



**UNIVERSITATEA  
TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

**Liviu MORAR    Emilia CÂMPEAN**

# **M**așini, **R**oboți și **E**chipamente pentru **S**isteme **F**lexibile de **F**abricație



**U.T. PRESS**

**Cluj-Napoca, 2015**

**ISBN 978-606-737-063-8**

**Suport curs IVI.E.I**



Editura U.T.PRESS  
Str. Observatorului nr. 34  
C.P. 42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca  
Tel.: 0264-401.999 / Fax: 0264 - 430.408  
e-mail: [utpress@biblio.utcluj.ro](mailto:utpress@biblio.utcluj.ro)  
[www.utcluj.ro/editura](http://www.utcluj.ro/editura)

Director: Prof.dr.ing. Daniela Manea  
Consilier editorial: Ing. Călin D. Câmpean

Copyright © 2015 Editura U.T.PRESS  
Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din  
această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al  
editurii U.T.PRESS.

**ISBN 978-606-737-063-8**

Bun de tipar: 03.06.2015



## 1. Echipamentul de comandă numerică

### 1.1. Sistem numeric de prelucrare

Un sistem numeric de prelucrare se compune din două părți distincte

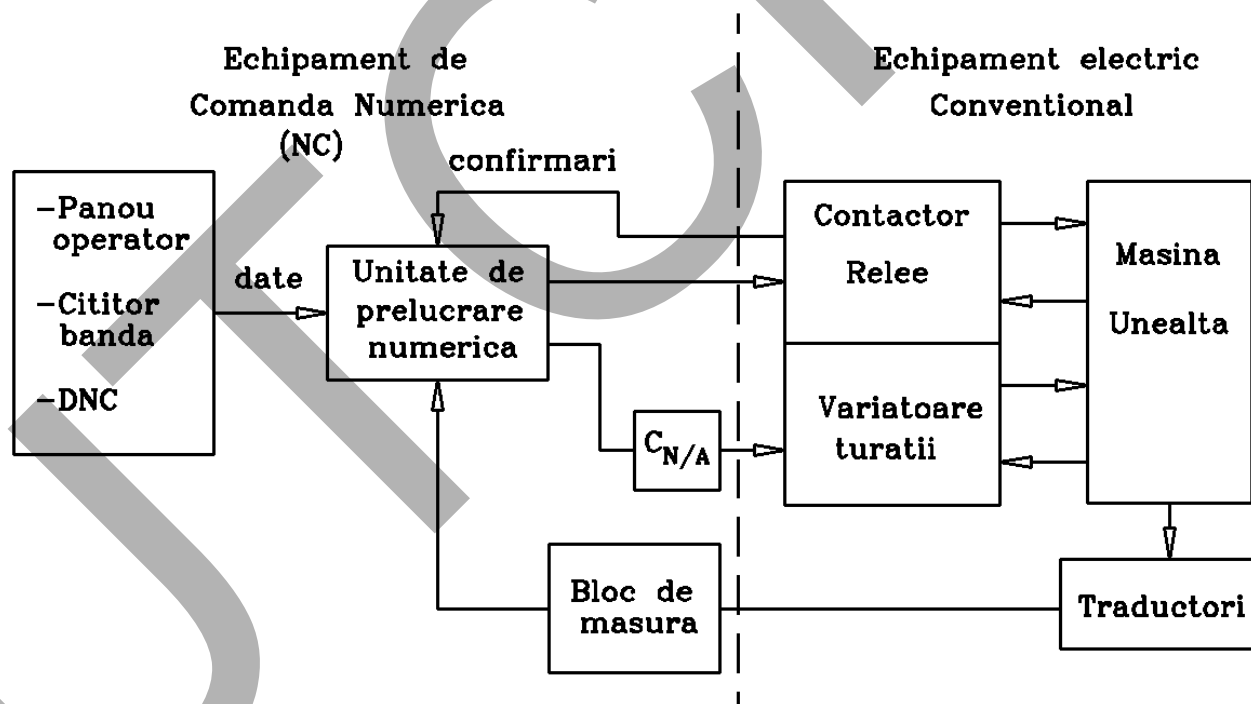


Fig. 1.1



## 1. Echipamentul de comandă numerică

### 1.1 Sistem numeric de prelucrare

Echipamentul de comandă numerică are două funcții generale:

1. asigură controlul în buclă închisă al deplasărilor. Prin aceasta se creează condiții pentru obținerea unei precizii ridicate în prelucrare;
2. transmite echipamentului electric convențional comenzi pentru selectarea regimului tehnologic de așchiere stabilit de programator (turația arborelui principal, selectarea sculei, răcire, etc.)





## 1. Echipamentul de comandă numerică

### 1.1 Sistem numeric de prelucrare

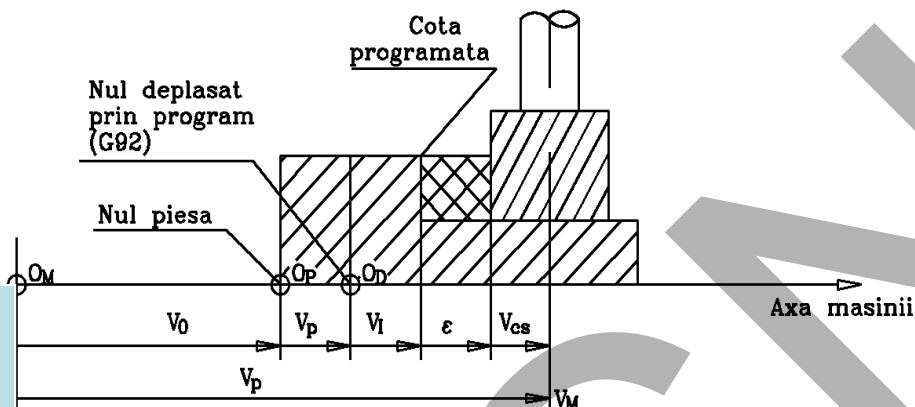
#### Prima funcție:

- descriere

Echipamentul numeric controlează permanent poziția organului mobil al mașinii cu ajutorul unui sistem de traductoare. În momentul în care cota programată este atinsă, echipamentul emite o comandă de oprire. Precizia de realizare a cotei impuse se obține prin micșorarea vitezei de avans la apropierea acesteia, contracarând astfel efectul negativ al inerției.

- mod de realizare: controlul erorii

Controlul deplasărilor programate pe fiecare axă în parte se realizează prin intermediul erorii, adică a distanței rămase de parcurs până la cota programată (figura 1.2)


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**1.1 Sistem numeric de prelucrare**


$$a_M b_M V_M + a_{J1} b_{J1} V_{J1} + a_0 b_0 V_0 + a_P b_P V_P + a_R b_R V_R + a_{Cs} b_{Cs} V_{Cs} + a_I b_I V_I + a_{J2} b_{J2} V_{J2} \quad (1.1)$$

**Fig. 1.2**

coeficienții  $a$  pot avea valorile 1 sau 0 (dacă trebuie sau nu luați în calcul erorii) iar  $b$  pot fi 1 sau -1 după cum termenul respectiv trebuie adunat sau scăzut. Semnificația termenilor din expresia (1.1) este:

- $V_M$  - valoarea poziției curente a vârfului sculei în raport de originea mașinii - stabilită prin microcontactele de pe fiecare axă,  $a_M$  și  $b_M$  au valoarea 1;
- $V_{J1}$  - valoarea jocului de întoarcere. Se consideră numai la deplasarea în sens negativ a axei,  $a_{J1} = 1$ ,  $b_{J1} = 1$ , deoarece valoarea jocului este memorată cu semnul corespunzător;
- $V_0$  - deplasarea de origine reprezintă poziția originii piesei în raport cu originea mașinii,  $a_0 = 1$ ,  $b_0 = -1$ ;
- $V_P$  - deplasarea suplimentară de origine prin G92,  $a_P = 1$ ,  $b_P = -1$ ;
- $V_R$  - valoarea cotei de referință în cazul cotei incrementale. Reprezintă poziția momentană a sculei față de  $O_M$  la începutul deplasării, considerând și corecția de joc  $V_{J1}$ ;

$$V_R = V_M + a_{J1} V_{J1}$$

Când se ia în calcul  $V_R$ ,  $a_0 = a_P = 0$  (fiind programat G91) și invers,  $a_R = 0$  când se consideră  $V_0$  și  $V_P$ . Valoarea  $b_R$  este întotdeauna -1.

$V_{Cs}$  - valoarea corecției de sculă  $a_{Cs} = -1$  când este programată una din funcțiile G43 ( $b_{Cs} = 1$ ) sau G44 ( $b_{Cs} = -1$ );

$V_I$  - valoarea cotei programate.  $a_I = 1$ ,  $b_I = -1$ ;

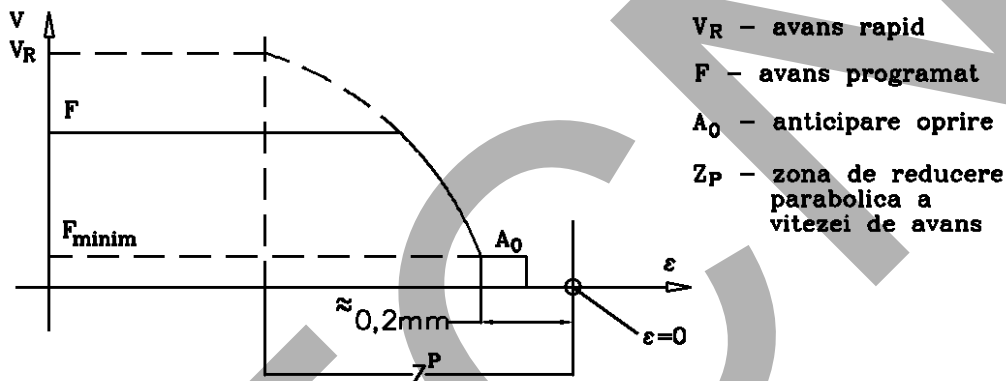
$V_{J2}$  - valoarea deplasării suplimentare în cazul poziționărilor unidirecționale  $b_{J2} = 1$ .



## 1. Echipamentul de comandă numerică

### 1.1 Sistem numeric de prelucrare

## Comanda de oprire



**Fig. 1.3**

Echipamentul furnizează mașinii comenzi de deplasare pentru reducerea valorii absolute  $\varepsilon$ . În momentul când  $\varepsilon \rightarrow 0$  se inițiază un ciclu de oprire cu scăderea parabolică a avansului programat (figura 1.3)



## 1. Echipamentul de comandă numerică

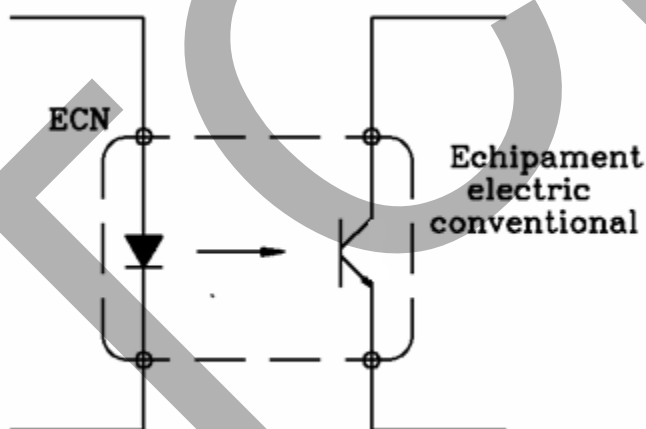
### 1.1 Sistem numeric de prelucrare

#### A doua funcție:

- Descriere

#### Interfața

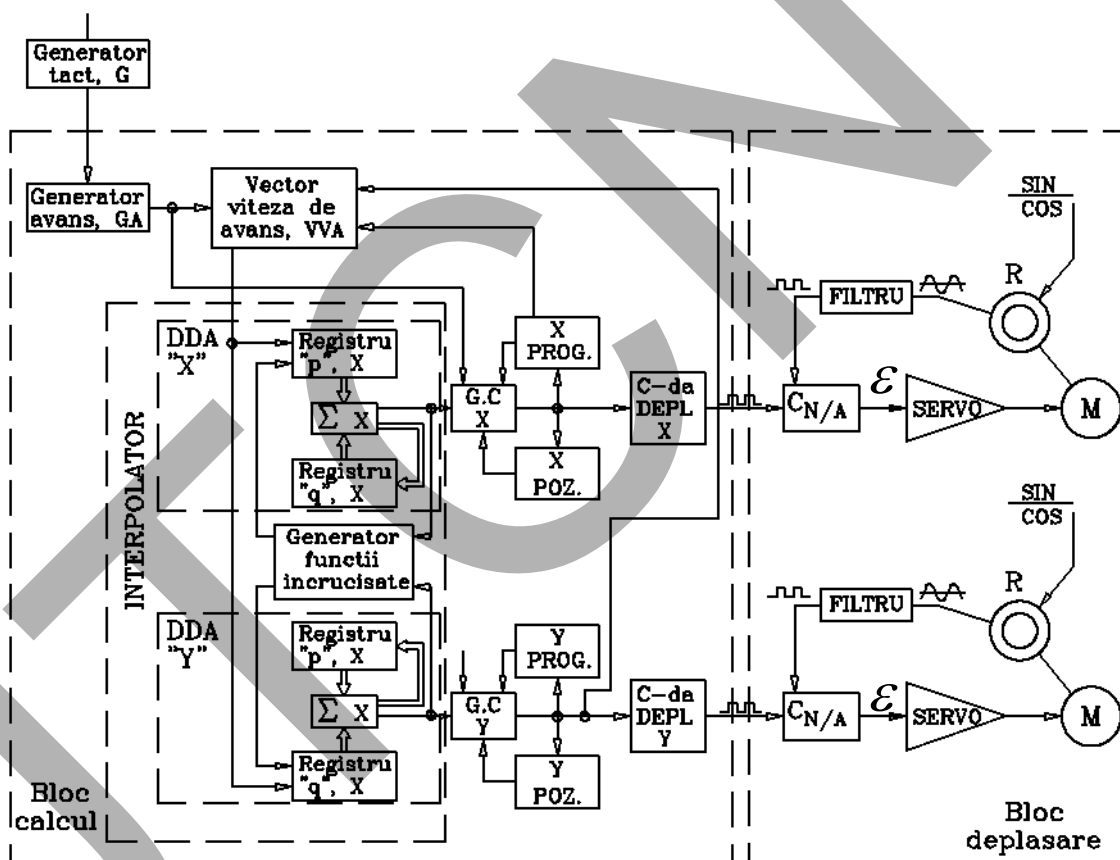
Principiul indicat prin figura 1.4 este caracteristic interfeței de “ieșire”. Interfața de “intrare” are același principiu, doar că fotodioda este montată în circuitul electric convențional iar fototranzistorul în cel al echipamentului numeric



**Fig.1.4**

- Scop:

Interfața realizează cuplarea circuitelor adiacente prin diferite soluții, adesea se utilizează fotocuploare alcătuite din fotodiodă și fototranzistor (figura 1.4)


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**1.1 Sistem numeric de prelucrare**
**1.2 Schema bloc a ECN**

**Fig.1.5**



## 1. Echipamentul de comandă numerică

### 1.1 Sistem numeric de prelucrare

### 1.2 Schema bloc a ECN

## Bloc de calcul

**Generatorul de avans, GA**, permite programarea directă a avansului în mm/min și selectarea de către operator a valorii dorite (procentual) din valoarea programată. Semnalul de ieșire din GA constituie intrare în **generatorul de comenzi (GC)** fiecărei axe în regimul de poziționare. Avansul de lucru pe fiecare axă, în cazul interpolărilor liniare și circulare este calculat de blocul (VVA). Interpolatorul sistemului, de tip DDA, este reprezentat numai pentru două axe.

**Registrul “XPOZ” (YPOZ)** indică poziția sculei în raport de originea sistemului (VM din ecuația 1.1).

**Numărătorul “C-DA DEPLASARE AXA”** produce la ieșire un semnal numeric a cărui fază este determinată de impulsurile de deplasare emise de GC. Valoarea deplasării este dată de modificarea fazei impulsului față de un impuls de referință.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

### 1.1 Sistem numeric de prelucrare

### 1.2 Schema bloc a ECN

## Bloc de deplasare

### Convertorul N/A

Realizează compararea fazei impulsurilor de comandă, emise de numărătorul "C-DA DEPLASARE" cu cele provenite de la traductorul de reacție, în fază cu impulsul de referință. Această eroare este convertită într-un semnal de tensiune a cărei amplitudine este proporțională cu eroarea. Polaritatea tensiunii indică direcția de deplasare.

### Blocul servo

Controlază valoarea vitezei și direcția motorului în conformitate cu tensiunea datorată erorii.

### Traductorul de deplasare

Rezolverul este alimentat cu două semnale de tensiune SIN și COS furnizate de blocul de generare semnale.

Funcționarea tuturor blocurilor echipamentului este sincronă.

Sincronizarea se realizează prin intermediul semnalelor ce se obțin de la un generator cu cuarț (de ordinul Mhz) printr-un lanț de divizare.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

Echipamentul de comandă numerică este un sistem capabil să gestioneze mașina-unelte NC și să realizeze programul de funcționare a acesteia.

Supravegherea programului poate fi realizată de un operator uman sau de un calculator, situație în care se vorbește de un sistem DNC (Direct Numerical Control).

Comanda unui sistem în regim manual/automat (fig.2.1)

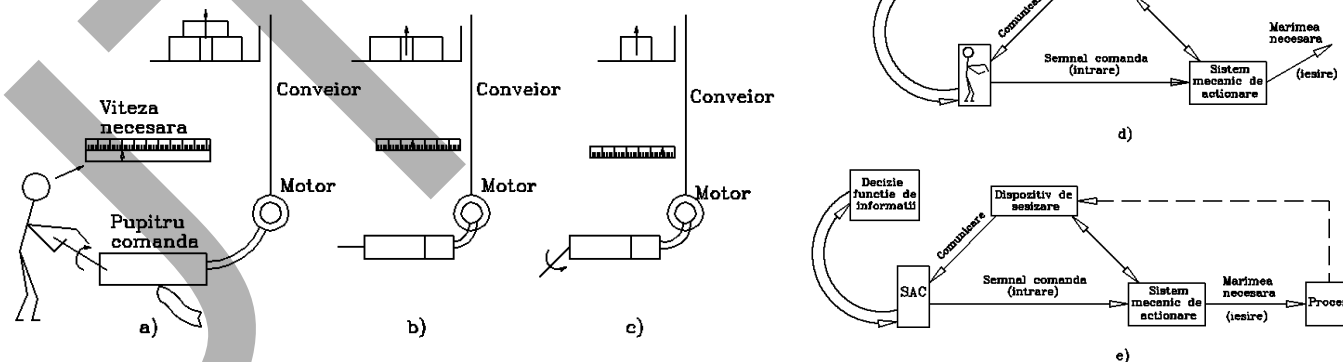


Fig. 2.1





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

## 2.2. Circuite logice

Circuitele logice :

- circuite alcătuite din elemente logice combinaționale;(fig.2.2,a)
- circuite constituite cu elemente logice secvențiale.(fig.2.2,b)

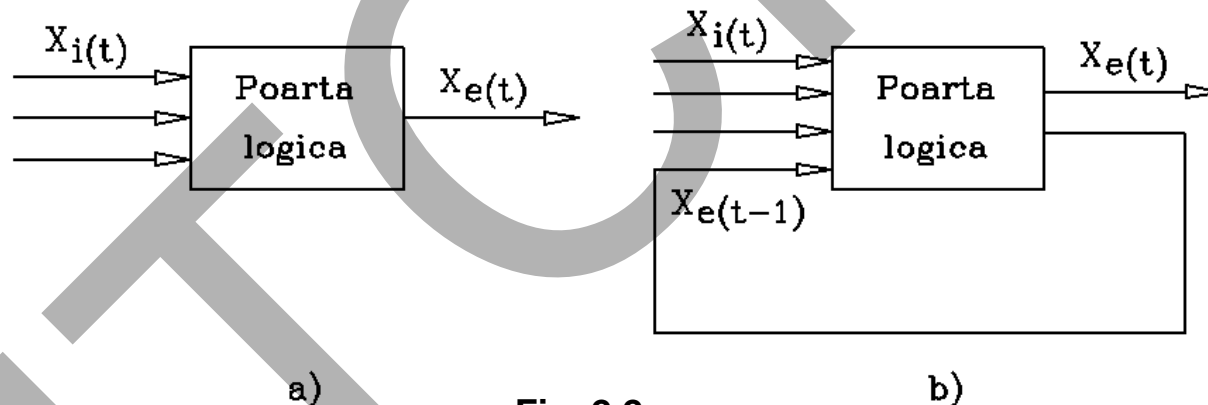


Fig. 2.2

Discutie:  
 $X_e(t) = F(X_i(t))$

$X_e(t) = f\{X_i(t), X_e(t-1)\}$



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

Funcționarea elementelor logice este descrisă de teoria comutației (George Boole).

În cadrul logicii formale, respectiv algebrei booleene formale, atât argumentele cât și funcțiile pot avea doar două valori:

adevărat sau fals, 0 sau 1.

REPREZENTARE(fig.2.3)

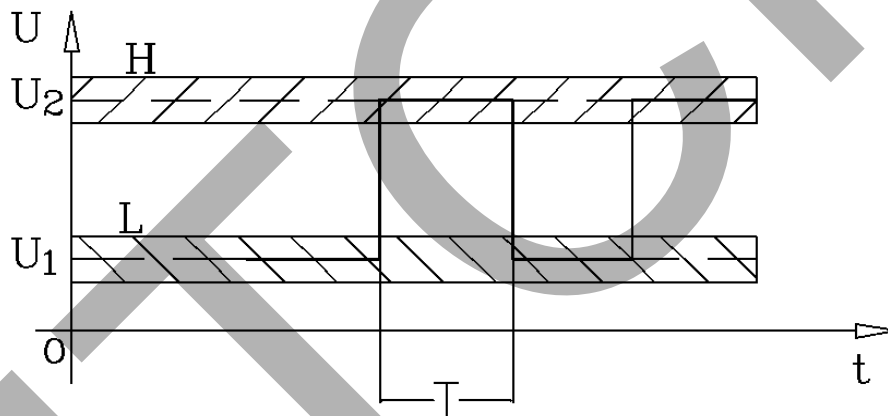


Fig. 2.3

Uzual, sistemele NC au în structura porți logice, circuite bistabile (Flip - Flop), elemente de tip Trigger Schmitt, registre, multiplexoare, demultiplexoare, circuite aritmetice, memorii, codoare, decodoare, numărătoare, etc..

## 2.3. Tabela de adevăr

### 1. Echipamentul de comandă numerică

### 2. Elemente de logică industrială

#### 2.1 Considerații generale

#### 2.2 Circuite logice

#### 2.3. Tabele de adevăr

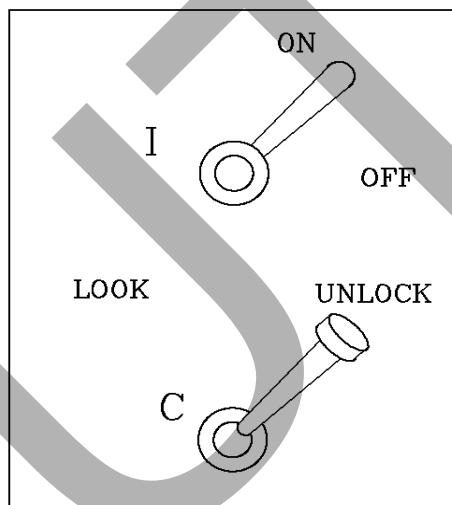
Un tabel de adevăr, realizat sub forma unei matrici, prezintă combinațiile posibile a intrărilor logice în raport de semnalul necesar la ieșire.

Exemplu: funcționarea unui proces

- I - întrerupătorul ON/OFF; (I= 0/1 dacă comutatorul este pe OFF/ON);
- C - cheia pentru închiderea/deschiderea consolei; (C= 0 dacă cheia lipsește sau este pe poziția din stânga; C= 1 dacă cheia este în locaș și este pe poziția din dreapta.)
- P - reprezintă procesul, (P= 0 dacă procesul este oprit; P= 1 dacă procesul este în desfășurare.)

**Tabelul 2.1**

I	C	P	P
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1



**Fig. 2.4**


**Nr.variabile: 3, (aparent 4): 3 intrări + 1 ieșire**

## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

#### Explicație

Explicatia consta în aceea că procesul reprezintă atât o variabilă de intrare cât și de iesire.

#### De ce?

Această situație se explică prin aceea că se dorește, chiar dacă cheia nu este în locașul ei, ca procesul să rămână oprit dacă a fost oprit în prealabil sau se desfășoare fără a ține cont de poziția ON/OFF a întrerupătorului.

Tabelul de adevăr se interpretează rând pe rând. De exemplu, pentru al treilea rând: DACĂ (ON/OFF) este pe poziția OFF și dacă cheia este în locașul său și dacă procesul este oprit atunci procesul trebuie să rămână oprit. În cazul general, pentru tabelele de adevăr R intrări, respectiv m ieșiri, oricare rând se interpretează astfel: DACĂ (intrare 1) și DACĂ (intrare 2) și ... DACĂ (intrare n), ATUNCI (ieșire1) și (ieșire 2) și ... (ieșire m).

#### Explicați rândul 4

Rândul patru indică, aparent, o contradicție: variabila P are ambele valori 0 și 1 în același rând. Interpretarea acestui rând ar fi: DACĂ I este pe poziția OFF și DACĂ consola nu este închisă și DACĂ procesul este în desfășurare, ATUNCI procesul se va opri imediat.



## 2.4. Funcții logice combinate

### 1. Echipamentul de comandă numerică

### 2. Elemente de logică industrială

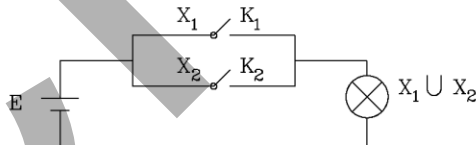
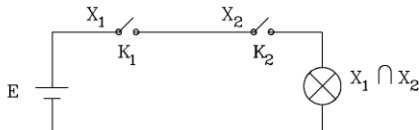
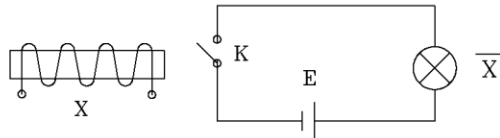
#### 2.1 Considerații generale

#### 2.2 Circuite logice

#### 2.3. Tabele de adevăr

#### 2.4. Funcții logice combinate

**Tabelul 2.2**

Matematica	Logica	Tehnica	Model Electromecanic
$X_1 + X_2$	Disjuncție $X_1 \vee X_2$	SAU $X_1 \vee X_2$	
$X_1 \cdot X_2$	Conjuncție $X_1 \wedge X_2$	ȘI $X_1 \wedge X_2$	
$\bar{X}$	Negare $\bar{X}$	NU $\bar{X}$	



## 1. Echipamentul de comandă numerică

**Tabelul 2.3**

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

X 0011 Y 0101	Notatie	Denumire	Simbol		
			STAS8061-67	American	DIN40700
F1 0011	X	DA			
F2 1100	$\bar{X}$	NU			
F3 0001	$X \bullet Y$	ȘI (AND)			
F4 0111	$X + Y$	SAU (OR)			
F5 1110	$\overline{X \bullet Y}$	ȘI-NU (NAND)			
F6 1000	$\overline{X + Y}$	SAU-NU (NOR)			
F7 0110	$\bar{X}Y + X\bar{Y}$ $X \oplus Y$	SAU EXCLUSIV			
F8 1001	$\overline{\bar{X}Y + X\bar{Y}}$ $\overline{X \oplus Y}$	COINCI- DENȚA			



## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

### 1. Echipamentul de comandă numerică

### 2. Elemente de logică industrială

#### 2.1 Considerații generale

#### 2.2 Circuite logice

#### 2.3. Tabele de adevăr

#### 2.4. Funcții logice combinatoriale

Intrări			ieșiri
I	C	P	P
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Reprezentarea funcțiilor booleene cu tabele de adevăr

Tabelul de adevăr (tabelul 2.1) permite scrierea expresiei logice booleene

$$P' = (\bar{I}\bar{C}P) + (\bar{I}CP) + (IC\bar{P}) + (ICP) = \bar{I}\bar{C}P + \bar{I}CP + IC\bar{P} + ICP$$



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

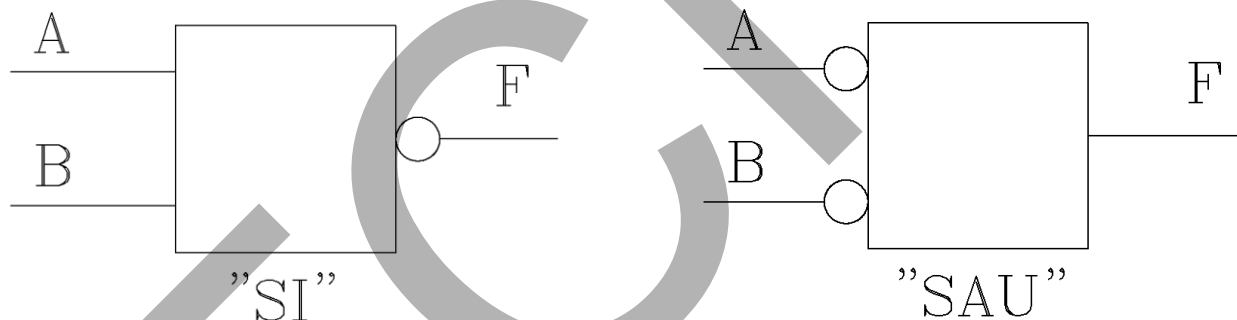
### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

În cadrul echipamentelor NC sunt utilizate, de regulă, numai câteva din porțile logice indicate în tabelul 2.3 Astfel, considerând poarta NAND aceasta poate fi utilizată ca poarta SAU / ȘI



**Fig. 2.5**

Poarta NAND, dacă ieșirea este negată devine poarta ȘI iar dacă intrările sunt negate se comportă ca poarta SAU.

Poarta NAND împreună cu un inverter și SAU EXCLUSIV sunt suficiente pentru a realiza majoritatea circuitelor logice combinatoriale aferente echipamentelor NC clasice.




**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**2.1 Considerații generale**
**2.2 Circuite logice**
**2.3. Tabele de adevăr**
**2.4. Functii logice combinationale**
**2.5 Simplificarea expresiilor logice**
**2.5. Simplificarea expresiilor logice**
**A. ALGEBRA BOOLEEANĂ**

$$X = A.(B + \bar{B}) \quad (2.2)$$

ceea ce se traduce astfel: ieșirea X va avea valoarea logică "1" (ON):

- dacă intrarea A este "1" (ON) ȘI
- dacă intrarea B este fie "0" (OFF), fie "1" (ON)

Din analiza traducerii se observă că termenul  $(B + \bar{B})$

are întotdeauna valoarea "1", fapt care conduce la expresia  $X = A.1 = A$

	ȘI	SAU
$\bar{0} = 1$	$0.0 = 0$	$0 + 0 = 0$
$\bar{1} = 0$	$0.1 = 0$	$0 + 1 = 1$
	$1.0 = 0$	$1 + 0 = 1$
	$1.1 = 1$	$1 + 1 = 1$


**Tabelul 2.4**
**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**2.1 Considerații generale**
**2.2 Circuite logice**
**2.3. Tabele de adevăr**
**2.4. Funcții logice combinatoriale**
**2.5 Simplificarea expresiilor logice**

	CONJUNCTIVĂ "ȘI"	DISJUNCTIVĂ "SAU"
Legea 1 a lui 0	$X \cdot 0 = 0$	$X + 0 = X$
Legea 2 a lui 1	$X \cdot 1 = X$	$X + 1 = 1$
Legea 3 a idempotentei	$X \cdot X = X$	$X + X = X$
Legea 4 a incluziunii	$X \cdot \bar{X} = 0$	$X + \bar{X} = 1$
Axioma 1: Comutativitatea	$X_1 \cdot X_2 = X_2 \cdot X_1$	$X_1 + X_2 = X_2 + X_1$
Axioma 2: Asociativitatea	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 = X_1(X_2 X_3) = X_2(X_1 X_3) = X_3(X_1 X_2)$	$X_1 + X_2 + X_3 = X_1 + (X_2 + X_3) = X_2 + (X_1 + X_3) = X_3 + (X_1 + X_2)$
Axioma 3: Distributivitatea	$X_1 X_2 + X_1 X_3 = X_1 (X_2 + X_3)$	$X_1 + X_2 X_3 = (X_1 + X_2) \cdot (X_1 + X_3)$
Teorema 1: Absorbția	$X_1(X_1 + X_2) = X_1$ $X_1(\bar{X}_1 + X_2) = X_1 X_2$ $(X_1 + X_2) \cdot (\bar{X}_1 + X_3) = X_1 X_3 + \bar{X}_1 X_2$	$X_1 + X_1 X_2 = X_1$ $X_1 + \bar{X}_1 X_2 = X_1 + X_2$ $\bar{X}_2 + X_1 X_2 = \bar{X}_2 + X_1$
Teorema 2: Dubla negație	$\bar{\bar{X}} = X$	$\bar{\bar{X}} = X$
Teorema 5: Teorema lui De Morgan	$X_1 X_2 = \overline{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}$	$X_1 + X_2 = \overline{\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2}$



## B. DIAGrame KARNAUGH (DK)

Exemplu:

Considerăm un rezervor alimentat cu trei robinete x,y și z. Ne propunem să menținem rezervorul plin cu ajutorul acestor trei robinete. Rezervorul poate fi menținut plin dacă cel puțin două robinete sunt deschise simultan. Dacă considerăm că un robinet deschis are atribuită valoarea logică 1, atunci funcția care descrie din punct de vedere logic această situație este următoarea:

$$U(x, y, z) = xy\bar{z} + x\bar{y}z + \bar{x}yz + xyz \quad (2.3)$$

x	y	z	U
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**2.1 Considerații generale**

**2.2 Circuite logice**

**2.3. Tabele de adevăr**

**2.4. Functii logice combinationale**

**2.5 Simplificarea expresiilor logice**



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

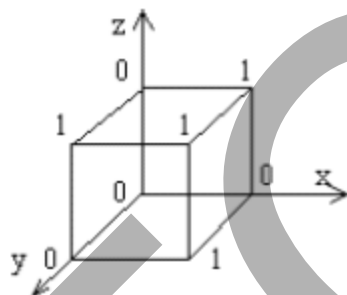
### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

Reprezentarea prin diagrame Karnaugh constă în a marca punctele domeniului de definiție într-o diagramă plană și a preciza valoarea funcției în fiecare din aceste puncte.



$x \backslash yz$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

Fig. 2.6

2 variabile

Înscriere în cod binar reflectat

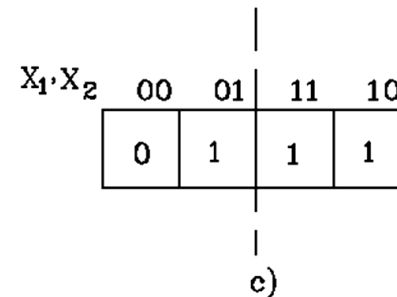
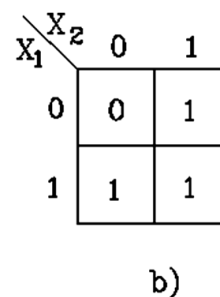
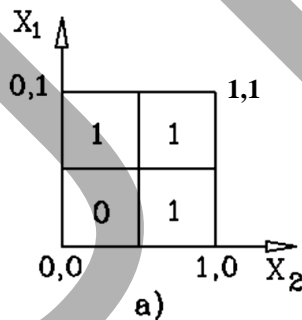


Fig. 2.7



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

3 variabile

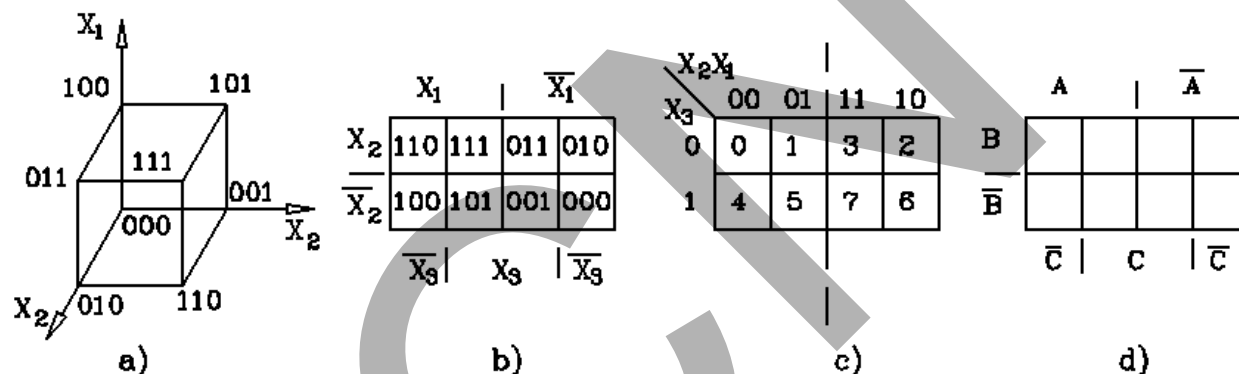


Fig. 2.8

4 variabile

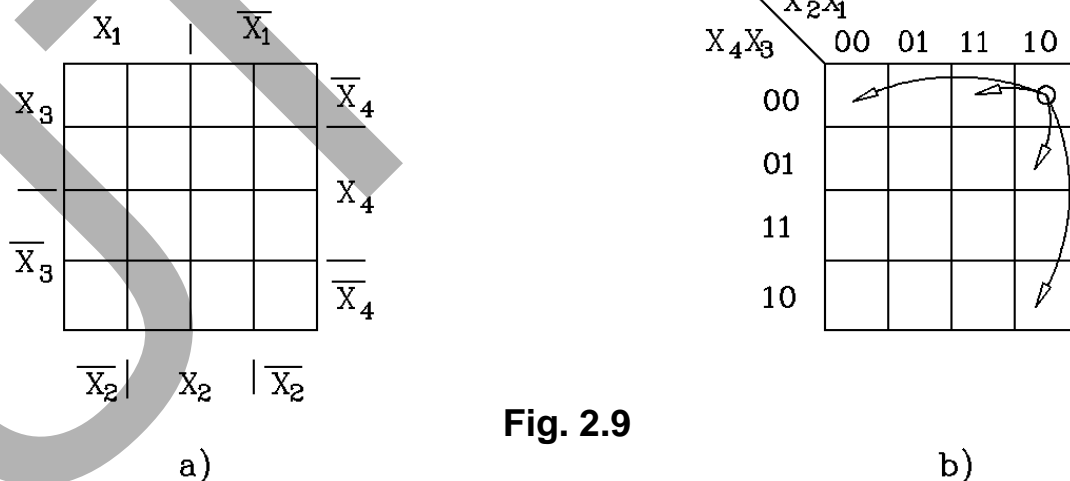


Fig. 2.9



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

În numeroase aplicații apare necesitatea reprezentării funcțiilor booleene sub formă canonică sau normală.

- forma disjunctivă canonică (FDC);

Se bazează pe: constituenți ai unității

Forma:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigcup_{k=1}^m u_k \quad (2.4)$$

Funcția elementară:  $u_k = X_1^{i_1} * X_2^{i_2} * \dots * X_n^{i_n} \quad (2.5)$

Variabilele  $X_j$  care au valoarea: 1  $\begin{cases} 0 & \text{se iau negat} \\ 1 & \text{rămân} \end{cases}$



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

- forma conjunctivă canonică (FCC);

Se bazează pe: constituenți ai lui zero

Forma: 
$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigcap_{j=1}^m V_j \quad (2.6)$$

Funcția elementară: 
$$V_k = X_1^{i_1} + X_2^{i_2} + \dots + X_n^{i_n} \quad (2.7)$$

Variabilele  $X_j$  care au valoarea: 0  $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ rămân} \\ 1 \text{ se iau negat} \end{array} \right.$

Pentru exemplificarea acestei metode analitice, se consideră expresia logică (vezi tabelul 2.1):

$$P' = \bar{I}.\bar{C}.P + I.\bar{C}.P + I.C.\bar{P} + I.C.P = \underbrace{\bar{C}P(\bar{I} + I)}_{\text{axioma 3}} + \underbrace{IC(\bar{P} + P)}_{\text{legea 4}} = \underbrace{\bar{C}P(1) + IC(1)}_{\text{forma normal disjunctivă}} = \bar{C}P + IC \quad (2.8)$$



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Functii logice combinationalale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

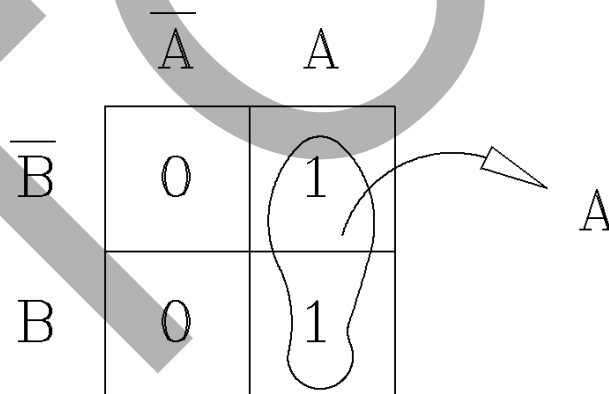
Utilizarea metodei grafice pentru simplificarea expresiilor logice, prin hărțile Karnaugh, are la baza legea incluziunii ( $X + \bar{X} = 1$ ) și legea lui 1 ( $X \cdot 1 = X$ ).

Fiecare celulă din harta Karnaugh conține un termen de tipul constituent al unității, numit și termen minimal. Două celule vecine conțin termeni minimali care diferă prin valoarea unei singure variabile. Dacă termenilor, minimali vecini li se aplică legea incluziunii (tertiul exclus) și a lui 1, se elimină variabila care își schimbă valoarea.

$$X = \bar{A}\bar{B} + AB$$

A	B	X
0	0	1
1	0	1
0	1	0
1	1	1

a)



b)

c)

Fig. 2.10

expresia logică minimizată este:  $X = A$

$$X = \bar{A}\bar{B} + AB$$





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Functii logice combinationale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

**Adiacența:** dacă adiacența conține două valori “1” din termenul aferent adiacenței se va elimina o variabilă; Dacă conține patru alăturări de 1 se elimină 2 variabile etc..

### GENERALIZARE

- Dacă grupul inițial de două celule vecine este vecin cu un alt grup de două celule vecine, acestea se pot contopi într-un singur grup de  $n$  celule vecine permițând eliminarea a două variabile.
- Un grup de  $2m$  celule vecine, ocupate de termeni minimali, permite eliminarea a  $m$  variabile.
- O celulă poate fi inclusă în mai multe adiacențe. Numărul celulelor din fiecare grupare trebuie să fie o putere întreagă a lui 2.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

## • Forma disjunctivă (FDC)

**Tabelul 2.5**

Nr. Crt.	Funcția	Harta Karnaugh	Soluția/observații
0	1	2	3
1	$X = \overline{A}B\overline{C} + \overline{A}BC$		$X = \overline{A}B$
2	$X = \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D}$		$X = \overline{B}C\overline{D} + AB\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}$
3	$X = ABCD + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D}$		$X = AB$ Adiacența (grupul) este alcătuit din 2 <sup>2</sup> celule vecine permitând eliminarea a doua variabile.
4	$X = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}B + AB$		$X = \overline{A} + B$ Una din celule face parte din doua adiacente.
5	$X = \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D}$		$X = \overline{B}D + CD + \overline{A}B + AD$ Se observa modul de constituire a adiacențelor: în fiecare numărul de celule este o putere întreaga a lui 2.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

**Tabelul 2.5 (continuare)**

6	$X = \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}CD$		$X = ACD + BCD$ Harta Karnaugh ilustrează vecinătățile de pe coloane și rânduri. Pentru a deduce grupările posibile, harta Karnaugh trebuie considerată ca un cilindru cu axa paralelă atât cu direcția rândurilor cât și a coloanelor.
7	$X = \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}CD$		$X = \overline{C}\overline{D}$



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

**Tabelul 2.5 (continuare)**

$X = D$		
În multe aplicații industriale există cazuri în care ieșire poate fi ori $\emptyset N$ ori $\emptyset FF$ pentru o anumită combinație a variabilelor de intrare. Astfel de situații sunt irelevante. Ele se găsesc sub denumirea de stări indiferente "Don't Care". Pentru aceste combinații se marchează celula respectivă cu "X" putând face din orice grupare.		
8	$X = \overline{A}\overline{B}CD + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}B\overline{C}D$	



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

#### • Forma conjunctivă (FCC)

Minimizarea unei funcții, sub forma canonică conjunctivă, este prezentată pe baza hărții Karnaugh următoare:

**Tabelul 2.6**

Nr. Crt.	Harta Karnaugh	Soluția/observații
0	1	2
1		$X = (A + B + D) * (A + \bar{C}) * (\bar{A} + C + D)$ <p>Se observa ca în cazul funcțiilor elementare constituent al lui zero, variabilele care au valoarea zero se încrui în starea “adevarata” (nenegata) iar cele care au valoarea unu, în stare negata.</p>



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială

## 2.6. Noțiuni de logică secvențială

Diferența principală dintre un circuit logic de tip combinațional (CLC) și unul secvențial (CLS), evidențiată de figura 2.2, b, constă în existența legăturii de reacție, de la ieșire spre intrare.

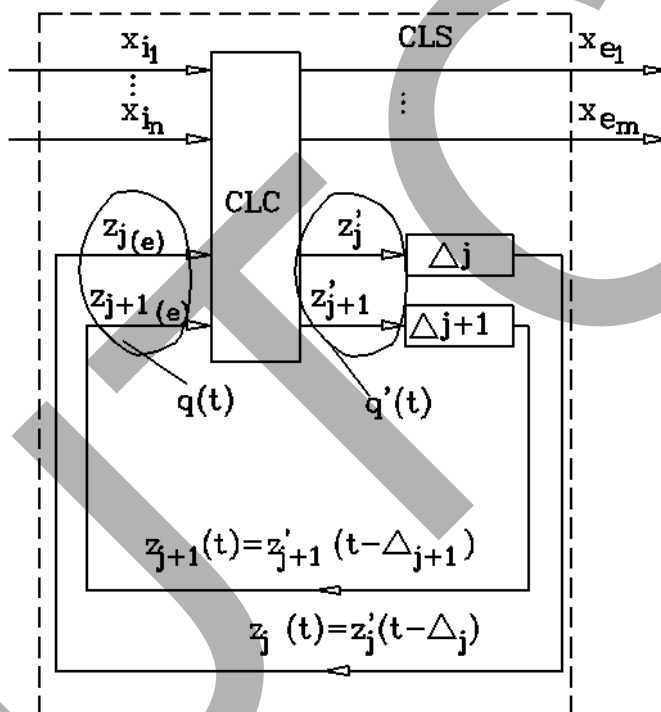


Fig. 2.11

### Structură generală

#### CLS

Circuit logic combinațional

Reacțiile  $z_j$  prin intermediul unor elemente de întârziere

$$\Delta_j \neq \Delta_{j+1}$$

#### Denumirea

Circuite basculante bistabile CBB sau bistabil

Trigger

Circuit Flip-Flops (FF)



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială

## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

### CLS asincron:

starea următoare  $q'(t)$  (notată și  $q(t+\Delta t)$ ) devine stare prezentă numai după un timp " $\Delta$ ", determinat de întârzierile inerente din CLC

### CLS sincron:

Prin introducerea pe circuitul de ieșire a unei întârzieri controlate, de exemplu un circuit de memorare ce poate fi citit la anumite intervale  $t = k.T$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , circuitul devine sincron. Tranziția stării ieșirii se face cu o întârziere controlată, egală cu  $T$  - perioada generatorului de tact a sistemului.

### IMPORTANT

Aceste circuite, se vor menține în starea dată de ieșirea (0 sau 1) și după ce semnalele de intrare au încetat.

Acest mod de funcționare conferă CBB **capacitatea de a memora**. Sunt utilizate la realizarea numărătoarelor, a registrelor, a memoriilor RAM, etc.

### Tipuri de CBB

Deși pe piață se găsește o varietate mare de CBB, ele derivă din câteva tipuri simple: S - R, J - K, T, D. După modul de comutare a stărilor, funcționarea lor poate fi de tip asincron respectiv sincron.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

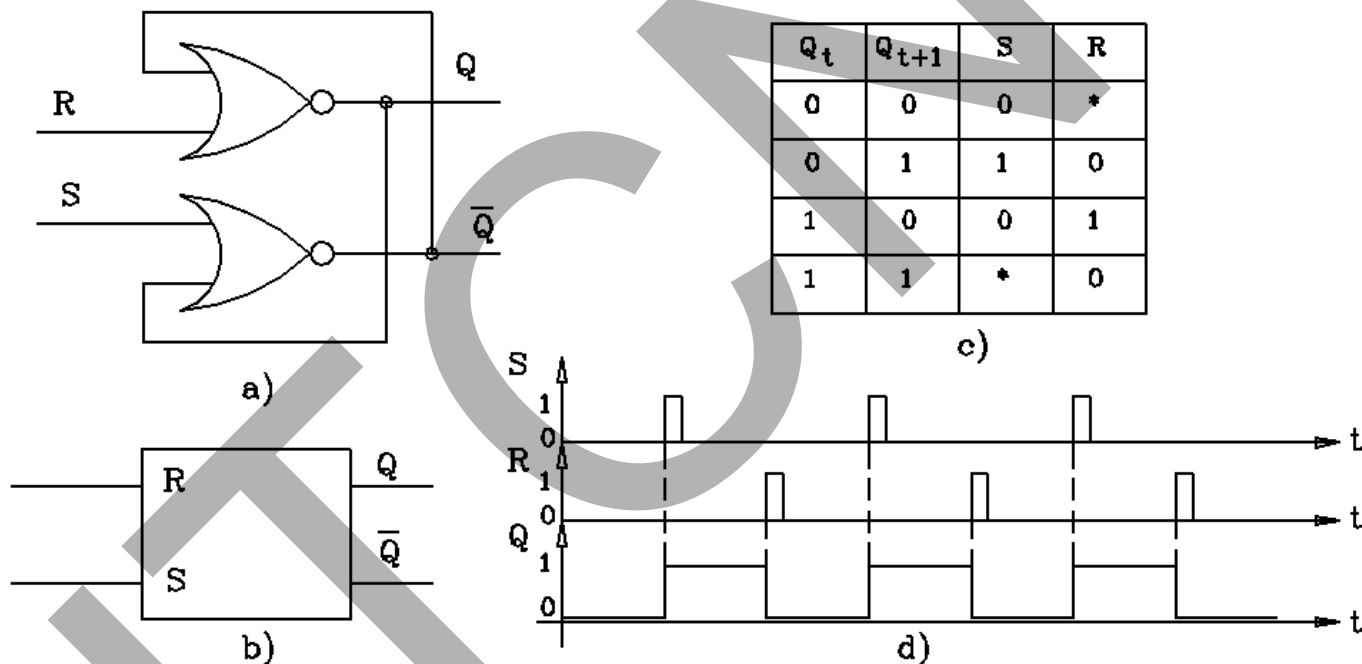
### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială

## Circuit basculant bistabil R –S (Reset - Set) R –S latch (zăvor în limba engleză)



**Fig. 2.12**

Circuitul este realizat (figura 2.12a) cu porți logice SAU NU.

- Pentru  $R = 1$ , CBB-ul este trecut în starea "0" (șters) (reset) ( $Q = 0$ )
- Starea  $S = R = 0$  lasă ieșirea neschimbată.

iar pentru starea  $S = 1$  el trece în starea 1 ( $Q = 1$ ) (set). Starea  $S = R = 0$  lasă ieșirea neschimbată.  $R = S = 1$  reprezintă o stare ilegală (ieșire nedefinită).





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială

#### Circuit bistabil RS sincron

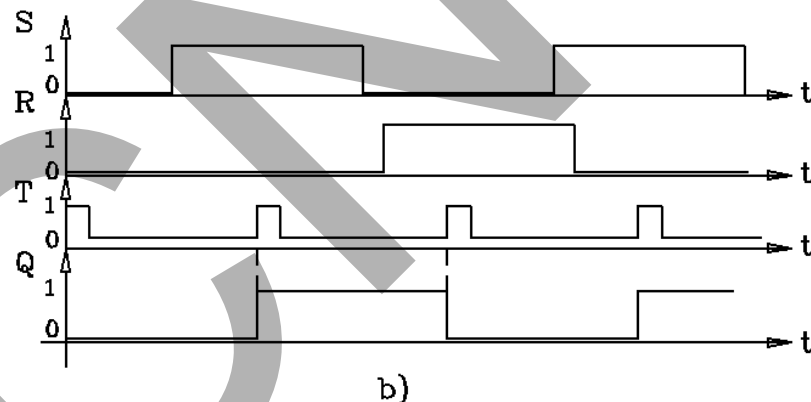
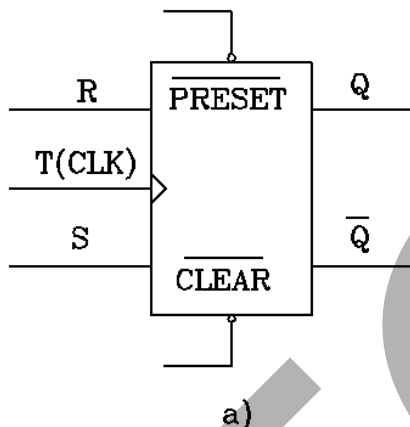


Fig. 2.13

Comutarea stării ieșirii este comandată de impulsul de tact (T) (sincronizare de ceas - clock - "CLK").

#### IMPORTANT

Tranziția ieșirii este automatizată de semnalul de tact "T". Tranziția poate avea loc pe frontul anterior al semnalului T (tranziția acestuia din starea 0 în 1) (figura 2.13, b) sau pe frontul posterior. S-a convenit că tranziția pe frontul anterior 0→1 să fie notată prin "▷" iar de la 1→0 prin "◁".



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

### 2.2 Circuite logice

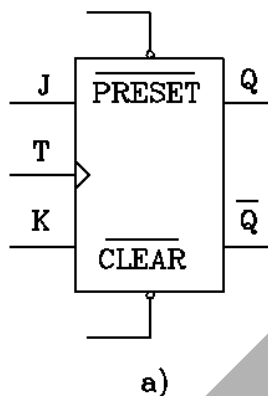
### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinatoriale

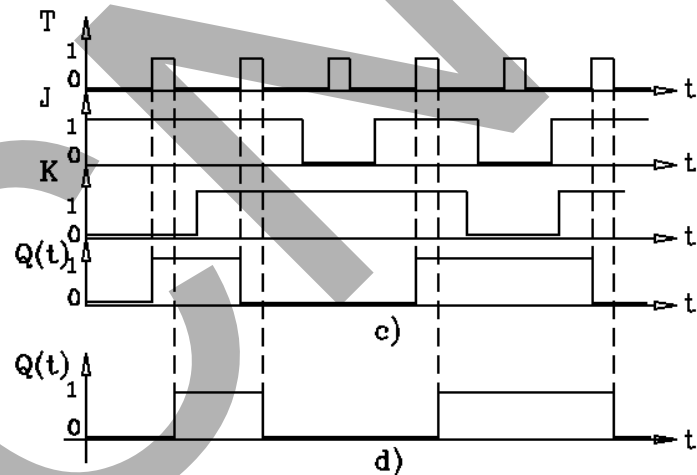
### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială

#### Tip: JK



$Q_t$	$Q_{t+1}$	J	K
0	0	0	*
0	1	1	*
1	0	*	1
1	1	*	0



**Fig. 2.14**

Circuitul basculant bistabil de tip JK (figura 2.14 a, b, c) elimină starea nepermisă  $R = S = 1$  a bistabilului R - S. Intrările de date sunt J (pentru înscriere) și K (pentru ștergere).

În figura 2.14, d s-au indicat ambele modalități de comutație: pe frontul anterior, respectiv pe cel posterior. În majoritatea aplicațiilor comutarea se face pe frontul posterior.

Starea intrării (1, 1) se traduce la ieșire prin bascularea în starea opusă apariției semnalului de tact, T.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

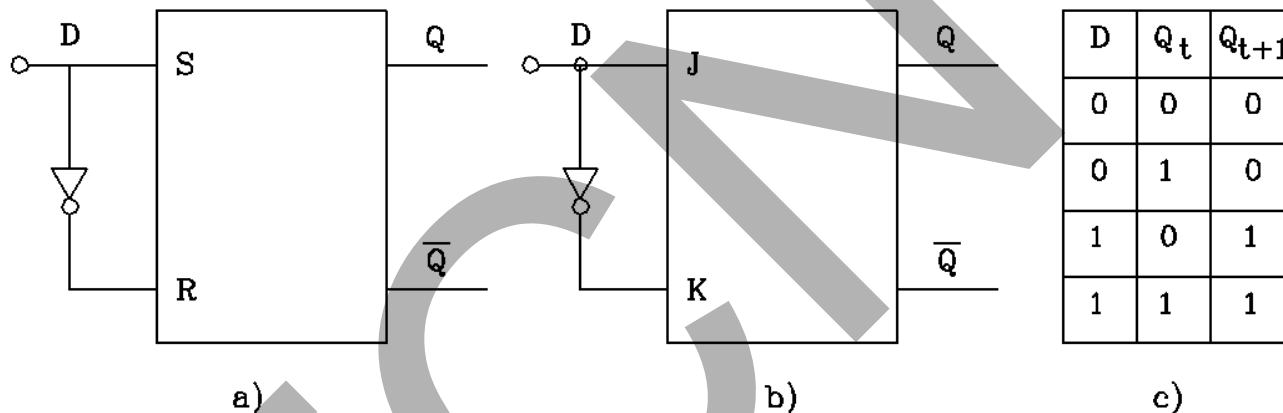
### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială



**Fig. 2.15**

Circuitul basculant de tip D (Delay - întârziere), în varianta asincronă, este indicat în figura 2.15. Se obține fie din CBB de tip R - S, prin legarea  $D = S = \bar{R}$  (introducerea între cele două intrări a unui inversor) fie din cele de tip JK prin legarea  $D = J = \bar{K}$ .



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 2.1 Considerații generale

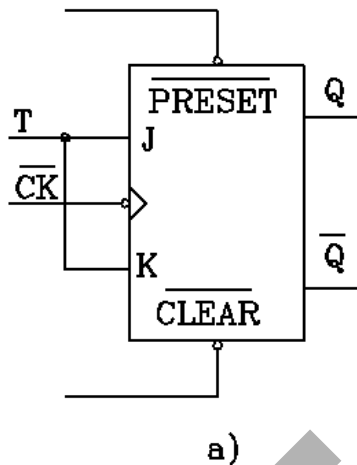
### 2.2 Circuite logice

### 2.3. Tabele de adevăr

### 2.4. Funcții logice combinate

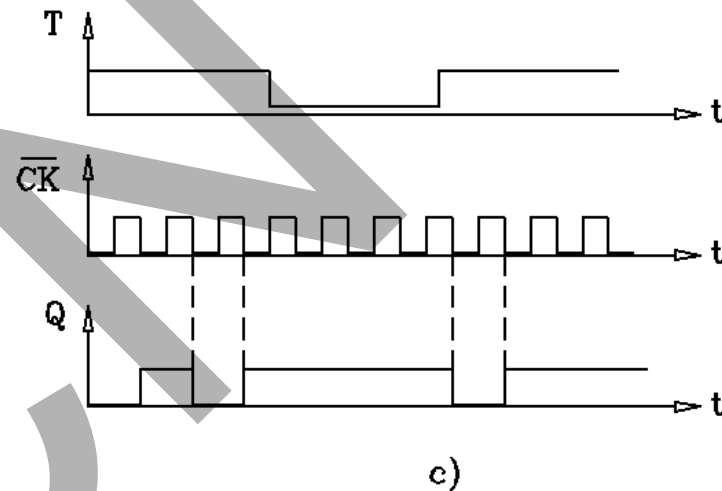
### 2.5 Simplificarea expresiilor logice

### 2.6. Noțiuni de logică secvențială



T	$Q_t$	$Q_{t+1}$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

b)


**Fig. 2.16**

Legarea în comun a intrărilor  $JK$  conduce la un alt bistabil, de tip  $T$  sau celulă de numărare (fig. 2.16 a, b, c).



