

Lucrarea nr. 4 (laborator Electronică Analogică pt. II ET, ENG)

### CIRCUITUL INVERSOR realizat cu amplificator operațional

(Prelucrată după „Lucr. nr. 6” din îndrumarul de laborator pt. Circuite Integrate analogice, autor: Pană Ghe.)

**1. Scopul lucrării.** Se studiază **circuitul inversor** și **repetorul inversor**, determinându-se:

- tensiunea de offset la ieșire;
- amplificarea în tensiune;
- rezistența de intrare;
- rezistența de ieșire.

#### 2. Considerații teoretice

- **schema de principiu:** amplificatorul inversor - fig. 1, a iar repetorul inversor - fig. 1, b.
- **alimentarea AO și a circuitului:** sursă dublă, valorile uzuale fiind de +15V și -15V (fig. 1, c).

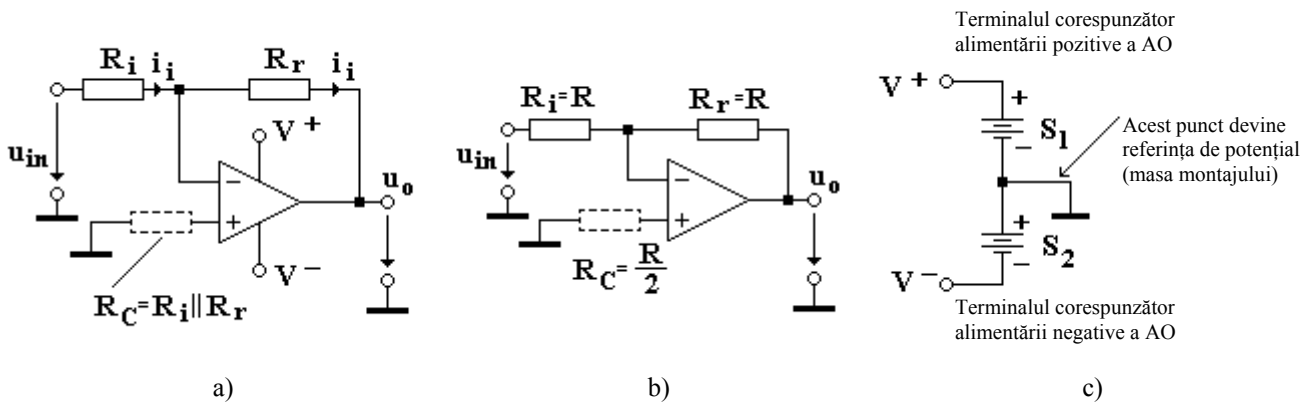


Fig. 1. Circuitul inversor. (a) schema amplificatorului inversor. (b) schema repetorului inversor. (c) alimentarea circuitului.

- **rolul rezistenței  $R_c$ :** de compensare a efectului curenților (c.c.) de polarizare a intrărilor AO.
- **valoarea rezistenței  $R_c$ :**  $R_c = R_r \parallel R_i$
- **tensiunile de saturație:**  
 $+U_{sat} \approx +E_C - 2V$ ;  $-U_{sat} \approx -E_C + 2V$ .
- **modelul de circuit:** fig. 2, unde
  - $r_d$  - rezistența de intrare diferențială a AO;
  - $r_o$  - rezistența de ieșire a AO;
  - $au_d$  - sursă echivalentă de tensiune comandată în tensiune.
- **conceptul de AO ideal și consecințele acestui concept** se prezintă în tabelul 1:

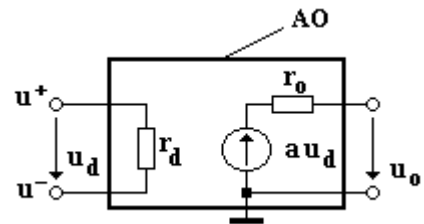


Fig. 2. Modelul AO.

Tabelul 1

Conceptul de AO ideal	Consecințele conceptului de AO ideal
$r_d \rightarrow \infty$	Curenții de intrare de semnal variabil sunt egali cu zero
$r_o = 0$	Tensiunea de ieșire nu se modifică la conectarea sarcinii față de situația fără sarcină
$a \rightarrow \infty$	Tensiunea diferențială de intrare este egală cu zero

- **tensiunea de decalaj (offset) de la ieșire** este o eroare de c.c. și se determină:

- analitic: dacă  $R_C = R_r \parallel R_i \Rightarrow U_{od} = (1 + \frac{R_r}{R_i})(U_{IO} + R_C I_{IO})$
- practic, pentru configurația aflată în studiu, se leagă intrarea (intrările) la masă și se măsoară cu un voltmetru electronic, conectat pe tensiune continuă, valoarea tensiunii de ieșire.

