

Aparate electronice de măsurat

Anul III

Bibliografie:

Traian Jurca, Dan Stoiciu, Septimiu Mischie *Aparate electronice de masurat*, Editura Orizonturi Universitare Timisoara 2001

1. Osciloscop de uz general (schema bloc, mod de functionare)
paragraf § 1.2.1.

1.2.1. Schema bloc. Functionarea osciloscopului

Osciloscopul analogic de uz general este destinat analizei semnalelor periodice. El este un osciloscop în timp real, adică pe ecranul său se obține o reprezentare directă a semnalului de vizualizat, existând o corespondență biunivocă între punctele imaginii și punctele de pe curba semnalului. (După cum se va vedea mai jos, această corespondență lipsește la osciloscoapele cu eșantionare).

Schema bloc a osciloscopului este prezentată în fig. 1.1.

Piesa principală a osciloscopului este tubul catodic. Pentru obținerea unei imagini luminoase, ecranul luminiscent al acestuia este bombardat cu un fascicul de electroni. În locul de impact apare un punct luminos, denumit *spot*. Spotul poate fi deplasat pe ecran cu ajutorul a două sisteme de deflexie: verticală (Y) și orizontală (X). Deflexia poate fi electrostatică (cu plăci de deflexie) sau electromagnetică (cu bobine de deflexie). Datorită avantajelor pe care le oferă în ce privește viteza de răspuns, la osciloscoape se folosește cu precădere deflexia electrostatică, motiv pentru care în continuare numai aceasta va fi prezentată.

La tuburile catodice cu deflexie electrostatică, sistemele de deflexie sunt alcătuite din două perechi de plăci de deflexie, notate Y (pentru deflexia verticală) și, respectiv, X (pentru deflexia orizontală). Acestor perechi de plăci li se aplică tensiunile u_y și u_x , iar deplasarea spotului pe fiecare direcție este practic proporțională cu aceste tensiuni.

Pentru vizualizarea dependenței unei tensiuni de o altă tensiune, plăcilor X li se aplică tensiunea în funcție de care se dorește reprezentarea tensiunii aplicate plăcilor Y (K3 în poziția 2).

Pentru vizualizarea formei de variație în timp a unei tensiuni, aceasta se aplică la plăcile Y, iar la plăcile X se aplică o tensiune liniar variabilă (K3 în poziția 1). Necesitatea unei tensiuni liniar variabile rezultă din aceea că deplasarea pe orizontală a spotului, proporțională cu u_x , trebuie să fie proporțională cu timpul și, ca urmare, u_x trebuie să fie proporțională cu timpul.

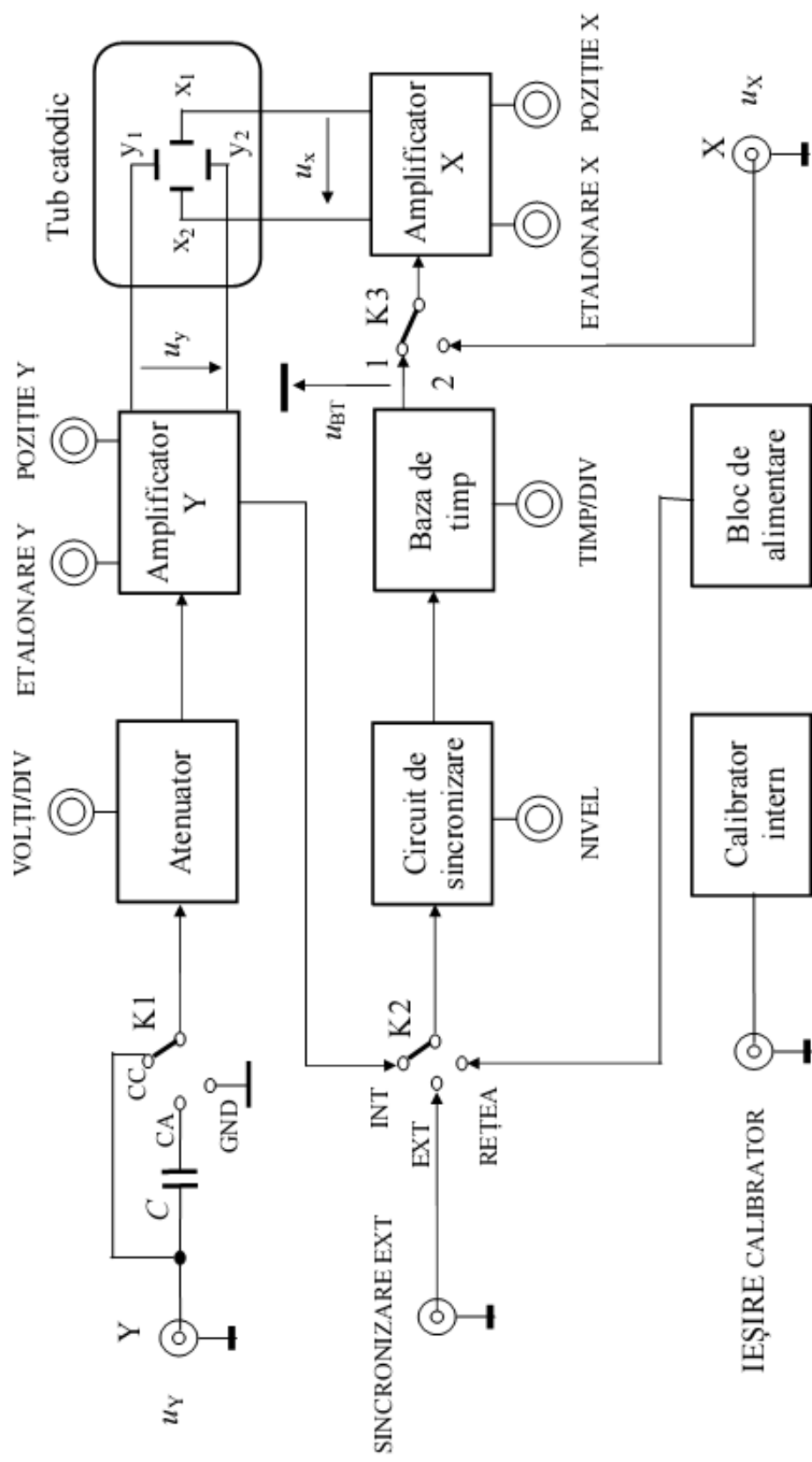


Fig. 1.1. Schema bloc a osciloscopului analogic de uz general.

Obținerea unei imagini stabile (staționare) se bazează pe suprapunerea pe ecran a mai multor imagini *identice*, un rol esențial în acest sens revenindu-i circuitului de sincronizare, descris în paragraful 1.2.5.

Tensiunea u_Y este atenuată sau amplificată pentru a asigura nivelul necesar pentru comanda plăcilor Y. Comutatorul V/DIV permite modificarea dimensiunii verticale a imaginii (modificarea sensibilității osciloscopului).

Comutatorul K1 permite conectarea tensiunii u_Y la intrarea ATY fie direct (K1 în poziția CC), fie prin condensator (K1 în poziția CA), caz în care componenta continuă a tensiunii u_Y este suprimată. În această situație se poate vizualiza corespunzător componenta alternativă a unei tensiuni cu componentă continuă mare (de exemplu, o tensiune redresată și filtrată). În poziția GND (GrouND) a lui K1, intrarea ATY este conectată la masă, ceea ce permite reglarea poziției verticale a nivelului zero, prin deplasarea corespunzătoare a imaginii, cu ajutorul potențiometrului POZIȚIE Y .

Comutatorul K2 permite alegerea modului de sincronizare: cu semnalul de vizualizat, cu un semnal extern sau cu rețeaua. Utilitatea fiecărui mod de sincronizare, precum și rolul potențiometrului NIVEL vor fi prezentate în paragraful 1.2.5.

Comutatorul TIMP/DIV permite vizualizarea corespunzătoare a semnalelor, indiferent de frecvența acestora, prin modificarea coeficientului de baleiaj pe orizontală.

Calibratorul intern furnizează una sau mai multe tensiuni dreptunghiulare având frecvența și valoarea vârf la vârf cunoscute cu o precizie acceptabilă, necesare pentru etalonarea celor două axe ale ecranului tubului catodic. Aceasta se realizează cu ajutorul potențioetrelor ETALONARE Y și, respectiv, ETALONARE X.

Observație. Regimul calibrat este singurul pentru care sunt valabili coeficienții de deflexie inscripționați pe panoul frontal (comutatoarele V/DIV și, respectiv, TIMP/DIV) .

Blocul de alimentare asigură alimentarea tuturor circuitelor osciloscopului, precum și polarizarea adecvată a electrozilor tubului catodic.

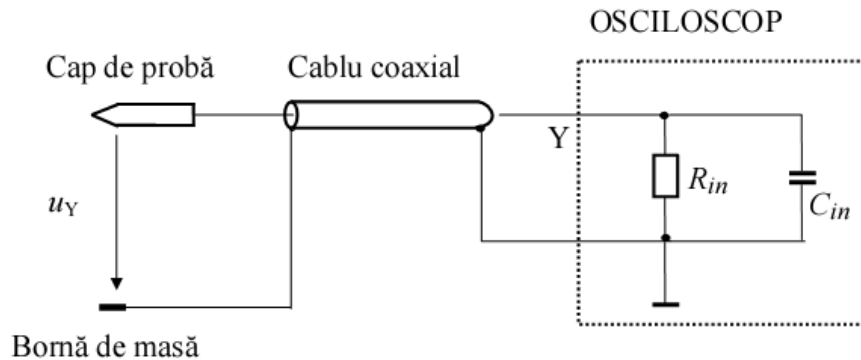
2. Sonda cu atenuator pentru osciloscopul de uz general (schema, proiectarea elementelor din schema)

paragraf § 1.2.3,

1.2.3. Sonda

Sonda este elementul care permite aplicarea tensiunii de studiat la intrarea Y, fără ca acest semnal să fie influențat de perturbațiile exterioare. În plus, sonda trebuie astfel realizată încât să influențeze cât mai puțin circuitul în care se conectează.

O sondă este constituită dintr-un cap de probă CP urmat de un cablu coaxial CC care face legătura cu osciloscopul (fig. 1.4).



Sondele pot fi *pasive* sau *active*. Sondele pasive pot fi *cu* sau *fără atenuator*.

Sondele active conțin în capul de probă dispozitive de amplificare care permit obținerea unei impedanțe de intrare mari (R - mare, de ordinul a $100\text{ M}\Omega$ și C - mic, de ordinul a 3 pF), în condițiile unei amplificări unitare.

Sondele pasive fără atenuator au avantajul că nu atenuează semnalul, în schimb au dezavantajul că prezintă o rezistență de intrare relativ scăzută (R_{in}) și o capacitate de intrare foarte mare deoarece la C_{in} se adună capacitatea cablului coaxial, care este de ordinul a zeci de pF/m . În mod uzual, impedanța de intrare a ansamblului osciloscop-sondă fără atenuator este $1\text{ M}\Omega$ în paralel cu 150 pF .

Sondele pasive cu atenuator în capul de probă (fig. 1.5) au dezavantajul că atenuează semnalul, în schimb prezintă avantajul unei impedanțe de intrare ridicate (R - mare, de ordinul a $10\text{ M}\Omega$, C - mic, de ordinul a 7 pF).

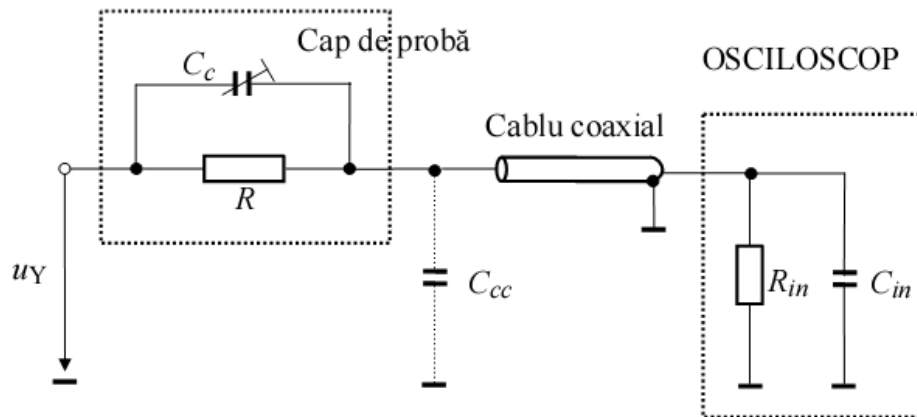


Fig. 1.5. Sondă cu atenuator în capul de probă.

Observație. Capacitatea de compensare a sondei C_c este ajustabilă pentru a permite îndeplinirea condiției de compensare indiferent de valoarea capacităților C_{in} și C_{cc} , adică indiferent de osciloscop și de lungimea și tipul cablului coaxial.

Aplicație. Un osciloscop are $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$ și $C_{in} = 30 \text{ pF}$. Cablul coaxial utilizat pentru sondă are o capacitate parazită de 70 pF/m . Să se calculeze elementele impedanței de intrare a osciloscopului în cazul unei sonde fără și cu atenuator $10 : 1$, la o lungime $l = 1,5 \text{ m}$ a cablului coaxial. Să se calculeze, de asemenea, modulul impedanței de intrare în cele două cazuri, pentru frecvența de 10 MHz .

Soluție. Notând cu R_i și C_i elementele impedanței de intrare căutate, în cazul sondei fără atenuator, pe baza fig. 1.4 se obține:

$$R_i = R_{in} = 1 \text{ M}\Omega ,$$

$$C_i = C_{cc} + C_{in} = 70 \times 1,5 + 30 = 135 \text{ pF} .$$

La frecvența de 10 MHz , reactanța capacitivă a lui C_i este

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^7 \cdot 135 \cdot 10^{-12}} \cong 120 \text{ } \Omega ,$$

mult mai mică decât R_i , astfel încât modulul impedanței de intrare a osciloscopului la această frecvență este practic de $120 \text{ } \Omega$.

În cazul sondei cu atenuator, în capul de probă, pe baza fig. 1.5 și a relațiilor (1.1) și (1.2) și ținând cont și de atenuarea de 10 ori a sondei, se poate scrie:

$$R = 9 R_{in} = 9 \text{ M}\Omega,$$

$$C_c = \frac{1}{9}(C_{cc} + C_{in}) = \frac{135}{9} = 15 \text{ pF},$$

$$R_i = R + R_{in} = 10 \text{ M}\Omega,$$

$$C_i = \frac{C_c(C_{cc} + C_{in})}{C_c + C_{cc} + C_{in}} = 13,5 \text{ pF}.$$

La frecvența de 10 MHz, reactanța capacitivă a lui C_i este de 10 ori mai mare în situația sondei cu atenuator (1200 Ω).

Din cele de mai sus se observă că, în cazul sondei cu atenuator, componentele impedanței de intrare sunt îmbunătățite - față de cazul sondei fără atenuator - cu un factor de 10, egal cu raportul de atenuare al sondei.

3. Tehnica eșantionării secvențiale (principiul, caracteristici)
paragraf § 1.3.2. pag 25,

1.3.2. Tehnici de eșantionare utilizate în osciloscoapele numerice

Tehnicile de eșantionare utilizate în osciloscoapele numerice sunt: eșantionarea secvențială, eșantionarea aleatoare și eșantionarea în timp real.

Eșantionarea secvențială este ilustrată în fig. 1.9.

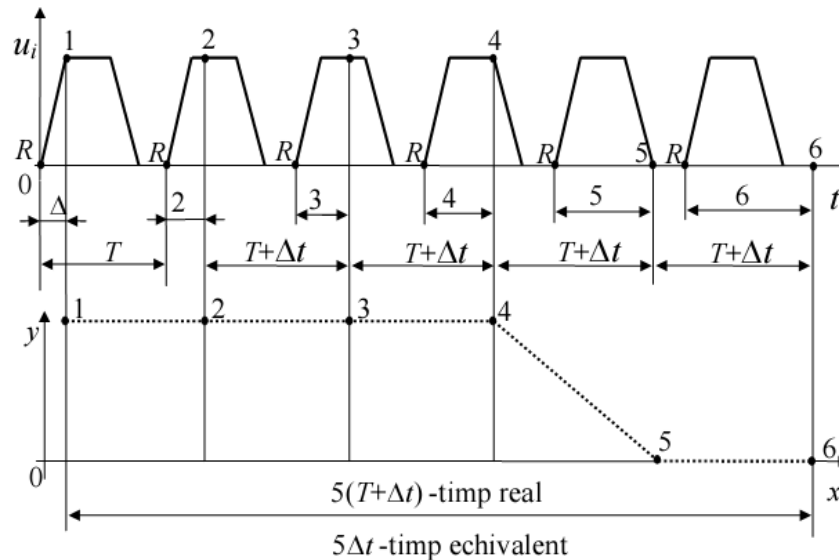


Fig. 1.9. Eșantionarea secvențială.

Ea se poate aplica numai în cazul semnalelor periodice și constă în prelevarea în fiecare perioadă a semnalului de vizualizat a câte unui eșantion, eșantioanele succesive fiind întârziate tot mai mult față de un moment de referință R . Primul eșantion este prelevat cu o întârziere Δt față de momentul de referință R . Perioada de eșantionare este $T + \Delta t$, T fiind perioada semnalului. Ca urmare, în cea de-a doua perioadă a semnalului, eșantionul va fi prelevat cu o întârziere $2\Delta t$. În cea de-a treia perioadă a semnalului, eșantionul va fi prelevat cu o întârziere $3\Delta t$ față de momentul de referință R ș.a.m.d. Deși eșantioanele sunt culese în perioade diferite, aparent ele aparțin aceleiași perioade. Perioada aparentă de eșantionare este Δt , iar în realitate ea este $T + \Delta t$. Dacă se ia, de exemplu, $\Delta t = 0,01T$, atunci perioada de eșantionare este aproximativ T , iar perioada aparentă de eșantionare este de $0,01T$. Ca urmare, folosind această tehnică, banda de frecvențe a osciloscopului poate crește foarte mult, având în vedere faptul că frecvența aparentă de eșantionare este de 100 de ori mai mare decât frecvența reală de eșantionare.

4. Generator sinusoidal RC de joasa frecventa (schema, relatia pentru frecventa de oscilatie, rolul reactiei negative)

paragraf § 2.2.1. pag.43,

c) Generatoare RC. Oscilatorul RC intră în componența celor mai multe generatoare de joasă frecvență. În schema de principiu prezentată în figura 2.4 se observă că amplificatorul A este prevăzut cu două reacții: una negativă realizată cu termistorul R_T și rezistența R și una pozitivă realizată cu impedanța Z_1 (formată din rezistența R_1 în serie cu capacitatea C_1) și impedanța Z_2 (formată din rezistența R_2 în paralel cu capacitatea C_2).

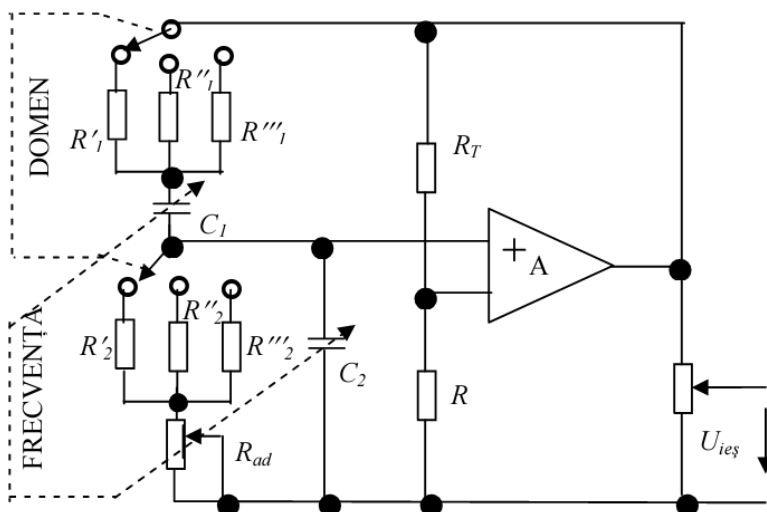


Fig.2.4. Oscilatorul RC.

$$\bar{A} \cdot \bar{B} = 1 \quad (2.9)$$

sau

$$A \cdot B \exp [j (\varphi + \Psi)] = 1 \quad (2.10)$$

Unde:

$\bar{A} = A \cdot \exp (j\varphi)$ este factorul de câștig al amplificatorului A , iar $\bar{B} = B \cdot \exp (j\Psi)$ este factorul de reacție, ambele exprimate sub formă de numere complexe.

Relația 2.10 poate fi desfăcută în două condiții:

1) condiția de amplitudine:

$$A \cdot B = 1 \quad (2.11)$$

2) condiția de fază:

$$\varphi + \Psi = 2\pi n \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots \dots) \quad (2.12)$$

Pentru circuitul din figura 2.4, condiția de fază este îndeplinită pentru o singură frecvență, iar valoarea acesteia va fi calculată în cele ce urmează.

Deoarece amplificatorul A are o bandă de frecvență acoperitoare pentru domeniul de frecvențe generat, defazajul introdus de el este constant și anume $\varphi = 2\pi$. Ca urmare $\bar{A}$ este un număr real. Ținând seama și de condiția 2.12, rezultă că și $\bar{B}$ trebuie să fie real. Din figura 2.4 factorul de reacție poate fi explicitat:

$$\bar{B} = \frac{\bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} \quad (2.13)$$

Înlocuind :

$$\bar{Z}_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \quad \bar{Z}_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2} \quad (2.14)$$

În practică, ținând seama de ușurința realizării elementelor reglabile se iau:

$$R_1 = R_2 = R; \quad C_1 = C_2 = C. \quad (2.15)$$

Rezultă :

$$\bar{B} = \frac{1}{3 + j(\omega CR - 1/\omega CR)} \quad (2.16)$$

Din relația 2.16 se observă că $\bar{B}$ devine real și ia valoarea $B = 1/3$ în cazul valorii particulare a pulsației

$$\omega = \frac{1}{RC} . \quad (2.17)$$

Relația (2.17) arată că pentru modificarea frecvenței de oscilație, altfel spus, pentru îndeplinirea condiției de fază, trebuie modificate valorile RC . Din această cauză, rețeaua ce alcătuiește reacția pozitivă se mai numește rețea de defazare (în cazul dat în figura 2.4 rețeaua de defazare este o rețea Wien).

Înlocuind $B = 1/3$ în relația (2.11) aflăm valoarea $A = 3$ pentru care este satisfăcută condiția de amplitudine. Un oscilator construit în jurul unui amplificator cu o amplificare așa de mică este foarte instabil și de aceea în practică se folosește un amplificator cu o amplificare A_0 în buclă deschisă foarte mare, iar aceasta e redusă la $A = 3$ cu ajutorul unei reacții negative. În cazul din figura 2.4 reacția negativă este realizată cu un termistor cu coeficient de temperatură negativ a cărui valoare este R_T și cu rezistența R . Constanta de timp a termistorului este mult mai mare decât perioada cea mai mare a oscilației generate de oscilator. În felul acesta, rezistența termistorului va depinde doar de valoarea efectivă a tensiunii de ieșire și nu va înregistra modificări sensibile pe durata unei perioade a oscilației generate. Prezența termistorului asigură și stabilizarea în amplitudine a oscilațiilor.

5. Voltmetru de curent continuu (caracteristici, schema de principiu, functionare) paragraf § 3.2.1.

3.2.1. Schema bloc. Funcționare

În figura 3.1. se arată schema bloc a unui voltmetru numeric la care circuitele de comandă (realizate fie cu logică cablată, fie cu microprocesor) pot lucra în două moduri:

-LOCAL, atunci când programarea lor se face de la panoul frontal PF, panou pe care se face și afișarea rezultatelor, depășirea de domeniu, funcționarea defectuoasă;

-REMOTE (distanță), atunci când programarea lor și prelucrarea rezultatelor se face de la distanță prin intermediul unei interfețe standard (IS). În aparatura de măsurare se întâlnește cel mai des interfața IEEE 488 și mai rar RS 232.

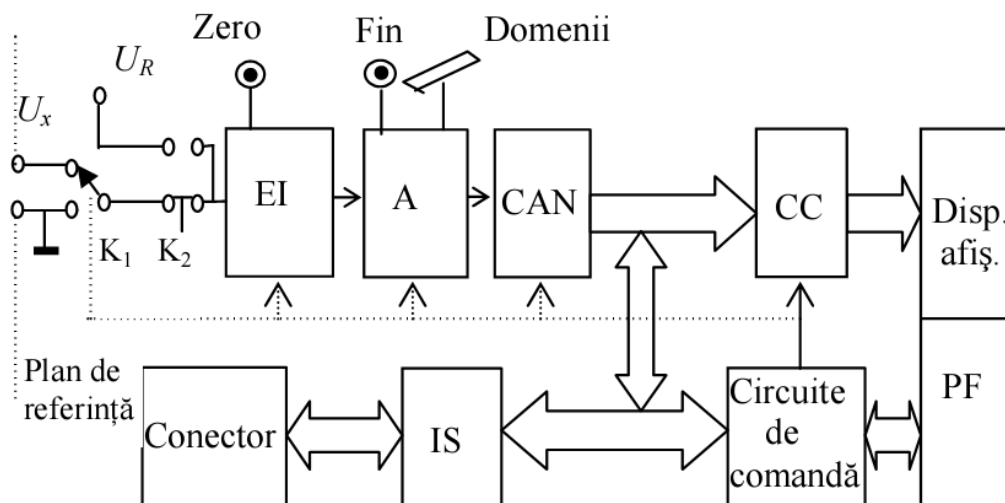


Fig. 3.1. Schema bloc a unui voltmetru numeric.

Prin intermediul comutatorului K_1 etajul de intrare EI poate fi conectat la tensiunea necunoscută U_x sau la potențialul masei. Corecția de zero este monitorizată de către circuitele de comandă.

Comutatorul K_2 ne dă posibilitatea să verificăm al doilea punct de pe caracteristica de transfer prin măsurarea unei tensiuni de referință U_R cunoscute. Eventualele ajustări se realizează cu potențiometrul "Fin" din cadrul amplificatorului A. Schimbarea de domenii se face prin modificarea amplificării și prin schimbarea raportului de divizare (figura 3.2.).

Un convertor analog-numeric CAN, furnizează la ieșire un număr, cel mai adesea în cod binar, proporțional cu tensiunea măsurată. Convertorul de cod CC face transformarea în cod zecimal, care prin afișare, este mai ușor interpretat de operatorul uman.

6. Etaj de intrare pentru voltmetre de curent continuu (caracteristici, schema de principiu, functionare)

paragraf § 3.2.2.

3.2.2. Etajul de intrare

Asigură impedanța de intrare ridicată și o derivă a nulului cât mai mică.

În figura 3.2. este reprezentat un circuit de intrare compus dintr-un atenuator rezistiv, cu trei trepte de atenuare și un amplificator cu reacție negativă cu două trepte de amplificare. Prin combinarea treptelor de atenuare $x1$, $x0,01$ și

x0,001 și a treptelor de amplificare x1 și x10 se obțin cinci game de măsurare.

Se observă că pe gamele de intrare 0,1V și 1V rezistența de intrare este mare (intrarea neînversoare a AO realizează uzual rezistențe de intrare în jur de 100 M Ω), pe când pe gamele de 10V, 100V și 1000V rezistența de intrare este de 10 M Ω (dată de divizorul rezistiv).

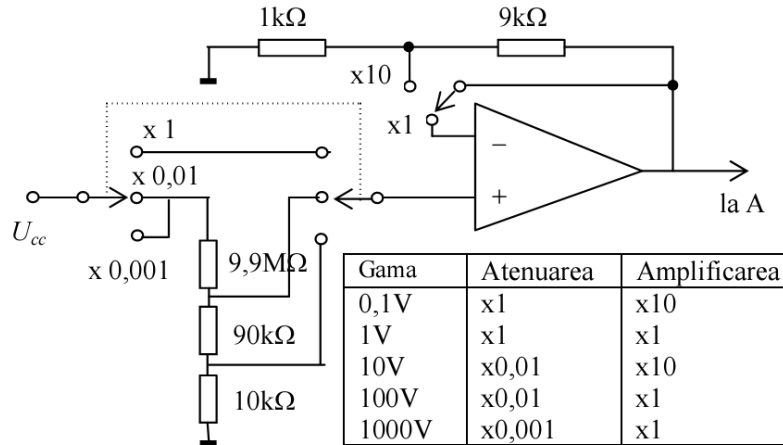


Fig.3.2. Etajul de intrare al unui voltmetru electronic.

