

Aplicația I.10

STUDIUL UNUI CONVERTOR ANALOG - NUMERIC CU APROXIMAȚII SUCCESIVE

10.1. Principiul lucrării

Metoda aproximațiilor succesive - care stă la baza funcționării acestor CAN-uri - constă în compararea bit cu bit, începând de la cel mai semnificativ MSB către cel mai puțin semnificativ LSB, a tensiunii din CNA (u_c) cu cea de intrare u_x (față de cazul comparării tensiunii u_x cu tensiunea din ieșirea CNA-ului obținută prin numărarea impulsurilor pentru cazul CAN-ului cu compensare în trepte egale sau a celui cu urmărire). În prezent este cel mai utilizat și fabricat tip de CAN, întrucât îmbină obținerea unei bune performanțe (rezoluții) cu un timp de conversie t_c mic, la un grad de complexitate mediu.

Schema unui astfel de CAN este principial prezentată în fig.10.1, în care:

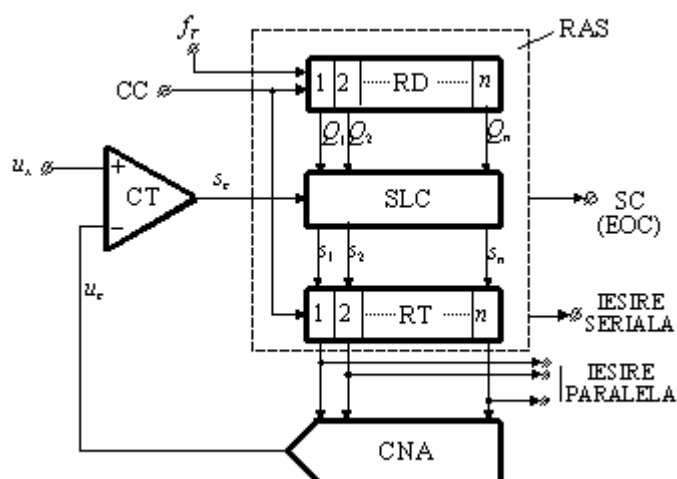


Fig.10.1. Schema funcțională a unui CAN cu aproximații succesive

RD - registru de deplasare dreapta pe n biți (numărul de biți ai conversiei), care realizează deplasarea informației numerice inițial înscrise cu un rang spre dreapta după fiecare impuls de tact f_T ;

SLC - schemă logică de control care, ținând seama de rezultatul comparației dintre u_x și u_c efectuată în comparatorul de tensiune CT, comandă registrul tampon RT după algoritmul ce va fi prezentat în continuare;

CNA - convertor numeric-analogic.

Blocurile RD, SLC și RT - înconjurare punctat - alcătuiesc registrul de aproximații succesive RAS.

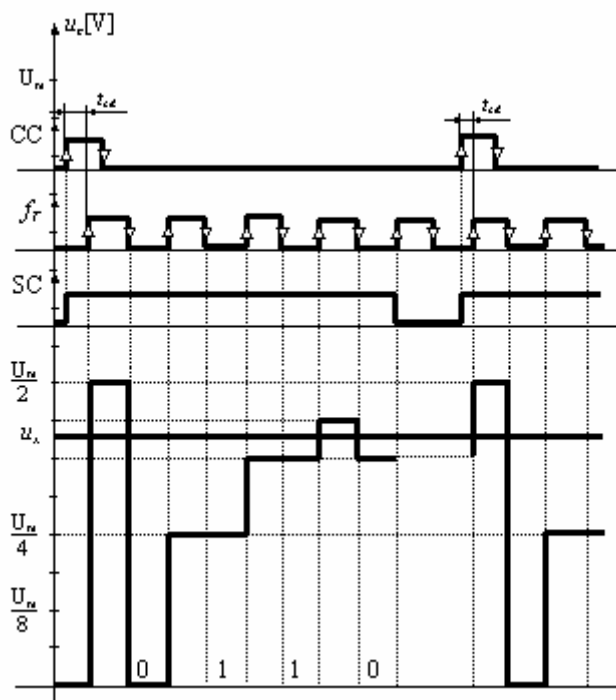


Fig.10.2. Diagrama de semnale pentru CAN cu aproximații succesive

Explicarea funcționării se va face împreună cu diagrama de semnale aferentă - fig.10.2 - în care este prezentat cazul conversiei pe 4 biți.

