurătoarea se face în zona cu ferestre incrementale);

• execuția incrementală, necesită aproximativ 100 minute, de la pregătirea suprafeței discurilor optice la retușul final.

În fig. 5.5.1.2. sunt redăte toate fazele tehnologice pentru obținerea discurilor incrementale divizor și vernier.

PROCEDEE DE REDUCERE A ȘABLONULUI

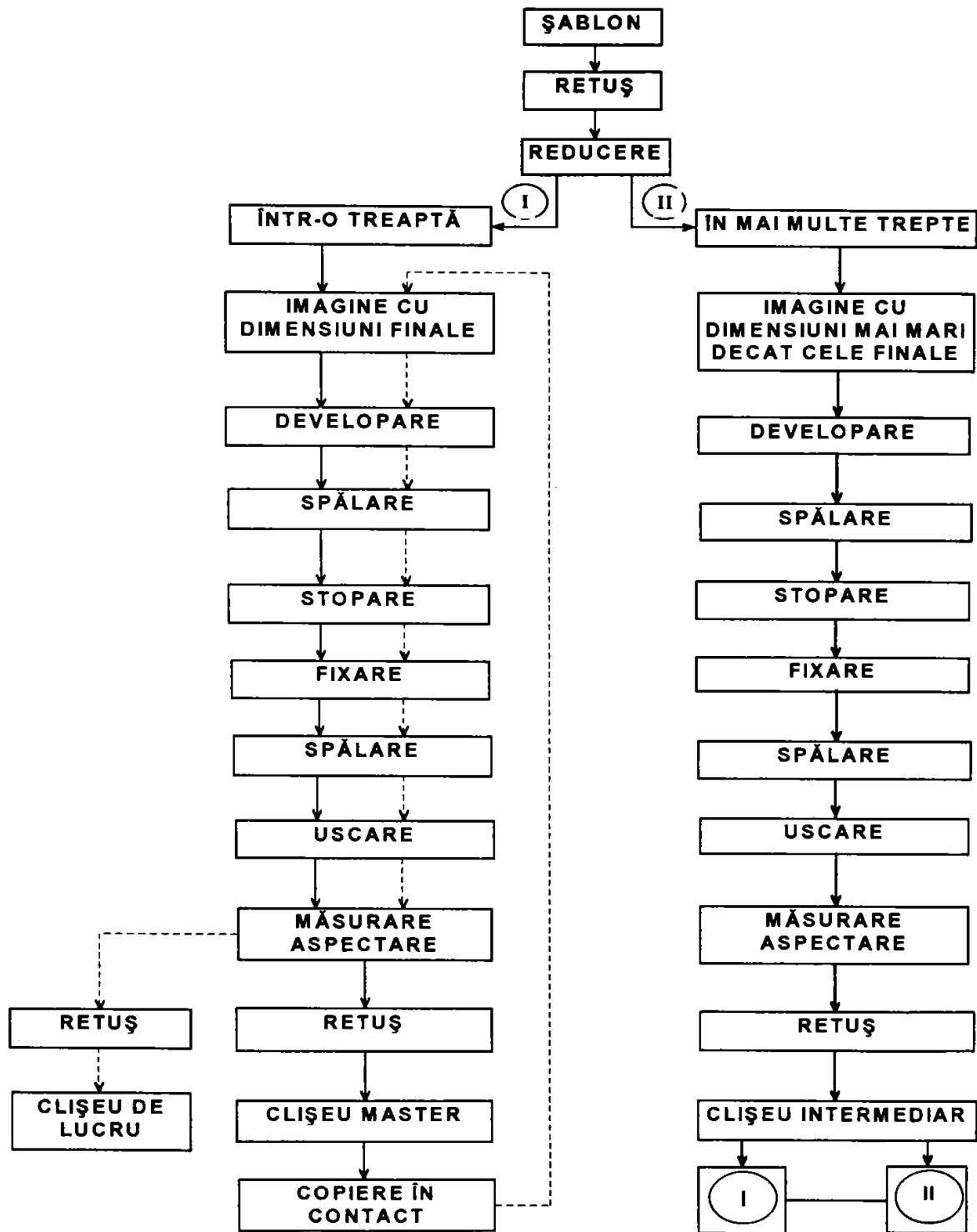


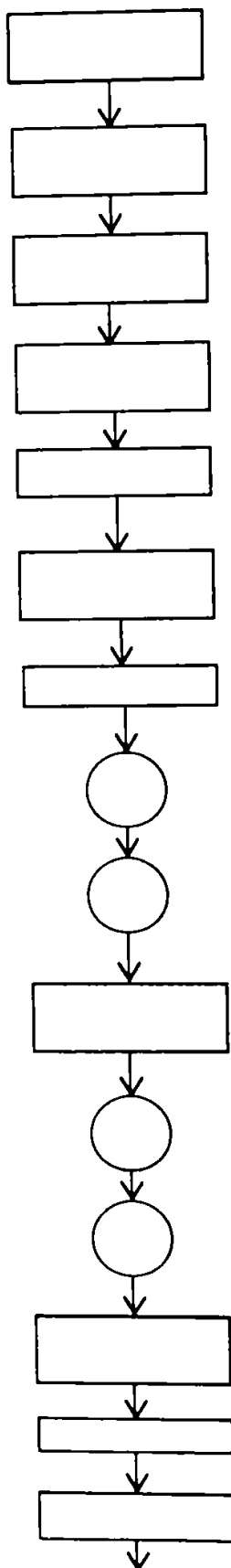
Fig. 5.5.1.2

**5.5.2. Flux tehnologic operațional pentru realizarea rețelelor incrementale circulare și radiale (experimentat și integrat la Institutul de Cercetări Electronice Băneasa)**

Trebuie precizat că este vorba de procesarea unei structuri complexe, constând dintr-un suport de sticlă pe care se depune succesiv:

- un strat de crom;

- un strat de fotorezist, strat care joacă un rol de emulsie fotosensibilă.



- Pregătirea "Hotă cu flux ... i r" prin schimbare filtre la pompele din circuitul apei deionizate și a soluțiilor de procesare a stratului de fotorezist. Filtre cu porozitatea de 0,5 μm.

- Stabilirea fluxului laminar la diviziunea 10. Pornirea pompelor de recirculare a apei deionizate la un debit de 3 l/min.

- Prepararea soluției de developare. developant AZ 1350 și apă deionizată 10M în proporție de 1:1.

- Preparare soluție de corodare crom. Nitrat ceric de amoniu 150 gr, acid percloric cc și apă deionizată până la 1 litru de soluție.

- Filtrare soluții - developare și corodare prin Millipare cu porozitatea de 0,25 μm.

- Pregătire centrifugă pentru spălarea suportilor de sticlă cu una din fețe acoperită cu crom. Fixarea vidului la 10<sup>-2</sup> torr și a turației la 3000 rot/min.

- Fixare suport sticlă pe capul centrifugă.

- Spălarea suportului de sticlă prin centrifugare cu metil - etil - cetonă.

- Uscarea suportului în etuvă la 150°C timp de 30 min.

- Filtrare fotorezist AZ 1350 prin filtru Millipare cu porozitatea de 0,25 μm.

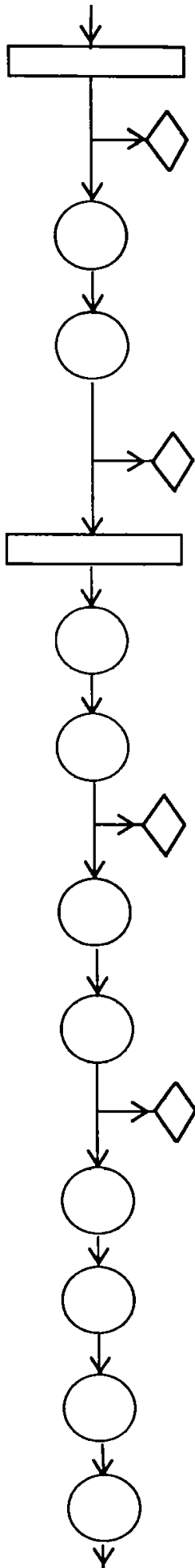
- Depunerea prin centrifugare a fotorezistului pe suprafața cromată a suportului la 3000 rot/min.

- Uscarea stratului de fotorezist deșus la temperatura de 80°C timp de 15 min.

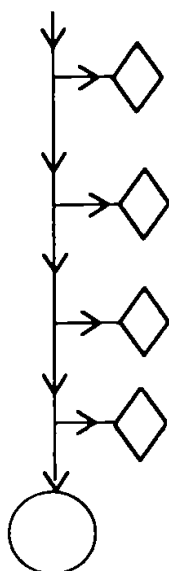
- Pregătirea "mască de lucru" prin spălare cu o soluție de AGE PON 5000 la 1 litru apă deionizată.

- Uscare mască de lucru la 20°C în flux de aer uscat și filtrat.

- Pregătire instalație de multiplicat; fixare vid la presiunea 10-2 torr, presiune azot la 2 atm; fluxul luminos al lămpii UV în instalație tip TAMARAK cu lam. ă UV de W.



- Poziționare mască de lucru în instalația multiplicare.
- Verificare timp expunere.
- Developare probe cu timp de expunere , timp optim de developare 60 sec. la temperatura developantului de 20°C.
- Uscare probe cu timp de expunere. Se usucă în flux laminar clasă 100.
- Măsurători de geometrie a probelor pentru fixarea timpului de expunere. Măsurătorile se execută la scara 100:1 cu precizia de 0,1 μm.
- Fixarea timpului de expunere o tim
- Expunerea suportilor de sticlă care au pe una din fețe crom și fotorezist în straturi succesive la timpul optim
- Developarea stratului de fotorezist expus.
- Controlul la microscop al dezvoltării  
Mărire 100:1
- Definitivarea dezvoltării
- Corodarea stratului de crom prin masca de fotorezist.
- Controlul corodării la proiector. Mărire 100:1.
- Definitivarea corodării.
- Îndepărtarea măștii de fotorezist  
Soluție de îndepărtare entru fotorezist 1350, furnizată de firmă.
- Spălarea suportilor de sticlă cu stratul de crom corodat în apă deionizată timp de 5 min..
- Uscare suporti de sticlă în flux laminar, clasă 100.



- Trierea după franjurarea marginilor. Mărire 400:1.
- Trierea după numărul și mărimea zonelor opace (crom) în suprafețele transparente în suprafețe opace. Mărire 1000:1
- Trierea după zgârieturi. Mărire 100;1.
- Trierea după dimensiunile geometrice. Mărire 400:1
- Marcarea și ambalarea specifică a discurilor și riglelor procesate.

În tabelul 5.5.2.1. este redată gama sortotipodimensională de discuri divizoare realizate prin tehnologia prezentată de la S.C. I. Cercetări Electronice - Băneasa:

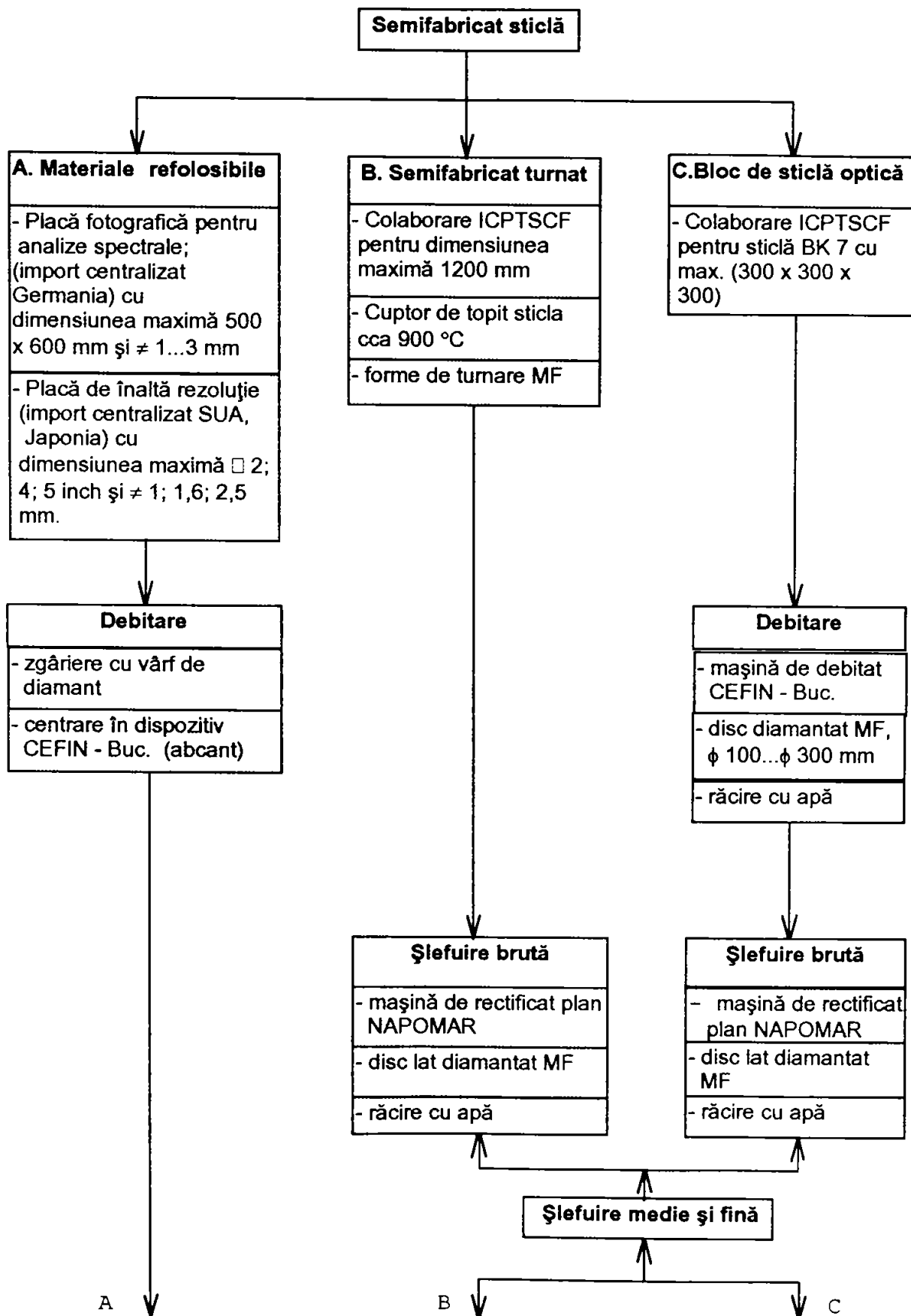
Tabelul 5.5.2.1.

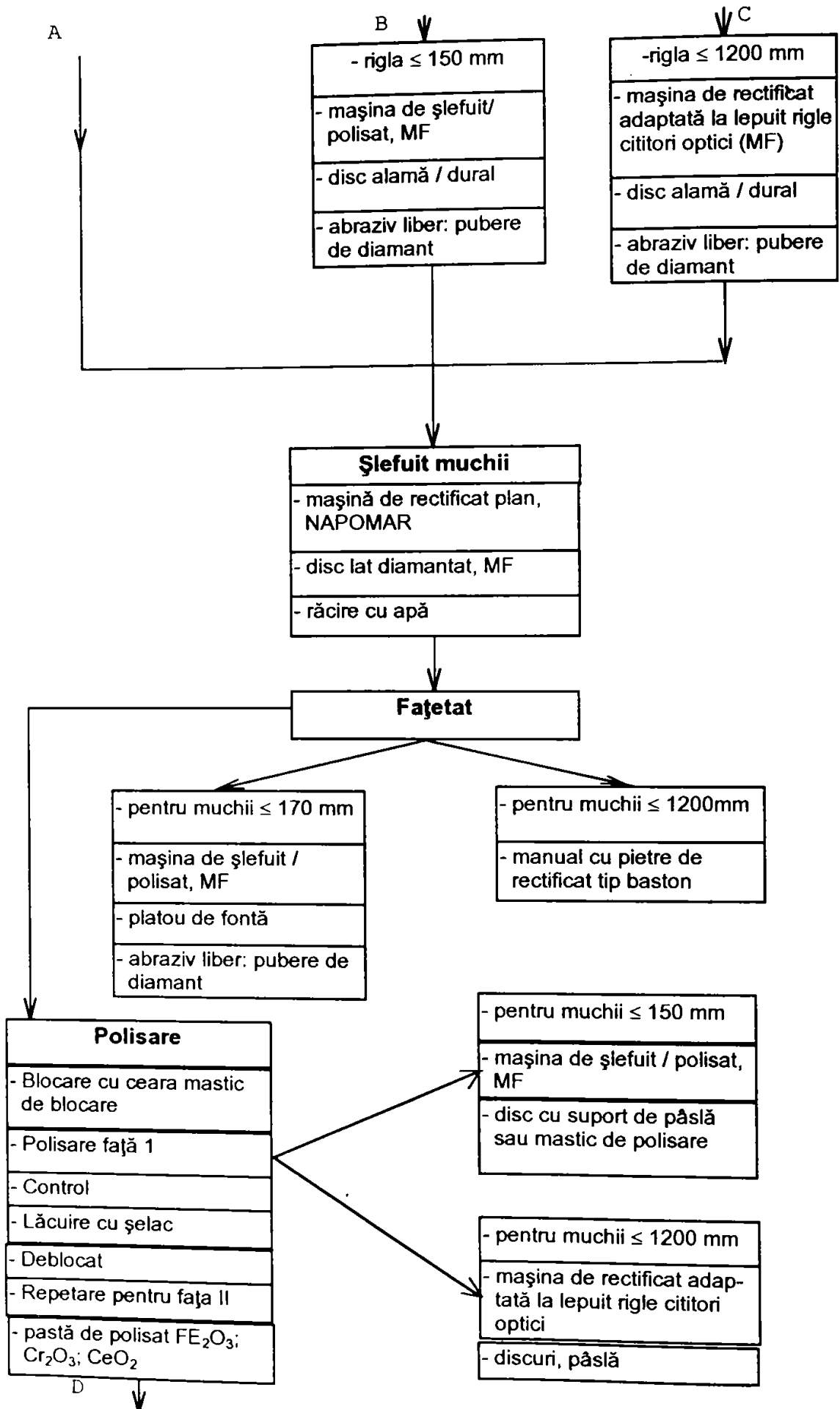
Interval impulsuri	Unghiul de divizare $\alpha$	Diam. exterior disc $d_a$ (mm)	Diam. exterior divizare $d_k$ (mm)	Diam. cercului divizor $d_l$ (mm)	Lung. liniei diviz. $L_s$ (mm)	Lung. liniei de 0 LNS (mm)	Dimensiunea $\frac{\alpha}{2}$ în (mm)			
							A	B	C	D
100	3°36'	163	160	144	16	24	2,51327	1,75929	2,01062	2,26195
100	3°36'	42	40	36	4	6	0,62832	0,43982	0,50265	0,56549
100	3°36'	63	60	54	6	9	0,94248	0,65937	0,75398	0,84823
100	3°36'	83	80	72	8	12	1,25664	0,87965	1,00531	1,13097
250	1°26'24"	163	160	144	16	24	1,00531	0,70372	0,80425	0,90478
250	1°26'24"	42	40	36	4	6	0,25133	0,17593	0,20106	0,22619
250	1°26'24"	63	60	54	6	9	0,37699	0,26389	0,30159	0,33929
250	1°26'24"	83	80	72	8	12	0,50265	0,35186	0,40212	0,45239
500	43'12"	163	160	144	16	24	0,50265	0,35186	0,40212	0,45239
500	43'12"	42	40	36	4	6	0,12566	0,08796	0,10053	0,11310
500	43'12"	63	60	54	6	9	0,18850	0,13195	0,15080	0,16965
500	43'12"	83	80	72	8	12	0,25133	0,17593	0,20106	0,22619
1000	21'36"	163	160	144	16	24	0,25133	0,17593	0,20106	0,22619
1000	21'36"	42	40	36	4	6	0,06283	0,04398	0,05067	0,05655
1000	21'36"	63	60	54	6	9	0,09425	0,6597	0,07540	0,08482
1000	21'36"	83	80	72	8	12	0,12566	0,08796	0,10053	0,11310
2000	10'48"	163	160	144	16	24	0,12566	0,08796	0,10053	0,11310
2000	10'48"	42	40	36	4	6	0,03142	0,02199	0,02513	0,02827
2000	10'48"	63	60	54	6	9	0,04712	0,03299	0,03770	0,04241
2000	10'48"	83	80	72	8	12	0,06283	0,04398	0,05027	0,05655

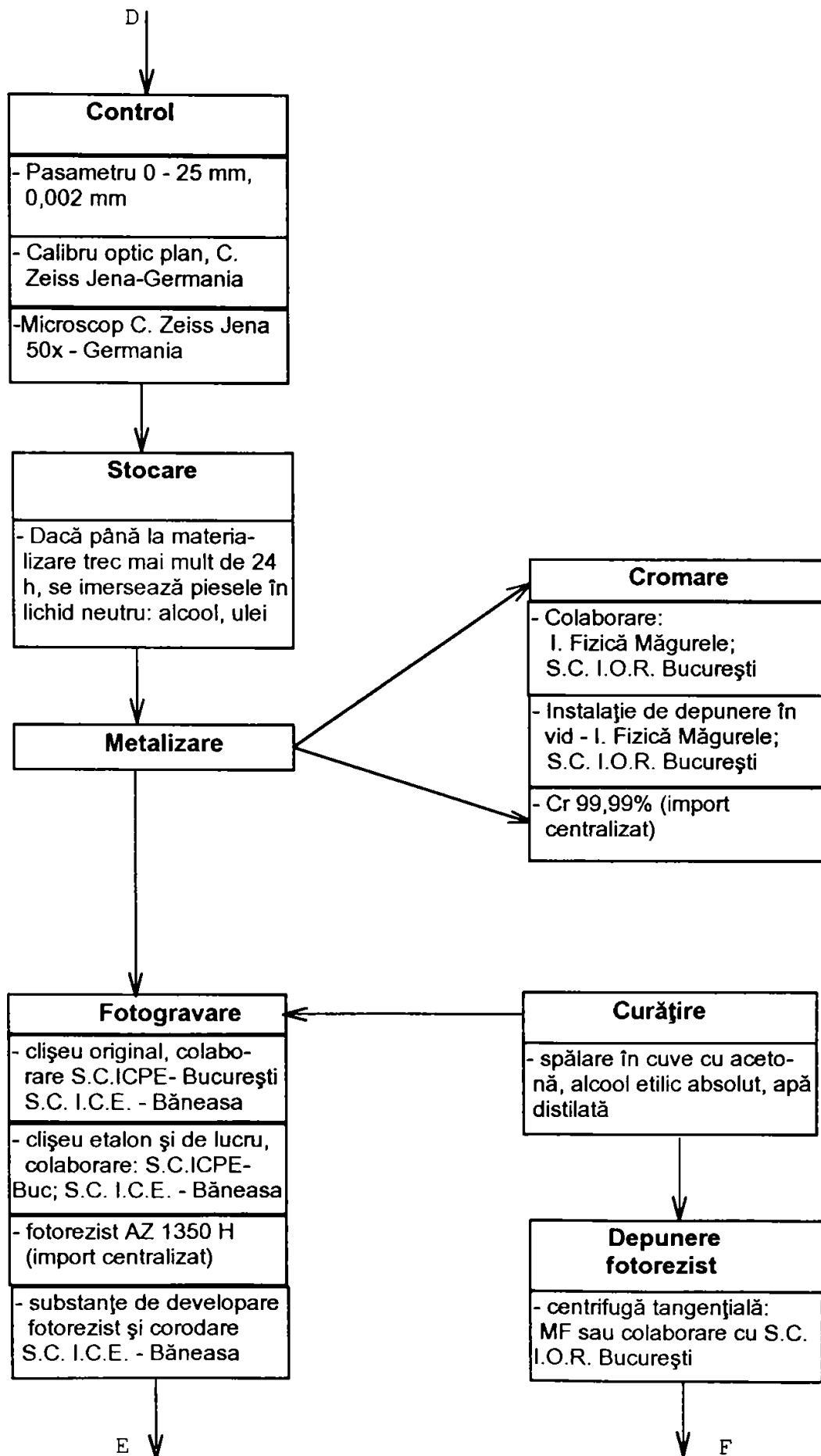


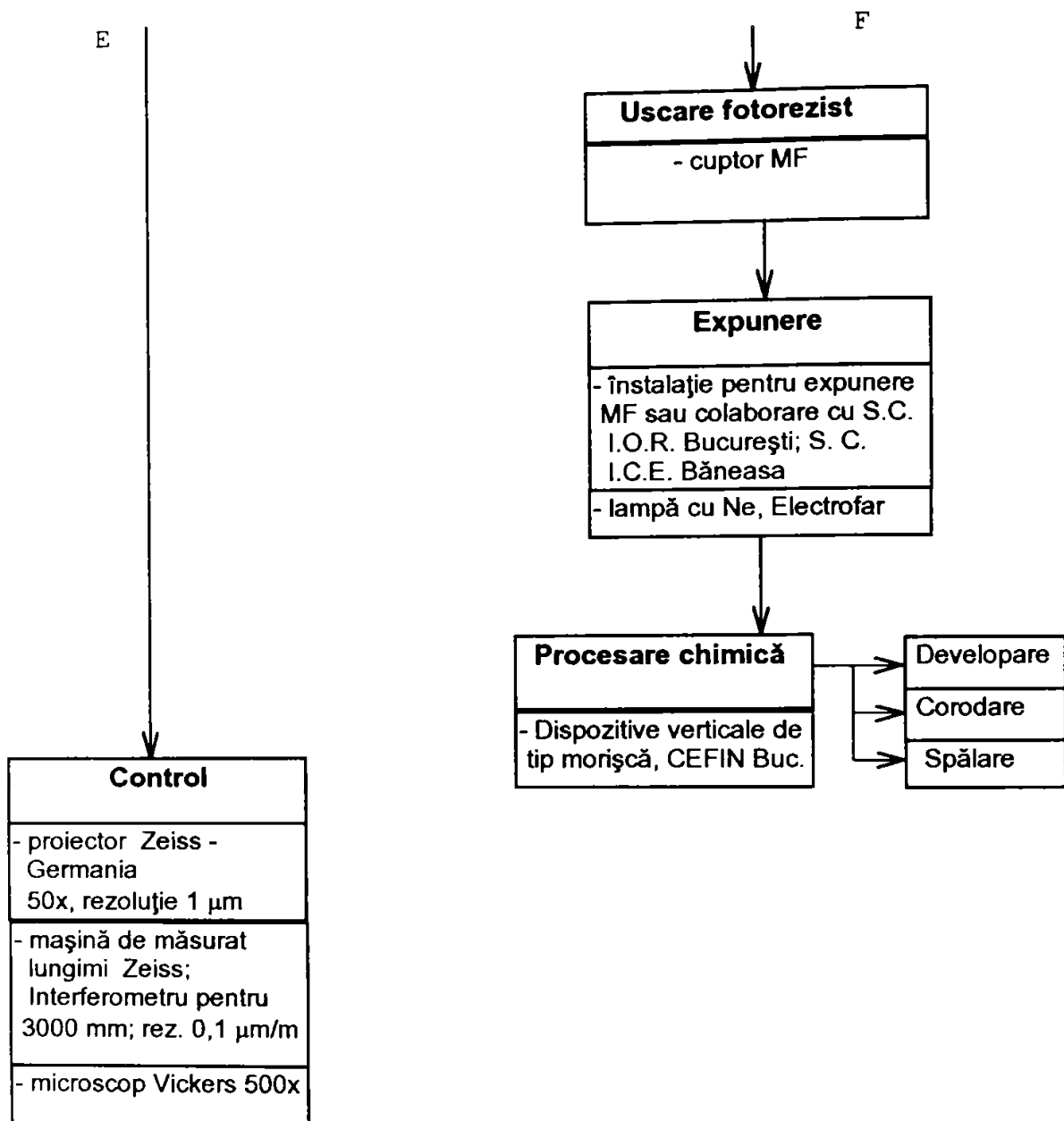
**5.6. Cercetări privind realizarea și integrarea tehnologiei de realizare a riglelor și discurilor incrementale divizor și vernier pentru traductoare fotoelectrice incrementale.**

**5.6.1. Tehnologia de realizare a riglelor incrementale (experimentată și integrată la S.C. mecanică Fină S.A. - București)**

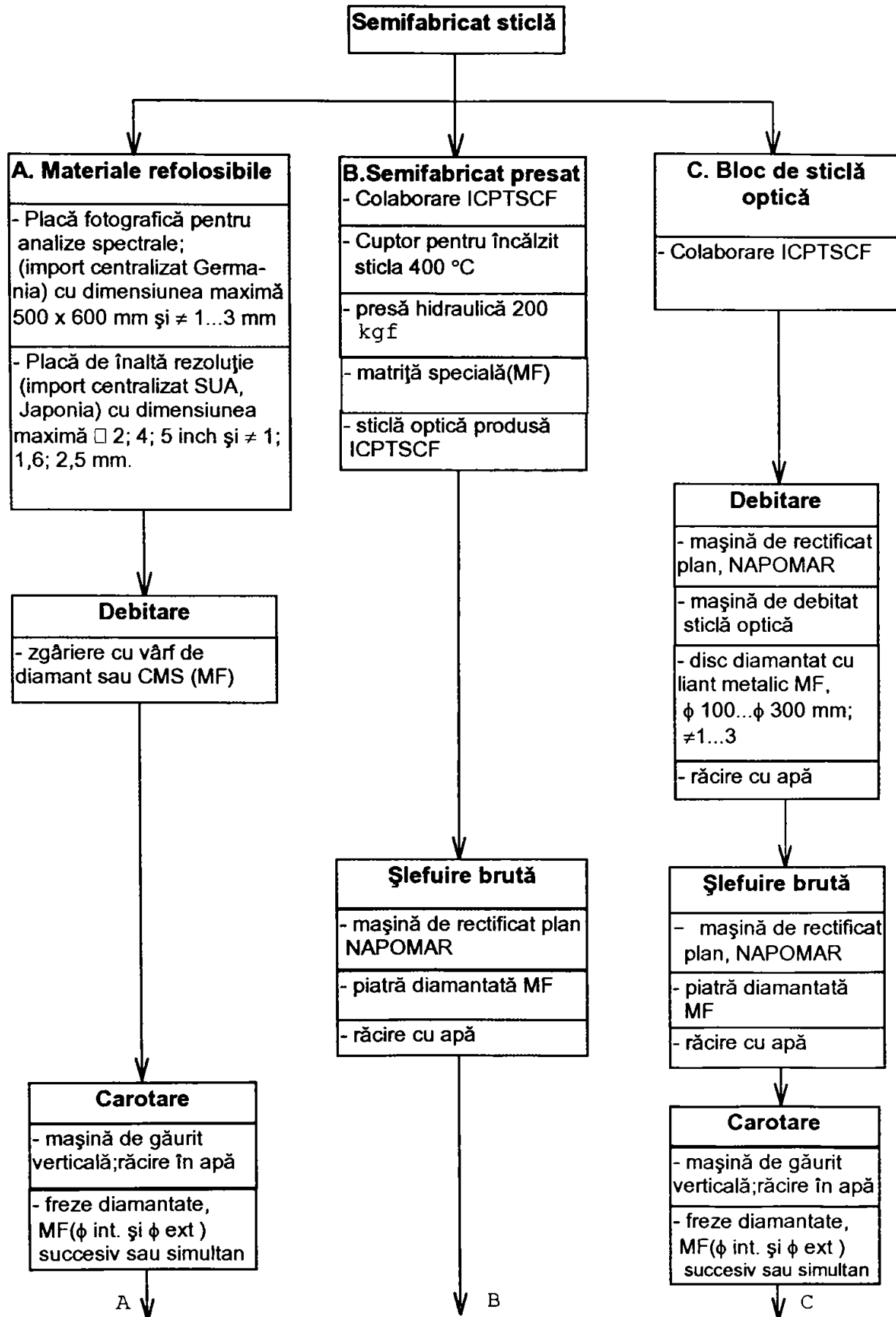


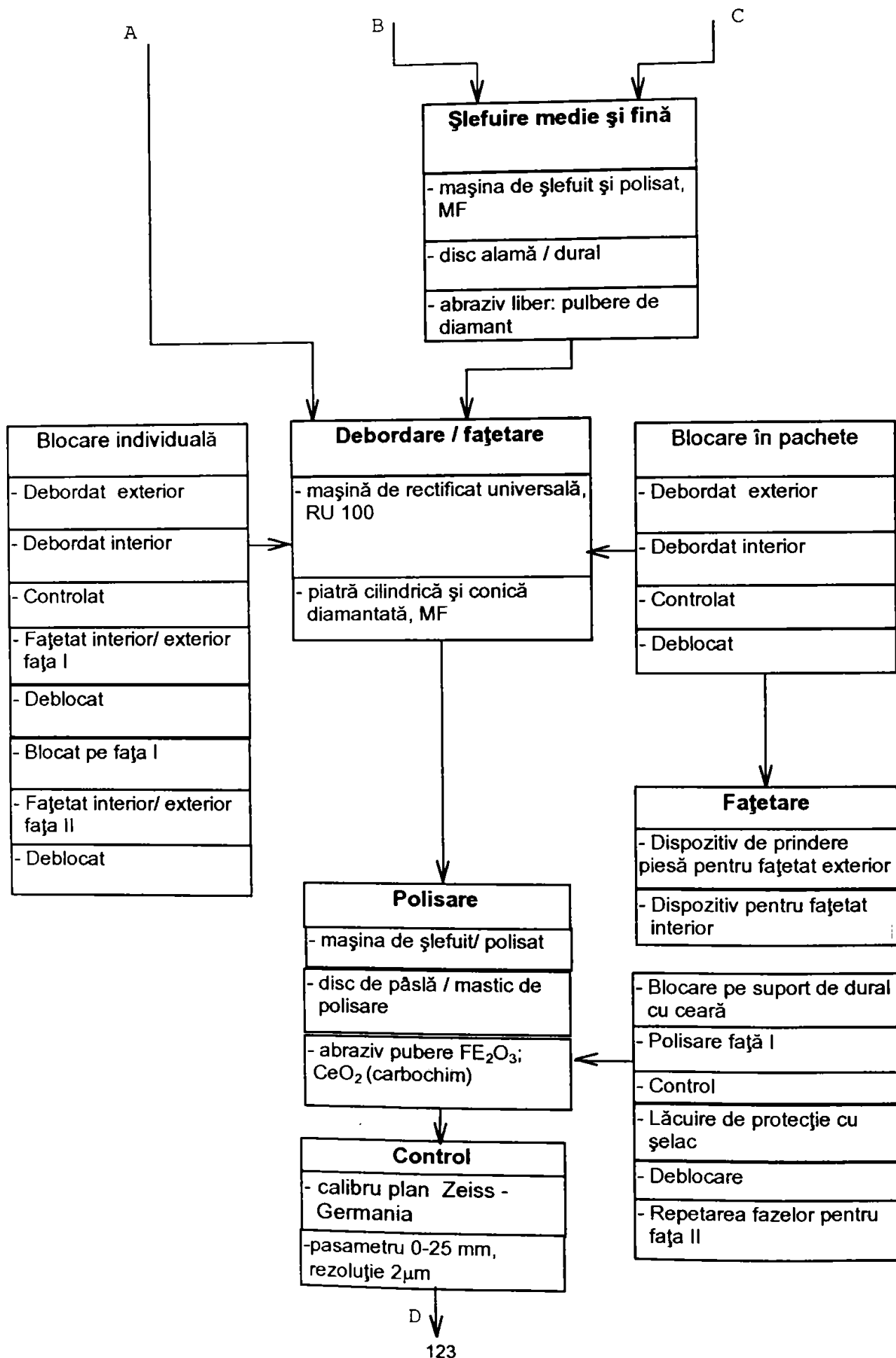


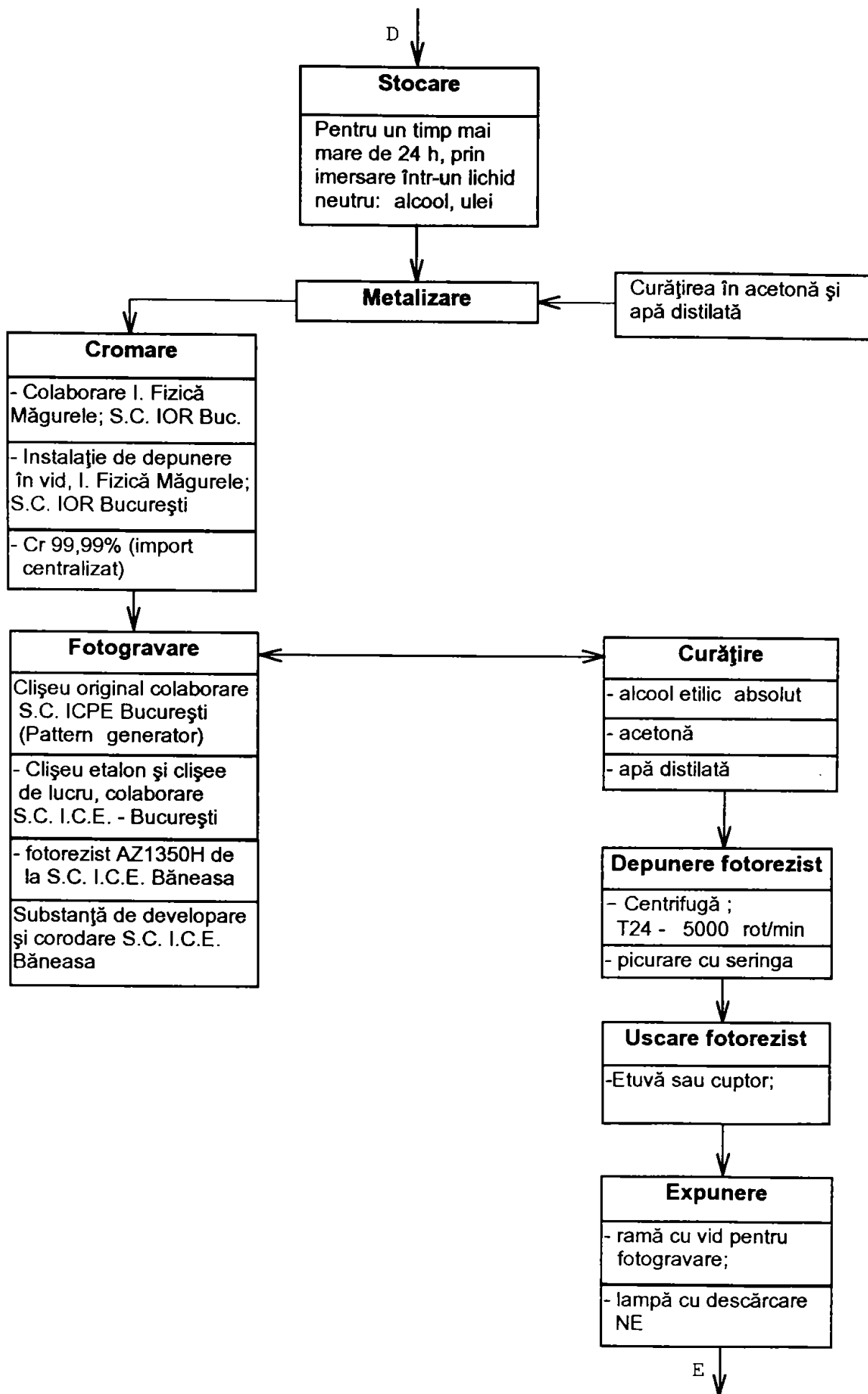


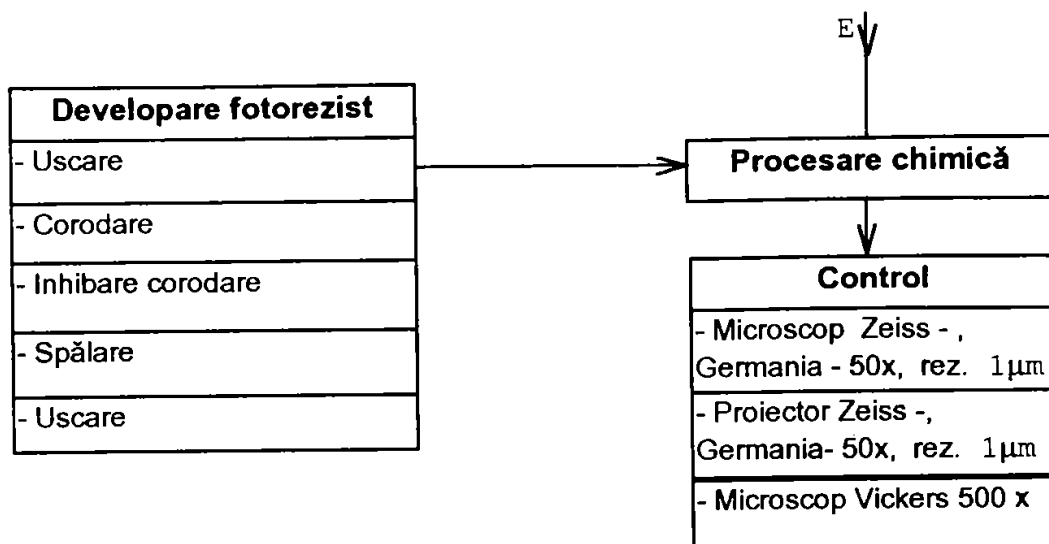


**5.6.2. Tehnologia de realizare a discurilor incrementale (experimentată și integrată la S. C Mecanică Fină - București)**









### 5.6.3 Factorii limitativi din tehnologia de realizare a unor rețele fotoelectrice incrementale de mare precizie.

În tehnologia fotolitografică de realizare a discurilor și riglelor incrementale, există limitări datorate echipamentelor tehnologice existente, metodelor folosite (procese) și materialele fotosensibile utilizate.

Există limitări și în ceea ce privește aparatura și metodele de control optic al discurilor riglelor incrementale fotograuate.

Limitările datorate echipamentelor tehnologice:

- linia minimă ce se poate realiza (aceasta depinzând de rezoluția și de optica utilajului precum și rezoluția (sensibilitatea) și planeitatea plăcilor fotosensibile;
- lungimea maximă a riglei ce se poate realiza (aceasta depinzând de cursa de deplasare a mesei micrometrice a instalației de expunere dar și de dimensiunea suportului pe care se lucrează);
- precizia pasului rețelei incrementale (aceasta nu poate depăși precizia de poziționare a mesei micrometrice a instalației de expunere; precizia metrologică este de  $\pm 0,1 \mu\text{m}$ , dar în realitate, datorită variațiilor de temperatură și umiditate în zona de lucru, precizia de poziționare este de  $\pm (0,2 - 0,25 \mu\text{m})$ ;
- diametrul maxim al discului incremental ce se poate realiza (acesta depinzând de uniformitatea stratului de crom la margini, de grosimea rezistului centrifugat pe discuri, de posibilitățile tehnologice de prindere și centrare etc).

Limitările datorate proceselor și materialelor:

- utilizarea procesului de lucru cu polaritate pozitivă;
- utilizarea procesului de fotocompoziție a riglelor (probleme de îmbinare a rețelelor liniare, de pierdere a preciziei pasului etc);
- depunerea rezistului prin centrifugare cu viteză de maxim 4000 rot/min (neuniformitate, grosimea mare de rezist, apariție de striații în timpul procesului);
- utilizarea unor fotomăști de grosimi variind între 1,54 și 2,1 mm (cu suport de sticlă cu coeficient de dilatație diferit, cu grosimi de strat de crom diferit).

Limitările datorate metodelor și aparatelor de control optic:

- cursa limitată și precizia limitată;
- pierdere din precizia de măsurare (evaluată la  $0,2 - 0,3 \mu\text{m}$ ) datorată calibrului pentru etalonarea instalației.

Organigrama fluxului tehnologic general pentru realizarea traductoarelor fotoelectrice incrementale la S.C. Mecanică Fină - S.A. București este prezentată în figura 5.3.



TEHNOLOGIE DE REALIZARE A TRADUCTOARELOR • FLUX TEHNOLOGIC GENERAL •

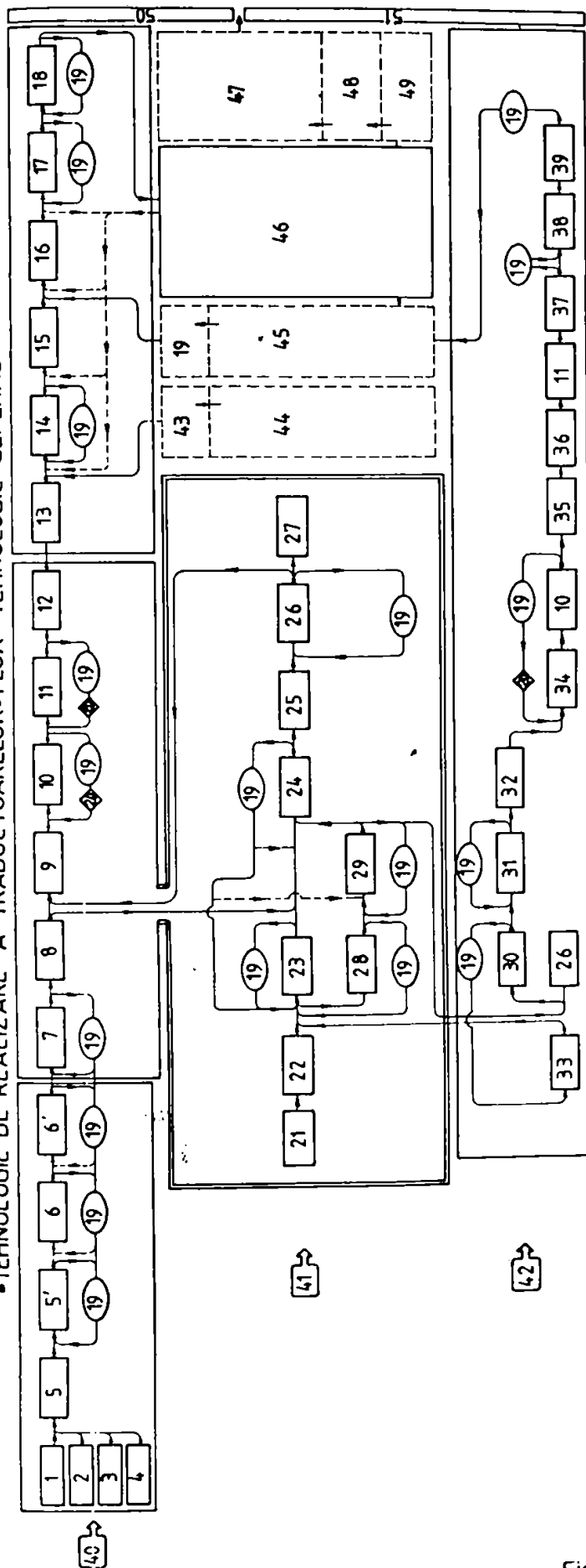


Fig. 53.

- 1. Debitare semifabricat sticla optica
- 2. Semifabricat matritat la cald
- 3. Turnare semifabricat în forma
- 4. Debitare mat. refotosibil-placi foto
- 5. Eboşare semifabricat sticla optica
- 5'. Politizare semifabricat
- 6. Depunere în vid stratului subţiri metalice
- 6'. Depunere în vid stratului subţiri antireflex
- 7. Depunere fotorezist
- 8. Tratament termic (recoacere)
- 9. Expunere prin contact
- 10. Developare
- 11. Corodare
- 12. Neutralizare
- 13. Stocare
- 14. Centrare şi lipire rigle si discuri
- 15. Montaj subsamble
- 16. Montaj general

- 17. Reglaje
- 18. Montaj final. Sigilare
- 19. Verificare
- 20. Retus
- 21. Proiectare reţea
- 22. Realizare program reţea
- 23. Generare configuraţie la scara reala
- 24. Realizare reţea prin fotorepetare
- 25. Realizare masii originale
- 26. Realizare clişee de lucru
- 27. Conservare
- 28. Generare configuraţie la scara marita
- 29. Reducere precizie
- 30. Gaurire în coordonate
- 31. Metalizare gauri
- 32. Aplicare fotorezist
- 33. Proiectare cablaje asistata de calculator
- 34. Expunere

- 35. Ştanţare electrochimica
- 36. Îndepartare fotorezist
- 37. Frezare
- 38. Stanare chimica
- 39. Periere umeda
- 40. Flux tehnologic rigle şi discuri
- 41. Flux tehnologic maşti originale şi de lucru
- 42. Flux tehnologic circuite imprimate dublu placate cu gauri metalizate
- 43. Ajustare
- 44. Prelucrari mecanice
- 45. Montaj electronic
- 46. Control final, atestarea calitatii
- 47. Recepţie finala, depozitare
- 48. Ambalare
- 49. Marcare. Conservare
- 50. Service
- 51. Autofilare

Exemple de elemente fotoelectrice incrementale liniare și circulare concepute, proiectate și realizate în baza modelului matematic și a tehnologiilor realizate de autor:

a. Discuri incrementale divizoare, cu rețele de impuls de nul - originale: (fig. 5.4.; fig. 5.5; fig. 5.6.):

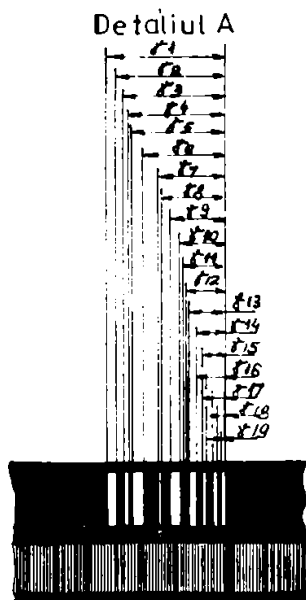
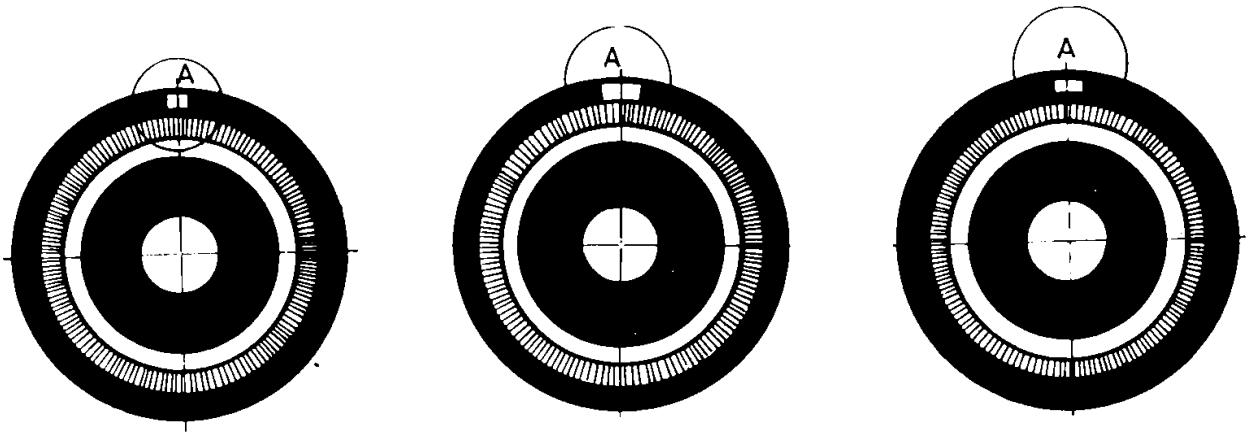


Fig. 5.4.

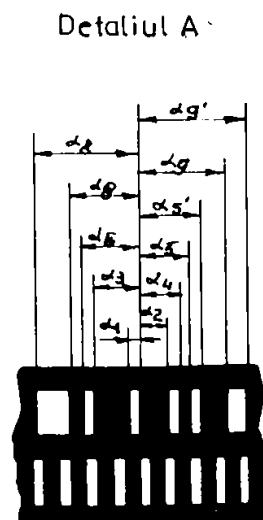


Fig. 5.5

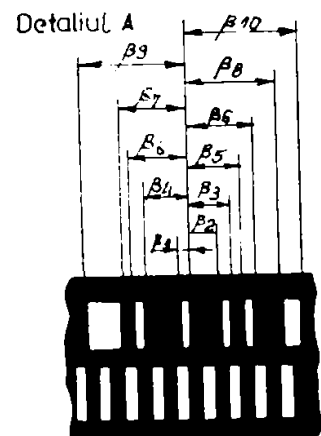


Fig. 5.6.

b Discuri fotoelectrice incrementale vernier cu rețele de impuls de nul - originale  
(fig. 5.7.; 5.8., 5.9):

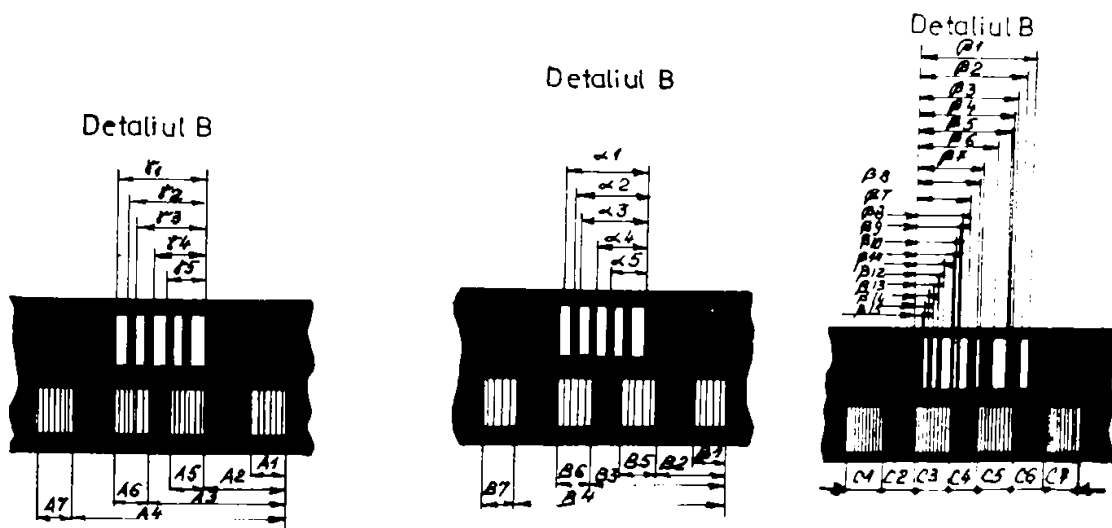
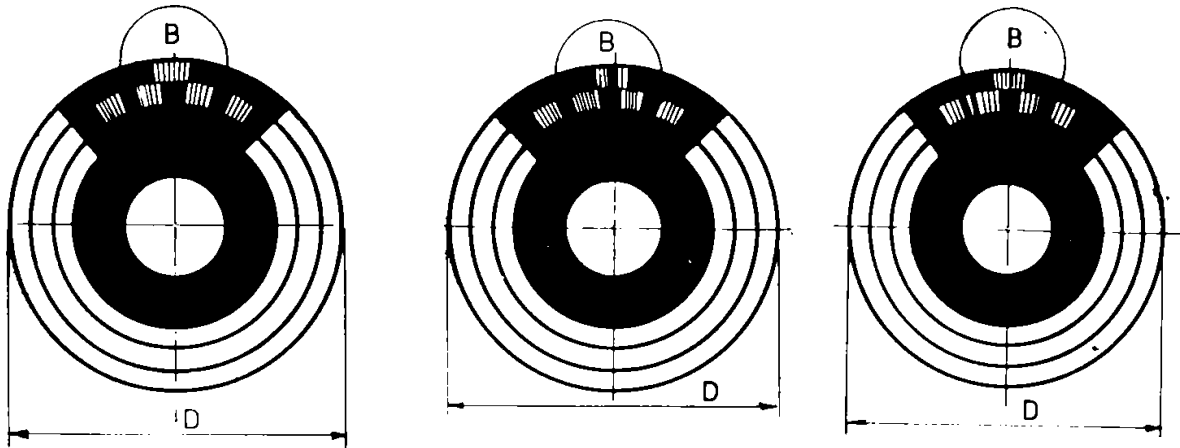


Fig. 5.7.

Fig. 5.8.

Fig. 5.9.

