

Traductoare pentru deplasări liniare și unghiulare

Deplasarea reprezintă mărimea care caracterizează schimbările de poziție ale unui corp sau ale unui punct caracteristic față de un sistem de referință.

Deplasările pot fi *liniare* - când corpul (punctul caracteristic) efectuează o mișcare de translație - reprezentate printr-un vector a cărui direcție rămâne aceeași pe tot timpul mișcării, respectiv *unghiulare* - când corpul (punctul caracteristic) se rotește în raport cu o referință - reprezentate printr-un vector (modul + fază) cu faza variabilă față de referința considerată.

Situarea la foarte mică distanță a unui corp (punct) față de un reper fix se numește *proximitate*. Deplasarea simultană - liniară și unghiulară - a unui punct pe diferite axe în raport cu un sistem de coordonate poartă numele de *traiectorie*.

Traductoarele din această clasă → diversitatea lor funcțională și constructivă.

După tipurile de elemente sensibile (ES) și principiile de funcționare se disting:

- cu ES parametrice tip R , L , C
- cu ES fotoelectrice și modulator al fluxului de radiație luminoasă
- cu ES de tip generator
- cu ES tip laser
- cu ES ultrasonice



Traductoare de deplasare cu elemente sensibile fotoelectrice

Principiul de funcționare → modularea fluxului luminos sub acțiunea organului mobil a cărei deplasare (mărime de intrare) trebuie măsurată.

Principiul de funcționare → o *conversie directă (intrinsecă)* a deplasării în număr (reprezentat binar); de aceea aceste *traductoare* se mai numesc și *pur numerice*.

Modulatoarele folosite pentru modularea fluxului luminos pot fi de două tipuri:

- *rigle optice*, folosite la deplasări liniare;
- *discuri optice*, utilizate pentru deplasări unghiulare.

Ambele categorii de modulatoare pot fi realizate în două variante:

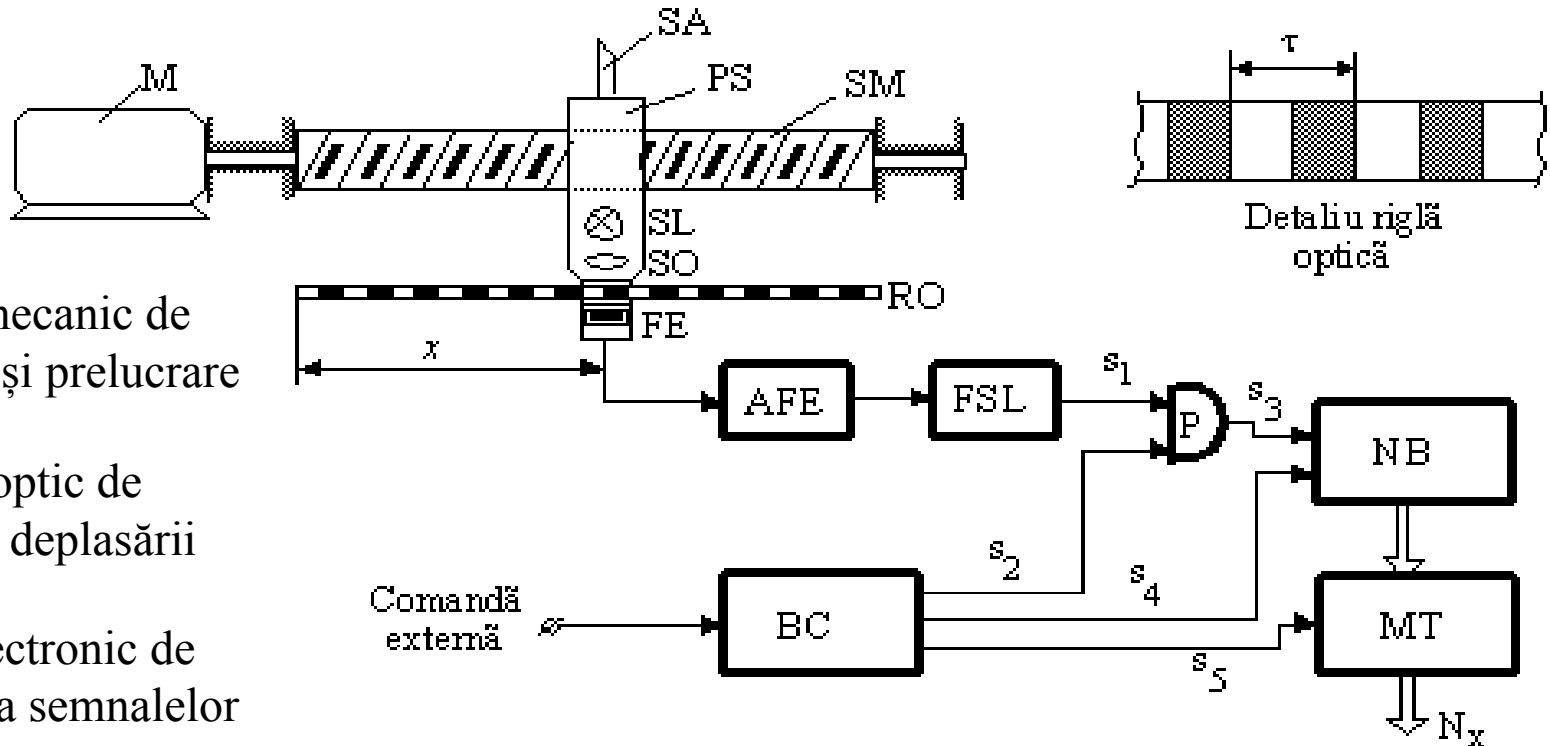
- diascopice* - funcționează pe principiul transparenței, realizate din sticlă prevăzută cu zone transparente și zone opace;
- episcopice* - funcționează pe principiul reflexiei luminii, realizate din metal, având zone care reflectă lumina alternate cu zone care nu o reflectă (obținute prin zgâriere).

