

## LUCRAREA 2

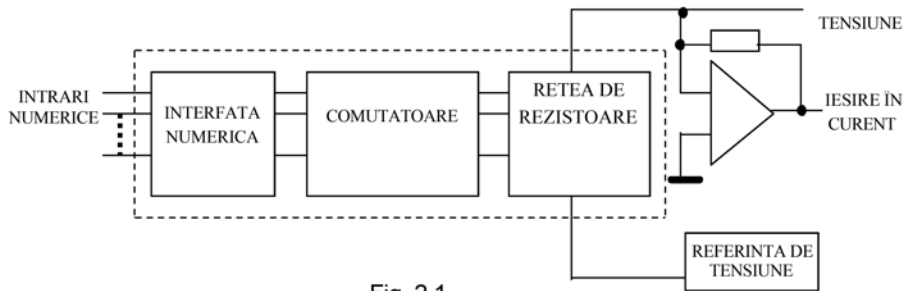
### CONVERTOR NUMERIC - ANALOGIC

#### 1. Generalități

Convertorul numeric - analogic (CNA) este circuitul electronic care transformă o mărime de intrare numerică într-o mărime de ieșire analogică. Deoarece, din punct de vedere al realizabilității practice, sistemul de numerație binar este cel mai simplu și comod, informația numerică de la intrarea circuitului este codificată în binar.

Se poate considera că procesul de conversie numeric – analogică a datelor urmează aceleași operații elementare, necesare pentru transformarea numărului din binar în zecimal. Astfel, se asociază cifrei “1” o anumită valoare a unei mărimi electrice, care se sumează apoi ponderat, iar cifrelor “0” li se asociază valoarea zero a acelei mărimi. La conversia numeric – analogică, se preferă exprimarea fracționară a informației numerice și ponderarea valorilor asociate lui “1” se va face cu ajutorul factorilor de forma  $\frac{1}{2^k}$ , unde  $k$  este rangul cifrei respective. Din această formă de exprimare a informației numerice, se vede clar că o modalitate simplă de a realiza ponderarea cifrelor “1” este folosirea unor rețele rezistive cu mai multe noduri, care au raport de divizare succesiv  $\frac{1}{2}$ . Forma rețelei depinde de natura mărimii analogice de ieșire, tensiune sau curent.

Configurația de bază a unui CNA este dată în fig. 2.1.



După cum s-a definit procesul de conversie, principalele surse de erori sunt:

- inegalitatea valorii mărimii atribuite cifrei “1”;
- inexistența unei valori zero adevărate;
- ponderarea valorii mărimilor care se sumează se realizează cu elemente reale, ce pot să difere de cele ideale.

*Interfața numerică* de intrare transformă nivelele logice ale datelor numerice de intrare în semnale de comandă pentru *comutatoarele analogice*.

*Comutatoarele* controlează curenții aplicați *rețelei de rezistențe* de precizie ce realizează ponderarea valorii numerice, pentru obținerea valorii analogice. Valoarea curenților care circulă prin rețea este dictată de valoarea rezistențelor de precizie și de *tensiunea de referință*.

#### 2. Funcționarea generală. Schema bloc

Schema bloc a convertorului numeric – analogic este prezentată în fig. 2.2.

Mărimea de intrare numerică se introduce în blocul numeric prin precizarea celor 8 biți ai cuvântului numeric:  $a_1 a_2 a_3 \dots a_8$ .

Circuitul numeric memorează cuvântul numeric aplicat la intrarea sa, având o stare unică. Această stare este transferată și afișată de către circuitul de afișare cu LED-uri, în cod zecimal (BCD) sau binar.