Exemplu de șabloane de lucru fotoelectrice incrementale de poziție, divizor și vernier realizate pe tehnologia de la S.C. Mecanică Fină S.A. Buc. (fig. 5.10.):

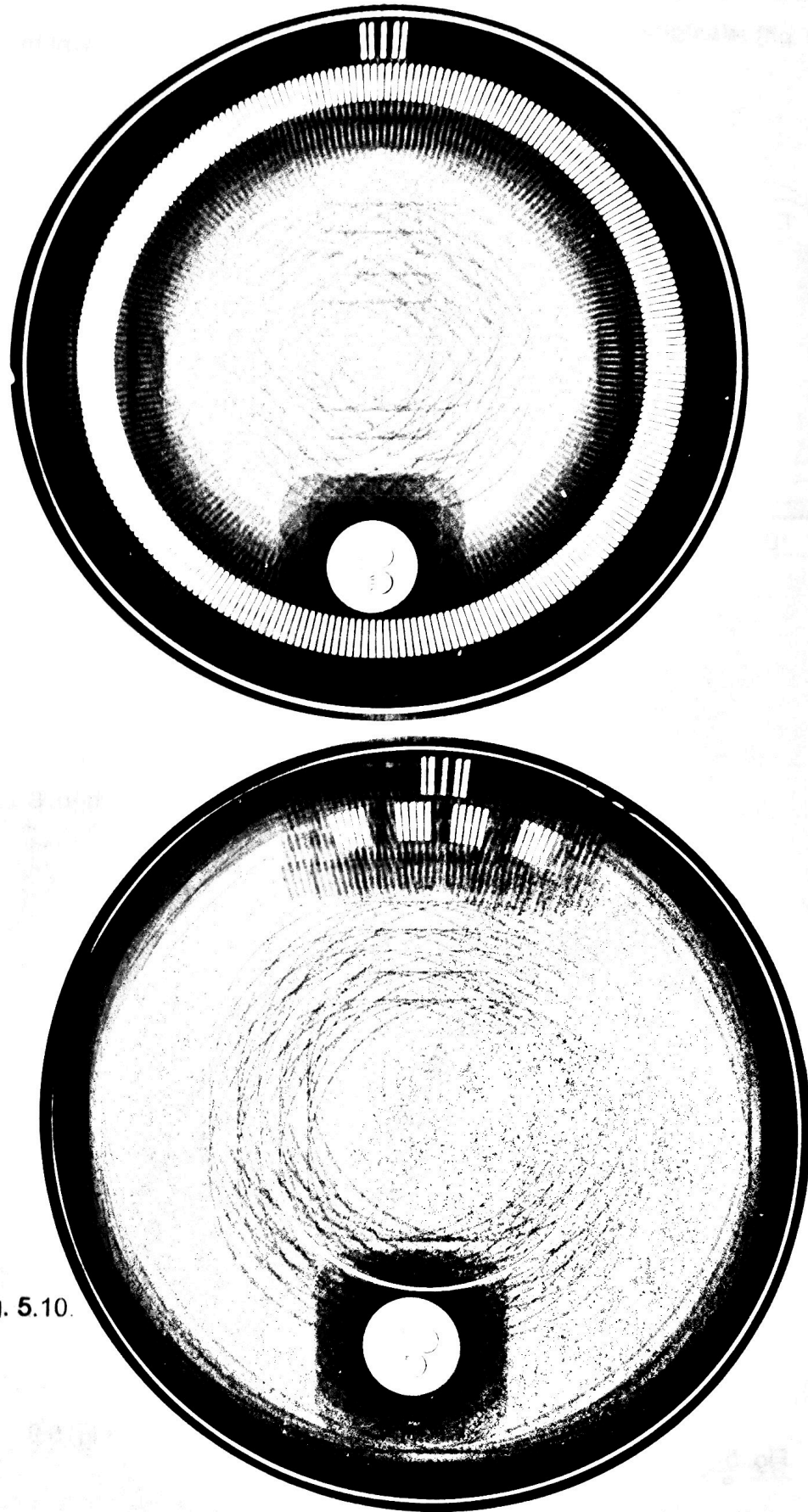


Fig. 5.10.

## Capitolul 6. CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA ȘI REALIZAREA DE TRADUCTOARE FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE DEPLASARE ȘI POZIȚIE

### 6.1. Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TID -L

Traductorul fotoelectric incremental pentru deplasări mici (TID - L) (fig. 6.1.1.) a fost proiectat și realizat în trei tipodimensiuni: TID - L -10; TID - L - 30; TID - L - 50.

Construcția originală a traductoarelor menționate se bazează pe schema cinematică din fig. 6.1.2.), unde:

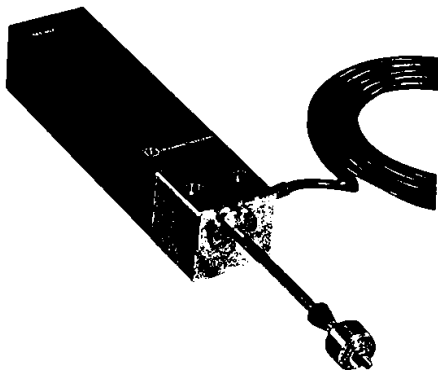


Fig. 6.1.1.

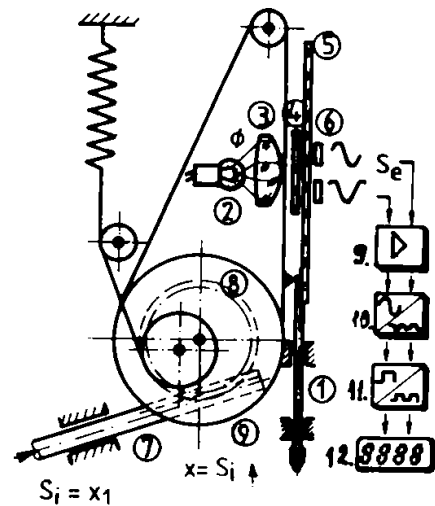


Fig. 6.1.2.

$S_i$  = mărimea de intrare (deplasarea  $X$  a palpatorului); 1 • tijă de măsurare; 2 • lampă cu incandescență; 3 • lentila condensor; 4 • vernier incremental; 5 • riglă divizoare incrementală; 6 • sistem de fotoelemente;  $S_e$  - mărimile de ieșire;  $S_e = \{i_A, i_B\}$  = curenți electrici alternativi quasisinusoidali defazați cu  $\frac{\pi}{2}$ ,  $S_i$  = mărime de intrare (alternativă la  $S_1$ ), (deplasarea  $x_1$  a cremalierei 7).

Dacă  $r$  este raza de divizare a roții 8 și  $R$ , raza roții 9,  $x_1$  determină o rotație  $\phi$  cu:

$$\phi = \frac{x_1}{r}; \quad (6.1.1.)$$

Palpatorul se deplasează cu:

$$x = r \cdot \phi = \frac{R}{r} x_1; \quad (6.1.2.)$$

Deci:

$$S_i = \frac{R}{r} S_2; \quad (6.1.3.)$$

Referitor la figura 6.1.3. se consideră: fasciculul luminos emis de lampa cu incandescență (1) este transformat în fascicul paralel de lentila condensor (2); el incide normal pe vernierul (3); zona utilă a acestuia (una din cele 4 rețele) "decupează" din fasciculul incident o parte ce străbate rețeaua divizoare (4), apoi incide pe suprafața fotoelementului (5).

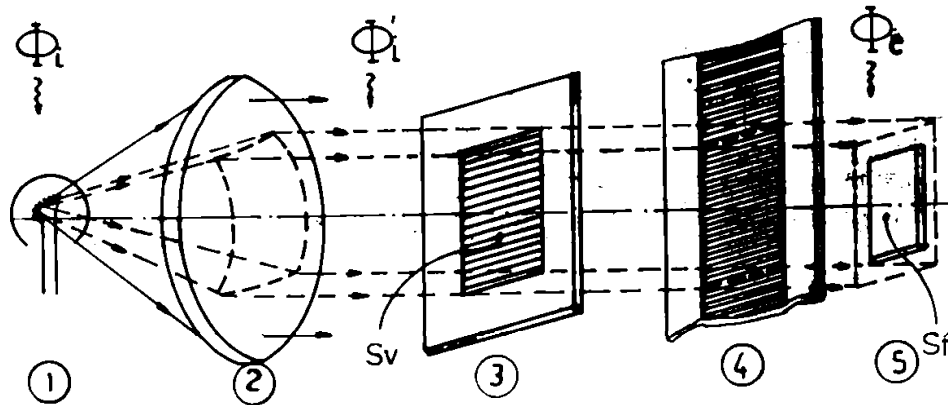


Fig. 6.1.3.

Lampa cu incandescență emite în  $4\pi$  srad un flux radiant  $\phi_i$ .  
Fluxul emergent lentilei este:

$$\phi'_l = \tau_e \cdot \phi_i ; \quad (6.1.4.)$$

unde:

\*  $\tau_e$  = transmitanța lentilei;

$$\tau_e = (1 - \rho_e)^m \cdot (1 - \alpha_e)^d, \quad \text{unde: } \rho_e = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2 ; \quad (6.1.5.)$$

unde:

\*  $n$  = indicele de refracție relativ sticlă - aer;  $\rho_e$  = reflectanță;

$n = n(\lambda)$  se ia în considerare  $\lambda$ , corespunzătoare sensibilității maxime a fotoelementului.

\*  $m$  = număr de dioptrii ( $m=2$ );

\*  $\alpha_e$  = pierderea specifică datorită absorbției pentru un drum geometric de 1 mm (pentru sticle crom,  $\alpha_e = 0,00048$ );

\*  $d$  = drumul mediu geometric străbătut de raza de lumină în lentilă (mm). Este vorba de razele ce urmează să incidă în cadrul zonei utile Sv a vernierului.

Fluxul emergent celor două rețele este:

$$\phi_e = \tau_r \cdot \phi'_l = \tilde{\tau} \cdot \phi_i ; \quad (6.1.6.)$$

unde:

\*  $\tau_r$  = transmitanța rețelelor

$\tilde{\tau}$  = transmitanța sistemului lentilă - rețele

$$\tau_r = \frac{1}{2} (1 - \rho_r)^m \cdot (1 - \alpha_r)^d \cdot (1 - \eta) \tau(x) \quad (6.1.7.)$$

unde:

\*  $\eta = \frac{\text{suprafața iluminată și activă a fotoelementului}}{\text{suprafața activă a vernierului}}$ ;

\*  $\eta$  este influențat de neparalelismul/excentricitatea la montajul suporturilor rețelelor incrementale și de elemente de reglaj. La stabilirea lui se neglijează variația iluminării în planul fotoelementului datorită mișcării relative a rețelelor.

\* $\tau(x)$  = componenta transmitanței determinată exclusiv de mișcarea relativă a rețelelor.

Constanta  $\frac{1}{2}$  este introdusă presupunând că raportul între lățimea unui increment opac și a unui transparent este 1.

Notând toate componentele transmitanței ce nu depind de  $x$ , cu  $\tau_0$  avem:

$$\tilde{\tau}(x) = \tau_0 \cdot \tau(x); \quad (6.1.8.)$$

Iradianța rezultată pe suprafața activă a fotoelementului este:

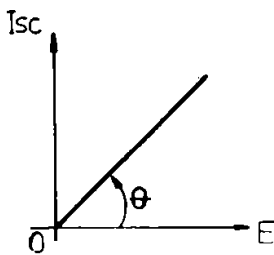
$$E = \frac{\phi_e}{S_f}; \quad (6.1.9.)$$

dar:

$$\phi_e = \tilde{\tau}(x) \cdot \phi_i; \quad (6.1.10)$$

deci:

$$E = E(x); \quad (6.1.11)$$



Curentul de scurtcircuit debitat de fotoelement variază linear cu iradianța (fig. 6.1.4.), conform caracteristicilor din catalog:

$$I_{sc} = K \cdot E; \quad (6.1.12)$$

unde:

$K = \text{tg } \theta$ ;  $\theta$  = panta caracteristicii;

$$K_j = K_0 \cdot S_f; \quad (6.1.13)$$

Fig. 6.1.4.

unde:

$K_0$  = constantă de materiale

deci:

$$I_{sc} = K_0 \cdot S_f \times E = K_0 \cdot S_f \cdot \frac{\phi_e}{S_f}; \quad (6.1.14)$$

$$I_{sc} = K_0 \cdot \phi_e; \quad (6.1.15)$$

Curentul de scurt circuit nu depinde de aria fotoelementului, ci doar de fluxul radiant. Pentru o sursă ideală și o poziție staționară a celor două rețele  $\phi_e$  este constant în orice secțiune normală pe axa optică a lentilei.

$$I_{sc}(x) = K_0 \cdot \phi_i \cdot \tilde{\tau}(x); \quad (6.1.16)$$

Referitor la fig. 6.1.5., se consideră:

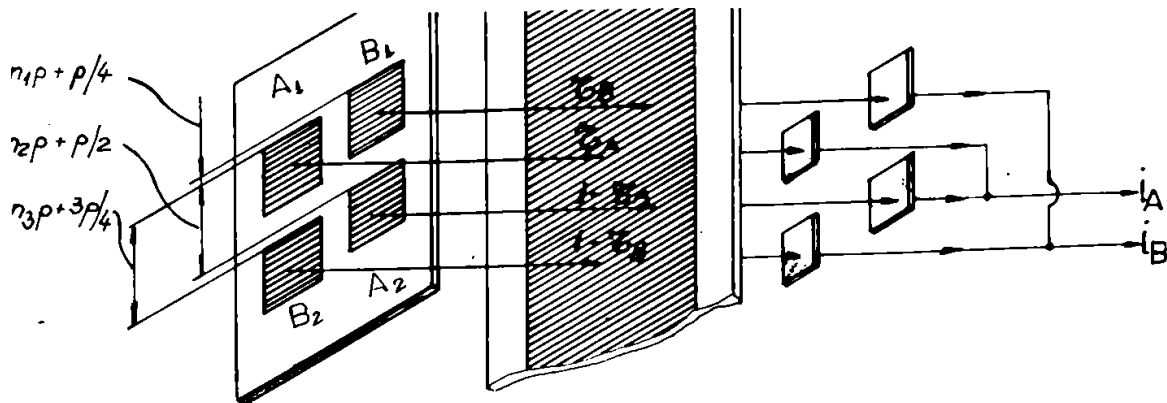
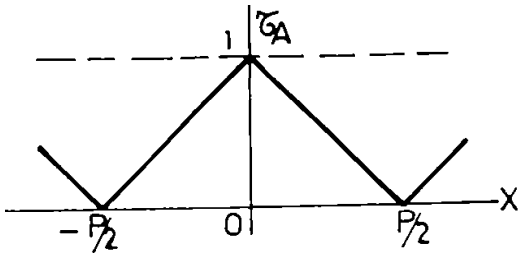


Fig. 6.1.5.

• rețelele  $\left\{ \begin{matrix} A_1 / A_2 \\ B_1 / B_2 \end{matrix} \right\}$  sunt defazate reciproc cu  $P/2$ , rezultă transmitanța  $\tau/1 - \tau$ ;

- rețelele  $A_1/B_1$  sunt defazate reciproc cu  $P/4$ ;  
Referitor în continuare la grupul de rețele și fotoelemente  $A_1/A_2$ .  
Graficul transmitanței  $\tau_A = \tau_A(x)$  (fig.6.1.6.).

$$\tau_A: \left[-\frac{P}{2}, \frac{P}{2}\right] \rightarrow R; \quad (6.1.17)$$



$$\tau_A(x) = \begin{cases} \frac{2}{P}x + 1, & -\frac{P}{2} \leq x < 0 \\ -\frac{2}{P}x + 1, & 0 \leq x \leq \frac{P}{2} \end{cases}; \quad (6.1.18)$$

Curenții produși de fotoelementele A (respectiv B) sunt introduși într-un element amplificator operațional care se află în blocul de toni d. p. lucrării a. s. ale. traductorului, după schema (fig. 6.1.7):

Prima teoremă a lui Kirchhoff dă curentul:

$$I_A = I_{sc1} - I_{sc2} \quad (6.1.19)$$

unde:

$$I_{sc1} = K_0 \cdot \phi_i \cdot \tau_0 \cdot \tau_A(x); \quad (6.1.20)$$

$$I_{sc2} = K_0 \cdot \phi_i \cdot \tau_0 [(1 - \tau_A(x))]; \quad (6.1.21)$$

S-a presupus că cele două fotoelemente sunt identice și iluminate identic. Fig. 6.1.8. indică modul de compunere a curenților  $I_{sc1}$  și  $I_{sc2}$

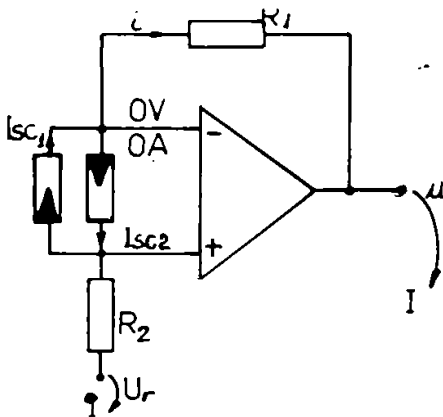


Fig. 6.1.7.

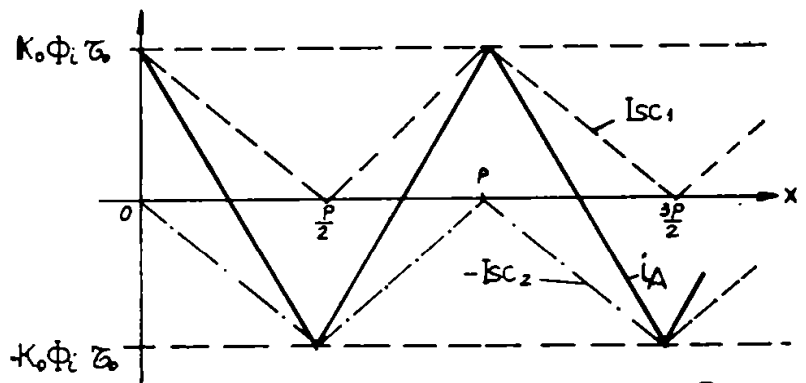


Fig.6.1.8.

$$i_A(x) = K_0 \cdot \phi_i \cdot \tau_0 [2\tau_A(x) - 1]; \quad (6.1.22)$$

Cu notațiile de pe figura precedentă:

$$u = U_r + \frac{R_1}{R_2} \cdot i; \quad (6.1.23)$$

$$u_A(x) = K_0 \cdot \phi_i \cdot \tau_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} [2\tau_A(x) - 1] + U_r; \quad (6.1.24)$$



Descompunem  $\tau_A(x)$  în seria Fourier pe  $\left[-\frac{p}{2} + \frac{p}{2}\right]$  și avem:

$$\tau_A(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos \frac{2n\pi}{p} \cdot x; \quad (6.1.25)$$

$b_n = 0$  pentru că  $\tau_A$  este funcție pară.

$$a_0 = \frac{2}{p} \cdot \int_{-\frac{p}{2}}^{\frac{p}{2}} \tau_A(x) dx = \frac{4}{p} \cdot \int_0^{\frac{p}{2}} \tau_A(x) dx = \frac{4}{p} \cdot \int_0^{\frac{p}{2}} \left(-\frac{2}{p}x + 1\right) dx = 1;$$

$$a_n = \frac{4}{p} \cdot \int_0^{\frac{p}{2}} \tau_A(x) \cos \frac{2n\pi}{p} x \cdot dx = \frac{4}{p} \cdot \int_0^{\frac{p}{2}} \left(-\frac{2}{p}x + 1\right) \cos \frac{2n\pi}{p} x \cdot dx = \frac{4}{n^2 \pi^2} \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{2}$$

$$\tau_A(x) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n^2 \pi^2} \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{2} \cdot \cos \frac{2n\pi}{p} \cdot x; \quad (6.1.26)$$

Dar:

$$\sin^2 \frac{n\pi}{2} = \begin{cases} 0, & n = 2k \\ 1, & n = 2k + 1 \end{cases};$$

$$\tau_A(x) = \frac{1}{2} + \frac{4}{\pi^2} \cdot \cos \frac{2\pi x}{p} + \frac{4}{9\pi^2} \cdot \cos \frac{6\pi x}{p} + \dots = \frac{1}{2} + \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot \cos \frac{2(2n+1)\pi}{p} \cdot x; \quad (6.1.27)$$

Pentru grupul B de rețele / fotoelemente,  $\tau_B(x)$  se prezintă ca în fig. 6.4.9.a, iar dezvoltarea lui în seria Fourier se face cu ajutorul funcției  $f$  din fig. 6.1.9.b, observând că:

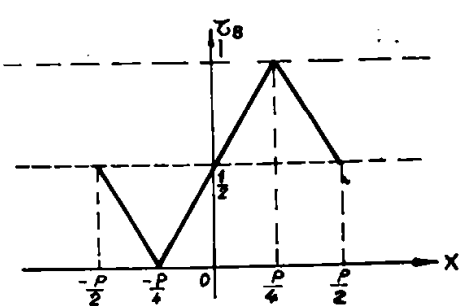


Fig. 6.1.9.a

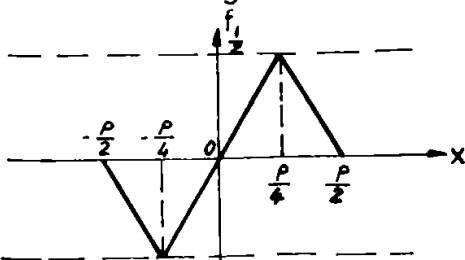


Fig. 6.1.9.b

$$\tau_B(x) = f(x) + \frac{1}{2}; \quad (6.1.28)$$

$f$ , este funcția impară

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \sin \frac{2n\pi}{p} x; \quad (6.1.29)$$

$$b_n = \frac{4}{p} \int_0^{\frac{p}{2}} f(x) \sin \frac{2n\pi}{p} x \cdot dx = \frac{4}{p} \int_0^{\frac{p}{4}} \left(\frac{2}{p} \cdot x \cdot \sin \frac{2n\pi}{p} x\right) dx +$$

$$+ \int_{\frac{p}{4}}^{\frac{p}{2}} \left[ \left(-\frac{2}{p}x + 1\right) \cdot \sin \frac{2n\pi}{p} x \cdot dx \right] = \frac{4}{\pi^2 n^2} \cdot \sin \frac{n\pi}{2};$$

dar:

$$\sin \frac{n\pi}{2} = \begin{cases} 0, & n = 4k, \quad 4k + 2 \\ 1, & n = 4k + 1 \\ -1, & n = 4k + 3 \end{cases};$$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n^2 \pi^2} \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \cdot \sin \frac{2n\pi}{p} x = \frac{4}{\pi^2} \cdot \sin \frac{2\pi}{p} x - \frac{4}{9\pi^2} \cdot \sin \frac{6\pi}{p} x + \frac{4}{25\pi^2} \sin \frac{10\pi}{p} x + \dots =$$

$$= \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \cdot \sin \frac{2(2n+1)\pi}{p} x; \quad (6.1.30)$$

$$\tau_B(x) = \frac{1}{2} + \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \cdot \sin \frac{2(2n+1)\pi}{p} x \quad (6.1.31)$$

$$u_A(x) = K_0 \cdot \phi_i \cdot \tau_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{8}{\pi^2} \sum \dots + U_r \quad (6.1.32)$$

$\frac{U_0}{U_0}$

$$u_A(x) = U_r + U_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot \cos \frac{2(2n+1)\pi}{p} x \quad (6.1.33)$$

idem:

$$u_B(x) = U_r + U_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \cdot \sin \frac{2(2n+1)\pi}{p} x \quad (6.1.34)$$

Traductoarele de deplasare cu sistem fotoelectric incremental liniar tip TID-L reprezintă a II a generație de traductoare de deplasare opto-electronice, superioare din punctul de vedere al rezoluției și preciziei de măsurare, traductoarelor TID-R; traductoarele din seria TID-L reprezintă totodată o replică serioasă dată traductoarelor inductive.

Spre deosebire de acestea din urmă, eroarea de justețe la TID-L este mult mai mică față de lungimea domeniului de măsurare, iar utilizarea lor nu presupune complicarea schemei cu un convertor analog numeric, ce reprezintă o sursă de erori suplimentare. Convertind o mărime de intrare analogică (deplasare liniară), traductoarele TID-L furnizează în out-put tot o mărime analogică (număr de oscilații electrice) ușor însă de digitalizat cu circuite comparatoare.

Traductoarele TID-L se utilizează împreună cu un echipament electronic specializat, [numit NIT 271], ce conține etajul amplificator (90), etajul formator (10), ce realizează subdiviziunea semnalului analogic cu 5, etajul divisor (11), ce subdivizează digital cu 2 sau 4 și etajul de numărare-afișare (12). Blocul electronic [NIT 271] prezintă funcțiile RESET, PRESET și posibilitatea utilizării sale pentru comanda unei afișări exterioare.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 6.2.1.):

Tabelul 6.1.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1	Rezoluția	0,010 mm 0,001 mm  0,0005 mm	- fără subdivizare electronică - cu blocul electronic utilizat pe subdivizare cu 10 - cu blocul electronic utilizat pe subdivizare cu 20
2.	Domeniul de măsurare	10, 30, 50, 80, 100 mm	
3.	Eroarea de justețe a sistemului traductor bloc electronic	- max ± 1 μm pentru 10, 30 mm; - max ± 2 μm pentru 50, 80, 100 mm	

4.	Eroarea de fidelitate a sistemului	- maximum valoarea rezoluției	(Vezi pct. 1)
5.	Viteza maximă de deplasare a palpatorului	- 0,4 m/s	
6.	Alimentare lampă	$+(5 \pm 0,25)V$	
7.	Capacitate de afișare	8 decade + 1 decada de semn	
8.	Alimentare bloc electronic	$220 V_{ca} \begin{matrix} +15\% \\ -10\% \end{matrix}$ $50 Hz \pm 2\%$	
9.	Putere consumată	max. 10 VA	
10.	Subdivizare analogică	cu 5, 10; 20.	Precizia subdivizării este dependentă de toleranța rezistențelor de divizare
11.	Subdivizare logică	cu 1 cu 2 cu 4 cu 8	Precizia subdivizării depinde de toleranța pasului incremental
12.	Posibilități de reset	DA	Manual prin buton automat prin impulsul de nul al traductorului
13.	Ieșiri bloc	TTL - în cod binar	
14.	Posibilitatea de cuplare la tehnica de calcul	da	Posibilități facile de conectare la tehnica de calcul

## 6.2. Traductor fotoelectric incremental de poziție tip TIRO

Traductoarele incrementale de rotație din seria TIRO (fig. 6.2.1.a) sunt proiectate și realizate într-o concepție originală în mai multe tipodimensiuni, corespunzător unei largi game de aplicații.

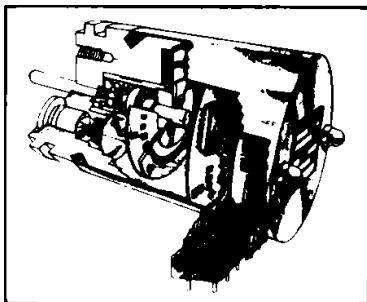


Fig. 6.2.1.a

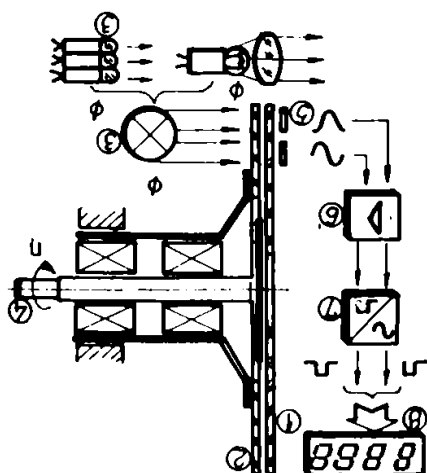


Fig. 6.2.1.b

Construcția pe structura unui sistem fotoelectric incremental diascopic, traductoarele TIRO furnizează în principiu, 50, 100, 250, 500, 1000, 1024, 1500, 2000, 2400, 2500, 3000, 3600 impulsuri electrice pe  $360^\circ$ , convertind astfel într-o mărime de ieșire digitală, o mărime de intrare analogică (deplasare unghiulară).

În baza schemei cinemato - electronice din fig. 6.2.1. b, se consideră: discul divizor (1) este suportul unei rețele incrementale radiale cu pas constant și raportul zonă transparentă / zonă opacă, egal cu 1.

Discul incremental vernier (2) conține 4 zone identice de rețea, cu aciași geometrie și dimensiuni ale divizoare și defazate reciproc spațial în quadratură. Sursa emitoare a fluxului de radiație electromagnetică  $\phi$  (3) poate fi: lampă cu incandescență (cost scăzut) sau diodă electroluminiscentă în infraroșu (IRED) (durată de viață ridicată).

Mărimea de intrare,  $S_i$ , aplicată arborelui (4), produce modularea fluxului radiant, astfel încât fluxurile emergente celor 4 rețele incrementale vernier, au variație periodică (triunghiulară), fiind defazate temporal în quadratură.

Fotoelementele (5) sunt aplicate în "push - pull" amplificatoarelor operaționale ce constituie etajul amplificator (6), diminuând astfel influența temperaturii și eliminând parazii radioelectronici la acest nivel.

Etajul formator (7), compus din bistabile și inversoare, furnizează la ieșire 4 semnale dreptunghiulare în cuadratură (TTL pentru medii neperturbante și distanțe mici sau open-collector pentru medii cu paraziți și distanțe până la 50 m).

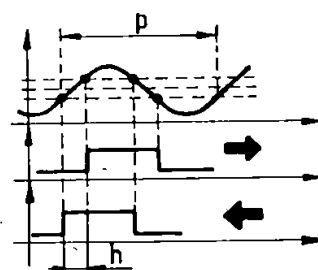
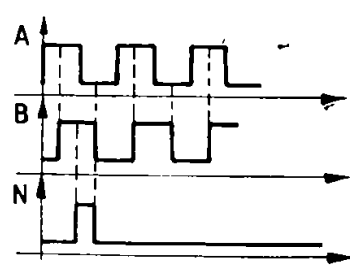
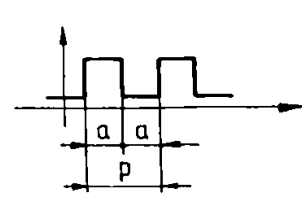
Ieșirile TTL asigură compatibilitate perfectă cu tehnica de calcul.

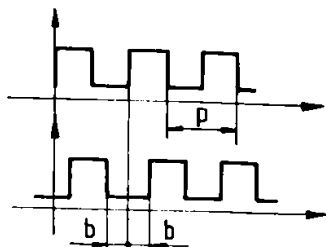
Traductoarele TIRO se utilizează împreună cu echipamente specializate de numărare / comandă / afișare tip NUMEROM (produs S.C.IEA Buc.) sau NIT 161 (produs S.C.MF) care au posibilitatea subdivizării electronice cu 2 sau 4 și decelării sensului de rotație (8).

Raportul între precizia de măsurare și rezoluție face parte din traductoarele TIRO, cele mai performante traductoare de unghi pentru sistemele automate.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 6.2.1.):

Tabelul 6.2.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Rezoluția	- $360^\circ/N = p$ (pasul unghiular al rețelei divizoare) = $7^\circ 12' \dots 0^0 6'$ - $360^\circ/4N = 1^\circ 48' \dots 0^0 1' 30''$  - $360^\circ/20N = 21^\circ 36' \dots 0^0 0' 18''$ ;	- fără bloc electronic $N=50, 100, 250, 500, 1000, 1024, 1500, 2000, 2400, 3000, 3600$ ; - cu bloc electronic comutat pe subdivizare cu 4; - cu interpolare cu 5 și subdivizare cu 4, aplicate semnalelor analogice;
2.	Eroarea maximă de justețe	$\pm 1/5 p = 1^\circ 26' 24'' \dots \pm 0^0 1' 12''$ ;	- experimental;
3.	Eroarea maximă de fidelitate	$1/8 p = 0^\circ 54' \dots 0^0 0' 45''$ ;	- experimental;
4.	Histerezi-ul ...axim	$j - 1/7 p = 1^\circ 1' 43'' \dots 0^0 0' 51''$ ;	
5.	Frecvența impulsurilor electrice	0...100 Hz;	
6.	Impuls de nul (referință)	- unul la $360^\circ$ ; lungimea maximă = $\phi$ ;	
7.	Factorul de umplere a impulsurilor	$a/p = 0,5 \pm 0,1$ ;	

8.	Decalarea impulsurilor A și B	$b/p = 0,25 \pm 0,05;$	
9.	Alimentare	$+(5 \pm 0,25)V_{cc};$	
10.	Turația maximă de rotație	max. 9000 rot/min;	
11.	Interval de măsurare	$0^\circ \dots n \times 360^\circ;$	
12.	Momentul de inerție	max. 16 gcm <sup>2</sup>	
13.	leșire semnale	TTL și cu _ole_t.r în g_l (S)	
14.	Moment de frecare la axul traductorului	max. 40 CNcm;	
15.	Forța maximă admisibilă la axul traductorului	axială: 10N; radială: 20 N;	
16.	Masa traductorului	max. 0,5 kg;	
17.	Dimensiuni de gabarit (1 tipodimensiune)	$\phi 58 \times 95$ mm;	
18.	MTBF	1500 ore;	
19.	R (550 h) R (95 h)	0,9; 0,76;	
20.	Z (550 H) Z (950 h)	$2,8 \times 10^4 h^{-1};$ $4,4 \times 10^4 h^{-1}$	

### 6.2.1. Subansamblu bloc fotoelectric incremental

În cadrul traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație tip TIRO, subansamblul bloc fotoelectric incremental reprezintă partea importantă constructivă și funcțională.

Întrucât există realizată o mare varietate sorto-tipo-dimensională de traductoare fotoelectrice incrementale de rotație, realizarea constructivă a acestor traductoare a fost concepută pe baza normalizării și tipizării elementelor și subansamblelor principale.

Astfel blocul electronic incremental (fig. 6.2.1.1), a fost conceput, proiectat și realizat pentru întreaga gamă de traductoare de la 30 impulsuri/rot, la 10.000 impulsuri/rot, într-o soluție tipizată, schimbându-se numai discurile incrementale divizor și vernier, care diferă, în funcție de numărul de impulsuri/rot.

În baza fig. 6.2.1.2. acest subansamblu este caracterizat astfel:

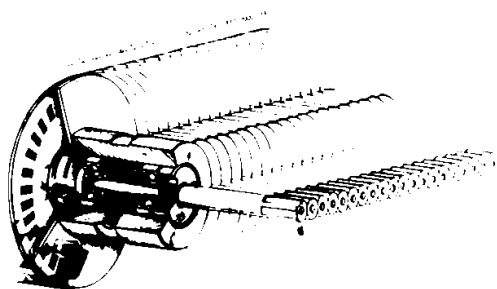


Fig. 6.2.1.1.

Pe axul principal(1) este fixat rigid discul incremental divizor (2) prin intermediul unor elemente de tip flanșă, inel și șurub de strângere; prin intermediul microrulmenților (3) axul principal

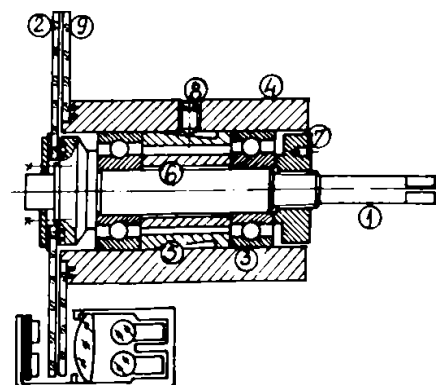


Fig. 6.2.1.2.

este fixat de bucşa lagăr (4) prin intermediul bucşelor distanţier I (5) și II (6) și al piuliței de strângere (7).

Prin reglarea lungimii acestor bucşe, distanţa dintre inelele interioare și exterioare ale microrulmenţilor se modifică și astfel este preluat jocul radial și axial al microrulmenţilor, în mod practic schimbându-se calea de rulare a elementelor de rostogolire.

Prin strângerea piuliței (7) pe axul principal (1) se obține o rigidizare a discului incremental divizor, cu microrulmenţii (3) și bucşa distanţier I (5). Pentru blocarea axială a acestui subansamblu față de bucşa - lagăr (4) se utilizează știfturile (8) care fixează și poziționează axial distanţa între cele două discuri incrementale (2; 9).

Subansamblul bloc fotoelectric incremental proiectat, realizat și asimilat în fabricație, stă la baza fabricației de serie a traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 6.2.1.1.):

Tabelul 6.2.1.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Numărul de sortotipodimensiuni (până în prezent)	60	Numărul de sorto-tipo-dimensiuni crește pe măsură ce tehnologia fotodivizării se perfecționează și pe măsură ce se asimilează noi traductoare.
2.	Numărul de impulsuri pe rotație	30; 50; 100; 200; 250; 500; 1000; 1024; 1500; 2000; 2400; 2500; 3000; 3600; 4000; 5000; 6000; 7000; 8000; 9000; 10000.	Numărul de impulsuri/ rotație va crește pe măsură ce se perfecționează tehnologia de fotodivizare.
3.	Sistemul de iluminare	- bec cu incandescență; - LED	
4.	Lagăre	- microrulmenți de precizie	
5.	Sistem de preluare joc radial și axial		Sistemul este mecanic și asigură preluarea jocului radial și axial.
6.	Diametrul axului principal	în principal: $\varphi 4$ ; $\varphi 8$ ; $\varphi 10$	
7.	Turația	2500 - 9000 rot/min	Turația este în funcție de numărul de impulsuri / rotație
8.	Posibilități de integrare	da	Subansamblul bloc fotoelectric incremental poate fi integrat în toată gama de traductoare fotoelectrice incrementale de rotație, în toată gama de traductoare fotoelectrice incrementale de deplasări mici.

## Capitolul 7. CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA CUPLAJELOR ELASTICE, DISPOZITIVUL DE CONTROL ȘI STANDUL DE ÎNCERCĂRI PENTRU TRADUCTOARELE FOTOELECTRICE DE POZIȚIE

### 7.1. Analiza, proiectarea și sinteza cuplajelor elastice de torsiune pentru traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție

#### 7.1.1 Aspecte generale

Cuplajele elastice de torsiune sunt cuplaje noncomutabile, mecanice și compensatoare, care nu permit între partea angrenatoare și cea angrenată nici o torsiune relativă, realizând practic transmiterea de la o parte la alta a mișcării de rotație fără eroare.

Aceste cuplaje sunt cerute de necesități practice de cuplare ale traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație, atunci când sunt impuse condițiile de funcționare sincronă a acestora, când pe durata exploatării ne așteptăm să apară mici deplasări axiale, radiale, unghiulare sau combinate, ale arborelui, datorate diferitelor cauze (ex.: forțele statice sau dinamice, dilatările termice, uzura lagărelor etc) sau când nu poate fi realizată o aliniere de înaltă precizie a arborilor.

Cuplajele elastice de torsiune s-au impus și datorită avantajelor evidențiate de libertatea de deservire, de joc, de lipsa de lubrefiere, flexibilitate axială, forțe de readucere reduse etc.

În prezent, aceste cuplaje s-au realizat și dezvoltat, pentru integrarea traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație, în diverse aplicații industriale și capabile de a transmite momente de rotație, la turații mici și mari (de la 5 - 10 rot/min la 10000 - 15000 rot/min).

#### 7.1.2. Aspecte constructive originale

În general, cuplajele elastice de torsiune se pot considera articulații elastice simple (fig. 7.1.2.1), duble sau multiple (fig. 7.1.2.2.), a căror mobilitate se bazează exclusiv pe comportamentul elastic al elementelor sale elastice.

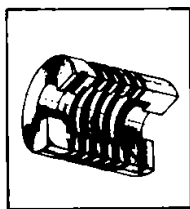


Fig. 7.1.2.1.

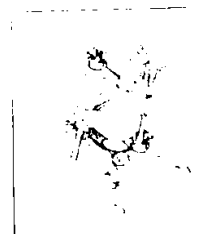


Fig. 7.1.2.2.

Aceste cuplaje elastice se caracterizează prin capacitatea de egalizare determinată de numărul de libertăți de mișcare, prin comportamentul lor față de momentul de rotație și mișcarea de rotație.

Această caracterizare este dependentă de materialul din care sunt executate cuplajele, de forma geometrică și de dimensiunile elementelor elastice.

În fig. 7.1.2.3., 7.1.2.4., 7.1.2.5., 7.1.2.6., 7.1.2.7., sunt ilustrate exemple de cuplaje elastice de torsiune, proiectate de autor și realizate pentru prima dată în țară și utilizate deja în aplicațiile industriale ale traductoarelor fotoelectrice de rotație.

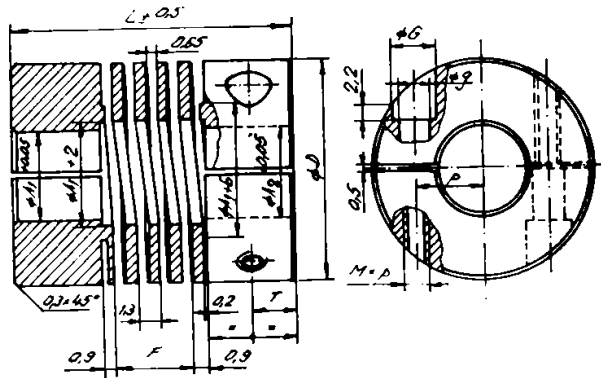


Fig. 7.1.2.3.

Den.	φ A1	φ A2	φ D	L	M x p	T	P	F	φ G	φ g	Material
CECA	4	5	15	22	3 x 0,5	3,2	4,5	7,6	4,5	3,4	INOX AlMg 3 STAS 7608-86 CuZn 36
CECA	6	6	20	28	3 x 0,5	4,6	5	7,6	4,5	3,4	
CECA	10	10	25	30	3 x 0,5	4,8	7	9,2	4,5	3,4	
CECA	12	12	30	38	4 x 0,7	6	9	12	6	4,5	
CECA	4	5	13	19	2,5 x 0,45	2,8	4,5	6	4	2,8	
CECA	4	4	10	14,3	2,5 x 0,45	2,2	4	4	4	2,8	

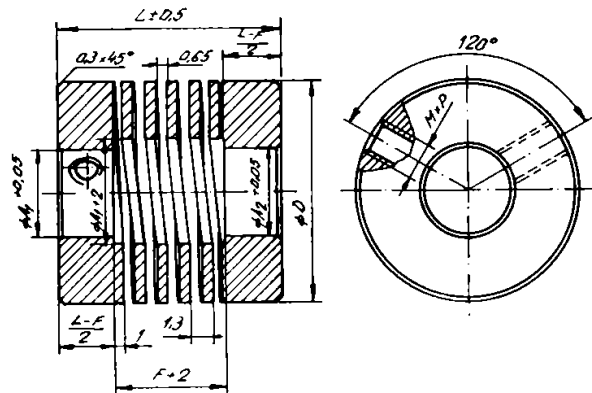


Fig. 7.1.2.4.

Den.	φ A1	φ A2	φ D	L	M x p	T	P	F	Material
CEA 10	4	4	10	14,5	2,5 x 0,45	2	1,3	4,5	INOX Al Mg 3 STAS 7608-86 Cu Zn 36 STAS 95-76
CEA 13	4	5	13	19	2,5 x 0,45	2,5	1,3	6,5	
CEA 15	4	5	15	20	3 x 0,5	2,5	1,3	6,5	
CEA 20	6	6	20	20	3 x 0,5	2,5	1,3	8	
CEA 25	10	10	25	24	4 x 0,8	3	1,3	10	
CEA 30	12	12	30	30	5 x 0,8	3,25	1,3	1,3	

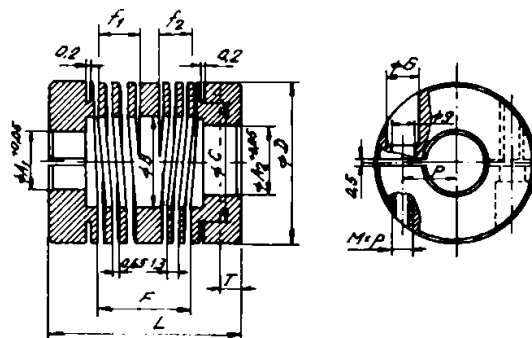


Fig. 7.1.2.5.



Den.	C	$\phi A1$	$\phi A1$	L	$\phi D$	M x p	p	$\phi B$	F	f1	f2	T	$\phi G$	$\phi g$	Material				
CE 1	8	4	4	14,5	10	1,2 x 0,75	3,2	5	6	2	2	1,7	2	1,4	INOX				
CE 2		4	5																
CE 3	9	5	5	19	13	2 x 0,4	4,5	6	9	3	3	2	3,2	2,2		AlMg3 STAS 7608-86			
CE 4		5	6																
CE 5	12	6	6	20,5	16	3 x 0,5	5,5	7	10	3,5	3,5	2,2	4,5	3,4			CuZn 35 STAS 95-76		
CE 6		6	8																
CE 7	14	6	8	23	19	3 x 0,5	6,5	9	12	4	4	2,4	4,5	3,4				CuZn 35 STAS 95-76	
CE 8		8	8																
CE 9	16	8	8	26	22	3 x 0,5	7,5	11	13	5	5	3	4,5	3,4					CuZn 35 STAS 95-76
CE10		8	10																

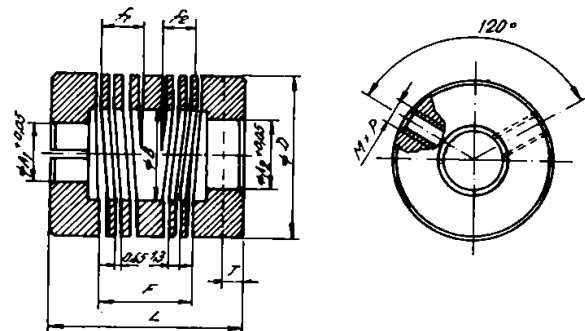


Fig. 7.1.2.6

Den.	$\phi A1$	$\phi A2$	L	M x p	$\phi D$	T	$\phi B$	F	f1	f2	Material				
CEA 1	4	4	14,5	2 x 0,4	10	1,6	6	6	2	2	INOX				
CEA 2	4	5													
CEA 3	5	5	19	2 x 0,4	13	2	8	9	3,0	3,0		Al Mg 3 STAS 7608-86			
CEA 4	5	6													
CEA 5	6	6	20,5	3 x 0,5	16	2	10	10	3,5	3,5			Cu Zn 36 STAS 95-76		
CEA 6	6	8													
CEA 7	6	8	23	3 x 0,5	19	2,2	12	12	4	4				Cu Zn 36 STAS 95-76	
CEA 8	8	8													
CEA 9	8	8	26	3 x 0,5	22	2,8	14	13	5	5					Cu Zn 36 STAS 95-76
CEA 10	8	10													

Materialele utilizate pentru construcția lor au fost, pentru elementele elastice, oțelul inox, bronz beriliu, alamă tare și aliajul de aluminiu.

Aceste cuplaje sunt lipsite pe durata funcționării de mișcările de alunecare, de deservire și de lubrefiere, asigură o echilibrare totală a deplasărilor la arbori, o transmisie rigidă de rotație și fără joc de torsiune (fără "recul").

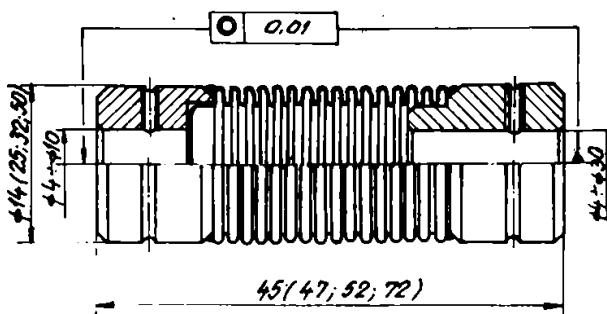


Fig. 4.1.2.7.

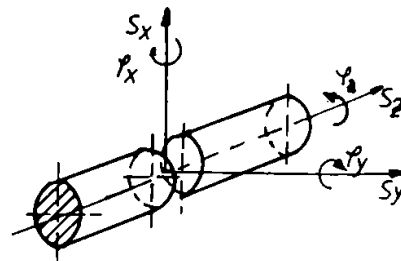


Fig. 4.1.2.8.

În general, cuplajele elastice permit 6 grade de libertate ( $S_x, S_y, S_z$  și  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ ) (fig. 7.1.2.8.) și o transmisie a momentului de rotație uniformă, comportându-se astfel față de momentul de rotație ca element rigid care poate totuși egaliza dislocările axiale și unghiulare ale arborelui, prin deformări elastice, fără să cauzeze încărcări suplimentare lagărului.

Cuplajele proiectate, realizate și studiate s-au bazat pe mecanisme portante bară plane, suprafețe plane și combinate.

În domeniul de valabilitate al legii lui Hooke, cuplajele elastice studiate au prezentat un comportament "liniar-pur", adică deformarea și distorsionarea mecanismelor portante cu pereți subțiri au loc direct proporțional cu sarcina lor externă.

Factorul de proporționalitate pentru deplasarea axială a arborelui este desemnat ca rigiditate longitudinală:

$$\Delta c_a = \frac{F_a}{S_a}; \quad (7.1.2.1)$$

iar pentru deplasarea unghiulară a arborilor, ca rigiditate unghiulară:

$$\Delta c_\omega = \frac{M_t}{\Delta \alpha_\omega}; \quad (7.1.2.2)$$

Important pentru caracterizarea elasticității cuplajelor elastice, a reieșit a fi:

- limita de elasticitate ( $\delta_E$ ), Modulul de elasticitate ( $E$ ) și grosimea peretelui ( $h$ ) a elementului elastic (cu forme geometrice variate);

- deschiderea între două prinderi învecinate, respectiv deschiderea unui element elastic;

- tipul de fixare.

În timpul funcționării cuplajelor, iau naștere forțe de readucere și momente de readucere, în articulațiile cuplajelor, ca urmare a îndoirii și modificării lungimii.

Deci, apar reacții suplimentare în lanțul arbore-lagăr, (fig 7.1.2.9.): Forțe și momente la un cuplaj cu o articulație simplă cu deplasare unghiulară: a. relații geometrice; b. momente de torsiune; c. forțe de reazem; d. diagrama - forțe transversale; e. diagrama momente;

Fig. 7.1.2.10: Forțe și momente la un cuplaj cu două articulații cu deplasare radială: a. relații geometrice; b. forțe și momente de torsiune; c. forțe de reazem; d. diagrama - forțe transversale; e. diagrama momente.

Solicitarea materialului elementelor elastice ale cuplajului situându-se în domeniul elastic, face ca forțele și momentele de readucere să se comporte direct proporțional cu traiectoriile de deplasare, respectiv cu deplasările arborelui.

Cuplajele elastice garantează astfel, în orice poziție plană sau spațială, o funcționare sincronă asigurând o viteză unghiulară a părții antrenate  $\omega_2$ , egală în orice moment cu viteza unghiulară a părții antrenate  $\omega_1$ .

Deși constructiv, cuplajele elastice sunt într-o gamă sortotipodimensională variată, se poate determina unitar raportul de forță sau mișcare, plecându-se de la ecuațiile (7.1.2.1) și (7.1.2.2) și considerându-se valabilitatea lor în domeniul legii lui Hooke.

Din experimentări multiple și calcule laborioase, autorul a ajuns la următoarele concluzii:

$$\Delta \alpha_\omega \leq \left( \frac{9}{10} \right)^\circ \quad (7.12.3.)$$

și

$$\alpha_{\omega} \leq \left(\frac{48}{10}\right)^{\circ}$$

(7.1.24.)

$\alpha_{\omega}$  = unghi de articulare

- restul cuplajului față de elementele elastice este inflexibil;
- liniile active ale forțelor și momentelor sunt situate în planul de îndoire a cuplajului.

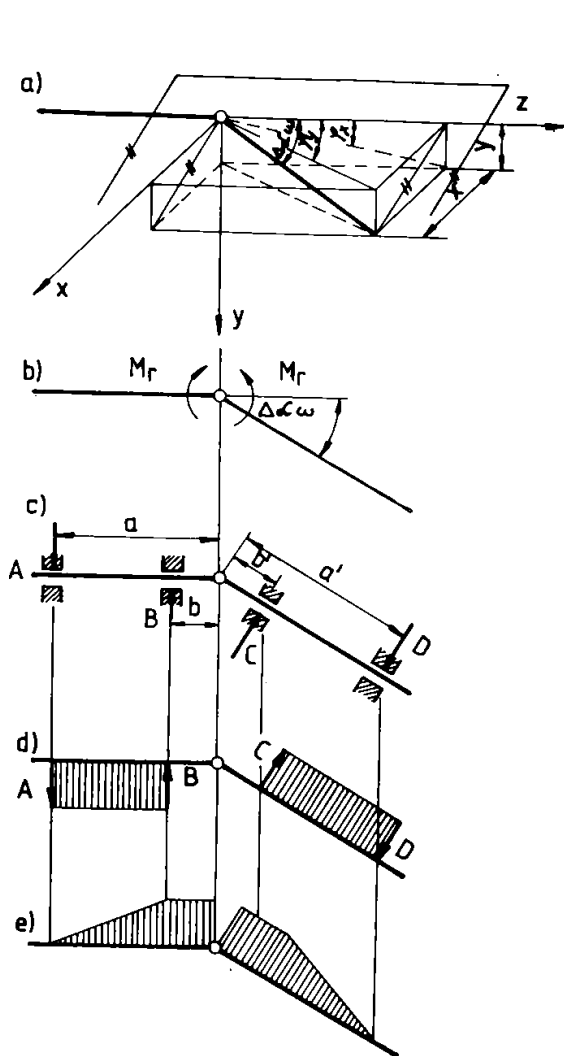


Fig. 7.1.2.9.

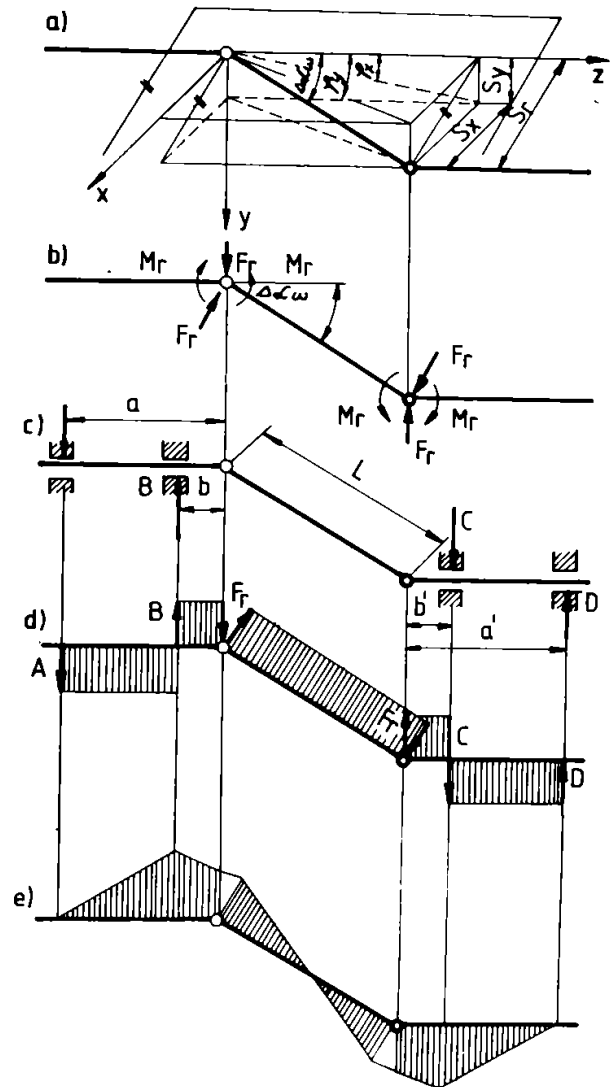


Fig.7.1.2.10.

### 7.1.3. Raporturile de mișcare și forță la un cuplaj elastic de torsiune

Considerându-se unghiul de articulare, ( $\alpha_{\omega}$ ), articularea concomitentă în planul xz și yz, atunci se determină unghiul de articulare rezultat din suma geometrică a unghiului orizontal și vertical (vezi fig. 7.1. 2.9. și 7.1.2.10):

$$\operatorname{tg} \Delta\alpha_{\omega} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi_x + \operatorname{tg}^2 \varphi_y} ; \quad (7.1.3.1)$$

Pentru:  $\Delta\alpha_\omega \leq \left(\frac{9}{10}\right)^\circ$  ;

rezultă:

$$\operatorname{tg} \Delta\alpha_\omega = \sin \Delta\alpha_\omega \cong \operatorname{arc} \Delta\alpha_\omega = \frac{\pi \cdot \Delta\alpha_\omega}{180} = \Delta\bar{\alpha}_\omega ; \quad (7.1.3.2.)$$

și

$$\operatorname{tg} \varphi_x \cong \frac{\pi \cdot \varphi_x}{180^\circ}$$

precum și

$$\operatorname{tg} \varphi_y \cong \frac{\pi \cdot \varphi_y}{180^\circ} ;$$

Atunci:

$$\Delta\alpha_\omega \leq \sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2} = \alpha_\omega ; \quad (7.1.3.3)$$

Dislocarea axială, în direcția z, devine:

$$S_z = S_a = \Delta S_a ;$$

Fiecărei deplasări arbore impusă i se opune o rezistență, care în cazul unei deplasări unghiulare, induce un moment de readucere de mărimea:

$$M_r = \Delta C_\omega \cdot \Delta\hat{\alpha}_\omega = C_\omega \cdot \hat{\alpha}_\omega ; \quad (7.1.3.4.)$$

Forțele de reacțiune sunt conform cu fig. 7.1.2.10.