# 3.INTERFAȚA OM-MAȘINĂ

## BLOCUL DE INTRODUCERE A DATELOR

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Functia MMI**

**MMi permite utilizatorului să:**

- opereze mașina-unealtă;
- execute programul sursă de prelucrare;
- seteze valorile parametrilor;
- editeze programul sursă de prelucrare;
- transmită date

### 3.1 Funcția MMI

Panoul de control – mijlocul prin care se realizează operarea mașinii-unelte. Panoul de control (fig. 3.1) este proiectat considerând aspecte ergonomice, pentru prevenirea erorilor, gruparea tastelor și alocarea lor în concordanță cu funcțiile mașinii unelte.



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

# Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

Echipamentul de comandă numerică

Elemente de logică industrială

**Interfata  
OM - MASINA**

## 3.1. Functia MMI

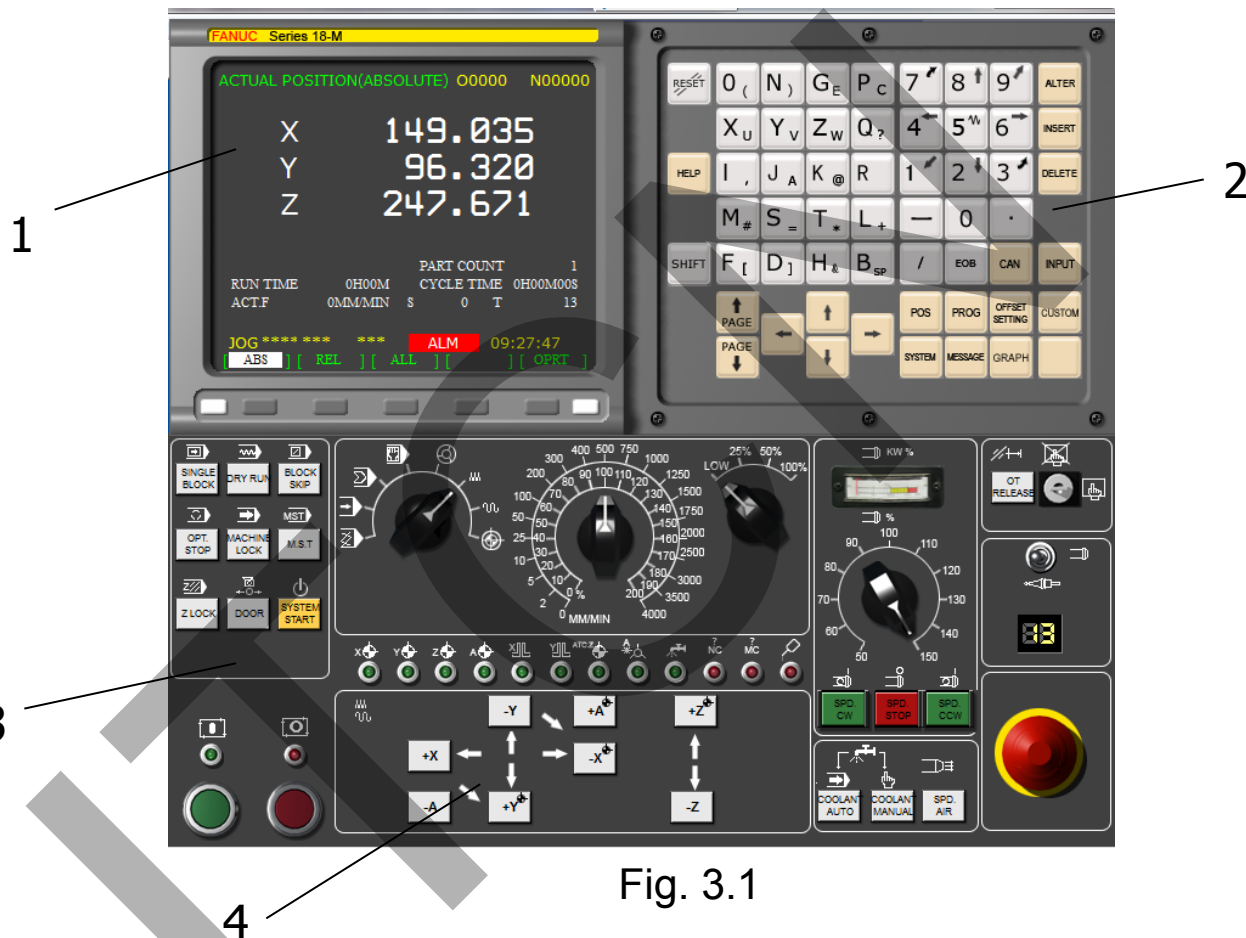


Fig. 3.1

Panoul de control cuprinde:

- zona de afișare a stării mașinii (1);
- zona pentru introducere date (2);
- zona pentru operarea mașinii (3);
- zona pentru operare manuală MPG – Manual Pulse Generator (4);



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

## 3.2. Panou ECN

**Echipamentul de comandă numerică**

**Elemente de logică industrială**

**Interfața OM - MAȘINĂ**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

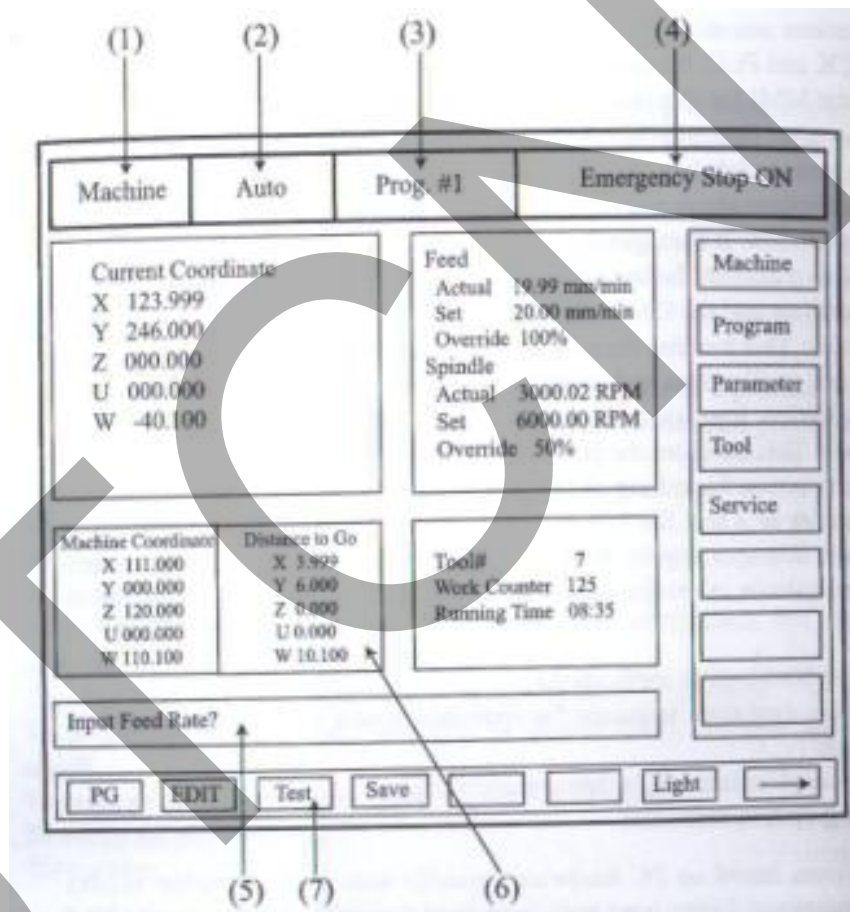


Fig.3.2

Sunt afișate starea mașinii și parametrii NC. Asigură și interfața grafică a utilizatorului (GUI).



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfața OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

### 1. Informații privind prelucrarea:

- poziția sculei în sistemul de coordonate al mașinii;
- programul în derulare;
- scula;
- parametrii de așchiere.

### 2. Modul de operare: automat, revenire în zero etc.

### 3. Numele programului: Prog #1

### 4. Fereastra pentru avertizări și mesaje de alarmă

### 5. Fereastră pentru date intrare

### 6. Fereastră pentru afișarea interfață utilizator relevantă la modul de operare și funcționare:

- statutul mașinii (POS): poziția pe axe, turația, avansul, coduri G active, scula în funcțiune;
- Interfața grafică utilizator (GUI) program (PROG) permite: editarea programelor, managementul fișierului cu programe, simularea grafică, CAPS (sistemul conversațional de programare);
- Managementul sculei: corecțiile de sculă, durabilitatea sculelor, valorile offseturilor;
- Managementul sistemului de parametrii NC, pentru servoacționare și acționare AP;
- Aplicații auxiliare: monitorizare PLC, afișare alarme, cuplare DNC, etc.

### 7. Chei funcționale sunt asociate unor funcții punctuale cum ar fi "POS", "PROG", "OFS/SET"





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfața OM - MAȘINĂ

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

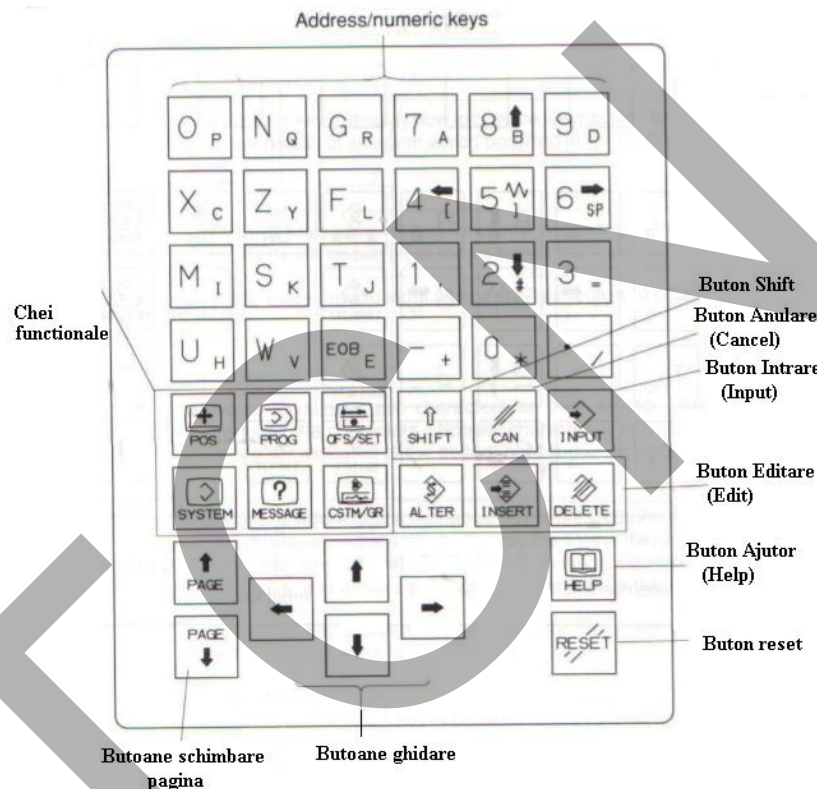


Fig 3.3

Pentru a proiecta structura meniului este necesară clasificarea funcțiilor pe grupe. De regulă funcțiile sunt plasate pe diferite niveluri (straturi) accesate prin chei soft.

Sunt utilizate chei soft pentru o detaliere sporită a GUI.

În acest scop este necesară obținerea cheii soft după cea funcțională.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

Semnificația tastelor funcționale (fig. 3.3) este următoarea:

### 3.2.1. Zona pentru introducerea date

Este alcătuită din taste alfanumerice. Sunt utilizate pentru editarea programelor sursă în varianta MDI. Tastele au funcție dublă ( fig 3.3).

### 3.2.2 Zona pentru operare mașină (fig. 3.4)

Conțin un generator de impuls MPG (Manual Pulse Generator), buton pentru selectarea avansului (procentual), introducerea/scoaterea manuală a sculelor, buton pentru oprire în caz de avarie

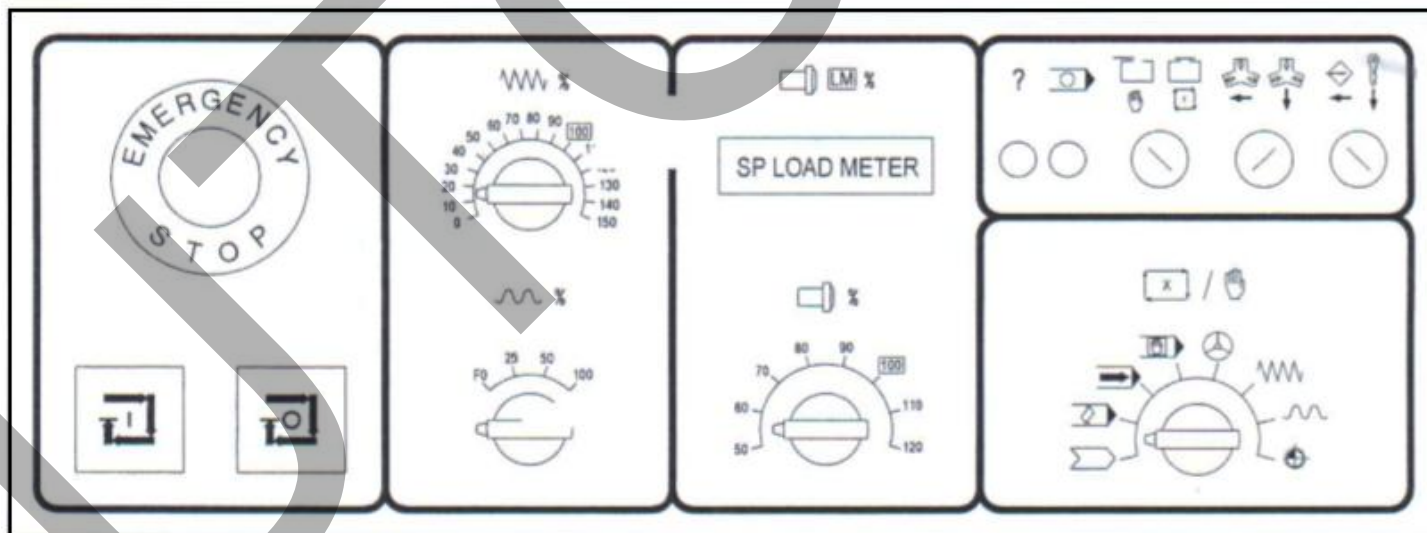


Fig. 3.4



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

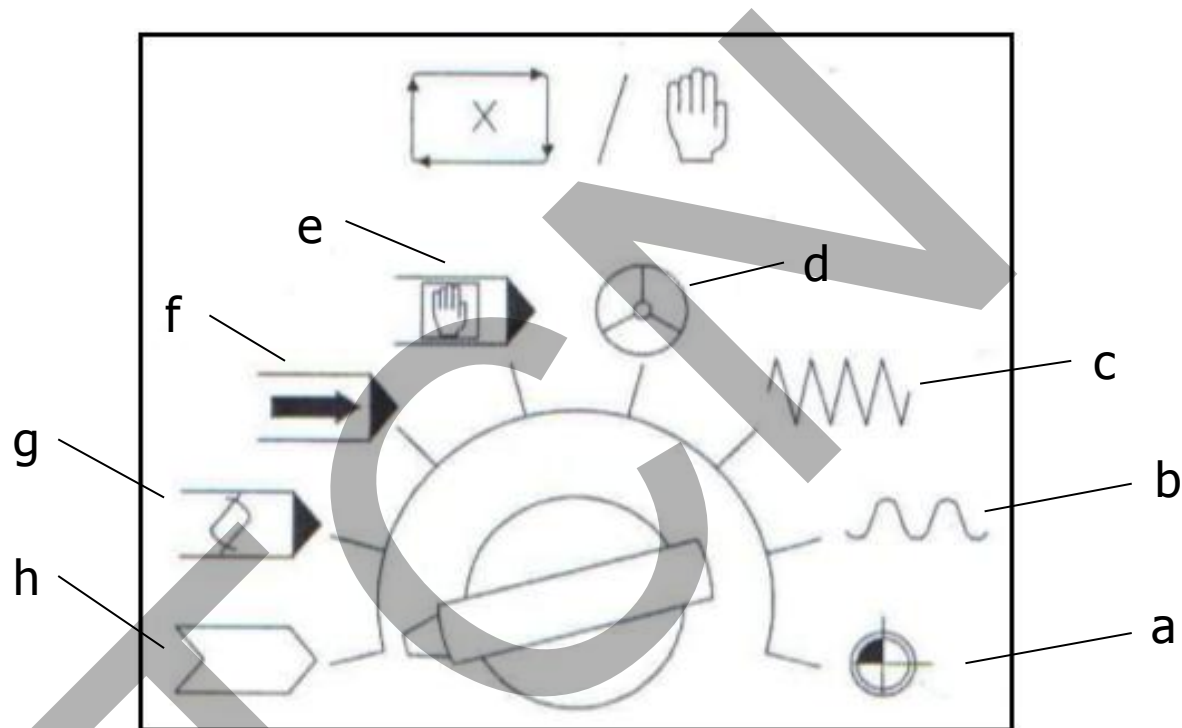


Fig. 3.5

Conține diferite taste și lămpi de semnalizare prin care realizează funcțiile:  
 - selectare regim de funcționare (fig.3.5)



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

- a – ZRN** – comandă revenire în punctul zero de referință pe cele trei axe
- b – RAPID** – deplasare cu avans rapid pe axa/axele selecționate
- c – JOG** – poziționare cu avansul selectat
- d – MPG** – se utilizează pentru controlul manual al deplasării pe axele mașinii
- e – MDI** – introducere manuală a datelor
- f – AUTO** – executarea automată a programului sursă
- g – EDIT** – mod utilizat numai pentru editarea și nu pentru execuția sa.
- h - TAPE(DNC)** – pentru corectarea la un program prin softul unui calculator.

#### Echipamentul permite operare manuală pentru:

- selectare axe și direcția de deplasare;
- acționare AP(numai în mod normal)
- blocare funcții M.S.T.;
- selectare regim bloc cu bloc;
- selectare 'STOP' opțional;
- selectare 'BLOC OPȚIONAL';
- operare magazine de scule în sens CW/CCW;
- start ciclu;
- deblocare axe la deplasarea pe axe până pe limitatorii de capăt de cursă;
- modificare avans și turație programate;
- etc;



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

Echipamentele CNC moderne au implementat, pentru poziționări așa numita facilitate numită **manivelă electronică**. Acest dispozitiv permite poziționarea sculei prin deplasări succesive pe axele lineare ale mașinii. Este indicată utilizarea acestui dispozitiv pentru evidențierea poziției de 0 alese pe piesă în sistemul de coordonate ale mașinii. (fig.3.6)



Fig. 3.6



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

O altă facilitate implementată pe echipamentele CNC modern o reprezintă **“touching probe”**. Inițial acest dispozitiv a fost conceput de firma Renishaw. Este utilizat pentru stabilirea valorii corecțiilor, poziția unui punct în sistemul de axe față de origine, dar și pentru alte măsurări referitoare la sculă, dispozitiv de fixare a piesei etc..



Fig. 3.7





**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

### **3.3. Structura MMI**

**Structura MMI este dictată de:**

- necesitatea operării ușoare a sistemului CNC;
- funcțiile utilizator al acestuia.

**Structura actuală:**

- bazată pe calculator(PC-based)

**Această structură permite:**

- utilizarea GUI;
- utilizarea sistemului CAM;
- comunicarea cu echipamente externe;
- utilizarea, de către operator, a funcțiilor specifice unui PC.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

## 3. Interfata OM - MASINA

### 3.1. Funcția MMI

### 3.2. Panou ECN

### 3.3. Structura MMI

Structura software a unui MMI (fig.3.8) cuprinde trei niveluri:

- nivelul pentru aplicații;
- nivelul Kernel;
- nivelul pentru sistemul de operare (OS)

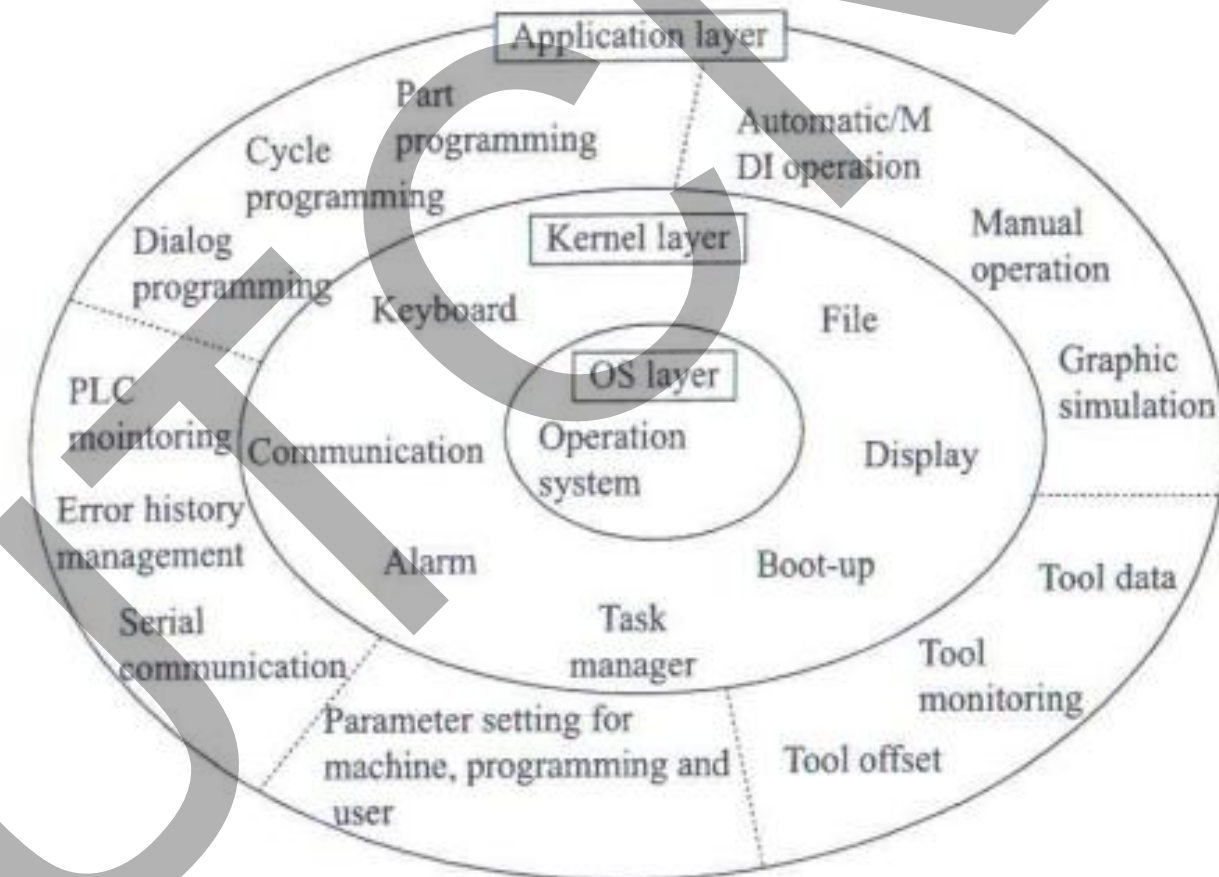


Fig.3.8





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Functia MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

Nivelul pentru aplicații, accesat de utilizator, asigură următoarele funcții:

1. Managementul mașinilor: monitorizează starea mașinii, afișează, în timp real, traiectoria sculei în prelucrare;
2. Managementul parametrilor: permite editarea parametrilor NC și a celor din sistem utilizați în program;
3. Managementul programului: asigură funcțiile G pentru editarea programelor, realizează managementul programelor piesă din punct de vedere a salvării, ștergerii etc.;
4. Managementul sculelor: programul se utilizează pentru editarea/managementul informațiilor despre sculă: valorile corecțiilor, durabilitatea, geometria etc.
5. Utilități: informații de service pentru sistemul CNC, monitorizarea PLC, DNC, comunicare cu sisteme externe.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Functia MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

### Nivelul Kernel constituie softul de bază a MMI.

Are rolul de a lega aplicațiile de NCK (sistemul de NC de bază).

Setează variabilele pe durata bootării sistemului, leagă modulele de aplicații cu cheile de intrare și fișierele de alarmare, transferă fișiere și parametrii.

1. Bootarea sistemului: această funcție inițializează variabilele sistemului de operare și managerul sistemului de bootare pentru setarea tipului de limbaj al MS Windows, parametrii de mașină etc.

2. Interfața de comunicare: realizează schimbul de date între NCK și PLC. Asigură transmiterea datelor cerute de către utilizator de la MMI pentru a fi afișate.

3. Managementul fișierelor: asigură servicii de management al fișierelor: copiere, ștergere, salvare, schimbare programe sursă și programe PLC;

4. Alarmer: afișează diferitele tipuri de alarme;

5. Chei de intrare: transmit date de la cheile soft, tastele de date, ferestrele de dialog la nivelul de aplicații și sistemul CNC;

6. Display

7. Task manager? Execută programele de pe nivelul de aplicații și generează funcții pentru apelarea/schimbarea lor.



### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### Blocul pentru introducerea datelor MMI

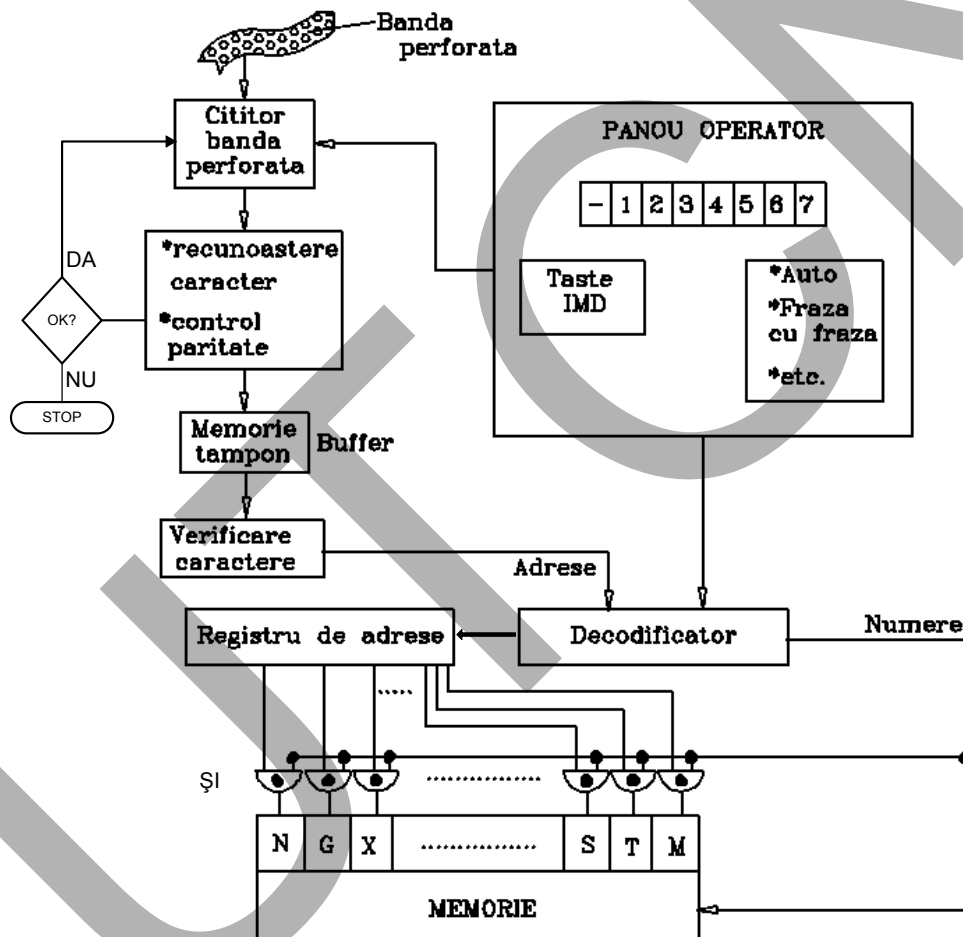


Fig. 3.9

#### Aspecte generale

Atribuțiile acestuia sunt:

- furnizează semnale de control pentru pornirea/oprirea cititorului de bandă;
- memorează temporar datele citite, respectiv introduse manual;
- asigură efectuarea controlului de paritate;
- identifică caracterele.

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

- 3.1. Funcția MMI
- 3.2. Panou ECN
- 3.3. Structura MMI
- 3.4. Schema de principiu a MMI



## REGIMURI DE LUCRU ALE ECN

- **IMD**
- **FRAZA CU FRAZA, AUTO, CAUTARE FRAZA etc.**

Modul **AUTOMAT** (AUTO) constituie regimul normal de operare. Permite desfășurarea automată a prelucrării fie prin citirea benzii perforate (echipamentele clasice NC) fie prin citirea programului rezident în memoria echipamentului (echipamente de tip CNC).

Modul **FRAZĂ CU FRAZĂ** se diferențiază de primul prin aceea că după citirea și executarea unui bloc este necesară intervenția operatorului uman pentru citirea blocului următor. Regimul este indicat să fie utilizat pe durata verificării și punerii la punct a programelor piesă.

Modul **MANUAL** (IMD) se caracterizează prin aceea că informațiile de lucru sunt introduse de operatorul uman prin intermediul tastelor de pe panoul echipamentului numeric. Informațiile sunt introduse grupat sub formă de blocuri. Modul manual se recomandă să fie utilizat numai pentru unele prelucrări simple care nu implică un volum mare de informații.

Modul **POZIȚIONARE** se utilizează în scopul realizării unor reglaje. Comutatoarele și tastele de poziționare asigură fie mișcări continue fie mișcări intermitente de valori 0,001; 0,01; 0,1; 1.0 mm.

Panoul echipamentului numeric asigură și o gamă variată de semnalizări și afișări: numărul blocului, conținutul lui, poziția sculei față de origine, restul distanței ce trebuie parcursă, corecțiile active, subprograme, parametrii mașină, etc..

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

- 3.1. Funcția MMI
- 3.2. Panoul ECN
- 3.3. Structura MMI
- 3.4. Schema de principiu a MMI

**1. Echipamentul de comandă numerică****2. Elemente de logică industrială****3. Interfata OM - MASINA****3.1. Funcția MMI****3.2. Panou ECN****3.3. Structura MMI****3.4. Schema de principiu a MMI****3.5. Banda perforată****3.5. Banda perforată**

Era cel mai utilizat suport informațional pentru echipamente numerice clasice datorită unor avantaje pe care le oferă:

- siguranță în timpul exploatării în condiții de atelier;
- densitate relativ mare de informații pe unitatea de suprafață ( $\approx 15$  biți/cm<sup>2</sup>);
- permite verificarea rapidă a corectitudinii codificării informațiilor prin bitul de paritate;
- durată redusă de înregistrare a programului în special în versiunea de programare asistată.

În majoritatea țărilor s-au utilizat aproape în exclusivitate benzile cu opt piste (figura 3.10) cu lățime de 25,4 mm.

## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

### 3.1. Functia MMI

### 3.2. Panou ECN

### 3.3. Structura MMI

### 3.4. Schema de principiu a MMI

### 3.5. Banda perforata

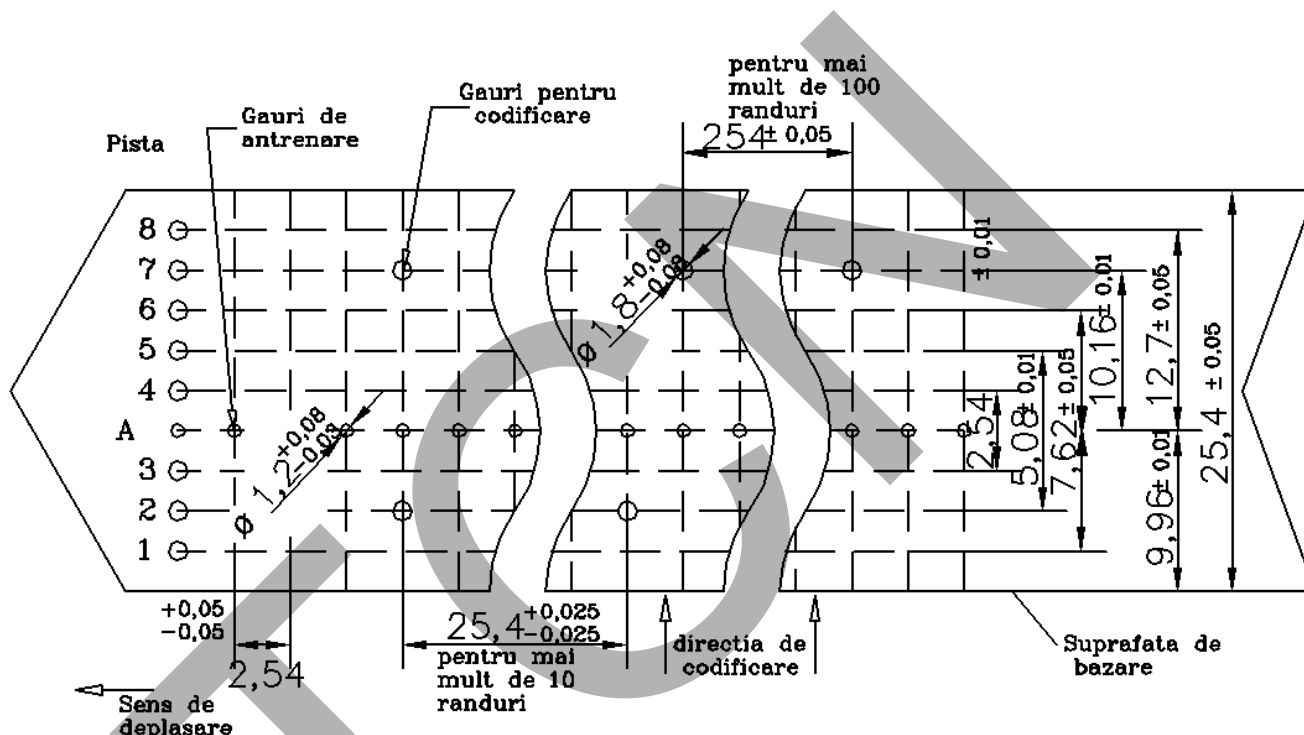


Fig. 3.10

- Citirea BP
  - ✓ transversala
  - ✓ longitudinala (istorie)

Codificarea informațiilor pe benzile perforate s-a realizat, aproape în exclusivitate, după o direcție transversală în raport cu sensul de deplasare a benzii. În cadrul celor 8 piste se pot realiza  $2^8 - 1$  combinații, prin intermediul cărora se pot înscrie în binar numerele 0, 1, ..., 255 din sistemul zecimal. Din aceste combinații pentru comenzi numerice se utilizează un număr mai restrâns de combinații.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

## CITITOARE DE BANDA

- Electromecanice
  - bila
  - stift
  - perie

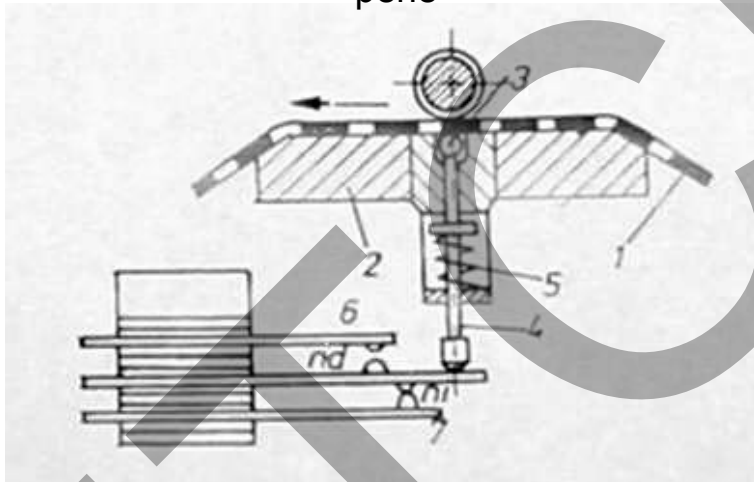


Fig. 3.11

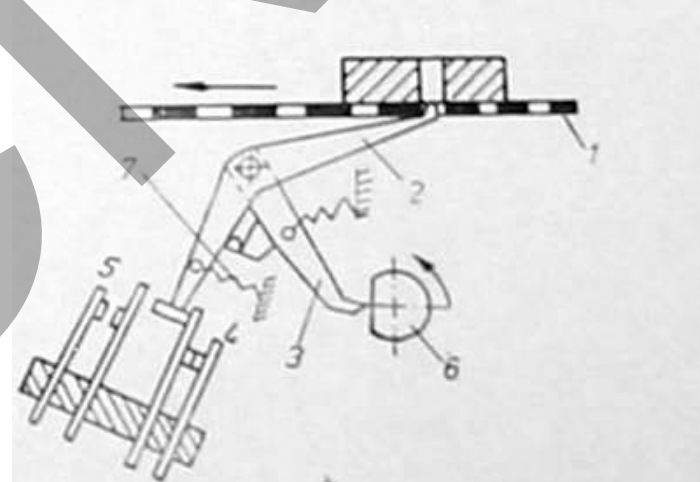


Fig. 3.12.

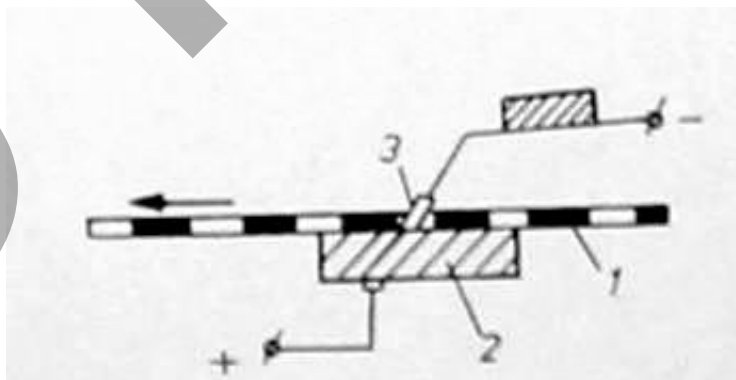


Fig. 3.13



## Siguranta in citire

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

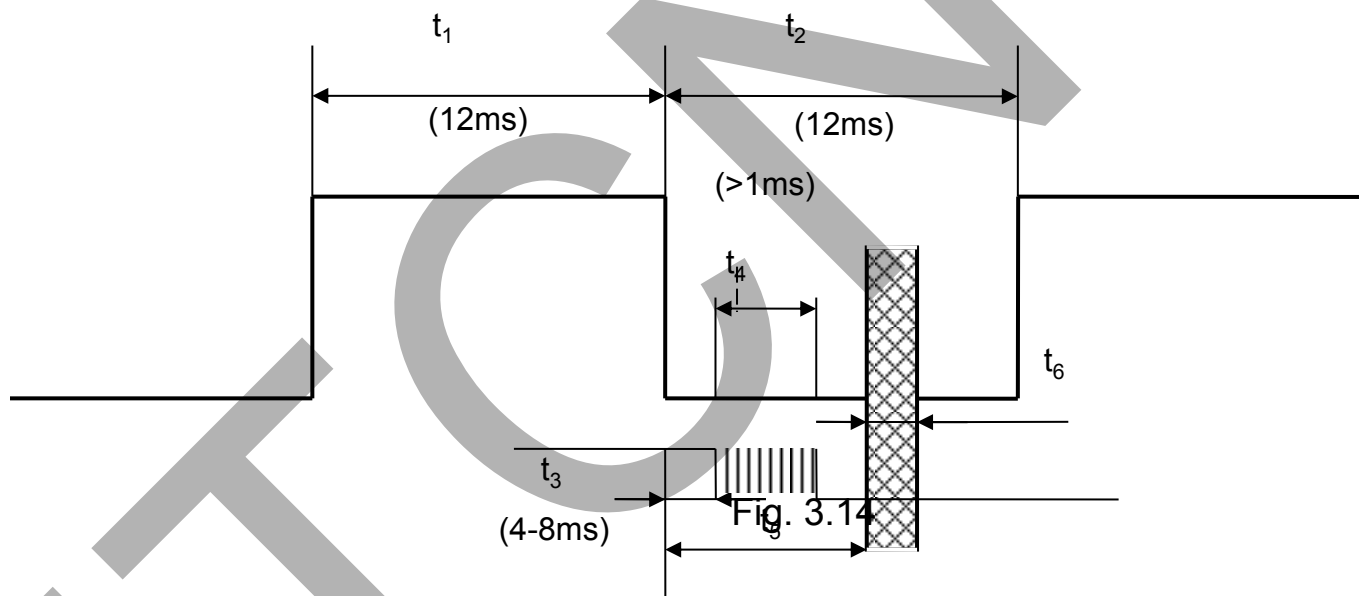
3.1. Functia MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforata



- $t_1$  – timpul corespunzător deplasării cu un pas al BP
- $t_2$  – timpul de repaus al BP
- $t_3$  – timpul pentru întârzierea mecanică la acționarea contactelor
- $t_4$  – timpul de imprăștiere
- $t_5$  – timpul de întârziere la citire
- $t_6$  – timpul de citire





**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

# Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

**3.4. Schema de principiu a MMI**

**3.5. Banda perforată**

Caracter	Codul EIA									CODUL ISO-R DIN 6624									Rang binar Valoare	Numărul pistei
	128	64	32	16	8		4	2	1	128	64	32	16	8		4	2	1		
	8	7	6	5	4	A	3	2	1	8	7	6	5	4	A	3	2	1		
0			•			○						•			○					
1						○			•			•			○					•
2						○		•				•			○					
3				•		○						•			○			•		
4						○	•					•			○					
5				•		○						•			○					•
6				•		○		•				•			○			•		
7						○						•			○					
8					•	○						•			○					
9				•		○						•			○					•
+		•	•	•		○						•			○					•
-						○						•			○					
a		•	•			○						•			○					•
b		•	•			○		•				•			○			•		
c		•	•	•		○						•			○					•
d		•	•			○	•					•			○					
e		•	•	•		○						•			○					•
f		•	•			○						•			○					
g		•	•			○						•			○					•
h		•	•		•	○						•			○					
i		•	•		•	○						•			○					•
j		•	•			○						•			○					
k		•	•	•		○						•			○					•
l		•	•			○						•			○					
m		•	•	•		○						•			○					•
n		•	•			○						•			○					
o		•	•			○						•			○					•
p		•	•			○						•			○					
q		•	•	•		○						•			○					•
r		•				○						•			○					
s			•	•		○						•			○					•
t			•			○						•			○					
u			•	•		○						•			○					•
v			•			○						•			○					
w			•			○						•			○					•
x			•	•		○						•			○					•
y			•	•		○						•			○					•
z			•		•	○						•			○					
Irr/DeI		•	•	•		○						•			○					•
RT/BS			•		•	○						•			○					
TAB/HT			•		•	○						•			○					•
Zwr/SP				•		○						•			○					
<E/NL	•					○						•			○					
≡/LF						○						•			○					
%						○						•			○					•
(						○						•			○					
)						○						•			○					
/			•	•		○						•			○					•
</CR						○						•			○					•

**1. Echipamentul de comandă numerică****2. Elemente de logică industrială****3. Interfata OM - MASINA****3.1. Funcția MMI****3.2. Panou ECN****3.3. Structura MMI****3.4. Schema de principiu a MMI****3.5. Banda perforată****3.6. USB/ Card memorie**

Echipamentele CNC nu au cititor de bandă perforată. Programul sursă se introduce fie:

- Utilizând USB cu programul memorat
- Utilizând Card de memorie cu programul memorat
- Utilizând direct conexiunea calculator - echipament



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

## 3.6. Coduri utilizate în tehnica comenzii numerice

O formulare de tipul

**“X-72456”**

este înțeleasă de către operatorul uman dar nu este înțeleasă de echipamentul numeric.

La baza fiecărui cod se găsește reprezentarea numerelor prin serii de puteri,

$$N_b = \sum_{i=0}^{r-1} a_i \cdot b^i \quad (3.1)$$

în care:

- $N_b$  - reprezintă numărul în codul “b”;
- $a_i$  - valoarea rangului (ordinului) în poziția “i”;
- $b$  - baza de numerație sau codul;
- $i$  - ponderea poziției (rangului) considerată în ordine crescătoare de la dreapta la stânga.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

### codurile RS244-A (EIA) și ISO-R

#### Codul EIA

- paritate impară (pista a 5-a)
- cifra "0" performanță pista a 6-a
- cifrele se codifică în binar, pistele 1÷4
- literele A ÷ I: cifrele 1 ÷ 9 + perforații în pistele 6 și 7

PARITATE: J ÷ R: cifrele 1 ÷ 9 + perforații în pista 7  
 S ÷ Z: cifrele 2 ÷ 9 + perforații pe pista 6

#### Codul ISO

- paritate pară (pista a 8-a)
- cifra "0" perforație în pistele 5 și 6
- cifra 1÷9 se codifică în binar + perforație în pistele 5 și 6
- literele: A – conform cifrei 65

PARITATE: B – conform cifrei 66  
 etc.



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Functia MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

**3.4. Schema de principiu a MMI**

**3.5. Banda perforata**

**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.**

## Codul binar natural

Baza codului este 2

Cifrele 0 și 1 (biți) sunt utilizate pentru a indica valoarea ordinului

8	4	2	1	TETRADE	
$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$		
0	0	0	0	= 0	$= 0.2^3 + 0.2^2 + 0.2^1 + 0.2^0$
0	0	0	1	= 1	$= 0.2^3 + 0.2^2 + 0.2^1 + 1.2^0$
0	0	1	0	= 2	$= 0.2^3 + 0.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0$
.	.	.	.		
1	0	0	1	= 9	$= 1.2^3 + 0.2^2 + 0.2^1 + 1.2^0$
1	0	1	0	=10	$= 1.2^3 + 0.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0$
.	.	.	.		
1	1	1	1	=15	$= 1.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 1.2^0$

Cu "n" biți se poate reprezenta un număr a cărui valoare maximă este  $2^n - 1$



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

**3.4. Schema de principiu a MMI**

**3.5. Banda perforată**

**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**

## Coduri binal-zecimale

Reprezentarea numerelor în codurile binar-zecimale se bazează pe scrierea numărului folosind baza 10 ponderea rangului zecimal se indica în baza 2.

- *Codul 8-4-2-1* - exprimă cifrele zecimale 0, 1, ..., 9, în codul binar pur. Codul mai este cunoscut și sub denumirea de codul BCD. Deoarece respectă, în scrierea cifrelor zecimale, puterile lui 2 este un cod operant. Are dezavantajul că cifra "0" se înscrie prin tetrada "0000" care nu presupune nici o perforație a benzii, conducând la confuzia cu lipsa de informație.

$$(385)_{\text{BCD}} = (0011) \times 10^2 + (1000) \times 10^1 + (0101) \times 10^0$$



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

• Codul Aiken

• Codul Exces 3 (Stibitz)

	Cod Aiken		
0	0000	0	
1	0001	1	
2	0010	2	
3	0011	3	0
4	0100	4	1
5	0101	LS	2
6	0110		3
7	0111		4
8	1000		5
9	1001		6
10	1010		7
11	1011	5	8
12	1100	6	9
13	1101	7	
14	1110	8	
15	1111	9	

$2^3 2^2 2^1 2^0$  Ponderea rangului

Fig. 3.15



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### • Codul Aiken

- Se observă că s-au selecționat primele 5 și ultimele 5 tetrade din cele 16. Pentru reprezentarea cifrelor 0, 1, ..., 9 sunt necesari tot patru biți dar ponderea celor patru ordine binare este 2 - 4 - 2 - 1, de unde și denumirea de codul 2 - 4 - 2 - 1.

- Modul de scriere a numerelor este similar cu cel utilizat în cazul codului BCD.

- Codul este operant. Caracteristica codului o constituie simetria celor 10 cifre în raport cu linia ce desparte cifrele 4 de 5 (reprezentate în Aiken). Perechile de cifre 0-9; 1-8; 2-7; etc. conferă codului o simetrie în raport de complementul de 1:

$$\overline{0001} = 1000 \quad \bar{1} = 8$$

• Codul Exces 3 - numit și *Stibitz*, derivă tot din cele 16 tetrade, înlăturând primele trei și ultimele trei. Este un cod inoperant rămânând însă simetric. Înlătură dezavantajul codurilor BCD și Aiken în ce privește reprezentarea cifrei 0.

• Codul Gray - se găsește în două variante: binar ciclic și binar modificat. Codul Gray ciclic se caracterizează prin aceea că la trecerea de la numărul 10 la numărul imediat următor apare numai o singură modificare în tetradele respective. Această proprietate îi conferă codului o siguranță sporită la citire, fapt pentru care se utilizează la codificarea riglelor traductoarelor de deplasare.

Analizând codurile prezentate, se observă că nici unul nu se bucură de proprietatea codului Gray.





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Functia MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforata

#### 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.

Exemple de utilizare (scriere)

- BCD:  $385 = (0011) \times 10^2 + (1000) \times 10^1 + (0101) \times 10^0$
- Aiken:  $385 = (0011) \times 10^2 + (1110) \times 10^1 + (1011) \times 10^0$
- Exces 3:  $385 = (0110) \times 10^2 + (1011) \times 10^1 + (1000) \times 10^0$

Cifra zecimală	Gray binar ciclic	Gray binar modificat	
0	0000	0000	0
1	0001	0001	1
2	0011	0011	2
3	0010	0010	3
4	0110	0110	4
5	0111		
6	0101		
7	0100	LS	
8	1100		
9	1101		
10	1111		
11	1110	1110	5
12	1010	1010	6
13	1011	1011	7
14	1001	1011	8
15	1000	1000	9

Fig. 3.16



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

### Coduri de corectare

- Depistarea erorilor prin verificarea parității înregistrării

Codurile EIA și ISO au și atributul de coduri de corectare.

- Depistează locul apariției erorii

Un astfel de cod este codul Hamming.

## 3.7. Circuite logice combinaționale

### CONVERTORI

- de cod: decodificatori  
codificatori
- de mărimi fizice

### Convertori de cod

### Decodificatori

Decodificatorii se caracterizează prin aceea că semnalul de ieșire este exprimat în cod zecimal, indiferent de codul utilizat la intrare.

În practică se realizează sub forma circuitelor integrate MSI



## Decodificator din codul BCD

Tabelul de funcționare al decodificatorului BCD

$2^3$ D	$2^2$ C	$2^1$ B	$2^0$ A	$\bar{0}$	$\bar{1}$	$\bar{2}$	$\bar{3}$	$\bar{4}$	$\bar{5}$	$\bar{6}$	$\bar{7}$	$\bar{8}$	$\bar{9}$
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$$\begin{aligned}
 \bar{0} &= \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \\
 \bar{1} &= A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \\
 \bar{2} &= \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \\
 \bar{3} &= A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \\
 \bar{4} &= \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} \\
 \bar{5} &= A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} \\
 \bar{6} &= \bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \\
 \bar{7} &= A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \\
 \bar{8} &= \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D \\
 \bar{9} &= A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D
 \end{aligned}$$

Stari  
interzise

Decodificatorul rejectează datele false de intrare: toate stările sunt decodificate explicit, datele false fixate eventual pe intrările decodificatorului (cifra 11 – care nu există în BCD) duc la stabilirea tuturor ieșirilor în starea falsă de 1 logic.

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

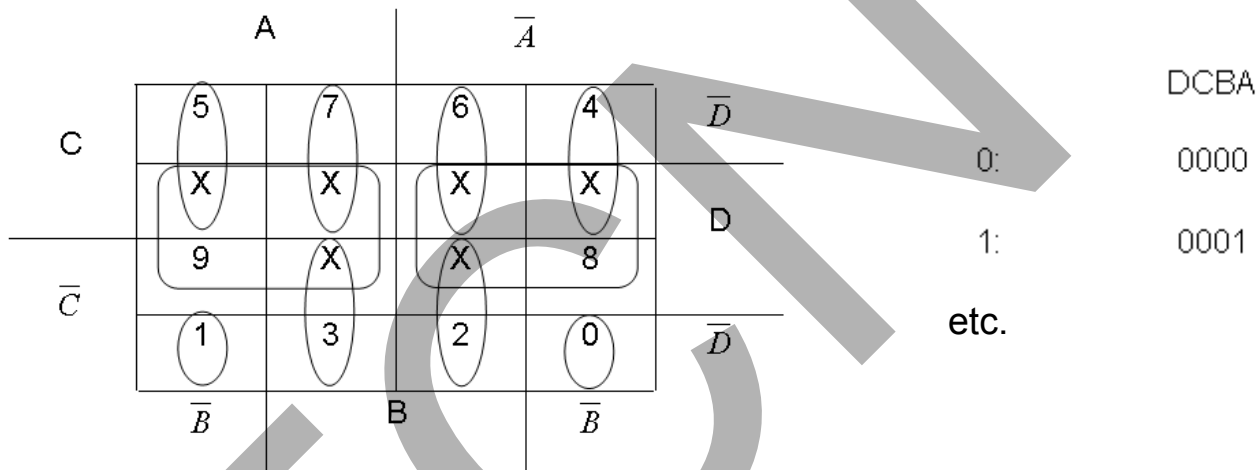
3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinacionale



Decodificator din BCD (8-4-2-1) fără rejectarea datelor false de la intrare.



$$\begin{aligned}
 0: & \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} & 5: & A \cdot \bar{B} \cdot C \\
 1: & A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} & 6: & \bar{A} \cdot B \cdot C \\
 2: & \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} & 7: & A \cdot B \cdot C \\
 3: & A \cdot B \cdot \bar{C} & 8: & \bar{A} \cdot D \\
 4: & \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C & 9: & A \bar{D}
 \end{aligned}$$

**Obs:** Diagrama de referință trebuie înțeleasă în sensul că ea reprezintă de fapt 10 DK explicite conținând o singură unitate în dreptul celulei care indică numărul ieșirilor zecimale. În aceste diagrame, în dreptul celulelor corespunzătoare stărilor interzise se notează starea "X" corespunzând unei stări nedeterminate (0 sau 1).