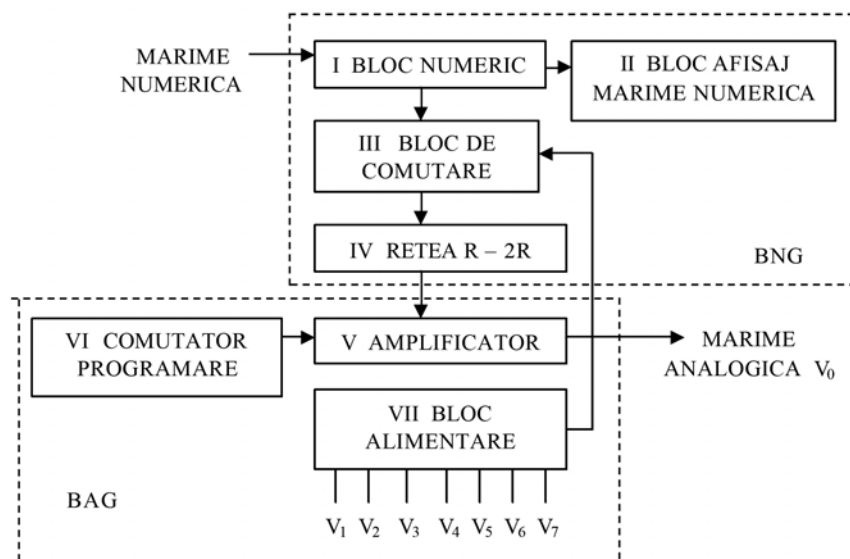


Fig. 2.2

În funcție de starea unică a blocului numeric care este activat de cuvântul numeric  $a_1a_2a_3 \dots a_8$ , blocul de comutare electronică realizează transferul mărimii numerice către partea analogică, comutând sau necomutând tensiunea de referință  $V_r$  la bornele rețelei rezistive  $R - 2R$ .

Rețeaua de decodificare transformă starea celor 8 biți într-un potențial a cărui valoare se poate modifica doar dacă se modifică starea cuvântului numeric.

Tensiunea unică aplicată de rețeaua de decodificare  $R - 2R$  la intrarea amplificatorului este amplificată și transferată la ieșire sub forma mărimii analogice notată  $V_0$ .

Blocul de alimentare este realizat din sursele de tensiune continuă stabilizată necesare alimentării circuitelor din convertor. Sursa dublă de  $\pm 15$  V este necesară pentru alimentarea amplificatoarelor operaționale de tip  $\mu A742$ , utilizate la realizarea amplificatorului de ieșire programabil. Sursa de  $+5$  V este necesară pentru alimentarea circuitelor integrate TTL, tip CDB493 și CDB404, folosite pentru realizarea blocului numeric și de afișaj. Sursa de  $-5$  V este utilizată pentru obținerea referinței fixe de tensiune, care este comutată de blocul comutator la amplificatorul programabil de ieșire, funcție de starea unică a blocului numeric, dictată de cuvântul numeric de la intrare. Sursele  $+1,4$  V,  $+2$  V și  $-6,2$  V sunt nivele logice necesare pentru realizarea comutatoarelor electronice care transferă sau nu referința de  $-5$  V, rețelei de decodificare  $R - 2R$ . Tensiunea de referință trebuie să aibă un coeficient de stabilizare superior, astfel încât eroarea datorată tensiunii de alimentare a rețelei  $R - 2R$  să fie neglijabilă în raport cu eroarea convertorului, egală cu  $\pm LSB / 2$ . Pentru convertorul de 8 biți, eroarea maximă admisă este  $V_a$ :

$$V_a = \pm \frac{1}{2} \frac{V_{a \max}}{2^8} = \pm \frac{V_{a \max}}{2^9} = \pm \frac{10V}{2^9} = \pm 0,02V$$

## 2.1 Funcționarea pe blocuri

Blocul numeric I reunit cu blocul de afișare a stării biților de la intrare II, cu blocul de comutare III și cu rețeaua de decodificare  $R - 2R$  realizează ansamblul *Bloc Numeric General (BNG)* din schema bloc, amplasat în blocul "NUMERIC" pe panoul aparatului. Blocul numeric I este alcătuit din:

- intrările de comandă externă paralel / serie;
- numărător binar de 8 biți;
- generator intern de tact pentru controlul funcționării și pentru simularea unor comenzi externe;
- ansamblul de comutatori  $K_1, K_2, K_3, K_4$  cu următoarele funcții:

1. comutatorul  $K_1$ , notat pe panou "RESET" realizează aducerea forțată în starea logică "0" a ieșirilor numărătorului de 8 biți, când se dorește acest lucru sau la trecerea de pe comandă serie pe

comandă paralel. Forțarea în starea logică “0” a ieșirilor este realizată prin punerea intrărilor de resetare ale numărătoarelor CDB493 (intrările 2 și 3) la nivel logic “1”;

2. comutatorul  $K_2$ , notat pe panou “*INTRARE NUMERICA SERIE*” realizează, prin secțiunile sale comutatoare, cuplarea la intrarea numărătorului a intrării numerice externe serie, tactul intern fiind anulat;

3. comutatorul  $K_3$ , notat pe panou “*TACT INTERN*” realizează cuplarea la intrarea numărătorului a tactului intern de frecvență 7 Hz;

4. comutatorul  $K_4$ , notat pe panou “*TACT INTERN*” are aceeași funcție ca și comutatorul  $K_3$ , numai că schimbă frecvența tactului la 0,7 Hz, pentru a putea controla mai bine numărarea impulsurilor.

În cazul stabilizării intrărilor de comandă paralel situate pe comutatorul de pe panou, cei 9 biți pot fi aduși în starea logică “0” sau “1”, funcție de comanda externă. Contactele comutatorului sunt astfel dispuse încât, în mod normal, cei 8 biți sunt în starea logică “0” numai dacă, nici unul din comutatoarele  $K_2, K_3, K_4$  destinate comenzii serie, nu este acționat. Aducerea în starea “1” se face prin introducerea între lamelele comutatorului a unui izolator sau în cazul unei comenzi de la o altă ieșire numerică externă. Deci, se poate comanda extern paralel de la o ieșire numerică a unui alt aparat sau manual, pentru simulare sau controlul funcționării.

În cazul comenzii serie (cu tact intern sau extern) impulsurile sosesc la intrarea numărătorului în timp ce la ieșirile numărătorului se regăsesc impulsurile de perioadă  $2^1, 2^2, \dots, 2^8$  ori mai mare decât cea de comandă. Numărătorul permite conversia unei comenzi serie în ieșire numerică paralel, constituind cei 8 biți cu care se comandă rețeaua  $R - 2R$ . Când se utilizează comenzi externe paralel, cei 8 biți sunt dați direct din exterior.

### Blocul de afișare a mărimii numerice II.

Afișarea cuvântului numeric introdus în convertor se poate realiza fie cu un decodificator și afișaj numeric, fie cu afișare pe fiecare bit. S-a ales soluția cu control optic pe fiecare bit. Etajele realizate cu tranzistoarele  $T_9, T_{10}, \dots, T_{16}$  comandă elementele de afișaj optic  $L_1, L_2, \dots, L_8$  funcție de starea bitului de la intrare. Astfel, fie etajul cu  $T_9$ : dacă bitul 8 este în starea “0” logic, etajul inversor integrat comandă baza tranzistorului la potențialul “1” logic, adică  $T_9$  este blocat și LED-ul  $L_8$  nu se aprinde. Când bitul 8 se află în starea logică “1”, tranzistorul  $T_9$  comandă aprinderea LED-ului  $L_8$  care indică starea logică “1” pentru bitul corespunzător. Etajele inversoare separă circuitul de afișare pentru a nu perturba nivelele logice ale celor 8 biți de comandă. Cele 8 elemente de afișare sunt situate pe panou în dreptul celor 8 intrări de comandă paralel.

### Blocul de comutare electronică III

Este alcătuit din 8 etaje comutatoare, care realizează comutarea brațelor rețelei  $R - 2R$  la tensiunea de referință de  $-5\text{ V}$ , funcție de starea biților. Un astfel de etaj are schema de principiu și diagramele de funcționare prezentate în fig. 2.3.

