

Lucrarea 4.

AMPLIFICATOARE OPERATIONALE

Parametrii definiții ai amplificatoarelor operaționale

1. DESCRIERE GENERALĂ

Amplificatoarele operaționale (A.O.), sunt amplificatoare de curent continuu, cu amplificarea în buclă deschisă A_0 foarte mare, concepute să lucreze cu reacție negativă puternică. Dacă această condiție este îndeplinită, amplificarea montajului cu reacție A_R va depinde doar de proprietățile rețelei de reacție. A.O. se realizează, în cele mai multe cazuri, în formă integrată, fiind întâlnite însă și sub formă hibridă sau chiar în variante discrete.

A.O. reprezintă elementul constitutiv principal al familiei circuitelor integrate analogice și face parte din categoria circuitelor liniare, având relații liniare între mărimile de intrare și cele de ieșire în interiorul domeniilor de funcționare normală (nesaturată).

Simbolul grafic al A.O. este prezentat în fig. 1.

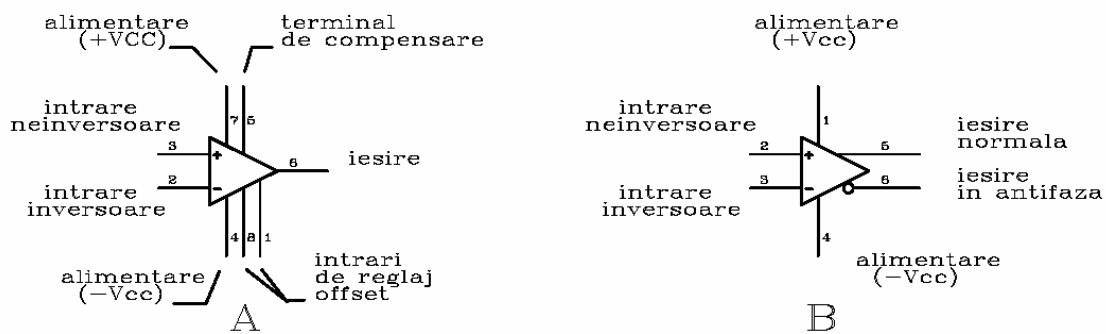


Fig. 1

A.O. are două intrări, una inversoare și una neinversoare, pe care se consideră că se aplică tensiunile U_{I+} respectiv U_{I-} , între cele două intrări aparând tensiunea de intrare diferențială U_{ID} .

Semnalul aplicat pe intrarea inversoare generează la ieșire semnal în antifază cu el însuși, în timp ce semnalul aplicat pe intrarea neinversoare generează la ieșire semnal în fază cu el însuși.

Unele A.O. au și ieșire diferențială permițând obținerea directă și a semnalului cu fază inversată la ieșire. Această ieșire se reprezintă cu un cerculeț (simbolul inversorului) pe corpul A.O. (Fig. 1-B).

Alimentarea A.O. se realizează de cele mai multe ori de la o sursă diferențială de tensiune, de obicei simetrică. Trebuie menționat că în general A.O. nu au punct de masă propriu, punctul de nul fiind considerat punctul de înseriere al celor două surse de alimentare.

Din punctul de vedere al comportării în frecvență A.O. se împart în două categorii:

- ❖ A.O. necompensate intern, aceste amplificatoare pot lucra la frecvențe ridicate, dar există riscul apariției de oscilații în cazul în care compensarea externă nu este corect realizată. Pentru compensarea externă se utilizează o reacție negativă, de obicei realizată cu ajutorul unui condensator de ordinul pF sau zecilor de pF, cuplat între pinii de compensare (Fig. 1-A).
- ❖ A.O. compensate intern, care nu necesită compensare exterioară, sunt stabile în funcționare dar au banda de frecvențe limitată de valoarea mică a *slew-rate*-ului (Fig. 1-B)

Unele A.O. au două sau mai multe terminale suplimentare utilizate pentru reglajul componentei continue a ieșirii (*offset*), cum este cel din Fig. 1-A.

