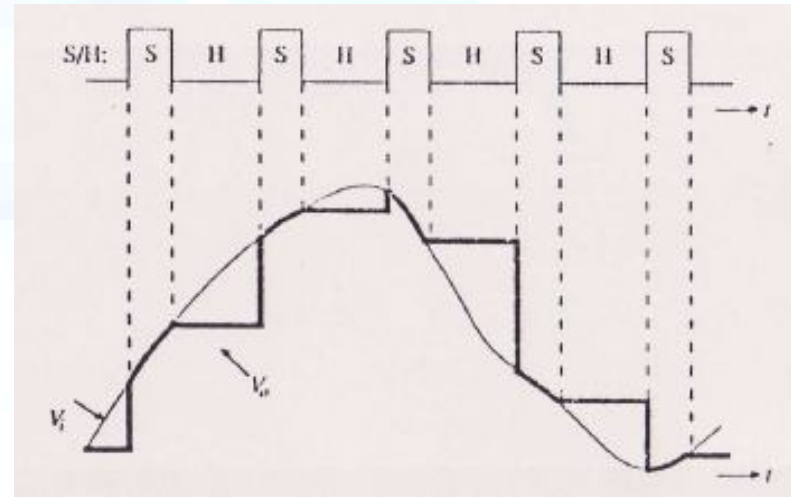
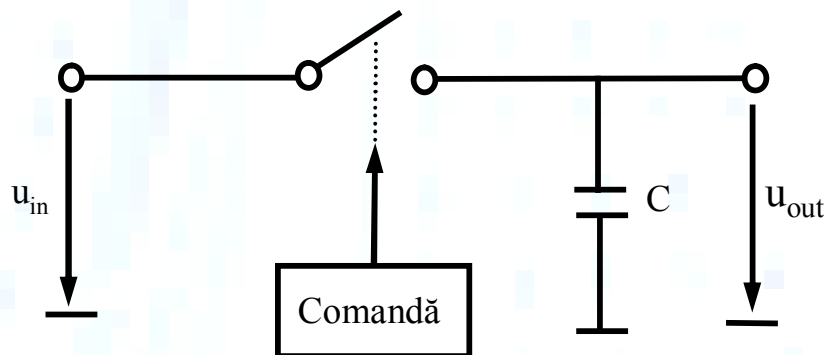


§ 1. Sisteme de achiziție de date

§ 1.1. Circuite de eșantionare și memorare. Principiul de funcționare.

- Principiul de funcționare a unui circuit de eșantionare și memorare (CEM) este prezentat în figura de mai jos.

