

## Lucrarea 8



## APLICAȚII ALE A.O.

### 1. Convertoare tensiune-curent

Un circuit care primește drept mărime de intrare o tensiune (variabilă în timp), generând la ieșire un curent care depinde după o funcție dată de tensiunea de intrare se numește convertor tensiune-curent. De cele mai multe ori se dorește ca funcția să fie liniară și cu ordonata la origine nulă și de aceea de obicei prin convertor tensiune-curent se înțelege un convertor liniar. Deoarece valoarea curentului de ieșire depinde doar de mărimea tensiunii de intrare și nu de caracteristicile impedanței de sarcină, convertorul-tensiune curent poate fi privit ca un generator de curent comandat în tensiune, pentru o valoare dată a tensiunii de intrare obținându-se un generator de curent constant.

Trebuie înțeles că independența curentului de ieșire față de rezistența de sarcină se poate realiza doar pentru un anumit interval de valori, limitat superior de legea lui Ohm și de tensiunea de alimentare a convertorului.

Să presupunem că la ieșirea unui convertor tensiune-curent, care conform legii de variație ar trebui să genereze un curent de 1A, este conectată o rezistență de sarcină de 10k $\Omega$ . Ar rezulta o tensiune de 10kV, ceea ce este imposibil de obținut în condițiile unei alimentări obișnuite de 20... 30V. În situația de mai sus ieșirea convertorului se va satura printr-o rezistență de sarcină a cărei valoare depășește 20... 30  $\Omega$ . În continuare se va presupune că rezistența de sarcină este astfel aleasă încât să nu determine saturarea ieșirii convertorului, acesta lucrând în zona liniară a caracteristicii.

În funcție de sensul pe care îl poate avea curentul de ieșire prin rezistența de sarcină există convertoare care permit un singur sens al curentului și convertoare bidirectionale care pot determina atât curenți pozitivi cât și curenți negativi prin sarcină (se consideră un sens de referință).

Convertoarele tensiune-curent pot fi împărțite în funcție de modul de conectare a sarcinii în convertoare cu sarcină flotantă, dacă sarcina nu este legată la nici o bornă a sursei de alimentare, convertoare cu sarcină la plus, convertoare cu sarcină la minus și convertoare cu sarcină la masă (în cazul alimentării diferențiale), atunci când un terminal al impedanței de sarcină

este conectat la borna pozitivă, negativă respectiv la borna de masă a sursei de alimentare.

Cel mai simplu convertor bidirecțional, cu sarcina flotantă, se obține prin conectarea rezistenței de sarcină în bucla de reacție negativă a unui amplificator operațional. În funcție de impedanța de intrare dorită, amplificatorul operațional poate lucra în configurație inversoare dacă nu este necesară o impedanță de intrare deosebit de mare sau în configurație neinversoare, în cazul în care este necesară o impedanță de intrare de ordinul sutelor de  $k\Omega$  sau chiar mai mare.

În Fig. 1-a este prezentată varianta inversoare și în Fig. 1-b varianta neinversoare.