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinacionale



## Schema de principiu

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

**3. Interfata OM - MASINA**

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

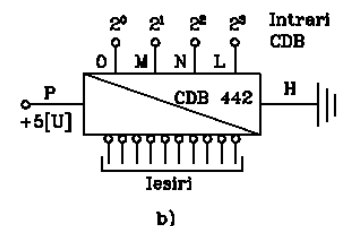
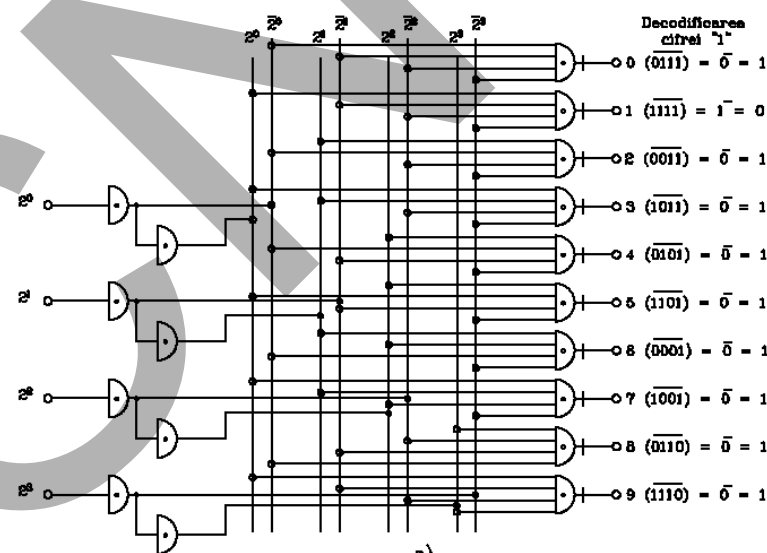
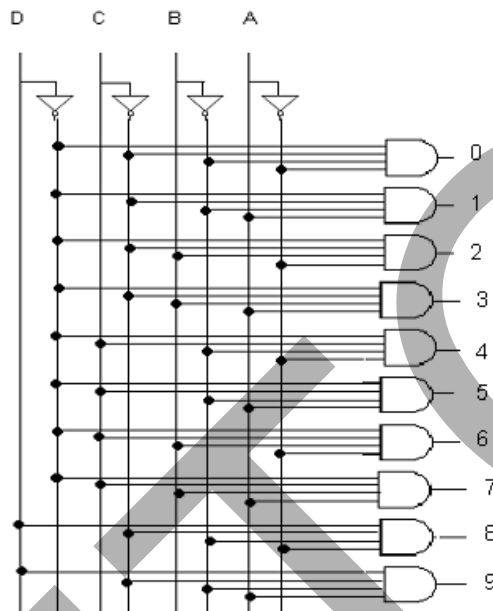
3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinacionale



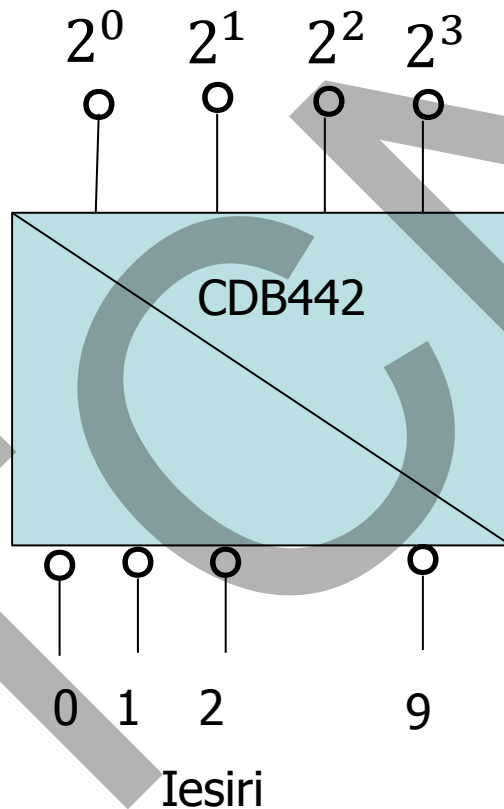
operatori logici ȘI NU  
de tipul TTL



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

- 3.1. Funcția MMI
- 3.2. Panou ECN
- 3.3. Structura MMI
- 3.4. Schema de principiu a MMI
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.
- 3.7. Circuite logice combinacionale

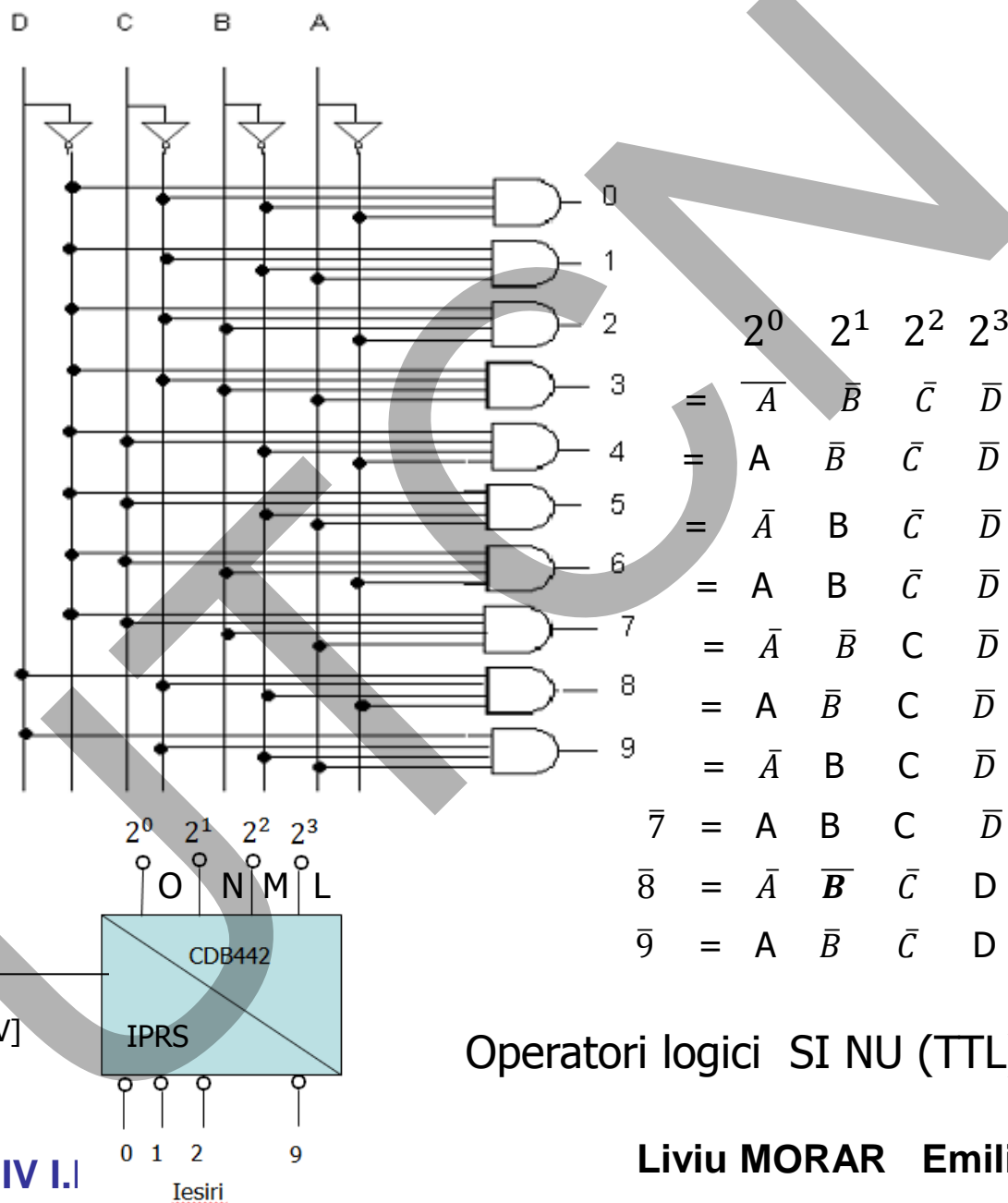




1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

- 3.1. Funcția MMI
- 3.2. Panou ECN
- 3.3. Structura MMI
- 3.4. Schema de principiu a MMI
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.
- 3.7. Circuite logice combinacionale



Operatori logici SI NU (TTL)



## Codificatori

modifică codul semnalului de ieșire în raport cu cel de intrare, informația (numărul) rămânând aceeași

Ex: codificator GRAY-BINAR

Gray		Binar	
A	B C D	a	b c d
0	0 0 0 0	0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	3	0 0 1 1
3	0 0 1 1	2	0 0 1 0
4	0 1 0 0	7	0 1 1 1
5	0 1 0 1	6	0 1 1 0
6	0 1 1 0	4	0 1 0 0
7	0 1 1 1	5	0 1 0 1
8	1 0 0 0	15	1 1 1 1
9	1 0 0 1	14	1 1 1 0
10	1 0 1 0	12	1 1 0 0
11	1 0 1 1	13	1 1 0 1
12	1 1 0 0	8	1 0 0 0
13	1 1 0 1	9	1 0 0 1
14	1 1 1 0	11	1 0 1 0
15	1 1 1 1	10	1 0 1 1

Definirea problemei

presupune găsirea relațiilor:

$$a = f_1(A, B, C, D), b = f_2(ABCD), c = f_3(ABCD) \text{ și } d = f_4(ABCD)$$

**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

**3.4. Schema de principiu a MMI**

**3.5. Banda perforată**

**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**

**3.7. Circuite logice combinacionale**





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate  
in tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice  
combinationale

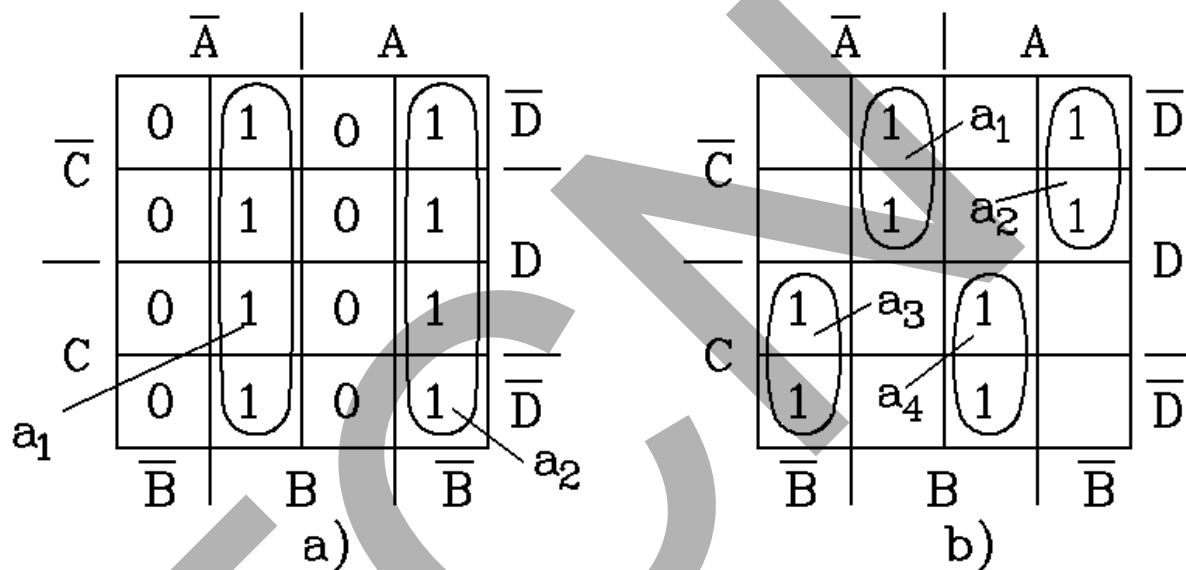


Fig. 3.17

Determinarea funcțiilor:

se folosește metoda grafică, diagrame Karnaugh (DK) de patru variabile.

$$a = f_1(A, B, C, D)$$

Din analiza tabelului se observă că  $a \equiv A$ , ca urmare intrarea A se leagă direct la ieșire.

$$b = f_2(ABCD) \quad (\text{DK, fig. 3.17,a})$$


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.1. Funcția MMI**
**3.2. Panou ECN**
**3.3. Structura MMI**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforată**
**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinatoriale**

Se consideră condiția  $b=1$ , rezultând următoarele combinații de intrare:

$$\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}(0100); \bar{A}\bar{B}\bar{C}D(0101); \bar{A}\bar{B}C\bar{D}(0110); \bar{A}\bar{B}CD(0111); \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}(1000); \\ \bar{A}\bar{B}\bar{C}D(1001); \bar{A}\bar{B}C\bar{D}(1010); \text{și } \bar{A}\bar{B}CD(1011)$$

Conduce la

$$b = \bar{A}B + A\bar{B} = a \oplus B$$

$$c = f_3(ABCD) \quad (\text{DK, fig. 3.17, b})$$

$$c = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}\bar{C}B + \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} = C(\bar{A}\bar{B} + \bar{A}B) + \bar{C}(\bar{A}B + A\bar{B}) = \\ = C(\overline{A \oplus B}) + \bar{C}(A \oplus B) = C\bar{b} + \bar{C}b = b \oplus C$$

$$d = f_4(ABCD)$$

$$d = c \oplus D$$



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

**3.4. Schema de principiu a MMI**

**3.5. Banda perforata**

**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.**

**3.7. Circuite logice combinationale**

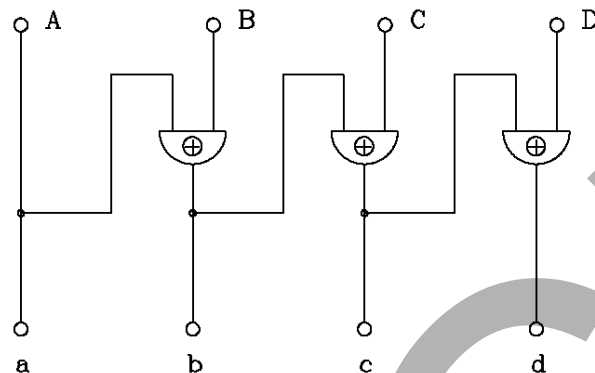


Fig. 3.18 Schema codicatorului

Codicatorul utilizează funcții logice de tipul SAU EXCLUSIV. Comercial se găsește sub formă de circuit integrat.

## Comparatoare

Sunt circuite logice prin care se poate determina valoarea relativă a două numere. Se compară, succesiv, fiecare bit din alcătuirea numărului.

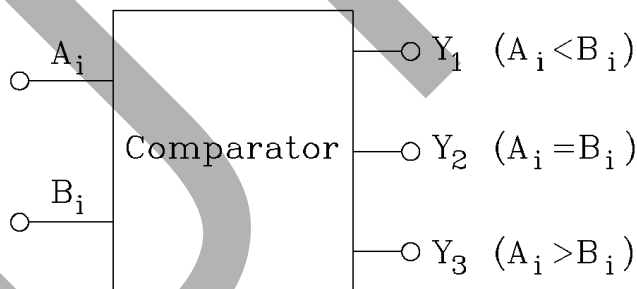


Fig. 3.19

$A_i$	$B_i$	$Y_1 = \overline{A_i} \cdot B_i$	$Y_2 = \overline{A_i} \oplus \overline{B_i}$	$Y_3 = A_i \cdot \overline{B_i}$
0	0	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	1	0	1	0

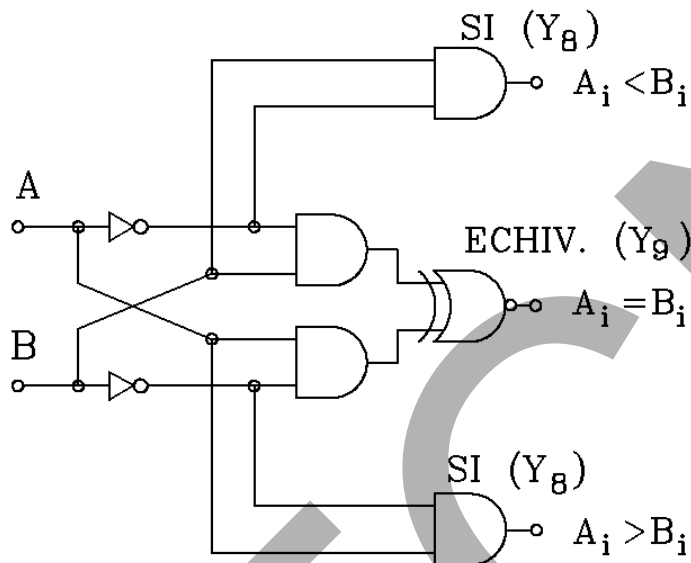

**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.1. Funcția MMI**
**3.2. Panou ECN**
**3.3. Structura MMI**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforată**
**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinacionale**


Fig. 3.20.

• Schema comparatorului este prezentată în figura 3.20. Există comparatoare de 4 biți. Numere (cuvinte) cu lungimi mai mari pot fi comparate conectând comparatoarele în cascadă. Ieșirile  $A < B$ ,  $A > B$ ,  $A = B$  de la comparatorul destinat celor mai puțin semnificativi biți din număr sunt conectate la intrările corespunzătoare  $A < B$ ,  $A > B$ ,  $A = B$  a comparatorului următor.

Tabelul 3.1

**Rememorare**

$X_1$	$X_2$	$Y_0$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_{10}$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{14}$	$Y_{15}$
0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

$Y_1$  – NICI (NØR) SAU NU;  $Y_6$  – SAU EXCLUSIV

$Y_7$  – NAND SI NU;  $Y_8$  – SI

$Y_9$  – ECHIVALENTA;  $Y_{14}$  – SAU



## Blocuri de calcul aritmetic

Sunt larg răspândite în blocurile funcționale ale ECN clasice pentru operații ce implică comparări, interpolări etc. La echipamentele de tip CNC au o arie de aplicații mult mai largă. Pentru înțelegerea modului de funcționare, se prezintă numai câteva aspecte, de principiu, privind aritmetica numerelor binare.

Operațiile de adunare și scădere pentru numere cu 1 bit sunt prezentate în tabelul 3.2

*Tabel 3.2.*

Operanți		Suma	Transport	Diferență	Împrumut
X	Y	$S=X+Y$	C	$D=X-Y$	B
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	0

**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**3.1. Funcția MMI**

**3.2. Panou ECN**

**3.3. Structura MMI**

**3.4. Schema de principiu a MMI**

**3.5. Banda perforată**

**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**

**3.7. Circuite logice combinacionale**


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.1. Funcția MMI**
**3.2. Panou ECN**
**3.3. Structura MMI**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforată**
**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinabile**

Adunarea a două numere fără semn cu mai mulți biți (tabelul 3.3) se efectuează adunând la suma a două cifre curente transportul de la cifra anterioară.

Tabelul 3.3

Intrări			Ieșiri	
$X_i$	$Y_i$	$C_i$	$C_{i+1}$	$S_i$
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

S-au utilizat notațiile:  $C_i$ ,  $C_{i+1}$  transport de la cifra anterioară, respectiv cifra următoare,  $S_i$  suma iar prin  $X_i$  și  $Y_i$  cifrele care se adună.



# 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

Schema de principiu

Transportul este notat cu litera C de la cuvântul englezesc “carry”.

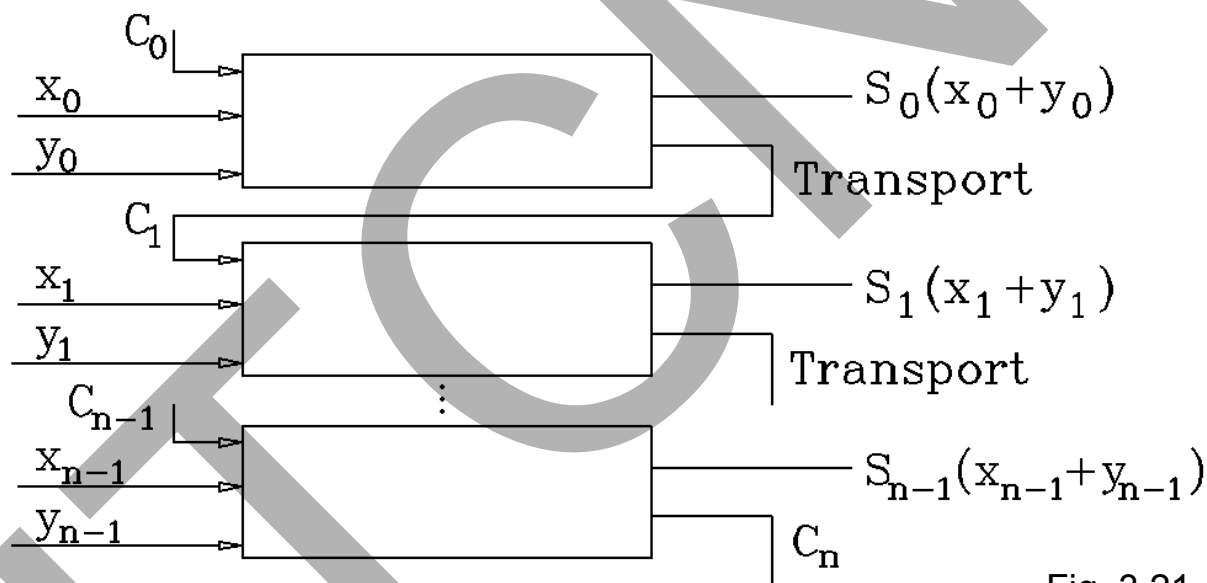


Fig. 3.21

Scăderea binară utilizează circuite sumatoare modificate (cu transport negativ sau împrumuturi) sau se poate nega descăzutul și apoi adună. Împrumutul se face de la rangul (bitul) superior


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.1. Funcția MMI**
**3.2. Panou ECN**
**3.3. Structura MMI**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforată**
**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinacionale**

Înlocuirea operației de scădere cu cea de adunare se face în mai multe etape. Scăzătorul se scrie sub forma complementului de 1 (se neagă fiecare bit) apoi prin adunarea bitului “1” la cel mai puțin semnificativ bit (CMPSB) se găsește complementul față de 2 a scăzătorului. În continuare, se face operația de adunare a scăzătorului, în complement de 2, cu descăzutul:

$$A - B = A + (-B)$$

în care  $(-B)$  este complementul față de 2.

Pentru exemplificare se consideră scăderea:  $44 - 39$

$(44)_{10} = (101100)_2$	1	0	0	1	1	1	scăzător
	0	1	1	0	0	0	complement față de 1
						1	
$(39)_{10} = (100111)_2$	0	1	1	0	0	1	+ complement față de 2
	1	0	1	1	0	0	
Transport: 1	0	0	0	1	0	1	diferența
C							

În cazul operației prezentate apare, un transport și nu un împrumut, explicabil prin aceea că scăderea a fost înlocuită prin adunarea complementului de 2.





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinabile

#### 3.8. Circuite de memorare

## 3.8. Circuite de memorare

Sunt circuitele electronice care implementează funcția de memorare, adică posibilitatea de regăsire a unor informații reprezentate sub formă binară și stocate anterior.

Circuitele de memorare pot funcționa fie după principiul CLC (memorii RAM, ROM) fie după acela al CLS (registre).

Circuitele de memorare trebuie să asigure următoarele funcții: de scriere a datelor și de citire a acestora. Funcție de modul în care aceste funcții sunt realizate, există următoarele tipuri de memorii:

- memorii cu acces aleator RAM (Random Access Memory) care permit atât funcția de citire cât și cea de scriere a datelor. Alte memorii cum ar fi EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) pot fi citite și șterse în mod selectiv cât și reprogramabile;
- memorii Rom (Read Only Memory), PROM (Programmable ROM) și EPROM (Erasable PROM) pot fi numai citite de către sistemul care le utilizează. Este posibilă ștergerea în cazul memoriilor EPROM dar nu este efectuată de sistemul utilizator.

Un loc aparte în cadrul circuitelor de memorare îl ocupă soluția pentru regăsirea informației stocate. Ca urmare, există două tipuri de semnale: adrese și date - cuvintele binare memorate. În faza de înscriere în memorie datele sunt semnale de intrare, iar în faza de citire devin semnale de ieșire.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinacionale

3.8. Circuite de memorare

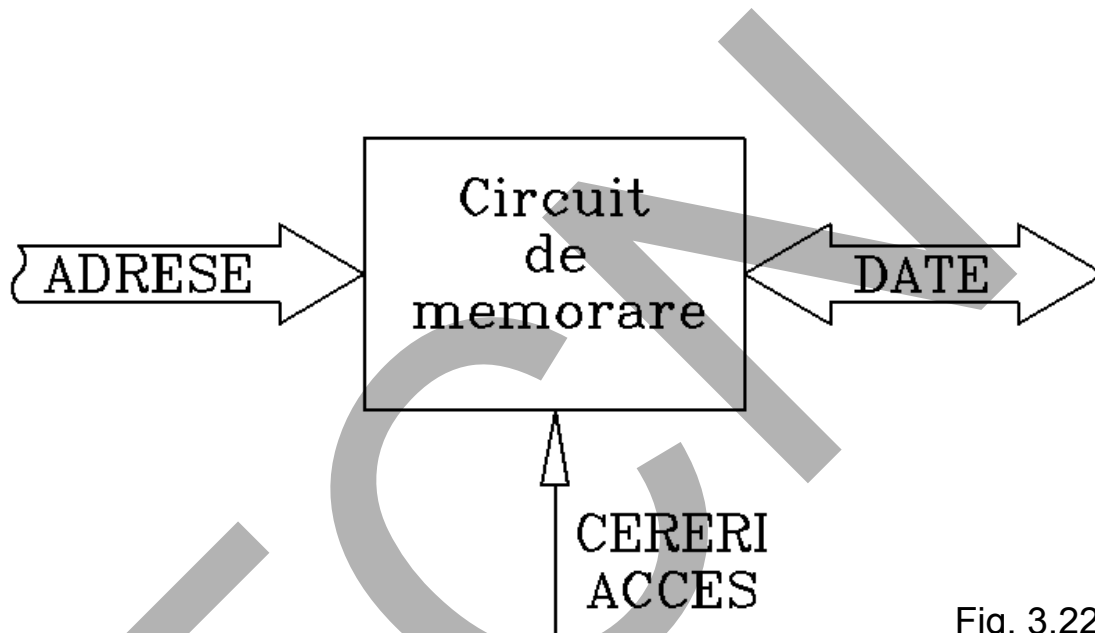


Fig. 3.22

Citirea/înscrierea în memorie se realizează în anumite momente precizate de sistem prin diferite cereri (figura 3.22). Memoriile de tip ROM sunt memorii semiconductoare având la bază matrici de intersecții (figura 3.23 a, b).



Punctele de intersecție pot fi formate din legături conductoare cu diode, tranzistoare, inversori logici MOSFET (figura 3.23 a).

## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

#### 3.8. Circuite de memorare

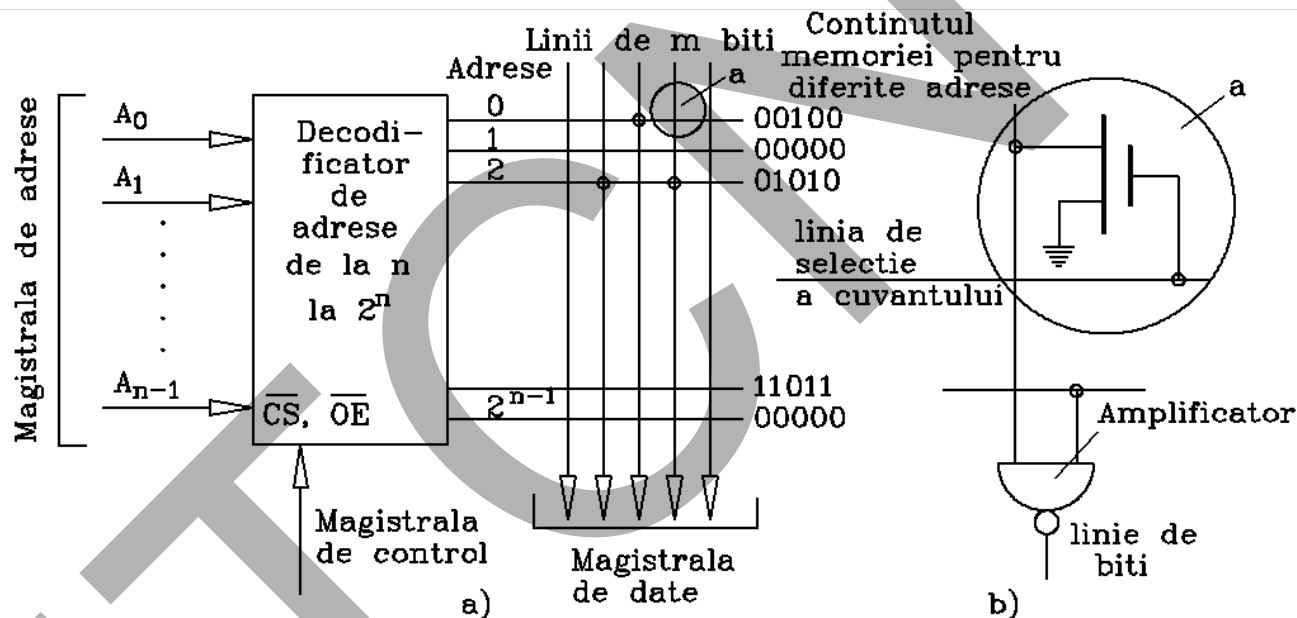


Fig. 3.23

Tiparul memoriei este stabilit prin ștergerea selectivă a conexiunilor de intersecție în timpul fabricării (maskare) sau înainte de utilizare, numai pentru memorii de tip PROM. Lipsa unui tranzistor (a legăturii în general) în nod este echivalent cu "1" logic iar prezența legăturii (figura 3.23 b) cu "0" logic



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

#### 3.8. Circuite de memorare

Blocurile funcționale a memoriilor de tip RAM sunt indicate în figura 3.24.

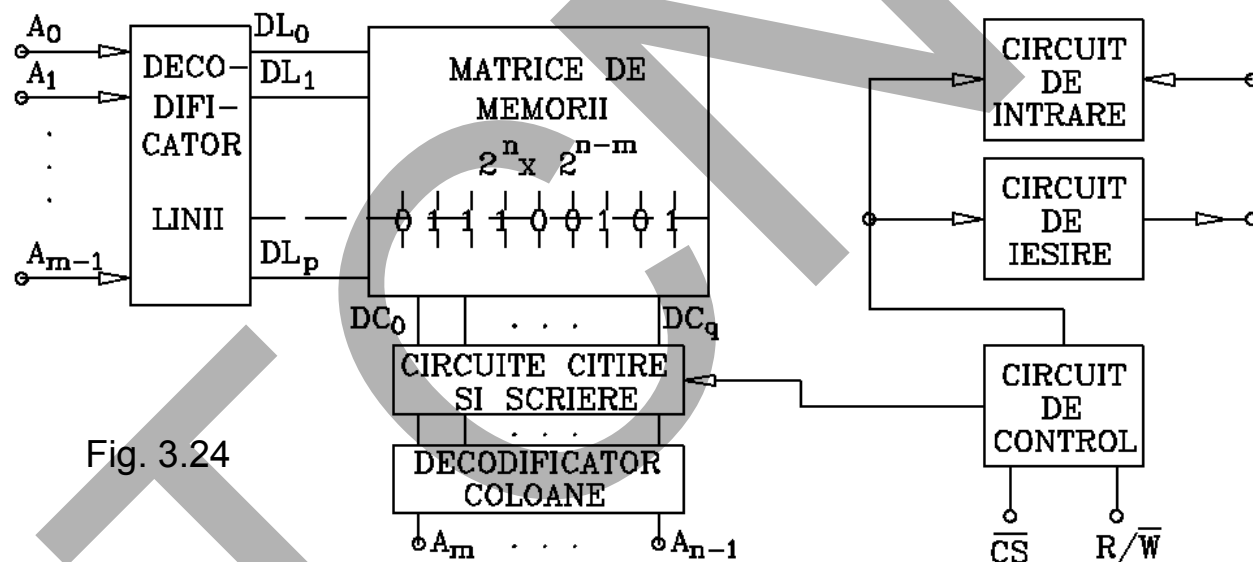


Fig. 3.24

Matricea de memorare conține la intersecția unei linii cu coloane o celulă de memorare de 1 bit. Decodificatoarele activează pe de o parte liniile de selecție cuvânt  $DL_0 \dots DL_p$  (unde  $p = 2^n$ ) și pe de altă parte circuitele de citire și înscrisere pentru fiecare coloană,  $DC_0 \dots DC_q$  (unde  $q = 2^{n-m}$ )



## 3.9. Cicruite logice secventiale

### Numărătoare

### Scop

Sunt circuite care au rolul de a înregistra numărul de impulsuri aplicat la intrare. Se pot realiza numărătoare pentru orice mod de codificare a informației cu condiția, evidentă, ca fiecare număr să reprezinte o stare distinctă

Criterii de clasificare a numărătoarelor:

- după modul de codificare a informației, respectiv codul de operare. În cadrul numărătoarelor standard există trei tipuri de coduri folosite uzual: binar, zecimal codat binar (BCD) și codul Johnson, octal sau zecimal;
- după modul de funcționare sau de comutare a bistabilelor, există:
  - ✓ numărătoare asincrone. Se caracterizează prin aceea că CBB-urile din care este construit numărătorul nu comută simultan. Ca urmare, schimbarea stării fiecărui CBB se face succesiv, fapt posibil prin cuplarea ieșirii unui CBB la intrarea celui alt;
  - ✓ numărătoare sincrone. Se caracterizează prin aceea că CBB-urile primesc simultan un impuls de tact. Prin aceasta se asigură schimbarea simultană a stării tuturor CBB-urilor.
- după modul de modificare a stării conținutului există:
  - ✓ numărătoare de tip UP (directe) dacă schimbarea stărilor CBB-urilor se face în sensul de la primul bistabil către ultimul ( $CBB_0 \rightarrow CBB_n$ );
  - ✓ numărătoare de tip DOWN (indirecte), schimbarea stărilor se face de la ultimul către primul CBB. În acest scop ieșirea  $\bar{Q}_{i-1}$  a  $CBB_{i-1}$  se leagă la intrarea  $CBB_i$ ;
  - ✓ numărătoare reversibile, de tip UP-DOWN. Prin logica de comandă se asigură ambele moduri de numărare.

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinacionale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secventiale



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

- 3.1. Funcția MMI
- 3.2. Panou ECN
- 3.3. Structura MMI
- 3.4. Schema de principiu a MMI
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.
- 3.7. Circuite logice combinacionale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secvențiale

În construcția numărătoarelor se utilizează: cel mai frecvent, trei tipuri distincte de CBB-uri: **Bistabilul D master - slave**, **bistabilul T (denumit și *toggle*)**, respectiv **bistabilul TE (*toggle enable*)**. Primul tip de bistabil este folosit în special pentru numărătoare Johnson, al doilea pentru cele asincrone iar ultimul pentru cele sincrone.

Schema unui numărător binar asincron este indicată în figura 3.25.

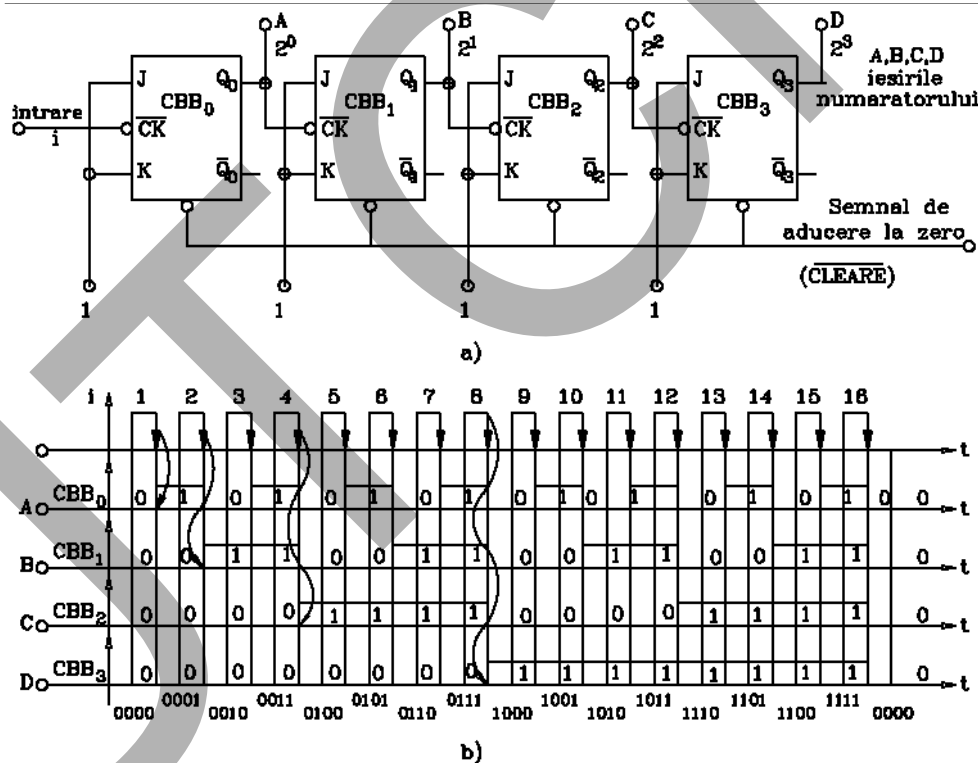


Fig. 3.25



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

#### 3.8. Circuite de memorare

#### 3.9. Circuite logice secventiale

Ieșirea  $Q_{i-1}$  este legată la intrarea  $\bar{C}_{ki}$ . Acest mod de legare asigură numărarea directă UP. Numărătorul are  $2^n$  ( $n=4$ ) stări. Numărul de impulsuri aplicat la intrare (tranzițiile  $1 \rightarrow 0$ ):

$$N_x = Q_3 \cdot 2^3 + Q_2 \cdot 2^2 + Q_1 \cdot 2^1 + Q_0 \cdot 2^0 \quad (3.2)$$

Dacă legarea CBB-urilor se schimbă, în sensul că ieșirea  $\bar{Q}_{i-1}$  este legată la  $\bar{C}_{ki}$ , numărătorul asincron devine invers (DOWN)

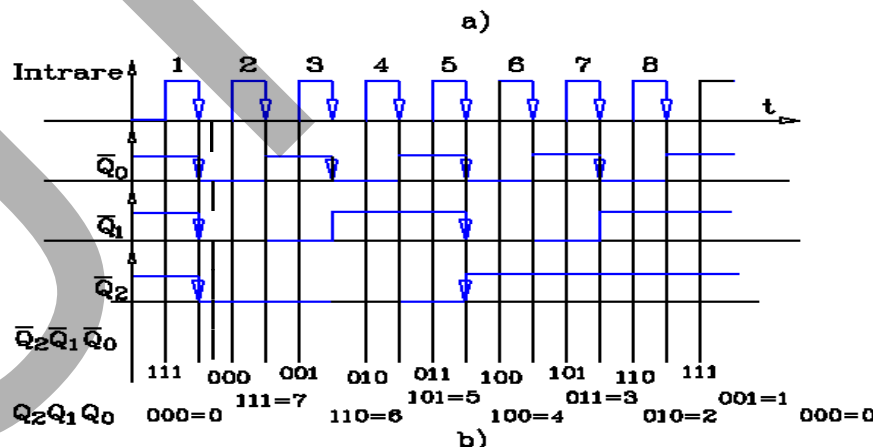
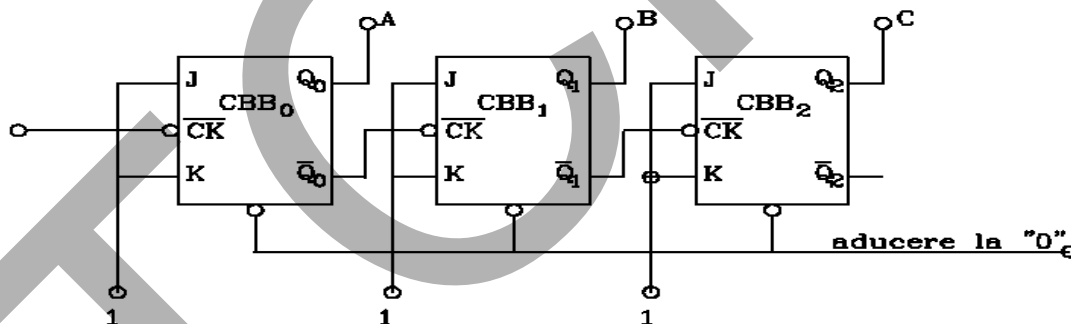


Fig. 3.26



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

#### 3.8. Circuite de memorare

#### 3.9. Circuite logice secvențiale

În acest caz, ieșirile  $\bar{Q}_0$ ,  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$  și  $\bar{Q}_3$  vor avea stările: 0000, 0001, 0010, 0011, ... , 1100, 1101, 1110, 1111, ceea ce conduc pentru ieșirile  $Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  și  $Q_3$  la stările 1111 (15), 1110 (14), ..., 0010 (2), 0001 (1) și 0000 (0). Din starea ieșirilor se observă faptul că numărătorul numără invers. (fig. 2.30)

Analizând schema din figura 2.29 se observă posibilitatea de a utiliza numărătorul ca un circuit de divizare prin urmărirea semnalului doar la o singură ieșire.

Dacă se urmărește numai ieșirea A, circuitul funcționează ca un divizor cu 2, ieșirea B-divizor cu 4, etc.

### Sinteza unui numărătorului binar sincron JK

Funcționarea sincronă este dată de faptul că impulsul de “intrare” este aplicat simultan tuturor CBB-urilor.

#### De determinat:

funcțiile logice de la intrările J, K a bistabilelor

#### Punct de plecare:

funcționarea numărătorului





Tabelul 3.4

Mom	$I_N$	CBB <sub>3</sub>	CBB <sub>2</sub>	CBB <sub>1</sub>	CBB <sub>0</sub>	CBB <sub>3</sub>		CBB <sub>2</sub>		CBB <sub>1</sub>		CBB <sub>0</sub>	
						J <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>	J <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	J <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	J <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>
t <sub>0</sub>	1	0	0	0	0	0	*	0	*	0	*	1	*
t <sub>1</sub>	1	0	0	0	1	0	*	0	*	1	*	*	1
t <sub>2</sub>	1	0	0	1	0	0	*	0	*	*	0	1	*
t <sub>3</sub>	1	0	0	1	1	0	*	1	*	*	1	*	1
t <sub>4</sub>	1	0	1	0	0	0	*	*	0	0	*	1	*
t <sub>5</sub>	1	0	1	0	1	0	*	*	0	1	*	*	1
t <sub>6</sub>	1	0	1	1	0	0	*	*	0	*	0	1	*
t <sub>7</sub>	1	0	1	1	1	1	*	*	1	*	1	*	1
t <sub>8</sub>	1	1	0	0	0	*	0	0	*	0	*	1	*
t <sub>9</sub>	1	1	0	0	1	*	0	0	*	1	*	*	1
t <sub>10</sub>	1	1	0	1	0	*	0	0	*	*	0	1	*
t <sub>11</sub>	1	1	0	1	1	*	0	1	*	*	1	*	1
t <sub>12</sub>	1	1	1	0	0	*	0	*	0	0	*	1	*
t <sub>13</sub>	1	1	1	0	1	*	0	*	0	1	*	*	1
t <sub>14</sub>	1	1	1	1	0	*	0	*	0	*	0	1	*
t <sub>15</sub>	1	1	1	1	1	*	1	*	1	*	1	*	1

Se cer:

$$J_0 = f(A, B, C)$$

$$J_1 = f(A, B, C)$$

$$K_0 = f(A, B, C)$$

$$K_1 = f(A, B, C)$$

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinacionale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secventiale



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinabile

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secvențiale

DK pentru  $J_3$ ,  $K_3$

	$J_3$		
	$\bar{A}$	$A$	
$\bar{C}$			$\bar{D}$
	*	*	*
	*	*	*
$C$		1	$\bar{D}$
	$\bar{B}$	$B$	$\bar{B}$

adiacentă

$$b) J_3 = A.B.C$$

	$K_3$		
	$\bar{A}$	$A$	
$\bar{C}$	*	*	$\bar{D}$
	*	*	*
	*	*	*
$C$		1	$\bar{D}$
	$\bar{B}$	$B$	$\bar{B}$

adiacentă

$$c) K_3 = A.B.C$$

Fig. 3.27

Tabelul de funcționare a numărătorului și hărțile Karnaugh pentru determinarea logicii combinaționale a intrărilor  $J_3$  și  $K_3$  sunt indicate în figura 3.25. Porțile logice de tip ȘI, prin care se asigură funcționarea corectă a numărătorului, pot fi determinate pe baza tabelului de funcționare a numărătorului și a hărților Karnaugh aferente intrărilor  $J_0$ ,  $J_1$ ,  $J_2$  și  $J_3$  respectiv  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  și  $K_3$ .



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate  
în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice  
combinacionale

3.8. Circuite de  
memorare

3.9. Circuite  
logice secvențiale

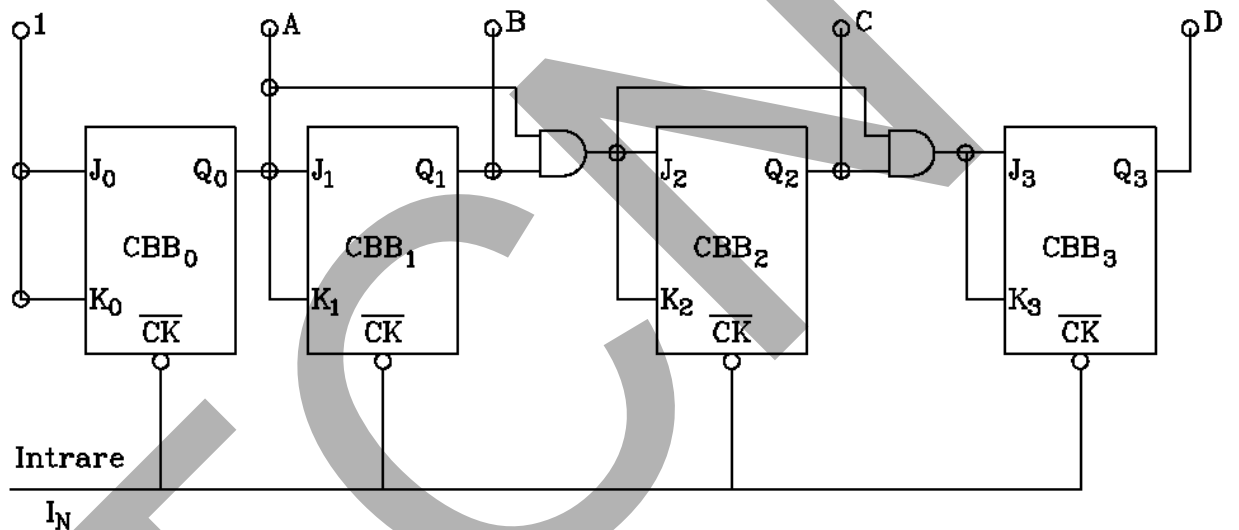


Fig. 3.28

La același rezultat se ajunge observând:

- CBB<sub>0</sub> basculează la fiecare impuls aplicat la intrare;
- CBB<sub>1</sub> basculează la fiecare impuls Q<sub>0</sub>=1, adică la două impulsuri de intrare;
- CBB<sub>2</sub> basculează din patru în patru impulsuri de intrare, situație ce este asigurată de condiția Q<sub>0</sub>=Q<sub>1</sub>=1.
- etc.



## Registre

### Scop

Sunt circuite care permit stocarea și/sau deplasarea unor cuvinte binare. Având în vedere cele două funcții principale, registrele pot fi de memorare, deplasare sau combinate.

### Clasificare

Un alt criteriu de clasificare se referă la modul de introducere respectiv extragere a informației (figura 3.29). Avem astfel: registre cu intrare și ieșire paralelă (figura 3.29 a); registre cu intrare paralelă și ieșire în serie (figura 3.29 b); registre cu intrare serie și ieșire paralelă (figura 3.29 c); registre cu intrare și ieșire serie (figura 3.29 d)

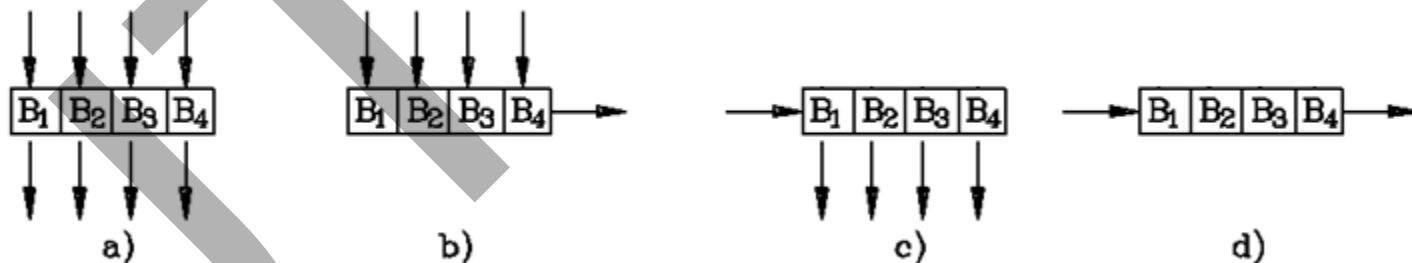


Fig. 3.29

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinabile

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secvențiale



- *Registru de memorare (RM)*

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

3.1. Funcția MMI

3.2. Panou ECN

3.3. Structura MMI

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate  
in tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice  
combinationale

3.8. Circuite de  
memorare

3.9. Circuite  
logice secventiale

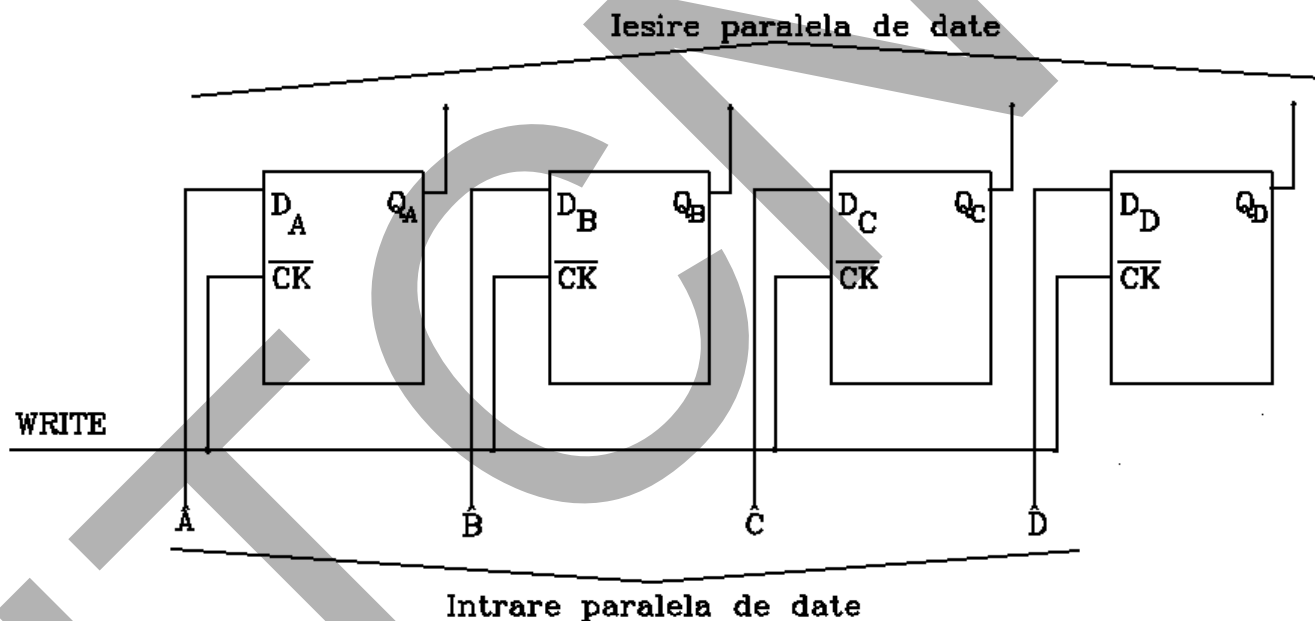


Fig. 3.30



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinabile

#### 3.8. Circuite de memorare

#### 3.9. Circuite logice secvențiale

Registrele de memorare se realizează cu CBB de tip D. Dacă CBB-ul este de tip **D-Latch**, pe valoarea 1 a semnalului de comandă (Latch Strobe Input) registrul devine transparent (ieșirea este copia intrării).

Registrele sunt alcătuite, în general, din CBB-uri de tip D master-slave.

#### • Registru de deplasare (RD)

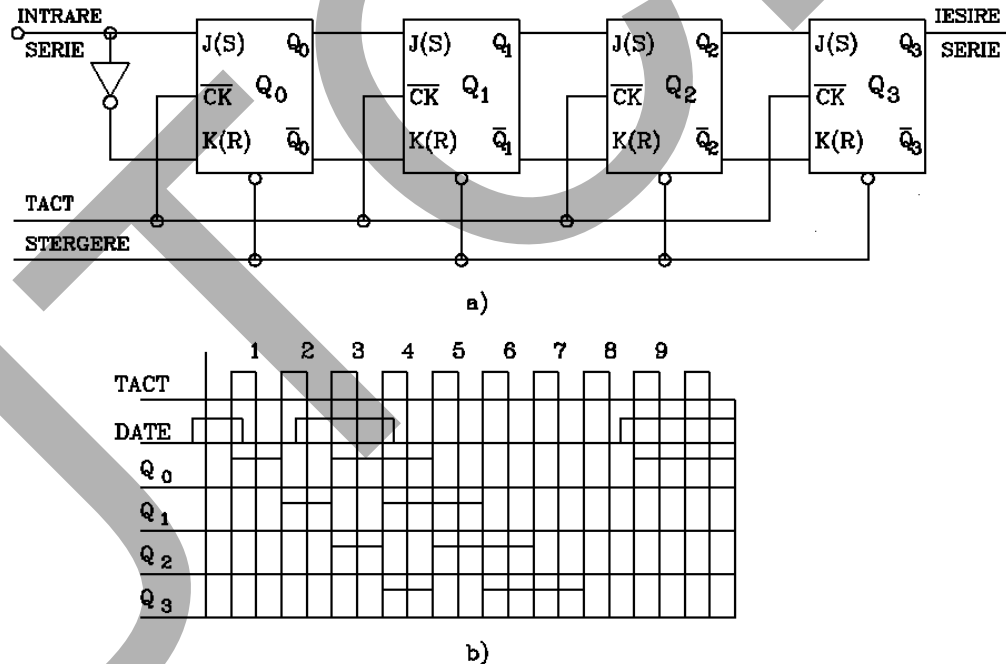


Fig. 3.31



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

#### 3.8. Circuite de memorare

#### 3.9. Circuite logice secvențiale

Registrele de deplasare sunt circuite care deplasează informația, spre stânga sau dreapta, cu câte o celulă la fiecare impuls de tact.

Schema (figura 3.29) este realizată cu circuite J-K într-o conexiune de tip D Master-Slave. Ieșirea unei celule este legată la intrarea următoarei. Circuitul poate fi realizat și din CBB-uri de tip SR în conexiune D Master - Slave.

Aplicând, pe intrarea serială, cuvântul **1011**  $I(T)=1$ ;  $I(2T)=0$ ;  $I(3T)=1$ ;  $I(4T)=1$  după patru impulsuri la ieșirile paralele se obține cuvântul  $Q_0=1$ ,  $Q_1=0$ ,  $Q_2=Q_3=1$ .

Din diagrama de funcționare (figura 3.29 b) se observă deplasarea informației după fiecare tact. De la al 5-lea impuls de tact, până la al 8-lea, la ieșirea serie  $Q_3$  se poate citi cuvântul introdus, în serie, în celula  $Q_0$ . Registrele, în afară de funcția de numărare și deplasare a informației (utilizată pentru operații matematice) pot fi utilizate și în aplicații în care apare necesitatea ca un cuvânt de cod paralel să fie transmis în cod serie și invers.

Circuitele existente, prin modul de comandă, asigură realizarea mai multor moduri de operare (figura 3.30):

- Memorare - Intrările B, C, D, E vor fi memorate dacă: pinul H este legat la ceas, I la 0 logic, iar F la 1 logic.
- Deplasare dreapta - Informația serială (prin A) va fi deplasată la dreapta dacă: pinul H este legat la 0 logic, J la ceas și F la 0 logic.



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinabile

#### 3.8. Circuite de memorare

#### 3.9. Circuite logice secvențiale

Avem astfel: registru de memorare, registru de deplasare dreapta, registru de deplasare stânga, registru de deplasare dreapta/stânga.  
 În mod similar pot fi enunțate condițiile pentru a realiza celelalte două moduri de operare.

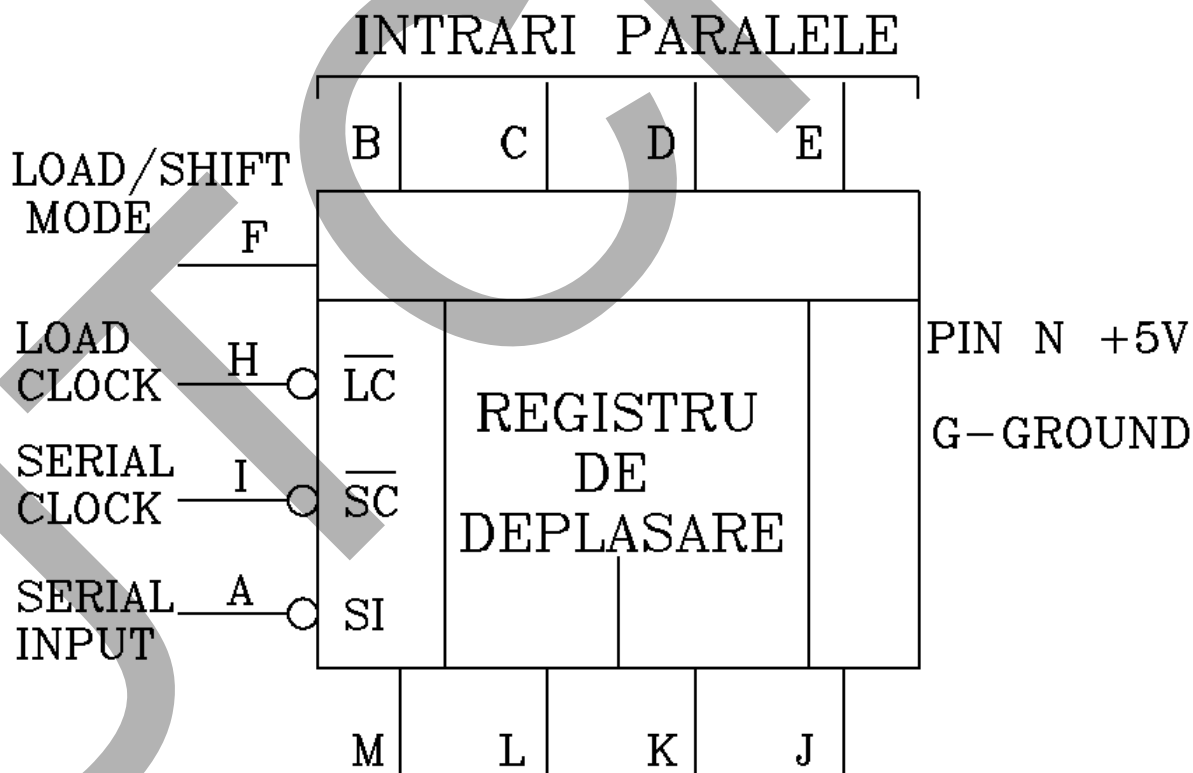


Fig. 3.32





## Circuite decodoare

### 1. Echipamentul de comandă numerică

### 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 3.1. Funcția MMI

#### 3.2. Panou ECN

#### 3.3. Structura MMI

#### 3.4. Schema de principiu a MMI

#### 3.5. Banda perforată

#### 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.N.

#### 3.7. Circuite logice combinacionale

#### 3.8. Circuite de memorare

#### 3.9. Circuite logice secvențiale

Se utilizează în cadrul echipamentului numeric pentru comanda reducerii avansului considerând distanța anticipată pentru oprire ( $A_0$ ). Circuitul, în esență, decodifică conținutul unui registru (numărător) (figura 3.33). La atingerea valorii programate (distanța de anticipare a opririi  $A_0$ ) poarta logică ȘI va permite ca un semnal de comandă, prezent la ieșire, să producă comutarea avansului, de la valoarea programată, la o valoare minimă  $F_{\min}$  astfel încât să se atingă cota programată cu eroare zero.

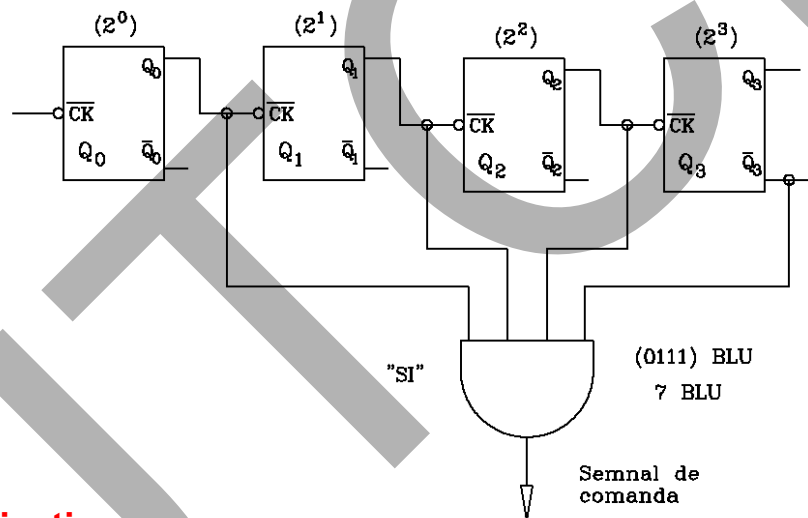


Fig. 3.33

### Aplicație:

$A_0 = 14$  BLU

Se leagă la poarta logică ȘI:  $\overline{Q_0}Q_1Q_2Q_3$

$A_0 = 11$  BLU  $Q_0Q_1\overline{Q_2}Q_3$



### 3.10. CIRCUITE CONVERTOARE DE MARIMI FIZICE

#### Convertorul numeric-analogic

Convertorul numeric-analogic (CNA sau DAC) poate fi definit ca un circuit electronic care furnizează la ieșire o mărime analogică (tensiune sau curent) proporțională cu numărul aplicat, la intrare, sub formă de combinații variabile binare (figura 3.34 a)

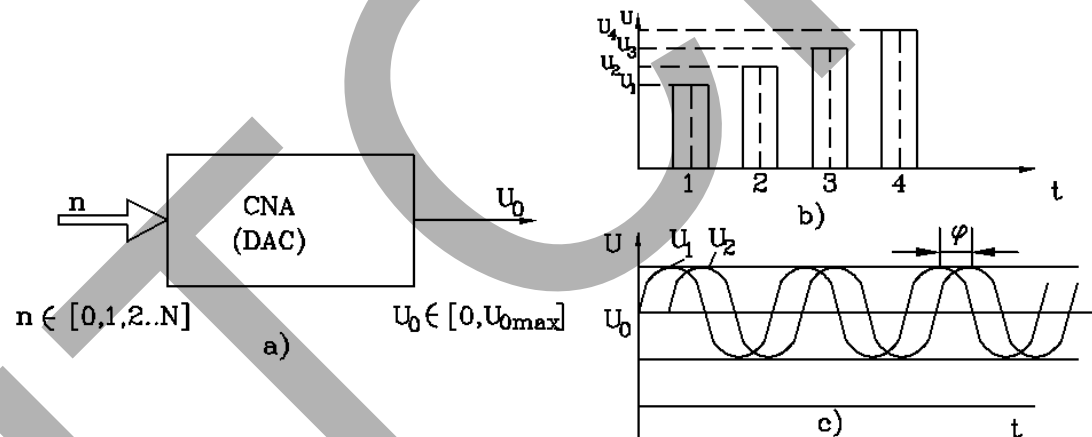


Fig. 3.34

Convertoarele numeric-analogice se clasifică, după principiul de funcționare în două grupe:

- cu modulare în amplitudine;
- cu modulare în fază.

Cele cu modulare în amplitudine funcționează conform principiului prezentat în figura 3.34 b. Convertorul N/A cu modulare în fază (figura 3.34, c) are două mărimi de intrare ( $n = 2$ ). Semnalul de ieșire constă din două tensiuni decalate cu faza  $\varphi$ .

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforata

3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinationale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secventiale

3.10. Circuite convertoare



## Parametrii CNA

Pentru prezentarea parametrilor CNA se impune prezentarea următoarelor noțiuni.

- *Cuantizarea* - împărțirea intervalului de variație al unei mărimi analogice într-un număr determinat de trepte (cuante);
- *MBS* - bitul cel mai semnificativ (Most Significant Bit), este bitul cu ponderea cea mai mare la scrierea binară a cuvintelor;
- *LSB* - bitul cel mai puțin semnificativ (Least Significant Bit), este bitul cu ponderea cea mai mică la scrierea cuvintelor.

$$\begin{array}{ccccccc}
 N = & \overline{b_n} & b_{n-1} & \dots & b_1 & b_0 & ; b_k \quad \{0,1\}, \quad \{0, 1 \dots n\} \\
 & : & & & : & & : \\
 & : & & & : & & : \\
 \text{MSB:} & & & & \text{LSB} & & \text{bit}
 \end{array}$$

Figura 3.35

Parametrii convertoarelor N/A sunt:

- gama de variație a semnalului de ieșire - domeniul maxim de variație a tensiunii de ieșire din DAC;
- rezoluția - reprezintă treapta minimă ce poate fi sesizată la ieșire; se exprimă fie prin valoarea absolută a lui U fie prin numărul maxim de trepte la ieșire;
- eroarea de gamă - este o eroare de factor de transfer reprezentând abaterea pantei caracteristicii de transfer reale față de cea ideală; se măsoară în %;
- eroarea de offset - reprezintă deplasarea caracteristicii de transfer față de origine; se măsoară în LSB (figura 3.35);

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforata

3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinationale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secventiale

3.10. Circuite convertoare



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

- 3.4. Schema de principiu a MMI
- 3.5. Banda perforata
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.
- 3.7. Circuite logice combinationale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secventiale
- 3.10. Circuite convertoare

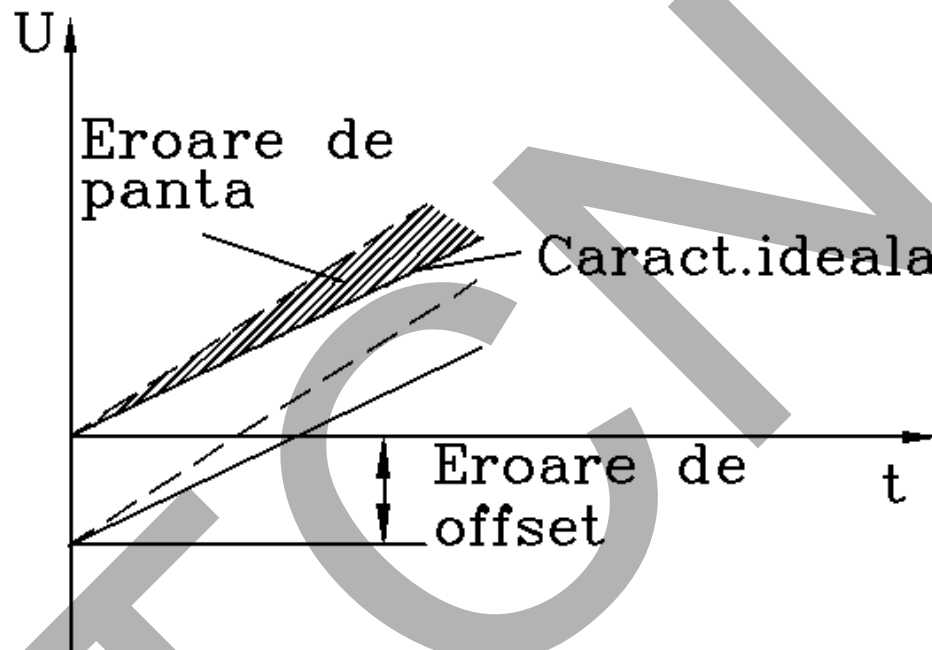


Fig. 3.36

- eroarea de neliniaritate - exprimă abaterea de la liniaritate a caracteristicii reale față de cea ideală; se măsoară în MSB;
- timpul de conversie - reprezintă timpul necesar pentru a se realiza o conversie; conversia se consideră încheiată când mărimea de ieșire se stabilește la valoarea finală de  $\pm 1/2$  LSB;
- rata de conversie - reprezintă numărul de conversii pe secundă.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinationale**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**

Poziția convertorului N/A în cadrul unei axe numerice este indicată în figura 3.37. Comparatorul,  $C_p$ , este realizat sub forma unui numărător alimentat cu două trenuri de impulsuri (semnale digitale), unul de referință  $i_T$  și unul de pe bucla de reacție  $i_R$ . Ieșirea din numărător reprezintă eroarea. Aceasta este convertită de DAC.

