

# Laboratorul 5.

## Circuite Elementare cu Amplificatoare Operaționale.

### 1 Scopul lucrării

În cadrul acestui laborator veți studia circuite elementare care au la bază amplificatoare operaționale (AO) - en. *operational amplifier* - *Op-Amp*.

### 2 Noțiuni teoretice

Amplificatorul operațional, reprezentat în figura următoare, este un circuit integrat, cu două intrări și cu o ieșire. Intrarea notată cu + se numește intrare neinversoare<sup>1</sup>, iar cea notată cu - se numește intrare inversoare<sup>2</sup>. În continuare vom folosi notațiile  $V_{i+}$  pentru potențialul din borna de intrare neinversoare (potențial măsurat față de masa circuitului),  $V_{i-}$  pentru potențialul din borna de intrare inversoare și  $V_o$  pentru potențialul din borna de ieșire.

Tensiunea generată de amplificatorul operațional la ieșire este de sute de mii de ori mai mare decât diferența dintre intrări ( $V_{i+} - V_{i-}$ ). Altfel spus, amplificatorul operațional este un amplificator diferențial care amplifică foarte mult ( $A_d$  este de ordinul  $10^5$ ) tensiunea diferențială de intrare.

Amplificatoarele operaționale sunt montaje electronice care sunt alimentate de la surse de tensiune cu tensiune finită. Ele generează la ieșire tensiuni cuprinse în intervalul generat de cele două tensiuni de alimentare.

Un amplificator **ideal**, are următoarele proprietăți teoretice:

- Amplificarea tensiunii diferențiale de intrare ( $A_d$ ), în buclă deschisă, tinde la  $\infty$ .
- Impedanța de intrare diferențială (raportată la o conexiune între borna inversoare și cea neinversoare), dar și impedanțele de intrare ale intrărilor (raportate față de masă) sunt  $\infty$ . Astfel, curentul prin bornele de intrare inversoare (-) și neinversoare (+) este 0.
- Impedanța de ieșire este 0.

---

<sup>1</sup>en. non-inverting input

<sup>2</sup>en. inverting input

- Bandă de trecere infinită, adică funcționarea amplificatorului ideal este independentă de frecvența semnalelor de la intrare.
- Tensiunea de ieșire poate varia între orice limite.

Un amplificator operațional **real**, are următoarele proprietăți:

- Amplificarea tensiunii diferențiale de intrare ( $Ad$ ) este de ordinul sutelor de mii ( $10^5$ ).
- Impedanța de intrare este de ordinul  $G\Omega$  spre  $T\Omega$  ( $10^{12} - 10^{13}\Omega$ ), iar în cazul amplificatoarelor mai vechi, implementate în tehnologie cu tranzistoare bipolare, aceasta poate să scadă până la ordinul de  $M\Omega$ .
- Curenții de intrare sunt de ordinul  $pA$  sau  $nA$ , iar în cazul amplificatoarelor mai vechi pot ajunge până la valori de  $\mu A$ .
- Impedanța de ieșire este de ordinul zecilor de  $\Omega$ .
- Banda de trecere poate varia de la ordinul MHz până la ordinul de GHz.
- Tensiunea de ieșire poate varia până aproape de tensiunile de alimentare.

Este important de menționat faptul că parametrii amplificatoarelor operaționale reale sunt specificați ca valori tipice. Aceștia pot varia în funcție de temperatura componentei, de lotul de producție, de tensiunile de alimentare și în funcție de mulți alți factori.

În cadrul circuitelor studiate la laborator, vom considera că amplificatoarele operaționale utilizate au impedanță de intrare neglijabilă ( $G\Omega$ ) în comparație cu rezistențele utilizate în montaj ( $k\Omega$ ) și impedanță de ieșire apropiată de 0. De asemenea, considerăm că amplificarea în buclă deschisă este de ordinul sutelor de mii.

**ATENȚIE:** Amplificatoarele operaționale sunt alimentate, în circuite, de la o sursă ce produc tensiune finită! Tensiunea de ieșire nu poate, fizic, să depășească limitele tensiunii de alimentare ( $V_+$  sau  $V_-$ ). Datorită implementării (folosind TBIP sau J-FET sau CMOS) ieșirea circuitului, în general, se află într-un interval mai restrâns decât cel definit de tensiunea de alimentare.

Anumite amplificatoare operaționale (numite rail to rail output) au proprietatea că tensiunea de ieșire poate fi foarte apropiată sau chiar egală cu tensiunea de alimentare ( $V_+$  sau  $V_-$ ), dar nu toate. Consultați datasheet-ul componentei utilizate pentru a verifica dacă acesta are caracteristică rail to rail output.

Din punct de vedere al intrărilor, amplificatoarele permit o anumită plajă a tensiunii de mod comun. Nu toate amplificatoarele suportă ca intrările să aibă o tensiune de mod comun apropiată de alimentări. Cele care permit ca intrările să aibă tensiuni de mod comun egale cu alimentările spunem că au proprietatea de rail to rail input. La fel ca în cazul anterior, trebuie să consultați datasheetul pentru a afla dacă amplificatorul are această proprietate.

