

# 5.

## Sistemul intrărilor analogice

### 5.1 Sisteme de achiziții de date

Sistemele de achiziții de date (SAD) sunt circuite complexe, cu rolul de a realiza conversia analog-numerică (A/N) a unuia sau mai multor semnale analogice în scopul memorării, transmiterii, prelucrării sau vizualizării informației sub forma digitală.

Elementul esențial al unui SAD este convertorul analog-numeric (CAN sau ADC - Analog to Digital Converter), pe lângă care se mai întâlnesc și alte circuite, conform funcției și specificului aplicației.

Configurațiile și tipurile de SAD sunt dependente de anumiți factori, cum sunt:

- rezoluția și precizia impuse CAN;
- numărul canalelor analogice deservite;
- frecvența de eșantionare a semnalelor fiecărui canal;
- capacitatea de prelucrare în timp real al datelor;
- condiționarea semnalelor de intrare;
- prețul de cost.

În continuare se prezintă structuri tipice de SAD, caracterizate prin numărul canalelor de intrare și modul de tratare a semnalelor.

#### 5.1.1 Structura SAD pentru cazul existenței unui singur semnal analogic de intrare

Schema bloc, prezentată în *figura 5.1*, conține următoarele blocuri componente:

- blocul elementelor de tratare primară a semnalului analogic de intrare care, de regulă are 3 funcții:

a) filtrarea semnalului de intrare, prin care se limitează superior spectrul acestuia, în corelație cu perioada de eșantionare  $T_e$ ;

b) atenuarea semnalului, care se realizează prin divizoare rezistive;

c) conversia curent-tensiune, atunci când este necesară.

- amplificatorul cu câștig programabil, care permite mărirea gamei dinamice de intrare. Câștigul este definit prin raportul dintre valorile maximă  $U_{i_{max}}$  și minimă  $U_{i_{min}}$  (acesta din urmă fiind corelată cu sensibilitatea etajului următor).

- circuitul de eșantionare și memorare - CEM;

- convertorul analog-numeric - CAN.

Semnalul de ieșire din SAD este reprezentat de cuvântul binar de  $n$  biți,  $b_1, b_2, \dots, b_n$ . Semnalele vehiculate între SAD și unitatea centrală vor fi prezentate detaliat ulterior.

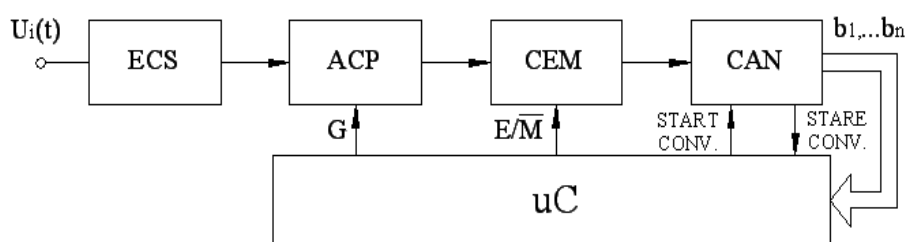


Figura 5.1. Schema unui SAD pentru un singur semnal analogic.

### 5.1.2 Structuri pentru cazul existenței mai multor semnale analogice de intrare.

În acest caz este necesară utilizarea unui multiplexor, care poate fi conectat în structura SAD în diferite poziții în fluxul de prelucrare a semnalelor. Astfel, se identifică următoarele variante:

a) Cu multiplexarea semnalelor analogice de intrare (figura 5.2), Acesta fiind cel mai des folosit, deoarece conduce la un număr minim de circuite relativ scumpe (CAN, CEM). Semnalele de intrare se conectează succesiv la intrarea lanțului de conversie A/N, prin multiplexare în timp (de către multiplexorul MUX). Evoluția în timp a semnalelor este prezentată în fig.5.3. Se consideră că înaintea declanșării procesului de achiziție, MUX este comandat de semnalul  $M$  pentru conectarea semnalului  $U_j$  la intrarea în CEM, aflat în starea de eșantionare.