În curent continuu sau curent alternativ la frecvențe joase, A.O. respectă următoarea relație între mărimile de intrare și cele de ieșire:

$$u_o = A_0(u_{i+} - u_{i-}) = A_0 u_D$$

Principalele cerințe pe care trebuie să le îndeplinească A.O. sunt următoarele:

- ↪ amplificarea în tensiune (A_0) a semnalului diferențial să fie cât mai mare (de ordinul sutelor de mii);
- ↪ impedanța de intrare, a fiecărei intrări, (fată de masă) să fie cât mai mare (zeci sau sute de M);
- ↪ impedanța de intrare diferențială (măsurată între intrari) să fie cât mai mare (zeci sau sute de M);
- ↪ impedanță de ieșire cât mai mică;
- ↪ caracteristică de transfer cât mai apropiată de caracteristica ideală pentru amplificatoarele de cc;
- ↪ banda de frecvențe cât mai largă, începând de la frecvența 0 (cc);

- ↪ amplificare cât mai mică a semnalului de mod comun, de ordinul ;
- ↪ utilizare cât mai eficientă a tensiunii de alimentare (excursie maximă a tensiunii de ieșire pentru o tensiune de alimentare dată);
- ↪ rejecție cât mai mare a tensiunilor perturbatoare, de exemplu *rill* sau *brum*, provenite din alimentări.

Deoarece marea majoritate a A.O. integrate îndeplinesc cerințele de mai sus, în cele mai multe aplicații acestea pot fi privite ca A.O. ideale, având schema echivalentă din Fig. 2.

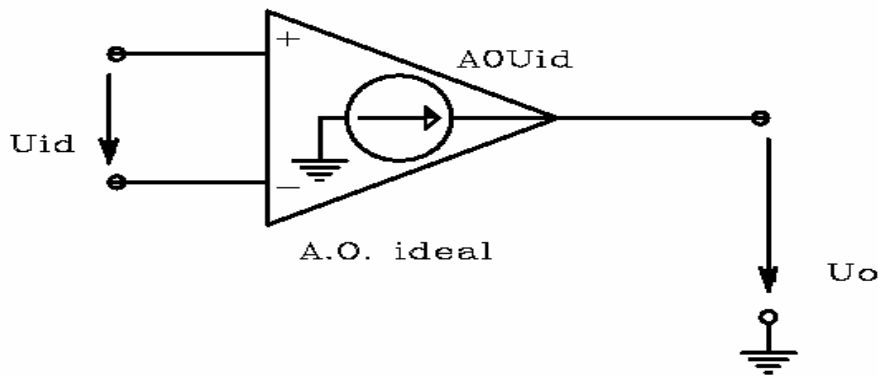


Fig. 2

Se consideră că A.O. ideale au următoarele proprietăți:

- ↪ amplificare a tensiunii diferențiale de intrare infinită (sau $U_{id} = 0$) pentru orice U_o ;
- ↪ impedanțe de intrare infinite (sau curenți de intrare nuli);
- ↪ impedanță de ieșire nulă, sau tensiune de ieșire independentă de valoarea impedanței de sarcină;
- ↪ caracteristică ideală de transfer în domeniul liniar de funcționare (fără a se intra în saturație);
- ↪ bandă de frecvențe suficient de largă;
- ↪ amplificare de mod comun nulă.

2. Utilizarea A.O.

În aplicații A.O. este utilizat în scheme cu reacție negativă puternică, de aceea funcționarea este descrisă de următoarea relație:

$$A_R = \frac{A_0}{1 + A_0 F}$$

unde A_R este amplificarea montajului cu reacție și F este amplificarea rețelei de reacție. Când A_0 tinde la infinit, pentru $A_0 F \gg 1$ se poate considera cu precizie suficientă că

$$A_R = \frac{1}{F}$$

Pentru studiul configurațiilor de bază nu se vor utiliza formulele derivate din conceptul de reacție, analiza directă, ținând cont de proprietățile A.O. ideale, fiind mai intuitivă.

3. Amplificator neinversor cu A.O.

Schema electrică a unui A.O. în această configurație este prezentată în fig. 3. Se observă că semnalul de intrare este aplicat direct pe intrarea neinversoare.

