

**Scopul lucrării:** determinarea parametrilor principali ai unui amplificator opera ional.

## Cuprins

- I. No iuni introductive
- II. Analiza amplificatorului opera ional în bucl deschis
- III. Analiza amplificatorului opera ional în bucl închis

### I. No iuni introductive

Amplificatoarele opera ionale, prescurtat AO, sunt circuite integrate, a c ror simbol electronic este prezentat în Figura 1.

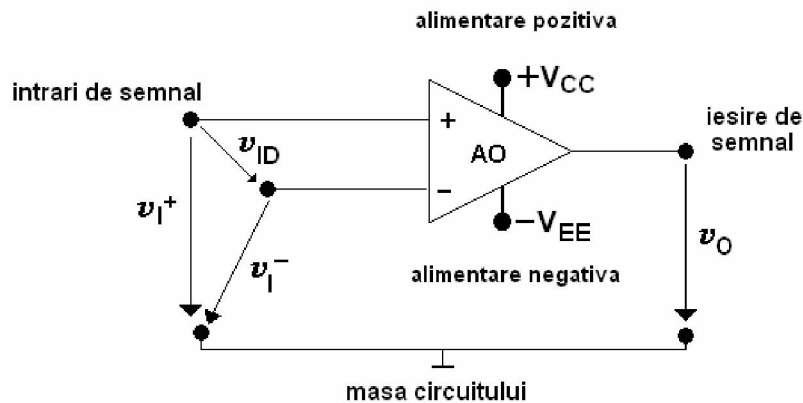


Figura 1. Simbolul amplificatorului opera ional și m rimile electrice de la terminale.

Amplificatorul opera ional are două intrări de semnal, care se numesc intrarea neinversoare (notat pe simbolul electronic cu +), respectiv intrarea inversoare (notat pe simbolul electronic cu -). Pe aceste intrări se aplică tensiunile de intrare, notate în figură cu  $v_I^+$ , respectiv  $v_I^-$ , care reprezintă informația ce urmează să fie prelucrată de către amplificatorul opera ional. Diferența dintre cele 2 tensiuni de intrare se numește tensiune de intrare diferențială și este notată în figură cu  $v_{ID}$ .

Amplificatorul opera ional are o singură ieșire de semnal, de la care se preia tensiunea de ieșire notată  $v_O$ , care reprezintă rezultatul prelucrării informației de către amplificatorul opera ional.

Raportul dintre tensiunea de ieșire  $v_O$  și tensiunea de intrare diferențială  $v_{ID}$  se numește amplificare în tensiune și se notează cu  $a_V$ :

$$a_V = \frac{v_O}{v_{ID}} \quad 1$$

Un amplificator opera ional are o amplificare în tensiune foarte mare, de exemplu, pentru amplificatorul opera ional **LM741**, valoarea acesteia este de aproximativ **100000**:

$$a_V \cong 100000$$

Pentru ca amplificatorul opera ional s fie capabil s prelucreze informa ia, acesta trebuie alimentat de la cel pu in o surs de tensiune continu . În general, multe amplificatoare opera ionale necesit pentru alimentare dou surse de tensiune continu . Aceste tensiuni se aplic pe cele dou borne de alimentare, notate  $+V_{CC}$  i  $-V_{EE}$ , pe care se aplic o tensiune pozitiv , respectiv o tensiune negativ , ambele tensiuni fiind raportate fa de un poten ial de referin de valoare  $0[V]$ , care constituie masa schemei electronice.

## II. Analiza amplificatorului opera ional în bucl deschis

În cazul în care amplificatorul opera ional nu are nici o bucl de reac ie pentru semnal (ceea ce înseamn c ie irea sa nu este conectat la nici una din cele dou intr ri ale sale), se spune c acesta func ioneaz în bucl deschis . Deoarece amplificarea în tensiune a amplificatorului opera ional este foarte mare, chiar i pentru valori foarte mici ale tensiunii de intrare diferen iale  $v_{ID}$ , pentru tensiunea de ie ire  $v_O$  rezult o valoare foarte mare.