7. Convertor analog numeric cu dubla integrare (schema de principiu, functionare) paragraf § 3.2.3. pag 70,

Convertorul analog-numeric cu dublă integrare convertește tensiunea continuă de măsurat într-un interval de timp proporțional, care este apoi măsurat pe cale numerică. Structura de principiu simplificată a unui astfel de convertor este redată în figura 3.3. Funcționarea convertorului comportă două faze: integrarea tensiunii de măsurat și, apoi, integrarea tensiunii de referință.

În prima fază, comutatorul K este pus în poziția 1 și la intrarea integratorului se aplică tensiunea de măsurat $-U_x$. Admitem, în continuare că U_x este pozitivă, deci $-U_x$ este negativă. Admitem, de asemenea, că amplificatorul operațional din integrator este ideal, în sensul că are amplificare infinită, curent de intrare nul și tensiune de decalaj nulă. Ca urmare, punctul 0 poate fi considerat practic legat la masă, iar curentul

prin rezistența R , în faza 1, are valoarea constantă dată de expresia

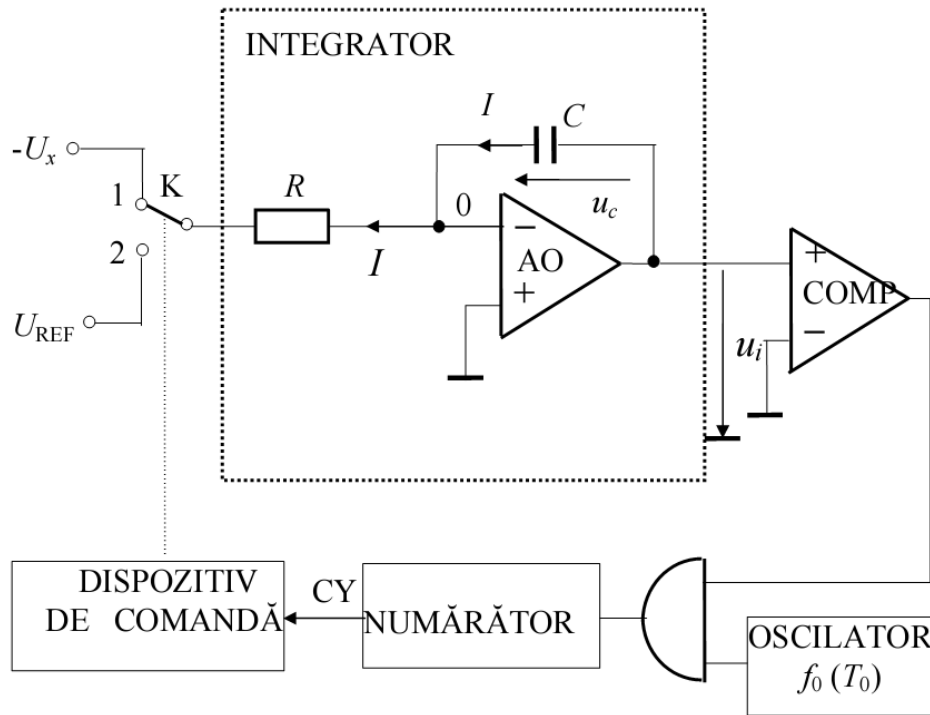


Fig. 3.3. Structura convertorului analog-numeric cu dublă integrare.

$$I = \frac{U_x}{R} \cdot \quad (3.3)$$

Același curent parcurge și condensatorul C și, în consecință, tensiunea pe condensator va avea expresia

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int \frac{U_x}{R} dt = \frac{U_x}{RC} \int dt = \frac{U_x}{RC} t, \quad (3.4)$$

adică, pe condensator tensiunea crește liniar în timp (figura 3.4).

Faza 1 are durata fixă T_1 . La sfârșitul acestei faze, tensiunea de la ieșirea integratorului, care este aceeași cu tensiunea de pe condensator, are valoarea $U_{i\max}$ dată de relația:

$$U_{i\max} = \frac{U_x}{RC} T_1. \quad (3.5)$$

8. Convertor curent - tensiune pentru multimetre electronice (cerinte, schema de principiu)
paragraf § 3.3.1.

3.3.1. Convertor curent-tensiune

Pentru măsurarea curentului continuu se poate folosi circuitul din figura 3.9.

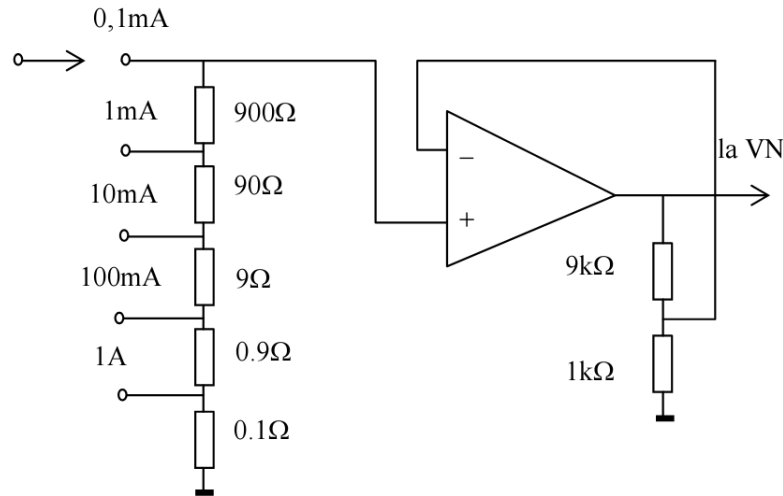


Fig. 3.9. Schema unui convertor curent-tensiune.

Curentul de măsurat parcurge un șunt comutabil producând o cădere de tensiune nominală de 100 mV. Se observă că amplificatorul de curent continuu este același cu cel din figura 3.2, dar fixat pe poziția x10. La ieșirea amplificatorului se furnizează spre voltmetrul numeric o tensiune între 0 și 1V pentru fiecare domeniu de măsurare a curentului.

În cazul în care căderea de tensiune pe rezistența șuntului (rezistență ce poate avea o valoare însemnată la măsurarea curenților mici) deranjează funcționarea în care are loc măsurarea, se utilizează un convertor curent-tensiune cu amplificator transimpedanță, figura 3.10.

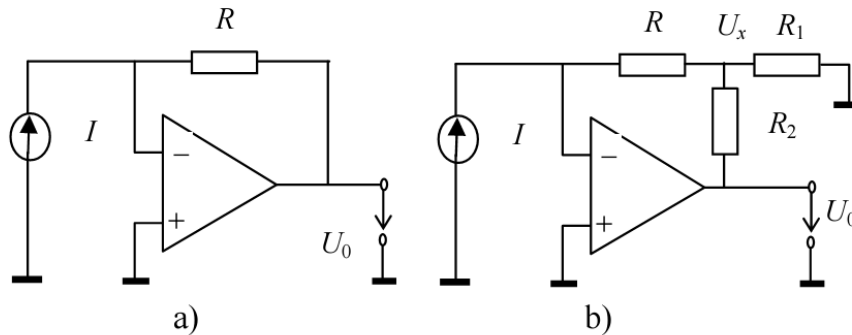


Fig. 3.10. Amplificatoare de transimpedanță.

Tensiunea de ieșire este:

$$U_0 = AI, \quad (3.12)$$

iar pentru circuitul din figura 3.10.a) avem:

$$U_0 = -RI \quad (3.13)$$

Putem calcula valoarea rezistenței R pentru diferite sensibilități. De exemplu, pentru $1V/mA$ avem $R=1k\Omega$, iar pentru $1V/\mu A$ avem $R = 1M\Omega$. Pentru sensibilități mai mari valoarea lui R devine nepermis de mare.

Circuitul din figura 3.10.b) elimină necesitatea unei valori foarte mari pentru R . În nodul rețelei T avem

$$U_x = -RI, \quad (3.14)$$

iar din relația lui Kirchhoff pentru curenți avem

$$\frac{0 - U_x}{R} + \frac{0 - U_x}{R_1} = \frac{U_x - U_0}{R_2} \quad (3.15)$$

Eliminând tensiunea U_x obținem:

$$U_0 = -R_{ech}I, \quad (3.16)$$

unde

$$R_{ech} = \left(1 + \frac{R_2}{R} + \frac{R_2}{R_1}\right)R \quad (3.17)$$

Se observă că R este înmulțit cu un factor supraunitar a cărui mărime este controlată de raportul R_2/R_1 .

9. Conversoare curent continuu – curent alternativ de pentru valori medii (schema de principiu, functionare, erori la măsurarea valorii efective). paragraf § 3.3.3.

Valoarea medie redresată a unei tensiuni alternative este valoarea medie în timp a modulului tensiunii

$$U_{med} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |u(t)| dt \quad (3.28)$$

Conversoarele c.a.-c.c. de valoare medie se realizează practic întotdeauna prin redresarea tensiunii alternative (figura 3.15.a), b). Circuitul din figura 3.15.a) funcționează ca un redresor monoalternanță și folosește un amplificator operațional pentru a corecta neliniaritatea diodelor. În semialternanța negativă a tensiunii de intrare, D_1 este blocată, D_2 conduce, iar raportul dintre valorile instantanee u_2/u_1 este egal cu R_2/R_1 cu o precizie foarte bună. În semialternanța pozitivă a tensiunii de intrare D_1 conduce, amplificarea este mică, D_2 este blocată iar tensiunea de ieșire este practic nulă.

Schema din figura 3.15.b) realizează redresarea dublă alternanță, iar amplificatorul operațional corectează practic orice neliniaritate a diodelor (deoarece amplificarea cu reacție crește când rezistența diodelor este mare și scade în situația contrară). Schema poate fi folosită și ca redresor simplă alternanță dacă ieșirea se consideră între A sau B și masă.

Ambele scheme din figura 3.15. au banda de frecvență limitată în special datorită prezenței amplificatoarelor operaționale.

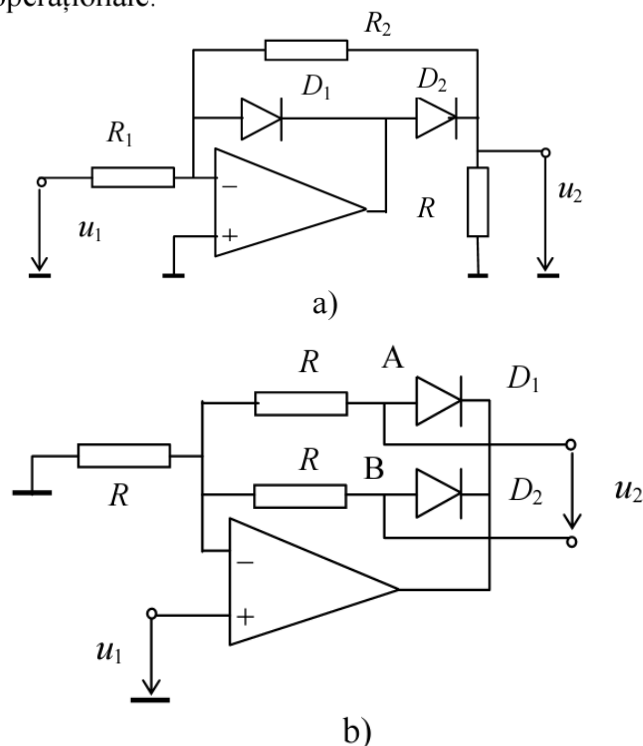


Fig.3.15. Scheme de conversoare c.a.-c.c. de valoare medie.

Pentru a netezi tensiunea pulsatorie rezultată din redresarea simplă sau dublă alternanță, convertoarele c.a.-c.c. de valoare medie au la ieșire un filtru trece jos și cum în tehnică interesează cel mai adesea valoarea efectivă, amplificarea globală a filtrului este 1,11. Ca urmare, un astfel de convertor c.a.-c.c. măsoară corect valoarea efectivă doar în cazul unei tensiuni sinusoidale la intrare (fără armonici și fără zgomot alb).

În cele ce urmează vom studia erorile ce apar între valoarea indicată de un voltmetru de valori efective echipat cu convertor c.a.-c.c. de valori medii și valoarea efectivă adevărată pentru câteva tipuri de formă de undă la intrare: o undă triunghiulară și o undă dreptunghiulară (figura 3.16.).

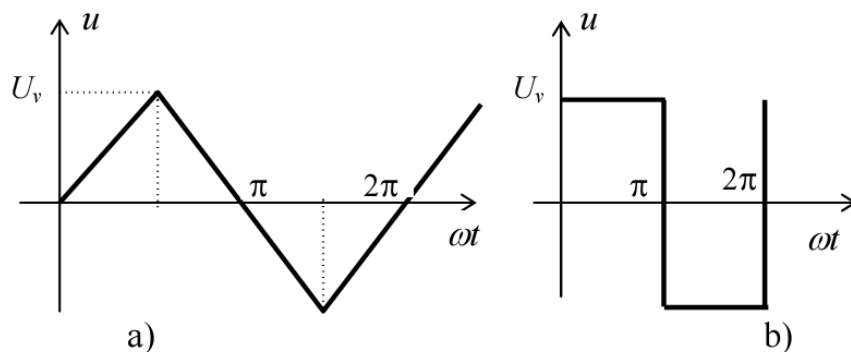


Fig. 3.16. Forma de undă triunghiulară și dreptunghiulară.

Calculăm valoarea medie în modul a unei tensiuni triunghiulare (figura 3.16.a)), a cărei valoare de vârf este U_v :

$$U_{med} = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{2U_v}{\pi} t dt = \frac{U_v}{2} \quad (3.29)$$

Valoarea efectivă a aceleiași unde este:

$$U = \sqrt{\frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{4U_v^2}{\pi^2} t^2 dt} = \frac{U_v}{\sqrt{3}} \quad (3.30)$$

Putem calcula eroarea ce apare între valoarea indicată de un voltmetru de valori efective echipat cu un convertor c.a.-c.c. de valori medii și valoare efectivă adevărată, eroare ce apare la măsurarea tensiunilor triunghiulare.

$$\varepsilon = \frac{1,11/2 - 1/\sqrt{3}}{1/\sqrt{3}} 100 = -3,81\%$$

Pentru cazul unde dreptunghiulare calculele sunt simple deoarece valoarea medie este egală cu valoarea efectivă. Deci, voltmetrul va indica cu 11% mai mult decât valoarea efectivă adevărată.

Totodată se observă că unda dreptunghiulară are, față de oricare altă formă de undă, cel mai mic raport dintre valoarea efectivă și valoarea medie. Se poate spune deci, că un voltmetru de valori efective, echipat cu convertor c.a.-c.c. de valori medii nu va indica niciodată cu mai mult de 11% față de valoarea efectivă adevărată a unei alternative periodice de la intrare.

În concluzie, convertoarele c.a.-c.c. de valoare medie, fiind cele mai ușor de realizat, practic sunt și cele mai des întâlnite în construcția multimetrelor. Se utilizează uzual în gama de frecvență 10Hz - 100kHz dar cu circuite speciale (diode și amplificatoare de înaltă frecvență) gama poate fi extinsă la 10 MHz.

Precizia convertoarelor c.a.-c.c. de valoare medie este de obicei între 0,05% și 0,5%. Se poate obține un interval de măsurare relativ larg, limita superioară fiind dictată de saturarea amplificatorului operațional, iar limita inferioară de fluctuații și derive. Totuși, în cazul măsurărilor de precizie, tendința este de a înlocui acest tip de convertor cu cele de valoare efectivă.

10. Convertor rezistență - tensiune pentru multimetre electronice (cerințe, schema de principiu)
paragraf § 3.3.5.

Dacă până acum convertoarele studiate preluau energie de la măsurand, în procesul de măsurare a rezistenței, aparatul de măsură trebuie să fie capabil să furnizeze energie. În principal se folosesc cele două scheme prezentate în figura 3.19.

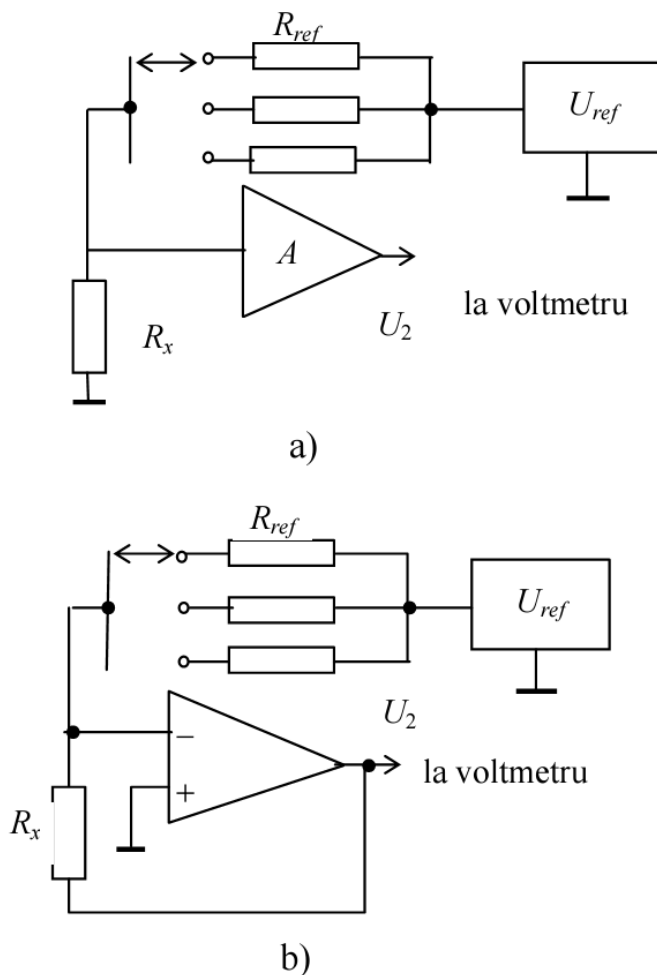


Fig.3.19. Scheme de conversie rezistență - tensiune.

Prima variantă (figura 3.19.a)) folosește o sursă de curent constant care determină o cădere de tensiune pe rezistența necunoscută R_x . Această cădere de tensiune este amplificată de un amplificator cu rezistență mare de intrare. Gamele de măsurare sunt obținute prin comutarea rezistoarelor de reacție ale amplificatorului A și prin schimbarea curentului generat de sursă.

A doua variantă (figura 3.19.b)) plasează rezistența R_x în reacția amplificatorului operațional și astfel curentul de referință va fi egal cu cel care străbate rezistența necunoscută.

Rezulta relatia:

$$\frac{U_{ref}}{R_{ref}} = \frac{U_2}{R_x},$$

(3.31)

de unde

$$R_x = \frac{R_{ref}}{U_{ref}} U_2 \quad (3.32)$$

Tensiunea U_2 măsurată de voltmetrul numeric este deci proporțională cu R_x . Factorul de proporționalitate se poate modifica prin comutarea rezistoarelor R_{ref} .

Bazele sistemelor flexibile inteligente

Anul III

1. Reprezentarea rotațiilor spațiale cu ajutorul cuaternionilor pp.54-57.

3.8.3. Reprezentarea rotațiilor cu cuaternioni

Fie un *cuaternion unitate* de forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{q} &= \cos \theta + l \sin \theta \cdot \mathbf{i} + m \sin \theta \cdot \mathbf{j} + n \sin \theta \cdot \mathbf{k} = \\ &= \cos \theta + \sin \theta \cdot \mathbf{u} \end{aligned} \quad (3.31)$$

unde $\mathbf{u} = [l, m, n]^T$ este un *vector unitate* (versor), adică:

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad (3.32)$$

Înmulțind acest vector unitate cu un vector oarecare $\mathbf{r}$, perpendicular pe un altul $\mathbf{u}$, se obține:

$$\begin{aligned} \mathbf{qr} &= (\cos \theta + \sin \theta \cdot \mathbf{u})(x \cdot \mathbf{i} + y \cdot \mathbf{j} + z \cdot \mathbf{k}) = \\ &= \sin \theta \cdot (\mathbf{u} \times \mathbf{r}) + \cos \theta \cdot \mathbf{r} \end{aligned} \quad (3.33)$$

Acest rezultat este un vector situat într-un plan perpendicular pe un plan ce-l conține pe $\mathbf{u}$ și formează unghiul θ cu $\mathbf{r}$.

Observație: Utilizarea produsului $\mathbf{qr}$ la reprezentarea rotațiilor se limitează doar la cazurile în care $\mathbf{u}$ și $\mathbf{r}$ sunt ortogonali.

Expresia reciprocei cuaternionului unitate $\mathbf{q}$ considerat este:

$$\begin{aligned} \mathbf{q}^{-1} &= \frac{\cos \theta - (l \sin \theta \mathbf{i} + m \sin \theta \mathbf{j} + n \sin \theta \mathbf{k})}{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta (l^2 + m^2 + n^2)} = \\ &= \cos \theta - \sin \theta \mathbf{u} \end{aligned} \quad (3.34)$$

Reciproca lui $\mathbf{q}$ este egală cu conjugata sa, întrucât $\mathbf{u}$ este un vector unitate și $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$.

Să considerăm acum un alt cuaternion unitate $\mathbf{q}$: $\mathbf{q} = s + \mathbf{v}$. Reciproca sa este: $\mathbf{q}^{-1} = s - \mathbf{v}$

Fie un și un vector-cuaternion arbitrar $\mathbf{r} = [0, \mathbf{r}]$ și, cu acesta, calculăm produsul cuaternional:

$$\mathbf{qrq}^{-1} = (\mathbf{qr})\mathbf{q}^{-1} \quad (3.35)$$

Folosind regula (3.17), calculăm întâi:

$$\begin{aligned} \mathbf{q} \cdot \mathbf{r} &= (s + \mathbf{v})(0 + \mathbf{r}) = 0 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{r} + s \cdot \mathbf{r} + (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) = \\ &= -\mathbf{v} \cdot \mathbf{r} + s \cdot \mathbf{r} + \mathbf{v} \times \mathbf{r} \end{aligned} \quad (3.36)$$

În continuare, folosind tot regula (3.17):

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{qr})\mathbf{q}^{-1} &= (-\mathbf{v} \cdot \mathbf{r} + s \cdot \mathbf{r} + \mathbf{v} \times \mathbf{r})(s - \mathbf{v}) = \\
 &= -s(\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}) - (s \cdot \mathbf{r} + \mathbf{v} \times \mathbf{r})(-\mathbf{v}) + s(s \cdot \mathbf{r} + \mathbf{v} \times \mathbf{r}) + \\
 &+ (-\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}) \cdot (-\mathbf{v}) + (s\mathbf{r} + \mathbf{v} \times \mathbf{r}) \times (-\mathbf{v}) = \\
 &= -s(\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}) + s\mathbf{r}\mathbf{v} + (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) \cdot \mathbf{v} + s^2\mathbf{r} + s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) + \\
 &+ (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})(\mathbf{v}) - s(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) - (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{v}
 \end{aligned} \tag{3.37}$$

În această ultimă relație se observă că:

$$\begin{aligned}
 -s(\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}) + s\mathbf{r} \cdot \mathbf{v} &= 0 \\
 (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) \cdot \mathbf{v} &= 0 \quad \text{- produs al doi vectori ortogonali} \\
 s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) &= -s(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \\
 -(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{v} &= \mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r})
 \end{aligned} \tag{3.38}$$

Astfel:

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{qr})\mathbf{q}^{-1} &= s^2\mathbf{r} + 2s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) + (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})\mathbf{v} + \mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) = \\
 &= s^2\mathbf{r} + 2s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) + (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})\mathbf{v} + 2[\mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r})] - \mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r})
 \end{aligned} \tag{3.39}$$

Aplicând *regula lui Gibbs* de transformare a produsului vectorial în produs scalar a doi vectori:

$$\mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) = (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})\mathbf{v} - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{v})\mathbf{r} \tag{3.40}$$

Obținem:

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{qr})\mathbf{q}^{-1} &= s^2\mathbf{r} + 2s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) + (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})\mathbf{v} + 2\mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) - \\
 &- (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})\mathbf{v} + \mathbf{v}^2\mathbf{r} = (s^2 + \mathbf{v}^2)\mathbf{r} + 2s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) + 2\mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r})
 \end{aligned} \tag{3.41}$$

Întucât $\mathbf{q}$ este un cuaternion unitate, $s^2 + \mathbf{v}^2 = 1$, se obține în final:

$$\mathbf{qrq}^{-1} = \mathbf{r} + 2s(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) + 2\mathbf{v} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) \tag{3.42}$$

Se poate demonstra acum că, dacă $\mathbf{q}$ este un cuaternion unitate de forma:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{q} &= \cos \theta + l \sin \theta \cdot \mathbf{i} + m \sin \theta \cdot \mathbf{j} + n \sin \theta \cdot \mathbf{k} = \\
 &= \cos \theta + \sin \theta \cdot \mathbf{u}
 \end{aligned} \tag{3.43}$$

cu $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$, relația (3.42) exprimă rotația unui vector $\mathbf{r}$ fără nici o alungire.

Pentru aceasta, se consideră un cuaternion cu forma anume aleasă:

$$\mathbf{q} = \cos \frac{\theta}{2} + \sin \frac{\theta}{2} \mathbf{u} \tag{3.44}$$

unde: $\mathbf{u} = l\mathbf{i} + m\mathbf{j} + n\mathbf{k}$ este un vector unitate, adică $l^2 + m^2 + n^2 = 1$

Utilizând acest cuaternion, relația:

$$\mathbf{qrq}^{-1} \tag{3.45}$$

exprimă rotația cu un unghi θ a oricărui vector $\mathbf{r}$ în jurul axei de versor $\mathbf{u}$ (fig.3.18.).

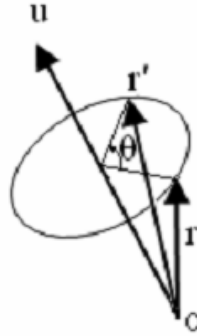


Fig.3.18. Rotația cu un unghi θ a unui vector $\mathbf{r}$ în jurul axei de versor $\mathbf{u}$

Prin utilizarea cuaternionului de forma particulară $\mathbf{q} = \cos \frac{\theta}{2} + \sin \frac{\theta}{2} \mathbf{u}$ și a produsului $\mathbf{q}\mathbf{r}\mathbf{q}^{-1}$, au fost eliminate atât condiția de ortogonalitate dintre $\mathbf{r}$ și $\mathbf{u}$ cât și alungirea ce se producea inițial.

Exemplu: O rotație cu 90° în jurul axei carteziene $\mathbf{k}$, urmată de o rotație cu 90° în jurul axei $\mathbf{j}$ se poate reprezenta cu produsul cuaternional:

$$\mathbf{q}_1 \mathbf{q}_2 = (\cos 45^\circ + \mathbf{j} \sin 45^\circ) \cdot (\cos 45^\circ + \mathbf{k} \sin 45^\circ) \quad (3.46)$$

Aplicând regula (3.17) de înmulțire a cuaternionilor:

$$\mathbf{q}_1 \mathbf{q}_2 = s_1 s_2 - \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 + s_2 \mathbf{v}_1 + s_1 \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2$$

se obține:

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_1 \mathbf{q}_2 &= \cos 45^\circ \cdot \cos 45^\circ - 0 + \cos 45^\circ \cdot \sin 45^\circ \mathbf{j} + \\ &+ \cos 45^\circ \cdot \sin 45^\circ \mathbf{k} + \sin^2 45^\circ \cdot \mathbf{i} = \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 0 + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \mathbf{j} + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \mathbf{k} + \frac{1}{2} \mathbf{i} = \\ &= \frac{1}{2} + \frac{\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}}{2} = \frac{1}{2} + \frac{\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \\ &= \cos 60^\circ + \frac{\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}}{\sqrt{3}} \sin 60^\circ \rightarrow \text{Rot} \left(\frac{\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k}}{\sqrt{3}}, 120^\circ \right) \end{aligned} \quad (3.47)$$

Rezultă, astfel, o rotație cu 120° în jurul unei axe egal înclinată cu câte $54^\circ 44' 8''$ în raport cu fiecare dintre axele $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$.

2. Schema bloc a unui sistem robot. Funcțiile sistemului de conducere pp 23-28; pp.28-29.

Definiție: sistemul este un ansamblu de elemente interconectate astfel încât performanțele ansamblului sunt superioare sumei performanțelor individuale ale elementelor componente.

Părțile componente ale unui sistem robot (vezi fig.2.1) sunt:

- sistemul de comandă;
- sistemul de acționare;
- sistemul mecanic;
- sistemul de percepție.