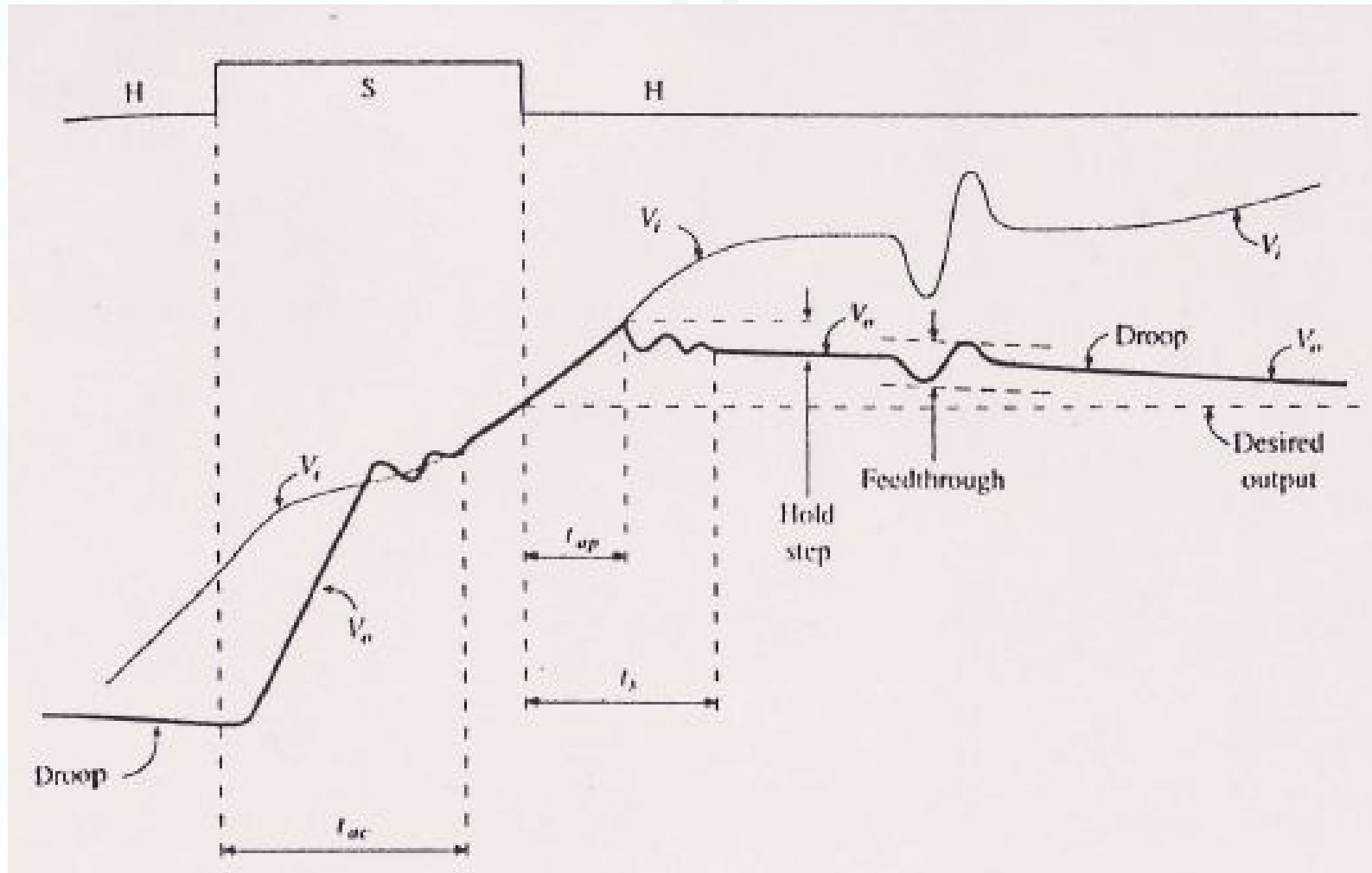


- CEM constă dintr-un comutator și un condensator. Când comutatorul este închis tensiunea de la bornele condensatorului urmărește tensiunea de intrare (eșantionare), iar când comutatorul este deschis capacitatea păstrează această tensiune (memorare).
- CEM sunt conectate la intrarea convertoarelor analog-numeric (CAN) pentru a memora semnalul de intrare pe durata conversiei A/N. De asemenea, CEM sunt utilizate la ieșirea convertoarelor numeric-analogice (CNA) în scopul eliminării impulsurilor tranzitorii (glitchers). Alte aplicații în care sunt utilizate CEM sunt: demultiplexarea analogică în distribuțiile de date, liniile de întârziere analogice, tastaturile instrumentelor de muzică electronică.

§ 1.2. Parametrii de performanță a circuitelor de eșantionare și memorare.

- Conform principiului de funcționare a CEM rezultă că pentru o funcționare precisă a acestuia trebuie avute în vedere următoarele aspecte:
 - în timpul fazei de eșantionare încărcarea capacității trebuie să se realizeze rapid; în acest scop trebuie ca sursa aplicată la intrare să aibă o rezistență internă redusă;
 - în timpul fazei de memorare trebuie ca semnalul memorat să nu se altereze rapid; în acest scop sistemul conectat la ieșire trebuie să aibă o rezistență de intrare de valoare foarte mare;
 - în momentul tranziției de la o stare la alta vârful tensiunii tranzitorii care apar să fie cât mai mici.
- În practică aceste probleme sunt rezolvate prin realizarea CEM folosind amplificatoare adaptoare de impedanță.