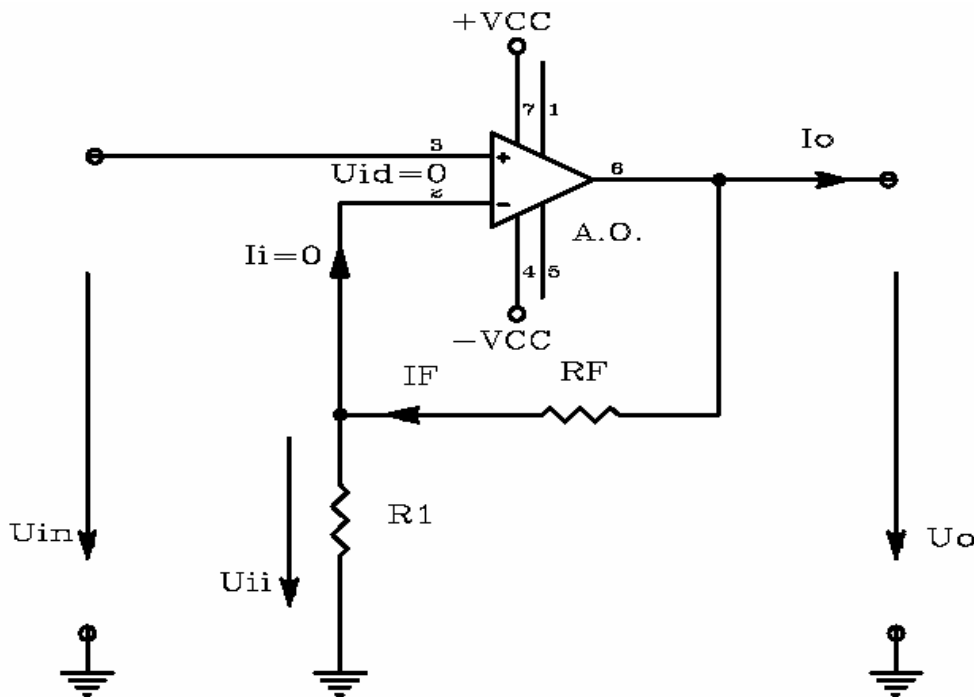


Fig. 3

S-au folosit notațiile:

- U_{in} -tensiunea intrării neinversoare;
- U_{ii} -tensiunea intrării inversoare;
- U_{id} -tensiunea diferențială de intrare ;
- U_o -tensiune de ieșire;
- I_i -curentul absorbit de intrarea inversoare;

IF -curentul de reacție;
Io -curentul de ieșire.

Se poate observa că:

$$U_o = R_F I_F + R_1 I_1 = I_1 (R_F + R_1);$$

$$U_i = U_{in} = U_{ii} = R_1 I_1;$$

se obține amplificarea în tensiune a montajului cu A.O. în configurație neinversoare:

$$A_R = \frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}.$$

Impedanța de intrare este considerată infinită iar impedanța de ieșire este considerată nulă, deoarece A.O. este considerat ideal.

Se observă deasemenea independența amplificării schemei cu reacție față de amplificarea A.O. folosit, precum și faptul că tensiunea de ieșire este în fază cu tensiunea de intrare la această configurație.

Este important de reținut că :

- ↪ Semnalul de ieșire este în fază cu semnalul de intrare;
- ↪ În configurația neinversoare amplificarea este cel puțin unitară; la limita, atunci când R_F tinde la 0 sau R_1 tinde la infinit, montajul devine repetor;
- ↪ Impedanța de intrare este chiar impedanța de intrare a A.O. practic de ordinul zecilor sau chiar sutelor de M, în funcție de tipul de amplificator folosit;
- ↪ Curentul I_R este o parte a curentului de ieșire al A.O. deci curentul disponibil la ieșirea montajului se calculează ca diferență între curentul maxim de ieșire al operaționalului folosit și I_R .

4. MODUL DE LUCRU

Lucrarea își propune măsurarea principalilor parametri ai A.O. M 741, alimentat diferențial la tensiunea de +/- 15 V

ATENȚIE !!!

Introducerea incorectă a circuitului duce la **DISTRUGEREA** acestuia !!!

Se introduce circuitul integrat $\beta A741$ în soclul aflat pe placuța de circuit imprimat **astfel încât cheia circuitului să corespundă cu cheia soclului.**

Se identifică montajul realizat pe circuitul imprimat, determinând punctele de conexiune și componentele folosite și se desenează în referat schema montajului notând valorile componentelor.

Se aplică la intrarea I_1 semnal de la un generator sinusoidal, cu amplitudinea de $0,1V_{VV}$, pe frecvența de 1.000 Hz și se măsoară cu osciloscopul amplitudinea semnalului de ieșire U_o .

Se determină amplificarea cu reacție efectiv realizată de montaj :

$$A_{RE} = \frac{U_i}{U_o} ;$$

Se calculează amplificarea teoretică a montajului pentru A.O. ideal, folosind valorile R_F și R_1 reale, cu formula:

$$A_{RT} = 1 + \frac{R_F}{R_i} ;$$

Se compară cele două valori obținute și se calculează eroarea procentuală:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{A_{RE} - A_{RT}}{A_{RE}} * 100[\%] .$$

Se evaluează amplificarea reală în buclă deschisă a A.O.. Pornind de la relația amplificării cu reacție:

$$A_{RE} = \frac{A_0}{1 + A_0 * F} ,$$

se obține formula amplificării în buclă deschisă:

$$A_0 = \frac{A_{RE}}{1 - A_{RE} * F} , \text{ unde } F = \frac{R_1}{R_1 + R_F} .$$

Evaluarea impedanței de intrare în A.O.

