**Lucrarea nr. 4**

**Studiul prin simulare SPICE a circuitelor realizate cu AO ideal și a circuitelor realizate cu AO având reacție negativă rezistivă**

# **L4A. Studiul circuitelor realizate cu AO ideal**

# **Scopurile lucrării:**

Se studiază:

* Cum acționează AO;
* Amplificatorul sumator;
* Amplificatorul de diferență;
* Diferențiatorul;
* Integratorul;
* Convertorul de rezistență negativă.

# **Consideraţii teoretice**

Atunci când AO este cu reacție negativă, în limita *a*→∞ (AO ideal) tensiunea sa de intrare se apropie de zero

 (1)

Atunci când are reacție negativă, AO ideal va avea la ieșire orice valoare de tensiune și curent este nevoie pentru a aduce *vD* la zero sau, exprimare echivalentă, pentru a forța *vN* să urmărească *vP*, dar fără a conduce niciun curent prin oricare dintre terminalele de intrare.

 **Amplificatorul sumator** are două sau mai multe intrări și o ieșire. În fig. 1 este prezentat un sumator cu 3 intrări.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig. 1.** *Sumator cu 3 intrări* |

 **Amplificatorul de diferență** are o ieșire și două intrări, una dintre ele fiind aplicată spre intrarea inversoare, cealaltă spre intrarea neinversoare. Putem găsi *vO* aplicând superpoziția: *vO*=*vO*1+*vO*2, unde *vO*1 este valoarea lui *vO* pentru *v*2=0, iar *vO*2 cea pentru *v*1=0.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig. 2.** *Amplificatorul de diferență* |

 **Diferențiatorul** produce o ieșire proporțională cu derivata în timp a intrării. Circuitul are structura din fig. 3.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig. 3.** *Diferențiatorul* |

 **Integratorul** are ieșirea este proporțională cu integrala în timp a intrării (fig. 4)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig. 4.** *Integratorul* |

 **Convertorul de rezistență negativă** (fig. 5) reprezintă o altă aplicație importantă a AO, în afară de procesarea semnalului, și anume transformarea de impedanță.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig. 5.** *Convertorul de rezistență negativă* |

Semnificația semnului minus este următoarea: curentul intră, de fapt, în terminalul pozitiv al sursei de testare *v*, ceea ce face ca sursa să absoarbă putere. În consecință, o rezistență negativă eliberează putere.

# **Desfăşurarea lucrării L4A**

## **Cum acționează AO**

Schema circuitului are forma din fig. 6. În schema din fig. 6, *a*, cu ajutorul rezistenței *R*4=1000TΩ s-a modelat situația de circuit în gol, adică nimic conectat între borna **v3a** și masă. Dar cum datorită regulilor din SPICE, capătul din dreapta al rezistenței *R*2*a* nu putea rămâne fără să fie conectat ceva, s-a introdus *R*4 de valoare foarte mare.



**Fig. 6.** *Circuitul utilizat pentru analiza modului în care acționează AO*

1. se efectuează o analiză în timp *Time Domain (Transient)* cu parametrii impliciți oferiți de program;
2. se rulează PSpice după care se activează butoanele *Enable* *Bias Voltage Display* și *Enable Bias Current Display* și se rearanjează ferestrele corespunzătoare cu valorile obținute pentru o mai bună vizibilitate;
3. se copiază schema cu valorile de potențiale și curenți din *Capture* și se aduce în documentul *Word*;

*(aici se pune schema cu valorile de potențiale și curenți)*

* valorile se trec în **tabelul 1**.

**Tabelul 1.** *Valorile potențialelor și ale curenților din fiecare circuit*

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig. 6, *a*** | **Fig. 6, *b*** |
| V1a [V] | V2a [V] | V3a [V] | I [mA] | V1b [V] | V2b [V] | V3b [V] | I [mA] |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

**Concluzie:** când AO este introdus în circuit, acesta modifică *V*3 de la 6V la -6V, deoarece aceasta este tensiunea care face ca *V*2=*V*1. În consecință, *V*1 este schimbat de la 0V la -2V, iar *V*2 de la 6 V la -2V. AO absoarbe un curent de 0,2 mA prin terminalul său de ieșire, dar fără a conduce curent prin nicio intrare.

## **Sumatorul ca circuit de introducere a unui offest controlat**

Un amplificator cu offset poate fi implementat cu un amplificator de sumare în care una dintre intrări este *Vi*, iar cealaltă este fie V+, fie V-, tensiunile de alimentare stabilizate utilizate pentru alimentarea AO. (fig. 7).