Traductoarele de deplasare cu elemente sensibile fotoelectrice se pot clasifica în:

- *varianta incrementală* - la care se incrementează deplasarea pas cu pas între două poziții fixe când sensul deplasării nu se schimbă; referința poate fi alta la repetarea măsurării;
- *varianta absolută* - la care informația despre deplasare se obține în raport cu un reper fix (origine), același la repetarea măsurării.

Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

Un astfel de traductor - reprezentat principal, împreună cu partea mecanică de prelucrare, în fig.12.1 - se compune din următoarele blocuri funcționale:



- sistemul mecanic de poziționare și prelucrare

- sistemul optic de măsurare a deplasării

- blocul electronic de prelucrare a semnalelor

Funcționare:

Fig.12.1. Schema principală a traductorului liniar incremental cu riglă optică

Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

Dacă se folosește o fotodiodă ca fotoelement atunci - fig.12.2,*a* - aceasta se conectează în circuit în conducție inversă - zona de fotodiodă - astfel că la iluminare curentul crește semnificativ.

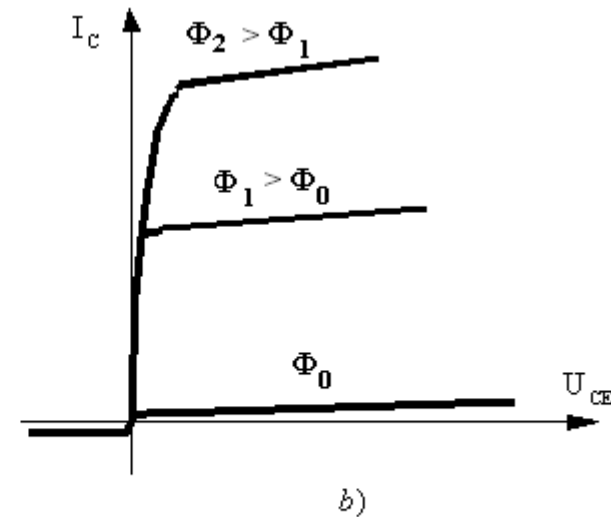
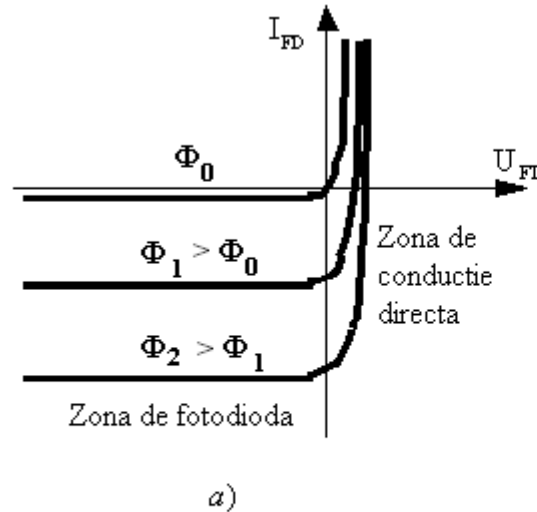


Fig.12.2. Caracteristica statică a unei fotodiode (*a*), respectiv dependența curentului de colector de tensiunea colector-emitor la un fototranzistor (*b*)

Atunci când se folosește un fototranzistor - fig.12.2,*b* - se iluminează joncțiunea colector-bază (baza nu mai este scoasă ca terminal în exterior), iar curentul de colector este modulată de fluxul luminos.

În NB, respectiv MT, se găsește echivalentul numeric al deplasării, adică:
$$N = \frac{x}{\tau}$$
 unde τ este pasul riglei optice (tipic $\tau = 10 \mu\text{m}$).



Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

Observații:

1. Riglele optice: pot fi utilizate până la lungimi de maximum 3 m; la lungimi mai mari se cumulează erorile care apar datorită depunerilor de impurități pe riglă.
2. Ca surse de lumină: becuri cu incandescență sau - cel mai frecvent - LED-uri.
3. Sistemul optic SO: realizat cu lentile care focalizează fluxul luminos pe suprafața activă a fotoelementului.
4. La schimbarea sensului de rotație al motorului, în NB vor fi numărate în continuare (incrementate) impulsurile și nu decrementate, → nu se știe sensul deplasării. O nouă poziționare presupune deplasarea de la același reper și resetarea numărătorului.
5. În timp apar perturbații (urme de praf, material rezultat din prelucrare <<șpan>>, urme de ulei etc) care influențează sistemul optic - diminuează intensitatea fluxului luminos care cade pe suprafața activă a fotoelementului.

Eliminarea unora din neajunsurile semnalate mai sus, ca și creșterea sensibilității
o *grilă de citire* ca în fig.12.3.

Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

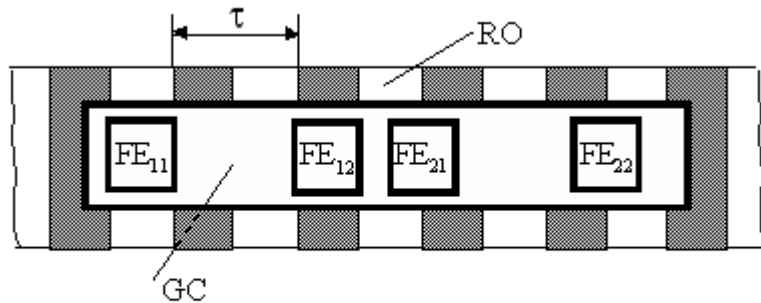


Fig. 12.3. Dispunerea fotoelementelor în fantele realizate pe grila de citire GC în raport cu pasul τ al riglei optice RO fixe

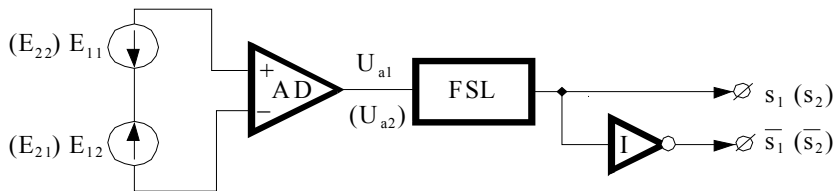


Fig. 12.5. Schema de prelucrare a semnalelor obținute de la fotoelemente

Pe grila de citire GC sunt realizate 4 fante în care se dispun cele 4 FE. Fantele F_{11} și F_{12} , respectiv F_{21} și F_{22} , sunt în opoziție de fază, în timp ce F_{21} este în cuadratură spațială față de F_{12} . În consecință, semnalele obținute de la cele 4 fotoelemente plasate în aceste fante vor fi cvasisinusoidale, decalate între ele cu 90° electrice ca în fig. 12.4.

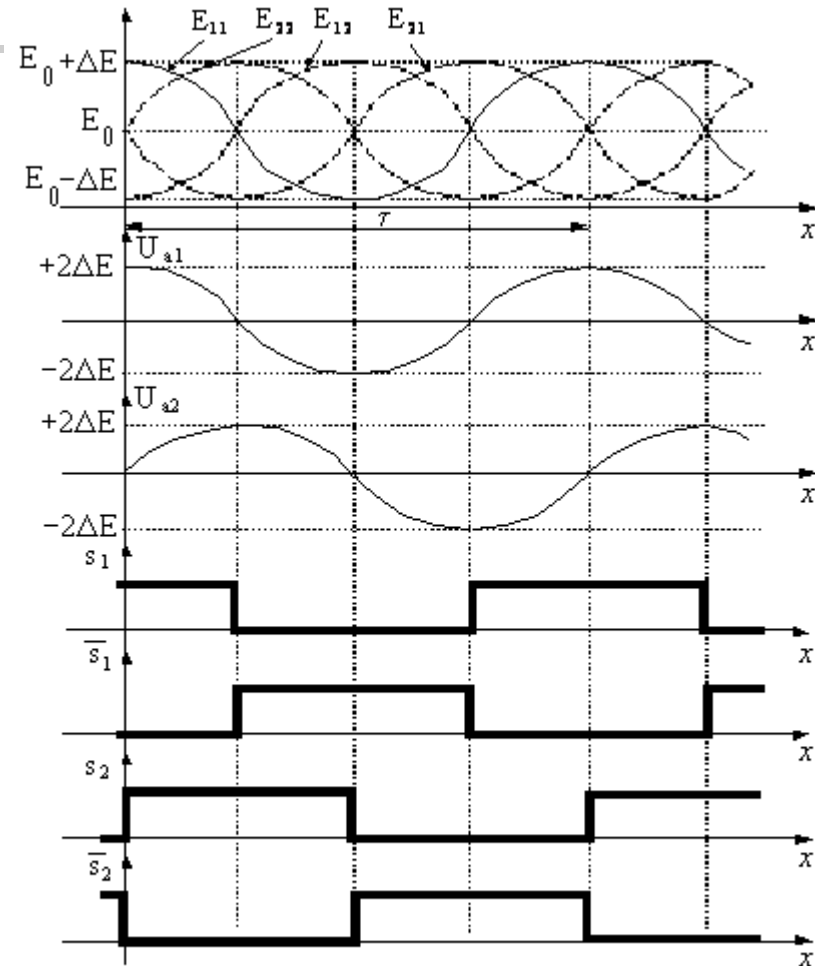


Fig. 12.4. Semnalele obținute de la fotoelemente și prelucrarea acestora

Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

Semnalele normale și cele negate sunt prelucrate în continuare de o schemă logică combinațională în care intră și 4 semnale generate pe frontul negativ, respectiv pozitiv, ale semnalelor s_1 și s_2 (fig.12.6).