Se introduce în circuitul de intrare al A.O. un rezistor, R_A , cu rol de rezistență adițională și se măsoară scăderea tensiunii de la ieșirea montajului ca urmare a introducerii R_A . Se calculează căderea de tensiune pe R_A ,

$$\Delta U_{RA} = \frac{\Delta U_o}{A_{RE}}$$

și cunoscând tensiunea de intrare, cu ajutorul formulei divizorului de tensiune se calculează impedanța de intrare folosind pentru R_A valoarea notată pe placa de circuit imprimat:

$$Z_i = \frac{U_i * R_A - \Delta U_{RA}}{\Delta U_{RA}} .$$

Metoda se bazează pe schema de mai jos:

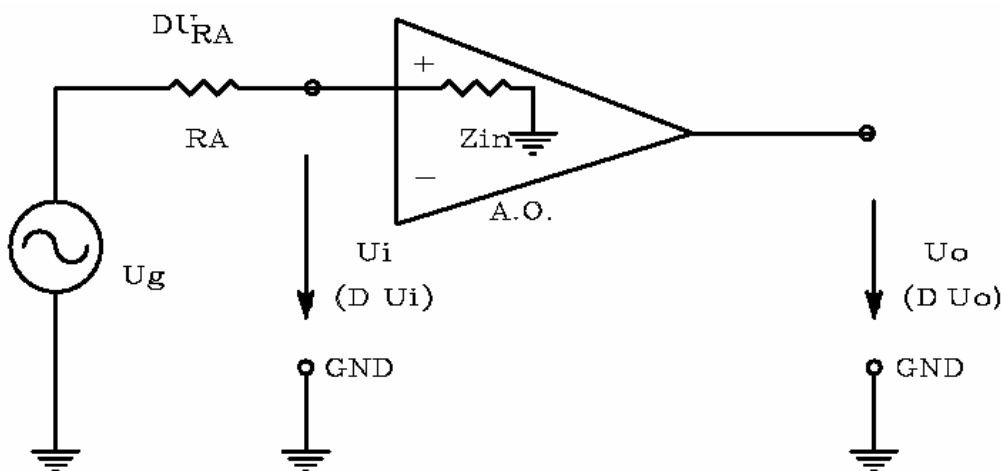


Fig. 4

Evaluarea impedanței de ieșire.

Se măsoară tensiunea de ieșire pentru două rezistențe de sarcină diferite considerând ieșirea A.O. formată dintr-un generator de tensiune electromotoare E și rezistență internă r . Scriind ecuațiile de circuit pentru cele două cazuri și folosind valorile R_S și R_S' , se obțin valorile celor două necunoscute, E și r :

$$U_o = \frac{E * R_S}{r + R_S}$$

$$U_o' = \frac{E * R_S'}{r + R_S'}$$

Măsurarea vitezei de variație a ieșirii

Acest parametru este cunoscut sub numele de *SLEW - RATE* și se măsoară în V/s. Pentru a-l măsura se aplică la intrare semnal dreptunghiular de la un generator reglând amplitudinea ($\sim 0,1V$) și frecvența ($\sim 20kHz$) în așa fel încât frontul de creștere a semnalului de ieșire să fie vizibil clar pe osciloscop (se va folosi lupa de timp dacă este posibil). Se măsoară (în μs) timpul t de variație liniară de la $0,1U_{Omax}$ până la $0,9U_{Omax}$ (în V) și se calculează Sr :

$$Sr = \frac{0,8 * U_{Omax}}{t} \left[\frac{V}{\mu s} \right]$$

Determinarea valorii de limitare a curentului de ieșire.

βA 741 precum și multe alte circuite integrate au încorporat un etaj de limitare a curentului de ieșire în vederea evitării defectării instantanee a circuitului în cazul apariției unui scurtcircuit la ieșire.

ATENȚIE !!! Acest etaj nu elimină și disipația de putere și de aceea păstrarea timp îndelungat a scurtcircuitului la ieșire duce la defectarea A.O. prin suprîncalzire !!!

Pentru a măsura valoarea de limitare a curentului de ieșire se aplică la intrare semnal sinusoidal de $0,1 V_{vv} / 1000 \text{ Hz}$, se conectează la ieșire cutia decadică de rezistențe pe poziția de 10 K , și cu osciloscopul se vizualizează semnalul de ieșire. Se scade progresiv valoarea rezistenței de sarcină până când se observă clar limitarea în amplitudine (la valoarea U_{olim}) a semnalului de ieșire și se notează valoarea R_S a rezistenței decadice în acest moment. Se calculează valoarea curentului de ieșire:

$$I_{OL} = \frac{U_{OL}}{R_S}.$$