



UNIUNEA EUROPEANĂ



GVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013



# Platformă de e-learning și curriculă e-content pentru învățământul superior tehnic

## Elemente de Electronică Analogică

### 55. Aplicații ale AO

## Circuite elementare cu amplificatoare operaționale

### 1. Scopul lucrării experimentale

Se studiază câteva dintre circuitele elementare ce se pot realiza cu amplificatoare operaționale (AO), în care acestea sunt considerate ca elemente de circuit caracterizate prin parametrii de catalog, statici sau dinamici.

### 2. Noțiuni teoretice

Amplificatorul operațional în configurație de amplificator inversor are

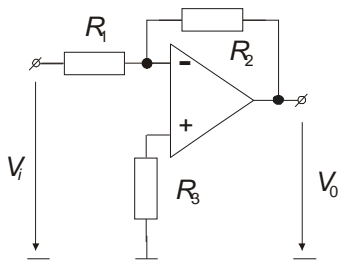


fig. 5.1

schema din fig. (5.1).

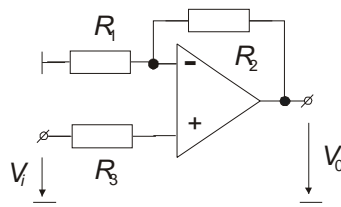


fig. 5.2

Pentru un AO ideal amplificarea de tensiune este dată de relația:

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5.1)$$

relație valabilă pentru valori mici ale acesteia. Pentru valori mari ale amplificării de tensiune, eroarea introdusă în calcul de valoarea finită a amplificării în buclă deschisă a AO,  $A_0$ , devine importantă, relația (5.1) fiind înlocuită de relația :

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\frac{\frac{R_2}{R_1} + 1}{1 + \frac{R_1}{A_0}}} \quad (5.2)$$

Amplificarea de tensiune cu bucla închisă este influențată și de valoarea limitată a produsului amplificare - bandă al AO precum și de rezistențele de intrare și de ieșire ale AO.

Amplificatorul operațional în configurație de amplificator inversor are schema din fig. (5.2). Amplificarea de tensiune, considerând AO ideal, va fi:

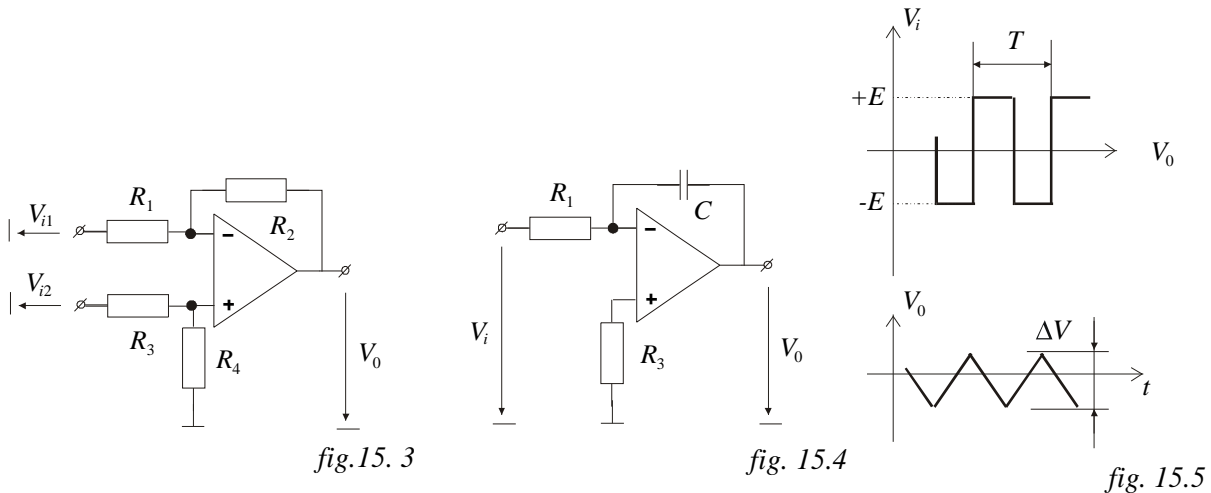
$$A_u = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (5.3)$$

Repetorul de tensiune se realizează din schema din fig. (5.2) cu rezistența  $R_1$  necuplată ( $R_1 \rightarrow \infty$ ). Pentru amplificarea de tensiune se obține relația:

$$A_u = 1 \quad (5.4)$$

Repetorul de tensiune realizat cu AO prezintă amplificarea de tensiune unitară, impedanță de intrare foarte mare și impedanță de ieșire foarte mică.