La comanda CC (comanda de conversie - convert command), atât în registrul RD cât și în registrul temporar RT se înscrie numărul 100...0, care, comandând CNA, produce la ieșirea acestuia valoarea $U_m/2$ (s-a considerat $u_{cmax} = U_m$ și egală cu valoarea maximă a tensiunii u_x).

În urma comparației dintre u_x și $u_c = U_m/2$ semnalul s_c poate fi "0" (dacă $u_x \leq u_c$) sau "1" (dacă $u_x > u_c$). Semnalul s_c condiționează funcționarea schemei logice de control SLC, în sensul că, la primul front căzător al impulsului de tact f_T , dacă $s_c = "0"$ bistabilul 1 din RT este resetat (ieșirea acestuia devine 0), iar dacă $s_c = "1"$ starea bistabilului 1 rămâne neschimbată, adică "1". Conform exemplului conversiei pe 4 biți din fig.10.2 rezultă că după primul impuls de tact în RT se obține 0000.

Pe frontul crescător al celui de-al doilea impuls de tact se realizează deplasarea spre dreapta cu un rang a informației din RD (aceasta devine 010...0), iar prin SLC (în acest moment sigur $s_c = "1"$) se înscrie "1" în bistabilul 2 al registrului RT (pentru exemplul luat 0100).

Aportul acestui rang la ieșirea CNA-ului este $U_m/4$, care adunat la valoarea anterioară poate duce la $(3/4) U_m$ (dacă MSB = "1") sau $(1/4) U_m$ (dacă MSB = "0"); în urma comparației cu u_x (cazul din fig.10.2) semnalul $s_c = "1"$, astfel că, prin SLC, pe frontul căzător al impulsului de tact, bistabilul 2 din RT rămâne în starea "1"; dacă însă $s_c = "0"$ atunci prin SLC bistabilul 2 este resetat în "0".

Sucesiunea funcționării se petrece similar până la ultimul bit (LSB), având în vedere că ponderea în semnalul u_c a rangurilor din RT scade după fiecare impuls de tact în raport $(1/8) U_m$ după al 3-lea impuls, $(1/16) U_m$ după al 4-lea impuls etc.

După al n -lea impuls de tact (frontul crescător al celui de-al $n+1$ -lea impuls de tact) semnalul SC (EOC) devine 0 semnificând terminarea conversiei.

Se observă că timpul de conversie, pentru n biți, este

$$t_c = \frac{1}{f_T} \cdot n + t_{cd} \cong \frac{n}{f_T} \quad (10.1)$$

unde t_{cd} (timpul de comandă) s-a neglijat.

De exemplu, pentru $f_T = 1\text{MHz}$ și $n = 12$ biți, rezultă $t_c = 12 \mu\text{s}$, un timp de conversie cu aproximativ 3 ranguri zecimale mai bun față de CAN-ul tip rampă cu compensare în trepte egale (la care, pentru aceeași frecvență de tact și aceeași rezoluție rezultă $t_c = 4095 \mu\text{s}$).

Observații:

1. Conversia, la aceste tipuri de CAN-uri, se efectuează în n tacte (perioade complete ale impulsului de tact), indiferent de valoarea tensiunii de intrare u_x ;

2. Timpul de conversie t_c poate fi scăzut prin creșterea frecvenței de tact f_T , concomitent cu creșterea performanțelor dinamice ale comparatorului de tensiune CT;

3. Simultan cu efectuarea conversiei se pot obține, pe ieșirea serială, biții conversiei - începând cu MSB și sfârșind cu LSB - sincronizat cu ceasul conversiei; de altfel, multe realizări de firmă prezintă CAN-uri având disponibilă doar ieșirea serială, urmând ca acestea să fie conectate adecvat la structuri externe de achiziție a datelor (de obicei realizate cu μP sau μC);

4. În cazul includerii CAN-ului cu aproximații succesive în scheme cu μP sau μC , funcțiile RAS pot fi preluate - parțial sau în întregime - de μP (μC), iar frecvența de tact f_T poate fi dată de μP (μC), rămânând drept componente distincte doar comparatorul de tensiune CT și convertorul numeric-analogic CNA.

