

LUCRAREA NR. 3

AMPLIFICATOARE OPERAȚIONALE. CONFIGURAȚII DE BAZĂ.

1. Scopul lucrării

În această lucrare se studiază funcționarea amplificatorului operațional în configurațiile de bază. Se determină prin rezultate experimentale o serie de parametri ai amplificatorului operațional.

2. Introducere

Amplificatorul operațional (AO) este un circuit integrat analogic ce face parte din categoria circuitelor liniare. Acest lucru înseamnă că prezintă relații liniare între mărimile de intrare și cele de ieșire în domeniul de funcționare normală.

AO este un amplificator de curent continuu ce are amplificarea în buclă deschisă (notată în lucrare cu a) foarte mare. AO sunt incluse în montaje ce asigură o reacție negativă. Astfel, amplificarea montajului (configurației) va depinde de rețeaua de reacție.

Simbolul grafic utilizat pentru AO este prezentat în Fig. 1.

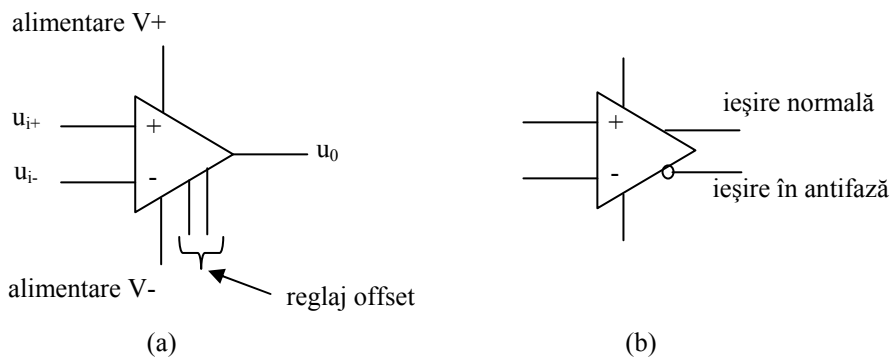


Fig. 1. Simboluri utilizate pentru AO.

AO are două intrări, una neinversoare notată cu + și una inversoare notată cu -. În general AO are o ieșire (v. Fig. 1 a). Există și AO cu două ieșiri, în care una dintre ele este ieșirea normală și cea de-a doua este ieșirea în antifază (ieșire reprezentată cu un cerculeț – simbolul inversorului – v. Fig. 1 b).

În general AO se alimentează de la o sursă diferențială de tensiune (simetrică) și nu au punct de masă propriu. Punctul de masă (nul) se consideră punctul de înseriere a surselor de alimentare (ce formează sursa diferențială).

Unele AO au terminale suplimentare utilizate pentru reglajul componentei continue a ieșirii (offset) și/sau pentru compensare (v. Fig. 1).

În curent continuu și în curent alternativ la frecvențe joase este valabilă relația:

$$u_0 = a(u_{i+} - u_{i-}) = au_{id}, \quad (1)$$

unde cu u_{id} a fost notată tensiunea diferențială de intrare.

AO ideal are următoarele proprietăți:

- impedanțe de intrare infinite;
- impedanță de ieșire nulă;
- curent de intrare (polarizare) nul;
- decalaje și derivate nule;
- amplificarea a în buclă deschisă este infinită;
- factor de rejecție a semnalului de mod comun (CMRR) infinit;
- factor de rejecție a variației tensiunilor de alimentare (SVRR) infinit;
- bandă de frecvențe foarte largă;
- caracteristică ideală de transfer în domeniul liniar de funcționare.

Pe baza caracteristicilor AO ideal rezultă două consecințe foarte importante folosite în calculele circuitelor cu AO:

(c1) curenții de intrare ai AO se consideră nuli;

(c2) diferența de potențial dintre intrările AO se consideră nulă.

