

LIMITĂRI STATICE ALE AMPLIFICATOARELOR OPERAȚIONALE

La un AO ideal dacă valoarea de curent continuu a tensiunii de intrare este zero atunci și la ieșire valoarea de c.c. a tensiunii este tot zero. Această limitare introdusă de AO se numește „statică” deoarece nu beneficiază de efectul „curativ” al reacției negative.

Practic, la un AO real, chiar dacă tensiunea de intrare este nulă, la ieșire se măsoară o tensiune de c.c. diferită de zero, numită **tensiune de decalaj la ieșire sau de offset**. Printr-o proiectare îngrijită a circuitului realizat cu AO, tensiunea de decalaj la ieșire se poate menține la un nivel foarte scăzut.

Pentru a aduce la zero tensiunea de decalaj, majoritatea AO prezintă două borne, numite borne de ajustare a nulului. Dacă proiectarea nu este corectă, la ieșirea AO se obțin nivele ridicate de decalaj. Chiar dacă se folosesc metodele de anulare a offsetului, în circuit se manifestă *variația tensiunii de decalaj cu temperatura*, numită **drift**, care împiedică menținerea la zero a tensiunii de offset la ieșire. De aceea este important să se înțeleagă efectele offsetului și să se cunoască tehnicile de proiectare prin care aceste efecte pot fi reduse.

Efectele offsetului sunt mai importante în cazul amplificatoarelor de c.c. decât al celor de c.a. Dacă nu este nevoie să se prelucreze și semnale de c.c., atunci, utilizând un cuplaj capacitiv între etajele de amplificare realizate cu AO, se pot transmite numai semnalele variabile, cele de c.c. fiind blocate. În acest caz efectele offsetului nu mai sunt importante, în afară de situația în care componenta de c.c. de la ieșire are un asemenea nivel încât ar putea provoca saturarea AO.

În amplificatoarele de c.c., importanța offsetului este relativă, depinzând de nivelul semnalului prelucrat. De exemplu, o tensiune de offset de 10 mV poate fi relativ neimportantă în cazul unui repetor de tensiune cu rol de separare (izolare) a unei tensiuni de 12 V c.c. În schimb, aceeași valoare a tensiunii de offset poate fi dezastruoasă dacă nivelul semnalului prelucrat este și el tot de 10 mV. Din această cauză *când se lucrează cu nivele mici de semnal trebuie să se utilizeze AO cu parametrii de offset foarte mici și să se folosească tehnici de proiectare speciale pentru minimizarea efectelor offsetului*.

Tensiunea totală de offset de la ieșire depinde de:

- tensiunea de offset la intrare și
- curentul de offset la intrare.

Tensiunea de offset la intrare reprezintă diferența în c.c. a tensiunilor individuale de la cele două intrări ale AO. Ca parametru al AO, tensiunea de offset la intrare este acea valoare de c.c. a tensiunii diferențiale ce trebuie aplicată pentru a aduce tensiunea de ieșire la zero. Cauza apariției acestei tensiuni o constituie neîmperecherile între elementele amplificatorului diferențial de la intrarea AO.

Curentul de offset la intrare este format din diferența curenților ce trebuie să curgă prin intrările AO pentru a asigura funcționarea corectă a dispozitivelor semiconductoare cu care este realizat etajul de intrare al amplificatorului. De exemplu, în cazul unui AO realizat cu tranzistoare bipolare, acești curenți sunt chiar curenții de polarizare a bazelor tranzistoarelor din etajul diferențial de intrare. În acest caz *ambele intrări ale AO trebuie să aibă o cale de c.c. spre masă pentru a asigura circulația curenților de polarizare a intrărilor*. Această cale de c.c. poate să fie:

- o legătură directă la masă;

- o legătură la masă printr-o rezistență sau printr-o sursă de c.c., care are un capăt conectat la masă;
- orice conexiune în c.c. cu ieșirea AO, printr-o rezistență sau direct. La un repetor, de exemplu, polarizarea intrării inversoare se asigură numai prin acest fel de conexiune.

5.1 Modelul circuitului cu offset

Pentru analiza efectelor offsetului se utilizează circuitul de offset echivalent din fig.5.1 unde AO se consideră ideal iar efectele reale produse de fenomenul de offset sunt reprezentate de trei surse, două de curent și una de tensiune:

- U_{IO} - tensiunea de intrare de offset;
- I_B^- - curentul de polarizare a intrării inversoare;
- I_B^+ - curentul de polarizare a intrării neinversoare.

Forma circuitului permite utilizarea lui în cazul ambelor configurații de bază (inversoare și neinversoare), în funcție de terminalul de intrare la care se cuplează semnalul sau masa montajului. De aceea rezultatele care se vor obține vor fi valabile atât pentru configurația inversoare cât și pentru cea neinversoare.