O variantă relativ nouă [Texas Instruments] de CAN-uri cu aproximații succesive folosește o rețea capacitivă ponderată de obținere a tensiunii de comparație. Condensatoarele rețelei sunt conectate la un nod comun, funcționarea acestora fiind similară unui CNA cu rezistențe ponderate. Pe durata conversiei, sarcina acumulată pe condensatoare rămâne aceeași (se conservă), schimbându-se doar distribuția acesteia,

astfel că tensiunea nodului comun se modifică într-o manieră similară celei exemplificate în fig.10.2.

10.2. Chestiuni de studiat

2.1. Însușirea principiului de funcționare și a modalităților de lucru pentru convertorul analog-numeric cu aproximații succesive.

2.2. Conversia analog numerică de tensiuni continue, câte 10 valori pe fiecare domeniu, în regim manual de funcționare.

2.3. Conversia analog numerică de tensiuni continue, câte 10 valori pe fiecare domeniu (aceleași de la punctul 2.2) în regim automat de funcționare.

2.4. Determinarea rezoluției de conversie pe fiecare domeniu, în regim automat și manual de funcționare.

3. Schema de montaj și modul de lucru

În cadrul lucrării se studiază convertorul analog-numeric **ADC 85 C** de fabricație Burr-Brown, cu rezoluția pe 12 biți, timpul de conversie $10\mu s$, a cărui schemă bloc este prezentată în fig.10.3.

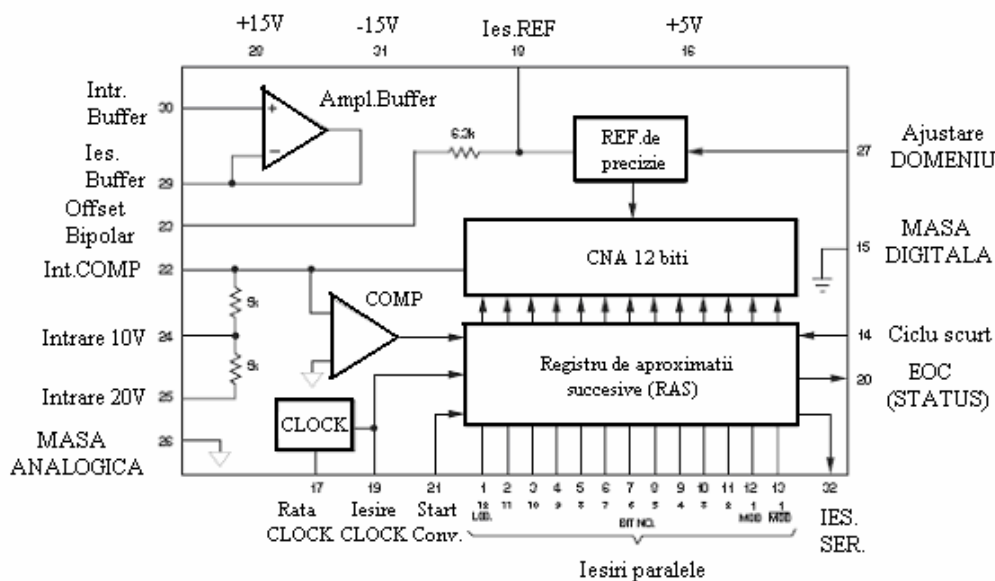


Fig.10.3. Schema bloc și conexiunile externe ale convertorului analog-numeric ADC 85 C

3.1. Pentru înțelegerea corectă a funcționării convertorului **ADC 85 C** se impun câteva precizări:

- în structura acestuia este inclus un amplificator repetor (**Buffer**), folosit pentru situațiile în care impedanța de ieșire a sursei care generează tensiunea analogică de convertit este destul de mare;

- pentru garantarea rezoluției de conversie sunt necesare circuite externe de compensare pentru **ZERO** și **DOMENIU**, în conformitate cu recomandările constructorului (a se vedea referința internă de precizie din fig.10.3);

- biții conversiei se obțin simultan la **Iesiri paralele**, dar și serial – începând cu cel mai semnificativ (MSB) - la **IES.SER.**, sincronizat cu ceasul intern;

- întrucât este posibilă conversia atât a tensiunilor numai pozitive (domenii $0V \div 10V$, $0V \div 5V$), cât și a tensiunilor bipolare (domenii $-10V \div +10V$, $-5V \div +5V$, $-2,5V \div +2,5V$), sunt realizate intrările de $10V$, respectiv $20V$. Mai mult, deoarece codul conversiei poate fi COB (Complementary Offset Binary) sau CSB (Complementary Straight Binary), s-a prevăzut și ieșirea **MSB** (negatul celui mai semnificativ bit);