**Fig. 7.** *Circuitul pentru introducerea unui offset controlat*

* se aplică la intrarea ***Vi*** un semnal sinusoidal cu frecvenţa de 1kHz și amplitudinea adecvată obţinerii unui semnal de ieşire ***Vo*** fără limitări (VAMPL=0.1V).
* se efectuează o analiză în timp *Time Domain (Transient)* cu parametrii notați pe fig. 7;
* se rulează PSpice, se utilizează un marker individual de tensiune și se vizualizează forma tensiunii de ieșire, Vo;
* înainte de a aduce forma de undă în documentul *Word*, se scalează imaginea astfel încât să încadreze între 0 și 6V. Se alege *Plot -> Axis Setting -> Y Axis* și se bifează *User Defined*, completându-se 0 to 6 (fig. 8).



**Fig. 8.** *Fereastra Axis Settings*

*(aici se pune răspunsul în timp al circuitului)*

Scrieți expresia analitică a tensiunii de ieșire *Vo*

………..

## **Efectul dezechilibrării punții la un amplificator de diferență**

Se realizează circuitul din fig. 9.



**Fig. 9.** *Schema pentru determinarea efectului dezechilibrării punții la amplificatorul de diferență*

* Se presupune că dezechilibrul punții se manifestă prin modificarea valorii unei singure rezistențe, R2, de exemplu;
* Se face o analiză în timp *Time Domain (Transient)*, lăsând parametrii impliciți și se determină tensiunea de ieșire, VO pentru 3 perechi de valori ale tensiunilor de intrare V1 și V2 și 3 valori ale lui R2, conform tabelulului 2;
* Valorile determinate prin activarea butonului *Enable Bias Voltage Display* se trec în tabelul 2;
* Se determină abaterea relativă, ε, pentru R2=95k, respectiv 105k și se completează în tabelul 2:

 (10)

**Tabelul 2.** *Efectul dezechilibrării punții*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| V1; V2 | *VO,ideal* [V] | *VO,real* [V] | ε [%] |
| R2=100kΩ | R2=95kΩ | R2=105kΩ | R2=95kΩ | R2=105kΩ |
| -0.1V; 0.1V |  |  |  |  |  |
| 4.9V; 5.1V |  |  |  |  |  |
| 9.9V; 10.1V |  |  |  |  |  |

## **Studiul circuitului diferențiator realizat cu AO**

Schema circuitului pentru studiul circuitului de diferențiere are forma din fig. 10.



**Fig. 10.** *Schema circuitului diferențiator*

* la intrarea circuitului se aplică un semnal dreptunghiular de la sursa VPULSE;
* se face o analiză în timp – *Time Domain (Transient)* cu parametrii din fig. 10;
* se pune la ieșire un marker individual de tensiune – *Voltage/Level Marker* și se aduc în lucrare formele de undă ale Vo și Vi\*40 pentru R1=1Ω, respectiv Vo și Vi pentru R1=1kΩ

R1=1

*(aici se pune răspunsul în timp)*

R1=1k

*(aici se pune răspunsul în timp)*

## **Studiul circuitului integrator realizat cu AO**

Se face pentru circuitul din fig. 11.



**Fig. 11.** *Schema circuitului integrator*

* Se notează cu τ2 constanta de timp definită cu relația (9):

 (10)

* Valorile calculate pentr τ2 se trec în tabelul 3;
* Se face o analiză în timp – *Time Domain (Transient)* având parametrii simulării cei de pe fig. 11;
* Se modifică valoarea rezistenței *R*2 conform valorilor din tabelul 3;
* Se reprezintă grafic **Vo** și **Vi**;
* Pentru valorile extreme, 1MΩ (1Meg), respectiv 1kΩ, se aduc în lucrare formele de undă.

R2=1Meg

*(aici se pune răspunsul în timp)*

R2=1k

*(aici se pune răspunsul în timp)*

* Se compară τ2 cu perioada semnalului de intrare V3, *TV*3 și se urmărește influența relației dintre τ2 și perioada semnalului de intrare asupra formei de undă a semnalului de ieșire Vo.

**Tabelul 3.** *Comparație între constantele de timp* τ2 *și perioada semnalului de la intrare*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *R*2 [Ω] | 1M | 100k | 10k | 1k | 100 |
| τ2 [ms] (rel. 10) |  |  |  |  |  |
| *TV*3 [ms] |  |  |  |  |  |

**Concluzie:**

1. τ2 > *TV*3 .....................
2. τ2 < *TV*3 .....................

## **Studiul convertorului de rezistență negativă**

Schema utilizată în studiul convertorului de rezistență negativă are forma din fig. 12.