AO se utilizează împreună cu o reacție negativă (o parte din semnalul de la ieșire se aduce la intrarea inversoare). Astfel, amplificarea montajului (configurației) depinde de reacția negativă:

$$A = \frac{a}{1 + aF}, \quad (2)$$

unde: A – amplificarea montajului, a – amplificarea AO în buclă deschisă (fără reacție negativă), F – amplificarea rețelei (divizorului) de reacție. F se numește factor de reacție.

Deoarece a este foarte mare (de obicei în domeniul $10^5 - 10^6$), avem $aF \gg 1$. Astfel, rezultă că amplificarea montajului este practic egală cu:

$$A = \frac{1}{F}. \quad (3)$$

În Fig. 2 se prezintă schema de modelare a unui AO.

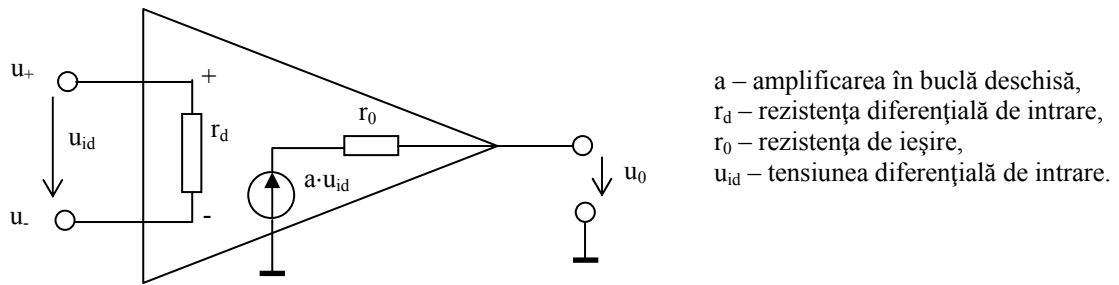


Fig. 2. Schema de modelare a unui AO.

3. Configurații de bază

3.1. Amplificator neinvertor cu AO

Schema de conectare a unui AO în configurație de amplificator neinvertor este prezentată în figura de mai jos.

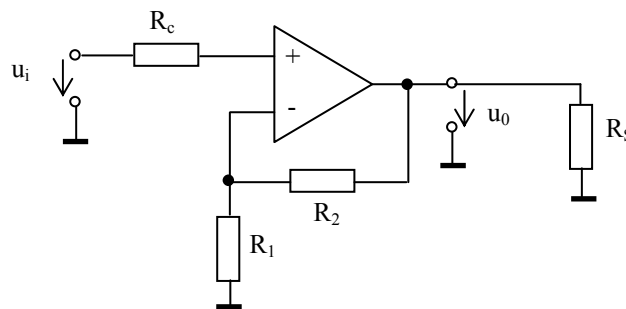


Fig. 3. AO în configurație de amplificator neinvertor.

Rezistențele R_1 și R_2 realizează reacția negativă. Rezistența R_c are scopul de compensare a efectului curenților de polarizare a intrărilor AO. Ea trebuie să aibă valoarea $R_c = R_1 \parallel R_2$. R_s este rezistența de sarcină.

Amplificarea în tensiune în buclă închisă este dată de raportul dintre tensiunile u_0 și u_i :

$$A_{neinv} = \frac{u_0}{u_i}. \quad (4)$$

În continuare vom stabili amplificarea A atât în cazul unui AO ideal, cât și în cazul unui AO real.

- *AO ideal*

Conform consecinței (c1) la intrarea + avem potențialul u_i . Conform consecinței (c2) la intrarea - avem tot potențialul u_i . Ca urmare, se obține schema din Fig. 4.

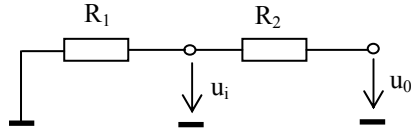


Fig. 4. Divizor rezistiv format din rezistențele R_1 și R_2 .

Conform schemei de mai sus rezultă:

$$\frac{u_0}{u_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}. \quad (5)$$

Prin urmare, amplificarea în buclă închisă este:

$$A_{neinv} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{F}, \quad (6)$$

unde $F = R_1 / (R_1 + R_2)$ este factorul de reacție.