## Reacția în amplificatoare

Având în vedere instabilitatea parametrilor amplificatorului operațional, dar mai ales amplificarea acestuia foarte mare (pentru  $1mV$  diferență a potențialelor la intrare obținem  $100V$  tensiune de ieșire), este greu să folosim amplificatorul operațional pentru a obține circuite liniare. Așadar, trebuie să adaptăm circuitul pentru a scădea amplificarea și pentru a stabili montajul. Este așadar necesar să realizăm o corelare între variația ieșirii și intrare, adică să întoarcem o parte din mărimea de ieșire la una dintre intrări. Întoarcerea ieșirii la una dintre intrări se numește buclă de reacție sau buclă de feedback.

În funcție de tipul mărimii fizice a ieșirii și a intrării, bucla de feedback poate prelua, fie informație despre curentul de ieșire, fie informații despre tensiunea de ieșire și poate influența tensiunea de la intrare sau curentul de la intrare.

Pentru a pune în evidență importanța reacției în amplificatoare, vom prezenta reacția de tensiune.

În figura următoare notăm cu  $A$  blocul de amplificare (intrarea amplificatorului este amplificată de  $A$  ori) și cu  $\beta$  blocul de feedback (la intrarea amplificatorului se aduce a  $\beta$ -a parte din ieșire) și cu  $S$  circuitul electronic ce are rolul de a realiza diferența dintre  $U_i$  (tensiunea de intrare în circuit) și tensiunea generată prin bucla de reacție de valoare  $\beta \cdot U_o$ . Amplificatorul va genera la ieșire tensiunea  $U_o$  proporțională cu diferența dintre tensiunea de intrare și feedback.

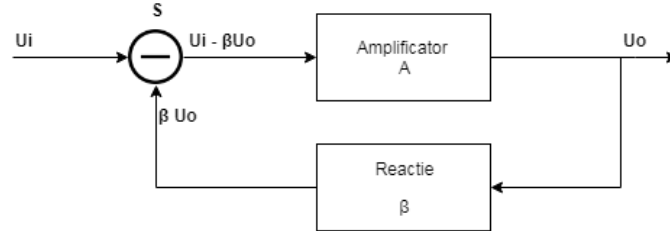


Figura 1

$$U_o = A(U_i - \beta \cdot U_o) \quad (1)$$

$$U_o \cdot (1 + A \cdot \beta) = A \cdot U_i \quad (2)$$

$$U_o = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} \cdot U_i \quad (3)$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{A} + \beta} \cdot U_i \quad (4)$$

Observăm că pentru o amplificare foarte mare, termenul  $1/A$  este neglijabil, astfel putem aproxima că  $U_o = U_i/\beta$ . Folosind criteriile de stabilitate, putem demonstra că sistemul este stabil dacă reacția este negativă, adică  $\beta$  rămâne pozitiv. Rolul reacției negative este de a limita amplificarea. Observăm că amplificarea circuitului devine  $1/\beta$ .

Utilizarea reacției negative ne permite să obținem o amplificare mai mică a sistemului, uzuală practic în montajele electronice. Pe lângă aceasta, reacția negativă ne permite să proiectăm un sistem ai cărui parametri (amplificare, bandă de frecvențe, etc) sunt dependenți numai de circuitul exterior (rezistențe de reacție, etc), și sunt independenți de variațiile caracteristicilor amplificatorului  $A$ . În practică, amplificatorul  $A$  împreună cu funcția de scădere sunt înlocuite de amplificatorul operațional iar blocul de reacție este înlocuit de o rețea de componente electronice (e.g. rezistențe, condensatoare, bobine, diode, tranzistoare, etc).

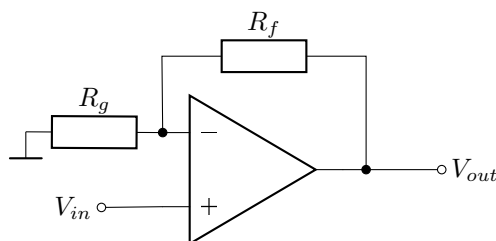


Figura 2

Pentru circuitul prezentat, calculăm  $V_r = V_- = R_g/(R_f + R_g)U_o$  folosind formula divizorului de tensiune format din  $R_f$  și  $R_g$  ce generează reacția. Așadar factorul de reacție este  $\beta = R_g/(R_f + R_g)$ , iar amplificarea este  $1/\beta = (R_g + R_f)/R_g = (1 + R_f/R_g)$ .

Observăm că amplificarea depinde numai de componentele exterioare amplificatorului. Comportamental, putem spune că amplificatorul va crește tensiunea de ieșire ca urmare a diferenței dintre cele două intrări ( $V_+ - V_-$ ). Această creștere a tensiunii de ieșire va genera o creștere a lui  $V_-$  în timp ce  $V_+$  rămâne constant. Creșterea tensiunii de ieșire se va opri când  $V_+$  și  $V_-$  vor fi foarte apropiate (putem aproxima că ele vor fi egale), iar tensiunea de ieșire se va păstra constantă. Pe baza acestei observații - în reacție negativă, amplificatorul operațional va modifica  $V_o$  până când va obține egalitatea tensiunii pe cele două intrări - vom prezenta metodele de calcul a amplificării pentru circuitele amplificatoare inversoare, neinversoare și repetoare.