De exemplu, dac  $v_{ID}=1[mV]$ , atunci, conform rela iei de defini ie a amplific rii în tensiune a amplificatorului opera ional,  $v_O=1[mV] \cdot 100000=1000[V]$ . Îns , în circuitele practice, tensiunea de ie ire  $v_O$  nu poate atinge o valoare atât de mare ci se constat c aceasta se limiteaz întotdeauna la o valoare maxim , pozitiv sau negativ , în func ie de semnul tensiunii de intrare diferen iale  $v_{ID}$ . Fenomenul de limitare a tensiunii de ie ire la o anumit valoare maxim poart denumirea de **satura ie a amplificatorului opera ional**, iar tensiunile la care valoarea lui  $v_O$  se limiteaz se numesc **tensiuni de satura ie**. Valorile tensiunilor de satura ie depind de valorile tensiunilor de alimentare i se determin cu rela iile:

$$\begin{aligned} V_{SAT}^+ &\cong V_{CC} - 1[V] \\ V_{SAT}^- &\cong -V_{EE} + 1[V] \end{aligned} \quad 2$$

unde  $V_{SAT}^+$  se nume te tensiune de satura ie pozitiv , iar  $V_{SAT}^-$  se nume te tensiune de satura ie negativ .

Datorit intr rii în satura ie a amplificatorului opera ional, acesta genereaz o tensiune de ie ire care poate lua doar 2 valori distincte i din acest motiv, amplificatorul opera ional distorsioneaz semnalele aplicate pe intr rile sale (le modific forma de und la ie ire). **III.**

### III. Analiza amplificatorului opera ional în bucl închis , în condi ii de semnal mare

În cazul în care amplificatorul opera ional are o bucl de reac ie pentru semnal (ie irea sa este conectat la una sau la ambele intr ri ale sale), se spune c acesta func ioneaz în bucl închis . Datorit limit rilor generate de structura sa intern , valoarea tensiunii  $v_O$  de la ie irea unui amplificator opera ional nu poate varia instantaneu între dou valori extreme, care definesc un interval de valori  $\Delta v_O$ . Varia ia tensiunii de ie ire în intervalul de valori  $\Delta v_O$  se poate realiza într-un interval de timp diferit de zero, notat  $\Delta t$ .

Dac intervalul de varia ie a tensiunii de ie ire  $\Delta v_O$  este mare (uzual, mai mare decât  $1[V]$ ), caz în care se spune c amplificatorul opera ional func ioneaz în regim de semnal mare, datorit faptului c intervalul de timp  $\Delta t \neq 0$ , forma de und a tensiunii de ie ire a amplificatorului opera ional poate rezulta distorsionat .

De exemplu, în cazul în care forma de und a tensiunii de ie ire  $v_O$  ar trebui s fie dreptunghiular , amplificatorul opera ional ar trebui s fie capabil s genereze la ie irea sa o tensiune care s treac instantaneu de la valoarea maxim la cea minim ( i invers), adic într-un interval de timp  $\Delta t = 0$ . Dar, în realitate, tensiunea de la ie irea amplificatorului opera ional trece de la valoarea maxim la cea minim ( i invers) într-un interval de timp finit  $\Delta t \neq 0$  i din acest motiv, forma de und a tensiunii de ie ire  $v_O$  rezult trapezoidal , nu dreptunghiular . Astfel, la ie irea amplificatorului opera ional, forma de und a tensiunii rezult distorsionat .

Acest fenomen constituie a doua cauz a apari iei distorsiunilor la ie irea unui amplificator opera ional i este specific cazurilor în care acesta func ioneaz în regim variabil de semnal mare; pentru cazul în care amplificatorul opera ional func ioneaz în regim variabil de semnal mic, fenomenul este neglijabil.