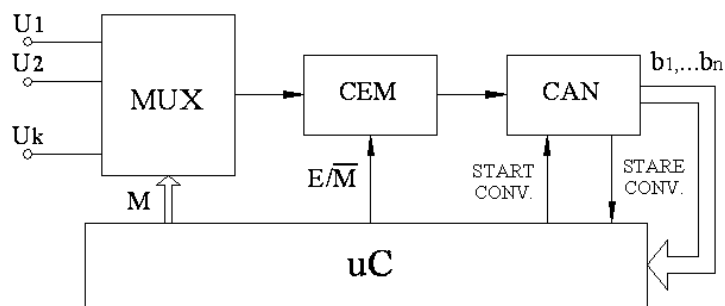


Figura 5.2 Schema unui SAD pentru mai multe semnale de intrare analogice

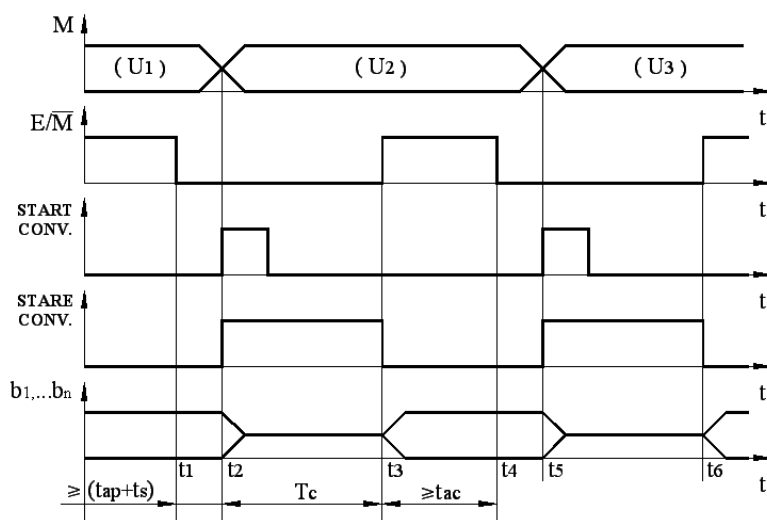


Figura 5.3 Semnalele în SAD cu intrări multiple

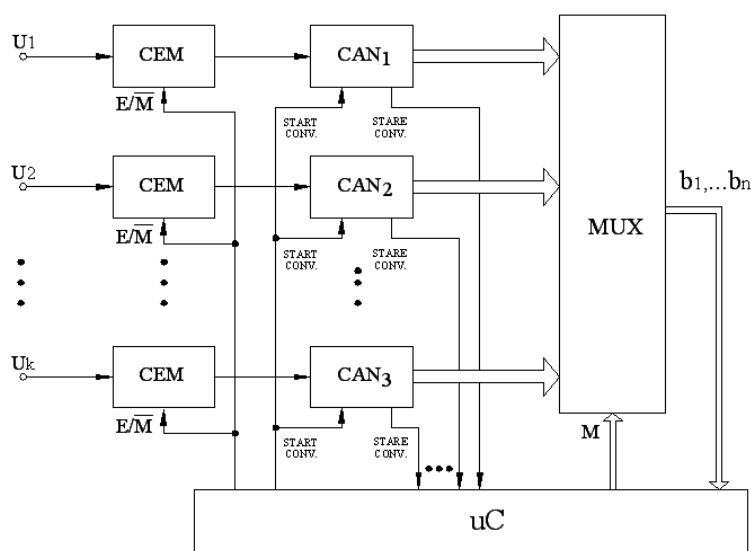
Declanșarea procesului de achiziție se realizează la momentul  $t_1$  prin frontul căzător al semnalului  $E/\bar{M}$ , care comandă trecerea în stare de memorare a CEM. Conversia analog numerică a eșantionului prelevat din  $U_1$  este declanșată la  $t_2$  de frontul crescător al semnalului START CONV. De asemenea, la momentul  $t_2$  se comută semnalul  $M$  de comandă al MUX pentru conectarea semnalului  $U_2$  la intrarea CEM.

Sfârșitul conversiei numerice a eșantionului prelevat din semnalul  $U_1$  corespunde lui  $t_3$ , dat de frontul căzător al semnalului STARE CONV, rezultând  $t_3 - t_2 = T_c$  (unde  $T_c$  este timpul de conversie).

Comanda de prelevare a unui eșantion din semnalul  $U_2$  este data la  $t_4$  prin frontul ridicător al lui  $E/\overline{M}$  astfel încât  $t_4 - t_3 = t_{ac}$ , unde  $t_{ac}$  este timpul de achiziție al CEM. La momentul  $t_5$  se comandă declanșarea conversiei analog numerice corespunzătoare eșantionului prelevat din  $U_2$ .

În intervalul  $t_3 - t_5$  la ieșirile  $b_0 \dots b_{n-1}$  ale CAN este încărcat rezultatul conversiei numerice a eșantionului prelevat din  $U_1$  care este preluat corespunzător de  $\mu C$ . Rezultatul conversiei corespunzătoare eșantionului prelevat din  $U_1$  este disponibil începând de la  $t_6$ . Intervalul de timp corespunzător achiziției a câte unui eșantion din cele  $k$  semnale de intrare se numește perioada de achiziție  $T_{ac} = k \cdot (t_4 - t_1)$ .

b) Multiplexarea ieșirilor CAN, realizată conform schemei din *figura 5.4* realizează viteza de achiziție maximă, dar necesită un număr maxim de circuite CAN și CEM (relativ scumpe).



*Figura 5.4 SAD cu ieșirile multiplexate*

## 5.2. Conversoare analog-numerice

### 5.2.1. Generalități

CAN reprezintă elementul de bază al unui SAD și este sistemul care transformă mărimea de intrare (practic o tensiune) cu variație analogică, într-o mărime de ieșire cu expresie numerică.

Conversia A/N reprezintă un proces în două etape:

- cuantificarea, procesul prin care semnalul analogic este transformat într-o serie de stări discrete, disponibile pe tot atâtea canale;
- codarea, proces prin care fiecărei stări (canal) i se atribuie un număr.

Concret, domeniul de variație al semnalului de intrare  $U_i$  [V] este divizat în  $N$  canale, fiecare identificat prin indicele  $k \in [0, N]$ . Mărimii  $U_i$  i se asociază canalul  $k$  dacă:

$$L_k \geq U_i > L_{k-1},$$

unde:

$L_k$  [V] este limita superioara a canalului  $k$ ,

$L_{k-1}$  [V] este limita superioara a canalului  $k-1$ .

Diferența dintre două limite succesive ale canalelor definește lățimea canalului  $\Delta U$ :

$$\Delta U = L_k - L_{k-1}$$

Toate semnalele care satisfac relația de mai sus sunt repartizate canalului respectiv, chiar dacă nu au aceeași mărime. Ca urmare, apare o eroare principală a conversiei A/N, numită eroare de cuantificare și care este dată lățimea canalului  $\Delta U$ .

Caracteristica de transfer a unui CAN reprezintă raportul dintre rezultatul conversiei și mărimea de intrare  $U_i$ ; În figura 5.5 sunt prezentate caracteristica de transfer și variația erorii de cuantificare, pentru un CAN pe 3 biți.