Folosind 4 monostabili declanșați pe front, se generează semnalele A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , după cum urmează:

$$A_1 \rightarrow s_1 \downarrow; \quad A_2 \rightarrow s_1 \uparrow;$$

$$B_1 \rightarrow s_2 \downarrow; \quad B_2 \rightarrow s_2 \uparrow$$

Aceste semnale, împreună cu s_1 , s_2 , realizează sensurile de deplasare astfel:

$$s_{dr} = A_1 \cdot s_2 \vee B_1 \cdot \bar{s}_1 \vee A_2 \cdot \bar{s}_2 \vee B_2 \cdot s_1$$

$$s_{st} = A_1 \cdot \bar{s}_2 \vee B_1 \cdot s_1 \vee A_2 \cdot s_2 \vee B_2 \cdot \bar{s}_1$$

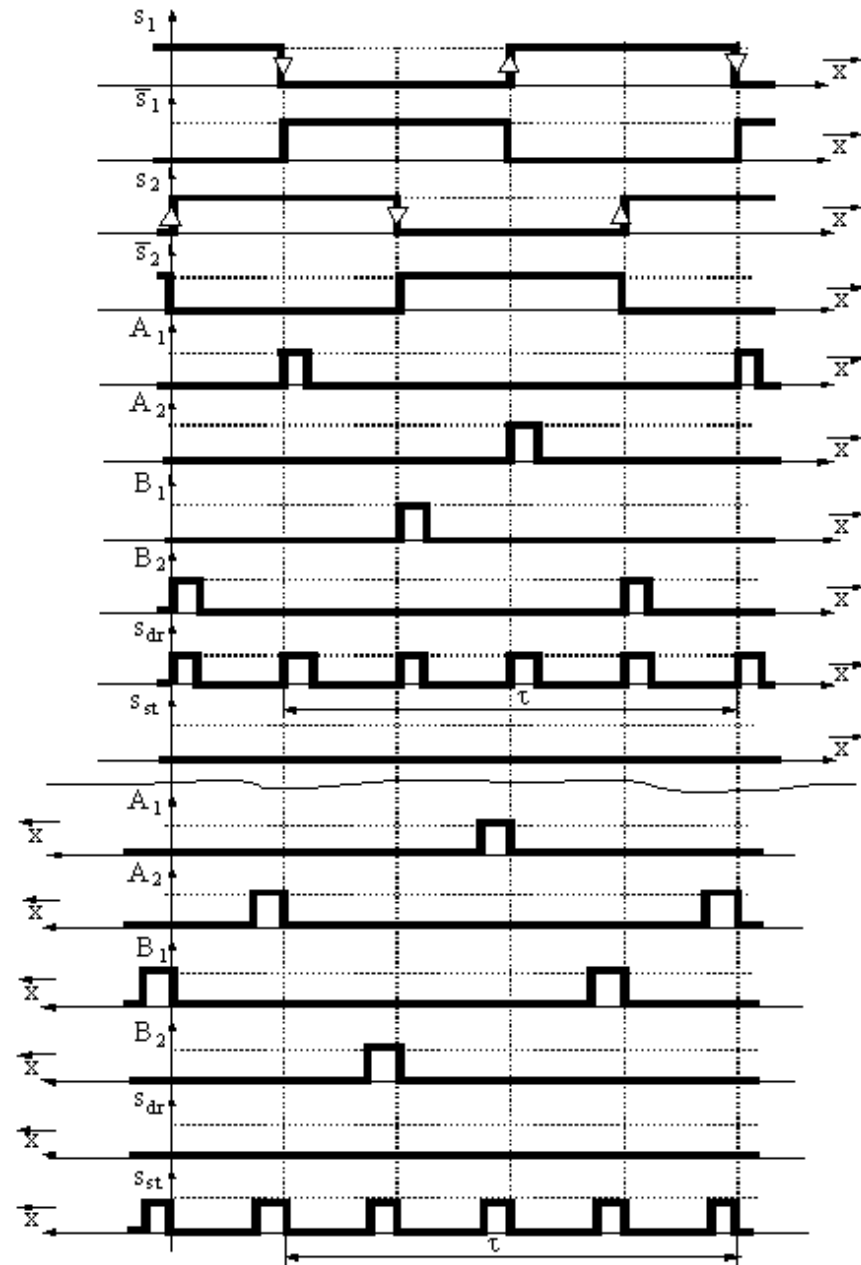


Fig.12.6. Diagrama de semnale rezultată din prelucrarea combinațională

Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

Dacă grila de citire GC se deplasează spre dreapta (prima parte a reprezentării din fig.12.6) pe ieșirea s_{dr} se obțin 4 impulsuri la fiecare pas τ al riglei optice RO, în timp ce pe ieșirea s_{st} nici un impuls

Aplicând impulsurile obținute s_{dr} pe intrarea de numărare directă ND a unui numărător reversibil NR - fig.12.7 - acestea vor fi acumulate, în sens direct de numărare

În momentul schimbării sensului deplasării se schimbă și fronturile semnalelor s_1 și s_2 , iar A_1 , A_2 , B_1 și B_2 vor apare conform reprezentării din fig.12.6 partea ultimă.

În consecință, pe ieșirea s_{dr} nu va apare nici un impuls, în timp ce pe s_{st} apar 4 impulsuri/ τ