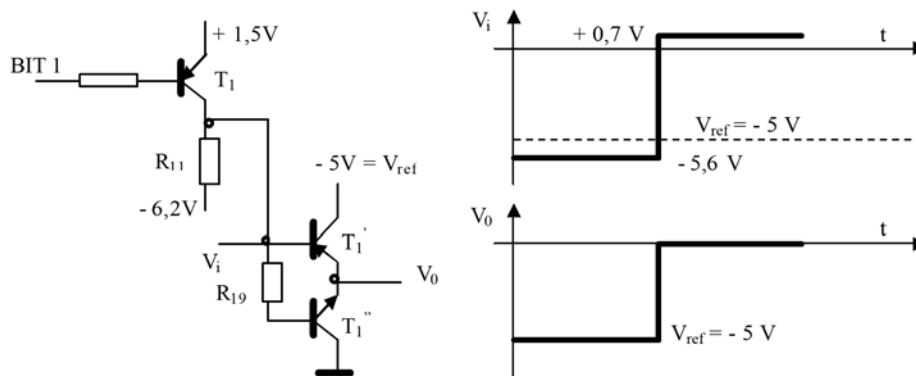


Fig. 2.3

Când bitul de intrare se află în starea logică “0”, tranzistorul  $T_1$  este saturat, încât tensiunea de aproximativ  $+1,5\text{ V}$  de pe colectorul său blochează comutatorul  $T_1'$  și saturează tranzistorul  $T_1''$ , încât potențialul este cel al masei. În starea logică “1”, bitul comandă ieșirea  $V_0$  în starea  $-5\text{ V}$ .

Conexiunea  $T_1' - T_1''$  se numește *montaj repetor pe emitor cu supracomandă*. În acest circuit tranzistoarele funcționează în conexiune inversată și factorul de câștig invers în curent este de valoare apropiată de unitate  $(\alpha_R)_R = \alpha_F = 0,99$ , ceea ce determină tensiuni de saturație foarte mici.

$$V_{CEsati} = \frac{kT}{q} \ln \frac{1}{\alpha_F} = 0,25mV$$

Acesta este un avantaj evident, deoarece tensiunile de saturație intervin asupra referinței. Cu cât sunt mai mici, cu atât alterarea referinței este mai puțin simțită și eroarea mărimii analogice este mai mică. Ideal ar fi ca tensiunile de saturație, ce constituie tensiuni parazite pentru semnalul util, să fie nule.

Tensiunea de comandă  $V_i$  a repetorului cu supracomandă variază astfel încât să se asigure blocarea și saturarea sigură a tranzistoarelor *pnp* și *nnp*, luând valori peste limitele tensiunii dintre colector și masă. Referința de tensiune are valoarea de  $-5\text{ V}$  și este realizată cu factor de stabilizare mare. Pentru obținerea acestui factor de stabilizare, tensiunea de  $-5\text{ V}$  se obține din altă tensiune stabilizată, de valoare  $-6,2\text{ V}$ . Alături de precizia referinței, se impune și precizia rezistoarelor rețelei  $R - 2R$ .

**Blocul amplificator de ieșire programabil V** conține două amplificatoare operaționale conectate astfel încât, tensiunea de ieșire din rețeaua  $R - 2R$  să fie adusă la nivelul și polaritatea dorite.

Schema acestui bloc este prezentată în fig. 2.4.

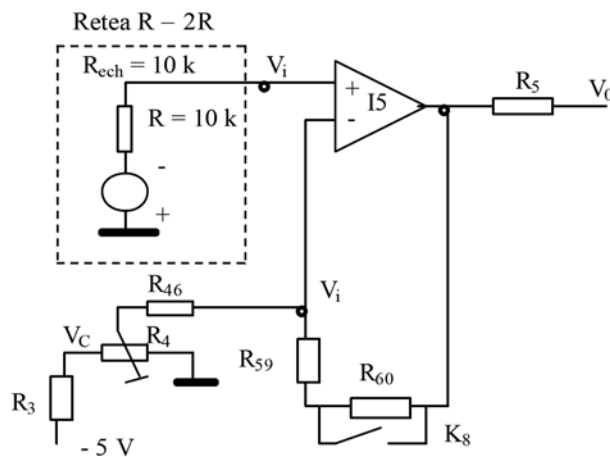


Fig. 2.4

Primul etaj este un amplificator neinversor. Semnalul de pe rețeaua  $R - 2R$  este aplicat direct pe intrarea neinversoare. Rezistența de ieșire a rețelei  $R - 2R$  este de  $10\text{ k}\Omega$ . Pentru reducerea la minim a erorilor, se prevede un reglaj de compensare a decalajelor între valoarea reală și cea rezultată din calcul, realizat de potențialul negativ sau pozitiv aplicat pe intrarea inversoare, prin  $R_3$  și  $R_4$ , notat  $V_c$  (potențial de corecție). Bucla de reacție negativă realizată cu  $R_{60}$ ,  $R_{59}$  și  $R_{46}$  poate fi reglată astfel încât, pentru o rezistență de reacție egală cu  $R_{59} + R_{60}$  să se realizeze o amplificare dublă față de cazul când rezistența de reacție este numai  $R_{59}$  ( $R_{60}$  este șuntată).