Pentru caracterizarea func ion rii unui amplificator opera ional în regim variabil de semnal mare, comportamentul acestuia este estimat prin intermediul unui parametru de func ionare denumit **Slew Rate**, prescurtat **SR**. Parametrul **SR** furnizeaz informa ii despre cât de repede se poate modifica valoarea tensiunii la ie irea unui amplificator opera ional într-un interval de timp finit i se determin pe baza rela iei:

$$SR = \frac{\Delta v_O}{\Delta t} \left[ \frac{\text{volt}}{\text{micro secunda}} \right] \quad 3$$

Un amplificator opera ional func ioneaz în regim variabil de semnal mare cu atât mai bine cu cât parametrul **SR** specific acestuia este mai mare.

În condi iile în care se impune, pentru tensiunea de ie ire o varia ie de valoare  $\Delta v_O$ , forma de und a acesteia se men ine nedistorsionat pân la o valoare maxim a frecven ei tensiunii de intrare  $v_I$ , notat  $f_{MAX}$ . Valoarea acestei frecven e se determin cu formula:

$$f_{MAX} = \frac{SR}{6,28 \cdot \Delta v_O} [MHz] \quad 4$$

Dac frecven a  $f$  de lucru a amplificatorului (care este egal cu frecven a semnalului de intrare) este mai mic decât valoarea  $f_{MAX}$ , atunci, chiar dac varia ia valorii tensiunii de ie ire trebuie s fie egal cu  $\Delta v_O$  (cea utilizat în formula de mai sus), forma de und a acestei tensiuni nu rezult distorsionat .

#### IV. M surarea practic a parametrilor amplificatorului opera ional

##### Vizualizarea distorsiunilor introduse de amplificatorul opera ional; m surarea valorii tensiunilor de satura ie.

Pentru vizualizarea distorsiunilor introduse de c tre amplificatorul opera ional în forma de und a tensiunii de ie ire, se vor parcurge etapele enumerate mai jos, în ordinea specificat .

1. Se verific dac sursa de alimentare este decuplat (ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului trebuie s fie stins); dac sursa de alimentare nu este decuplat , atunci se va ap sa butonul **OUTPUT** de pe panoul frontal al sursei de alimentare, pentru decuplarea acesteia (se observ stingerea ledului **ON**).
2. Se regleaz de la generatorul de semnal o tensiune sinusoidal  $v_I$  de amplitudine  $V_I=1[V]$  i frecven  $f=1[kHz]$ .
3. Se realizeaz circuitul din Figura 2, care utilizeaz un amplificator opera ional de tipul **LM741**, furnizat sub forma unui circuit integrat pe o capsul de 8 pini. Pentru alimentarea corect a amplificatorului opera ional, este necesar utilizarea unei **aliment ri diferen iale**. Circuitul din Figura 2 se realizeaz astfel:

- pinul **2** al circuitului integrat se conecteaz la masa circuitului, prin intermediul unui fir de conexiune;
- la pinul **3** se conecteaz rezistorul **R1**;
- firul de semnal al cablului conectat la generatorul de semnal se conecteaz la terminalul stâng al rezistorului **R1**, iar firul de mas al cablului respectiv se va conecta la masa circuitului;

- la pinul **6** se conecteaz rezistorul **R2**; terminalul de jos al lui **R2** se va conecta la masa circuitului.
- se conecteaz firele de alimentare la circuit, iar ambele surse de tensiune continu utilizate pentru alimentarea montajului se regleaz la valoarea de **15[V]**; pentru ob inerea unei aliment ri diferen iale se vor folosi dou surse de tensiune continu (cele dou surse reglabile, furnizate de sursa de alimentare), care se vor conecta în serie, a a cum este indicat în Figura 3:
  - firul comun al bornei + a primei surse de tensiune continu i al bornei - a celei de-a doua surse de tensiune continu , reprezint firul de mas al circuitului;
  - firul care este conectat la borna - a primei surse de tensiune continu furnizeaz amplificatorului opera ional tensiunea de alimentare negativ  $-V_{EE}$ ;
  - firul care este conectat la borna + a celei de-a doua surse de tensiune continu furnizeaz amplificatorului opera ional tensiunea de alimentare pozitiv  $+V_{CC}$ .