• **Amplificarea în tensiune** este:

- pentru **AO ideal**:

$$A_{id}^i = -\frac{R_r}{R_i} \quad (1)$$

- pentru **AO real**, considerând doar efectul valorii finite a amplificării în buclă deschisă:

$$A_{re}^i = \frac{A_{id}^i}{1 + \frac{1}{ab}} \quad (2)$$

unde **b** reprezintă factorul de reacție:

$$b = \frac{R_i}{R_i + R_r} \quad (3)$$

• **Rezistența de intrare**:

$$R_{in} = R_i + \frac{R_r}{1 + a} \quad (4)$$

• **Rezistența de ieșire**:

$$R_{ies} = \frac{r_o}{1 + ab} \quad (5)$$

**3. Aparate necesare**

- Sursă dublă de tensiune,  $\pm 15V$ ;
- Generator de semnal sinusoidal;
- Osciloscop cu două canale;
- Multimetru electronic;
- Modulul de laborator;
- Scurtcircuitoare.

**4. Desfășurarea lucrării**

Se realizează circuitul inversor din fig. 3. Determinările se fac pentru două valori ale amplificării în buclă închisă:  $A_1 = -10$  și  $A_2 = -100$ . Se desenează cele două circuite corespunzătoare celor două amplificări, notându-se valorile de rezistențe utilizate.

**4.1 Compensarea tensiunii de offset (de decalaj)**

- Fără să fie conectate potențiometrele  $P_1$  și  $P_2$ , pentru circuitele corespunzătoare la cele două amplificări în buclă închisă, cu  $u_{in} = 0$  ( $R_i$  legat la masă), se măsoară tensiunea de decalaj la ieșire  $U_{OD}$  în două situații:  $R_C = 0$  și  $R_C = R_i \parallel R_r$ . Valorile măsurate se trec în **tabelul 2**.
- Metoda I de compensare constă în utilizarea bornelor de echilibrare (nul) ale AO. Circuitul  $\beta A741$  este prevăzut cu două borne de echilibrare (pinii 3 și 9 la capsula DIL 14) între care, conform datelor de catalog, se conectează un potențiomtru de  $10k\Omega$ , cursorul acestuia legându-se la  $-E_C$ .
  - Pentru  $R_C = 0$ , cele două amplificări și  $u_{in} = 0$ , se conectează cursorul potențiometrului  $P_1$  la  $-E_C$  și se încearcă aducerea tensiunii de ieșire la zero.

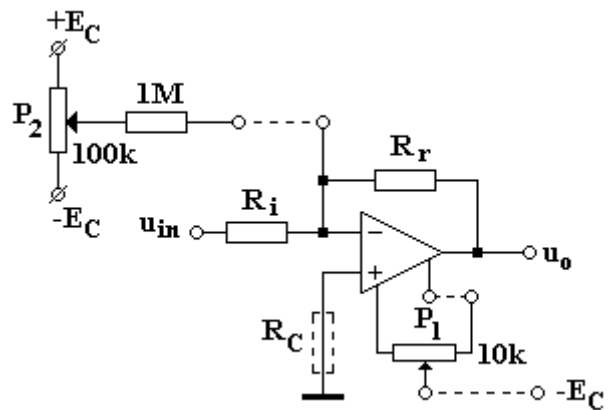


Fig. 3. Montajul practic al circuitului inversor ( $R_C$  se poate considera = 0).

- Se va nota pentru care din cele două amplificări în buclă închisă anularea tensiunii de decalaj de la ieșire se face mai ușor.

**Tabelul 2**

Amplificarea	U <sub>OD</sub> [V]		+E <sub>C</sub> [V]	-E <sub>C</sub> [V]	+U <sub>sat</sub> [V]	-U <sub>sat</sub> [V]
	R <sub>C</sub> =0	R <sub>C</sub> =R <sub>i</sub>   R <sub>r</sub>				
A <sub>1</sub> =-10						
A <sub>2</sub> =-100						

#### 4.2 Determinarea tensiunilor de alimentare și de saturație

- tensiunile de alimentare:
  - se măsoară tensiunile de alimentare în bornele +E<sub>C</sub> și -E<sub>C</sub> iar valorile se trec în **tabelul 2**.
- tensiunile de saturație:
  - se desface legătura de pe bucla de reacție a AO;
  - se leagă intrarea neversoare la masă;
  - la intrarea inversoare se aplică, printr-o rezistență, tensiunea continuă U<sub>2</sub> (de pe modul);
  - se măsoară tensiunea de ieșire iar rezultatul se trece în **tabelul 2**;
  - se leagă apoi intrarea inversoare la masă printr-o rezistență;
  - la intrarea neversoare se aplică, printr-o rezistență, tensiunea continuă U<sub>2</sub> (de pe modul);
  - se măsoară tensiunea de ieșire iar rezultatul se trece în **tabelul 2**;

#### 4.3 Determinarea amplificării în tensiune

Pentru circuitul corespunzător amplificării A<sub>1</sub>=-10 și R<sub>C</sub>=0, se determină amplificarea în modul și fază:

- se aleg rezistoarele necesare amplificării A<sub>1</sub> și se măsoară valoarea lor reală;
- se aplică la intrare mai întâi un semnal sinusoidal cu frecvența de 100 Hz și apoi un altul cu frecvența de 50 kHz și amplitudine adecvată pentru evitarea limitării semnalului de ieșire;
- se vizualizează cu ajutorul osciloscopului formele de undă pentru u<sub>in</sub>(t) și u<sub>o</sub>(t), notându-se defazajul dintre ele;
- se desenează, una sub alta, formele de undă vizualizate (ATENȚIE la axele de coordonate !);
- cu valorile măsurate ale rezistențelor R<sub>i</sub> și R<sub>r</sub>, AO presupunându-se ideal, se determină amplificarea în buclă închisă a circuitului inversor, A<sub>id</sub><sup>i</sup> - relația (1):
- se măsoară valorile efective ale tensiunilor de intrare și de ieșire, U<sub>in</sub> respectiv U<sub>o</sub> și se determină valoarea reală a amplificării în buclă închisă, A<sub>re</sub><sup>i</sup>:

$$A_{re}^i = \frac{U_o}{U_{in}} \quad (8)$$

- se compară amplificările în modul date de relațiile (1) și (8) și se determină eroarea relativă a amplificării datorată amplificării finite în buclă deschisă:

$$\epsilon_A = \frac{A_{re}^i - A_{id}^i}{A_{id}^i} \cdot 100 [\%] \quad (9)$$

- măsurătorile și rezultatele calculelor se trec în **tabelul 3**.

**Tabelul 3**

Frecvența de lucru	R <sub>i</sub> [kΩ]	R <sub>r</sub> [kΩ]	A <sub>id</sub> <sup>i</sup> (rel. 1)	U <sub>o</sub> [V]	U <sub>in</sub> [V]	A <sub>re</sub> <sup>i</sup> (rel. 8)	ε <sub>A</sub> [%] (rel. 9)
100 Hz							
50 kHz							

#### 4.4 Determinarea rezistenței de intrare a amplificatorului inversor, R<sub>in</sub>

Rezistența de intrare a configurației inversoare,  $R_{in}$ , se determină pentru circuitul corespunzător amplificării  $A=-10$ .

- se aplică la intrare un semnal sinusoidal cu frecvența de 100 Hz de la ieșirea de  $600\Omega$  a generatorului. Semnalul de intrare va avea amplitudinea adecvată obținerii unui semnal de ieșire fără limitări ( $U_{in} \leq 50mV$ ).
- se măsoară valoarea efectivă a tensiunii de la ieșirea generatorului, neconectat la circuit,  $U_{in, gol}$ ;
- după cuplarea generatorului la montaj, se măsoară valoarea efectivă a tensiunii de la borna de intrare a circuitului,  $U_{in}$ ;
- rezistența de intrare  $R_{in}$  se calculează cu relația

$$R_{in} = \frac{U_{in}}{U_{in, gol} - U_{in}} R_G \quad (10)$$

unde  $R_G$  este rezistența internă a generatorului de semnal ( $R_G=600\Omega$ ).

- măsurătorile și rezultatele calculelor se trec în **tabelul 4**.

#### 4.5 Determinarea rezistenței de ieșire $R_{ies}$

Rezistența de ieșire a configurației inversoare se determină pentru circuitul care are  $A=-10$ ;

- se conectează la ieșire o rezistență de sarcină  $R_L=56\Omega$ ;
- se aplică la intrare un semnal sinusoidal cu frecvența de 50kHz;
- se reglează amplitudinea semnalului de intrare astfel ca cel de ieșire să nu fie limitat și se măsoară tensiunea de ieșire  $U_{o1}$ ;
- fără a modifica amplitudinea tensiunii de intrare, se deconectează  $R_L$  și se măsoară noua valoare a tensiunii de ieșire  $U_{o2}$ ;
- rezistența de ieșire a circuitului inversor se calculează cu relația:

$$R_{ies} = \frac{U_{o2} - U_{o1}}{U_{o1}} \cdot R_L \quad (11)$$

- măsurătorile și rezultatele calculelor se trec în **tabelul 4**.

**Tabelul 4**

Frecvența de lucru	$U_{in, gol}$ [mV]	$U_{in}$ [mV]	$R_{in}$ (rel.10)	$U_{o1}$ [V]	$U_{o2}$ [V]	$R_{ies}$ [ $\Omega$ ] (rel.11)
100 Hz						
50 kHz						

#### 4.7 Studiul circuitului repetor inversor

- se realizează repetorul inversor, conectând în circuitul din fig. 3  $R_i=R_f=1k\Omega$ ;
- se desenează circuitul obținut și se trec valorile măsurate ale rezistoarelor;
- se aplică la intrare un semnal sinusoidal cu frecvența de 1 kHz;
- se determină amplificarea de tensiune în modul și fază;
- se desenează formele de undă vizualizate.