La dislocarea axială trebuie să se preia suplimentar forța de torsiune activă în direcția axială:

$$F_a = \Delta C_a \cdot \Delta S_a = C_a \cdot S_a ; \quad (7.1.3.5.)$$

**7.1. 4. Raporturile de mișcare și forță la un cuplaj cu două și mai multe articulații elastice** Considerându-se cuplaje cu 5 grade de libertate (deplasări radiale și unghiulare axiale), câte o posibilitate în direcția x, y, z și câte o posibilitate  $\varphi_x$  și  $\varphi_y$ , deplasarea radială admisibilă ( $S_r$ ) în funcție de lungimea de articulații (L) și unghiul de articulare ( $\Delta\alpha_\omega$ ) este (vezi fig. 7.1.2.10):

$$\begin{aligned} S_{r_a} &= L \cdot \sin \Delta\alpha_\omega ; \\ S_{r_a} &= L \cdot \Delta\alpha_\omega \end{aligned} \quad (7.1.4.1.)$$

Dar această deplasare poate fi calculată și din suma geometrică a componentelor active în planul xz și yz (adică  $S_x$  și  $S_y$ ):

$$S_{r_a} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} ; \quad (7.1.4.2)$$

Totodată, prin cuplarea în serie a două articulații se cauzează o dublare a unghiului de articulație  $\Delta\alpha_\omega$  și a deplasării axiale  $\Delta S_a$ .

Atunci avem:

$$\alpha_\omega = 2\Delta\alpha_\omega ; \quad (7.1.4.3.)$$

$$S_a = 2 \Delta S_a ; \quad (7.1.4.4.)$$

Se pot determina rigiditatea longitudinală și respectiv, unghiulară:

$$C_a = \gamma \cdot \Delta C_a ; \quad (7.1.4.5.)$$

$$C_{\omega} = \gamma \cdot \Delta C_{\omega} ; \quad (7.1.4.6.)$$

unde:

$$\gamma = \frac{1}{2} ;$$

Deasemenea, se calculează momentul și forța ce iau naștere:

$$M_r = \frac{F_r \cdot L}{2} ; \quad (7.1.4.7)$$

și

$$F_r = C_r \cdot S_{r_a} ; \quad (7.1.4.8.)$$

unde:  $M_r$  = momentul de torsiune și  $F_r$  = forța de rapel activă

Din ecuațiile (7.1.3.4), (7.1.4.7.) și (7.1.4.8.) se obține relația generală de calcul a rigidității transversale a tuturor cuplajelor elastice:

$$C_r = \frac{2 C_{\omega} \cdot \hat{\alpha}_{\omega}}{L \cdot S_{r_a}} \Rightarrow C_r = \frac{2 \Delta C_{\omega} \cdot \Delta \hat{\alpha}_{\omega}}{L \cdot S_{r_a}} ; \quad (7.1.4.9.)$$

Din ecuațiile (7.1.4.1.) și (7.1.4.9.), rezultă în final:

$$C_r = \beta \cdot \Delta C_{\omega} = \text{funcția pentru rigiditatea transversală} \quad (7.1.4.10)$$

unde:

$$\beta = f(1/L^2)$$

Desfășurarea calitativă a forței transversale și a momentului de încovoiere este redată în fig.7.1.2.10 d, e .

În cazul cu mai multe articulații (duble, multiple), acționează o mărire a unghiului de articulare și a capacității de deplasare axială (fig. 7.1.4.1. și 7.1.4.2.):

$$\alpha_{\omega} = 2n \cdot \Delta \alpha_{\omega} \quad (7.1.4.11.)$$

$$S_a = 2n \cdot \Delta S_a \quad (7.1.4.12)$$

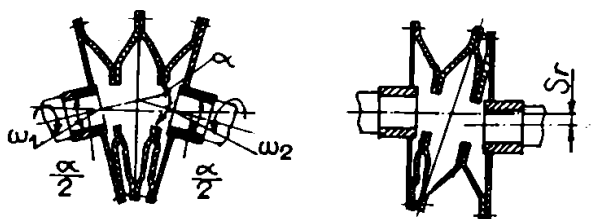


Fig. 7.1.4.1.

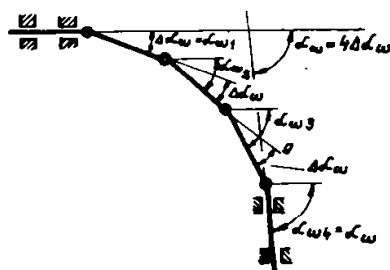


Fig. 7.1.4.2.

Pentru un cuplaj cu articulații duble multiple construit asimetric (fig.7.1.4.3.) avem pentru deplasarea radială:

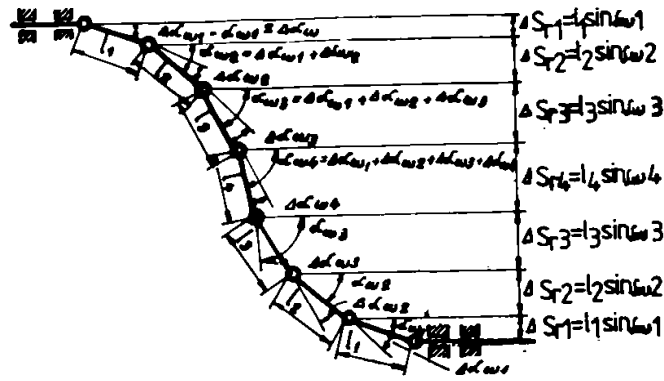


Fig. 7.1.4.3.

$$\Delta S_{rk} = l_k \cdot \sin \alpha_{\omega k}$$

și

$$S_r = 2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta S_{rk} + \Delta S_{rn}$$

respectiv:

$$S_r = 2 \sum_{k=1}^{n-1} l_k \sin \alpha_{\omega k} + l_n \sin \alpha_{\omega n} \quad (7.1.4.13)$$

$$\alpha_{\omega n} \leq \left( \frac{48}{10} \right)^\circ$$

Atunci ecuația (7.1.4.13.) datorită:

$$\sin \alpha_{\omega n} \cong \text{arc } \alpha_{\omega n} = \frac{\pi \alpha_{\omega n}}{180} \cong \hat{\alpha}_{\omega n} ;$$

$$\sin \alpha_{\omega k} = \hat{\alpha}_{\omega k} ;$$

devine:

$$S_r = 2 \sum_{k=1}^{n-1} l_k \hat{\alpha}_{\omega k} + l_n \alpha_{\omega n} ; \quad (7.1.4.14.)$$

Deci:

$$\hat{\alpha}_{\omega k} = \Delta \hat{\alpha}_{\omega} \left[ k - \beta L \cdot \sum_{j=1}^{k-1} (k-j) \cdot l_j \right] ; \quad (7.1.4.15.)$$

$$\hat{\alpha}_{\omega k} = \Delta \hat{\alpha}_{\omega} \left[ n - \beta L \cdot \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \cdot l_j \right] ; \quad (7.1.4.16.)$$

și

$$L = 2 \sum_{k=1}^{n-1} l_k + l_n ; \quad \beta = \frac{2}{L^2} ; \quad (7.1.4.17)$$

Rigiditatea longitudinală și unghiulară a unor asemenea cuplaje iau următoarele valori:

$$C_a = \Gamma \cdot \Delta C_a \quad (7.1.4.18)$$

$$C_\omega = \Gamma \cdot \Delta C_\omega \quad (7.1.4.19)$$

unde:

$$\Gamma = \frac{1}{2n};$$

Calcularea rigidității transversale se face după ecuația (7.1.4.19).

### 7.1.5. Considerații după experimentare.

- datorită faptului că articulațiile elastice duble sau multiple, iau naștere prin cuplarea în serie a articulațiilor simple de aceeași valoare, este suficient pentru dimensionarea unui cuplaj elastic a se cunoaște parametrii tehnici ai articulației simple;
- interpretarea constructivă a cuplajelor elastice are loc numai după momentul de rotație transmis, interpretându-se în special tensiunea la torsiune;
- cuplajele elastice cu o articulație au utilizare limitată, față de cele două sau patru articulații;
- cuplajele elastice cu articulații duble multiple au o capacitate mai mare de echilibrare, decât cuplajele cu articulație dublă, oferind în același timp, avantajul economiei de spațiu la montare;
- cuplajele elastice cu articulații duble multiple, devin instabile odată cu creșterea numărului de articulații - duble, întrucât tendința de flambaj crește progresiv.

### 7.2. Dispozitiv de centrare a discurilor fotoelectrice incrementale de poziție la traductoarele fotoelectrice incrementale, tip TIRO

În tehnologia de montaj a traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație, respectiv a ansamblului de discuri incrementale divizor și vernier, a apărut necesitatea centrării discurilor incrementale de toleranță strânsă, știindu-se că această centrare se implică în precizia traductorului.

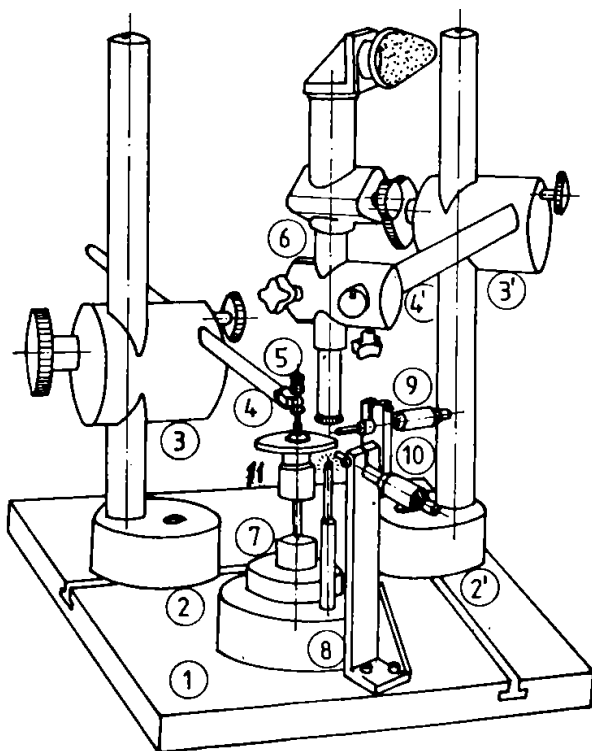


Fig. 7.2.1.

are fixat și sistemul de iluminare (8) pentru discurile incrementale și pentru microscopul de centrare. Pe placa de bază se mai află alți doi suporturi în care sunt fixate la 90° câte un cap micrometric mecanic, cu valoarea diviziunii de 0,001 mm, prin intermediul lor făcându-se astfel deplasarea

Pentru o centrare cât mai aproape de

divizoare peste zona incrementală vernier, s-a conceput și realizat ca dispozitiv tehnologic, în soluție constructivă originală, dispozitivul de centrare a discurilor fotoelectrice divizoare incrementale de rotație tip TIRO (fig 7.2.1.).

Dispozitivul este compus din placa de bază (1) pe care se montează doi suporturi (2; 2') prin intermediul canalelor T; pe cei doi suporturi se află subansamblele (3; 3') care ghidează pe coloanele suporturilor (2; 2') și care au la rândul lor câte o tijă (4; 4') ce culisează în subansamblele (3; 3') și care se blochează prin intermediul unor șuruburi.

Cele două tije (4; 4') au roluri diferite și anume: tija (4) este prevăzută cu un subansamblu cu bilă care centrează și sprijină alezajul tehnologic (și de precizie) al axului principal ce poartă discul incremental divizor, (tija 4') sprijină și fixează (rigid) microscopul de centrare (6) cu precizie de 0,001 mm.

Pe placa de bază (1) este fixat și subansamblul (7) care are rolul de a sprijini și centra unul dintre capetele subansamblului

discului vernier față de discul incremental divizor pentru centrarea zonelor incrementale.

Din punct de vedere al principiului de funcționare tehnologică, se fixează subansamblul discurilor incrementale (11), prin centrarea lui la capete, prin intermediul bilelor în alezajele conice din capetele axului principal.

Discul incremental divizor este centrat și fixat față de axul principal, este introdus prin intermediul microrulmenților, în subansamblul discului incremental vernier, acesta având discul vernier așezat pe suprafața frontală și fiind lipit.

Prin rotirea unui disc față de celălalt și căutând coincidența cercurilor tehnologice de control ale discurilor, prin deplasări repetate pe două direcții perpendiculare cu capetele micrometrice, se centrază cele două discuri într-o precizie de 0,002 mm prin intermediul microscopului, după care se lasă să se întărească lipitura discului vernier.

După cum se observă, centrarea discurilor se face în condițiile tehnologice de prelucrare ale subansamblului cu discuri incrementale în condițiile reale de funcționare ale acestor discuri, aceasta asigurând o înaltă precizie de centrare, ceea ce implică o precizie bună și înaltă a traductorului fotoelectric de rotație.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 7.2.1.):

Tabelul (7.2.1.)

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Sistem de centrare și măsurare</b>	-	Cu microscop de centrare
2.	<b>Sistem de antrenare și mișcare</b>	-	Manual
3.	<b>Capete micrometrice:</b> A = B = C =	Valoarea diviziunii: 0,01 mm 0,005 mm 0,002; 0,001 mm	
4.	<b>Posibilități de reglaj radial, axial și radial-axial</b>	-	Da
5.	<b>Manevrarea</b>	-	Dispozitivul de centrare a discurilor poate fi manevrat de un singur operator, ușor și sigur în coincidența liniilor de control

### 7.3. Stand de încercare și măsurare a caracteristicile tehnico-funcționale ale cuplajelor elastice de torsiune

În funcționarea corectă a traductorului fotoelectric incremental de poziție, intervine modul de aliniere al axului traductorului cu axul cu care se cuplează, în aplicația sa industrială.

După cum se știe, cuplarea în aplicație industrială a unui traductor, se face ținând cont de următoarele:

- axul traductorului să fie coaxial cu axul aplicației;
- axul traductorului să nu fie deplasat radial și unghiular - radial față de axul aplicației.

Pentru îndeplinirea acestor condiții, montajul unui traductor în aplicația industrială se face prin intermediul cuplajelor elastice de torsiune, acestea permițând unele abateri, la montajul traductorului, de la concentricitate, de la deplasările radiale și radial unghiulare, abateri care sunt preluate până la anumite valori limită de aceste cuplaje elastice.

În fapt, cuplajele elastice permit abateri de la montaj în limite bine calculate și definite, dar transmit foarte precis și fidel, mișcările de rotație și momentele de torsiune.

Pentru realizarea de cuplaje elastice, s-au făcut cercetări, s-au determinat tipurile de cuplaje, natura materialului, numărul de articulații, geometria, forțele și momentele de încovoiere, de răsucire și de rapel, rigiditatea axială și radială etc.

În vederea testării cuplajelor și a determinării metodelor celor mai bine utilizate, s-a realizat un stand, în soluție originală, prin care se determină caracteristicile tehnico-funcționale ale cuplajelor (fig.7.3.1.).

În baza schemei cinematice din fig. 7.3.2., standul de încercări și testări se caracterizează:



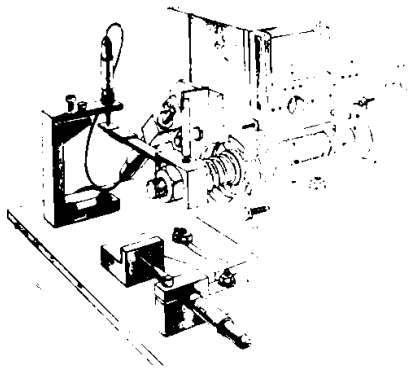


Fig.7.3.1

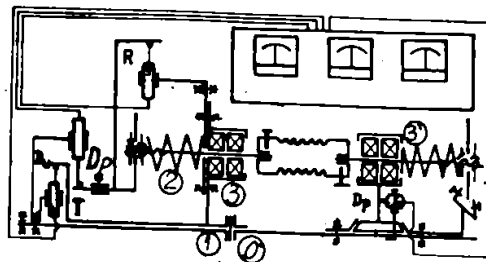


Fig.7.3.2

Pe o placă de bază (1) se fixează subansamblul corp-lagăr (2) care are lagăr pe microrulmenți (3; 3') și care poate să oscileze unghiular în planul plăcii de bază în jurul unei articulații "0", deplasarea unghiulară fiind pusă în evidență de traductorul inductiv ( $D_u$ ) cuplat cu blocul analogic corespunzător.

Subansamblul (2) cu axa de rotație 3-3' poate avea o mișcare de rotație în jurul axei proprii, ceea ce determină transmiterea răsucirii, a cărei deplasare unghiulară, în ambele sensuri, este determinată și pusă în evidență de traductorul inductiv (R), cuplat cu blocul analogic corespunzător.

Subansamblul (2) prin partea stângă și dreaptă a subansamblului poate avea o deplasare plan-paralelă față de axa 3-3', deplasare ce este determinată și pusă în evidență de traductoarele inductive ( $D_p$ ), cuplate cu blocurile analogice corespunzătoare.

După cum se poate observa, posibilitățile de dezaxări radiale, unghiulare și axiale și de rotiri (răsuciri) ale subansamblelor standului, sunt necesare pentru ca acesta să îndeplinească funcțiile corespunzătoare acestor abateri, necesare la rândul lor pentru determinarea caracteristicilor tehnico-funcționale ale cuplajelor în vederea determinării exacte a valorilor acestora pentru o funcționare cât mai bună și precisă a traductoarelor fotoelectrice incrementale.

Cu acest stand s-au efectuat încercări și experimentări cu diferite sortotipodimensiuni de cuplaje, definindu-se și alegându-se în urma experimentărilor tipurile de cuplaje cele mai precise.

Totodată trebuie menționat că standul a fost omologat, iar o gamă foarte variată de cuplaje a fost asimilată în fabricație.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 7.3.1.):

Tabelul 7.3.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Intervalul de măsurare:</b> - rotire - dezaxare radială - dezaxare axială - dezaxare unghiulară	$\varphi = 90^\circ$ ; $S_r = \pm 1 \text{ mm}$ ; $S_a = \pm 0,5 \text{ mm}$ ; $\alpha = \pm 15^\circ$ .	Domeniile de măsurare sunt independente de natura materialului de construcție a elementelor elastice a cuplajelor
2.	<b>Rezoluție</b>	0,001 mm	
3.	<b>Intervalul de măsurare al blocurilor electronice:</b>	$\pm 100 \mu\text{m}$ ; $\pm 1000 \mu\text{m}$ ; $\pm 2000 \mu\text{m}$ ;	
4.	<b>Afișare</b>	analogică (sau digitală)	
5.	<b>Capacitate de afișare la blocul electronic</b>	4 decade	
6.	<b>Funcții de măsurare</b>		
6.1	<b>Eroarea cinematică de transfer</b>	(0 - 60)";	Defazajul spațial unghiular dintre cele două capete ale cuplajului
6.2.	<b>Momentul de torsiune</b>	max. 50 Ncm	
6.3.	<b>Rigiditatea:</b>	10 - 1500 Nm/rot	

6.4.	Histerezis unghiular	(0 - 200 °)	
6.5.	Dezaxare radială	± 1 mm	
6.6.	Dezaxare axială	± 5 mm	
6.7.	Dezaxare unghiulară	± 1°	
7.	Gabarit	300 x 220 x 210 mm (1 variantă principală)	
8.	Masa:	aproximativ 7 kg	
9.	Temperatura de referință la verificarea traductorului	20° ± 1° C	
10.	Presiunea atmosferică la verificarea traductorului	99 - 101,3 Kpa	
11.	Umiditatea relativă la verificarea traductorului	40 - 60%	
12.	Cuplajele ce pot fi verificate	-	- cuplaj elastic cu membrană [CEM]; - cuplaj elastic cu canal elicoidal [CEA]; - cuplaj elastic cu element intermediar din cauciuc [CO]; - cuplaj elastic cu silfon [CS].
13.	Cerințe de mediu înconjurător	- zonă climatică temperată N; - nivelul max. al vibrațiilor admise, max. 10 Hz, cu amplitudine max. 0,08 mm; - mediul lipsit de praf, pulberi fine, conducătoare de electricitate, substanțe chimice active	

#### 7.4. Standul de încercări și măsurări pentru traductoare fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO

Pentru determinarea poziției unghiulare la traductoarele fotoelectrice incrementale tip TIRO s-a conceput, proiectat și realizat un stand de încercări și măsurări (fig. 7.4.1.) performante, tehnico-metrologice de ordinul F, capabil să transmită unitatea de măsură pentru mișcarea unghiulară cu precizie metrologică înaltă și certificată de Laboratorul Național de Metrologie.

Standul de încercări realizat va cuprinde în principal: un cap divizor(1) (sau o masă de divizare) cu o precizie unghiulară de 1", montat pe o masă de laborator (2) din andezit; un suport mecanic (3) pe care se poate monta orice tip de traductor fotoelectric incremental de poziție (4); un bloc electronic digital (5) care se conectează cu traductorul fotoelectric incremental de poziție supus încercării și măsurării.

Pe standul prezentat, au fost realizate de către autor, încercări metrologice cu peste 1000 de traductoare incrementale de poziție, determinându-se caracteristicile metrologice și pe baza

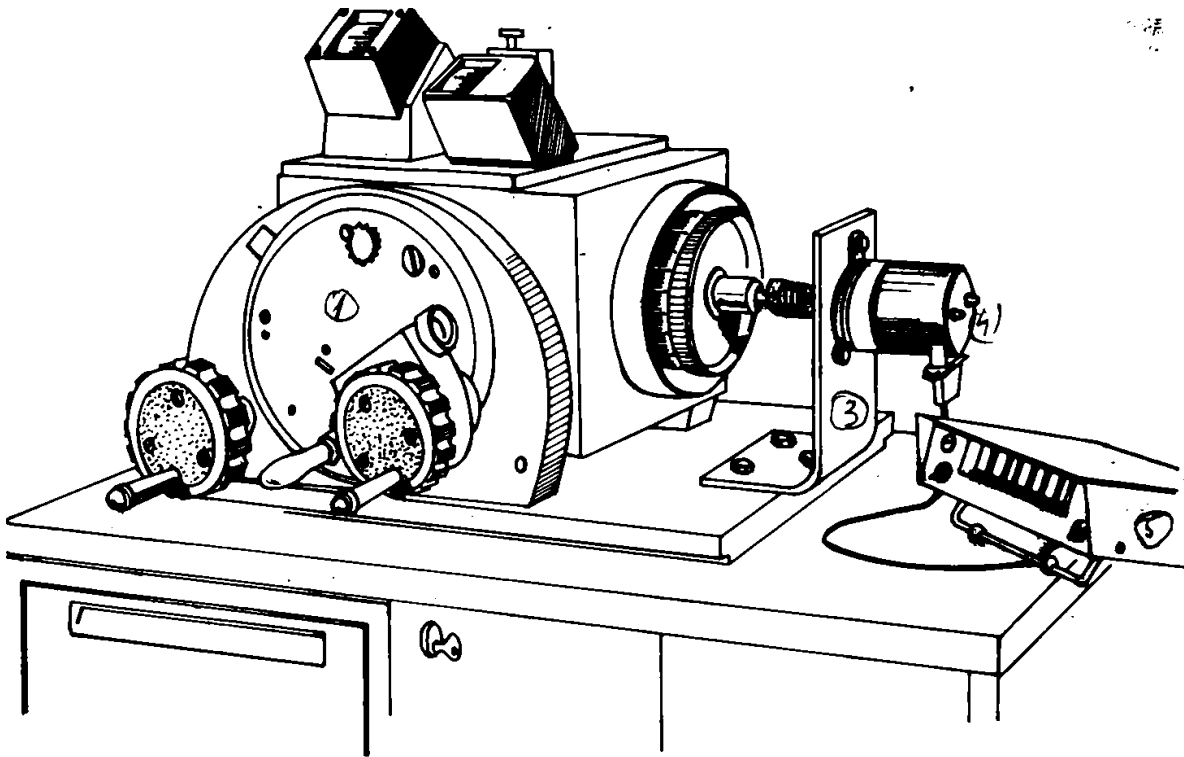


Fig. 7.4.1.

acestora, eliberarea buletinelor de certificare.

În vederea determinării și efectuării acestor încercări și măsurări asupra traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție prin intermediul standului, s-au definit următorii parametri:

$\alpha_{ij}$  = valoarea indicată de masa divizoare (cap divizor) tip Zeiss - Germania cu rezoluția de  $0^{\circ} 00' 01''$ ;

$N_i$  = numărul de impulsuri citit la blocul electronic digital (comutat pe subdivizare electronică cu 4);

$$\frac{N_i}{k} \cdot p = \text{valoarea unghiurilor corespunzătoare indicației } N_i \text{ (} k=4 \text{); } p = \text{pasul incremental} =$$

$$= \frac{360^{\circ}}{\text{nr. de incremente}}$$

$$E_{ij} = \frac{N_i}{k} \cdot p - \alpha_{ij} - \text{eroarea la citire (} L_j = 1, 2, 3 \text{);}$$

$E_i$  = eroarea medie corespunzătoare unei valori  $N_i$ ;

$$E_i = \sum_{j=1}^3 E_{ij} - \text{pentru un sens de măsurare;}$$

$j$  = număr de măsurători în același punct și pentru același sens;

$i$  = număr de puncte în care măsurăm. Totodată trebuie menționat că standul a fost omologat metrologic.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 7.4.1.):

Tabelul 7.4.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	0 -360 °	
2.	Rezoluție:	1"	Indicația este digitală
3.	Precizia	± 2"	
4.	Eroare de fidelitate	± 1"	
5.	Posibilitatea înclinării axului principal	cca 90°	
6.	Înălțimea axului principal:	135 mm	
7.	Dimensiuni de gabarit:	(1200 x 800 x 1400) mm	Fără accesorii
8.	Masa	120 kg	
9.	Greutatea maximă a piesei de măsurat:	≈ 2 kg	
10.	Blocul de afișare digitală:	- NUMEROM - NIT	Livrat de S.C. IEA S.A. București
11.	Tensiunea de alimentare	220 V <sub>ca</sub> <sup>+15%</sup> <sub>-10%</sub>	
12.	Posibilități de prindere;	multiple	
13.	Grad de protecție:	I.P 54	
14.	Posibilități de cuplare la calculator	DA	

În aceste condiții au fost determinate conform tabelelor prezentate, (tabelele 7.4.2. : 7.4.9) preciziile traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție, supuse încercărilor; după valorile prezentate, traductoarele supuse acestor încercări corespund metrologică.

Tabelul 7.4.2.

Nr. crt (i)	Nr. de impuls afișaj echipament Ni	Valori măsurate $\frac{p}{k} \cdot N_i$ [°;';"]	Valori convențional adevărate (Direcții indicate de divizorul optic) $\alpha_{ij}$ [°;';"]					
			j \					
			1↓	1↑	2↓	2↑	3↓	3↑
1	0	0	0	0 00 47	0	0 00 21	359 59 41	0 00 51
2	4	0 10 48	0 10 28	0 11 20	0 10 01	0 11 20	0 10 25	0 11 41
3	8	0 21 36	0 21 22	0 22 08	0 20 53	0 21 03	0 22 05	0 20 50
4	20	0 54 00	0 53 20	0 54 45	0 53 13	0 54 36	0 53 12	0 54 50
5	80	3 36 00	3 35 14	3 36 33	3 35 21	3 36 47	3 35 04	3 36 44
6	100	4 30 00	4 29 15	4 30 35	4 29 06	4 30 37	4 29 32	4 30 38
7	500	22 30 00	22 29 35	22 30 31	22 29 16	22 30 28	22 29 26	22 30 41
8	1000	45 00 00	45 59 16	45 00 34	44 59 07	45 00 25	44 59 20	45 00 30
9	1500	67 30 00	67 29 22	67 29 50	67 28 57	67 29 00	67 29 55	67 29 52
10	2000	90 00 00	90 00 09	90 00 36	89 59 08	90 00 24	89 59 20	90 00 28
11	2500	112 30 00	112 29 36	112 30 48	112 29 23	112 30 36	112 29 30	112 30 30
12	3000	135 00 00	134 59 36	135 00 54	134 59 25	135 01 00	134 59 32	135 00 50
13	3500	157 30 00	157 30 32	157 31 24	157 30 03	157 31 27	157 30 14	157 31 00
14	4000	180 00 00	180 00 35	180 01 40	180 00 17	180 01 37	180 00 22	180 01 34
15	4500	202 30 00	202 30 42	202 31 44	202 30 13	202 31 20	202 30 40	202 30 28
16	5000	225 00 00	225 00 19	225 01 54	225 00 32	225 01 48	225 00 26	225 01 38
17	5500	247 30 00	247 30 11	247 31 36	247 30 07	247 31 34	247 30 17	247 31 42
18	6000	270 00 00	270 00 04	270 01 07	270 00 14	270 01 24	270 00 22	270 01 20
19	6500	292 30 00	292 29 45	292 30 27	292 29 42	292 30 50	292 29 48	292 30 38
20	7000	315 00 00	314 59 34	315 00 56	314 59 48	315 01 07	314 59 39	315 00 54
21	7500	337 30 00	337 29 15	337 30 39	337 29 30	337 30 47	337 29 10	337 30 28
22	8000	360 00 00	0 0 0	0 0 41	359 59 48	0 0 34	359 59 53	0 00 20

Tabelul 7.4.3

Nr. crt (i)	Nr. de impuls afișaj echipament Ni	Valori măsurate $\frac{P \cdot Ni}{k}$ [° ; ' ; " ]	Valori convențional adevărate (Direcții indicate de divizorul optic) $\alpha_{ij}$ [° ; ' ; " ]					
			j \					
			1 ↓	1 ↑	2 ↓	2 ↑	3 ↓	3 ↑
1	0	0 00 00	0 08 50	0 26 00	0 15 00	0 27 20	0 22 00	0 32 00
2	4	1 26 24	1 39 00	1 48 30	1 42 10	1 54 20	1 49 20	1 54 10
3	8	2 52 48	3 01 50	3 20 20	3 09 20	3 18 20	3 19 00	3 23 30
4	20	7 12 00	7 20 50	7 40 30	7 28 30	7 28 30	7 33 40	7 43 30
5	50	18 00 00	18 06 20	18 33 20	18 14 00	18 14 00	18 19 20	18 34 30
6	100	36 00 00	36 06 20	36 27 30	36 41 30	36 14 30	36 20 00	36 28 20
7	160	57 36 00	57 42 30	58 04 10	57 50 50	57 50 50	57 56 00	58 06 20
8	200	72 00 00	72 07 40	72 28 10	72 15 10	72 15 10	72 25 10	72 31 10
9	240	86 24 00	86 32 40	86 50 40	86 40 20	86 40 20	86 44 00	86 55 30
10	300	108 00 00	108 09 30	108 28 10	108 16 40	108 16 40	108 21 50	108 32 10
11	400	144 00 00	144 09 40	144 28 50	144 17 40	144 17 40	144 23 20	144 32 00
12	440	158 24 00	158 36 40	158 48 40	158 48 40	158 42 10	158 50 30	158 57 50
13	500	180 00 00	180 12 00	180 24 20	180 24 20	180 21 20	180 24 50	180 26 40
14	560	201 36 00	201 48 50	202 06 30	202 06 30	201 57 30	202 02 40	202 10 50
15	600	216 00 00	216 12 50	216 30 30	216 30 30	216 15 20	216 27 40	216 35 20
16	700	252 00 00	252 12 50	252 30 30	252 30 30	252 22 00	252 27 20	252 32 00
17	760	273 36 00	273 50 40	274 08 10	274 08 10	273 58 30	274 03 10	274 10 00
18	800	288 00 00	288 14 20	288 20 10	288 20 10	288 22 50	288 30 00	288 32 00
19	840	302 24 00	302 32 20	302 53 00	302 53 00	302 47 10	302 52 00	302 55 00
20	900	324 00 00	324 12 50	324 28 40	324 28 40	324 19 30	324 24 00	324 30 40
21	960	345 36 00	345 48 00	345 56 30	345 56 30	345 54 40	345 58 40	346 04 00
22	1000	360 00 00	305 11 10	0 18 00	0 16 10	0 16 10	0 21 00	0 28 00

Tabelul 4.7.4.

Nr. crt (i)	Nr. de impuls afișaj echipament Ni	Valori măsurate $P \cdot Ni$ [° ; ' ; " ]	Valori convențional adevărate (Direcții indicate de divizorul optic) $\alpha_{ij}$ [° ; ' ; " ]					
			j \					
			1 ↓	1 ↑	2 ↓	2 ↑	3 ↓	3 ↑
1	0	0 00 00	0 16 50	0 20 50	0 15 50	0 19 00	0 16 50	0 20 10
2	4	1 26 24	1 42 30	1 46 30	1 42 40	1 46 30	1 42 30	1 40 50
3	8	2 52 48	3 08 50	3 13 10	3 11 40	3 11 20	3 12 20	3 06 20
4	20	7 12 00	7 27 30	7 31 40	7 30 20	7 32 20	7 28 10	7 30 00
5	50	18 00 00	18 15 30	18 17 20	18 09 00	18 18 20	18 08 10	18 18 20
6	100	36 00 00	36 12 50	36 16 10	36 16 20	36 16 50	36 13 50	36 16 10
7	160	57 36 00	57 50 00	57 50 20	57 49 10	57 50 50	57 47 20	54 47 20
8	200	72 00 00	72 10 30	72 15 40	72 13 50	72 03 50	72 13 10	72 13 00
9	240	86 24 00	86 35 40	86 39 00	86 38 40	86 34 30	86 38 00	86 38 10

10	300	108 00 00	108 10 20	108 14 50	108 11 30	108 04 00	108 12 30	108 13 30
11	400	144 00 00	144 11 40	144 13 20	144 15 30	144 14 30	144 12 50	144 10 20
12	440	158 24 00	158 35 30	158 39 30	158 40 00	158 39 50	158 34 50	158 38 00
13	500	180 00 00	180 13 20	180 16 40	180 15 20	180 16 40	180 13 10	180 08 10
14	560	201 36 00	201 51 50	201 52 40	201 52 40	201 54 30	201 50 50	201 54 40
15	600	216 00 00	216 16 40	216 19 30	216 17 30	216 20 10	216 16 20	216 18 50
16	700	252 00 00	252 18 50	252 22 40	252 24 00	252 22 40	252 18 20	252 20 40
17	760	273 36 00	273 54 30	273 59 20	273 57 30	273 58 50	273 57 50	273 54 40
18	800	288 00 00	288 20 00	288 25 20	288 24 50	288 18 10	288 20 00	288 20 30
19	840	302 24 00	302 42 50	302 42 50	302 46 40	302 45 40	302 45 20	302 44 50
20	900	324 00 00	324 20 00	324 24 20	324 20 10	324 18 50	324 23 30	324 15 20
21	960	345 36 00	345 54 00	345 57 50	345 58 20	345 57 20	345 58 10	345 57 00
22	1000	360 00 00	0 16 10	0 19 30	0 18 10	0 18 10	0 22 50	0 20 00

Tabelul 4.7.5.

Nr. crt (i)	Nr. de impulsuri afișate de echip. Ni	Erorile traductorului E ij [° ; ' ; " ]						Eroarea de justețe efectivă $E_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E_{ij}$ [° ; ' ; " ]		Eroare de justețe tolerată [° ; ' ; " ]
		1↓	1↑	2↓	2↑	3↓	3↑	↓	↑	
1	0	0	-28"	0	-1'	0	-6"	0	-12"	
2	4	-9"	-22"	-6"	0	+11"	+11"	-1"	-4"	
3	8	+3"	-6"	-7"	-1"	+13"	+1"	+3"	-2"	
4	20	+2"	+8"	-10"	+11"	+12"	+5"	+1"	+8"	
5	80	0	+20"	-17"	+10"	+11"	+6"	-2"	+12"	
6	100	-7"	+18"	-1"	+18"	+14"	+10"	+2"	+15"	
7	500	+43"	+43"	+29"	+30"	+52"	+22"	+41"	+32"	$\epsilon = \pm \frac{1}{2} p =$ $= \pm 5' 24''$
8	1000	+1'14"	+59"	+1'17"	+1'15"	+1'35"	+1'11"	+1'22"	+1'08"	
9	1500	+1'57"	+2'05"	+1'38"	+1'51"	+1'30"	+1'47"	+1'42"	+1'54"	
10	2000	+2'19"	+2'29"	+2'15"	+2'26"	+2'25"	+2'14"	+2'18"	+2'23"	
11	2500	+1'53"	+2'09"	+2'33"	+2'39"	+2'41"	+2'24"	+2'22"	+2'24"	
12	3000	+1'49"	+2'02"	+1'21"	+2'04"	+2'19"	+2'07"	+1'50"	+2'04"	
13	3500	+1'28"	+1'46"	+1'15"	+1'46"	+1'33"	+1'46"	+1'27"	+1'46"	
14	4000	+54"	+1'35"	+46"	+50"	+1'01"	+55"	+54"	+1'07"	
15	4500	+27"	+31"	+19"	+26"	+42"	+24"	+29"	+27"	
16	5000	-18"	-7"	-26"	0	-1"	-2"	-15"	-3"	
17	5500	-48"	-19"	-48"	-19"	-38"	-31"	-45"	-23"	
18	6000	-1'14"	-49"	-1'13"	-52"	-59"	-49"	-1'09"	-50"	
19	6500	-1'09"	-46"	-52"	-1'06"	-1'02"	-39"	-1'01"	-50"	
20	7000	-54"	-34"	-45"	-20"	-44"	-46"	-48"	-33"	
21	7500	-31"	-20"	-36"	-23"	-35"	-21"	-34"	-21"	
22	8000	-7"	0	-06"	0	-05"	0	-	0	

Tabelul 4.7.6

Nr. crt. (i)	Nr. de impulsuri afișate de echip. Ni	Erorile traductorului E ij [°;';"]						Eroarea de justețe efectivă $E_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E_{ij}$ [°;';"]		Erore de justețe tolerată [°;';"]
		j \ i						↓	↑	
		1↓	1↑	2↓	2↑	3↓	3↑			
1	0	0	-1'20"	0	-0'50"	0	+0'10"	0	-0'13"	[°;';"]
2	4	+0'44"	-0'36"	-0'26"	-1'54"	+0'44"	+5'34"	+0'20"	+1'39"	
3	8	+0'48"	-0'52"	-3'02"	-0'22"	-2'52"	+6'28"	-1'42"	-0'24"	
4	20	+1'20"	-0'10"	-2'30"	-2'10"	-0'40"	+2'00"	-0'36"	+0'36"	
5	50	1'20"	+2'10"	+6'50"	-0'10"	+8'40"	+1'40"	+2'53"	+0'29"	
6	100	+4'14"	+3'20"	-0'03"	+1'20"	+3'00"	+4'00"	+2'23"	+2'26"	
7	160	+2'50"	+5'10"	-11'44"	+3'20"	+5'30"	+8'40"	-1'08"	+2'53"	$\epsilon = \pm \frac{1}{2} p =$ $= \pm 43'12"$
8	200	+6'20"	+3'50"	+2'00"	+14'20"	+3'50"	+7'00"	+1'56"	+8'23"	
9	240	+5'10"	+4'30"	+1'10"	+7'40"	+2'50"	+5'50"	+2'53"	+5'00"	
10	300	+6'30"	+4'40"	+0'00"	+14'10"	+2'30"	+6'30"	+0'49"	+2'10"	
11	400	+5'10"	+6'10"	+10'30"	+3'40"	+4'00"	+9'40"	-2'10"	+1'13"	
12	440	+5'20"	+4'00"	-0'30"	+2'20"	+6'00"	+6'00"	+2'10"	+3'20"	
13	500	+3'30"	+2'50"	-0'50"	+1'30"	+3'40"	+11'50"	+2'06"	+4'53"	
14	560	1'00"	+2'50"	-1'40"	-0'20"	+2'00"	+1'20"	+0'26"	+1'16"	
15	600	+0'10"	+0'00"	-8'10"	-2'00"	+0'30"	-1'10"	+0'13"	-0'16"	
16	700	-2'00"	-3'10"	-5'40"	-4'30"	-1'30"	-0'40"	-3'03"	-2'46"	
17	760	-1'40"	-3'50"	-9'00"	-4'40"	-5'00"	+1'20"	-5'13"	-1'18"	
18	800	-3'10"	-17'00"	-6'50"	-0'00"	-3'10"	-0'30"	-4'23"	-5'50"	
19	840	-2'00"	-4'20"	-4'20"	-3'30"	-4'30"	-0'50"	-3'36"	-1'43"	
20	900	-3'10"	-4'50"	-6'30"	-0'40"	-6'40"	+4'40"	-5'26"	-0'16"	
21	960	-1'10"	-2'20"	-2'20"	-3'10"	-5'20"	-1'00"	-2'56"	-2'10"	
22	1000	+0'40"	0	-2'20"	0	-6'00"	0	-2'33"	0	

Tabelul 4.7.7.

Nr. crt. (i)	Nr. de impulsuri afișate de echip. Ni	Erorile traductorului E ij [°;';"]						Eroarea de justețe efectivă $E_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E_{ij}$ [°;';"]		Erore de justețe tolerată [°;';"]
		j \ i						↓	↑	
		1↓	1↑	2↓	2↑	3↓	3↑			
1	0	0	-8'00"	0	-3'20"	0	-4'00"	0	-5'06"	
2	4	-3'46"	-7'50"	-0'46"	-3'56"	-0'56"	+0'14"	-1'49"	-3'10"	
3	8	-0'12"	-9'32"	-1'32"	-1'32"	-4'12"	-2'42"	-1'24"	-1'28"	
4	20	-0'00"	-10'30"	-1'30"	-4'40"	+0'20"	-6'30"	-1'26"	-7'13"	
5	50	+2'30"	+2'10"	+6'50"	-0'10"	+8'40"	+1'40"	+2'53"	+0'29"	
6	100	+4'14"	+3'20"	-0'03"	+1'20"	+3'00"	+4'00"	+2'23"	+2'26"	
7	160	+2'50"	+5'10"	-11'44"	+3'20"	+5'30"	+8'40"	-1'08"	+2'53"	$\epsilon = \pm \frac{1}{2} p =$ $= \pm 43'12"$
8	200	+6'20"	+3'50"	+2'00"	+14'20"	+3'50"	+7'00"	+1'56"	+8'23"	

9	240	+5'10"	+4'30"	+1'10"	+7'40"	+2'50"	+5'50"	+2'53"	+5'00"	
10	300	+6'30"	+4'40"	+0'00"	+14'10"	+2'30"	+6'30"	+0'49"	+2'10"	
11	400	+5'10"	+6'10"	+10'30"	+3'40"	+4'00"	+9'40"	-2'10"	+1'13"	
12	440	+5'20"	+4'00"	-0'30"	+2'20"	+6'00"	+6'00"	+2'10"	+3'20"	
13	500	+3'30"	+2'50"	-0'50"	+1'30"	+3'40"	+11'50"	+2'06"	+4'53"	
14	560	1'00"	+2'50"	-1'40"	-0'20"	+2'00"	+1'20"	+0'26"	+1'16"	
15	600	+0'10"	+0'00"	-8'10"	-2'00"	+0'30"	-1'10"	+0'13"	-0'16"	
16	700	-2'00"	-3'10"	-5'40"	-4'30"	-1'30"	-0'40"	-3'03"	-2'46"	
17	760	-1'40"	-3'50"	-9'00"	-4'40"	-5'00"	+1'20"	-5'13"	-1'18"	
18	800	-3'10"	-17'00"	-6'50"	-0'00"	-3'10"	-0'30"	-4'23"	-5'50"	
19	840	-2'00"	-4'20"	-4'20"	-3'30"	-4'30"	-0'50"	-3'36"	-1'43"	
20	900	-3'10"	-4'50"	-6'30"	-0'40"	-6'40"	+4'40"	-5'26"	-0'16"	
21	960	-1'10"	-2'20"	-2'20"	-3'10"	-5'20"	-1'00"	-2'56"	-2'10"	
22	1000	+0'40"	0	-2'20"	0	-6'00"	0	-2'33"	0	

Tabelul 4.7.8.

Nr. crt. (i)	Nr. de impulsuri afișate de echip. Ni	Erorile traductorului E ij [° ; ' ; " ]						Eroarea de justețe efectivă $E_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E_{ij}$ [° ; ' ; " ]		Erore de justețe tolerată [° ; ' ; " ]
		j\						↓	↑	
		1↓	1↑	2↓	2↑	3↓	3↑			
1	0	0	-6"	0	+13"	0	-3"	0	-24"	
2	4	+20"	+9"	+47"	+2"	+42"	-33"	+36"	+15"	
3	8	+14"	+9"	+43"	+1'09"	-10"	+1'06"	+16"	+48"	
4	20	+40"	-0'4"	+47"	-2"	+1'07"	-30"	+51"	-12"	
5	80	+46"	+8"	+39"	-13"	+1'15"	-24"	+53"	-10"	
6	100	+45"	+6"	+54"	-3"	+47"	-18"	+49"	-5"	
7	500	+25"	+10"	+44"	+6"	+53"	-21"	+41"	-2"	$\epsilon = \pm \frac{1}{2} p = \pm 5'24"$
8	1000	+44"	+2"	+53"	+9"	+59"	-10"	+52"	0	
9	1500	+38"	+4"	+1'03"	+1'34"	+24"	+28"	+42"	+54"	
10	2000	-9"	+5"	+52"	+10"	+59"	-8"	+34"	+2"	
11	2500	+24"	-7"	+37"	-2"	+49"	-10"	+37"	-6"	
12	3000	+24"	-13"	+35"	-26"	+47"	-30"	+35"	-23"	
13	3500	-32"	-23"	-3"	-53"	+5"	+40"	-10"	+39"	
14	4000	-35"	-59"	-17"	-63"	-3"	-74"	-18"	-1'05"	
15	4500	-42"	-1'03"	-13"	-46"	-21"	-8"	-25"	-3"	
16	5000	-19"	-1'13"	-32"	-1'14"	-7"	-78"	-19"	-1'15"	
17	5500	-11"	-55"	-7"	-1'00"	+2"	-82"	-5"	-1'16"	
18	6000	-4"	-26"	-14"	-50"	-3"	-1'00"	-7"	-45"	
19	6500	+15"	+14"	+18"	-16"	+31"	-18"	+21"	-7"	
20	7000	+26"	-15"	+12"	-33"	+40"	-34"	+26"	-27"	
21	7500	+45"	+2"	+30"	-13"	+1'09"	-8"	-48"	-6"	
22	8000	0	0	+12"	0	+26"	0	+13"	0	

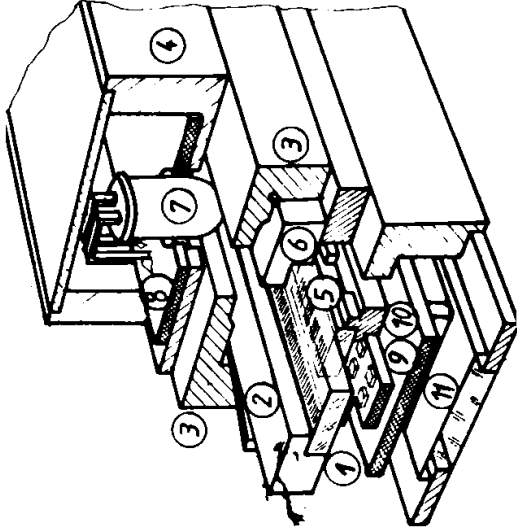


Tabelul 4.7.9.

Nr. crt. (i)	Nr. de impulsuri afișate de echip. Ni	Erorile traductorului E ij [° ; ' ; " ]						Eroarea de justețe efectivă $E_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E_{ij}$ [° ; ' ; " ]		Erore de justețe tolerată [° ; ' ; " ]
		j \						↓	↑	
		1 ↓	1 ↑	2 ↓	2 ↑	3 ↓	3 ↑			
1	0	0	-12"	0	-19"	0	+30"	0	0	[° ; ' ; " ]
2	4	-19"	+33"	-25"	-12"	+20"	+7"	-8"	-9"	
3	8	+15"	-19"	+24"	-21"	+25"	-7"	+21"	-16"	
4	20	+2"	+7"	+21"	-18"	+19"	+4"	+14"	-7"	
5	80	+9"	-18"	+17"	-35"	+19"	+6"	+15"	-16"	
6	100	-2"	-16"	+19"	-22"	+10"	-3"	+9"	-14"	
7	500	+8"	-27"	+18"	-20"	+22"	-24"	+16"	-24"	$\epsilon = \pm \frac{1}{2} p =$ $= \pm 5'24''$
8	1000	+5"	-20"	+17"	-23"	+18"	-22"	+13"	-22"	
9	1500	+13"	-11"	+17"	-30"	+14"	-24"	+15"	-22"	
10	2000	+10"	-16"	+18"	-29"	+17"	-3"	+15"	-16"	
11	2500	-3"	-40"	-16"	-42"	-8"	-9"	-9"	-30"	
12	3000	-10"	-59"	-05"	-1'05"	-3"	-44"	-6"	-56"	
13	3500	-25"	-40"	-27"	-35"	-20"	-6"	-24"	-27"	
14	4000	-40"	-1'08"	-29"	-1'06"	-29"	-49"	-33"	-1'01"	
15	4500	-54"	-1'15"	-51"	-2'07"	-42"	-1'44"	-49"	-1'42"	
16	5000	-46"	-1'02"	-36"	-1'06"	-39"	-1'9"	-40"	-1'06"	
17	5500	-36"	-48"	-31"	-57"	-23"	-40"	-30"	-48"	
18	6000	-30"	-39"	-11"	-49"	-16"	-34"	-19"	-41"	
19	6500	+10"	+1'05"	-35"	-38"	-46"	-23"	-24"	-42"	
20	7000	-37"	-32"	-34"	-41"	-38"	-34"	-36"	-36"	
21	7500	-25"	-15"	+38"	-40"	+25"	-10"	-4"	-22"	
22	8000	+16"	0	+28"	0	+29"	0	+24"	0	

**Capitolul 8. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTEGRAREA TRADUCTOARELOR FOTOELECTRICE INCREMENTALE DE DEPLASARE ȘI POZIȚIE, ÎN MECATRONICĂ, MECANICĂ FINĂ ȘI ROBOTICĂ**

**8.1. Soluții constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție și deplasare în construcția aparatelor de măsură și control**

Nr. crt.	De numirea aparatului de măsură și control	Soluția constructivă (realizată de autor)	Descrierea soluției constructive	Observații
1	Șubler de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL și cu afișare digitală (fig. 8.1.1.)	 <p align="right">Fig. 8.1.1.</p>	<p>În soluția constructivă prezentată se arată: rigla incrementală divizoare (1) este fixată de suportul metalic (2), prin lipire, pe acesta culisând ghidajele (3) ale culisorului (4); rigla incrementală vernier (5) este în mișcare relativă față de rigla incrementală divizoare și este fixată de cursor prin elementul (6); sursa luminoasă (7), fixată prin lipire și sprijinită pe plăcuța (8), centrată și dirijată, emite un flux de lumină paralel, ce baleiază zonele incrementale ale riglelor și care este captat de fotoelementele (9) poziționate și fixate foarte precis pe plăcuța suport (10); circuitul electronic de pe plăcuța suport (10) prelucrează informația și afișează rezultatul măsurătorii pe ecranul (11) al cursorului.</p>	Soluția este brevetată de autor, conform BREVET Nr. RO/92177

2. Șubler de exterior, cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO și cu afișare digitală (fig. 8.1.2.)

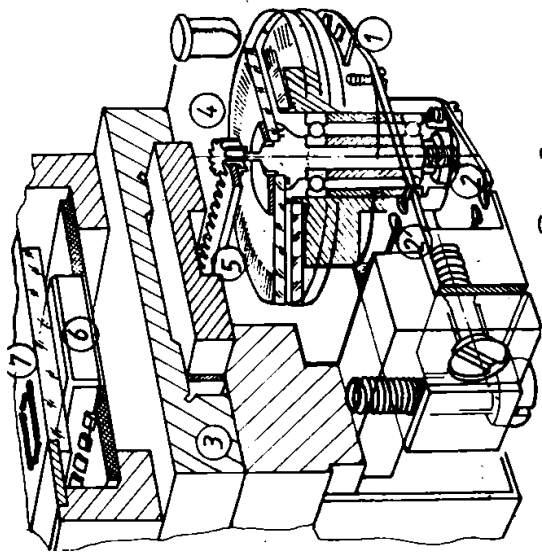


Fig. 8.1.2.

Soluția constructivă prezentată evidențiază: subsansamblul traductor fotoelectric incremental de poziție (1) este fixat prin intermediul unui paralelogram elastic, determinat de elementele elastice (2; 2'), de cursorul (3) al șublerului, care este în angrenare, prin pinionul (4) de pe axul de rotație al subsansamblului traductor cu cremalieră (5) a șublerului; angrenarea dintre pinion și cremalieră este fără joc, datorită forței elastice a paralelogramului, aceasta putând fi reglată, prin intermediul unor șuruburi de pretensionare; reglarea axială a subsansamblului traductor, pentru o angrenare corespunzătoare a pinionului cu cremaliera, se face prin intermediul unui șurub de reglaj; fluxul luminos care baleiază zonele incrementale, în timp ce subsansamblul traductor de poziție este angrenat cu cremaliera, pentru obținerea mișcării de translație este captat de fotoelemente și transformat în curent variabil, care este prelucrat și afișat prin intermediul elementelor de afișare și multiplexare (6) pe ecranul (7) al cursorului.

Soluția este brevetată de autor, conform BREVET Nr. RO/92519

3. Aparat de măsurat și trasat pe verticală cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO, cu afișare digitală și microcalculator (fig. 8.1.3.)

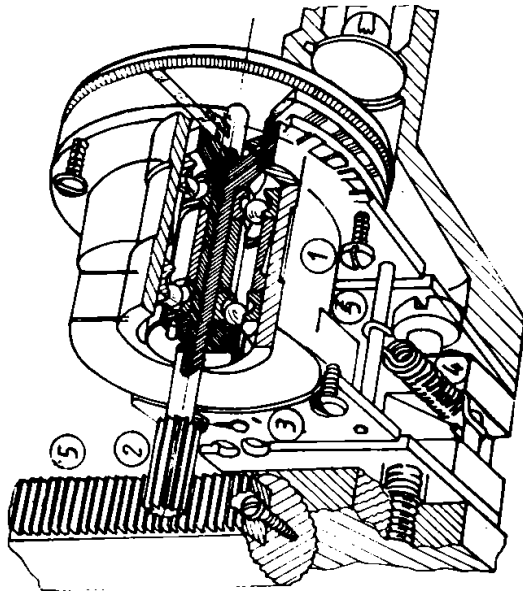


Fig. 8.1.3.

Soluția constructivă prezintă: subsansamblul traductor fotoelectric incremental de poziție (1), pe al cărui ax de rotație există pinionul (2), este fixat de carcasa mobilă a aparatului prin intermediul unui paralelogram elastic determinat de elemente elastice (3; 3') cu centrul de oscilație (O) și care este permanent tensionat de arcul elicoidal de tracțiune (4), astfel încât angrenarea dintre pinionul subsansamblului traductor și cremaliera (5) fixată pe coloana de ghidare și măsurare a aparatului, prin șuruburi și știfturi de centrare, să fie o angrenare înfiptă, fără joc de flanc sau joc de fund; mișcarea de rotație a subsansamblului traductor este transformată în mișcare de deplasare, unde precizia danturii pinionului și cremalierii, precum și precizia de aliniere a cremalierelor măsurate pe toată lungimea de măsurare (600; 900 mm) sunt foarte importante în determinarea preciziei aparatului; acest subsansamblu de măsurare este fixat în carcasa mobilă a aparatului, care se deplasează pe cele două coloane ale aparatului; în carcasă sunt și circuitul de afișare și microcalculatorul.

Soluția este brevetată de autor conform BREVET Nr. Ro/117465

4. Echipament de măsurat și trasat în 3 coordonate, cu sisteme fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală și calculator specializat (fig. 8.1.4)

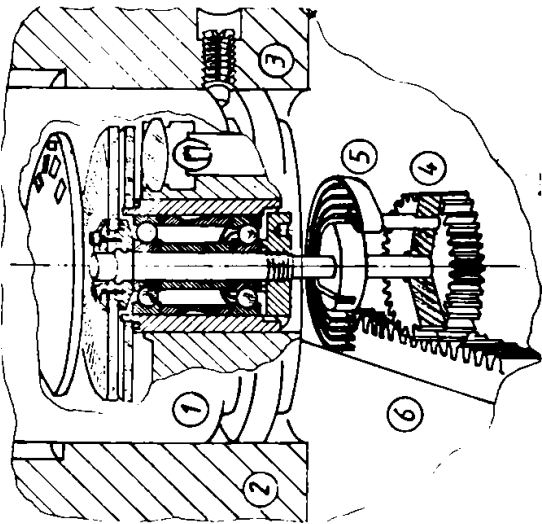


Fig. 8.1.4.

