**Seminarul 5**

**Circuite cu reacție negativă rezistivă – partea I**

**Breviar teoretic**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Convertor I-V | * *iS* - sursă ideală de curent (*RS*→∞)
* *a*→∞

 |  |
| * *iS* - sursă reală de curent (*RS* finită)
* *a* finită

 |  |
| Convertoare V-I | Cu sarcina flotantă | Conformitatea tensiunii:(a) (*VOL*-*vI*)<*vL*<(*VOH*-*vI*) sau (b) *VOL*<*vL*<*VOH* sau *Vsat* este depărtat cu 2V de tensiunile de alimentare, deci pentru *Valim*=±15V ⇒ *Vsat*=±13V |
| Sursa de curent HOWLAND | Conformitatea tensiunii |
| Amplificatoare de curent | cu sarcina flotantă |  |
| cu sarcina la masă |  |

**P1.** (a) Folosind două AO, proiectați un *convertor I-V* care acceptă două surse de intrare *iS*1 și *iS*2, ambele având sensul de la masă spre circuit și având rezistențele interne *Rs*1 și *Rs*2 și la ieșirea căruia, pentru *a*→∞, se obține o tensiune având expresia *vO*=*A*1*iS*1-*A*2*iS*2, unde *A*1=*A*2=(10V/mA). (b) Cum sunt afectate *A*1 și *A*2 dacă *Rs*1=*Rs*2=30kΩ și AO au *a*=103V/V?

**Rezolvare:**

(a) Schema circuitului care satisface cerințele din enunțul problemei are aspectul din fig. 1



**Fig. 1.**

Circuitul este alcătuit din convertorul I-V, realizat cu AO1 și circuitul sumator din jurul lui AO2, una din intrări acționând ca un convertor I-V.

Sensibilitatea ambelor convertoare I-V este 10mA/V, de unde rezultă

Semnalul de la ieșirea primului AO este doar inversat. Pentru ca AO2 să realizeze această inversare, se impune

Dacă se consideră că RS1=RS2→∞,

Prin identificare cu relația din enunț și ținând seama că *R*2=*R*3, rezultă

Dacă

și

Relația tensiunii de ieșire devine

(b) În cazul în care *RS*1=*RS*2=30kΩ, deci valori finite, iar amplificarea în buclă deschisă a AO, *a*, are și ea valoare finită, *a*=103V/V, conform breviarului teoretic

unde

Factorul care înmulțește (*R*1*iS*1-*R*2*iS*2) are valoarea

și relația tensiunii de ieșire devine

**P2.** Proiectați un *convertor I-V* capabil să convertească un curent de intrare având variația de la 4mA la 20mA într-o tensiune de ieșire cu variația de la 0V la 8V. Sensul curentului la sursa de intrare este de la masă spre circuit, iar alimentarea circuitului este de ±10V, tensiune stabilizată.

**Rezolvare:**

Schema circuitului care îndeplinește această cerință este alcătuită dintr-un convertor I-V, , implementat cu AO1, la care s-a adăugat un decalaj controlat și un repetor inversor realizat cu AO2 (fig. 2).



**Fig. 2.**

Decalajul controlat s-a adăugat pentru că *vO*1 trebuie să fie egal cu 0V atunci când curentul *iI* are 4mA.

Raționamentul este următorul: *vO*1=-*RiR* și este egal cu 0V dacă *iR*=0. Asta înseamnă că pentru *iI*=4mA, acest curent trebuie să curgă pe altundeva și anume prin *R*1 spre sursa negativă de alimentare, *VEE*. Sursa negativă, *VEE* ca și cea pozitivă de altfel, *VCC*, trebuie să fie stabilizată ca prin introducerea rezistenței *R*1 să se obțină un curent cu valoarea de 4mA.

Sensul curentului de intrare, *iI* impune pentru *iR* un astfel de sens încât totdeauna *vO*1<0 (în afară de cazul în care *iR*=0). Deoarcece *vO*1 este mereu o tensiune negativă, iar variația tensiunii de la ieșirea circuitului trebuie să fie pozitivă conform enunțului problemei, s-a introdus repetorul inversor realizat cu AO 2 și două rezistențe, *R*2 și *R*3, egale între ele și egale cu 10kΩ (limita inferioară a domeniului de rezistențe recomandat din circuitele cu AO).

Teorema întâi Kirchhoff, aplicată în nodul corespunzător intrării inversoare se scrie

* pentru *iI*=4mA, *vO*1=0 și rezultă
* pentru *iI*=20mA, *vO*1=-8V și rezultă

Relația tensiunii de ieșire, *vO* este

Se aleg rezistențe cu toleranța de 1%, conform valorilor standard din tabelul S05-1.

**Ce este bucla de curent de 4…20mA?**

În controlul proceselor industriale, **buclele de curent analogice de 4–20 mA** sunt utilizate în mod obișnuit pentru transmiterea semnalelor electronice, cele două valori de 4mA și 20 mA reprezentând 0–100% din domeniul de măsurare sau de control. Aceste bucle sunt utilizate atât pentru transmiterea semnalelor de la senzori la dispozitivele de prelucrare și control, cât și pentru transmiterea semnalelor de control către elementele de execuție din cadrul proceselor.