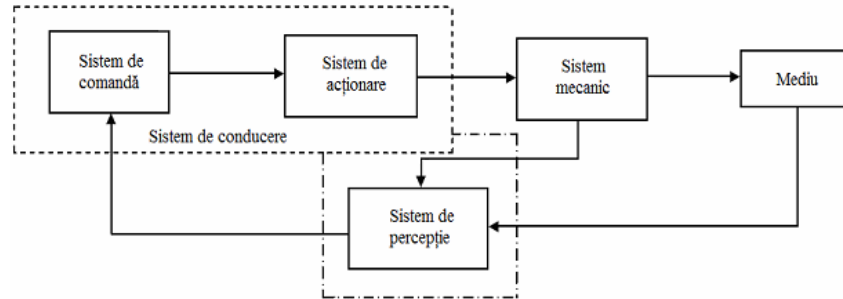


Fig.2.1.Sistemul robot

Sistemul de comandă și cel de acționare constituie **sistemul de conducere**.

Sistemul mecanic în acțiune asupra mediului se numește **sistem condus**.

Procesul robotizat este **procesul condus**.

Observații:

1. blocurile componente ale unui robot se află într-o legătură bidirecțională și se comportă împreună tot ca un sistem, denumit **sistem robot**.
2. unii autori includ în sistemul de conducere și sistemul de percepție.

Din punctul de vedere al circuitului informațional, care se stabilește într-un sistem robot, este valabilă schemă bloc din figura 2.2 .

Întregul echipament este organizat în jurul calculatorului central aflat în dialog (prin intermediul circuitului de interfață) cu senzorii, traductoarele și circuitele de acționare.

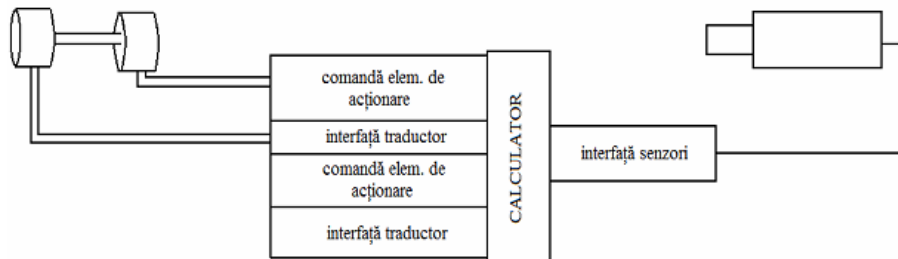


Fig.2.2. Schema bloc informațională pentru sistemul robot

Observație: vezi corespondența dintre blocurile celor două scheme din fig.2.1 și fig.2.2:

- sistem de comandă = calculator;
- sistem de percepție = senzori și traductoare;
- sistem de acționare = sistem de acționare.

2.2. Schema bloc a părții electrice a unui robot

În fig.2.3. se arată o variantă ce descrie sistemul robot, reprezentând mai multe detalii din structura un echipament de conducere uzual.

Elementul central din schema informațională din fig.nr.1.2. este denumit în schema din fig. 2.1. **calculator** pentru că are toate caracteristicile calculatorului obișnuit compatibil IBM PC. În realitate există anumite deosebiri față de o structură clasică de calculator:

- uneori sistemul de conducere al robotului are mai multe calculatoare;
- blocul calculator conține și circuite (de interfață) specifice aplicațiilor de robotică;
- sistem de vedere artificială (care e un alt calculator extern dotat cu cameră de luat vederi, capabil să culeagă informații din mediu, să le analizeze, să le înțeleagă și să le transfere calculatorului central).

Calculatorul central comandă unul sau mai multe microprocesoare/ microcontrolere care, la rândul lor, comandă sistemul de acționare.

Sistemul de acționare se compune din **sisteme de conducere locale** (S.C.L.) realizate la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare în jurul câte unui motor de acționare. S.C.L.-urile sunt realizate cu o structură de **sistem de reglare automată** (S.R.A.).

Observație: S.C.L.-urile asigură conducerea nemijlocită a axelor unui robot.

Terminologia **conducere nemijlocită** are semnificația de conducere directă, propriu-zisă, fără intermediar.

În schema bloc din figura 2.2, un S.C.L. (cu structură de S.R.A.) s-a reprezentat prin grupurile: comandă elementul de acționare, elemente de acționare, interfață, traductor, elementul de acționare se compune din motor, transmisie și frână.

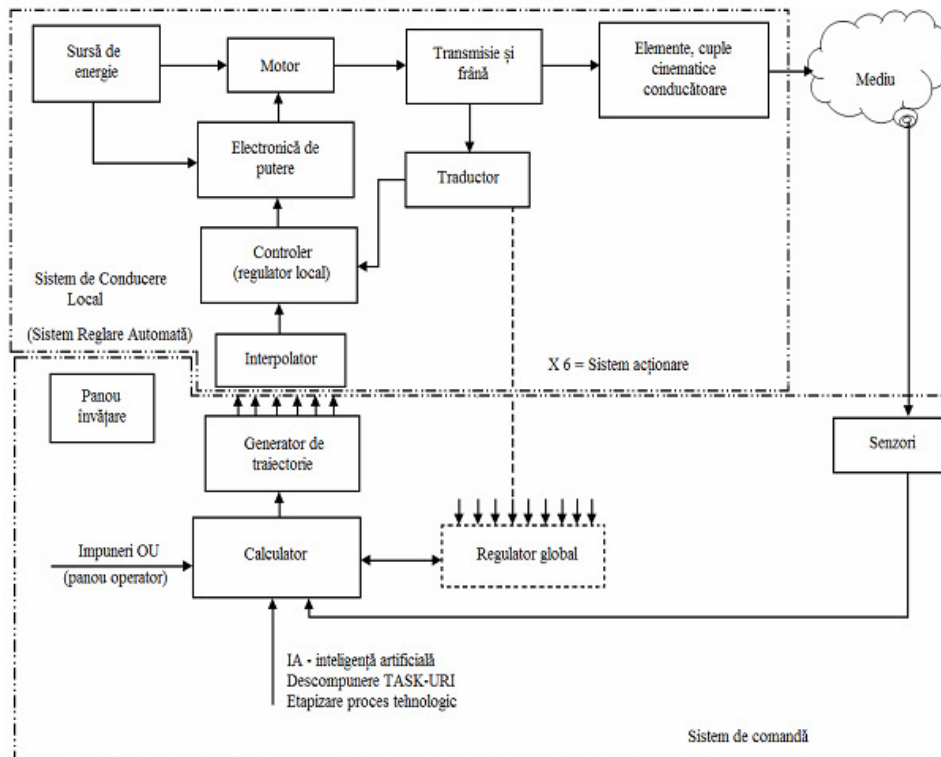


Fig.2.3. Schema bloc detaliată a unui sistem robot

Observație: În ultimul timp se utilizează termenul de **actuator**, care provine de la verbul *to actuate* din limba engleză. Traducerea acestuia în limba română este a potrivei, a ajusta. Prin actuator, în funcție de context, se înțelege motorul cu cel puțin o parte din transmisie și/sau frână. Uneori în actuator se subînțelege ca fiind inclusă și o parte electronică (de comandă sau senzor).

Toate aceste elemente lucrează în **bucălă închisă** (există legături de reacție inversă - de feed-back) și se constituie într-un S.R.A.

Pentru fiecare cuplă cinematică conducătoare este prevăzut câte un S.C.L.

Cea de-a doua schemă reprezintă în detaliu partea electrică a unui robot.

Sistemul de conducere al unui robot este implementat fizic cu echipamente electrice și electronice care, în majoritatea lor, sunt introduse într-un dulap denumit **dulap cu echipamente electrice și electronice**.

Nu toate echipamentele electrice se află în acest dulap:

- motoarele de acționare și traductoarele sunt amplasate pe sistemul mecanic;
- senzorii sunt amplasați în mediul de lucru al robotului;
- panoul de învățare este exterior dulapului;
- panoul operator se află pe ușa dulapului

Specific pentru un echipament de conducere a unui robot este **panoul de învățare**, pentru care în literatura de specialitate se folosesc mai multe denumiri: **panou de instruire, modul de instruire, teaching pendant**.

Cu ajutorul panoului de învățare operatorul uman (**O.U.**) poate conduce manual robotul spre **situările** convenabile executării operațiilor tehnologice.

Observație: prin **situare** se înțelege în robotică poziția și orientarea unui element mecanic sau unui obiect.

După ce a deplasat manual robotul, OU poate comanda depunerea în memoria calculatorului a coordonatelor țintă atinse de către elementele sistemului mecanic.

Panoul de învățare este prevăzut cu o tastatură **alfanumerică** (litere și cifre) și un afișaj alfanumeric. De regulă este dotat și cu un joystick cu care se pot comanda mișcările sistemului mecanic. Este folosit în faza de programare a robotului când operatorul uman învață robotul ce are de făcut și întocmește programul înscriind instrucțiune după instrucțiune.

Panoul operator (P.O.) este amplasat pe ușa dulapului și este compus din butoane pentru comenzi și becuri de semnalizare. Exemple de butoane:

- pornire rețea cu cheie;
- ciupercă de avarie;
- butoane pentru stabilirea regimului manual / automat.

În dulap se află calculatorul central pentru care există display, tastatură și unitate de disc. Dacă robotul este unul evoluat, atunci el are un calculator capabil să lucreze cu elemente de inteligență artificială. Lucrează cu programe elaborate la **nivel task**, fiind capabil să își autogenereze programul direct executabil.

Exemplu: un robot inteligent "înțelege" o instrucțiune de tipul "du-te și apucă bolțul", pe când unul mai puțin inteligent va înțelege numai o succesiune de instrucțiuni de forma:

1. determină unde se află bolțul;
2. deplasează-te până în dreptul bolțului;
3. apropie efectorul final de bolț;
4. condu efectorul final spre o situație optimă pentru apucarea bolțului;
5. apucă bolțul.

Observație: cuvântul *task* din limba engleză se traduce, în acest context, cu treabă de făcut, sarcină.

Pentru roboții obișnuiți calculatorul trebuie să realizeze modelarea mediului și generarea traiectoriei (modelarea mediului înseamnă reprezentarea prin ecuații matematice a evenimentelor și obiectelor din proces).

Blocul generator de traiectorie transmite semnale de comandă (**mărimi de prescriere**): poziții, viteze, accelerații către sistemul de acționare.

Senzorii fac parte din sistemul de percepție și sunt amplasați în mediul în care lucrează robotul sau pe brațul mecanic.

Exemple: există senzori de proximitate, de gabarit, de contact și/sau forță/moment, senzori optici etc.

2.2.1. Sistemul de acționare

După cum s-a arătat și mai sus, la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare este amplasat câte un motor de acționare. Motorul poate fi electric, hidraulic sau pneumatic.

Observație: după tipul de motoare cu care este dotat și robotul primește denumirea de robot cu *acționare electrică, hidraulică, pneumatică sau mixtă*.

Motorul generează mișcarea elementelor mecanice. Mișcarea este transmisă (prin blocul **transmisie**) la elementele cuplurilor cinematice conducătoare acționate.

Motorul este comandat de un circuit electronic și primește energie de la o sursă de alimentare.

Întregul ansamblu, compus din motor și circuitele electronice care îl comandă, constituie un *sistem de conducere locală (S.C.L.)*. Într-un robot există atâtea S.C.L.-uri câte cuple cinematice conducătoare trebuie comandate. S.C.L.-urile sunt realizate cu o structură de *sistem de reglare automată (S.R.A.)*.

Observație: S.R.A. este un sistem în care reglarea se face automat, adică fără intervenție din exterior, spre scopul final urmărit.

Sistemul de acționare se compune din mai multe S.C.L.-uri în funcție de numărul de grade de mobilitate ale sistemului mecanic.

Observație: În fig.3 s-a reprezentat un singur S.C.L. (S.R.A.) și s-a indicat cu "6×6" faptul că în sistemul de acționare există 6 astfel de S.C.L.-uri deoarece s-a presupus că robotul are 6 axe.

Întregul S.C.L. este condus de către un **controler** realizat cu microprocesor sau microcontroler. Acesta realizează funcția de regulator:

1. preia **mărimea de prescriere** (poziție, viteză, accelerație) de la generatorul de traiectorie;
2. preia informația cu privire la mișcarea executată în realitate de elementele mecanice (care este **mărimea de reacție**), de la traductorul aferent;
3. calculează **abaterea (eroarea)** dintre mărimea de prescriere și cea de reacție;
4. calculează **mărimea de comandă** cu care se corectează abaterea; calculul se efectuează cu o formulă numită **algoritm de reglare** (proiectat de inginerii automatiști) utilizând valoarea curentă a abaterii;
5. transmite mărimea de comandă electronicii de putere și prin aceasta motorului, pentru a imprima elementelor cuplurilor cinematice conducătoare o mișcare în sensul anulării abaterii.

Observații:

1. cele cinci puncte menționate anterior se constituie în **problema conducerii nemijlocite** a elementelor unei cuple cinematice conducătoare (în contextul de față **conducere nemijlocită** însemnând *conducere directă, fără intermediar*);
2. în unele cazuri intervine și blocul interpolator care generează puncte prescrise suplimentar;

3. o parte din transmisie și frână (electromecanică) se consideră incluse în sistemul de acționare. Astfel, prima roată dințată, prima față a unui ambreiaj, fulia conducătoare a unei curele etc. – după caz, se consideră că fac parte din sistemul de acționare.

Ideal ar fi ca un robot să poată fi condus folosind un **regulator global** care să controleze simultan toate mișcările de pe toate axele. Acest mod de conducere nu se implementează deocamdată deoarece:

- a) traductoarele carteziane care pot urmări mișcarea punctului caracteristic în spațiu sunt extrem de scumpe la preciziile pretinse de aplicațiile din robotică;
- b) legăturile dintre mișcările pe diferite axe se exprimă prin ecuații complicate (profund neliniare).
- c) volumul de calcule necesar pentru realizarea unei reglări globale este foarte mare și nu se poate realiza în timp real cu nici un calculator convenabil, ca și cost, la momentul actual.

Din aceste motive, indiferent de modul în care se realizează conducerea robotului, mișcarea propriu-zisă a sistemului mecanic se conduce cu S.C.L.-uri dispuse la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare. Este utilizată **metoda de conducere distribuită** a mișcărilor pe axe. Blocuri, de tip S.C.L., construite anume pentru conducerea unei singure axe mecanice sunt astăzi bine puse la punct. Sisteme de acest fel, precum și senzorii/traductoarele aferente se produc la prețuri accesibile.

2.3. Funcții ale sistemului de conducere al unui robot

Sistemul de conducere al unui robot a cărui schema bloc s-a prezentat în figura 2.1. are de efectuat mai multe seturi de calcule și de operații:

- calcule de cinematică prin care se determină elementele unei traiectorii: poziții, viteze accelerații (termenul „determină” are aici semnificația *se află* și acestea *impun*);
- calcule de dinamică;
- interpretarea informațiilor de la senzori și traductoare;
- calcule aferente reprezentării interne în calculator a lumii înconjurătoare;
- calcule aferente conducerii robotului, impuse de algoritmele de reglare, în care se ține seamă și de calculele de cinematică și dinamică;
- comanda sistemelor de acționare și realizarea conducerii nemijlocite a elementelor robotului;
- dialogul cu operatorul uman, realizat cu ajutorul unor dispozitive adecvate (display, tastatură, unitate de disc) și folosind programe corespunzătoare.

Operațiile și calculele mai sus enunțate sunt efectuate într-o anumită ordine și după anumite priorități, în funcție de condițiile unei aplicații concrete. Pentru fiecare grup de calcule pot exista calculatoare dedicate sau blocuri software (pachete de programe) specializate.

Grupele de calcule și comenzi enunțate anterior se pot împărți principal în **trei grupe mari de sarcini** ale unui sistem de conducere al robotului.

A. Modelarea mediului.

B. Specificarea, Generarea și Controlul mișcărilor.

C. Dialogul cu operatorul uman.

3. Problema conducerii unui robot. pp.83-85.

4.1. Problema conducerii unui robot

Conducerea unui robot presupune două aspecte aparent distincte dar aflate, în realitate, într-o interdependență numai principal divizibilă.

I) Parcurgerea etapelor unui proces tehnologic presupune deplasarea dispozitivului de ghidare, în raport cu obiectele din mediu, astfel încât punctul caracteristic să ocupe, în fiecare etapă, situații impuse sau determinate (acesta este **scopul** conducerii unui robot).

În fiecare etapă a procesului tehnologic punctul caracteristic trece prin anumite puncte din spațiul cartezian. Cele mai multe dintre aceste puncte sunt impuse de procesul tehnologic și reprezintă **puncte țintă** (*goal points*). La trecerea punctului caracteristic printr-un punct țintă sistemul de coordonate atașat acestuia are anumite poziții și orientări care se exprimă matricial (de exemplu cu matricea T_6).

Observație: la trecerea printr-un punct din spațiul cartezian contează nu numai atingerea punctului respectiv, ci și orientarea în spațiu a efectorului final. Contează **unde și cum** „pune mâna” robotul.

Orientările și pozițiile punctului caracteristic (exprimate cu T_6 , vezi subcapitolul 3.5) pot fi *calculate* (în blocul pentru modelarea mediului) sau pot fi *învățate*, înainte de efectuarea deplasării. Așadar punctele țintă sunt fie învățate, fie calculate.

În deplasarea punctului caracteristic de la un punct țintă la altul, el trece prin **puncte via** (puncte de trecere). Dintre aceste puncte via unele sunt *puncte via propriu-zise* (*through via points*), prin care trecerea este obligatorie, iar altele sunt *puncte pseudovia*, la care trecerea se face numai prin vecinătatea lor.

Observație: De obicei, în punctele țintă este obligatorie și oprirea, iar prin punctele via, de regulă, trecerea se face fără oprire, cu o anumită viteză impusă. Există însă și cazuri în care și în punctele via este obligatorie și oprirea.

Deoarece punctele definite mai sus se află în spațiul de lucru al robotului (impunându-se trecerea prin ele), este natural ca punctele țintă și via să fie exprimate în *coordonate operaționale* (coordonatele în care operează efectorul final al robotului). De cele mai multe ori se folosește exprimarea în coordonate carteziene.

Pornind de la coordonatele operaționale (carteziene) care corespund trecerii punctului caracteristic printr-un punct țintă sau via, cu analiza cinematică inversă se determină un set de **coordonațe poziționale relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare** sau, pe scurt, **coordonațe c.c.c.** numite și **coordonațe articulare** sau **coordonațe robot**.

Acestea pot fi unghiuri θ - pentru cuplele de rotație – dau distanțe d – pentru cuple cinematice de translație. Setul de valori obținut (cu analiza cinematică inversă) este tot un set de puncte țintă sau via, dar exprimate în coordonațe c.c.c. (coordonațe articulare, sau coordonațe robot).

Conducerea unui robot poate fi realizată în coordonațe operaționale (carteziene), când punctele țintă și via sunt exprimate cu valori numerice concrete pentru elementele matricii T_6 , sau în coordonațe c.c.c., când punctele țintă și via sunt exprimate prin seturi de valori θ_i sau/și d_i de la nivelul c.c.c. Se utilizează curent terminologia “*conducerea unui robot în coordonațe operaționale*” (carteziene), respectiv “*conducerea unui robot în coordonațe c.c.c.*” (coordonațe articulare).

II) În afară de trecerea prin punctele țintă și via, în conducerea unui robot interesează și evoluția în timp a mișcării acestuia. În desfășurarea unui proces tehnologic este necesar ca dispozitivul de ghidare să aibă o mișcare lină, fără smucituri, fără frânări și/sau accelerări bruște.

Acest deziderat este impus, de cele mai multe ori, de însuși procesul tehnologic (de exemplu paletizare, montaj etc.). Pe de altă parte, o mișcare fără smucituri este impusă și de necesitatea de a reduce la minimum uzurile din structura sistemului mecanic.

Evoluția lină în timp se asigură dacă pentru coordonata generalizată q se alege o variație în timp:

$$q = f(t) \quad (4.1)$$

unde f este o funcție lină, adică pentru q se alege o lege de mișcare lină.

O funcție se numește *lină* dacă funcția și cel puțin primele sale două derivate sunt continue în timp (uneori se cere și ca și derivata a 3-a să fie continuă).

Notă: q este coordonata generalizată utilizată în conducere - poate fi operațională (carteziană) sau c.c.c.

Concluzie: problema conducerii unui robot constă din două aspecte între care există o strânsă legătură: impunerea trecerii prin punctele țintă sau via (exprimate în coordonațe c.c.c. sau în coordonațe operaționale) în condițiile asigurării unei evoluții line (în timp) a mișcării.

Observație: Această problemă este întâlnită și în viața cotidiană la conducerea automobilului:

În primul rând, interesează deplasarea automobilului pe drumul impus, cu evitarea obstacolelor. Pe de altă parte, interesează ca automobilul să aibă o evoluție lină, fără accelerări și/sau frânări bruște. Deosebirea între un șofer experimentat și unul începător se manifestă, mai ales, prin felul în care cei doi asigură o evoluție lină vehiculului.

4.2. Metode de conducere a roboților

Metodele de conducere a roboților se pot clasifica din trei puncte de vedere:

- în funcție de sursa pentru punctele țintă;
- după modul de execuție a deplasărilor;
- după coordonatele folosite în conducere.

4. Legătura spațiu timp în conducerea unui robot. pp88, pp.91 - 96.

4.4. Legătura spațiu-timp în mișcarea unui robot

În conducerea unui robot interesează:

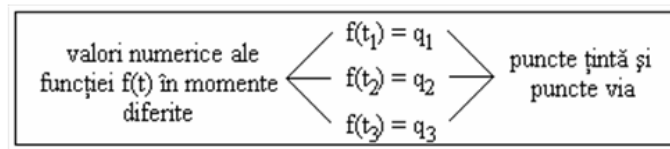
- trecerea prin anumite situații impuse sau calculate;
- evoluție lină în timp.

În conducere se procedează la comanda coordonatei generalizate către valori diferite, în momente diferite. În acest scop, pentru coordonata generalizată q se alege legea de mișcare

$$q = f(t) \quad (4.1)$$

unde $f(t)$ este o funcție de timp lină, ceea ce înseamnă că funcția și primele sale două derivate sunt continue.

Legătura între spațiu și timp se realizează prin aceea că, la anumite valori pentru timp, valorile numerice aferente ale lui $f(t)$ trebuie să fie egale cu valorile lui q corespunzătoare unor puncte țintă și via de pe traiectorie.



4.5. Legătura spațiu-timp în descrierea unei traiectorii

Fie un exemplu de traiectorie liniară într-un plan cartezian (fig.4.9):

Ecuția dreptei este $y = m \cdot x + n$ (4.2.)

unde: m este panta dreptei
 n este tăietura dreptei.

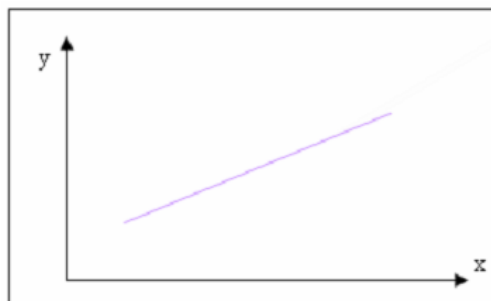


Fig.4.9. O dreaptă oarecare în plan

Prin derivare:

$$\frac{dy}{dx} = m \quad (4.3)$$

Procedând la împărțire cu dt atât la numitor cât și la numărător:

$$\Rightarrow \frac{dy}{dt} \frac{dt}{dx} = m \quad (4.4)$$

Presupunând că această dreaptă trebuie descrisă într-un plan de punctul caracteristic, iar acesta se mișcă cu viteză constantă după direcția axei coordonatei x și tot cu viteză constantă după direcția axei coordonatei y , iar raportul celor două viteze este m , punctul caracteristic va descrie în plan o dreaptă de pantă m .

Continuând raționamentul:
$$\frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{\ddot{y}t}{\ddot{x}t} = m \quad (4.5)$$

Dacă cele două mișcări după direcția axelor de coordonate sunt uniform accelerate, iar raportul accelerațiilor este m , atunci în plan se descrie o dreaptă de pantă m .

Adică dacă pe fiecare dintre axele Ox și Oy se alege câte o lege de mișcare:

$$q = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (4.6)$$

și

$$\frac{\ddot{y}}{\ddot{x}} = \frac{a_{2y}}{a_{2x}} = m \quad (4.7)$$

atunci în plan este descrisă o dreaptă.

Observație: În exemplul considerat s-a constatat că urmărind o anumită evoluție în timp se obține o anumită formă a traiectoriei din spațiul cartezian.

Din punct de vedere practic, realizarea unei drepte în plan se obține alegând porțiuni cu mișcare uniform accelerată și porțiuni cu mișcare rectilinie uniformă.

Fie o dreaptă în plan ce se presupune a deveni o traiectorie impusă (fig.4.10.):

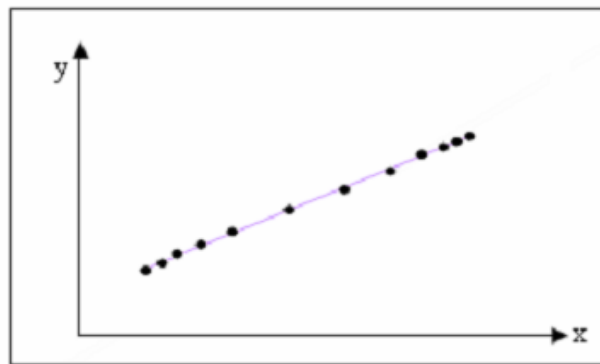


Fig.4.10. Puncte alese pe o traiectorie liniară

Pe această dreaptă se aleg mai multe puncte țintă și via. În mod intenționat la începutul și sfârșitul parcurgerii drepte se aleg puncte amplasate mai des, iar pe mijlocul liniei se aleg puncte amplasate mai rar. Pentru descrierea acestei drepte, în mișcare, este necesar ca la începutul și sfârșitul trasării ei mișcarea după x și y să se efectueze uniform accelerat cu:

$$\frac{a_y}{a_x} = m \quad (4.8)$$

unde m este panta drepte.

Pe porțiunea din mijloc se impune ca mișcarea să se efectueze cu viteze constante:

$$\frac{v_y}{v_x} = m \quad (4.9)$$

iar la sfârșitul drepte mișcările se fac uniform încetinit cu:

$$\frac{|a_y|}{|a_x|} = m. \quad (4.10)$$

Deci, dacă se conduce robotul după un profil trapezoidal de viteză, după fiecare dintre axele x și y, atunci în plan punctul caracteristic descrie o dreaptă cu panta:

$$m = \frac{|a_y|}{|a_x|} = \frac{v_y}{v_x} \quad (4.11)$$

Observații:

- 1) Pe porțiunile de accelerare și decelerare punctele de pe dreaptă nu sunt echidistante în spațiu, dar sunt echidistante în timp. Adică spațiul parcurs între un punct și altul (pe porțiunile de accelerare) este diferit, dar intervalul de timp între ele este același.
- 2) Pe fiecare dintre coordonatele x și y se alege câte o lege de mișcare cu profil trapezoidal de viteză, cu:

$$m = \frac{|a_y|}{|a_x|} = \frac{v_y}{v_x},$$

iar în spațiu se trasează o dreaptă de pantă m .

- 3) Situația se poate generaliza și în spațiul tridimensional pentru trasarea unei drepte în spațiu.
- 4) O astfel de metodă de conducere este direct aplicabilă în cazul unui robot T.T.T.
- 5) Legile de mișcare rectilinie uniform accelerată:

$$q = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (4.6)$$

și rectilinie uniformă:

$$q = a_1 t + a_0 \quad (4.12)$$

sunt funcții line (funcția și primele sale două derivate sunt continue), deci mișcarea per ansamblu este lină.