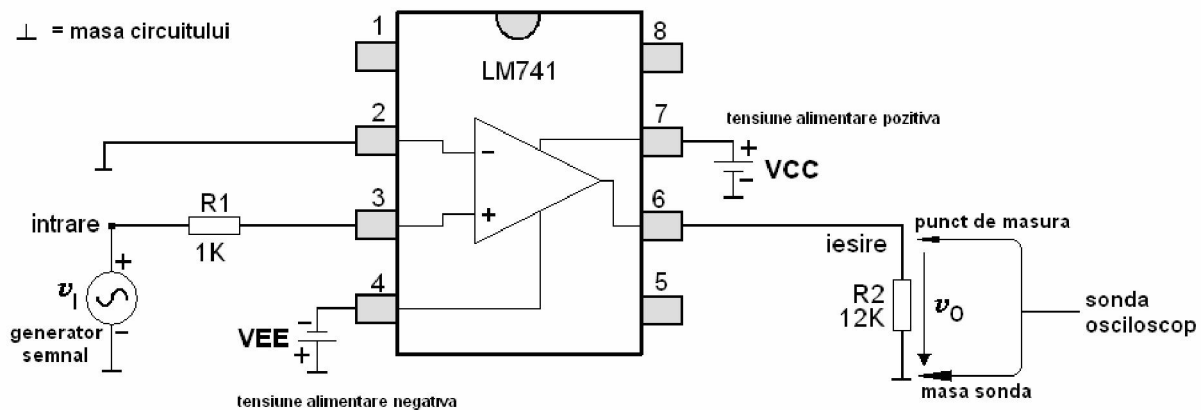


Figura 2. Circuitul pentru m surarea tensiunilor de saturatie.

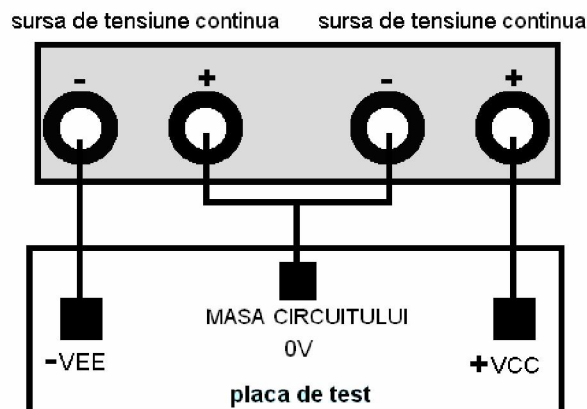


Figura 3. Alimentarea diferen ial a amplificatorului opera ional.

**4. Se anunță cadrul didactic, pentru verificarea circuitului;**

5. Se cuplează sursa de alimentare la montaj, prin apăsarea butonului **OUTPUT** de pe panoul frontal al acesteia (ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului se aprinde);

6. Se vizualizează pe ecranul osciloscopului, prin intermediul sondei de măsură aplicate în circuit conform indicațiilor din figura 2 (masa sondei la masa circuitului și firul cald al sondei la terminalul superior al rezistorului **R2**), tensiunea la ieșire  $v_O$ . Datorită limitării tensiunii  $v_O$  la cele 2 valori posibile, care reprezintă tensiunile de saturație ale amplificatorului operațional, forma de undă a tensiunii  $v_O$  va rezulta distorsionată (modificată față de forma de undă a tensiunii de intrare  $v_I$ ;  $v_I$  este sinusoidal, iar  $v_O$  rezultat dreptunghiular). Trebuie reținut că un amplificator nu trebuie să distorsioneze formele de undă ale semnalelor aplicate la intrarea sa.