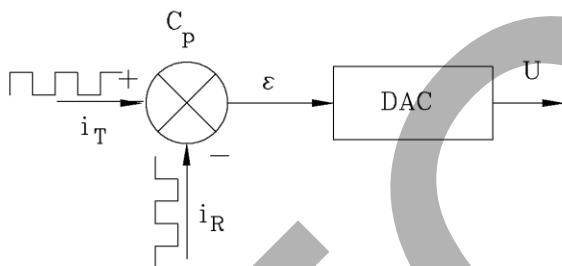


Fig. 3.37

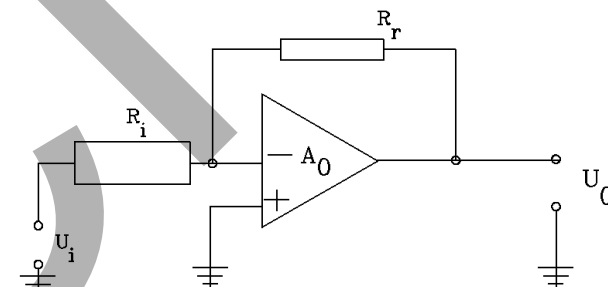


Fig. 3.38

Elementul de bază a unui convertor digital-analog este amplificatorul operațional inversor (figura 3.38). Semnalul de ieșire din amplificatorul operațional este o tensiune amplificată, cu polaritatea opusă celei de intrare,

$$U_0 = -\frac{R_r}{R_i} \cdot U_i \quad (3.3)$$


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinationale**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**

Proportionalitatea între semnalul de ieșire și cel de intrare se realizează fie cu relee R-2R fie cu rezistențe ponderate.

Schema de principiu a convertorului numeric-analogic cu rezistențe ponderate, este indicată în figura 3.38. Funcționarea se bazează pe sumarea algebrică prin amplificatorul operațional.

În procesul de sumare fiecare din variabilele de intrare ce se însumează sunt înmulțite cu raportul dintre semnalul de reacție și cel de intrare conform relației (3.3),

$$U_0 = - \left\{ \frac{R_r}{R_i} \cdot U_1 + \frac{R_r}{R_i} \cdot U_2 + \dots \frac{R_r}{R_i} \cdot U_n \right\} \quad (3.4)$$

Rezistențele (figura 3.39) simulează sistemul binar de numerație, în care rezistența din circuitul bitului LSB este de  $2^n$  ori mai mare decât cea din circuitul MSB. Fiecare intrare este alimentată cu tensiunea  $U_r$  asociată valorilor binare "1" sau "0" logic, funcție de numărul binar aplicat la intrarea convertorului.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforata

3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinationale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secventiale

3.10. Circuite convertoare

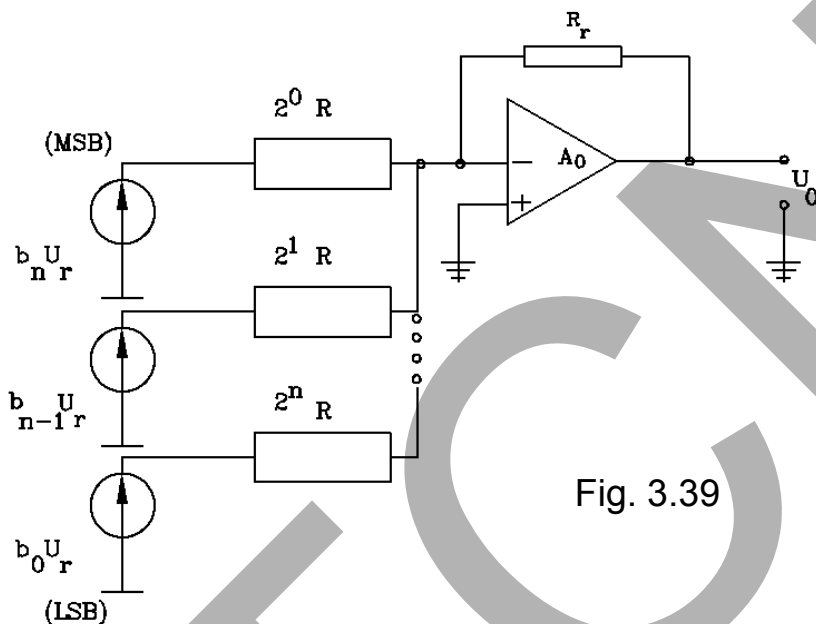


Fig. 3.39

Cu notațiile  $R$ ,  $R_1 = 2^1 R$ ,  $R_2 = 2^2 R$ , ...,  $R_n = 2^n R$  relația devine,

$$U_0 = -U_r \frac{R_r}{R_i} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{b_i}{2^i} \quad (3.5)$$

în care  $b_i$  este starea logică (0 sau 1) a rangului binar "i". Raportul

$$\left| \frac{R_r \cdot U_r}{R \cdot 2^{n-1}} \right| = k_c \quad (3.6)$$

constituie factorul de amplificare al convertorului numeric-analogic.

**Exemplu** - Se consideră un DAC cu următorii parametri:  $U_r = 2$  V,  $R_1 = 15$  k $\Omega$ ,  $R_2 = 30$  k $\Omega$ ,  $R_3 = 60$  k $\Omega$ ,  $R_4 = 120$  k $\Omega$  și  $R_r = 16$  k $\Omega$ .

Tensiunea maximă, conform relației este,

$$U_{\max} = \frac{2 \cdot 16}{15} \left\{ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \right\} = \frac{2 \cdot 16}{15} \cdot \frac{15}{8} = 4 \text{ V}$$

iar coeficientul de amplificare al DAC-ului este,

$$k_c = \frac{2 \cdot 16}{15 \cdot 2^3} = \frac{2 \cdot 16}{15 \cdot 8} = \frac{4}{15} \text{ V/bit.}$$

În cazul unui număr de biți mai mare decât 4, soluția cu rezistențe ponderate este mai puțin răspândită deoarece rezistențele din componență sunt mai greu de realizat în condiții de precizie.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**3.4. Schema de principiu a MMI**
**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.**
**3.7. Circuite logice combinationale**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**Convertoare Analog-Numerice**

Conversia A/D constă în transformarea unei informații analogice într-un cuvânt codificat digital. Față de conversia D/A procesul de conversie este mai complex și reclamă circuite mult mai elaborate.

Dintre soluțiile posibile ale conversiei A/D se prezintă circuitul cu buclă de reacție (figura 3.40 a).

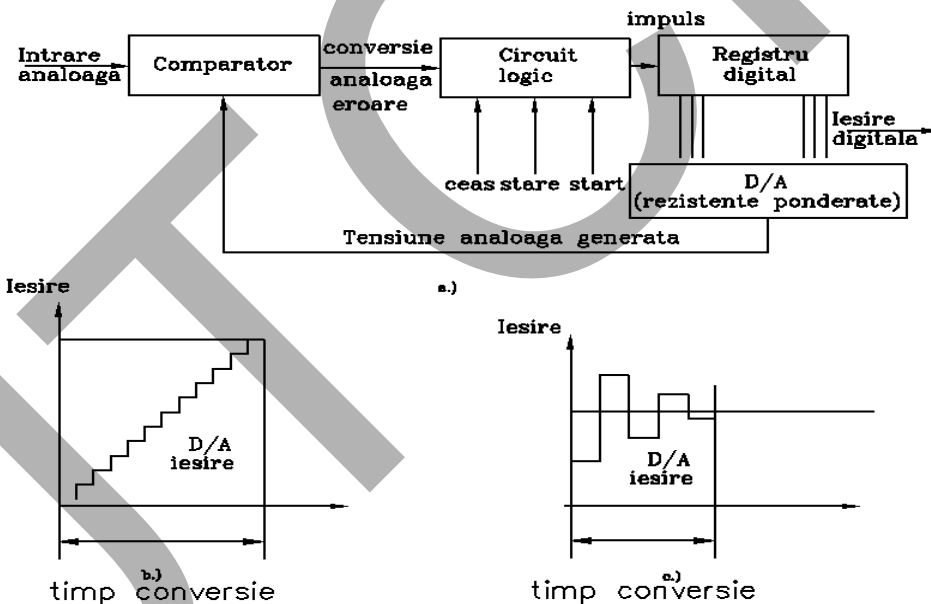


Fig. 3.40

Pe bucla de reacție este montat un convertor D/A. Cuvântul binar, memorat în registru, produce ieșirea digitală când conversia este completă.





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

### 3.4. Schema de principiu a MMI

### 3.5. Banda perforata

### 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.

### 3.7. Circuite logice combinationale

### 3.8. Circuite de memorare

### 3.9. Circuite logice secventiale

### 3.10. Circuite convertoare

Registrul comandă convertorul D/A a cărei tensiune este comparată cu semnalul de intrare de tip analog. Se generează un semnal de eroare. Eroarea, dacă este mai mare decât valoarea toleranței (de obicei egală cu LSB), este folosită de circuitul logic pentru a transmite impulsuri registrului digital. Conversia continuă după o procedură serială până când eroarea este redusă în cadrul toleranței prescrise.

Circuitul logic al ceasului controlează incrementarea/decrementarea registrului iar cel de stare momentul terminării conversiei.

Există multe variante constructive a metodei prezentate. Diferențele dintre ele rezidă în modul de manipulare a erorii și a incrementării registrului.

O metodă larg folosită utilizează drept registru un numărător. La începutul conversiei numărătorul este inițializat la zero. Numără un impuls la fiecare ciclu (figura 3.40, b). O altă metodă (figura 3.40, c) este aceea a aproximărilor succesive. Se obține o viteză de conversie mai mare deoarece în loc să se modifice ieșirea registrului cu echivalentul lui LSB (figura 3.40, b), se modifică la început cu valoarea MSB, urmat de bitul următor și așa mai departe.

O altă soluție a convertorului analog-digital este indicată în figura 3.41.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

3.4. Schema de principiu a MMI

3.5. Banda perforata

3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.N.

3.7. Circuite logice combinationale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secventiale

3.10. Circuite convertoare

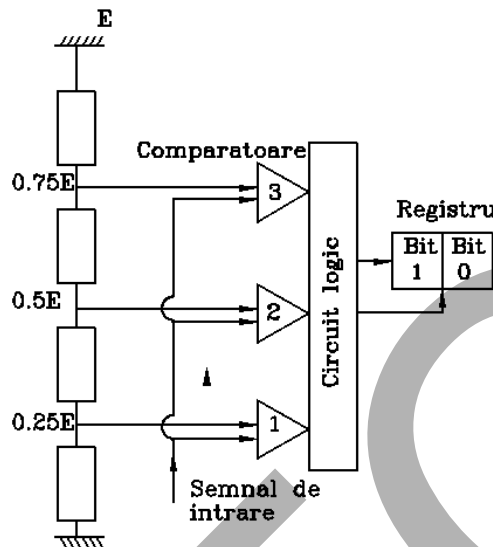


Fig. 3.41

Tensiune analogă în intervalul	$C_1$	$C_2$	$C_3$	Bit 1	Bit 0
0-0.25E	-	-	-	0	0
0-0.5E	+	-	-	0	1
0-0.75E	+	+	-	1	0
0-E	+	+	+	1	1

Comparatoarele determină în care din cele patru intervale de tensiune se încadrează semnalul de intrare. Un circuit logic special este necesar pentru a încărca ieșirea din comparatoare în registrul de doi biți. Deoarece comparatoarele lucrează în paralel se obține o viteză de conversie ridicată. Prețul însă crește exponențial cu lungimea cuvântului binar.

O precizie de convertire satisfăcătoare se obține cu aproximativ 4096 de comparatoare pentru un cuvânt pe 12 biți.



## 4. Blocul de măsurare

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforata
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinational
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secventiale
- 3.10. Circuite convertoare
- 4. Blocul de Masurare**

În literatura de specialitate există mai mulți termeni, utilizați pentru precizarea aceleiași noțiuni. Pentru scopul didactic al cursului se va considera că prin noțiunea de senzor se definește elementul sensibil cu rolul de preluare a mărimii necunoscute iar prin aceea de traductor, ansamblul care realizează conversia mărimii necunoscute într-o informație de măsurare de natură electrică.

Funcționarea unui traductor poate fi descrisă printr-o serie de familii de caracteristici. Dintre acestea cea mai importantă este caracteristica de transfer: relația de dependență între mărimile de ieșire, respectiv intrare într-un traductor. Acestea pot fi statice, dinamice, globale sau diferențiale

### 4.1 Traductoare de deplasare și poziție.

Precizia de poziționare a unei axe numerice este influențată hotărâtor de sistemul de măsurare (figura 4.1). Acesta (SM) cuprinde ansamblul dispozitivelor utilizate pentru a transforma mărimea necunoscută (deplasarea relativă sculă-piesă) în semnal electric.

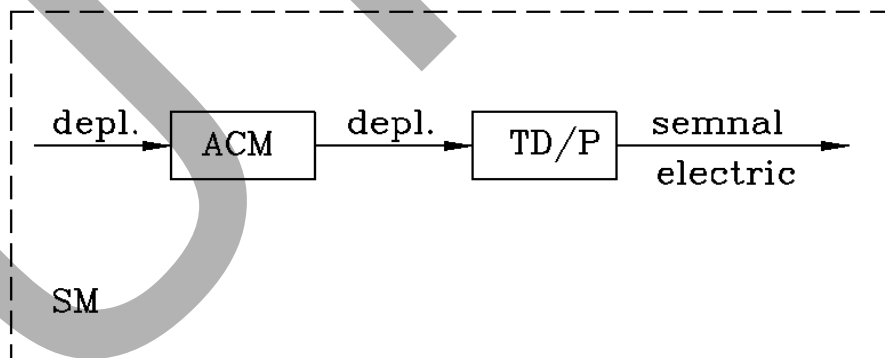


Fig. 4.1


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinational**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**

În cazul general, SM cuprinde ansamblul cinematic de măsurare (ACM) și traductorul de deplasare sau poziționare (TD/P). ACM, atunci când este necesar, are rolul de a transforma tipul de mișcare în funcție de cerințele SM. Existența ACM este dictată fie de posibilitatea de montare a TD/P fie de realizarea unei anumite compatibilități între semnalul de ieșire din traductor și precizia de măsurare impusă. Acest ultim aspect se explică prin următorul exemplu.

**Exemplu** - Pasul șurubului conducător al unei axe numerice este de  $p = 5$  mm. Sistemul de măsurare are inclus un TD/P care emite 2000 impulsuri pe rotație, adică o deplasare unghiulară de  $\alpha = 360^\circ/2000 = 0,18^\circ$ . Cuplând TD/P direct la șurubul conducător rezultă ca un impuls de comandă, organul de lucru execută o deplasare de,

$$\Delta s = \frac{\alpha \cdot p_s}{360^\circ} = \frac{0,18}{360} \cdot 5 = 0,0025 \text{ mm}$$

Dacă precizia SM se dorește a fi de  $\Delta \alpha' = 0,001$  mm, rezultă necesitatea introducerii ACM realizat sub forma unui angrenaj cu două roți dințate (speciale) cu raportul

$$i_T = 0,001/0,0025 = 1/2,5$$

Prin acest raport, deplasarea unghiulară măsurată va fi  $\alpha' = \alpha/i_T = 0,072^\circ$

ceea ce conduce la o precizie de măsurare de  $\Delta s' = 0,072 \cdot 5/360 = 0,001$  mm


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinacionale**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**
**Principii de măsurare**

✓dupa natura mărimii electrice de ieșire din traductor

➤măsurare numerică

• incrementală

• absolută

➤ măsurare analogică

✓după principiul de măsurare

• indirectă

• directă

• *Măsurare numerică* -Măsurarea numerică presupune la ieșirea din traductor un semnal codificat sub forma unei cifre sau număr. Dacă rezultatul codificării este cifra "0" sau "1", măsurarea este de tip incremental (figura 4.2).

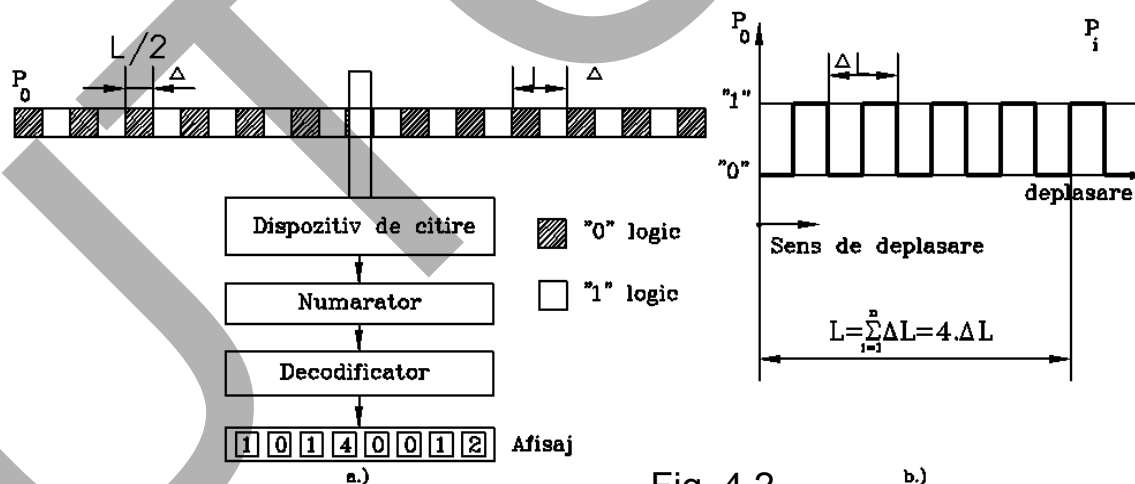


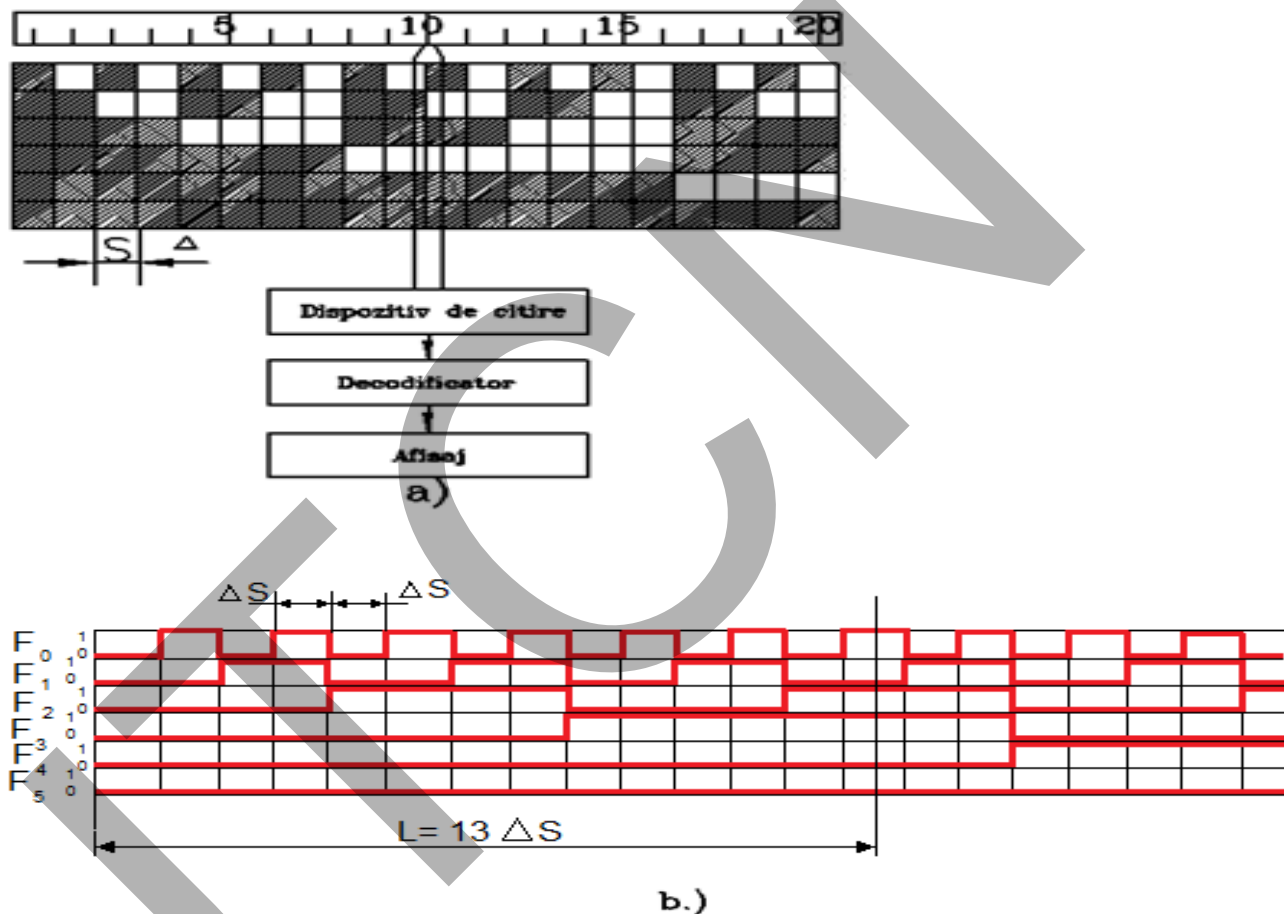
Fig. 4.2

b.)



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinatoriale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secvențiale
- 3.10. Circuite convertitoare

#### 4. Blocul de Masurare



$$L = 1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^5$$

Fig. 4.3

Dacă informația codificată este un număr, măsurarea este de tip absolut (figura 4.3).


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata**
**OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinational**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**

• *Măsurare analogică* - Măsurarea analogică diferă de cea numerică prin faptul că semnalele de ieșire din traductor sunt semnale electrice, de regulă tensiuni, a căror amplitudine sau fază variază în mod continuu cu deplasarea. Între mărimea semnalului, sau faza acestuia și deplasare există o dependență bine stabilită (figura 4.4).

Această dependență este de regulă determinată de o funcție trigonometrică, cel mai adesea sinus sau cosinus. Perioada funcției constituie una din caracteristicile constructive ale traductorului.

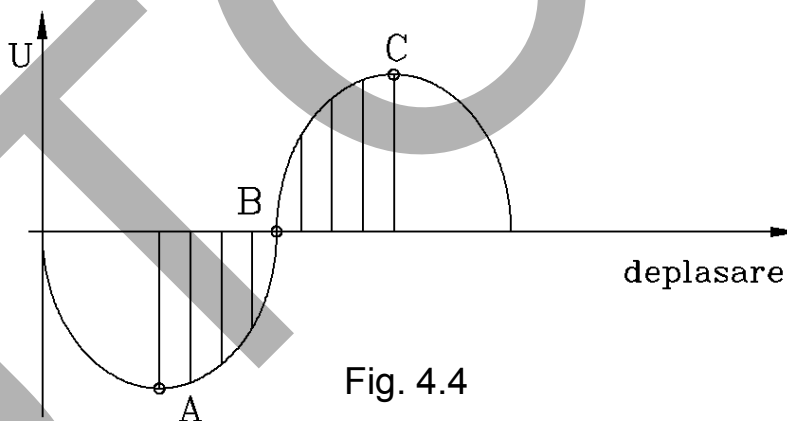


Fig. 4.4



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfața OM - MASINA

...

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.

3.7. Circuite logice combinatoriale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secvențiale

3.10. Circuite convertoare

**4. Blocul de Masurare**

#### 4.2 Traductoarele numerice incrementale

Sunt realizate atât în varianta liniară cât și în varianta circulară. Schema de principiu a unui astfel de traductor este indicată în figura 4.5.

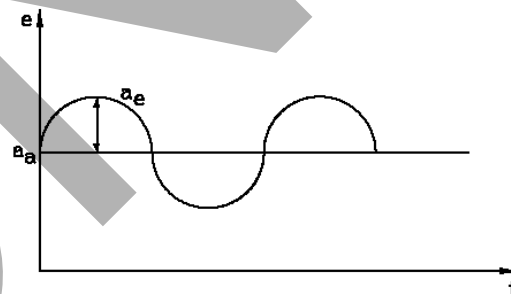
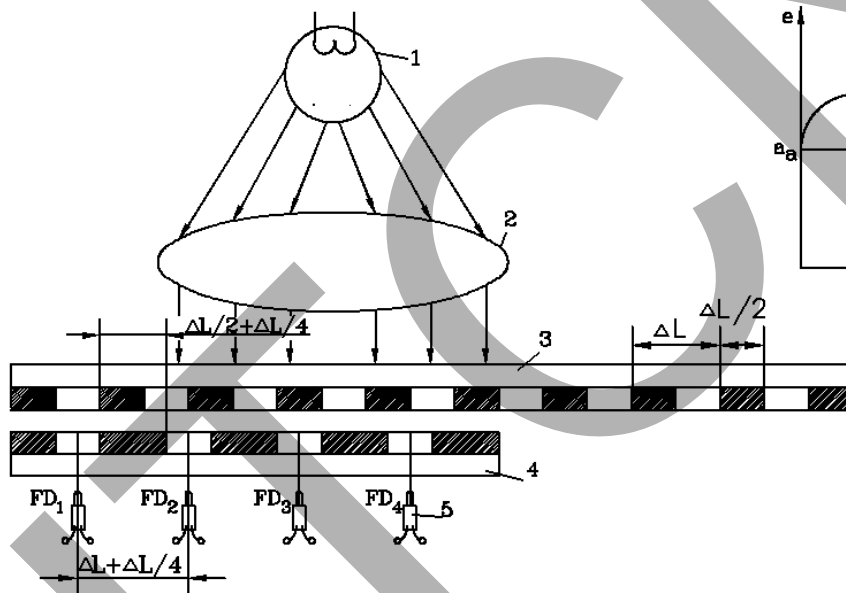


Fig. 4.5

Traductorul se compune din rigla 3, codată cu pasul unitar  $\Delta L$  și capul de citire alcătuit din sursa de lumină 1, sistemul de focalizare 2, contra rigla 4 și fotodiodele 5. În funcție de pozițiile relative dintre rigla și contra rigla, pe fiecare fotodiodă luminozitatea variază de la o valoare maximă la zero pentru o deplasare a riglei egală cu  $L/2$  urmând ca după încă o deplasare cu  $L/2$  să revină la iluminarea maximă. Se observă că perioada ciclului de iluminare corespunde unei deplasări egale cu pasul incremental  $\Delta L$ . Pe durata acestei deplasări, tensiunea furnizată de fotodiodă are o variație aproximativ sinusoidală.





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

...

3.5. Banda perforata

3.6. Coduri utilizate  
in tehnologia C.n.

3.7. Circuite logice  
combinationale

3.8. Circuite de  
memorare

3.9. Circuite  
logice secventiale

3.10. Circuite  
convertoare

4. Blocul de Masurare

Existența în componența capului de citire a unui număr de 2÷4 fotodiode permite și discriminarea sensului de deplasare (figura 4.6)

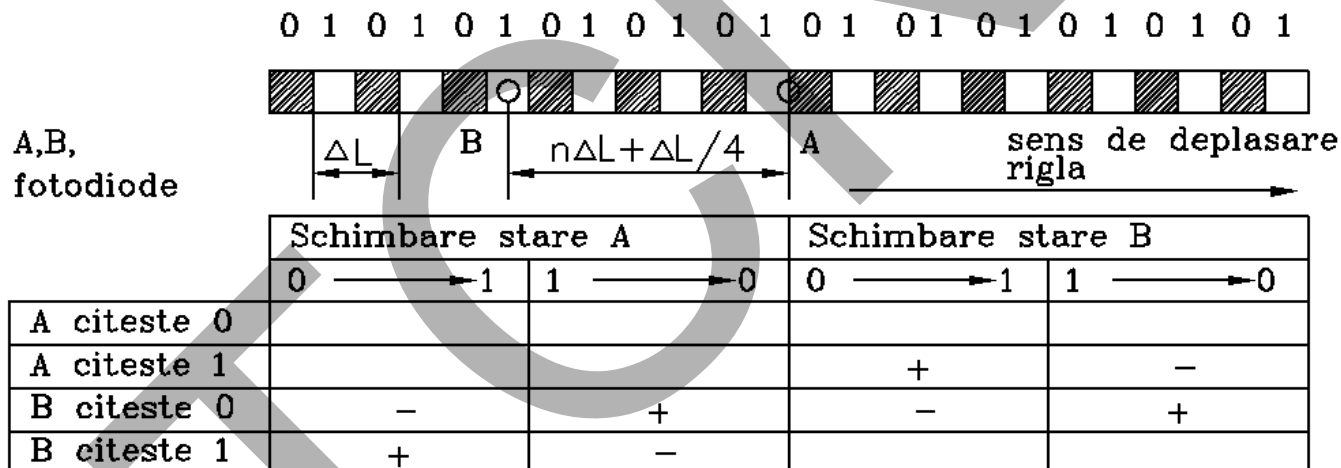


Fig. 4.6

Circuitul electronic de prelucrare a semnalului produce la ieșire un tren de două impulsuri decalate cu 90° electric [17, 57, 60]. Rezoluția sistemului poate atinge valori de 1μm prin divizare electronică a pasului unitar cu valoare curentă de 4÷10 μm.



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**

**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**

**3.7. Circuite logice combinational**

**3.8. Circuite de memorare**

**3.9. Circuite logice secventiale**

**3.10. Circuite convertoare**

**4. Blocul de Masurare**

$$e_1 = a_c + a_e \cdot \sin \varphi$$

$$e_2 = a_c + a_e \cdot \sin(\varphi + 90^0)$$

$$e_3 = a_c + a_e \cdot \sin(\varphi + 180^0)$$

$$e_4 = a_c = a_e \cdot \sin[(\varphi + 90^0) + 180^0]$$

$$E_{13} = e_1 - e_3 = a_e \cdot \sin \varphi - a_e \cdot \sin(\varphi + 180^0) = 2a_e \sin \varphi$$

$$E_{24} = e_2 - e_4 = a_e \cdot \sin(\varphi + 90^0) - a_e \cdot \sin[(\varphi + 90^0) + 180^0]$$

$$E_{24} = 2a_e \cdot \sin(\varphi + 90^0)$$



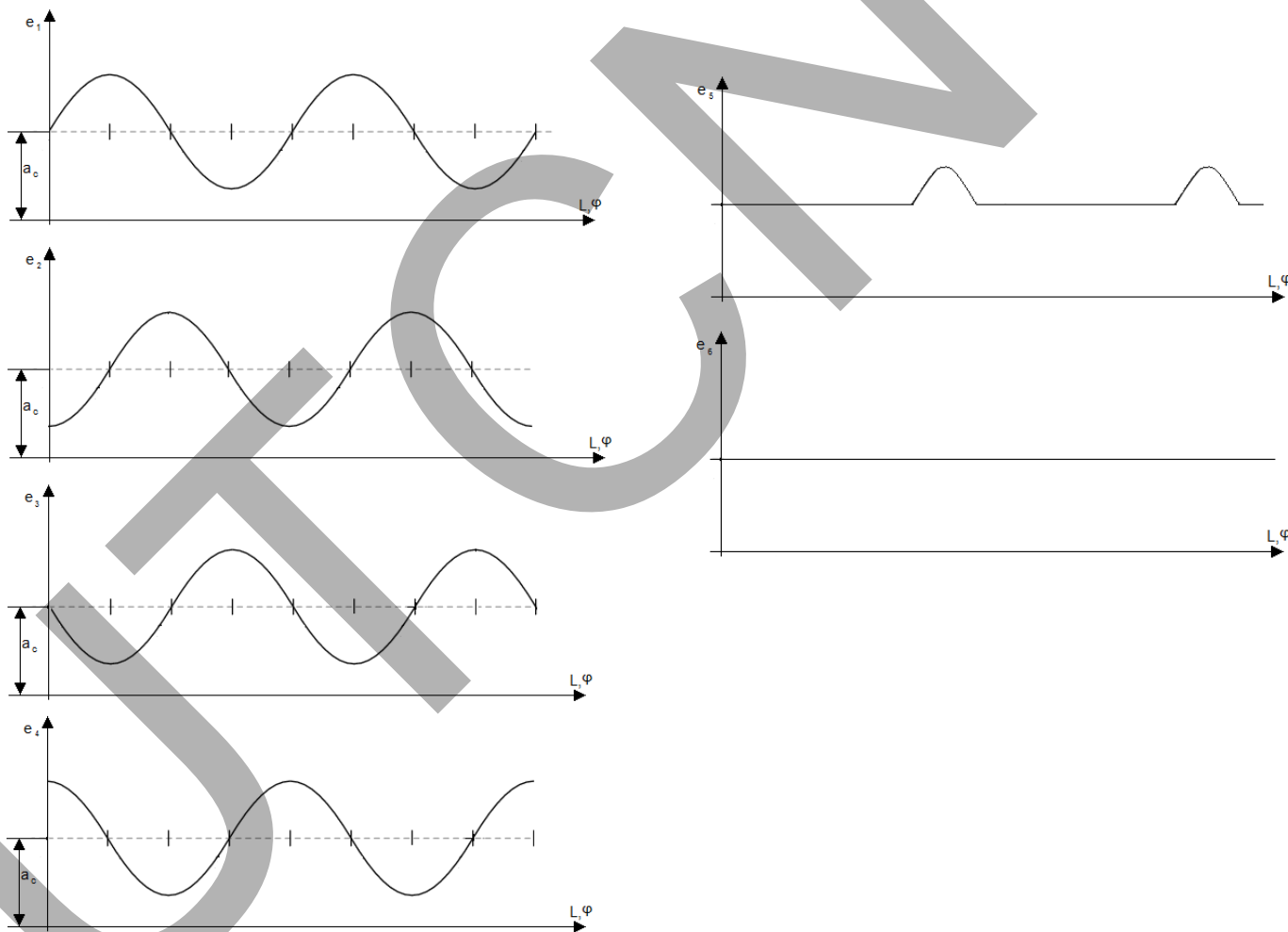
1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

...

- 3.5. Banda perforata
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinacionale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secventiale
- 3.10. Circuite convertoare

#### 4. Blocul de Masurare

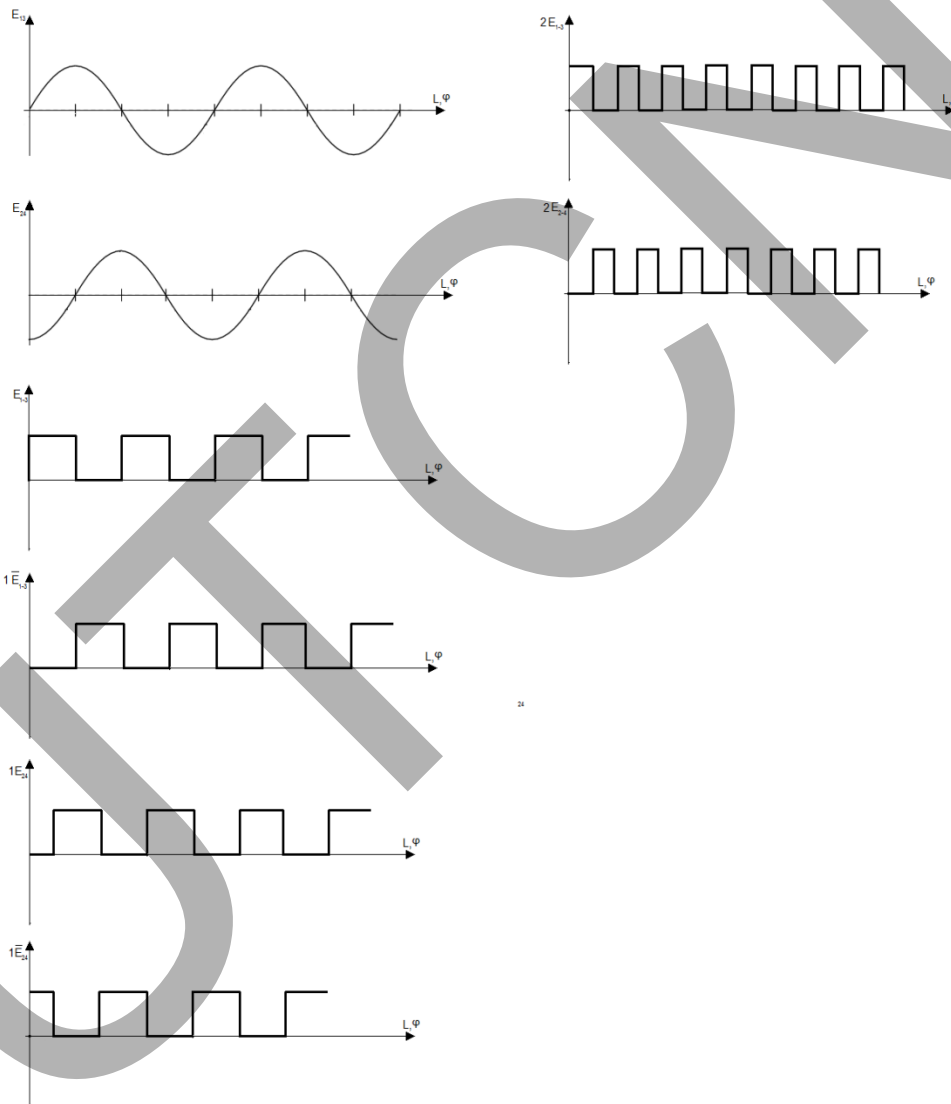
Prelucrarea semnalelor generate de traductorul incremental





## Prelucrarea semnalelor generate de traductorul incremental

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
  - ...
  - 3.5. Banda perforata
  - 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.
  - 3.7. Circuite logice combinacionale
  - 3.8. Circuite de memorare
  - 3.9. Circuite logice secventiale
  - 3.10. Circuite convertoare
4. Blocul de Masurare





1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforata
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinacionale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secventiale
- 3.10. Circuite convertoare
4. Blocul de Masurare

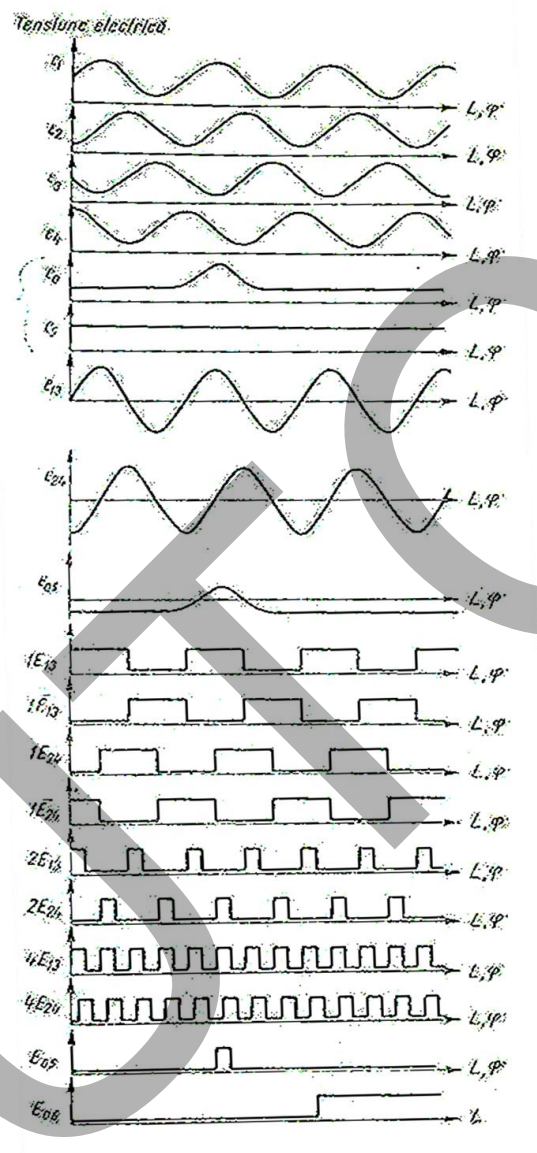


Fig. 4.7 Forma semnalelor



1. Echipamentul de comandă numerică
  2. Elemente de logică industrială
  3. Interfata OM - MASINA
  - ...
  - 3.5. Banda perforată
  - 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
  - 3.7. Circuite logice combinatoriale
  - 3.8. Circuite de memorare
  - 3.9. Circuite logice secvențiale
  - 3.10. Circuite convertitoare
- 4. Blocul de Masurare**

## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

Reprezentarea, simplificată în secțiune transversală a unui traductor incremental este indicată în figura 4.8. Rigla incrementală 3 este iluminată de sursa de lumină 1. prin intermediul contragrilei 4, lumina sensibilizează fotodiodele 5. Contragrila este montată în căruciorul său prevăzut cu rulmenții 8 și arcurile lamelare 9.

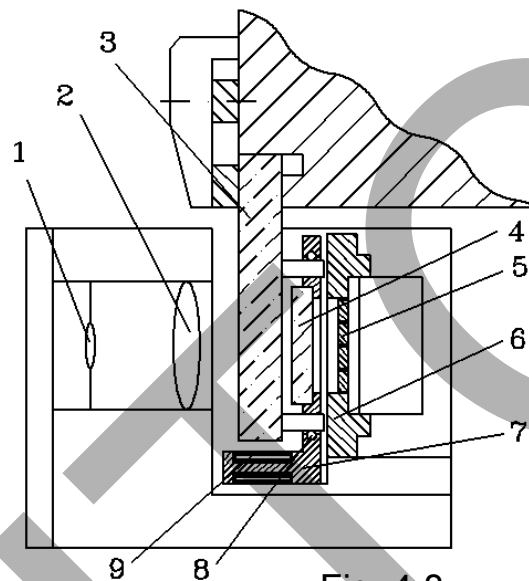


Fig. 4.8

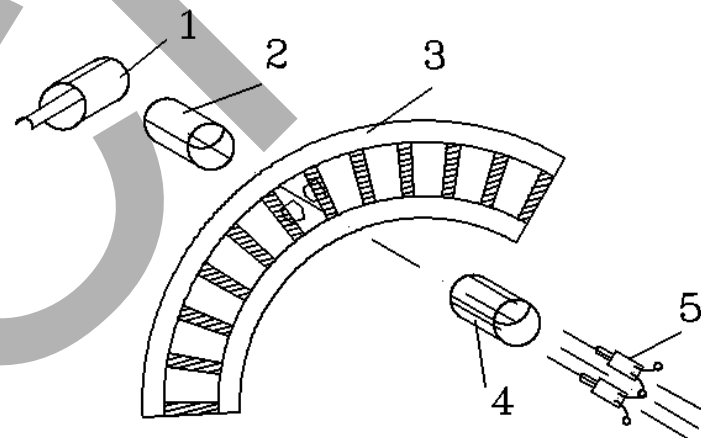


Fig. 4.9

Traductoarele numerice incrementale de tip rotativ, sunt utilizate frecvent în construcția axelor numerice putând măsura fie deplasări unghiulare fie viteze (figura 4.9). Se compun din sursa de iluminare 1, sistemele de focalizare 2, 4, discul codat 3 și fotodiodele 5. Discul codat, din sticlă, este marcat cu o rețea circulară de pete transparente și opace, conform codului numeric utilizat.



- 1. Echipamentul de comandă numerică**
- 2. Elemente de logică industrială**
- 3. Interfata OM - MASINA**
- ...
- 3.5. Banda perforata**
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
- 3.7. Circuite logice combinational**
- 3.8. Circuite de memorare**
- 3.9. Circuite logice secventiale**
- 3.10. Circuite convertoare**
- 4. Blocul de Masurare**

Frecvența semnalelor de ieșire din traductor este proporțională cu frecvența de rotație a axului pe care este montat discul. Lumina, pe măsură ce discul se rotește, iluminează periodic fotodiodele. Semnalul emis de fotocelule, aproximativ sinusoidal, este în domeniul câtorva milivolți (mV). Ca urmare, pentru a fi utilizabil în circuitele logice asociate, este necesară amplificarea sa. Semnalul astfel amplificat este transmis unui circuit Trigger Schmitt pentru a-l converti în semnal digital. Aceeași prelucrare a semnalului se face și în cazul traductoarelor liniare.

Dezavantajul acestui tip de traductor este dat de faptul că anumite semnale perturbatoare pot altera semnalul de ieșire din traductor - numărul de impulsuri generate. Erori grosolane pot să apară și la întreruperea accidentală a sursei de alimentare cu energie electrică. Folosirea traductoarelor numeric absolute elimină acest tip de erori.

Discul are mai multe piste (figura 4.10 a) pe care cifrele se codifică în diferite coduri. Uzual se folosesc codul binar și codul Gray. Pe discuri este prevăzută o pistă interioară pentru a indica bitul cel mai semnificativ (MSB). Cuplând mai multe discuri, în raport de 1:10, se obține un traductor numeric absolut a cărui semnal de ieșire este codat în codul BCD. Schema din figura 4.10 b poate indica mărimi cu maxim trei ranguri zecimale. Discul prezentat în figura 4.10 a este codat binar. Se observă faptul că bitul MSB este plasat înspre interiorul discului.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinatoriale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secvențiale
- 3.10. Circuite convertitoare
4. Blocul de Masurare

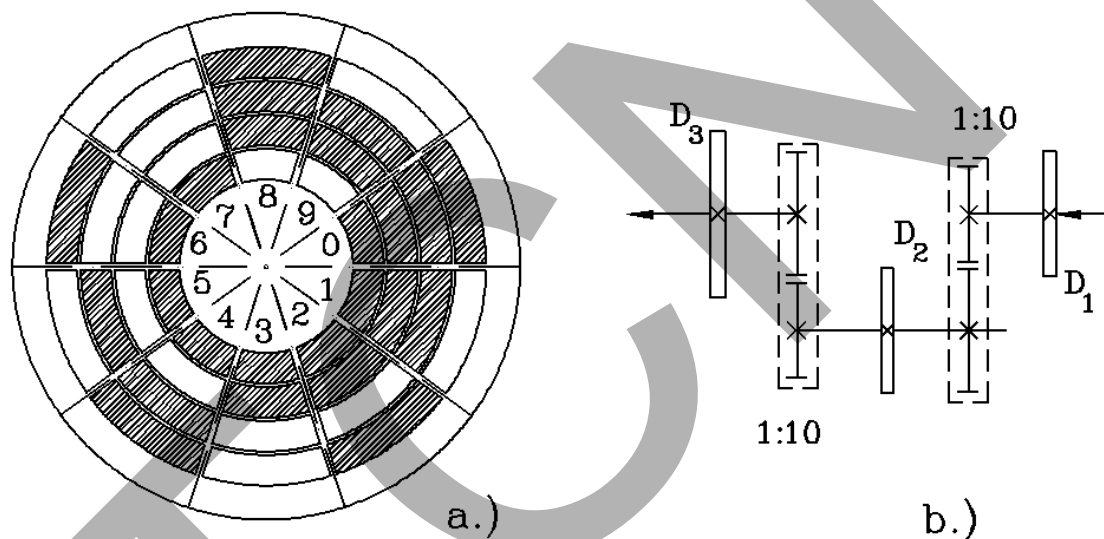


Fig. 4.10

Diferența esențială dintre traductoarele numeric incrementale și numeric absolute este aceea că semnalul codificat depinde de poziția arborelui pe care este montat discul. Fiecare dintre pozițiile posibile este definită, distinct, printr-un număr de unde denumirea de traductoare de poziție.





- 1. Echipamentul de comandă numerică**
- 2. Elemente de logică industrială**
- 3. Interfata OM - MASINA**
- ...
- 3.5. Banda perforata**
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
- 3.7. Circuite logice combinational**
- 3.8. Circuite de memorare**
- 3.9. Circuite logice secventiale**
- 3.10. Circuite convertoare**
- 4. Blocul de Masurare**

### *Siguranța în citire*

Siguranța în citire a traductoarelor a constituit o preocupare permanentă a constructorilor de astfel de aparate. Pentru fiecare tip de traductor numeric s-au luat o serie de măsuri specifice.

Astfel, pentru traductoarele numerice incrementale, de tip liniar, alături de pista activă mai există o pistă de "corectare". Pe această pistă sunt practicate fante transparente poziționate la distanțe egale una de alta. Un semnal emis de fotodioda de pe această pistă aduce sumatorul, în care sunt contorizate impulsurile active de măsurare, la o anumită valoare prestabilită, conform poziției respective. Prin aceasta se înlătură posibilitatea ca o eventuală eroare (impuls contorizat datorită unei perturbații) să fie "dusă" pe întreaga cursă (semnalul e05)

Semnalul E06 (fig. 4.10 ) este de supraveghere.

Creșterea siguranței în citire a traductoarelor numeric absolute se realizează prin diferite metode dintre care o răspândire mai largă o au metoda pistei de interdicție T (figura 4.11 a) și citirea în "V" invers (figura 4.11 b).



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinatoriale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secvențiale
- 3.10. Circuite convertitoare

## 4. Blocul de Masurare

## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

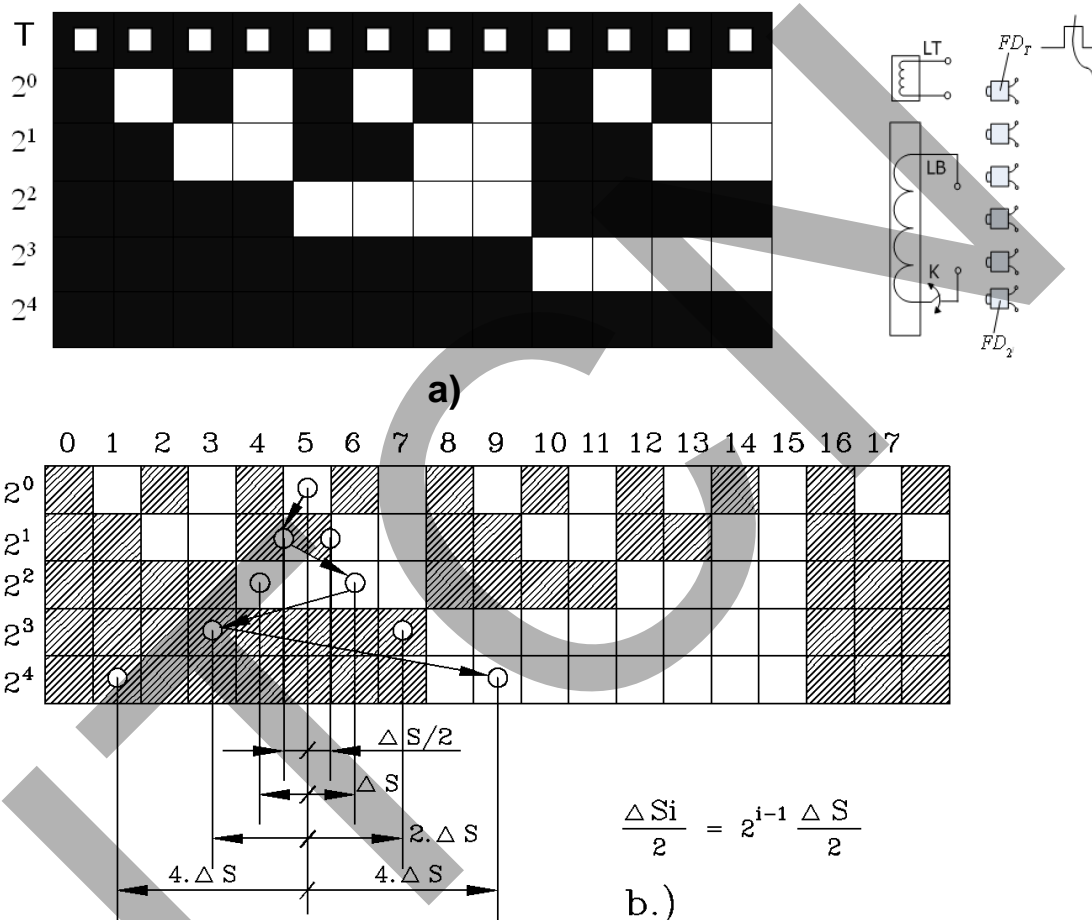


Fig. 4.11

Pista de interdicție asigură citirea riglei în zona centrală a pasului unitar. Citirea în "V" invers se caracterizează prin aceea că rigla este citită numai de fotodiodele plasate în zona de siguranță maximă, la trecerea de la o stare logică la alta. În cadrul figurii 4.11 b fotodiodele active sunt indicate prin săgeți.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

...

- 3.5. Banda perforata
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinational
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secventiale
- 3.10. Circuite convertoare

#### 4. Blocul de Masurare

### Encodere incrementale

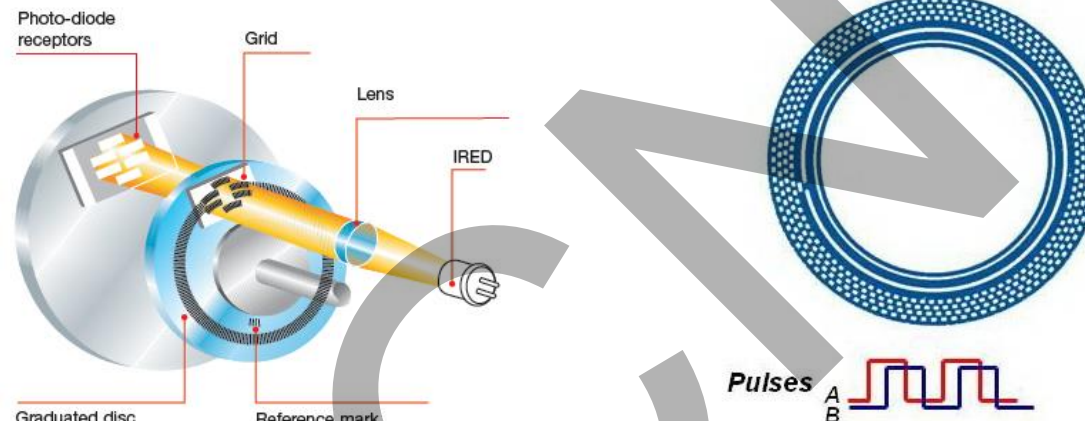


Fig.4.12. Encoderul- și discul incremental

În cazul encoderele incrementale o diodă fotoelectrică recepționează fasciculul luminos emis de sursa de lumină infraroșie printr-un disc incremental (un disc din plastic sau din sticlă cu zone transparente și opace uniform distribuite pe suprafața discului).

Zonele transparente și opace sunt distribuite uniform pe suprafața discului. Diodele fotorezistive crează un impuls cu ajutorul blocului electronic (de ex: zona transparentă=5V și zona opacă=0V).

Analiza semnalului este realizată de un circuit de evaluare prin numărarea în sus sau în jos a pulsurilor. Numărătoarea curentă este înregistrată și disponibilă la ieșirea encoderului.

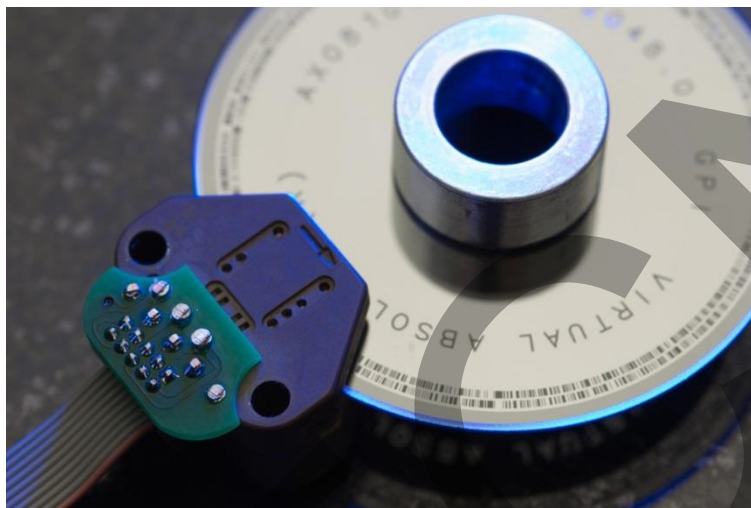
Dezavantaje

În cazul întreruperii tensiunii de alimentare este nevoie de readucerea discului incremental la punctul de referință, ceea ce în unele aplicații poate genera probleme.



## Encoder absolut

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinatoriale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secvențiale
- 3.10. Circuite convertitoare



Data

Fig.4.13.

Tocmai de aceea în aplicațiile care necesită acuratețe ridicată sau mișcări complicate și precise, se folosesc encodere absolute. În acest caz orice poziție în domeniul de măsură este identificat printr-un cod unic aflat pe disc. Acest cod este reprezentat pe disc în forma unei zone transparente, respectiv opace în diferite poziții/traectorii. Combinația lor rezulta într-un număr absolut. Având totdeauna valoarea poziției, nu mai este nevoie de numărător. Encoderile pot fi achiziționate în două variante, cu sau fără ax. Encoderile fără ax pot fi montate fără cuplaje, flanșe sau alte dispozitive de prindere.



1. Echipamentul de comandă numerică
  2. Elemente de logică industrială
  3. Interfata OM - MASINA
  - ...
  - 3.5. Banda perforată
  - 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
  - 3.7. Circuite logice combinatoriale
  - 3.8. Circuite de memorare
  - 3.9. Circuite logice secvențiale
  - 3.10. Circuite convertitoare
- 4. Blocul de Masurare**

#### 4.3. TRADUCTOARELE DE TIP ANALOGIC

**Rezolverul** - are aceeași construcție, de principiu, cu cea a motoarelor mici de curent alternativ. Se compune dintr-un stator și un rotor, ambele având două bobine dispuse la  $90^\circ$  electrice una de alta. Rezolverele folosite în aplicațiile pentru axe numerice ale mașinilor-unelte au prevăzute rotoare cu o singură bobină (figura 4.14).