- timpul de conversie de $10 \mu s$ se obține cu ceasul intern al convertorului; se poate obține un timp mai bun de conversie (maximum $6,8 \mu s$) folosind intrarea **Rata CLOCK** și recomandările constructorului. De asemenea, se poate îmbunătăți timpul de conversie prin micșorarea rezoluției conversiei (10 biți sau 8 biți) folosind comanda Ciclu scurt și conexiunile specificate în datele de catalog;

- comanda de **Start Conv.**, în regim de conversie cu ceas intern, trebuie să fie de minimum $100 ns$ pe palierul pozitiv și să rămână în "0" pe toată durata conversiei (această situație este întâlnită – în cadrul lucrării – la modul de lucru Automat); dacă această comandă este negată, se poate realiza conversia numai pentru un singur bit (s-a "exploatat" această situație pentru cazul modului de lucru Manual); o corectă

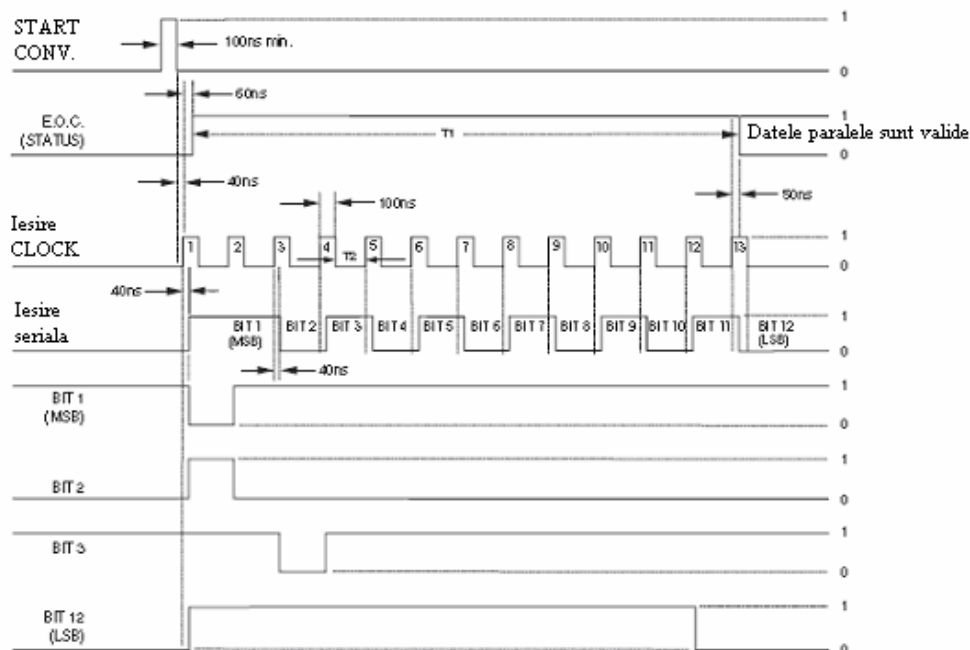


Fig.10.4. Diagrama (simplificată) de semnale pentru convertorul analog-numeric ADC 85 C

înțelegere a funcționării convertorului poate fi urmărită în diagrama de semnale din fig.10.4, în care s-a considerat – pentru simplitate – doar cazul a 4 biți din cei 12 ai conversiei.

Pentru studiul convertorului analog- numeric cu aproximații succesive se utilizează montajul din fig.10.5, în care semnificația notațiilor este următoarea: placa pe care este dispus convertorul **ADC 85 C**, conținând circuitul bistabil **CDB 472** și circuitul monostabil **CDB 4121**, ambele folosite pentru obținerea comenzii de conversie cu o lățime a frontului de aprox. 100 ns, circuitele **CDB 404** (fiecare conținând câte 6 inversoare logice TTL) pentru a realiza negarea celor 12 biți ai conversiei, ansamblul de tranzistoare și rezistențe necesar comenzii **LED**-urilor folosite în afișarea rezultatului conversiei, a ieșirii seriale și a EOC-ului. În exteriorul plăcii, pe suportul de susținere sunt amplasate microswitch-ul **Monoimpuls**, care comandă bistabilul **CDB 472**, comutatorul **DOMENIU** – cu pozițiile $0V \div 10V$, $-5V \div +5V$ – comutatorul **MOD DE LUCRU** – cu pozițiile **Manual** și **Automat** – și bornele de alimentare cu tensiunile stabilizate de **+15V**, **-15V**, **+5V**, respectiv intrarea analogică **INT** în raport cu **MASA ANALOGICA**. Sursele exterioare **SA 1**, **SA 2**, **SA 3** din fig.10.5 se fixează la valorile necesare inițial conectării acestora, iar sursa reglabilă **SR** se fixează inițial la $0V$. Voltmetrul numeric **VN** trebuie să aibă o rezoluție superioară rezoluției de conversie.