7. Pe forma de undă a tensiunii vizualizate pe ecranul osciloscopului, se măsoară valoarea tensiunii de saturație pozitivă  $V_{SAT}^+$ , respectiv valoarea tensiunii de saturație negativă  $V_{SAT}^-$ , în modul următor:

- mai întâi, prin apăsarea comutatorului **GD** de pe panoul frontal al osciloscopului, (situat lângă mufa la care este conectată sonda de măsură), se fixează pe ecranul osciloscopului, acționând potențiometrul **Y-POS1**, nivelul de 0 volți, pe mijlocul ecranului (în acest moment, pe ecran se va vedea o linie continuă);
- se eliberează comutatorul **GD**; în acest moment, pe ecran apare afișată forma de undă dreptunghiulară a tensiunii de ieșire  $v_O$ ;
- valoarea tensiunii  $V_{SAT}^+$  se determină astfel: se măsoară pe ecranul osciloscopului intervalul dintre valoarea maximă a tensiunii de ieșire și nivelul de 0 volți; valoarea astfel măsurată reprezintă valoarea  $V_{SAT}^+$ .
- valoarea tensiunii  $V_{SAT}^-$  se determină astfel: se măsoară pe ecranul osciloscopului intervalul dintre valoarea minimă a tensiunii de ieșire și nivelul de 0 volți; valoarea astfel măsurată reprezintă valoarea  $V_{SAT}^-$  (valoarea măsurată este negativă).
- rezultatele obținute se completează în Tabelul 1.

8. Se decuplează sursa de alimentare prin apăsarea butonului **OUTPUT** de pe panoul frontal al acesteia (ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului se stinge).

### Determinarea prin m sur tori a parametrului SR

Pentru determinarea parametrului Slew Rate al amplificatorului opera ional se parcurg urm toarele etape:

1. Se realizeaz circuitul practic din Figura 4 (tensiunile de alimentare se p streaz la valorile de la circuitul precedent); acest circuit se nume te “repetor de tensiune” deoarece furnizeaz la ie ire o tensiune  $v_O$  identic cu tensiunea de intrare  $v_I$ ;

2. La intrarea circuitului, se introduce, de la generatorul de semnal, o tensiune sinusoidal de frecven  $f=50[\text{kHz}]$  i amplitudine egal cu valoarea maxim care se poate ob ine de la generatorul de semnal (se va regla poten iometrul **AMPLITUDE** al generatorului de semnal pe pozi ia maxim i se va verifica ca butoanele din sec iunea **ATENUATOR**, inscrip ionat pe panoul frontal al generatorului de semnal, s nu fie ap sate);

3. Dup realizarea circuitului se va anun a cadrul didactic pentru verificarea acestuia;

4. Se cupleaz sursa de alimentare la montaj, prin ap sarea butonul **OUTPUT** de pe panoul frontal al acesteia (ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului se aprinde);

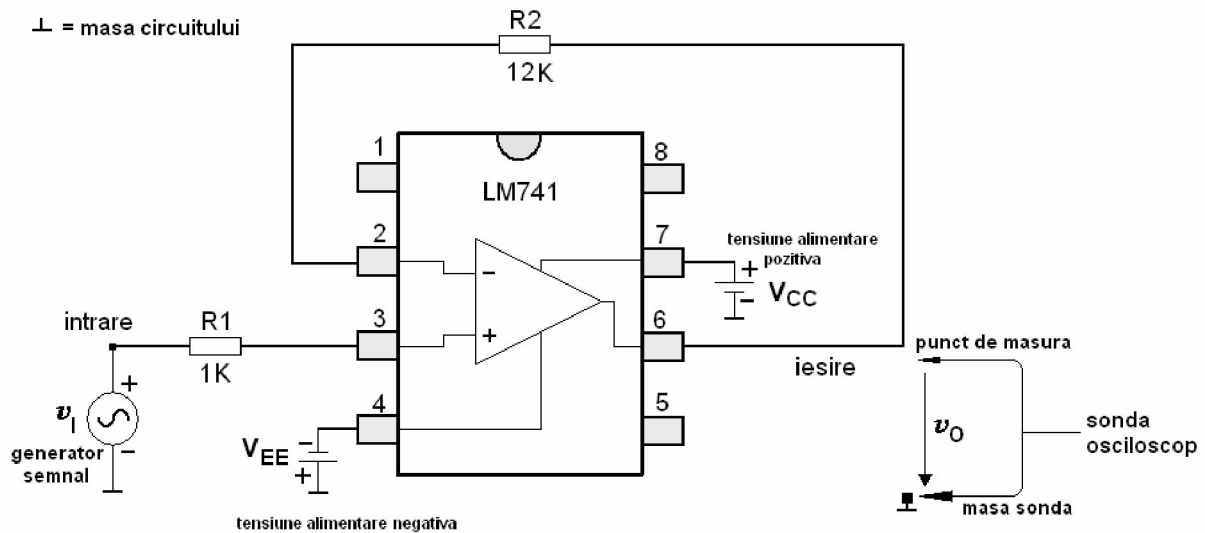
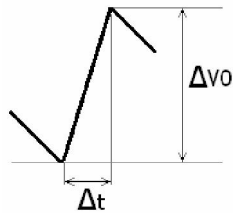