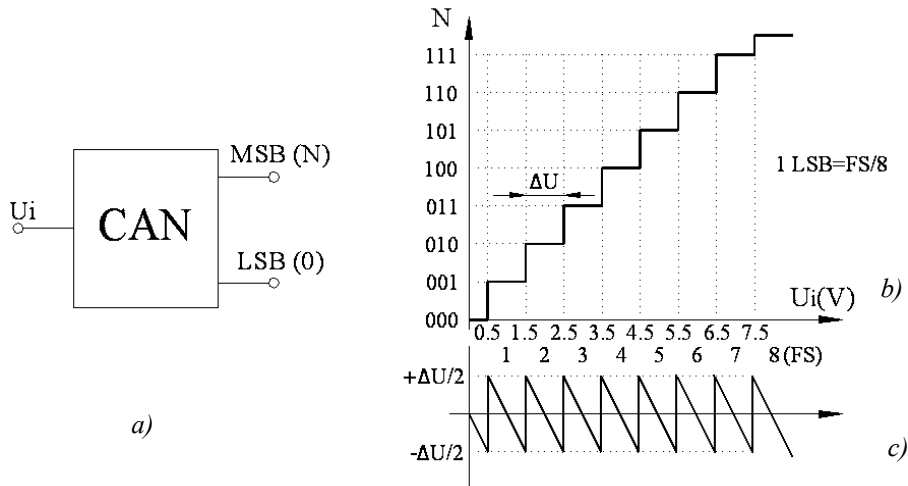


Figura 5.5. Principiul conversiei A/N

a) Schema de principiu; b) caracteristica de transfer; c) eroarea de cuantificare

Pentru un CAN pe  $n$  biți, rezoluția conversiei se exprimă prin valoarea bitului cel mai puțin semnificativ (LSB) din cuvântul binar de la ieșire:

$$1LSB = U_{i\max} / 2^n \quad \text{iar rezoluția relativă: } r = 1 / 2^n = 2^{-n}$$

Teoretic, codul de ieșire al CAN corespunde mijlocului unui canal. Spre limitele canalelor, eroarea de cuantificare crește (într-un sens sau celălalt), oscilând între valorile  $\pm \Delta U$ , ceea ce corespunde valorii unui bit LSB din cuvântul binar de la ieșire (fig.5.5c). Discriminarea valorilor tensiunii de intrare, la limita canalelor adiacente se face cu comparatoare de tensiune. Datorita incertitudinii în precizarea pragului de basculare a comparatorului, la limita dintre canale apare o probabilitate  $P_k(U) < 1$  de atribuire a valorii  $U_i$  între canalele adiacente. Aceasta probabilitate devine din ce în ce mai mică, cu cât lățimile canalelor scad, respectiv cu creșterea rezoluției CAN,

conducând în final la creșterea erorii conversiei.

Profilul canalului, din punctul de vedere a probabilității  $P_k(U)$  este prezentată în figura 5.6. Pentru reducerea erorii totale a CAN se realizează un compromis între rezoluție și calitatea comparatoarelor de tensiune.

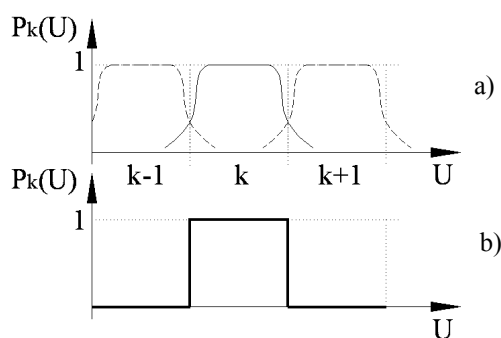


Figura 5.6 Profilul canalelor: a) real; b) ideal

### 5.2.2 Clasificarea CAN

În prezent, pentru realizarea conversiei A/N se utilizează mai multe procedee, care acoperă:

- domenii de frecvență a semnalului de intrare  $\Delta f = 0 \dots 10^2$  MHz;
- rezoluții : 4 -5 biți pentru frecvențe mari, respectiv 15-16 biți pentru frecvențe joase.

CAN se pot clasifica după mai multe criterii:

1. După metode conversiei:

- metode directe, la care circuitul care generează codul numeric acționează direct asupra mărimii de intrare;

- metode indirecte, la care mărimea analogică de intrare se transformă într-o altă mărime analogică (interval de timp - conversie U/T, frecvența - conversie U/f).

2. După ciclul de funcționare:
  - cu ciclu programat (timpul de conversie  $T_c$  nu depinde de amplitudinea  $U_i$ );
  - cu ciclu neprogramat (timpul de conversie  $T_c$  este funcție de amplitudinea  $U_i$ );
3. După prezența reacției:
  - fără reacție între ieșire și intrare;
  - cu reacție, ceea ce implică prezența unui DAC în bucla de reacție.
4. După modul de tratare a semnalului de intrare:
  - de tip integrator;
  - cu comparări discrete a unor tensiuni.

### 5.2.3 CAN paralel (Flash)

CAN de tip paralel determină simultan toți biții de ieșire pe baza comparării semnalului de intrare simultan cu o serie de nivele de referință echidistante. Principiul de funcționare este prezentat în figurile 5.7.a,b,c, pentru o rezoluție de 2 biți.

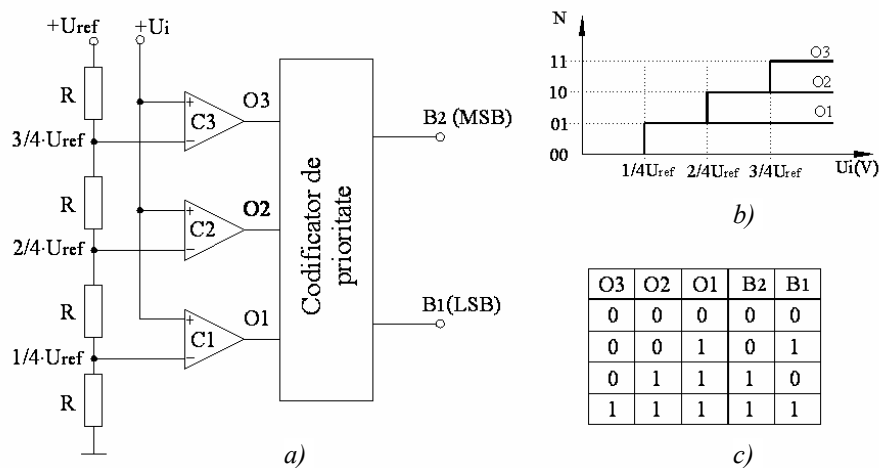


Figura 5.7. CAN paralel: a) schema; b) ieșirile comparatoarelor; c) ieșirea numerică

Domeniul de variație al mărimii de intrare a fost divizat pe 4 canale, delimitate de valorile:  $U_{ref}/4$ ,  $2U_{ref}/4$ ,  $3U_{ref}/4$ , unde  $U_{ref} \geq U_{imax}$ . Semnalele de la ieșirile comparatoarelor sunt prelucrate printr-un circuit logic combinațional, la ieșirea căruia se obține codul numeric.