- CEM sunt caracterizați printr-o serie de parametri de performanță, prezentați în cadrul figurii de mai jos.



○ **Timpul de achiziție (t_{ac})** – reprezintă intervalul de timp dintre momentul de comandă a stării de eșantionare și momentul în care tensiunea de ieșire u_{out} urmărește valoarea tensiunii de intrare u_{in} cu o anumită eroare. Eroarea este, de regulă, 1%, 0,1%, 0,01%. Timpul de achiziție include întârzierile de propagare aferente driverului de comutare și comutatorului, “slew-rate” amplificatorului operațional (A.O) și timpul de stabilizare a A.O. În general t_{ac} este specificat pentru o variație a tensiunii de intrare de 10 V. Intrarea trebuie să fie achiziționată înainte de comutarea în modul memorare.

○ **Timpul de apertură (t_{ap})**

Datorită întârzierilor de propagare aferente driverului de comutare și comutatorului tensiunea u_{out} continuă să urmărească tensiunea u_{in} un anumit interval de timp după primirea comenzii de memorare. Acest interval de timp reprezintă timpul de apertură. Pentru o comportare cât mai precisă comanda de memorare trebuie dată în avans cu o durată egală cu t_{ap} .

○ **Incertitudinea de apertură (Δt_{ap})** – sau **jitter** reprezintă variația timpului de apertură de la eșantion la eșantion. Dacă timpul de apertură este compensat prin comanda în avans cu t_{ap} a modului memorare, atunci Δt_{ap} stabilește eroarea de timp fundamentală și, astfel, frecvența de eșantionare maximă pentru o rezoluție dată. Tipic Δt_{ap} este cu un ordin de mărime mai mică decât t_{ap} , care este cu unul până la două ordine de mărime mai mică decât t_{ac} .

○ **Timpul de stabilizare în modul memorare (t_s)**

După primirea comenzii de memorare durează un anumit interval de timp până când tensiunea u_{out} se stabilizează la valoarea finală cu o anumită eroare (1%, 0,1% sau 0,01%). Acest interval de timp reprezintă timpul de stabilizare în modul memorare.

○ Pasul de memorare (Hold step)

Datorită capacității parazite a comutatorului, când circuitul comută în modul memorare există un transfer nedorit de sarcină între driverul de comutare și capacitatea de memorare C , care cauzează o modificare a tensiunii pe capacitatea C și, implicit, a tensiunii u_{out} . Această variație a tensiunii de ieșire se numește pas de memorare, eroare de pedestal sau decalajul (offset-ul) de la modul eșantionare la modul memorare. Această eroare este dată de relația:

$$\Delta u_{out} = \frac{\Delta Q}{C},$$

unde ΔQ – este cantitatea de sarcină transferată.

- În cazul unui comutator JFET sarcina este transferată capacității grilă-drenă C_{gd} , care are o valoare tipică de ordinul pF. Când comutatorul aduce grila de la o valoare apropiată de tensiunea u_{out} la o valoare apropiată de V_{EE} , are loc un transfer de sarcină $\Delta Q = C_{gd}(V_{EE} - u_{out})$ de la capacitatea C , cauzând un pas de memorare egal cu:

$$\Delta u_{out} = \frac{C_{gd}}{C} (V_{EE} - u_{out}).$$

- Conform relației de mai sus rezultă că eroarea de pedestal depinde de tensiunea u_{out} .
- Exemplu: $C = 1$ nF și $V_{EE} = -15$ V. Se obține o eroare de pedestal pentru fiecare pF al capacității C_{gd} de -15 mV/pF pentru $u_{out} = 0$ V, -20 mV/pF pentru $u_{out} = 5$ V și -10 mV/pF pentru $u_{out} = -5$ V. deci, pentru o valoare de câțiva pF a capacității C_{gd} se obțin erori intolerabile (!).
- Eroarea de pedestal poate fi minimizată prin compensarea transferului nedorit de sarcină.