Soluția constructivă prezintă integrarea și utilizarea traductorului incremental de poziție pe una din cele trei axe de măsurare ale echipamentului: subsansamblul traductor (1) este fixat rigid de partea mobilă (2) a echipamentului, prin intermediul știfturilor conice (3) intrate în canalul corpului traductorului; pe axul traductorului este fixat pinionul dublu de angrenare (4), care este format practic din două pinioane de lăjimi mici, dintre care unul este fixat rigid pe axul traductorului și celălalt este fixat prin intermediul arcului de torsune (5) pe același ax al traductorului, astfel încât dantura celui-lalt este decalată unghiular; astfel prin angrenare cu cremaliera (6) fixată pe ghidajele x, y, z ale echipamentului, este preluat jocul de flanc; fluxul luminos al sursei de lumină baleiază zonele incrementale ale traductorului și este transformat în curent variabil care este prelucrat, afișat digital și introdus în microcalculator; pe fiecare axă a echipamentului, se integrează această soluție constructivă.

Soluția este în curs de brevetare (de către autor).

5. Cap micrometric cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO și afișare digitală (fig. 8.1.5.)

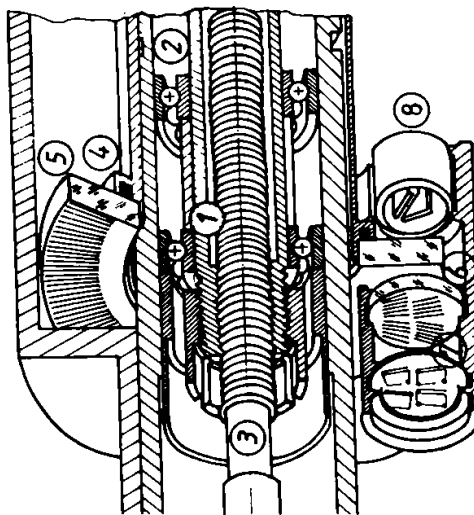


Fig. 8.1.5.

Soluția prezintă: piulița micrometrică (1) este în mișcare de rotație pe lagărele de rostogolire (2) față de șurubul micrometric (3); solidar cu piulița micrometrică se află și tamburul cilindric (4) pe care este fixat, prin lipire, discul incremental divizor (5), acesta fiind și centrat în raport cu axul de rotație al tamburului cilindric și al piuliței micrometrice; în fața discului divizor, se află fixat vernierul incremental (6) și plăcuța cu fotocelule (7); în spatele discului divizor se află fixată sursa de lumină (LED sau lampă cu incandescență) (8) centrată, pentru obținerea de flux luminos dirijat paralel; pentru efortul axial al piuliței, aceasta se sprijină pe un lagăr axial cu bile (nu este în figură); prin rotirea piuliței micrometrice și implicit a discului divizor, șurubul micrometric se deplasează, această deplasare fiind măsurată prin transformarea mișcării de rotație în mișcare de translație prin intermediul traductorului incremental de poziție; datorită mișcării relative dintre cele două discuri, variația fluxului luminos este transformată în variație electrică, care este preluată și afișată digital de către un circuit electronic integrat în capul micrometric.

Soluția este brevetată de autor conform BREVET Nr. Ro/92176

6.	<p><b>Micrometru de exterior cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, afișare digitală (fig.8.1.6.)</b></p>		<p>Soluția constructivă prezintă: șurubul micrometric (1) este rotit prin angrenarea cu piulița micrometrică (2); pe bucșa (3) este lipit discul incremental divizor (4) care angrenează șurubul micrometric prin intermediul unui știft (5) și al unui canal longitudinal al șurubului micrometric; bucșa (3) este tensionată axial de arcul elicoidal (6) care ține în contact prin șaibă de teflon, discul incremental vernier (7), acesta fiind fixat prin lipire de suportul piuliței micrometrice; șurubul micrometric este angrenat într-o mișcare de rotație - translație, iar prin intermediul bucșei (3) și a știftului de ghidare (5) face ca discul divizor să alunece prin intermediul canalului practicat pe șurubul micrometric și să fie menținut apăsat axial de arcul elicoidal (6), (eliminând jocul axial), permițând baleierea zonelor incrementale ale discurilor, de către fluxul luminos și captarea lui de fotoelementele (8), acestea transmițând curentul electric variabil la circuitul electronic de prelucrare și afișare.</p>	<p>Soluția este brevetată de autor, conform BREVET Nr. Ro/92175</p>
7.	<p><b>Micrometru de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TID-L, cu afișare digitală (fig. 8.1.7.)</b></p>		<p>Soluția prezintă: rigla incrementală divizoare (1) este fixată rigid la carcasa micrometrului, prin lipire, asigurându-se totodată o poziționare plan-paralelă cu direcția de deplasare; rigla incrementală vernier (2) este în mișcare relativă și</p>	<p>Soluția este brevetată de autor, conform BREVET Nr. Ro/ 92175</p>

Fig. 8.1.6.

		<p>este fixată prin intermediul piesei speciale (3) și a știftului filetat (4) de tija (5) care reprezintă tija de măsurare a micrometrului; tija de măsurare este lăgăruită pe ghidaje cu bile (6), asigurând astfel o mișcare lină și uniformă, fără frecări și fără joc, dar cu asigurare contra rotirii; mișcarea relativă a riglelor incrementale, asigură baleierea zonelor incrementale, transformarea fluxului luminos în variație de curent, aceasta fiind prelucrată și afișată de circuitul electronic specializat.</p>	
<p>8. Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TID-L (fig. 8.1.8.)</p>	<p>Fig. 8.1.7.</p> <p>Fig. 8.1.8.</p>	<p>Soluția constructivă prezintă: tija de măsurare (1) are fixată prin lipire rigla incrementală divizoare (2) și este ghidată prin piesa furcă (3) pe tija (4) contra rotirii în timpul deplasării; tija de măsurare cu rigla incrementală se deplasează pentru măsurare, față de subsansamblu fix (5), în care se găsește rigla vernier (6); pe același subsansamblu (5) este fixată sursa de lumină (7), reglată și centrată, condensorul (8) și plăcuța cu fotoelemente (9), aceasta având fotoelementele poziționate și centrate față de ferestrele incrementale ale riglei vernier; subsansamblul cu vernier are posibilitatea poziționării și reglării față de rigla incrementală divizoare.</p>	<p>Soluția este brevetată de autor conform BREVET Nr. Ro/92178</p>



9.

Traductor pentru deplasări mari cu sistem fotoelectric incremental liniar, tip TIL și cu afișare digitală (fig. 8.1.9.)

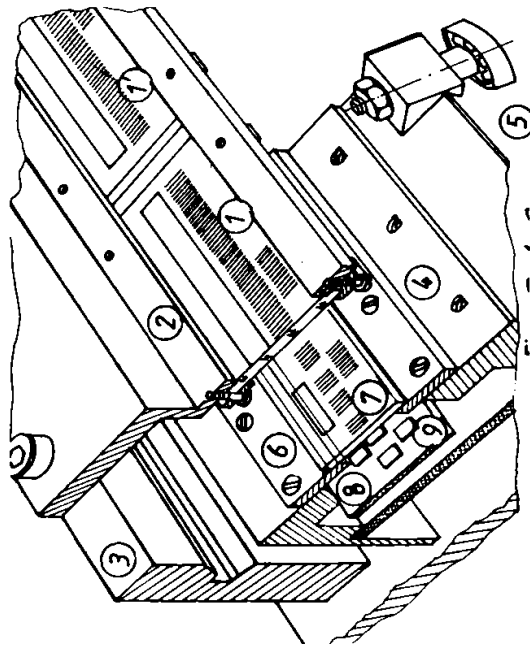


Fig. 8.1.9.

Soluția constructivă prezentată: riglele incrementale divizoare (1 și 1') sunt așezate și aliniolate cap la cap pe un ghidaj plan (2) cu fereastră longitudinală și fixate prin intermediul unor șuruburi și unor adaosuri din teflon; strângerea riglelor din sticlă optică se face așa încât să nu apară tensiuni superficiale care să distrugă rețeaua incrementală, iar alinierea riglelor se face astfel încât rețeaua incrementală rezultată prin asamblarea mai multor rigle să fie ca o rețea unică, spațiile dintre capetele riglelor fiind destul de mari și neuniforme, fără să influențeze precizia, întrucât citirea optic-electronică pe pe toată rigla rezultată se face cu un cititor dublu, care baleiază fiecare riglă componentă și comută pe cealaltă riglă, când prima riglă a fost baleiată; ghidajul plan (2) este fixat de cadrul (3) al traductorului și prevăzut cu ghidaje interioare rectificat pe care culisează cursorul (4) prin intermediul micromenajilor (5) de înaltă precizie, prevăzuți cu posibilități de reglaj; pe rama (6) a cursorului este fixată rigla vernier (7) prin lipire și este centrată și aliniată plan paralel cu rigla divizoare; pe plăcuța (8) a cursorului se găsesc poziționate și fixate precis fotoelementele (9), care captează fluxul luminos variabil rezultat prin baleierea zonelor

Soluția este brevetată de autor, conform BREVET Nr. Ro/118484

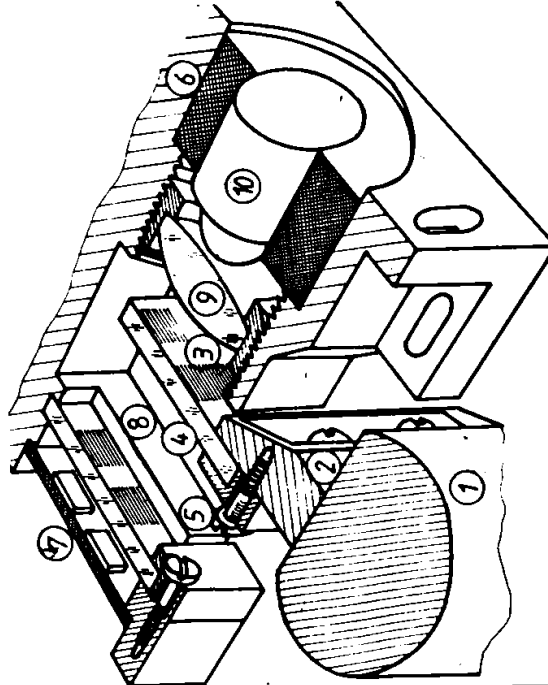
			<p>incrementale ale riglelor și-i transformă în flux electric variabil, care este prelucrat, amplificat, subdivizat, detectat ca sens și afișat digital; cursorul opto-electronic se deplasează în lungul ghidajului mecanic, în baza lagărelor de rostogolire, asigurându-se astfel o citire corectă, precisă, rapidă și comodă; construcția prezentată este o soluție de tip deschis și fără etanșari.</p>	
<p>10.</p>	<p>Aparat de control activ automat, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL, cu afișare digitală și microprocesor (fig. 8.1.10)</p>		<p>Soluția constructivă se referă numai la partea de măsurare a aparatului care evidențiază: pe o coloană mobilă (1) din cele două coloane de ghidare și măsurare ale aparatului se află fixat prin șuruburi suportul special (2) pe care se găsește rigidizată rigla incrementală divizoare (3) prin intermediul bridei (4) și a șuruburilor (5); de carcasa (6) a aparatului se fixează plăcuța cu fotoelemente (7), rigla vernier (8), condensorul (9) și sursa de lumină (10) (LED, bec etc); coloana de măsurare și ghidare este asigurată contra rotirii prin lagăre de rostogolire, iar deplasarea pe toată lungimea de măsurare se face prin intermediul unor lagăre de alunecare; deplasarea coloanei mobile (1), odată cu rigla incrementală divizoare (3), se face pe o lungime de cca 60 mm, ceea ce asigură poziționarea acestei coloane pe aceeași lungime; idem și pentru cealaltă coloană; rezultă</p>	

fig. 8.1.10

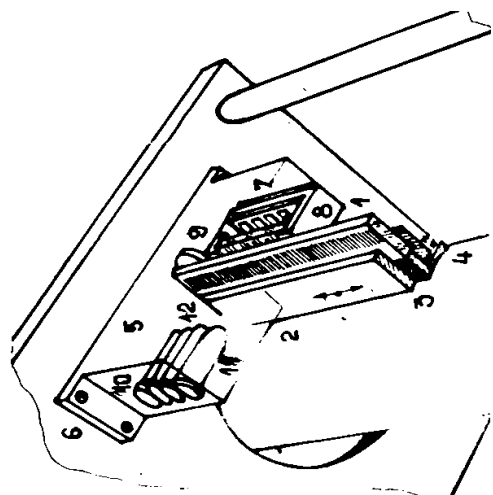
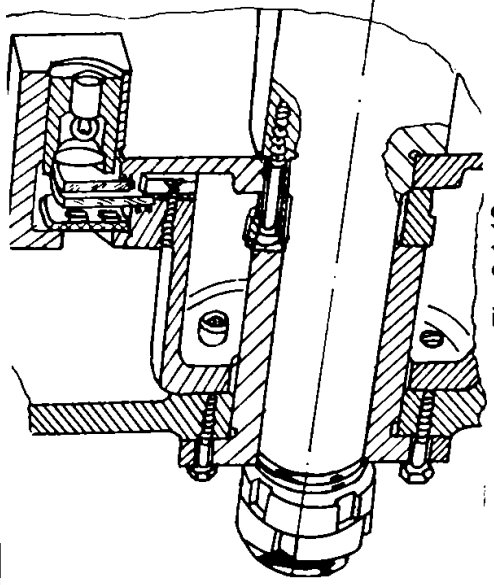
			<p>că intervalul de măsurare al aparatului este de 0-120 mm; soluția constructivă prezentată se repetă și pentru cea de-a doua coloană de ghidare și măsurare (simetric față de ruptură; vezi figura) în cadrul intervalului de poziționare, intervalul de măsurare fiind de cca <math>\pm 1</math> mm, interval care poate fi oriunde în cadrul intervalului de poziționare, acesta depinzând de diametrul efectiv al piesei ce se prelucrează; poziționarea și fixarea fiecărei rigle se fac cu reglaje, asigurând atât plan-paralelismul necesar, cât și distanța optimă dintre cele două rigle incrementale</p>	
11.	<p>Aparat de măsurat lungimi pe verticală tip ABBE, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL, cu afișare digitală (8.1.11.)</p>		<p>Soluția constructivă prezentată evidențiază: rigla fotoelectrică incrementală divizoare (1) în lungime efectivă de cca 125 mm cu intervalul de măsurare de 100 mm, se fixează de broșa de măsurare (2) prin intermediul ghidajului special (3) și a bridei (4), a suportului special (5), a foililor de teflon și a șuruburilor de fixare (6); prinderea riglei pe broșă se face atât asigurând plan-paralelismul riglei cu direcția de deplasare a broșei de măsurare, cât și paralelismul zonei incrementale cu direcția de deplasare a broșei; de carcasa aparatului se fixează subsambulul de citire opto-electronică (7) format din corpul (8), rigla vernier (9), plăcuța cu fotoelemente (10), sursa</p>	<p>Soluția constructivă este în curs de brevetare (de către autor);</p>

Fig. 8.1.11.

12.	<p>de lumină (11) (LED, bec etc) și condensorul (12); pentru sursele de lumină există posibilități de reglaj, privind distanțele focale și poziționarea filamentului (atunci când sursa este lampă cu incandescență); de asemenea, riglele incrementale se pot regla prin adaosuri subțiri în ghidajul de prindere și prin rotiri și înclinații în jurul pozițiilor de prindere; deplasarea riglei divizoare este lină, fără înțepături și stik-slip, datorită ghidajelor de rostogolire de înaltă precizie ale broșei de măsurare; datorită mișcării relative a riglei divizoare față de rigla vernier, variația fascicolului luminos obținut prin baleierea zonelor incrementale este transformată în variație electrică, prelucrată și afișată de circuitul electronic specializat.</p>	<p>Soluția constructivă prezintă: prin rotirea axului principal (1) se rotește și flanșa specială (2), rigidizată de ax prin intermediul șuruburilor (3) și care prezintă discul incremental divizor (4) lipit prin două coroane circulare de flanșă; pe suportul flanșă (4) se fixează prin lipire și discul incremental vernier (5) și plăcuța cu fotoelemente (6), cu poziționarea fotoelementelor foarte precisă; sursa de lumină (7), care poate fi o lampă cu incandescență sau un LED, baleiază zonele incrementale ale discurilor, acestea aflându-se în mișcare relativă; fluxul</p>
	 <p style="text-align: right;">Fig. 8.1.12</p>	<p>Soluția constructivă prezintă: prin rotirea axului principal (1) se rotește și flanșa specială (2), rigidizată de ax prin intermediul șuruburilor (3) și care prezintă discul incremental divizor (4) lipit prin două coroane circulare de flanșă; pe suportul flanșă (4) se fixează prin lipire și discul incremental vernier (5) și plăcuța cu fotoelemente (6), cu poziționarea fotoelementelor foarte precisă; sursa de lumină (7), care poate fi o lampă cu incandescență sau un LED, baleiază zonele incrementale ale discurilor, acestea aflându-se în mișcare relativă; fluxul</p>
	<p>Cap divizor cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO și cu afișare digitală (fig. 8.1.12.)</p>	<p>Soluția constructivă este brevetată de autor conform BREVET Nr. Ro/ 120620</p>

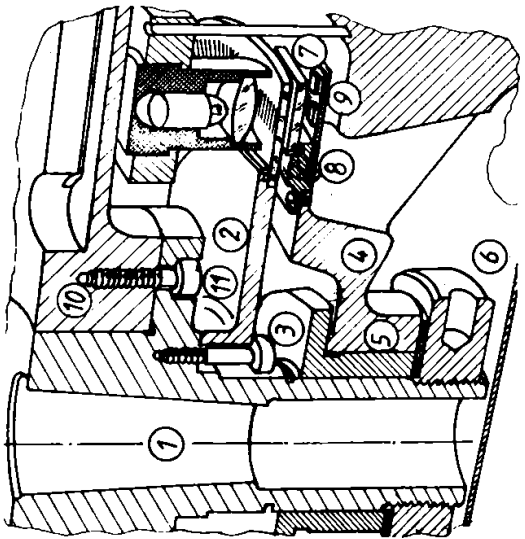
13.	<p>Masă rotativă divizoare cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO cu afișare digitală și minicalculator. (fig. 8.1.13.)</p>		<p>luminos este captat și transformat în flux electric de către fotoelemente și apoi prelucrat, subdivizat și afișat digital; pentru o precizie ridicată a aparatului, se prevăd realizări de discuri incrementale cu rază de până la 200 mm.</p>	
		<p>Soluția constructivă prezentată cuprinde: axul principal (1) al produsului este solidar cu flanșa specială (2), fixată de ax prin șuruburile (3), pe flanșă fiind fixat și discul incremental divizor, prin lipire în două zone circulare; de flanșă fixă (4), rigidizată prin bucușa specială (5) și piulița specială (6), se prinde discul incremental vernier (7) și plăcuța electronică (8), pe care se pot poziționa foarte precis fotoelementele (9); de axul principal (1) se fixează rigid flanșa suport (10) prin șuruburile (11); prin ajustări dimensionale se pot regla distanțele între cele două discuri, asigurându-se distanța optimă și plan paralelismul acestora, pentru o bună funcționare; sursa de lumină (12) emite flux luminos ce baleiază zonele incrementale aflate în mișcare relativă, acesta fiind captat de fotoelementele (9) și transformat în flux electric, prelucrat și afișat digital.</p>	<p>Soluția constructivă prezentată este brevetată de autor conform BREVET Nr. Ro/120620</p>	

Fig. 8.1.13.

14

**Echipament de măsurat abateri de formă, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală și microcalculator (fig. 8.1.14)**

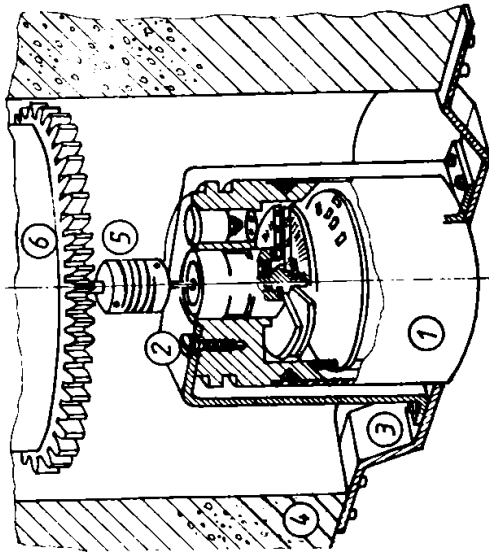


Fig. 8.1.14.

Soluția constructivă prezintă: implementarea traductorului incremental de poziție tip TIRO, la produsul nominalizat; pentru realizarea fidelă și exactă a abaterilor de la circularitate; în fiecare poziție unghiulară este nevoie de traductor de poziție, care trebuie să dea informația asupra stării momentane, microcalculatorului; acest traductor de poziție (1) este fixat rigid, prin intermediul bridelor (2 și 3) de corpul (4) al aparatului, utilizându-se și șuruburile de prindere ale acestora; cuplarea traductorului de poziție se face prin intermediul cuplajului elastic (5) care se fixează cu unul din capete de axul traductorului și cu celălalt capăt de axul roții dințate (6), aceasta fiind prinsă prin șuruburi de axul principal al mesei gazostactice; rotirea mesei gazostactice este urmărită unghiular, în orice moment, de traductorul de poziție, care transmite informația microcalculatorului, acesta primind în același timp și informația abaterii circulare de la traductorul inductiv ce palpează suprafața de revoluție a piesei; prin calcularea abaterilor de la circularitate a profilului real, față de profilul teoretic și definite ca limite la cercurile adiacente, exterior și interior și ținându-se seama de

Soluția constructivă este în curs de brevetare, (de către autor).

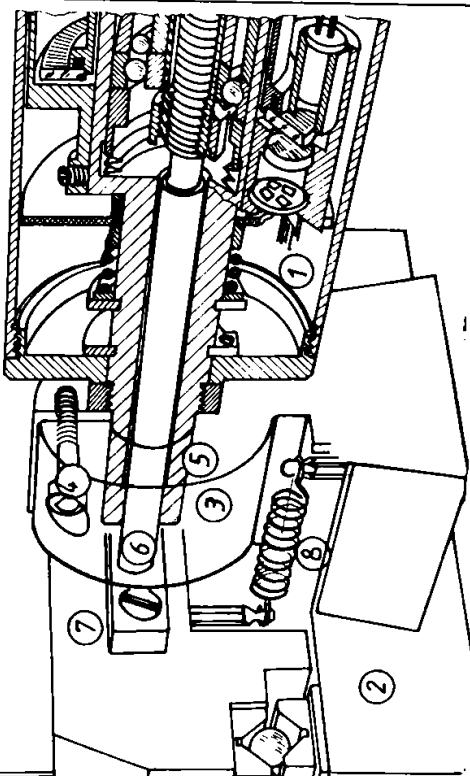
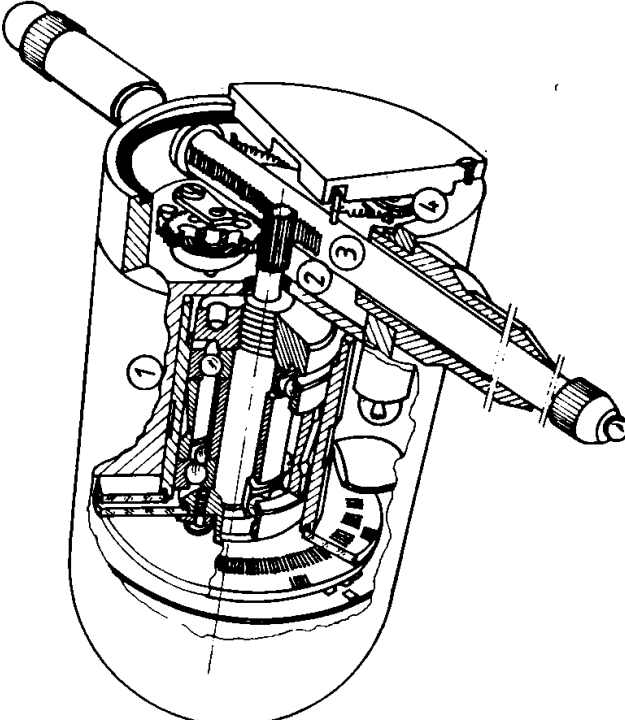
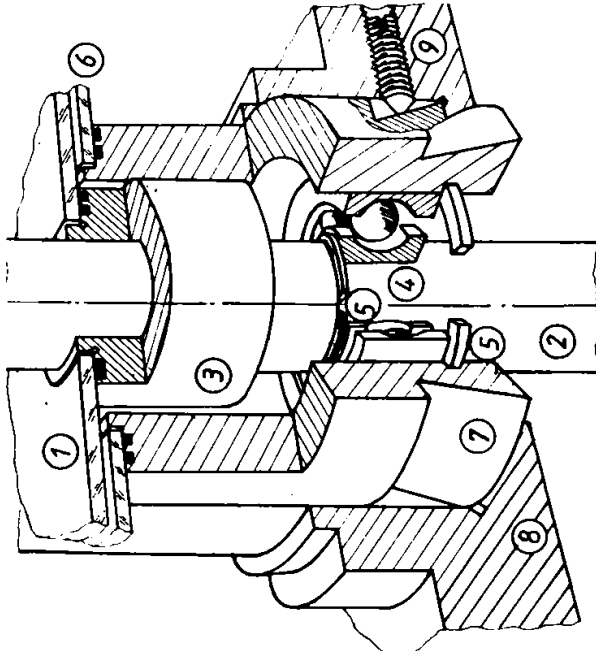
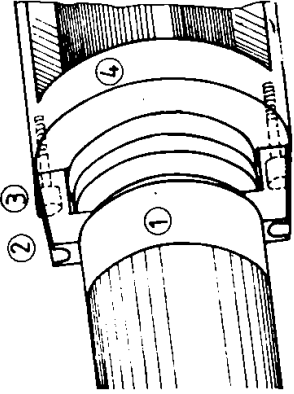
	<p>poziționarea unghiulară a acestora, se trasează diagrama profilului, constituind "mess-protocolul" piesei măsurate.</p>		
<p>15.</p>	<p><b>Microscop de măsurare cu sistem fotoelectric incremental de poziție și cu afișare digitală (fig. 8.1.15.)</b></p>		<p>Soluția constructivă prezentată evidențiază integrarea capetelor micrometrice fotoelectrice cu discuri incrementale și cu afișare digitală pentru microscopul de măsurare de atelier: capul micrometric (1), care utilizează ca sistem de măsurare, sistemul fotoelectric incremental de poziție, este fixat de batiul aparatului (2) prin intermediul bucșei elastice (3) și a șurubului filetat (4), acesta asigurând strângerea pe partea cilindrică (5) a capului micrometric; tija de măsurare (6) a capului micrometric, este adusă în contact permanent cu cala (7) din carbură metalică, fixată pe ghidajul mobil al mesei de măsurare a aparatului; ghidajul mobil al mesei de măsurare este menținut în contact permanent cu tija de măsurare a capului micrometric, de către arcul elicoidal (8); pentru intervale mai mari de 25 mm, se utilizează caele plan paralele; informația deplasării este dată de capul micrometric fotoelectric la blocul electronic de prelucrare și afișare digitală.</p>

Fig. 8.1.15.

16.	Proiectorul de măsurare de atelier cu capete micrometrice fotoelectrice și afișare digitală (fig. 8.1.15)	Idem fig. 8.1.15.	Soluția constructivă referitoare la integrarea capetelor micrometrice fotoelectrice cu afișare digitală este identică cu cea a microscopului de măsurare pentru atelier, prezentat anterior.	Soluția constructivă conține și Brevete Nr. Ro/92176; Ro/94404
17.	Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TID R (fig. 8.1.16.)	 <p style="text-align: right;">Fig. 8.1.16.</p>	În soluția constructivă prezentată se arată: traductorul fotoelectric incremental de poziție, de tip TIRO (1) are pe axul său de rotație pinionul (2) care angrenează cu cremaliera (3), aceasta fiind tensionată de forța de măsurare, dezvoltată de arc elicoïdal de tracțiune (4); practic, s-a făcut o joncțiune între un traductor tip TIRO și un subsansamblu cu tijă de tip comparator cu soluțiile de preluare joc în angrenare și de preluare antirotire la tija palpatoare.	Soluția constructivă este brevetată de autor conform BREVET Nr. RO/92178
18.	Traductor fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu două axe la leșire (TIRO - 2A) (fig. 8.1.17.)		În soluția constructivă prezentată se arată: discul fotoelectric incremental divizor (1) cu rețea incrementală circulară și cu pas constant este fixat prin lipire în zone circulare, de axul principal (2) al traductorului, prin intermediul	Soluția constructivă este brevetată de autor în conformitate cu Brevet Nr. Ro/94404



19.	<p>Echipament de măsurat în două coordonate cu cameră TV, cu traductor fotoelectric incremental de poziție (tip TIRO) și cu afișare digitală (fig. 8.1.18.)</p>	 <p>Fig. 8.1.17.</p>	<p>bucsei (3), astfel încât planul discului să fie perpendicular și concentric cu axul principal (2); pe axul (2) este montat microrulmentul de precizie (4), limitat axial de inelele de siguranță (5), pe axul principal (2); discul fotoelectric incremental vernier (6) este montat prin lipire, în zone circulare, de bușa specială (7), care este concentrică cu axul (2) și este rigidizată de corpul intermediar (8) al traductorului, prin șurubul (9).</p>	<p>Soluția constructivă conține și Brevet Nr. Ro/ 94404</p>
		 <p>Fig. 8.1.18.</p>	<p>În soluția constructivă prezentată se arată: traductorul fotoelectric incremental de poziție tip TIRO (1) este fixat de axul șurubului conducător al ghidajelor y și x ale mesei de măsurare, prin intermediul bridelor speciale (2), fixate prin intermediul șuruburilor (3), de piesa specială (4), aceasta fiind rigidizată de șurubul conducător.</p> <p>Traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție tip TIRO, pot fi acționate atât manual cât și mecanic, în funcție de cerințele industriale și</p>	

de gradul de automatizare al instalației. Elementele mecanice de fixare prezentate sunt tipizate și standardizate, iar tehnologia lor de execuție se bazează pe procedee de turnare de precizie, de matrijare etc.

Această soluție de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție se regăsește și la alte echipamente de control și, în special, la cele la temă, ceea ce arată siguranța construcției și funcționării traductor-motor sau traductor-manivelă, din cadrul axelor carteziene aferente echipamentelor și instalațiilor de control dimensional.

### 8.1.1. Şubler de exterior, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL, cu afişare digitală (Brevet Nr. Ro/ 92177)

Şublerul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL şi cu afişare digitală (fig.8.1.1.1.) este realizat prin integrarea pe structura unui şubler clasic a unui sistem fotoelectric incremental de deplasare tip tractor incremental liniar (TIL).

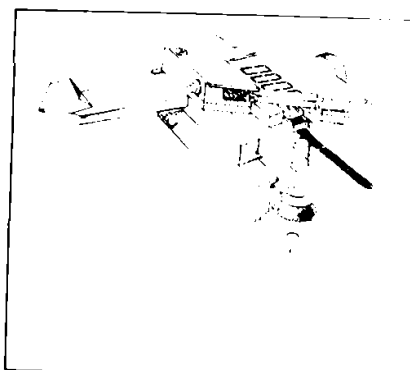


Fig.8.1.1.1.

Folosirea sistemului fotoelectric incremental conduce la mărirea preciziei de măsurare a instrumentelor de acest tip, iar afişarea digitală a rezultatelor măsoare este excepția față de valorile măsurate, toate acestea concurând la creșterea productivității operațiilor de măsurare.

Principiul de măsurare și funcționare al instrumentului (fig. 8.1.1.2.) rămâne în general, același ca la şublerul de tip clasic, cu observațiile:

• mișcarea pe rigla (1) a cursorului (2) generează două semnale electrice sinusoidale rezultate din captarea luminii emise de un bloc de iluminare (3) (radiație vizibilă sau infraroșii), și de un grup de fotoelemente cu siliciu (4), după ce fluxul luminos a traversat cele două elemente fundamentale ale sistemului fotoelectric, rigla incrementală divizoare (5) și rigla incrementală vernier (6). Semnalele analogice sunt preluate de un modul electronic (7) de amplificare-formare și transformate în semnale digitale (tip TTL) care sunt afișate de un numărător

digital (8). Pot fi realizate şublere cu rezoluția 0,01 mm (cu subdivizare electronică cu 2), de 0,005 mm (cu subdivizare electronică cu 4) sau de 0,001 mm (cu subdivizare electronică cu 20), rețelele incrementale având un pas de 0,020 mm.

Şublerul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL și cu afişare digitală

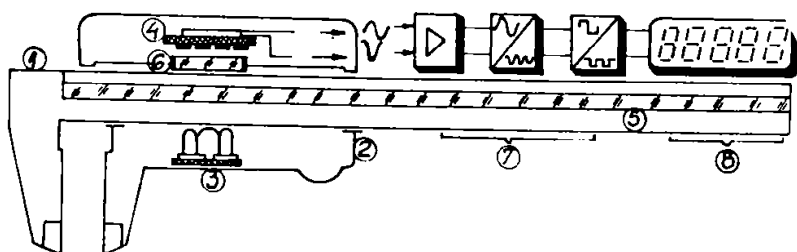


Fig. 8.1.1.2.

este brevetat de autor și face obiectul **Brevetului nr. Ro/ 92177.**

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.1.1.):

Tabelul 8.1.1.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	0 - 150 mm (0 - 200 mm)	Intervalul de măsurare este dependent de lungimea rețelei incrementale ce se poate realiza tehnologic
2.	Rezoluția	0,01 mm 0,005 mm 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu subdivizare electronică cu 2</li> <li>• cu subdivizare electronică cu 4</li> <li>• cu subdivizare electronică cu 20</li> </ul>
3.	Eroarea de justețe: (împreună cu blocul de afişare):	0,02 mm 0,01 mm 0,002 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluția de 0,005 mm</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001 mm</li> </ul>
4.	Eroarea de fidelitate: (împreună cu blocul de afişare)	0,005 mm 0,003 mm 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluția de 0,005 mm</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001 mm</li> </ul>
5.	Viteza maximă de deplasare:	10 m/min	Se poate mări în funcție de frecvența maximă de numărare a blocului de afişare.

6.	<b>Alimentare:</b>	+ 5 Vcc	Alimentarea este unică (de +5 Vcc) atât pentru sursa de lumină cât și pentru partea electronică de afișare.
7.	<b>Afișare:</b>	8 decade + 1 semn	
8.	<b>Posibilitate de aducere la "0" în orice poziție</b>	da	Sistemul incremental posedă un impuls de nul și are zero flotant.
9.	<b>Posibilitate de cuplare la tehnica de calcul</b>	da	Se poate cupla cu tehnica de calcul tip minicalculator, microcalculator, microprocesor.

### 8.1.2. Șubler de exterior, cu sistem fotoelectric incremental depoziție tip TIRO, cu afișare digitală (Brevet Nr. Ro/ 92519)

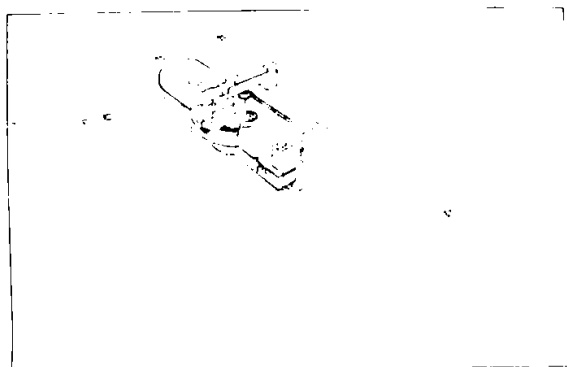


Fig. 8.1.2.1.

Principiul de funcționare conform fig. 8.1.2.2. este următorul:  
De-a lungul riglei (1), pe care este montată o cremalieră (2), culisează cursorul (3), prevăzut

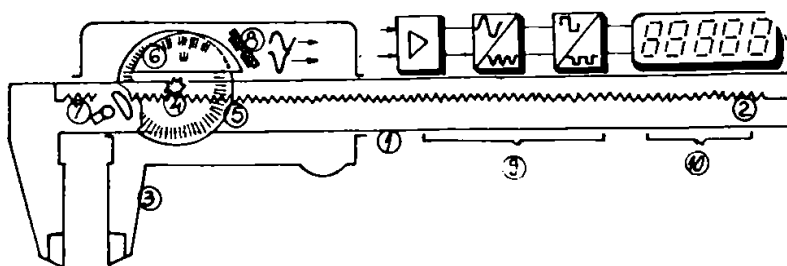


Fig. 8.1.2.2.

Fluxul luminos (radiație vizibilă sau infraroșie), emis de un bloc de iluminare (7), baleiază cele două rețele incrementale după care este captat de un grup de fotoelemente (8) care generează două semnale electrice sinusoidale. Semnalele analogice obținute sunt transformate în semnale digitale (tren de impulsuri tip TTL) de un modul electronic amplificator - formator (9), care sunt numărate și afișate de blocul electronic (10).

Raportul de transmitere pinion cremalieră este calculat astfel încât un impuls pe blocul electronic să corespundă unei deplasări a cursorului de 0,01 mm.

Șublerul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de rotație, tip TIRO și cu afișare digitală este brevetat de autor și face obiectul **Brevetului nr. Ro/ 92519**.

Sinteza caracteristicilor tehnico- funcționale (tabelul 8.1.2.1.):

Tabelul 8.1.2.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	0 - 150 mm (0 - 200 mm)	Intervalul de măsurare este dependent de posibilitățile tehnice de realizare a cremalierii și a pinionului.
2.	Rezoluția:	0,01 mm	Rezoluția este dependentă de mărimea pasului incremental și de subdivizarea electronică.
3.	Eroarea de justețe: (împreună cu blocul de afișare):	0.02 mm	Eroarea de fotodivizare influențează eroarea de justețe.
4.	Eroarea de fidelitate: (împreună cu blocul de afișare):	0,01mm	Eroarea de fidelitate este dependentă de eroarea de pas incremental și centrarea zonelor incrementale și a fotoelementelor.
5.	Viteza maximă de deplasare:	0,06 m/s	Se poate mări prin creșterea frecvenței de numărare a blocului electronic de afișare.
6.	Alimentare	+ 5 Vcc	Alimentarea este unică (de +5 Vcc) atât pentru sursa de lumină cât și pentru partea electronică de prelucrare - afișare.
7.	Afișare:	8 decade + 1 semn	
8.	Posibilitate de aducere la "0" în orice poziție	da	Prin construcție sistemul incremental are zero flotant și posedă un impuls de nul
9.	Posibilitate de cuplare la tehnica de calcul	da	Se poate cupla cu tehnica de calcul tip minicalculator, microcalculator sau microprocesor.

### 8.1.3. Aparat de măsurat și trasat pe verticală cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO cu afișare digitală (Brevet Nr. Ro/ 117465)

Cercetarea aplicativă în domeniul utilizării și integrării sistemelor fotoelectrice incrementale de poziție tip TIRO în construcții de mecanică fină, mecatronică și respectiv, în construcții de aparate de măsură și control, a avut ca rezultat, pe de o parte, proiectarea și realizarea aparatului de măsurat și trasat pe verticală cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO și cu afișare digitală, iar pe de altă parte, fabricația în producție industrială a produsului menționat, la S.C. Mecanică Fină S.A.București. Aparatul de măsurat și trasat pe verticală cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO și afișare digitală (fig. 8.1.3.1.) prezintă, în baza schemei cinematice (fig. 8.1.3.2.), următoarea soluție constructiv funcțională:

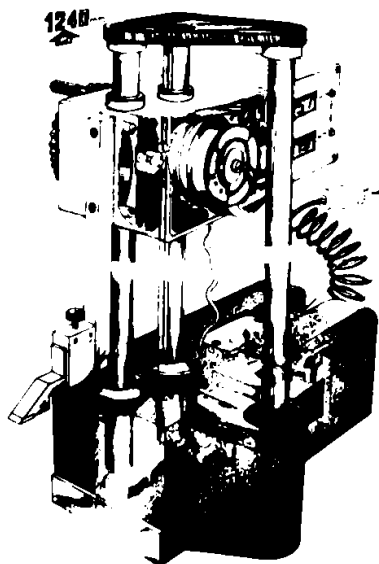


Fig. 8.1.3.1

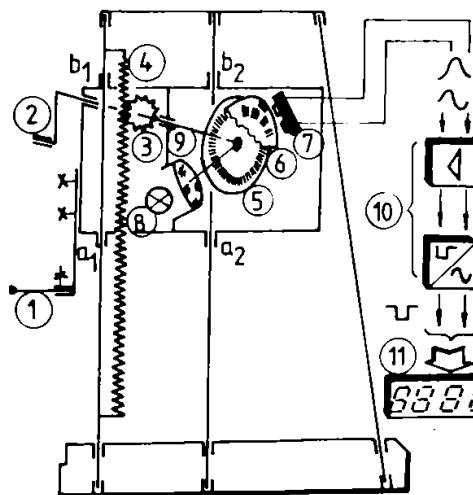


Fig. 8.1.3.2.

Palpatorul de măsurare (sau vârful de trasare) (1) este adus în contact cu piesa de măsurat și trasat, prin deplasarea ghidajelor de alunecare ( $a_1, b_1$ ) și ( $a_2, b_2$ ) pe verticală, a întregului sistem de măsurare ghidare, prin intermediul manivelei (2), care poate antrena, prin intermediul pinionului (3), cremalierii (4) și traductorului fotoelectric incremental de poziție tip TIRO, făcând posibilă baleierea, cu fasciculul luminos, emis de sursa (8) și dirijat paralel cu lentila - (9), a zonelor incrementale ale discurilor divizor (5) și vernier (6), aflate în mișcare relativă.

Fasciculul luminos variabil este captat și transformat în variație de curent, de fotoelemente (7), furnizându-se astfel semnale analogice care sunt amplificate și formate de etajul amplificator formator (10), subdivizate și afișate de blocul electronic de numărare (11).

Numărarea pe blocul electronic se face în același moment, în dublu sens, și anume valoarea intervalului de măsurare crește pentru deplasarea pe verticală de jos în sus și scade în același timp pentru deplasarea pe verticală de sus în jos.

Datorită necesității aplicative în industrie, produsul a fost similat în fabricație la S.C. Mecanică Fină S.A. București și totodată a fost modernizat în sensul că i s-a integrat și un microprocesor, capabil de a efectua câteva funcții de măsurare și trasare.

Aparatul face și obiectul **Brevetului Nr.Ro/ 117465**

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.3.1.):

Tabelul 8.1.3.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	600 mm (900 mm)	Intervalul de măsurare este dependent de precizia de realizare a cremalierii de transformare a mișcării de rotație în mișcare de translație;
2.	Rezoluția:	0,01 mm (0,001 mm)	Rezoluția este dependentă de precizia sistemului incremental de poziție și de numărul de impulsuri de rotație la discul incremental de rotație;
3.	Eroarea de justețe:	$\pm 0,04$ mm $\pm 0,005$ mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001 m</li> </ul>
4.	Eroare de fidelitate:	$\pm 0,005$ mm $\pm 0,0005$ mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001 mm</li> </ul>
5.	Viteza maximă de deplasare:	8 m/s	Se poate mări în funcție de frecvența maximă de numărare a blocului electronic de afișare.
6.	Alimentare	+ 5 Vcc	Alimentarea este unică (de +5 Vcc) atât pentru sursa de lumină cât și pentru partea electronică de prelucrare - afișare.
7.	Afișare:	8 decade + 1 semn	

#### 8.1.4. Echipament de măsurat și trasat în trei coordonate cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare tip TIL și de poziție tip TIRO cu afișare digitală și calculator specializat

Realizat ca răspuns la cerințele pieței interne dar și ca urmare a dezvoltării realizărilor în domeniul sistemelor fotoelectrice incrementale, echipamentul de măsurat și trasat în trei coordonate cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare tip TIL și de poziție tip TIRO cu afișare digitală și microcalculator specializat reprezintă o nouă abordare în domeniul instalațiilor și echipamentelor suprevegheate de microcalculator.

În baza figurii 8.1.4.1. soluția constructiv-funcțională a echipamentului evidențiază:

Deplasarea în direcția X se realizează prin subansamblul mecanic (1) pe ghidajele (2) cu elemente de rostogolire; acționarea subansamblului se face fie liber, fie prin intermediul manivelei (3) ce antrenează mecanismul pinion-cremalieră. Solidar cu ghidajele fixe (2) se prinde rigla (4) a sistemului fotoelectric incremental de deplasare, iar pe subansamblul mecanic (1) se fixează capul de măsurare (4) cu rigla incrementală vernier.

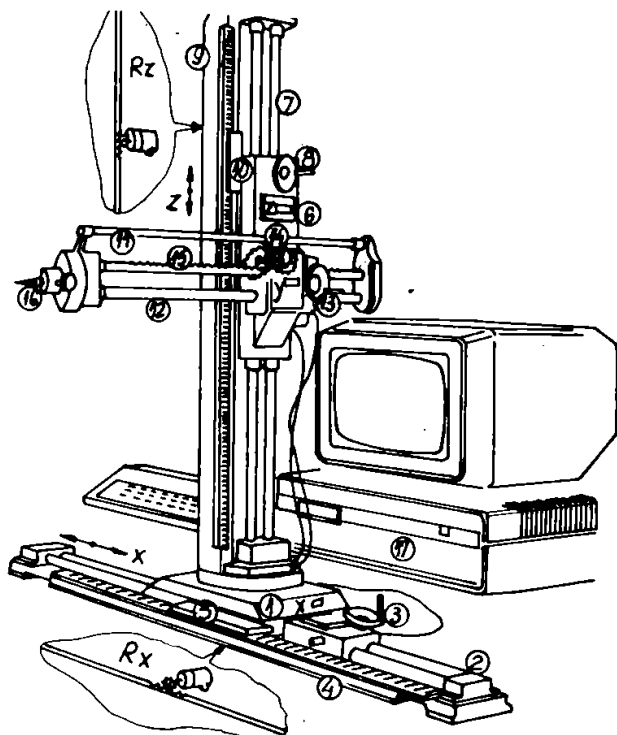


Fig. 8.1.4.1.

Subansamblul mecanic mobil (11) are fixat și palpatorul de poziție în trei coordonate cu contacte electrice (16) sau vârful de trasare.

Deplasările în direcțiile X, Y, Z ce formează un sistem triortogonal de măsurare și trasare sunt sesizate, măsurate și afișate prin intermediul unor blocuri electronice de numărare afișare (X, Y și Z) integrate construcției. Semnalele informaționale de la traductoarele fotoelectrice, respectiv de la blocurile electronice sunt transmise minicalculatorului (17) care le prelucrează și totodată realizează diferite funcții matematice aferente procesului de măsurare și trasare în coordonate; după cum se și observă în figura 8.1.4.1, sistemele incrementale de deplasare pentru axele Z și X, pot fi înlocuite cu sistemele fotoelectrice incrementale de poziție ( $R_x$  și  $R_z$ ) care, prin intermediul mecanismului pinion cremalieră, devin sisteme de măsurat lungimi.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.4.1.):

Tabelul 8.1.4.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Interval de măsurare:</b> X = Y = Z =	500 mm 400 mm 300 mm	Mărimea intervalului de măsurare pe x, y și z este dependentă de lungimea sistemului fotoelectric incremental și de lungimea cremalierii de măsurare.
2..	<b>Rezoluția:</b>	0,01 mm 0,001 mm	• fără / cu subdivizare electronică cu 2 • cu subdivizare electronică cu 10 sau cu 20;
3.	<b>Eroarea de justețe:</b> (împreună cu blocul de afișare):	0.02 mm 0,004 mm	• pentru rezoluție 0,01 mm; • pentru rezoluție 0,001 mm;
4.	<b>Eroarea de fidelitate:</b> (împreună cu blocul de afișare):	0,005 mm 0,001 mm	• pentru rezoluție 0,01 mm; • pentru rezoluție 0,001 mm;

5.	<b>Afișare</b>	8 decade	Se poate mări prin creșterea frecvenței de numărare a blocului electronic de afișare;
6.	<b>Posibilitate de aducere la "0" în orice poziție</b>	da	Sistemul incremental posedă un impuls de nul și are zero flotant.

### 8.1.5. Cap micrometric cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO cu afișare digitală (Brevet Nr. Ro/ 92176)

Capul micrometric cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO și cu afișare digitală (fig. 8.1.5.1.) a apărut din nevoia de creștere a preciziei de măsurare și prin facila integrare a unui sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO pe principiul constructiv-funcțional al unui cap micrometric.

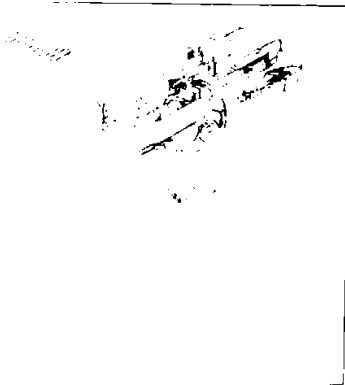


Fig. 8.1.5.1.

În baza figurii 8.1.5.2. soluția constructiv funcțională este următoarea: mișcarea de rotație de la tambur (1) se transmite la piulița micrometrică (2) care este lăgăruită radial și axial cu microrulmenți față de corp.

Rotăția piuliței este transformată într-o deplasare liniară a șurubului micrometric (7), care are preluată roția față de corp printr-un știft cilindric care culisează pe un canal longitudinal practicat în tija șurubului micrometric.

Solidar cu piulița micrometrică se fixează discul incremental divizor (3). Rigidizat pe corpul aparatului se află discul incremental vernier (4) și sursa de iluminare (5). Fluxul luminos baleiat în mișcarea relativă a celor două discuri incrementale este captat de un grup de fotoelemente (6).

Între tamburul de acționare și piulița micrometrică se află interpus un arc elicoidal torsional, forță de măsurare (8).

Elementele fotoreceptoare generează două semnale sinusoidale care sunt preluate de montajul electronic de amplificare - formare (9) și transformate în semnale digitale de tip logic (TTL) și impulsuri numărate de un bloc electronic (10) și afișate.

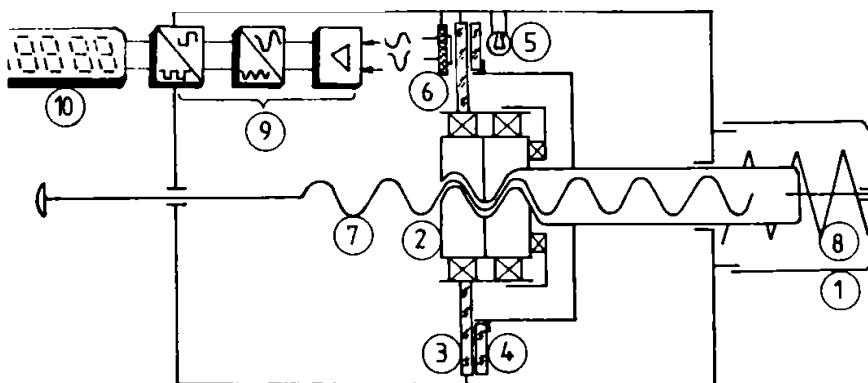


Fig. 8.1.5.2.

Aparatul se prezintă în două variante constructive: cu afișare digitală încorporată sau cuplat la echipamente specializate de numărare aferente aparatelor și instalațiilor în componența cărora intră.

Capul micrometric cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO și cu afișare digitală este brevetat de autor și face obiectul **Brevetului nr. Ro/ 92176.**



Sinteza caracteristicilor tehnico - funcționale (tabelul 8.1.5.1.):

Tabelul 8.1.5.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	0 - 35 mm	
2.	Rezoluția:	0,01 mm 0,002 mm 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu disc incremental cu 50 impulsuri / rotație</li> <li>• cu disc incremental cu 250 impulsuri / rotație</li> <li>• cu disc incremental cu 500 impulsuri / rotație</li> </ul>
3.	Eroarea de fidelitate:	$\pm 0,005$ mm $\pm 0,001$ mm $\pm 0,0005$ mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,001 mm</li> </ul>
4.	Eroarea de justețe:	$\pm 0,01$ mm $\pm 0,002$ mm $\pm 0,001$ mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,001 mm</li> </ul>
5.	Diametrul de prindere	$\varnothing 14$ h6	
6.	Forța de măsurare	$500 \pm 100$ cN	
7.	Forma palpatorilor:	plan, sferic	
8.	Dimensiuni de gabarit:	$\varnothing 53 \times 138$ mm	
9.	Grad de protecție:	IP 54	
10.	Alimentarea:	$5 V_{cc} \pm 0,25 V_{cc}$	
11.	Afișare digitală:	7 decade + 1 decadă pentru semn	
12.	Posibilități de aducere la "0" în orice poziție:	da	Aducerea la zero se face prin butonul "reset";
13.	Aplicabilitate:		<ul style="list-style-type: none"> <li>• la echiparea microscopelor de măsurare de atelier;</li> <li>• la echiparea proiectoarelor de profile de atelier;</li> <li>• la echiparea meselor de măsurare în coordonate carteziane;</li> <li>• la dotarea laboratoarelor metrologice și a punctelor CTC.</li> </ul>

### 8.1.6. Micrometru de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL, cu afișare digitală (Brevet Nr. Ro/92175)

Micrometrul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare și cu afișare digitală (fig. 8.1.6.1.) a fost proiectat și realizat în ideea eliminării cauzelor de erori și anume imposibilitatea realizării perfecte a mecanismului șurub-piuliță care conduce la complicarea soluției constructive prin necesitatea introducerii unor elemente de preluare a jocului de flanc și a uzurii acestuia.

Soluția constructiv-funcțională a aparatului în conformitate cu fig. 8.1.6.2 prezintă:

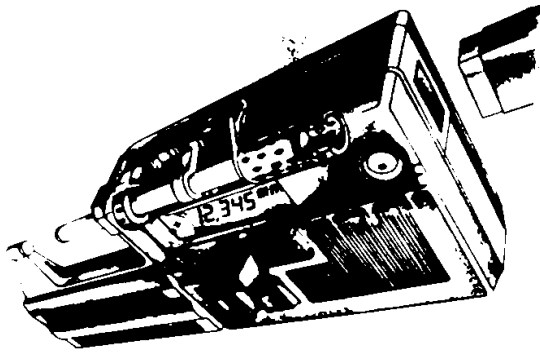


Fig. 8.1.6.1.

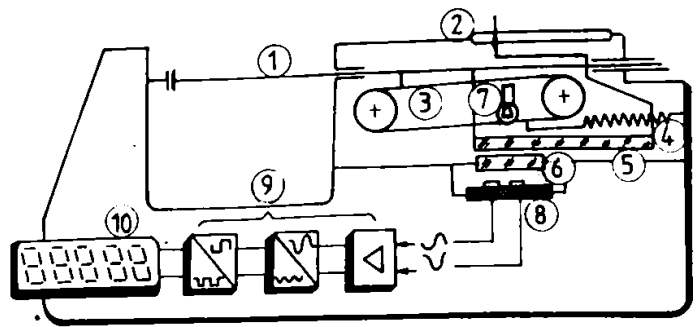


Fig. 8.1.6.2.

Tija mobilă de măsurare (1) este acționată din exterior prin intermediul unui buton (2) în sensul depărtării suprafețelor de palpare. Rigidizată pe tijă se află o bandă (3) întinsă între două role, bandă care este acționată de arcul forță de măsurare (4) în sensul apropierii suprafețelor de palpare.

Tot solidar cu tija se află rigla incrementală divizoare (5). Prin mișcarea tijei, rigla incrementală divizoare se deplasează paralel cu rigla incrementală vernier (6) fixată pe corpul aparatului.

Prin deplasarea relativă a celor două rețele, fluxul luminos emis de o sursă (7) este modulat și captat de un grup de fotoelemente (8) care generează două semnale analogice sinusoidale.

Semnalele generate de fotoelemente sunt preluate de un modul electronic de amplificare-formare (9) și transformate în semnale logice digitale (TTL) care apoi sunt numărate și afișate pe blocul electronic (10).

Micrometrul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL și cu afișare digitală este brevetat de autor și face obiectul **Brevetului Nr. Ro/ 92175**.