Utilizarea curentului ca purtător al informaţiei asigură un grad de imunitate la zgomote, deoarece informaţia este recepţionată neafectată de căderile de tensiune pe linie, de efectele de termocuplu (sau *efectul Seebeck*. Acest efect a fost descoperit în 1821 şi descrie apariţia unei tensiuni electrice care este indusă de un gradient de temperatură atunci când două materiale sunt sudate), de rezistenţele de contact sau de tensiunile induse în firele de legătură. În acelaşi timp, offset-ul de 4 mA, permite detecţia unei întreruperi, deoarece valoarea logică 0 a mărimii de măsurat este 4mA și nu 0mA care arată întreruperea buclei.

**P3.** Proiectați un *convertor V-I* cu sarcina la masă care transformă o intrare care variază între 0V și 10V într-o ieșire care se modifică între 4 mA și 20 mA. Circuitul este alimentat din 2 surse stabilizate de ±15V.

**Rezolvare:**

Schema circuitului care îndeplinește această cerință are forma din fig. 3 și este alcătuită dintr-un convertor V-I cu sarcina la masă, realizat cu AO1 și prevăzut cu un decalaj (offset) controlat deoarece *iO*≠0 atunci când *vI*=0, tensiunea de offset, *vX*, fiind obținută cu AO2.



**Fig. 3.**

Determinăm expresia curentului i*O* atunci când există acest offset controlat și țineam seama în calcule de scurtcircuitul virtual dintre intrările AO. Astfel

Teorema I Kirchhoff, aplicată în intrarea neinversoare a AO1, se scrie

unde

Curentul *iR*4 circulă atât prin *R*4 cât și prin *R*3 și rezultă

și se poate rescrie sub forma

Revenind la relația lui *iO* și considerând rezistențele egale, *R*4=*R*3=*R*2=*R*1, se poate scrie

Din relația lui *iR*4, rescrisă

și astfel se ajunge la relația curentului *iO* având forma

* pentru *vI*=0 ⇒ *iO*=4mA și înlocuind în relația curentului se obține
* pentru *vI*=10V ⇒ *iO*=20mA și înlocuind în relația curentului se obține

Prin înlocuirea lui *R*1, rezultă pentru tensiunea de offset

Tensiunea *vX* se obține prin divizarea tensiunii negative de alimentare, *VEE*, cu ajutorul rezistențelor *R*5 și *R*6. Pentru a obține această tensiune de -2,5V de valoare precisă, în enunțul problemei s-a cerut ca sursele de alimentare să fie stabilizate.

AO2 are rol de tampon între divizorul de tensiune și montaj, adică rezistență de intrare foarte mare (intrare pe intrarea neinversoare) și rezistență de ieșire foarte mică (ca la un amplificator aproape ideal de tensiune). Cu AO2 s-a implementat un repetor de tensiune.

Pentru dimensionarea rezistențelor *R*5 și *R*6, se aplică regula divizorului de tensiune din *VEE* și rezultă

sau

Se alege pentru *R*6 valoarea standard de 2kΩ și rezultă *R*5=10kΩ, conform tabelului S05-1.

Tot din tabelul S05-1, se poate alege pentru *R*1 fie valoarea de 619Ω, fie cea de 634Ω.

* pentru R1=619Ω ⇒ iO=4,039mA…20,19mA
* pentru R1=634Ω ⇒ iO=3,943mA…19,72mA

conform rezultatelor obținute prin simulare SPICE.

**P4.** Fie *amplificatorul de curent* din fig. 4. Dacă se consideră *Rs* și *Ro* → ∞, determinați amplificarea circuitului.



**Fig. 4.**

**Rezolvare:**

Aplicând T I K, curentul de ieșire se scrie

Dacă *Rs* → ∞, atunci *iS* va circula integral prin *R*2 și se poate scrie

Curentul prin *R*1 este

Datorită scurtcircuitului virtual dintre intrările AO

iar, datorită scurtcircuitului (firului) dintre ieșirea AO și intrarea inversoare,

și curentul de ieșire se exprimă sub forma

De unde amplificarea circuitului este

**Tabelul S05-1.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **100** | 102 | **105** | 107 | **110** | 113 | **115** | 118 | **121** | 124 | **127** | 130 |
| **133** | 137 | **140** | 143 | **147** | 150 | **154** | 158 | **162** | 165 | **169** | 174 |
| **178** | 182 | **187** | 191 | **196** | 200 | **205** | 210 | **215** | 221 | **226** | 232 |
| **237** | 243 | **249** | 255 | **261** | 267 | **274** | 280 | **287** | 294 | **301** | 309 |
| **316** | 324 | **332** | 340 | **348** | 357 | **365** | 374 | **383** | 392 | **402** | 412 |
| **422** | 432 | **442** | 453 | **464** | 475 | **487** | 499 | **511** | 523 | **536** | 549 |
| **562** | 576 | **590** | 604 | **619** | 634 | **649** | 665 | **681** | 698 | **715** | 732 |
| **750** | 768 | **787** | 806 | **825** | 845 | **866** | 887 | **909** | 931 | **953** | 976 |

**Temă de casă**

**Tc1.** Determinați expresia tensiunii de la ieșirea circuitului din fig. Tc1:



**Fig. Tc1.**

**Indicație:** se ține seama că (scurt circuit virtual într intrările AO)