○ Transparența sau diafonia (Feedthrough)

Este determinată de cuplajul capacitiv între intrare și ieșire datorat capacități parazite a comutatorului. Diafonia este apreciată pe baza **factorului de rejectie a diafoniei FRR** (Feedthrough Rejection Ratio):

$$FRR = 20 \lg \left(\frac{\Delta u_{in}}{\Delta u_{out}} \right).$$

De exemplu: $FRR = 80$ dB rezultă că o modificare de 10 V a intrării în modul memorare cauzează o modificare a ieșirii $\Delta u_{out} = 10/10^4 = 1$ mV.

○ Deriva (Droop)

Deriva prezintă importanță mai ales în cazul achizițiilor rapide, când capacitatea trebuie să fie de valoare redusă.

Deriva este cauzată de curentul de fugă al comutatorului și a curentului de polarizare a A.O. situat în aval față de condensator. De asemenea, deriva este dată și de calitatea condensatorului. Condensatoarele trebuie să fie cu pierderi cât mai mici și cu absorbție în dielectric cât mai mică, cum sunt cele din polistiren (stiroflex) sau teflon.

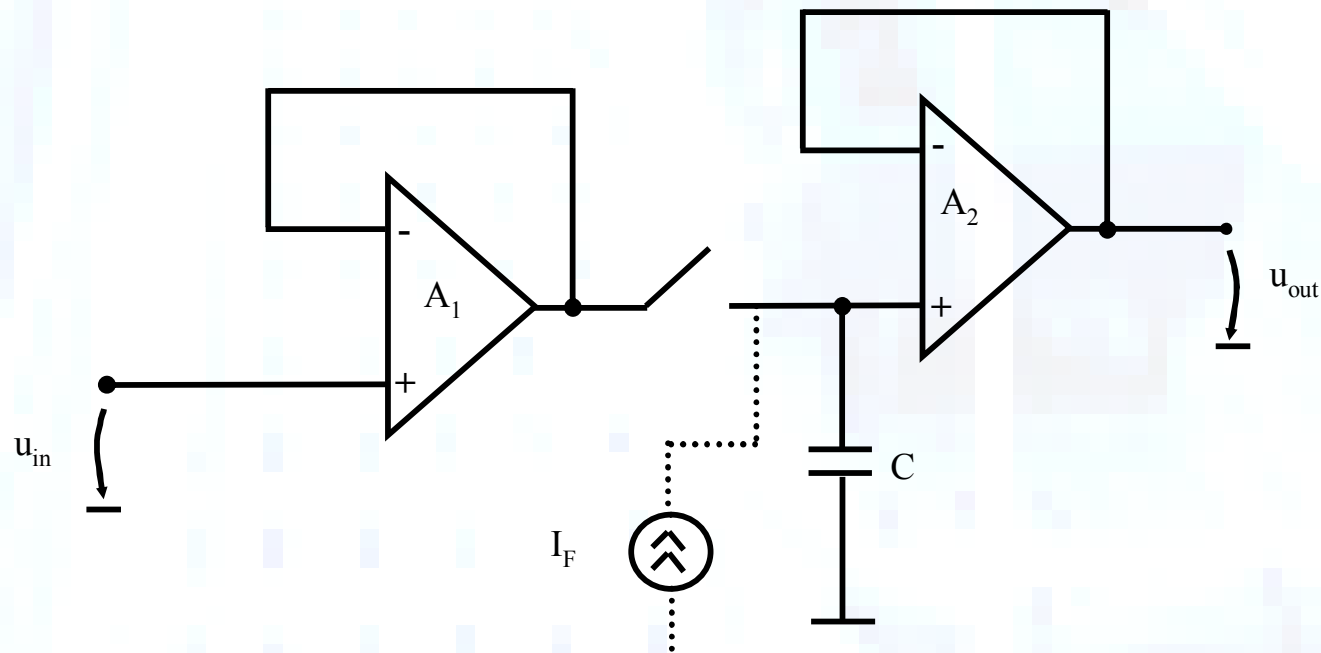
Parametrii de performanță a unor CEM integrate