Sinteza caracteristicilor tehnico- funcționale (tabelul 8.1.6.1.):

Tabelul 8.1.6.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Interval de măsurare:</b>	0 - 25 mm 0 - 50 mm 0 - 100 mm	În funcție de lungimea riglei incrementale;
2.	<b>Rezoluția:</b>	0,01 mm 0,002 mm 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu riglă incrementală cu pas de 10 <math>\mu</math>m;</li> <li>• cu riglă incrementală cu pas de 10 <math>\mu</math>m și subdivizare cu 5;</li> <li>• cu riglă incrementală cu pas de 10 <math>\mu</math>m și subdivizare cu 10;</li> </ul>
3.	<b>Eroarea de fidelitate:</b>	$\pm 0,005$ mm $\pm 0,001$ mm $\pm 0,0005$ mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,001 mm</li> </ul>
4.	<b>Tensiune de alimentare</b>	$5 V_{cc} \pm 0,25 V_{cc}$	Alimentarea este unică atât pentru sursa de lumină cât și pentru blocul electronic;
5..	<b>Afișare</b>	7 decade + 1 decadă pentru semn	

6.	<b>Masa:</b>	aprox. 210 g	
7.	<b>Posibilități de aducere la "0" în orice poziție:</b>	da	Aducerea la zero se face prin butonul "reset";
8.	<b>Aplicabilitate:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• la dotarea laboratoarelor metrologice, a punctelor CTC;</li> <li>• la verificarea toleranțelor, cotelor dimensionale și la realizarea histogramelor pentru controlul statistic</li> </ul>
9.	<b>Eroarea de justețe:</b>	$\pm 0,01\text{mm}$ $\pm 0,002\text{ mm}$ $\pm 0,001\text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,001 mm</li> </ul>
10.	<b>Forța de măsurare</b>	$400 \pm 100\text{ cN}$	Forța de măsurare este reglabilă;
11.	<b>Grad de protecție</b>	IP 54	
12.	<b>Posibilitate de cuplare cu tehnica de calcul</b>	da	Blocul electronic are posibilitatea de cuplare cu microprocesor și minicalculator personal.

### 8.1.7. Micrometru de exterior, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală (Brevet Nr. Ro/ 92175)

În vederea creșterii ușurinței de citire a valorilor măsurate cu aparatele de tip micrometru de exterior, a fost proiectat și realizat de autor micrometrul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de poziție și cu afișare digitală (fig. 8.1.7.1.)

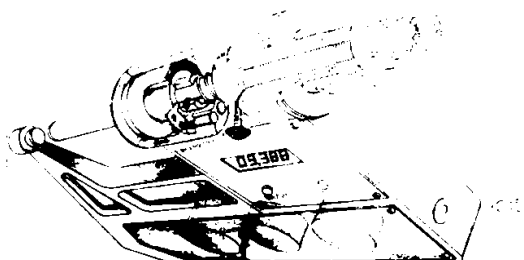


Fig. 8.1.7.1.

În tija de măsurare a șurubului micrometric, astfel încât interstițiul dintre discul incremental vernier și discul incremental divizor (7) rămâne constant, ajutat fiind de resortul (8).

Construit în concordanță cu elementele constructiv funcționale ale micrometrului de exterior de tip clasic, acest tip de micrometru de exterior are implementat pentru măsurare un sistem fotoelectric incremental, în principiu, un traductor incremental de poziție tip TIRO.

În conformitate cu fig. 8.1.7.2. se prezintă elementele constructiv funcționale ale aparatului:

Prin rotirea butonului (1) este antrenat cu ajutorul cuplajului de siguranță (2) care împreună cu arcu (3) asigură ora de măsurare, șurubul micrometric (4). Prin rotire în piulița (5), șurubul avansează, imprimând discului incremental vernier (6) o mișcare de rotație prin intermediul unui știft. Știftul culisează într-un canal practicat

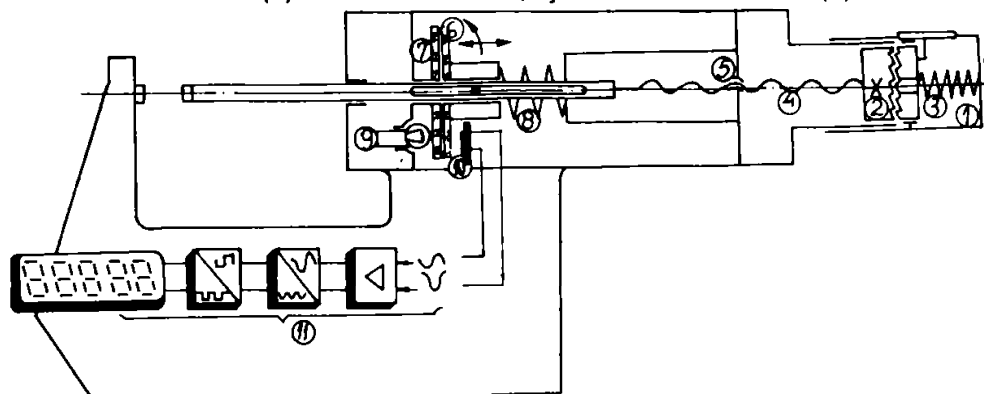


Fig. 8.1.7.2.

Prin rotirea relativ a celor două discuri, fluxul luminos emis de sursa (9) este baleiat și captat de un grup de fotoelemente (10) care generează două semnale sinuso-idale.

Semnalele analogice astfel obținute sunt pre-luate de un bloc e-lectronic (11) și, după amplificare, sunt formate semnale digitale și numărate ca impulsuri logice (tip TTL), rezultatul fiind afișat.

Din corelarea dintre pasul rețelei incrementale și prelucrarea electronică rezultă rezoluția dorită.

Micrometrul de exterior se prezintă în două variante constructive: cu afișaj digital încorporat și cu afișare pe echipamente electronice de numărare specializate.

Micrometrul de exterior cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO și cu afișare digitală este brevetat de autor și face obiectul **Brevetului Nr. Ro/ 92175**.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.7.1.):

Tabelul 8.1.7.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	0 - 25 mm	În funcție de lungimea șurubului micrometric.
2.	Rezoluția:	0,01 mm 0,002 mm 0,001 mm 0,0005 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu disc incremental cu 50 impulsuri/rot;</li> <li>• cu disc incremental cu 250 impulsuri/rot;</li> <li>• cu disc incremental cu 500 impulsuri/rot;</li> <li>• cu disc incremental cu 500 impulsuri/rot și subdivizare cu 2.</li> </ul>
3.	Eroarea de fidelitate:	± 0,005 mm ± 0,001 mm ± 0,0005 mm ± 0,00025 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm;</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm;</li> <li>• pentru rezoluție 0,001 mm;</li> <li>• pentru rezoluție 0,0005 mm.</li> </ul>
4.	Forța de măsurare	300 ± 75 cN	Forța de măsurare este reglabilă;
5.	Tensiune de alimentare	5 Vcc ± 0,25 Vcc	Alimentarea este unică atât pentru sursa de lumină cât și pentru blocul electronic;
6.	Afișare	7 decade + 1 decadă pentru semn	
7.	Masa:	300 g	
8.	Posibilități de aducere la "0" în orice poziție:	da	Aducerea la zero se face prin butonul "reset".
9.	Dimensiuni de gabarit:	(32 x 200 x 90) mm	

### 8.1.8. Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de translație și pentru suprafețe curbe, tip TID - LP

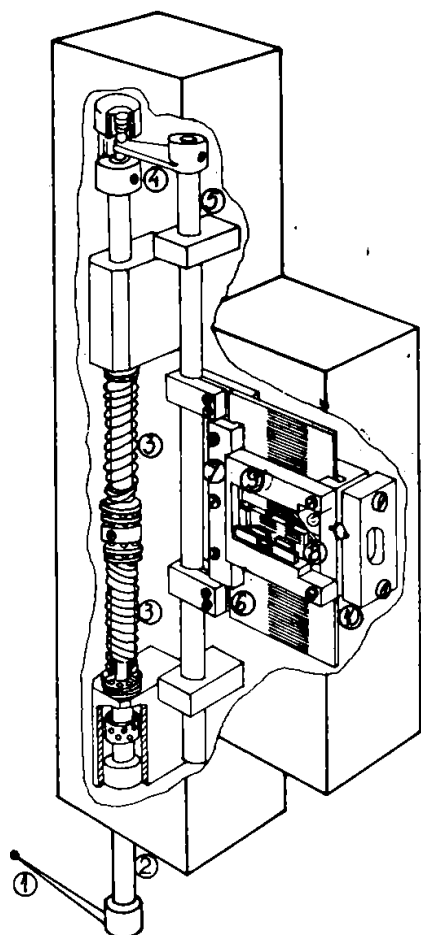


Fig. 8.1.8.1.

Traductorul fotoelectric incremental pentru deplasări mici pentru suprafețe curbe, tip TID - LP (fig. 8.1.8.1.) a fost proiectat și realizat de autor, corespunzător unei largi game de aplicații industriale.

În baza figurii alăturate, se consideră: suprafața de revoluție este palpată prin tija palpatoare (1), rigidizată de tija (2), aceasta fiind lăgăruită prin elemente de rostogolire și tensionată axial prin arcurile elicoidale (3).

Tija (2) este în contact închis elastic cu pârghia (4) a axului (5) purtător al riglei incrementale (6), care este fixată rigid prin elemente de strângere (7).

Rigla vernier (8), fixată prin rama (9) de suportul (10), este astfel reglată plan - paralel față de rigla divizoare incrementală.

Deplasarea palpatorului (1) face ca rigla (6) să aibă o mișcare relativă față de rigla vernier (8), ceea ce duce la obținerea unui flux luminos variabil care este captat de fotoelementele sensibile și transformat în variație de curent, de formă aproape cvasisinusoidală, care, la rândul său este prelucrat, amplificat și subdivizat electronic.

Sinteza caracteristicilor tehnico- funcționale (tabelul 8.1.8.1.):

Tabelul 8.1.8.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	$\pm 5$ mm	
2.	Rezoluția:	0,01 mm 0,002 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu subdivizare cu 10;</li> <li>• cu subdivizare cu 5;</li> </ul>
3.	Eroarea de fidelitate:	$\max \frac{1}{2}$ valoarea rezoluției	• vezi punctul 2
4.	Eroarea maximă:	$\max. \pm 1$ $\mu$ m	
5.	Alimentare:	$+ (5 \pm 0,25)$ V	
6.	Utilizare:	-	La aparatul de măsurat pe verticală

### 8.1.9. Traductor de deplasări mari cu sistem fotoelectric incremental liniar, tip TIL (Brevet Nr. Ro/ 118484)

Traductorul de deplasări mari, cu sistem fotoelectric incremental liniar, tip TIL (fig. 8.1.9.1.) a fost proiectat și realizat de către autor în mai multe tipodimensiuni: TIL -300; TIL-500; TIL- 700; TIL -1000; TIL 1200.



Fig. 8.1.9.1.

Traductoarele fotoelectrice incrementale din seria TIL constituie un răspuns original la una din cerințele stringente ale tehnicii contemporane în domeniul mașinilor unelte și al instalațiilor tehnologice supravegheate de calculator: realizarea unor traductoare de deplasare pe domenii mari (peste 1000 mm) și de înaltă rezoluție (0,001 mm).

Principala dificultate ce trebuie învinsă pentru realizarea unor traductoare fotoelectrice pe lungimi mari o constituie tehnologia de prelucrare a riglei din sticlă optică și tehnologia de fotogravare a acesteia. Cum tehnologia indigenă de prelucrare a riglelor optice de lungimi mari este insuficient dezvoltată, s-a optat pentru soluția îmbinării cap la cap a riglelor scurte.

Metoda clasică constă în realizarea îmbinării la microscop, urmărind poziționarea corectă, în fază, a rețelelor incrementale, cu consum mare de manoperă și rezultate incerte.

Metoda originală aplicată constă în alinierea mai multor rigle scurte (de 85 mm) la o distanță relativ mare (20 mm între rețele) și citirea alternativă cu două capete cititoare (fig. 8.1.9.2.)

Rigla divizoare (1) conține rețeaua cu pas 20  $\mu\text{m}$ , o rețea codificată de nul și o pistă transparentă de comutare. rigla vernier (2) conține două grupuri de 4 rețele defazate în quadratură, rețeaua de nul cu referința ei și fereastra pentru comutare.

Sistemul de iluminare (3) permite reglarea independentă a fiecărui cap cititor.

Semnalele furnizate de fotoreceptorii celor două capete cititoare sunt permanent amplificate în etajele amplificatoare (4).

La ieșirea multiplexorului (5) se regăsesc însă doar semnalele corespunzătoare unui cap cititor.

Comanda în acest sens este dată de fotoelementul (6) prin circuitul formator (7). Capul cititor la care se află fotoelementul (6) este prioritar, semnalele sale regăsindu-se la ieșire atâta timp cât fotoelementul respectiv este iluminat, adică tot timpul deplasării, mai puțin perioada de traversare a îmbinării, când se comută citirea pe capul secundar.

În acest mod, deplasarea cursorului (8) (mărima de intrare  $S_i$ ) este convertită într-un număr de oscilații electrice  $S_o$  de tip  $\sin - \cos$ .

Traductorul TIL furnizează aceste semnale blocului electronic (NIT 271) ce conține un circuit de interpolare cu 5, (9), un circuit de divizare cu 4, (10) și etajul de numărare - afișare (11).

Tot aici se aplică și impulsul de nul amplificat de circuitul amplificator (12) și format în circuitul (13).

Lăgăruirea cursorului s-a realizat cu 6 microrulmenți, astfel încât trei sunt plasați în planul perpendicular pe planul secțiunii din figură și care conține dreapta AB, iar ceilalți în planul omolog ce menține dreapta CD.

Această soluție permite orientarea vernierului paralel cu riglele.

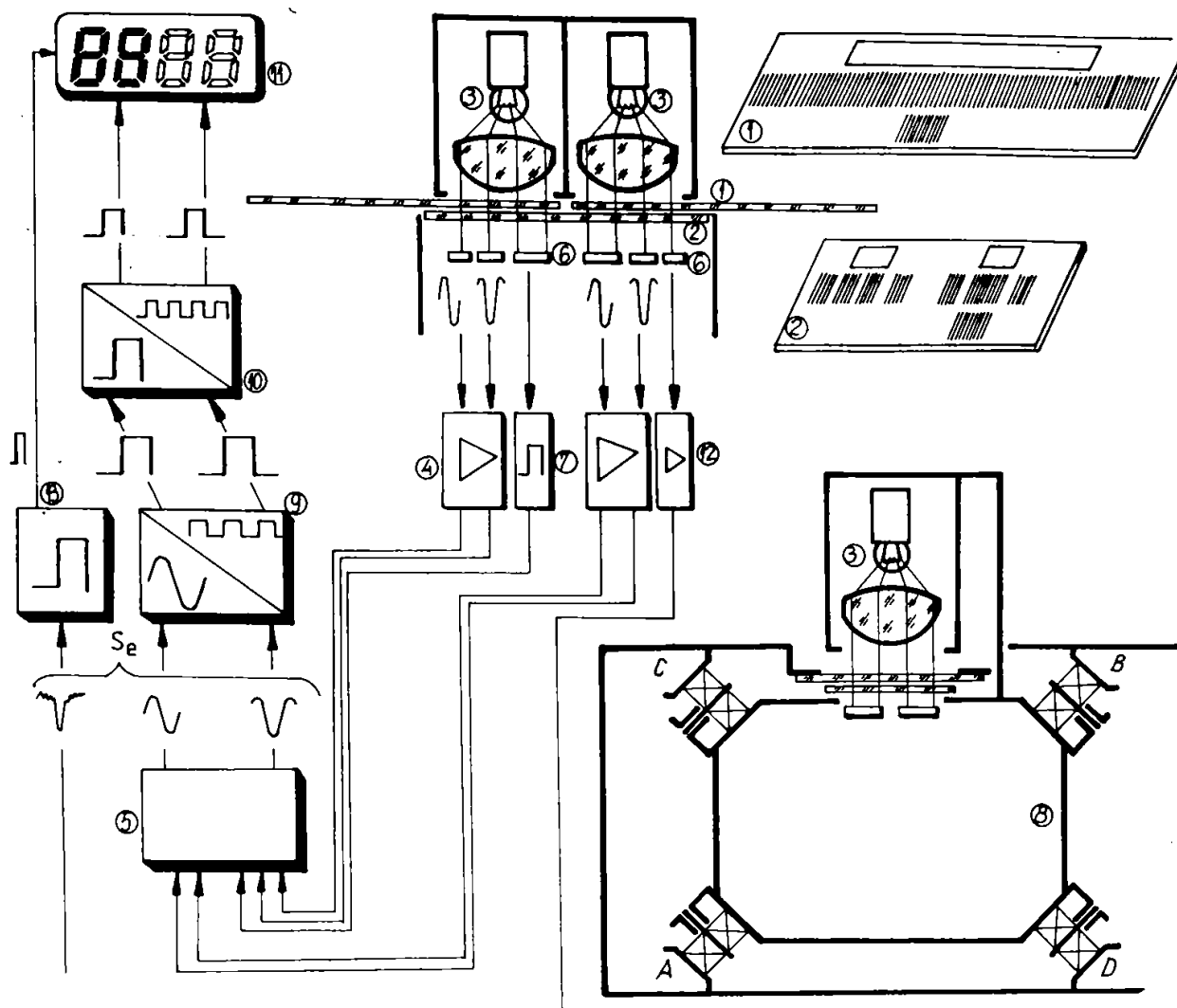


Fig.8.1.9.2

Sinteza caracteristicilor tehnico- funcționale (tabelul 8.1.9.1.):

Tabelul 8.1.9.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Rezoluția:</b> - pentru traductor: - pentru sistemul traductor + bloc electronic:	0,020 mm 0,001 mm	
2.	<b>Domeniul de măsurare:</b>	300; 500; 700; 1000; 1200 mm; teoretic nelimitat	Principiul citirii alternative cu două capete cititoare face ca lungimea maximă a traductorului să depindă doar de tehnologia de realizare a unor ghidaje suficient de lungi.
3.	<b>Eroarea de fidelitate a sistemului:</b>	max. 0,001 mm	
4.	<b>Eroarea de justețe a sistemului:</b>	- pe o riglă ( 85 mm): max $\pm$ 0,001 mm;	În calculul erorii maxime pe tot domeniul s-a considerat cazul limită, care este însă și cel mai puțin probabil.

		- pe tot domeniul: $\max \pm \left( 2 + \frac{n}{1000} \right) \mu\text{m}$ n = număr de îmbinări;	
5.	Alimentare circuit electronic:	+ (5 ± 0,25) Vcc;	
6.	Viteza maximă de deplasare a cursorului:	0,5 m/s;	
7.	Capacitate afișare:	9 decade + 1 decadă de semn;	
8.	Alimentare bloc electronic:	220 Vca <sup>+15%</sup> <sub>-10%</sub> ; 50 Hz ± 2%;	
9.	Putere consumată:	max. 10 VA;	
10.	Subdivizare analogică:	cu 5	Precizia subdivizării este dependentă de toleranța rezistențelor de divizare;
11.	Subdivizare logică:	cu 1 cu 2 cu 4	Precizia subdivizării depinde de toleranța pasului incremental.
12.	Posibilități de reset:	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• manual prin buton;</li> <li>• automat prin impulsul de nul al traductorului;</li> </ul>
13.	leșiri bloc:	TTL; în cod binar	Posibilități facile de conectare la tehnica de calcul.
14.	Posibilitate de cuplare la tehnica de calcul:	da	
15.	Posibilități tehnologice de realizare a riglei fotoelectrice incrementale divizoare:	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prin fotodivizare;</li> <li>• prin litografiere;</li> </ul>
16.	Posibilități tehnologice de realizare a riglei fotoelectrice incrementale vernier:	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prin fotodivizare;</li> <li>• prin litografiere;</li> </ul>
17.	Posibilități tehnologice de realizarea a riglei incrementale cap la cap:	-	Prin unire cap la cap a riglelor incrementale standard (85 mm) și prin baleierea fiecărei rigle cu cap cititor dublu, realizându-se un transfer de flux informațional continuu, pe toată lungimea riglei incrementale;
18.	Posibilități de capsulare a traductorului:	-	Se realizează în sistem deschis și închis, în această ultimă variantă traductorul fotoelectric fiind capsulat (în această construcție în general la echiparea M-U, utilizate în procesele tehnologice de prelucrare);
19.	Posibilități de montaj:	-	Traductorul este prevăzut cu accesorii și găuri de prindere pentru toate tipurile de aplicații industriale, respectându-se instrucțiuni precise cu date constructive și funcționale prevăzute în acest sens.



### 8.1.10. Aparat de control activ automat, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL, cu afișare digitală și cu microprocesor

În vederea automatizării controlului activ în procesele de prelucrare atât pe mașinile unelte, cât mai ales pe liniile automate flexibile, s-a realizat în colectiv atât cercetarea aplicativă a lucrării cât și proiectarea și realizarea unui aparat de control activ automat, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL, dat fiind că pe plan mondial, soluționarea acestei probleme se află în cercetare, că industria constructoare de mașini din țara noastră necesită asemenea tehnologie, dar mai ales datorită integrării cu rezultate bune a principiului optoelectronic de măsurare.

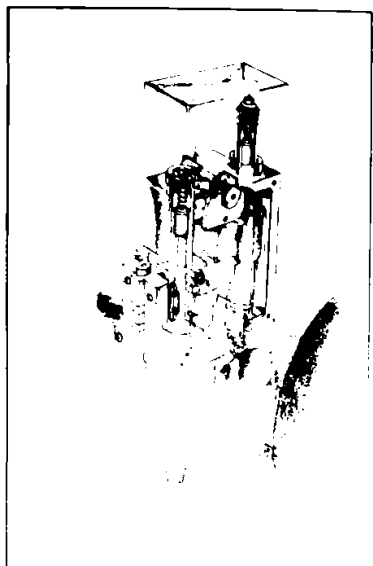


Fig. 8.1.10.1.

Aparatul de control activ automat cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL, cu afișare digitală și cu microprocesor (fig. 8.1.10.1.) a fost proiectat și realizat fizic.

În baza fig. 8.1.10.2. se arată principiul nou de funcționare utilizat; brațele de măsurare (1) și (2), ghidate în corpul aparatului (3) prin intermediul lagărelor (4), sunt acționate simultan în sens contrar, de închidere și deschidere, de un motor pas cu pas (5) prin intermediul unui reductor dublu (6) și a două cremaliere (7).

Pe cele două brațe (1) și (2) ale aparatului sunt fixate cele două tije de măsurare (8) și (9) care ghidează lagărele (10), menținând sub acțiunea arcurilor (11) un contact punctiform (plan-sferă), cu tija de prindere a traductorului fotoelectric incremental de deplasare, și practic cu riglele incrementale divizoare (12) ale traductorului; riglele incrementale vernier (13) ale traductorului sunt fixate la corpul aparatului (3), astfel că prin mișcarea brațelor de măsurare prin acționare cu motor, până la contactul cu piesa de controlat și în continuare, sub acțiunea forței de măsurare, dată de arcurile (11), se crează astfel o mișcare relativă între riglele divizoare (12) și riglele vernier (13).

Acesta este principiul de funcționare al aparatului. Un fascicol luminos, emis de sursa de lumină (14), să fie baleiat de rețelele incrementale ale traductorului și să fie captat de către fotoelementele (15), care generează simultan câte două semnale electrice sinusoidale, ce sunt transformate în semnale digitale de un modul electronic amplificator-formator, divizate, numărate și afișate de modulul electronic (17), memorate și stocate de microprocesorul (18), acesta putând dialoga cu CNC-ul mașinii unelte sau cu unitatea centrală a liniei automate.

Microprocesorul (18) poate stoca și memora 10 valori nominale ale diametrelor de prelucrat printr-o programare anterioară procesului tehnologic.

După cum se arată, soluția traductorului fotoelectric incremental de deplasare este o soluție originală, care nu se regăsește în cele existente pe plan mondial.

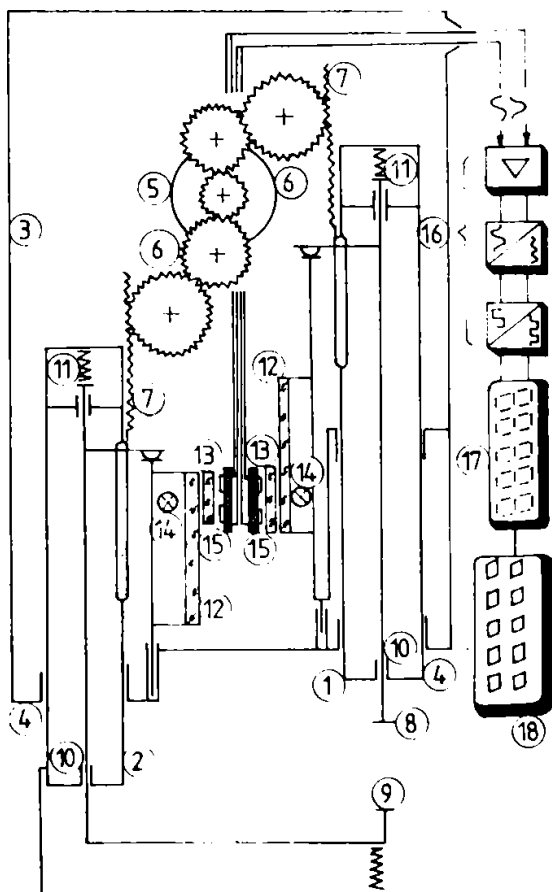


Fig. 8.1.10.2.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	6 - 100 mm	Intervalul de măsurare este dependent de lungimile riglelor incrementale ce se pot obține tehnologic pe dotarea existentă din țară.
2.	Rezoluția:	0,001	Rezoluția este dată de o riglă incrementală cu pas de 20 $\mu\text{m}$ și cu o subdivizare electronică cu 20.
3.	Eroarea de fidelitate:	$\pm 0,001$ mm	Eroarea de fidelitate este dependentă de valoarea pasului incremental și de centrarea zonelor incrementale.

### 8.1.11. Aparat de măsurat lungimi pe verticală tip ABBE cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL și afișare digitală

Aparatul de măsurat lungimi pe verticală tip ABBE cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL și cu afișare digitală (fig. 8.1.11.1.) a fost proiectat și realizat de către autor, integrând ca sistem de măsurare traductorul fotoelectric incremental de măsurat lungimi. În baza schemei cinematice (fig. 8.1.11.2), soluția constructiv - funcțională arată: broșa de măsurare (1), purtătoarea riglei incrementale divizoare (2), creează, prin deplasare pe microrulmenți (3), o mișcare relativă între aceasta și rigla incrementală vernier (4), care face să baleieze fascicolul luminos emis de sursa de lumină (5), captat de fotoelementele (6), care generând două semnale sinusoidale, care sunt preluate de montajul electronic de amplificare - formare (7) și transformate în semnale digitale de tip logic (TTL) și afișate de blocul electronic (8).

Mișcarea broșei de măsurare față de masa de așezare a piesei de măsurat (9) este sub acțiunea unei forțe de măsurare reglabilă prin contragreutate (10); pentru domeniul de măsurare de 200 mm, broșa poate fi acționată manual prin intermediul manivelei (11) și al angrenajului pinion cremalieră (12) pe ghidajul (13).

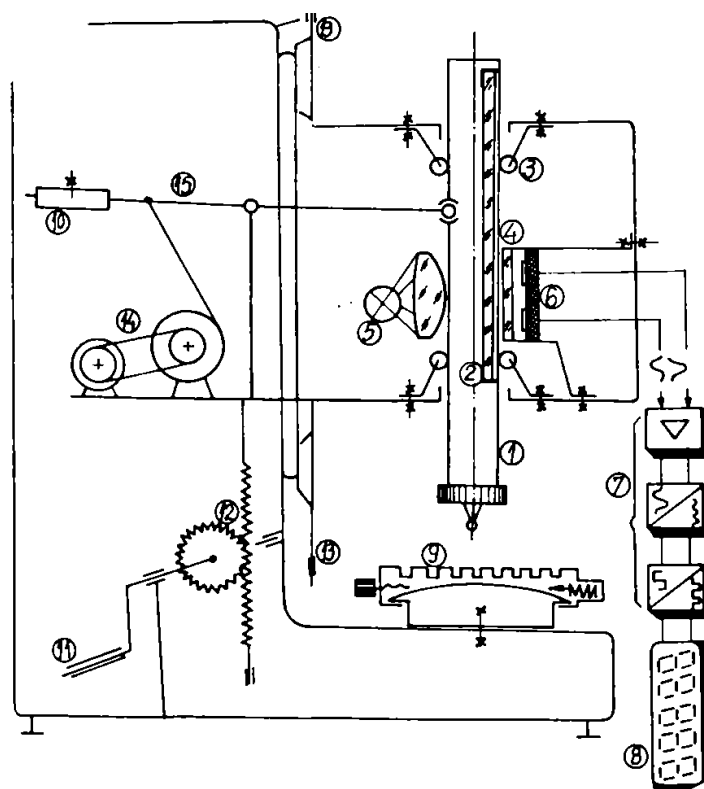


Fig. 8.1.11.1.

Fig. 8.1.11.2.

Pentru intervalul de măsurare al aparatului de 100 mm, broșa este acționată prin intermediul subansamblului motor electric - transmisie prin cursa (14), pârghiei mecanice (15), acționare care se realizează în două trepte de viteză (pentru mers rapid și lent, în sus și în jos).

Aparatul de măsurat lungimi pe verticală tip ABBE cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TIL și cu afișare digitală este în curs de brevetare.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.11.1.):

Tabelul 8.1.11.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare:	0 -100 mm	Intervalul de măsurare este dependent de lungimea riglei incrementale, aceasta depinzând de posibilitățile tehnologice de fotodivizare.
2.	Domeniul de măsurare:	0 - 200 mm	
3.	Rezoluția:	0,001 mm	Cu rigla incrementală cu pas de 10 μm și subdivizare electronică cu 10;
4.	Eroarea de justețe:	± 0,001 mm	Eroarea de justețe este dependentă de eroarea de fotodivizare a riglei incrementale;
5.	Eroare de fidelitate:	± 0,0005 mm	
6.	Forța de măsurare:		Reglarea forței de măsurare se face prin contragreutate;
7.	Dimensiuni de gabarit	700 x 300 x 350 mm	
8.	Alimentare bloc electronic	220Vca <sup>+15%</sup> <sub>-10%</sub> 50 Hz ± 2%	Alimentarea este unică (de +5 Vcc) atât pentru sursa de lumină cât și pentru partea electronică de prelucrare - afișare;
9.	Afișare digitală:	7 decade + 1 semn	
10.	Posibilitate de aducere la "0" în orice poziție	da	aducerea la zero se face prin butonul "reset";
11.	Grad de protecție	IP 54	
12.	Subdivizare analogică la blocul electronic:	cu 1 cu 2 cu 4	Precizia subdivizării depinde de toleranța pasului incremental;

### 8.1.12. Cap divizor cu sistem fotoelectric incremental tip TIRO cu afișare digitală (Brevet Nr. Ro/ 120620).

Datorită cerințelor pieței interne de astfel de aparate pe de o parte, dar și dezvoltării cercetării aplicative privind sistemele fotoelectrice incrementale, comparativ cu lipsa unei opticizări a AMC-urilor, pe de altă parte, s-a conceput și realizat capul divizor cu sistem fotoelectric incremental tip TIRO și cu afișare digitală (fig. 8.1.12.1).

În baza schemei cinematice din fig. 8.1.12.2. se evidențiază soluția constructiv funcțională:

Mișcarea de rotație transmisă vârfului în care se sprijină piesa de măsurat și verificat este realizată prin intermediul angrenajului conic [(11), (12)] al cărui ax de rotație (10) este solidar cu vârful principal și cu discul incremental divizor (5) al traductorului fotoelectric de rotație [(5), (6), (7), (8), (9)] prin manivela (15) și excentricul (13); indexarea în mișcarea de rotație se face prin intermediul indexorului (14).

Pentru înclinarea capului divizor în plan vertical, acesta primește o mișcare de înclinare în plan de la manivela (1) și subansamblul de angrenaj (2), (3), în jurul axei (4).

Semnalele informaționale (semnale logice), de la traductorul fotoelectric de rotație, sunt formate, amplificate și transformate de circuitul electronic (18) și introduse în blocul electronic de

numărare și de interfațare (19).

Pentru comoditatea prinderii pieselor pe capul divizor se prezintă soluția constructiv-funcțională, un alt suport (16) fixat pe masa capului divizor și un vârf de prindere (17).

Capul divizor prezentat are posibilitatea divizării pe un domeniu mare și mediu, cu o eroare de aproximativ  $\pm 2$  secunde.

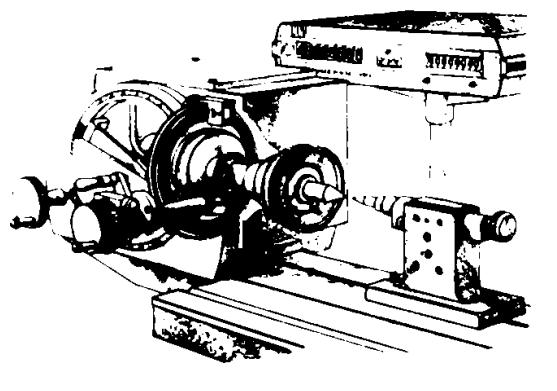


Fig. 8.1.12.1.

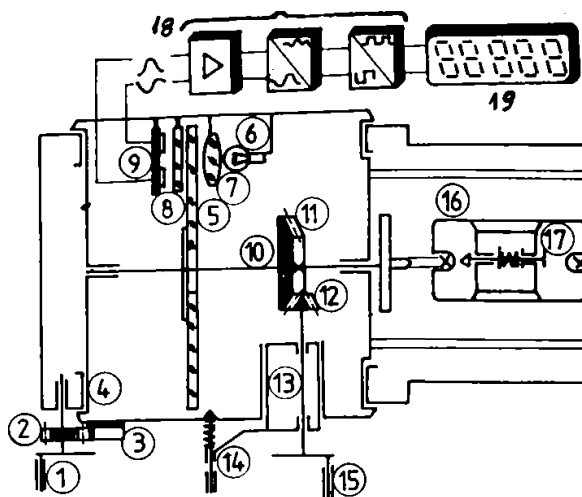


Fig.8.1.12.2.

Din punct de vedere al aplicabilității, capul divizor este utilizat ca aparat de măsurat unghiuri în atelierele și laboratoarele întreprinderilor industriale.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.12.1):

Tabelul 8.1.12.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Rezoluție:	1"	Indicată pe un bloc de afișare digitală;
2.	Domeniul de măsurare:	0 - 360°	Limitat de numărul de celule de afișaj;
3.	Eroare de justețe:	$\pm 2$ "	
4.	Eroare de fidelitate:	$\pm 1$ "	
5.	Posibilitatea înclinării axului principal:	cca 90°	
6.	Înălțimea axului principal:	135 mm	
7.	Dimensiuni de gabarit:	260 x 280 x 300 mm	Fără accesorii;
8.	Masa:	60 Kg	Cu blocul de afișare și fără accesorii;
9.	Greutatea maximă a piesei de măsurat:	50 Kg	Cu prindere între vârfuri sau pe conul axului principal;
10.	Blocul de afișare digitală:	NUMEROM/NIT	Livrat de S.C. IEA S.A. București; Livrat de CEFIN - București.
11.	Tensiunea de alimentare;	220Vca $\pm 15\%$ $-10\%$	
12.	Frecvența rețelei:	48 - 62 Hz	
13.	Puterea absorbită:	max. 55 VA	
14.	Posibilități multiple de prindere pe masa aparatului	da	-
15.	Grad de protecție	IP 54	-
16.	Adaptare și integrare aparat:	-	- pe M - U cu CNC pentru precizii înalte - pe M - U specializate
17.	Posibilități de cuplare la tehnica de calcul	da	

### 8.1.13. Masă divizoare cu sistem fotoelectric incremental tip TIRO și afișare digitală (Brevet Nr. Ro/ 120620)

Datorită cercetărilor aplicative privind utilizarea și integrarea sistemelor fotoelectrice incrementale, precum și datorită necesităților pieței interne, a fost proiectată și realizată, masa divizoare cu sistem fotoelectric incremental tip TIRO și cu afișare digitală (fig. 8.1.13.1.).

În baza schemei cinematice din fig. 8.1.13.2 se evidențiază soluția constructiv-funcțională a produsului, care integrează un traductor fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu gabarit mare pentru a putea fotodiviza numărul de incremente radiale, corespunzător preciziei cerute:

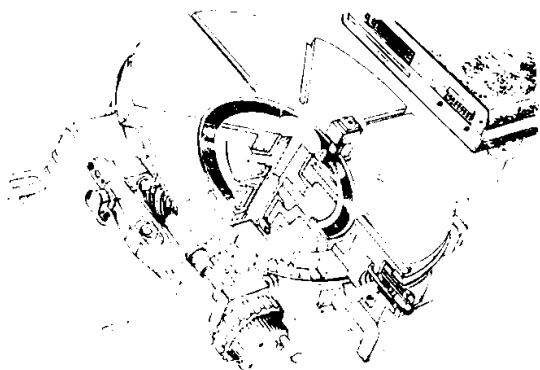


Fig. 8.1.13.1.

Platoul (1) al mesei digitale, cu canale în T pe suprafața exterioră pentru prinderea pieselor de măsurat și verificat, are pe circumferința exterioră, o coroană dințată melcată ce angrenează cu subansamblul de antrenare manuală (2), prin intermediul unui șurub-melc antrenat printr-o manivelă, subansamblul putând fi în angrenare și scos din angrenare; platoul (1) se rotește în jurul axului principal pe rulmenți radiali de înaltă precizie (3), asigurând o toleranță precisă la bătaia frontală și axială.

Pe axul platoului este fixat discul incremental divizor (4), aflat în mișcare relativă față de subansamblul incremental vernier (5), fixat rigid de batiul aparatului. Fluxul luminos emis de sursa de lumină (6) străbate și baleiază zonele incrementale divizoare și vernier, aflate în mișcare relativă una față de cealaltă fiind captat de fotoelementele (6), care transformă fluxul luminos în semnale analogice, ce sunt amplificate și formate de circuitul formator-amplificator (7), subdivizate și numărate de blocul electronic de numărare (8), acesta afișând direct în grade, minute și secunde.

Blocarea platoului în jurul axei se face prin intermediul unui subansamblu (9), care asigură o poziționare rigidă și precisă.

Masa divizoare este prevăzută cu niște găuri speciale în batiu prin intermediul cărora se fixează de platourile și mesele mașinilor unelte sau a altor utilaje tehnologice ce folosesc mesele divizoare ca aparate de măsură și control.

Din punct de vedere al aplicabilității industriale, mesele divizoare sunt utilizate în atelierele de producție, ca accesorii pentru M - U, în atelierele și laboratoarele metrologice ale întreprinderilor, pentru măsurări precise unghiulare. Produsul este brevetat de autor și colectiv și constituie obiectul dosarului de brevetare nr. Ro/ 120620.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.13.1):

Tabelul 8.1.13.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Rezoluție:</b>	1"	Data de traductor și afișată pe un bloc de afișare digitală;
2.	<b>Domeniul de măsurare:</b>	0 - 360°	Platoul se rotește continuu;
3.	<b>Eroare de justețe:</b>	+ 2"	

4.	Eroare de fidelitate:	$\pm 1''$	
5.	Diametrul platoului:	$\varnothing 400 \text{ mm}$	S-a ales o valoare medie utilizată;
6.	Înălțimea platoului::	150 mm	
7.	Dimensiuni de gabarit:	150 x 412 x 525 mm	Fără accesorii;
8.	Masa:	80 Kg	Cu blocul de afișare digitală
9.	Greutatea maximă a piesei de măsurat:	100 Kg	
10.	Tensiunea de alimentare;	$220V_{ca} \pm 15\%$ $-10\%$	
11.	Frecvența rețelei:	48 - 62 Hz	
12.	Puterea absorbită:	max. 55 VA	
13.	Dimensiuni bloc de afișare:	90 x 270 x 340 mm	Livrat de S.C. IEA - S.A. București; Livrat de CEFIN - București
14.	Greutatea blocului de afișare	3 kG	
15.	Grad de protecție	IP 54	

#### 8.1.14. Echipament de verificat abateri de formă și de poziție, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO și microcalculator.

Cercetarea aplicativă privind integrarea sistemului fotoelectric incremental de poziție a condus la conceperea și realizarea de noi aparate destinate industriei.

Astfel a fost proiectat și realizat echipamentul de verificat abateri de formă și de poziție cu sistem fotoelectric incremental de poziție de tip TIRO și cu microcalculator (fig. 8.1.14.1.).

În baza schemei cinematice din figura 8.1.14.2. se evidențiază soluția constructiv - funcțională: mișcarea de rotație, transmisă prin motor-reductor (10) și treapta de angrenare pinion (2) - roată (3), la axul principal (5) al mesei rotative gazostatice (6), pe care se află sprijinită masa de așezare sau bazare (7) a piesei de măsurat și verificat, aceasta fiind reglabilă în planul orizontal prin șurubul cu pas fin (4), este sincronă cu rotația traductorului incremental de rotație tip TIRO [(8), (9), (10), (11), (12)] prin cuplajul elastic (13); subansamblul masă rotativă gazostatică se află în mișcare de rotație pe pernă de aer, atât frontal cât și radial, având capacitatea portantă de aproximativ 80 kg.

Pe batiul echipamentului se află un suport vertical (17) fixat de acesta prin șurub de strângere sau excentric; pe coloana suportului se găsește un subansamblu cu ghidaj pe orizontală (15) și un ghidaj pe verticală (16), pe a cărui tijă se află fixat traductorul inductiv de măsurare (14) ce palpează continuu piesa de măsurat și verificat (1).

Semnala informaționale (semnala analogice) de la traductorul fotoelectric de poziție, sunt formate, comparate și amplificate de circuitul formator - amplificator (18), sunt numărate și afișate de către blocul electronic și introduse în microcalculator (20).

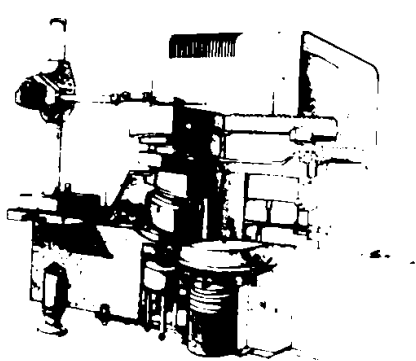


Fig.8.1.14.1

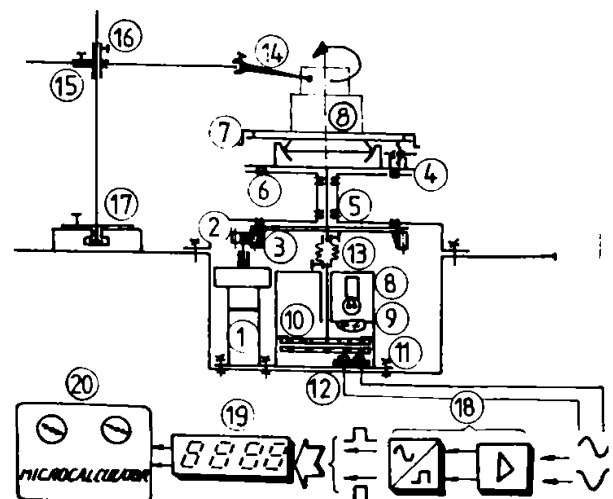


Fig. 8.1.14.2.

Semnalele informaționale (semnale analogice) de la traductorul inductiv de măsurare, sunt introduse de asemenea în blocul de interfațare (19) și prelucrate de către microcalculator și înregistrate pe un plotter în coordonate carteziane.

În fapt, înregistrarea rezultatelor procesului de măsurare, reprezintă înregistrarea abaterii de la forma circulară în secțiunea stabilită, aceasta fiind calculată ca funcție matematică (ex. prin metoda celor mai mici pătrate) și reprezentând "messprotocoll" piesei măsurate sau verificate.

Din punct de vedere al aplicabilității, aparatul este destinat dotării atelierelor și laboratoarelor metrologice pentru măsurarea și verificarea pieselor de revoluție din industria de mecanică fină și în industria constructoare de mașini, în general.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.14.1):

Tabelul 8.1.14.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Rezoluție:</b>	0.0001; 0,001 și 0,002 mm	Data de traductor și afișată pe un bloc de afișare digitală
2.	<b>Interval de măsurare</b>	$\pm 200$ ; $\pm 20$ ; $\pm 2\mu\text{m}$	Deoarece se măsoară abateri, intervalele de măsurare ale blocului electronic sunt mai mici
3.	<b>Eroare de justețe:</b>	$\pm 1,5\%$ din intervalul de măsurare	Eroarea de justețe este dependentă de eroarea de justețe a traductorului și blocului.
4.	<b>Eroare de fidelitate:</b>	$\pm 0,5\%$ din intervalul de măsurare	
5.	<b>Alimentare pneumatică</b>	4 - 5 bar	Presiunea de alimentare trebuie să fie aproape constantă.
6.	<b>Tensiunea de alimentare;</b>	220Vca $^{+15\%}_{-10\%}$	
7.	<b>Turație:</b>	4 rot/min	
8.	<b>Sarcina maximă:</b>	80 Kg	
9.	<b>Diametrul maxim al piesei măsurate:</b>	$\phi_o = 400$ mm $\phi_i = 5$ mm	Diametrul exterior maxim este limitat de suprafața activă a mesei rotative iar diametrul interior de diametrul palpatorului.

#### 8.1.15. Microscop de măsurare pentru ateliere, cu sisteme fotoelectrice incrementale tip cap micrometric fotoelectric și afișare digitală

Procesul de electronizare a AMC-urilor, extinzându-se și asupra mijloacelor optico-mecanice de măsurare a condus la proiectarea și realizarea de către autor a microscopului de măsurare pentru ateliere, cu sisteme fotoelectrice incrementale tip cap micrometric fotoelectric și afișare digitală (fig. 8.1.15.1.).

În baza schemei cinematice din fig. 8.1.15.2. soluția constructiv - funcțională este următoarea:

Ocularul (1), fixat pe suportul vertical (2) al microscopului, citește imaginea mărită și clară a obiectului, a cărei claritate se realizează prin poziționarea pe verticală a obiectivului (3) față de piesa de măsurat, aceasta fixându-se pe masa de măsurare în două coordonate (4) a microscopului și fiind luminată DIA sau EPI prin sistemul de iluminare (5) și respectiv (6).

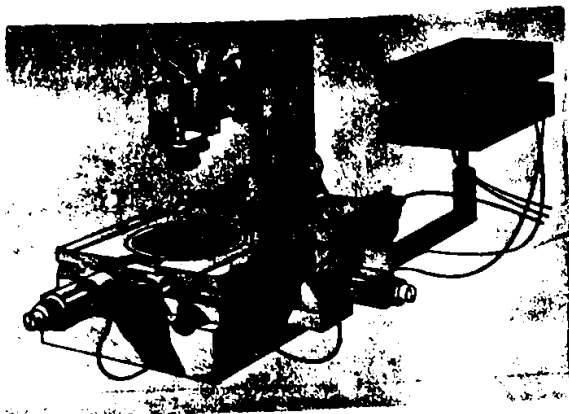


Fig. 8.1.15.1

Măsurarea propriu-zisă se face prin cele două capete micrometrice fotoelectrice incrementale cu rezoluția 0,001 mm (8), cu afișare digitală pe blocurile electronice (7). Din punct de vedere al aplicabilității industriale, microscopul de măsurare pentru ateliere cu sisteme fotoelectrice incrementale tip cap micrometric fotoelectric și cu afișare digitală, este utilizat în ateliere și în laboratoare pentru măsurări de precizie pentru piese din domeniul industriei în general.

Microscopul de măsurare pentru atelier integrat cu microprocesor/ minicalculator poate fi utilizat pentru informatizarea procesului de măsurare și pentru ridicarea histogramelor în controlul statistic.

Sinteza caracteristicilor tehnico - funcționale (tabelul 8.1.15.1):

Tabelul 8.1.15.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Rezoluție:</b>	0,01 mm 0,002 mm 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu disc incremental cu 50 impulsuri/ rotație</li> <li>• cu disc incremental cu 250 impulsuri/ rotație</li> <li>• cu disc incremental cu 500 impulsuri/ rotație</li> </ul>
2.	<b>Interval de măsurare:</b> x = y =	50 mm 75 mm	Intervalul de măsurare este dependent de intervalul capului micrometric fotoelectric și de lungimea calei;
3.	<b>Eroare de justețe:</b>	± 0,01 mm ± 0,002 mm ± 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,001 mm</li> </ul>
4.	<b>Eroare de fidelitate:</b>	± 0,005 mm ± 0,001 mm ± 0,0005 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluție 0,01 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,002 mm</li> <li>• pentru rezoluție 0,0005 mm</li> </ul>
5.	<b>Mărire</b>	x 5 x 10 x 20 x 50 x 100	
6.	<b>Accesorii</b>	da	Sunt prevăzute accesorii pentru fixat piesa; prisme, dispozitive între vârfuri, mese rotative etc.



### 8.1.16. Proiector de profile pentru atelier cu sisteme fotoelectrice incrementale, tip cap micrometric fotoelectric cu afișare digitală

Procesul de electronizare a AMC-urilor extinzându-se și asupra mijloacelor optico-mecanice de măsurare, a condus de asemenea la proiectarea și realizarea de către autor a proiecteurului de profile pentru atelier, cu sisteme fotoelectrice incremenatale tip cap micrometric fotoelectric și cu afișare digitală (fig 8.1.16.1).

În baza schemei cinematice din fig. 8.1.16.2., soluția constructiv - funcțională este următoarea:

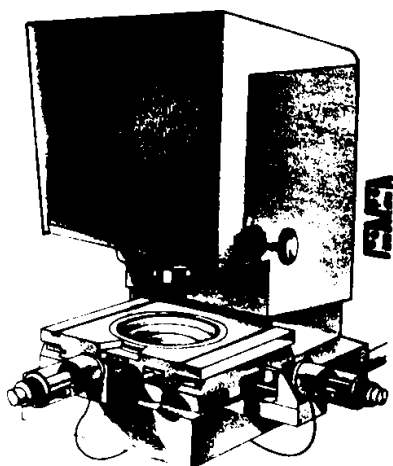


Fig. 8.1.16.1.

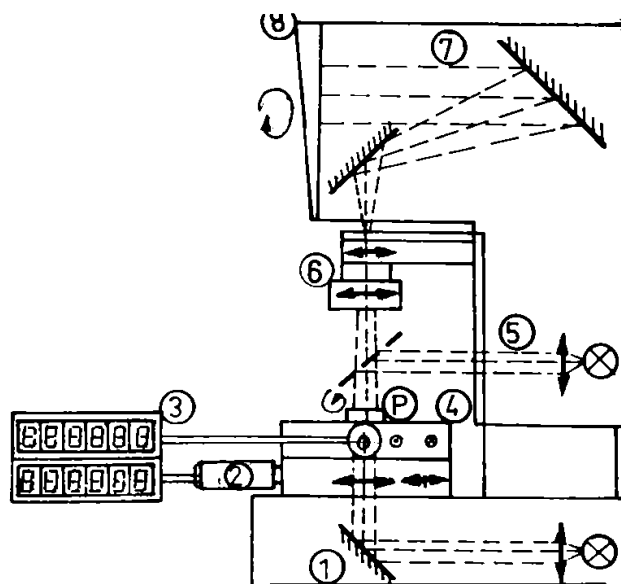


Fig. 8.1.16.2.

Piesa de măsurat și verificat (P), așezată pe masa de măsurare în două coordonate (4) a proiecteurului, este iluminată DIA sau EPI prin sistemul de iluminare (1) sau, respectiv (5), și poziționată prin deplasările x și y ale mesei prin intermediul capetelor micrometrice fotoelectrice incrementale (2); afișarea deplasărilor făcându-se prin blocurile electronice (3).

Obiectul telecentric (6) și sistemul de oglinzi (7) formează imaginea mărită a piesei, pe ecranul (8). Masa de măsurare, pe lângă cele două deplasări x și y, mai prezintă și o mișcare de rotație în jurul axei, de 360°.

Metoda de măsurare și verificare a pieselor este metoda proiecției pe ecran.

Proiectorul de profile pentru atelier este utilizat în atelierele și laboratoarele întreprinderilor pentru verificarea pieselor din industria de mecanică fină și industria constructoare de mașini.

Proiectorul de profil pentru atelier poate fi cuplat cu microprocesor/ minicalculator pentru computerizarea procesului de măsurare, pentru ridicarea histogramelor în controlul statistic și pentru tipărirea "messprotocollului".

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.16.1):

Tabelul 8.1.16.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Intervalul mesei de măsurare: x = y =	50 mm 75 mm	Intervalul mesei de măsurare este dependent de intervalul de măsurare al capului micrometric fotoelectric și de lungimea calei.
2.	Rezoluția	0,01 mm 0,002mm 0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu discul incremental cu 50 impulsuri / rotație;</li> <li>• cu discul incremental cu 250 impulsuri / rotație;</li> <li>• cu discul incremental cu 500 impulsuri / rotație;</li> </ul>

3.	Eroarea de justețe:	$\pm 0,01\text{mm}$ $\pm 0,002\text{ mm}$ $\pm 0,001\text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01 mm;</li> <li>• pentru rezoluția de 0,002 mm;</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001 mm;</li> </ul>
4.	Eroarea de fidelitate:	$\pm 0,005\text{ mm}$ $\pm 0,001\text{ mm}$ $\pm 0,0005\text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01 mm;</li> <li>• pentru rezoluția de 0,002 mm;</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001 mm;</li> </ul>
5.	Mărire	x 10; x 20; x 50; x 100	Se poate mări în funcție de frecvența maximă de numărare a blocului de afișare.
6.	Alimentarea circuitului electronic:	+ 5 Vcc $\pm$ 0,25 Vcc	Alimentarea este unică atât pentru sursa de lumină cât și pentru partea electronică - afișare.
7.	Accesorii:	da	Sunt prevăzute accesoriile pentru fixat piesa: prisme, dispozitive între vârfuri, mese rotative etc.
8.	Tensiunea de alimentare a blocului electronic:	220 V $\begin{matrix} +10\% \\ -15\% \end{matrix}$	
9.	Frecvența rețelei:	48 - 62 Hz	
10.	Grad de protecție:	IP 54	

### 8.1.17. Traductor de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TID - R (Brevet Nr. Ro/ 92178)

Traductorul de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TID - (fig. 8.1.17.1) a fost conceput și realizat de către autor în trei tipodimensiuni: TID-R-10; TID-R-30; TID-R-50.



Fig. 8.1.17.1

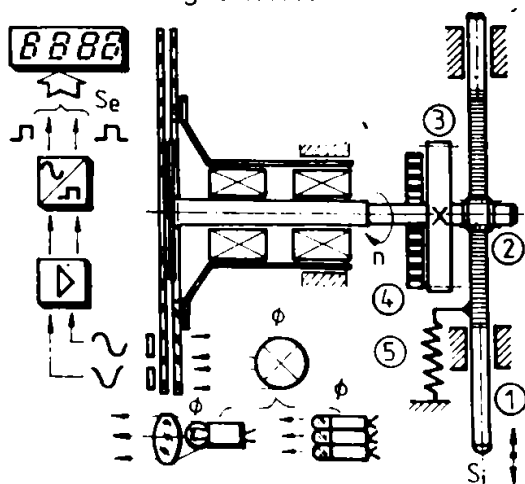


Fig. 8.1.17.2.

Traductoarele de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TID-R pot fi descrise ca fiind rezultatul integrării unor traductoare incrementale de rotație, tip TIRO, pe instrumente comparatoare clasice.

Într-o concepție și soluție constructivă originală, ce permite utilizarea în mare măsură a realizărilor din domeniul traductoarelor fotoelectrice incrementale, traductorul TID - R convertește o mărime de intrare analogică (deplasare liniară) într-o mărime de ieșire digitală (număr de impulsuri electrice).

În baza fig. 8.1.17.2, se prezintă schema cinemato-electronică, pentru a releva numai elementele constructive suplimentare față de palpatoarele (1) asupra cărora se exercită mărimea de intrare ( $S_i$ ).

Aceasta antrenează arborele traductorului prin intermediul pinionului (2). Roata (3) și arcul spirală pân (4) asigură contactul pe același flanc al danturilor.

Arcul elicoidal (5) introduce forța de măsurare.

Raportul de transmitere cremalieră-pinion este astfel stabilit încât orice impuls electric furnizat de traductorul fotoelectric echivalează cu o deplasare  $S_i = 0,01\text{ mm}$  și respectiv: 0,001 mm).