Deoarece s-au realizat conexiunile în conformitate cu rezoluția de 12 biți, rezultă că pe domeniul $0V \div 10V$ rezoluția conversiei (în raport cu intrarea) este de 2,44mV, aceeași valoare corespunzând și pentru domeniul $-5V \div +5V$.

Prin negarea ieșirilor din convertor (biții B1 ... B12) se obține informația numerică în codul binar natural – pentru cazul domeniului $0V \div 10V$, respectiv în codul binar-natural deplasat – pentru cazul domeniului $-5V \div +5V$.

Observație. Înainte de conectare, sursele de alimentare se vor fixa la valorile corespunzătoare din fig.10.3. Conectarea în circuit a surselor de alimentare se va face în următoarea ordine: *mai întâi se va porni sursa de +5 V și, apoi, simultan se vor porni sursele de +15 V și - 15 V. La terminarea lucrării, succesiunea de oprire a surselor de alimentare va fi inversă celei de la pornire. Sursa SR, care reprezintă mărimea de intrare, va fi conectată în circuit numai după ce vor fi pornite sursele de alimentare și va fi oprită prima la terminarea experimentelor. La studiul convertorului pentru situația intrării bipolare (domeniul $-5V \div +5V$), se va deconecta sursa SR – mai întâi borna activă și apoi borna de masă, după care se vor inversa firele, conectând mai întâi pe cel corespunzător bornei de masă, după care pe cel aferent bornei INT.*

3.2. Cu comutatorul **DOMENIU** pe poziția $0V \div 10V$ și comutatorul **MOD DE LUCRU** pe poziția **Manual**, se dau succesiv – din sursa **SR** – 10 valori intrării între limitele admise de domeniu (preferabil din volt în volt); prin acționarea butonului **Monoimpuls** se obțin – la fiecare valoare a tensiunii de intrare – biții conversiei pe **LED**-urile **B1 ... B12** (aprins echivalent cu “1”, stins echivalent cu “0”). Se face precizarea că pe toată durata conversiei **LED**-ul aferent ieșirii **EOC** este aprins (“1”), stingerea acestuia semnificând sfârșitul conversiei. Totodată, se va nota starea ieșirii