Efectele offsetului se pot estima prin analiza directă efectuată pe modelul din fig.5.1.

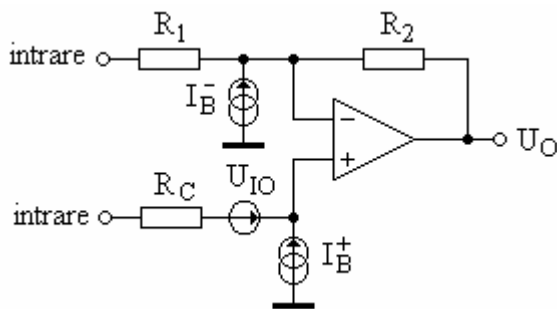


Fig. 5.1. Modelul circuitului cu offset, utilizat la analiza efectelor tensiunii de intrare de offset și a curentului de intrare de offset

Cele trei mărimi sunt totdeauna specificate ca mărimi pozitive. Sensul real al celor doi curenți de polarizare a intrărilor depinde, însă, de tipul tranzistoarelor (npn sau pnp) din etajul de intrare al AO. Acest model de circuit permite determinarea amplitudinii tensiunii de offset de la ieșire nu și a semnului acestei tensiuni. Atât timp cât se ia în calcul numai amplitudinea, sensul celor doi curenți este arbitrar, important fiind ca ei să aibă sensuri identice.

Tensiunea de intrare de offset poate să aibă ca efect o tensiune de ieșire pozitivă sau negativă, astfel că și sensul lui U_{IO} este arbitrar. Sensul ales în fig. 5.1 corespunde la o tensiune pozitivă la ieșire. De asemenea trebuie observat că această sursă de offset se poate conecta în serie cu oricare intrare fără să afecteze rezultatul analizei, modul de conectare din fig. 5.1 având avantajul unor calcule mai simple.

Pentru determinarea tensiunii de decalaj la ieșire se aplică principiul suprapunerii de efecte. În acest fel se poate analiza efectul fiecărei surse în parte. Când se consideră efectul unei surse, celelalte două se pasivizează. Sursele se consideră ideale, astfel că, prin pasivizare, sursa de tensiune se înlocuiește cu un scurtcircuit iar cea de curent cu un circuit deschis (gol). De asemenea se pasivizează și sursa de semnal. În cazul circuitului din fig. 5.1, ambele intrări se conectează la masă deoarece sursa de semnal se consideră ideală. În caz contrar, dacă sursele de semnal prezintă o anumită rezistență internă, aceasta se înscriază cu R_C sau R_1 , după caz.

Practic, atunci când se evaluează offsetul la ieșire, intrarea de semnal se leagă la masă, la ieșirea montajului se conectează un voltmetru electronic și cu ajutorul circuitului de anulare a offsetului se aduce la zero tensiunea de c.c. de la ieșirea AO.

5.2 Influența tensiunii de intrare de offset

Fie U_{O1} componenta tensiunii de ieșire de decalaj datorată tensiunii de intrare de offset. Se va determina amplitudinea (mărimea) acestei tensiuni, notată cu $|U_{O1}|$. Circuitul pe care se face analiza se prezintă în fig. 5.2, a. Se observă că sursele de curent s-au pasivizat (s-au înlocuit cu circuite deschise). Deoarece prin terminalele de intrare ale AO nu circula curent (sursele de curent s-au pasivizat), rezistența R_C nu are nici o influență și circuitul se reduce la o configurație neinversoare pentru care tensiunea de ieșire are expresia:

$$|U_{O1}| = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{IO} \quad (5.1)$$

Tensiunea reală la ieșire poate fi pozitivă sau negativă.

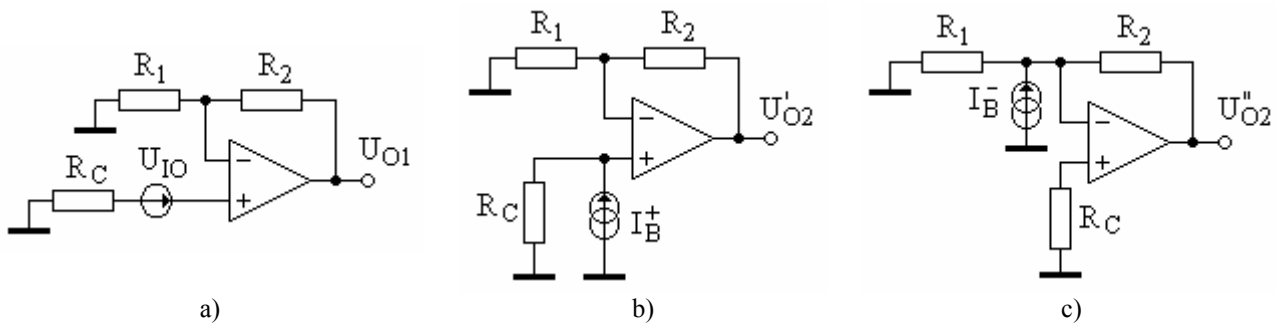


Fig. 5.2. Circuitele utilizate la determinarea componentelor tensiunii de decalaj de la ieșirea AO.