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.17.1):

Tabelul 8.1.17.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații																																							
1.	<b>Rezoluția</b>	0,01 mm  0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu TIRO 1000 și fără subdivizare electronică;</li> <li>• cu TIRO 250 și subdivizare electronică cu 4;</li> <li>• cu TIRO 2500 și subdivizare electronică cu 4.</li> </ul>																																							
2.	<b>Domeniul de măsurare:</b>	0...10 mm 0...30 mm 0...50 mm (0...80) mm (0...100) mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru extinderea domeniului;</li> <li>• pentru extinderea domeniului;</li> </ul>																																							
3.	<b>Amplitudinea erorii de justețe (<math>\mu\text{m}</math>) pentru domeniul:</b>  10 mm 30 mm 50 mm 80 mm 100 mm	Clasa de precizie : <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> </tr> <tr> <th>val</th> <th>0,01</th> <th>0,001</th> <th>0,01</th> <th>0,001</th> </tr> <tr> <th>div:</th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>2</td> <td>25</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>25</td> <td>2,5</td> <td>40</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>30</td> <td>3</td> <td>50</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>35</td> <td>3,5</td> <td>60</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>4</td> <td>70</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	1		2		val	0,01	0,001	0,01	0,001	div:	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$		20	2	25	2,5		25	2,5	40	4		30	3	50	5		35	3,5	60	6		40	4	70	7	Caracteristicile de la punctele 3, 4, 5 corespund prevederilor NTM și STAS, privind instrumentele comparatoare cu rezoluția 0,01 și 0,001 mm;
1		2																																								
val	0,01	0,001	0,01	0,001																																						
div:	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$																																						
	20	2	25	2,5																																						
	25	2,5	40	4																																						
	30	3	50	5																																						
	35	3,5	60	6																																						
	40	4	70	7																																						
4.	<b>Eroarea maximă de fidelitate (<math>\mu\text{m}</math>) pentru domeniul:</b>  10 mm 30 mm 50 mm 80 mm 100 mm	Clasa de precizie : <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> </tr> <tr> <th>val</th> <th>0,01</th> <th>0,001</th> <th>0,01</th> <th>0,001</th> </tr> <tr> <th>div:</th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>1,5</td> <td>7</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>1,5</td> <td>7</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>	1		2		val	0,01	0,001	0,01	0,001	div:	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$		3	1	5	2		4	1	6	2		4	1	6	2		5	1,5	7	2,5		5	1,5	7	2,5	
1		2																																								
val	0,01	0,001	0,01	0,001																																						
div:	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$																																						
	3	1	5	2																																						
	4	1	6	2																																						
	4	1	6	2																																						
	5	1,5	7	2,5																																						
	5	1,5	7	2,5																																						
5.	<b>Histerezisul maxim (<math>\mu\text{m}</math>) pentru domeniul:</b>  10 mm 30 mm 50 mm 80 mm 100 mm	Clasa de precizie : <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> </tr> <tr> <th>val</th> <th>0,01</th> <th>0,001</th> <th>0,01</th> <th>0,001</th> </tr> <tr> <th>div:</th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th><math>\mu\text{m}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	1		2		val	0,01	0,001	0,01	0,001	div:	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$		3	1	5	2		4	1	6	2		4	1	7	2,5		7	2	10	3		7	2	10	3	
1		2																																								
val	0,01	0,001	0,01	0,001																																						
div:	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$																																						
	3	1	5	2																																						
	4	1	6	2																																						
	4	1	7	2,5																																						
	7	2	10	3																																						
	7	2	10	3																																						
6.	<b>Impuls de nul:</b>	1 impuls / 10 mm deplasare palpator	• lățimea maximă: 0,01 mm la TIRO 1000 și 0,03 mm la TIRO 250																																							
7.	<b>Viteza maximă de deplasare a palpatorului:</b>	0,1 m/s																																								

### 8.1.18. Traductor fotoelectric incremental de poziție tip TIRO, cu două axe la ieșire (TIRO - 2A)

Traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție din seria TIRO cu două axe la ieșire, (TIRO-2A) (fig. 8.1.18.1) au fost proiectate și realizate în mai multe tipodimensiuni corespunzătoare unei game de aplicații din industria metalurgică. Aceste traductoare sunt construite pe structura unui sistem fotoelectric incremental diascopic; traductoarele TIRO 2A furnizează respectiv 50, 100, 250, 500, 1000, 1024, 2000, 2400, 2500, 3000 și 3600 impulsuri electrice pe 360°, convertind astfel într-o mărime de ieșire digitală, o mărime de intrare analogică (deplasare unghiulară).

În baza figurii de mai jos, se consideră următoarele: discul incremental divizor (1) este montat pe axul principal cu două ieșiri (2) cu ajutorul inelului de siguranță (3); lăgăruirea axului (1) este realizată prin microrulmenți de precizie (4), aceștia, prin soluția constructivă adoptată, au o cale de rulare a bilelor, diferită față de funcționarea lor normală, ceea ce realizează eliminarea jocului radial-axial al microrulmenților și prin aceasta, o bună funcționare și o înaltă precizie; discul incremental vernier (5) este fixat prin lipire frontalo-circulară cu bucușa (6), aceasta fiind rigidizată de corpul

traductorului (7) prin intermediul șurubului (8) care prin efect de pană, reazemă foarte bine bucușa de capul intermediar (7); discurile incrementale (1 și 5) sunt reglate la o distanță între ele foarte precisă, de 0,025 mm și în plane paralele; fascicolul luminos emis de LED-urile (9) baleiază zonele incrementale ale celor două discuri și este captat de fotoelementele (10) care emit un curent cu variație sinusoidală; placa cu fotoelemente este fixată de capul intermediar al traductorului prin anetretoaze și șuruburi metrice (11); de corpul traductorului (12) este fixat corpul intermediar (7) prin șuruburile (13); de corpul traductorului sunt fixate corpurile intermediare, mufa cablului de legătură (14) și cele două flanșe (15 și 16); la ieșirea axelor, se prevede montarea a două manșoane de cauciuc (17 și 18) pentru etanșare totală; fotoelementele sunt aplicate în "push-pull", iar amplificatoarele sunt amplificatoare operaționale și constituie etajul amplificator (19); etajul formator (20) compus din bistabile și inversoare, furnizează la ieșire 4 semnale dreptunghiulare în cuadratură (TTL pentru medii neperturbabile și distanțe mici sau opencollector pentru medii cu paraziți la distanța până la 50 m); ieșirile TTL asigură totodată o compatibilitate cu tehnica de calcul.

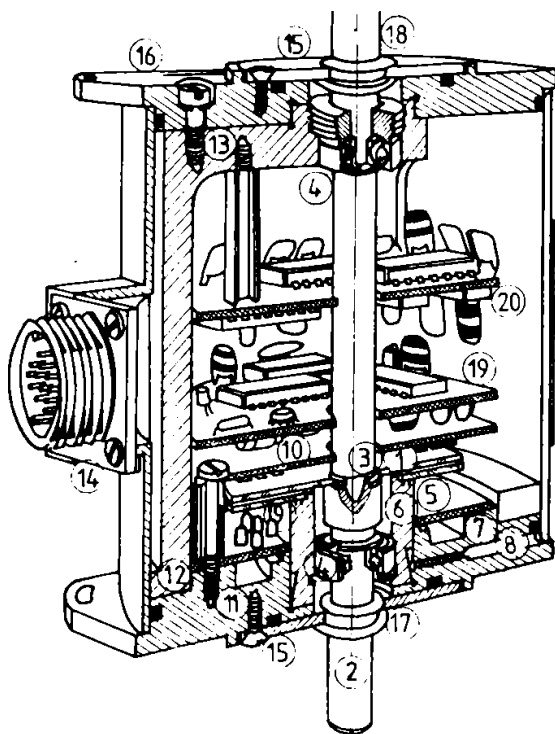


Fig. 8.1.18.1.

cu echipamentele de numărare / comandă / afișare de tip NUMEROM/ NIT 161, care au posibilitatea subdivizării electronice cu 2, cu 4, cu 5, cu 10, cu 20 și a decelării sensului de rotație.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.18.1):

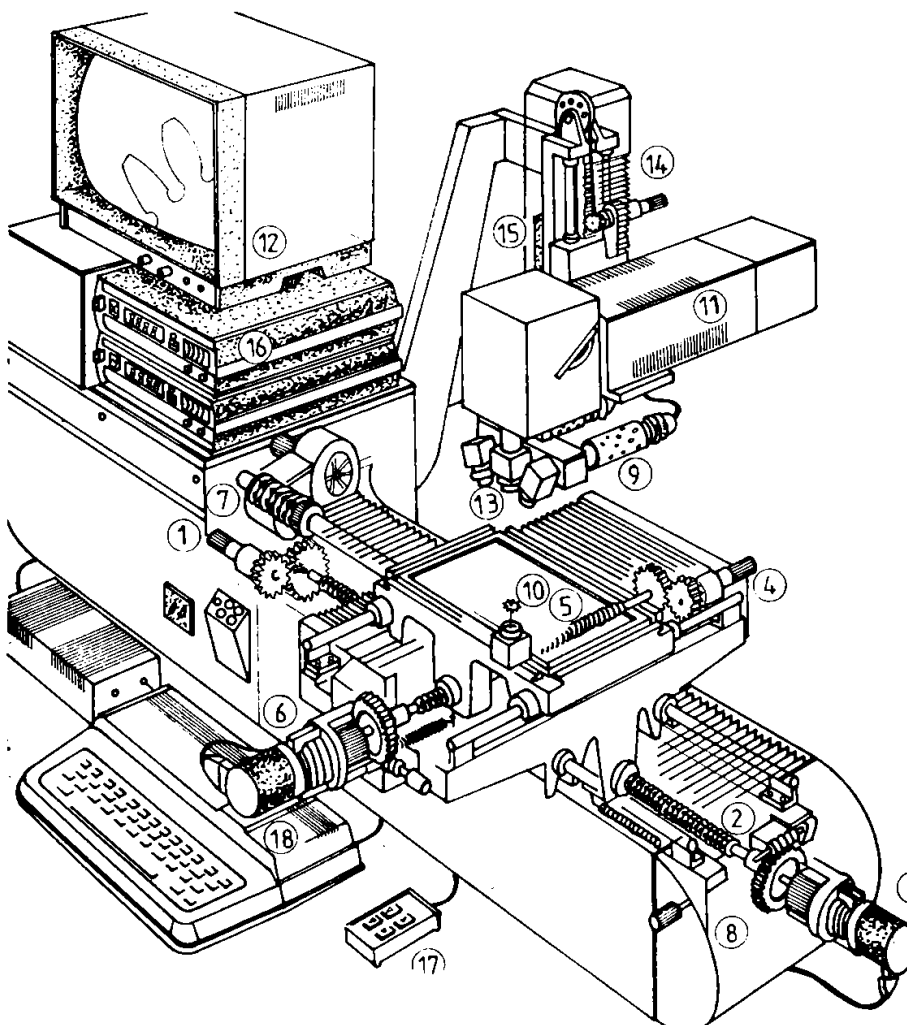
Tabelul 8.1.18.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Rezoluția	$360^\circ/N = p = 7^\circ 12' \dots 0^\circ 6'$ $360^\circ/N/4 = 1^\circ 48' \dots 0^\circ 1' 30''$ $360^\circ/N/20 = 21' 12'' \dots 0' 18''$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fără bloc electronic, <math>N = 50, 100, 1250, 500, 1000, 1024, 150, 2000, 2400, 2500, 3000</math> și 360 impulsuri/rot.</li> <li>• cu bloc conectat pe subdivizarea cu 4;</li> <li>• cu interpolare cu 5 și subdivizare cu 4, aplicate semnalelor analogice;</li> </ul>

2.	Eroarea maximă de justețe:	$\pm 1/4 p$	experimental
3.	Eroarea de fidelitate maximă:	$\pm 1/8 p$	experimental
4.	Histerezisul maxim:	$j = 1/7 p$	
5.	Frecvența impulsurilor electrice:	0...100 Khz	
6.	Impuls de nul:	unul la 360°	
7.	Factorul de umplere a impulsurilor:	$\frac{a}{p} = 0,5 \pm 0,1$	
8.	Alimentare:	+ 5 Vcc $\pm$ 0,25 Vcc	

### 8.1.19. Echipament de măsurat în două coordonate cu cameră TV, cu sistem fotoelectric incremental de poziție (tip TIRO) cu afișare digitală

Industria de mecanică fină și în special industria de orologerie, a necesitat realizarea de aparate de măsurat cu precizie ridicată și care să elimine condițiile pretențioase, dar și greoaie de fixare și bazare a reperelor.



În acest context a fost proiectat și executat de către autorii prezentei lucrări echipamentul de măsurat în două coordonate cu cameră TV cu sistem fotoelectric incremental de poziție (tip TIRO) și cu afișare digitală (fig. 8.1.19.1).

Soluția constructiv-funcțională a echipamentului evidențiază: deplasarea în direcția X, în plan orizontal, este realizată mecanic, prin sistemul moto-reductor (1), șurubul conducător (2) și traductorul fotoelectric incremental de poziție tip TIRO (3); deplasarea în direcția y, în plan orizontal, este realizată prin sistemul moto-reductor (4), șurubul conducător (5) și traductorul fotoelectric incremental de poziție tip TIRO (6); ghidajele pe cele două direcții perpendiculare (X, Y) sunt realizate cu corpuri de rostogolire, asigurând mișcări fără înțepeniri și uniforme; sistemul de iluminare diascopic (7) este fixat de batiul aparatului (8).

Fig. 8.1.19.1

Sistemul de iluminare episcopoc (9) este fixat pe axa Z; imaginea piesei (10) este redată prin camera TV (11) pe display (12) prin intermediul subansamblului optic de mărire (13) care este de tip "cap revolver" cu mai multe mărituri optice; deplasarea camerei TV, pe verticală la distanța focală optimă se face manual prin intermediul pinionului-cremalieră (14) și cu forță de manevrare mică, datorită sistemului de compensare cu contragreutate (15); deplasările pe X și Y ale mesei de măsurare sunt afișate digital pe blocul electronic de tip NUMEROM (16); deplasările mesei se fac telecomandate (17); pentru măsurările propriu-zise, se mixează electronic pe display, mira reticulară și toate celelalte tipuri de profile întâlnite în practică, se reglează distanța focală optimă, a sistemului optic de mărire și a camerei TV, se palpează fără contact suprafețele de măsurare ale piesei prin deplasarea mirei reticulare, urmărindu-se pe display și se citesc afișările digitale pe blocurile electronice; soft-ul de generare a mirei și a celorlalte profile, se desfășoară cu ajutorul unui microcalculator (18) integrat echipamentului.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.19.1):

Tabelul 8.1.19.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Intervalul de măsurare: x = y =	260 mm 136 mm	
2.	Rezoluția sistemului de măsurare:	0,001 mm	• depinde de tipul de traductor utilizat;
3.	Rezoluția pe display:	± 0,01mm	• depinde de camera TV ;
4.	Valoarea unghiului de rotire a mesei circulare:	360°	
5.	Rezoluția unghiulară:	3'	
6.	Diametrul mesei circulare:	168 mm	
7.	Mărirea pe display:	180 x; 110 x	
8.	Tensiunea de alimentare:	220 V $\begin{matrix} +10\% \\ -15\% \end{matrix}$	
9.	Frecvența:	50 Hz	
10.	Gabarit aparat;	(1500 x 930 x 700) mm	
11.	Gabarit piesă de măsurat:	(320 x 250 x 200) mm	
12.	Masa aparatului;	250 Kg	
13.	Eroarea de paralelism a plăcii de sticlă a mesei de măsurare față de planul de deplasare X, Y:	0,08 mm / 150 mm	

#### 8.1.20. Echipament de prereglat scule tip cuțit cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, (tip TIL) cu afișare digitală

Fabricația sistemelor flexibile automate de prelucrare, necesită în mod obiectiv, dotarea tehnică a acestora cu echipamente de prereglat scule.

Astfel a fost proiectat și experimentat echipamentul de prereglat scule tip cuțit de strung, cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare (tip TIL) și cu afișare digitală (fig. 8.1.20.1)

Soluția constructiv funcțională a aparatului evidențiază: deplasarea în plan orizontal, în direcția X, este realizată mecanic, prin sistemul moto-reductor (1) care angrenează cu șurubul conducător (2); aceeași deplasare se realizează și manual pentru mișcarea de apropiere prin butonul manual (3); ghidajul în direcția X este asigurat de ghidajul cu bile (4), iar frânarea este asigurată pe tija (5) prin intermediul frânei (6); ghidajul în direcția X este rigidizat prin șuruburi de masa de măsurare (7) care este realizată din andezit (rocă vulcanică); subansamblul portal (8) este ghidat pe ambele laturi, în direcția X, pe lagăre de rostogolire, pe o latură fiind acționarea mecanică (sau manuală), iar pe cealaltă latură fiind sistemul de măsurare tip TIL; acesta cuprinde rigla

incrementală (9) fixată într-o carcasă închisă (10); și capul fotoelectric de citire (11); rigla este rigidizată de masa de măsurare, iar capul de citire este fixat de subansamblul portal aflat în mișcare relativă.

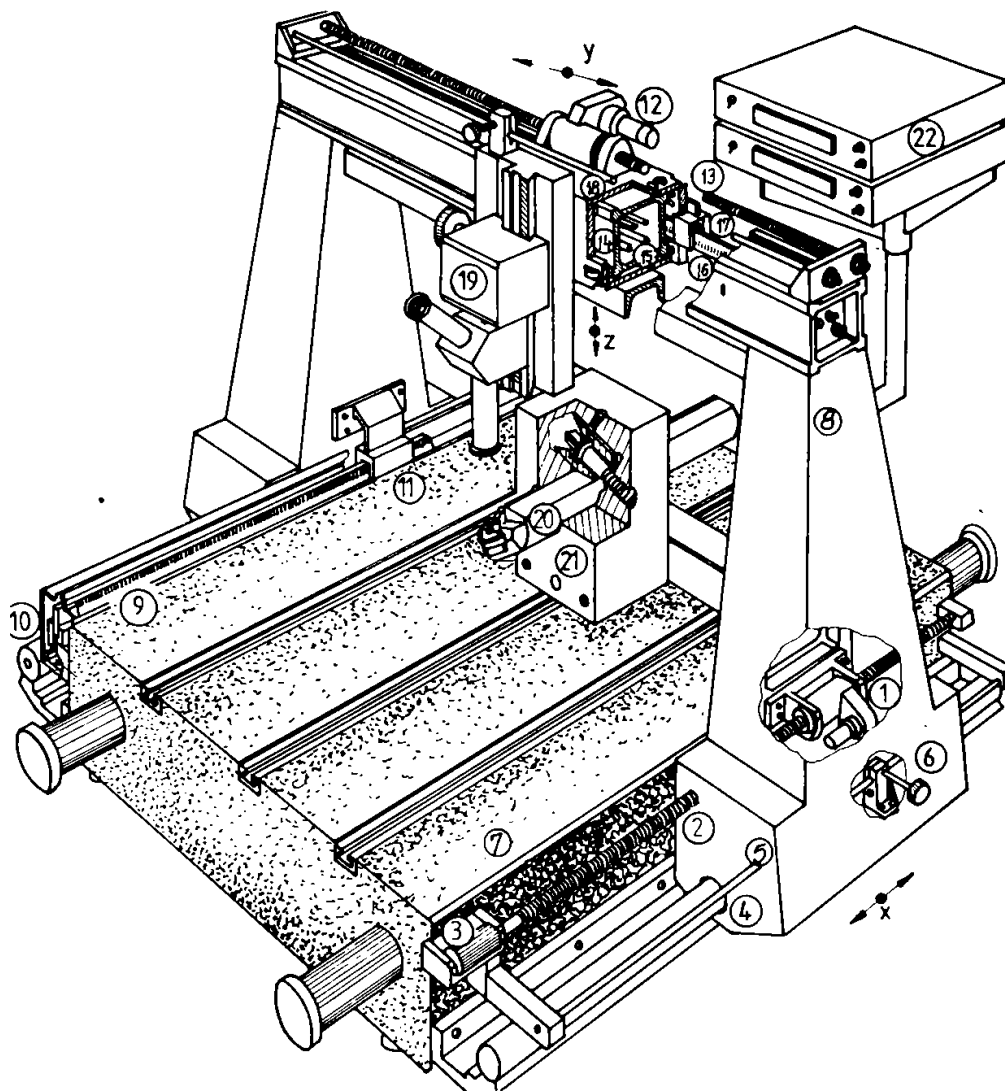


Fig.8.1.20.1

Deplasarea în plan orizontal, în direcția  $y$ , este realizată mecanic prin sistemul moto-reductor (12) care angrenează cu șurubul conducător (13).

Traversa (14) este un subansamblu prismatic în interiorul căruia se află elementele de compresiune, încovoiere și răsucire (15) ale subansamblului prismatic pentru reglajul săgeții și al poziționării în plan vertical al ghidajului Z; de traversa (14) este fixat sistemul de măsurare tip TTL, format din rigla incrementală (16) rigidizată de traversă și capul de citire (1) fixat de ghidajul Y (18); de acest ghidaj este fixat subansamblul optic de măsurare (19) prin intermediul căruia sunt vizate muchii părții active ale sculei tip cuțit de strung (20) fixat în dispozitivul de prindere al sculei (1), iar acesta este fixat de masa de măsurare; cele două sisteme de măsurare afișează rezultatele prin intermediul celor două blocuri electronice cu afișare digitală (22).

Echipamentul de prereglat cuțite de strung este destinat, în special prereglării sculelor la cote care sunt transmise la unitatea centrală de calcul a sistemului flexibil, aceasta transmițând elementului executant direct sau corijării fine înaintea elementului executant.

Echipamentul poate fi transformat într-un echipament de măsurat în trei coordonate, dacă în locul microscopului de măsurare se implementează axa Z de măsurare cu lagăre gazostatice. Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.20.1):

Tabelul 8.1.20.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Intervalul de măsurare: x = y = z =	200 mm 350 mm 100 mm	Intervalul de măsurare satisface gabaritul sculelor tip cuțit de strung;
2.	Rezoluția	0,001 mm	Rezoluția este dependentă de tipul de traductor utilizat;
3.	Tensiunea de alimentare:	220 V $\begin{matrix} +10\% \\ -15\% \end{matrix}$	

### 8.1.21. Instalație de măsurare și trasare în trei coordonate, cu sisteme fotoelectrice incrementale de poziție (tip TIRO), cu afișare digitală

Ca urmare a cercetărilor aplicative privind sistemele fotoelectrice incrementale de măsurare, s-a proiectat și realizat într-o concepție modernă, instalația de măsurare și trasare în 3 coordonate cu sisteme fotoelectrice incrementale de poziție (tip TIRO) cu afișare digitală (fig. 8.1.21.1.).

Destinată în special industriei auto, pentru măsurarea și trasarea caroseriei autoturismelor, instalația de măsurare și trasare în 3 coordonate conform schemei cinematice din figura 18.1.21.2., prezintă următoarea soluție tehnico-funcțională: pe batiul (1) din fontă sau andezit (rocă vulcanică) se deplasează în direcția X, pe pernă de aer, subansamblu mecanic (2) ce prezintă patine gazostatice pe suprafața orizontală și verticală a batiului; deplasarea se realizează manual sau mecanic prin intermediul motorului (3), traductorului fotoelectric incremental de poziție (4) și al mecanismului pinion-cremalieră (5); subansamblul mecanic (2) prezintă și ghidaje de rostogolire de sprijin pentru siguranța funcționării.



Fig. 8.1.21.1.

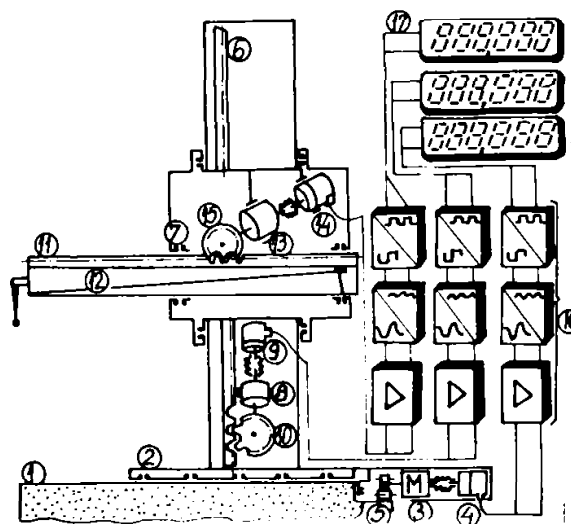


Fig. 8.1.21.2

Pe subansamblul mecanic (2) se fixează perpendicular coloana (6) pe ale cărei ghidaje cu elemente de rostogolire, culisează subansamblul mecanic (7), în direcția de măsurare și trasare Z.

Acționarea pe axa Z se face prin intermediul motorului (8) traductorului tip TIRO (9) și dublu-pinionul (10).

Deplasarea în direcția Y se realizează prin intermediul subansamblului mecanic (11) care are ghidaje de alunecare sau de rostogolire și prezintă soluția constructivă de preluare săgeată (12) sau



mbunătățire performanțe tehnice; acționarea în direcția Y se face prin intermediul motorului (13), raductorului tip TIRO (14) și pinionului (15) care angrenează cu cremaliera subansamblului (11).

Semnalele de la cele 3 axe X, Y, Z, respectiv ale celor trei traductoare fotoelectrice incrementale, sunt amplificate și formate de circuitele (16) și afișate pe blocurile electronice (17).

Pentru a crește productivitatea în tehnologia de măsurare și trasare, se pot utiliza două utilaje în tandem, de o parte și de alta a "piesei" de măsurat și trasat, tehnologia de măsurare și trasare fiind îndeplinită de cele două utilaje prin funcționare simultană.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.21.1):

Tabelul 8.1.21.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații												
1.	<b>Interval de măsurare:</b> x = y = z =	1000 mm 600 mm 700 mm	Intervalul de măsurare este dependent de lungimea cremalierelor de măsurare și acționare;												
2.	<b>Rezoluția</b>	0,01 mm  0,001 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fără / cu subdivizare electronică cu 2;</li> <li>• cu subdivizare electronică cu 10 sau cu 20</li> </ul>												
3.	<b>Precizia: (împreună cu blocurile electronice):</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">pentru <u>0,01 mm</u></td> <td style="text-align: center;">pentru <u>0,001 mm</u></td> </tr> <tr> <td>X:</td> <td style="text-align: center;"><math>\pm 0,10\text{mm}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\pm 0,05\text{mm}</math></td> </tr> <tr> <td>Y:</td> <td style="text-align: center;"><math>\pm 0,06\text{mm}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\pm 0,03\text{mm}</math></td> </tr> <tr> <td>Z:</td> <td style="text-align: center;"><math>\pm 0,05\text{mm}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\pm 0,25\text{mm}</math></td> </tr> </table>		pentru <u>0,01 mm</u>	pentru <u>0,001 mm</u>	X:	$\pm 0,10\text{mm}$	$\pm 0,05\text{mm}$	Y:	$\pm 0,06\text{mm}$	$\pm 0,03\text{mm}$	Z:	$\pm 0,05\text{mm}$	$\pm 0,25\text{mm}$	Precizia este dependentă de eroarea de fotodivizare, de eroarea de divizare a cremalierii și de precizia pinionului;
	pentru <u>0,01 mm</u>	pentru <u>0,001 mm</u>													
X:	$\pm 0,10\text{mm}$	$\pm 0,05\text{mm}$													
Y:	$\pm 0,06\text{mm}$	$\pm 0,03\text{mm}$													
Z:	$\pm 0,05\text{mm}$	$\pm 0,25\text{mm}$													
4.	<b>Eroarea de fidelitate: (împreună cu blocurile electronice);</b>	$\pm 0,01\text{ mm};$ $\pm 0,002\text{ mm};$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru rezoluția de 0,01mm;</li> <li>• pentru rezoluția de 0,001mm;</li> </ul>												
5.	<b>Viteza maximă de deplasare:</b>	10 m/min;	Se poate mări în funcție de frecvența maximă de numărare a blocului de afișare;												
6.	<b>Afișare:</b>	8 decade													
7.	<b>Posibilitate de aducere la "0" în orice poziție:</b>	da	Sistemul incremental posedă un impuls de nul și are zero flotant.												

### 8.1.22. Instalație de prereglat scule tip bară de alezat, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare (tip TIL) și de poziție (tip TIRO) și cu afișare digitală

Dotarea tehnică a unor celule și sisteme flexibile de prelucrare, cu aparate și echipamente de prereglat scule, a fost proiectat și este în execuție aparatul de prereglat scule tip bară de alezat, cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare (tip TIL) și de poziție (tip TIRO) și cu afișare digitală (fig. 8.1.22.1.).

Soluția constructiv-funcțională a echipamentului evidențiază: deplasările în două coordonate carteziane pe verticală și orizontală sunt poziționate și măsurate prin două sisteme incrementale de tip TIL (1 și 2).

Ghidajele acestor deplasări asigură o mișcare plan-paralelă a capului de citire; mișcarea de rotație a sculei sau portsculei este asigurată ca poziționare și măsurare printr-un sistem fotoelectric incremental de rotație tip TIRO (3), care este cuplat cu axul subsistemului de prindere al sculei sau portsculei prin intermediul unui angrenaj fără joc lateral.

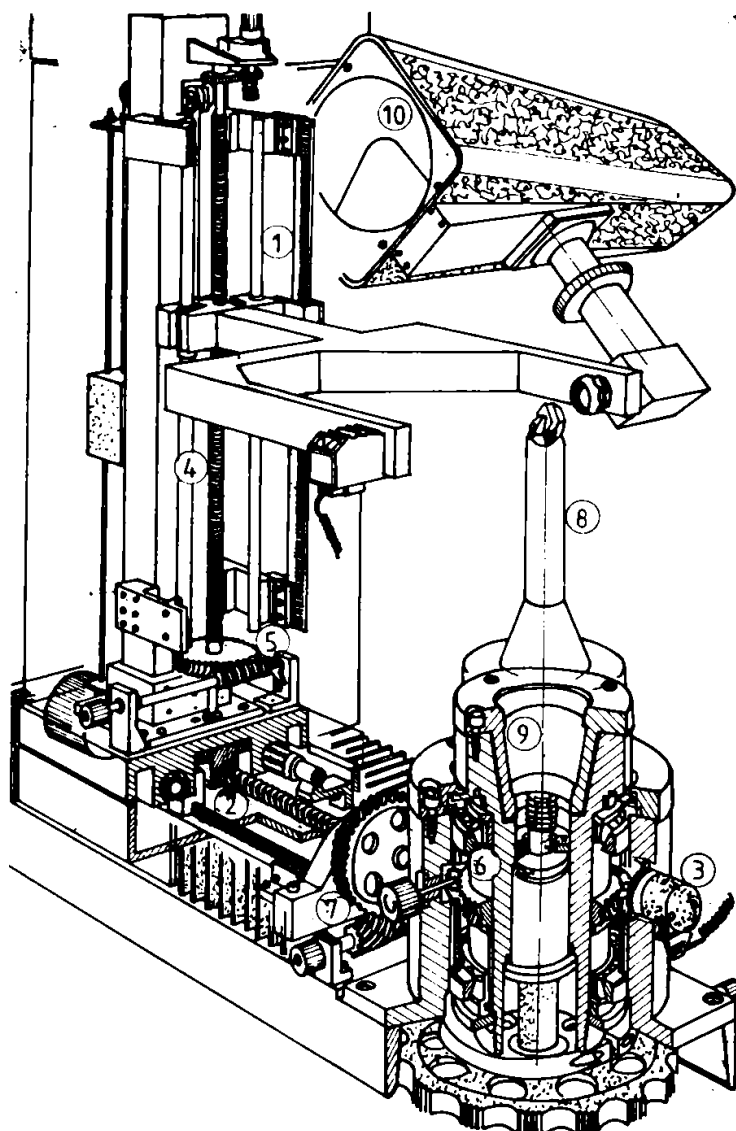


Fig. 18.1.22.1

Distanța focală optimă a proiectorului pentru preluarea imaginii sculei pe ecran este reglată pe verticală prin traductorul incremental (1), iar centrarea imaginii pe ecran față de mira de măsurare a proiectorului este asigurată și reglată pe direcție orizontală prin traductorul (2).

Măsurătorile de prereglare date prin aceste traductoare sunt transmise la unitatea centrală a sistemului flexibil sau la M - U cu CNC.

Ghidajele carteziene sunt realizate pe șuruburi cu bile (4) ce asigură o precizie înaltă sistemului, cu transmiterea mișcării de translație prin intermediul angrenajelor melc-roată melcată (5), iar ghidajul de rotație este realizat pe rulmenți radiali-axiali (6) de clasă de precizie înaltă cu transmiterea mișcării de rotație prin intermediul angrenajului melc-roată melcată (7).

Portscula sau scula (8) este fixată în alezajul conic (9) al ghidajului de rotație, iar imaginea părții active a acesteia este redată de către proiectorul (10).

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.22.1):

Tabelul 8.1.22.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Interval de măsurare: x = y = φ =	150 mm; 400 mm; 360° ;	Intervalul de măsurare satisface gabaritul sculelor tip bară de alezat;
2.	Rezoluția	0,001 mm;	Rezoluția este dependentă de tipul de traductor utilizat;
3.	Diametrul maxim al piesei de măsurat:	300 mm;	
4.	Lungimea maximă a piesei de măsurat:	400 mm;	

5.	Tensiunea de alimentare:	220 V $\begin{matrix} +10\% \\ -15\% \end{matrix}$ ;	
6.	Frecvența:	50 $\pm$ 1 Hz;	
7.	Eroarea de justețe:	0,004 mm	
8.	Afișarea:	digitală	Blocul electronic are 7 cifre pentru afișare;
9.	Lagăre:	-	Mecanice;
10.	leșiri la blocul electronic:	-	Semnalele TTL sau BCD și posibilități de cuplare sau tehnică de calcul
11.	Prinderea sculei sau portsculei:	-	Con Morse
12.	Greutatea sculei sau portsculei:	max. 100 Kg	

### 8.1.23. Manivela electronică cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO

Realizată ca răspuns la cerința industriei de mașini - unelte cu NC și CNC, manivela electronică cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO (fig. 8.1.23.1), reprezintă un element de automatizare, interfața între programatorul uman și sistemul de reglare automată.

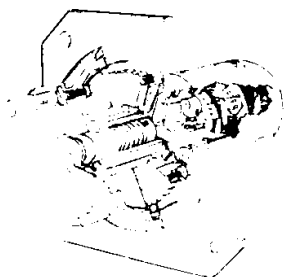


Fig. 8.1.23.1.

Manivela electronică permite operatorului să comandă sub forma unui număr de impulsuri electrice, proporțional cu unghiul de rotație al acesteia.

În baza schemei cinematice (fig. 8.1.23.2.), manivela conține tamburul gradat (1) montat pe un lagăr tubular cu flanșă (2), acesta fiind fixat pe o placă intermediară (3). Pe partea opusă plăcii se află prinsă carcasa traductorului TIRO.

Mișcarea de rotație primară a manivelei se transmite arborelui (4) prin intermediul cuplajului elastic elicoidal (5).

Aceasta evită solicitarea radială a arborelui traductorului, datorită montării excentrice și înclinate a acestuia față de arborele intermediar (6). Reglarea adevărată a tamburului gradat (1) față de referința traductorului (impuls de nul) se face prin slăbirea piuliței (7) ce presează penseta pe arborele intermediar (6). Se aduce astfel arborele intermediar în poziția corespunzătoare începutului scării gradate pe tambur.

Sistemul cu pensetă asigură totodată, detașarea rapidă a traductorului de pe manivelă.

Manivela electronică este realizată în două variante constructive: pentru asigurarea indexării pe poziții corespunzătoare diviziunilor de pe tamburul gradat, folosindu-se în acest scop un sistem de sacadare format din coloana danturată (8) și două bile presate radial pe elemente elastice (9);

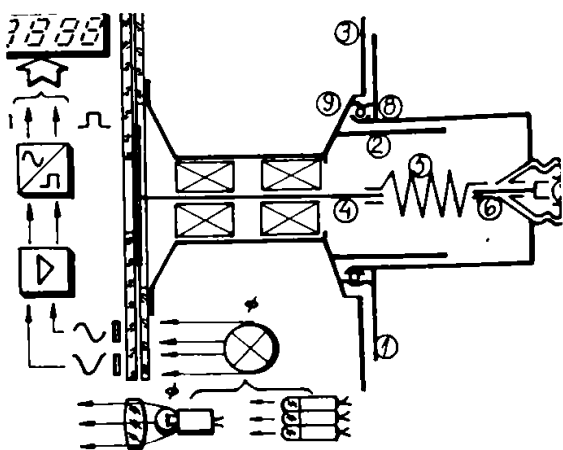


Fig. 8.1.23.2.

Pentru asigurarea unei rotații continue, folosindu-se în acest scop un element de frecare ce permite blocarea în orice poziție.

Manivela electronică are posibilitatea montării pe orice mașină-unealtă, dar și în condițiile unei asigurări înalte la etanșeitate și împotriva pătrunderii uleiului sau altui fluid în timpul procesului tehnologic de prelucrarea al mașinii unelte.

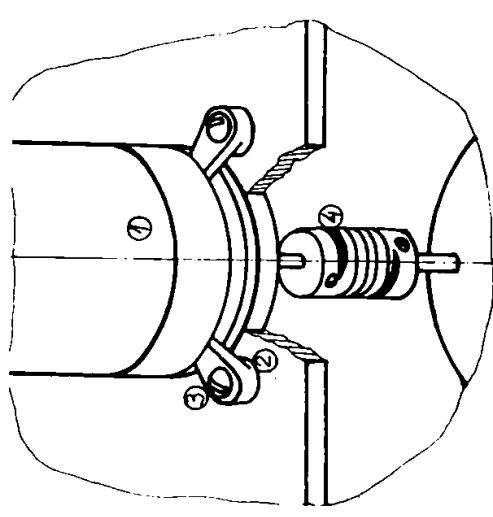
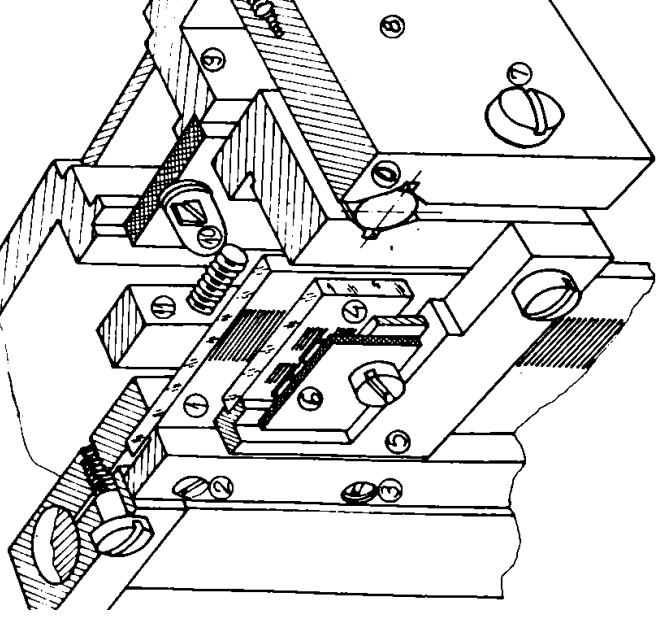
Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.1.23.1):

Tabelul 8.1.23.1

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	<b>Număr de impulsuri pe 360°</b>	100, 1000 imp/rot. 50, 100, 250; 500; 1000; 1024 impulsuri / rot.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru varianta cu indexare;</li> <li>• pentru varianta cu frânare continuă;</li> </ul>
2.	<b>Abaterea de la numărul de impulsuri/ 360°</b>	zero impulsuri/rot.  ± 1 impuls /rot.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru tipurile cu 50; 100 imp/rot;</li> <li>• pentru tipurile cu 250; 500; 1000; 1024 imp /rot;</li> </ul>
3.	<b>Abaterea de la numărul de impulsuri/diviziune</b>	zero imp/div. tambur  ± 1 impuls /rot.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru tipurile cu 50; 100 imp/rot;</li> <li>• pentru tipurile cu 250; 500; 1000; 1024 imp / rot;</li> </ul>
4.	<b>Repetabilitatea indicației afișate:</b>	zero impulsuri  ± 1 impuls /rot.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru tipurile cu 50; 100 imp/rot</li> <li>• pentru tipurile cu 250; 800; 1000; 1024 imp / rot.</li> </ul>
5.	<b>Cuplul de frecare la tambur:</b>	0,4 ± 0,1 Nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pentru varianta cu frecare continuă;</li> </ul>
6.	<b>Poziționarea:</b>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu frecare continuă în orice punct;</li> <li>• cu indexare pentru anumite poziții ;</li> </ul>
7.	<b>Cuplarea;</b>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cu bloc de afișare tip NUMEROM / NIT</li> </ul>
8.	<b>Fixarea pe locul aplicației:</b>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prin intermediul unei flanșe;</li> </ul>
9.	<b>Grad de protecție:</b>	IP 54 (IP55)	
10.	<b>Grad de tipizare:</b>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 85%;</li> </ul>
11.	<b>Posibilitatea de cuplare la tehnica de celcul:</b>	da	Se poate cupla cu tehnica de calcul tip minicalculator sau microprocesor.

8.2. Soluții constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție în construcția roboților industriali

Nr. crt	Denumirea robotului industrial	Grafica soluției	Descrierea soluției constructive	Observații
1.	Robot industrial pentru deservirea mașinilor-unelte așchietoare (fig. 8.2.1.)		<p>Robotul industrial pentru deservirea mașinilor unelte așchietoare, având cinci grade de libertate și o capacitate de manipulare de 6,3 daN, utilizează pentru poziționare traductoare fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, pentru fiecare axă. Soluția constructivă de implementare în structura robo ilui cuprinde: fixarea traductorului (1) prin intermediul unei flanșe plane cu gaură de ghidare (2) și a unor șuruburi cu cap înecat (3); axul traductorului este cuplat cu axul motorului de acționare prin intermediul unui cuplaj elastic (4), care permite o transmitere fidelă și precisă a momentului de torsiune și o coaxialitate aproximativă între axul traductorului și axul motor ilui. Pe fiecare axă a robotului , se regăsește această soluție constructivă.</p>	Robotul este proiectat și experimentat de S.C.Automatica S.A. București
2.	Robot industrial pentru deservirea mașinilor unelte așchietoare și a preselor (fig.8.2.2.)		<p>Robotul industrial pentru deservirea mașinilor unelte așchietoare și a preselor având cinci grade de libertate și o capacitate de manipulare de 25 daN, utilizează traductoare fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, pentru poziționare, pentru fiecare axă a reglajului. Soluția tehnică de integrare în structura robotului cuprinde fixarea unui traductor fotoelectric de rotație, tip TIRO (1), pe fiecare axă a robotului prin intermediul unei flanșe plane (2) prevăzută cu o gaură de ghidare, iar prinderea propriu-zisă a traductorului pentru fiecare axă a robotului se face prin intermediul elementului special (3) care sprijină în canalul circular al traductorului și al unor șuruburi (4).</p>	Robotul este proiectat și experimentat la S.C. SIMTEX - Buc.

<p>3.</p> <p><b>Robotul Industrial pentru sudură în puncte, manipulări piese sau scule (fig.8.2.3.)</b></p>	 <p>Fig. 8.2.3.</p>	<p>Robotul industrial pentru sudură în puncte, manipulări piese sau scule, având cinci grade de libertate și o capacitate de manipulare de 63 daN, utilizează pentru poziționare traductoarele fotoelectrice incrementale (1) care sunt fixate pe fiecare axă a robotului, prin intermediul elementelor excentrice (2) și a șuruburilor (3); legătura dintre traductor și motorul de acționare se face prin cuplajul elasti (4).</p>	<p>Robotul este proiectat și experimentat de S.C. Automatica -S.A. București</p>
<p>4.</p> <p><b>Roboți de control dimensional cu cinci grade de libertate (fig.8.2.4.); (8.2.5.)</b></p>	 <p>Fig. 8.2.4.</p>	<p>Roboții de control dimensional (pentru industria de mecanică fină și industria constructoare de mașini), au cinci grade de libertate; o rezoluție pe axele carteziene de 0,001 mm; utilizează traductoare fotoelectrice de deplasare, tip TTL, pentru măsurări și poziționări; soluția constructivă evidențiază: rigla divizoare incrementală (1) este fixată rigid prin intermediul bridei (2) și a șuruburilor (3), iar ansamblul fotoelectric de citire prezintă rigla vernier (4) fixată prin lipire de ghidajul mecanic (5); pe acesta se mai găsește și plăcuța cu fotocelule (6) fixată prin intermediul unor șuruburi; subsansamblul vernier poate fi reglat plan-paralel față de rigla divizoare prin intermediul șurubului (7) care deplasează vernierul în jurul axului de rotație (0) astfel încât acesta să fie plan-paralel; fixarea vernierului plan-paralel, dar și la o distanță optimă de rigla divizoare, se face prin elementul cală (8) fixat de raportul</p>	

(9); reglajul fluxului luminos emis de LED-ul (10) se face prin intermediul șurubului de reglaj fin (11); această soluție prezentată este utilizată pe toate axele carteziene ale roboților de control dimensional.

Roboții de control dimensional, pentru industria de mecanică fină și industria constructoare de mașini utilizează și traductoare fotoelectrice incrementale de rotație de tip TIRO pentru măsurări și poziționări pe axele de rotație; pe axa de deplasare X, traductorul fotoelectric incremental (1) este fixat prin bride (2) și șuruburi (3) de placa suport (4) și prin aceasta de partea mobilă a utilajului; deplasarea traductorului prin angrenarea pinionului (5) cu cremaliera (6), transferă mișcarea de rotație în deplasare; pentru axa Y, traductorul fotoelectric incremental (1) este fixat de un paralelogram (2), iar prin intermediul pinionului (3) angrenează cu cremaliera (4), obținându-se mișcarea de translație dorită; pentru axa Z traductorul fotoelectric incremental (1) este fixat prin cuplaj silfon (2) și angrenează prin pinionul (3) cu cremaliera (4), obținându-se mișcarea de translație dorită.

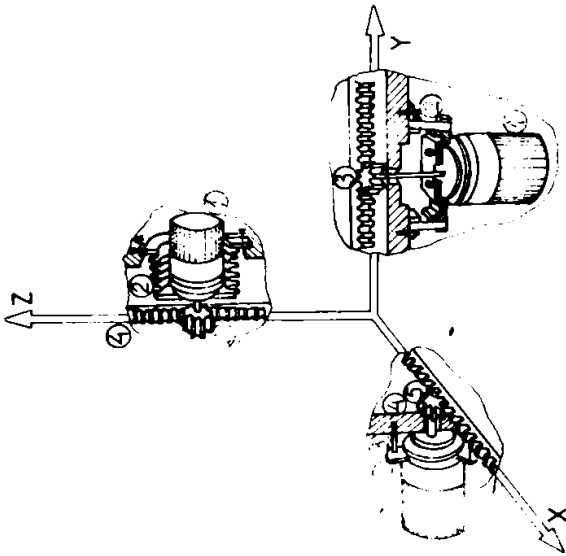


Fig.8.2.5.

### 8.3. Robot de control dimensional cu cinci grade de libertate pentru industria de mecanică fină

Realizările industriei electrotehnice, electronice și microelectronice, pe de o parte și ale industriei de mecanică fină și tehnică de calcul pe de altă parte, a permis abordarea unor structuri complexe de comandă, acționare, măsurare și recunoaștere formă piesă, în cadrul roboților de control dimensional.



Fig. 8.3.1.

Robotul de control dimensional ca utilaj complex de control, este compus din: calculator (nivel ierarhic superior), interfață de proces (nivel ierarhic inferior), subsistemul mecanic de măsurare cu trei axe carteziene, pe ghidaje gazostatice și o axă de rotație pe ghidaj mecanic, subsistemul mecano-pneumatic de măsurare cu o axă de rotație, pe ghidaje gazostatice și subsistemul automat de achiziție imagini.

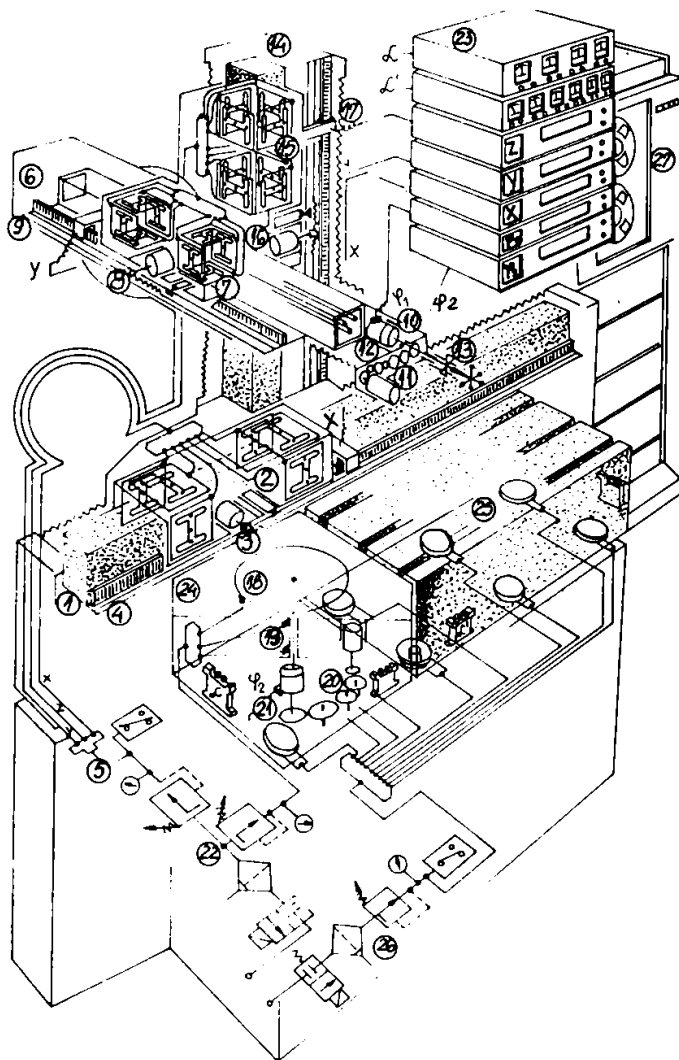


Fig. 8.3.2.

În urma unui studiu în detaliu asupra im a tului tehnii automat și ținându-se cont de varietatea mare de piese complexe, al căror control dimensional impune o precizie ridicată și o productivitate înaltă, s-a conceput și experimentat un robot de control dimensional cu cinci grade de libertate, integrat cu calculator și subsistem automat de achiziție imagini (fig. 8.3.1.).

Robotul de control dimensional ca utilaj complex de control, este compus din: calculator (nivel ierarhic superior), interfață de proces (nivel ierarhic inferior), subsistemul mecanic de măsurare cu trei axe carteziene, pe ghidaje gazostatice și o axă de rotație pe ghidaj mecanic, subsistemul mecano-pneumatic de măsurare cu o axă de rotație, pe ghidaje gazostatice și subsistemul automat de achiziție imagini.

Soft-ware-ul robotului cuprind: programul interfeței scris în limbaj de asamblare PZ 80 (cu funcții multiple pentru prelucrarea cotelor, comunicație la nivelul ierarhic superior etc), bibliotecă cu subrutine pentru realizarea funcțiilor de măsurare și deplasare automată a palpatorului, (cu funcții multiple pentru comanda deplasărilor automate ale palpatorului, prelucrarea cotelor, execuția algoritmilor de măsurare etc), programul de control dimensional, (pentru definirea unor algoritmi de măsurare), program de învățare pentru memorarea traiectoriilor de deplasare comandate manual și limbaj pentru descrierea algoritmilor de control dimensional (LCD).

Din punct de vedere al schemei cinemato-funcționale (fig. 8.3.2) se evidențiază: sistemele mecanice cartezian (X, Y, Z) și polar ( $\varphi_1, \varphi_2$ ) care cuprind: sistemul X(1) cu ghidajele gazostatice (2) pe suportul din andezit, a cărui mișcare este realizată de mecanismul motor-pinion-cremalieră (3), a cărui măsurare este dată de traductorul fotoelectric incremental de deplasare (4) și a cărui alimentare se face prin instalația electro-pneumatică (5), aceasta cuprinzând: regulator presiune pentru lagărele X,



Y, Z, manometru și presostat pentru controlul presiunii și corpul distribuție presiune; subsistemul Y (6) cu echilibrarea greutatei proprii, cu ghidajele gazostatice (7) pe suport metalic, a cărei mișcare este realizată de mecanismul motor-pinion-cremalieră (8), a cărei măsurare este dată de traductorul fotoelectric incremental de deplasare (9) și a cărei alimentare se face prin instalația electro-pneumatică (5); subsistemul palpator (10), legat de sistemul Y (6) a cărei mișcare de rotație este realizată de mecanismul motor-reductor (11), a cărei măsurare unghiulară este dată de traductorul fotoelectric de rotație (12) și care este integrat cu palpatorul de poziție (13) sau traductorul de măsurare continuă în trei coordonate; subsistemul mecanic Z (14) cu ghidaje gazostatice (15) pe suport de andezit, a cărei mișcare este realizată de mecanismul motor-pinion-cremalieră (16), a cărei măsurare este dată de traductorul fotoelectric incremental de deplasare (17) și a cărei alimentare se face prin instalația electro-pneumatică (5); subsistemul masă rotativă gazostatică (18) cu ghidaje radiale și axiale gazostatice (19) pe suport metalic, a cărei mișcare este realizată de mecanismul motor-reductor (20), a cărei măsurare unghiulară este dată de traductorul fotoelectric incremental de rotație (21) și a cărei alimentare se face prin instalația electro-pneumatică (22), aceasta cuprinzând: electrovalvă (DN 10), filtru de aer, regulator de presiune, manometru pentru controlul presiunii, presostat pentru controlul presiunii și corp distribuție presiune.

În continuare se mai evidențiază: sistemul de interfațare (23) cu afișări digitale pentru axele X, Y, Z,  $\varphi_1$  și  $\varphi_2$ , cu afișări analogice pentru poziția mesei de măsurare (24) și cu ieșiri pentru calculator; subsistemele pneumatice de sustentație (25), cu lagăre gazostatice, a căror alimentare se face prin instalația electro-pneumatică (26) și care, prin perna de aer formată, crează izolarea fermă a utilajului de control, de vibrații etc; subsistemul de tehnică de calcul (27); subsistemul de achiziție automată de imagini pentru recunoașterea formei piesei de controlat.

În esență, datele furnizate de interfață și de subsistemul de achiziție automată de imagini, sunt transmise la calculator, cu ajutorul unei interfețe seriale.

Interfața preia datele de la traductoarele de poziție și măsurare și de la limitatorii inductivi de cursă și livrează tensiunile de comandă pentru motorul de acționare.

Sistemul de comandă permite coordonarea distribuită și ierarhică a robotului de control prin intermediul unui regulator numeric multicanal realizat (cu un microprocesor) și un terminal portabil, realizat de asemenea cu microprocesorul, ambele având circuite și programe de diagnoză, acestea simplificând localizarea defectelor și verificarea permanentă a funcționării sistemului.

Interfețele pentru senzori și limitatori activează sistemul de întreruperi, subrutinele de servire a cererilor de întrerupere, localizează cauza întreruperii, analizează starea sistemului și decid ce secvențe de program se vor executa. Cotele sunt reprezentate și evidențiate, memorarea lor se face la comanda dată de un palpator cu contact sau prin program. Interfața necesară comenzii motoarelor, permite programarea vitezelor de deplasare pe toate axele, accelerările și frânările realizându-se prin soft-ware.

Memoria (RAM) este utilizată și pentru calcule intermediare de prelucrare a cotei pentru memorarea unor subrutine temporare, transmise de calculator pentru a fi executate în anumite situații și pentru controlul deplasărilor pe cele 5 axe.

Memoria (EPROM) cuprinde programele de comunicația interfață - calculator sau interfață - terminal, algoritmi de comandă pentru motoare, programele de diagnoză și achiziție a cotelor.

Structura terminalului de comenzi este orientată pe introducerea datelor de la o claviatură, interpretarea comenzilor, transmiterea lor interfeței și afișarea rezultatelor.

Pachetul de programe executat de calculator, permite comunicația cu nivelul ierarhic inferior, prelucrarea cotelor, determinarea următorului punct de măsurare, comunicația cu operatorul, introducerea datelor despre piesa de măsurat, desenarea unor secțiuni din piesă, imprimarea fișei de program măsurare a erorilor și aliniere a pieselor. Cotele transmise de interfață sunt filtrate prin metoda celor mai mici pătrate, această metodă eliminând cotele false, dar necesitând mai multe palpări.

Integrarea subsistemului de achiziție automată de imagini, robotului de control dimensional, oferă o importantă îmbunătățire în sistemele automate de mediu și este folosit la recunoașterea, manipularea și inspecția pieselor și componentelor, indiferent de poziția de orientare a acestora, subsistemul este capabil să calculeze poziția și orientarea, după ce s-a făcut identificarea pieselor.

Astfel, obiectul ce trebuie identificat se așează în câmpul camerei de luat vederi, pe o masă rotativă.

Subsistemul de iluminare utilizează o iluminare oblică pentru ca umbrele aruncate să ajute la recunoașterea obiectului. Semnalul de la camera TV este prelucrat de subsistemul de achiziție imagini, monitorul realizează afișarea imaginilor și mesajelor și este folosit în timpul procesului de învățare pentru comunicarea între operator și sistem.

După identificarea piesei și după determinarea orientării acesteia prin intermediul interfeței seriale, rezultatele sunt trimise la calculator.

Procesul de identificare și determinare a orientării presupune, în primul rând, aducerea obiectului în câmpul camerei TV și anunțarea acestui fapt prin intermediul interfeței seriale.