Avantajul major al acestui tip de CAN este viteza de conversie, limitată doar de comparatoare și circuitele de conversie. Dezavantajele decurg din complicarea schemei cu creșterea rezoluției. Astfel, pentru un CAN paralel cu rezoluția de  $N$  biți, sunt necesare  $2^N - 1$  comparatoare, pentru care nivelele de referință formează un șir de forma:

$$U_{ref}/2^N, 2U_{ref}/2^N, \dots, (2^N - 1)U_{ref}/2^N.$$

Creșterea rezoluției determină creșterea exponențială a numărului de componente, ceea ce complică foarte mult circuitul codificator de prioritate.

În prezent aceste CAN se întâlnesc în aplicațiile rapide, pe 8 biți.

#### 5.2.4 CAN cu reacție

CAN cu reacție funcționează pe baza comparării succesive a mărimii semnalului de intrare cu o tensiune de referință variabilă, obținută prin conversia digital-analogică a mărimii numerice (momentană) de la ieșire. Prin urmare, în bucla de reacție există un convertor D/A (DAC) și un registru care furnizează la ieșire cuvântul binar. Există mai multe variante constructive de CAN cu reacție, diferențele dintre ele fiind datorate registrului de control.

##### a) CAN cu reacție prin metoda numărătorului

La acest tip de CAN, se folosește ca registru un numărător (unidirecțional), la care se aplică un semnal de tact prin intermediul unei porți comandate de ieșirea comparatorului. La fiecare început de ciclu de conversie, numărătorul este adus în starea zero, după care începe să numere în sens direct, ducând la creșterea în trepte a tensiunii de referință variabilă de la ieșirea DAC. Numărarea continuă până la depășirea de către tensiunea de referință a mărimii tensiunii de la intrare. Acest moment este sesizat de comparator, care întrerupe numărarea (prin blocarea semnalului de tact) și în același timp semnalează sfârșitul conversiei. Numărul binar conținut în acel moment în numărător reprezintă rezultatul conversiei. Principiul și formele de undă ale semnalelor sunt prezentate în *figurile 5.8.a,b*.

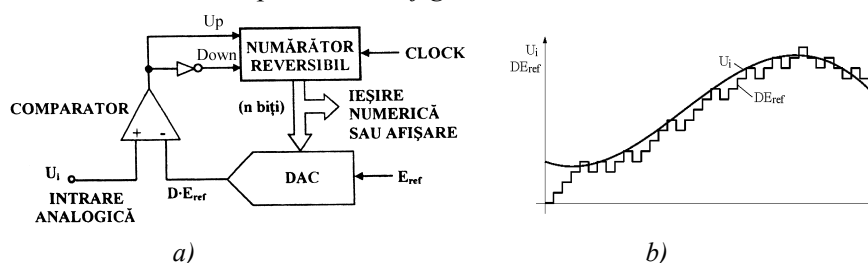


Figura 5.8 CAN cu reacție prin metoda numărătorului: a) schema; b) diagrama semnalelor.



Acest tip de CAN are avantajul unei scheme simple și ieftine, dar prezintă dezavantajul unei viteze mici de conversie, mai ales pentru valori  $U_i$  mari, datorita necesității efectuării comparației la nivelul unui bit LSB.

### b) CAN cu reacție prin metoda conversiei continue (cu urmărire)

Față de structura prezentată anterior, acest CAN utilizează un numărător reversibil, ceea ce permite, în limitele performanțelor de viteză, urmărirea de către convertor a tensiunii de intrare (figurile 5.9 a,b).

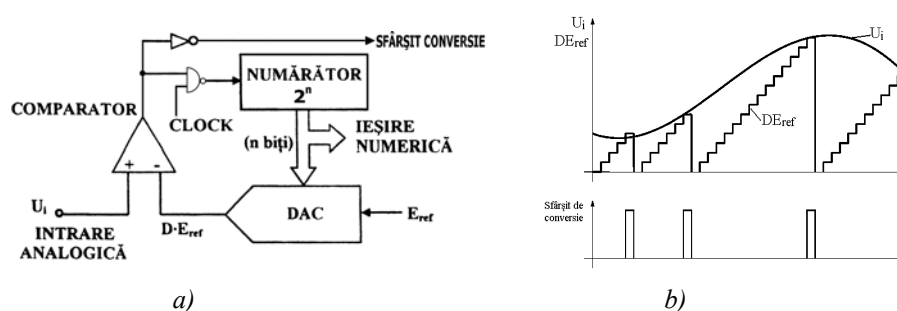


Figura 5.9 CAN cu reacție cu urmărire: a) schema; b) diagrama semnalelor

La început, numărătorul este în stare zero, după care se incrementează conținutul până la sesizarea, de către comparator a depășirii tensiunii de intrare de către tensiunea de referință. În acest moment, în numărător se găsește rezultatul conversiei și în același timp se comandă decrementarea conținutului numărătorului, ceea ce se întâmplă până la momentul în care tensiunea de referință scade sub valoarea tensiunii de intrare. În acest fel, ieșirea CAN urmărește variațiile tensiunii de intrare. O situație deosebită apare în cazul în care tensiunea de intrare este constantă și când urmărirea ei se face printr-o oscilare a tensiunii de reacție, corespunzător unei valori de 1 bit ( $\pm 1/2$  LSB). Pentru depășirea acestei situații se poate utiliza un comparator cu prag, lățimea pragului fiind egală cu 1 LSB.