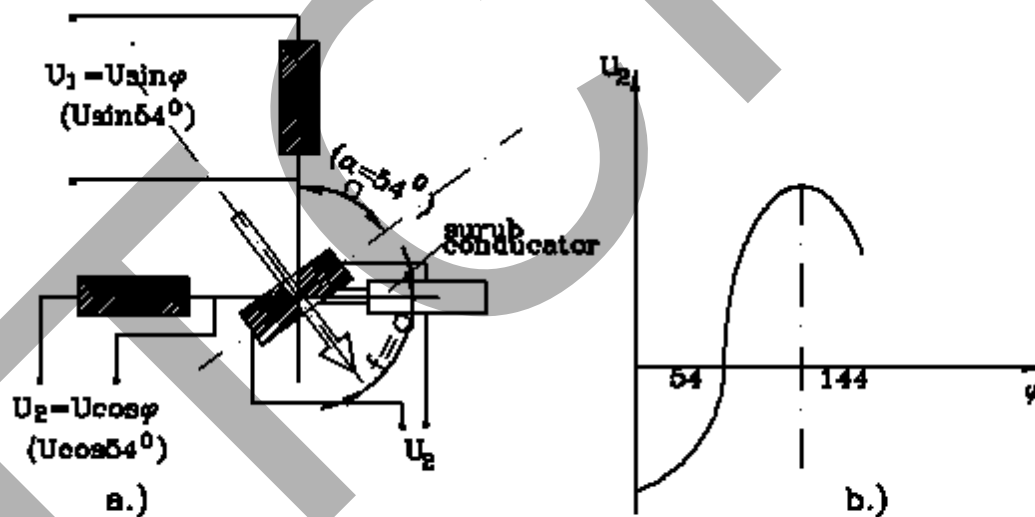


Fig. 4.14

Dacă se aplică o tensiune uneia din bobinele statorului, tensiunea maximă în rotor apare când cele două bobine sunt în linie. Pentru o poziție relativă de  $90^\circ$ , tensiunea indusă este zero.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinational**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**

Alimentând cele două circuite magnetice (bobine) ale statorului cu tensiunile:

$$U_1 = U \cdot \sin \omega t \quad U_2 = U \cdot \cos \omega t \quad (4.1)$$

se va induce în bobina statorului tensiunea,

$$U_2 = U_1 \cdot \cos \varphi - U_2 \cdot \sin \varphi = U \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.2)$$

Dacă rotorul, legat la șurubul conducător, este rotit în mod continuu cu viteza unghiulară  $\omega_0$ , tensiunea  $U_2$  este,

$$U_2 = U \cdot \sin[(\omega + \omega_0)t - \varphi_0] \quad (4.3)$$

în care  $\omega_0$  este valoarea unghiulară cumulată din momentul  $t = 0$  până se atinge regimul permanent.

Din expresia (4.3) se observă că tensiunea  $U_2$  depinde de poziția unghiulară a rotorului rezolverului prin mărimea " $\varphi$ ".

Pentru măsurarea deplasării unghiulare se utilizează momentul când tensiunea  $U_2 = 0$ . În cazul figurii 2.56 b tensiunea  $U_2 = 0$  este reglată pentru unghiul  $\alpha = 54^\circ$  al bobinei rotorului. Ca urmare, tensiunile de alimentare ale statorului sunt:

$$U_1 = U \cdot \sin 54^\circ = U \cdot 0,8090 \quad \text{și} \quad U_2 = U \cdot \cos 54^\circ = U \cdot 0,5877$$

Principiul de măsurare prezentat este de tip ciclic. După fiecare rotație a rotorului, echivalentă cu o deplasare liniară egală cu pasul șurubului conducător, ciclul se repetă.





1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforată
- 3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinatoriale
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secvențiale
- 3.10. Circuite convertitoare
4. Blocul de Masurare

O măsurare absolută analogică se poate realiza utilizând un sistem de rezolvare în trepte (fin, mediu, brut) ca în figura 4.15.

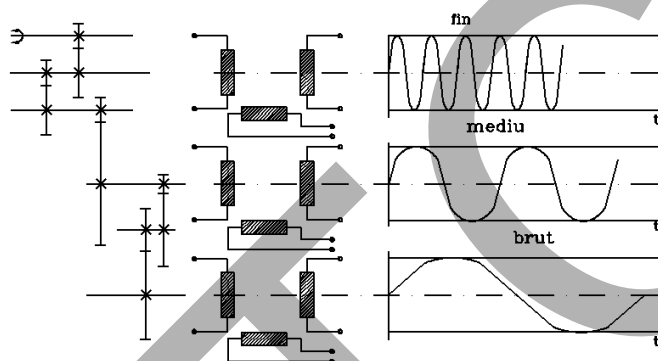


Fig. 4.15

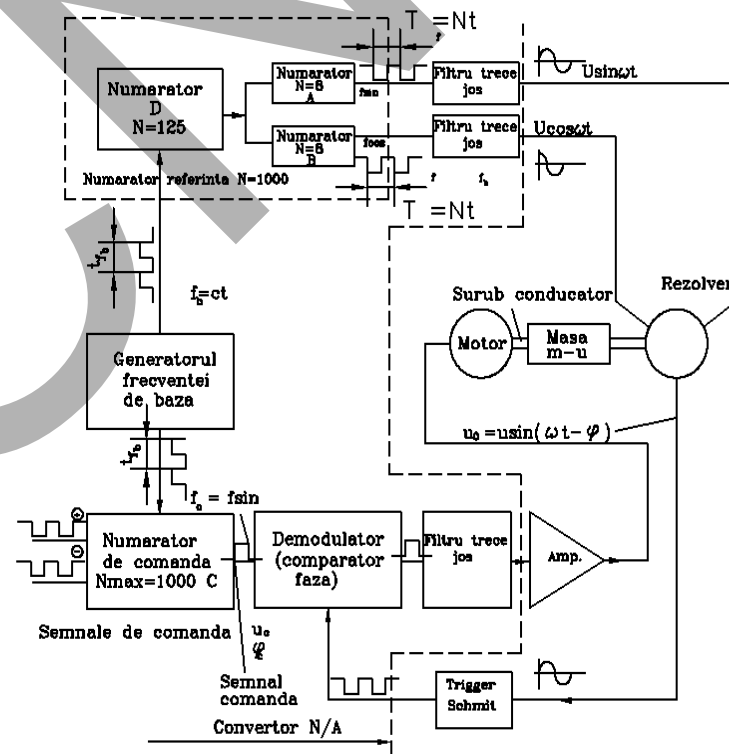


Fig. 4.16

Utilizarea rezolverului cu rol de traductor de deplasare presupune determinarea valorii momentane a unghiului "φ" (expresia 4.2). Detectarea fazei se realizează în cadrul unui circuit de detectare (figura 4.16).


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata**
**OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinational**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**

Generatorul frecvenței de bază emite un tren de impulsuri cu frecvența  $f_b$ , respectiv perioada  $t_{fb}$ . Circuitul din figura 4.16 are mai multe funcțiuni. Una din acestea este aceea de a produce semnalele de alimentare ale rezolverului și

$$U_1 = U \cdot \sin \omega t$$

$$U_2 = U \cdot \cos \omega t$$

Pentru aceasta se utilizează “numărătorul de referință” care divide frecvența de bază cu  $N = 1000$  în două etape ( $125 \times 8$ ). Numărătoarele A și D se resetează la 0 simultan. Numărătorul B se resetează, la același moment cu numărătoarele A și D, la valoarea 2 în loc de 0. Ca urmare, semnalul de ieșire din numărătorul B va fi defazat înaintea celui din 1 cu  $2/8$  unități, adică la  $90^\circ$  electric. Ca urmare, din numărătorul de referință vor ieși două semnale numerice cu perioada  $T = N \cdot t_{fb}$  decalate cu  $90^\circ$  electric:  $f_{\sin}$  și  $f_{\cos}$ .

La ieșirea din filtrul “trece-jos” se obțin semnalele analogice dorite.

Tensiunea  $U_2 = U \cdot \sin(\omega t + \varphi)$  este transmisă comparatorului de fază (demodulatorului) după prelucrarea prin circuitul Trigger Schmit. Diferența de fază dintre semnalul de comandă și cel de pe bucla de reacție (tensiunea  $U_2$ ) este convertită în semnal de tensiune prin filtrul “trece jos” care, amplificată, comandă motorul de acționare al axei respective.

Numărătorul de comandă este alcătuit din 3 numărătoare zecimale decadice. Factorul de divizare a numărătorului de comandă poate fi reglat în domeniul  $0 \div 999$ . Când este resetat semnalele de comandă, de pe bucla de reacție, și de referință sunt în fază ( $f_{\sin}$ ). Ca urmare detectorul de fază indică valoarea 0 fapt ce face ca motorul să nu se rotească.





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

...

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.

3.7. Circuite logice combinatoriale

3.8. Circuite de memorare

3.9. Circuite logice secvențiale

3.10. Circuite convertoare

4. Blocul de Masurare

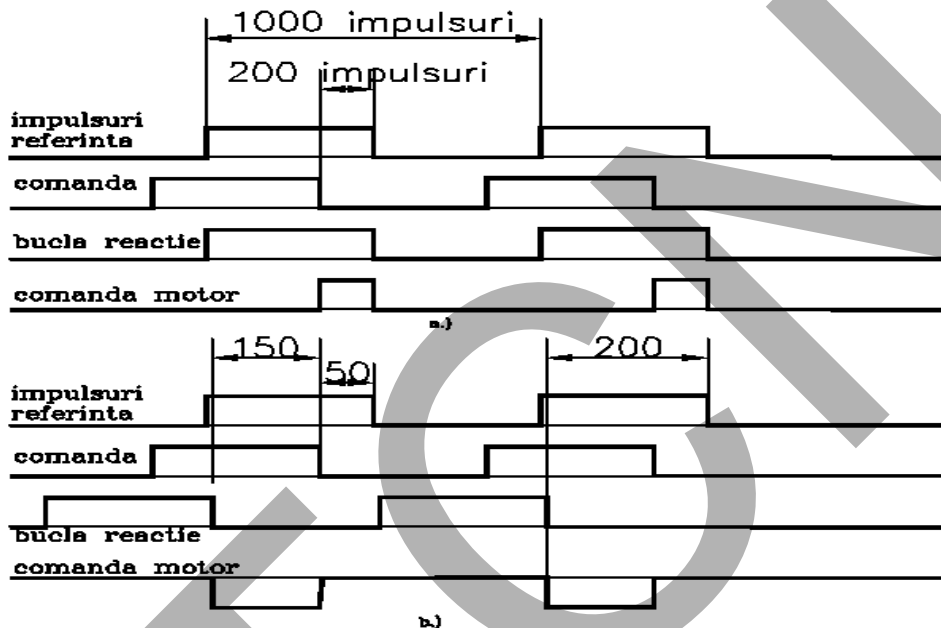


Fig. 4.17

Să presupunem că numărătorul C este setat, prin impulsurile de comandă, la valoarea 200. Deoarece numărătorul conține deja 200 de impulsuri în momentul inițial, frontul semnalului de comandă va fi defazat în față în raport cu frontul semnalului de pe bucla de reacție (figura 4.17 a). Acest fapt conduce la existența unui defazaj de  $200/1000$  sau  $0,2$  dintr-un ciclu. Ca urmare, motorul se va roti în direcția care conduce la reducerea erorii la valoarea 0. De fiecare dată, înainte de setarea numărătorului de comandă, numărătorul buclei trebuie resetat și numai după aceea o nouă comandă poate fi transmisă. Pentru a roti motorul în noua poziție, toate numărătoarele sunt resetate iar numărătorul de comandă este setat la poziția dorită.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**

...

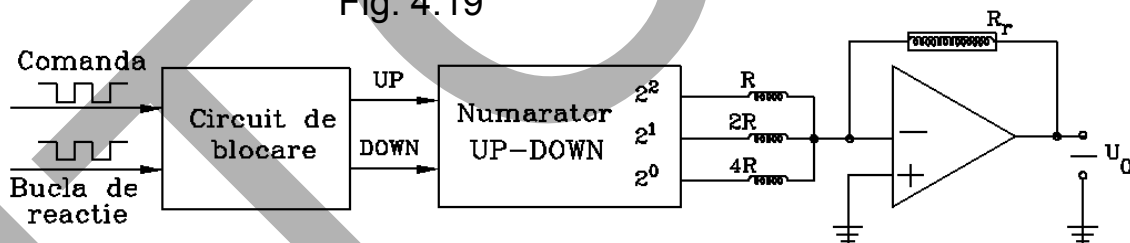
**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinational**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**

Pentru a analiza sensul de rotație a motorului trebuie analizat defazajul semnal de comandă/semnal de referință( $\varphi_c$ ) și defazajul semnal buclă de reacție / semnal referință( $\varphi_{br}$ ).

Diferența  $\varphi_c - \varphi_{br} > 0$  sau  $< 0$  conduce la un sens sau altul de rotație. În cazul figurii 4.18 a  $\varphi_c - \varphi_{br} = 100$

Pentru a analiza și celălalt sens se presupune faptul că în momentul anterior rezolverul s-a rotit cu 0,2 dintr-o rotație (cazul a). Acum se setează numărătorul la valoarea 50. Ca urmare  $\varphi_c = 50$  iar  $\varphi_{br} = 200$ . Diferența  $\varphi_c - \varphi_{br} = 50 - 200 = -150$  impulsuri. Prin urmare motorul de acționare va fi alimentat cu o tensiune negativă care va produce schimbarea sensului de rotație și rotirea cu 0,15 dintr-o rotație completă.

Fig. 4.19



Comparatorul de fază poate fi realizat sub forma unui numărător reversibil (UP-DOWN) (figura 4.19) cuplat cu un convertor numeric-analogic. Semnalul de comandă este conectat la intrare UP din numărător iar cel de pe bucla de reacție la intrarea DOWN. Suplimentar este prevăzut un circuit de blocare a unor impulsuri simultane ce pot să apară pe ambele intrări ale numărătorului.

Numărătorul alcătuit din trei CBB este astfel cuplat la  $C_{N/A}$  încât atunci când în numărător se citește starea "100" (4 în zecimal) tensiunea  $U_0$  este 0. Pentru stările 5, 6, 7 ale numărătorului, tensiunea din  $C_{N/A}$  va comanda rotirea motorului în sens orar (de exemplu) iar pentru stările 1, 2, 3 în sens invers.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata**
**OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforata**
**3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinacionale**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secventiale**
**3.10. Circuite convertoare**
**4. Blocul de Masurare**

În situații de avans cu deplasări de lucru, starea numărătorului este între 4 și 5. Semnalul de ieșire este un impuls cu durată egală cu diferența de fază dintre semnalul de comandă și cel de pe bucla de reacție. Pentru celălalt sens, starea numărătorului este între 3 și 4. Stările 6, 7, respectiv 0, 1 și 2 sunt asociate unor erori mari fapt pentru care deplasările vor fi cu avans rapid.

**Demodulatorul**

O altă schemă utilizată în măsurarea defazajului este indicată în figura 4.20. Demodulatorul utilizat este cu dublă alternanță. Tensiunea la ieșirea din demodulator  $U_d$  este dependentă de defazajul existent între semnalele de comandă, emise de numărătorul C, și cele de pe bucla de reacție. Existența unor impulsuri de comandă în numărătorul C (setarea numărătorului) conduce la apariția unui defazaj  $\varphi_c$  între cele două intrări în demodulator.

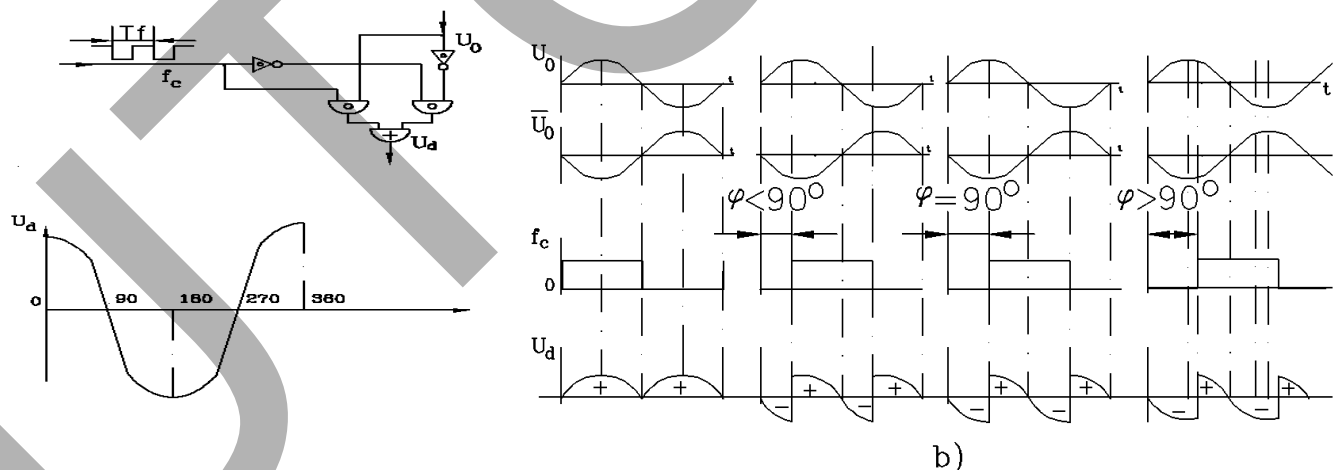


Fig. 4.20



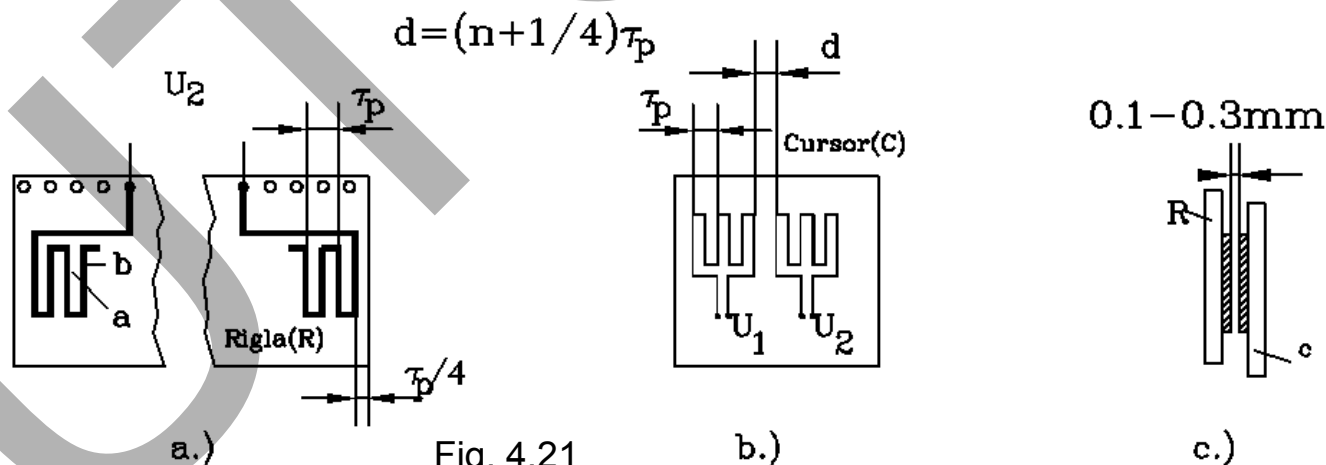
1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
- ...
- 3.5. Banda perforata
- 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.
- 3.7. Circuite logice combinational
- 3.8. Circuite de memorare
- 3.9. Circuite logice secventiale
- 3.10. Circuite convertoare
4. Blocul de Masurare

Variația tensiunii  $U_c$ , în funcție de defazaj, este indicată în figura 4.20. Tensiunea  $U_d = 0$  când  $\varphi = 90^\circ$ , adică  $\varphi_c - \varphi_{br} = 90^\circ$ . Cunoscând  $\varphi_c$ , se poate găsi, în orice moment,  $\varphi_{br} = 90^\circ - \varphi_c$ . Cunoscând  $\varphi_{br}$  se cunoaște poziția rotorului rezolverului și implicit poziția unghiulară a șurubului conducător.

Precizia de măsurare depinde de coeficientul de divizare a numărătorului de referință. Considerând  $N = 1000$ , înseamnă că la 1000 de impulsuri emise de generatorul frecvenței de bază, numărătorul de comandă va emite un impuls.

Ca urmare adăugarea/scăderea unui impuls în numărătorul de comandă produce o decalare de  $360^\circ/1000 = 0,360$  electrice. Pentru un șurub conducător cu pasul de 10 mm, rezultă că precizia ce se poate obține este:  $\Delta s = 0,36 \times 10/360 = 0,01 \text{ mm}$ .

**Inductosynul** - este tot un traductor analogic inductiv a cărui funcționare este similară cu cea a rezolverului. În varianta liniară (figura 4.21) se compune dintr-o riglă (rotor) și un cursor (stator).





## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

## 3. Interfata OM - MASINA

...

### 3.5. Banda perforata

### 3.6. Coduri utilizate in tehnologia C.n.

### 3.7. Circuite logice combinationale

### 3.8. Circuite de memorare

### 3.9. Circuite logice secventiale

### 3.10. Circuite convertoare

## 4. Blocul de Masurare

La alimentarea cursorului cu tensiunile  $U_1 = U \cdot \sin \omega t$  și  $U_2 = U \cdot \cos \omega t$

de frecvență ridicată (2÷10 kHz) câmpul magnetic produs se va închide în jurul conductorilor care i-au dat naștere. O parte din liniile de flux magnetic se va închide prin aer iar altă parte va înconjura conductorii “a” și “b” ai riglei.

Prin deplasarea relativă a riglei în raport de cursor, în conductorii riglei se va induce o tensiune a cărei perioadă corespunde cu pasul polar dar defazată funcție de poziția relativă cursor/riglă  $U_2 = U \cdot \sin(\omega t - \varphi)$

Existența unui mare număr de poli statorici (108, 144, sau 360) face ca tensiunile statorice să depindă de numărul de poli. Tensiunile rezultate vor produce o tensiune medie care nu are o variație strict sin sau cos. Decalarea bobinelor statorului cu  $d = (n + 0,25)\tau_p$  face ca cele două tensiuni medii  $U_1$  și

$U_2$  să fie decalate cu 90° electric.

Înfășurările de pe cursor și riglă sunt aplicate pe un material ceramic. Sunt protejate de un strat de lac peste care se întinde o folie de staniol pentru protecție electrostatică.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

...

3.5. Banda perforată

3.6. Coduri utilizate  
în tehnologia C.n.

3.7. Circuite logice  
combinationale

3.8. Circuite de  
memorare

3.9. Circuite  
logice secvențiale

3.10. Circuite  
convertoare

**4. Blocul de Masurare**

## 4.5 Tahogeneratorul

Este un traductor pentru măsurarea turației de ieșire a axului rotor din motorul de acționare.

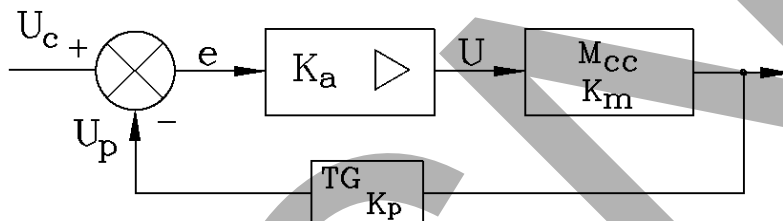


Fig. 4.22

Spre deosebire de traductorii reprezentați până în prezent, tahogeneratorul face parte din bucla de reacție pentru viteză (figura 4.22). Constructiv, este de tipul unui “motor” cu magneți permanenți. Tensiunea furnizată de tahogenerator este proporțională cu turația rotorului său,

$$U_p = K_p \cdot \omega \quad (4.4)$$

în care  $K_p$  este constanta tahogeneratorului.

Diferența dintre tensiunea de comandă  $U_c$  și cea dată de tahogenerator dă semnalul de eroare  $e$ ,

$$e = U_c - U_p \quad (4.5)$$

Semnalul de eroare produce la ieșirea din amplificatorul de putere tensiunea de alimentare a motorului,

$$U = K_a \cdot e \quad (4.6)$$

în care  $K_a$  este coeficientul de amplificare al amplificatorului.

Corelând ecuația (4.4) cu ecuațiile (4.5) și (4.6) rezultă ecuația transformatei Laplace a sistemului de acționare a motorului,

$$\omega(s) = \left[ \alpha K_a K_m U_c(s) - \left( \alpha R \frac{K_m}{K_f} \right) \cdot M_s(s) \right] (1 + \alpha \cdot s \cdot \tau_m)^{-1} \quad (4.7)$$

în care factorul de atenuare  $\alpha$  este,

$$\alpha = (1 + K_a K_m K_p)^{-1} \quad (4.8)$$


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfața OM - MASINA**

...

**3.5. Banda perforată**
**3.6. Coduri utilizate în tehnologia C.n.**
**3.7. Circuite logice combinate**
**3.8. Circuite de memorare**
**3.9. Circuite logice secvențiale**
**3.10. Circuite convertitoare**
**4. Blocul de Masurare**
**Exemplu**

Se consideră motorul cu caracteristicile indicate în exemplul precedent. Coeficientul de amplificare al amplificatorului este  $K_a=10$ , iar al tahogeneratorului  $K_p= 17.25 \text{ V/1000 min}^{-1}$ . Să se calculeze:

Constanta de timp a unității de acționare;

Expresia turației în regimul stabil al motorului;

Tensiunea  $U_c$  care produce la ieșire turația de  $985 \text{ min}^{-1}$ , fără încărcarea motorului;

Pierdere de viteză unghiulară la mersul în sarcină.

$$K_m = \frac{1}{K_v} K_m = \frac{60}{0.824 \times 2\pi}; a = \frac{1}{\left(1 + 10 \times 11.6 \times \left(\frac{17.25}{1000}\right)\right)} = \frac{1}{3}$$

Cu  $\tau_m=13 \text{ ms}$ . Constanta de timp a sistemului n devine  $\tau' = a \times \tau_m = 4.33 \text{ ms}$

În regim stabil  $\tau_m$  nu influențează viteza unghiulară, putând fi eliminată

$$\omega = \alpha \times K_a \times K_m \times U_c - \frac{\alpha \times R \times K_m \times M_1}{K_1}$$

Pentru  $M_s=0$  rezultă

$$U_c = \frac{\omega}{\alpha \times K_a \times K_m} = 25.5 \text{ V}$$

Pentru  $M_s=1.38 \text{ kg.m}$ ,

$$\Delta\omega = \frac{\alpha \times R \times K_m \times M_1}{K_1} = 26 \text{ rot/min}$$

Ceea ce reprezintă o treime din valoarea pierderii de turație în cazul sistemului cu buclă deschisă.



# **Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație**





## 5.BLOCUL DE INTERPOLARE

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

Curbele generatoare (G) și directoare (D) utilizate în generarea suprafețelor pe mașinile-unelte sunt de o mare diversitate de forme. Aceste curbe pot fi exprimate analitic sau date prin puncte.

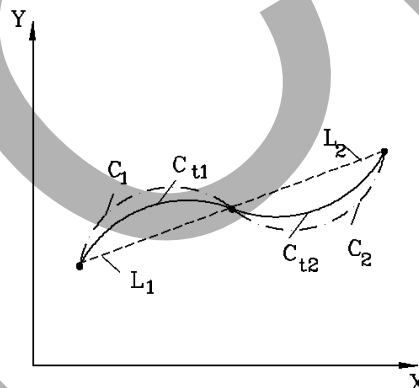


Fig. 5.1



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare

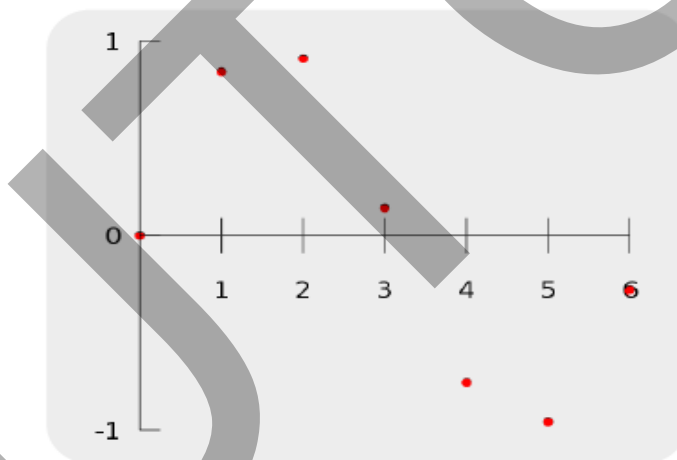
## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

Suportul fizic pentru materializarea curbelor G și D pe mașinile-unelte îl constituie cuplele cinematice de tip sanie-ghidaj sau fus-lagăr. Datorită construcției cuplelor cinematice, sania se poate deplasa între două puncte ale curbelor G sau D numai după traiectorii circulare sau liniare. De aceea se recurge la aproximarea curbelor teoretice prin curbe reale. La mașinile-unelte clasice, aproximarea se realizează prin anumite curbe date (figura 5.1). Datorită acestui fapt curbele reale de aproximare  $L_1$ ,  $C_1$ , respectiv  $L_2$ ,  $C_2$  a curbelor teoretice  $C_{t1}$  și  $C_{t2}$  conduc adesea la erori care pot depăși limitele toleranțelor de execuție.

#### 5.1. Curbe de interpolare

Interpolarea oferă mijloacele de estimare a unei funcții într-un punct intermediar, altul decât unul precizat. Pentru tabelul următor se cere estimarea valorii  $F(x)$  pentru  $x=2.5$ ;  $F(2.5)=?$



X	F(x)
0	0
1	0.8415
2	0.9093
3	0.1411
4	- 0.7568
5	- 0.9589
6	- 0.2794

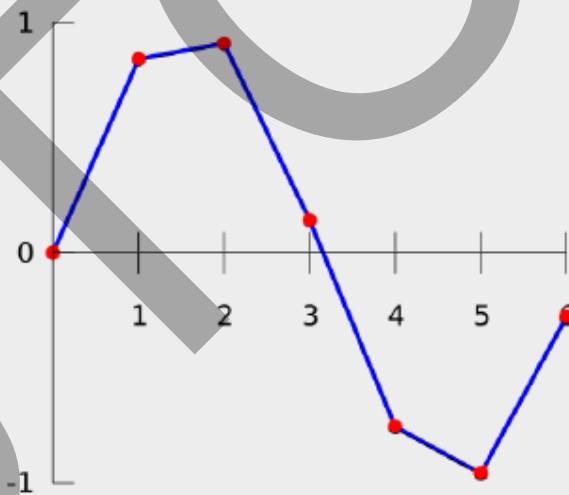
Fig. 5.2


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**1. Interpolarea liniară**

Deoarece  $x=2.5$  se găsește la mijlocul intervalului  $(2,3)$  este rezonabil ca  $F(2.5)$  să reprezinte media pentru  $f(2)$  și  $f(3)$  ceea ce conduce la valoarea 0.5252.

În interpolarea liniară se consideră două puncte  $(x_a, y_a)$ ,  $(x_b, y_b)$ , pentru care rezultă pentru punctul  $(x, y)$

$$y = y_a + \frac{(x - x_a)(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$


**Fig. 5.3**



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

## 2. Interpolarea polinomială

Interpolarea polinomială este o generalizare a interpolării liniare în care se consideră un polinom de grad superior.

Polinomul de ordin șase trece prin cele șapte puncte:

$$F(x) = -0.0001521x^6 - 0.003130x^5 + 0.07321x^4 - 0.3577x^3 + 0.2255x^2 + 0.9038x$$

Pentru  $x = 2.5$  rezulta  $f(2.5) = 0.5965$

Nota: pentru  $n$  puncte există un singur polinom de gradul  $n-1$  care trece prin toate punctele

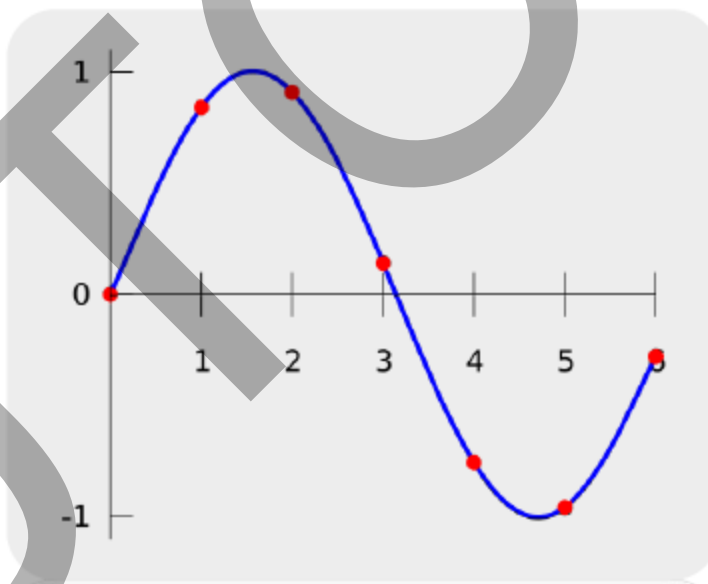
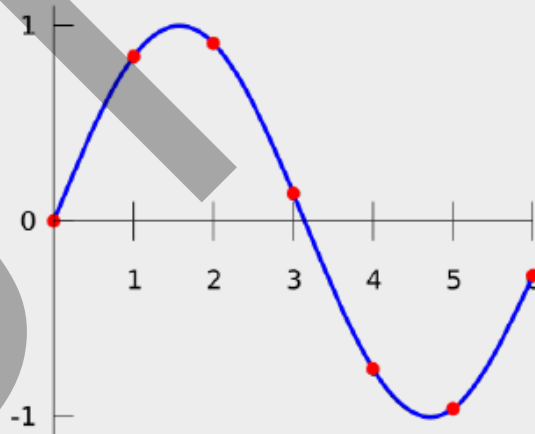


Fig. 5.4


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**3. Interpolare spline**

Interpolarea liniară utilizează o funcție liniară pentru fiecare interval  $[x_k, x_{k+1}]$ . Interpolarea spline utilizează polinoame de grad redus în astfel de intervale alegându-l pe cel care asigură continuitatea cu poligonul din intervalul următor. Funcția rezultată se numește Spline.

$$f(x) = \begin{cases} -0.1522x^3 + 0.9937x, & x \in [0,1] \\ -0.01258x^3 - 0.4189x^2 + 1.4126x - 0.1396, & x \in [1,2] \\ 0.1403x^3 - 1.3359x^2 + 3.2467x - 1.3623, & x \in [2,3] \\ 0.1579x^3 - 1.4945x^2 + 3.7225x - 1.8381, & x \in [3,4] \\ 0.05375x^3 - 0.2450x^2 - 1.2756x + 4.8259, & x \in [4,5] \\ -0.1871x^3 + 3.3673x^2 - 19.3370x + 34.9282, & x \in [5,6] \end{cases}$$


**Fig. 5.5**



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

### Curbe Bézier

Linii și curbe de ordinul 2 (cuadratice)

Argumentul „t” în funcția Bézier liniară poate fi interpretat ca descriind cât de departe este  $B(t)$  față de  $P_0$  la  $P_1$ . De exemplu, pentru  $t = 0.25$ ,  $B(t)$  se găsește la un sfert de drum dintre  $P_0$  și  $P_1$ .

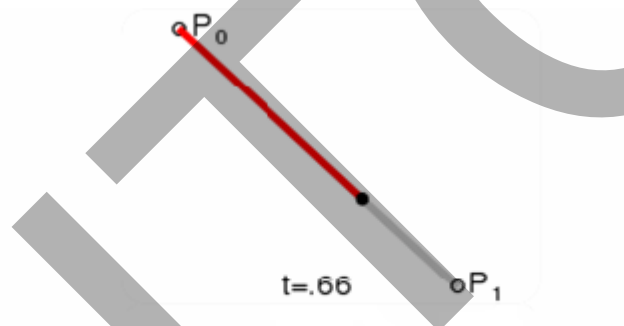
Când  $t$  variază de la 0 la 1,  $B(t)$  descrie linia dintre  $P_0$  și  $P_1$ .

Pentru curbe de ordinul 2 se pot construi punctele intermediare  $Q_0$  și  $Q_1$  pentru  $t$  variază între 0 și 1.

Punctul  $Q_0$  variază între  $P_0$  și  $P_1$ , descrie o curbă Bézier liniară.

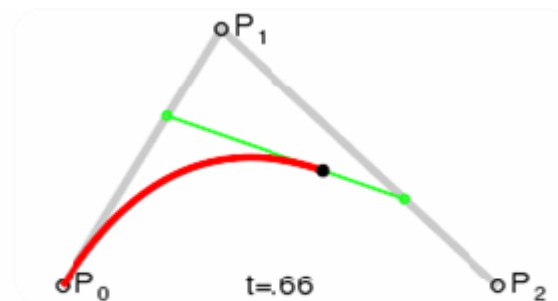
Punctul  $Q_1$  variază între  $P_1$  și  $P_2$ , descrie o curbă Bézier liniară.

Punctul  $B(t)$  variază între  $Q_0$  și  $Q_1$ , descrie o curbă Bézier quadratică.



$$B(t) = P_0 + t(P_1 - P_0) = (1-t)P_0 + tP_1, t \in [0, 1]$$

a)



$$B(t) = (1-t)^2P_0 + 2(1-t)tP_1 + t^2P_2, t \in [0, 1]$$

b)

Fig. 5.6



## Curbe B – Spline

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

Sunt curbe de formă oarecare, segmente de tip Bézier, de același grad, cu noduri comune având conținute maxime. B provine de la „basic”, termen introdus de matematicianul român Isaac Schoenberg.

O curbă B- Spline este definită prin:

- $m+1$  puncte de control
- gradul  $n$
- vectorul de nod

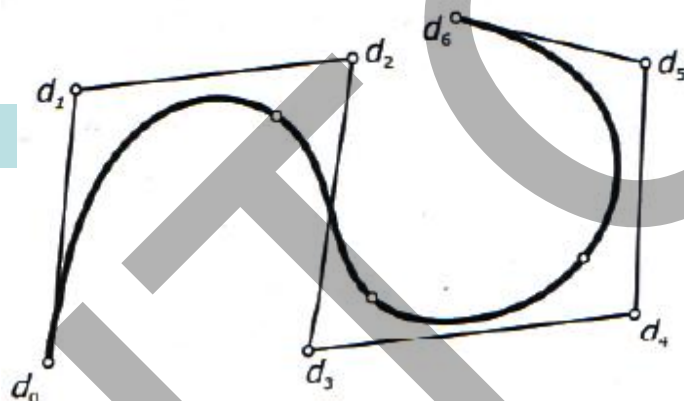


Fig. 5.7

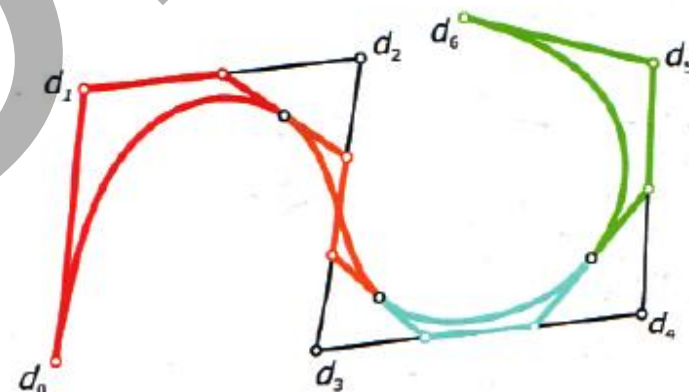


Fig. 5.8

Curba B- Spline de gradul  $n=3$  cu  $m=7$  puncte de control  $d_0, d_1, \dots, d_6$  este compusă din patru segmente de curbă Bézier de ordinul trei.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

Influența gradului curbelor B- Spline este indicată prin figura 5.9. Curbele de tip linear ( $n=1$ ), quadratic ( $n=2$ ) și până la gradul maxim 7 sunt aplicate aceluiași poligon de control cu 8 puncte. Curba B-Spline de grad maxim este de fapt o curbă Bezier.

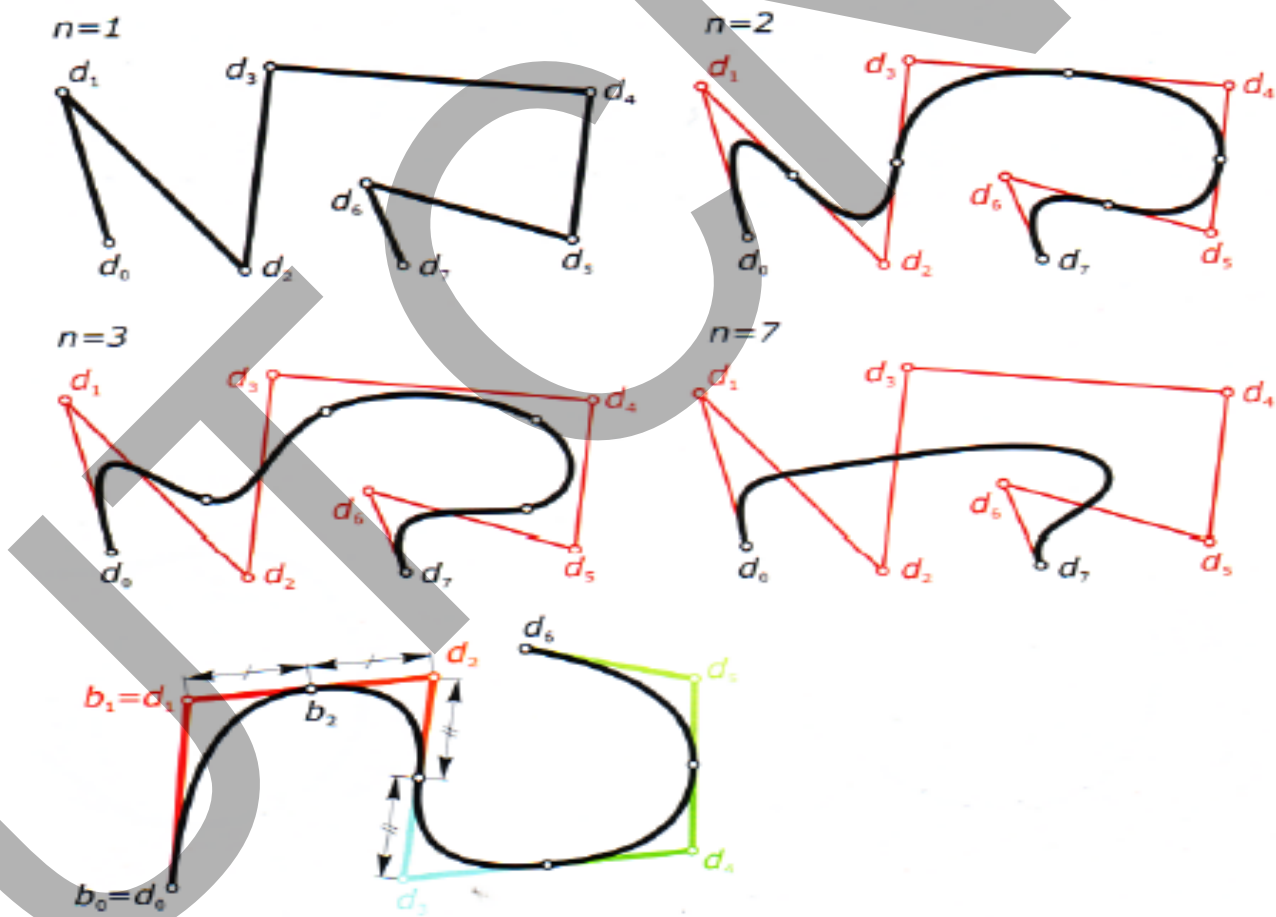


Fig. 5.9





**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

### 5.2 Principiul de functionare

Caracteristica generală a tuturor interpolatoarelor este faptul că acestea lucrează în timp real, deci viteza de generare a informațiilor se corelează cu viteza de deplasare asigurând dependențe de tipul:

$$y = f_1(t); y = f'_1(i)$$

$$x = f_2(t); x = f'_2(i)$$

$$z = f_3(t); z = f'_3(i)$$

În care  $t$  reprezintă variabila de timp, independentă, iar  $i$  numărul de impulsuri. Pentru exemplificare se consideră figura 5.10:

Curba reală de deplasare a sculei în raport cu piesa se obține prin sincronizarea deplasărilor după axele de coordonate conform funcțiilor  $f(i)$  ( $f'(t)$ ).

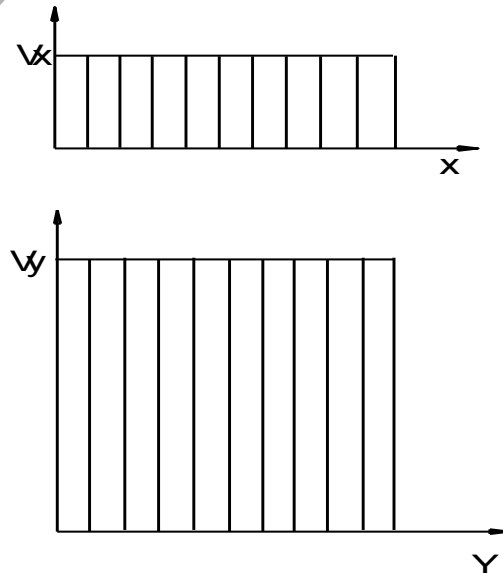
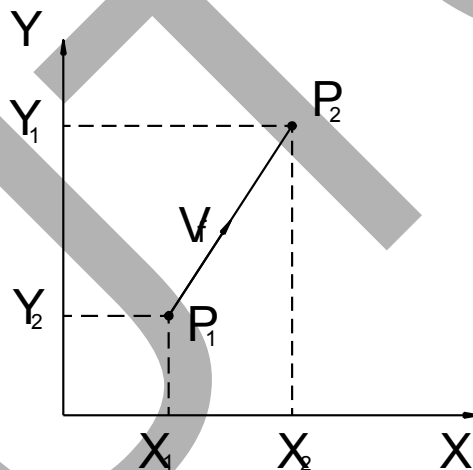


Fig. 5.10



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

## 3. Interfata OM - MASINA

## 4. Blocul de Masurare

## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

Pentru comanda deplasării sculei din P1 în P2, interpolatorul:

- Împarte deplasarea totală pe Y în deplasări incrementale pe Y ( $N_y$ ) ce sunt parcurse cu o anumită viteză  $V_y$
- Împarte deplasarea totală pe X în deplasări incrementale pe X ( $N_x$ ) ce sunt parcurse cu o anumită viteză  $V_x$

Pentru aceasta interpolatorul trebuie să aibă următoarele caracteristici:

- datele generate de interpolator să fie cât mai apropiate de forma curbei;
- În calculul vitezelor de deplasare trebuie să țină seama de limitele impuse de structura mașinii și specificațiile servoacționării;
- Să evite eroarea acumulată pentru ca poziția finală a sculei să fie cât mai apropiată de cea teoretică

### 5.3 Clasificare interpolatoare

Deși există o mare varietate de interpolatoare numerice, ele se pot grupa în două mari categorii:

- interpolatoare bazate pe metoda analizei diferențiale numerice (DDA) implementate hardware;
- interpolatoare bazate pe metoda calculului direct al funcției (CDF) implementate software.

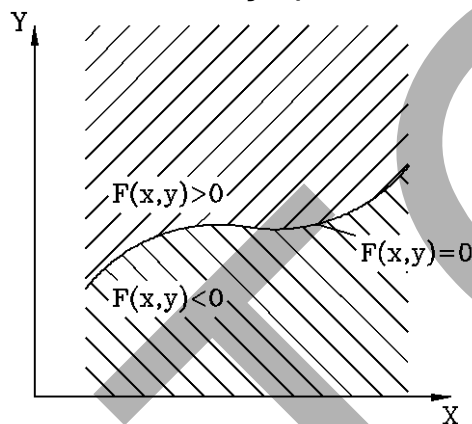


Interpolarea prin metoda DDA se bazează pe rezolvarea ecuației diferențiale a unei funcții  $y = \varphi(x)$ .

Deoarece,

$$a_n \frac{d^n y}{dx^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dx} + a_0 = 0 \quad (5.1)$$

rezultă că ecuația poate fi rezolvată printr-un șir de însumări.



**Fig. 5.11**

Interpolarea prin metoda CDF are la bază constatarea că valoarea funcției  $F(x,y)$  este zero numai pentru perechile de valori  $x, y$  care satisfac condiția (figura 5.11),

$$F(x, y) = 0 \quad (5.2)$$

Pentru o descriere perfectă a curbei ar trebui ca în permanență  $F(x,y) = 0$ . Deplasările în cazul comenzii numerice fiind incremente finite de valoarea BLU, vor exista mereu treceri dintr-o zonă în cealaltă și deci modificarea semnului valorii  $F$ .

**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

## **Metoda DDA**

Primele interpolatoare, implementate pe echipamente NC, au fost concepute pe baza metodei DDA. Algoritmii de interpolare prin metoda DDA presupun un volum relativ mare de operații aritmetice ușor de implementat pe structuri hardware specializate. Astfel de structuri se pretează la calcule cu operanzi de lungimea cuvântului de ordinul  $20 \div 24$  biți, cu prelucrare paralelă. Aceste echipamente asigură performanțe ridicate de calcul în timp real, la o structură hardware relativ simplă.

## **Metoda CDF**

Interpolatoarele bazate pe metoda CDF necesită o structură hardware mult mai complexă, cu multe registre suplimentare pentru salvarea informației și logică de control mai complicată. Spre deosebire de algoritmii bazați pe metoda DDA, aceștia apelează mai puțin la operații aritmetice și mai mult la operații logice, la temporizări simple la nivel de bit. Ca urmare, algoritmii bazați pe metoda CDF se pretează pentru o implementare software, compatibilă cu echipamentele CNC.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

## 5.2. Principiul interpolării DDA

Interpolatorul DDA constituie componenta de bază a interpolatoarelor hardware care lucrează după metoda analizei diferențiale numerice. Se bazează pe rezolvarea unei ecuații diferențiale prin metode de aproximare utilizând dreptunghiuri (figura 5.12), având aceeași bază  $\Delta x$ . Aria suprafeței de sub curba  $y = f(x)$  poate fi calculată astfel:

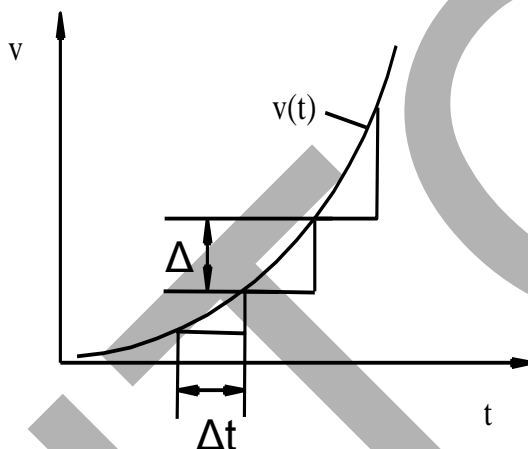


Fig. 5.12

$$S(t) = \int_0^t v dt = \sum_{i=1}^K v_i \Delta t \quad (5.3)$$

Ecuația rescrisă este:

$$s_k = \sum_{i=1}^{k-1} v_i \Delta t + v_k \Delta t \quad (5.4)$$

$$\text{sau } s_k = s_{k-1} + \Delta s_k \quad (5.5)$$

În care  $\Delta s_k$  este

$$\Delta s_k = v_k \Delta t \quad (5.6)$$

Relația (5.6) permite calculul frecvenței medii de iterație

$$\Delta s_k = V_k \Delta t = V_k \times \frac{1}{2^n} = V_k \times 2^{-n} = 2^{-n} \times (f \times \Delta t) = \frac{f}{2^n} \times V_k \times \Delta t$$

$$f_0 = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{f}{2^{-n}} \times V_k$$



## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

Pentru interpolare sunt necesare procesele:

1. Calculul valorii curente a vitezei din insumarea valorii anterioare și a incrementului din momentul curent

$$V_k = V_{k-1} + \Delta V_k \quad (5.7)$$

2. Calculul incrementului de deplasare

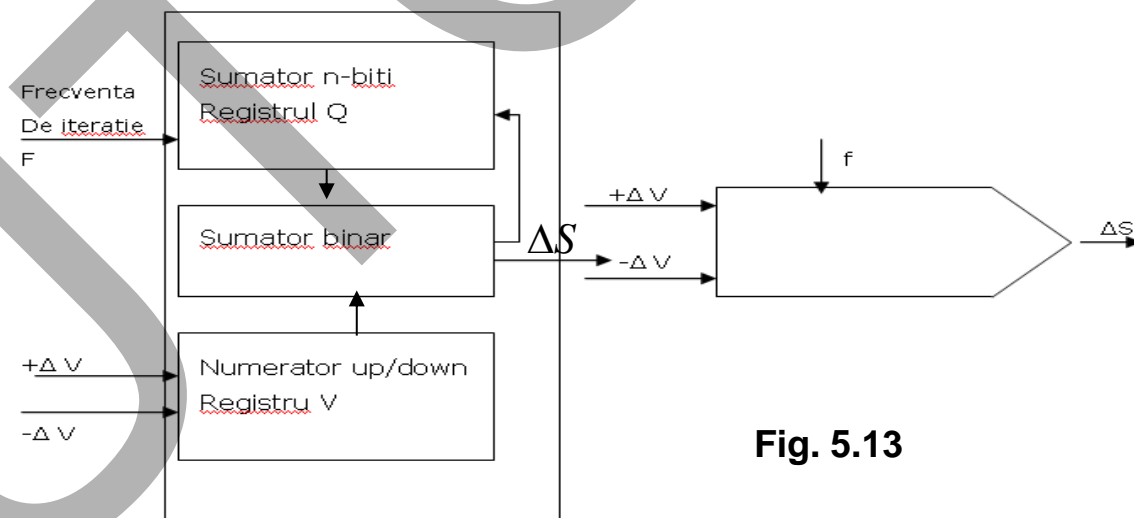
3. Calculul deplasării totale prin insumarea la momentul anterior și incrementul de deplasare din momentul actual

Procesul este repetat pentru fiecare interval de timp- constant, cu frecvența  $f$

$$f = \frac{1}{\Delta t} \quad (5.8)$$

Valoarea  $\Delta v$  este un increment ce poate avea valorile: +1; -1 sau 0, situație în care lipsește.

Diagrama bloc a unui integrator DDA este indicată în figura 5.13.



**Fig. 5.13**


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**

Integratorul se compune din doi regiștrii de  $n$ -biti (sumatorul  $Q$  și numărătorul  $V$ )  
Modul de lucru:

1. Ecuația este aplicată la fiecare intrare  $\Delta V$  (0 sau 1). Această valoare este adăugată la bitul cel mai puțin semnificativ al registrului  $V$ .
2. Valorile regiștrilor  $Q$  și  $V$  sunt adunate
3. Dacă valoarea registrului  $Q$  este mai mare decât  $2^n - 1$ , apare un semnal de comandă către axa,  $\Delta S$ .

**Exemplu:**

se consideră:  $\Delta v = 5$  și  $n = 3$ . Ca urmare, regiștrii  $V$  și  $Q$  sunt alcătuiți din 4 biți: 3 pentru cuvântul binar și unul pentru semn.

		1		2		3
Iteratia	$Q_{k-1}$	000		101		0 10
	$V_k$	101		101		101
$\Delta S$	$Q_k$	101	1	010	0	111

Din exemplul prezentat se observă că după două iterații succesive de calcul se depășește valoarea registrului "Q" apărând semnalul  $\Delta S = 1$ . În registru rămâne valoarea "010", totdeauna mai mică decât valoarea registrului.



### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin metoda DDA

#### 5.3. Interpolarea liniară prin metoda DDA

Funcția interpolatorului este aceea de a calcula deplasarea și viteza pentru fiecare axă în funcție de forma teoretică a traiectoriei și a vitezei de avans programate.

Acest lucru se realizează prin emiterea unor comenzi, sub forma de impulsuri, simultan după mai multe axe, astfel încât raportul dintre frecvențele impulsurilor să fie egal cu raportul dintre deplasările incrementale pe axele respective (vitezele).

Considerând figura 5.14, raportul între frecvențele semnalelor pe axele X și Y trebuie să fie 7/5. Având în vedere că fiecărui impuls îi corespunde o deplasare egală cu 1 BLU, interpolatorul va emite 7 impulsuri buclei aferente axei X simultan cu cele 5 impulsuri pentru axa Y.

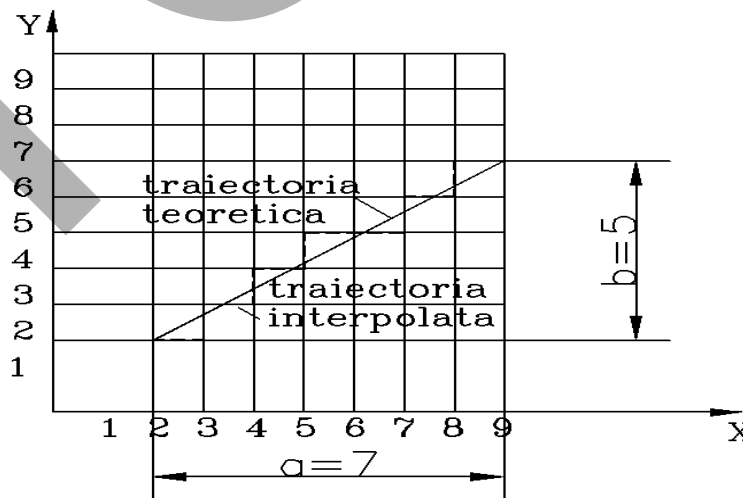


Fig. 5.14

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

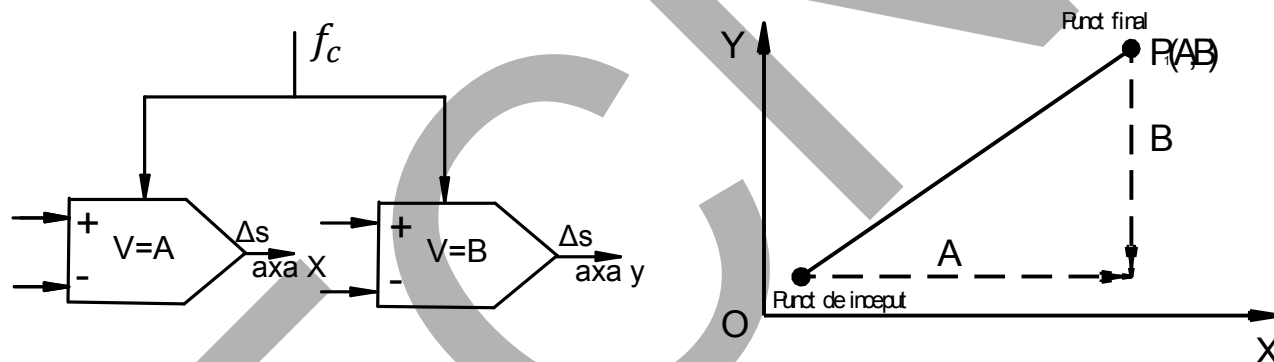
5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA




**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**

Prin schimbarea frecvenței impulsurilor, dar nu a raportului dintre ele, se poate controla viteza de avans. Acest lucru este posibil cu un alt integrator DDA. Interpolatorul liniar este alcătuit, pentru planul XOY, (G17) din două integratoare DDA (figura 5.15). Integratorul DDA1 controlează axa X iar DDA2 axa Y.


**Fig. 5.15**

- Deplasare pe axa X: maxim A (BLU)  
Y: maxim B (BLU)
- Frecvența de comandă pe axe:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{A}{B} \quad (5.9)$$

- Impulsul de comandă pentru fiecare integrator:

$$\Delta S_X = \left( \frac{f}{2^n} \right) A \Delta t \quad (5.10)$$

$$\Delta S_Y = \left( \frac{f}{2^n} \right) B \Delta t \quad (5.11)$$


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**

Pentru explicarea funcționării integratorului DDA ca unitate a interpolatorului liniar, ecuația poate fi rescrisă astfel:

$$dS = V \Delta t$$

În care mărimea  $V$  este măsurată în unități de viteză (mm/min) iar  $dS$  în unități de lungime (mm).

Deoarece regiștrii „ $V$ ” și „ $Q$ ” au o lungime de „ $n$ ” biți, rezultă că

$$dt = \frac{1}{2^n} \quad (5.12)$$

în exprimare binară.

Particularizând ecuațiile impulsului de comandă pe axe  $\Delta S_x$  și  $\Delta S_y$  pentru exemplul considerat:

$$x(t) = a_n at \quad (5.13)$$

$$y(t) = a_n bt$$

În care:

$$a_n = \frac{f}{2^n} = f 2^{-n} \quad (5.14)$$

$$V_x = \frac{dx}{dt} = a_n a \quad (5.15)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = a_n b \quad (5.16)$$

$$dx = a_n a dt \quad (5.17)$$

$$dy = a_n b dt \quad (5.18)$$



## Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

Coreland relațiile (5.10, 5.11) cu (5.8) rezultă că valoarea “a” trebuie introdusă în registrul “v” a integratorului DDA1, iar valoarea “b” în registrul “v” din integratorul DDA2.