- *AO real*

În acest caz, relația aproximativă a amplificării în buclă închisă este:

$$A_{neinv} \cong \frac{1}{F + \frac{1}{a}}. \quad (7)$$

Observație: Din relația (6) se poate observa că nu putem avea amplificări subunitare (atenuare). La limită, când $R_2 = 0$ sau $R_1 = \infty$, rezultă $A_{neinv} = 1$. În această situație AO se află în configurație de repetor neinversor.

3.2. Amplificator inversor cu AO

Schema de conectare a unui AO în configurație de amplificator inversor este prezentată în figura următoare.

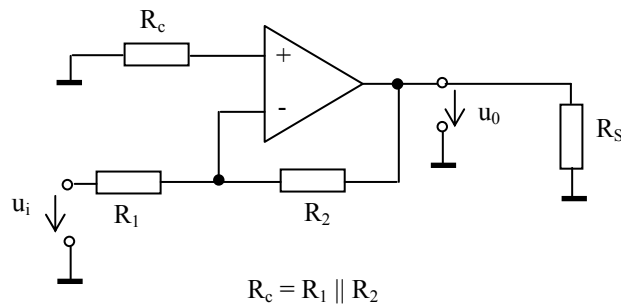


Fig. 5. AO în configurație de amplificator inversor.

Amplificarea în tensiune în buclă închisă este dată de raportul dintre u_0 și u_i :

$$A_{inv} = \frac{u_0}{u_i}. \quad (8)$$

În continuare vom stabili amplificarea A_{inv} în cazul în care AO este ideal, precum și în cazul în care AO este real.

- *AO ideal*

Conform consecinței (c1) la intrarea + avem potențialul zero. Prin urmare, conform consecinței (c2), la intrarea - avem tot potențialul zero. Se obține, astfel, schema prezentată mai jos:

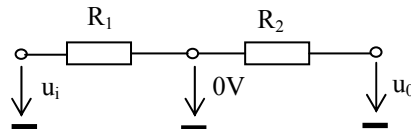


Fig. 6. Conectarea rezistențelor R_1 și R_2 și tensiunile la borne.

Conform schemei prezentate anterior se obține:

$$\frac{u_0}{u_i} = -\frac{R_2}{R_1}. \quad (9)$$

Prin urmare,

$$A_{inv} = -\frac{R_2}{R_1}. \quad (10)$$

- *AO real*

În acest caz, relația amplificării poate fi aproximată prin:

$$A_{inv} \cong \frac{A_{inv_ideal}}{1 + \frac{1}{aF}}, \quad (11)$$

în care factorul de reacție F este egal cu $F = R_1 / (R_1 + R_2)$.

3.3. Circuit repetor neinversor cu AO

Dacă în cazul amplificatorului neinversor realizat cu AO avem $R_1 = \infty$ atunci obținem configurația de repetor neinversor prezentată în Fig. 7 (a). În Fig. 7 (b) este prezentată o altă variantă de AO în configurație de repetor neinversor.

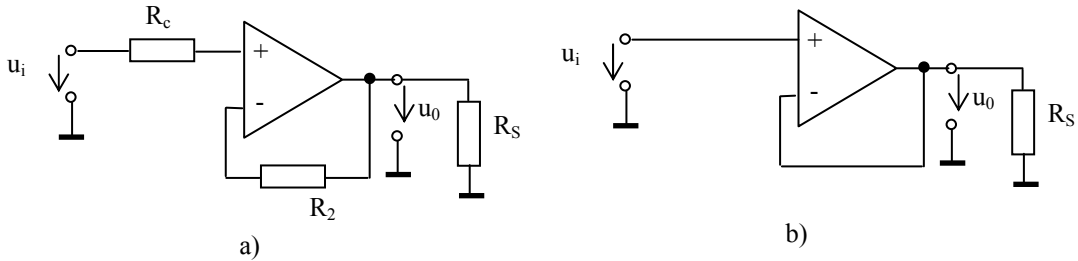


Fig. 7. AO în montaj repetor neinversor: a) $R_c = R_2$; b) fără rezistențe.