(a) Circuitul pentru componenta datorată lui U_{IO} . (b) Circuitul pentru componenta datorată lui I_B^+ . (c) Circuitul pentru componenta datorată lui I_B^- .

5.3 Influența curenților de polarizare a intrărilor

Fie U_{O2} componenta tensiunii de ieșire de decalaj datorată curenților de polarizare a intrărilor. Această tensiune se poate descompune în două componente: U'_{O2} , datorată curentului de polarizare a intrării neinversoare și U''_{O2} datorată curentului de polarizare a intrării inversoare.

Se analizează mai întâi **efectul curentului de polarizare a intrării neinversoare**. Circuitul de calcul se prezintă în fig. 5.2, b. În mod real I_B^+ curge prin intrarea neinversoare a AO, dar pe modelul propus AO este ideal, deci prin intrările sale nu circulă curent. În aceste condiții I_B^+ se va închide prin circuitul exterior amplificatorului operațional, adică prin rezistorul R_C și va determina o cădere de tensiune ($R_C I_B^+$) între intrarea neinversoare și masă. Întreg circuitul se comportă ca o configurație neinversoare care trebuie să amplifice această tensiune, obținându-se la ieșire componenta:

$$|U'_{O2}| = R_C I_B^+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (5.2)$$

În continuare se analizează **efectul curentului de polarizare a intrării inversoare**. Circuitul de calcul se prezintă în fig. 5.2, c. Cu presupunerea că AO este ideal, intrarea inversoare se consideră punct virtual de masă. Rezultă că prin rezistorul R_1 nu circulă curent deoarece diferența de potențial la bornele sale este egală cu zero. Înseamnă că întreg curentul I_B^- va trece prin rezistorul R_2 , determinând o cădere de tensiune cu borna mai pozitivă situată în partea din stânga rezistorului R_2 și cu expresia:

$$U''_{O2} = -R_2 I_B^- \quad (5.3)$$

Analizând relațiile (5.2) și (5.3), se observă că totdeauna efectul produs de curentul I_B^- este de sens opus celui determinat de curentul I_B^+ . Astfel, dacă efectul datorat lui I_B^+ este pozitiv atunci cel

datorat lui I_B^- este negativ și invers. Pentru a se evita dificultățile de semn, se presupune că efectul datorat lui I_B^+ este pozitiv. Rezultă astfel că efectul datorat lui I_B^- va fi negativ și componenta U_{O2}'' se va nota cu semnul minus.

Efectul combinat al celor doi curenți de polarizare, $|U_{O2}|$ se exprimă:

$$|U_{O2}| = \left| R_C I_B^+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - R_2 I_B^- \right| \quad (5.4)$$

Efectul datorat lui I_B^+ poate fi mai mare decât cel datorat lui I_B^- și invers, semnul minus indicând însă faptul că sensul celor două efecte este totdeauna opus.

Semnul minus din relația (5.4) poate sugera și modalitatea de anulare a influenței celor doi curenți de polarizare a intrărilor AO. Pentru început se va considera că cei doi curenți de polarizare sunt egali, adică $I_B^+ = I_B^- = I_B$. Egalând cu zero relația (5.4) și înlocuind cei doi curenți cu aceeași valoare I_B , rezultă:

$$\left| R_C I_B \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - R_2 I_B \right| = 0 \quad (5.5)$$

Deoarece I_B este diferit de zero, rezultă că trebuie să fie zero factorul care reprezintă relația dintre rezistențe. Egalând acest factor cu zero, rezultă pentru rezistența de compensare relația:

$$R_C = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.6)$$

adică rezistența de compensare a efectului celor doi curenți de polarizare a intrărilor AO trebuie să fie egală cu rezultatul conectării în paralel a rezistoarelor R_1 și R_2 .