Amplificatorul diferențial realizat cu AO este reprezentat în fig. (5.3).



Pentru un AO ideal, tensiunea de ieșire se poate scrie sub forma:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_{i1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{i2} \quad (5.5)$$

Condiția ca circuitul să se comporte ca un amplificator diferențial este ca:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \quad (5.6)$$

în care caz, tensiunea de ieșire va fi:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} (V_{i1} - V_{i2}) \quad (5.7)$$

Tensiunea de mod comun este rejectată în măsura în care este îndeplinită relația (5.6).

În fig. (5.4) este reprezentat un integrator cu AO. Pentru semnal sinusoidal de amplitudine constantă ( $U_1$ ) și cu frecvența variabilă ( $f$ ), integratorul dă la ieșire o tensiune de aceeași frecvență, cu amplitudinea dependentă de frecvență și de elementele circuitului ( $V_0 = \frac{U_1}{\omega CR_1}$ ) și defazat față de semnalul de intrare cu o fază dependentă de frecvență ( $\varphi = \arctg \omega CR$ ).

Pentru un salt de tensiune aplicat la intrare, răspunsul este exponențial; în cazul unei succesiuni de impulsuri, dacă durata impulsurilor este mică în raport cu constanta de timp  $CR_1$ , atunci circuitul funcționează ca un integrator, dând la ieșire o tensiune aproape continuă, egală cu componenta continuă a impulsurilor aplicate la intrare. În fig. (5.5) se arată forma de undă obținută la ieșire în cazul aplicării unor impulsuri cu factorul de umplere egal cu 0.5. Se obține:

$$\Delta V = \frac{T}{2R_1C} E \quad (5.8)$$

Prezența unei rezistențe în paralel pe capacitate duce la repartiția unei constante de timp de integrare mai mici, neliniaritatea obținută la integrare fiind dependentă de timpul de integrare.

Comparatorul cu histerezis din fig.(5.6) folosește amplificatorul operațional cu o reacție pozitivă realizată cu rezistențele  $R_5$  și  $R_6$ .

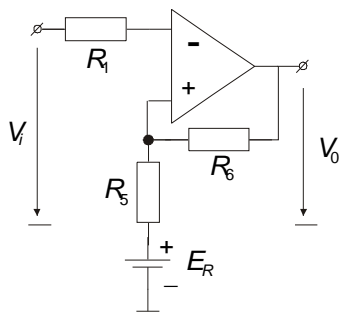


fig. 5.6

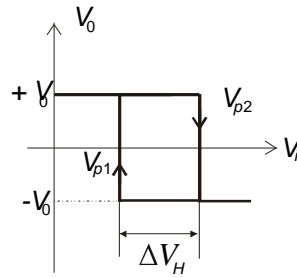


fig. 5.7

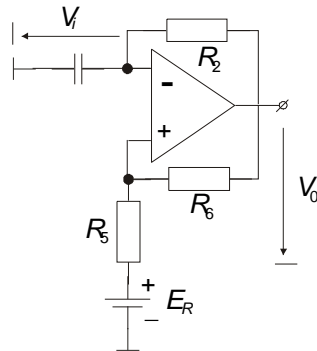


Fig.5. 8

Se obține o caracteristică de transfer cu histerezis, ca în fig.(5.7), unde s-au folosit notațiile:

$$V_{p1} = -V_o \frac{R_5}{R_5 + R_6} + E_R \frac{R_6}{R_5 + R_6} \quad (5.9)$$

$$V_{p2} = +V_o \frac{R_5}{R_5 + R_6} + E_R \frac{R_6}{R_5 + R_6} \quad (5.10)$$

$$\Delta V = V_{p2} - V_{p1} = 2V_o \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad (5.11)$$

(prin  $\pm V_o$  s-au notat valorile maximă și minimă ale tensiunii de ieșire a AO, așa cum se vede și în fig. (5.7)).