Aplicând legile lui Kirchhoff, rezultă următoarele relații:

$$\frac{V_0 - V_i}{R_{59} + R_{60}} = \frac{V_i - V_c}{R_{46}}$$

$$V_0 = \frac{(R_{59} + R_{60}) \cdot (V_i - V_0)}{R_{46}} + V_i$$

$$V_0 = \frac{R_{46} + R_{59} + R_{60}}{R_{46}} \cdot V_i - \frac{R_{59} + R_{60}}{R_{46}} \cdot V_c \quad \text{cu } V_i < 0, V_0 > 0.$$

Se observă că, pentru un potențial de corecție  $V_0$  de aceeași polaritate ca și  $V_i$ , odată cu creșterea acestuia, scade tensiunea de ieșire și invers.

Următorul etaj de amplificare se conectează de la ieșirea celui preceent, funcție de polaritatea și nivelul dorit al tensiunii analogice, prin comutatoarele  $K_5, K_6, K_7, K_8$ , care programează de fapt amplificatorul.

a) Pentru tensiuni de ieșire  $V_a$  pozitive (fig. 2.5), amplificatorul  $I_6$  este în conexiune inversoare. Deoarece nivelul maxim de tensiune se realizează în amplificatorul precedent, acest amplificator va trebui să aibă amplificarea egală cu 1 în modul. Deci:

$$A_{I_6} = -\frac{V_a}{V_0} = -\frac{R_6 + R_7}{R_5} \quad \text{deoarece } V_0 < 0, V_a = -V_0 A_{I_6} > 0$$

b) Pentru tensiuni de ieșire  $V_a$  negative (fig. 2.6), amplificatorul  $I_6$  este în conexiune neinversoare, cu amplificare unitară. Tensiunea de ieșire este:

$$V_a = \left[ 1 + \frac{R_6 + R_7}{R_{4\text{-masa}}} \right] \cdot V_0$$

Deoarece  $R_{(4\text{-masa})}$  este foarte mare (o considerăm practic  $\infty$ ), rezultă  $V_a = V_0$ .

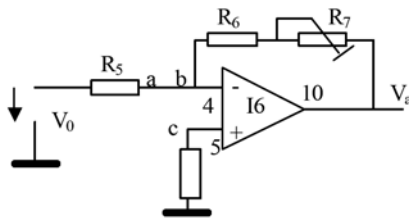


Fig. 2.5

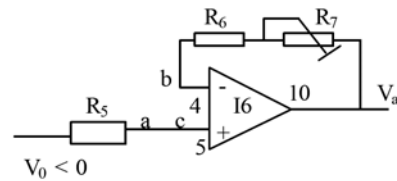


Fig. 2.6

c) Pentru tensiuni de ieșire de ambele polarități, cu variație simetrică față de origine, în cadranele I și III (fig. 2.7) trebuie să se decaleze  $V_a$  cu jumătate din valoarea maximă  $V_{a \max}$ , în sensul descreșterii, astfel încât să se obțină variația de tensiune analogică dorită. Pentru a obține decalajul, în monajul inversor de la punctul  $a$ , se suprapune la intrarea inversoare un curent  $I_0$  preluat de la altă referință (fig. 2.8).

