

## **LUCRARE DE LABORATOR LAB -12**

# **CONVERTOARE ANALOG-NUMERICE**

Autor: Conf.dr.ing. Constantin Harja

### **1. SCOPUL LUCRĂRII**

Scopul prezentei lucrări de laborator este studierea și testarea convertoarelor analog-numerice – *ADC (Analog to Digital Converter)*. În lucrare se prezintă destinația și principiile de funcționare ale *ADC*. Partea experimentală se efectuează asupra unui *ADC* cu aproximații succesive. Din considerente didactice, registrul de aproximații succesive este simulat de către operator prin intermediul unor comutatoare mecanice.

### **2. GENERALITĂȚI**

Convertorul analog-numeric este o verigă esențială a unui sistem de măsurare și/sau prelucrare numerică a informației care are ca suport fizic mărimi cu variație continuă în timp. Precizia unei măsurări numerice este determinată în cea mai mare parte de prelucrările efectuate pe partea analogică, inclusiv conversia analog-numerică. Erorile de prelucrare numerică a informației sunt în general neglijabile în comparație cu cele care însoțesc prelucrarea analogică. Ca urmare, tehnicile și circuitele de conversie analog-numerică au fost tratate cu atenție și au cunoscut o amplă dezvoltare.

În general, *ADC* pot fi împărțite în două categorii: neintegratoare și integratoare.

Convertoarele analog-numerice neintegratoare eșantionează tensiunea de măsurat și îi măsoară valoarea instantanee la un anumit moment de timp. Acestea permit măsurări rapide, în detrimentul filtrării antiperturbative. Cele mai importante *ADC* neintegratoare sunt cele cu aproximații succesive, cu rampă liniară și cu rampă în trepte.

Convertoarele analog-numerice integratoare, măsoară valoarea medie a tensiunii necunoscute pe un anumit interval de timp, prin integrarea acestei tensiuni. Astfel, cresc proprietățile antiperturbative, însă scade viteza de măsurare. În această categorie intră *ADC* cu conversie intermediară în frecvență, cu simplă, dublă și cu multiplă integrare.

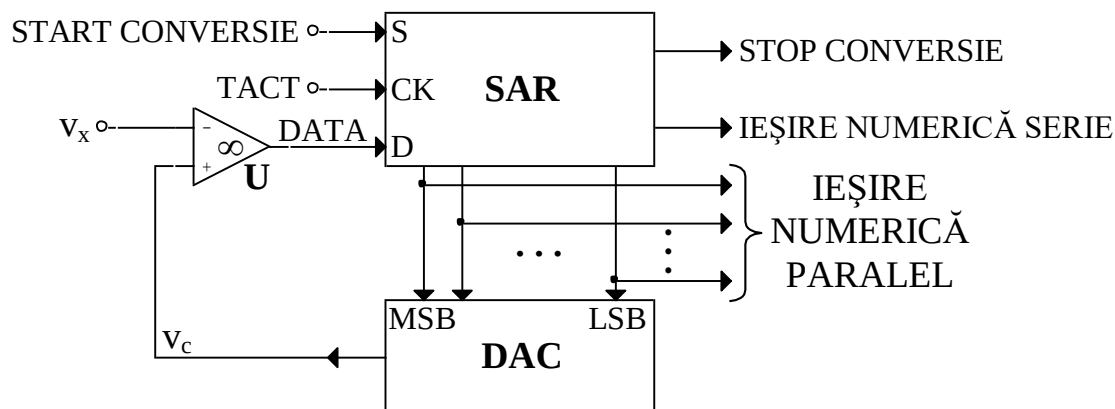
Există și *ADC* care combină cele două tehnici menționate anterior, realizând un compromis optim între performanțele și deficiențele ambelor categorii.

Din rândul ADC neintegratoare o largă utilizare o are cel cu aproximații succesive. Acest tip de convertor se bazează pe utilizarea unui convertor numeric-analogic și realizează cel mai bun factor de merit, exprimat ca produs între precizie și viteză.

### 3. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL ADC CU APROXIMAȚII SUCCESIVE

Convertorul analog-numeric cu aproximații succesive se bazează pe compararea tensiunii de măsurat cu tensiunea de ieșire a unui convertor numeric-analogic – DAC la intrarea căruia se aplică succesiv coduri numerice conform unui anumit protocol. Conversia constă în testarea și stabilirea valorii fiecărui bit, de la bitul cu cel mai semnificativ – *MSB* și până la bitul cel mai puțin semnificativ – *LSB*.

În Fig.1 este reprezentată schema de principiu a unui astfel de convertor.