### Aplicație

Se consideră segmentul de dreaptă  $P_0P_1$  având  $a=x_1-x_0=6$  unități și  $b=y_1-y_0=4$  unități. Ca urmare, integratoarele cuprind câte un registru de 3 biți  $2^3=8$ .

$$\Delta x = \Delta z_1 = 2^{-3} \times 6 \times \Delta t$$

$$\Delta y = \Delta z_2 = 2^{-3} \times 4 \times \Delta t$$

Tabelul 5.1

Tact i	$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{x_1 - x_0}{2^n} - \Delta x$ $\sum_{i=1}^n \frac{6}{8} - \Delta x$		$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{y_1 - y_0}{2^n} - \Delta y$ $\sum_{i=1}^n \frac{4}{8} - \Delta y$		Tact de comandă	Distanța interpolată	
						$\sum \Delta X$	$\sum \Delta Y$
1	0.75	(6)	0.5	(4)	-	-	-
2	1.5-1	(12-8)	1-1	(8-8)	1	1	1
3	1.25-1	(10-8)	0.5	(4)	2	2	1
4	1-1	(8-8)	1-1	(8-8)	3	3	2
5	0.75	(6)	0.5	(4)	4	3	2
6	1.5-1	(12-8)	1-1	(8-8)	5	4	3
7	1.25-1	(10-8)	0.5	(4)	6	5	3
8	1-1	(8-8)	1-1	(8-8)	7	6	4

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

Pașii de interpolare sunt prezentați în figura 5.16

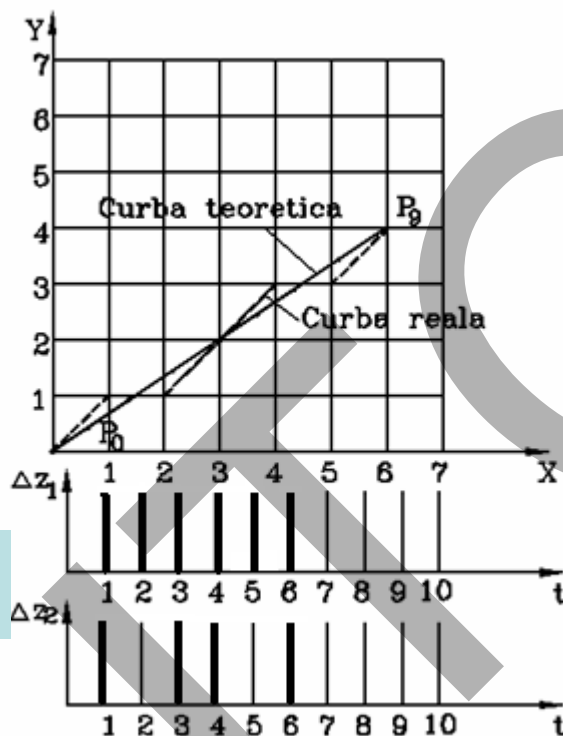


Fig. 5.16

Frecvența semnalelor de comandă

din  $V_x = \frac{dx}{dt}$   $d_x = 2^{-n}$

$$V_0 = \frac{1}{dt} \cdot 2^{-n} \quad V_0 = f_T \cdot 2^{-n} \cdot L_0 \quad (5.19)$$

în care  $L_0$  reprezintă lungimea segmentului interpolat,

$$f_T = \frac{V_0}{L_0} \cdot 2^n = \frac{V_0}{L_0} \cdot N \quad (5.20)$$

Relația (5.20) evidențiază faptul că frecvența semnalelor de comandă ( $\Delta S$ ) spre axe depinde de condițiile concrete ale interpolării: viteza de avans programată și lungimea segmentului.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

Valoarea frecvenței  $f_T$  se obține de la generatorul sistemului, având frecvența  $f_c$ , prin intermediul numărătorului reversibil (circuit de control cu impulsuri variabile - VPRC) cu capacitatea

$$\left(\frac{V}{L}\right)_{\max} = k = \frac{1}{2^m}$$

$$f_T = f_c \cdot \frac{V_0}{L_0} \cdot \left(\frac{V}{L}\right)_{\max} = f_c \cdot k \cdot \frac{V_0}{L_0} \quad (5.21)$$

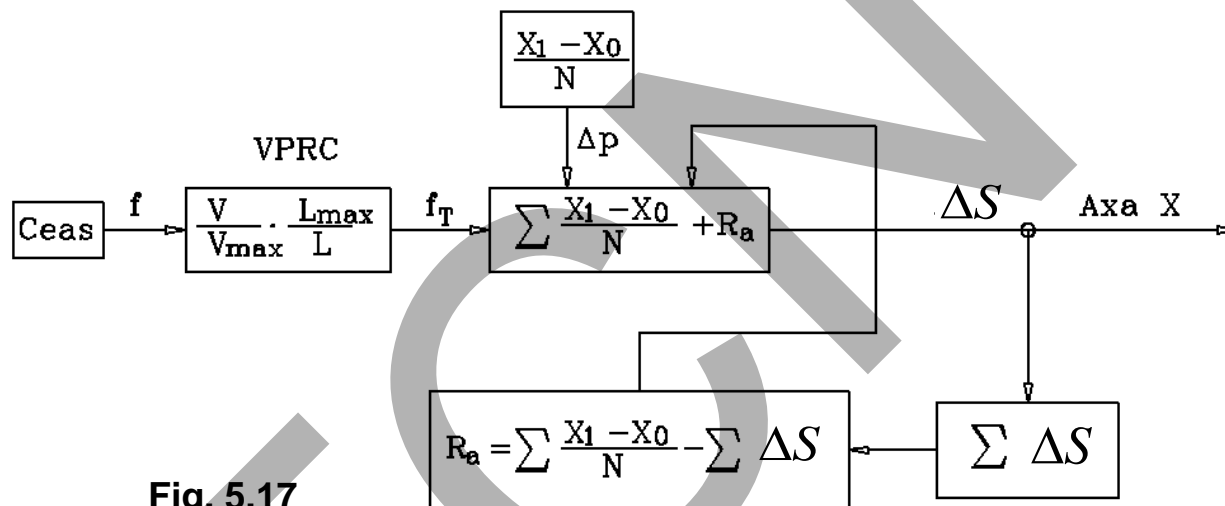
Considerând relația 5.20 se obține din relația (5.21):

$$f_c = 2^{n+m} \quad (5.22)$$

Valoarea acestei frecvențe este reglată de producătorul echipamentului numeric în funcție de vitezele și cursele maxime ce pot fi programate precum și de valoarea BLU.



Schema de principiu a interpolatorului liniar, axa X, este indicată în figura 5.17



**Fig. 5.17**

Din exemplul prezentat s-a observat că incrementele de calcul, care se însumează în integratoare se calculează prin împărțirea segmentului, aferent fiecărei axe, prin numărul

$$N = 2^n : \quad \Delta x = a/N, \Delta y = b/N$$

Valorile  $\Delta x$  și  $\Delta y$  poartă numele de incremente de calcul. Nu trebuie confundate cu incrementele de deplasare  $\Delta X$  și  $\Delta Y$  ca urmare a semnalelor de comandă  $\Delta Z$ .

Valorile  $\Delta X$  și  $\Delta Y$  sunt egale cu unitatea de bază de lungime BLU. Valoarea "n" se atinge astfel încât în cazul deplasării celei mai mari, incrementele de calcul  $\Delta x$  și  $\Delta y$  să fie subunitare. De regulă, pentru deplasări  $< 10$  m,  $n = 26$ , adică  $N = 2^{26} = 67.108.864$ .



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA

## Interpolarea circulară prin metoda DDA

Pentru interpolarea cercului (fig. 5.18) sunt necesare datele:

- Punctul de start (1)
- Punctul final (2)
- Raza cercului ;
- Vectorul/distanța de la punctul de start la centrul cercului (4)

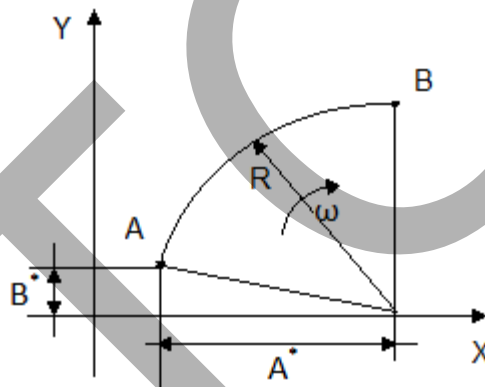
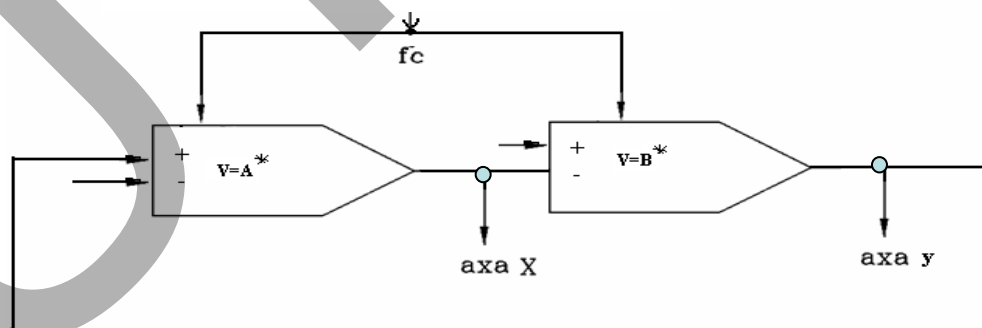


Fig. 5.18





**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**

**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**

Funcționarea interpolatorului circular poate fi evidențiată considerând ecuația cercului:

$$[X - R]^2 + [Y]^2 = R^2$$

în care R este raza cercului, iar:

$$\begin{aligned} X &= R \cdot (1 - \cos \omega t) \\ Y(t) &= R \cdot \sin \omega t \end{aligned} \quad (5.23)$$

Diferențiind relațiile (5.16) se pot calcula vitezele pe axele X și Y:

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{dX}{dt} = \omega \cdot R \cdot \sin \omega t \\ V_y &= \frac{dY}{dt} = \omega \cdot R \cdot \cos \omega t \end{aligned} \quad (5.24)$$

sau

$$\begin{aligned} dX &= \omega R \sin \omega t \cdot dt = -d(R \cos \omega t) \\ dY &= \omega R \cos \omega t \cdot dt = d(R \sin \omega t) \end{aligned} \quad (5.25)$$

Interpolatorul DDA hardware poate fi proiectat pe baza relațiilor 5.24 și 5.25.

Dacă mărimea  $R \sin \omega t$  este destinată registrului V a interpolatorului DDA pe axa X iar  $R \cos \omega t$  celui de pe axa Y, ieșirea din fiecare interpolator este dată de expresiile  $\omega R \sin \omega t dt$  - axa X, respectiv  $\omega R \cos \omega t dt$  axa Y.

Considerând ec.(5.16), ieșirea interpolatorului DDA pentru axa X poate fi utilizată ca intrare în DDA axa Y și invers.

Ca urmare, structura interpolatorului circular DDA, hardware, cuprinde două integratoare legate în cruce.





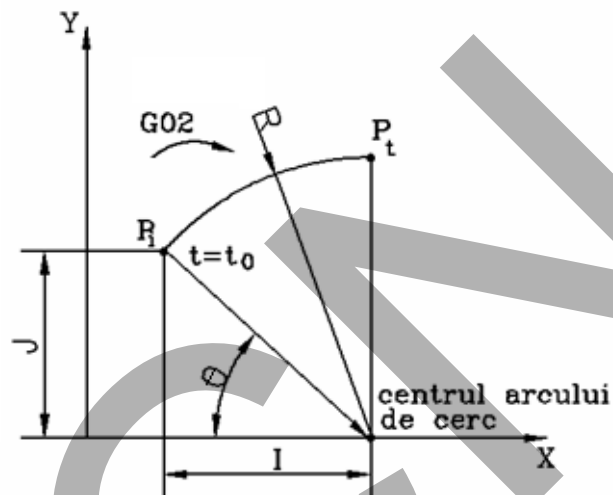
1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare

## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA



**Fig. 5.19.**

Registrele "V" ale fiecărui integrator sunt încărcate cu proiecția distanței dintre punctul de început al interpolării și centrul arcului de cerc ( $i$  pe axa X și  $j$  pe axa Y) (figura 5.19).

$$A^* = R \cdot \cos \omega t_0 \quad B^* = R \cdot \sin \omega t_0 \quad (5.26)$$

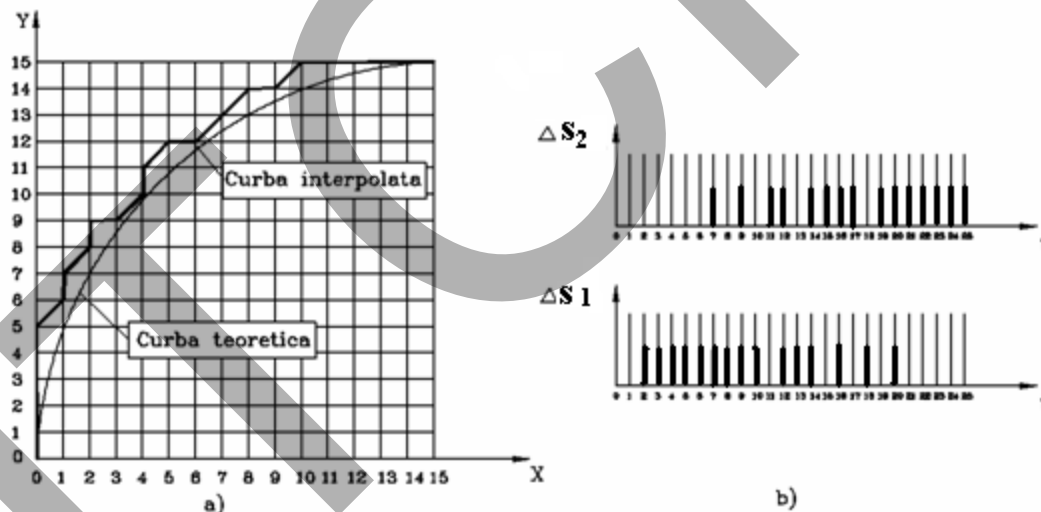
În relațiile (5.26) prin  $t_0$  se consideră timpul în momentul începerii mișcării. Din figura 5.18,b se observă că registrul "V" al integratorului DDA2 al axei X, este inițial alimentat cu valoarea  $B^* = R \times \sin \omega t_0$  în cadrul procesului de interpolare circulară, prin incrementul  $dY = d(R \times \sin \omega t)$ . Conținutul este reactualizat, obținut de la ieșirea integratorului 1, DDA1. Similar, ieșirea integratorului 2, DDA<sub>2</sub>, reactualizează valoarea integratorului DDA<sub>1</sub>.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**

Pentru exemplificarea funcționării interpolatorului circular se consideră interpolarea unui sfert (Tabelul 5.2) de cerc în condițiile:  $A^* = R = 15$  și  $B^* = 0$ ,  $P_0(0,0)$ . Registrele "V" și "Q" sunt de capacitate  $24 = 16$ .

Din tabel 5.2 se observă că integratorul DDA2 conține în registrul "r" al acumulatorului o valoare diferită de zero. Aceasta înseamnă că punctul final nu s-a atins, deci, interpolarea circulară va conduce și la apariția unor erori de macroprofil.

Curba realizată în urma interpolării este indicată în figura 5.20.



**Fig. 5.20.**

Frecvența impulsurilor de comandă, dedusă similar ca și în cazul interpolării liniare este,

$$f_T = \frac{V}{R} \times N \quad (5.27)$$


**Tabelul. 5.2.**

Pas de interpolare	DDA <sub>1</sub> (axa Y)			DDA <sub>2</sub> (axa X)		
	V	Q	$\Delta s_1$	V	r	$\Delta s_2$
0	15	0	-	0	0	-
1	15	15	-	-	-	-
2	15	14	1	1	1	-
3	15	13	1	2	3	-
4	15	12	1	3	6	-
5	15	11	1	4	10	-
6	15	10	1	5	15	-
7	15	9	1	6	5	1
8	14	7	1	7	12	-
9	14	5	1	8	4	1
10	13	2	1	9	13	-
11	13	15	-	9	6	1
12	12	11	1	10	0	1
13	11	6	1	11	11	-
14	11	1	1	12	7	1
15	10	11	-	12	3	1
16	9	4	1	13	0	1
17	8	12	-	13	13	1
18	8	4	1	14	11	-
19	7	11	-	14	9	1
20	6	1	1	15	8	1
21	5	6		15	7	1
22	4	10		15	6	1
23	3	13		15	6	1
24	2	15		15	4	1
25	1	0		15	3	1

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

### 5. Blocul de interpolare

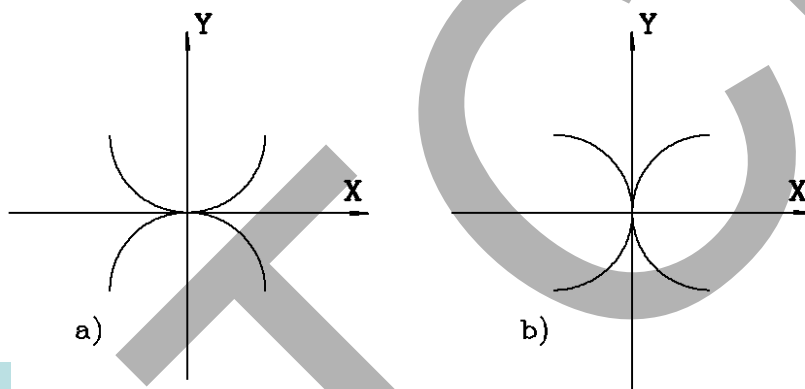
#### 5.1. Curbe de interpolare

#### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

#### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

Sunt necesare două interpolatoare circulare. De ce?

Există opt situații distincte (figura 5.21) considerând sensul de interpolare (G02/G03) și sensul de parcurgere al axelor de coordonate. Pentru a acoperi aceste situații sunt necesare două interpolatoare circulare, unul pentru arcele din figura 5.21 a iar celălalt pentru cele din figura 5.21 b.



**Fig. 5.21**

Selectare: pe baza expresiilor boolene:

$$C_1 = A \times B + \bar{A} \times \bar{B} = \overline{A \oplus B}$$

$$C_2 = A \times \bar{B} + \bar{A} \times B = A \oplus B$$

în care:

- $A=1$  indică sensul orar de interpolare (G02);
- $A=0$  pe cel antiorar (G03);
- $B=1$ , același sens de deplasare pe axe;
- $B=0$  sensuri de deplasare diferite pe axe.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

#### Concluzie:

Interpolatoarele liniare și circulare, bazate pe metoda DDA, prezentate până în prezent, sunt de tipul hardware fiind implementate pe anumite structuri specializate.

La echipamentele CNC moderne s-au impus interpolatoarele DDA de tip software. Principiul de funcționare se bazează pe aceleași relații ca cele de tip hardware.

Una dintre diferențele esențiale ale celor două tipuri de construcție a interpolatoarelor se referă la lungimea regiștrilor "y" și "r". La interpolatoarele de tip hardware lungimea regiștrilor este fixă în timp ce la cele de tip software poate fi modificată.

Ca urmare, în funcție de aplicație, regiștrii "y" și "r" sunt configurabili. Aceasta face posibilă egalitatea  $\Delta x = \Delta X$ , adică la fiecare tact de calcul să se emită un semnal de comandă spre axe.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**

## 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

Caracteristica comună a algoritmilor de interpolare de tipul CDF constă în aceea că la fiecare tact are loc și o deplasare pe una din axele mașinii-unelte. În cazuri speciale deplasarea se face pe ambele axe.

La baza tuturor algoritmilor de interpolare de tip CDF stă constatarea că pentru orice punct ce nu aparține curbei plane  $F(x,y)$  se poate pune în evidență o eroare  $\Delta F$ .

Semnul erorii determină direcția de deplasare pentru pasul următor.

Formulele generale de calcul a erorii față de un punct curent  $P(x_i, y_i)$  sunt:

- pentru un pas unitar pe axa X,

$$F(x_i + \Delta x, y_i) - F(x_i, y_i) = \Delta F(x) \quad (5.28)$$

- pentru un pas unitar pe axa Y,

$$F(x_i, y_i + \Delta y) - F(x_i, y_i) = \Delta F(y)$$

- pentru pași unitari pe ambele axe,

$$F(x_i + \Delta x, y_i + \Delta y) - F(x_i, y_i) = \Delta F(x, y)$$

Relațiile (5.21), particularizate pentru deplasări unitare  $\Delta x = \Delta y = 1$ , conduc în cazul interpolării drepte, la relațiile:

$$\begin{aligned} F(x_i + 1, y_i) - F(x_i, y_i) &= a \\ F(x_i, y_i + 1) - F(x_i, y_i) &= b \end{aligned} \quad (5.29)$$


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**

Numărul pașilor de interpolare se determină cu relația,

$$n = \frac{(x_F - x_0) + (y_F - y_0)}{\Delta} = n_x + n_y \quad (5.30)$$

În cazul ecuației unui cerc descris prin relația,

$$F(x, y) = x^2 + y^2 - r^2 = 0$$

erorile, pentru  $\Delta x = \Delta y = 1$  sunt,

$$F(x) = F(x_i + \Delta x, y_i) - F(x_i, y_i) = 2x_i + 1 \quad (5.31)$$

$$F(y) = F(x_i, y_i + \Delta y) - F(x_i, y_i) = 2y_i + 1$$

Pentru algoritmi bazati pe calculul unui discriminant, direcția pasului unitar este impusă de semnul discriminantului [19, 60].

În cazul unei drepte discriminantul este definit de,

$$D_L = X_F Y_i - X_i Y_F \quad (5.32)$$

în care  $X_F$  și  $Y_F$  sunt coordonatele punctului curent de pe curba de aproximare. În funcție de semnul discriminatorului  $D_L$  la momentul  $t_i$  se alege direcția de deplasare pentru momentul  $t_{i+1}$ .

Dacă  $D_{L(i)} < 0$  va urma o deplasare unitară (BLU) pe axa Y iar dacă  $D_{L(i)} > 0$  pe axa X.

Pentru exemplificare se consideră dreapta  $3x - 2y = 0$  și două puncte ale acesteia  $P_0(0,0)$  și  $P_F(4,6)$  care delimitează segmentul  $P_0P_F$  ce urmează a fi interpolat. În tabelul 5.3 se indică modul de evoluție a calculului pentru fiecare tact.



Tabel 5.3

Tact „i” de calcul	$D_L: 4y_i - 6x_i$	Tact de execuție i-1		Valoarea cotei curente	
		Axa X	Axa Y	$x_i$	$y_i$
1	0	1	0	0	0
2	-6	0	1	1	0
3	-2	0	1	1	1
4	2	0	1	1	2
5	-4	0	1	2	2
6	0	1	0	2	3
7	-6	0	1	3	3
8	-2	0	1	3	4
9	2	1	0	3	5
10	-4	0	1	4	5
11	0	STOP		4	6

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF




**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**

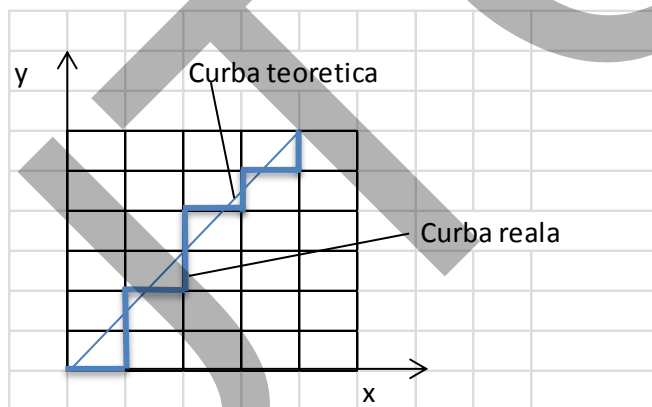
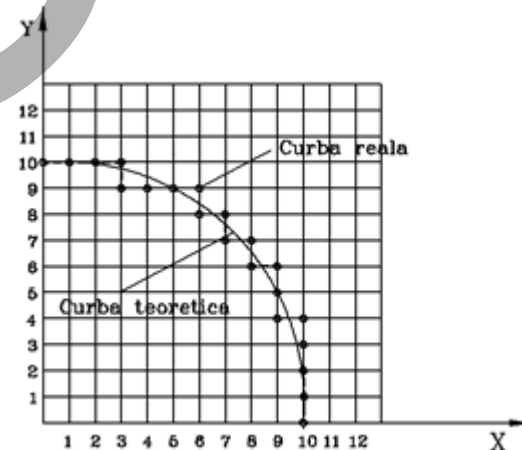
Ciclul de interpolare se termină în momentul în care  $DL=0$  și coordonatele  $x_i, y_i$  ajung la valoarea  $x_i = xF$  și  $y_i = yF$ . Din tabel se observă că segmentul este realizat în 10 tați, ultimul fiind nerealizat. Numărul pașilor de interpolare din tabel este,

$$n = \frac{(4-0) + (6-0)}{1} = 10 \quad (5.33)$$

În figura 5.22 se indică grafic modul de execuție a deplasărilor după axele X și Y pentru interpolarea segmentului P0PF.

În cazul unui arc de cerc de ecuație  $x^2 + y^2 - R^2 = 0$  discriminantul este indicat prin relația  $D_c = (x_i^2 + y_i^2) - (x_0^2 + y_0^2)$  (5.34)

în care  $x_i$  și  $y_i$  sunt coordonatele unui punct curent de pe traiectoria aproximată iar  $x_0$  și  $y_0$  coordonatele punctului inițial  $P_0$ .


**Fig. 5.22**

**Fig. 5.23**



Pentru exemplificarea metodei se consideră ecuația cercului  $x^2 + y^2 - 10^2 = 0$  și arcul de cerc mărginit de punctele  $P_0(0,0)$  și  $P_F(0,10)$ . În tabelul 5.4 sunt indicați pașii de calcul și interpolare pentru exemplul anterior iar în figura 5.23 se arată imaginea acestor pași.

**Tabelul 5.4**

Tact „i” de calcul	$D_c: x_i^2 + y_i^2 - 10^2$	Tact de execuție i-1		Valoare cotă	
		Axa X	Axa Y	$x_i$	$y_i$
1	0	1	0	10	0
2	-19	0	1	9	0
3	-18	0	1	9	1
4	-15	0	1	9	2
5	-10	0	1	9	3
6	-3	0	1	9	4
7	6	1	0	9	5
8	-11	0	1	8	5
9	0	1	0	8	6
10	-15	0	1	7	6
11	-2	0	1	7	7
12	13	1	0	7	8
13	0	0	1	6	8
14	17	1	0	6	9
15	6	1	0	5	9
16	-3	0	1	4	9
17	16	1	0	4	10
18	9	1	0	3	10
19	4	1	0	2	10
20	1	1	0	1	10
21	0	STOP		0	10

**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

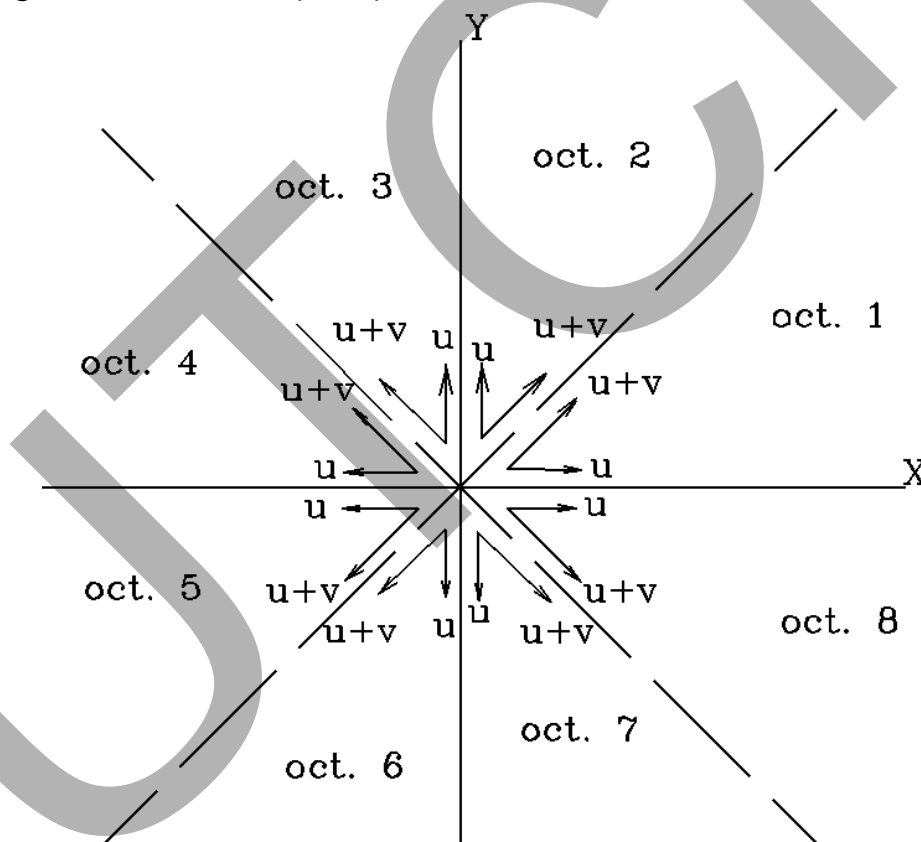
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**

**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**

**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**

Algoritmi bazați pe metoda octanților se bazează pe împărțirea planului XOY (G17), în 8 regiuni distincte, numite octanți, prin introducerea a două axe suplimentare:  $u$ ,  $u+v$ . Funcția  $F(x,y)$  se calculează în fiecare octant prin intermediul variabilelor  $u$ ,  $v$ :  $F(u,v)$ .

În acest fel se asigură creșterea preciziei de interpolare. Logica de schimbare a pașilor se bazează pe considerentul că fiecare punct inițial se presupune a fi în originea sistemului (G92).



**Fig. 5.24**



## Interpolarea liniară

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

### 4. Blocul de Masurare

### 5. Blocul de interpolare

#### 5.1. Curbe de interpolare

#### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

#### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

#### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

Relația de calcul, în cazul interpolării liniare, este

$$F(u, v) = u_f v - v_f u \quad (5.35)$$

În care  $u_f, v_f$  reprezintă coordonatele finale ale punctului considerând schimbarea de variabilă  $u, v$ .

### Strategia de efectuare a pașilor

- Un pas în direcția  $u(u=1)$ :

$$\Delta F(u+1, v) = F(u+1, v) - F(u, v) = u_f v - v_f(u+1) - u_f v + v_f u = -v_f \quad (5.36)$$

- Un pas în direcția  $u+v$

$$\Delta F(u+1, v+1) = u_f - v_f \quad (5.37)$$

Considerând indicele pasului de interpolare

$$F(i+1) = F(i) + \Delta F \quad (5.38)$$

Dacă

$F(u, v) \geq 0$  – se execută un pas după "u"

$F(u, v) < 0$  – se execută un pas după "u+v"

### Exemplu

Se consideră  $x=4, y=6$  ( același exemplu ca în cazul interpolării liniare DDA). Rezultă octantul 2 în care axa Y devine u. Ca urmare  $u_f=6, v_f=4$   
 $F(u, v) = 6v - 4u$



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin  
metoda CDF

Tabel de calcul al pașilor de interpolare

Tabelul 5.5.

Pas de calcul	F(i+1) F(i)=6v-4u	Pas unitar		Cota curentă	
		u	v	$x_i$	$y_j$
0	0	1	0	0	0
1	0-4=-4	1	1	0	1
2	-4+2=-2	1	1	1	2
3	-2+2=0	1	0	2	3
4	0-4=-4	1	1	2	4
5	-4+2=-2	1	1	3	5
6	-2+2=0	STOP		4	6

Reprezentarea grafică

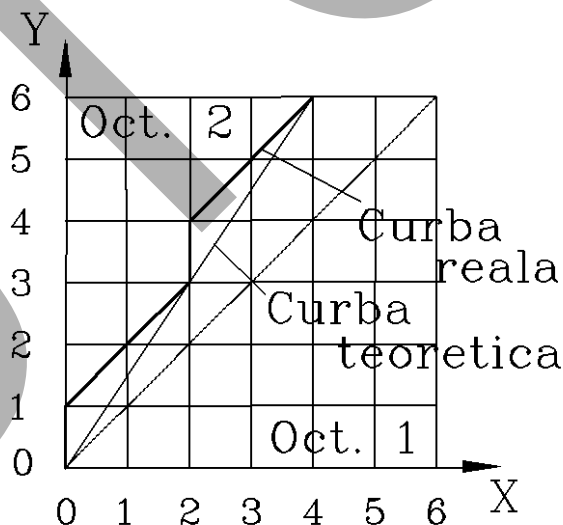


Fig. 5.25



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

#### Observație

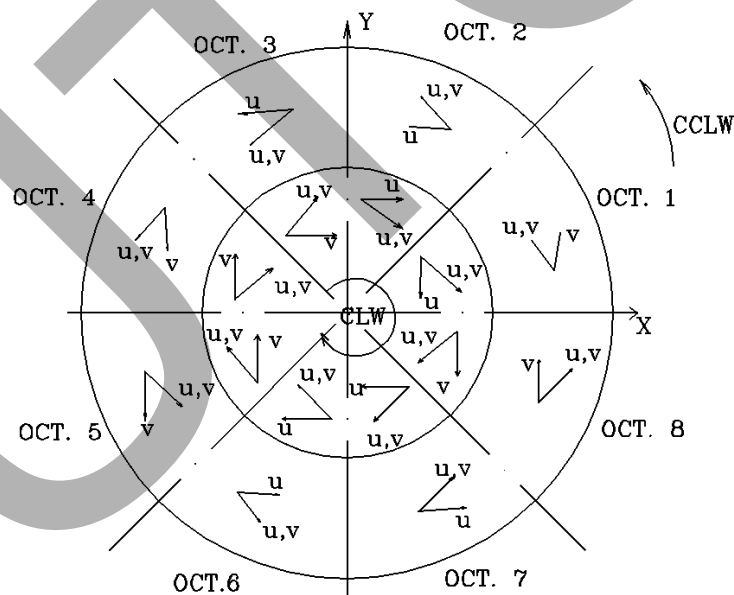
Curba rezultată, din punctual de vedere al forme, este superioară celei rezultate utilizând interpolarea DDA.

Interpolarea circulară

Existența interpolării circulare în sens orar și trigonometric complică substanțial calculul:

**Tabelul 5.6**

Sus	Transformare coordonate	Octant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Orar (0)	$V(u)$	$-y$	$x$	$x$	$y$	$y$	$-x$	$-x$	$-y$
CLW	$U+v$	$x-y$	$x-y$	$X+y$	$X+y$	$-x+y$	$-x+y$	$-x-y$	$-x-y$
Antiorar (1)	$V(u)$	$Y$	$-x$	$-x$	$-y$	$-y$	$X$	$X$	$Y$
CCLW	$U+v$	$-x+y$	$-x+y$	$-x-y$	$-x-y$	$x-y$	$x-y$	$X+y$	$X+y$



**Fig. 5.26**

NOTA: Axele  $u$  ( $v$ ) respectiv " $u,v$ " sunt perpendiculare pe axele  $x(y)$  și pe liniile ce despart octanții.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare

## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

#### Calculul erorii

Pentru un punct de pe cerc  $F(x,y)=x^2+y^2-R^2=0$  sau  $F(u,v)=0$  pentru un punct din exteriorul/interiorul cercului  $C(u,v)<(>)0$ , implicând faptul că originea sistemului de coordonate este în centrul cercului.

Deplasări unitare după direcțiile  $u, v$

#### OCT. 1 sens CCLW

$$\Delta F(u,v+1)=F(u,v+1)-F(u,v)=2v+1$$

$$\Delta F(u-1,v+1)=F(u-1,v+1)-F(u,v)=2u+2v+2$$

#### OCT.1 sens CLW

$$\Delta F(u,v-1)=F(u,v-1)-F(u,v)=-2v+1$$

$$\Delta F(u+1,v-1)=F(u+1,v-1)-F(u,v)=2u-2v+2$$

Tabel centralizat cu valoarea erorilor ( $\Delta c$ )

Tabel 5.7

Octant	Pas	$\Delta c$	Pas	$\Delta c$
10	u,v	$2u-2v+2$	v	$-2v+1$
11	v	$2v+1$	u,v	$-2u+2v+2$
20	u	$2u+1$	u,v	$2u-2v+2$
21	u,v	$-2u+2v+2$	u	$-2u+1$
30	u,v	$2u+2v+2$	u	$2u+1$
31	u	$-2u+1$	u,v	$-2u-2v+2$
40	v	$2v+1$	u,v	$2u+2v+2$
41	u,v	$-2u-2v+2$	v	$-2v+1$
50	u,v	$-2u+2v+2$	v	$2v+1$
51	v	$-2v+1$	u,v	$2u-2v+2$
60	u	$-2u+1$	u,v	$-2u+2v+2$
61	u,v	$2u-2v+2$	u	$2u+1$
70	u,v	$-2u-2v+2$	u	$-2u+1$
71	u	$2u+1$	u,v	$2u+2v+2$
80	v	$-2v+1$	u,v	$-2u-2v+2$
81	u,v	$2u+2v+2$	v	$2v+1$

În coloana OCT din tabel, prima cifră indică octantul, iar a doua sensul de interpolare: 0 – sens orar (CLW), iar 1- sens antiorar (CCLW).

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF





## Exemplu

Se consideră un cerc având punctul inițial de coordonate  $P_0(10,0)$  și cel final de coordonate  $P_f(0,10)$ . Raza cercului este 10, iar sensul de parcurgere CCLW.

Tabel de calcul al pașilor de interpolare

**Tabel 5.8**

	C(i)	Pași unitari		Cota curentă	
		u	v	$x_i$	$y_i$
1	0	0		10	0
2	1	1	1	10	1
3	$1-20+2+2=-15$	0	1	9	2
4	$-15+4+1=-10$	0	1	9	3
5	$-10+6+1=-3$	0	1	9	4
6	$-3+8+1=6$	1	1	9	5
7	$6-18+10+2=0$	1	1	8	6
8	$0-16+12+2=-2$	1	1	7	7
9	$-2-14+14+2=0$	1	1	6	8
10	$0-12+16+2=6$	1	0	5	9
11	$6-10+1=-3$	1	1	4	9
12	$-3-8+18+2=9$	1	0	3	10
13	$9-6+1=4$	1	0	2	10
14	$-4-4+1=1$	1	0	1	10
15	$1-2+1=0$	STOP		0	10

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin  
metoda CDF

Reprezentarea grafică

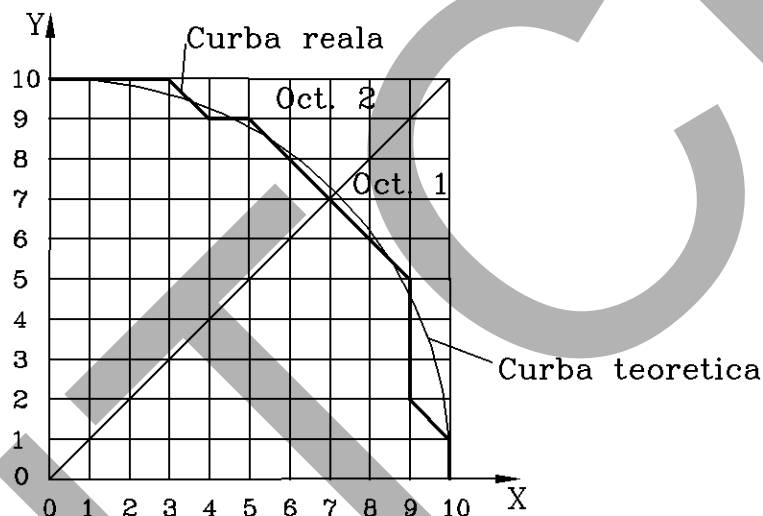


Fig. 5.27

La trecerea dintr-un octant în următorul relațiile de calcul ale erorii se modifică conform tabelului 5.7.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

**5. Blocul de interpolare**

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin  
metoda CDF

**5.5. Interpolarea  
software**

## 5.5. Interpolatoare software

Diferența esențială față de interpolarea hardware:

- interpolarea este realizată de un program de computer în loc de o logică aritmetică de tip hardware.

Tipuri de interpolare soft:

1. metoda impulsurilor de referință:

- interpolare DDA software
- aproximare de tip treaptă
- căutare directă

2. metoda cuvintelor de referință (eșantionare)

- interpolare Euler
- interpolare Euler îmbunătățită
- interpolare Tustin
- interpolare Tustin îmbunătățită

Metoda impulsurilor de referință are la bază generarea unor impulsuri de către calculator, ca un semnal extern de întrerupere, ce sunt transmise direct mașinii. Un impuls produce o deplasare de 1 BLU.



# 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

Un sistem CNC bazat pe metoda impulsurilor (fig.5.28) include un numărător UP-DOWN cu rolul de a:

- compara impulsurile de referință de la interpolator cu cele de pe calea de feedback;
- calculează eroarea de poziție din comparație
- transmite un semnal, funcție de eroare, către servosistemul de acționare

Semnalul de întreruperi determină, prin frecvență sa, viteză de avans pe axe.

În metoda cerințelor de referință (fig.5.29) interpolarea se realizează în două etape.

În prima etapă conturul piesei este împărțit în segmente de dreaptă interpolare grosieră, în cadrul unei toleranțe impuse, iar în etapa a 2-a aceste segmente sunt interpolate, rezultatul fiind transmis servoacționării.

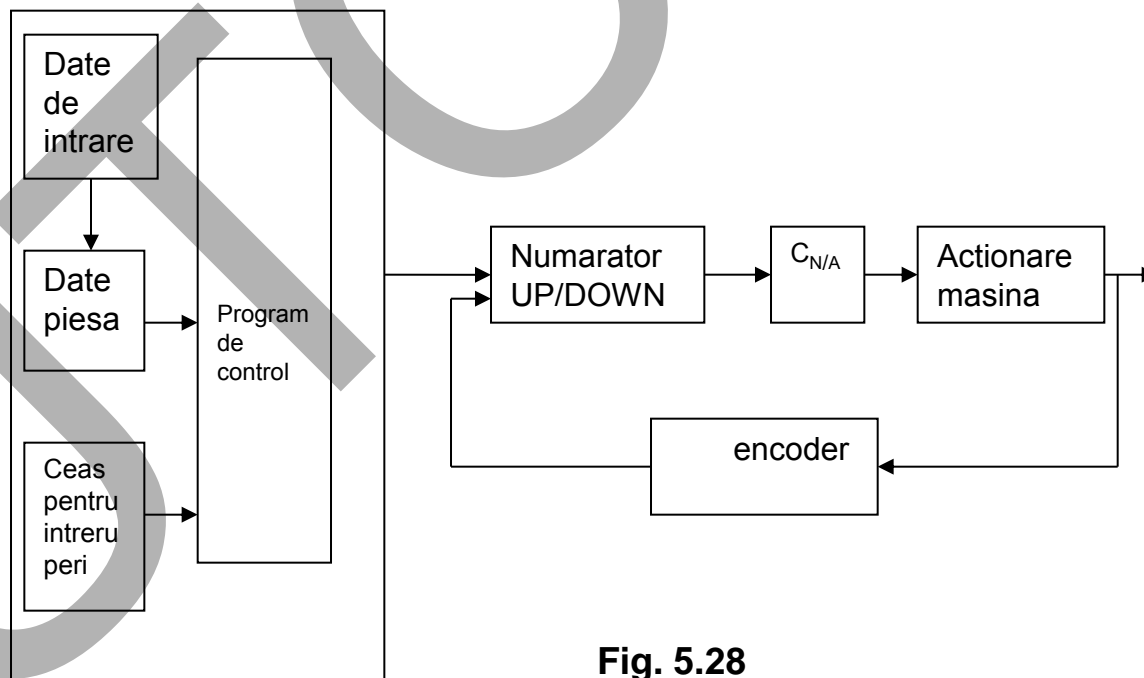
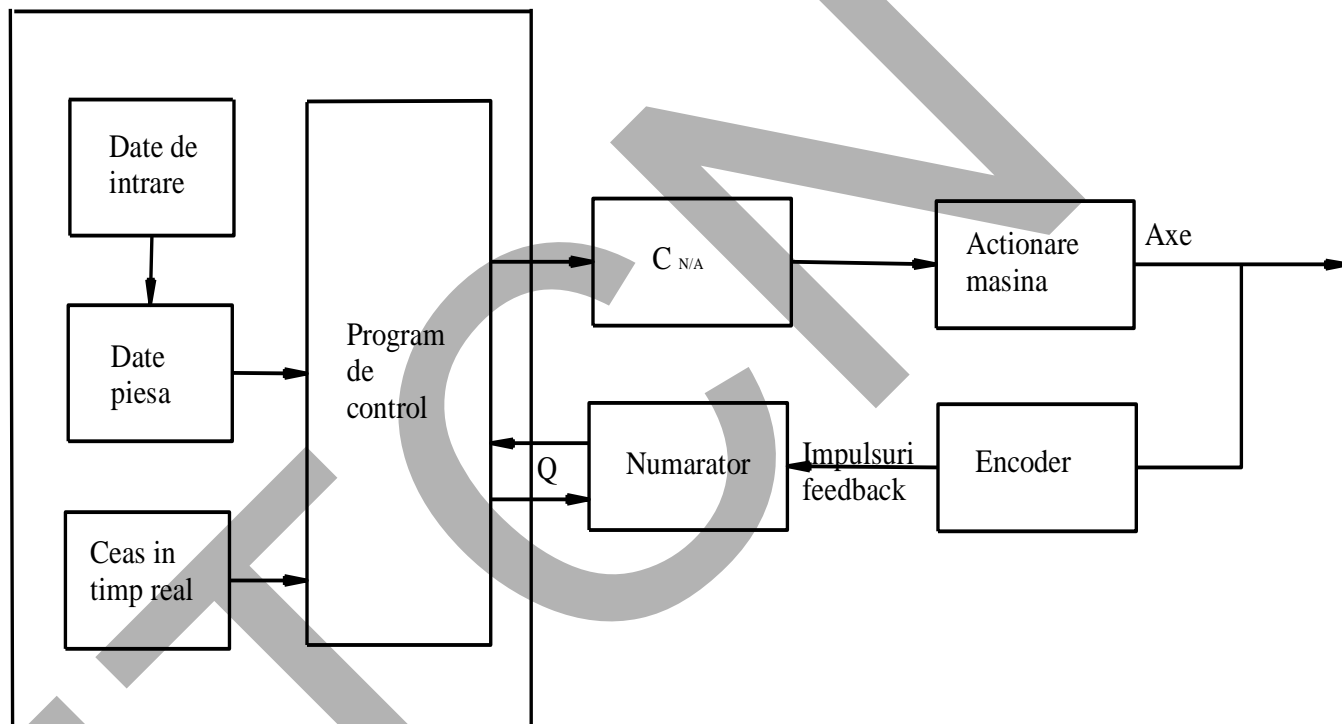


Fig. 5.28



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
- 5.1. Curbe de interpolare
- 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
- 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
- 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
- 5.5. Interpolarea software


**Fig. 5.29**

Interpolarea software este legată de apariția echipamentelor de tip CNC.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software

Sinteză privind cele două metode de interpolare software.

**Tab. 5.8**

	Metoda impulsurilor de referință	Metoda cuvintelor de referință
Descriere	Distanța de interpolat este calculată cu impulsuri de referință externe, impulsurile calculate sunt transmise acționării de pe fiecare axă	Coordonatele punctului ce trebuie atins în intervalul de eșantionare sunt calculate și transmise acționării de pe fiecare axă
Puncte tari	Adecvată pentru realizarea unei precizii ridicate în prelucrare	Adecvată pentru prelucrări cu viteze mari (high speed machining)
Puncte slabe	Inadecvată pentru prelucrări cu viteze mari	Inadecvată pentru prelucrări foarte precise
Observații	Deoarece viteza de avans pe fiecare axă depinde de semnalul extern de întrerupere este necesar ca CPU să fie foarte performantă.	



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea software

**Interpolarea DDA software** are la bază procedura implementată prin metoda DDA hardware. În varianta hardware frecvența semnalului de întrerupere este de ordinul sutelor de KHz. Pentru exemplificare se consideră: cursa de 600 mm,  $v=2\text{m/min}$  și  $BLU=0,01\text{ mm}$ .

Registrele  $v$  și  $q$  (figura 5.13) din structura integratorului trebuie să fie de capacitate  $q=2^{16}=65536$  ( $n=16$ ), adică o valoare mai mare decât deplasarea maximă 60 mm.

Registrul pentru memorarea avansului  $m=2^{11}=2048$  (avansul fiind 2000 mm/min).

Cu aceste valori se poate calcula valoarea frecvenței semnalelor de întrerupere:

$$f = \frac{2^{n+m}}{600} = 223.696\text{ s}^{-1} \cong 223\text{KHz}$$

Deoarece timpul pe ciclu la un  $\mu\text{P}$  este de ordinul  $1\mu\text{s}$ , valorile indicate anterior pentru frecvență nu pot fi atinse.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

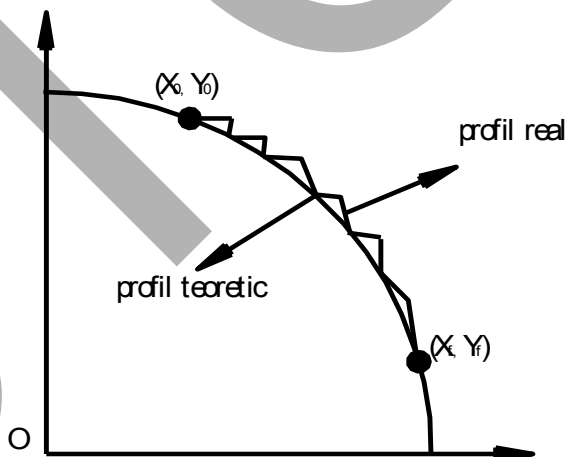
##### 5.5. Interpolarea software

Figura 5.30,a reprezintă schema bloc pentru interpolarea liniară, metoda DDA software, iar fig.5.30, b pentru interpolarea circulară. Variabila L reprezintă deplasarea liniară iar variabilele A și B deplasarea pe axele X și Y. Variabilele de iterație Q1 și Q2 au valoarea inițial 0. În fig.5.30,b valoarea inițială a variabilelor Q1 și Q2 este tot 0. Variabila R este raza cercului iar P1 și P2 reprezintă proiecția pe axele X și Y a distanței de la punctul de început al interpolării la centrul cercului. Exemplu interpolare DDA software (lungimea exprimată în BLU):

G01 X0. Y10. F10

G02 G90 X10. Y0. I0 J-10. F10

Curba realizată este indicată în fig.5.31



**Fig. 5.30**





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin  
metoda CDF

5.5. Interpolarea  
software

### Metoda de interpolare de tip treaptă.

Metoda are la bază interpolarea CDF. Algoritmul determină direcția de deplasare unitară (BLU) pe una sau altă din axe. Principiul este ilustrat prin figura 5.30

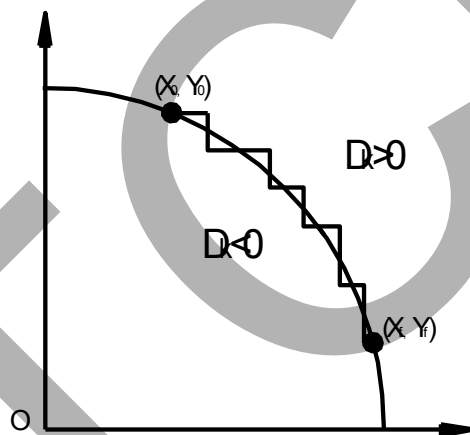


Fig. 5.30

Direcția de deplasare:

$D_k > 0$  deplasare după axa Y negativă (punctul  $X_k, Y_k$  în exteriorul cercului)

$D_k < 0$  deplasare după axa X pozitivă (punctul  $X_k, Y_k$  în interiorul cercului)



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

Relațiile de calcul pentru interpolarea liniară și circulară sunt prezentate detaliat în capitolul 5.3.

Direcția de deplasare, în cazul interpolării circulare, este determinată de semnul discriminantului :

$$D_K = X_K^2 + Y_K^2 - R^2$$

Și de poziția punctului în cadranul "3i+4" și de sensul de interpolare conform tabelului:

nr	Cadran	Directia	D<0	D>0
1	1	CW	+X	-Y
2	1	CCW	+Y	-X
3	2	CW	+Y	+X
4	2	CCW	-X	-Y
5	3	CW	-X	+Y
6	3	CCW	-Y	+X
7	4	CW	-Y	-X
8	5	CCW	+X	+Y

Tabel 5.9



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

Numărul mare de iterații, în cazul interpolării circulare este  $2R$  pentru un cerc cu rază  $R$

$$N = |X_0 - X_f| + |Y_0 - Y_f| \quad X_0 Y_0 \quad \text{Punct inițial}$$

Algoritmul îmbunătățit (un indice în plus)

$$D_{i,j} = x_i^2 + y_j^2 - R$$

un pas pe axa X

$$D_{i+1,j} = (x_i + 1)^2 + y_j^2 - R^2 = D_{i,j} + 2x_i + 1 = D_{i,j} + \Delta x_i$$

$$\Delta x_{i+1} = \Delta x_i + 2$$

Organigrama algoritmului de interpolare cu aproximare de tip treaptă este prezentată în figura 5.31.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea software

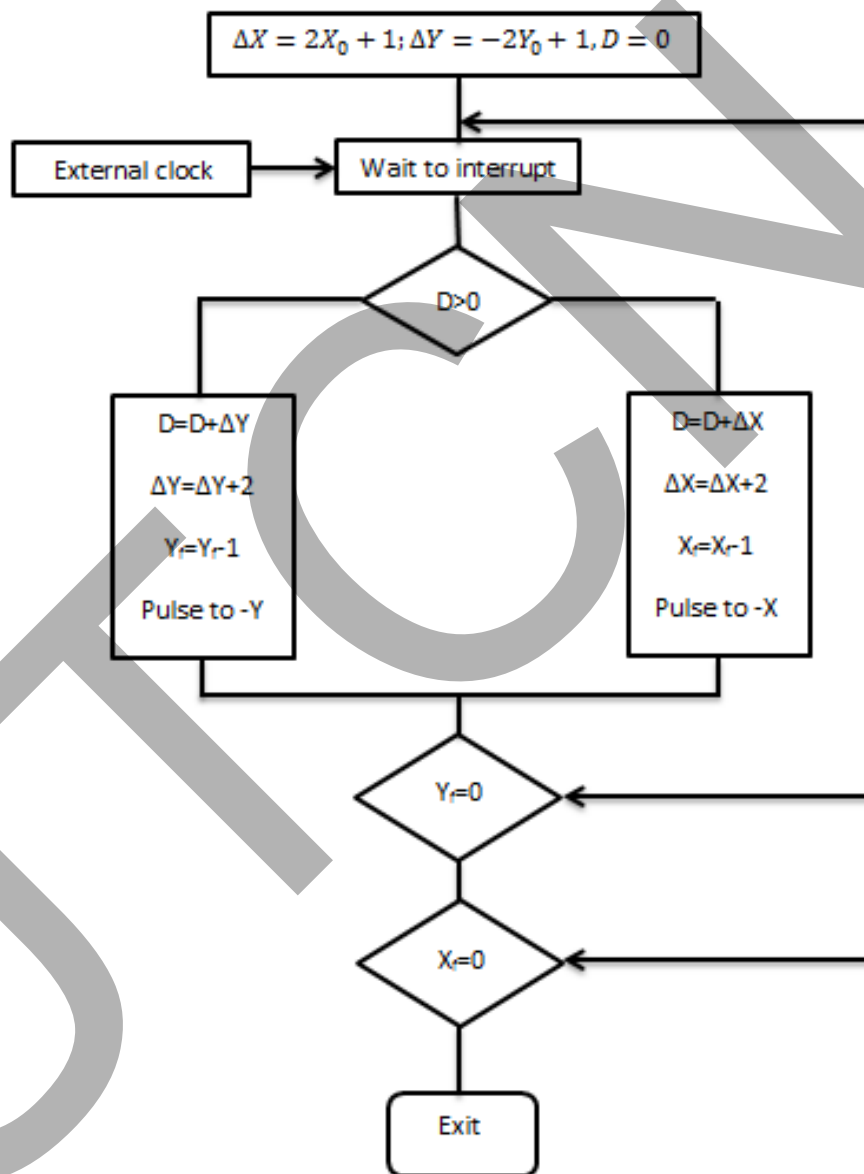


Fig. 5.31



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software

Pentru liniile de program

G01 X0 Y10.0 F10;

G02 G90 X10.0 Y0 I0 J10 F10 (unit BLU)

Rezultatul aproximării este indicat în tabelul 5.10 iar traiectoria în fig.5.32.

**Tabelul 5.10**

pas	D	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Y_f$	$\Delta Y_f$	X	Y
0	0	1	-19	10	10	0	10
1	1	3	-19	9	10	1	10
2	-18	3	-17	9	9	1	9
3	-15	5	-17	8	9	2	9
4	-10	7	-17	7	9	3	9
5	-3	9	-17	6	9	4	9
6	6	1	-17	5	9	5	9
7	-11	11	-15	5	8	5	8
8	0	13	-15	4	8	6	8
9	13	15	-15	3	8	7	8
10	-2	15	-13	3	7	7	7
11	13	17	-13	2	7	8	7
12	0	17	-11	2	6	8	6
13	17	19	-11	1	6	9	6
14	6	19	-9	1	5	9	5
15	-3	19	-7	1	4	9	4
16	16	21	-7	0	4	10	4
17	9	21	-5	0	3	10	3
18	4	21	-3	0	2	10	2
19	1	21	-1	0	1	10	1
20	0	21	1	0	0	10	0



**Fig. 5.32**



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

## 3. Interfata OM - MASINA

## 4. Blocul de Masurare

## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

### 5.5. Interpolarea software

## Algoritmul de căutare directă

Reduce numărul pașilor de interpolare și a erorilor.

Realizează interpolarea optimă deoarece algoritmul verifică toate direcțiile posibile (inclusiv deplasări simultane pe axe) și găsește direcția cu eroare minimă de pas.

Variabila  $D_{i,j}$  este proporțională cu eroarea radială  $E_{i,j}$ .

$$D_{i,j} \cong (2R)E_{i,j} \quad (5.39)$$

Algoritmul verifică toate punctele posibile în care scula poate fi deplasată din poziția curentă și găsește punctul ce are eroarea minimă.

Punctele posibile sunt determinate din informațiile programate în blocul de interpolări.

### Exemplu :

Interpolarea circulară CLW în primul cadran. Se consideră trei cazuri:

Deplasare în sens pozitiv pe axa X cu 1 BLU

Deplasarea în sens pozitiv negativ pe axa Y cu 1 BLU

Deplasarea cu 1 BLU , simultan pe X + și Y a€

Variabila  $D_{i,j}$  este evaluată pentru fiecare caz, cazul cu valoare absolută cea mai mică este selectată.