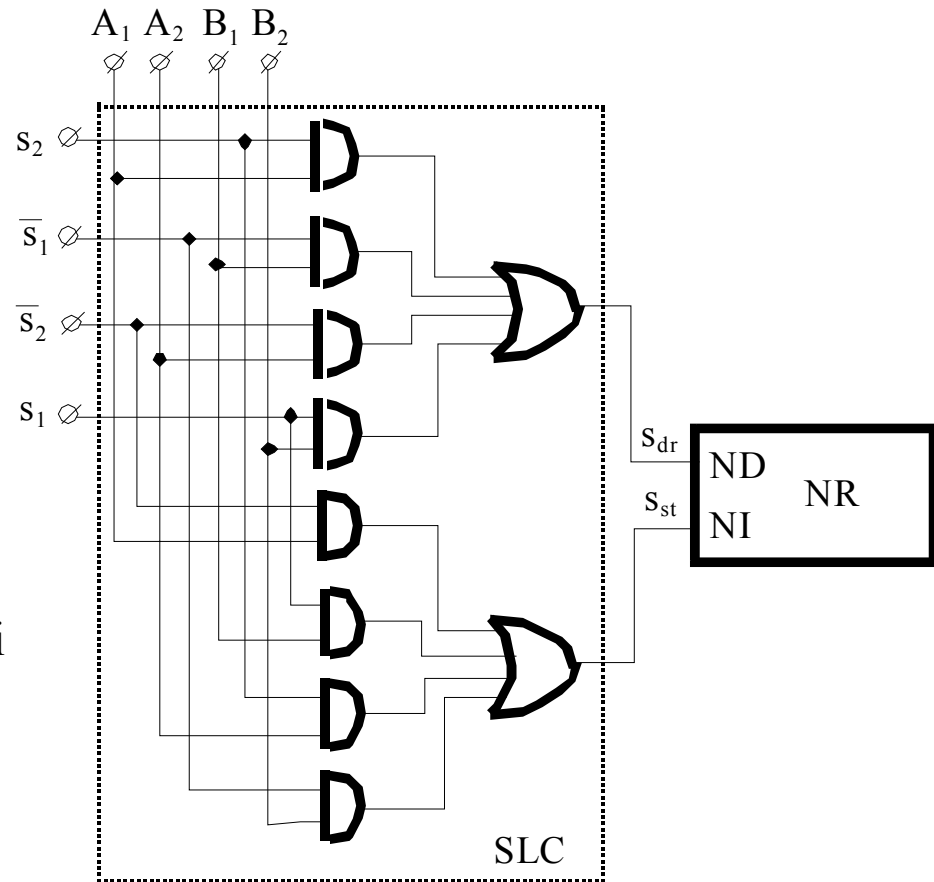


Fig.12.7. Schema de obținere a sensului de deplasare și acumulare a impulsurilor

Traductoare numerice incrementale de deplasare liniară cu riglă optică

Observații:

1. Prin această modalitate de realizare a grilei de citire GC și a schemei de numărare a impulsurilor, se permite efectuarea de poziționări multiple plecând de la același reper (referință) relativă;
2. Pe rigla optică sunt prevăzute - din loc în loc - la distanțe egale cu un număr (același) întreg de pași τ (1000 sau 10.000) zone de corecție, prin care se permite controlul numărării corecte din NR. Dacă între două repere fixe nu s-au adunat/scăzut numărul de impulsuri corespunzător (fie s-au pierdut impulsuri, fie au apărut impulsuri suplimentare parazite) se procedează la corecția informației din NR.
3. Schema de citire a riglei optice cu grilă de citire permite deci discriminarea sensului deplasării și creșterea rezoluției.
4. La căderea alimentării, informația memorată în NR se pierde, iar poziționarea trebuie reluată de la început urmând pașii programați.

Traductoare numerice absolute pentru deplasări liniare și unghiulare cu riglă optică

Spre deosebire de traductoarele incrementale, traductoarele absolute permit conservarea informației după o cădere accidentală a tensiunii de alimentare. După revenirea alimentării, prin citirea poziției absolute a riglei față de un reper fix, se regăsește aceeași valoare avută înainte de căderea alimentării.

Această proprietate este asigurată prin folosirea unei rigle optice prevăzute cu mai multe piste și un număr corespunzător de capete de citire.

După modul de trasare a pistelor se disting:

- piste în cod binar-natural;
- piste în cod Gray.

În fig.12.10,*a* se prezintă codificarea riglei optice în cod binar-natural, iar în fig.12.10,*b* codificarea în cod Gray.

Folosind o schemă de citire a riglei optice ca în fig.12.11, compusă - pentru fiecare pistă - din o sursă luminoasă SL, un sistem optic SO, un fotoelement FE, un amplific. de fotoelement AFE, un formator de semnal logic FSL, se obține direct informația numerică - codificată binar-natural sau Gray - memorată în memoria temporară MT.

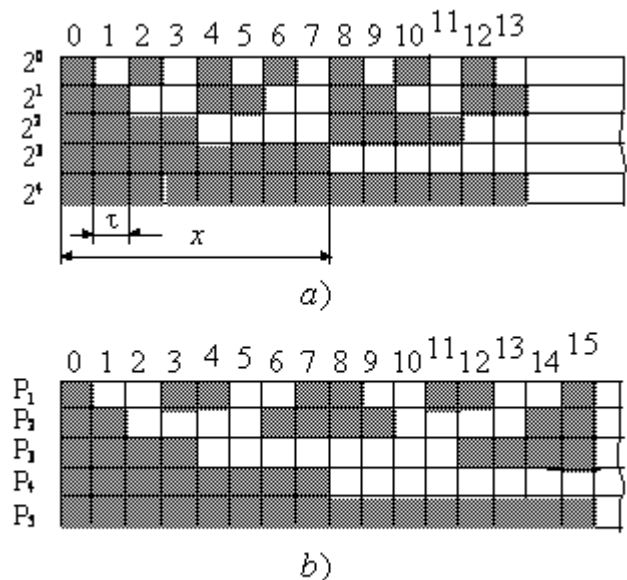


Fig.12.10. Riglă optică codificată binar-natural (a), respectiv Gray (b)

Traductoare numerice absolute pentru deplasări liniare și unghiulare cu riglă optică

Codul Gray este un cod monostropic, adică între două poziții binare vecine - oricare ar fi acestea - se constată modificarea unei singure poziții binare (cod reflexiv)

Această proprietate importantă a codului Gray, care îl face imun la citiri ambigue, este “umbrită” de faptul că acest cod nu este ponderat

Codul binar-natural este un cod polistropic - deci la trecerea de la o poziție la alta vecină pot avea loc mai multe modificări de poziții binare (a se vedea trecerea din 7 în 8 unde au loc 4 modificări simultane de poziții binare)

Pentru a nu se crea ambiguități se folosește *citirea în V* reprezentată principal în fig.12.12.