**Fig. 12.** *Schema folosită în studiul convertorului de rezistență negativă*

### **3.6.1 Determinarea valorii tensiunii de intrare care asigură funcționare liniară**

* se efectuează o analiză de c.c – *DCSweep* având parametrii din fig. 12;
* se folosește un marker individual de tensiune – *Mark/Level Voltage* și se vizualizează variația tensiunii de ieșire Vo și se aduce în documentul *Word*.

*(aici se pune răspunsul circuitului)*

**Cocluzie:** AO se consideră ideal dar alimentat cu ±15V, ceea ce limitează excursia tensiunii de ieșire ideal între -15V și +15V

Domeniul variației tensiunii de intrare V1 este ……..

### **3.6.2 Determinarea valorii de rezistență negativă**

* se efectuează o analiză în timp *Time Domain (Transient)* cu parametrii impliciți oferiți de program;
* se modifică valorile rezistenței *R*3 (*R* din rel. 9) conform valorilor trecute în tabelul 4;
* se activează butonul *Enable Bias Current Display* pentru a vedea valorile curenților prin elementele schemei și se completează în tabelul 4;
* sensul convențional al curentului prin rezistențe se marchează la borna prin care intră curentul;
* se calculează valorile rezistenței negative echivalente, *Req* și se trec în tabelul 4.

**Tabelul 4.** *Determinarea valorii rezistenței negative*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *R3* [Ω] | 10 | 100 | 200 | 1k | 10k | 100k |
| *I* [mA] |  |  |  |  |  |  |
| Req [Ω] (rel. 8) |  |  |  |  |  |  |
| Observații | Valori imposibil de obținut cu un AO real | Valori ce se pot obține cu AO real |

# **L4B. Studiul circuitelor realizate cu AO având reacție negativă rezistivă**

# **Scopurile lucrării**

Se studiază unele circuite realizate cu AO și având reacție negativă rezistivă:

* convertorul I-V;
* convertorul V-I;
* amplificatorul de diferență ca circuit util în eliminarea efectului buclei de masă.

# **Consideraţii teoretice**

**Convertorul I-V**

Un convertor curent-tensiune (convertor I-V), numit și amplificator transrezistență, acceptă un curent de intrare *iS* și produce o tensiune de ieșire de tip *vO*=*AiS*, unde *A* este câștigul circuitului exprimat în V/A.

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig. 1.** *Schema convertorului I-V* |  |

 **Convertorul V-I**

 Un convertor tensiune - curent (convertor V-I), numit și amplificator transconductanță, acceptă o tensiune de intrare *vI* și produce un curent de ieșire de forma *iO*=*AvI*, unde *A* este câștigul sau sensibilitatea circuitului, exprimată în A/V.

**Sursa de curent HOWLAND**

Circuitul este format dintr-o sursă de intrare *vI* conectată în serie cu rezistența *R*1 și un convertor de rezistență negativă care sintetizează o rezistență cu un terminal la masă având valoarea −*R*2*R*3/*R*4.

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig. 2.** *Sursa Howland* | Conformitatea tensiunii |

 **Amplificatorul de diferență** (fig. 3)

 Constituie baza altor circuite importante, cum ar fi amplificatoarele de instrumentație și amplificatoarele pentru traductoare în punte.

Caracteristicile unice ale amplificatorului de diferență sunt mai bine apreciate dacă introducem componentele de *modul diferențial* și de *mod comun* ale semnalelor de intrare, definite ca fiind

 (3)

 (4)

Rezolvând în funcție de semnalele de intrare, le putem exprima în termenii componentelor nou definite:

 (5)

 (6)



**Fig. 3.** *(a) Amplificatorul de diferență.
(b) Exprimarea intrărilor în termenii componentelor de mod comun, vCM și de mod diferențial, vDM*

Tensiunea de ieșire se poate scrie

 (7)

unde

* *Adm* este amplificarea de mod diferențial
* *Acm* – amplificarea de mod comun

# **Desfăşurarea lucrării L4B**

## **Studiul convertorului I-V**

Să se deseneze cu ajutorul programului *Capture CIS Lite* convertorul I-V din fig. 1. Dacă la intrare curentul variază în domeniul 4mA…20mA iar AO se consideră alimentat cu ±12V și să se determine:

* variația curenților *i*1, *iR*1 și *iR*2 și să se deducă pe baza acestor variații relația dintre cei 3 curenți;
* limitele de variație ale tensiunii de ieșire, *vO*, notându-se aceste valori în tabelul 1;
* dacă pentru I1=20mA, tensiunea de ieșire *vO* diferă de o valoare întreagă evidentă (valoarea întreagă de tensiune apropiată de *vO* pentru *i*1=20mA), determinați abaterea relativă față de acea tensiune.