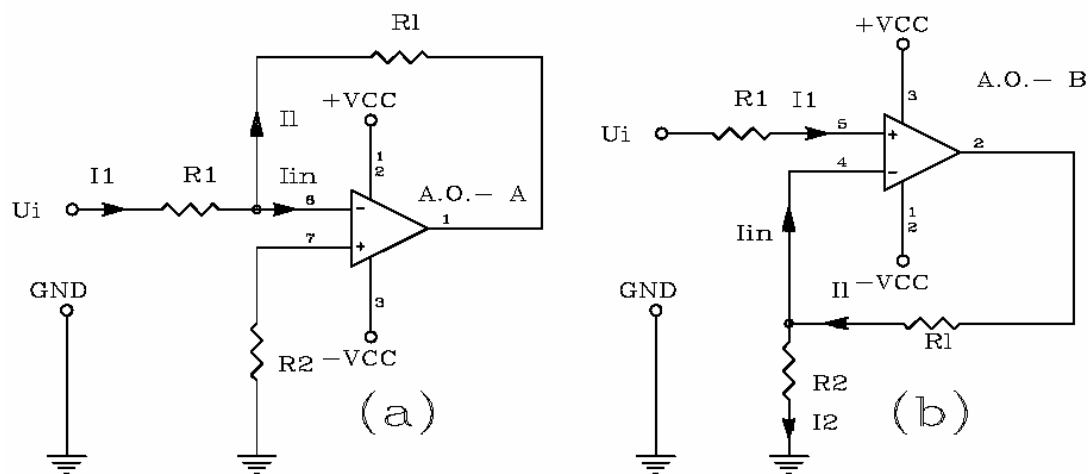


Fig. 1

Dacă se folosesc A.O. de calitate din categoria  $\beta M108$ , având curenți de intrare de ordinul a  $10nA$ , pentru curenți de ieșire mai mari de  $100nA$  putem considera  $I_{in}$  și  $I_{ip} \approx 0$  și rezultă relația liniară de funcționare:

$$1. \quad I_l = \frac{U_i}{R_1}, \text{ respectiv } I_l = \frac{U_i}{R_2} \text{ pentru montajul neinversor.}$$

Ca și în cazul generatoarelor de curent constant, parametrii definiției ai convertorului tensiune-curent sunt impedanța de ieșire și tensiunea echivalentă de ieșire (ideal infinite).

Calculul impedanței de ieșire se poate face, pentru varianta inversoare, cu ajutorul schemei din Fig. 2:

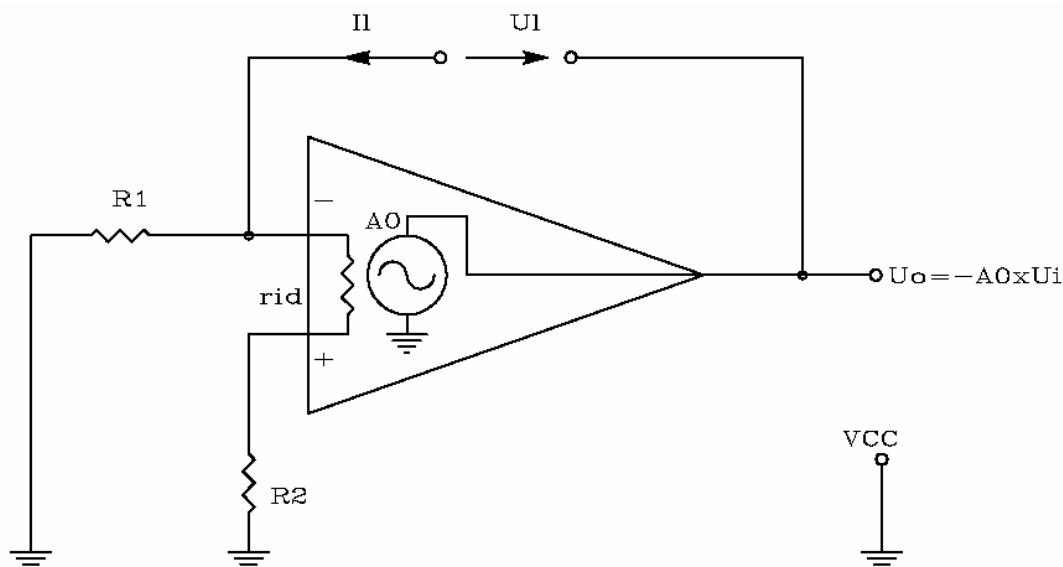


Fig. 2

$$2. \quad U_i = I_i \frac{R_1(r_{id} + R_2)}{R_1 + r_{id} + R_2}$$

Rezistență R2 poate fi neglijată în raport cu rezistență de intrare diferentia a A.O. și se obține:

3. , unde s-au folosit notațiile:  $Z_o = U_i$

$$I_i = \frac{(1 + A_0)R_1 \times r_{id}}{R_1 + r_{id}}$$

- amplificarea în bucla deschisă a A.O. folosit;  $A_0$

- rezistență de intrare diferentia;  $r_{id}$

- impedanța de ieșire.  $Z_o$

La frecvențe joase este îndeplinită condiția , impedanța de ieșire devine  $R_1 \ll r_{id}$  egală cu rezistență de ieșire și relația 2. se poate aproxima cu:

$$4. \quad Z_o = R_o = (1 + A_0)R_1$$

Tensiunea echivalentă de ieșire se calculează prin echivalarea Thévenin:

$$5. \quad U_{th} = I_o \times R_o = (1 + A_0)R_1 \times I_i$$

Un calcul estimativ ne arată că pentru o amplificare uzuală de 200.000 un curent de ieșire de 5mA și R1 de 1k se obține o rezistență de ieșire de aproximativ  $\Omega$  100M și o tensiune echivalentă în ieșire de 500kV.  $\Omega$

Schemele din Fig. 1 prezintă dezavantajul că nu pot genera curenti mai mari de 10... 30mA datorită limitărilor impuse de  $I_{oMAX}$  al A.O. folosite. De multe ori este necesară cuplarea rezistenței de sarcină la una din bornele sursei de alimentare. În Fig. 3, a și b sunt prezentate două scheme de conversoare tensiune-curent, capabile să debiteze pe rezistență de sarcină

curenti de ordinul sutelor de mA, cu rezistență de sarcina conectata la +Vcc, respectiv la -Vcc.

## 2. Modul de funcționare

Pentru schema (a), daca vom considera jonctiunea B-E a tranzistorului T1 o dioda, observam ca, exceptând circuitul de colector al tranzistorului T1, schema este identica cu schema redresorului de precizie monoalternanta, rezistorul R2 având rolul de sarcina. Tranzistorul T1 amplifica în emitor curentul de ieșire al A.O. si ca urmare la bornele lui R1 se va regasi tensiunea de intrare, cu o capacitate de curent de +1 ori mai mare. Deci curentul prin rezistorul R1 este direct proportional cu  $\beta$  tensiunea de intrare.

Curentul prin rezistorul real de sarcina este curentul de colector al lui T1 si daca se neglijeaza curentul de baza se poate considera ca fiind proportional cu tensiunea de intrare. se pot scrie relatiile:

$$1. U_i = I_E \times R_1$$

$$2. I_C = \beta I_E$$

$$\beta + 1 = U_i$$

$$R_1$$

$$\left( \right.$$

$$\beta$$

$$\beta + 1$$

$$\left. \right)$$

$$\left. \right)$$

Se poate observa ca raportul introduce un factor de eroare invers  $\beta$   $\beta + 1$  proportional cu . Pentru un factor de amplificare de 100 eroarea este de 0,99%.  $\beta$

În schema (b) se utilizeaza doua tranzistoare în conexiune Darlington pentru a se obține o amplificare în curent mai mare si deci o eroare mai mica. Se pot scrie ecuatiile:

$$3. ; I_{ET3} = U_i$$

$$R_4 = I_{BT2}(\beta_2 + 1)(\beta_3 + 1)$$

$$4. ; I_{BT2} = U_i$$

$$R_4(\beta_2 + 1)(\beta_3 + 1)$$

$$5. ; I_{CT2} = \beta_2 \times I_{BT2} = U_i \times \beta_2$$

$$R_4(\beta_2 + 1)(\beta_3 + 1)$$

$$6. ; I_{CT3} = \beta_3 \times (\beta_2 + 1) \times I_{BT2} = U_i \times \beta_3(\beta_2 + 1)$$

$$R_4(\beta_2 + 1)(\beta_3 + 1)$$

Curentul care trece prin rezistență de sarcina va fi:

$$7. ; I_I = I_{CT2} + I_{CT3} = U_i$$

$$R_4$$

$$\frac{\beta_2 + \beta_3(\beta_2 + 1)}{(\beta_2 + 1)(\beta_3 + 1)}$$

Pentru , paranteza dreapta (factorul de eroare) are valoarea  $\beta_2 = \beta_3 = 1000,9999$  sau procentual introduce o eroare de 0.0098%.