	Temps d'acquisition	Taux de dérive ou courant de fuite	Incertitude d'ouverture (ps)	Erreur de décalage (tension ou charge)	Dérive en température	Non linéarité	Technologie
HTS-0010	14 ns (0.1%)	100 $\mu\text{V}/\mu\text{s}$	5	5 mV	125 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0,1 %	Hybride
HTS-0025	25 ns (0.1%)	200 $\mu\text{V}/\mu\text{s}$	20	5 mV	100 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0,1 %	Hybride
HTC-0300A	150 ns (0.1%)	5 $\mu\text{V}/\mu\text{s}$	100	5 mV	100 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0,01 %	Hybride
HTC-0500	700 ns (0.1%)	0.5 $\mu\text{V}/\mu\text{s}$	60	5 mV	100 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0,01 %	Hybride
AD346	1 μs (0.01%)	0.1 mV/ms	400	10 mV	—	—	Hybride
AD389	1.5 μs (0.01%)	0.1 $\mu\text{V}/\mu\text{s}$	400	2 mV	—	0,001 %	Hybride
AD585	3 μs (0.01%)	1 mV/ms	500	0.3 pC	—	—	Mono-lithique
AD583	4 μs (0.1 μs)	5 pA	5 000	10 pC	—	—	Mono-lithique
ADSHC-85	4,5 μs (0.01%)	0,2 mV/ms	500	1 mV	25 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0,01 %	Hybride
SHA1144	6 μs (0.003%)	1 $\mu\text{V}/\mu\text{s}$	500	1 mV	30 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0,001 %	Modulaire
AD582	6 μs (0.1%)	100 pA	15000	5 pC	—	0,01 %	Mono-lithique

§ 1.3. Structuri de circuite de eșantionare și memorare

- Există mai multe structuri de CEM, care conduc la obținerea unor CEM fie rapide, fie precise, fie realizând un compromis între precizie și viteză.

□ Montajul în cascadă



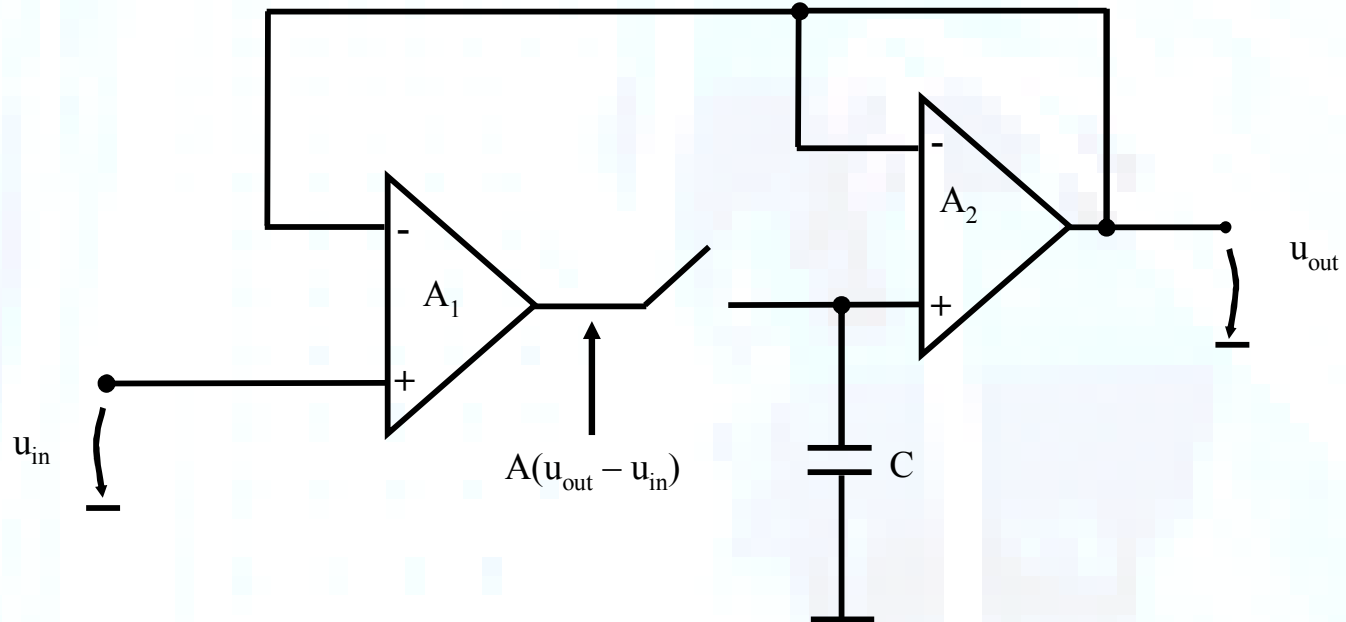
- Semnalele de intrare și de ieșire sunt izolate de ansamblu circuitului CEM prin intermediul a două repetoare realizate cu A.O.
- Timpul de achiziție este minimizat la valoarea $R_{ON}C$ deoarece rezistența sursei de intrare, care este egală cu rezistența de ieșire a primului repetor, este practic nulă.
- CEM realizat folosind montajul în cascadă este cel mai rapid, dar puțin precis deoarece erorile datorate imperfecțiunilor A.O. conectate în cascadă, în particular cele datorate tensiunilor de decalaj se adună.
- Capacitatea de memorare se determină în funcție de maximul ratei derivatei:

$$C = \frac{I_F}{\frac{du}{dt}},$$

unde I_F este curentul de fugă.

Exemplu: LH0043, $I_F = 10$ pA. Presupunând $du/dt = 5$ mV/s se obține $C = 2$ nF.

□ Montajul în buclă

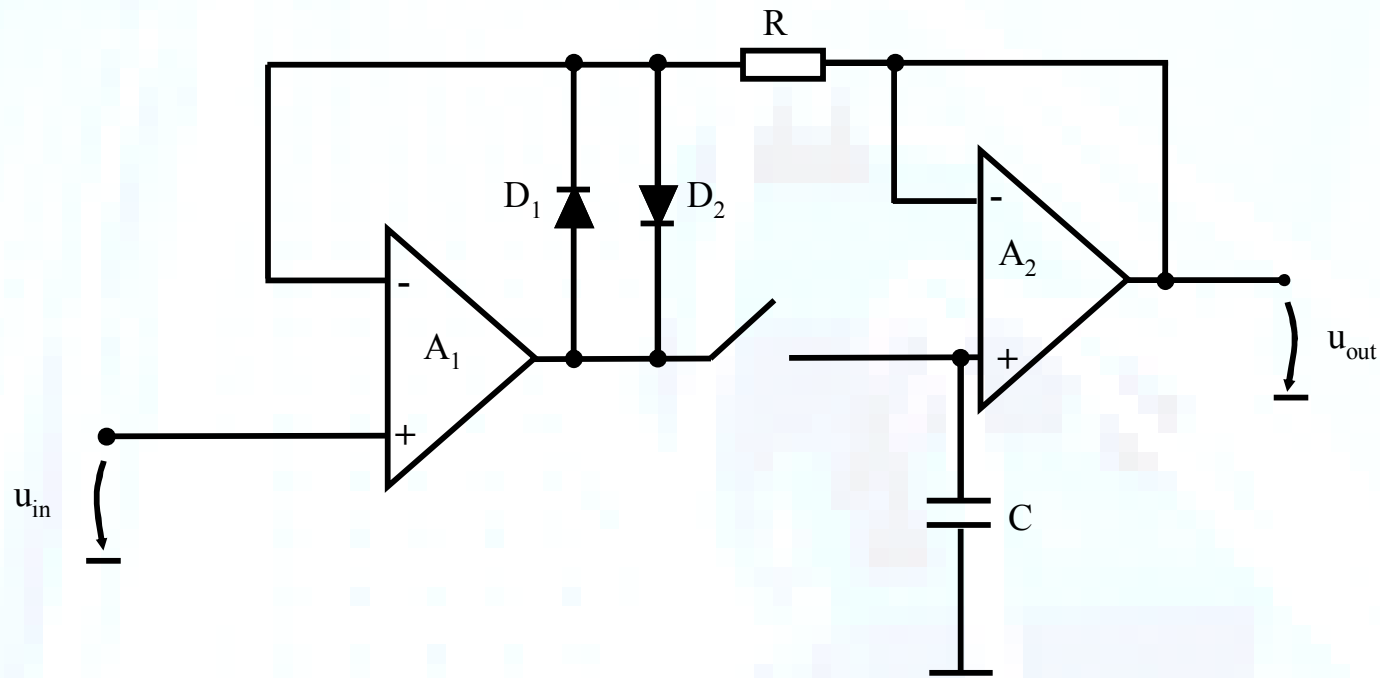


- Montajul în buclă permite eliminarea erorilor de mod comun și a erorilor de decalaj deoarece, în timpul eșantionării, ieșirea este forțată să urmărească intrarea.

$$A(u_{out} - u_{in}) = u_{out} \Rightarrow u_{out} = \frac{A}{A-1} u_{in} \cong u_{in}$$