Reguli de analiză a circuitelor cu AO utilizate în buclă de reacție negativă:

- În buclă de reacție negativă căderea de tensiune între borna inversoare și cea neinversoare este 0 (ieșirea amplificatoarelor încearcă să mențină diferența de tensiune între cele două intrări 0. Dacă diferența între intrări crește, datorită amplificării foarte mari, ieșirea crește foarte mult până când intrările devin egale);
- Curentul prin bornele de intrare ale amplificatorului este neglijabil (0).

## Circuit amplificator inversor

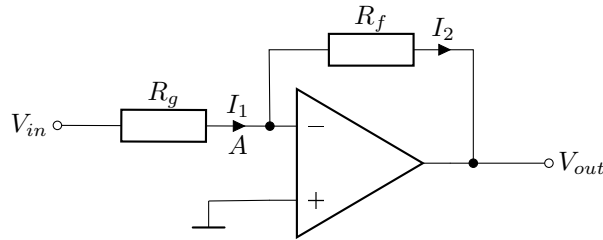


Figura 3: AO inversor

Descrierea circuitului:

- Semnalul  $V_{in}$  se conectează la borna inversoare (-) prin intermediul rezistenței  $R_g$ ;
- Se utilizează o conexiune în buclă de reacție negativă realizată prin intermediul lui  $R_f$ ;
- Borna neinversoare (+) este conectată la masă.

Formula care descrie, pentru acest circuit, dependența tensiunii de ieșire în funcție de componente și de tensiunea de intrare este:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_g} V_{in} \quad (5)$$

### Demonstrație:

1. Folosim prima regulă de analiză a amplificatoarelor și observăm că tensiunea din borna (-) este egală cu tensiunea din borna (+), adică 0V;
2. Folosim legea lui Ohm și calculăm curentul prin  $R_g$ :

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_g} \quad (6)$$

3. În punctul A aplicăm prima lege a lui Kirchhoff și ținând cont de a doua regulă obținem egalitatea:

$$I_1 = I_2 \quad (7)$$

4. Calculăm curentul prin rezistența  $R_f$  cu ajutorul legii lui Ohm:

$$I_2 = \frac{0 - V_o}{R_f} \quad (8)$$

5. Calculăm valoarea tensiunii la ieșirea AO prin înlocuirea în ecuația 7 a lui  $I_1$  și  $I_2$  conform ecuațiilor 6 și 8.

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_g} V_i \quad (9)$$

## Circuit amplificator neinvertor

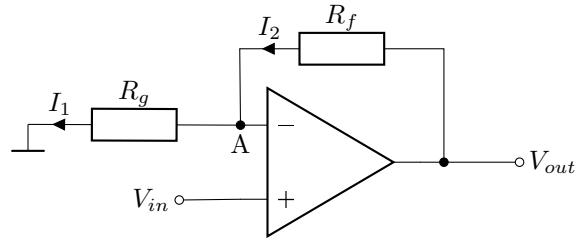


Figura 4: AO neinvertor

Descrierea circuitului:

- Semnalul  $V_{in}$  se conectează la borna neinvertoare (+);
- Borna invertoare este conectată la masă prin intermediul rezistenței  $R_g$ ;
- Se utilizează o conexiune în buclă închisă cu reacție negativă realizată prin intermediul lui  $R_f$ .

Formula care descrie, pentru acest circuit, dependența tensiunii de ieșire în funcție de componente și de tensiunea de intrare este:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) V_{in} \quad (10)$$

**Demonstrație:**

1. Folosim prima regulă de analiză a amplificatoarelor și observăm că tensiunea din borna (-) este egală cu tensiunea din borna (+), adică valoarea tensiunii din punctul A va fi egală cu  $V_{in}$  (măsurată față de masă);
2. Folosim legea lui Ohm și calculăm curentul prin  $R_g$ :

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_g} \quad (11)$$

3. În punctul A aplicăm prima lege a lui Kirchhoff și ținându-se cont de a doua regulă obținem egalitatea:

$$I_1 = I_2 \quad (12)$$

4. Calculăm căderea de tensiune pe rezistența  $R_f$  cu ajutorul legii lui Ohm:

$$U_{R_f} = R_f \cdot I_2 \quad (13)$$

5. Calculăm valoarea tensiunii la ieșirea AO:

$$V_{out} = U_A + U_{R_f} = V_{in} + U_{R_f} = V_{in} + \frac{V_{in}}{R_g} R_f = V_{in} \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \quad (14)$$

## Circuit repetor

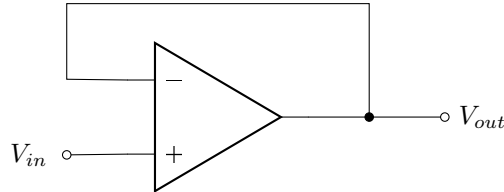


Figura 5: AO repetor

### Descrierea circuitului:

- Semnalul de intrare se aplică pe borna neinvertoare (+);
- Se folosește o conexiune în buclă închisă cu reacție negativă.

### Mod de funcționare

Pe baza primei reguli se poate observa că  $V_{out}$  este egal cu  $V_{in}$ . Principalul avantaj al acestui circuit este că la ieșire poate furniza un curent mult mai mare față de curentul de intrare al circuitului, fără a fi afectată tensiunea de ieșire.