Figura 4. Circuitul pentru determinarea parametrului SR.

5. Se vizualizeaz pe ecranul osciloscopului, cu ajutorul sondei de m sur aplicate în circuit conform indica iilor din Figura 4, tensiunea de la ie irea circuitului  $v_O$ . Pe forma de und vizualizat se va observa distorsionarea semnalului de ie ire (nu mai este sinusoidal, tinde spre o form triunghiular ), cauzat de viteza redus a amplificatorului opera ional, care-l face incapabil pe acesta s genereze la ie irea sa o tensiune suficient de rapid , astfel încât s urm reasc forma de und ideal a semnalului, care ar trebui s fie sinusoidal ; în cazul în

care semnalul de ie ire nu este distorsionat, se va cre te progresiv frecven a semnalului de intrare pân când se va observa distorsionarea formei de und a tensiunii de ie ire.

6. Pe forma de und distorsionat , vizualizat pe ecranul osciloscopului, se m soar pe vertical varia ia maxim a tensiunii de ie ire, adic valoarea  $\Delta v_O$ . Totodat , se m soar pe orizontal intervalul de timp în care este realizat varia ia de tensiune  $\Delta v_O$ , adic valoarea  $\Delta t$  (vezi figura de mai jos pentru identificarea corect a celor dou intervale de varia ie care trebuie m surate). Apoi, se calculeaz cu formula 3 parametrul **SR**, iar rezultatul se va trece în Tabelul 1.



7. Se calculeaz cu formula 4 frecven a maxim  $f_{MAX}$  a amplificatorului opera ional, apoi se mic oreaz de la generatorul de semnal frecven a semnalului de intrare  $v_I$  sub valoarea  $f_{MAX}$  calculat i se verific dispari ia distorsiunilor. Valoarea calculat pentru frecven a  $f_{MAX}$  se trece în Tabelul 1.

## V. Determinarea prin simulare în ORCAD a caracteristicii de func ionare a amplificatorului opera ional

Pentru determinarea caracteristicii de func ionare a amplificatorului opera ional se va utiliza pachetul software de proiectare a sistemelor electronice Orcad.

1. Se editeaz circuitul din Figura 5, în care toate sursele de tensiune sunt de tipul **VDC**, iar modelul amplificatorului opera ional este **uA741** din libr ria **opamp**. Sursa de tensiune  $v_I$  se seteaz la valoarea **0[V]**, iar sursele de alimentare **VCC** i **VEE** la valorile indicate pe circuit.
2. Pentru simularea circuitului se selecteaz analiza **DC Sweep**, care permite ob inerea varia iei unei m rimi electrice, în func ie de alt m rime electric din circuit. Setarea parametrilor analizei **DC Sweep** se realizeaz parcurgând etapele:

- a. în câmpul **Sweep variable** se specific m rimea electric care urmeaz a fi variat . Pentru circuitul simulat, m rimea variat este tensiunea de intrare  $v_I$ ;
- b. se bifeaz op iunea **Voltage source**;
- c. în câmpul **Name** se precizeaz numele pentru tensiunea  $v_I$ , a a cum este furnizat de c tre instrumentul software în circuitul editat.