**Fig. 1.** *Schema convertorului I-V studiat*

## **Determinarea variației curenților iR1, iR2 și i1**

* Se face o analiză de c.c. – *DC Sweep* având parametrii *Name:* I1, *Start Value:* 4m, *End Value:* 20m, *Increment:* 0.1m;
* Pentru a se obține reprezentările grafice corecte ale celor 3 curenți, R1 trebuie oglindită pe verticală iar R2 pe orizontală;

*(aici se pun variațiile celor 3 curenți din analiza DC Sweep)*

* Se trec în tabelul 1 valorile celor 3 curenți pentru limitele de variație ale curentului I1 (4mA, respectiv 20mA);

iR2 = i1 iR1

*(aici se pune relația dintre cei 3 curenți)*

## **Determinarea limitelor de variație ale tensiunii de ieșire, vO**

* Fără a mai rula PSpice, pe baza analizei de la punctul 2, se reprezintă graficul V(vO) și se aduce în lucrare

*(aici se pune variația tensiunii de ieșire din analiza DC Sweep)*

## **Determinarea abaterii relative a valorii tensiunii de ieșire**

Se face cu ajutorul relației (8)

 (8)

unde *vO* este valoarea determinată de pe grafic iar *vO,id*= valoarea întreagă cea mai apropiată atunci când I1=20mA.

**Tabelul 1.** *Studiul convertorului I-V*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| I1=4mA | I1=20mA | *vO,id*[V] | *εv*[%] |
| *iR*1 [mA] | *iR*2 [mA] | *i*1 [mA] | vO [V] | *iR*1 [mA] | *iR*2 [mA] | *i*1 [mA] | vO [V] |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## **Studiul convertorului V-I cu sarcina la masă**

 Să se deseneze cu ajutorul programului *Capture CIS Lite* convertorul V-I din fig. 2. Dacă la intrare tensiunea variază în domeniul 0…5V, AO se consideră alimentat cu ±12V iar rezistențele au toleranța de 1% și să se determine:

* Valorile tensiunilor *vx*, *vO* și ale curenților *iR*1, *iR*2 și *iO* pentru cele 2 valori limită ale tensiunii de intrare, *vI*;
* Abaterea relativă a curentului de ieșire, *iO*, față de valorile ideale pentru valorile extreme ale domeniului (4mA, respectiv 20mA);
* Variația curentului de ieșire, *iO* în funcție de variația tensiunii de intrare, *vI*.

## **Valorile tensiunilor vx, vO și ale curenților iR1, iR2 și iO pentru cele 2 valori limită ale tensiunii de intrare**

* Se face o analiză în timp – *Time Domain (Transient)* cu parametrii impliciți oferiți de program.
* Se rulează PSpice (*Run PSpice*) și se activează, pe rând, butoanele *Enable Bias Voltage Display* -  și *Enable Bias Current Display* - . Valorile cerute se trec în tabelul 2.

pentru vI=0V

pentru vI=5V

*(aici se pune schema circuitului cu valorile de potențiale)*

pentru vI=0V

pentru vI=5V

 *(aici se pune schema circuitului cu valorile de curenți)*



**Fig. 2.** *Schema convertorului V-I studiat*

**Tabelul 2.** *Studiul convertorului V-I cu sarcina la masă*

|  |  |
| --- | --- |
| *vI*=0 | *vI*=5V |
| *vx*[V] | *vO*[V] | *iR*1[mA] | *iR*2[mA] | *iO*[mA] | *vx*[V] | *vO*[V] | *iR*1[mA] | *iR*2[mA] | *iO*[mA] |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Observație:** sensul convențional în care curg curenții prin rezistențe este marcat prin plasarea valorii de curent (fereastra roșie) la pinul prin care intră curentul în rezistență.

## **Studiul amplificatorului de diferență** **ca circuit util în eliminarea efectului buclei de masă**

 Să se deseneze cu ajutorul programului *Capture CIS Lite* circuitele din fig. 3 cu ajutorul cărora se arată cum amplificatorul de diferență elimină efectul buclei de masă şi să se determine:

* Răspunsurile în timp pentru cele 2 circuite (pe același grafic). Comentați rezultatul.



**Fig. 3.** *Schemele circuitelor de la studiul amplificatorului de diferență*:
*(a) amplificator inversor. (b) amplificator de diferență*

## **Răspunsurile în timp pentru cele 2 circuite**

* se efectuează o analiză în timp – *Time Domain (Transient)* cu parametrii *Run To Time:* 3ms și *Maximum Step Size:* 10us;
* se face simularea (*Run PSpice*) și se reprezintă grafic tensiunile V(out1,No1) și V(out2,No2) cu ajutorul markerilor diferențiali, .

*(aici se pun răspunsurile în timp ale celor două circuite)*