Rezistență R5 asigura eliminarea sarcinii stocate în baza lui T3, îmbunatatind raspunsul în frecventa al convertorului.

Diodele D1 respectiv D2 lucreaza atunci când tensiunea de intrare este de polaritate opusa celei normale de funcționare si au un dublu rol:

a. asigura o cale de reactie pentru A.O. împiedicând saturarea acestuia si deci

îmbunatatind raspunsul în frecventa si

b. protejaza jonctiunile B-E împotriva distrugerii prin strapungere la tensiune inversa.

În Fig. 4 este prezentat un convertor curent-tensiune cu capabilitate marita de curent, la care sarcina se conecteaza flotant. Daca se doreste o precizie mai buna de 1% pentru acest convertor tranzistoarele de ieșire se vor înlocui cu perechi Darlington ca în exemplul anterior.

Pentru tensiune pozitiva de intrare lucreaza T4, T5 fiind blocat iar pentru tensiune negativa de intrare lucreaza T5, T4 fiind blocat.

### 3. Circuite de esantionare-memorare

În prelucrarea analogica a semnalelor, de multe ori apare problema transformarii unui semnal variabil în timp într-un semnal constant pe intervale de timp. Ciriutele care îndeplinesc aceasta funcție se numesc de esantoinare-memorare si pot fi gasite în literatura de specialitate sub denumirea abreviata de circiute S/H sau S&H, de la initialele cuvintelor **S**ample and **H**old. Un caz de utilizare al acestor circiute este cel al conversiei analog-digitale, când modificarea valorii semnalului pe perioada conversiei poate genera erori mai mari decât cele introduse de circuitele de esantionare-memorare.

În fapt, un circuit de esantionare-memorare contine minim doua blocuri componente, un comutator analogic si un circiut de memorie analogica.

Pentru ca circuitul sa funcționeze este necesar sa i se aplice un semnal de comanda care determina intervalele de esantionare si intrevalele de memorare.

Pe durata intervalelor de esantionare se reactualizeaza tensiunea de ieșire la valoarea curenta a tensiunii de intrare. În intervalele de memorare

tensiunea de ieșire rămâne neschimbată (ideal), la valoarea tensiunii de intrare de la sfârșitul intervalului de esantionare.

În Fig. 5 este prezentată grafic funcționarea unui astfel de circuit.

**U<sub>i</sub> & U<sub>o</sub>**

**t**

**t**

Semnal de intrare

Semnal de ieșire

**U<sub>cd</sub>** Intervale de  
memorare

Intervale de

esantionare

Semnal constant

pe intervalul de

memorare

Semnal variabil

pe intervalul de

esantionare

**Fig. 5**

Din punctul de vedere al schemelor electronice, pentru comutatorul electronic de regulă se utilizează tranzistoare unipolare, *j* sau M.O.S-FET, folosind variația rezistenței canalului drena-sursă, comandate aplicată în grila.

Pentru memorare se folosesc condensatoare de bună calitate asociate cu buffere adaptoare de impedanță, la ieșire. În cazul folosirii de tranzistoare (bipolare sau FET-uri) pentru etajul buffer, trebuie rezolvată problema compensării tensiunilor B-E sau G-S, cu care acestea alterează tensiunea memorată de condensator. Această problemă este înlăturată în cazul utilizării unui amplificator operațional în structura repetor neinvertor. Această configurație asigură impedanța de intrare foarte mare, necesară pentru a se evita descărcarea condensatorului pe intrarea bufferului. La o analiză mai atentă se constată că cerințele impuse A.O. folosit ca repetor sunt contradictorii:

a. este necesar un A.O. cu impedanță mare de intrare și curenți de polarizare a intrărilor deosebit de scăzuți, dar aceste A.O. sunt lente;

b. este necesar un A.O. rapid pentru a micșora timpul de egalare pe intervalul de esantionare și a permite lucrul într-o gamă de frecvențe cât mai mare.