Pentru exemplul prezentat organigrama algoritmului este indicată în figura 5.33



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea software

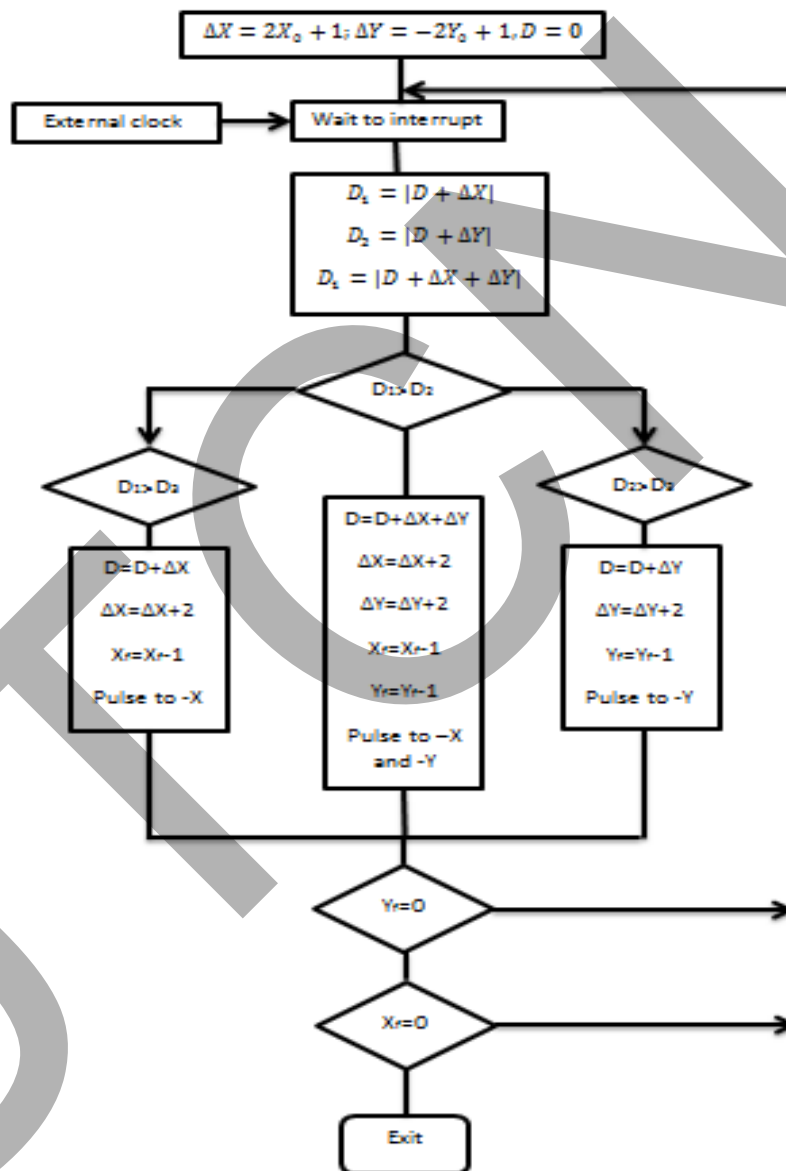


Fig. 5.33



# Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație

Eroarea rezultată :maxim  $\frac{1}{2}$  BLU , numărul iterațiilor de calcul:  $N = \sqrt{2}R$

Pentru exemplul anterior, aproximare utilizând algoritmul de căutare directă este prezentată în tabelul 5.11

Tab. 5.11

Pas	D	D1	D2	D3	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta Xf$	$\Delta Yf$	X	Y
0	0				1	-19	10	10	0	10
1	1	1	-19	-18	3	-19	9	10	1	10
2	4	4	-18	-15	5	-19	8	10	2	10
3	9	9	-15	-10	7	-19	7	10	3	10
4	3	16	-10	-3	9	-17	6	9	4	9
5	6	6	-20	-11	11	-17	5	9	5	9
6	0	17	-11	0	13	-15	4	8	6	8
7	-2	13	-15	-2	15	-13	3	7	7	7
8	0	13	-15	0	17	-11	2	6	8	6
9	6	17	-11	6	19	-9	1	5	9	5
10	-3	25	-3	16	19	-7	1	4	9	4
11	9	16	-10	9	21	-5	0	3	10	3
12	4	30	4	25	21	-3	0	2	10	2
13	1	25	1	22	21	-1	0	1	10	1
14	0	22	0	21	21	1	0	0	10	0

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1.Curbe de interpolare

5.2.Principiul interpolarii DDA / CDF

5.3.Interpolarea liniara / circulara prin DDA

5.4.Interpolarea prin metoda CDF

5.5.Interpolarea software





Comparația între algoritmi de tip impulsuri de referință este indicată în tabelul 5.12

**Tab. 5.12**

Metoda	$R_{\max} + 1$	$E_{\max}$	N	V	$V_{\max}$	$V_{\min}$
DDA	$2^{n-2}$	1	$(\Pi/2)/R$	F	F	F
Treapta	$2^{n-2}$	1	2R	$(\Pi/4)F$	F	$(1/\sqrt{2})F$
Contrare directa	$2^{n-2}$	1/2	$\sqrt{2}R$	$(\Pi/2\sqrt{2})F$	$\sqrt{2}F$	F

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea software

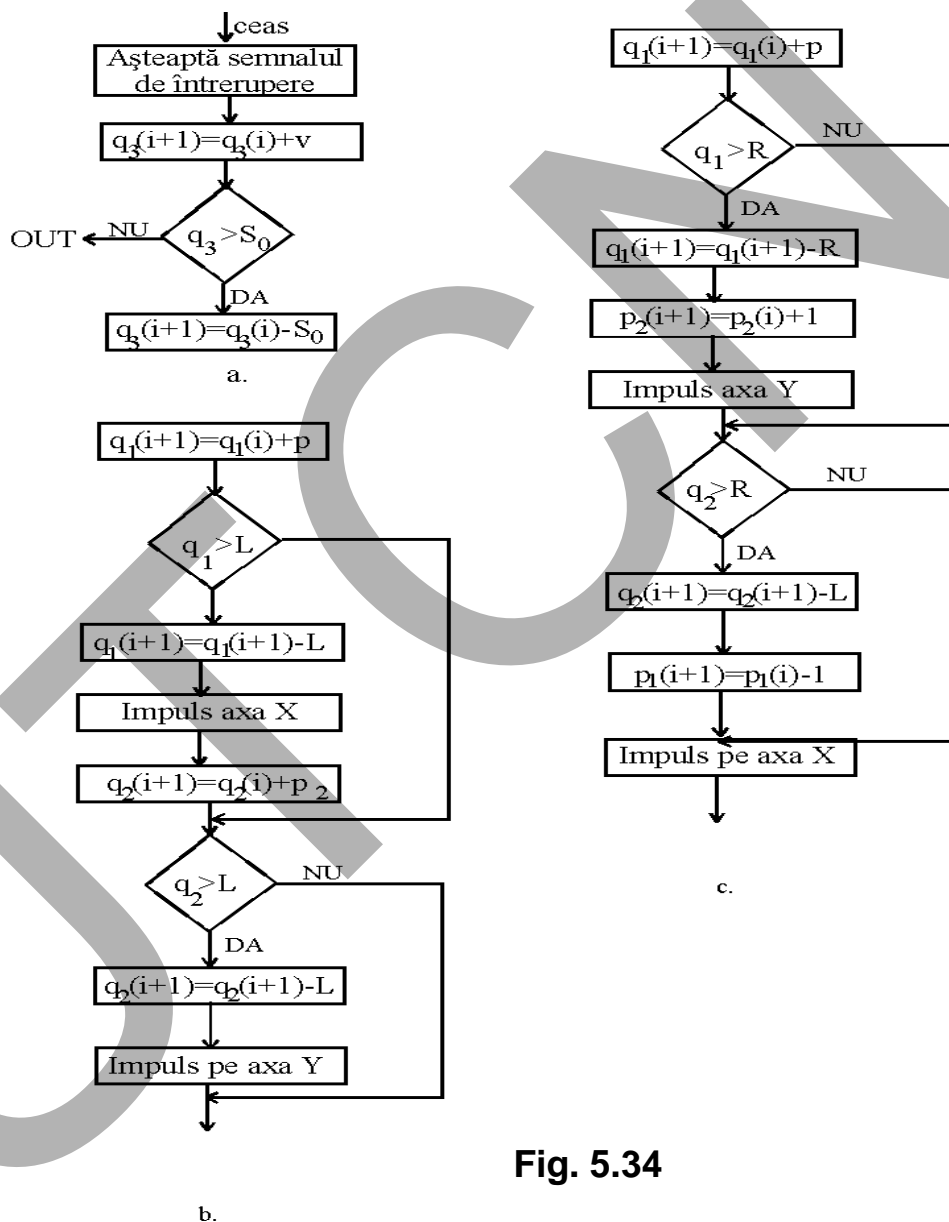


Fig. 5.34


**Interpolatoare pentru echipamente CNC cu eșantionare.**

Nu prezintă limitări privind viteza de avans. Rutinele scrise în limbaj de asamblare, pentru interpolarea liniară nu prezintă nici un fel de dificultate. Această constatare nu este valabilă pentru interpolarea circulară din cauza necesității de a rezolva ecuații de gradul doi on-line.

Interpolarea liniară

Conceptul interpolării liniare este indicat în fig. 5.35

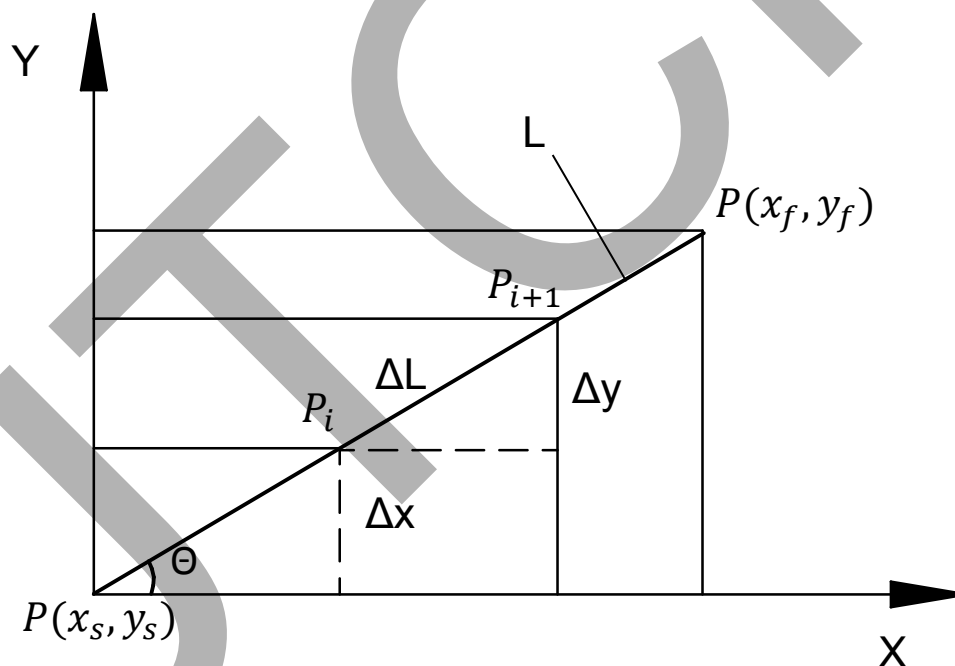


Fig. 5.35

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea software

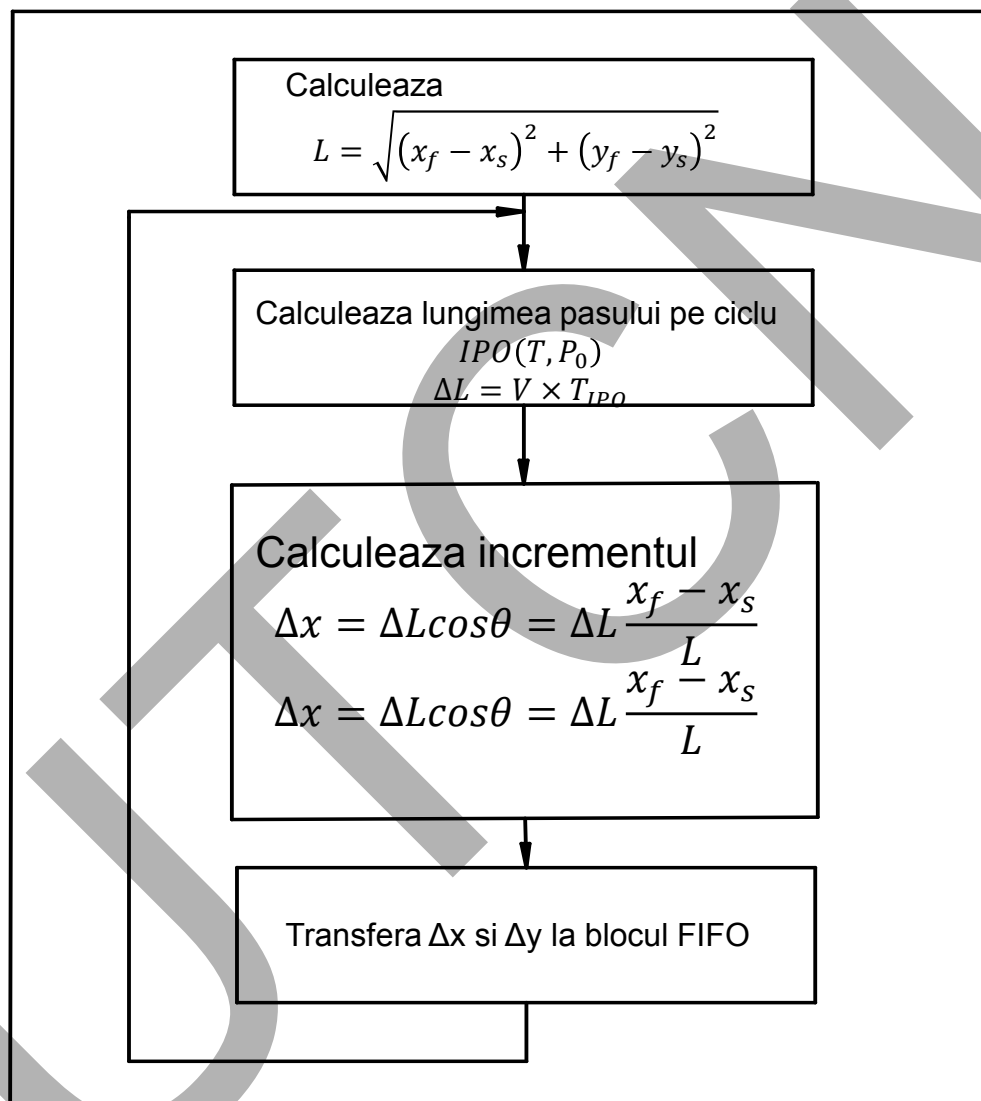


Fig. 5.36



## 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

## 3. Interfata OM - MASINA

## 4. Blocul de Masurare

## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

### 5.5. Interpolarea software

Ideea fundamentală a algoritmului este segmentarea dreptei prin timpul de interpolare TIPO (IT). La fiecare tact, se calculează punctul interpolat după relațiile:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x \quad y_{i+1} = y_i + \Delta y \quad (5.40)$$

$$\Delta x = \Delta L \cos \theta = \Delta L \frac{x_f - x_s}{L} \quad (5.41)$$

$$\Delta y = \Delta L \sin \theta = \Delta L \frac{y_f - y_s}{L} \quad (5.42)$$

$$\Delta L = v \Delta T \quad (5.43)$$

$$L = \sqrt{(x_f - x_s)^2 + (y_f - y_s)^2} \quad (5.44)$$

$$V = V_0 + V_D \quad (5.45)$$

În care  $V_D$  valoarea vitezei de avans programată.

Numărul total de iterații pentru interpolarea dreptei este dat de relația:

$$N = \text{int} \left( \frac{L}{\Delta L} \right) \quad (5.46)$$

Ce se întâmplă dacă raportul  $\frac{L}{\Delta L}$  nu este un număr întreg?



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**5.1. Curbe de interpolare**

**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**

**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**

**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**

**5.5. Interpolarea software**

## Interpolarea circulară

Se apelează la aproximări prin segmente de dreaptă. Pentru fiecare segment se emite un cuvânt binar, proporțional cu viteza de avans. Sunt valabile pentru vitezele de pe axe relațiile:

$$v_x(t) = v \sin \theta(t) \quad (5.47)$$

$$v_y(t) = v \cos \theta(t)$$

În care:

$$\theta(t) = \frac{V_t}{R}$$

Componentele  $v_x$  și  $v_y$  calculate de interpolator sunt furnizate buclei de comandă ca semnale de intrare. Fiecare iterație se realizează pentru un unghi  $\alpha$  (figura 5.33).

Toți algoritmi pentru interpolarea circulară au la bază ecuațiile :

$$\cos \theta(i+1) = A \cos \theta(i) - B \sin \theta(i) \quad (5.48)$$

$$\sin \theta(i+1) = A \sin \theta(i) + B \cos \theta(i)$$

În care  $A = \cos \alpha$ ;  $B = \sin \alpha$  și  $\theta(i+1) = \theta(i) + \alpha$



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

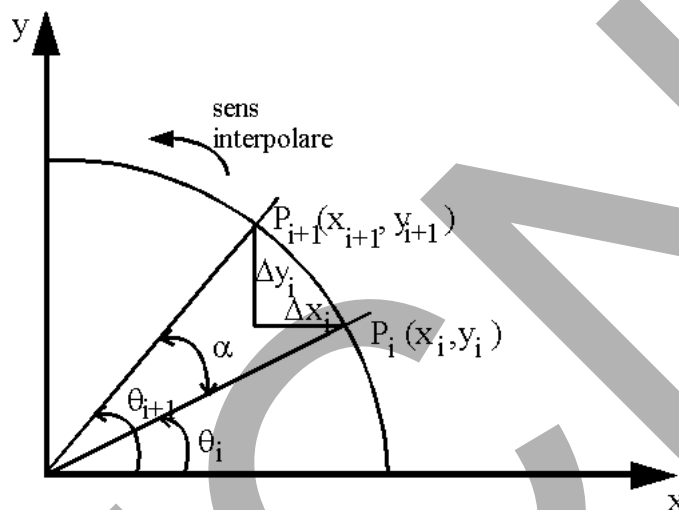
##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software



**Fig. 5.37**

Segmentele de interpolare sunt approximate prin relațiile :

$$\begin{aligned} X(i+1) &= R(i) \cos \theta(i+1) \\ Y(i+1) &= R(i) \sin \theta(i+1) \end{aligned} \quad (5.49)$$

care împreună cu ecuația (8) conduc la expresiile :

$$\begin{aligned} X(i+1) &= Ax(i) - By(i) \\ Y(i+1) &= Ay(i) + Bx(i) \end{aligned} \quad (5.50)$$



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

Diferențele dintre algoritmi se referă la modul de determinare a unghiului “ $\alpha$ ” și implicit a coeficienților A și B.

După stabilirea valorii unghiului “ $\alpha$ ” rutina de interpolare efectuează următorii pași:

În fiecare punct  $X(i)$ ,  $Y(i)$  se calculează coordonatele punctului  $X(i+1)$ ,  $Y(i+1)$  conform relației (11);

lungimea segmentului:

$$DX(i) = X(i+1) - X(i) = (A-1)X(i) - BY(i) \quad (5.51)$$

$$DY(i) = Y(i+1) - Y(i) = (A-1)Y(i) - BX(i)$$

se calculează vitezele corespunzătoare

$$v_x(i) = \frac{vDX(i)}{Ds(i)} \quad (5.52)$$

$$v_y(i) = \frac{vDY(i)}{Ds(i)} \quad (5.53)$$

În care  $Ds(i) = \sqrt{DX^2(i) + DY^2(i)}$

După “i” iterații eroarea radială devine:  $ER(i) = i(C-1)R$

În care  $C = \sqrt{A^2 + B^2}$





1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

Numărul de iterații pentru un cerc întreg este  $N = \frac{2\pi}{\alpha}$  ceea ce conduce la o eroare maximă radială

$$ER_{max} = \frac{2\pi}{\alpha} (C - 1)R \quad (5.54)$$

Prin contrast eroarea de coardă nu este cumulativă. Considerând

$$EC(i) = R - R(i) \cos \frac{\alpha}{2} \quad (5.55)$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}} = \sqrt{\frac{1 + A}{2}} \quad (5.56)$$

rezultă

$$EC(i) = R - R(i) \sqrt{\frac{1 + A}{2}} \quad (5.57)$$

*Observatie:*

Valorile unghiului “ $\alpha$ ” trebuie astfel calculate încât ER și EC să nu depășească valoarea BLU. Modul de calcul al valorilor A și B au impus algoritmi de interpolare.


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**
**5.5. Interpolarea software**

Pentru interpolarea circulară prin metoda eșantionări au fost dezvoltati mai mulți algoritmi. Particularitatea fiecăruia este data de modul de determinare a unghiului "α" și implicit a erorii care rezultă.

Se menționează :

- ❖ Algoritmul lui Euler;
- ❖ Algoritmul lui Euler îmbunătățit;
- ❖ Algoritmul lui Taylor;
- ❖ Algoritmul lui Tustin;
- ❖ Algoritmul lui Tustin îmbunătățit;

Metoda	α	N
Euler	$4/\pi \cdot R$	$\pi^2 \cdot R/8$
IEM	$4/R$	$\frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{R}{2}}$
Taylor	$\sqrt{8}/R$	$\frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{R}{2}}$
Tustin	$\sqrt{8}/R$	$\frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{R}{2}}$
ITM	$4/\sqrt{R}$	$\frac{\pi}{8} \sqrt{R}$



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

## Interpolarea fină

Ori de câte ori timpul de eșantionare pentru interpolarea grosieră și durată trenului de impulsuri după accelerare (decelerare) sunt mai mari decât timpul de eșantionare pentru controlul poziției se realizează interpolarea fină

Exemplu:

- intervalul de eșantionare pentru interpolarea grosieră și accelerare/decelerare este de 4ms
- cel pentru controlul poziției 1ms

Trenul de impulsuri pentru 4 ms este memorat în UCP (CPU) care este interpolat fin pentru fiecare 1 ms de CPU controlează deplasarea pe axe.

Există, în principiu, două metode pentru interpolarea liniară fină:

- trenul de impulsuri de 4 ms este împărțit în intervale de 1 ms;
- metoda deplasării medii, în care trenul de impulsuri medii este utilizat pentru interpolarea fină.



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software

Metoda împărțirii trenului de impulsuri pentru interpolare grosieră  
 Relația:

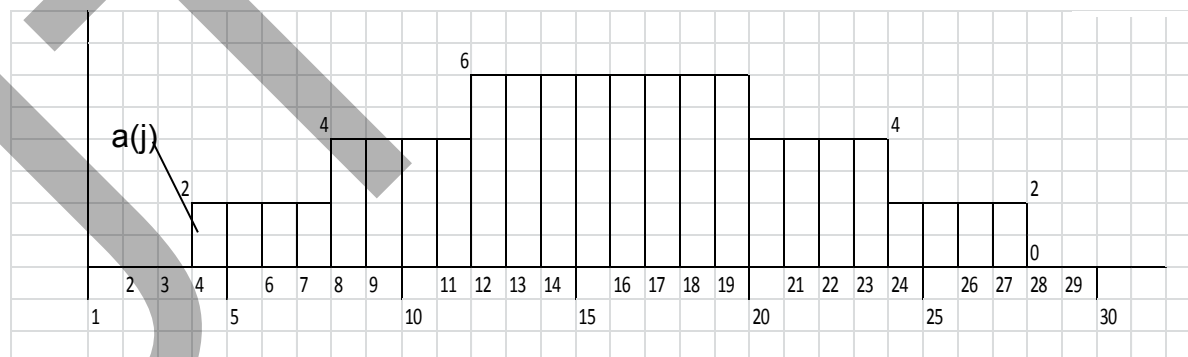
$$a(j) = \frac{P(i)}{N}, i \leq j < i + t_{ipo} \quad (5.58)$$

indică dependența impulsurilor din interpolarea fină  $a(i)$  în raport cu cele din interpolarea grosieră  $P(i)$  la un moment arbitrar.

$N$  reprezintă raportul dintre timpul pe o iterație în cazul interpolării grosiere și cel pentru controlul poziției.

În figura 5.39 se prezintă metoda de interpolare liniară în care trenul de impulsuri de 4 ms este divizat linear în impulsuri de 1 ms.

**Fig. 5.38**





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

**5. Blocul de interpolare**

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software

Metoda deplasării medii

Metoda se bazează pe ecuația iterativă:

$$b(j) = \frac{\sum_{k=-\frac{N}{2}+1}^{\frac{N}{2}} a(j-k)}{N} \quad (5.59)$$

$$b'(j) = \frac{\sum_{k=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} a(j-k)}{N} \quad (5.60)$$

$$b''(j) = \frac{b(j) + b'(j)}{2} \quad (5.61)$$

în care  $a(j)$  are semnificația anterioară.

În tabelul 5.12 este indicată procedura de calcul pentru această metodă iar în figura 5.40 impulsurile de interpolare.


**Tab. 5.12**
**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**
**5.5. Interpolarea software**

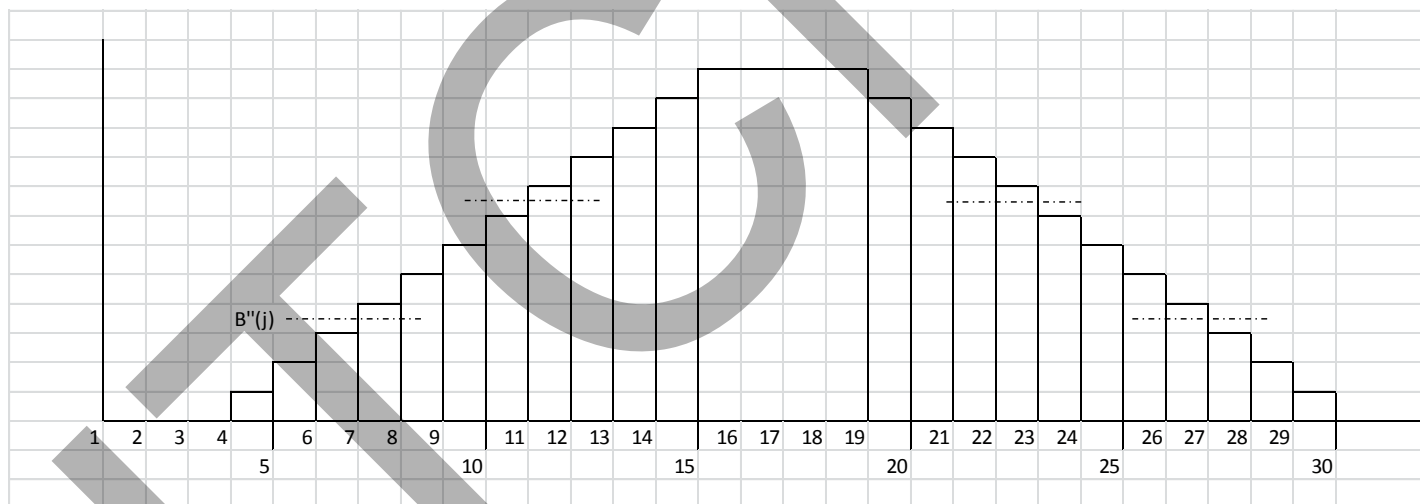
n	j	a(j+4)	a(j+3)	a(j+2)	a(j+1)	a(j)	a(j-1)	a(j-2)	b(j)	b'(j)	b''(j)
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0.5	0.25
	4	2	2	2	2	0	0	0	0.5	1	0.75
2	5	4	2	2	2	2	0	0	1	1.5	1.25
	6	4	4	2	2	2	2	0	1.5	2	1.75
	7	4	4	4	2	2	2	2	2	2.5	2.25
	8	4	4	4	4	2	2	2	2.5	3	2.75
3	9	6	4	4	4	4	2	2	3	3.5	3.25
	10	6	6	4	4	4	4	2	3.5	4	3.75
	11	6	6	6	4	4	4	4	4	4.5	4.25
	12	6	6	6	6	4	4	4	4.5	5	4.75
4	13	6	6	6	6	6	4	4	5	5.5	5.25
	14	6	6	6	6	6	6	4	5.5	6	5.75
	15	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	16	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6


**Tab. 5.12**
**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**5.1. Curbe de interpolare**
**5.2. Principiul interpolării DDA / CDF**
**5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA**
**5.4. Interpolarea prin metoda CDF**
**5.5. Interpolarea software**

n	j	a(j+4)	a(j+3)	a(j+2)	a(j+1)	a(j)	a(j-1)	a(j-2)	b(j)	b'(j)	b''(j)
5	17	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	18	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6
	19	4	4	4	6	6	6	6	6	5.5	5.75
	20	4	4	4	4	6	6	6	5.5	5	5.25
6	21	2	4	4	4	4	6	6	5	4.5	4.75
	22	2	2	4	4	4	4	6	4.5	4	4.25
	23	2	2	2	4	4	4	4	4	3.5	3.75
	24	2	2	2	2	4	4	4	3.5	3	3.25
7	25	0	2	2	2	2	4	4	3	2.5	2.75
	26	0	0	2	2	2	2	4	2.5	2	2.25
	27	0	0	0	2	2	2	2	2	1.5	1.75
	28	0	0	0	0	2	2	2	1.5	1	1.25
8	29	0	0	0	0	0	2	2	1	0.5	0.75
	30	0	0	0	0	0	0	2	0.5	0	0.25
	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
- 5.1. Curbe de interpolare
- 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
- 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
- 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
- 5.5. Interpolarea software


**Fig. 5.39**





1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

### Interpolare prin curbe NURBS

Metoda de interpolare bazată pe curbe NURBS (Non Uniform Rațional Basis Spline) este indicată în figura 5.40.

Curbele NURBS elimină inconvenientele ce apar la interpolare utilizând segmente și arce de cerc, de regulă foarte mici pentru a obține o precizie de aproximare ridicată.

În interpolarea NURBS, echipamentul CNC convertește direct datele despre curbele NURBS în segmente mici de linie utilizând pozițiile calculate prin datele furnizate de curbele NURBS.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

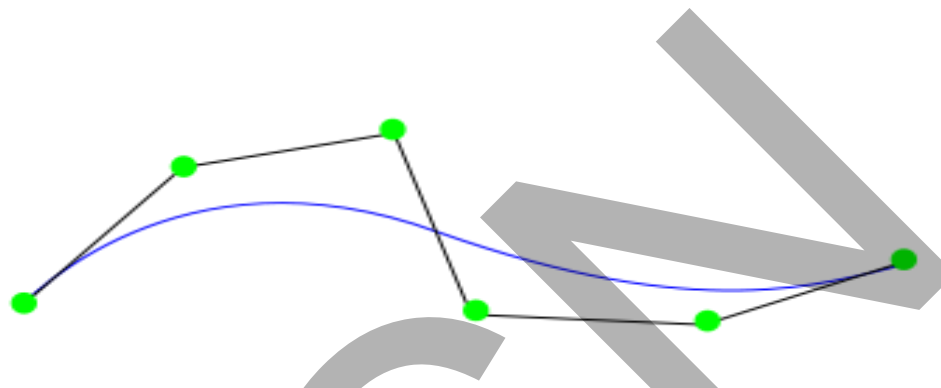


Fig. 5.40

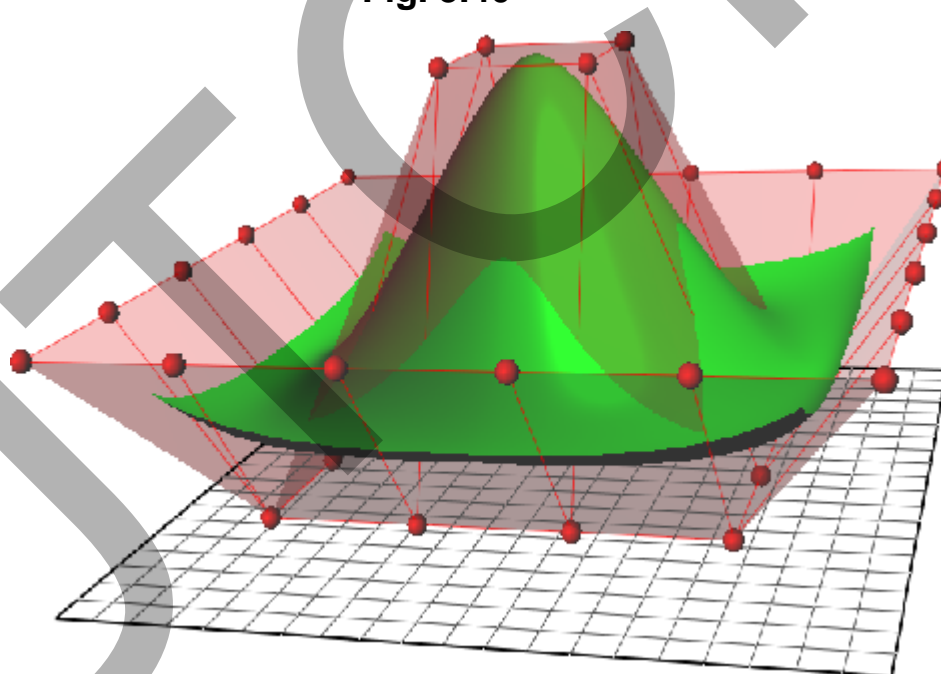


Fig. 5.41



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software

Curbele NURBS sunt curbe de tipul B-Spline cu vectorul de nod neuniform. Influența ponderii vectorului de nod este indicată în figura următoare

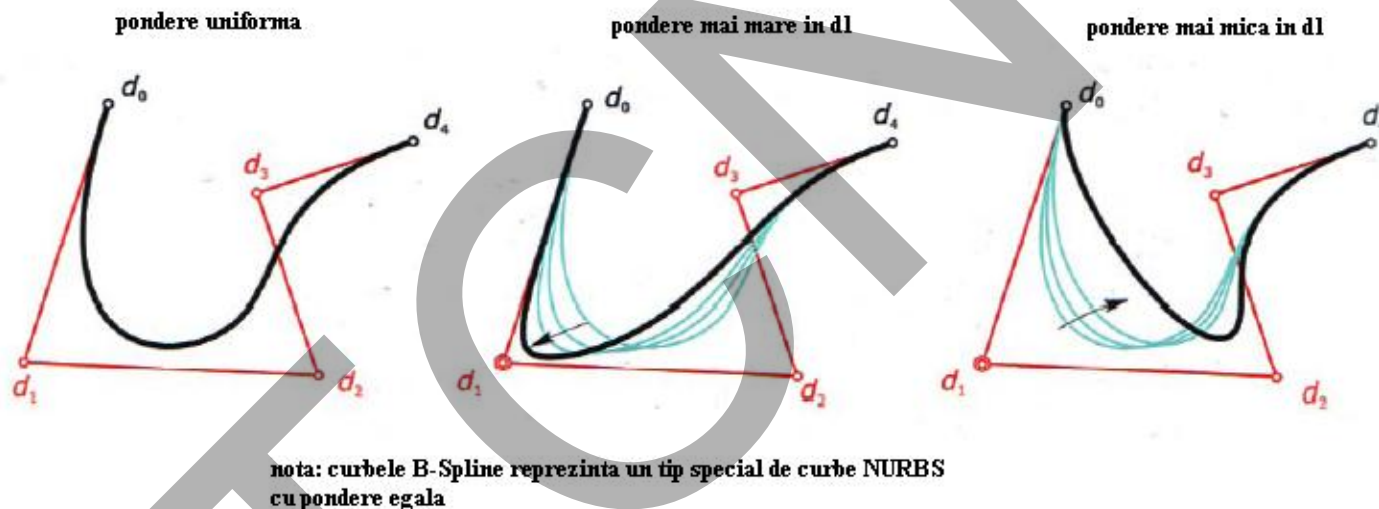


Fig. 5.42

Caracteristica principală a curbelor NURBS este dată de „continuitatea geometrică” a intervalelor care compun curba la diferite niveluri:

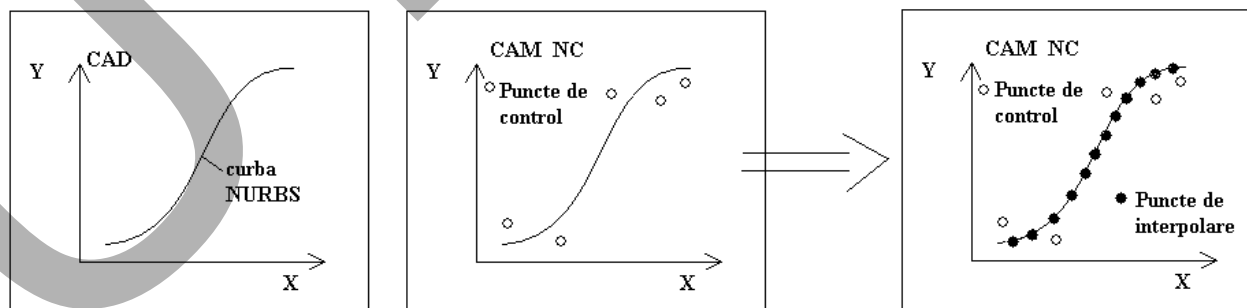


Fig. 5.43



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

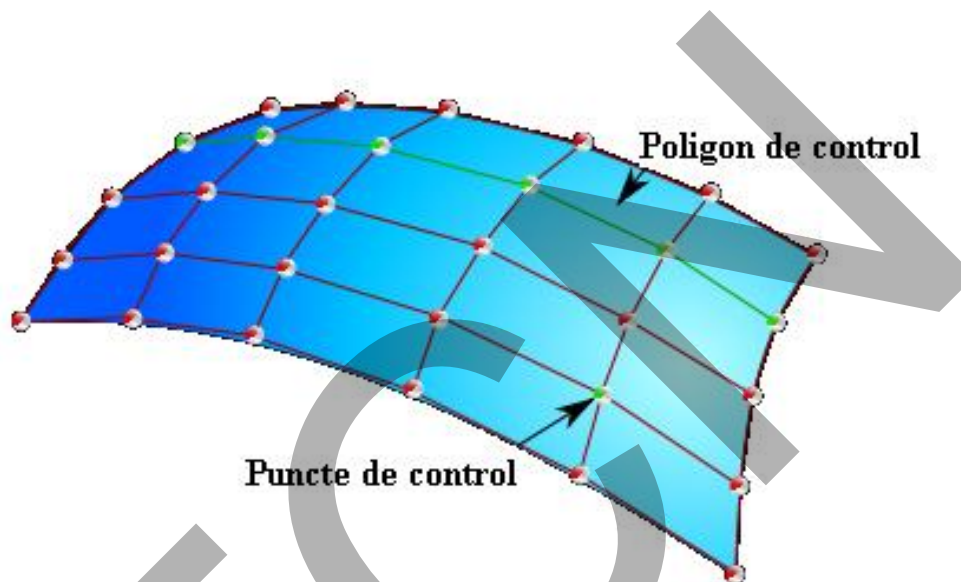


Fig. 5.44

#### Continuitate pozițională (G0)

- conduce la coincidența pozițiilor finale ale curbelor/suprafețelor, segmentele pot avea, între ele un unghi diferit de zero;

#### Continuitate tangențială (G1)

- reclamă că vectorii în punctele finale să fie paralele, unghiul dintre segmente este o fapt pentru care segmentele sunt în prelungire. În aplicațiile practice acest tip de continuitate poate fi suficient

#### Continuitate curburii (G2)

- reclamă în plus ca vectorii finali să fie de același modul, conduce la impresia că cele două suprafețe să pară una singură.



# 1. Echipamentul de comandă numerică

## 2. Elemente de logică industrială

### 3. Interfata OM - MASINA

## 4. Blocul de Masurare

## 5. Blocul de interpolare

### 5.1. Curbe de interpolare

### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

### 5.5. Interpolarea software

Continuitatea parametrică, în strânsă legătură cu cea geometrică, apelează la derivatele suprafețelor în raport de parametrii.

Continuitatea parametrică de gradul 1 și 2 ( $C0$  și  $C1$ ), din punct de vedere practic, este identică cu cea geometrică ( $G0$  și  $G1$ ). Continuitatea parametrică de gradul trei ( $C2$ ) diferă de continuitatea curburii prin aceea că și parametrii sunt de asemenea continui.

Specificații tehnice

O curbă NURBS este definită prin:

- gradul său;
- un set ponderat de puncte de control;
- vectorul de nod.

Diferența esențială față de curbele Bézier și B-Spline este dată de faptul că punctele de control sunt ponderate (fig 5.44)

Punctele de control determină forma curbei. Fiecare punct al curbei este calculat prin suma ponderată a unui număr de puncte de control. Ponderea fiecărui punct variază în funcție de parametrul de influență. Pentru curba de ordin " $d$ ", ponderea fiecărui punct de control nu este zero în " $d+1$ " intervale ale parametrului de spațiu.

În cadrul intervalelor ponderea se schimbă conform funcției polinomiale (funcții de bază) de grad " $d$ ". La capetele intervalului funcțiile de bază tind spre zero.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării  
DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară /  
circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin  
metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea  
software

Exemplu de funcție de bază de ordinul unu: funcția triunghi. Ea crește de la zero la unu și apoi scade din nou la zero. Pe durata creșterii, funcția de bază a punctului de control anterior scade. În acest fel curba interpolează între două puncte, rezultând un poligon continuu, dar nu e diferențiable în zona intervalului de graniță, nodului.

Ponderea decide asupra importanței punctului de control (fig.5.37) Carnegie-Melon.

Vectorul de nod este o secvență de valori a parametrului care determină unde și cum punctele de control influențează curba NURBS.

Numărul de noduri este egal cu suma dintre numărul punctelor de control și gradul curbei +1.

Vectorul de nod divide spațiul parametric în intervale de nod. La fiecare valoare nouă a intervalului de nod devine activ un punct nou de control. Ca urmare valorile vectorului de nod trebuie să fie în ordine ascendentă (0,0,1,2,3,3). Valorile (0,0,2,1,33) nu sunt admise

Valoarea 0 înseamnă că intervalul de nod este zero, ceea ce conduce la activarea a două puncte de control în același timp.

Nodurile decid asupra tangenței curbilor.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
  - 5.1. Curbe de interpolare
  - 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF
  - 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA
  - 5.4. Interpolarea prin metoda CDF
  - 5.5. Interpolarea software

Gradul curbei, definește numărul punctelor de control care influențează orice punct al curbei. Curba, d.p.d.v. matematic, este un polinom cu un grad mai puțin decât gradul curbei.

Astfel, curbele de gradul doi, reprezentate prin polinoame liniare, sunt denumite curbe liniare, cele de gradul trei a curbe quadratice, cele de gradul patru a curbe cubice.

Numărul punctelor de control trebuie să fie mai mare (egal) cu gradul curbei.

Uzual, numărul gradelor este 1, 2, 3 sau 5; 1 pentru linii, 2 pentru cercuri și 3 și 5 pentru suprafețe de orice formă.

Construcția funcțiilor de bază

Uzual se notează  $N_{i,n}(u)$  în care  $i$  corespunde punctului de control "i",  $n$  reprezintă ordinal funcției de bază. Parametrul „u” de regulă este omis, astfel că se poate scrie. Definirea funcțiilor de bază este recursive în „n”. Funcția de grad 0  $N_{i,0}$  reprezintă o constantă. Are valoare 1 în nod și 0 oriunde în afară.

$N_{i,n}$  reprezintă o interpolare liniară a  $N_{i,n-1}$  și  $N_{i+1,n-1}$ . Cele două funcții nu sunt zero pentru  $n-1$  intervale de nod, intersectând  $n-2$  intervale de nod.

$$N_{i,n} = f_{i,n}N_{i,n-1} + g_{i+1,n}N_{i+1,n-1} \quad (5.62)$$

în care:  $f_t$  crește liniar de la 0 la 1 în intervalul în care  $N_{i,n-1}$  nu este zero  
 $g_{i+1}$  scade de la 1 la 0 în intervalul în care  $N_{i+1,n-1}$  nu este zero





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

5.1. Curbe de interpolare

5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

5.4. Interpolarea prin metoda CDF

5.5. Interpolarea software

Dacă “u” este parametru și  $K_i$  este nodul “i”, funcțiile f și g se pot scrie:

$$f_{i,n}(u) = \frac{u - k_i}{k_{i+1} - k_i} \quad (5.63)$$

$$g_{i,n}(u) = \frac{k_{i,n} - u}{k_{i+n} - k_i} \quad (5.64)$$

Forma generală a curbei NURBS

Utilizând definiția funcției de bază  $N_{i,n}$ , forma curbei NURBS este:

$$C(u) = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{N_{i,n} W_i}{\sum_{j=1}^k N_{j,n} W_j} P_i \quad (5.65)$$

În care k reprezintă numărul punctelor de control  $P_i, w_i$  – ponderile respective sau

$$C(u) = \sum_{i=1}^k R_{i,n} P_i \quad (5.66)$$





1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

#### 4. Blocul de Masurare

#### 5. Blocul de interpolare

##### 5.1. Curbe de interpolare

##### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

##### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

##### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

##### 5.5. Interpolarea software

În care  $R_{i,n} = \frac{N_{i,n}W_i}{\sum_{j=1}^k N_{j,n}W_j}$  (5.67)

În care k reprezintă numărul punctelor de control  
 $P_i, w_i$  – ponderile respective  
 Sau

$$C(u) = \sum_{i=1}^k R_{i,n} P_i \quad (5.68)$$

În care

$$R_{i,n} = \frac{N_{i,n}W_i}{\sum_{j=1}^k N_{j,n}W_j} \quad (5.69)$$

Relația (5.78) este cunoscută sub denumirea “funcții raționale de bază”.



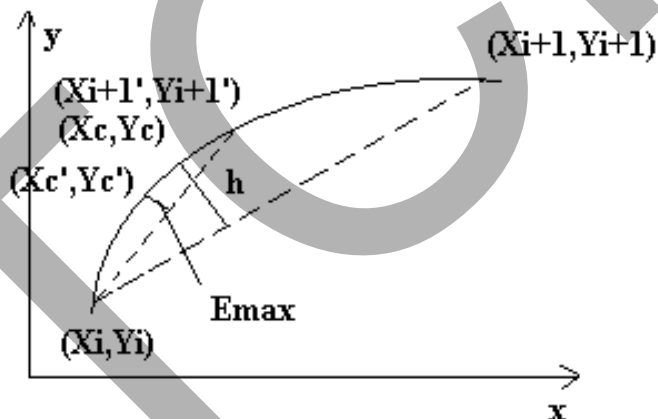
## Algoritmul de interpolare NURBS

Interpolarea NURBS este compatibilă cu metoda de interpolare prin eșantionare.

Algoritmul cuprinde două etape:

- în prima etapă se obțin o succesiune de puncte de interpolat considerând eroarea de interpolare maximă admisă;
- în etapa a doua se verifică dacă punctele de interpolare calculate conduc la depășirea accelerației admise.

În cadrul algoritmului se verifică și eroarea de interpolare.(Fig 5.45)



**Fig. 5.45**

Mijlocul curbei curpinse între punctele  $(x_i, y_i)$  și  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  notată cu  $(x_c, y_c)$  are asociată valoarea erorii "h". Dacă  $h >$  decât eroare de interpolare admisă  $\epsilon_{max}$ , se ia decizia de a aduce punctul  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  mai aproape de  $(x_i, y_i)$  în  $(x_{i+1}, y_{i+1})$ . Procesul se termină când  $h < \epsilon_{max}$ .

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA

### 4. Blocul de Masurare

### 5. Blocul de interpolare

#### 5.1. Curbe de interpolare

#### 5.2. Principiul interpolării DDA / CDF

#### 5.3. Interpolarea liniară / circulară prin DDA

#### 5.4. Interpolarea prin metoda CDF

#### 5.5. Interpolarea software



# **Mașini, Roboți și Echipamente pentru Sisteme Flexibile de Fabricație**


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**6. Controlul accelerației /decelerației**
**6.1. Introducere**
**6.1 Introducere**

Profilul vitezei de acționare a axelor numerice (fig 6.1) evidențiază trei regiuni distincte:

- o regiune caracterizată de mișcarea uniform accelerată,  $a > 0$ ;
- o regiune cu mișcare uniformă;
- o regiune cu mișcare uniform încetinită,  $a < 0$ ;

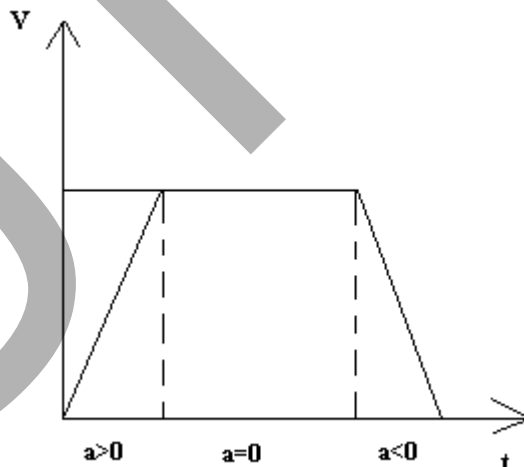
Accelerațiile/decelerațiile determină controlul mișcării pe axele numerice.

Controlul acc/decc se poate realiza:

- înainte de interpolare, ADCBI (Acc/Decc Control Before Interpolation);
- după interpolare, ADCAI (Acc/Dec Control After Interpolation).

Caracteristic pentru ADCBI este faptul că este realizat în mod diferit funcție de profilul curbei. Profilul curbei poate fi linear, exponențial sau în formă de S. Controlul se realizează la nivelul curbei teoretice, fapt ce nu conduce la erori.

În contrast, pentru ADCAI, apar erori de profil, controlul se exercită pe fiecare axă individual, independent de poziția interpolată.



**Fig. 6.1**



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

### 6.1. Introducere

### 6.2. ADCAI

## 6.2 ADCAI

Datele de intrare în controlul accelerației/decelerației după interpolare sunt valorile  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  calculate de interpolatorul grosier. Controlul are loc la nivelul acestor deplasări înainte de interpolarea fină.

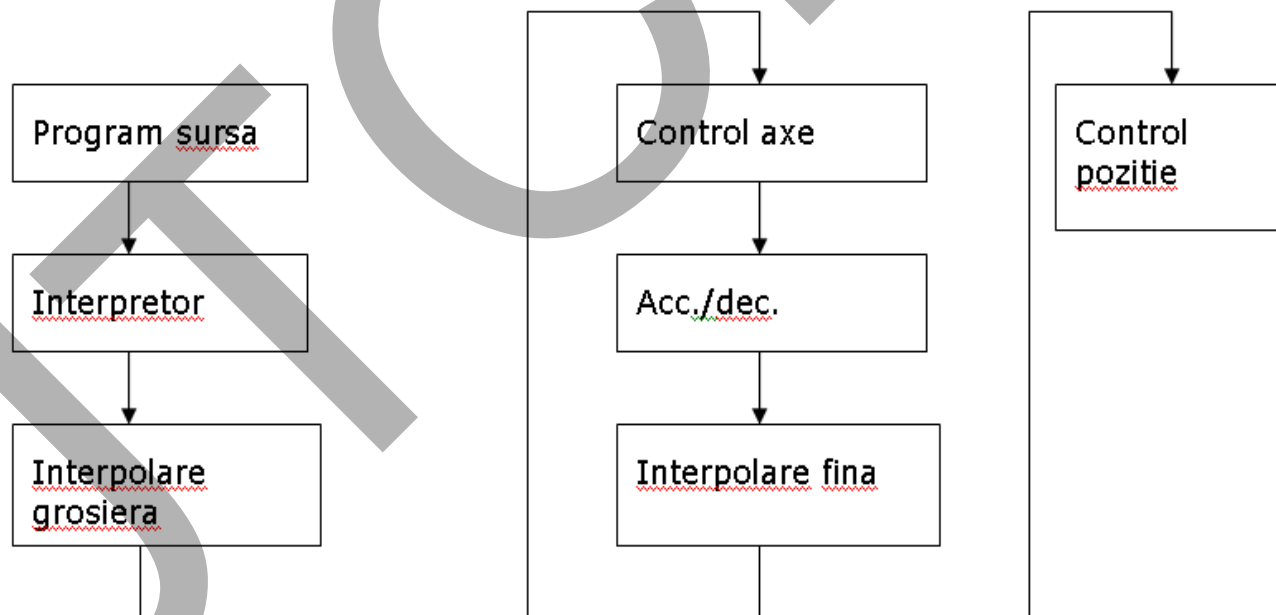
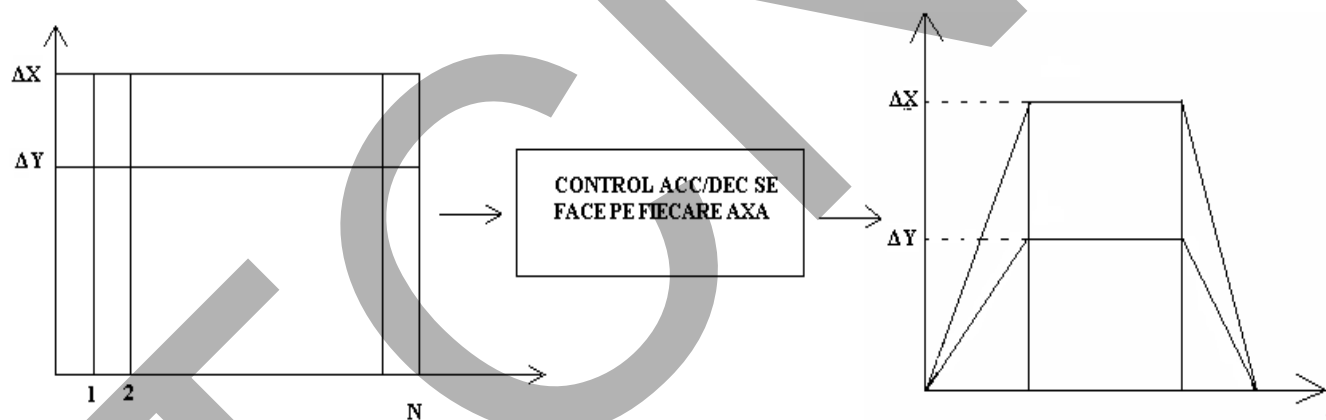


Fig. 6.2



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

Nucleul NC(NC Kernel) interpretează o porțiune din program și calculează valorile  $Dx, Dy, Dz$  pentru fiecare interval de interpolare



**Fig. 6.3**

Suportul matematic al ADCAI

- **teoria filtrelor digitale (FD)**

Un sistem care realizează operații matematice asupra unor semnale discrete, esantionate pentru a reduce/inhiba anumite caracteristici.



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

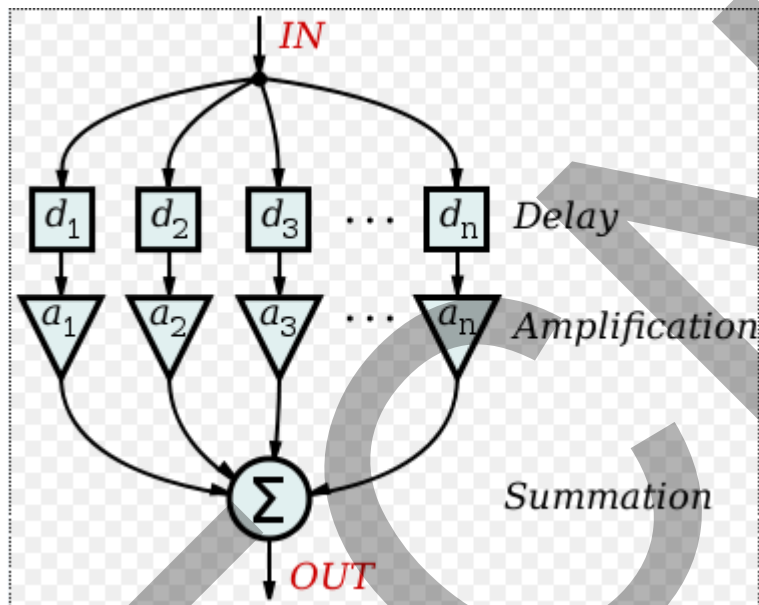


Fig. 6.4

Funcția de transfer a FD domeniul Z

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_M z^{-M}} \quad (6.1)$$

**Convoluția:** operator matematic care aplicat funcțiilor f și g produce o a treia funcție interpretată ca o versiune modificată a uneia din funcțiile originale. Este similară cu corelarea încrucișată:

$$(f * g)[n] = \sum_{m=1}^n f[m] * g[n-m] \quad (6.2)$$



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

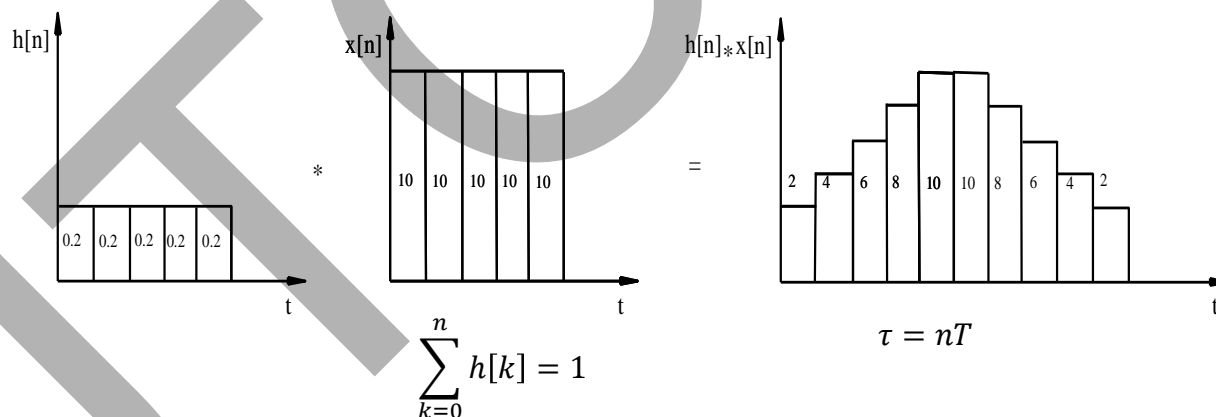
5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

6.2. ADCAI

Considerând  $x[n]$  ieșirea din interpolatorul grosier și impulsul  $h[n]$ , cu suma normalizată la 1, se poate obține profilul impuls Acc/Dec (fig. 6.5)



**Fig. 6.5**





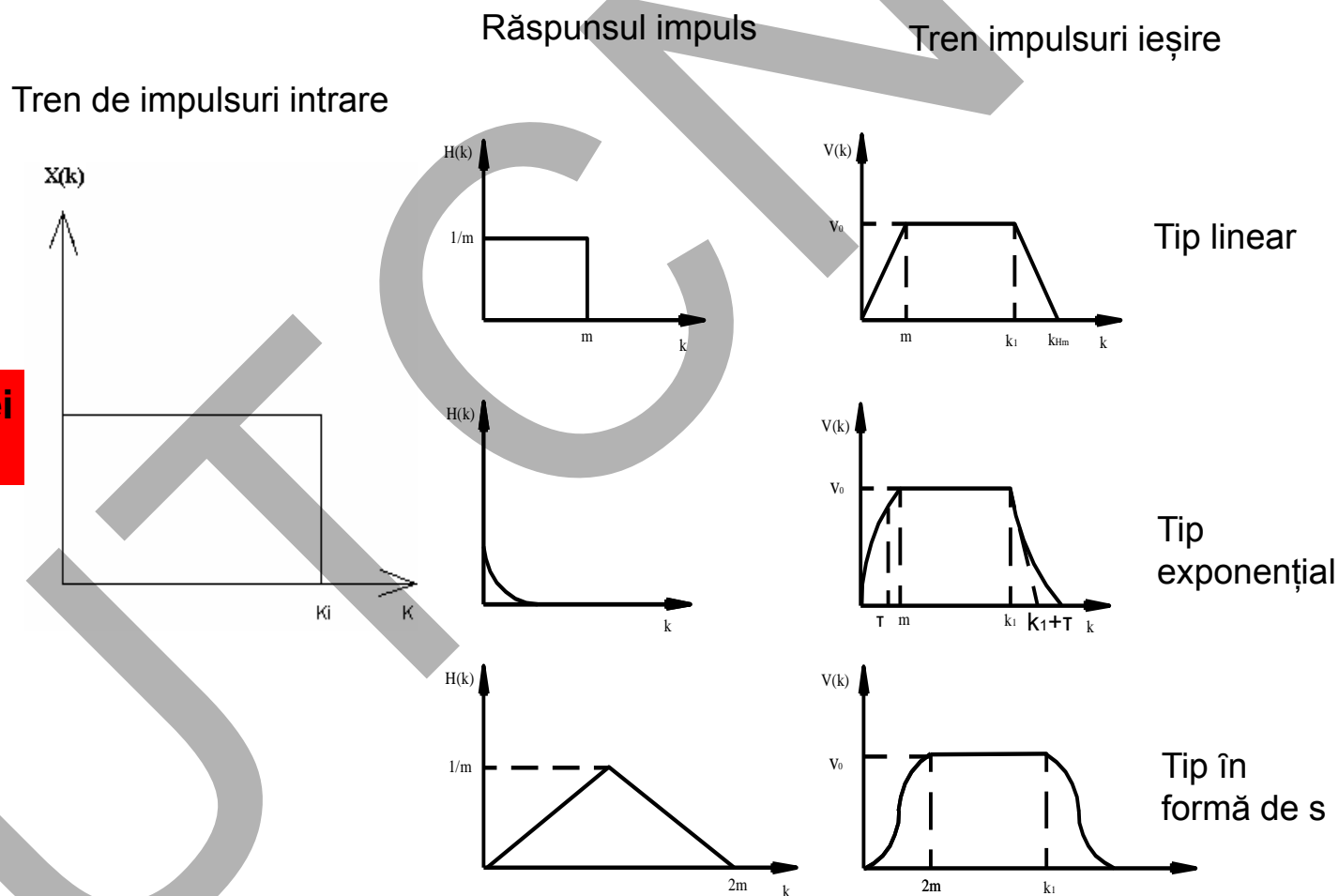
Deoarece  $h[n]$  reprezintă diferențiala vitezei, acc/dec, se pot obține diferite profile impuls (fig 6.6) prin schimbarea lui  $h[n]$ :

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

### 6.1. Introducere

### 6.2. ADCAI



**Fig. 6.6**



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
- 6. Controlul accelerației /decelerației**

### 6.1. Introducere

### 6.2. ADCAI

Filtru liniar

$$H_L(z) = \frac{1}{m} \frac{1 - z^{-m}}{1 - z^{-1}} \quad (6.3)$$

Filtru exponențial

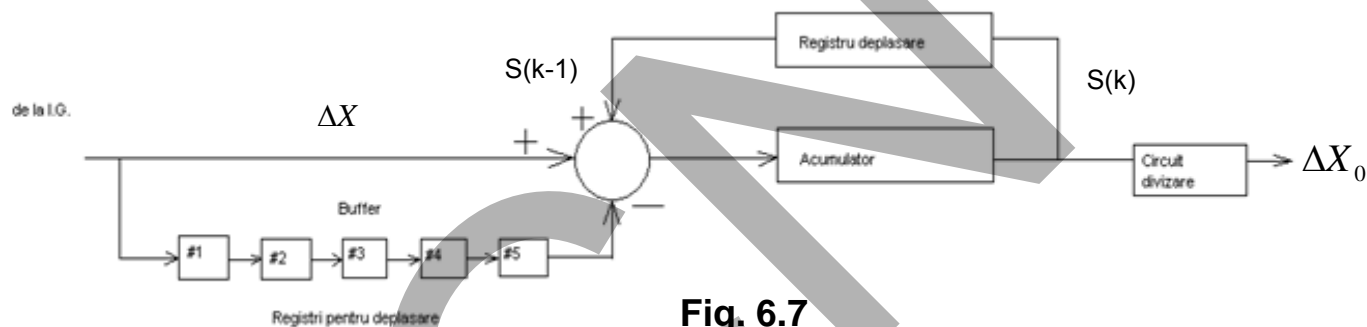
$$H_E = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha z^{-1}} \quad \text{în care} \quad \alpha = \exp \frac{-T}{\tau} \quad (6.4)$$

Filtru curba S

$$H_S(z) = H_L(z) \cdot H_L(z) = \frac{1}{m} \cdot \frac{1 - z^{-m}}{1 - z^{-1}} \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{1 - z^{-m}}{1 - z^{-1}} \quad (6.5)$$



Realizarea controlului Acc/Dec  
Exemplu: pentru controlul linear

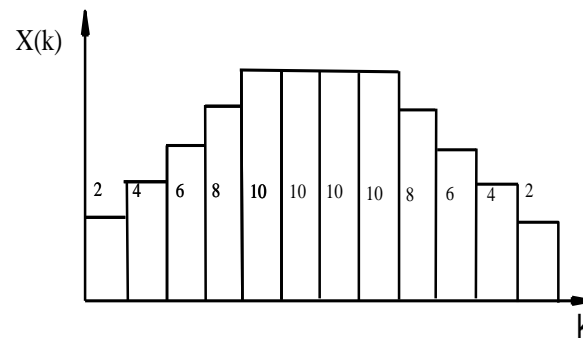
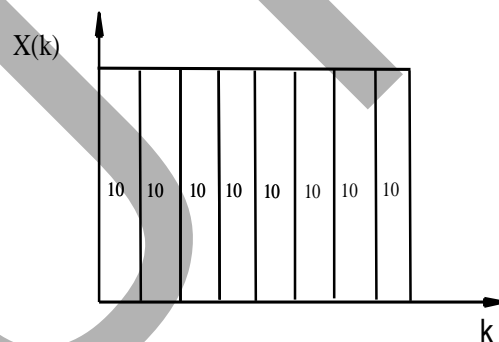

**Fig. 6.7**

Relații

$$S(k) = S(k-1) + \Delta X(k) - \Delta X \cdot (k-n)$$

$$\Delta X_0(k) = S(k)/n \quad (6.5)$$

- timpul de eșantionare  $T=8\text{ms}$
- buffer, 5 regiștrii  $n=5$
- nr de implusuri 10


**Fig. 6.8**

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

6.2. ADCAI



$$\Delta x = 10$$

$$\sum \Delta x = 80$$

**tabelul. 6.1.**

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
6. Controlul accelerației /decelerației

**6.1. Introducere**
**6.2. ADCAI**

Timpi de eșantionare k	Impuls input $\Delta X(k)$	Ieșire din buffer $\Delta X(k - 5)$	Ieșire sumator $S(k)$	Impuls ieșire (comandă) $\Delta X_0(k)$
1	10	0	10	2
2	10	0	20	4
3	10	0	30	6
4	10	0	40	8
5	10	0	50	10
6	10	10	50	10
7	10	10	50	10
8	10	10	50	10
9	0	10	40	8
10	0	10	30	6
11	0	10	20	4
12	0	10	10	2
13	0	10	0	0
	80			80



## 6.3 Controlul deplasării pe axe

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

### 6. Controlul accelerației /decelerației

#### 6.1. Introducere

#### 6.2. ADCAI

#### 6.3. Controlul deplasării pe axe

Deplasările în conturare pot fi programate:

❖ modul de oprire exactă

G90

G01 **G61** X50.0 Y50.0 F100

❖ modul continuu

G90

G01 **G64** X50.0 Y50.0 F100

Discuție!