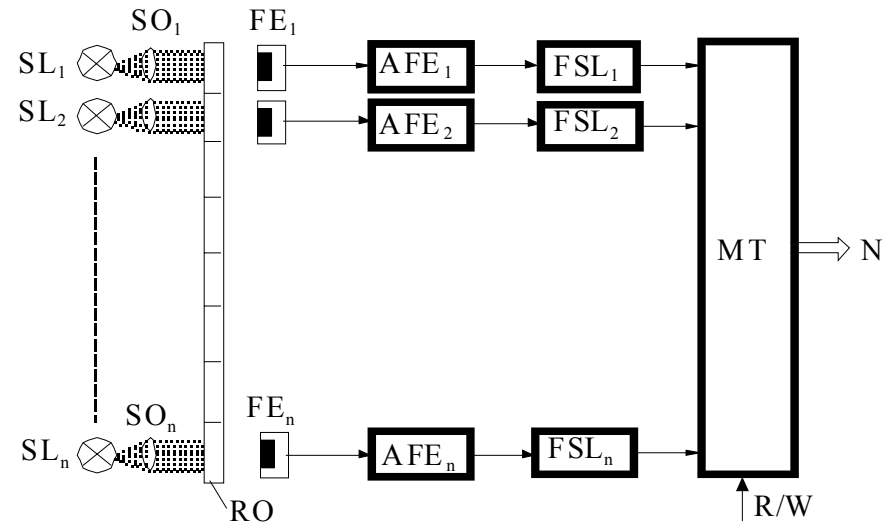


Fig.12.11. Schema principală de citire a riglei optice

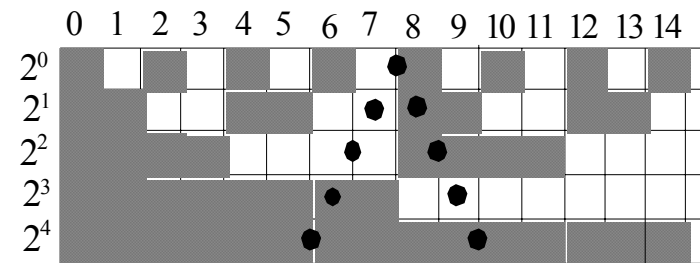


Fig.12.12. Principiul citirii în V a riglei optice

Traductoare numerice absolute pentru deplasări liniare și unghiulare cu riglă optică

Pe fiecare pistă - excepție face pista 2^0 - se folosesc câte două sisteme de citire dispuse la $1\tau, 2\tau, 3\tau, \dots$ adică în formă de V.

Când informația corepunzătoare pistei 2^0 este "1", pe pista 2^1 se va reține informația provenită de la fotoelementul din stânga, iar dacă pista 2^0 este "0" atunci se va reține informația de la fotoelementele din dreapta etc....

În consecință, algoritmul de implementare este de forma

$$s_{i+1} = \left(2_{st}^{i+1} \cdot s_i \right) \vee \left(2_{dr}^{i+1} \cdot \bar{s}_i \right)$$

a cărei realizare cu porți SI, SAU, NU este prezentată în fig.12.13.

Cu același algoritm prezentat în relația se poate folosi *principiul citirii în U* a riglei optice, schema de implementare a algoritmului este cea prezentată în fig.12.13.

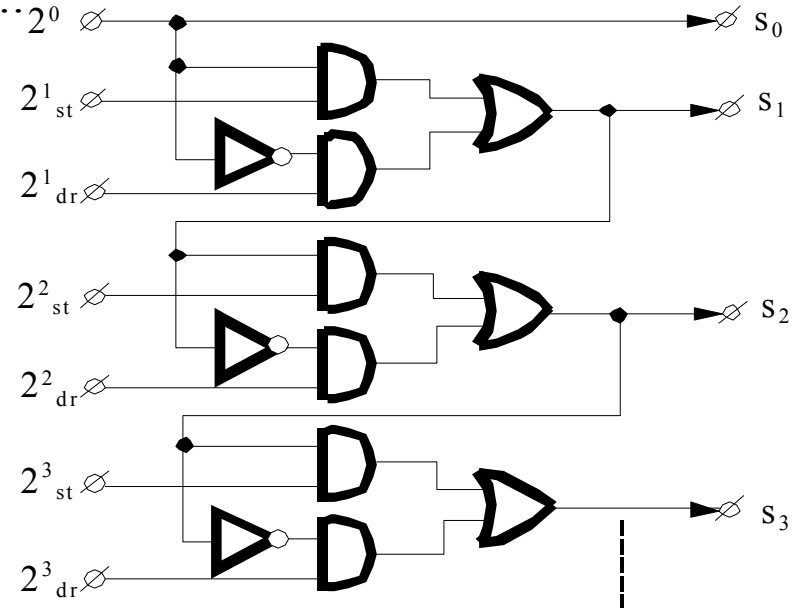


Fig.12.13. Implementarea algoritmului citirii în V pentru cazul riglei din fig.12.11

Traductoare numerice absolute pentru deplasări liniare și unghiulare cu riglă optică

Referitor la utilizarea codificării în cod Gray - fig.12.10,*b* - se remarcă simplificarea modului de citire a informației de pe pistele riglei, în sensul că o citire în linie nu conduce la nici o ambiguitate.