### c) CAN cu reacție cu registru cu aproximații succesive

Acest tip de CAN este unul dintre cele mai folosite, atât în aplicațiile de viteză cât și în cele de rezoluție ridicată. În bucla de reacție se folosește un circuit logic de control special, registrul cu aproximații succesive (fig.5.10a). La începutul conversiei, registrul este în starea 0. După primul impuls de tact, în registru se înscrie bitul cel mai semnificativ (MSB), care reprezintă un număr care se aplică și la intrările DAC. Tensiunea de referință de la ieșirea DAC se compară cu tensiunea de intrare și va produce la ieșirea

comparatorului un semnal (1 sau 0) care se aplică registrului. Funcție de rezultatul comparației (valoarea 1 sau 0), se păstrează sau nu MSB. Se va încărca apoi următorul bit și se repetă secvența de mai sus până la bitul LSB. La sfârșitul operației (verificarea tuturor biților), în registru se va afla cuvântul binar corespunzător tensiunii analogice de la intrarea CAN (fig.5.10b, în care  $U_{cal}$  reprezintă tensiunea capătului de scară al DAC).

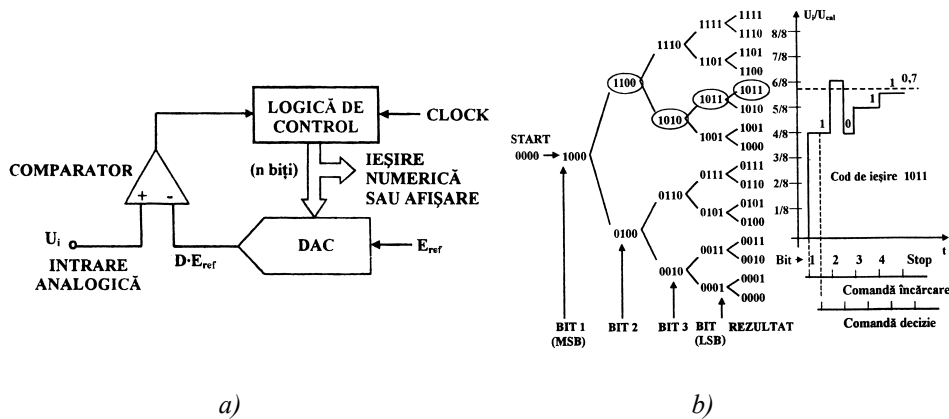


Fig.5.10. CAN cu reacție cu registru cu aproximații succesive:  
a) schema circuitului; b) exemplu de conversie cu aproximații succesive

*Observație:* Referitor la convertoarele A/N cu reacție prezentate, se face precizarea că circuitele logice de comanda pot fi înlocuite cu un  $\mu P$ , rămânând ca circuite specifice comparatorul și convertorul D/A. În acest mod, CAN poate fi configurat prin program să funcționeze în una din variantele prezentate, funcție de cerințele de precizie și viteză ale aplicației.

### 5.2.5. CAN cu integrare

Aceste tipuri de CAN se bazează pe integrarea, pe o durată determinată, a semnalului analogic de la intrarea sa și conversia rezultatului într-o formă binară, proporțională cu acesta.

Se cunosc mai multe tipuri de CAN integratoare:

1. cu simplă integrare;
2. cu dublă integrare (cu 2 pante);
3. cu 4 pante;
4. cu integrare multiplă.

Dintre aceste variante se prezintă un CAN cu dublă integrare cu rezoluție de  $n$  biți, a cărui schemă este prezentată în figura 5.11.a. Pentru urmărirea funcționării, se precizează starea inițială concretizată prin:

- condensatorul  $C$  descărcat (tensiunea  $U=0$ );
- numărătorul resetat (conținutul acestuia  $N=0$ );
- tensiunile de intrare  $U_x$  și de referință  $U_{ref}$  au semne contrare (în figură  $U_x > 0$  și  $|U_{ref}| \geq |U_x|$ ).

Ciclul de funcționare este următorul:

- la inițierea conversiei, comanda  $\overline{ST.CONV} = 0$ , setează bistabilul  $D$  pe  $1$  ( $Q=1$ ); acesta poziționează comutatorul  $S$  pe tensiunea de intrare  $U_x$ , care se aplică la intrarea integratorului;
- la ieșirea integratorului apare tensiunea:

$$U_{(t)} = -\frac{I}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_x dt \quad (\text{v. diagrama din figura 5.11.b});$$

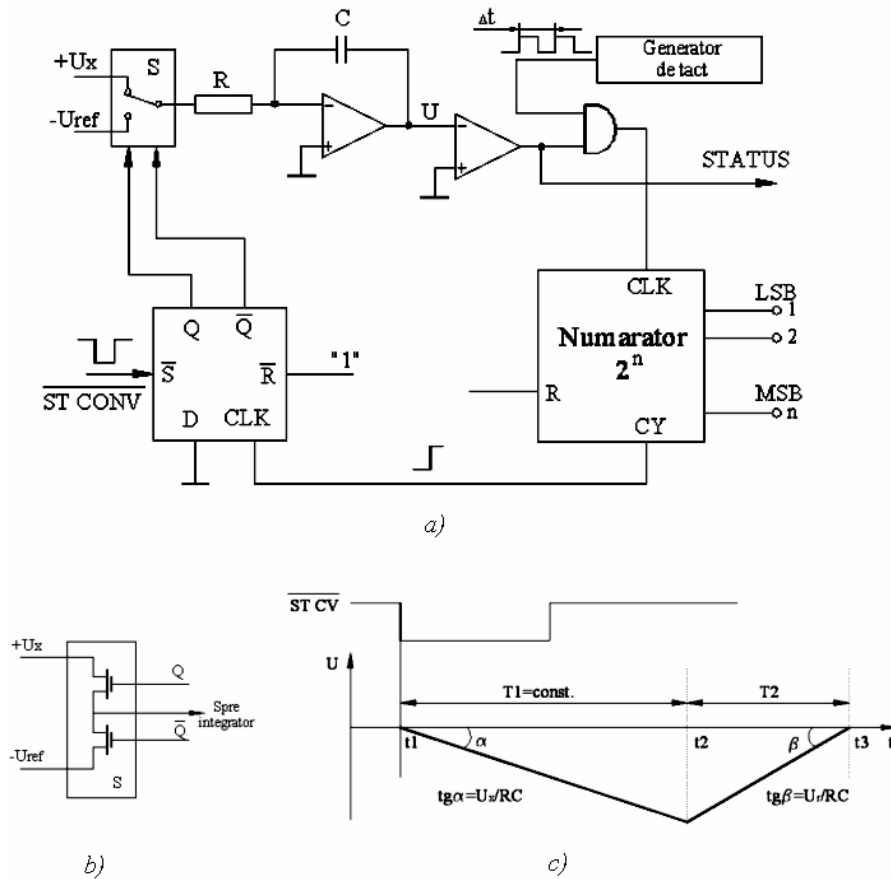


Figura 5.11 CAN cu dublă integrare:  
 a) schema circuitului; b) schema comutatorului  $S$ ; c) diagrama tensiunilor