Și în acest caz soluția va fi dedusă cu ajutorul principiului dezavantajului cel mai puțin deranjant pentru aplicația concretă și cu prețul unor compromisuri acceptabile.

Datorita faptului ca atât circuitul de esantionare cât și cel de memorare pot introduce decalaje de tensiune o soluție des utilizată în circuitele S&H de precizie este includerea atât a circuitului de esantionare cât și a bufferului de ieșire în bucla de reacție a unui amplificator operational de precizie. Deoarece pentru etajul de intrare nu este necesară o impedanță de intrare deosebit de mare, aici se vor folosi amplificatoare rapide. O asemenea structură de schema este prezentată în Fig. 6.

### **Funcționarea schemei**

Semnalul de intrare este aplicat prin rezistorul R7 pe intrarea neînversoare a lui A.O.4 care cuprinde în bucla sa de reacție tot circuitul de esantionare memorare.

A.O.4, în configurație repetor neînversor, contribuie la micșorarea erorilor și are rol de adaptor de impedanță, asigurând o impedanță mare de intrare și impedanță mică de ieșire necesară în circuitul de încărcare al lui C3. Reacția se închide prin R11, de aceeași valoare cu R7, pentru minimizarea derivatei termice.

Circuitul de esantionare propriu-zis este format din T6, R12, C1 și D3.

R12 asigură eliminarea sarcinii stocate și saturarea lui T6, atunci când ieșirea lui A.O.5 are valori pozitive și dioda D3 este blocată.

Dioda D3 are rol de protecție a jonctiunii P-S a lui T3 pentru tensiuni pozitive.

Condensatorul C1 are rol de condensator de accelerare, participând la eliminarea sarcinii stocate. Tensiunea de comandă se aplică pe intrarea neînversoare a lui A.O.5, care are rol de comparator neînversor. Tensiunea de intrare este comparată cu tensiunea de referință obținută din punctul median al divizorului de tensiune realizat cu R9 și R10.

Această tensiune trebuie să fie egală cu tensiunea minimă garantată pentru nivel logic "1", de familia logică utilizată pentru generarea semnalului de comandă. Putem spune deci că A.O.5 împreună cu R8, R9 și R10 formează un adaptor de nivel, realizând compatibilizarea semnalului de comandă, de obicei unipolar, cu necesitatea de comandă bipolară a J-FET-ului.

Pentru semnal de comandă mai mare decât tensiunea de referință ieșirea etajului comparator va fi saturată aproape de  $+V_{cc}$  și ca urmare T5 va fi și el saturat, D3 blocat protejând jonctiunea FET-ului. În acest interval se produce esantionarea semnalului de intrare, tensiunea din ieșirea lui A.O.4 încărcând condensatorul C2 care îndeplinește rolul de memorie analogică.

Pentru tensiune de comandă mai mică decât tensiunea de referință, ieșirea etajului comparator este saturată aproape de  $-V_{cc}$ , D3 este deschisă și

T3, cu  $U_{GS}$  negativa, este blocat. În acest interval tensiunea de la bornele lui C2 rămâne practic neschimbata, montajul îndeplinind funcția de memorare.

Pastrarea sarcinii electrice în C2 se datoreaza impedantelor mari care sunt cuplate pe durata intervalului de memorare la acesta (T6 - blocat si Intrarea neinversoare a lui A.O.6)

A.O.6 lucreaza ca adaptor de impedanta, în configuratie repetor neinversor, asigurând impedanta foarte mare necesara pentru "citirea" tensiunii de la bornele lui C2 si impedanta mica necesara la ieșirea  $U_o$ . Reactia negativa a lui A.O.6 este realizata prin R14, de aceeasi valoare ca si R13, din considerente de stabilitate termica.

#### 4. Modul de lucru

1. Se identifica pe placa de circuit imprimat montajele din Fig. 3-a Fig. 3-b si Fig. 4. Se noteaza pe schema valorile componentelor folosite.