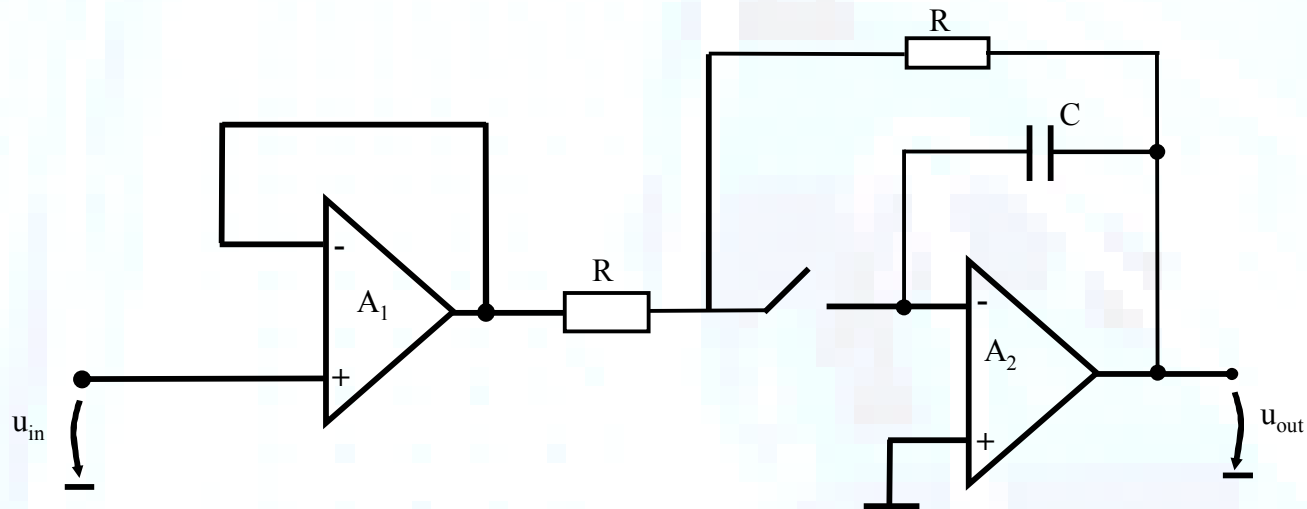
unde A este amplificarea amplificatorului A_1 .

- În schimb, precizia este obținută în detrimentul vitezei deoarece în modul memorare amplificatorul A_1 este, inevitabil, saturat, revenirea la funcționarea liniară în modul eșantionare conducând la creșterea timpului de achiziție, care poate atinge mai multe zeci de μs . O soluție pentru rezolvarea acestei probleme este utilizarea montajului următor.