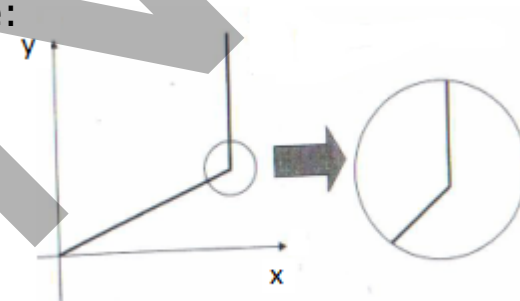


Fig. 6.9

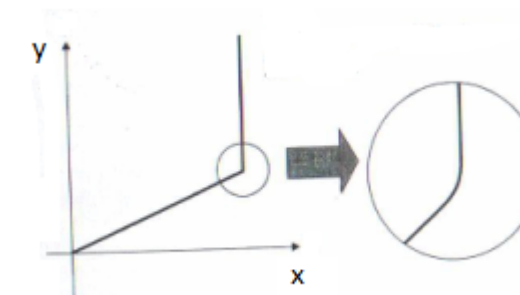


Fig. 6.10



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

### 6.1. Introducere

### 6.2. ADCAI

### 6.3. Controlul deplasării pe axe

Asa cum se vede din figura 6.5 impulsurile initiale de iesire cresc / descresc cu o valoare constanta. Pentru exemplul prezentat numarul de impulsuri de intrare (80) este egal cu cel de iesire din circuit.

Din momentul in care numarul impulsurilor de intrare devine 0 numarul impulsurilor de iesire incepe sa . Aceasta inseamna ca modul “accelerare “ continua pana cand registrul buffer este complet incarcat. Modul “decelerare ” incepe odata cu scaderea continutului bufferului, se termina cand registrul devine gol.

Numarul registrelor din structura bufferului este proportional cu timpul de acc./dec.:

$$\tau = nT$$

in care T este timpul de esantionare (pentru ex. 40ms=5x8ms).



Control Acc/Dec , interpolare pe axa x pentru doua blocuri successive  
**Oprire precisa**

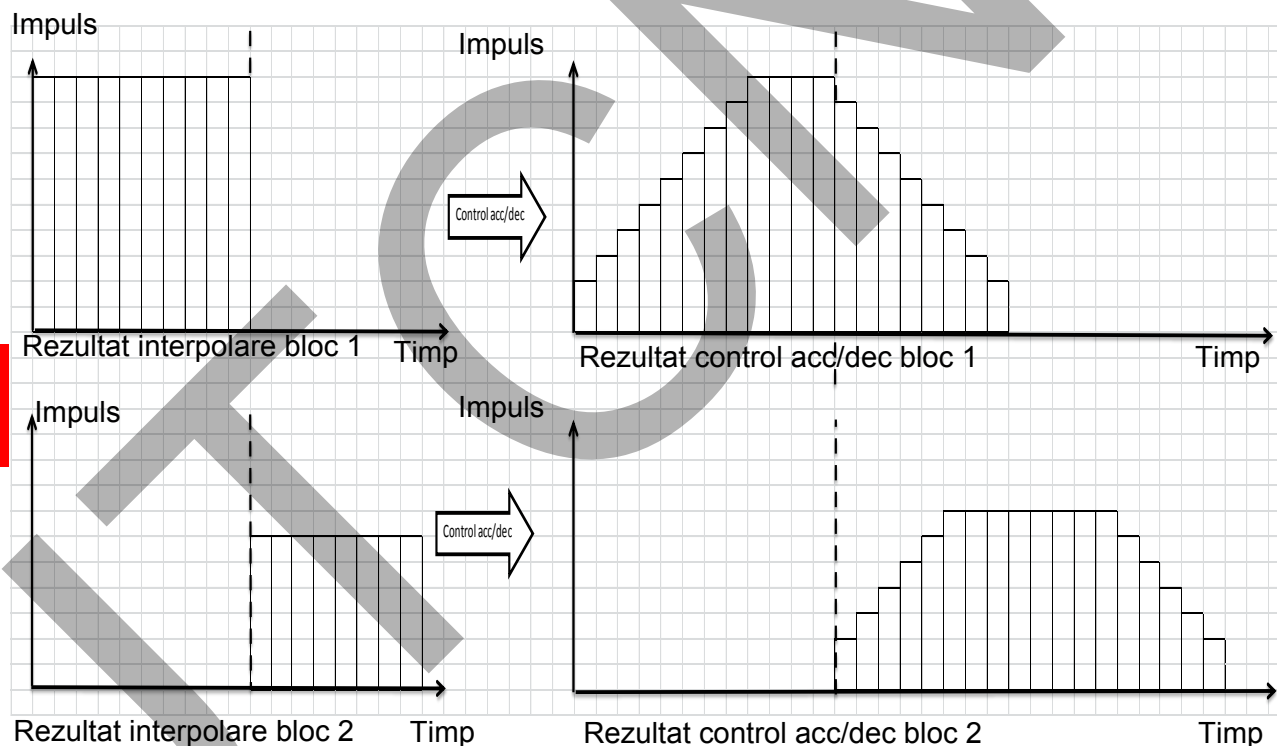
1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul acceleratiei /deceleratiei

### 6.1. Introducere

### 6.2. ADCAI

### 6.3. Controlul deplasarii pe axe



**Fig. 6.11**



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

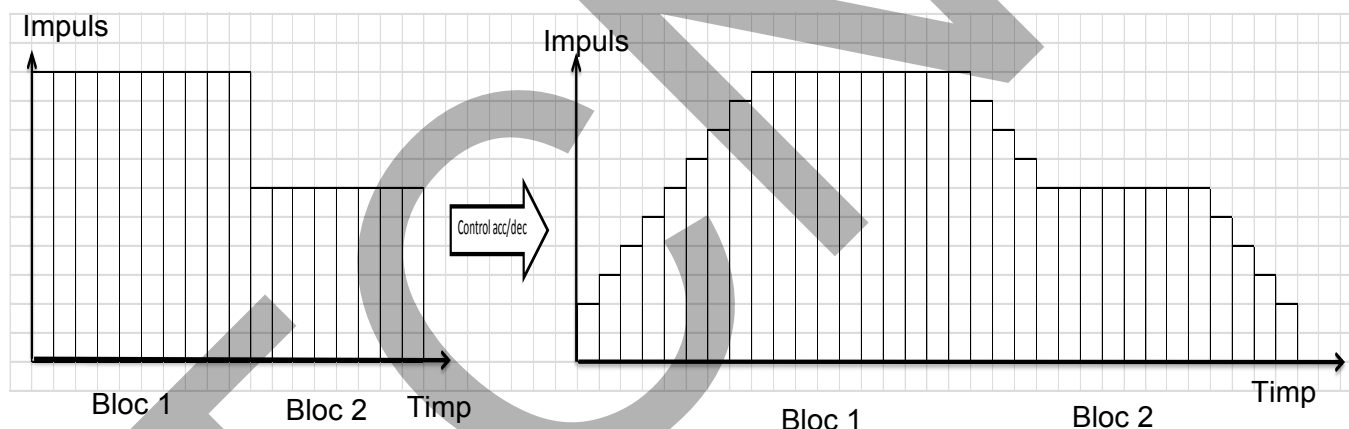
## 6. Controlul accelerației /decelerației

### 6.1. Introducere

### 6.2. ADCAI

### 6.3. Controlul deplasării pe axe

## Modul continuu



**Fig. 6.12**





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

6.2. ADCAI

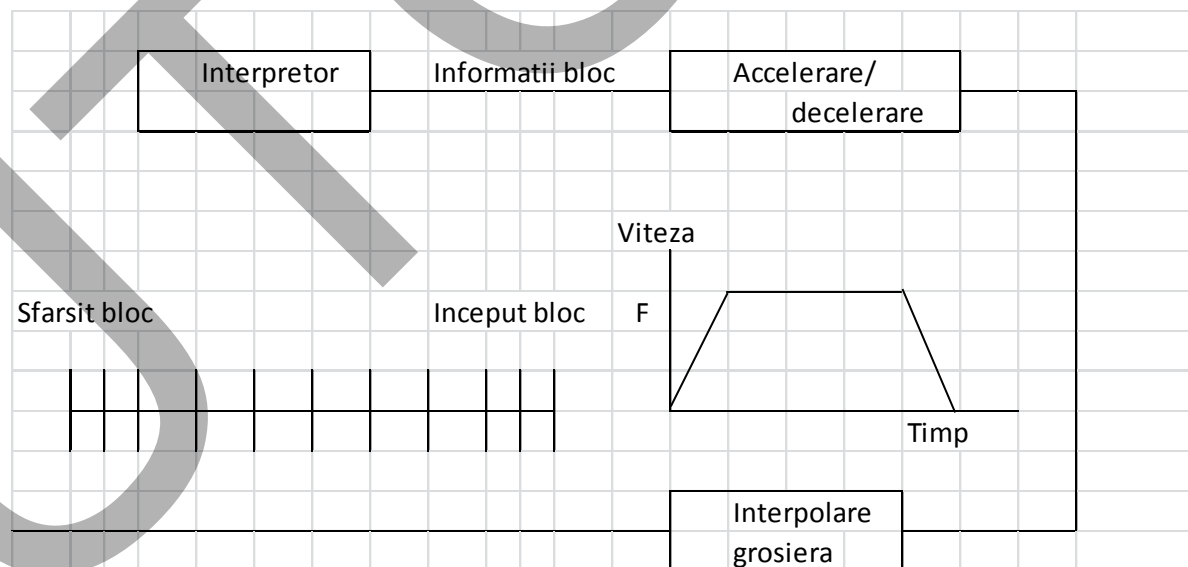
6.3. Controlul deplasării pe axe

6.4. ADCBI

## 6.4 ADCBI

### Caracteristicile controlului ADCBI:

- generează profilul vitezei (de avans) înainte de interpolarea grosieră;
- controlează traiectoria sculei, nu deplasarea fiecărei axe independent





1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI

Pentru controlul profilului vitezei există două situații:

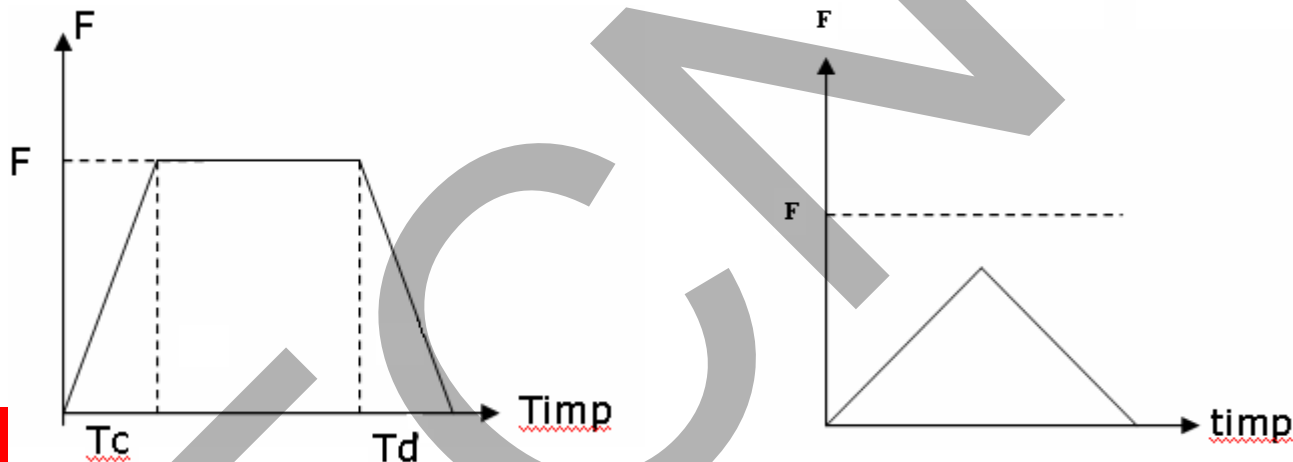


Fig. 6.13

Bloc normal

Bloc scurt

**Discuție  
Condiție**

Dacă

$$\frac{F^2}{2A} + \frac{F^2}{2D} \geq L$$

blocul este normal

În care:

F – accelerația admisă, mm/s<sup>2</sup>

A – decelerația admisă, mm/s<sup>2</sup>

L – lungimea traiectoriei, mm



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

**6. Controlul accelerației /decelerației**

6.1. Introducere

6.2. ADCAI

6.3. Controlul deplasării pe axe

6.4. ADCBI

### Caracteristicile profilului

-timpul de accelerare

Bloc normal

Bloc scurt

$$T_A = \frac{F}{A}$$

$$T_A = \frac{F'}{A}$$

(6.8)

- timpul de decelerare

$$T_D = \frac{F}{D}$$

$$T_D = \frac{F'}{D}$$

(6.9)

- timpul de mers constant

$$T_C = \frac{L - \frac{F^2}{2A} - \frac{F^2}{2D}}{F}$$

$$L = \frac{F' \times (T_A + T_D)}{2} \quad (6.10)$$


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**6. Controlul accelerației /decelerației**
**6.1. Introducere**
**6.2. ADCAI**
**6.3. Controlul deplasării pe axe**
**6.4. ADCBI**

Pe baza profilului de viteză calculate se determină traiectoria liniară. Scula trece prin punctele de interpolare la fiecare iterație

- Pentru porțiunea de accelerare

$$V_{i+1} = V_i + \tau \times A, i = 0, 1, 2 \dots N_A \quad (6.11)$$

$$L_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{2A} \quad (6.12)$$

În care

$$N_A = \frac{T_A}{\tau} \quad (6.13)$$

$V_i, V_{i+1}$  – vitezele în intervalul  $i, i+1$ ;  $V_0=0$

$L_i$  – deplasarea în intervalul  $i$

$\tau$  - timpul pentru o iterație

- Pentru porțiunea cu viteză constantă

$$V_i = F$$

$$L_i = F \times \tau$$

$L_i$  Deplasarea pentru fiecare iterație de interpolare

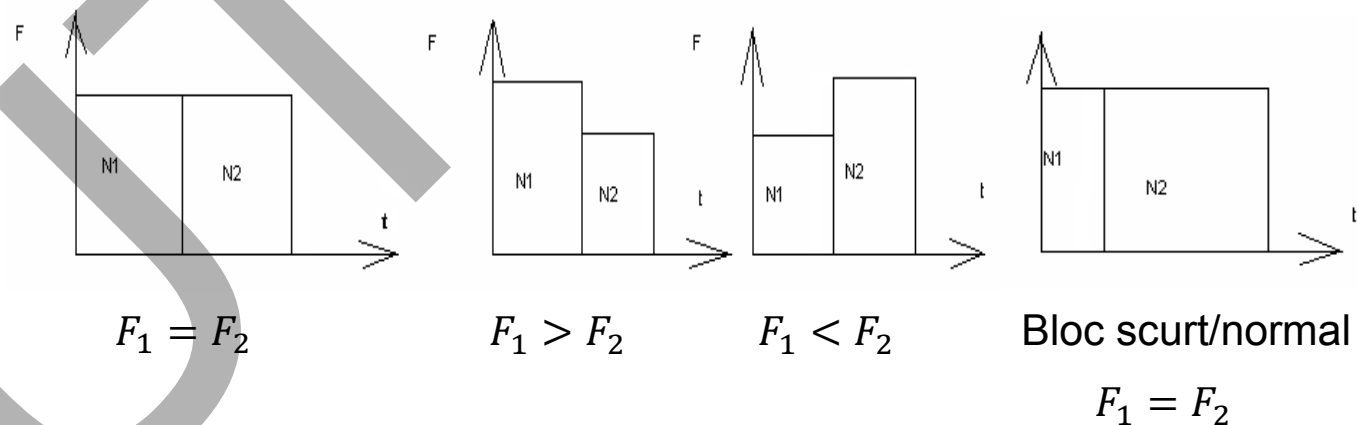

**- Pentru porțiunea de decelerare**

$$V_{i+1} = V_i - \tau \cdot D \quad i=(0,1,2,\dots,N_D) \quad (6.14)$$

$$L_i = \frac{V_i^2 - V_{i+1}^2}{2D} \quad (6.15)$$

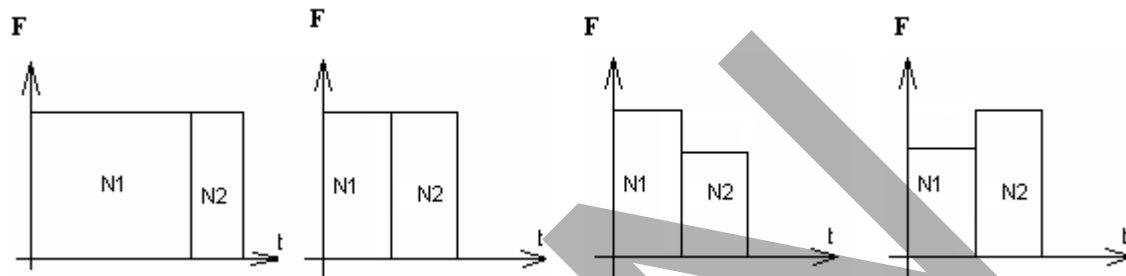
$$N_D = \frac{T_D}{\tau} \quad (6.16)$$

Profilul curbei de viteza, in caz real, se determina in functie de tipul blocurilor care se succed. Pentru blocurile de tip identic exista 8 situatii distincte (fig 6.14 si 6.15)


**Fig. 6.14**

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
- 6. Controlul acceleratiei /deceleratiei**

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasarii pe axe
- 6.4. ADCBI


**Fig. 6.15**

Bloc N-S

$$F_1 = F_2$$

Bloc S-S

$$F_1 = F_2$$

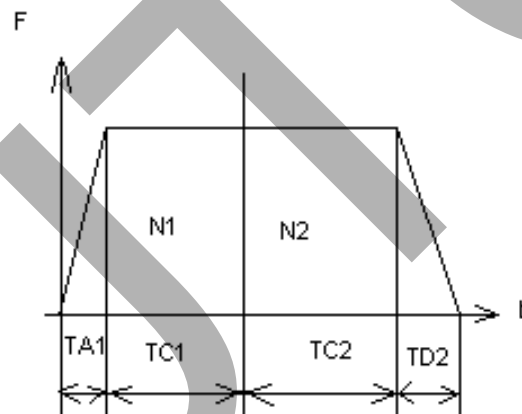
Bloc S-S

$$F_1 > F_2$$

Bloc S-S

$$F_1 < F_2$$

• **Pentru blocurile cu  $v=ct$ , normale, profilul vitezei este următorul (fig 6.16)**


**Fig. 6.16**

Relațiile pentru controlul TA1 și TD2 sunt deduse anterior

$$T_{C1} = \frac{L_1 - \frac{F^2}{2A}}{F} \quad (6.17)$$

$L_1$  - deplasarea în blocul  $N_1$

$$T_{C2} = \frac{L_2 - \frac{F^2}{2A}}{F} \quad (6.18)$$

$L_2$  - deplasarea în blocul  $N_2$

1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata  
OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

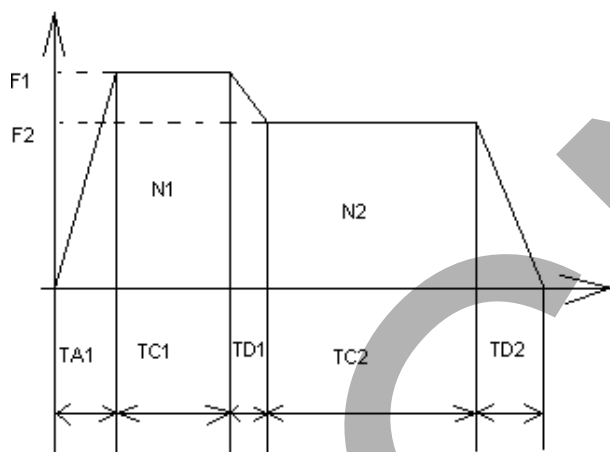
6.2. ADCAI

6.3. Controlul deplasării pe axe

6.4. ADCBI



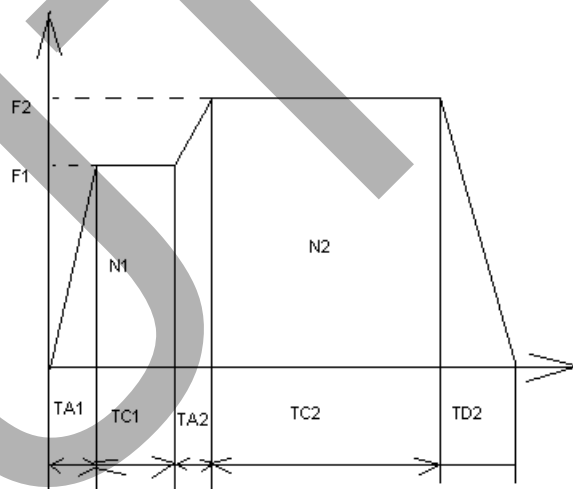
- **Bloc normal, viteza mare** → mică



$$T_{D1} = \frac{F_1 - F_2}{D} \quad (6.19)$$

Fig. 6.17

- **Bloc normal, viteza mică** → mare



$$T_{A1} = \frac{F_1}{A} \quad T_{C1} = \frac{L_1 - \frac{F_1^2}{2A}}{F} \quad (6.20)$$

$$T_{D2} = \frac{F_2}{D} \quad (6.21)$$

$$T_{C2} = \frac{L_2 - \frac{F_2^2}{2D}}{F} \quad (6.22)$$

Fig. 6.18

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI

### •Bloc scurt/normal, $v=ct$

$$F' = \sqrt{2AL_1} \quad \text{viteza ce poate fi atinsă} \quad (6.23)$$

$$T_{A1} = \frac{F'}{A} \quad (6.24)$$

$$T_{A2} = \frac{F_2 - F'}{A} \quad (6.25)$$

$$T_{C2} = \frac{L_2 - \frac{F_2^2 - F'^2}{2A} - \frac{F_2^2}{2D}}{F_2} \quad (6.26)$$

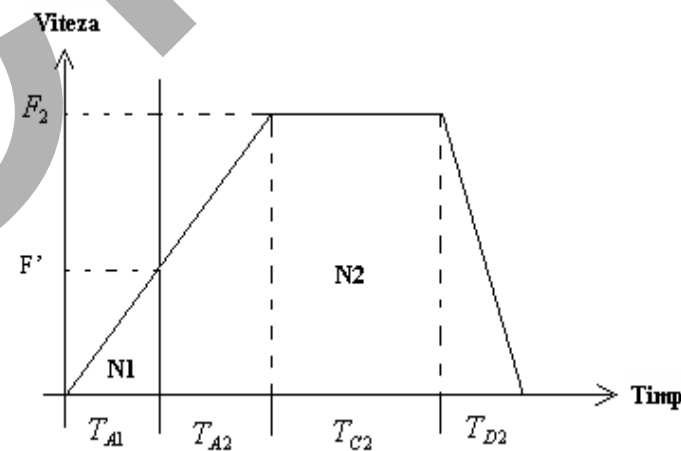


Fig. 6.19





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

6.2. ADCAI

6.3. Controlul deplasării pe axe

6.4. ADCBI

### Viteza la colț, profil liniar/circular

- Pentru mișcarea circulară

$$V_x = F \cos \omega t$$

$$X_y = F \sin \omega t$$

$$\omega = \frac{F}{R}$$

$$\begin{aligned} A_x &= -F \omega \sin \omega t \\ A_y &= -F \omega \cos \omega t \end{aligned} \quad (6.27)$$

- Pentru: raza  $R_0$ ,  $A_x$ ,  $A_y$  (admise)

Rezultă

$$F_x = \sqrt{A_x \times R_0} \quad (6.28)$$

$$F_y = \sqrt{A_y \times R_0}$$

$$\begin{aligned} F_x &= \sqrt{A_x \times R_0} \\ F_0 &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \end{aligned} \quad (6.29)$$

$$\text{Din } \frac{F_1^2}{R_c} = \frac{F_0^2}{R_0} \text{ rezultă } F_1 = F_0 \sqrt{\frac{R_c}{R_0}} \text{ pentru raza } R_c$$

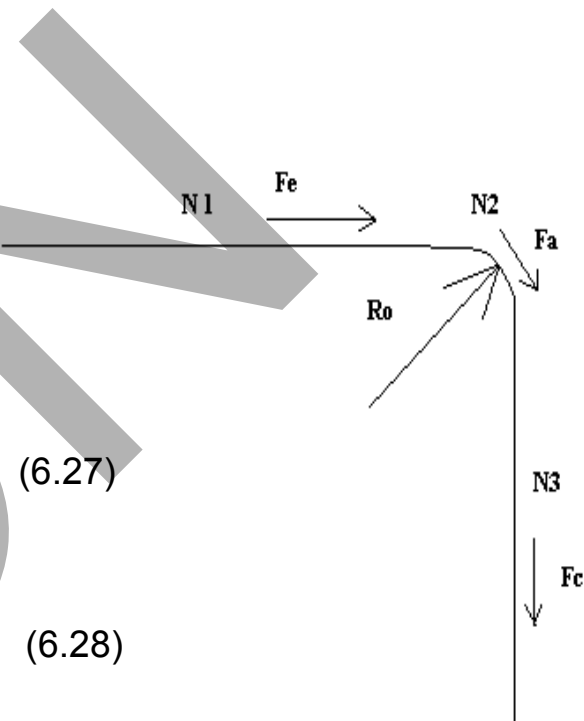


Fig. 6.20



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI

Relația rază/viteză de avans

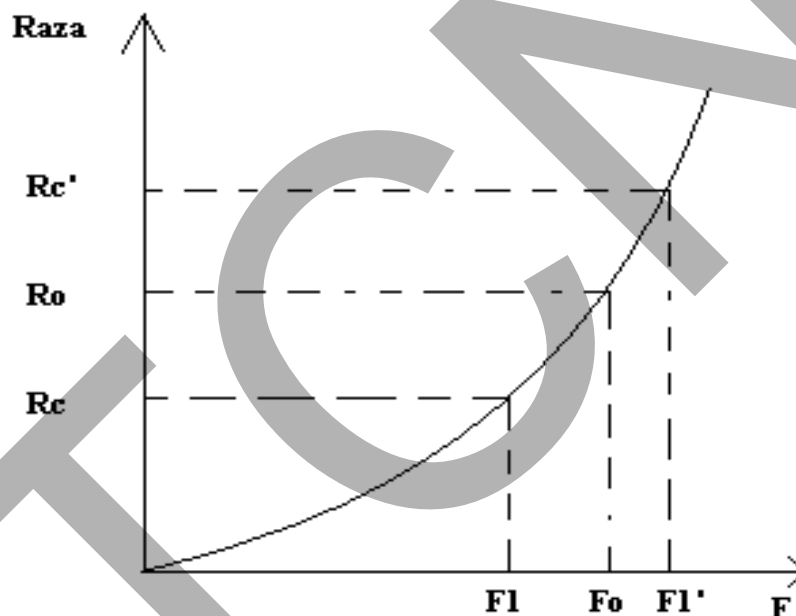
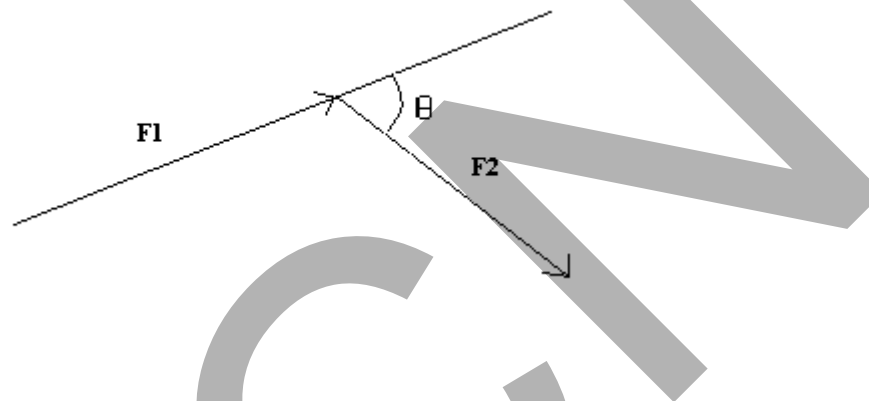


Fig. 6.21



- **Viteza de colț. blocuri liniare. unghi ascuțit**


**Fig. 6.22**

Accelerația la colț

$$A_c = \frac{F_1 - F_1 \cos \theta}{T_{pos}} \quad (6.30)$$

Unde  $T_{pos}$ -timpul de eșantionare pentru controlul poziției

Dacă  $A_c > A_{admis}$

$$F_c = \frac{A \times T_{pos}}{1 - \cos \theta} \quad (6.31)$$

$A$  – valoarea maximă a accelerației

$F_c$  – valoarea maximă a vitezei la colț

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI



## 6.5 Look Ahead

### Prezentare generală

Un echipament CNC este performant dacă:

- asigură viteze ridicate de prelucrare a conturului piesei;
- asigură o precizie ridicată în prelucrare.

Influența negativă asupra preciziei:

- schimbări bruște a vitezei de avans

#### Soluție

schimbarea lină, în mod continuu, ale vitezei de avans

**Algoritmul Look Ahead** a fost dezvoltat pentru minimizarea reducerii vitezei de avans (reducerea timpului de prelucrare) **pentru blocurile scurte.**

#### Esența

Calculează viteza maximă admisă și viteza de la sfârșitul blocului curent prin investigarea blocului curent și a celor succesive (până la 1000).

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead



1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

6.2. ADCAI

6.3. Controlul deplasării pe axe

6.4. ADCBI

6.5. Look Ahead

### ❖ Look Ahead a în raport cu lungimea programată

Viteza de start în blocul curent trebuie să permită decelerarea la valoarea vitezei de sfârșit din blocul curent

$$V_0 = \sqrt{V_f^2 + 2AL} \quad (6.32)$$

În care

$V_f$  - viteza fesabilă pentru blocul următor;

$V_0$  - viteza fesabilă pentru blocul curent;

$F$  - viteza din blocul curent;

$A$  - accelerația maxim admisă;

$L$  - lungimea programată în blocul curent

$$V_f = \begin{cases} V, & V < F \\ F, & V > F \end{cases}$$

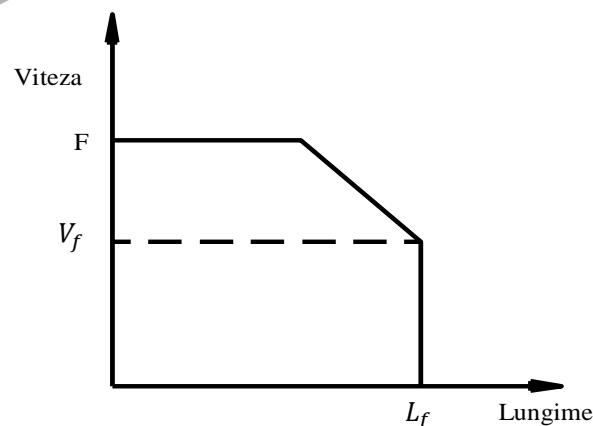
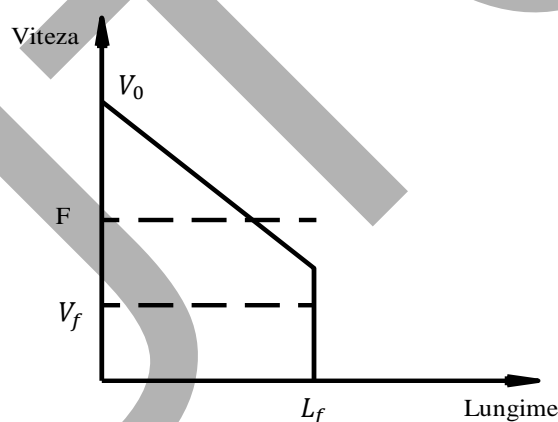


Fig. 6.23


**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**6. Controlul accelerației /decelerației**
**6.1. Introducere**
**6.2. ADCAI**
**6.3. Controlul deplasării pe axe**
**6.4. ADCBI**
**6.5. Look Ahead**

Deoarece viteza de intrare în blocul următor nu poate depăși viteza programată ( $F$ ),  $V_f$  rezultă din reprezentarea anterioară.

Dacă  $V_0 > F$ ,  $F$  devine viteză fezabilă pentru blocul următor;  $V_f$  - viteză de sfârșit

Se verifică dacă există viteza de sfârșit.

$$\frac{V_e(i)^2 - V_s(i)^2}{2A} < S_{tot} \quad (6.33)$$

Dacă nu se verifică relația anterioară

$$V_e(i) = \sqrt{V_s^2(i) + \text{sign} \times 2AS_{tot}}$$

Calculul vitezei de start pentru blocul "i" se realizează pe baza diagramei bloc următoare:



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare
6. Controlul accelerației /decelerației
- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead

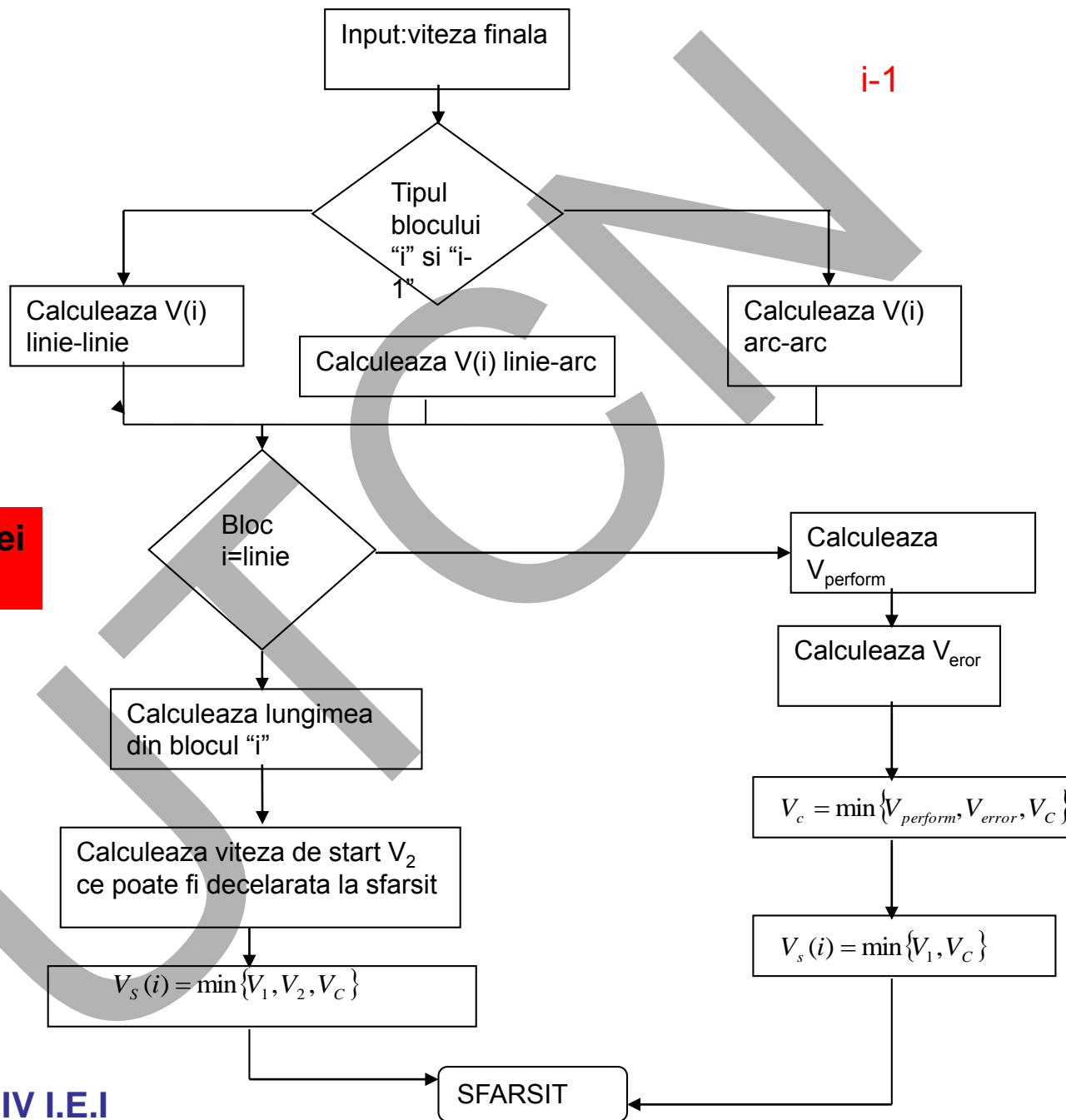


Fig. 6.23



1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata  
OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead

În algoritmul Look Ahead se asumă faptul că viteza de sfârșit în ultimul bloc utilizat pentru Look Ahead este zero.

Viteza de start a ultimului bloc se calculează conform diagramei din figura.(anterioară) Această valoare este setată ca viteza de sfârșit a blocului anterior ultimului.

(6.34)

Viteza de colț  $V_1$  poate fi calculate conform relației:

$$F_c = \frac{A \times T_{pos}}{1 - \cos\theta}$$

Viteza de start care poate fi atinsă pentru viteza de sfârșit a blocului  $V_2$ , se calculează în funcție de lungimea de parcurs.

Pentru traiectoriile circulare se cere calcularea valorii fesabile a vitezei de avans, funcție de rază și de performanțele de accelerare a mașinii:





1. Echipamentul de comandă numerică

2. Elemente de logică industrială

3. Interfata OM - MASINA

4. Blocul de Masurare

5. Blocul de interpolare

6. Controlul accelerației /decelerației

6.1. Introducere

6.2. ADCAI

6.3. Controlul deplasării pe axe

6.4. ADCBI

6.5. Look Ahead

### ❖ Look Ahead - lungime și colț

Viteza, la atingerea colțului dintre două blocuri successive:

- Valoarea cea mai mică, dintre vitezele curente, ce se poate obține considerând accelerația maxim admisă

în care N reprezintă numărul regiștrilor din bufferul Look Ahead

$V_e(i)$  – viteza de sfârșit: blocul "i"

$V_s(i)$  – viteza de start: blocul "i"

$S_{tot}$  – lungimea programată în blocul curent

A – valoarea maximă a accelerației

În care  $sign = \begin{cases} 1, & \text{daca } V_s(i) < V_e(i) \\ -1, & \text{altfel} \end{cases}$

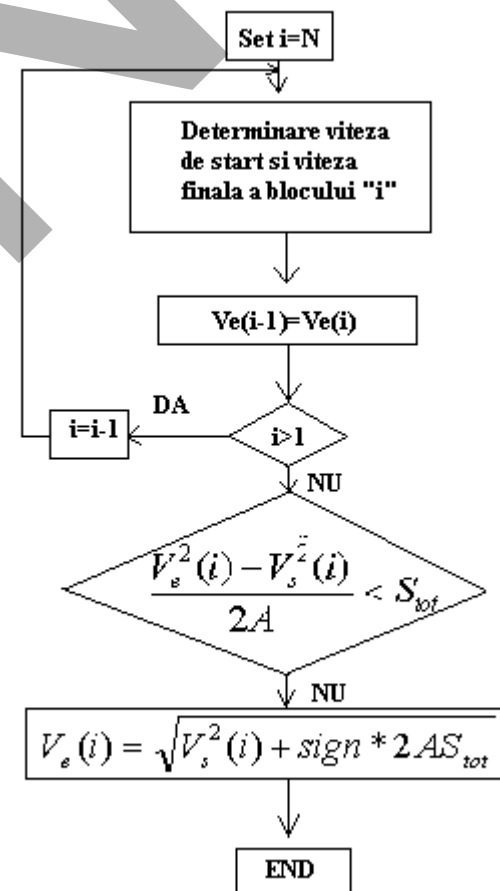


Fig. 6.25


**Simularea utilizării algoritmului Look Ahead**
**1. Echipamentul de comandă numerică**
**2. Elemente de logică industrială**
**3. Interfata OM - MASINA**
**4. Blocul de Masurare**
**5. Blocul de interpolare**
**6. Controlul accelerației /decelerației**
**6.1. Introducere**
**6.2. ADCAI**
**6.3. Controlul deplasării pe axe**
**6.4. ADCBI**
**6.5. Look Ahead**

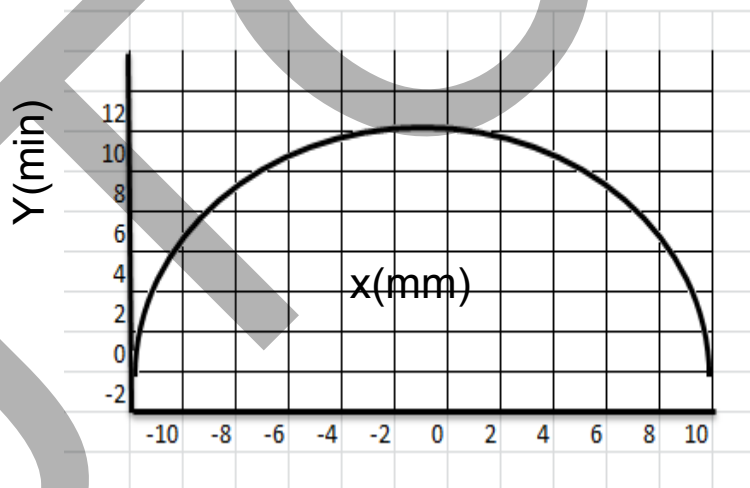
Se consideră traiectoria circulară pentru prelucrarea unei jumătăți de cerc (figura 6.26 )

(6.35)

Calculul vitezei de start/sfârșit se face în ordinea inverse, de la blocul Look-Ahead spre cel current, cu relația:

$$\frac{V_e^2(i) - V_s^2(i)}{2A} < S_{tot}$$

Se verifică dacă există viteză de sfârșit


**Fig. 6.26**

R=10 mm

F=400 mm/min

 Amax=9600 mm/min<sup>2</sup>

Nr. Sep. de aproximativ: 15



**1. Echipamentul de comandă numerică**

**2. Elemente de logică industrială**

**3. Interfata OM - MASINA**

**4. Blocul de Masurare**

**5. Blocul de interpolare**

**6. Controlul accelerației /decelerației**

**6.1. Introducere**

**6.2. ADCAI**

**6.3. Controlul deplasării pe axe**

**6.4. ADCBI**

**6.5. Look Ahead**

Buffer:  $N=2$

Lungimea segmentului:  $2,094 \text{ mm} \pi \times \frac{10}{15}$

Viteza de avans realizabilă:  $141,78 \text{ mm/min}$

Bloc scurt, se pretează aplicarea algoritmului Look Ahead

Deoarece nu există informații despre blocul ce urmează celui următor, se consideră viteza blocului următor zero.

Viteza fezabilă de intrare pentru blocul următor este, conform ecuației

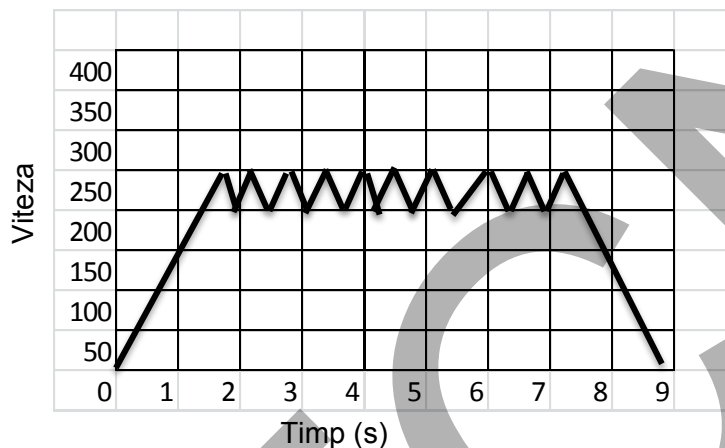
$$V_s = \sqrt{0^2 + 2 \times 2.094 \times 9600} = 200 \text{ mm/min}$$

$$V_s = \sqrt{V_e^2 + 2AS} \quad (6.36)$$

Viteza de intrare fezabilă pentru blocul următor este, conform calculelor, de  $200 \text{ mm/min}$ . Această viteză determină viteza de la sfârșitul blocului curent, fapt pentru care viteza maximă din blocul curent poate atinge valoarea  $245.17 \text{ mm/min}$ .

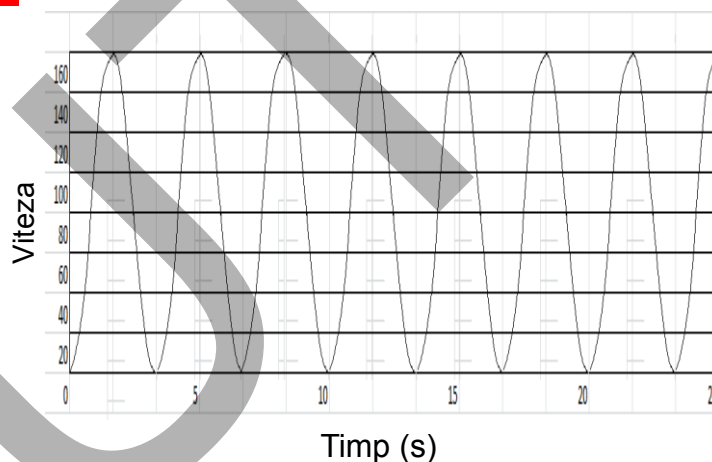


Profilul vitezei obținut este indicat în figura 6.27



**Fig. 6.27**

Fără utilizarea algoritmului Look Ahead profilul vitezei este indicat în figura 6.28.



**Fig. 6.28**

Comparând figurile 6.27 și 6.28 se observă că algoritmul Look Ahead conduce la creșterea vitezei maxime fezabilă fapt ce produce scăderea timpului de prelucrare

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead

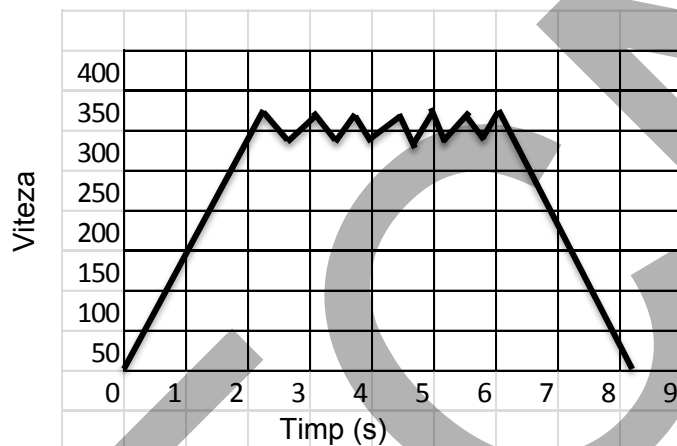


1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead

Dacă crește mărimea bufferului look-ahead la  $N=3$ , viteza maximă ce poate fi atinsă crește (figura 6.29)

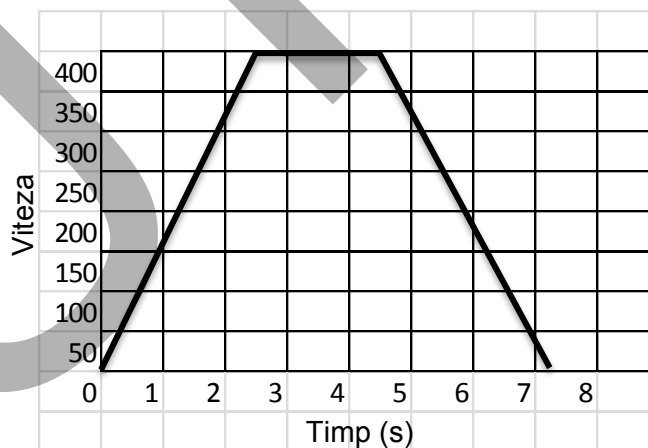


Calculul secvențial al vitezei la sfârșitul blocurilor conduce la valorile: 0, 200 mm/min și 283 mm/min

$$\sqrt{200^2 + 2 \cdot 2.094 \cdot 9600} = 283$$

**Fig. 6.29**

Pentru valoarea  $N=6$  a bufferului, profilul vitezei nu prezintă fluctuații, apare ca profilul în cazul unui bloc normal (figura 6.30)



**Fig. 6.30**

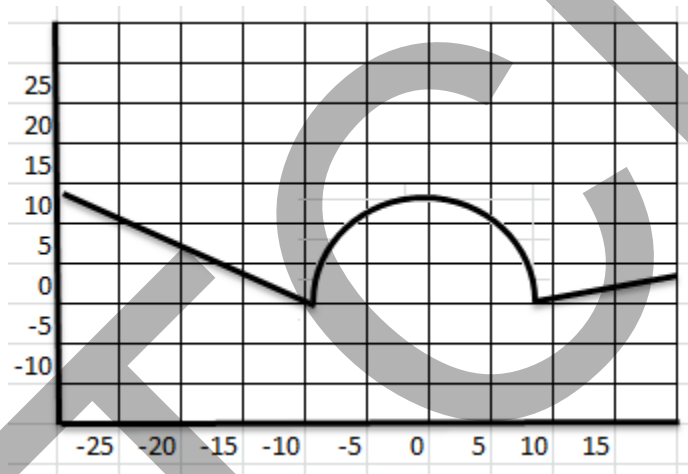


1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead

O situație deosebită apare la succesiune linie/arc de cerc. Viteza la colț trebuie calculată nu numai în raport de lungimea blocului ci și considerând unghiul dintre blocuri pentru calculul vitezei *look-ahead*”.



**Fig. 6.31**

Pentru traiectoria din figura 6.31 se consideră:

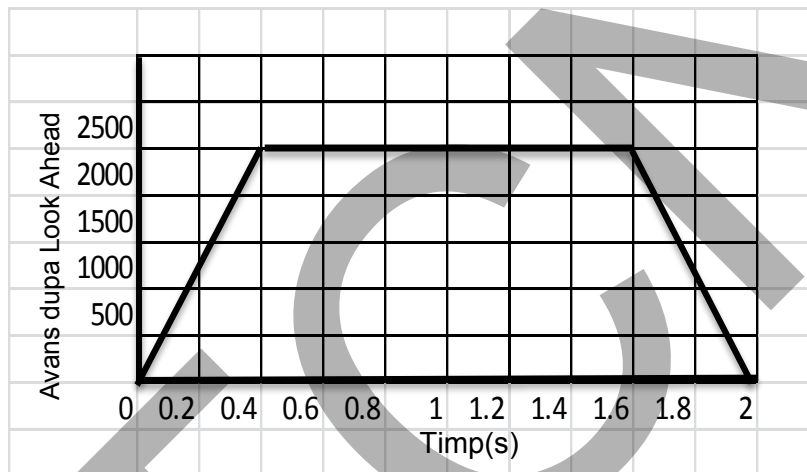
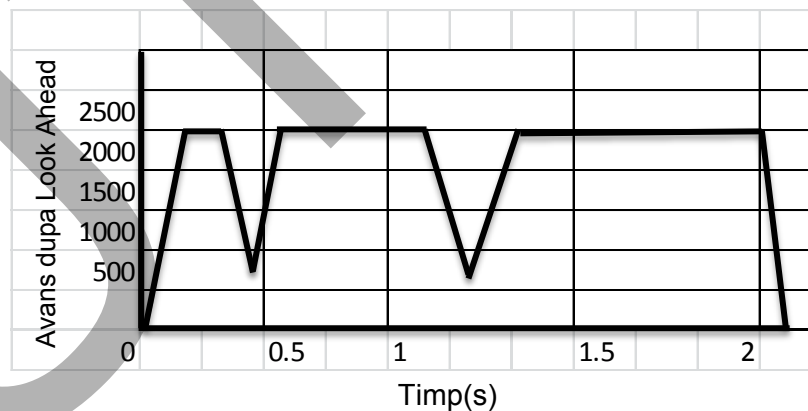
$F$ : 2000 mm/min

$T_a$ : 200 ms

$A_{max}$ : 200000 mm/min<sup>2</sup>



În figura 6.32 s-a reprezentat profilul de viteză considerându-se numai lungimea blocului iar în figura 6.33 și unghiul dintre blocuri. Se observă faptul că viteza la colț scade din cauza valorii accelerației maxime admisibile.


**Fig. 6.32**

**Fig. 6.33**

1. Echipamentul de comandă numerică
2. Elemente de logică industrială
3. Interfata OM - MASINA
4. Blocul de Masurare
5. Blocul de interpolare

## 6. Controlul accelerației /decelerației

- 6.1. Introducere
- 6.2. ADCAI
- 6.3. Controlul deplasării pe axe
- 6.4. ADCBI
- 6.5. Look Ahead



## Bibliografie

- 1. Echipamentul de comandă numerică**
- 2. Elemente de logică industrială**
- 3. Interfata OM - MASINA**
- 4. Blocul de Masurare**
- 5. Blocul de interpolare**
- 6. Controlul accelerației /decelerației**
- 6.1. Introducere**
- 6.2. ADCAI**
- 6.3. Controlul deplasării pe axe**
- 6.4. ADCBI**
- 6.5. Look Ahead**

1. Pop, Ct., s.a. – Masini si instalatii in sisteme robotizate, Ed. Dacia, Cluj Napoca, 1999
2. Sztojanov, I., ș.a. – *De la poarta TTL la MICROPROCESOR*, Ed. Tehnică, seria Electronică aplicată, București, 1987
3. Ștefan, Gh., ș.a. – *Circuite integrate digitale*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983
4. Morris, R., L., Miller, J., L., - *Proiectarea cu circuite TTL*, Ed. Tehnică, București, 1974
5. Suh, S.-H., Kang, S.K., Chung, D.-H., Stroud, I., *Theory and Design of CNC Systems*, ISBN 978-1-84800-336-1, Springer-Verlag London, 2008
6. Morar, L., Pisla, A., Ciorte, M., *Sisteme integrate de prelucrare*, Ed. Dacia, ISBN 973-35-07717, Cluj Napoca, 1998
7. Morar, L., Suport curs MRESFF, Universitatea Tehnica din Cluj Napoca, 2009
8. Gheorghe Bastiurea, *Comanda numerica a masinilor-unelte*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1976
9. <http://www.heidenhain.ro/>
10. <http://www.romdevices.com/categorii/categorie-traductoare-de-deplasare-liniara-4/>
11. [http://www.ifm.com/ifmro/web/pmain/015\\_010\\_030.html](http://www.ifm.com/ifmro/web/pmain/015_010_030.html)
12. L.Morar, C.Pop, D.Pop, S.Bogdan, E.Campean, G.Muresan, *Indrumator pentru lucrari de laborator pentru disciplinele asociate comenzii numerice*, Vol.1, UTPRESS, Cluj Napoca, ISBN 978-973-662-661-6, 2011
13. L.Morar, D.Pop, E.Campean, I.Tanase, *Indrumator pentru lucrari de laborator pentru disciplinele asociate comenzii numerice*, Vol. 2, UTPRESS, Cluj Napoca, ISBN 978-973-662-662-3
14. L.Morar, S.Bogdan, E.Campean, D.Pop, N.Ursa, G.Muresan, *Indrumator de proiectare axa numerica*, UTPRESS, Cluj Napoca, ISBN 978-973-662-740-8
15. <http://fanuc.co.jp/en/product/cnc/index.html>
16. <http://www.fanucsa.co.za/Data/0iD.pdf>
17. Breaz, R., Racz, G., Bologa, O., Oleksik, V., (2012), *Motion Control of Medium Size CNC Machine-Tools - A Hands-on Approach*, the 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2012), Singapore, July 18-20, ISBN 978-1-4577-2118-2, pp. 2112 – 2117
18. Breaz, R.E., (2007), *Automatizări industriale*, Editura Universității “Lucian Blaga” din Sibiu, ISBN 978-973-739-535-1, 350 pag., 2007
19. Catrina, Dumitru, *Mașini-unelte cu comandă numerică : Pentru uzul studenților*, Editura Universității din București, 1993