6) În cazul unui robot diferit de configurația T.T.T. metoda se aplică mai greu deoarece:

- o deplasare cu $\dot{x}, \dot{y}, \ddot{x}, \ddot{y}$ constante nu înseamnă implicit și o deplasare cu $v = ct.$ și $a = ct.$ la nivelul fiecărui motor amplasat la câte o cuplă cinematică conducătoare. În general vitezele și accelerațiile pe x și y și cele de la nivelul fiecărei cuple cinemate conducătoare se stabilesc cu Jacobianul aferent.
- panta m a drepte este impusă de traiectoria dorită și nu întotdeauna se pot sintetiza și practic viteze de valori astfel încât raportul lor să fie chiar m . De cele mai multe ori se admite deplasarea cu viteze aflate într-un raport cât mai apropiat de m și se acceptă o anumită abatere de la dreapta impusă.
- De multe ori, impunând anumite valori ale vitezei pe axele x și z și efectuând calculul cu Jacobianul pot rezulta viteze $\dot{q}_i$, la nivelul cuplelor cinemate conducătoare, nerealizabile fizic. În această situație se alege, la nivelul fiecărei cuple cinemate conducătoare, cea mai apropiată valoare realizabilă fizic pentru viteză și se sintetizează deplasări cu aceste viteze rezultând o traiectorie numai aproximativ exactă.

Concluzii: metoda descrisă este direct aplicabilă pentru o structură de mecanism T.T.T., este deosebit de utilă pentru înțelegerea legăturii spațiu-timp în conducerea unui robot, dar se aplică mai greu în cazul altor tipuri de roboți.

4.6. Legătura spațiu-timp prin ecuații parametrice

Observație: pentru simplificare vom arăta această legătură în cazul unei traiectorii liniare plane.

Ecuția unei drepte în plan este:

$$y = mx + n \quad (4.2)$$

unde: m este panta drepte, ar n este tăietura. Aceasta este forma explicită de scriere.

În geometria analitică se cunosc și alte forme de reprezentare a ecuației unei drepte. Dintre acestea ne interesează **ecuațiile parametrice** ale drepte:

$$\begin{cases} y = a_1 t + a_0 \\ x = b_1 t + b_0 \end{cases} \quad (4.13)$$

unde t este un parametru arbitrar scalar.

Observație: eliminând t din sistemul (4.13) se ajunge la forma ecuației (4.2) pentru dreaptă.

La fel, se poate scrie și un sistem de ecuații de gradul 2:

$$\begin{cases} y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \\ x = b_2 t^2 + b_1 t + b_0 \end{cases} \quad (4.14)$$

sau:

$$\begin{cases} y = a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \\ x = b_3 t^3 + b_2 t^2 + b_1 t + b_0 \end{cases} \quad (4.15)$$

ș.a.m.d.

Observație: se pot scrie și forme cu ecuații de grad mai mare, singura condiție, în cazul dreptei, fiind aceea că cele două ecuații trebuie să fie de același grad.

Astfel de ecuații parametrice există și pentru alte curbe din plan și spațiu (sinusoidă, curbă lăntșor, cerc, elipsă, parabolă, hiperbolă, ...).

În general, o curbă în spațiu se exprimă prin sistemul de ecuații:

$$\begin{cases} x = f(t) \\ y = g(t) \\ z = h(t) \end{cases} \quad (4.16)$$

unde f , g și h sunt funcțiile parametrice ale curbei, iar t este un parametru scalar arbitrar.

Sistemul (4.16) este **sistemul de ecuații parametrice ale curbei**.

Pentru o dreaptă funcțiile f , g și h sunt de același grad, iar pentru traiectorii de alte forme, au grade diferite.

Pornind de la aceste cunoștințe din geometria analitică, în robotică se alege ca parametru scalar t chiar timpul, pentru că în robotică interesează evoluția în timp a mișcării.

Observații:

- 1). Funcțiile parametrice sunt întotdeauna polinomiale și, astfel, sunt funcții line;
- 2). Dacă scalarul t este timpul, atunci funcțiile parametrice sunt și legi de mișcare după coordonatele carteziane.

4.7. Funcții conducere

Pornind de la ecuațiile parametrice ale unei curbe și de la faptul că se impune ca deplasarea să se efectueze lin, în robotică se folosesc ecuațiile parametrice ale unei curbe în care variabila scalară este timpul.

Observația în legătură cu ecuațiile parametrice ale unei curbe poate fi generalizată. Cele trei forme de exprimare ale unei curbe în spațiu sunt:

- forma implicită:

$$F(x, y, z) = 0 \quad (4.17)$$

- forma explicită:

$$\begin{cases} F_1(x, y) = 0 \\ F_2(y, z) = 0 \end{cases} \quad (4.18)$$

- forma cu ecuații parametrice:

$$\begin{cases} x = f(t) \\ y = g(t) \\ z = h(t) \end{cases} \quad (4.16)$$

O curbă în spațiu poate fi însă exprimată și în alte coordonate decât cele carteziene x, y, z . Fie acestea coordonatele generalizate:

$$q_i = 1 \div n. \quad (4.19)$$

În acest caz ecuația curbei respective poate fi exprimată fie în forma implicită:

$$F(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0 \quad (4.20)$$

fie cu sistemul de ecuații parametrice:

$$q_i = f_i(t), i = 1 \div n. \quad (4.21)$$

Aplicând această observație la robotică, pentru o anumită traiectorie a punctului caracteristic, putem folosi exprimarea acesteia cu sistemul de ecuații parametrice:

$$q_i = f_i(t), i = 1 \div n,$$

dar cu particularitatea că:

- a) se alege ca parametru scalar t timpul;
- b) coordonatele generalizate q_i se aleg chiar coordonatele cuplelor cinematice conducătoare ale robotului (unghiuri θ_i sau deplasări d_i , după felul cuplelor cinematice);
- c) se aleg toate funcțiile $f_i(t)$ funcții line.

Aceste funcții $q_i = f_i(t)$ au fost numite în robotică **funcții conducere**.

Observații:

- 1) Funcțiile de conducere sunt de fapt:
 - a) funcțiile parametrice ale traiectoriei;
 - b) legile de mișcare de la nivelul cuplelor cinematice conducătoare.
- 2) Denumirile “funcțiile parametrice ale traiectoriei” sau “legile de mișcare de la nivelul cuplelor cinematice conducătoare” sau “funcțiile conducere de la nivelul cuplelor cinematice conducătoare” înseamnă același lucru.
- 3) Ca exemplu concret, nelegat de robotică, pentru înțelegerea conceptului teoretic mai sus detaliat, se poate da cazul acrobațiilor cu motocicletă: dacă un motociclist acrobat trebuie să realizeze o anumită traiectorie (de pildă, să facă un salt peste mai multe obstacole sau peste un curs de apă), el obține traiectul dorit controlând exclusiv accelerația și viteza motocicletei, adică legea de mișcare a acesteia.

2.2.1. Sistemul de acționare

După cum s-a arătat și mai sus, la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare este amplasat câte un motor de acționare. Motorul poate fi electric, hidraulic sau pneumatic.

Observație: după tipul de motoare cu care este dotat și robotul primește denumirea de robot cu *acționare electrică, hidraulică, pneumatică sau mixtă*.

Motorul generează mișcarea elementelor mecanice. Mișcarea este transmisă (prin blocul **transmisie**) la elementele cuplelor cinematice conducătoare acționate.

Motorul este comandat de un circuit electronic și primește energie de la o sursă de alimentare.

Întregul ansamblu, compus din motor și circuitele electronice care îl comandă, constituie un *sistem de conducere locală (S.C.L.)*. Într-un robot există atâtea S.C.L.-uri câte cuple cinematice conducătoare trebuie comandate. S.C.L.-urile sunt realizate cu o structură de *sistem de reglare automată (S.R.A.)*.

Observație: S.R.A. este un sistem în care reglarea se face automat, adică fără intervenție din exterior, spre scopul final urmărit.

Sistemul de acționare se compune din mai multe S.C.L.-uri în funcție de numărul de grade de mobilitate ale sistemului mecanic.

Observație: În fig.3 s-a reprezentat un singur S.C.L. (S.R.A.) și s-a indicat cu "6x6" faptul că în sistemul de acționare există 6 astfel de S.C.L.-uri deoarece s-a presupus că robotul are 6 axe.

Întregul S.C.L. este condus de către un **controler** realizat cu microprocesor sau microcontroler. Acesta realizează funcția de regulator:

1. preia **mărimea de prescriere** (poziție, viteză, accelerație) de la generatorul de traiectorie;
2. preia informația cu privire la mișcarea executată în realitate de elementele mecanice (care este **mărimea de reacție**), de la traductorul aferent;
3. calculează **abaterea (eroarea)** dintre mărimea de prescriere și cea de reacție;
4. calculează **mărimea de comandă** cu care se corectează abaterea; calculul se efectuează cu o formulă numită **algoritm de reglare** (proiectat de inginerii automatiști) utilizând valoarea curentă a abaterii;
5. transmite mărimea de comandă electronicii de putere și prin aceasta motorului, pentru a imprima elementelor cuplelor cinematice conducătoare o mișcare în sensul anulării abaterii.

Observații:

1. cele cinci puncte menționate anterior se constituie în **problema conducerii nemijlocite** a elementelor unei cuple cinematice conducătoare (în contextul de față **conducere nemijlocită** însemnând *conducere directă, fără intermediar*);
2. în unele cazuri intervine și blocul interpolator care generează puncte prescrise suplimentar;

3. o parte din transmisie și frână (electromecanică) se consideră incluse în sistemul de acționare. Astfel, prima roată dințată, prima față a unui ambreiaj, fulia conducătoare a unei curele etc. – după caz, se consideră că fac parte din sistemul de acționare.

Ideal ar fi ca un robot să poată fi condus folosind un **regulator global** care să controleze simultan toate mișcările de pe toate axele. Acest mod de conducere nu se implementează deocamdată deoarece:

- a) traductoarele carteziane care pot urmări mișcarea punctului caracteristic în spațiu sunt extrem de scumpe la preciziile pretinse de aplicațiile din robotică;
- b) legăturile dintre mișcările pe diferite axe se exprimă prin ecuații complicate (profund neliniare).
- c) volumul de calcule necesar pentru realizarea unei reglări globale este foarte mare și nu se poate realiza în timp real cu nici un calculator convenabil, ca și cost, la momentul actual.

Din aceste motive, indiferent de modul în care se realizează conducerea robotului, mișcarea propriu-zisă a sistemului mecanic se conduce cu S.C.L.-uri dispuse la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare. Este utilizată **metoda de conducere distribuită** a mișcărilor pe axe. Blocuri, de tip S.C.L., construite anume pentru conducerea unei singure axe mecanice sunt astăzi bine puse la punct. Sisteme de acest fel, precum și senzorii/traductoarele aferente se produc la prețuri accesibile.

2.3. Funcții ale sistemului de conducere al unui robot

Sistemul de conducere al unui robot a cărui schema bloc s-a prezentat în figura 2.1. are de efectuat mai multe seturi de calcule și de operații:

- calcule de cinematică prin care se determină elementele unei traiectorii: poziții, viteze accelerații (termenul „determină” are aici semnificația *se află* și acestea *impun*);
- calcule de dinamică;
- interpretarea informațiilor de la senzori și traductoare;
- calcule aferente reprezentării interne în calculator a lumii înconjurătoare;
- calcule aferente conducerii robotului, impuse de algoritmele de reglare, în care se ține seamă și de calculele de cinematică și dinamică;
- comanda sistemelor de acționare și realizarea conducerii nemijlocite a elementelor robotului;
- dialogul cu operatorul uman, realizat cu ajutorul unor dispozitive adecvate (display, tastatură, unitate de disc) și folosind programe corespunzătoare.

Operațiile și calculele mai sus enunțate sunt efectuate într-o anumită ordine și după anumite priorități, în funcție de condițiile unei aplicații concrete. Pentru fiecare grup de calcule pot exista calculatoare dedicate sau blocuri software (pachete de programe) specializate.

Pentru generatorul de traiectorie se cunosc două moduri de operare:

- a) *fără sintetizarea unei traiectorii carteziene prescrise;*
- b) *cu sintetizarea unei traiectorii carteziene impuse de procesul tehnologic.*

În primul caz, pentru deplasarea elementelor mecanice, conform secvenței de parametrii calculați de generatorul de traiectorie, punctul caracteristic descrie în spațiu o traiectorie obținută ca și rezultat al mișcărilor pe toate axele (o traiectorie greu de exprimat analitic și greu de urmărit vizual).

În modul a) de operare GT primește ca și condiții impuse punctele țintă și via și forma aleasă pentru funcțiile conducere. În etapa de specificare a mișcării generatorul de traiectorie calculează coeficienții variabilei timp, din condițiile impuse. În etapa de generare a mișcării GT generează, la intervale de timp constante, coordonate (c.c.c sau carteziene), viteze, accelerații, necesare pentru deplasarea robotului, conform condițiilor impuse și după funcțiile conducere alese.

În modul b) de operare generatorul de traiectorie primește la intrare și expresia analitică a unei traiectorii carteziene impuse de procesul tehnologic. Dacă traiectoria este complicată expresia ei se obține prin aproximarea acesteia pe porțiuni cu segmente de curbe simple (dreaptă, cerc, parabolă, ...).

Pozițiile obținute din funcțiile conducere trebuie să coincidă sau să aproximeze cât mai precis punctele traiectoriei carteziene impuse.

Indiferent de modul de operare adoptat, a sau b, pentru GT, mărimile de la ieșirea sa reprezintă mărimi de prescriere pentru regulatoarele automate din structura sistemelor de conducere locale ce compun sistemul de acționare al robotului. Sistemele de conducere locale asigură conducerea nemijlocită a elementelor cuplelor cinematice conducătoare.

4.8.3. Conducerea nemijlocită a elementelor cuplelor cinematice conducătoare

Observație: termenul *nemijlocit* are, în acest context, semnificația direct, fără intermediari.

Indiferent de modul de conducere al robotului, mișcările elementelor sistemului mecanic se provoacă la nivel articular. Analizând schema bloc a echipamentului de conducere a unui robot (fig.2.3) se constată că sistemul de acționare al acestuia se compune din mai multe **sisteme de conducere locală (SCL)**, construite cu o structură de *sistem cu reglare automată (SRA)* (vezi și fig.4.12)

Componenta principală a câte unui sistem de conducere locală este motorul de acționare care produce mișcările elementelor cuplelor cinematice conducătoare.

Observație: motorul poate fi electric, hidraulic, pneumatic sau mixt, după caz; în funcție de tipul motoarelor folosite și robotul este denumit cu acționare electrică, hidraulică, pneumatică sau mixtă.

Motorul este alimentat cu energie de la o sursă de alimentare (rețeaua de alimentare cu curent alternativ, un agregat hidraulic, rețeaua de aer comprimat).

Între sursa de alimentare și motor se află etajul electronic de putere, *EP*, cu rolul de a amplifica, până la nivelul de putere corespunzător, comenzile către motor.

Conducerea fiecărui sistem de conducere locală este asigurată de un microprocesor sau microcontroler numit *controler de ax* (care coordonează SCL).

Observație: în unele cazuri se utilizează microprocesoare sau microcontrolere mai performante și se folosește un singur microprocesor sau microcontroler pentru comanda mai multor SCL (de regulă, maxim trei).

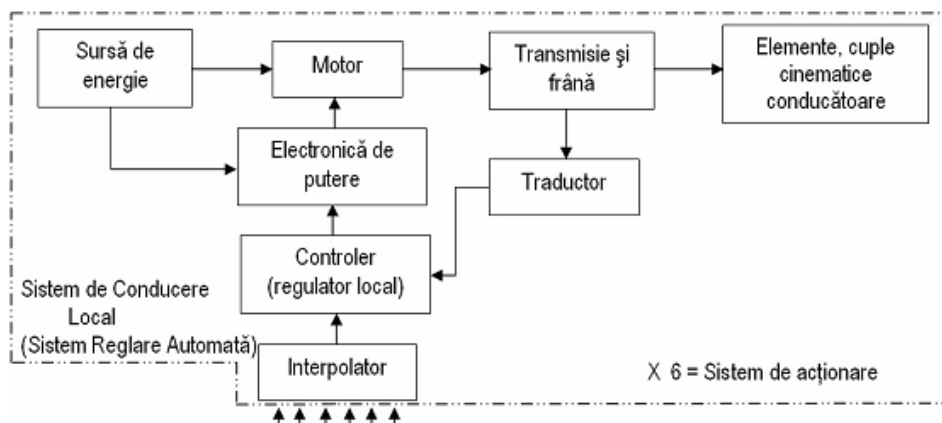


Fig.4.12. Schema bloc a unui sistem de conducere locală (SCL)

Fiecare cuplă cinematică conducătoare este condusă de către un SCL.

Mișcările elementelor cuplelor cinematice conducătoare sunt urmărite de traductoare de poziție, viteză, accelerație, care fac parte din structura sistemelor de conducere locale, și furnizează fiecărui controler de ax informațiile cu privire la mișcarea efectuată în realitate de elementele mecanice.

4.8.3.1. Problema conducerii nemijlocite a elementelor cuplelor cinematice conducătoare

Se definește ca și problemă a conducerii nemijlocite a unei axe mecanice următorul grup de 5 funcții și operații:

- 1) Generatorul de traiectorie furnizează (în unele cazuri prin intermediul interpolatorului) poziția impusă q^d (în unele cazuri și/sau viteza impusă și/sau accelerația impusă) numită *mărime de prescriere*.
- 2) Traductorul furnizează mărimile atinse în realitate de elementele mecanice: $q^r, \dot{q}^r, \ddot{q}^r$, numite *mărimi de reacție*.
- 3) Controlerul de ax calculează *abaterea* (denumită uneori și *eroare*).

$$\begin{aligned} a_p &= q^d - q^r \\ a_v &= \dot{q}^d - \dot{q}^r \\ a_a &= \ddot{q}^d - \ddot{q}^r \end{aligned} \quad (4.24)$$

- 4) Abateră se introduce într-o formulă numită *algoritm de reglare (AR)*, proiectat de inginerii automatiști, care permite calcularea unei *mărimi de comandă y* cu care apoi se comandă electronica de putere și, în final, motorul. y rezultă din calcule astfel încât va comanda mișcarea în sensul anulării abaterii.

Observație: Operațiile 3 și 4 sunt efectuate tot de controlerul de ax.

Algoritmul de reglare este proiectat astfel încât să implementeze o anumită *lege de reglare*. Principalele legi de reglare sunt:

- *reglarea de tip P (proporțională)* în care mărimea de comandă y este proporțională cu abaterea;
- *reglare de tip PI (proporțional integratoare)* în care y este proporțională cu abaterea și cu integrala ei;
- *reglarea de tip PID (proporțional integrator derivativă)* în care y e proporțională cu abaterea, integrala și derivata ei.

Fiecare dintre aceste legi de reglare prezintă avantaje și dezavantaje și se utilizează în funcție de performanțele urmărite în reglare.

Principalele performanțe pretinse de la un algoritm de reglare sunt:

- timp de răspuns cât mai scurt;
- eroare nulă în regim staționar;
- evitarea intrării în stare de oscilație.

La proiectarea algoritmului de reglare se ține seama de parametrii elementelor componente sistem (masele puse în mișcare, constantele motorului de acționare, parametrii etajului de electronică de putere, ș.a.).

Observație: În capitolul 6 se va prezenta mai detaliat problematica reglării automate.

- 5) Comandă, cu semnalul y , blocul electronica de putere și, prin aceasta, motorul determinând, în final, mișcarea elementelor mecanice în sensul anulării abaterii.

Fiecare articulație este prevăzută cu câte un sistem de conducere local propriu și, deci, conducerea nemijlocită a axelor unui robot se efectuează într-un mod independent pentru fiecare cuplă cinematică conducătoare. Cu alte cuvinte, se procedează la **conducerea distribuită** a axelor mecanice.

Observație: ideal ar fi ca la nivelul întregului robot să se urmărească simultan toate mișcările de pe toate axele și să se înfăptuiască o conducere în ansamblu a robotului cu un, eventual, *regulator global*. Acest lucru nu se poate realiza momentan pentru că:

- nu există traductoare carteziane de mare precizie la prețuri convenabile (prețul unui astfel de traductor este comparabil cu cel al întregului echipament electronic al robotului);
- legăturile dintre mișcările pe diferite axe sunt exprimabile cu ecuații complicate (neliniare) și timpul de calcul necesar conducerii ar crește exagerat de mult (conducerea în timp real devine imposibilă).
- sisteme de conducere pentru câte o axă mecanică se folosesc de când se fabrică mașinile cu comandă numerică; astfel de echipamente sunt astăzi produse de firme specializate, la prețuri accesibile.

6.1. Sistem de conducere local pentru o axă mecanică

Sistemul de acționare al unui robot se compune din mai multe sisteme conducere locală (SCL), amplasate la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare (fig.4.12).

În contextul lucrării de față, prin conducere nemijlocită se înțelege conducere propriu-zisă, directă, fără intermediar.

Un sistem de conducere local este realizat cu o structură de sistem de reglare automată (SRA), construit în jurul câte unui motor ce produce mișcarea.

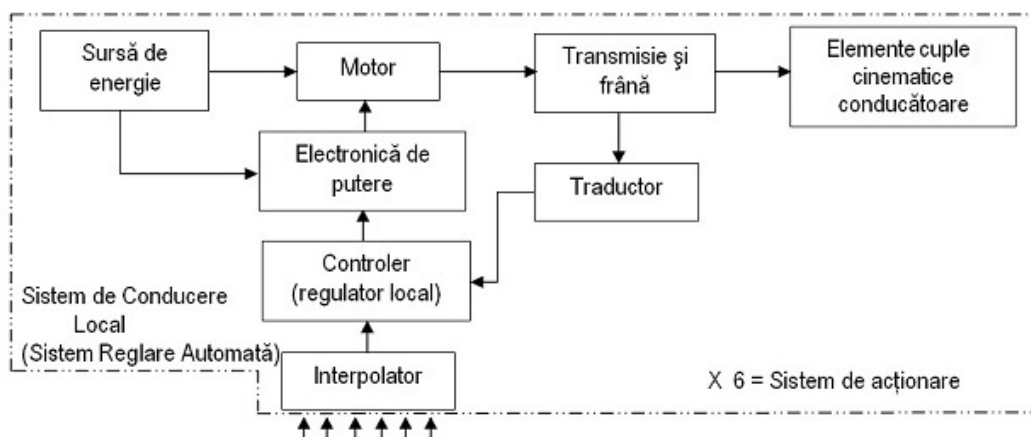


Fig.4.12. Schema bloc a unui sistem de conducere locală (SCL)

Definiție: elementul care transformă în energie cinetică orice altă formă de energie se numește **motor**.

În funcție de tipul motorului este denumit și sistemul de acționare: electrică, hidraulică, pneumatică,...

Sistemul de acționare electrică este cel mai răspândit în cazul roboților, circa 80% dintre roboți fiind cu acționare electrică. Acest lucru se datorează următoarelor argumente:

- 1) Disponibilitatea cvasigenerală a energiei electrice în mediile industriale;
- 2) Robustețea motoarelor electrice (motoarele de gabarit relativ mic permit dezvoltarea de cupluri relativ mari, admit supraîncărcări în limite destul de largi);
- 3) Posibilitatea de racordare simplă a motoarelor la sursa de energie;

- 4) Dinamică foarte bună(motoarele electrice au inerți mici și timp de răspuns scurt la comenzile aplicate);
- 5) Manoperă de întreținere mică;
- 6) Randament energetic ridicat;
- 7) Cost mai redus.

Sistemul de acționare hidraulică este folosit mai ales în aplicațiile cu sarcini mari. Sistemul de acționare pneumatică permite numai acționări simple (închis/ deschis înainte/înapoi) și se folosesc mai ales la manipolatoare simple.

În cazul acționărilor electrice cel mai frecvent se utilizează motorul de curent continuu, deoarece acesta prezintă avantajul modificării turației sale la modificarea tensiunii aplicate la borne.

Indiferent de modul sau coordonatele folosite în conducerea unui robot, ori de tipul de acționare utilizat, conducerea nemijlocită a elementelor cuplelor cinematice conducătoare se realizează, individual, la nivelul fiecăreia dintre ele. Se procedează, astfel, la o conducere descentralizată, distribuită la nivelul fiecărei axe în parte.

Principial, structura (bloc) după care se realizează conducerea nemijlocită este cea din fig.6.1.

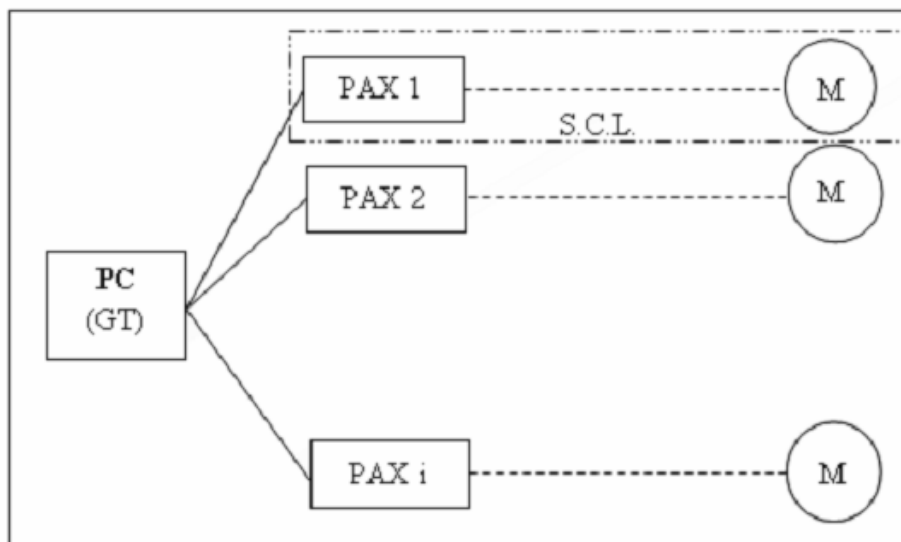


Fig.6.1. Conducerea distribuită a axelor unui robot

Fiecare axă este condusă cu câte un sistem de conducere local (SCL) construit în jurul motorului de acționare aferent. Fiecare SCL este coordonat de câte un procesor de ax (implementat cu microprocesor sau microcontroler). Calculatorul central al robotului (de tip PC) comandă, prin generatorul de traiectorie și, uneori, prin interpolator, procesoarele de ax PAX i (controlerele de ax din schema bloc a robotului). Numărul de microprocesoare/ microcontrolere de ax (PAX) este în funcție de numărul de grade de libertate ale robotului (tipic 6). Există însă și situații în care se folosește un singur microprocesor/ microcontroler pentru conducerea nemijlocită a mai multor

axe, caz în care structura ierarhică se schimbă(vezi fig.6.2). În acest caz sunt necesare microprocesoare/ microcontrolere performante (scumpe) și trebuie elaborat un software mai complicat pentru acestea (costuri suplimentare de manoperă).

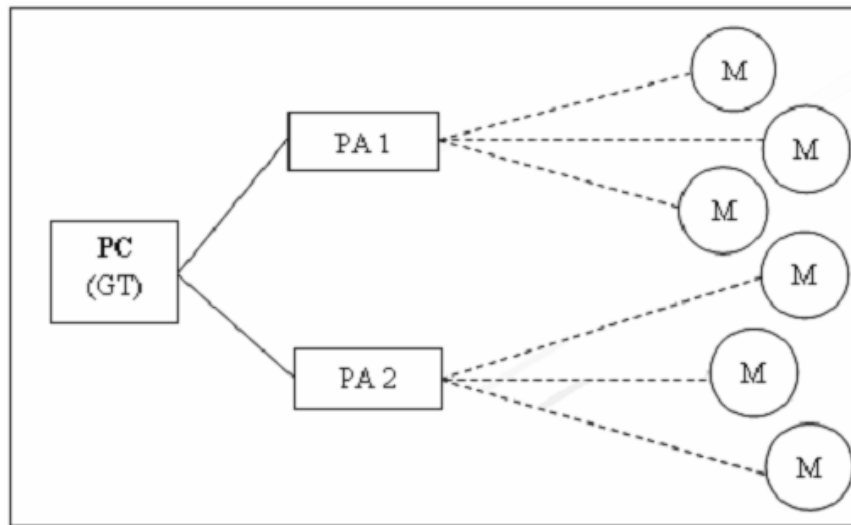


Fig.6.2. Conducerea a mai multe axe cu un același microprocesor

Un sistem de conducere locală (SCL) complet de la nivelul unei cuple cinemate conducătoare trebuie să conțină și transmisia mecanică și o frână (vezi fig.4.12).

Observație: din transmisie o parte se consideră inclusă în sistemul de acționare: rotorul motorului și

- roata dințată primară;
- fulia de la cureaua de transmisie;
- o față a ambreiajului;
- volanta.

De obicei de axul transmisiei este legat și traductorul de poziție, viteză, accelerație (uneori numai unul, uneori toate trei), care furnizează informații despre mișcarea realizată în realitate.