Sistemul evaluează informația din imagine pentru a stabili dacă piesa poate fi recunoscută numai după siluetă. Dacă nu poate fi recunoscută, imaginea este preluată pentru a extrage trăsături de pe suprafața piesei, în primul rând, prin analiza umbrelor aruncate.

Prin folosirea luminii oblice și prin corelarea cu un model cunoscut, sistemul poate recunoaște obiectele care apar.

Dacă piesa este așezată doar parțial în câmpul camerei sau dacă ea nu poate fi recunoscută, va fi afișat pe monitor un mesaj de eroare.

Folosirea subsistemului de viziune pentru robotul de control crește fiabilitatea, simplifică proiectarea inginerescă și reduce costul global al exploatării.

Sistemul preprocesează semnalul analogic obținut de la cameră, îl digitizează și îl memorează. Cele două calculatoare au acces la memoria de imagine, realizând operații de prelucrare și analiză a imaginii în vederea extragerii caracteristicilor și recunoașterii pe baza lor, a obiectelor din câmpul vizual al robotului.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.3.1.):

Tabelul 8.3.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Intervalul de măsurare: x = y = z = $\varphi_1 =$ $\varphi_2 =$	700 mm; 300 mm; 450 mm; n. 360°; $\pm 180^\circ$ ;	Intervalul de măsurare pe X, Y, Z este determinat și de lungimile sistemelor de măsurare de tip traductor fotoelectric incremental de deplasare tip TIL;
2.	Rezoluția	0,001 mm;	
3.	Număr de grade de libertate:	5	
4.	Eroarea de fidelitate: ( $\pm 2\sigma$ )	$E_f = \pm 0,05$ mm;	
5.	Eroarea de bază (la temperatura de referință: $20^\circ \pm 1^\circ$ C	$E_b = \pm (0,05 + 0,006L)$ $\mu$ m;	Eroarea de bază este corespunzătoare clasei 1 de precizie
6.	Dimensiuni de gabarit:	(1800 x 1500 x 1200) mm	
7.	Masa piesei de măsurat;	80 Kg	
8.	Presiunea de alimentare	5 daN/cm <sup>2</sup>	
9.	Debitul de alimentare	180 l / min;	
10	Viteza de deplasare	25 mm/sec;	
11.	Viteza de măsurare	0,025 mm/sec	
12.	Echipament de afișare	-	Bloc electronic cu afișare digitală pentru X, Y, Z și $\varphi_1$ , $\varphi_2$
13.	Eroarea de fidelitate pentru capul de palpăre: X = Y = Z =	$\pm 0,001$ mm $\pm 0,001$ mm $\pm 0,001$ mm	
14.	Forța de măsurare la capul de palpăre: $F_x = F_y = F_z$	20...25 cN	

15.	Eroarea de fidelitate pentru traductorul de măsurare continuă în 3 coordonate: $E_{fx} = E_{fy} = E_{fz}$	0,5 $\mu\text{m}$	
16.	Eroarea de justețe pentru traductorul de măsurare continuă în 3 coordonate $E_{bx} = E_{by} = E_{bz}$	$\pm 1,5\%$ din intervalul de măsurare	
17.	Intervalul de măsurare $x = y = z$	$\pm 0,5 \text{ mm}$	
18.	Compensarea greutății palpatorului la traductorul de măsurare continuă	automat	
19.	Forța de măsurare: $F_x = F_y = F_z$	25...50 cN	
20.	Rezoluția pentru traductorul de măsurare continuă	0,001 mm	
21.	Tensiunea de alimentare	220V $\pm 10\%$	
22.	Frecvența	50 $\pm 1$ Hz	
23.	Echipament de tehnică de calcul	-	
24.	Eroarea de bază pentru rotația $\varphi_1$	$\pm 10''$	
25.	Eroarea de bază pentru rotația $\varphi_2$	$\pm (1'...5')$	
26.	Rezoluția unghiulară (pentru $\varphi_1$ )	10''	
27.	Rezoluția unghiulară (pentru $\varphi_2$ )	1'...5'	
28.	Lagăre de translație	-	gazostatice
29.	Lagăre de rotație (pentru $\varphi_1$ )	-	gazostatice
30.	caracteristici pentru calculator:		
30.1	Calculul elementelor geometrice de bază:	-	punct, dreaptă, plan, cerc, cilindru, sferă, măsurarea profilelor, sinteza măsurărilor
30.2	Calculul geometric:	-	distanțe, intersecții, unghiuri, toleranțe etc.

#### 8.4. Soluții constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție și de deplasare, în structura roboților de control.

După un studiu tehnic și tehnologic asupra posibilităților de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție și de deplasare în structura roboților de control, s-au proiectat, realizat și experimentat soluții constructive de utilizare a traductoarelor în construcția roboților. Referindu-ne la roboții de control dimensional, în fig. 8.4.1. este redată soluția de fixare și integrare a traductorului fotoelectric incremental de deplasare (tip TIL), pentru axa carteziană x, evidențindu-se: pe suportul și ghidajul andezitic (1) este fixat, prin intermediul unor șuruburi, suportul special metalic (2) pe care este prinsă rigla incrementală (3), prin intermediul șinei metalice (4), a șuruburilor de strângere și a foliei nemetalice așezată între riglă și șină, aceasta protejând deteriorarea riglei din sticlă optică.

Strângerea riglei se face astfel încât să nu se tensioneze superficial stratul de crom ce formează rețeaua incrementală, să nu se deformeze planul rețelei incrementale (macrogeometric) și să se asigure o aliniere și plan-paralelism, cu direcția de deplasare a ghidajului.

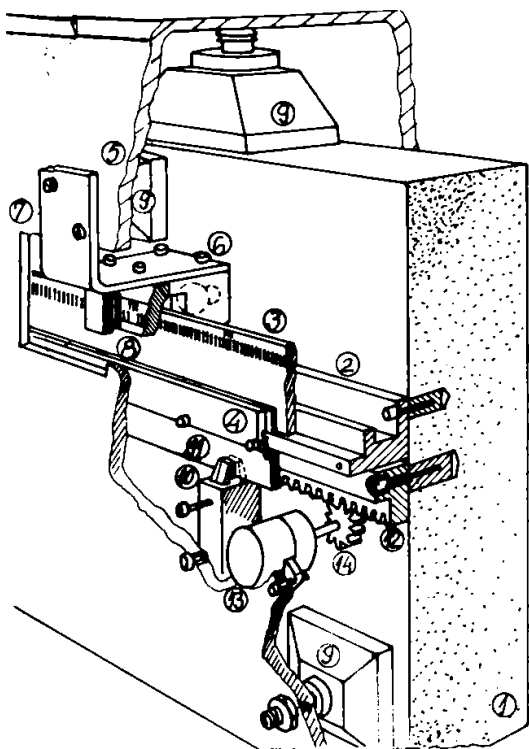


Fig. 8.4.1.

Pe suportul cadru (5) se fixează capul de citire opto-electronic (6) prin intermediul unei plăci suport (7) și a unor șuruburi, asigurându-se alinierea și plan-paralelismul riglei incrementale (8) (aflată în capul de citire), față de planul riglei incrementale divizoare.

Pe suportul cadru (5) se mai fixează lagărele gazostatice (9) care asigură deplasarea robotului în direcția X, frâna electromagnetică (10), cu acționare pe rigla metalică (11) fixată, la rândul său, de cremalieră (12) prin șuruburi și motorul de acționare (13), prin angrenarea sa, prin intermediul pinionului dublu (14) cu preluarea jocului pe flanc, cu cremaliera (14) fixată la rândul său de ghidajul andezitic (1) prin intermediul unor șuruburi și știfturi de centrare - aliniere.

Funcțional se asigură un interstițiu între ghidajul andezitic și patina gazostatică de 0,015 - 0,025 mm și un plan-paralelism, în mișcarea relativă, cap de citire riglă incrementală de maxim 0,01 mm pe toată lungimea axei X.

În urma unor experimentări făcute în laborator, s-au determinat următoarele:

- planitatea ghidajului andezitic trebuie să fie precisă (circa 2...3  $\mu\text{m}$ );
- plan-paralelismul ghidajului andezitic trebuie să fie asigurat în câmpul: 0,003 - 0,9 mm;
- abaterile macrogeometrice ale ghidajului andezitic sunt preluate (compensate) până la max. 0,0025 mm de către perna de aer, fără să influențeze precizia robotului;
- abateri microgeometrice ale ghidajului andezitic trebuie să fie în jurul valorilor 0,08 - 0,15  $\mu\text{m}$ , pentru asigurarea unei curgeri optime a aerului și menținerea unei rigidități și a unei capacități portante ridicate.

Dacă ne referim în continuare la construcția robotului de control dimensional, în baza fig. 8.4.2., se arată soluțiile de fixare și implementare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare (tip TIL) pentru axele carteziene Y și Z și a traductorului fotoelectric incremental de poziție (tip TIRO) pentru axa polară, evidențiindu-se: pe cadrul rigid (1) este fixat, prin intermediul unor șuruburi, capul de citire opto-electronic (2) al traductorului de deplasare, acesta aflându-se în mișcare relativă față de rigla incrementală (3) a aceluiași traductor care măsoară direcția Y a robotului; pe același cadru (1) sunt fixate ghidajele gazostatice (4) care se pot regla prin intermediul unei articulații sferice, proprii fiecărei patine gazostatice; pentru echilibrarea greutății axei Y și păstrării centrului ei de greutate, într-o poziție stabilă, s-a conceput sistemul de compensare cu contragreutate (5) care se deplasează prin intermediul transmisiei cu cureauă întinsă (6) în sens contrar deplasării axei Y pe ghidajele gazostatice (7), echilibrând astfel greutatea axei Y, când se realizează cursa maximă la ieșirea în consolă.

Sistemul de deplasare și transport al contragreutății (6) se bazează pe scripeți dubli (8), cu diametre diferite, calculate astfel încât centrul de greutate al axei Y (în ansamblu) în mișcarea sa pe cursa existentă să se mențină stabil, realizându-se astfel o echilibrare a axei Y, datorită faptului că la deplasarea axei Y în consolă, contragreutatea se deplasează în sens contrar; ghidajele gazostatice se sprijină pe ghidajul metalic Y (9), acesta putând fi torsionat în jurul axei de simetrie și comprimat sau întins, prin intermediul barelor rigide (10); deplasarea mecanică a axei Y se face prin intermediul motorului de acționare (11) - reductor (12) - pinion dublu (13) de angrenare cu cremalieră (14) fixată, la rândul ei, de ghidajul Y prin șuruburi și știfturi de centrare; pe ghidajul Y este fixată șina (15) pe care se realizează frânarea robotului, cu o frână electromagnetică (16).

Pe axa Y (9) este implementat capul de palpăre (17) sau de măsurare continuă, acestea fiind într-o construcție în trei coordonate carteziane și a cărui mișcare de rotație în jurul axei proprii sunt date de sistemul motor - reductor (18) și a căror măsurări și poziționări unghiulare sunt date de traductorul fotoelectric incremental de poziție (tip TIRO), (19).

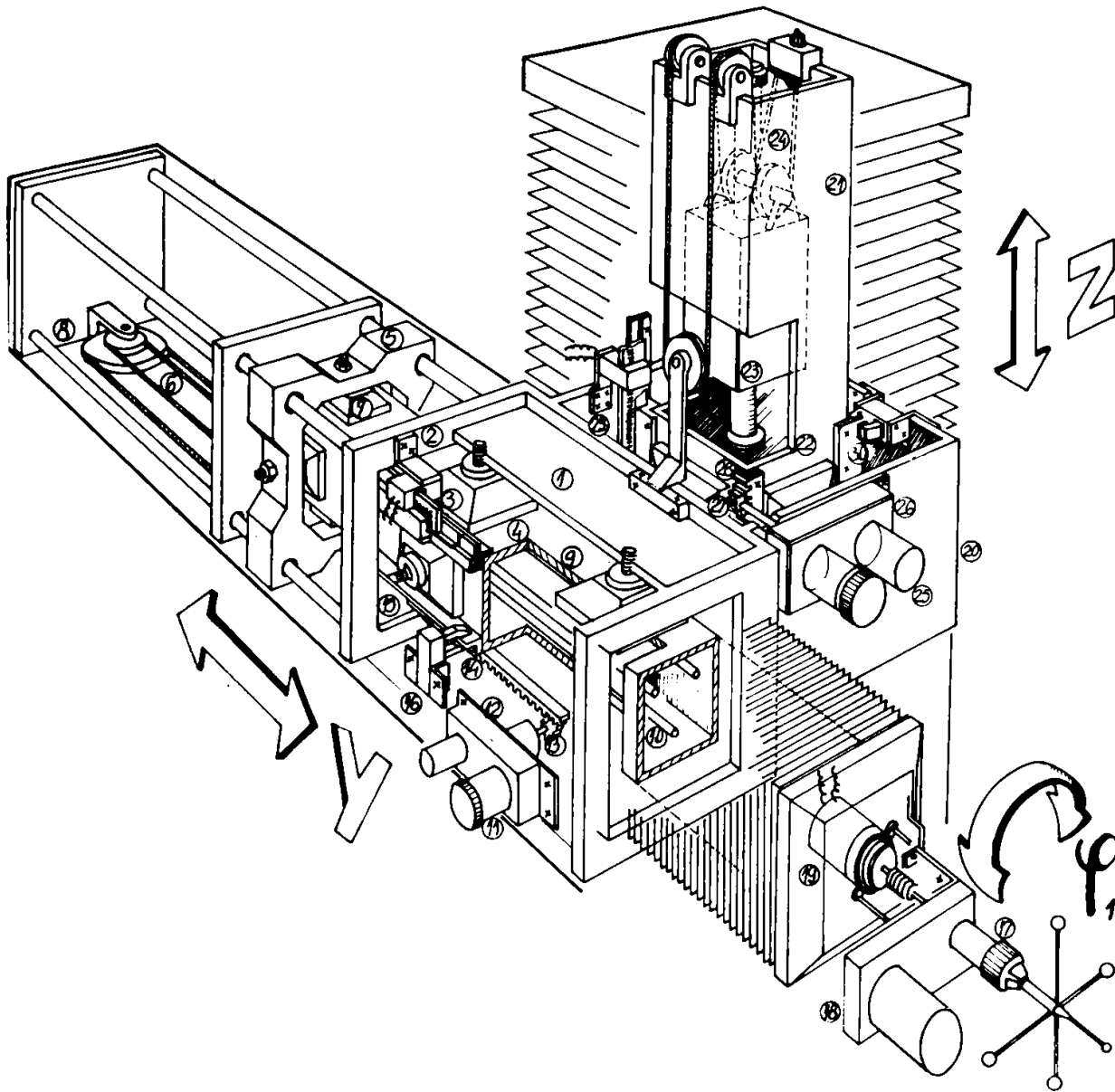


Fig. 8.4.2.

Întreaga axă Y, prin intermediul corpului de ghidare (20) pe ghidajul vertical Z (21), are o deplasare uniformă, prin intermediul lagărelor gazostactice (22) ce sprijină pe ghidajul vertical Z (21).

Deplasarea axei Y, pe ghidajul vertical Z, presupune și o echilibrare dinamică, prin intermediul unui cilindru pneumatic (23) și a unui sistem de scripeți dubli (24), echilibrare care anulează greutatea întregii axe Y în mișcare și permițând îmbunătățirea substanțială a acționării axei Z, acționarea efectuându-se prin motorul (25), reductorul (26), pinionul dublu (27) și cremaliera (28).

Pentru măsurarea și poziționarea deplasării pe axa Z, se utilizează un traductor fotoelectric incremental de deplasare (29) (tip TIL), cu rezoluție 0,001 mm, iar pentru frânarea mișcării pe axa Z, se utilizează o frână electromagnetă (29).

În structura robotului există și subansamblul masă gazostatică rotativă, care realizează cel de-al cincilea grad de libertate și pe care se așează piesa de măsurat.

Practic, subansamblul masă gazostatică este tipizat și reutilizat de la echipamentul de verificat abateri de formă cu calculator.

Dacă ne referim la roboții de control dimensional pentru sistemele flexibile din industria constructoare de mașini, în fig. 8.4.3 este redată soluția de fixare și implementare a traductorului fotoelectric incremental de deplasare (tip TIL), pentru axa carteziană evidențindu-se :

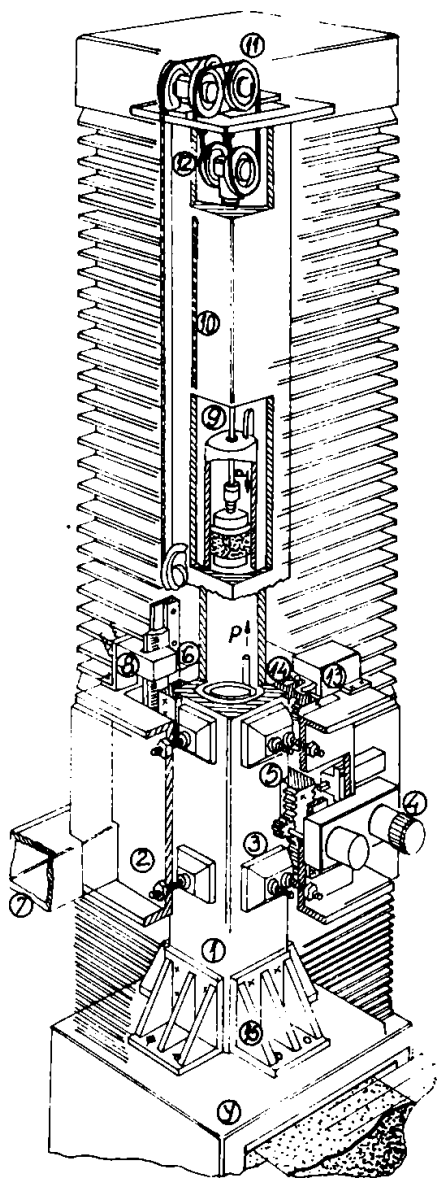


Fig. 8.4.3.

• pe ghidajul (1) este realizat subansamblul (2) care se deplasează pe toată coloana Z prin intermediul pernei de aer dezvoltată de patinele gazostatice (3) și prin acționarea motoreductorului (4) și a subansamblului (5) pinion - cremalieră; măsurarea și poziționarea se face prin intermediul traductorului fotoelectric incremental (6) de deplasare (de tip TIL); de subansamblul (2) se fixează suportul (7) al palpatorului electric de poziționare și măsurare; subansamblul acesta este prezentat într-o soluție constructivă modernizată care asigură o deplasare plan-paralelă a capului fotoelectric (8) în fața riglei incrementale a sistemului de măsurare și poziționare (6); fixarea capului fotoelectric de citire se face prin șuruburi cu posibilități de reglaj, iar fixarea riglei se face prin intermediul unor bride metalice strânse prin șuruburi, unde contactul dintre sticla riglei și bridă este asigurat de plăcuțe din teflon sau alt material plastic; deplasarea acestui subansamblu pe axa Z, se face prin compensarea greutății lui prin intermediul unui sistem pneumatic de compensare; acest sistem, la ridicarea subansamblului pe axa Z, acționează cilindrul pneumatic (9) și ca urmare, prin intermediul lanțului (10) și a sistemului de scripeți ficși (11) și mobili (12), este efectuată compensarea.

Pentru poziționarea precisă a subansamblului pe axa Z, se utilizează un sistem de frânare electromagnetice (13), care realizează frânarea pe rigla metalică (14), solidară cu cremaliera de acționare.

Coloana Z, împreună cu ghidajul pneumatic și suportul palpatorului electronic, este rigidizată de subansamblul (Y) prin intermediul corpului prismatic de prindere (15) prevăzut cu nervuri pentru o siguranță mai mare la diferitele solicitări ce pot apărea în regim dinamic.

Corpul prismatic (15) este fixat rigid de ghidajul (Y) prin intermediul unor șuruburi; ansamblul axei Z, prin intermediul ghidajului (y) se deplasează în direcția Y, pe cărare gazostatică și trebuie să aibă o mișcare în și uniformă, ceea ce implică o echilibrare optimă a subansamblului axei Z.

Referitor la celelalte axe ale robotului, se evidențiază integrarea traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare în aceleași soluții constructive ca la axa Z și a traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație, în aceleași soluții constructive ca la axele de rotație de la robotul de control dimensional pentru industria de mecanică fină.

Pentru traductoare de deplasare, mișcarea capului de citire față de riglă, este plan-paralelă și este asigurată din construcție, de calitatea ghidajelor mecano-pneumatice, de uniformitatea acționării și de regimul dinamic la care este supus robotul.

Pentru traductoarele de poziție, mișcarea de rotație este sesizată calitativ și cu precizie ridicată prin modul lor de cuplare la axele elementelor motoare, știindu-se că cea mai fidelă și precisă transmitere a mișcării se face prin intermediul unor cuplaje elastice de torsiune.

Soluțiile constructive de fixare și cuplare a traductoarelor de măsurare și poziționare la roboții de control dimensional, pe axele de translație și de rotație ale acestora, sunt comparative cu soluțiile întâlnite pe plan mondial și asigură permanent precizia, fidelitatea și fiabilitatea roboților de control dimensional în aplicațiile industriale.

Dacă ne referim la soluțiile constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție pe elementele motoare de acționare a mișcării de rotație, se pune în evidență originalitatea integrării traductorului cu utilizarea de cuplaje fixe între axele ce transmit mișcarea.

În figura 8.4.4. se arată o soluție constructivă de prindere a unui traductor fotoelectric

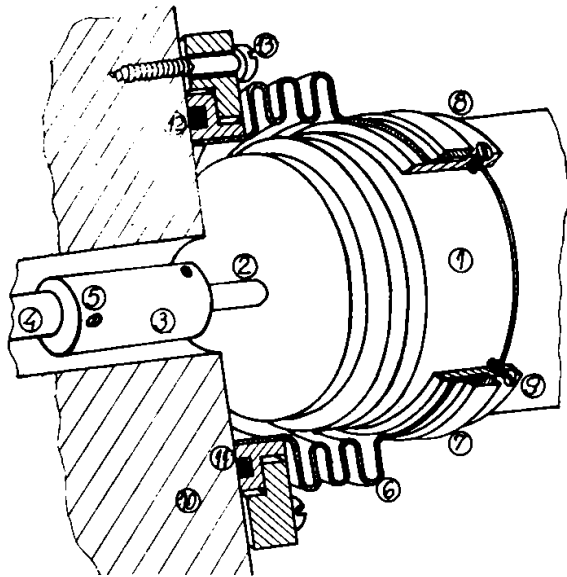


Fig. 8.4.4

incremental de poziție, de el motor; traductorul de poziție de tip TIRO (1) are axul său de rotație (2) fixat rigid prin cuplajul fix (3) de axul elementului motor (4) prin intermediul știfturilor filetate (5). De traductorul fotoelectric este fixat cuplajul elastic tip silfon (6) prin intermediul elementelor de tip bandaj (7) și (8); elementul elastic de tip bandaj (8) este fixat de traductor prin intermediul șuruburilor (9), iar elementul elastic de tip bandaj (7) fixează rigid cuplajul elastic tip silfon (6) prin celălalt capăt este fixat rigid "la batiu" (10) prin intermediul elementului de tip flanșă (11) care etanșează garnitura (12) la batiu și care este fixat prin șuruburile (13) la batiu (10).

Această soluție constructivă oferă o serie de avantaje: datorită unor necoaxialități ale axelor traductorului și motorului, traductorul fotoelectric tip TIRO este "obligat" să ia pozițiile cerute de elementul motor prin intermediul elasticității cuplajului de tip

silfon, fără a se deteriora axul principal al traductorului și fără a se descentra subansamblul disc fotoelectric incremental divizor.

De altfel, orice neregularitate transmisă la traductorul fotoelectric este preluată în totalitate de cuplajul elastic de tip silfon, traductorul fotoelectric incremental fiind astfel insensibil la abaterile de la coaxialitate.

Această soluție constructivă realizată și prezentată, asigură pe de altă parte și transmiterea răsucirii de la elementul motor la traductor, practic fără eroare, deoarece în acest caz cuplajul dintre cele două axe (ale motorului și traductorului) este un cuplaj rigid.

### 8.5. Sistem de vedere artificială sau de recunoaștere a formelor la roboții de control dimensional

Roboții de control dimensional sunt constituiți pe lângă sistemele de măsurare propriu-zise și calculatoarele pentru coordonarea automată a proceselor de măsurare, și din sistemele de vedere artificială sau recunoașterea formelor.

Scopul acestora din urmă este de a recunoaște piesele supuse tehnologiei de măsurare, de a le determina, într-o primă aproximație, poziția și un număr de repere.

Un sistem de vedere artificială (fig. 8.5.1.) este constituit din sistemul de iluminare, sistemul de analiză automată digitală a imaginilor și ansamblul de algoritmi și programe pentru prelucrarea și analiza imaginilor.

Sistemul de iluminare are rolul important de a scoate în evidență, din imaginea piesei, suprafața cu rugozitatea cea mai mică (reflectivitatea cea mai mare). de aceea, iluminarea este de dorit să se facă în lumină difuză pentru a se evita punerea în evidență a profilelor interioare și introducerea de contururi false (umbre).

Prin acest sistem imaginea este preluată de camera TV standard, semnalul video este convertit numeric în timp real prin conversie, în semnal binar cu praguri reglabile în 256 trepte și câmpul camerei este eșantionat în  $512 \times 512$  elemente (pixeli); pe calea de semnal este interpus blocul de prelucrări punctuale de intrare (PPI) care poate realiza transformări ale scalei de gri sau selecția corespunzătoare a imaginii (comutare AD-FG) în vederea înscrisii imaginii în memorie.

În memoria sistemului poate fi înscrisă imaginea preluată direct de la cameră sau rezultatul unei operații aritmetice/ logice între imaginea în curs de preluare și o imagine memorată anterior (ALU); memoria de imagine (MI) are capacitate de 2 MO și este organizată în 8 plane de  $512 \times 512$  biți; controlorul de memorie permite stocarea de imagini de la  $(256 \times 256 \times 1)$  până la  $(512 \times 512 \times 8)$  în orice configurație; blocul de prelucrări punctuale de ieșire (PPO) împreună cu ALU permite efectuarea de prelucrări rapide recursive și selecția imaginilor în vederea afișării (realizată alb/negru sau color: PPR; PPG; PPB).

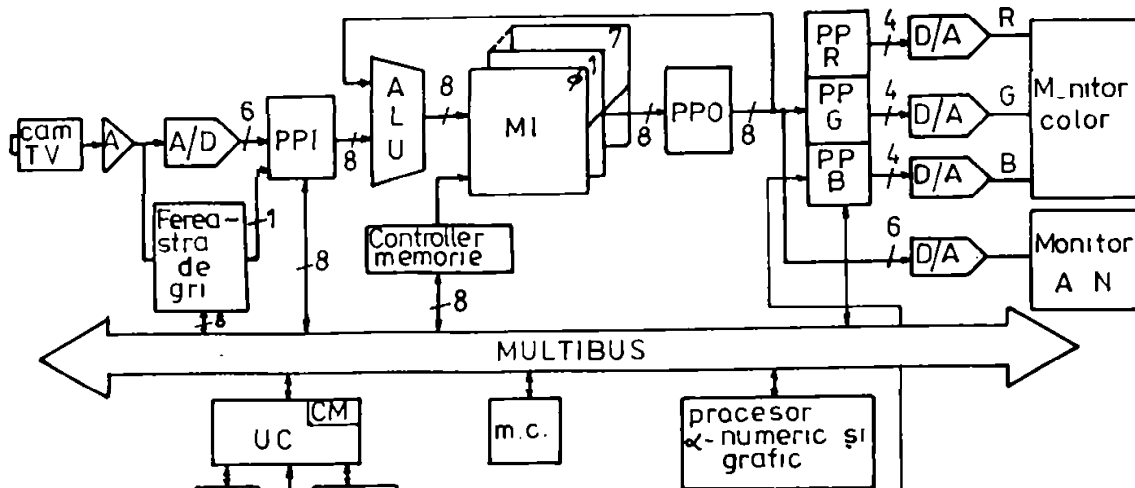


Fig. 8.5.1.

Instalația este coordonată de două procesoare integrate pe o magistrală de tip MULTIBUS; unitatea centrală poate gestiona 2 Mocteți de memorie, dispune de 64 Kocteți memorie locală și este prevăzută să lucreze cu unitatea dublă de disc, imprimantă matricială, interfațși tastatură.

Procesorul grafic și alfanumeric este integrat de asemenea cu microprocesorul, iar imaginea grafică și alfanumerică este afișată mixată pe imagine.

Tehnica analizei imaginii presupune că în primul rând o imagine este definită cantitativ ca o funcție bidimensională  $I(x, y)$  ce reprezintă luminanța punctelor de coordonate  $x, y$  și că este definită calitativ (semantic) ca o scenă (S) compusă din fundal (B) și un număr de obiecte de interes (Ci).

Scopul analizei este ca, pomind de la descrierea cantitativă să se ajungă la reprezentarea semantică a scenei. Analiza imaginilor implică: prelucrarea imaginii, extragerea trăsăturilor și interpretarea scenei.

Programele care realizează prelucrarea imaginii sunt:

MED • mediane (filtrare liniară); MDN • mediane (filtrare statistică); EXP • expondarea zonelor albe (filtrarea statistică); ERO • erodarea zonelor albe (filtrare statistică); CONT • conturare (filtrare liniară); CONV • convoluție de nuclee de dimensiune  $3 \times 3$ ; P (N, A) • preluarea de imagine cu fereastra gri.

Programele care realizează extragerea trăsăturilor sunt:

APCGCFBU - calculul ariilor, perimetrelor, centrelor de greutate, reprezentarea în cod FREEMAK a conturului; • vecinătatea și organizarea bufferului de parametrii; • INERT - calculul momentelor de inerție; DIAM - determinarea dimensiunii maxime; • POL - determinarea aproximării poligonale.

Interpretarea scenei se face prin analiza trăsăturilor, combinând reprezentarea arborescentă a acestora cu metode de precizie statistică.

### 8.6. Robot de control dimensional cu cinci grade de libertate pentru deservirea sistemelor flexibile din industria constructoare de mașini

Conceperea și realizarea sistemelor flexibile de producție a necesitat imediat la conceperea și realizarea utilajelor de control adecvate și, ca urmare, a fost proiectat și experimentat robotul de control dimensional pentru deservirea unei celule flexibile de prelucrare a pieselor prismatice (cu latura de 500 mm).



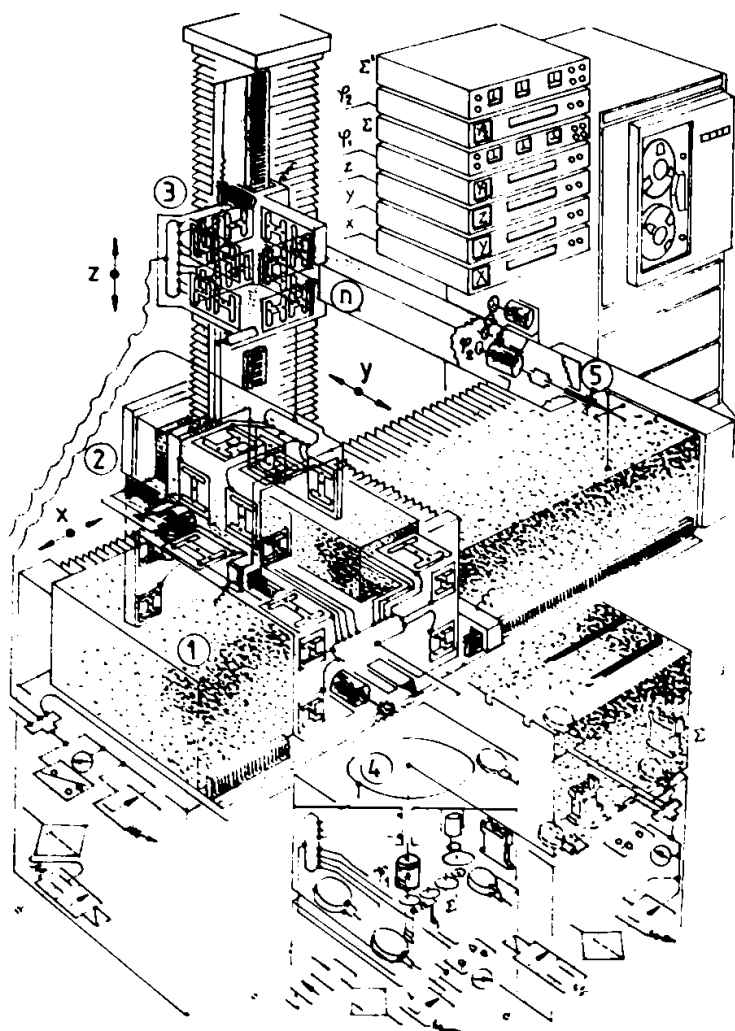


Fig. 8.6.1

solidară cu brațul de palpate, de lungime constantă, pe care se găsește palpatorul electronic de poziție. Aceste soluții constructive arată deosebirea dintre robotul de control dimensional pentru industria de mecanică fină și robotul pentru deservirea sistemelor flexibile din industria constructoare de mașini. Soluțiile constructive de adaptare și integrare a traductoarelor fotoelectronice incrementale pe acest robot sunt aproape identice cu cele ale robotului de control pentru industria de mecanică fină.

Robotul de control dimensional are la bază hard-ware-ul format din interferența electronică, calculator și sistemul de achiziție și soft-ware-ul pentru măsurarea în mai multe coordonate cu utilizarea unei mulțimi variate de funcții de calcul metrologic și matematic a elementelor geometrice și cu tratarea toleranțelor geometrice. Măsurarea propriu-zisă a pieselor pe acest robot, se realizează sub controlul unui program interpretor de comenzi (PIC), definindu-se prin acestea funcțiile corespunzătoare, algoritmului de verificare dimensională a piesei.

Programul (PIC) este integrat cu citirea comenzilor în BATCH dintr-un fișier pe disc și în sistem conversațional pe consolă.

Ca posibilități specifice se remarcă: definirea și memorarea de către soft-ware a entităților geometrice; calcularea elementelor geometrice și verificarea toleranțelor, tipărirea rezultatelor la imprimantă; program interpretor pentru execuția comenzilor etc.

Robotul de control dimensional are o bibliotecă de subrutine matematice pentru măsurarea în 3 coordonate și anume: subrutine specifice programului (PIC), subrutine speciale pentru determinări de forme prin metoda celor mai mici pătrate, subrutine cu caracter general ce reprezintă transpunerea de metode și algoritmi din geometria analitică în spațiu și în plan și din analiza numerică.

Robotul de control dimensional cu 5 grade de libertate pentru deservirea sistemelor flexibile de prelucrare din industria constructoare de mașini, proiectat în acest scop, are următorul scenariu de măsurare: se aliniază piesa de verificat, se stabilește sistemul de axe și originea, se memorează

Robotul de control dimensional automat pentru deservirea sistemelor flexibile (fig. 8.6.1.) are o structură și o construcție diferită de a robotului de control dimensional pentru industria de mecanică fină; robotul de control pentru sistemele flexibile cuprinde: robotul propriu-zis, sistemul automat de achiziție imagini, magazinul automat cu palpatorii de poziție, subansamble mese tipizate și setul cu palpatorii de poziție (aceștia în diferite soluții constructive).

Schema cinematică este asemănătoare robotului de control dimensional pentru industria de mecanică fină, cuprinzând trei axe carteziane ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) pe lagăre gazostatice, formând subansamble propriu-zise (1, 2, 3) și două axe polare ( $\varphi_1$  și  $\varphi_2$ ), o axă constituind subansamblul (4) masă de rotație ( $\varphi_1$ ), pe care se așează piesa de măsurat și cealaltă constituind subansamblul (5) palpator electronic de poziție ( $\varphi_2$ ).

Din punct de vedere constructiv, axa  $\varphi_1$  are soluție mai robustă, prin dispunerea lagărelor gazostatice pe o suprafață mai mare, creând astfel o stabilitate sigură. Ghidajul axei  $Y$ , împreună cu axa  $Z$ , formează un subansamblu, acesta epășându-se în direcția  $Y$ .

Ghidajul axei  $Z$  are o construcție

toate punctele ce tebuiec măsurate, se testează fiecare punct prevăzut a fi controlat și verificat, și se verifică rezultatele obținute cu cele memorate prin comparație, acestea înscriindu-se în cerințele minime și necesare.

În practică, scenariul de măsurare este caracteristic programatorului și tipului de piesă și se urmărește ca pentru fiecare punct de măsurare să fie parcurs un drumul optim în vederea obținerii unui timp cât mai mic.

Sinteza caracteristicilor tehnico-funcționale (tabelul 8.6.1.):

Tabelul 8.6.1.

Nr. crt.	Caracteristica	Valoarea	Observații
1.	Intervalul de măsurare: x = y = z = $\varphi_1 =$ $\varphi_2 =$	1000 mm 500 mm 800 mm n. 360° $\pm 180^\circ$	Intervalul de măsurare pe X, Y, Z este determinat de lungimile sistemelor de măsurare de tip traductor fotoelectric incremental de deplasare tip TIL;
2.	Rezoluția:	0,001 mm	
3.	Număr de grade de libertate:	5	
4.	Eroarea de fidelitate: ( $\pm 2\sigma$ ):	$E_f = \pm 0,05$ mm	
5.	Eroarea de bază (la temperatura de referință: $20^\circ \pm 1^\circ$ C):	$E_b = \pm (0,05 + 0,006L)$ $\mu$ m ;	Eroarea de bază este corespunzătoare clasei 1 de precizie;
6.	Dimensiuni de gabarit:	(1850 x 1600 x 2000) mm;	
7.	Masa piesei de măsurat;	500 Kg;	
8.	Presiunea de alimentare:	5 daN/cm <sup>2</sup>	
9.	Debitul de alimentare:	180 l / min;	
10.	Viteza de deplasare:	25 mm/sec;	
11.	Viteza de măsurare:	0,025 mm/sec	
12.	Echipament de afișare:	-	Bloc electronic cu afișare digitală pentru X, Y, Z și $\varphi_1$ , $\varphi_2$ ;
13.	Eroarea de fidelitate pentru capul de palpare: X = Y = Z =	$\pm 0,001$ mm $\pm 0,001$ mm $\pm 0,001$ mm	
14.	Forța de măsurare la capul de palpare: $F_x = F_y = F_z$	20...25 Cn	
15.	Eroarea de fidelitate pentru traductorul de măsurare continuă în 3 coordonate: $E_{fx} = E_{fy} = E_{fz}$	0,5 $\mu$ m	

16.	<b>Eroarea de justețe pentru traductorul de măsurare continuă în 3 coordonate; <math>E_{bx} = E_{by} = E_{bz}</math></b>	$\pm 1,5\%$ din intervalul de măsurare	
17.	<b>Intervalul de măsurare; <math>x = y = z</math></b>	$\pm 0,5$ mm	
18.	<b>Compensarea greutateii palpatorului la traductorul de măsurare continuă:</b>	automat	
19.	<b>Forța de măsurare: <math>F_x = F_y = F_z</math></b>	25...50 cN	
20.	<b>Rezoluția pentru traductorul de măsurare continuă:</b>	0,001 mm	
21.	<b>Tensiunea de alimentare:</b>	220V $\pm$ 10%	
22.	<b>Frecvența:</b>	50 $\pm$ 1 Hz	
23.	<b>Echipament de tehnică de calcul:</b>	-	IBM - PC
24.	<b>Eroarea de bază pentru rotația <math>\varphi_1</math></b>	$\pm 10''$	
25.	<b>Eroarea de bază pentru rotația <math>\varphi_2</math></b>	$\pm (1'...5')$	
26.	<b>Rezoluția unghiulară (pentru <math>\varphi_1</math>):</b>	10''	
27.	<b>Rezoluția unghiulară (pentru <math>\varphi_2</math>):</b>	1'...5'	
28.	<b>Lagăre de translație:</b>	-	gazostatice;
29.	<b>Lagăre de rotație (pentru <math>\varphi_1</math>):</b>	-	gazostatice;
30.	<b>Caracteristici pentru calculator:</b>		
30.1	<b>Calculul elementelor geometrice de bază:</b>	-	punct, dreaptă, plan, cerc, cilindru, sferă, măsurarea profilelor, sinteza măsurărilor.

## 8.7. Roboți de montaj, cu mai multe grade de libertate, pentru industria de mecanică fină și industria constructoare de mașini

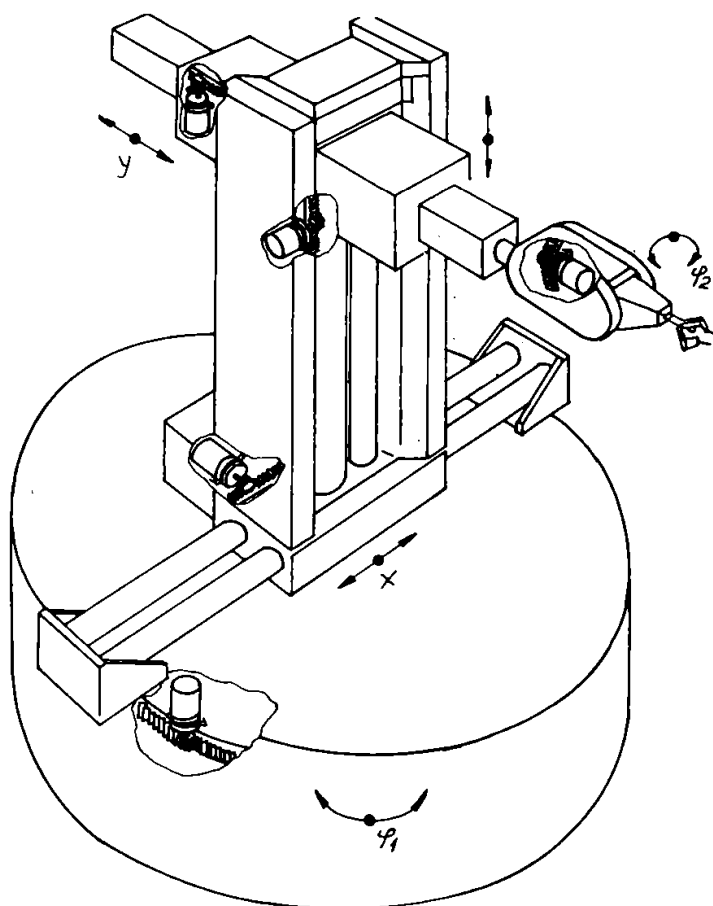


Fig. 8.7.1.

Unele realizări ale industriei de mecanică fină concretizate prin diversificare și tendințe de creștere a gradului de automatizare, contribuie în prezent la creșterea productivității și a calității produției, în conformitate cu normele și standardele europene și internaționale.

În acest scop, conceperea și experimentarea roboților de montaj, contribuie în mod substanțial la creșterea gradului de automatizare și cu precădere la automatizarea fluxului tehnologic de montaj și producție. Astfel s-a conceput și realizat un robot de montaj subansamble de orologerie industrială pentru S.C. Orologerie Industrială S.A. - Arad.

Robotul de montaj (fig. 8.7.1.) este constituit din următoarele părți componente:

- subansamblul de rotație completă ( $\varphi_1$ );
- subansambluri carteziene X, Y, Z;
- subansamblul de prehensiune ( $\varphi_2$ );
- partea de acționare și comandă;
- microcalculator;
- interfața (dintre robot și microcalculator).

Pe fiecare axă, cartezian sau polar, poziționarea și măsurarea se fac prin intermediul traductoarelor fotoelectrice incrementale de rotație, tip TIRO, care sunt utilizate în mai multe variante constructive: în angrenarea prin pinion-cremalieră; în cuplaj direct cu șurubul cu bile; în angrenare prin motor-reductor.

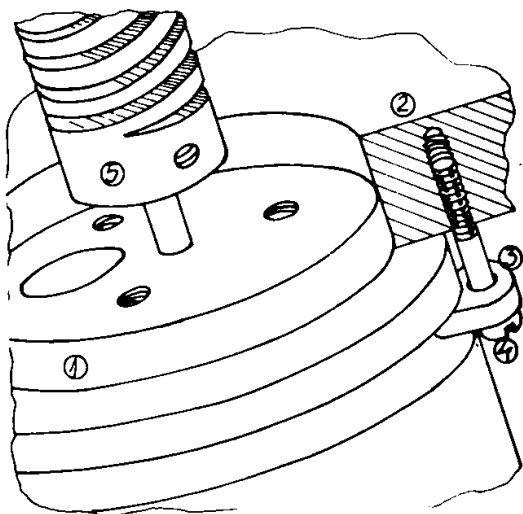


Fig. 8.7.2.

Unele realizări ale industriei constructoare de mașini au motivat abordarea automatizării și robotizării unor proceselor industriale, în sectoare prioritare ca: sudare, forjare, matrișare, prelucrare prin așchiere, vopsire, deservire tehnologică etc.

În domeniul sudurii și în domeniul prelucrării prin așchiere s-au conceput, experimentat și realizat roboți industriali, cu mai multe grade de libertate, de către agenți economici din București, Timișoara etc, împreună cu Universitățile Tehnice din București, Timișoara etc.

Acești roboți tehnologici au integrat traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, prin diferite soluții constructive (privind modul de prindere, de rigidizare, de înlăturare a perturbațiilor, etc.).

Utilizarea traductoarelor incrementale de poziție s-a extins în industria roboților tehnologici evidențiindu-se fidelitatea ridicată și varietatea sortotipodimensională a acestora.

Traductorul incremental de poziție se integrează acestor aplicații industriale prin intermediul unui cuplaj elastic ce permite preluarea unor abateri de montaj, cum sunt dezaxările radiale și unghiulare (fig. 8.7.2.).

Fixarea traductorului (1) de corpul robotului (2) se face prin intermediul unor bride (3) cu șuruburi (4), iar cuplarea traductorului la axul de transmitere a mișcării de rotație se face prin intermediul elementelor elastice, special realizate și anume prin cuplaje elastice (5) care au proprietatea de a transmite fidel și cu o precizie unghiulară ridicată, mișcarea de rotație și de poziționare. În fapt, aceste cuplaje sunt realizate în mai multe variante constructive și din mai multe tipuri de materiale, ceea ce oferă posibilități multiple de integrare a traductoarelor în construcția roboților industriali.

Fiabilitatea roboților de montaj în procesele tehnologice este dependentă de fiabilitatea tuturor componentelor și deci, de fiabilitatea sistemului de poziționare, respectiv a traductorului fotoelectric incremental de poziție propriu-zis, a cuplajului elastic și a elementelor mecanice de transmitere și transformare a mișcării.

Precizia de poziționare a robotului de montaj determină în fapt, performanța și locul acestui robot de montaj în procesele industriale și în industrie, în general.

### 8.8. Roboți industriali, cu mai multe grade de libertate, pentru industria constructoare de mașini

În industria constructoare de mașini pentru procesele tehnologice de sudare continuă în mediu protector de gaz, sudare în puncte, manipulări de piese sau scule, deservire mașini-unelte etc, s-au conceput, experimentat și realizat roboți industriali cu mai multe grade de libertate în mai multe variante constructive, tipul reprezentativ al acestora fiind arătat în fig. 8.8.1.

Acest tip de robot se caracterizează astfel: are cinci grade de libertate; o capacitate de manipulare de la 6,3 la 63 daN; rotație dreapta-stânga, sus-jos și înainte - înapoi, la brațe și rotație sus-jos și răsucire pentru mână; acționare servo-electrică cu comandă secvențială; traiectorie controlată punct cu punct și continuă; traductori de stare internă: pentru poziționare, traductor fotoelectric incremental; pentru viteză, tahogenerator; sistem de conducere tip CONTROLLER; limbaj programare cu instrucțiuni specializate; capacitate memorie pentru 1000 de pași.

Robotul are pe fiecare axă de rotație, câte un traductor fotoelectric incremental de poziție tip TIRO, fixat prin intermediul unor cuplaje elastice de precizie, asigurând o precizie ridicată de mișcare și poziționare a robotului pe fiecare axă.

Pentru procesele tehnologice, de deservire mașini unelte așchietoare, piese și manipulare etc, s-au conceput, experimentat și realizat, roboți industriali cu mai multe grade de libertate în mai multe tipodimensiuni, tipul reprezentativ fiind arătat în fig. 8.8.2.

Acest tip de robot se caracterizează astfel: are cinci grade de libertate; o capacitate de manipulare de până la 63 daN; rotație dreapta - stânga, sus - jos și înainte - înapoi, pentru brațe și rotație sus - jos și răsucire pentru mână; acționare servo-hidraulică cu comandă secvențială; traiectorie controlată punct cu punct; traductori de stare internă: pentru poziționare, traductori fotoelectrici incrementali; pentru viteză, tahogenerator; sistem de conducere; limbaj de programare cu instrucțiuni specializate; capacitate de memorie cu peste 800 instrucțiuni de deplasare.

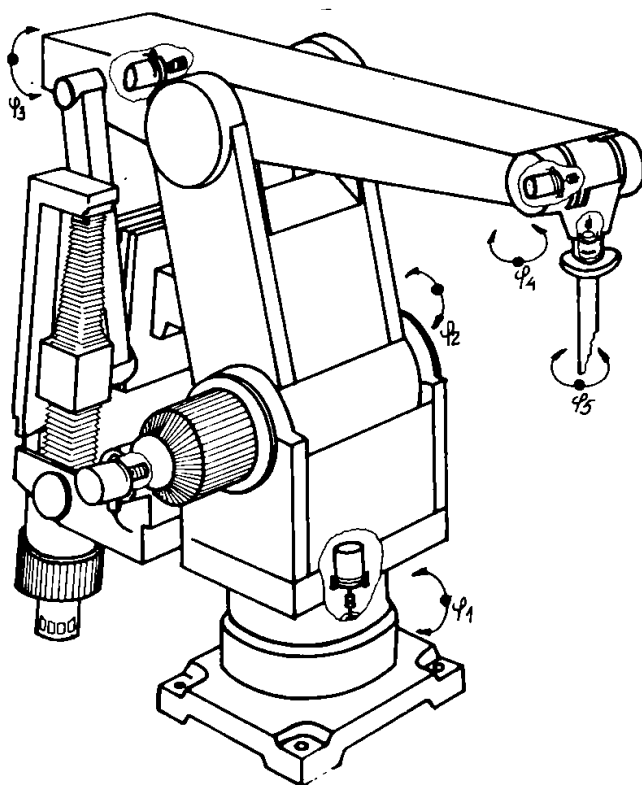


Fig. 8.8.1

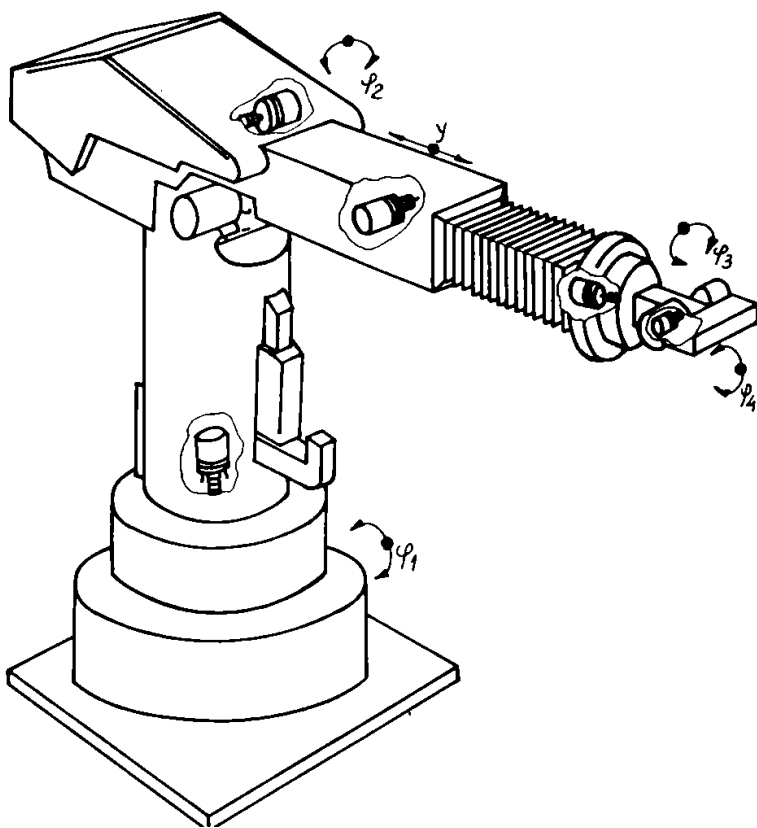


Fig. 8.8.2.

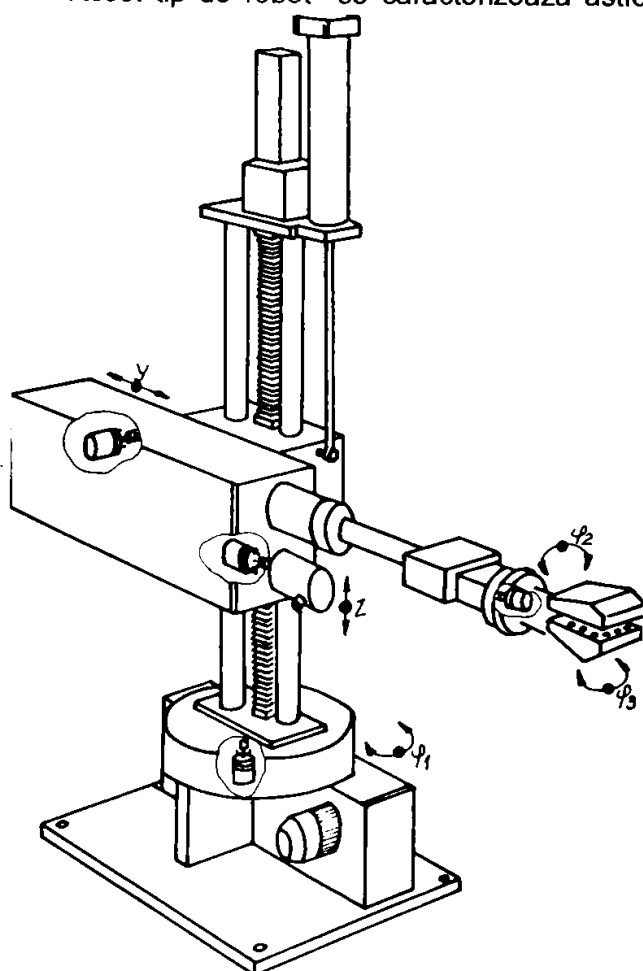


Fig. 8.8.3.

Pentru fiecare axă de rotație și pentru fiecare axă de deplasare, robotul are câte un traductor incremental tip TIRO fixat prin intermediul unui cuplaj elastic de precizie, asigurând astfel transmiterea de precizie a mișcării de rotație.

Pentru fiecare axă de deplasare, robotul are câte un traductor incremental tip TIRO, aflat în angrenare cu o cremalieră de precizie prin intermediul unui pinion de precizie, asigurând astfel transmiterea cu precizie a mișcării de deplasare.

Pentru procese tehnologice de deservire și manipulare piese pentru mașini unelte grele, prese de forță etc, s-au conceput, experimentat și realizat în țară roboți industriali în mai multe variante constructive și cu caracteristici tehnico- funcționale, adaptabile la necesitățile industriei, tipul reprezentativ fiind arătat în fig. 8.8.3.

Acest tip de robot se caracterizează astfel: are cinci grade de libertate; o capacitate de

memorie de 1000 instrucțiuni; o viteză de deplasare de până la 100 cm/s; o precizie dreapta- stânga și cursă sus-jos, înainte- înapoi pentru brațe și rotație dreapta - stânga și răsucire pentru mână; acționare servo- electrică cu comandă secvențială; traiectorie controlată punct cu punct; sistem de conducere de tip; limbaj de programare cu instrucțiuni specializate; capacitate memorie cu peste 800 instrucțiuni de deplasare ; traductori de stare internă; având pentru poziționare traductor fotoelectric incremental; pentru viteză, tahogenerator.

Pentru fiecare axă de rotație sau de deplasare, robotul are câte un traductor incremental, tip TIRO, fixat fie prin intermediul unui cuplaj elastic, fie prin intermediul unui pinion-cremalieră de precizie.

Pentru procesele tehnologice industriale de deservire mașini-unelte așchietoare, manipulare repere în incinta celulelor flexibile și alimentare automată de repere pentru utilaje grele, s-au conceput, experimentat și realizat roboți industriali în mai multe variante tipodimensionale, tipul reprezentativ al acestora fiind arătat în fig. 8.8.4.