Dacă cei doi curenți de polarizare a intrărilor ar fi identici, componenta tensiunii de decalaj datorată lor ar fi egală cu zero. Practic, însă, cei doi curenți de polarizare a intrărilor nu sunt chiar identici. Cu toate acestea expresia rezistenței de compensare dată de relația (5.6) rămâne cea optimă. Se observă că în acest caz tensiunea de decalaj va fi diferită de zero și cu o valoare mai mică decât cea care s-ar obține dacă în loc de R_C ar fi conectat un rezistor cu o valoare diferită de cea dată de relația (5.6). Pentru valoarea rezistenței de compensare dată de (5.6), componenta corespunzătoare a tensiunii de decalaj la ieșire va fi:

$$|U_{O2}| = R_2 |I_B^+ - I_B^-|, \text{ dacă } R_C = R_1 \parallel R_2 \quad (5.7)$$

Se observă că relația (5.7) devine egală cu zero dacă $I_B^+ = I_B^-$, așa cum s-a arătat mai sus.

Curentul de intrare de offset reprezintă diferența dintre curenții de polarizare a intrărilor AO și se poate defini cu ajutorul relației:

$$I_{IO} = |I_B^+ - I_B^-| \quad (5.8)$$

Utilizând relația (5.8), mărimea componentei tensiunii de decalaj de la ieșire, în condițiile alegerii valorii optime pentru rezistența de compensare, este:

$$|U_{O2}| = R_2 I_{IO}, \text{ dacă } R_C = R_1 \parallel R_2 \quad (5.9)$$

și înlocuiește, în condițiile alegerii valorii optime pentru rezistența de compensare, relația mai complexă (5.4).

Analiza influenței tensiunii de intrare de offset și a curenților de polarizare a intrărilor, respectiv a curentului de intrare de offset se prezintă sintetic în tabelul 5.1

În cazul cel mai defavorabil, cele două componente ale tensiunii de decalaj la ieșire se adună, tensiunea totală de decalaj la ieșire având amplitudinea:

$$|U_{OD}| = |U_{O1}| + |U_{O2}| \quad (5.10)$$

Cele două componente pot avea același semn sau semne contrare, oricare dintre ele putând fi mai mare decât celălalt. Relația (5.10) reprezintă limita superioară a amplitudinii tensiunii de decalaj la ieșire.

Tabelul 5.1

Tensiunea de decalaj datorată U_{IO}	Tensiunea de decalaj datorată curenților de polarizare a intrărilor AO	
$ U_{O1} = (1 + \frac{R_2}{R_1})U_{IO}$	cazul general R_C oarecare	$ U_{O2} = \left R_C I_B^+ (1 + \frac{R_2}{R_1}) - R_2 I_B^- \right $
	cazul când $R_C = R_1 \parallel R_2$	$ U_{O2} = R_2 I_{IO}$

Este important să se înțeleagă tendințele care accentuează sau micșorează efectele tensiunii și curentului de offset. Pentru simplificarea analizei se presupune că se folosește valoarea optimă a rezistenței de compensare a efectului curenților de polarizare a intrărilor AO, caz în care, pentru componenta tensiunii de decalaj $|U_{O2}|$, este valabilă relația (5.9). Tendința despre care se va vorbi apare oricum, chiar dacă R_C nu are valoarea optimă, în acest caz efectul fiind mai pronunțat.

Se consideră mai întâi **efectul tensiunii de intrare de offset**, cu expresia dată de relația (5.1). Această relație se aplică circuitului din fig. 5.1 indiferent dacă montajul este inversor sau neinversor. Tensiunea de decalaj de la ieșire este de $(1+R_2/R_1)$ ori mai mare decât tensiunea de intrare de offset, unde $(1+R_2/R_1)$ reprezintă inversul factorului de reacție.

Se observă că efectul tensiunii de offset crește liniar cu valoarea lui $(1+R_2/R_1)$.

Când se consideră **efectul curenților de polarizare a intrărilor**, pentru valoarea optimă a rezistenței de compensare, formula de calcul a tensiunii de decalaj $|U_{O2}|$ este dată de relația (5.9) și crește liniar cu R_2 . Se observă că amplificarea circuitului nu apare în această relație. Acest efect de offset la ieșire nu este dependent decât de R_2 și I_{IO} . Dacă se presupune că I_{IO} este cunoscut pentru un AO ales, atunci efectul lui se poate reduce menținând rezistențele din circuit la valori rezonabil de mici.

În cele mai multe cazuri, dacă s-a ales valoarea optimă pentru rezistența de compensare, efectul tensiunii de intrare de offset, U_{IO} , tinde să fie mai mare decât cel al curenților de polarizare. Efectul curenților de polarizare deranjează pentru rezistențe de ordinul $1M\Omega$ sau peste această valoare.