Există traductoare numerice (incrementale) care furnizează impulsuri electrice în timpul funcționării. Există și traductoare electrice care furnizează o tensiune sau un curent electric proporțional cu deplasarea efectuată sau cu viteza.

Motorul este comandat de blocul *electronică de putere*. Acest bloc este de fapt un convertor de formă de energie.

Exemplu: pentru cazul motorului de curent continuu blocul “electronică de putere” se alimentează de la rețeaua de curent alternativ monofazată sau trifazată pe care o transformă într-o formă de tensiune continuă cu valoare reglabilă.

Sursa de energie este rețeaua de curent alternativ monofazat sau trifazat (disponibilă în toate mediile industriale) și mai rar se folosesc surse autonome de energie. Forma tensiunii care alimentează motoarele este:

- pentru motoare de curent continuu, ca în fig.6.3. Tensiunea este continuă cu valoarea variabilă, reglabilă.

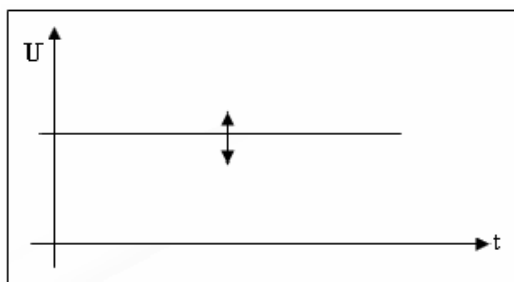


Fig.6.3. Tensiune continuă reglabilă

- pentru motoarele de curent alternativ asincrone la ieșirea electronicii de putere se obține un sistem de trei tensiuni alternative cu amplitudinea și frecvența variabile.
- pentru motorul pas cu pas se generează trenuri de impulsuri (vezi fig.6.4). La fiecare impuls electronic aplicat motorul pas cu pas execută un pas mecanic.

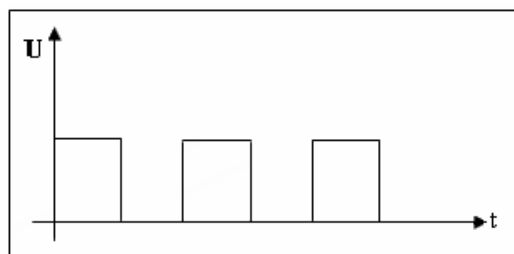


Fig.6.4. Impulsuri de tensiune

Coordonatorul întregului sistem de reglare automată este controlerul. Acesta este realizat cu un microprocesor sau microcontroler și este subordonat direct generatorului de traiectorie (din schema generală sistemului de conducere al robotului).

La conducerea nemijlocită a unei cuple cinematice conducătoare **scopul final** este de a dezvolta un cuplu activ în axul motorului de acționare, adică de a produce mișcarea.

Conducerea nemijlocită a unei cuple cinematice conducătoare constă din următoarele aspecte:

- Se cunoaște poziția relativă la care trebuie să ajungă elementele cuplelor cinematice conducătoare.(se notează cu q^d). Se obține de la generatorul de traiectorie și se numește **mărime de prescriere**.
- Se cunoaște permanent (de la traductorul aferent) poziția obținută în realitate. Se notează q^r și este numită **mărime de reacție**.
- Trebuie determinat cu cât trebuie comandat motorul pentru a ajunge din poziția curentă în cea prescrisă.

Observație: problematica enunțată mai sus reprezintă problema fundamentală a conducerii unei cuple cinematice conducătoare.

Suplimentar se mai pun câteva cerințe, numite de unii autori *indici de calitate a reglării* :

- trecerea de la q^d la q^r să se efectueze cât mai rapid (termenul aferent din automatică este *timp de răspuns mai scurt*);
- sosirea să fie cât mai precisă (cu *eroare nulă*).

Pentru realizarea dezideratului fundamental împreună cu cerințele impuse de indicatorii de calitate se include în sistemul de reglare automată local un **bloc regulator** (implementat cu controlerul).

Regulatorul local are rolul de a calcula cu cât trebuie comandată electronica de putere (cu care apoi se modifică tensiunea la bornele motorului) pentru a se asigura o deplasare până la anularea abaterii: $a = q^d - q^r$.

Un regulator execută **funcția de reglare** după un algoritm de reglare.

Observații:

- 1) Algoritmul este formula după care regulatorul calculează **mărimea de comandă** (către electronica de putere). Această formulă este proiectată de inginerii automatiști.
- 2) Formula poate fi executată cu circuite analogice. În acest caz se folosesc amplificatoare operaționale cu care se efectuează adunare, scădere, înmulțire, împărțire, integrală, derivată etc., operând cu tensiuni și/sau curenți, așadar cu mărimi analogice. Această variantă are folosită mai ales în anii '70 și se numește **regulator analogic**.

Astăzi nu se mai întâlnesc decât rar regulatoare analogice, deoarece reglarea se face cu microprocesoare și microcontrolere, adică **regulatorul este numeric**. Regulatorul are ca mărimi de intrare q^d și q^r și parametrii de proces (constantele motorului, mase și momente de inerție ale obiectelor puse în mișcare, cupluri rezistente etc.). Ținând cont de mărimile de intrare (și cu ajutorul formulei de reglare a algoritmului) regulatorul calculează **mărimea de comandă** pentru electronica de putere (cu care se comandă motorul), necesară pentru anularea abaterilor.

Din punctul de vedere al conducerii întregului robot, ar fi mai de dorit să se procedeze la o reglare globală (cu un regulator global) pe ansamblul întregului robot și nu o reglare distribuită local (descentralizată) realizată cu PAX i. *Motivele* pentru care *se procedează la o conducere distribuită* sunt:

- 1). Traductoarele care ar trebui să urmărească situarea punctului caracteristic în spațiul cartezian, la preciziile pretinse în diferite procese tehnologice, sunt prohibitiv de scumpe;
- 2). Realizarea unor regulatoare globale cu acțiune pe ansamblul întregului robot este foarte dificilă pentru că:
 - mișcările de la nivelul axelor nu sunt independente una de alta. Aceste legături se exprimă matematic cu ecuații foarte complicate și profund neliniare. De aici

rezultă necesitatea unor calcule extrem de numeroase ce trebuie efectuate în timp real (ceea ce se face dificil);

- trebuie folosit modelul matematic (dinamic) al întregului robot. Acesta este complicat și nici un model matematic nu este perfect.
- 3). La nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare se pot amplasa traductoare (de viteză, poziție, accelerație, forță) care sunt produse la prețuri accesibile;
 - 4). Sistemele de reglare automată pentru mișcările elementelor unei axe (SCL) sunt astăzi produse în mod curent la prețuri extrem de avantajoase (există o veche tradiție de la mașinile unelte cu comandă clasice);
 - 5). Elaborarea unui software pentru reglare globală este amplă, complexă (costisitoare).

Observație: motivele expuse mai sus limitează posibilitățile de a se realiza reglarea globală (a acțiunilor unui robot) folosind calculatoarele existente astăzi. În ultimul timp au apărut calculatoarele *CNN* (*Neural Network Computer* – calculatoare cu rețele neuronale), cu viteze de calcul mult superioare calculatoarelor numerice.

Rețelele neuronale sunt niște circuite analogice învățate care “învăță” din propria lor experiență. Sunt compuse din „celule” de calcul analogice performante, legate între ele cu „neuroni”. Rețelele sunt programate (cu un calculator obișnuit) să se comporte într-un anumit fel, în situații ce sunt presupuse ca fiind cele mai probabile.

Se creează pentru circuitele (programele) situațiile respective și se urmărește rezultatul acțiunilor. În funcție de rezultat, circuitele își corectează funcționarea (se autoreglează) până ajung cât mai aproape de funcționarea dorită.

Astfel de circuite sunt supuse unui “antrenament” cu situații cât mai multe dintre cele posibile, astfel încât să se ajungă la o comportare optimă. „Antrenamentul” poate fi efectuat fie prin simularea comportării rețelei (modelate) pe un calculator tradițional, fie prin conectarea propriu-zisă a rețelei într-o schemă anume de antrenare a ei. Cu astfel de circuite s-au realizat calculatoare “autoprogramabile” care “învăță din propria lor experiență” diferite situații și își adaptează comportarea situațiilor noi ivite.

Calculatoarele CNN, datorită proprietăților structurilor analogice, au o viteză de calcul cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât cele obișnuite.

Astfel de calculatoare se folosesc deja (cu succes) în prelucrări de imagini. Cu astfel de calculatoare se va rezolva probabil conducerea globală și adaptivă a roboților (împreună cu calculatoarele clasice). Deocamdată persistă dezavantajul că circuitele integrate care implementează rețele neuronale nu au fost tipizate, fiecare producător oferind variante proprii și diferite de ale altora.

La intrarea fiecărui sistem de conducere local (SCL, SRA) se aplică **mărimi de prescriere**, care sunt parametrii cinematici ai mișcării calculați de către generatorul de traiectorie (poziție, viteză, accelerație). În structura sistemelor de conducere locale sunt incluse traductoare cu care se urmărește mișcarea obținută în realitate. Rolul sistemului de reglare automată este de a conduce elementele mecanice spre abatere (eroare) nulă între mărimile de prescriere și **mărimile de reacție** (cele citite de la traductoare).

6. Cum se realizează conducerea unui robot în cazul conducerii distribuite. pp.27 – 28; pp.99-101; pp.214-215 ----
-IDEM 5
7. Specificarea mișcării în coordonate c.c.c. pp.102-107

4.9. Conducerea unui robot în coordonate c.c.c.

Această metodă de conducere este frecvent utilizată în conducerea unui robot. Mișcarea elementelor mecanice este urmărită numai la nivel articular, adică la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare individuale. Denumirile utilizate de diferiți autori pentru această metodă sunt: *conducerea în coordonate c.c.c.*, *conducerea în coordonate robot*, respectiv *conducerea în coordonate articulare*.

În literatura de limbă engleză terminologia folosită este **joint motion** (*joint* înseamnă articulație).

Și în acest caz punctul caracteristic în mișcare descrie o traiectorie. Aceasta este însă obținută ca rezultat al mișcării simultane pe toate axele (uneori nu pe toate axele). De cele mai multe ori traiectoria rezultată este complicată, greu de urmărit vizual și are o expresie analitică sofisticată.

4.9.1. Specificarea mișcării în coordonate c.c.c.

În cazul acestei metode specificarea mișcării presupune parcurgerea mai multor etape:

a) Determinarea punctelor țintă și via în coordonate c.c.c.

- în cazul în care robotul a fost învățat prin instruire (programat prin învățare), cazul roboților simpli, punctele țintă și via sunt memorate direct în coordonate c.c.c. De aceea această etapă, în acest caz, nu presupune decât preluarea din memorie a punctelor învățate;
- pentru roboții evoluți, la care modelarea mediului se face prin calcul, se calculează matricile T_6 pentru fiecare etapă a procesului tehnologic și, cu analiza cinematică inversă, se determină punctele țintă în coordonate c.c.c. care sunt memorate.

b) Determinarea timpilor de deplasare

După ce punctele țintă pentru elementele cuplelor cinematice conducătoare se cunosc, se observă că vitezele maxime realizabile la nivelul fiecărei axe sunt, de asemenea, cunoscute: masele care trebuie mișcate și rezistențele ce trebuie învinse se știu, iar puterea P se cunoaște pentru fiecare motor. ($P = \sum F \times v$)

Într-o primă etapă, se consideră că elementele fiecărei articulații se deplasează cu viteza maxim posibilă. Cu aceste viteze se calculează timpul minim pentru deplasare:

$$t_i = \frac{q_{fi} - q_{0i}}{v_i}, \quad \text{unde } i = 1 \div 6 \quad (4.25)$$

și: q_{0i} este punctul inițial;
 q_{fi} este punctul țintă final;
 v_i este viteza maxim realizabilă;
 i este cupla cinematică numărul i .

Pentru elementele fiecărei axe se cunosc și accelerațiile maxim obținabile și deci se pot calcula timpurile t_{acc} de accelerare de la 0 la v_i , respectiv de decelerare de la v_i la 0 (luați egali).

Observație: în cazul mișcării după un profil trapezoidal de viteză cazul limită este cel din fig.4.13

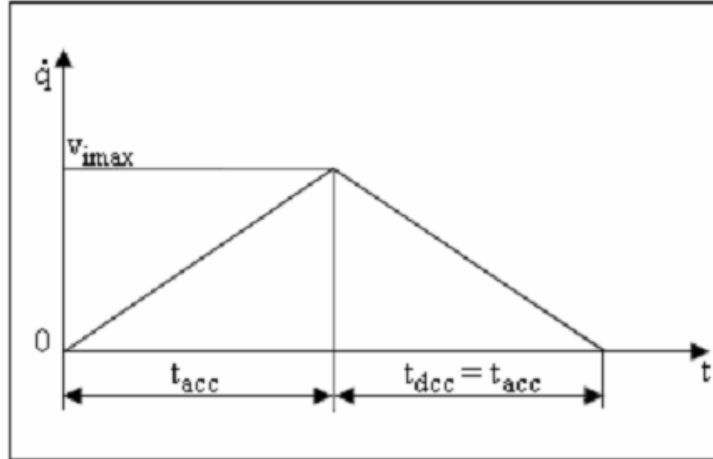


Fig.4.13.Cazul limită la mișcarea după un profil trapezoidal de viteză

În acest caz mișcarea este numai cu accelerare și decelerare (lipsește palierul ce indică deplasarea cu viteză constantă). Pentru a se realiza productivitatea maximă trebuie însă, ca și în acest caz, să se ajungă la viteza maximă.

Ținând cont de cele două situații descrise mai sus se alege ca durată a mișcării între două puncte țintă:

$$T = \max \{ t_i, 2t_{acc} \} \quad (4.26)$$

adică cel mai lung timp dintre timpurile de deplasare calculați la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare.

Acest mod de alegere este necesar pentru a asigura execuția completă a mișcărilor la nivelul fiecărei axe mecanice. Adică, se renunță la deplasarea cu viteză maximă a elementelor unora dintre axe, dacă altele nu se pot mișca decât mai lent. În acest fel, este sigur că mișcările se efectuează complet pe fiecare dintre axe.

4.9.2. Alegerea funcțiilor conducere

Se alege câte o funcție conducere $q(t)$ pentru elementele fiecărei articulații în parte. Proprietățile impuse pentru funcțiile conducere (legile de mișcare) sunt:

- să fie funcții continue și să aibă cel puțin primele două derivate continue (adică să fie funcții line);
- valorile momentane să se poată calcula prin înlocuirea directă a valorilor pentru variabila t în expresiile lor și să nu fie necesare iterații de calcul;

- c) valorile momentane calculate să aibă corespondent fizic bine determinat, adică poziția, viteza și accelerația calculate pe baza lor, pentru fiecare valoare a lui t , să se poată și executa fizic;
- d) să se evite realizarea de mișcări neutile (“hoinare”).

În general, aceste condiții sunt îndeplinite dacă funcțiile $q(t)$ sunt polinomiale.

4.9.3. Exemple de funcții conducere în coordonate c.c.c. Funcția conducere polinomială

Pentru fiecare axă se alege, ca lege de mișcare relativă a elementelor mecanice (lege de evoluție în timp) o expresie de forma:

$$q(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + \dots + c_{n-1} t^{n-1} + c_n t^n \quad (4.27)$$

Cel mai frecvent se utilizează polinoamele de gradul 1, 2 sau 3, dar există și cazul utilizării unor polinoame de grad superior (5, 6 sau 7).

Observație: legile de mișcare de ordinul 1 și 2 sunt mișcările „clasice”, cu viteză, respectiv, accelerația constantă.

Coeficienții c_i , $i = 1 \div 6$ se determină în etapa de specificare a mișcării din condițiile impuse trecerii prin anumite puncte țintă sau via.

Exemplul 1: Utilizarea unei funcții polinomiale de ordinul 3 ca funcție conducere între două puncte via.

Datele problemei:

Se cunosc două puncte via pentru elementele unei axe (două poziții relative impuse elementelor articulației).

Se cunoaște că mișcarea începe la momentul $t = 0$ și se termină la $t = t_f$.

Se cunoaște și viteza de trecere prin punctele impuse.

Se cer:

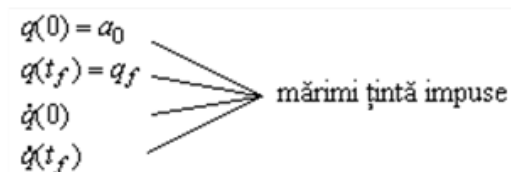
Să se găsească coeficienții funcțiilor polinomiale de gradul 3 care să asigure o conducere lină între cele două puncte via impuse pentru elementele cuplei cinematice respective.

Rezolvare:

Se alege o funcție polinomială:

$$q(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (4.28)$$

Se cunosc:



Se formează sistemul:

$$\begin{cases} q(0) = a_0 \\ q(t_f) = a_0 + a_1 t_f + a_2 t_f^2 + a_3 t_f^3 = q_f \\ \dot{q}(0) = a_1 \\ \dot{q}(t_f) = a_1 + 2a_2 t_f + 3a_3 t_f^2 \end{cases} \quad (4.29)$$

Se rezolvă sistemul și se obțin soluțiile:

$$\begin{aligned} a_0 &= q_0 \\ a_1 &= \dot{q}(0) \\ a_2 &= \frac{3}{t_f^2} [q_f - q_0] - \frac{2}{t_f} \dot{q}(0) - \frac{1}{t_f} \dot{q}(t_f) \\ a_3 &= \frac{2}{t_f^3} [q_f - q_0] - \frac{1}{t_f^2} [\dot{q}(t_f) - \dot{q}(0)] \end{aligned} \quad (4.30)$$

Observație: Cel mai frecvent acest set de calcule se execută off - line, adică înainte de începerea desfășurării mișcării propriu-zise între cele două puncte. Acest mod de lucru se poate utiliza dacă procesul este bine stabilit de la început și nu suferă modificări. Există și cazuri când calculul coeficienților polinomiale trebuie efectuat online (din mers), dacă procesul este extrem de flexibil și desfășurarea etapelor sale depinde de evenimente produse în etapele anterioare.

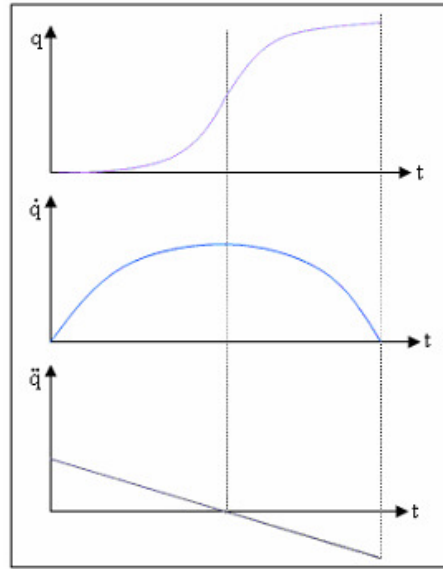


Fig.4.14. Exemplu de alură pentru o polinomială de ordinul 3

În fig.4.14 se arată un exemplu de alură pentru o polinomială de ordinul 3, ca lege de mișcare începută din repaos și oprită în punctul final ($t_0 = t_f = 0$).

Exemplul 2: Funcția conducere cu profil trapezoidal de viteze.

Este cazul cel mai frecvent utilizat în conducerea unui robot în coordonate c.c.c. Este cazul particular în care funcția polinomială utilizată este de ordinul 2. Pentru acest caz alura curbelor aferente poziției, vitezei și accelerației sunt ca cele reprezentate în fig.4.8.b. În acest caz elementele articulației evoluează cu accelerat de la 0 la t_1 , cu viteză constantă de la t_1 la t_2 și uniform încetinit de la t_2 la t_f .

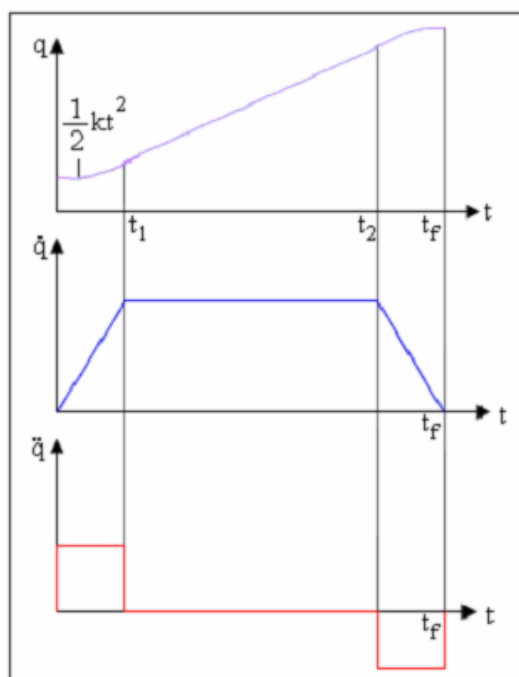


Fig.4.8.b. Mișcare după un profil trapezoidal de viteză

Datele problemei:

Se cunosc punctul inițial și cel final în deplasare și motorul de acționare al cuplei cinematice conducătoare.

Se cere profilul de viteze după care trebuie conduse elementele axei.

Rezolvare: Pornind de la parametrii motorului se pot calcula vitezele și accelerațiile maxime obținabile. De regulă, se dorește pornirea cu viteza și accelerația maxime și atingerea vitezei maxime posibile (pentru a se realiza productivitatea maximă). Cu $a_{\max}$ și $v_{\max}$ se calculează în momentele t_1 și t_2 în care începe și, respectiv, se termină porțiunea liniară a curbei $q(t)$.

Observații:

- 1) În cazul conducerii cu profil trapezoidal de viteză trebuie asigurat câte un interval de timp pentru accelerare și, respectiv, pentru decelerare, în orice situație. Cazul limită este cel redat în fig.4.13. În această situație accelerația este mică și nu se

mai ajunge la deplasarea cu viteză constantă; mișcarea constă dintr-o accelerare până la viteza maximă și apoi o decelerare de la viteza maximă la 0. În acest caz trebuie însă asigurat ca intervalul $0 - t_f$ să fie mai mare decât $2t_{acc}$, unde t_{acc} este intervalul de timp necesar accelerării cuplei cu accelerația dată, de la 0 la v_{max} . t_{acc} este calculabil.

- 2) În situația limită din fig.4.13, pe graficul $q(t)$ lipsește porțiunea liniară. Graficul $q(t)$ se compune din numai două arce de parabolă racordate.
- 3) Cu cât accelerația este mai mare, cu atât t_{acc} este mai scurt și porțiunea liniară e mai lungă. Cu cât accelerația este mai mică, cu atât t_{acc} e mai lung și porțiunea liniară mai scurtă.

8. Generarea mișcării în coordonate c.c.c. Concluzii, avantaje, dezavantaje pentru conducerea în coordonate c.c.c. pp.107-109

4.9.4. Generarea mișcării în coordonate c.c.c.

După etapa de specificare a mișcării s-au ales timpii de parcurgere și funcțiile conducere și s-au calculat coeficienții variabilei timp din expresiile funcțiilor conducere. Aceste date sunt transferate generatorului de traiectorie. Rolul GT este acela de a calcula valorile numerice ale funcțiilor conducere și derivatele lor la diferite intervale de timp.

Cu o frecvență cuprinsă între 20 Hz și 200 Hz (în funcție de viteza de calcul a calculatorului) se calculează valorile $q(t)$, $\dot{q}(t)$ și $\ddot{q}(t)$, parametrii cinematici ai mișcărilor (valori ce trebuie atinse în mișcare la diferite momente). Sunt generate astfel puncte ale traiectoriei descrise de elementele mecanice și vitezele/accelerațiile aferente.

Aceste valori calculate de GT sunt măriri de prescriere pentru regulatoarele din structura fiecărui sistem de conducere local de la nivelul articular, cu care asigură conducerea nemijlocită a fiecărei axe (toate sistemele de conducere locale, împreună, constituie sistemul de acționare al robotului).

Generatorul de traiectorie lucrează după un program care urmărește, în principiu, un algoritm de tipul:

```

t = t0;
bucă: așteaptă după noul interval de interpolare
t = t + Δt;
q(t),  $\dot{q}(t)$ ,  $\ddot{q}(t)$  {valorile coordonatelor q și ale derivatelor lor în momentul t}
dacă t = tf părăsește buclă;
dacă t < tf continuă buclă;
end.

```

Observație: Principalul calcul pe care-l efectuează generatorul de traiectorie în parcurgerea algoritmului este acela al calculului valorilor momentane pentru funcțiile conducere și derivatele lor. Rezultatul acestor calcule reprezintă (în fiecare moment Δt) mărimile de prescriere pentru regulatoarele din structura sistemelor de conducere locale de la nivelul cuplelor cinematice conducătoare.

Concluzie: GT generează puncte prin care trebuie să treacă elementele fiecărei articulații între t_0 și t_f , specificând și vitezele și accelerațiile aferente. Elementele

mecanice descriu și ele câte o traiectorie: arc de cerc, linie dreaptă, (după tipul cuplelor cinematice - de rotație sau de translație).

4.9.5. Concluzii cu privire la mișcarea în coordonate c.c.c.

Acest mod de conducere al unui robot este considerat cel mai simplu și cel mai mic consumator de timp de calcul. Conducerea se efectuează la nivelul la care și mișcarea este produsă (nivelul articulațiilor). Se pornește de la procesul tehnologic și se determină punctele țintă și via în coordonate operaționale (de multe ori carteziane). Cu analiza cinematică inversă, aplicată o singură dată, se determină punctele țintă și via în coordonate c.c.c. (coordonate articulare, coordonate robot). La nivelul fiecărei axe a robotului se alege (se specifică) câte o lege de mișcare și, în continuare, mișcările sunt urmărite numai la nivel articular.

Folosind funcții conducere polinomiale mișcările la nivelul fiecărei axe sunt line, rezultând implicit și o mișcare lină pe ansamblul întregului robot (se poate demonstra și matematic).

Desfășurarea mișcării se urmărește numai la nivelul cuplelor cinematice conducătoare, controlerul aferent corectând, pentru fiecare axă, eventualele erori locale. De aici rezultă o acuratețe mai scăzută în ceea ce privește situațiile din spațiul operațional al robotului.

Observație: În etapa de generare a mișcării GT, în care s-au memorat legile de mișcare stabilite pentru fiecare axă, incrementează variabila t de la 0 la t_f . Pentru fiecare valoare a lui t se calculează câte o valoare $q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i$, $i = 1 \div n$ pentru funcțiile conducere și derivatele lor. Aceste valori sunt mărimi de prescriere care se transmit controlerului de ax de la nivelul fiecărei articulații în parte, spre a fi executate.

Deși scopul final urmărit este acela ca punctul caracteristic să treacă prin toate punctele țintă și via impuse de procesul tehnologic, mișcarea nu este condusă și controlată la nivelul punctului caracteristic (pentru care oricum nu avem traductor), ci la nivelul fiecărei axe unde, de fapt, mișcarea este executată.

Între mișcările elementelor ce constituie o cuplă cinematică și elementele celorlalte articulații nu există de fapt decât o singură legătură: de regulă, încep și se termină simultan. Mișcările tuturor elementelor se desfășoară concomitent, dar sunt și cazuri în care unele elemente se află în repaos când altele se deplasează.

4.9.6. Avantajele conducerii unui robot în coordonate c.c.c.

Principalele avantaje ale acestui mod de conducere sunt:

- specificarea și generarea traiectoriei se realizează direct în variabilele (coordo-natele) care sunt reglate la nivelul sistemelor de conducere locale;
- coeficienții funcțiilor conducere se calculează simplu;
- timpul de calcul pentru generarea mișcărilor de prescriere pentru sistemele de conducere locale (valorile momentane ale funcțiilor $q(t)$ și derivatelor) este redus, foarte aproape de timpul real (adică uneori se pot executa calculele și online);
- nu apar situații în care mecanismul să devină degemerat.

Notă: Mecanismul devine degenerat dacă pentru o anumită situație a punctului caracteristic în spațiul operațional se obține, cu analiza cinematică inversă, pentru cel puțin una dintre coordonatele c.c.c. valoarea $q = \infty$. Fiind condus direct în coordonate c.c.c., este evident că, robotului i se prescriu mereu valori reale și finite ale coordonatelor.

Observație: mișcările elementelor mecanice sunt comandate la nivelul fiecărei articulații separat, în mod independent. În realitate elementele cuplelor cinematice conducătoare nu se pot mișca independent, între ele existând cuplaje (exprimate prin ecuații neliniare foarte complicate). De efectul acestor cuplaje trebuie ținut cont. În structura sistemelor de conducere locale sunt introduse regulatoarele care se proiectează astfel încât să se țină cont și de aceste cuplaje.