- comparatorul deschide poarta SI, permițând incrementarea număratorului modulo  $n$ ;

- la umplerea număratorului la capacitatea maximă, conținutul acestuia devine  $0$  și se generează semnalul de transport  $CY$ , care comuta bistabilul  $D$  pe  $0$  ( $Q=0$ ). Ca urmare, comutatorul  $S$  basculează și conectează la intrarea integratorului tensiunea de referință  $U_{ref}$ ;

- tensiunea de la ieșirea integratorului devine:

$$U_{(2)} = -\frac{I}{RC} \int_{t_2}^{t_3} U_{ref} dt;$$

- comparatorul menține deschisă poarta SI, până la momentul  $t_3$  ( $U \geq 0$ ). În intervalul  $t_2 - t_3$  în numărator se înscrie numărul  $N_x$ ;

La momentul  $t_3$ , tensiunea pe condensator devine 0, deci:

$$U = -\frac{I}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_x dt - \frac{I}{RC} \int_{t_2}^{t_3} U_{ref} dt = 0;$$

Ținând cont că  $U_x$  și  $U_{ref}$  au semne contrare și că pe duratele  $T1$  și  $T2$ ,  $U_x$  și  $U_{ref}$  sunt constante, se poate scrie:

$$U_x \cdot T1 = U_{ref} T2.$$

Dar, cu perioada  $\Delta t$  a tactului:

$$T1 = 2^n \cdot \Delta t \quad \text{și} \quad T2 = N_x \cdot \Delta t,$$

de unde rezultă:

$$U_x = \frac{U_{ref}}{2^n} \cdot N_x = K \cdot N_x$$

Se remarcă faptul că relația de mai sus, care reprezintă caracteristica de transfer a CAN nu depinde de parametri  $R$ ,  $C$  și  $\Delta t$ , acestea fiind constante.

Deși sunt relativ lente, avantajul major al acestui CAN este precizia ridicată, semnalele parazite periodice putând fi ușor rejectate (prin alegerea duratei  $T1$  multiplu întreg al perioadei semnalului perturbator).

### 5.2.6 Convertorul tensiune-frecvență

Printr-o reconfigurare a schemei CAN cu integrare (la care funcționarea se bazează pe o conversie tensiune-timp), se ajunge la schema prezentată în *figura 5.12.a*, care reprezintă un convertor tensiune-frecvență (U/f). Semnalul de ieșire al convertorului U/f este format dintr-un tren de impulsuri cu durata  $\tau$ , cu frecvența proporțională cu mărimea de intrare  $U_x$ . Convertorul funcționează după următorul ciclu, care poate fi urmărit în diagrama din *figura 5.12.b*:

- la momentul inițial  $t=0$ , comutatorul  $S$  este deschis și începe integrarea tensiunii  $U_x$ ;
- la momentul  $t_1$ , tensiunea la ieșirea integratorului este (pct.  $A1$ ):

$$U_{(A1)} = -\frac{I}{RC} \int_0^{t_1} U_x dt + U_{(0)} = |U_{ref2}|$$

și se declanșează circuitul monostabil. Acesta va genera un impuls cu durata  $\tau$ , disponibil la ieșire, care va comuta pe starea închis, aplicând la intrarea integratorului tensiunea  $U_x - U_{ref1}$  (este necesar ca  $|U_{ref1}| > |U_x|$ ). Tensiunea la ieșirea integratorului va varia după:

$$U = -\frac{I}{RC} \int_{t_1}^{t_2} (U_x - U_{ref1}) \cdot dt .$$

la momentul  $t_2$  (corespunzător lui  $\tau = t_2 - t_1$ ), procesul de integrare ia sfârșit (pct.  $B1$ ) și începe o noua integrare, de la punctul  $B1$  la  $A2$  (momentul  $t_3$ ). Procesul se repetă, perioada (frecvența) semnalului generat de monostabil fiind proporțională cu tensiunea de la intrare .

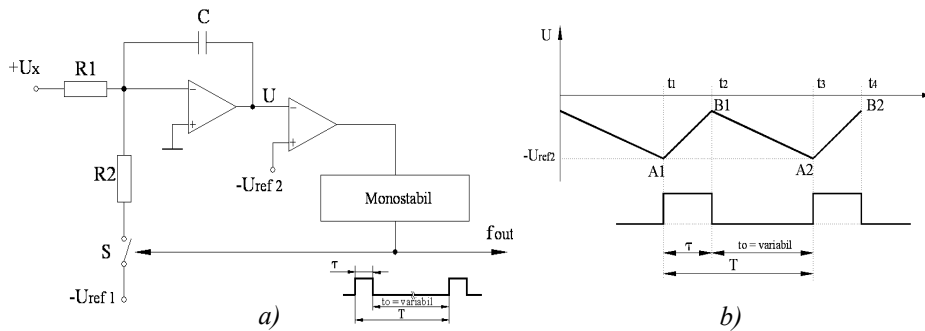


Figura 5.12 Convertorul tensiune-frecvență:  
a) schema circuitului; b) diagrama tensiunilor

Avantajele acestui tip de convertor constau în:

- rezistența la perturbații, fiind un circuit integrator;
- ușurința transmiterii la distanță a informației (telemetrie);
- posibilitatea integrării în timp a impulsurilor, realizându-se astfel contorizarea numerică a mărimii de intrare, după schema din figura 5.13.