- În modul eșantionare cele două diode sunt blocate, întregul montaj fiind un circuit de urmărire. În modul memorare bucla de reacție a primului amplificator este închisă prin intermediul unei diode aflate în stare de conducție, iar rezistența R suportă diferența de tensiune dintre intrare și ieșire.

□ Montajul cu circuit integrator



- Circuitul evită saturarea primului amplificator. Capacitatea C este izolată în raport cu masa. Comutatorul funcționează în comutare de curent. Ca urmare, comanda comutatorului este simplificată.

§ 2. Conversoare numeric-analogice

§ 2.1. Codificarea binară a numerelor

- Semnalul de intrare a unui convertor numeric-analogic (CNA) constă dintr-o secvență de variabile binare (biți) b_1, b_2, \dots, b_n , în care:

b_1 este bitul cel mai semnificativ (MSB – Most Significant Bit),

b_n este bitul cel mai puțin semnificativ (LSB – Least Significant Bit).

□ Coduri unipolare

- Valoarea zecimală a secvenței binare b_1, b_2, \dots, b_n corespunzătoare **codificării fracționale (CF)** este:

$$D_{CF} = \sum_{k=1}^n b_k 2^{-k}$$

Valoarea maximă pentru D_{CF} se obține când toți biții b_k ($k = 1, 2, \dots, n$) sunt egali cu 1 și este egală cu $1 - 2^{-n}$.

Valoarea minimă pentru D_{CF} se obține când toți biții b_k ($k = 1, 2, \dots, n$) sunt egali cu 0 și este egală cu 0.

- Valoarea zecimală a secvenței binare b_1, b_2, \dots, b_n corespunzătoare **codului binar natural (CBN)** este:

$$D_{CBN} = \sum_{k=1}^n b_k 2^{n-k}$$

Valoarea maximă pentru D_{CBN} se obține când toți biții b_k ($k = 1, 2, \dots, n$) sunt egali cu 1 și este egală cu $2^n - 1$.

Valoarea minimă pentru D_{CBN} se obține când toți biții b_k ($k = 1, 2, \dots, n$) sunt egali cu 0 și este egală cu 0.

- **Observație:** Codurile fracționar și binar natural sunt coduri unipolare, servind la reprezentarea semnalelor de o singură polaritate (semnale pozitive sau semnale negative).

- Valoarea zecimală a secvenței binare b_1, b_2, \dots, b_n corespunzătoare **codului binar deplasat (CBD)** este:

$$D_{CBD} = \sum_{k=1}^n b_k 2^{n-k} - 2^{n-1} = D_{CBN} - 2^{n-1}$$

Valoarea maximă pentru D_{CBD} se obține când toți biții b_k ($k = 1, 2, \dots, n$) sunt egali cu 1 și este egală cu $2^{n-1} - 1$.

Valoarea minimă pentru D_{CBD} se obține când toți biții b_k ($k = 1, 2, \dots, n$) sunt egali cu 0 și este egală cu -2^{n-1} .

- Valoarea zecimală a secvenței binare b_1, b_2, \dots, b_n corespunzătoare **codului complement a lui doi (CCD)** este:

$$\begin{aligned}
 D_{CCD} &= \sum_{k=2}^n b_k 2^{n-k} + \bar{b}_1 2^{n-1} - 2^{n-1} = \sum_{k=2}^n b_k 2^{n-k} + (1-b_1)2^{n-1} - 2^{n-1} \\
 &= \sum_{k=1}^n b_k 2^{n-k} - 2b_1 2^{n-1} = D_{CBN} - b_1 2^n
 \end{aligned}$$

Valoarea maximă pentru D_{CCD} se obține când $b_1 = 0, b_2 = b_3 = \dots b_n = 1$ și este egală cu $2^{n-1} - 1$.

Valoarea minimă pentru D_{CCD} se obține când $b_1 = 1, b_2 = b_3 = \dots b_n = 0$ și este egală cu -2^{n-1} .

- **Observație:** Codurile binar deplasat și complement a lui doi sunt coduri bipolare, servind la reprezentarea semnalelor bipolare (semnale cu două polarități).