Practic, riglele liniare cu piste codificate pot fi folosite pentru lungimi de până la 1m cu maximum 12 piste, astfel că rezultă o rezoluție

$$\tau = \frac{1\text{m}}{2^{12} - 1} = \frac{1\text{m}}{4095} \cong 0,25 \text{ mm.}$$

Pentru creșterea rezoluției se procedează la utilizarea unui modulator realizat sub forma unei *cremaliere de măsurare* și un sistem de *discuri codate* absolut prevăzute cu un *pinion* de cuplare.

În fig.12.15,*a* se prezintă un exemplu de realizare a unui disc codat absolut - pe 5 piste - în codul Gray. Practic, astfel de discuri pot avea până la maximum 8 piste codificate Gray sau binar-natural.

In fig.12.15,*b* se exemplifică realizarea unui traductor absolut unghiular folosit la măsurarea deplasărilor liniare.

Traductoare numerice absolute pentru deplasări liniare și unghiulare cu riglă optică

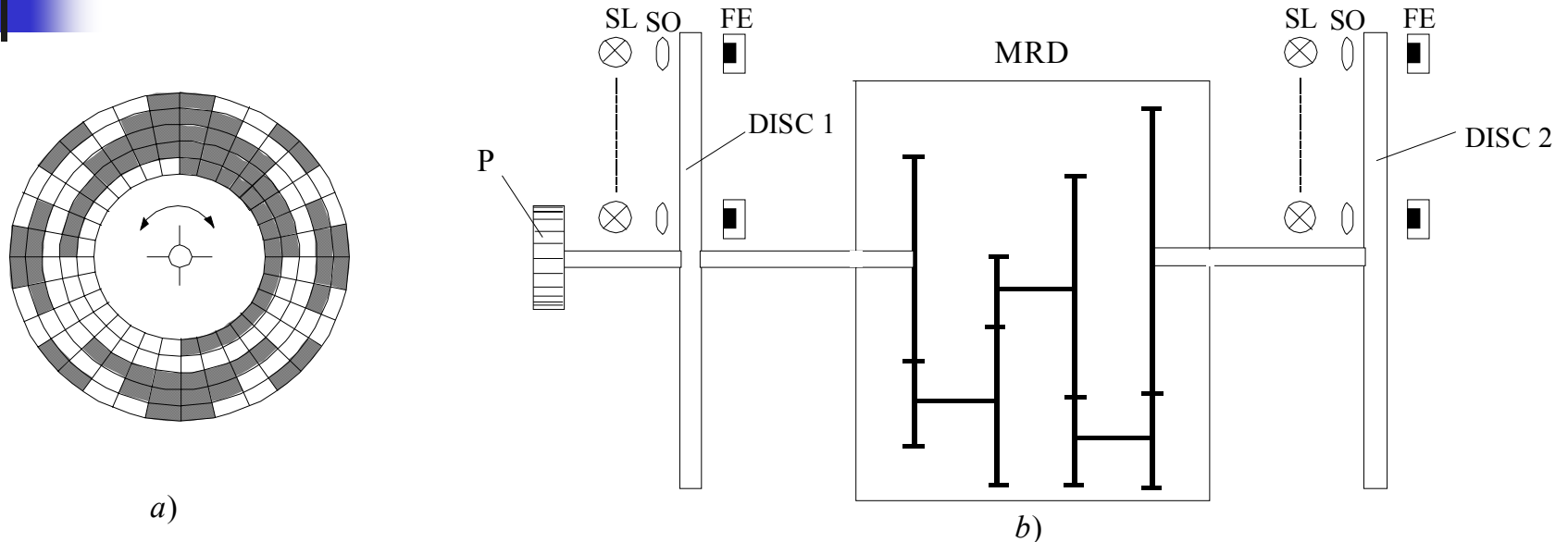


Fig.12.15. Exemplu de disc codat absolut (cod Gray - figura a), respectiv de creștere a rezoluției folosind două discuri identice cu 8 ranguri (piste) binare (figura b)

Discurile optice 1 și 2 sunt identic realizate - fiecare cu 8 piste, codificate absolut - între ele existând cuplajul mecanic, realizat cu multiplicatorul cu roți dințate MRD, având factorul de multiplicare 2^8 .

Dacă presupunem că $\tau = 2$ mm, iar pinionul P are 10 dinți, atunci rezoluția este

$$\Delta = \frac{20 \text{ mm}}{2^{16} - 1} \cong 0,3 \mu\text{m}.$$

Traductoare de deplasare liniară cu ultrasunete

Funcționarea acestor traductoare se bazează pe măsurarea timpului parcurs - dus întors - de un puls ultrasonic de-a lungul unui ghid de undă.

Schema de principiu a traductorului ultrasonic este prezentată în fig.13.4.