Cu ajutorul raportului rezistențelor  $R_5$  și  $R_6$  se modifică lărgimea histerezisului ( $\Delta V_H$ ), iar cu ajutorul tensiunii de referință  $E_R$  se precizează poziția acestuia față de origine.

Un generator de impulsuri dreptunghiulare cu AO se poate realiza ca în fig. (5.8), în care se folosește circuitul de comparare cu histerezis din fig.(5.6), tensiunea de la intrarea sa fiind tensiunea de pe capacitatea  $C$ , variabilă în timp; încărcarea și descărcarea acestei capacități se fac prin rezistența  $R_2$  de la ieșirea

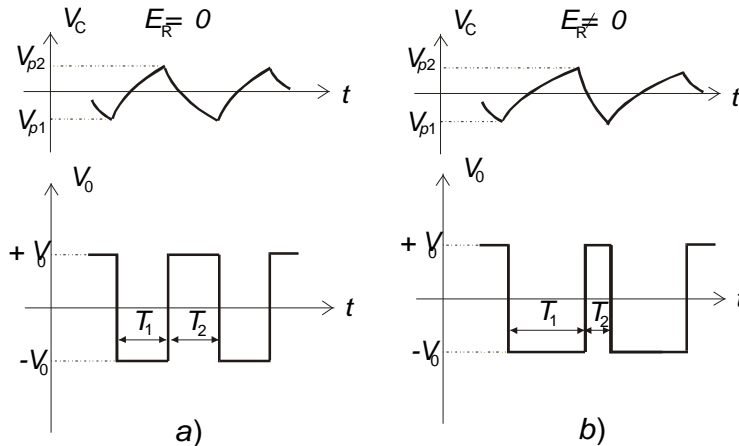


fig. 5.9

AO care stă în una din cele două stări stabile în funcție de semnul diferenței dintre tensiunile celor două intrări ale AO.

Pentru  $E_R = 0$  (fig. 5.9.a) se obține o formă de undă aproape simetrică (nesimetria provine numai din diferența valorilor absolute ale tensiunii de ieșire a AO în cele două stări).

Perioada impulsurilor va fi dată de relația:

$$T = 2R_2C \ln\left(1 + 2 \frac{R_5}{R_6}\right) \quad (5.12)$$

În cazul în care  $E_R \neq 0$ , se obțin impulsuri cu factor de umplere diferit de 0.5 (fig. 5.9.b) caracterizate prin:

$$T_1 = \tau \ln \frac{V_0 - V_{p1}}{V_0 - V_{p2}}, \quad T_2 = \tau \ln \frac{V_0 + V_{p2}}{V_0 + V_{p1}} \quad (5.13)$$

unde  $V_{p1}$  și  $V_{p2}$  au expresiile (5.9) și (5.10), determinate pentru comparatorul cu histerezis, iar  $\tau = CR_2$ .

Pentru  $E_R = 0$ , frecvența impulsurilor se reglează din modificarea histerezisului circuitului (raportul rezistențelor  $R_5$  și  $R_6$ ). Pentru  $E_R \neq 0$ , prin

modificarea tensiunii de referință, se modifică atât frecvența (5.14) cât și factorul de umplere (5.15) al impulsurilor generate:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \quad (5.14)$$

$$n = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \quad (5.15)$$

### 3. Desfășurarea lucrării experimentale

Se identifică montajul din fig. (5.10), echipat cu amplificatoare operaționale  $\beta A741$ , caracterizate prin  $A_0=100.000$ . Circuitul se alimentează cu tensiunile de alimentare +15V (borna 2 față de masă ) și -15V (borna 3) față de masă (borna 1).