În concluzie se poate afirma:

- pentru valori mari ale amplificării în tensiune, asigurate de valori mici sau medii de rezistențe, tensiunea de ieșire de decalaj este produsă aproape în totalitate de U_{IO} ;
- pentru valori mici ale amplificării în tensiune, asigurate de valori mari de rezistențe, tensiunea de ieșire de decalaj este produsă aproape în întregime de curenții de polarizare a intrărilor;
- în cele mai multe cazuri însă trebuie să se țină seama atât de efectul tensiunii de intrare de offset cât și de cel al curenților de polarizare a intrărilor.

5.4 Valori tipice de offset

La amplificatorul operațional de tipul 741, mărimile din catalog pentru tensiunea de intrare de offset sunt: valoarea tipică egală cu 1 mV iar cea maximă 5 mV.

În analiza influenței curenților de polarizare a intrărilor se utilizează atât I_B^+ cât și I_B^- . În catalog se indică o valoare care reprezintă media celor doi curenți de polarizare, numită *curentul de polarizare a intrărilor* și notată cu I_B sau I_{IB} :

$$I_B = \frac{I_B^+ + I_B^-}{2} \quad (5.11)$$

La AO de tipul 741 foile de catalog indică pentru curentul de polarizare valoarea tipică de 80 nA și cea maximă de 500 nA. Pentru curentul de intrare de offset, valoarea tipică este de 20 nA iar cea maximă de 200 nA. Este important de observat că, în general, *curentul de intrare de offset este mai mic decât curentul de polarizare a intrărilor*, $I_{IO} < I_B$.

Valorile prezentate pot fi considerate ca fiind tipice pentru amplificatoarele operaționale realizate cu tranzistoare bipolare și sunt potrivite pentru aplicațiile în care offsetul nu deranjează. În cazul AO realizate cu tranzistoare cu efect de câmp (TEC), curentul de intrare de offset poate fi de ordinul pA în schimb tensiunea de intrare de offset este mai mare decât în cazul AO realizate în tehnologia bipolară (zeci sau sute de mV pentru AO cu TEC).

5.5 Circuite de anulare a offsetului (circuite de nul)

Tensiunea de decalaj de la ieșirea unui AO se poate compensa (anula) prin următoarele metode:

a) Metode care permit realizarea compensării fără a influența circuitele interne ale AO:

- introducerea unui dezechilibru ajustabil din exterior în circuitul de intrare al AO;
- introducerea de generatoare de tensiune sau curent ajustabile în circuitul de intrare al AO;
- compensarea automată.

b) Metode de compensare prin care se intervine în etajul diferențial de intrare al AO:

- utilizarea unui potențiomtru extern care ajustează dezechilibrul dintre curenții prin cele două jumătăți ale amplificatorului diferențial de intrare al AO.

În fig. 5.3, a și b se prezintă schemele de **compensare cu rezistență ajustabilă R_x** pentru circuitul inversor, respectiv neinversor. Anularea tensiunii de ieșire se datorează căderilor de tensiune de pe R_x , determinate de curenții de polarizare I_B^+ , respectiv I_B^- .