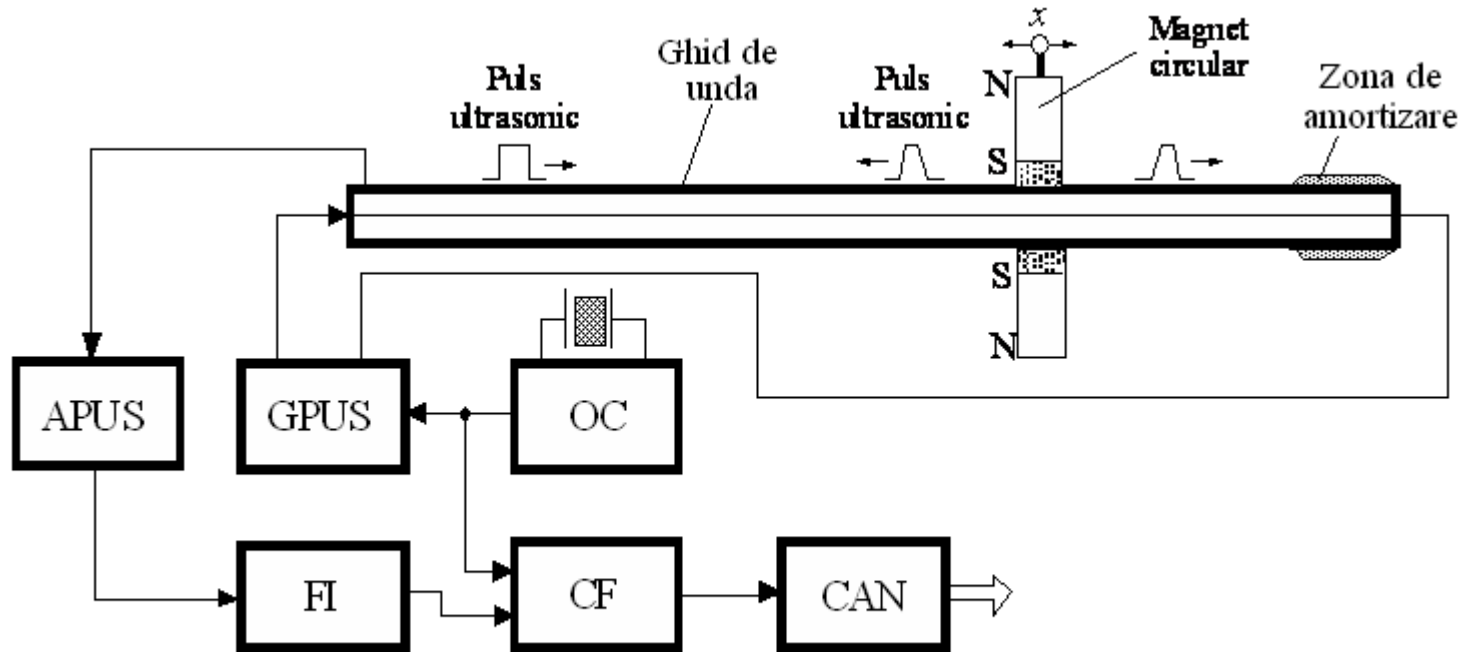


Fig.13.4. Schema de principiu a traductorului ultrasonic de deplasare liniară

Traductoare de deplasare liniară cu ultrasunete

Elementul sensibil constă dintr-un tub senzor, realizat din material feromagnetic, care constituie un ghid de undă, protejat cu un material nemagnetic.

În interiorul tubului este un fir de cupru pentru aplicarea pulsului ultrasonic.

Un magnet circular înconjoară tubul senzor, acesta fiind atașat părții mașinii a cărei deplasare este măsurată.

De la generatorul de pulsuri ultrasonice GPUS, pilotat de oscilatorul cu cuarț OC, sunt transmise pulsuri pe firul de cupru, care produc câmpuri magnetice în jurul firului, având în vedere că tubul senzor este feromagnetic.

Magnetul circular mobil generează în ghidul de undă un câmp magnetic longitudinal.

Când câmpul magnetic al pulsului electric întâlnește pe cel al magnetului permanent, datorită efectelor magnetostrictive care apar în ghidul de undă, se generează un puls ultrasonic, care este propagat către ambele terminale ale ghidului de undă.

Pulsul spre dreapta este “absorbit” de zona de amortizare special construită la acest capăt, pe când cel din stânga este preluat de amplificator, format în impuls de FI (formator de impulsuri) și comparat în fază (CF - comparator de fază) cu impulsul emitent, diferența - ca fază temporală - fiind transformată în informație numerică de CAN (convertor analog-numeric de tip durată de impuls - echivalent numeric).

Traductoare de deplasare liniară cu ultrasunete

Așadar, timpul măsurat între lansarea unui puls electric și recepția unui puls sonic este o măsură directă a distanței dintre sursa pulsului și magnetul circular. Viteza de propagare a pulsului sonic [Philips] este de 2800 m/s, fiind constantă pe o gamă largă de variație a temperaturii, întrucât materialul ghidului de undă este special tratat în acest scop.

Cu astfel de traductoare se pot obține rezoluții de $\pm 0,1$ mm, pentru lungimi până la 10 m; au aplicații curente la mașini unelte (dar și la măsurarea nivelului), având ca avantaje:

- măsoară deplasări absolute;
- nu necesită măsuri speciale de întreținere.