Acest circuit mai poate juca rolul unui buffer datorită proprietăților sale izolatoare (impedanță mare de intrare, impedanță de ieșire mică).

El este bazat pe circuitul de amplificator neinvertor cu  $R_f = 0$  și  $R_g = \infty$ .

## Circuit comparator

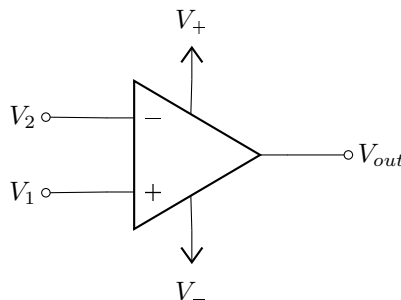


Figura 6: Comparator

### Mod de funcționare

Pe baza primei reguli se poate observa că  $V_{out}$  este egal cu  $V_{in}$ . Principalul avantaj al acestui circuit este că la ieșire poate furniza un curent mult mai mare față de curentul de intrare al circuitului, fără a fi afectată tensiunea de ieșire.

Acest circuit mai poate juca rolul unui buffer datorită proprietăților sale izolatoare (impedanță mare de intrare, impedanță de ieșire mică). În concluzie, funcționarea acestui circuit se poate descrie în felul următor:

$$V_{out} = V_+, \text{ dacă } V_1 > V_2 \quad (15)$$

$$V_{out} = V_-, \text{ dacă } V_1 < V_2 \quad (16)$$

Datorită factorului mare de amplificare, acest circuit are următorul comportament nedorit: când cele două intrări sunt aproximativ egale și supuse zgomotului, la ieșire se pot observa comutări rapide între  $V_+$  și  $V_-$ .

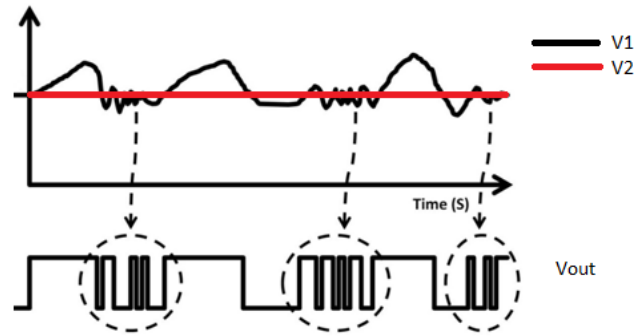


Figura 7: Comutarea ieșirii comparatorului când valorile intrărilor sunt egale și supuse unui zgomot

Pentru a elimina comutările nedorite cauzate de zgomot se utilizează comparatorul cu histerezis (Trigger Schmitt).

### Circuit comparator cu histerezis

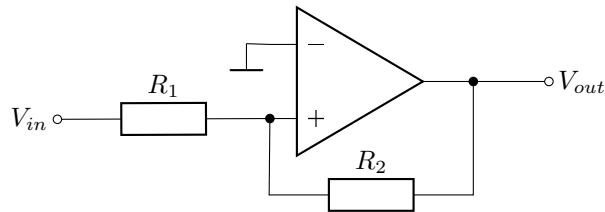


Figura 8: Comparatorul cu histerezis

Circuitele cu histerezis sunt cele care nu depind doar de semnalele de intrare, ci și de stările anterioare.

#### Descrierea circuitului

- Semnalul de intrare se aplică la borna neinvertoare prin rezistența  $R_1$ ;
- Borna inversoare se conectează la masă;
- Se utilizează o conexiune în buclă închisă cu reacție pozitivă.



### Mod de funcționare

Pentru a putea descrie modul de funcționare al comparatorului cu histerezis, la intrarea circuitului se va aplica un semnal sinusoidal ca în Figura 9. Inițial ieșirea circuitului este  $V_-$ . Aceasta comută în  $V_+$  când  $V_{in}$  depășește pragul superior. Pentru a comuta din nou ieșirea în  $V_-$  trebuie ca  $V_{in}$  să aibă o valoare mai mică decât a pragului inferior.

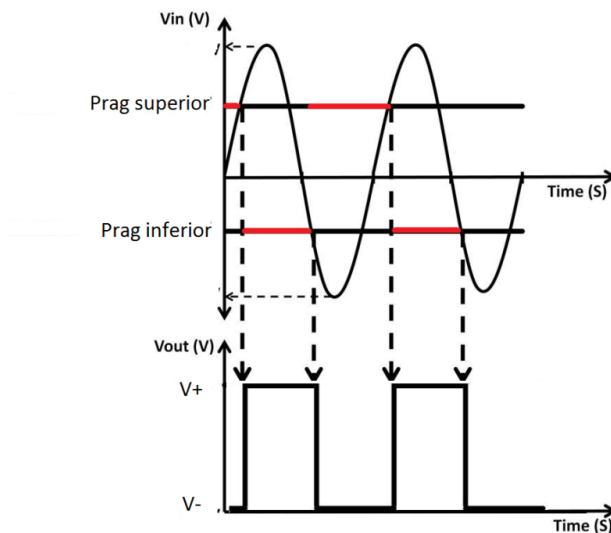


Figura 9: Semnalul de la intrarea comparatorului cu histerezis și ieșirea acestuia