Din ecuațiile de funcționare rezultă:

$$I_0 + I_1 + I_2 = 0; \quad I_1 = \frac{V_a - V_i}{R_6 + R_7}; \quad I_0 = \frac{V - V_i}{R_9 + R_{10}}; \quad I_2 = \frac{V_0 - V_i}{R_5};$$

$$\frac{V_a - V_i}{R_6 + R_7} + \frac{V - V_i}{R_9 + R_{10}} + \frac{V_0 - V_i}{R_5} = 0$$

$$V_a = V_i \left( \frac{1}{R_6 + R_7} + \frac{1}{R_9 + R_{10}} + \frac{1}{R_5} \right) (R_6 + R_7) - \left( \frac{V}{R_9 + R_{10}} + \frac{V_0}{R_5} \right) (R_6 + R_7)$$

$$V_a = V_i \left( 1 + \frac{R_6 + R_7}{R_9 + R_{10}} + \frac{R_6 + R_7}{R_5} \right) - V \cdot \frac{R_6 + R_7}{R_9 + R_{10}} - V_0 \cdot \frac{R_6 + R_7}{R_5}$$

Cum  $R_6 + R_7 = R_5$ , rezultă:

$$V_a = V_i \left( 2 + \frac{R_6 + R_7}{R_9 + R_{10}} \right) - V \cdot \frac{R_5}{R_9 + R_{10}} - V_0$$

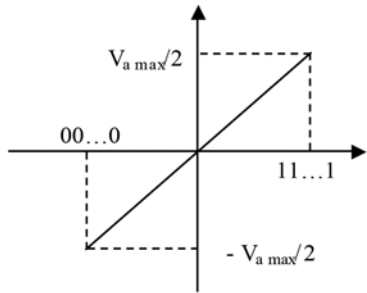


Fig. 2.7

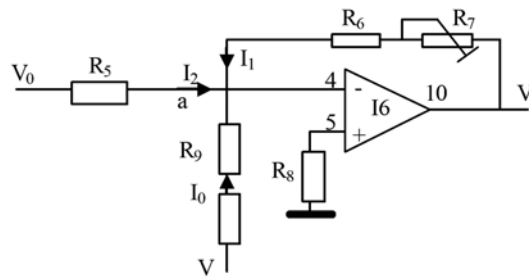


Fig. 2.8

Deci, pentru ca  $V_a$  să fie diminuată cu jumătate din valoarea maximă, este necesar ca  $V$  să trimită un curent  $I_0$  în nodul  $b$ , de sens contrar celui trimis de  $V_0$ , deci  $V$  este de sens contrar lui  $V_0$ . Rezultă că,  $V_0 < 0$  și  $V > 0$ . Astfel, tensiunea de ieșire are variații în cele două cadrane, I și III.

**Blocul comutator de programare a tensiunii de ieșire analogice VI** este format din comutatoarele  $K_5, K_6, K_7, K_8$ , ce realizează următoarele funcții:

- comutatorul  $K_5$  conectează amplificatorul  $I_6$  în conexiune inversoare, comutând nodurile  $a$  cu  $b$  și  $c$  cu  $d$ ;
- comutatorul  $K_6$  realizează conexiunea neinversoare pentru  $V_a < 0$ , comutând nodul  $a$  cu  $c$ ;
- comutatorul  $K_7$  realizează conexiunea amplificator bipolar, comutând nodurile  $a$  cu  $b$  și  $c$  cu  $d$  și  $a$  cu  $c$ ;
- comutatorul  $K_8$  modifică gama de tensiune în domeniul 5 V .. 10 V, șuntând o parte din rezistența de reacție a amplificatorului  $I_5$  ( $R_{60}$ ) și din rezistența care se află pe ramura ce debitează  $I_0$  ( $R_{10}$ ).

**Blocul de alimentare VII** asigură tensiunile de alimentare și nivelele logice.

$V_1 = +15$  V / 20 mA și  $V_2 = -15$  V / 20 mA, pentru alimentarea amplificatorului;

$V_3 = +5$  V / 200 mA, pentru alimentarea circuitului numeric;

$V_4 = -5$  V / 60 mA, tensiune de referință pentru mărimea analogică;

$V_5 = +1,5$  V / 60 mA, nivelul pozitiv de tensiune de supracomandă pentru comutatorul tip repetoare cu supracomandă;

$V_6 = +2,5$  V / 350 mA, pentru circuitul de afișare a mărimi numerice;

$V_7 = -6,2$  V / 450 mA, necesară ca nivel negativ pentru supracomanda etajului comutator și pentru alimentarea circuitului de afișare.