**Fig.1. Schema de principiu a ADC cu aproximații succesive.**

ADC cu aproximații succesive include un comparator, care compară tensiunea de măsurat –  $v_x$  cu o tensiune de referință generată de un DAC –  $v_c$ . Codurile numerice aplicate la intrarea DAC sunt generate de un registru de aproximații succesive – SAR, prevăzut cu intrare de tact, start și date și cu ieșire numerică paralel, serie și de semnalizare a sfârșitului conversiei. După primirea comenzii de start, la primul impuls de tact SAR generează codul 10...0, adică testează bitul *MSB* iar DAC generează o tensiune corespunzătoare –  $V_r/2$  ( $V_r$  capătul de scală – *FS*), care este comparată cu  $v_x$ :

- dacă  $v_x > V_r/2$ , comparatorul trece în starea *1-logic* și la următorul impuls de tact SAR memorează valoarea *1-logic* a bitului testat și generează codul 110...0, adică se trece la testarea valorii bitului următor;

- dacă  $v_x < V_r/2$ , comparatorul trece în starea *0-logic* și la următorul impuls de tact SAR memorează valoarea *0-logic* a bitului testat și generează codul 010...0, adică se trece la testarea bitului următor; acest proces continuă bit cu bit, până la stabilirea valorii bitului *LSB*, apoi se oprește și registrul SAR semnalizează sfârșitul conversiei.

La terminarea ciclului de conversie, tensiunea de la ieșirea ADC este egală cu tensiunea  $v_x$ , în limitele unei erori de  $\pm 1$  *LSB* și ca urmare codul numeric generat de SAR și aplicat la intrarea DAC reprezintă valoarea numerică a tensiunii  $v_x$ .

ADC cu aproximații succesive se construiesc sub formă de circuit integrat sau hibrid. Dacă viteza de conversie nu este critică, registrul SAR pot fi simulat prin *software*. Rezoluția acestor convertoare poate atinge sau depăși 16 biți.

Un parametru specific ADC este timpul de conversie, care poate lua valori, în funcție și de numărul de biți, de  $\times 100$  ns... $\times 10$   $\mu$ s. Ceilalți parametri ai ADC sunt, cu unele deosebiri de nuanță, în mare parte aceleași ca și în cazul DAC.

## 4. SCHEMA ELECTRICĂ A MACHETEI DE LABORATOR

Schema machetei de laborator, utilizată pentru testarea ADC cu aproximații succesive, este reprezentată în Fig.2. În schema din Fig.2, spre deosebire de schema din Fig.1, comparatorul este realizat cu amplificatorul operațional –  $U_1$ , DAC este un circuit tip  $\beta$ DAC-08 cu ieșire în curent, iar SAR este simulat cu ajutorul comutatoarelor mecanice  $S_0...S_7$ . Dioda LED semnalizează valoarea incorectă a bitului testat.

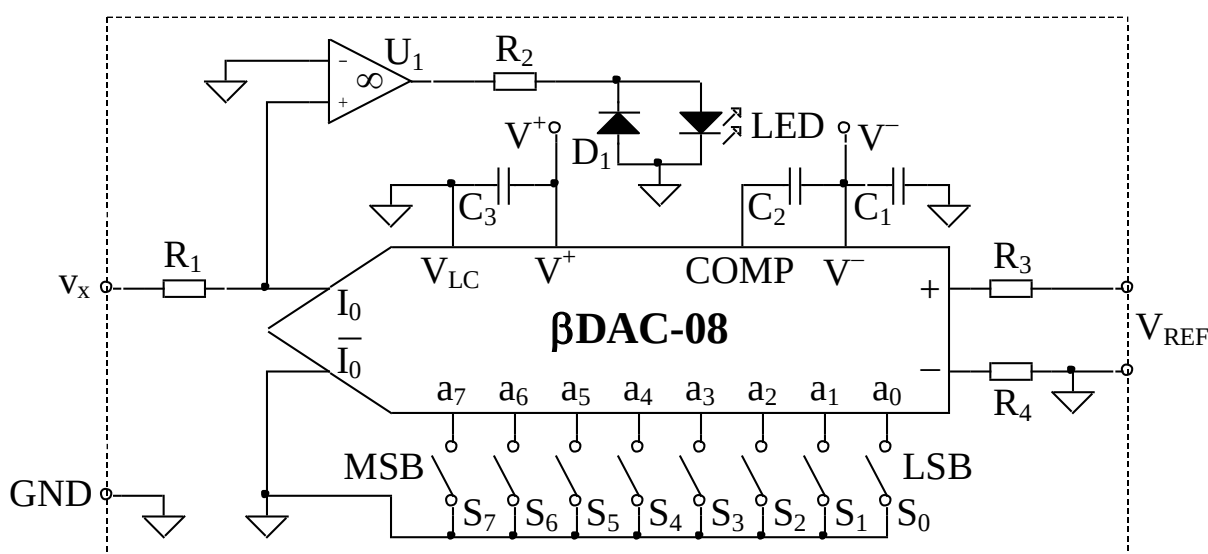


Fig.2. Schema machetei de testare a ADC cu aproximații succesive.