- *AO ideal*

Conform consecinței (c1) tensiunea la intrarea neinversoare + este egală cu u_i . Conform consecinței (c2) rezultă $u_0 = u_i$. Astfel, se obține:

$$A_{rep} = 1. \quad (12)$$

- *AO real*

În acest caz, conform relației (7), relația amplificării poate fi aproximată prin:

$$A_{rep} \cong \frac{1}{1 + \frac{1}{a}}. \quad (13)$$

3.4 Circuit repetor inversor cu AO

Schema de conectare este cea prezentată în Fig. 5. Rezistențele R_1 și R_2 au valori egale ($R_1 = R_2$). Conform relației (9) rezultă $A_{rep} = -1$.

4. Parametrii unui amplificator operațional

Unii dintre cei mai importanți parametri dinamici ai unui AO, precizați și în datele de catalog, sunt:

- viteza de variație a ieșirii ("Slew-Rate" [V/μs]); acest parametru indică abilitatea AO de a urmări prin semnalul de ieșire variațiile rapide ale semnalului de intrare;
- banda de frecvențe, delimitată de frecvențele f_j și f_i definite pentru o atenuare cu 3 dB a semnalului de ieșire.

5. Desfășurarea lucrării

Circuitul utilizat în lucrare conține un AO (OPA277), rezistoare și jumperi pentru a putea realiza diverse configurații. Schema circuitului este prezentată în figura de mai jos.

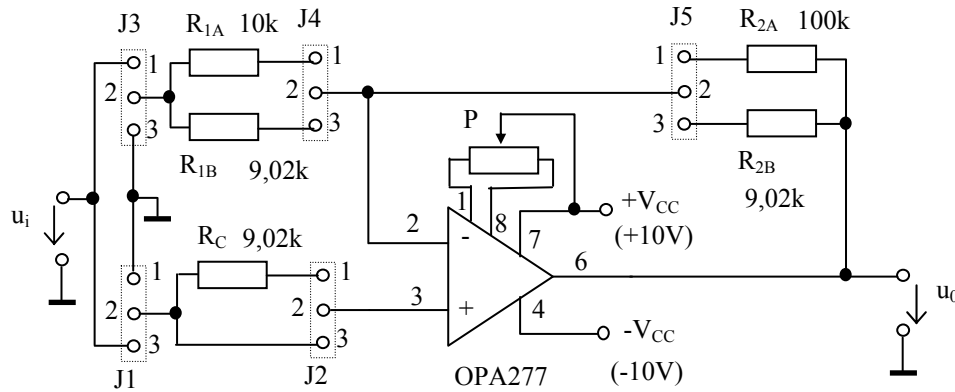


Fig. 8. Schema circuitului folosit în cadrul lucrării.

Tensiunile de alimentare $+V_{CC}$ și $-V_{CC}$ vor fi stabilite la $+10V$, respectiv $-10V$. Potentiometrul P , de $20\text{ k}\Omega$, are rol de ajustare a tensiunii de decalaj.

Pentru configurația de amplificator neinvertor, jumperii trebuie poziționați în felul următor: **J1** 2-3 (contact între pinii 2 și 3), **J2** 1-2, **J3** 2-3, **J4** 1-2, **J5** 1-2.

Pentru configurația de amplificator inversor, jumperii trebuie poziționați în felul următor: **J1** 1-2, **J2** 1-2, **J3** 1-2, **J4** 1-2, **J5** 1-2.

Pentru configurația de repetor neinvertor, jumperii trebuie poziționați în felul următor: **J1** 2-3, **J2** 1-2, **J3** în gol, **J4** nu contează, **J5** 2-3.

Pentru configurația de repetor inversor, jumperii trebuie poziționați în felul următor: **J1** 1-2, **J2** 2-3, **J3** 1-2, **J4** 2-3, **J5** 2-3.