S-au folosit etaje stabilizatoare cu element de control serie, iar pentru sursele  $V_3$  și  $V_4$  au fost prevăzute amplificatoare de eroare.

### 3. Modul de utilizare

CNA poate funcționa cu două tipuri de intrări numerice:

a) *Funcționarea cu intrare numerică tip paralel.* Mărimea de intrare se introduce prin comanda celor 8 biți (bitul 1 – MSB, bitul 8 – LSB), conectați la conectorul de pe panou;

- comanda tip paralel externă (cu o ieșire numerică de la alt aparat) se realizează prin introducerea în conector a unei plăci de cablaj cu contactele în poziția superioară, deoarece intrările sunt conectate la bornele superioare ale conectorului;
  - comanda manuală se realizează cu ajutorul unei lame izolatoare. Dacă se acționează un contact al conectorului de pe panou, introducând izolatorul între cele două lamele, atunci bitul corespunzător trece în starea logică "1". Dacă aceste contacte nu sunt acționate, biții respectivi sunt în "0" logic;
  - b) *Funcționarea cu intrare numerică tip serie.* Mărimea de intrare numerică se introduce bit cu bit printr-un contact al conectorului de pe panou, separat de cele 8 contacte pentru biții intrării tip paralel;
  - comanda serie externă se realizează cu impulsuri provenite de la ieșirea numerică a altui aparat, care are acces la intrarea serie prin acționarea comutatorului  $K_2$  de pe panou. Se procedează în felul următor: se apasă tasta  $K_2$  și se menține apăsată, se resetează număratoarele prin apăsarea tastei  $K_1$ , apoi se permite accesul impulsurilor externe;
  - comanda de tip serie cu tact intern se realizează cu impulsuri de frecvență mai mare, 7 Hz, sau prin impulsuri de frecvență mai mică, 0,7 Hz, prin acționarea tastei "TACT INTERN" corespunzătoare frecvenței alese.
- Anularea biților la un moment dat se face prin acționarea tastei "RESET",  $K_1$ .
- Oprirea biților pe o anumită stare se obține menținând tasta  $K_2$  acționată și oprind accesul impulsurilor din exterior sau de la generatorul de tact intern.
- Mărimea analogică  $V_a$  se poate programa la polaritățile dorite cu ajutorul comutatoarelor notate  $V_a < 0$ ,  $V_a > 0$  și bipolar. Gama de tensiune poate fi aleasă fie la 5 V, fie la 10 V.

#### 4. Determinări experimentale

1. Se identifică montajul și se explică modul de funcționare al convertorului pentru modurile de lucru posibile (intrare paralel externă și manuală, intrare serie externă și cu tact intern).
2. Folosind un generator de impulsuri dreptunghiulare, se intră pe intrarea serie cu o frecvență de aproximativ 10 kHz și se vizualizează forma de undă de la ieșire. Se explică forma de undă pentru situațiile  $V_a < 0$ ,  $V_a > 0$  și bipolar.
3. Se verifică funcționarea cu tact intern oscilografînd forma de undă de la ieșire.
4. Se trece la funcționarea cu intrare paralel manual, introducându-se la început codul binar 0000 0000. Se măsoară cu un voltmetru de precizie valoarea tensiunii de la ieșire pentru  $V_a < 0$ ,  $V_a > 0$  și bipolar.
5. Se introduce manual combinația binară 0000 0001 și se măsoară cu precizie valoarea tensiunii de ieșire pentru  $V_a < 0$ ,  $V_a > 0$  și bipolar. Se determină valoarea variației tensiunii de ieșire  $\Delta V_a$  pentru o variație de 1 bit la intrare.
6. Se verifică pentru mai multe valori binare ce exprimă un anumit număr ( $N$ ) dacă tensiunea de ieșire este de forma  $V_a = N \cdot \Delta V_a$ .

#### 5. Aparatura necesară

1. Convertor numeric – analogic
2. Voltmetru de tensiune continuă, de precizie
3. Osciloscop
4. Generator de impulsuri dreptunghiulare (TTL)
5. Accesorii (cabluri de legătură, sonde, etc.)