Tensiunile de comandă se aplică prin intermediul unui repetor de tensiune realizat tot cu AO (pentru a avea o impedanță a generatorului de semnal cât mai mică), acesta fiind comandat

printr-un potențiomtru ce permite reglarea tensiunii de intrare în limite largi. Tensiunile de intrare în circuitul testat se vor măsura la ieșirea repetorului de

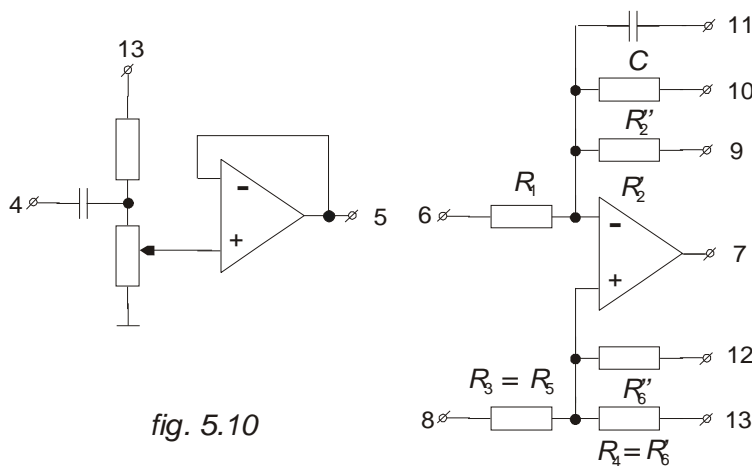


fig. 5.10

tensiune (borna 5).

Se realizează schema de amplificare inversor (fig. 5.1) cu rezistențele  $R_1=1.2$  k $\Omega$  și  $R_2=12$  k $\Omega$ . Se aplică semnal sinusoidal de frecvență 200 Hz. Pentru o tensiune de ieșire de 5V (valoare eficace), se măsoară amplificarea de tensiune și se compară cu rezultatul obținut cu relația (5.1). Se compară faza semnalului de

ieșire cu faza semnalului de la intrare, pe osciloscop, constatându-se inversarea de fază a semnalului amplificat.

Se repetă măsurătoarea pentru  $R_2'' = 4.7 \text{ M}\Omega$  și se compară cu rezultatele obținute cu relațiile (5.1) și (5.2). Se vor explica diferențele constatate.

Pentru ambele valori ale rezistenței  $R_2$  se trasează caracteristica de frecvență (pentru  $R_2'$  se ia  $U_i = 100 \text{ mV}$  iar pentru  $R_2''$  se ia  $U_i = 2 \text{ mV}$ ).

Se realizează schema de amplificator neinversor (fig. 5.2) cu  $R_2' = 12 \text{ k}\Omega$  și  $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$ ; se aplică semnal sinusoidal de frecvență 200 Hz și amplitudine 100 mV și se măsoară amplificarea de tensiune, comparându-se – cu ajutorul osciloscopului – și fazele tensiunilor de intrare și de ieșire.

Se realizează montajul repetor de tensiune și se măsoară amplificarea de tensiune. Rezultatele măsurătorilor pentru aceste două montaje se compară cu valorile obținute cu relațiile (5.3) și (5.4).

Pentru montajul de amplificator neinversor se ridică și caracteristica de frecvență.

Se realizează schema de amplificator diferențial (fig. 5.3) cu  $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2' = 12 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1.2 \text{ k}\Omega$  și  $R_4 = 12 \text{ k}\Omega$ . Se aplică semnale cu frecvențe de 200 Hz, astfel:

$$V_{i1} = 100 \text{ mV} ; V_{i2} = 0; \text{ se măsoară } V_{o1}$$

$$V_{i1} = 0 ; V_{i2} = 100 \text{ mV}; \text{ se măsoară } V_{o2}$$

$$V_{i1}' = V_{i2}' = 1 \text{ V}; \text{ se măsoară } V_{o3} .$$

Se determină amplificarea de tensiune de mod diferențial definită ca  $V_{o1}/V_{i1}$  sau  $V_{o2}/V_{i2}$  și amplificarea de mod comun definită ca  $V_{o3}/V_{i1}'$ . Se interpretează rezultatele.

Se realizează montajul de integrator (fig. 5.4) cu  $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$  și  $C = 0.22 \mu\text{F}$ .

Se aplică semnal eficace de 1V și se măsoară amplificarea de tensiune ca funcție de frecvență și se va reprezenta grafic; se va pune în evidență, pe



osciloscop, modificarea diferenței de fază dintre intrare și ieșire la modificarea frecvenței semnalului de la intrare.