Se identifică în montaj rezistențele R_C , R_{1A} , R_{1B} , R_{2A} , și R_{2B} (rezistențele R_C , R_{1B} , R_{2B} sunt formate din 2 rezistențe legate în serie).

Se efectuează următoarele:

• Amplificator inversor

a) Se stabilește configurația de amplificator inversor. La ieșirea montajului se conectează o rezistență de sarcină R_S de $1\text{ k}\Omega$.

b) Se alimentează montajul la tensiune ($\pm 10V$) și se aplică la intrarea montajului un semnal sinusoidal cu amplitudinea de $0,5\text{ V}$ și frecvența 1 kHz . Cu ajutorul unui osciloscop cu 2 canale se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de intrare și ieșire. Ce se constată? De ce?

Se măsoară cu osciloscopul amplitudinile tensiunilor de intrare și ieșire. Se calculează amplificarea A'_{inv} conform relației (8).

- c) Se calculează amplificarea teoretică A_{inv} a montajului conform relației (10).
d) Se calculează eroarea relativă de măsurare a amplificării, ε_1

$$\varepsilon_1 = \frac{A'_{inv} - A_{inv}}{A_{inv}} \cdot 100 \quad [\%]. \quad (14)$$

Această eroare este determinată, în principal, de impreciziile rezistențelor.

- e) Se determină banda de frecvențe a amplificatorului. În acest scop se va ridica caracteristica $U_{0max}(f) = F(f)$. La intrare se aduce un semnal sinusoidal cu amplitudinea de 0,5 V iar frecvența f va fi variată de la 0 la peste 20 kHz (până când tensiunea de la ieșire scade sub $0,707 \cdot U_{0max}(1\text{kHz})$).

Măsurarea vitezei de variație a ieșirii

- f) Pentru măsurarea parametrului SR, se aplică la intrarea montajului un semnal dreptunghiular cu amplitudinea de 0,5 V și frecvența de 20 kHz. Se măsoară pe osciloscop timpul t în care semnalul variază de la valoarea $0,1U_{0max}$ la $0,9U_{0max}$. Viteza de variație se calculează cu relația:

$$SR = \frac{0,8 \cdot U_{0max}}{t} \quad \left[\frac{V}{\mu s} \right]. \quad (15)$$

Determinarea valorii de limitare a curentului de ieșire

- g) Se aplică la intrarea montajului un semnal sinusoidal cu amplitudinea de 0,5 V și frecvența 1 kHz. Se modifică valoarea rezistenței de sarcină în sens descrescător până când se observă intrarea în limitare a tensiunii de ieșire. Se determină valoarea rezistenței R_S și se măsoară valoarea amplitudinii tensiunii de ieșire. Raportul dintre amplitudinea tensiunii de ieșire și rezistența R_S astfel obținute reprezintă valoarea de limitare a curentului de ieșire.

ATENȚIE ! Măsurarea amplitudinii tensiunii de ieșire se va efectua cât mai rapid posibil deoarece menținerea pe o durată mare a scurtcircuitului la ieșire conduce la distrugerea AO prin supraîncălzire. După efectuarea măsurării rezistența R_S se stabilește la valoarea de 1 k Ω .

- h) Se evaluează impedanța de intrare a montajului. În circuitul de intrare al AO se introduce o rezistență $R_A \geq 1\text{k}\Omega$ cu rol de rezistență adițională. Se măsoară diferența de tensiune de la ieșirea montajului ce apare datorită introducerii R_A în circuitul de intrare. Se calculează căderea de tensiune pe R_A cu relația

$$\Delta U_{RA} = \frac{\Delta U_0}{A'_{inv}}. \quad (17)$$

Cunoscând valoarea tensiunii de intrare, cu ajutorul formulei divizorului de tensiune se calculează impedanța de intrare a montajului.

Întrebări:

1. Care este avantajul unei amplificări în buclă deschisă de valoare foarte mare ?
2. Care este rolul rezistenței R_C din cadrul schemelor prezentate în Fig. 3 și 5 ?
3. Să se deducă relația (15).