4.9.7. Dezavantajele conducerii unui robot în coordonate c.c.c.

Principale dezavantaje:

- mișcarea se urmărește la nivelul cuplelor cinematice conducătoare, iar mișcarea punctului caracteristic se obține ca rezultat al mișcărilor independente urmărite pe fiecare axă;
- nu se urmărește direct mișcarea punctului caracteristic, ci pentru elementele ce constituie fiecare cuplă cinematică conducătoare se alege câte o funcție conducere independentă, iar GT generează câte o lege de mișcare pentru elementele fiecărei articulații. Mișcările se execută simultan.

Consecință: traiectoria punctului caracteristic se obține ca rezultat al tuturor mișcărilor, este greu de exprimat analitic, este greu de anticipat și e o curbă greu de urmărit în spațiul vizual uman. De aceea, în acest mod de conducere, operatorul uman trebuie să garanteze, de la bun început, că desfășurarea etapelor procesului tehnologic are loc astfel încât în nici un moment să nu survină pericolul de coliziune.

Exemplul clasic de utilizare a acestui mod de conducere este în cazul robotului de sudură în puncte, la care interesează numai atingerea tuturor punctelor în care trebuie aplicată sudura (cu o orientare adecvată a efectorului final) și nu interesează pe ce traseu se deplasează efectorul final între două puncte (iar evitarea coliziunilor trebuie asigurată anticipat). Interesează, desigur, și asigurarea deplasării line.

4.10. Conducerea unui robot în coordonate carteziane

În cazul conducerii în acest mod, punctului caracteristic i se impune o traiectorie continuă în spațiul cartezian. Se alege și se proiectează (se calculează) legea de mișcare a punctului caracteristic pe o traiectorie spațială impusă de procesul tehnologic. Uneori se determină și vitezele, accelerațiile cu care punctul caracteristic trebuie să se deplaseze.

Cu analiza cinematică inversă și cu Jacobianul aferent se calculează pozițiile, vitezele și accelerațiile de la nivelul cuplelor cinematice conducătoare, iar aceste

4.10. Conducerea unui robot în coordonate carteziane

În cazul conducerii în acest mod, punctului caracteristic i se impune o traiectorie continuă în spațiul cartezian. Se alege și se proiectează (se calculează) legea de mișcare a punctului caracteristic pe o traiectorie spațială impusă de procesul tehnologic. Uneori se determină și vitezele, accelerațiile cu care punctul caracteristic trebuie să se deplaseze.

Cu analiza cinematică inversă și cu Jacobianul aferent se calculează pozițiile, vitezele și accelerațiile de la nivelul cuplelor cinematice conducătoare, iar aceste valori se transmit ca valori prescrise sistemelor de conducere locală, care acționează fiecare articulație.

4.10.1. Generarea mișcării în coordonate carteziane

Și în acest caz generarea punctelor de pe traiectorie se face cu blocul generator de traiectorie. Principal, în cadrul GT generarea punctelor se face rulând un algoritm (program) de tipul:

```
t=t0;  
buclaă: așleaptă pentru noul interval de interpolare  
t=t+Δt; {incrementează timpul}  
H(t),  $\dot{H}(t)$ ,  $\ddot{H}(t)$  {valorile situarii vitezei și accelerațieiei punctului caracteristic la momentul t  
(expresii matriciale)}  
Q(t), J(t),  $J^{-1}[H(t)]$  {calculul soluțiilor în coordonate c.c.c. obținute cu analiza cinematică inversă,  
respectiv cu inversul Jacobianului}  
dacă t = tr then părăsește bucla;  
dacă t < tr continuă bucla;  
end.
```

În acest caz funcția conducere se exprimă matriceal, $H(t)$ este o matrice cu elemente variabile în timp ce exprimă evoluția situației punctului caracteristic de-a lungul traiectoriei.

La fiecare parcurgere a algoritmului se calculează elementele matricilor $H(t)$, $\dot{H}(t)$, $\ddot{H}(t)$ (situație + viteză + accelerație) și se efectuează calculul de conversie din coordonate operaționale (carteziane) în coordonate c.c.c. (articulare).

Observație: este necesar un volum de calcule mult mai mare decât în cazul conducerii în coordonate c.c.c. În literatura de specialitate se arată că volumul de calcule necesar aferent conducerii în coordonate c.c.c. reprezintă 1 - 7 % din volumul de calcule necesar în cazul conducerii în coordonate carteziane.

4.10.2. Specificarea mișcării în cazul conducerii în coordonate carteziane

Înainte de a se trece la generarea propriu-zisă a traiectoriei (cu execuția unui algoritm de genul celui anterior prezentat) trebuie parcurse două etape preliminare:

4.10.2.1. Etapa de determinare a punctelor de definire a traiectoriei carteziane

Această etapă presupune deosebirea a două situații diferite:

- a) *când se cunoaște expresia analitică a traiectoriei.* În acest caz, se calculează, din expresia cunoscută, diferite puncte care trebuie atinse în diferite momente de timp. Modul de alegere a punctelor poate fi arbitrar sau impus de anumite considerente specifice procesului.

4.10.5. Metoda de conducere în spațiul cartezian cu orientare în c.c.c. (JOCM – Joint Oriented Cartesian Motion)

În acest caz, la specificarea mișcării se calculează întâi puncte de definire ale traiectoriei carteziene impuse. Din aceste puncte, cu analiza cinematică inversă, se calculează seturi de coordonate articulare aferente. Apoi, se alege câte o funcție conducere la nivelul fiecărei cuple cinematice conducătoare și se procedează la generarea traiectoriei la nivel articular.

Funcțiile conducere sunt (de obicei) polinomiale de grad mic. Conducerea se efectuează urmărind mișcarea numai la nivelul axelor. Reglajul se asigură numai cu verificarea acurateții mișcărilor elementelor cuplelor cinematice conducătoare.

Această metodă este cel mai frecvent utilizată pentru că necesită un volum de calcule mult mai scăzut.

Principalul dezavantaj al metodei este că se pierde din acuratețea urmăririi traiectoriei carteziene impuse. Au fost, însă, puse la punct metode rapide, cu calcule iterative, prin care se face corecția erorilor carteziene.

Observație: această metodă se aseamănă cu metoda de conducere în coordonate c.c.c. Deosebirea constă în aceea că, față de conducerea în coordonate articulare se folosesc mult mai multe puncte exacte de pe traiectoria carteziană, cărora li se aplică analiza cinematică directă.

4.11. Problema timpului de calcul

Esența conducerii unui robot constă în prescrierea mișcării și punerea în mișcare a sistemului mecanic.

Orice sistem mecanic are una sau mai multe frecvențe de rezonanță.

Conducerea unui robot se realizează cu mijloace numerice (digitale). La comanda numerică, comenzile către sistemul mecanic se aplică în momente discrete (distincte), cu toate că se folosesc funcții line în conducere.

Observație: sugestiv, se poate asemui modul de aplicare al comenzilor către sistemul mecanic cu ritmul de funcționare sacadat al unei mașini de cusut.

La aplicarea unei comenzi de trecere de la un punct la altul, în momentul aplicării comenzii apare un anumit șoc. Șocul este mai mare sau mai mic în funcție de metoda de conducere utilizată.

Dacă frecvența de comandă de trecere de la o situație impusă la alta se alege astfel încât:

$$f_{\text{generare}} \cong f_{\text{rez}} \quad (4.52)$$

se produce excitarea pe una dintre frecvențele de rezonanță f_{rez} ale sistemului mecanic și intrarea în oscilație a acestuia.

Pentru a evita excitarea pe f_{rez} a sistemului mecanic este necesar ca generarea comenzilor de trecere de la un punct la altul să se facă cu o frecvență:

$$f_{generare} \geq 10 \times f_{rez} \quad (4.53)$$

sau

$$T_{generare} \leq \frac{1}{10} T_{rez} \quad (4.54)$$

Din relația (4.54) rezultă că ideal ar fi ca, în conducere, toate calculele aferente găsirii unui nou punct de prescriere să fie efectuate într-un timp mai scurt decât $T_{rez}/10$.

În cazurile cele mai rapide $T_{rez} = 8 \dots 10$ ms, adică $T_{rez}/10 = 0,8 \dots 1$ ms. Un astfel de interval de timp necesar pentru efectuarea tuturor calculelor aferente conducerii unui robot la un nou punct de prescriere este o restricție severă. Problema apare cu mai mare acuitate în cazul conducerii în coordonate carteziane cu orientare în coordonate carteziane.

O astfel de restricție impusă duratei de efectuare a calculelor (≤ 1 ms, calcule în timp real) este severă pentru orice tip de calculator.

4.11.1. Procedura de efectuare a calculelor

În comanda numerică, ca procedeu general, se folosește discretizarea: întreaga durată a procesului de conducere se împarte în intervale egale și cât mai scurte de timp. Un astfel de interval a fost numit în software *felie de timp*, iar în automatică *perioadă de discretizare*, fiind notată uzual cu T . În alte discipline tehnice se folosește și denumirea *perioadă de eșantionare* (fig.4.21).

Principial, pe durata fiecărei perioade de discretizare, trebuie să se efectueze toate calculele aferente conducerii, pentru câte un pas al mișcării. Din considerentele arătate anterior trebuie să se aleagă: $T \leq T_{rez}/10$.

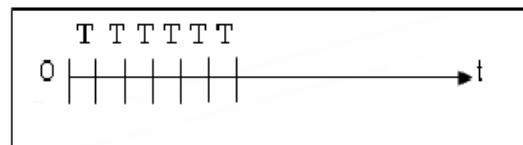


Fig.4.21. Împărțirea în perioade de discretizare

În acționările moderne, un sistem de acționare comandat numeric este considerat rapid dacă operează cu o perioadă de discretizare de $T = 0,8 \div 1$ ms. Sistemul de acționare asigură însă numai conducerea nemijlocită a elementelor cuplelor cinematice conducătoare. Evident este că, în acest interval de timp, nu se pot efectua toate calculele aferente conducerii robotului la un nou punct de prescriere.

Trebuie efectuate toate calculele pentru specificarea, generarea și conducerea nemijlocită a mișcării.

Această aparentă imposibilitate, de se a efectua pe durata unui interval de timp T toate calculele, se evită adoptând ca **procedeu general** soluția de a se executa în $T = 0,8 \dots 1$ ms numai calculele aferente conducerii nemijlocite în (calculele din sistemele de conducere locală).

Pentru celelalte calcule se procedează în următoarele moduri:

I. În cazul în care procesul tehnologic se cunoaște apriori cu exactitate, calculele se efectuează off-line:

a) în cazul conducerii în coordonate carteziene

Programatorul (operatorul uman) cunoaște cu exactitate procesul tehnologic și impune punctului caracteristic o traiectorie optimală, realizând off-line programul de conducere pe traiectorie carteziană (calculând $D(r)$, paragraful 4.10.3). Se incrementează (off-line) variabila t , respectiv r , și cu valorile succesive ale acestora se calculează șirul de matrici $D(r)$ aferente. Cu matricile $D(r)$ astfel calculate se găsește secvența de situații POZ k pe care trebuie să le ocupe punctul caracteristic în fiecare t .

Pentru fiecare situație carteziană calculată se aplică analiza cinematică inversă și se găsesc coordonatele articulare q_{ij} , $i=1 \div 6$ aferente. În final, se memorează coordonatele articulare aflate prin calcul, iar la momentul execuției mișcării se preiau aceste valori din memorie.

b) în cazul conducerii în coordonate c.c.c.

Procesul tehnologic impune trecerea prin anumite puncte carteziene. Cu analiza cinematică inversă se calculează, din punctele impuse, coordonatele c.c.c. aferente. Pentru fiecare cuplă cinematică conducătoare se alege apoi câte o funcție (polinomială) și se calculează coeficienții acestor funcții, pornind de la valorile rezultate din punctele impuse de proces.

Calculul șirului de puncte concrete de trecere pe parcursul mișcării este efectuat de generatorul de traiectorie, pe baza funcțiilor conducere alese, și se poate face, în multe cazuri, și on-line.

Observație: metoda b) se poate aplica și în cazul conducerii în coordonate carteziene cu orientare în coordonate c.c.c.

Metoda I se poate aplica numai dacă procesul tehnologic este foarte bine cunoscut și nu apar situații necunoscute, neprevăzute și/sau ramificații de tipul: „dacă,..., atunci,..., altfel...”, iar situațiile obiectelor din spațiul de lucru al robotului sunt riguros respectate (disciplină tehnologică).

II. În cazul unor procese tehnologice complexe sau incomplet cunoscute apriori.

Modul de desfășurare a unora dintre etapele procesului tehnologic pot depinde de evenimente petrecute pe parcursul derulării sale. Disciplina tehnologică este deseori încălcată, pot să apară obstacole, situații neprevăzute etc. În astfel de cazuri, situațiile succesive ale punctului caracteristic nu pot fi calculate off-line, ci trebuie calculate on-line.

Întrucât calculele pentru câte un punct exact al traiectoriei nu se pot efectua la fiecare T , se adoptă soluția de a calcula câte un punct (exact) numai la fiecare N perioade de eșantionare (tipic $N = 25 \div 30$). Calculele pentru următorul punct prescris pentru mișcări se efectuează în avans cu câțiva pași (1-2 etape de proces, dacă e posibil).

Pentru conducerea nemijlocită (conducerea cu controlerul de ax, vezi fig.2.1) trebuie, însă, respectată strict durata perioadei $T = 0,8 \dots 1$ ms. Asta înseamnă că la fiecare T trebuie să apară, pentru fiecare sistem de conducere local, câte o mărime de prescriere. Puncte de prescriere exacte sunt însă calculate numai la fiecare $N \cdot T$!

În aceste situații se folosește o metodă cu care, între două puncte de prescriere exacte (calculate la intervale $N \cdot T$), se calculează puncte de prescriere suplimentare cu un procedeu de interpolare liniară (vezi paragraful 4.11.2), prin care volumul de calcule este mult redus.

III. În cazul în care se efectuează și calcule de dinamică

Timpul necesar efectuării calculelor pentru determinarea unui nou punct al deplasării este extrem de lung. În astfel de situații se procedează la oprirea robotului într-un punct cartezian (într-o situație) și se așteaptă terminarea calculelor aferente punctului următor.

4.11.2. Interpolarea liniară

Fie două puncte, din spațiul cartezian, F_0 și F_1 , calculate exact într-un interval de timp $N \cdot T$ de către generatorul de traiectorie. Cu analiza cinematică inversă se calculează q_{0i} și q_{1i} , $i = 1 \div 6$, seturile de valori în coordonate c.c.c. (articulare), aferente punctelor considerate.

Între punctele de prescriere exacte calculate în coordonate c.c.c. se mai calculează, pentru fiecare axă, puncte de prescriere intermediare *pseudoexacte*, folosind relația:

$$q_i(t) = q_{1i} - (T_1 - t) \cdot (q_{1i} - q_{0i}) / T_1 \quad (4.55)$$

unde:

$q_i(t)$ – legea de variație în timp a valorilor coordonatei articulare i ;

q_{1i} , q_{0i} – puncte de prescriere exacte;

T_1 – intervalul de timp necesar deplasării între cele două puncte;

t – timpul curent.

$i = 1 \div 6$, pentru cazul unui robot uzual cu 6 axe.

Relația $q_i(t)$ (4.55) este liniară în timp, adică între două puncte de prescriere exacte se asigură o mișcare cu viteză constantă pe fiecare axă.

Calculul este efectuat de un bloc dedicat numit *interpolator* (vezi cap.II, fig.2.3).

El poate fi un bloc software sau un microcalculator. Prin introducerea acestuia se generează, către sistemele de conducere locală de la nivelul axelor robotului, câte un punct de prescriere, exact sau pseudoexact, la fiecare T .

Observații:

- 1) Pentru regulatoarele care execută conducerea nemijlocită a axelor, trebuie generat câte un punct de prescriere la fiecare T . Folosind interpolarea liniară, majoritatea dintre acestea sunt pseudoexacte, dar la fiecare $N \cdot T$ se transmite și câte un punct exact;
- 2) Interpolatorul poate fi inclus fie în generatorul de traiectorie, fie în controlerul de ax (fig.2.3);
- 3) Folosind puncte de prescriere pseudoexacte, desigur că acuratețea trecerii prin punctele carteziene impuse poate fi afectată. Există, însă, procedee de determinare (prin calcul) a numărului minim de puncte de prescriere exacte ce trebuie cunoscute și utilizate în conducere, pentru ca între ele să se poată proceda la interpolarea liniară și acuratețea deplasării în spațiul cartezian să se mențină în limite admise.

4.11.3. Algoritmul de determinare al numărului minim de puncte exacte de pe o traiectorie spațială, cu care se asigură o deviere limitată

În cazul utilizării interpolării liniare, folosindu-se puncte de prescriere pseudo-exacte, poate să rezulte o deviere inacceptabilă de la traiectoria spațială impusă. Situația se poate reprezenta ca în fig.4. 22.

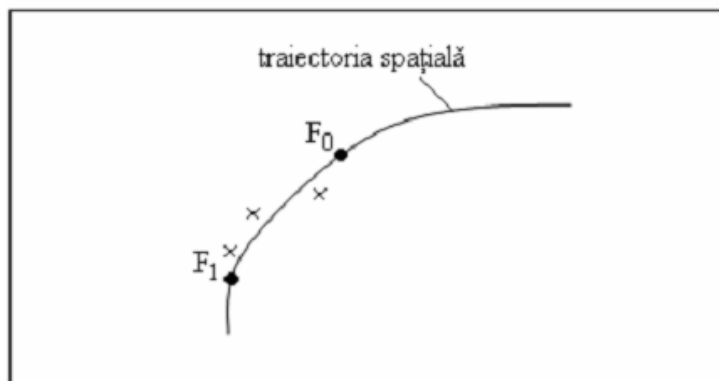


Fig.4. 22. Puncte din spațiul cartezian situate pe și în afara traiectoriei impuse

În fig.4. 22 F_0 și F_1 sunt două puncte exacte de pe traiectoria carteziană impusă. Acestea sunt calculate la intervale de timp $N \cdot T$. Între cele două puncte exacte, situate

Electronica de putere in comutatie

Anul III

1. Convertor *buck* în regim CCM.[1] (schema, forme de undă , pp.98-99).

Factorul de umplere al semnalului rezultat în urma modulării în durată este:

$$\alpha = t_{on} / T_s = u_c / u_{max}, \quad (3.1)$$

unde : u_c este tensiunea de control;

u_{max} - valoarea maximă a tensiunii liniar variabile;

Convertoarele c.c. – c.c. cunosc două moduri distincte de funcționare:

- cu un curent de sarcină neîntrerupt (*continuous conduction mode – CCM*);
- cu un curent de sarcină întrerupt (*discontinuous conduction mode – DCM*).

Convertoarele c.c. – c.c. fără izolare se vor analiza în aceste două regimuri de funcționare.

3.2.1. CONVERTORUL STEP-DOWN (BUCK)

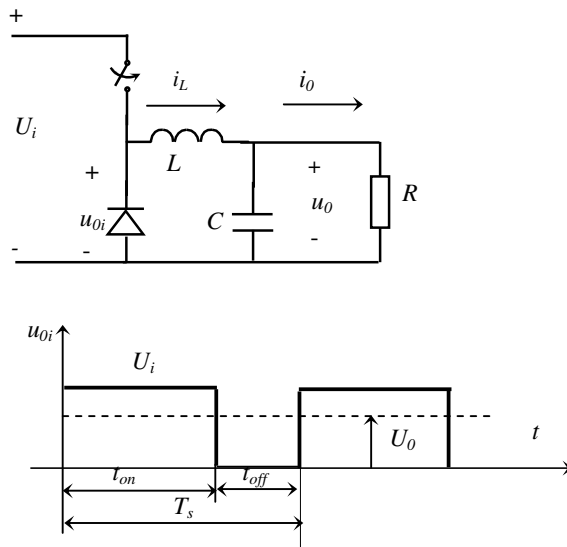


Fig.3.4. Convertorul buck.

Convertorul produce o tensiune de ieșire a cărei valoare medie este mai mică decât a tensiunii de la intrare. În fig.3.4 este prezentat convertorul *buck*, care

debitează pe o sarcină rezistivă. Considerând comutatorul ca un întrerupător ideal, se poate calcula valoarea medie a tensiunii de ieșire, U_0 :

$$U_0 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_o(t) dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} U_i dt + \frac{1}{T_s} \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt = \frac{t_{on}}{T_s} U_i = \alpha U_i. \quad (3.2)$$

Ținând cont de relația (3.1), avem:

$$U_0 = \frac{u_c}{u_{max}} U_i = \alpha u_c. \quad (3.3)$$

Prin modificarea factorului de umplere al semnalului de comandă se poate controla valoarea medie a tensiunii de ieșire. Totodată se poate vedea că tensiunea U_0 se modifică liniar cu tensiunea de comandă.

3.2.1.1.CONVERTORUL BUCK ÎN REGIM CCM

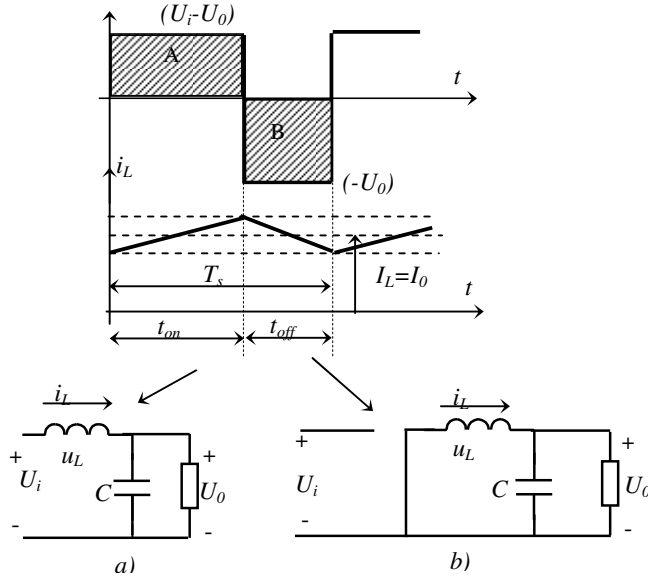


Fig.3.5. Regimul de curent neîntrerupt: a) comutator închis; b) comutator deschis.

2. Convertor *buck* în regim DCM cu $U_i = \text{constant}$. [1] [fig.3.7, $U_0 = f(U_i)$, pp.102-103].

Reprezentarea grafică a acestei relații este redată în figura 3.6b. Păstrând U_i, L, T_s constante, valoarea maximă a curentului de ieșire pentru care se ajunge la regimul de curent întrerupt se obține pentru $\alpha = 0,5$.

$$(I_L)_{L_{\max}} = \frac{T_s U_i}{8L}, \quad (3.9)$$

iar

$$(I_L)_L = 4(I_L)_{L_{\max}} \alpha(1 - \alpha). \quad (3.10)$$

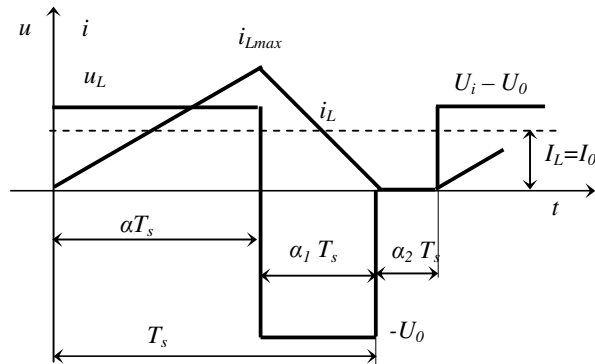


Fig.3.7. Regimul de curent întrerupt.

Dacă U_i este constant și U_0 este variabil, în funcționarea convertorului apar momente când, în funcție de valoarea lui α , curentul prezintă discontinuități. Spre exemplu, dacă consumul

de putere de la ieșire scade (adică R_s crește), valoarea medie a curentului prin bobină scade și se ajunge la situația reprezentată în figura 3.7.

Pentru a ilustra acest fenomen, se va calcula raportul U_0/U_i și se va pune în evidență în ce condiții apare regimul de curent întrerupt, dacă tensiunea de ieșire se modifică.

Din diagrama din figura 3.7 avem:

$$(U_i - U_0)\alpha T_s + (-U_0)\alpha_1 T_s = 0, \quad (3.11)$$

adică

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{\alpha}{\alpha + \alpha_1}. \quad (3.12)$$

Tot din diagramă rezultă:

$$i_{L\max} = \frac{U_0}{L} \alpha_1 T_s, \quad (3.13)$$

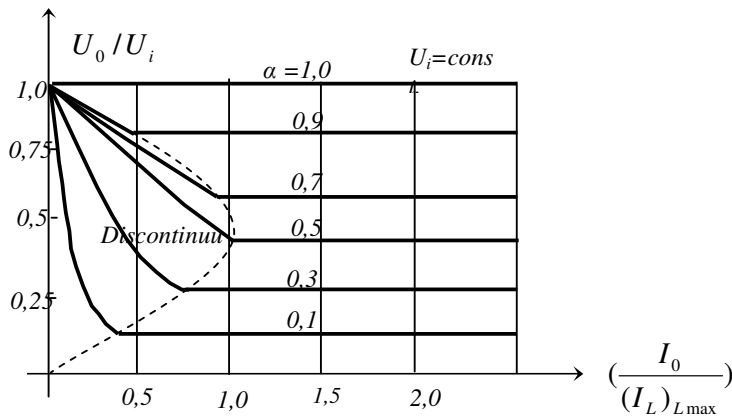


Fig.3.8. Caracteristica convertorului buck la $U_i = \text{const.}$

$$I_0 = i_{L\max} \frac{(\alpha T_s + \alpha_1 T_s)}{2} \frac{1}{T_s} = i_{L\max} \frac{(\alpha + \alpha_1)}{2}. \quad (3.14)$$

Ținând cont de relația (3.13), rezultă:

$$I_0 = \frac{U_0 \alpha_1 T_s (\alpha + \alpha_1)}{2L} = \frac{U_i T_s}{2L} \alpha \alpha_1 = 4(I_L)_{L\max} \alpha \alpha_1, \quad (3.15)$$

3. . Pulsațiile tensiunii de ieșire la convertorul buck.[1,pp. 106-107].

Pulsația, vârf la vârf, a tensiunii pe condensator este:

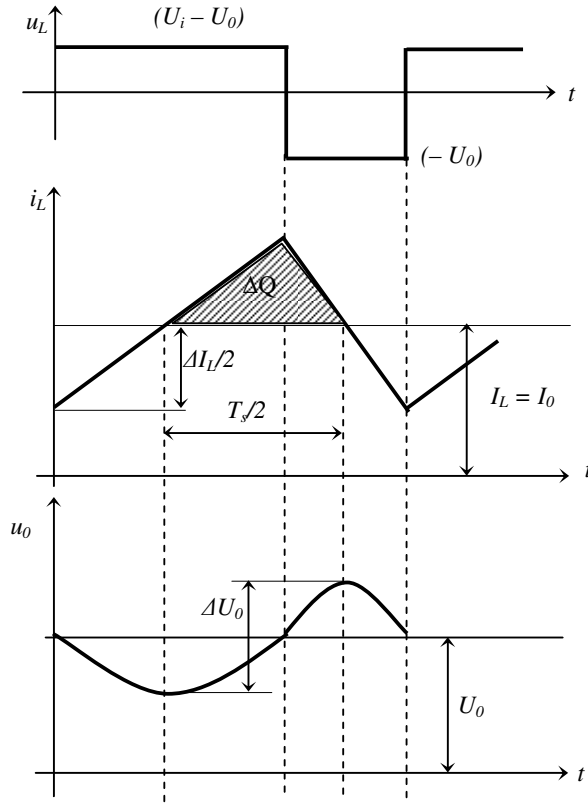


Fig.3.10. Pulsațiile tensiunii pe condensatorul de filtraj.

$$\Delta U_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L}{2} \frac{T_s}{2}. \quad (3.23)$$

Cum pe intervalul t_{off} este valabilă relația:

$$U_0 = L \frac{\Delta I_L}{t_{off}}, \quad \Delta I_L = \frac{U_0(1-\alpha)T_s}{L},$$

pulsația tensiunii este:

$$\Delta U_0 = \frac{T_s(1-\alpha)T_s U_0}{8LC}, \quad (3.24)$$

iar

$$\frac{\Delta U_0}{U_0} = \frac{1}{8} T_s^2 \frac{1-\alpha}{LC} = \frac{\pi^2}{2} (1-\alpha) \left(\frac{f_c}{f_s}\right)^2, \quad (3.25)$$

unde

$$f_s = \frac{1}{T_s}, \quad f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Relația (3.25) ne arată că amplitudinea pulsațiilor poate fi minimizată dacă frecvența f_c a filtrului trece jos este mult mai mică decât f_s . Se mai observă că amplitudinea pulsațiilor nu depinde de valoarea curentului de sarcină.