Acest robot industrial se caracterizează astfel: are cinci grade de

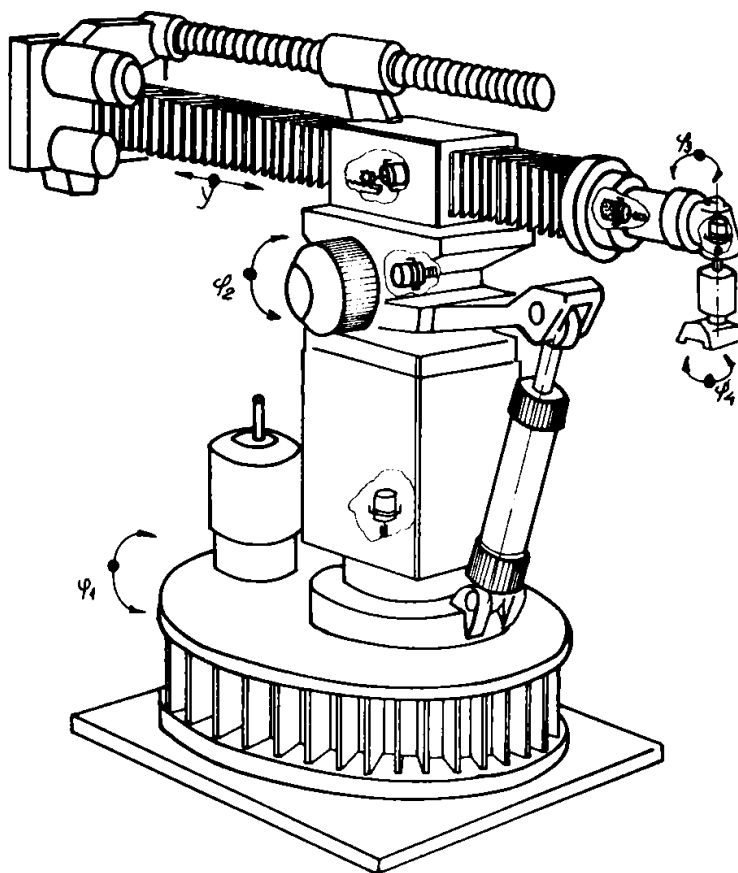


Fig. 8.8.4.

ieșirilor logice și a ieșirilor numerice BCD.

libertate; o capacitate de manipulare de 40 daN; rotație dreapta - stânga, sus - jos și cursa înainte - înapoi pentru brațe și rotație dreapta - stânga și răsucire pentru mâini; acționare servo-electrică cu comandă secvențială; traiectorie controlată punct cu punct; traductoare de stare internă; pentru poziționare, traductoare fotoelectrice incrementale; pentru viteză, tahogenerator; sistem de conducere; limbaj de programe cu instrucțiuni specializate; capacitate de memorie cu peste 500 instrucțiuni de deplasare.

Robotul are pe fiecare axă de rotație câte un traductor fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, fixat prin intermediul unor cuplaje elastice de precizie, asigurând astfel o precizie ridicată de poziționare a robotului pe fiecare axă.

Robotul asigură: flexibilitate, programabilitate ușoară, prelucrarea paralelă a datelor, autodiagnoză și autotest, supravegherea și dialogarea cu procesul tehnologic prin intermediul intrărilor logice, a intrărilor numerice codificate BCD, a

Pentru procesele tehnologice industriale de deservire mașini-unelte așchietoare, prese, manipulatori etc, s-au conceput, experimentat și realizat în țară, roboți industriali în diferite variante constructive, tipul reprezentativ al acestora fiind arătat în fig. 8.8.5.

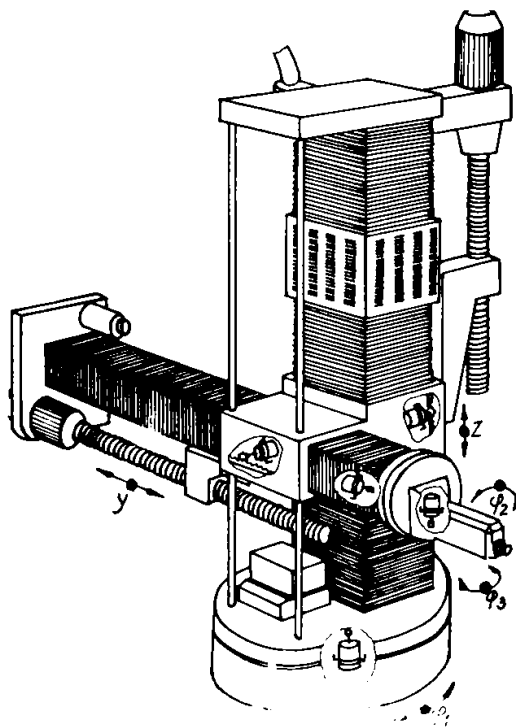
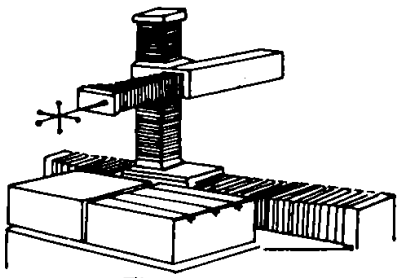
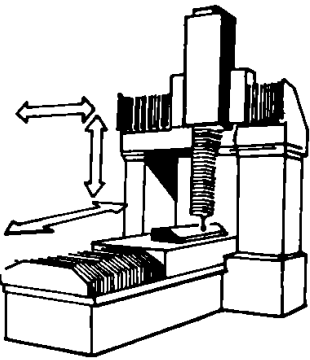
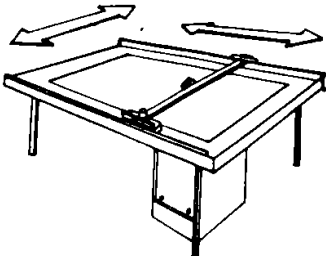


Fig. 8.8.5.

Acest robot industrial se caracterizează astfel: are cinci grade de libertate; o capacitate de manipulare de 25 daN; rotație dreapta - stânga, cursa sus - jos și înainte - înapoi pentru brațe și rotație dreapta - stânga și răsucire pentru axe; acționare servo-electrică cu comandă secvențială; traiectorie controlată punct cu punct; traductori de stare internă, pentru poziție traductor fotoelectric incremental și pentru viteză, tahogenerator; sistem de conducere cu limbaj de programare cu instrucțiuni specializate; capacitate memorie cu instrucțiuni de deplasare.

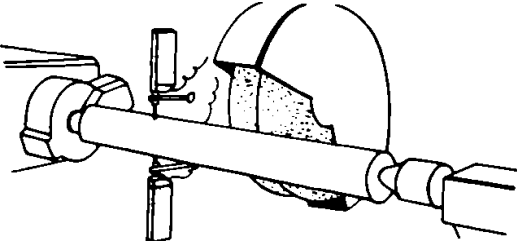
Robotul asigură: flexibilitate și siguranță în exploatare; supravegherea și dialogarea cu procesul tehnologic prin intermediul intrărilor și ieșirilor secvențiale; programabilitate ușoară.

### 8.9. Aplicațiile sistemelor fotoelectrice incrementale de deplasare , tip TIL

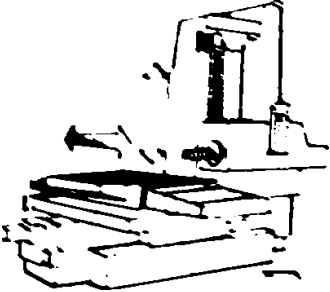
TIL	GRAFICUL APLICAȚIEI	DEFINIREA APLICAȚIEI
TIL, cu interval de măsurare > 100	1 În conformitate cu fig. 8.11.1	Echiparea mașinilor unelte cu NC și CNC;
	2  Fig. 8.9.1.	Echiparea roboților de control dimensional;
	3  Fig. 8.9.2.	Echiparea mașinilor de măsurat în coordonate;
	4 În conformitate cu fig. 8.12.1.	Echiparea dispozitivelor și instalațiilor speciale de control dimensional
	5 În conformitate cu fig. 8.1.11.1.; 8.1.15.1	Echiparea AMC-urilor de laborator (microscopie de măsurare, proiectare de laborator și atelier, mașini de măsurat lungimi, comparatoare ABBE etc.
	6  Fig. 8.9.3.	Echiparea meselor de desen și trasat

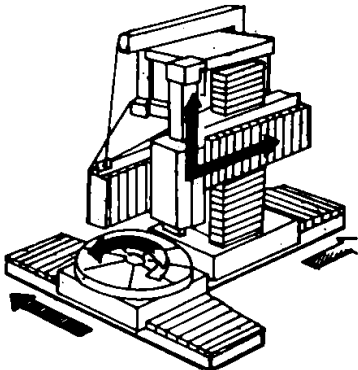
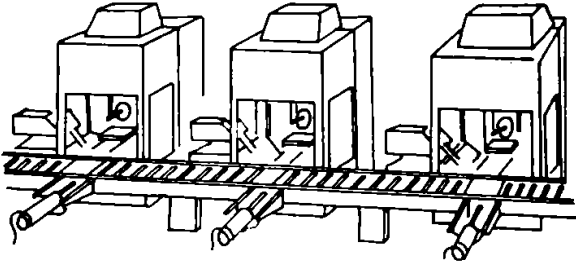
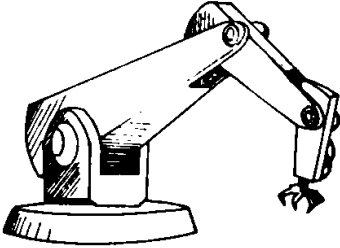
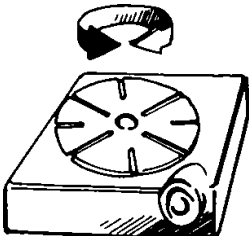


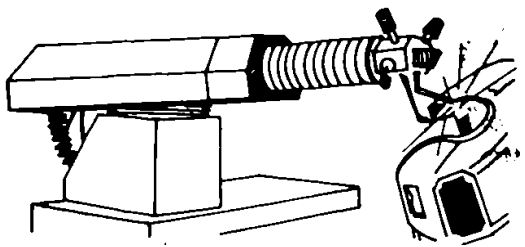
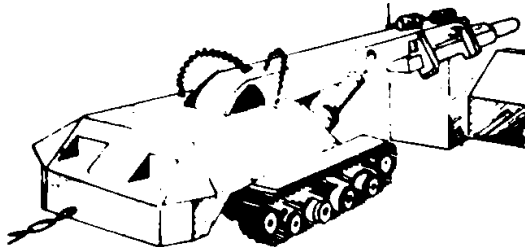
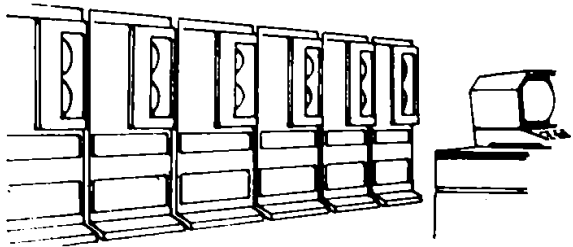
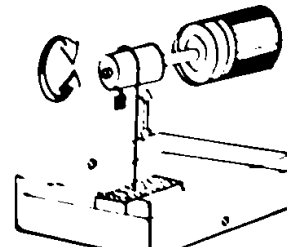
### 8.10. Aplicațiile sistemelor fotoelectrice incrementale de deplasare , tip TID-L

TID -L	GRAFICUL APLICAȚIEI	DEFINIREA APLICAȚIEI
TID - L cu interval de măsurare <100 mm	1. În conformitate cu fig. 8.12.1	Echiparea standurilor și dispozitivelor specializate de control, pentru controlul pasiv, inclusiv control statistic asistat de calculator;
	2.  Fig. 8.10.1.	Echiparea dispozitivelor și aparatelor specializate de control activ pe mașini de rectificat, superfinisat;
	3. În conformitate cu fig. 8.11.1	Echiparea roboților de măsurare cu acționare și comandă automată;
	4. În conformitate cu fig 8.1.11.1	Echiparea preșelor și ștanșelor în procesul tehnologic automat;
	5. În conformitate cu fig 8.1.8	Echiparea instalațiilor de tehnică de calcul;
	6. În conformitate cu fig 8.11.7.	Echiparea unor produse speciale;
	7. În conformitate cu fig 8.11.2.	Echiparea unor instalații specializate de prelucrat plăcuțe de siliciu, în microelectronică

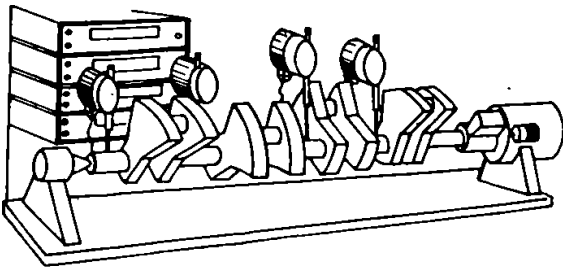
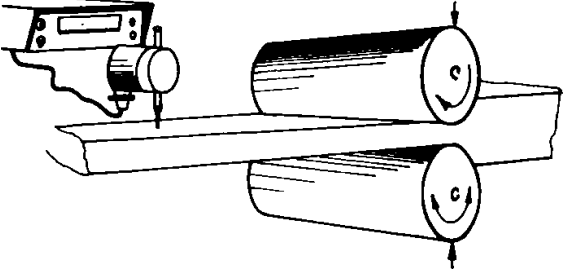
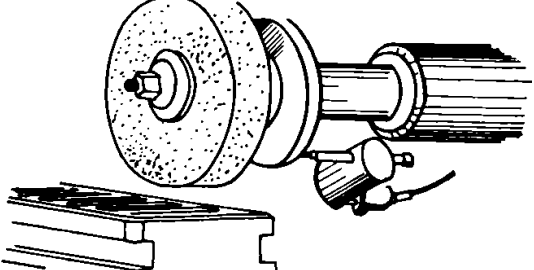
### 8.11. Aplicațiile traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO

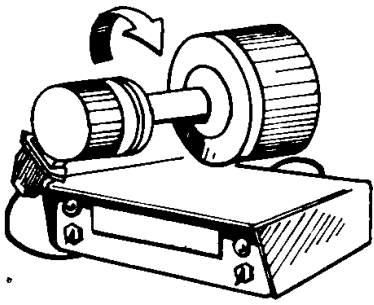

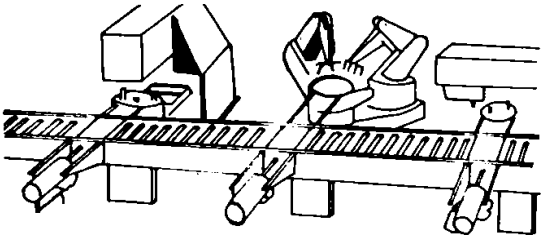
TIRO	GRAFICUL APLICAȚIEI	DEFINIREA APLICAȚIEI
TIRO 5° - 3600 imp/rot (standard)	1.  Fig. 8.11.1.	Echiparea mașinilor unelte cu NC și CNC

<p>TIRO 50 - 3600 imp/rot (standard)</p>	<p>2.</p>  <p>Fig. 8.11.2.</p>	<p>Echiparea centrelor de prelucrare;</p>
	<p>3.</p>  <p>Fig. 8.11.3</p>	<p>Echiparea liniilor flexibile automate;</p>
	<p>4.</p>  <p>Fig. 8.11.4.</p>	<p>Echiparea roboților industriali;</p>
	<p>5. În onformitate cu fig.8.11.1.</p>	<p>Echiparea roboților de control dimensional</p>
	<p>6. În conformitate cu fig. 8.1.14.1.</p>	<p>Echiparea mașinilor și instalațiilor de măsurat în 3 și mai multe coordonate</p>
	<p>7.</p>  <p>Fig. 8.1.15</p>	<p>Echiparea dispozitivelor specializate de control dimensional (mese rotative)</p>

TIRO - I	<p>8.</p>  <p>Fig. 8.11.6</p>	Echiparea roboților în secțiile de prelucrări mecanice, sudură etc.
TIRO-M 50 - 2000 imp/rot	<p>9.</p> <p>În conformitate cu fig. 8.12.2</p>	Echiparea laminoarelor;
	<p>10.</p>  <p>Fig. 8.11.7</p>	Echiparea roboților în industrii de forjă, turnătorie, sudură;
	<p>11.</p>  <p>Fig. 8.11.8</p>	Echiparea instalațiilor de tehnică de calcul și informatică;
	<p>12.</p>  <p>Fig. 8.11.9</p>	Echiparea instalațiilor de măsurat și verificat nivelul fluidelor;
	<p>13.</p> <p>În conformitate cu fig. 8.14.1, 8.16.1</p>	Echiparea unor AMC-uri (echipament de măsurat abateri de formă, micrometru de extensor digital)

### 8.12. Aplicațiile sistemelor fotoelectrice incrementale de poziție, tip TID-R

TID - R	GRAFICUL APLICAȚIEI	DEFINIREA APLICAȚIEI
TID - R, cu interval de măsurare < 100 mm	<p>1.</p>  <p>Fig. 8.12.1</p>	Echiparea standurilor și dispozitivelor specializate de control, pentru controlul pasiv inclusiv controlul statistic asistat de calculator;
	<p>2.</p>  <p>Fig. 8.12.2.</p>	Controlul on-line al proceselor tehnologice, în cadrul sistemelor de reglare automată;
	<p>3.</p>  <p>Fig. 8.12.3.</p>	Reglarea poziției elementelor mobile ale instalațiilor tehnologice, mașinilor unelte etc.;
	<p>4.</p> <p>În conformitate cu fig. 8.11.2</p>	Echiparea instalațiilor de presat material refractar;
	<p>5.</p> <p>În conformitate cu fig. 8.12.1.</p>	Echiparea unor dispozitive de control multidimensional;
	<p>6.</p> <p>În conformitate cu fig. 8.12.1</p>	Echiparea unor standuri de anduranță;
	<p>7.</p> <p>În conformitate cu fig. 8.12.6.</p>	Echiparea unor instalații tehnologice de control al grosimii materialului;

8.	 <p data-bbox="646 571 790 604">Fig. 8.12.4</p>	Echiparea echipamentelor de turație;
9.	 <p data-bbox="662 985 813 1019">Fig. 8.12.5.</p>	Echiparea echipamentelor și instalațiilor radar;
10.	 <p data-bbox="662 1377 805 1411">Fig. 8.12.6.</p>	Echiparea liniilor automate de montaj;
11.	În conformitate cu fig. 8.1.21.1; 8.1.4.1.	Echiparea dispozitivelor, aparatelor și instalațiilor de măsurat și trasat în una sau mai multe coordonate (șubler de măsurat și trasat în una și trei coordonate);
12.	În conformitate cu fig. 8.1.5.	Echiparea instrumentelor de măsurat alezaje cu afișare digitală;
13.	În conformitate cu fig. 8.1.16.	Echiparea sculelor pneumatice;

### 8.1.3. Aplicațiile traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, în robotica industrială

Nr. crt.	Denumirea tipului de robot	Descrierea robotului	Observații
1.	Robot industrial, pentru deservirea mașinilor - unelte aşchietoare cu capacitate 6,3 daN (fig. 8.2.1.)	Robotul are cinci grade de libertate, utilizează un sistem de comandă, program de conturare specific aplicațiilor de sudare continuă, program de deplasare punct cu punct și o capacitate de 6,3 daN.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Automatica- S.A. București.
2.	Robot industrial pentru sudură în puncte și manipulări piese/ scule cu capacitate 63 daN (fig. 8.2.3.)	Robotul are cinci grade de libertate, utilizează un sistem de comandă, program de comandă și conturare specific aplicațiilor de sudare , de manipulare piese și scule și de deservire mașini unelte, și o capacitate de 63 daN.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Automatica- S.A. București.
3.	Robot industrial pentru deservirea mașinilor- unelte aşchietoare cu capacitate 25 daN (fig. 8.2.2.)	Robotul are cinci grade de libertate, utilizează un sistem de comandă, program conturare specific aplicațiilor de sudare continuă și o capacitate de 25 daN.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Simtex București.
4.	Robot industrial pentru deservirea mașinilor - unelte aşchietoare cu capacitate de 63 daN (fig. 8.2.1.)	Robotul are cinci grade de libertate, utilizează un sistem de comandă, program conturare specific aplicațiilor de sudare, de manipulare piese și scule și de deservire mașini unelte și o capacitate de 63 daN.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Simtex București.
5.	Robot industrial pentru deservirea mașinilor - unelte, cu capacitate de 40 daN (fig. 8.2.1.)	Robotul are cinci grade de libertate și o capacitate de manipulare de 40 daN, utilizează un sistem de comandă servo-electric secvențial și un sistem de conducere [NUMEROM] și este destinat deservirii mașinilor unelte aşchietoare.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Simtex București.
6.	Robot industrial pentru deservirea mașinilor unelte și manipulare, cu capacitate de 40 daN (fig. 8.2.1.)	Robotul are cinci grade de libertate și o capacitate de manipulare de 40 daN, utilizează un sistem de comandă servo-electric secvențial și un sistem de conducere [NUMEROM] și este destinat deservirii mașinilor unelte aşchietoare și manipularii.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Simtex București.

7.	<b>Robot industrial pentru deservirea mașinilor unelte și manipulare, cu capacitate de 25 daN (fig. 8.2.1.)</b>	Robotul are cinci grade de libertate și o capacitate de manipulare de 25 daN, utilizează un sistem de comandă servo-electric secvențial și un sistem de conducere și este destinat deservirii mașinilor unelte așchietoare și manipulării.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la S.C. Simtex București.
8.	<b>Robot industrial pentru deservirea mașinilor - unelte pentru prelucrări speciale (fig. 8.2.3.)</b>	Robotul are cinci grade de libertate și se utilizează la deservirea mașinilor unelte așchietoare pentru prelucrări speciale.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la Universitatea Politehnică București.
9.	<b>Robot industrial pentru deservirea mașinilor - unelte pentru prelucrări prin așchiere în domeniul mașinilor agricole (fig. 8.2.3.)</b>	Robotul are cinci grade de libertate și se utilizează la deservirea mașinilor unelte așchietoare pentru prelucrări prin așchiere în domeniul mașinilor agricole.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la Universitatea Politehnică București.
10.	<b>Robot industrial pentru deservirea mașinilor - unelte pentru prelucrări prin așchiere (fig. 8.2.3.)</b>	Robot industrial are cinci grade de libertate și se utilizează la deservirea mașinilor unelte pentru prelucrări prin așchiere.	Robotul a fost conceput, experimentat și realizat la Universitatea Tehnică Timișoara.

## Capitolul 9. CONCLUZII FINALE ȘI PERSPECTIVE

Teza de doctorat reprezintă o lucrare, cu abordare sistemică, a cercetărilor și experimentărilor privind construcția traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție, utilizate în mecanică fină, mecatronică și robotică, realizată în cadrul Institutului Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecanică Fină - București, în care autorul și-a propus:

- pe de o parte, să conceapă și să realizeze întreaga problematică complexă și specială privind generarea rețelelor fotoelectrice incrementale divizor, vernier și de nul, tehnologiile speciale de execuție a acestora și traductoarele fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție.
- pe de altă parte să conceapă și să realizeze soluții tehnice pentru integrarea traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție în mecanica fină, mecatronică și robotică.

Pe baza rezultatelor cercetărilor și experimentărilor efectuate, autorul a conceput modelul matematic pentru proiectarea rețelelor fotoelectrice incrementale, a elaborat bazele teoretice privind sursele și determinarea erorilor, a realizat tehnologiile de procesare și generare pentru măștile master, șabloanele de lucru și elementele fotoelectrice incrementale, a realizat și integrat tehnologiile de execuție a elementelor fotoelectrice incrementale divizor, vernier și de nul, a conceput proiectarea și execuția traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție, în variante sortotipodimensionale și a proiectat și realizat soluțiile tehnico-constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție în mecanica fină mecatronică și robotică.

Rezultatele obținute de autor, în prezenta lucrare, aduc contribuții însemnate la realizarea unei game noi de aparate și echipamente de măsură și control cu afișare digitală cu sau fără calculator la modernizarea roboților de control și de deservire tehnologică. Lucrarea pune la dispoziția specialiștilor în domeniu, o parte din experiența sa, acumulată pe parcursul unei bogate activități de cercetare proiectare - producție, în care originalitatea abordării și rezolvării problemelor tehnice a fost confirmată prin numeroase certificări de produse, brevete de invenție, comunicări științifice și articole de specialitate.

### 9.1. Rezultate obținute și concluzii finale

Abordările, analizele teoretice, cercetările și experimentările realizate au condus implicit la următoarele concluzii:

1. A fost realizat studiul privind rețelele fotoelectrice incrementale utilizate în tehnica și geometria măsurării, analizând pe rând principiul de funcționare, precizia de măsurare și implicațiile tehnice și tehnologice și a stabilit necesitatea și tipul rețelelor fotoelectrice incrementale în utilizarea lor la traductoarele de măsurare a deplasării și poziției;

2. A fost definit modelul matematic pentru generarea rețelei fotoelectrice incrementale divizor, vernier și de nul și a fost concepută matricea bivalentă cu graficul fluxului luminos, funcție de deplasarea rețelelor incrementale.

3. A fost rezolvat nivelul matematic asociat, pentru rețeaua fotoelectrică incrementală de nul pentru toate tipurile de traductoare fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție.

4. A fost determinat în baza algoritmului și programului elaborat, graficul variației fluxului luminos pentru rețeaua fotoelectrică incrementală vernier și de nul, prin variația curentului electric, astfel obținându-se ca nivel performant și calitativ, deasupra celui realizat de firma Heidenhain din Germania. Rețeaua fotoelectrică incrementală vernier și de nul, este folosită atât pentru traductoarele fotoelectrice incrementale de deplasare cât și pentru traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție.

5. A fost determinată baza matematică teoretică a rețelelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție, obținându-se formulele variației curentului de scurt - circuit, diferite tipuri de erori ale rețelei incrementale (ca senzor) și subdivizarea electronică cu un număr dat.

6. A fost realizat studiul privind erorile de fază la rețelele fotoelectrice incrementale de deplasare și a stabilit formulele matematice ale acestor erori cauzate de imprecizia lăgăruirii, și de sistemul emitor-receptor, prin intermediul cărora se pot face calcule suficient de exacte ale acestor erori.



7. Au fost definite metodele de compensare a impulsului de perturbație la sistemele fotoelectrice incrementale (metode tradiționale, metode prin circuite logice, de legătură și comparator), experimentate și confirmate prin testare practică.

8. A fost definită influența excentricității și bătăii frontale la rețelele fotoelectrice incrementale de poziție asupra legii de variație a semnalelor de ieșire sinus-cosinus, obținându-se formule matematice ce pot evidenția semnalele suplimentare ce apar.

9. Concluziile, recomandările și soluțiile tehnice referitoare la realizarea măștilor master, șabloanelor de lucru și elementelor fotoelectrice incrementale, pe baza tehnologiilor de la S.C. ICE - Băneasa; S.C. ICPE - Buc; S. C. IOR - Buc. și S.C. Mecanică Fină Buc., cuprind:

- realizarea geometrică și cotarea tehnologică a configurațiilor rețelelor fotoelectrice incrementale divizor, vernier și de nul;
- realizarea de subprograme și programe de lucru pentru tehnologia de procesare;
- efectuarea cercetărilor de procesare;
- realizarea tehnologiei de procesare (mască master, șablon de lucru, element);
- realizarea tehnologiei de măsurare și control prin utilizarea rețelelor fotoelectrice incrementale.

10. Au fost concepute și calculate scheme noi cinemato-funcționale pe baza cărora au fost proiectate și experimentate:

- traductoare de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TID-L; traductoare fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, (30 ÷ 3600 impulsuri/ rotație) etc;
- subansamble bloc fotoelectrice incrementale ( 30 ÷ 10000 impulsuri/ rotație);

11. Pentru integrarea traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție în aplicațiile industriale:

- s-au elaborat analiza, calculul, proiectarea și experimentarea cuplajelor elastice de torsiune (simple, duble și multiple);
- s-a conceput și realizat standul de încercare și măsurare a caracteristicilor tehnico-funcționale ale cuplajelor elastice.

12. Pentru asigurarea unei funcționări optime privind traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție, s-au conceput și executat:

- dispozitivul optico- mecanic de centrare a discurilor incrementale divizor și vernier;
- stand de încercare și măsurare a caracteristicilor tehnico-funcționale ale traductoarelor incrementale de poziție.
- s-a conceput și realizat standul de încercare și măsurare a caracteristicilor tehnico-funcționale ale traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție.

13. Conceperea și realizarea rețelelor fotoelectrice incrementale divizor, vernier și nul, atât liniare cât și circulare, au permis pe de o parte, realizarea de noi traductoare, aparate și echipamente de măsură și control cu afișare digitală, iar pe de altă parte, echiparea și modernizarea roboților de control dimensional și de deservire tehnologică, mașinilor-unelte etc.

## 9.2. Valorificarea rezultatelor cercetărilor efectuate

Rezultatele investigațiilor teoretice și cercetărilor experimentale efectuate de autor și-au găsit valorificarea concretă în:

a. Realizarea de noi echipamente și aparate de măsură și control:

- Șublere de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare și poziție, tip TIL și tip TIRO, cu afișare digitală/ **Brevete nr. Ro/92519; Ro/92177; Ro/93718/;**

- Cap micrometric, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală /**Brevet nr. Ro/92176/;**

- Micrometre de exterior cu sistem fotoelectric incremental de deplasare sau de poziție, tip TIL și tip TIRO, cu afișare digitală /**Brevet nr. Ro/ 92175/;**

- Traductoare fotoelectrice incrementale de poziție, tip TIRO, cu două axe la ieșire;

- Traductoare de deplasări mici și mari cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TID-L, tip TIL și tip TID-R /**Brevet nr. Ro/92178; Ro/ 118484/**

- Aparat de măsurat și trasat pe verticală în una și trei coordonate, cu sisteme fotoelectrice incrementale de poziție tip TIRO /**Brevet nr. Ro/ 117465/;**

- Aparat de control activ automat, cu sistem fotoelectric de deplasare tip TIL, cu afișare digitală și microprocesor;

- Aparat de măsurat lungimi pe verticală, tip ABBE, cu sistem fotoelectric incremental de deplasare, tip TIL, cu afișare digitală;
- Cap divizor cu sistem fotoelectric incremental de poziție tip TIRO, cu afișare digitală **/Brevet nr. Ro/ 120620/**;
- Masă divizoare cu sistem fotoelectric incremental, tip TIRO, cu afișare digitală **/Brevet nr. Ro/120620/**;
- Microscop de măsurare pentru ateliere, cu sistem fotoelectric incremental, tip cap micrometric fotoelectric, cu afișare digitală **/folosit și Brevet nr. Ro/ 92176/**;
- Proiector de profile pentru atelier, cu sistem fotoelectric incremental, tip cap micrometric fotoelectric cu afișare digitală **/folosit și Brevet nr. Ro/ 92176/**;
- Echipament de măsurat în două coordonate, cu cameră TV, cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală;
- Echipamente de prereglat scule tip cuțit și tip bară de alezat, cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare și de poziție, tip TIL și tip TIRO, cu afișare digitală;
- Manivelă electronică cu sistem fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO, cu afișare digitală **/folosit și Brevet nr. Ro/ 94404/**.

**b. Echiparea și modernizarea:**

- b<sub>1</sub>**. roboților de control și deservire tehnologică pentru industria de mecanică fină și industria constructoare de mașini (cu cinci grade de libertate);
- b<sub>2</sub>**. mașinilor unelte și centrelor de prelucrare cu NC și CNC;
- b<sub>3</sub>**. sistemelor flexibile de prelucrare;
- b<sub>4</sub>**. dispozitivelor și instalațiilor speciale de control dimensional;
- b<sub>5</sub>**. meselor de desenat și trasat;
- b<sub>6</sub>**. instalațiilor de tehnică de calcul;
- b<sub>7</sub>**. tehnicii militare;
- b<sub>8</sub>**. etc.

O valorificare concretă a rezultatelor obținute, o constituie utilizarea modelului matematic de generare a rețelei incrementale de nul, pentru realizarea de noi măști master pentru șabloane de lucru în funcție de cerințele altor aplicații industriale și totodată folosirea modelului ca instrument de lucru pentru specialiștii din domeniu, în activitățile lor de concepție sau universitare.

### **9.3. Contribuții originale ale autorului**

**Principalele contribuții originale ale autorului cuprinse în prezenta teză de doctorat, constau:**

- conceperea și definirea modelului matematic, în variabile bivalente, al simulării funcționale pentru generarea rețelei fotoelectrice incrementale vernier și de nul, care este o rețea incrementală cu pas variabil și care permite, în cazul traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare, sesizarea efectuării unei lungimi standard sau determinarea zonelor de capăt la îmbinarea cap la cap a riglelor incrementale, iar în cazul traductoarelor fotoelectrice incrementale de poziție permit sesizarea efectuării unei rotații complete;
- rezolvarea modelului matematic, determinat pentru rețeaua fotoelectrică incrementală vernier și de nul prin metoda programării neliniare bivalente cu asocierea unor teoreme și propoziții matematice special concepute;
- conceperea și determinarea procedurii de generare automată pe calculator, cu obținerea de restricții filtru și definirea primului element, pentru rețeaua fotoelectrică incrementală vernier și de nul, atât pentru rețeaua incrementală liniară cât și pentru rețeaua incrementală circulară;
- conceperea și elaborarea algoritmului matematic pentru programul de realizare al rețelei fotoelectrice incrementale vernier și de nul;
- determinarea graficului variației fluxului luminos prin variația curentului electric rezultat, pentru rețeaua fotoelectrică incrementală de nul, cu diferența rezultată, între amplitudinea cea mai mare și media amplitudinilor mici, mai mare decât cea realizată de firma Heidenhain din Germania (firma cea mai renumită pe plan mondial), obținându-se astfel nivel performant și calitativ superior celui pe plan mondial;
- conceperea și elaborarea bazei matematice teoretice a rețelelor fotoelectrice incrementale liniare și circulare, prin intermediul căreia s-au determinat formulele de calcul a

variației intensității curentului de scurt-circuit și a variației tensiunilor corespunzătoare fotoelementelor în "push-pull";

- determinarea formulelor matematice privind calculul erorilor de fază la rețelele fotoelectrice incrementale liniare, luându-se în seamă imprecizia lăgărului acestora și imprecizia sistemului receptor.

- conceperea și elaborarea metodelor electronice de compensare a impulsului de perturbație la sistemele fotoelectrice incrementale;

- determinarea formulelor matematice privind influența excentricității și bătăii frontale la rețelele fotoelectrice incrementale de poziție asupra legii de variație a semnalelor de ieșire sinus-cosinus, prin intermediul cărora se calculează erorile cauzate de semnalele suplimentare apărute;

- elaborarea și determinarea tehnologiei de realizare a măștilor master și șabloanelor de lucru pentru discurile incrementale divizor și vernier prin experimentare și integrare la S.C. ICPE - Buc, cu determinarea organigramei tehnologice;

- elaborarea și determinarea tehnologiei de procesare a măștilor master pentru riglele incrementale, divizor și vernier, prin experimentare și integrare la S.C. ICPE - S.A. - Buc;

- generarea automată a măștilor master și șabloanelor de lucru pentru rețelele incrementale liniare și circulare prin metoda fotocompoziției, cu mai multe reduceri microfotografice, prin experimentare la S.C. Cercetări Electronice - S.A. Băneasa, cu efectuarea cercetărilor de proces tehnologic (parametrii tehnologici, programe de desenare și tăiere automată) și determinarea organigramei tehnologice;

- elaborarea și determinarea tehnologiei de realizare a măștilor master și șabloanelor de lucru pentru riglele incrementale, divizor și vernier, prin metoda fotogravării cu interferometru cu laser în infraroșu, prin experimentare și integrare la S.C. Cercetări Electronice - S.A. Băneasa, cu determinarea organigramei fluxurilor tehnologice;

- elaborarea tehnologiei de realizare a șabloanelor de lucru pentru discurile incrementale divizor și vernier, prin experimentare și integrare la S.C. IOR - S.A. Buc, cu realizarea organigramei tehnologice;

- elaborarea și determinarea fluxului tehnologic de execuție a elementelor incrementale circulare și liniare, experimentată și integrată la S.C. Cercetări Electronice - S.A. Băneasa;

- elaborarea și determinarea tehnologiei de execuție a discurilor și riglelor incrementale, divizor și vernier, prin experimentare și integrare la S.C. Mecanică Fină - S.A. Buc;

- proiectarea, execuția și calculul traductorului de deplasări mici cu sistem fotoelectric incremental de deplasare tip TID-L;

- proiectarea și execuția traductorului fotoelectric incremental de poziție, tip TIRO;
- calculul, proiectarea și execuția cuplajelor elastice (tip simple, duble sau multiple; raporturile de mișcare și de forță; rigiditatea longitudinală și unghiulară);

- proiectarea și execuția dispozitivului de centrare a discurilor incrementale de rotație, standului de încercare și măsurare a caracteristicilor cuplajelor elastice și standului de încercare și măsurare a caracteristicilor traductorului incremental de poziție, tip TIRO;

- conceperea, proiectarea și execuția pe baza rezultatelor cumulative ale cercetărilor experimentale desfășurate de-a lungul mai multor ani, a soluțiilor tehnico-constructive de integrare a traductoarelor fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție pentru:

- a. realizarea de noi aparate și echipamente de măsură și control, cu afișare digitală;
- b. echiparea și modernizarea roboților de control și deservire tehnologică, a mașinilor unelte și centrelor de prelucrare cu NC și CNC, a sistemelor flexibile de prelucrare, a tehnicii militare etc.

#### 9.4. Perspective

Abordarea acestui domeniu a permis rezolvarea unor idei și soluții noi, a deschis și alte direcții și perspective ce pot fi investigate și cercetate, ca o continuare firească a tezei:

1. Cercetările experimentale privind rețelele fotoelectrice incrementale pot fi extinse:

- a. la miniaturizarea și modernizarea unor grupe de aparate și echipamente de măsură și control dimensional cu afișare digitală, cu/ fără calculator;

**b. la diversificarea și dezvoltarea de noi aparate și echipamente de măsură și control dimensional cu afișare digitală încorporată;**

**c. la conceperea și realizarea de noi mijloace de control informatizate destinate dotării și certificării unor laboratoare metrologice de încercări;**

**d. la conceperea de rețele fotoelectrice incrementale de precizie și control a deplasării nanometrice.**

**2. Extinderea în perspectivă a cercetărilor experimentale poate cuprinde studii aprofundate privind elaborarea și dezvoltarea unei "noi tehnici de difracție a luminii", folosită pentru realizarea unor traductoare în concepție nouă, cu folosirea interferenței între două ordine de difracție, produse de aceeași rețea, pentru a genera un semnal sinusoidal aproape perfect, pe o matrice de fotodetectori, plasată în zona franjelor;**

**3. Extinderea în perspectivă a cercetărilor aplicative a rețelelor fotoelectrice incrementale în regim dinamic și risc ridicat, pentru integrare în tehnica militară de perspectivă.**

**4. Conceperea tehnologiilor înalte de realizare a noi rețele fotoelectrice incrementale prin "întreprindere distribuită";**

**5. Conceperea și realizarea unei instalații automate cu sisteme fotoelectrice incrementale de deplasare și poziție precise, pentru etalonarea de ordinul I, a unor mijloace de măsurare și control.**

**6. Conceperea și realizarea de sisteme expert pentru diagnoză și decizie a nivelului calitativ.**

**7. Conceperea și realizarea de "microsisteme fotoelectrice incrementale" cu utilizări practice în viitor (roboți chirurgicali, tehnici militare și spațiale etc);**

**8. Conceperea de noi traductoare fotoelectrice incrementale de poziție precise, cu citire dublă pentru eliminarea completă a erorii de excentricitate a discurilor incrementale divizor și vernier.**

## Capitolul 10. BIBLIOGRAFIE

1. **Abbott, T.D.** : Design of a Moire Fringe Torque Transducer, IBM Journal, 1966;
2. **Andreiev, N.** : On-Line Optical Gaging, Control Eng., vol 27, no. 11, 1980, p.78;
3. **Bailey, S.J.**: Incremental Motion Control; Control Eng. , vol. 28, no. 5, 1981, p. 93;
4. **Bailey, S.J.**: Precise positioning: A matter of Sensors and Loop Dynamics; Control Eng., vol. 27, no. 12, 1980; p.50;
5. **Bovey, E.**: Graticules and fine scales their production and application in modern measuring systems; Journal of Scientific Instruments, 1962, v. 39; no.8;
6. **Bierren, K.**: Lens design for optical Fourier transform systems; Appl. Optics, 1971, v 10, no 12;
7. **Braslavski, D. A., Petrov, V. V.** : Tocinosti izmeritel'n ih ustroistv ; M. Maşinostroenie, 1976;
8. **Burch, J.M.** : The Metrological Applications of Diffraction Gratings; Nort - Holland Publishing Co. , Amsterdam, 1963;
9. **Chorkey, E. S.** : Shaft encoders, Electromechanical Design; 1987, no.1;
10. **Colotihin, E. E.**: Fotoelectriceskii preobrazovateli balşih linein ih paremuşcenii; Pribor i sistem i upravlenia; 1987;
11. **Considine, Douglas M. & Considine, Glenn, D.**: Process Instruments and controls handbook ; 1985, New York , USA;
12. **Coleman, Hugh W. & Steel, W. Glenn Jr.** : Experimentation and uncertainty analysis for engineers; 1 -st. ed. New York, John Willey & Sons. 1989;
13. **Demian, T., Curatu, E.**: Aspecte noi ale calculului erorii mecanismelor din domeniul aparatelor; SYROM '87, Bucureşti, Romania;
14. **Demian, T., Udrea, C., Panaitopol, H.**: Unităţi specializate pentru montajul automat, adaptabile roboţilor industriali; la al III-lea SNRI, parte I- Bucureşti, oct. 1983;
15. **Demian, T.**: Mecanisme şi elemente de construcţie de mecanică fină; vol. II, Edit. Didactică, Bucureşti, 1980;
16. **Demian, T.**: Calculul şi construcţia elementelor de mecanică fină; Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1972;
17. **Demian, T., Pascu, A.**: Lagăre şi ghidaje pentru aparate; Ed. Academiei României; Bucureşti, 1980;
18. **Demian, T., Tudor, D., Grecu, E.**: Mecanisme de mecanică fină; Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982;
19. **Dodoc, P.**: Metrologie generală; Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979;
20. **Dodoc, P.** : Teoria şi construcţia sistemelor optice; Ed. Tehnică, Bucureşti, 1983;
21. **Davies, B.J.**: A continuous path machine tool control system using coarse optical gratings; International Journal of Machine Tools Design and Research, 1982;
22. **Drozdov, E. A. i drughie**: Avtomaticeskoie preabrazovanie i codirovanie informăţii; 1974;
23. **Davies , B. J. ş.a.**: A high resolution measuring systems using coarse optical gratings Proceedings of IEE; 1980 no.11;
24. **Doi, Y. , Suzuki, H.** : A numerically controlled linear dividing machine; AMEKO, 1984;
25. **Davidoviciu, A. , Magda, R.**: Roboţi industriali; Ed. Tehnică, Bucureşti, 1983;
26. **Davidovitch, B. , Maron, I.** : Elementes de calcul numeriques; Edition Mir, Moscou, 1976;
27. **Dodescu, Gh.**: Calculatoare electronice şi sisteme de operare; Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975;
28. **Danilov, A. A.**: Senconrnie ustroistva avtomatov; Leningrad, Maşinostroenia, 1983;
29. **Ebbeni, J.**: Etude general du phenomene de moirure; Universite Libre de Bruxelles;1988;
30. **Ermolaev, I.V. I drughie**: Crascetu oşibki scitivanja fotoelectriceskikh preabrazovateli ugol -ţifra; Pribor i sistem i upravlenia, 1987, nr.6;
31. **Gabidulin, M.A. I drughie**: Fotoelectriceskii preabrazovateli " polojenie - faza" ; V. Cn, R. Rod, 1979, nr. 13;
32. **Gitis, E. I.** : Preabrazovateli informăţii dlia electron ih ţifrov ih vicislitel'n ih maşin i; M - L. Gasenergonzdat, 1971;
33. **Glass, I.**: Optical shoft encoders Electronic Equipment News; 2-nd ed.; 1986. no. 11;
34. **Guild, I.**: The interference systems of crossed diffraction gratings. Theory of moiré fringes; Oxford, Clarendon Press, 2-nd, 1986;

35. **Goludovski, M.I.:** Fotoelectrice metode controla lineinîh i uglovîh velicin: Referativnîi Dbornic G; 1970;
36. **Gheorghe, Gh. :** Implementarea senzorului opto-electronic cu cameră TV la roboți; la al 5-lea Simpozion de tehnologii și echipamente de testare automată, 11-12 nov.1986, Cluj - Napoca;
37. **Gheorghe, Gh.:** Proiectarea unui robot de control dimensional cu 5 grade de libertate; la al 6 - lea Simpozion Național de roboți industriali, 27-29 oct. 1986, București;
38. **Gheorghe, Gh. :** Traductoare fotoelectrice incrementale de măsurare și poziționare în soluții modernizate, utilizate în robotica industriale; la al 6 - lea Simpozion Național de roboți industriali, 27-29 oct. 1986, București;
39. **Gheorghe, Gh.:** Contribuții privind îmbunătățirea frecărilor în lagărele traductoarelor fotoelectrice incrementale pentru roboți, la a 6-a Conferință de Tribotehnică, 11 - 12 mai, 1986, Iași;
40. **Gheorghe, Gh. :** Cercetări privind îmbunătățirea ghidării la traductoarele fotoelectrice incrementale de deplasare; la a 6-a Conferință de Tribotehnică, 11 - 12 mai, 1986, Iași;
41. **Gheorghe, Gh.:** Sisteme automate de control; la seminarul CEE - ONU, sept. 1984, Sofia, Bulgaria;
42. **Gheorghe, Gh., Dușa, M., Țăranu. P:** Programarea pe calculator a rețelelor fotoelectrice incrementale radiale și liniare; la a 4-a Conferință AMC- Lungimi, 8-10 nov. 1986, București;
43. **Gheorghe, Gh., Catranji, V., Popescu, A.:** Metodă originală privind determinarea distribuției rețelei incrementale de nul la discurile și riglele fotoelectrice; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
44. **Gheorghe, Gh., Popescu, A.:** Algoritmul de rezolvare al modelului matematic de determinare optimală a distribuției rețelei incrementale de nul; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
45. **Gheorghe, Gh., Țăranu, P., ș.a.:** Realizarea histogramei discurilor și riglelor incrementale din sistemele de măsurare fotoelectrice incrementale liniare și de poziție; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
46. **Gheorghe, Gh., Țăranu, P.:** Tehnologii de realizare a elementelor incrementale liniare și radiale pentru traductoarele fotoelectrice utilizate în controlul dimensional; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
47. **Gheorghe, Gh., Catranji, V.:** Optimizarea geometrică a rețelelor fotoelectrice incrementale iniare și radiale; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
48. **Gheorghe, Gh. :** Contribuții și soluții privind rezolvarea semnalului de "0 absolut" la rețelele fotoelectrice ale traductoarelor incrementale de deplasare și de poziție; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
49. **Gheorghe, Gh., Catranji, V., Popescu, A.:** Restricții filtru în programarea liniară bivalentă cu număr finit de soluții utilizate la proiectare rețelelor fotoelectrice incrementale de nul, cu pas variabil; la Sesiunea de realizări în domeniul electronicii profesionale, 11-15 sept. 1988, Snagov;
50. **Gheorghe, Gh., Catranji, V., Popescu, A.:** Proiectarea rețelelor incrementale de nul cu pas variabil, după un model matematic original, cu aplicație la traductoarele fotoelectrice incrementale de poziție; la Sesiunea de realizări în domeniul electronicii profesionale, 11-15 sept. 1988, Snagov;
51. **Gheorghe, Gh.:** Traductoare și sisteme cu traductoare pentru măsurători inteligente și computerizate, în controlul dimensional; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
52. **Gheorghe, Gh., Dușa, M. :** Tehnologii de realizare a măștilor incrementale pentru discurile incrementale de poziție; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
53. **Gheorghe, Gh., Dușa, M., Țăranu. P.:** Tehnologii de realizare a rețelelor fotoelectrice incrementale, radiale și liniare; la a 5-a Conferință AMC-Lungimi, martie, 1987, București;
54. **Gheorghe, Gh.:** Aparate de măsură și control, bazate pe traductoare fotoelectrice; la Simpozionul Tehnomus -, Suceava, 1988;
55. **Gheorghe, Gh., Catranji, V., Popescu, A.:** Restricții filtru în rezolvarea unui model finit de programare neliniară cu un număr foarte mare de soluții, utilizat pentru rețeaua incrementală de nul; la a 3-a Conferință COMEFIN, oct, 1990, Brașov;

56. Gheorghe, Gh., Catranji, V.: Rezolvarea originală pe calculator a proiectării rețelelor incrementale de nul cu pas variabil, cu aplicații la traductoarele fotoelectrice incrementale, tip TIRO; la COMEFIN-4, oct 1994, București;
57. Gheorghe, Gh.: Traductoare fotoelectrice incrementale utilizate în măsurări inteligente pentru controlul dimensional; la SNM, 23-24 mai 1996, București;
58. Gheorghe, Gh.: Intelligent and computered measuring by means of complex systems and equipments of automatic dimensional control, the method to objectively diagnosticate the quality; la Simpozionul Internațional IMEKO, mai 1996, Germania;
59. Gheorghe, Gh., Curatu, E.: Traductoare incrementale de poziție și deplasare, elemente de bază în poziționarea rectilinie și unghiulară a roboților industriali; la Simpozionul Național de Robotică, oct, 1988, București;
60. Gheorghe, Gh.: Traductoare incrementale de măsurare și poziționare în soluții modernizate, utilizate în robotica industrială; la COMEFIN 4 , oct. 1994;
61. Gallagher, N. C. , Liu, B.: Class of optimum spatial filters; Josa, 1975;
62. Guildle, J. : The Interference Systems of Crossed Diffraction Gratings; Oxford, Univ. Press, 2-nd ed. 1986;
63. Horne, D.F.: Dividing, ruling and mask - making; Adam Hilger, Londra 1974;
64. Hewit, J.R., Padovan, J. : Decoupled feedback control of robot and manipulator arms; in " Third CISM - IFTOMM, Simposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators" , Udine, Italy, 2-nd ed. 1988;
65. Iakusenkov, I. , G. : Osnovî teapi i rasceta optico - electronîh priborov; M. a 2-a ed., 1981;
66. Iznar, A.N.: Electrono-opticeskie priborî; M, 1977;
67. Iznar, A.N., Pavloc, A.V. , Fedorov, B.F.: Optiko - electronie priborî kosmiceskih aparatov; M, 1972;
68. Ispas, V.: Roboți industriali; Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1985;
69. Karasik, Ia. B. : Fotoelectriceskie izmeritelnie ustroistva dlia avtomatizații upravlenia stankami; I. Tehnica, Nr. 4, 1987;
70. Kovacs, Fr. , Cojocar, G.: Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor Industriale, Ed. Facla, Timișoara, 1982;
71. Kovacs, Fr.: Cu privire la unele probleme ale concepției, realizării, implementării în producție și exploatării roboților industriali; la al 3-lea SNRI, partea a II-a , București, 27-29 oct. 1983;
72. Kovacs, Fr., Mureșanu, T., Gheorghiu, N., Rădulescu, C., Popescu, V. , Jianu, I.: Robotul industrial REMT - 3; la al 3-lea SNRI, partea a II-a , București, 27 - 29 oct. 1983;
73. Kovacs, Fr., Rădulescu, C. , Malai, D.: Considerații cu privire la arhitectura generală a roboților industriali; la I -ul SNRI , București, 28-31 oct. 1981;
74. Kovacs, Fr.: Contribuții la elaborarea unei terminologii de robotică; la I -ul SNRI , București, 28-31 oct. 1981;
75. Kovacs, Fr.: Unele probleme economico-organizatorice și social - umane de implementare a unui robot industrial; la al II -lea SNRI , București, 28-30 oct. 1982;
76. Kovacs, Fr., Mureșanu, T., Popa, H.: Principii în tipizarea seriilor unitare și familiilor de roboți industriali; la al 3-lea SNRI, partea I-a , București, 27-29 oct. 1983;
77. Kovacs, Fr.: Ce nu este un robot industrial; la al 5-lea SNRI, București 17-19 oct. 1985;
78. Kovacs, Fr., Mureșanu, T., Micșa, I. , Urdea, G., Șelariu, M.: Celula de fabricație experimentală pentru prelucrarea unor piese în formă de disc; la al 3-lea SNRI, partea a II-a , București, 27-29 oct. 1983;
79. Koridorf, C.F.: Fotoelectriceskie izmeritelnie ustroistva v mașinostroenii; M, 1975;
80. Kuo, B. C. , Kelemen, A. , Crivii, M. , Trifa, V.: Sisteme de comandă incrementală a poziției; Ed. Tehnică, București, 1981;
81. Levsin, V. L.: Practranstvensia filtrația v opticeskih sistemah pelengațin; M , 1981;
82. Litvak, A. I. : Fotoelectriceskie datici v sistemah controlia upravlenia I regulirovania; M 1976;
83. Lenz, C. E.: Analysis of a miniature encoder for arc-second measurement in avionic systems; ISA, 20-th Annual ISA Conference, October 4-7, Los Angeles, v-20, part. 3, N.7, 1988;
84. Miron ,A.: Amplifications par trames; Mecanique et metrologic, Paris, 1964;
85. Mocanu, D.R.: Fenomenul Moiré și aplicațiile lui în tensometrie; Ed. Tehnică, București, 1971;
86. Mellwraith, A. H.: A moiré fringe interpolator of high resolution; Journal of Scientifical Instruments, vol. 41, 2-nd, ed. 1984;
87. Moye, J.M. ș.a. : An Evolution of Precision Shaft Angle Encoders ; Journal, 1969, V.8 N.11;

88. Millane, J. M. ș.a.: Shaft encoders, Electromechanical Design, 1966, N.1;
89. Oster, J. ș.a. : Theoretical Interpretation of Moire Patterns; Journal of the Optical Society of America, 1984, v 54, N2;
90. Rivkir, S.M.: Fotoelectricieskie iavlenie v poluprovodnicah; Fizmatgiz, 1963;
91. Russel, A: An absolute digital measuring systems using an optical grating and shaft encoder; Instrument review; 1966, N.6;
92. Rajleigh, I.: On the manufacture and theory of diffraction gratings; Scientific Patterns, 1 , 209, Phil, Mag.k v. 47, 1986;
93. Righi, A.: Sui fenomeni etre si producero colla surraposizione di due reticoli a sopra alcune lora applicazioni; Suove Cimenta, vol. 22, 1988;
94. Slinsarev, G. G.: Metodī rasceta opticeskih sistem; M , 1969;
95. Soboleva, N. I drughie : Fotoelectricieskie priborī; M , 1969;
96. Sydenkom, H.P.: An optical icremental shaft resolver using plastic radial gratings; Journal of Scientific Instruments, 1967, v. 44;
97. Sydenkom, H.P.: Production of radial line grating using a mechanical - photographic apparatus; Journal of Scientific Instruments, 1966;
98. Sandu, A., Cîrțu, D., Brezeanu, P. , Perianu, L.: Robot industrial cu deplasare în coordonate cilindrice; la al 5-lea SNRI , București, 17-19 oct. 1985;
100. Sandu, A., Cîrțu, D., Brezeanu, P. , Perianu, L.: Robot industrial cu deplasare în coordonate sferice; la al 5-lea SNRI , București, 17-19 oct. 1985;
101. Spinu, G.A., Linkin, A.A. , Sergotski , G.I.: Method of Control of Industrial Robots for arc welding; in Second CISM- IFTOMM, International Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulator, Warsaw, Poland, 1976;
102. Soboleva, N.A., Melamid, A.E.: Fotoelektronie priborī; M, 1974;
103. Sliurapev , G.G.: Metodī rasceta opticeskih sistem; M, 1969;
104. Theocoris, S. P.: Moire fringes: A powerfull mesuring device; Aplied mechanics Review, 1962, v. 15;
105. Tiron, M. : Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate; Ed. Tehnică, București, 1972;
106. Tomescu, I. : Grafuri și programare liniară; Ed. Didactică și Pedagogică, București 1975
107. Valius, N.A.: Rastrovīie opticeskie priborī; M, 1966;
108. Vafnadi, V. G.: Fotoelectricieskaia avtomatica; Minsk, 1966;
109. Young, R. Y.: The Design of optical digital instruments; Electronic Engineering, 1960, VI v. 32, N.338;
110. xxx. On the Manufacture and Theory of Diffraction Gratings; Philosophy Magazine, 1987;
111. xxx. Banca de date tehnice - BDT - CD - RO;
112. xxx. Prospecte ale firmelor:
  - Mitutoyo - Japonia;
  - Heidenhain - Germania;
  - RSF - Elektronik - Austria;
  - Teledyne - Gurley - USA;
  - Sopelem - Franța;
  - Muirhead Vactric - Anglia;
  - Dyneer - USA;
  - Itek - USA;
  - Vermiteh - USA;
  - Litton - Usa;
  - Metrigraphics - Usa.