### Circuit integrator

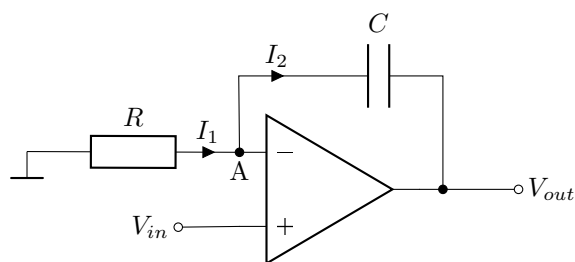


Figura 10: AO integrator

#### Descrierea circuitului:

- Semn Semnalul de intrare se conectaza la borna inversoare (-) prin rezistența  $R$ ;
- Borna neinversoare (+) se conectează la masă;
- Se utilizează o conexiune în buclă închisă cu reacție negativă realizată prin intermediul condensatorului  $C$ .

Formula care descrie, pentru acest circuit, dependența tensiunii de ieșire în funcție de componente și de tensiunea de intrare este:

$$V_{out}(t) = - \int_0^t \frac{V_{in}(t)}{R \cdot C} dt \quad (17)$$

având condiții inițiale nule.

#### Demonstrație:

1. Folosim prima regulă și observăm că tensiunea din borna (-) va fi egală cu tensiunea din borna (+), adică în punctul A valoarea tensiunii va fi 0V;
2. Folosim legea lui Ohm și calculăm curentul prin  $R_{in}$ :

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R} \quad (18)$$

3. În punctul A aplicăm prima lege a lui Kirchhoff și tinându-se cont de a doua regulă obținem egalitatea:

$$I_1 = I_2 \quad (19)$$

4. Condensatorul nu este caracterizat de rezistență, ci de impedanță, care este egală cu:

$$Z_C = \frac{1}{sC} \quad (20)$$

5. Calculăm valoarea căderii de tensiune pe condensator:

$$U_C = I_1 \cdot Z_C \quad (21)$$

și determinăm:

$$V_{out} = -I_1 \cdot Z_C \quad (22)$$

Observație: Funcția de transfer  $\frac{1}{s}$  este transformata Laplace inversă (din domeniul frecvență în domeniul timp) a operației de integrare.

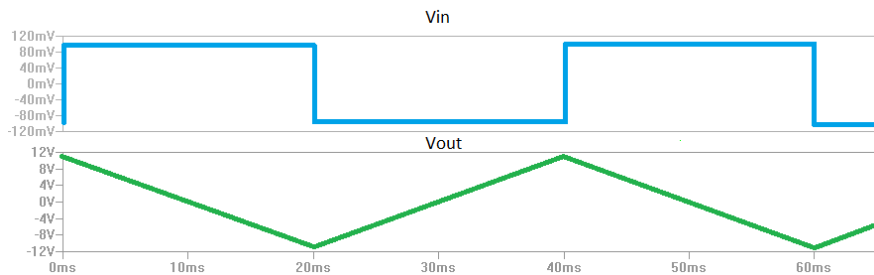


Figura 11: Semnalele de intrare și de ieșire ale circuitului integrator

Observație: Atât semnalul de intrare cât și cel de ieșire sunt caracterizate de aceeași frecvență, dar semnalul de ieșire este defazat cu  $90^\circ$  față de cel de intrare.

Amplitudinea semnalului de ieșire scade o dată cu creșterea frecvenței de intrare. De aceea, circuitul integrator are comportamentul unui filtru trece jos.

Pentru a observa aceste proprietăți puteți realiza diagramele Bode pentru funcția de transfer a circuitului ( $H = \frac{1}{sRC}$ ).

## Amplificatorul diferențial

Amplificatorul diferențial realizat cu AO este reprezentat în figura 12.

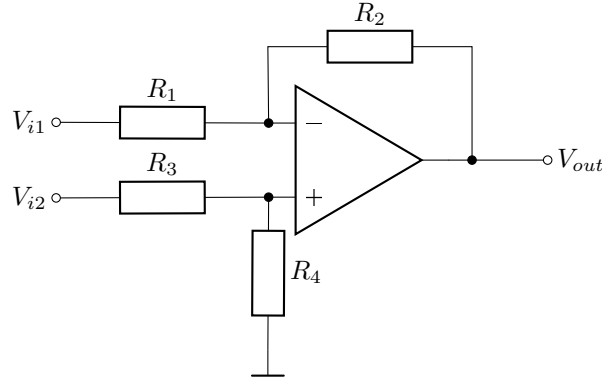


Figura 12: Amplificatorul diferențial

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

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1}V_{i1} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{i2} \quad (23)$$

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

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (24)$$

Astfel, tensiunea de ieșire va fi:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1}(V_{i1} - V_{i2}) \quad (25)$$

Tensiunea de mod comun este rejectată în măsura în care este îndeplinită Ecuația 25.