2. Se conecteaza o cutie decadica de rezistente, reglata pe 50  $\Omega$ , în serie cu un  $\Omega$  ampermetru la ieșirea nontajului din Fig. 3-a. Se aplica la intrare o tensiune continua reglabila în intervalul 0...10V si se traseaza graficul  $I_o=f(U_i)$ , din 0,5 în 0,5 V.

3. Pentru tensiune de intrare  $U_i=5V$  se ridica graficul  $I_o=f(R_l)$ , modificand valoarea rezistentei de sarcina în intervalul 0... 500  $\Omega$ . Se vor identifica pe  $\Omega$  grafic intervalul de funcționare liniara si intervalul în care ieșirea este saturata.

4. Se conecteaza o cutie decadica de rezistente, reglata pe 50  $\Omega$ , în serie cu un  $\Omega$  ampermetru la ieșirea nontajului din Fig. 3-b. Se aplica la intrare o tensiune continua reglabila în intervalul 0...-10V si se traseaza graficul  $I_o=f(U_i)$ , din 0,5 în 0,5 V.

5. Pentru tensiune de intrare  $U_i= -5V$  se ridica graficul  $I_o=f(R_l)$ , modificand valoarea rezistentei de sarcina în intervalul 0... 500  $\Omega$ . Se vor identifica pe  $\Omega$  grafic intervalul de funcționare liniara si intervalul în care ieșirea este saturata.

6. Se conecteaza o cutie decadica de rezistente, reglata pe 50  $\Omega$ , în serie cu un  $\Omega$  ampermetru la ieșirea nontajului din Fig. 4. Se aplica la intrare o tensiune continua reglabila în intervalul -10... +10V si se traseaza graficul  $I_o=f(U_i)$ , din 0,5 în 0,5 V. Daca se foloseste un ampermetru analogic se va avea grija la polaritatea ampermetrului deoarece la schimbarea polaritatii tensiunii de comanda se va inversa sensul curentului prin rezistență de sarcina!

7. Pentru tensiune de intrare  $U_i= -5V$  se ridica graficul  $I_o=f(R_l)$ , modificand valoarea rezistentei de sarcina în intervalul 0... 500  $\Omega$ . Se vor



identifica pe  $\Omega$  grafic intervalul de funcționare liniara si intervalul în care ieșirea este saturata.

8. Se repeta punctul 7. pentru  $U_i = +7V$  si se analizeaza diferentele rezultate. Care este explicatia?

9. Se identifica pe placa de circuit imprimat montajul din Fig. 6. Se noteaza pe schema valorile componentelor folosite.

10. Se alimenteaza montajul si se aplica la intrarea  $U_i$  un semnal sinusoidal de 300Hz cu amplitudinea de max 10V<sub>vv</sub> si pe intrarea de comanda un semnal dreptunghiular, cu frecventa de 600Hz si amplitudinea mai mare de 2V<sub>vv</sub>.

11. Se vizualizeaza cu ajutorul unui osciloscop cu doua spoturi semnalul aplicat la intrarea  $U_i$  si semnalul de la ieșirea  $U_o$ , cu sincronizare pe  $U_o$  si se deseneaza oscilogramele obținute. Baza de timp a osciloscopului va fi reglata în asa fel încât sa fie vizibile pe ecranul osciloscopului 2... 3 perioade ale semnalului de intrare.

12. Se comuta intrarea osciloscopului de la intrarea  $U_i$  pe ieșirea lui A.O.5 si folosind drept referinta ieșirea  $U_o$  se observa semnalele de comanda. Se deseneaza semnalul din ieșirea lui A.O.5 pe acelasi grafic cu  $U_o$  si  $U_i$ , ca în Fig. 5. Identificati intervalele de esantionare si cele de memorare.

13. Se modifica atât frecventa semnalului de intrare cât si frecventa semnalului de comanda si se analizeaza rezultatul obținut. În ce domeniu de frecvente pentru semnalul de intrare lucreaza corect schema? Dar pentru semnalul de comanda?

14. Explicati forma semnalului de ieșire atunci când una dintre frecvente este multiplul celeilalte.