Se aplică la intrare impulsuri dreptunghiulare cu perioadă  $T=500\mu s$  și amplitudinea cuprinsă între 1 și 5V. Se vizualizează formele de undă de la intrare și de la ieșire (fig. 5.5) și se măsoară  $\Delta V$ , comparând rezultatul cu valoarea obținută cu relația (5.8).

Se modifică, în limite largi, frecvența impulsurilor de comandă și se vizualizează forma de undă de la ieșire. Se interpretează rezultatele.

Se realizează montajul de comparator (fig. 5.6) cu  $R_1=1.2\text{ k}\Omega$  ;  $R_5=1.2\text{ k}\Omega$  ;  $R'_6=12\text{ k}\Omega$  și  $E_R=0$ . Se aplică pe intrare o tensiune continuă reglabilă (eventual de la repetorul de tensiune cu borna 14 cuplată succesiv la cele două borne de alimentare, tensiunea fiind reglabilă prin potențiometrul) și se măsoară tensiunile de ieșire în cele două stări și tensiunile de prag  $V_{p1}$  și  $V_{p2}$ . Se deduce mărimea histerezisului și se verifică relația (5.11).

Se vizualizează, pe osciloscop, caracteristica de transfer (fig. 5.7), aplicând pe intrarea comparatorului, prin intermediul repetorului de tensiune, un semnal de frecvență 200 Hz și amplitudine mare (potențiometrul  $P$  la maxim). La intrarea X a osciloscopului se aplică tensiunea de intrare iar la intrarea Y semnalul de la ieșirea comparatorului (borna 7). Se modifică frecvența semnalului și se constată influența acesteia asupra formei caracteristicii de transfer ; se justifică, teoretic, modificările caracteristicii de transfer.

Se repetă măsurătorile pentru  $R'_6=120\text{ k}\Omega$ ;  $E_R=0$  și apoi pentru  $R'_6=120\text{ k}\Omega$  ;  $E_R = \frac{R_5}{R_5 + R'_6} E_+$  ;  $R'_5 = R_5 \parallel R'_6$  ( se aplică tensiunea de referință printr-un divzor format din rezistențele  $R_5$  și  $R'_6$  de la bateria de alimentare pozitivă). Se verifică relațiile (5.9), (5.10) și (5.11).

Se realizează generatorul de impulsuri dreptunghiulare (fig. 5.8) cu  $R'_2=12\text{ k}\Omega$  ;  $R_3=1.2\text{ k}\Omega$  ;  $R'_6=120\text{ k}\Omega$ ;  $E_R=0$  și  $C=0.22\text{ }\mu\text{F}$ . Se vizualizează formele de undă de la ieșirea circuitului și de pe borna inversoare AO. Se măsoară

amplitudinile impulsurilor, frecvența de oscilație și factorul de umplere, verificându-se relația (5.12). Se repetă măsurătorile pentru  $R'_6=12\text{ k}\Omega$ .

Pentru  $R'_6=12\text{ k}\Omega$ , rezistența  $R_5$  se cuplează la ieșirea repetorului de tensiune, iar la borna 14 se aplică tensiunea de alimentare pozitivă,  $V_{E+}$ . Se vizualizează forma de undă la ieșire și la intrarea inversorului AO, astfel încât pe osciloscop să se vadă și componenta continuă a tensiunii vizualizate. Se constată influența tensiunii de referință asupra frecvenței impulsurilor și a factorului de umplere.

Pentru  $E_R=0 ; 2; 3; 4\text{ V}$  se măsoară  $T_1, T_2, f$  și  $n$  și se compară cu valorile obținute cu relațiile (5.13), (5.14) și (5.15).

#### **4. Conținutul referatului**

Referatul va conține:

- schemele electrice ale tuturor montajelor măsurate cu valorile numerice ale componentelor;
- relațiile de calcul specifice;
- formele de undă vizualizate în comparație cu tensiunile de intrare, atunci când este cazul, cu valorile mărimilor electrice măsurate și calculate;
- comentarii asupra rezultatelor.