## Amplificatorul de instrumentație

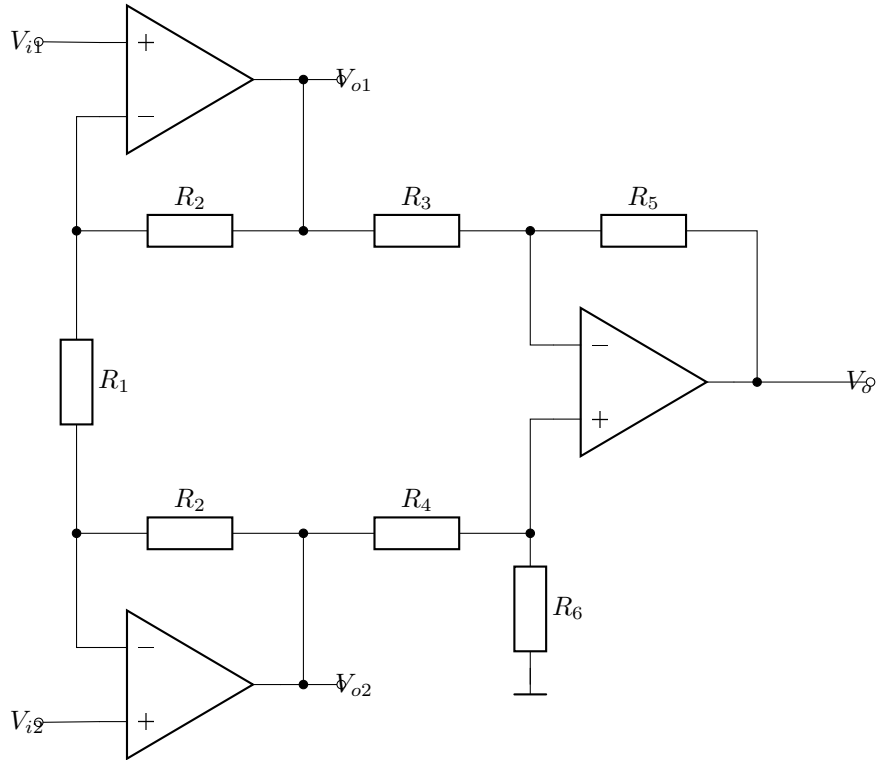


Figura 13: Amplificatorul de instrumentație

Amplificatorul diferențial are impedanța de intrare dată de rezistențele utilizate în circuit, iar în circuitele de achiziții de date (plăci de sunet, aparate de EKG, EEG, etc.) impedanța de intrare în amplificator trebuie să fie cât mai mare posibil. În practică, în locurile unde este necesară o impedanță de intrare mărită se utilizează o structură cu trei amplificatoare operaționale, cu două etaje de amplificare. Primul etaj (numit și etajul de amplificare) amplifică ambele semnale (și modul lor comun), dar asigură o impedanță de intrare foarte mare, iar ieșirile din primul etaj sunt introduse într-un etaj de amplificator diferențial care are rolul de eliminare a modului comun și eventual de amplificare suplimentară a semnalului. Această structură se numește structură de amplificator de instrumentație. Amplificatoarele de instrumentație au componente simetrice ( $R_4 = R_3$ ,  $R_5 = R_6$ ) în etajul de amplificator diferențial.

$$V_o = \left( \frac{R_5}{R_3} \right) \left( \frac{R_1 + 2R_2}{R_1} \right) (V_{i2} - V_{i1}) \quad (26)$$

### 2.1 Amplificatorul de transimpedanță

Amplificatorul de transimpedanță este un montaj de convertor curent-tensiune realizat adesea cu amplificatoare operaționale. El este utilizat pentru conversia curentului în tensiune pentru dispozitivele care au răspuns liniar în curent, dar

nu și în tensiune. Exemplu de astfel de dispozitive sunt detectoarele Geiger-Muller, fotodiodele, etc.

De exemplu, fotodiodele sunt utilizate la polarizare inversă, curentul de saturație fiind direct proporțional cu iluminarea.

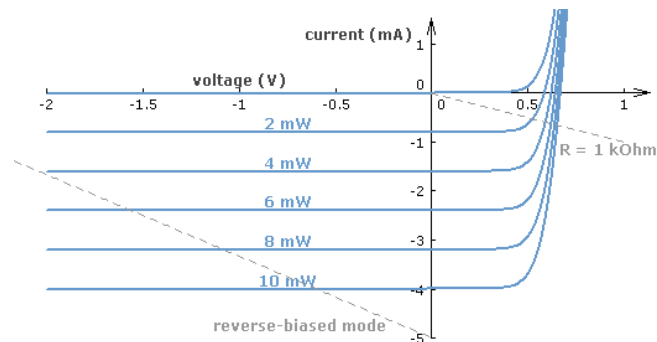


Figura 14

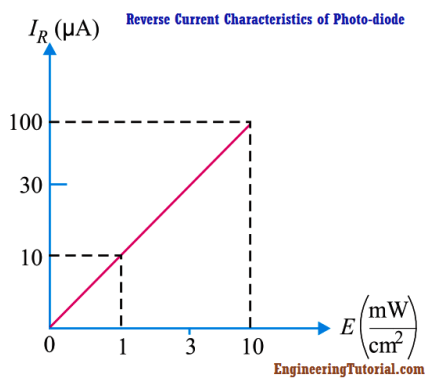


Figura 15

Montajul pentru conversia curentului de saturație (la polarizare inversă) în tensiune este realizat conform schemei următoare:

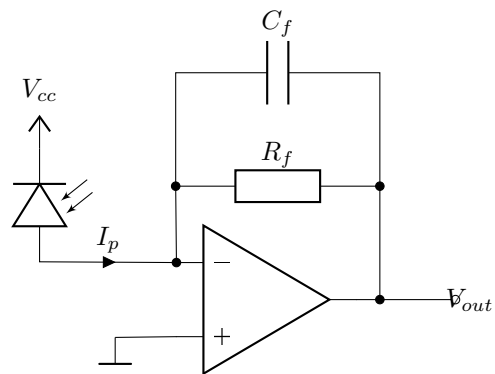


Figura 16

Ieșirea montajului este în tensiune și are următoarea formulă:

$$V_i = -I_p R_f \quad (27)$$

Unde  $I_p$  este curentul la polarizare inversă a fotodiodei, măsurat la tensiunea de polarizare  $V_b$ .