d. în secțiunea **Sweep type** se precizează modul în care se variază mărimea selectată în câmpul **Name**. În cazul acestui circuit, mărimea electrică selectată se va varia liniar, în intervalul de valori  $VEE \div VCC$ , cu un pas de **0.01[V]**. Aceste date se introduc astfel:

**d.1** se bifează opțiunea **Linear**,

**d.2** în câmpul **Start Value** se trece valoarea lui **VEE** (valoare negativă),

**d.3** în câmpul **End Value** se introduce valoarea **VCC**,

**d.4** în câmpul **Increment** se introduce **0.01[V]**.

**3.** După introducerea acestor date, se va tasta comanda **OK**.

**4.** Pentru vizualizarea graficului se va selecta din bara de instrumente sonda pentru tensiuni și se va plasa pe nodul la care este conectat ieșirea AO-ului. După simularea circuitului, graficul afișat reprezintă caracteristica de transfer a AO-ului. Pe această caracteristică, cu ajutorul cursorului se măsoară valoarea celor 2 tensiuni de saturație precum și amplificarea în tensiune a AO-ului. Amplificarea în tensiune a AO-ului se calculează cu formula

$$A_{V\_AO} = \frac{\Delta v_O}{\Delta v_I} = \frac{v_{O1} - v_{O2}}{v_{I1} - v_{I2}}$$

determinat în regiunea liniară a caracteristicii, unde  $(v_{I1}, v_{O1})$  reprezintă coordonatele unui punct de pe caracteristică, iar  $(v_{I2}, v_{O2})$  reprezintă coordonatele altui punct de pe caracteristică. Pentru obținerea unor rezultate corecte, cele 2 puncte alese se vor considera ca fiind în jurul originii graficului. Rezultatele obținute după măsurători se trec în Tabelul 1.

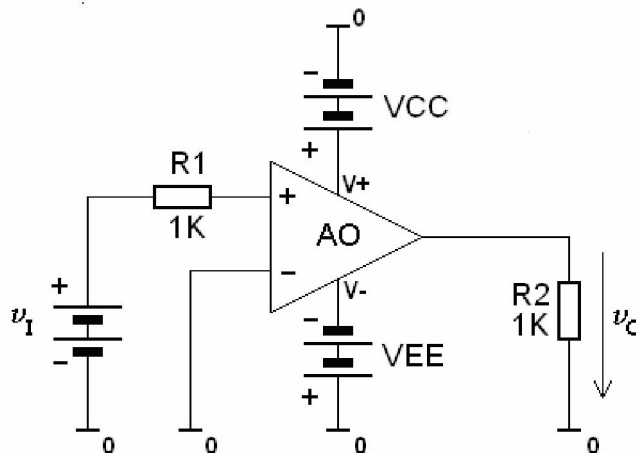


Figura 5. Circuitul simulat pentru obținerea caracteristicii de transfer a AO-ului.



**Nume, Prenume, Grupa:**

<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>
-----------	-----------	-----------

**Tabelul 1.**

$V_{SAT}^+$	$V_{SAT}^-$	$\Delta v_o$	$\Delta t$	<b>SR</b>	$f_{MAX}$	$A_{V\_AO}$ ORCAD

**R spunde i la întreb ri**

1. Ce reprezinta fenomenul de saturatie la un amplificator opera ional.
2. Care este cauza intr rii în saturatie a amplificatorului opera ional?
3. Care este efectul intr rii în saturatie a amplificatorului opera ional, asupra formei de und a tensiunii de ie ire, dac tensiunea de intrare este sinusoidal ?
4. Care este cauza apari iei distorsiunilor în cazul în care amplificatorul opera ional func ioneaz în regim variabil de semnal mare?
5. Un amplificator opera ional func ioneaz în regim variabil de semnal mare. Cum pot fi evitate distorsiunile în cazul în care acesta are un parametru **SR**=0,5[vol i/microsecund ], dac tensiunea de la ie ire necesit o varia ie maxim  $\Delta v_o=10[V]$ .

**R spus**