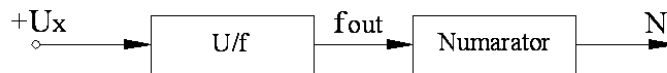


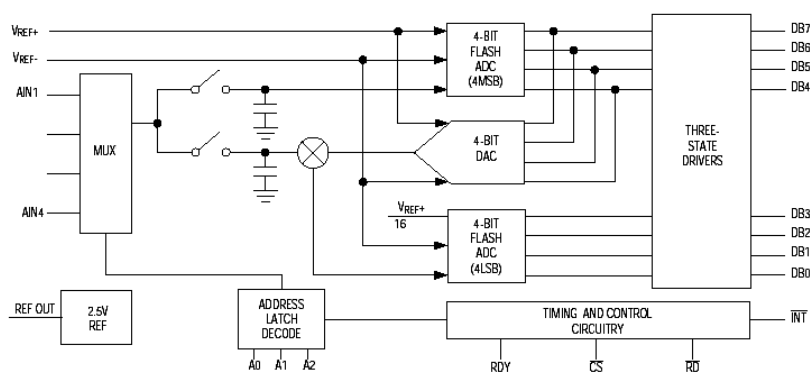
Figura 5.13 Schema bloc a contorului numeric

### 5.2.7 Exemplu de CAN industrial

Circuitul integrat MAX 154, fabricat de firma Maxim Integrated Products, reprezintă practic un SAD complet, cu următoarele caracteristici:

- CAN pe 8 biți, cu iesiri tri-state, în capsula DIP cu 24 pini, cu patru canale pentru pentru semnalele de intrare analogice;
- timp de conversie pe canal 2,5  $\mu$ s;
- referința internă de tensiune 2,5 V;
- circuit de eșantionare-memorare inclus;
- eroare de cuantificare 1/2 LSB;
- tensiune de alimentare unică +5V;
- nu necesită semnal de tact exterior.

Acest circuit utilizează tehnica de conversie numită "semi-paralelă", având în structura două CAN. Primul utilizează 15 comparatoare și stabilește primii 4 biți - mai semnificativi (MS) - ai cuvântului binar. Acești 4 biți sunt aplicași unui CNA, la ieșirea căruia se obține o tensiune care este comparată cu tensiunea de intrare. Diferența dintre cele două tensiuni este aplicată la intrarea celui de al 2-lea CAN, având deasemenea 15 comparatoare, care furnizează ultimii 4 biți - mai puțin semnificativi (LS) - ai conversiei. Schema bloc a circuitului este prezentată în *figura 5.14*.



*Figura 5.14 Schema bloc a circuitului MAX154*

Conversia este inițiată pe frontul căzător al semnalelor RD și CS. Intrările comparatoarelor urmăresc semnalul de intrare timp de cca. 1  $\mu$ s, după care biții MS sunt depuși în bufferele de intrare și începe conversia biților LS. După cca. 600  $\mu$ s, semnalul INT cade pe *low*, indicând sfârșitul conversiei. Rezultatul conversiei poate fi apoi accesat cu semnalul INT pe *low* (*figura 5.15.a*).

Circuitul folosește doar intrările CS și RD ca și semnale de comandă. Operația de citire, comandată cu CS și RD pe *low*, realizează reținerea adreselor decodate ale canalelor analogice (fig.5.15b) și comandă totodată începutul conversiei.

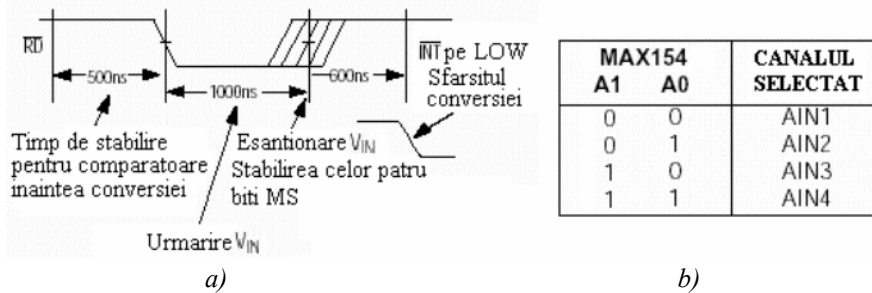


Fig.5.15. Secvența de funcționare (a) și decodarea adreselor(b) ale circuitului MAX154.

Sunt disponibile două moduri de operare, determinate de durata comenzii RD:

- Modul 0, implementat prin menținerea lui RD *low* până la terminarea conversiei, este destinat pentru  $\mu P$  care pot fi forțate în stare WAIT. În acest mod, conversia începe odată cu CS și RD pe *low* și rezultatul este disponibil (D0...D7) la terminarea conversiei. Pe durata conversiei, ieșirile sunt în starea de înaltă impedanță. În acest mod sunt disponibile la ieșire două semnale de stare: Interrupt (INT) și Ready (RDY). Ieșirea RDY, care este cu drena în gol (open drain) se conectează la intrarea READY/WAIT a  $\mu P$ . RDY devine *low* la frontul căzător al CS și devine de înaltă impedanță la sfârșitul conversiei. INT cade la *low* la terminarea conversiei și revine pe *high* pe frontul crescător al CS sau RD (figura 5.16).

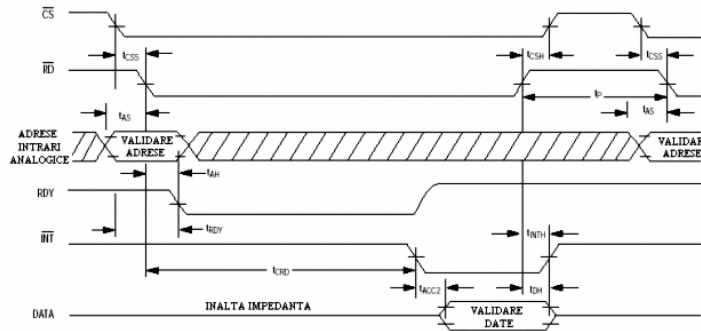


Figura 5.16 Diagrama de funcționare a circuitului pentru modul 0

- Modul 1 nu cere starea WAIT pentru  $\mu P$ . Comanda READ inițiază conversia și simultan furnizează la ieșire rezultatul conversiei anterioare (figura 5.17).