### 3 Desfășurarea lucrării

În cadrul lucrării curente, se dorește realizarea conexiunilor cu amplificatoare operaționale prezentate în partea teoretică a îndrumarului.

În Figura 17 este prezentat circuitul operațional TL072 pe care îl veți utiliza în cadrul acestui laborator. TL072 este un circuit integrat ce conține două amplificatoare operaționale independente. Datasheet-ul poate fi consultat la adresa următoare: Datasheet Texas Instruments TL072

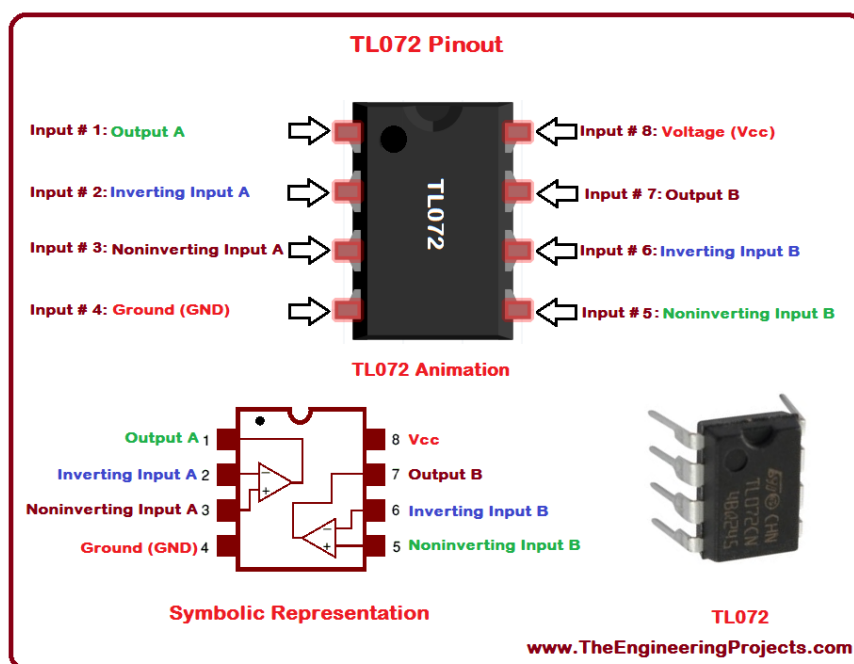
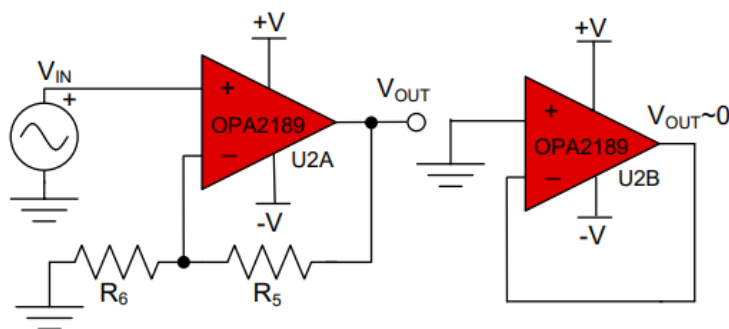


Figura 17

Alimentați montajul de laborator cu +12V la  $V_{cc}$  (față de GND) și -12V la  $V_{ee}$  (față de GND) ( $V_{cc}$  reprezintă alimentarea pozitivă, notată cu  $V_+$  în secțiunea de teorie a lucrării curente, iar  $V_{ee}$  reprezintă alimentarea negativă, notată cu  $V_-$ ).

Pentru montajele pe care trebuie să le realizați, alegeți unul dintre cele două amplificatoare operaționale interne pe care îl veți configura, cu componente externe, conform cerințelor. Pentru amplificatorul operațional **neutilizat** conectați-l conform recomandărilor din datasheet sau conform recomandărilor standard (Vezi Figura 18).



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

## Proper Implementation of Unused Op Amps - Split Supply Rail

Figura 18

Partea din stânga (U2A) reprezintă AO-ul intern **utilizat** iar partea din dreapta reprezintă AO-ul **neutilizat** și modul corect de conectare al acestuia. În cazul circuitelor integrate care conțin mai multe AO-uri interne nu se recomandă lăsarea "în aer" a intrărilor (intrările neconectate).

### 3.1 Circuit inversor

Observați comportarea în practică a AO inversor și să o comparați cu cea teoretică.