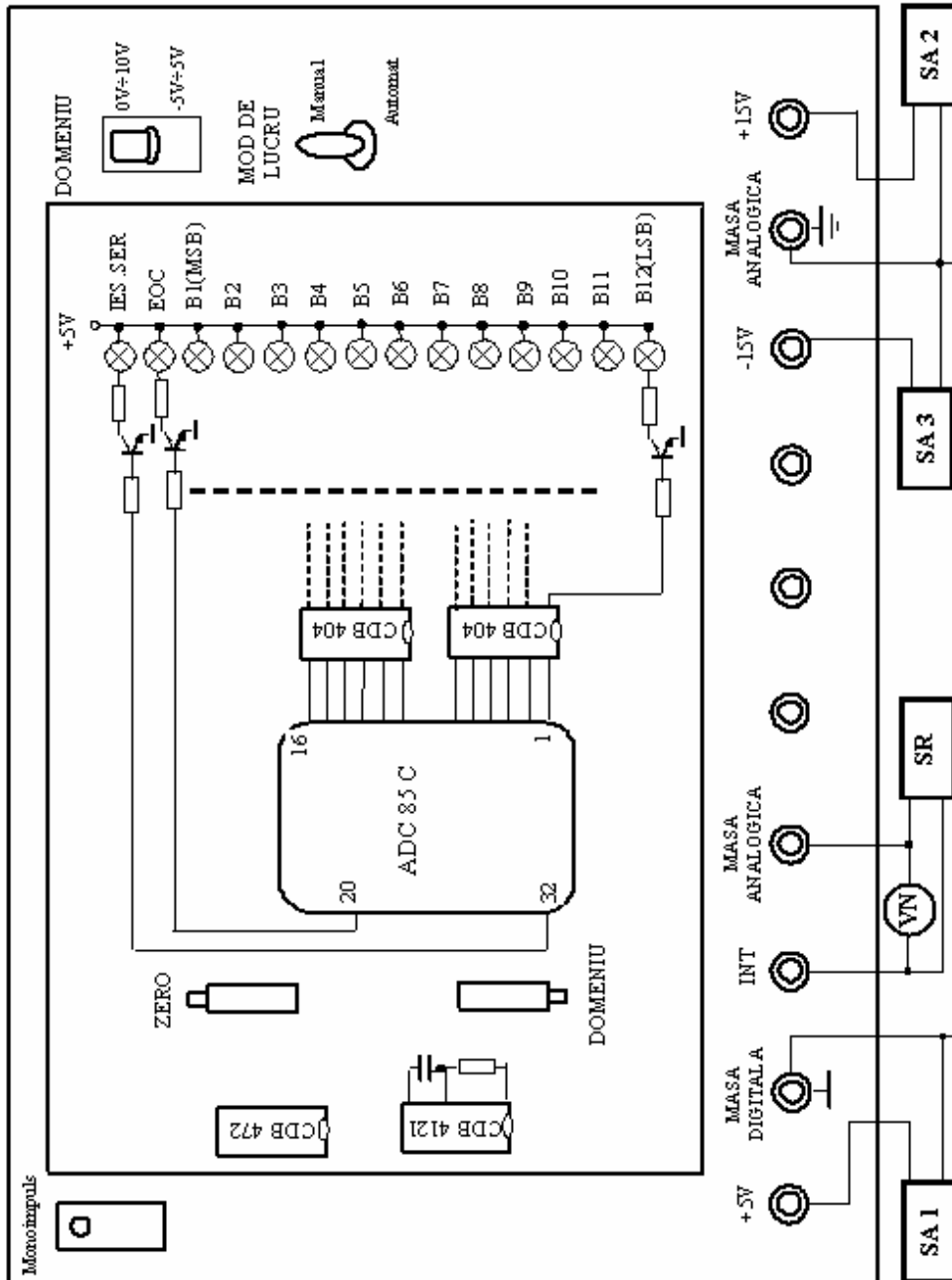


Fig.10.5. Schema de montaj pentru studiul convertorului analog-numeric cu aproximații succesive

Pentru calculul tensiunii convertite U_c se procedează conform relațiilor:
 - în cazul codului binar-natural, aferent domeniului $0V \div 10V$, rezultă

$$U_c = \frac{10}{4096} \sum_{i=1}^{12} B_i 2^{12-i} \quad (10.2)$$

- în cazul codului binar-natural deplasat, aferent domeniului $-5V \div +5V$, rezultă

$$U_c = +\frac{5}{2048} \sum_{i=2}^{12} B_i 2^{12-i} \quad \text{pentru tensiuni pozitive}$$

$$U_c = -\frac{5}{2048} \sum_{i=2}^{12} \bar{B}_i 2^{12-i} \quad \text{pentru tensiuni negative} \quad (10.3)$$

iar bitul B_1 (MSB), fiind bit de semn, va fi “0” pentru tensiuni negative și “1” pentru tensiuni pozitive.

10.4. Observații, concluzii, chestionar

În cadrul referatului, se vor face aprecieri asupra performanțelor – rezoluție și timp de conversie – în regimurile de funcționare studiate, răspunzându-se la următoarele chestiuni:

4.1. Precizați elementele schemei de conversie studiate care introduc erori de conversie și cu ce pondere.

4.2. Este posibilă îmbunătățirea timpului de conversie? În ce mod (moduri)?

4.3. Imaginați o modalitate de completare a schemei care să permită utilizarea convertorului studiat într-un traductor numeric, la care tensiunea de intrare să fie afișată numeric pe un display corespunzător.

4.4. Explicați de ce ieșirea de comandă **EOC** este activă pe “0” și inactivă pe “1”.

4.5. Comparați convertorul analog-numeric cu aproximații succesive cu convertorul analog-numeric cu compensare în trepte egale.

4.6. Sunt posibile și alte modalități de realizare a conversiei analog- numerice? Exemplificați, pe scurt, câteva dintre acestea, având în vedere aspectul performanțe/complexitate, comparativ cu cel studiat în cadrul aplicației de laborator.