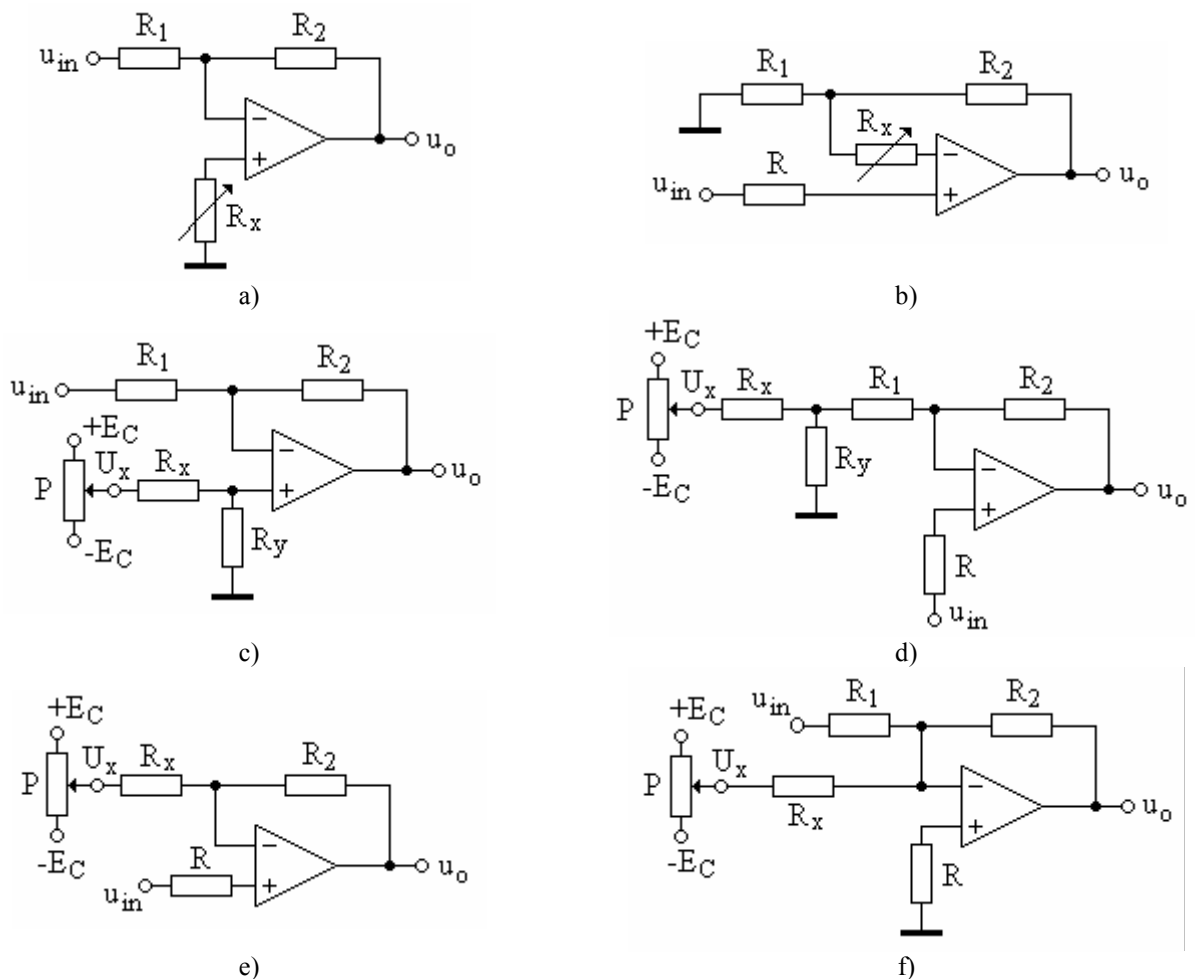


Fig. 5.3. Circuite de compensare a offsetului. (a) și (b) Circuite de compensare cu rezistență ajustabilă R_x . (c), (d) și (e) Circuite de compensare prin aplicarea tensiunii de corecția la intrarea fără semnal. (f) Circuite de compensare prin aplicarea tensiunii de corecția la intrarea cu semnal

Aplicând metoda de analiză bazată pe modelul circuitului cu offset din fig. 5.1, tensiunea de ieșire pentru circuitul din fig. 5.3, *a* este:

$$U_{OD} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(U_{IO} + R_x I_B^+ - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_B^-) \quad (5.12)$$

În aceleași condiții, pentru tensiunea la ieșirea circuitului din fig. 5.3, *b* găsim:

$$U_{OD} = (1 + \frac{R_2}{R_1})[U_{IO} + R I_B^+ - (\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_x) I_B^-] \quad (5.13a)$$

sau dacă ținem seama de faptul că $R = R_1 \parallel R_2$ și că $I_{IO} = I_B^+ - I_B^-$, tensiunea de ieșire va fi:

$$U_{OD} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(U_{IO} + R I_{IO} - R_x I_B^-) \quad (5.13b)$$

Cele două circuite descrise au avantajul simplității lor. Au în schimb dezavantajul că necesită schimbarea valorii lui R_x pentru fiecare set de valori R_1, R_2 . Schema din fig. 5.3, *a* se comportă destul de bine și în privința compensării derivelor termice ale curenților I_B^+ și I_B^- , dacă acești curenți variază cu temperatura aproximativ la fel.

În schemele din fig. 5.3, *c, d* și *e* **compensarea se obține prin aplicarea unei tensiuni de corecție de valoare foarte mică la intrarea fără semnal**. Această tensiune mică se obține cu ajutorul divizorului R_x, R_y din tensiunea U_x , culeasă de pe cursorul potențiometrului P . Rezistențele R_x și R_y se află în relația $R_x \gg R_y$.