Realizați montajul din Figura 19. Aplicați semnal la borna inversoare  $R_{1-}$ , măsurați-l cu sonda A de la osciloscop și măsurați ieșirea circuitului la borna OUT cu sonda B a osciloscopului. Utilizați rezistențe cu valori cuprinse în intervalul recomandat în schemă.

- Reglați generatorul de semnal astfel încât semnalul de la ieșirea lui să genereze un semnal sinusoidal de frecvență cuprinsă **între 500Hz și 1kHz**, de **amplitudine vârf la vârf de  $0.2V_{pp}$** . Calculați valoarea amplificării de tensiune,  $A_u$ . Verificați respectarea Ecuației 5.
- Reglați amplitudinea generatorului de semnal la  $5V_{pp}$ . Ce observați referitor la semnalul de ieșire? De ce apare acest comportament?



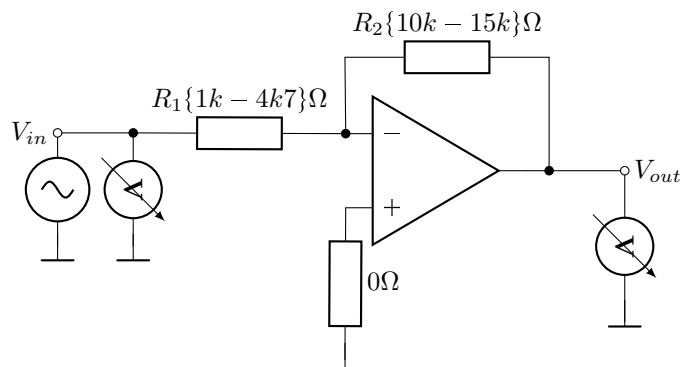


Figura 19: Amplificatorul inversor

Realizați circuitul în zona dedicată studiului AO-urilor (blocul din stânga-jos al platformei de laborator). Implementați circuitul folosind componentele disponibile.

Reglați generatorul de semnal astfel încât semnalul de la ieșirea lui să genereze un semnal sinusoidal de frecvență cuprinsă **între 500Hz și 1kHz**, de **amplitudine vârf la vârf de  $0.2V_{pp}$** .

### 3.2 Circuit neinversor

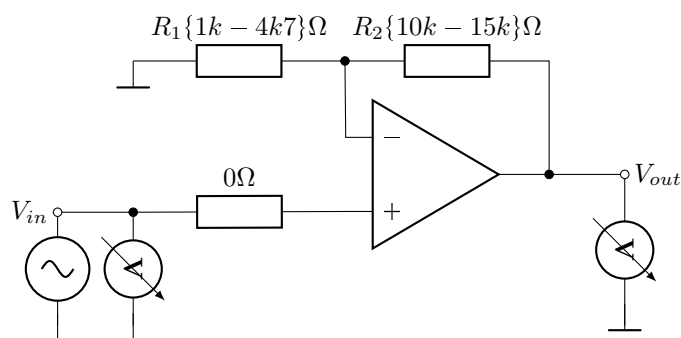


Figura 20: Amplificatorul neinversor

Trebuie să observați comportarea în practică a AO neinversor și să o comparați cu cea teoretică.

Realizați montajul din Figura 20. Aplicați semnal la borna neinversoare  $R_{1+}$ , măsurați-l cu sonda A de la osciloscop și măsurați ieșirea circuitului la borna OUT cu sonda B a osciloscopului.

Calculați valoarea amplificării de tensiune,  $A_u$ . Verificați respectarea Ecuației 10.

### 3.3 Circuit repetor

Plecând de la circuitul amplificatorului neinversor, eliminați în totalitate rezistența  $R_1$  (către masă) și înlocuiți rezistența din reacție cu un fir.

Aplicați semnal la intrarea neinvertoare a amplificatorului și măsurați amplitudinea semnalului de ieșire. Adăugați pe ieșire o sarcină de 200 de ohmi. Se modifică amplitudinea semnalului? De unde este redirectionată energia electrică ce ajunge în sarcină?

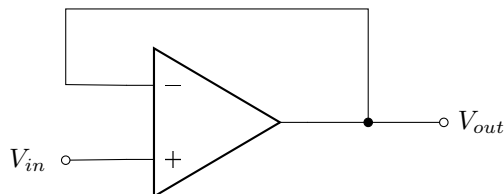


Figura 21

Calculați amplificarea  $A_u$ . Ce valoare obțineți?

Realizați circuitul în zona dedicată studiului AO-urilor (blocul din stânga-jos al platformei de laborator). Implementați circuitul folosind componentele disponibile.

### 3.4 Circuit comparator

Trebuie să observați comportarea în practică a comparatorului și să o comparați cu cea teoretică. Realizați circuitul comparator cu tensiunea de comparat de 0V.

1. Realizați comparatorul simplu, unde una dintre tensiuni este aplicată de la generatorul de semnal și una (tensiunea de prag) este fixată la 0V (puteți experimenta și cu altă tensiune generată de sursa de tensiune dacă mai aveți o ieșire la dispoziție).

Observați și descrieți comportamentul circuitului.

2. Modificați schema astfel încât un LED (însărit cu o rezistență de 1k) să lumineze în momentul în care tensiunea de comparat este pozitivă (sau mai mare decât o limită stabilită din exterior).