3.2.2.CONVERTORUL STEP-UP (BOOST)

Convertorul *boost* se utilizează la construcția surselor de alimentare care oferă tensiune stabilizată de valoare medie mai mare decât a tensiunii de intrare. În figura 3.11 se prezintă schema de principiu a acestui convertor.

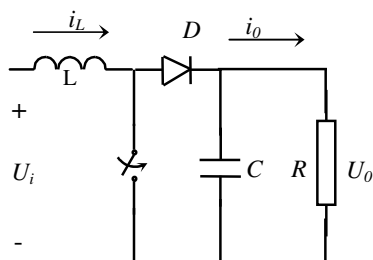
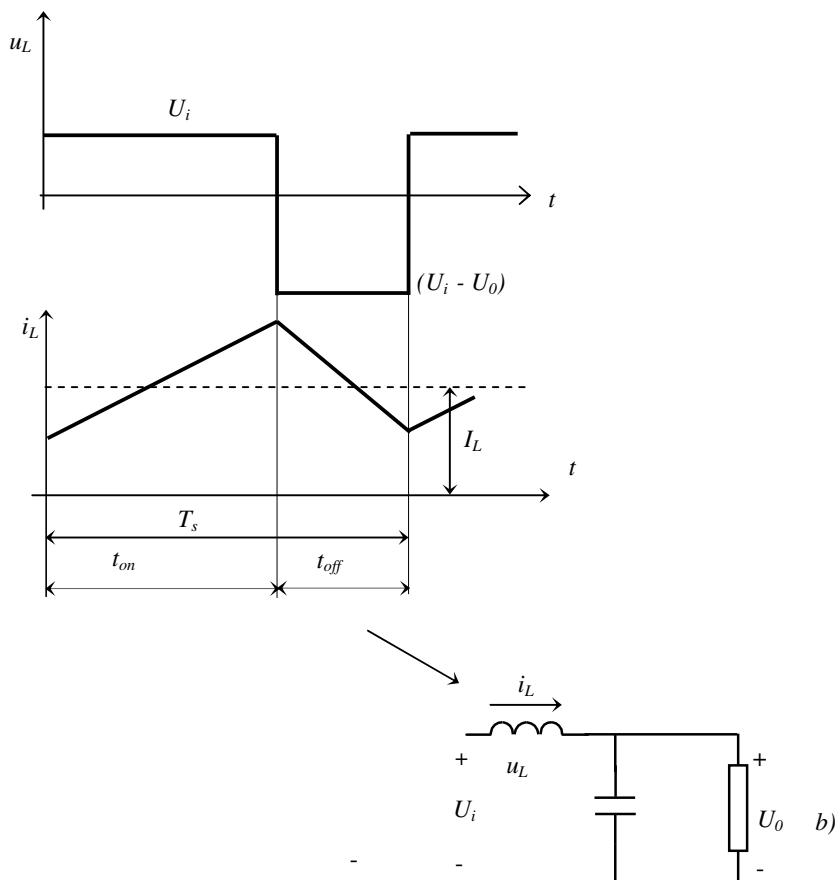


Fig.3.11. Convertorul Boost.

Când comutatorul este închis, dioda este invers polarizată, iar tensiunea de la intrare creează curent doar prin inductanța L . Circuitul de sarcină este izolat de circuitul de intrare. Când comutatorul se deschide, etajul de la ieșire primește energie atât de la bobină, cât și de la sursa de alimentare U_i . În regim permanent

4. Convertorul *boost* în regim CCM .[1] (schema, forme de undă , pp.108-109).

Figura 3.12 redă principalele forme de undă ce caracterizează acest regim de funcționare. Cum integrala de timp a tensiunii la bornele inductanței, pe o perioadă, este nulă, putem scrie:



$$U_i t_{on} + (U_i - U_0) t_{off} = 0,$$

$$U_i (t_{on} + t_{off}) = U_0 t_{off}. \quad (3.26)$$

Împărțind fiecare membru cu T_s , avem:

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1-\alpha}. \quad (3.27)$$

Dacă pierderile de putere pe comutator sunt nule ($P_i = P_0$) :

$$U_i I_i = U_0 I_0, \quad (3.28)$$

și

$$\frac{I_0}{I_i} = 1 - \alpha. \quad (3.29)$$

Și la acest convertor, ca urmare a modificării în limite largi a curentul cerut de consumator, se poate ajunge în zona în care curentul poate trece de la regimul de curent neîntrerupt la regimul de curent întrerupt. Figura 3.13 redă formele de undă pentru cazul limită.

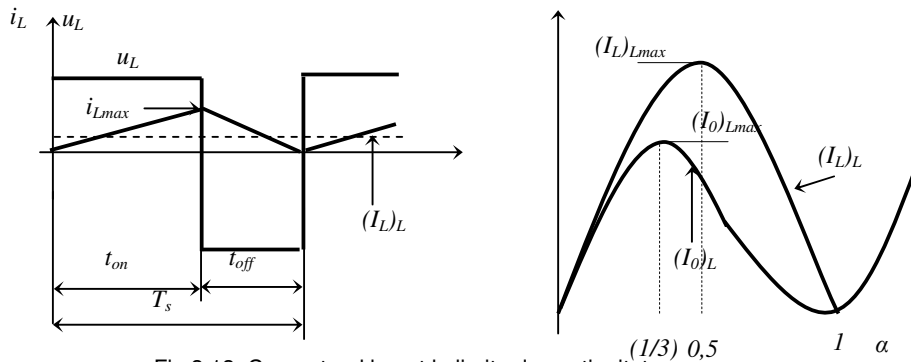


Fig.3.13. Convertorul boost la limita de continuitate.

S-a reprezentat situația când curentul i_L se anulează chiar în momentul în care se sfârșește timpul de blocare t_{off} .

5 Pulsațiile tensiunii de ieșire la convertorul *boost*. [1, pp.113] .

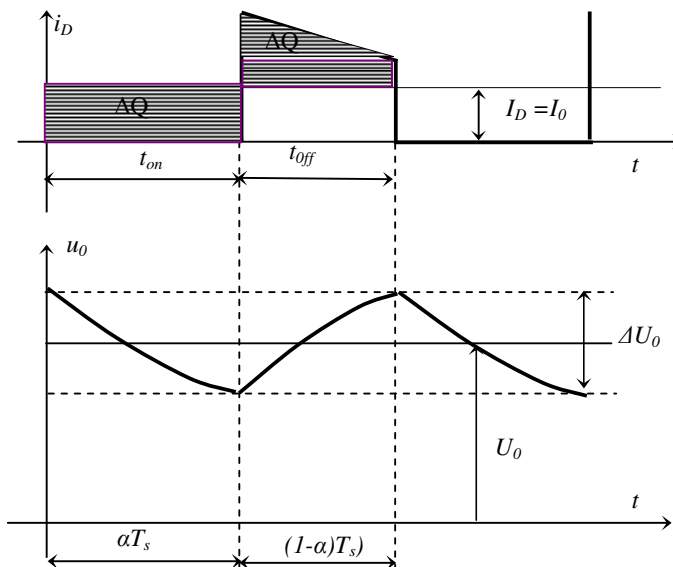


Fig.3.16. Pulsațiile tensiunii de ieșire la convertorul boost.

Calculul pulsațiilor tensiunii de la bornele condensatorului de filtraj se face pe baza formelor de undă prezentate în figura 3.16, forme ce caracterizează funcționarea convertorului cu curent neîntrerupt.

Admițând că prin rezistența de sarcină circulă doar valoarea medie a curentului de ieșire, iar prin capacitate componentele variabile în timp ale acestuia, aria hașurată în figura 3.16 reprezintă sarcina electrică ΔQ cu care se încarcă condensatorul:

$$\Delta U_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_0 T_s \alpha}{C} = \frac{U_0}{R} \frac{\alpha T_s}{C}, \quad (3.43)$$

iar

$$\frac{\Delta U_0}{U_0} = \frac{\alpha T_s}{RC} = \alpha \frac{T_s}{\tau}, \quad (3.44)$$

6. Convertorul *buck – boost* în regim CCM. .[1] (schema, forme de undă , pp.114-115).

Convertorul *buck-boost* poate fi obținut prin conectarea în cascadă a două convertoare: unul de tip *buck* și unul de tip *boost*. În regim staționar la ieșirea convertorului pot rezulta tensiuni a căror valoare medie poate fi mai mare sau mai mică decât tensiunea de alimentare de la intrare. Schema convertorului este redată în figura 3.17.

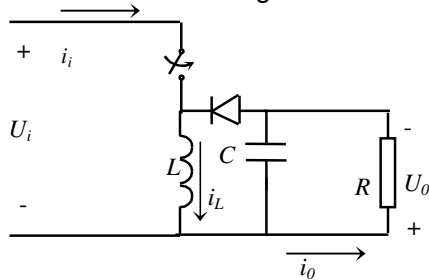


Fig.3.17. Convertorul buck – boost.

Când comutatorul este închis, sursa de alimentare U_i determină creșterea energiei electromagnetice înmagazinate în inductanță. Dioda este blocată. Când comutatorul se deschide, energia din bobină este cedată rezistenței de sarcină. Capacitatea de filtraj se consideră de valoare mare, așa că tensiunea la bornele ei o considerăm tot timpul constantă.

3.2.3.1.CONVERTORUL BUCK-BOOST ÎN REGIM CCM

Figura 3.18 redă formele de undă corespunzătoare celor două stări ale comutatorului. Se observă că:

$$U_i \alpha T_s = U_0 (1 - \alpha) T_s,$$

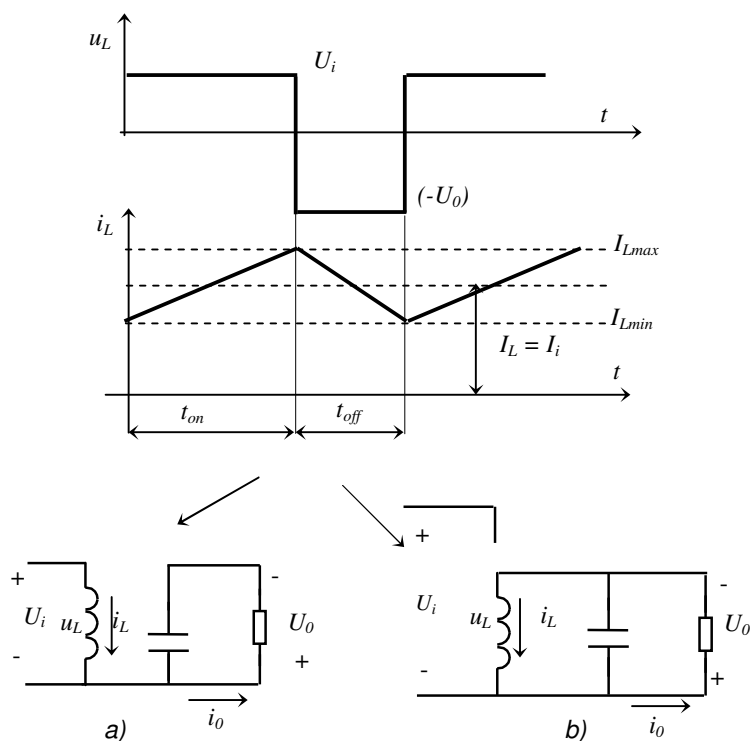


Fig.3.18. Convertorul buck – boost (CCM): a) comutator închis; b) comutator deschis.

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}. \quad (3.45)$$

Relația (3.45) arată că raportul între tensiunea de ieșire și cea de intrare este egal cu produsul factorilor de conversie ai celor două tipuri de convertoare

7. Convertorul CUK.[1, pp. 120-121, schema și principiul de funcționare].

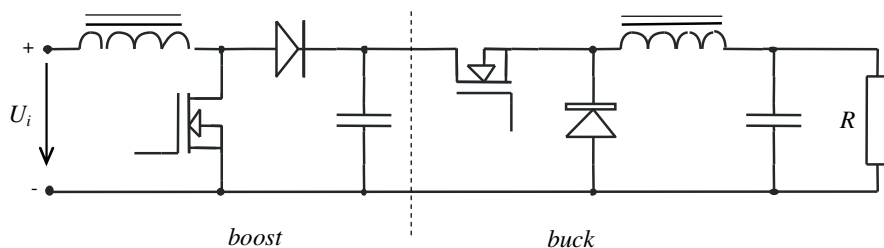


Fig.3.23. Combinație de convertoare boost și buck

Convertorul CUK a fost conceput ca o variantă a convertoarelor *buck* și *boost* conectate în cascadă (fig.3.23), astfel încât să rezulte un convertor la care curentul absorbit de la sursa de alimentare să aibă pulsații mai mici decât la convertorul *boost*, iar curentul de ieșire să aibă pulsații mai mici decât la convertorul *buck*. În plus, acest lucru este realizat doar cu un singur tranzistor.

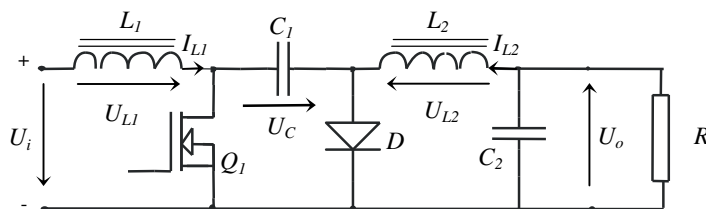


Fig.3.24. Convertorul CUK.

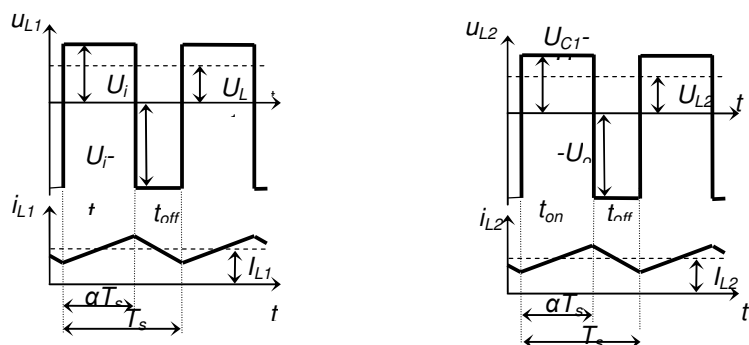


Fig.3.25. Formele de undă caracteristice funcționării convertorului.

Circuitul boost-buck rezultat în figura 3.23 poate fi simplificat, obținându-se configurația din fig.3.24.

În figura 3.25 se prezintă formele de undă ce caracterizează funcționarea convertorului.

8 . Convertorul forward .[1, pp. 148-149, schema și principiul de funcționare].

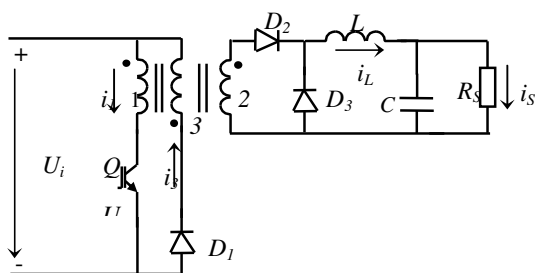


Fig.3.43. Convertorul forward.

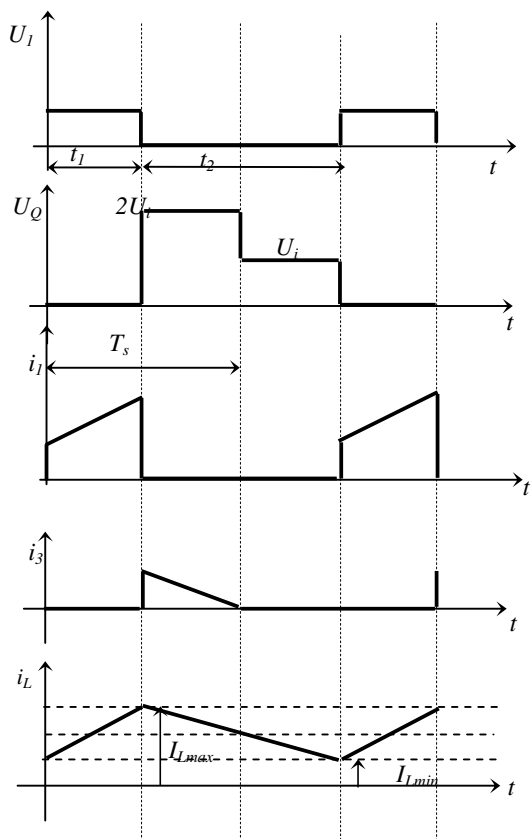


Fig.3.44. Formele de undă pentru convertorul forward.

Schema convertorului și principalele forme de undă ce caracterizează funcționarea sunt redată în figura 3.43 și 3.44.

9. Convertorul d.c.-d.c. în contratimp. [1, pp.157-158, schema și principiul de funcționare].

Convertorul c.c.-c.c. în contratimp cu transformator este prezentat în figura 3.50. El poate fi echivalat cu două convertoare de tip *forward*, care lucrează pe aceeași sarcină, în antifază.

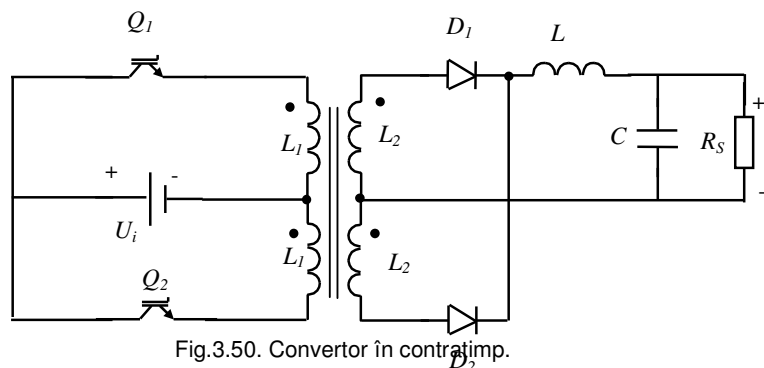


Fig.3.50. Convertor în contratimp.

Formele de undă sunt redată în figura 3.51. Diodele D_1 și D_2 redresează tensiunea din secundar, furnizând împreună curentul care străbate inductivitatea

de filtraj. În intervalul de timp în care tranzistoarele sunt blocate, secundarul transformatorului este scurtcircuitat de către cele două diode, care îndeplinesc în acest moment (în paralel) rolul de element de nul, ele fiind parcurse de curentul generat de energia înmagazinată în inductivitatea L . Când unul din tranzistoare este în stare de conducție, tensiunea pe celălalt este suma tensiunilor din primar, adică $2U_i$. Din formele de undă din figura 3.51 se constată că pentru o anumită valoare medie a curentului de sarcină, curentul mediu printr-un tranzistor este jumătate din curentul de sarcină, fapt ce determină o solicitare termică a acestora mult mai mică.

Tensiunea de la ieșire este dată de relația:

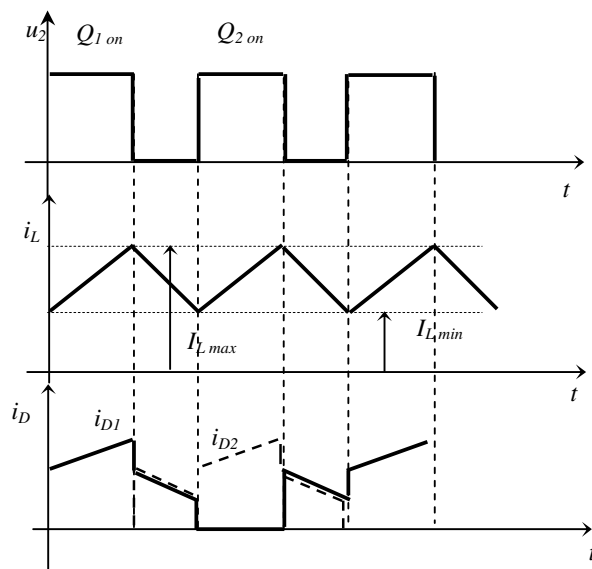


Fig.3.51. Formele de undă aferente convertorului în contratimp.

$$U_s = 2\alpha \frac{U_i}{n}, \quad (3.120)$$

unde:

α este factorul de umplere;

n - raportul de transformare.

10. Convertor d.c.- d.c. în contratimp în montaj semipunte [1, pp.160-161, schema și principiul de funcționare].

Soluția constructivă de tip semipunte (fig.3.53) este foarte larg răspândită pentru că:

- permite conectarea directă la rețeaua de 220V fără transformator de separare;
- oferă posibilitatea egalizării intervalelor de conducție a tranzistoarelor, chiar dacă caracteristicile lor diferă între ele.

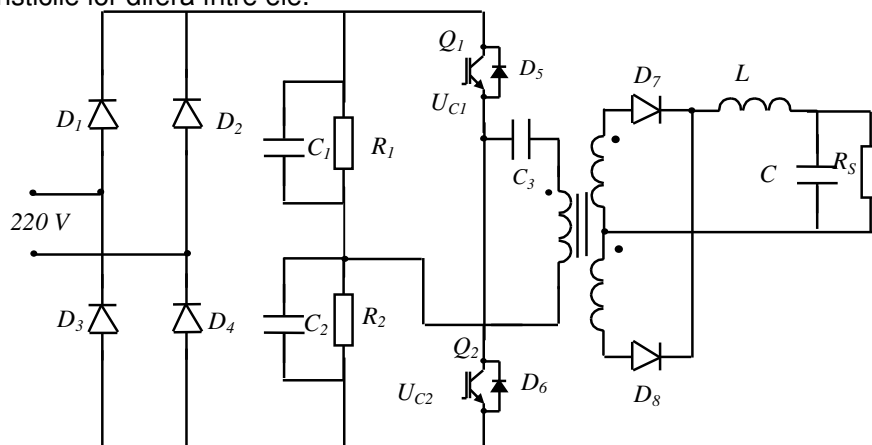


Fig.3.53. Convertor în contratimp în semipunte.

Un capăt al transformatorului este conectat între cele două tranzistoare, iar cel de al doilea este conectat la un punct cu potențial creat de capacitățile C_1 și C_2 a cărei valoare este $U_i/2$ ($R_1 = R_2$, $C_1 = C_2$). Când Q_1 conduce, capătul de sus al transformatorului ajunge la potențialul pozitiv creat de sursa de alimentare, formată din puntea redresoare ($D_1 - D_4$). Când tranzistorul Q_1 se blochează și intră în conducție Q_2 , se schimbă sensul de circulație al curentului în primar. Prin comanda alternativă a celor două tranzistoare, în primar se va obține o tensiune alternativă în amplitudine de 155V. Se observă că tensiunea pe tranzistoare în stare blocată nu poate depăși valoarea tensiunii de alimentare. La un randament $\eta = 0,8$, curentul prin tranzistoare ajunge la valoarea [14]:

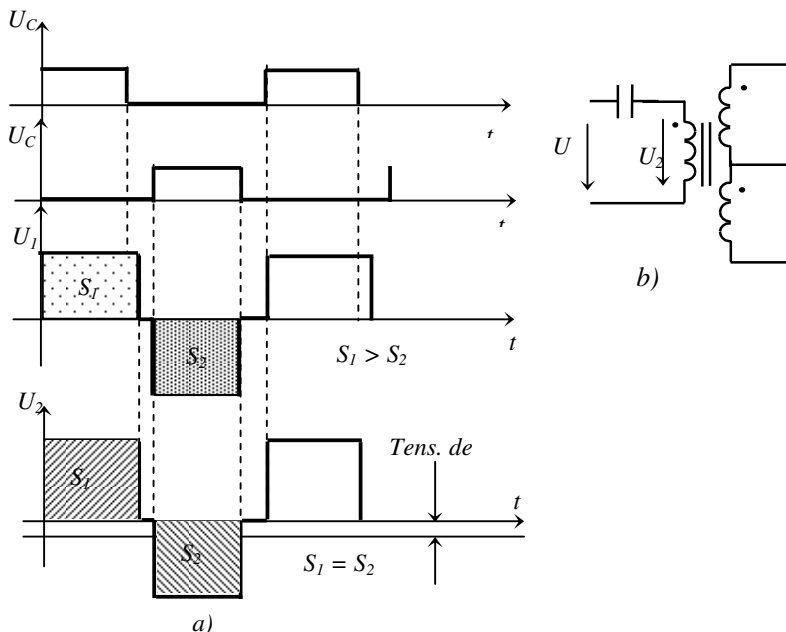


Fig.3.54. Explicativă pentru comportarea tranzistoarelor când nu există condensatorul C (cazul a) și când este introdus condensatorul (cazul b).