Dacă se neglijează căderea de tensiune pe R_y datorată curentului I_B^+ și se folosește aproximarea $\frac{R_y}{R_x + R_y} \cong \frac{R_y}{R_x}$, deoarece R_y are valoare foarte mică (aproximativ 100Ω față de R_x care poate fi de ordinul $2M\Omega$, de exemplu), tensiunea de ieșire pentru $u_{in}=0$ este:

$$U_{OD} = (1 + \frac{R_2}{R_1})[U_{IO} - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_B^- + \frac{R_y}{R_x} U_x] \quad (5.14)$$

În cazul configurației neinvertoare din fig. 5.3, *d* în serie cu intrarea neinvertoare se conectează rezistorul $R = R_1 \parallel R_2$ în vederea reducerii efectului curenților de polarizare, rezultând pentru tensiunea de ieșire expresia:

$$U_{OD} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(U_{IO} + R I_{IO}) - \frac{R_2}{R_1} \frac{R_y}{R_x} U_x \quad (5.15)$$

Pentru circuitul repetor din fig. 5.3, *e* dacă se îndeplinește condiția $R_x \gg R$, tensiunea de ieșire de decalaj va fi:

$$U_{OD} = U_{IO} + R I_{IO} - \frac{R}{R_x} U_x \quad (5.16)$$

Compensarea generatoarelor de eroare se poate face și prin aplicarea unei tensiuni de corecție de valoare foarte mică la intrarea cu semnal, un exemplu fiind circuitul inversor din fig. 5.3, *f*. Pentru tensiunea de ieșire de decalaj se găsește expresia:

$$U_{OD} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(U_{IO} + R I_{IO} - \frac{R}{R_x} U_x) \quad (5.17)$$

dacă se îndeplinește condiția $R_x \gg R_1$.

Circuitele de compensare a generatoarelor de eroare (offset) descrise până aici au avantajul comun că sunt universale, putând fi utilizate în cazul oricărui AO.

Cele mai multe tipuri de AO însă au prevăzută posibilitatea de **eliminarea a efectelor de offset**, pentru o situație particulară de funcționare, **prin conectarea unui potențiomtru între două borne suplimentare ale AO**. De exemplu, la AO de tipul 741, cu ajutorul unui potențiomtru de $10k\Omega$, conectat între cele două borne numite „offset null“ (cursorul potențiometrului fiind conectat la tensiunea negativă de alimentare), nivelul de c.c. de la ieșire se poate aduce la zero (fig.

5.4). Pentru acest lucru, AO trebuie să se afle în conexiunea particulară de utilizare iar sursa de semnal de la intrare să fie pasivizată.

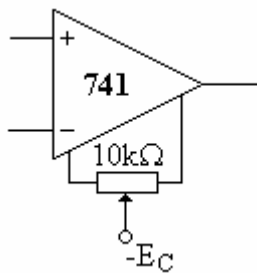


Fig. 5.4. Circuit de compensare care utilizează bornele speciale de anulare a tensiunii de offset pentru AO de tipul 741

Chiar dacă la un moment dat și pentru o anumită configurație particulară, circuitul de nul elimină efectele offsetului, poate exista o variație în timp a offsetului, numită **drift**, care poate determina reapariția tensiunii de decalaj la ieșire. Din acest motiv, periodic, trebuie să se verifice nivelul tensiunii de offset la ieșire.

Exemplul 5.1. Se consideră amplificatorul neinversor din fig. 5.5, realizat cu un AO de tipul 741, caracterizat prin următoarele valori de offset: $U_{IO}=1mV$, $I_B=80nA$ și $I_{IO}=20nA$. Să se determine:

- amplitudinea tensiunii $|U_{O1}|$, produsă de U_{IO} ;
- pentru $R_C=0$, amplitudinea $|U_{O2}|$, produsă de curenții de polarizare a intrărilor;
- valoarea optimă a rezistenței de compensare a efectului curenților de polarizare;
- cu R_C optim să se recalculeze componenta $|U_{O2}|$.

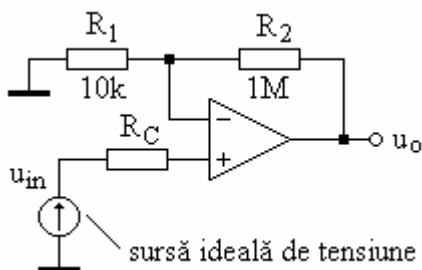


Fig. 5.5. Circuitul pentru exemplul 5.1

Rezolvare: a) Componenta $|U_{O1}|$ a tensiunii de ieșire de decalaj este:

$$|U_{O1}| = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{IO} = \left(1 + \frac{1000}{10}\right) \times 1mV = 101mV$$

b) Când nu se dau curenții I_B^+ și I_B^- ci numai I_B iar $R_C=0$, este rezonabil să se considere $I_B^+ = I_B^- = I_B$. În aceste condiții componenta $|U_{O2}|$ a tensiunii de ieșire de decalaj devine:

$$|U_{O2}| = |-R_2 I_B^-| = R_2 I_B = 10^6 \times 80 \times 10^{-9} = 80mV$$

Cazul cel mai defavorabil al tensiunii de ieșire de decalaj este:

$$|U_O| = |U_{O1}| + |U_{O2}| = 101mV + 80mV = 181mV$$

c) Valoarea optimă a rezistenței de compensare a efectului curenților de polarizare a intrărilor este:

$$R_C = R_1 \parallel R_2 = 1M\Omega \parallel 10k\Omega = \frac{10^6 \times 10^4}{10^6 + 10^4} = 9901\Omega$$