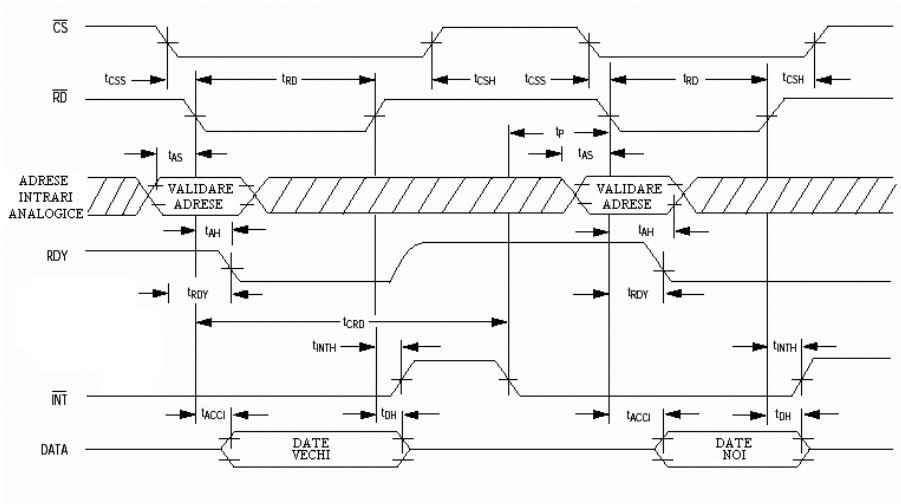


Fig.5.17. Diagrama de funcționare a circuitului pentru modul 1

Tensiunile de referință  $V_{REF+}$  și  $V_{REF-}$  definesc domeniul de conversie, între zero și capăt de scală (Full-Scale), conform figurii 5.18.

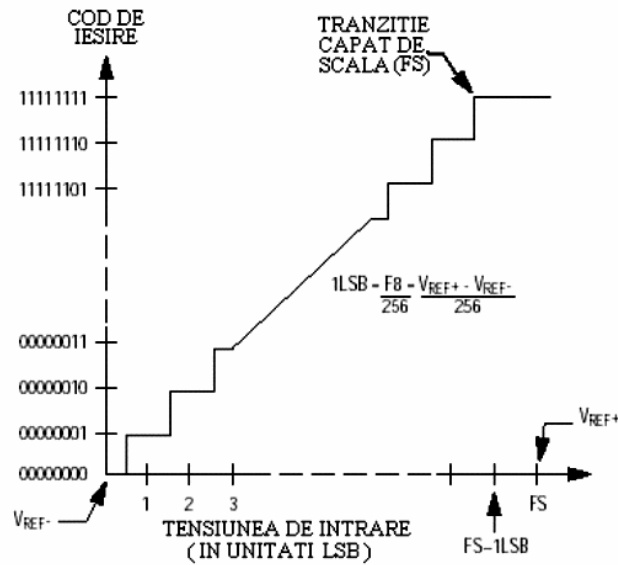
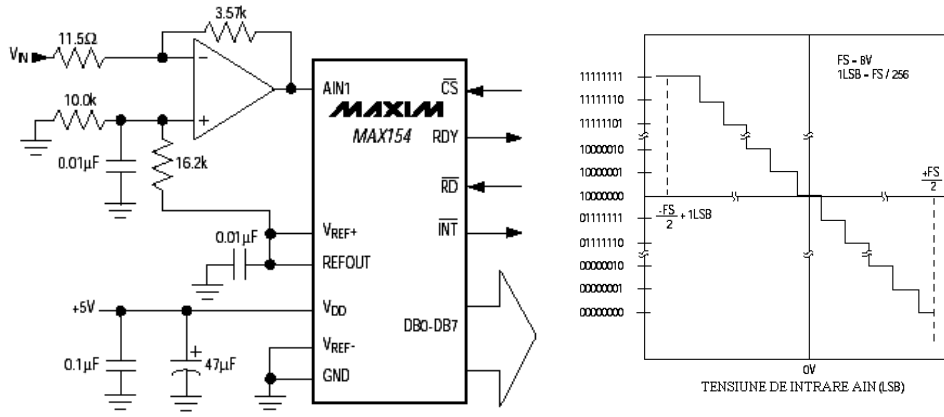


Figura 5.18 Caracteristica de transfer a circuitului MAX154



Circuitul poate fi folosit și pentru conversia unor semnale de intrare bipolare. În acest caz se procedează la scalarea tensiunii de intrare cu un AO, astfel ca la intrarea CAN se aplică doar tensiuni pozitive. În exemplul din figurile 5.19.a și b, domeniul de intrare analogică este  $\pm 4V$  iar datele de la ieșire sunt prezentate în cod binar complementat.



\* Reprezentare pentru un singur canal

a)

b)

Figura 5.19 Funcționarea circuitului cu semnale de intrare bipolare: a) schema electrică; b) caracteristica de transfer

Interfațarea cu  $\mu P$  a circuitului, în modul 0 este prezentată în figura 5.20.

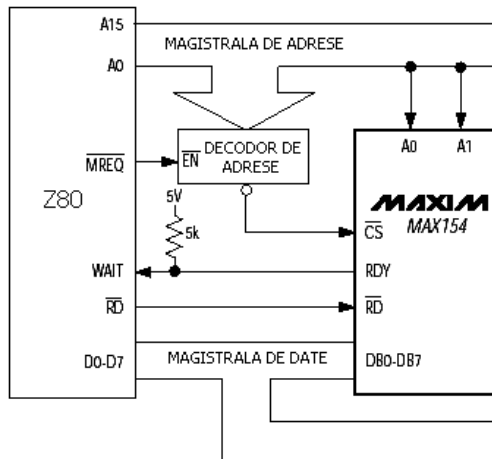


Figura 5.20 Interfațarea circuitului cu un  $\mu P$  pe 8 biți, pentru modul 0 de funcționare