Radiocomunicații

Anul III

1. Definiți parametrii discretizării semnalelor de voce, respectiv audio hi-fi, și determinați debitele corespunzătoare.
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/1_Multimedia.PDF, 15-16

Informația audio (II)

■ Standardul muzică stereo (întă calitate)

□ standard CD, muzică hi-fi, 20 kHz banda audio

■ 2 canale

□ pentru înregistrare și transmisie stereo

■ $f_e = 44,1$ kHz

□ frecvența de eșantionare, conform teoremei lui Shannon

■ $n = 16$ biți

□ pentru cuantizare cu un RSZ = 96 dB

$$\Rightarrow \text{debit: } 2 \times 44.100 \times 16 = 1.411.200 \text{ biți/s}$$

■ Standardul de voce

□ standard telefonie, voce, 3,4 kHz banda audio

■ 1 canal

□ pentru recunoașterea vocii

■ $f_e = 8$ kHz

□ frecvența de eșantionare, conform teoremei lui Shannon

■ $n = 8$ biți

□ pentru cuantizare cu un RSZ = 48 dB

$$\Rightarrow \text{debit: } 1 \times 8.000 \times 8 = 64.000 \text{ bps}$$

2. Definiți și comparați cele două principii de reducere a zgomotului.

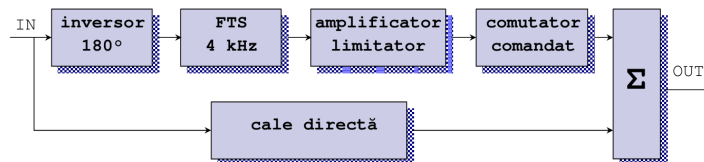
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/2_1_Sunetul.PDF, 20-25

Reducerea zgomotului la redare (I)

■ Zgomot = semnal de nivel scăzut și cu frecvență medie spre înaltă

→ un astfel de semnal poate fi identificat și rejectat (poartă de zgomot)

Exemplu: limitatorul dinamic de zgomot de la Philips DNL (Dynamic Noise Limiter)



IN: semnal cu zgomot

OUT: semnal cu un RSZ îmbunătățit cu 8 dB

■ **Avantaj:**

- compatibil cu orice sistem de înregistrare pe orice sistem de redare

■ **Analiza funcționării**

1. pauză între melodii
2. muzică înregistrată cu nivel mare
3. muzică înregistrată cu nivel mic

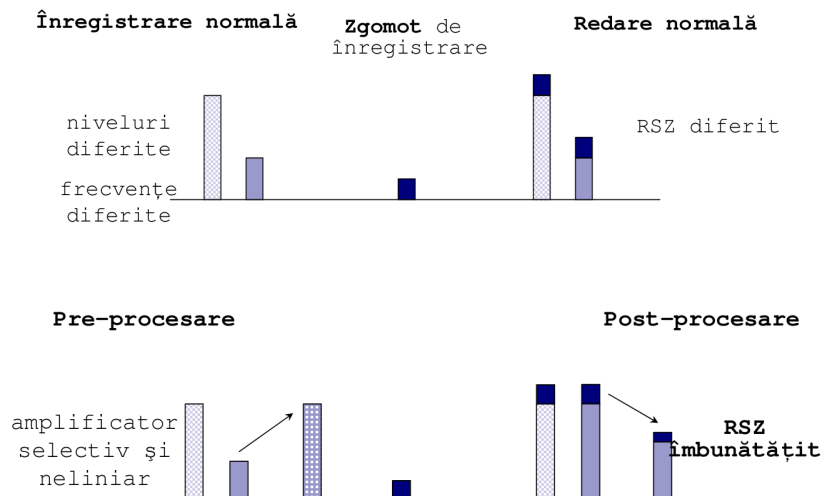
■ **Dezavantaj:**

- nu poate face diferența între zgomot și semnalul real

Sisteme de înregistrare - redare cu reducerea zgomotului la redare (I)

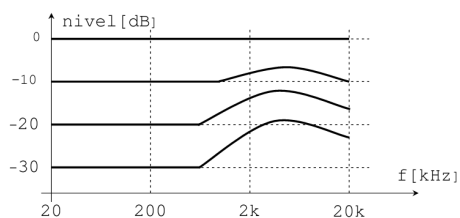
■ Sistemele realizează:

- prelucrarea semnalului **înainte** de înregistrare
- prelucrarea inversă **după** redare

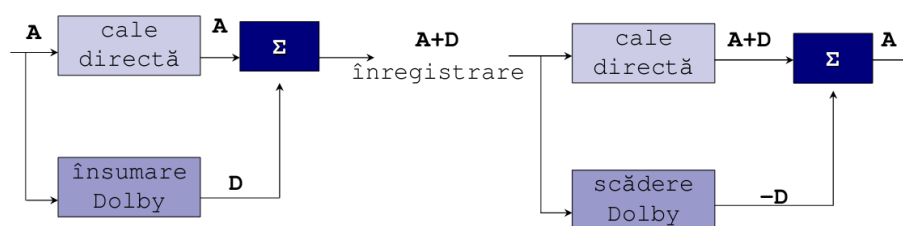


- **Avantaj:** semnalul real **nu este alterat** și este obținut cu un **RSZ ridicat**
- **Dezavantaj:** funcționează **doar pe același sistem** (înregistrare și redare)

Sistemul Dolby (I)

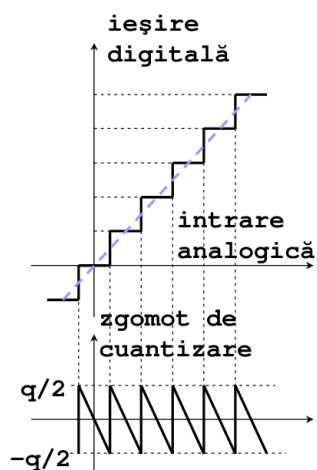


- **Zgomot:**
 - frecvență mare ($1 \div 15$ kHz)
 - nivel scăzut ($-20 \div -40$ dB)
- **Circuite Dolby:**
 - în timpul înregistrării amplifică **neliniar** și **selectiv**
 - realizează prelucrarea inversă la redarea semnalului
 - **mărește RSZ** cu 9 dB



3. Definiți și comparați tehnicile de cuantizare uniformă și neuniformă.
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/2_2_Sunetul.pdf, 8, 12

Cuantizare uniformă



- **niveluri de decizie** - uniforme (intrare analogică)
- **niveluri de cuantizare** - uniforme (ieșire digitală)
- **trepte de cuantizare** (q) - constante
 - pentru semnal de nivel mic
 - pentru semnal de nivel mare
- **zgomot de cuantizare** (eroare): $-q/2 \div q/2$

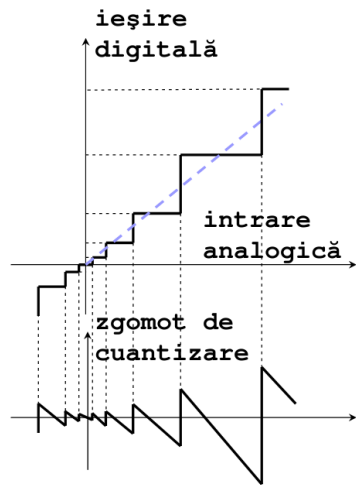
Rezultat:

- **semnal mic** cu eroare constantă → RSZ scăzut
- **semnal mare** cu eroare constantă → RSZ ridicat

Concluzie:

- calitate (RSZ de ansamblu)**
 → scăzută

Cuantizare neuniformă



- niveluri de decizie (intrare analogică) - neuniforme
- niveluri de cuantizare (ieșire digitală) - neuniforme
- trepte de cuantizare diferite
 - mici pentru semnal de mic
 - mari pentru semnal de mare
- zgomot de cuantizare (eroare): variabil

Rezultat:

- semnal mic cu eroare mică
→ RSZ mare
- semnal mare cu eroare mare
→ RSZ mare

Concluzie:

calitate (RSZ de ansamblu)
→ ridicată

4. Prezentați structura camerei foto digitale și elementele de reglaj.

https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/3_1_Imaginea.pdf, 5, 6, 8, 9

Achiziția imaginii fotografice (II)

- Achiziția **convențională** a imaginii necesită următoarele componente principale:

- obiectiv
 - pentru a **focaliza lumina** dintr-o scenă pe un film fotosensibil (argint)
- diafragmă
 - pentru a controla **cantitatea de lumină** care impresionează filmul
- obturator
 - pentru a controla **timpul** de expunere la lumină a filmului

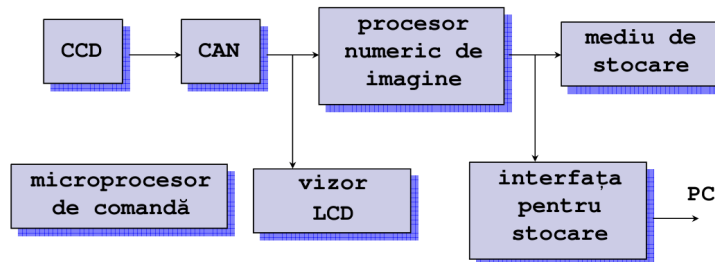
Achiziția imaginii electronice (I)

- Imaginea **electronică** este obținută utilizând:

- elemente tradiționale: obiectiv, diafragmă, obturator
- componente suplimentare:
 - CCD
 - explorarea imaginii și conversia **foto-electrică**
 - CAN
 - obținerea **formatului digital** al imaginii
 - mediu de stocare
 - memoria electronică, suport **magnetic**

Camera foto digitală (I)

- O cameră digitală portabilă, pentru achiziția imaginilor statice, are următoarele **componente electronice**:



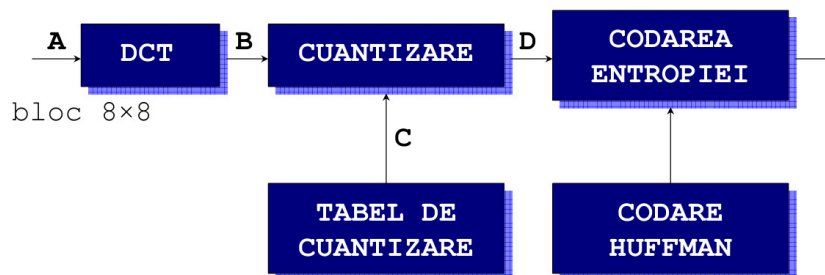
Camera foto digitală (II)

- **CCD**
 - pentru achiziția imaginii (conversie opto-electronică și explorare)
- **CAN**
 - pentru cuantizarea imaginii
- **procesor numeric de imagine**
 - pentru compresia imaginii și conversia formatului
- **sub-sistem de stocare (digitală)**
 - memorie electronică, magnetică sau interfață PC
- **microprocesor de comandă**
 - pentru coordonarea procesului de achiziție (vizor LCD și reglarea automată a focalizării, a diafragmei, a timpului de expunere etc.)

5. Prezentați principiul compresiei JPEG.

https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/3_3_JPEG.PDF, 4-8

Metodologia JPEG (I)



Metodologia JPEG (II)

■ DCT

- transformă blocul cu reprezentare în timp, **A** (multe puncte de date)
- în blocul cu reprezentare în frecvență, **B** (puține puncte de date - puține componente de frecvență)

■ CUANTIZAREA

- reduce neuniform precizia coeficienților (**D**), conform cu tabelul de cuantizare **C** (în algoritmul JPEG sunt implementate **4** tabele):
 - **frecvență joasă** cu precizie mare (pași mici, valori nenule)
 - **frecvență ridicată** cu precizie mică (pași mari, **majoritar** valori **nule**)

Metodologia JPEG (III)

■ CODAREA DE ENTROPIE

- este folosită pentru obținerea compresiei de date
- este utilizată o explorare în zig-zag pentru obținerea unor **secvențe lungi de zerouri**
 - **codarea RLE** (Run-Length Encoding) oferă o compresie excelentă
 - **codarea Huffman** este utilizată pentru a obține un factor de compresie mai mare

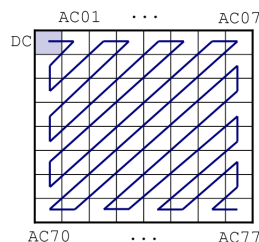
Transformata cosinus discretă (I)

- **DCT** (asemănător transformatei Fourier) convertește datele
- din **domeniul timp**
 - un bloc de 8×8 (pixeli):
 - linii 0 ÷ 7
 - coloane 0 ÷ 7
- în **domeniul frecvență**
 - 0 matrice de 8×8 coeficienți
 - locația 00
 - coeficient DC
 - componenta continuă a blocului 8×8
 - locațiile 01 ÷ 77
 - coeficienți AC
 - frecvență joasă în colțul din stânga sus
 - frecvență ridicată în rest

Transformata cosinus discretă (II)

Explorarea în zig-zag

- începe cu coeficienții de frecvență joasă (nenuli)
- apoi cu coeficienții de frecvență ridicată (nuli)
- rezultă un șir lung de zerouri, după câteva valori semnificative, ușor de codat entropia (RLE, Huffman)



6. Definiți parametri și componentele semnalului video complex. Reprezentați oscilograma unei linii TV.
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/4_1_Televiziune.PDF, 8, 11, 12

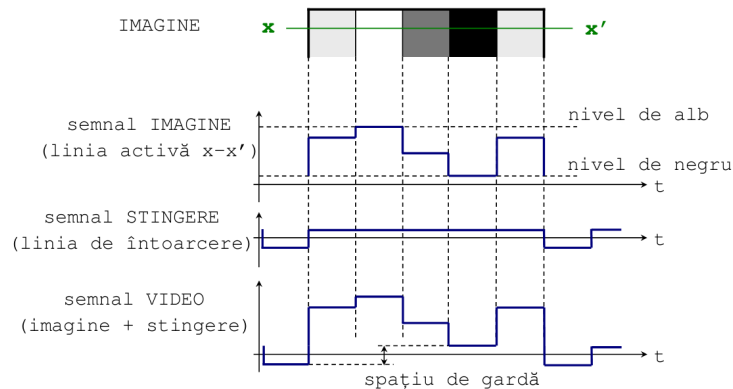
Frecvența semnalului de televiziune (II)

- Raport de imagine
 - 4:3
- Rezoluția verticală
 - 575 linii vizibile (din 625)
- Rezoluție orizontală
 - $4/3 \times 575 = 766$ pixeli
- Frecvența maximă a semnalului de imagine
 - $f_{MAX} = 766/2 \times f_H = 383 \times 15.625 \text{ Hz} \approx 6 \text{ MHz}$

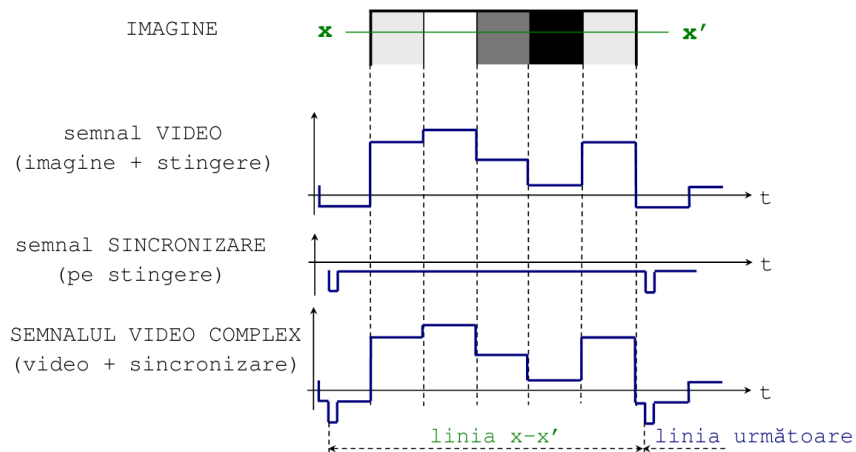
Pentru percepție optimă, pixelul trebuie să fie **pătrat**

Semnalul video complex (I)

Este obținut pe parcursul explorării liniare (x-x')



Semnalul video complex (II)



7. Indicați semnalele folosite în transmisia televiziunii în culori, expresiile acestora și justificarea alegerii lor.
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/4_1_Televiziune.PDF, 19, 20, 21

Semnale TV color (I)

- Luminanța unei imagini (color) este folosită în televiziunea alb-negru:

$$Y = 0,3 \times R + 0,59 \times G + 0,11 \times B$$

- Folosirea semnalelor R, G, B este incompatibilă cu vechiul sistem TV

- Sistemele TV color compatibile folosesc:

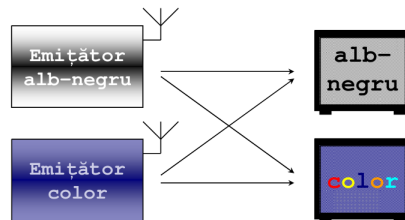
- Y - **luminanța** (pentru procesare corectă de către sistemele TV alb-negru)
- C - **crominanța** (doar informație de culoare, fără informație de strălucire)

⇒ semnale **diferență de culoare**: R-Y, G-Y, B-Y

Semnale TV color (II)

Din cele 4 semnale se utilizează doar 3:

- luminanța
 - $Y = 0,3 \times R + 0,59 \times G + 0,11 \times B$
- crominanța (2 semnale diferență de culoare)
 - $R-Y = 0,7 \times R - 0,59 \times G - 0,11 \times B$
 - $B-Y = -0,3 \times R - 0,59 \times G + 0,89 \times B$



Semnale TV compatibile (I)

- Luminanța

$$E_Y = 0,3 \times E_R + 0,59 \times E_G + 0,11 \times E_B = 0 \div 1$$

- Diferență de culoare

$$E_{R-Y} = 0,7 \times E_R - 0,59 \times E_G - 0,11 \times E_B = -0,7 \div 0,7$$

$$E_{G-Y} = -0,3 \times E_R + 0,41 \times E_G - 0,11 \times E_B = -0,41 \div 0,41$$

(nu se utilizează)

$$E_{B-Y} = -0,3 \times E_R - 0,59 \times E_G + 0,89 \times E_B = -0,89 \div 0,89$$

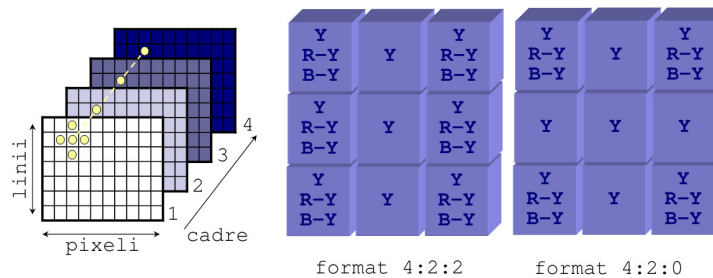
8. Definiți parametrii discretizării semnalului video, indicați formatele reprezentative de eșantionare și determinați debitele corespunzătoare.

https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/4_3_TV_numerica.PDF, 1,2,7,8

Standardul de studio TV digital (I)

- 1982, CCIR Rec.601: **USA/Europa**
 - NTSC/SECAM/PAL, 525/625 linii
- **linie digitală TV** uzuală
- același **debit** și calitate
- conversie facilă între sisteme
- componente TV (**Y, R-Y, B-Y**)
- eșantionare **ortogonală**
- frecvență de eșantionare standard
 - $f_E = 13,5 \text{ MHz}$
- eșantion în format PCM
 - **8 biți**/componentă

Standardul de studio TV digital (II)



Debitul semnalului numeric de televiziune

- Debitul unui semnal numeric
 - $D = f_E \times n \text{ [biți/s]}$
- Debitul semnalului TV
 - $D = D_Y + D_{R-Y} + D_{B-Y}$
 - $= f_{EY} \times n_Y + f_{ER-Y} \times n_{R-Y} + f_{EB-Y} \times n_{B-Y}$
- Debitul semnalului TV în format 4:2:2
 - $D = 216 \text{ Mbps}$

Familia standardelor de televiziune numerică

	Standard	Parametrii	D _Y	D _{R-Y} + D _{B-Y}	D [Mbps]
FORMATE DE ORDIN SUPERIOR	4:4:4 progresiv	f _H = 31.250 Hz f _E = 27 MHz	216	216 + 216	648
	4:4:4	f _H = 15.625 Hz f _E = 13,5 MHz	108	108 + 108	324
FORMAT DE BAZĂ	4:2:2	f _{EY} = 13,5 MHz f _{EC} = 6,75 MHz	108	54 + 54	216
FORMATE DE ORDIN INFERIOR	4:1:1	f _{EY} = 13,5 MHz f _{EC} = 3,375 MHz	108	27 + 27	162
	4:2:0	alternativ pe linii 4:2:2 4:0:0	108	54 + 54 0 + 0	162
	2:1:1	f _{EY} = 6,75 MHz f _{EC} = 3,375 MHz	54	27 + 27	108

9. Definiți tipurile de imagini folosite în MPEG și explicați principiul compresiei.
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/4_5_MPEG.PDF, 5-7

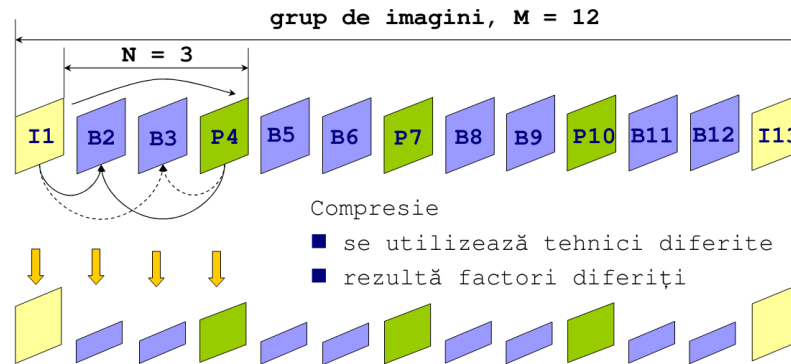
Codarea MPEG (I)

- Înlăturarea redundanței spațiale
- Înlăturarea redundanței temporale
 - DCT
 - Compensarea mișcării
 - Predicție bidirecțională (interpolare)
- MPEG utilizează trei tipuri de imagini
 - Imagine I
 - codare JPEG
 - independent de succesiunea imaginilor în mișcare
 - codare robustă
 - independent de erorile precedente
 - factor de compresie scăzut

Codarea MPEG (II)

- Imagine P
 - este estimată o predicție a imaginii (compensarea mișcării)
 - este codată diferența dintre imaginea actuală și cea obținută prin predicție
 - succesiunea de predicții poate propaga eventuale erori
 - factor de compresie mai mare
- Imagine B
 - este calculată o imagine interpolată bidirecțional folosind imaginile I și P
 - estimarea este foarte bună
 - poate propaga erori
 - cel mai bun factor de compresie
- Raport de compresie: determinat de M și N;
- uzual, M = 12 și N=3;
- M - perioada imaginii I, N - perioada imaginii P

Compresia digitală a imaginilor în mișcare



Rearanjarea succesiunii de imagini pentru transmisie:

1 (I), 4 (P), 2 (B), 3 (B), 7 (P), 5 (B), 6 (B),
10 (P), 8 (B), 9 (B), 13 (I), 11 (B), 12 (B)

10. Prezentați structura și parametrii unui canal TV.

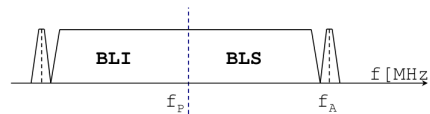
https://intranet.etc.upt.ro/~RADIOCOMUNICATII/Curs/4_6_RF.PDF, 2,3

Metode de modulație

- Modulație de amplitudine

□ MA

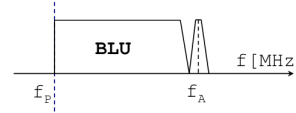
⇒ eficiență scăzută



- MA cu bandă laterală unică

□ MA-BLU

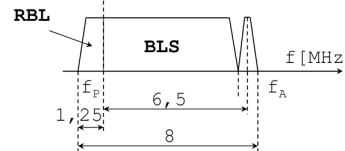
⇒ imposibil de filtrat



- MA cu rest de bandă laterală

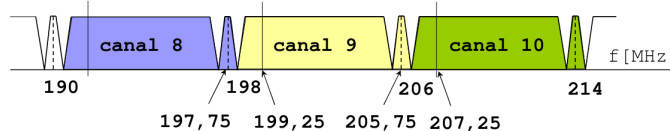
□ MA-RBL

⇒ soluție standard



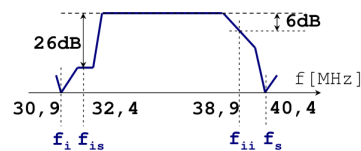
Prelucrarea la frecvență intermediară

Semnal de radiofrecvență captat de antenă



Un singur filtru pentru:

- extragere canal
- rejectarea canalului adiacent
- rejectarea RBL

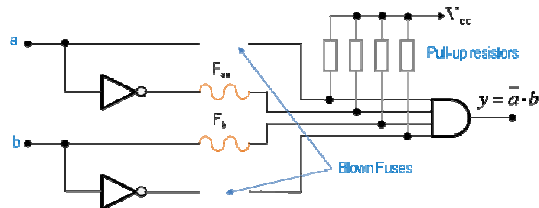


Sisteme cu logică programabilă

Anul III

1. Implementarea unei funcții cu o structură programabilă (arhitectură ȘI-SAU)
 - 01 PLD, FPGA, ASIC, slide 10, 16, 24, 30.

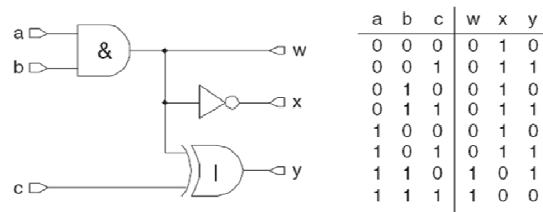
How the circuit works



- design engineers can selectively remove undesired fuses by applying pulses of relatively high voltage and current to the device's inputs.

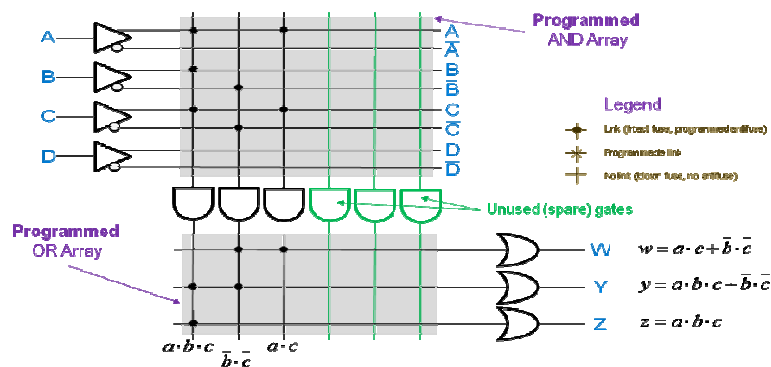
13

3 simple combinational functions



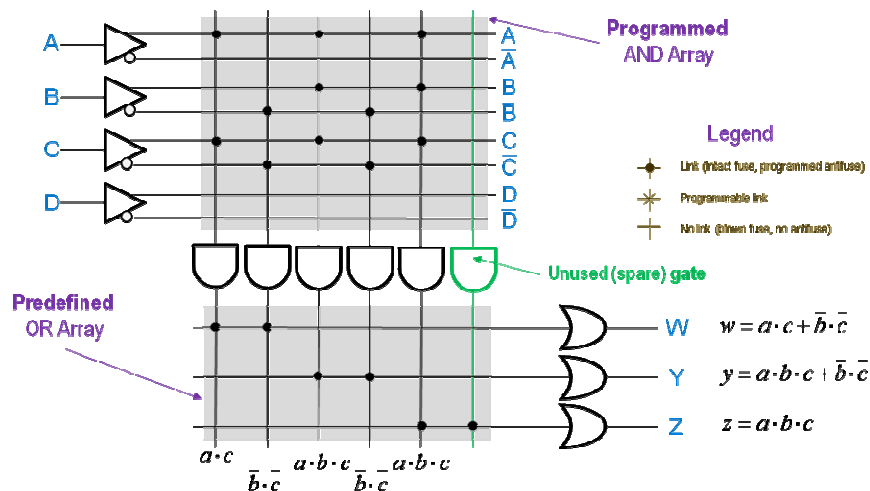
14

PLA Implementation for w, y, z



24

PAL Implementation for w, y, z



30

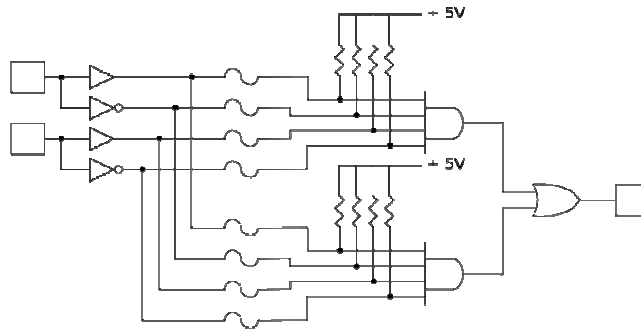
- Arhitectura PAL și GAL: schemă, funcționare, avantaje și dezavantaje
 - 01 PLD, FPGA, ASIC, slide 27-29

PAL - Architecture

- Early PALs were 20-pin DIP components fabricated using bipolar transistor technology with OTP titanium-tungsten programming fuses.
 - Later devices were manufactured by Lattice Semiconductor and Advanced Micro Devices using CMOS technology.
- The PAL architecture consists of two main components:
 - a logic plane and
 - output logic macrocells.
- PAL devices have arrays of transistor cells arranged in a "fixed-OR, programmable-AND" plane used to implement "sum-of-products" binary logic equations for each of the outputs in terms of the inputs and either synchronous or asynchronous feedback from the outputs.

27

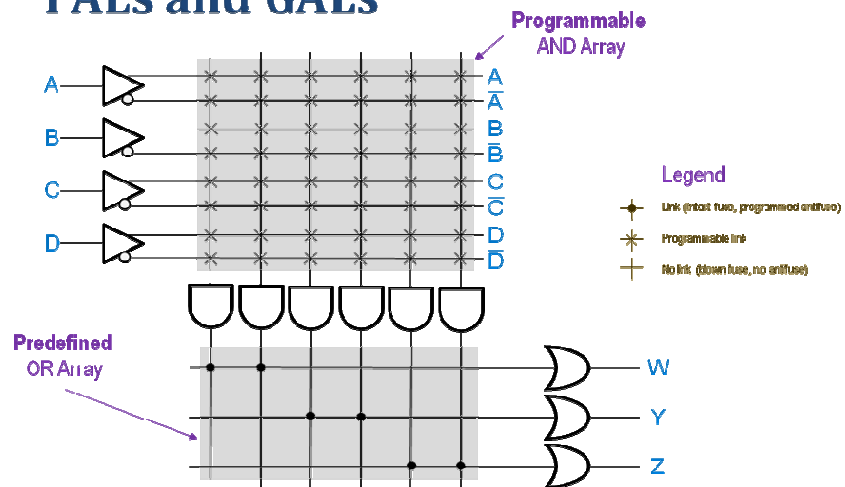
PAL – Simplified Architecture



Simplified programmable logic device

28

PALs and GALs



29

3. Explicarea arhitecturii pipeline

- 02 Principali producători, organigrama fluxului de programare, tehnica pipeline, slide 34-37

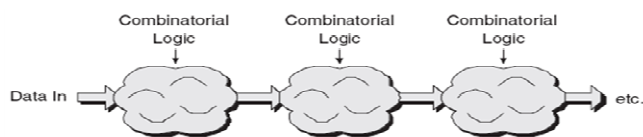
What is pipelining?

- ▶ Let's suppose that we're building something like a car, with the main steps:

1. Attach the wheels to the chassis.
2. Attach the engine to the chassis.
3. Attach the seats to the chassis.
4. Attach the body to the chassis.
5. Paint everything.



Pipelining in electronic systems



A function implemented using only combinational logic

Pipelining