Deoarece valoarea rezistenței de compensare nu este critică iar 9901Ω nu este o valoare standard se poate alege pentru R_C valoarea standard de $10k\Omega$ (vezi anexa 1). Eroarea care se introduce astfel este nesemnificativă.

d) Când $R_C \neq 0$, componenta $|U_{O2}|$ a tensiunii de ieșire de decalaj se determină cu relația:

$$|U_{O2}| = R_2 I_{IO} = 10^6 \times 20 \times 10^{-9} = 20mV$$

Această valoare este mai mică decât cea determinată la punctul b), evidențiindu-se astfel avantajul utilizării rezistenței de compensare.

Dacă se folosește rezistența de compensare, tensiunea totală de decalaj la ieșire, pentru cazul cel mai defavorabil este:

$$|U_o| = |U_{O1}| + |U_{O2}| = 101mV + 20mV = 121mV$$

Exemplul 5.2. Se consideră sumatorul inversor din fig. 5.6, a și se presupune că AO este de tipul 741. Valorile tipice de offset sunt: $U_{IO}=1mV$, $I_B=80nA$ și $I_{IO}=20nA$.

a) Să se determine componenta $|U_{O1}|$ a tensiunii de ieșire de decalaj, determinată de U_{IO} .

b) Să se determine componenta $|U_{O2}|$ a tensiunii de ieșire de decalaj, determinată de curenții de polarizare a intrărilor.

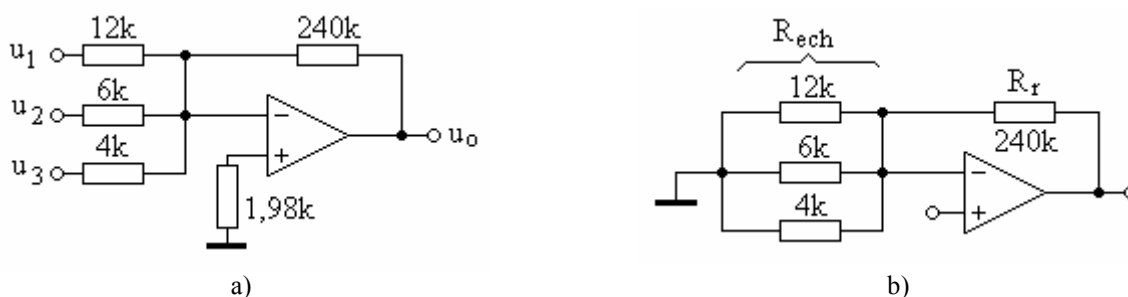


Fig. 5.6. Circuitul pentru exemplul 5.2. a) schema circuitului. b) circuitul echivalent pentru determinarea inversului factorului de reacție

Rezolvare: a) Pentru a determina componenta $|U_{O1}|$, se determină, mai întâi, inversul factorului de reacție. Metoda aproximativă de determinare impune pasivizarea sursei (surselor) de semnal de la intrare (intrări), deconectarea componentelor de la intrarea neinversoare și determinarea amplificării de la borna neinversoare la ieșire.

Pentru circuitul de calcul din fig. 5.6, b, inversul factorului de reacție este:

$$\frac{1}{b} = 1 + \frac{R_r}{R_{ech}} = 1 + \frac{240k}{12k \parallel 6k \parallel 4k} = 121$$

astfel că tensiunea de ieșire de decalaj datorată lui U_{IO} este:

$$|U_{O1}| = \frac{1}{b} \cdot U_{IO} = 121 \times 1mV = 121mV$$

b) Valoarea rezistenței de compensare se calculează cu relația:

$$R_C = \frac{1}{\frac{1}{12k} + \frac{1}{6k} + \frac{1}{4k} + \frac{1}{240k}} = 1,98k\Omega$$

valoare identică cu cea de pe schema din fig.5.6, a. Rezultă că ne aflăm în situația în care se folosește valoarea optimă pentru R_C și atunci componenta $|U_{O2}|$ a tensiunii de ieșire de decalaj se determină cu relația:

$$|U_{O2}| = R_2 I_{IO} = 240 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-9} = 4,8mV$$

Se observă că valoarea cea mai mare a tensiunii de ieșire de decalaj se datorează tensiunii de intrare de offset, motiv pentru care în montajele practice unde valoarea decalajului este critică, trebuie să se utilizeze circuite de anulare a offsetului (circuite de nul).