## 5. PROBLEME TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

**5.1. Se construiește organigrama comparațiilor și codurilor care pot rezulta la un ADC cu aproximații succesive de 3 biți.**

**5.2. Determinarea erorii de neliniaritate:**

- se aplică la intrare  $v_{xk} = 1, 3, 5, 7, 9, 10$  V, se echilibrează ADC conform pct.3 cu ajutorul comutatoarelor  $S_7...S_0$ , care în final indică codul numeric și se notează codurilor numerice corespunzătoare în binar –  $N_{bk}$  și în zecimal –  $N_{zk}$  ( $k = 1...6$ );
- se determină ecuația caracteristicii de transfer liniare, adică a dreptei care trece prin punctele ( $v_{x1} = 1$  V,  $N_{z1}$ ) și ( $v_{x5} = 9$  V,  $N_{z5}$ ):

$$N_z^* = N_{z1} + \frac{N_{z5} - N_{z1}}{v_{x5} - v_{x1}} (v_x - v_{x1}); \quad (1)$$

- se determină eroarea de neliniaritate, adică abaterea caracteristici față de (1):

$$\Delta N_{zk}^* = N_{zk} - N_{zk}^*; \quad (2)$$

- se exprimă eroarea de neliniaritate sub formă raportată:

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta N_{z\max}^*}{N_{z\max}} 100[\%]; \quad (3)$$

- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului de mai jos.

**Tabel 1. Eroarea de neliniaritate.**

| $v_x$    | $N_b$    | $N_z$    | $N_z^*$    | $\Delta N_z^*$    | $\varepsilon_n$                                 |
|----------|----------|----------|------------|-------------------|-------------------------------------------------|
| $v_{x1}$ | $N_{b1}$ | $N_{z1}$ | $N_{z1}^*$ | $\Delta N_{z1}^*$ | $\Delta N_{z\max}^* = ?$<br>$\varepsilon_n = ?$ |
| :        | :        | :        | :          | :                 |                                                 |
| $v_{x6}$ | $N_{b6}$ | $N_{z6}$ | $N_{z6}^*$ | $\Delta N_{z6}^*$ |                                                 |
|          |          |          |            |                   |                                                 |

**5.3. Determinarea erorii totale:**

- se determină factorul de scală –  $K$  în punctul ( $v_{x6} = 10$  V,  $N_{x6}$ ) și ecuația caracteristicii ideale de transfer:

$$K = \frac{N_{z6}}{v_{x6}} [V^{-1}]; \quad N_z^o = K v_x; \quad (4)$$

- se determină eroarea absolută totală, dată de abaterea caracteristici reale de transfer, față de caracteristica ideală, conform (4):

$$\Delta N_{zk}^{\circ} = N_{zk} - N_{zk}^{\circ}; \quad (5)$$

- se exprimă eroarea absolută totală sub formă de eroarea raportată:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta N_{zmax}^{\circ}}{N_{zmax}} 100[\%]; \quad (6)$$

- se determină eroarea absolută de zero:

$$\Delta N_{zk} = \Delta N_{zk}^{\circ} - N_{zk}^*; \quad (7)$$

- se exprimă eroarea de zero sub formă de eroare raportată:

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta N_{zmax}}{N_{zmax}} 100[\%]; \quad (8)$$

- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului de mai jos.

**Tabel 1. Eroarea totală și de zero.**

| $V_x$    | $N_z$    | $N_z^{\circ}$    | $N_z^*$    | $\Delta N_z^{\circ}$    | $\Delta N_z$    | $\varepsilon_R$     |
|----------|----------|------------------|------------|-------------------------|-----------------|---------------------|
| $V_{x1}$ | $N_{z1}$ | $N_{z1}^{\circ}$ | $N_{z1}^*$ | $\Delta N_{z1}^{\circ}$ | $\Delta N_{z1}$ | $\varepsilon_t = ?$ |
| $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$         | $\vdots$   | $\vdots$                | $\vdots$        |                     |
| $V_{x6}$ | $N_{z6}$ | $N_{z6}^{\circ}$ | $N_{z6}^*$ | $\Delta N_{z6}^{\circ}$ | $\Delta N_{z6}$ | $\varepsilon_0 = ?$ |

### Observație:

Calcululele de la pct.5.2 și 5.3 sunt afectate de o eroare sistematică de metodă de  $\pm 1 \text{ LSB}$ , datorită caracterului discret al mărimii de ieșire a ADC. Dacă erorile de neliniaritate și de zero sunt sub nivelul acestei erori determinarea lor devine incertă.

## 6. ÎNTREBĂRI

- 6.1. Care sunt caracteristicile ADC integratoare comparativ cu cele neintegratoare?
- 6.2. Care sunt caracteristicile specifice ale unui ADC cu aproximații succesive?
- 6.3. Cât timp durează un ciclu complet de conversie al unui ADC cu aproximații succesive?
- 6.4. Care sunt cauzele care limitează numărul de biți al unui ADC cu aproximații succesive?