

CIRCUITE DE CONDIȚIONARE A SEMNALELOR

Autor: Conf.dr.ing. Constantin Harja

II.6. CONVERTOARE TENSIUNE-CURENT ȘI CURENT-TENSIUNE

II.6.1. CONVERTOARE TENSIUNE-CURENT

Un convertor tensiune-curent (C/U-I) este un *generator de curent comandat*. C/U-I sunt utile la realizarea generatoarelor de tensiune liniar-variabilă, a convertoarelor tensiune-frecvență și la transmiterea semnalelor pe linii lungi, în sarcini inductive sau în sistemele de curenți unificați. Ca suport pentru transmiterea informației de măsurare, spre deosebire de tensiune, curentul este practic neafectat, între anumite limite, de perturbațiile serie.

După sensul curentului de ieșire, convertoarele tensiune-curent pot fi sistematizate pe două categorii distincte: *unidirecționale* și *bidirecționale*.

II.6.1.1. Convertoare tensiune-curent unidirecționale

Aceste C/U-I pot fi realizate cu performanțe bune prin asocierea unui AO cu un tranzistor unipolar (cu efect de câmp) sau bipolar, conform Fig.II.36.

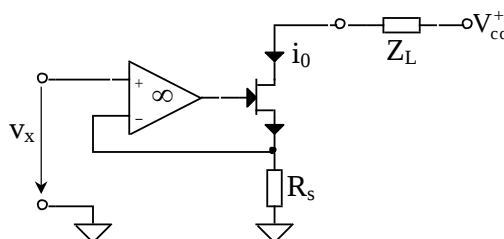


Fig.II.36. Convertor tensiune-curent unidirecțional.

Neglijând erorile statice ale AO, considerat ideal ($A = \infty$, $I_b^+ = I_b^- = 0$, $V_d = 0$), pe baza Fig.II.36 se pot scrie relațiile:

$$v_x = R_s i_0, \quad \text{rezultând} \quad i_0 = v_x / R_s, \quad (\text{II.100})$$

deci precizia și stabilitatea sunt determinate de rezistența R_s .

Parametrul caracteristic al unui C/U-I este rezistența de ieșire, R_0 , care trebuie să aibă o valoare cât mai mare (valoare infinită în cazul ideal). Calculul acesteia se poate face pe baza schemei echivalente a C/U-I, conform relației:

$$R_0 = R_s + [1 + g_m R_s (1 + A)] r_{ds} \cong g_m R_s A r_{ds}, \quad (\text{II.101})$$

unde A reprezintă amplificarea AO, considerată finită, g_m – conductanța mutuală și r_{ds} – rezistența drenă-sursă a tranzistorului cu efect de câmp. De exemplu, pentru $g_m = 1 \text{ mA/V}$, $R_s = 1 \text{ k}\Omega$, $r_{ds} = 20 \text{ k}\Omega$ și $A = 50000$, rezultă $R_0 = 1 \text{ G}\Omega$, valoare suficient de mare pentru a putea avea vreo importanță.

Pentru aplicații mai modeste tranzistorul cu efect de câmp poate fi înlocuit cu un tranzistor bipolar cu β suficient de mare. De asemenea, pentru curenți mai mari se poate utiliza un dublet sau triplet de tranzistoare, cu intrarea pe tranzistor cu efect de câmp sau bipolar. În cazul în care atât tensiunea de intrare, v_x , cât și sarcina, Z_L , trebuie să aibă o bornă conectată la masă, se poate utiliza *oglinnda de curent* cu AO prezentată în Fig.II.37, pentru care curentul de ieșire este:

$$i_0 = \frac{R_1 i_1}{R_3} = \frac{R_1}{R_3} \cdot \frac{v_x}{R_2}. \quad (\text{II.102})$$

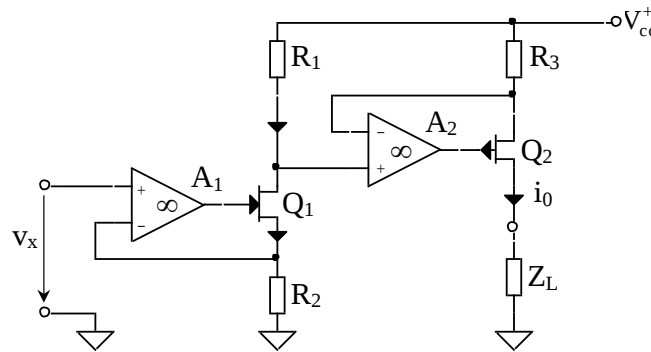


Fig.II.37. Convertor tensiune-curent cu sarcina conectată la masă.

Pe principiul schemelor din Fig.II.36 și Fig.II.37 pot fi concepute și alte scheme care să funcționeze cu tensiuni negative sau să furnizeze curenți de sens contrar. În unele aplicații pot fi necesare surse de curent comandate cu ieșiri multiple. Acestea se pot realiza cu tranzistoare bipolare conform principiului din Fig.II.38. Neglijând curenții de bază comparativ cu curenții de colector și considerând egale între ele tensiunile bază-emitor ale tranzistoarelor Q1, Q2 și Q3, rezultă:

$$i_1 = \frac{v_x}{R_1}; \quad i_2 = \frac{v_x}{R_2} = \frac{R_1}{R_2} i_1; \quad i_3 = \frac{v_x}{R_3} = \frac{R_2}{R_3} i_2 = \frac{R_1}{R_3} i_1. \quad (\text{II.103})$$

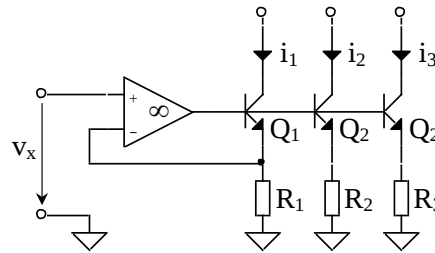


Fig.II.38. Generator de curent comandat, cu ieșiri multiple.

II.6.1.2. Converteoare tensiune-curent bidirecționale

Un C/U-I se poate realiza foarte simplu pentru sarcini flotante, conectând impedanța de sarcină în locul rezistenței de reacție R_2 a unui amplificator inversor, conform pct.II.3.1, Fig.II.6.a. Curentul prin sarcină este egal cu v_x/R_1 și este limitat la valoarea maximă a curentului de ieșire al AO.

Pentru sarcini cu o bornă de conectare la masă, această problema se complică. Un astfel de C/U-I bidirecțional este reprezentat în Fig.II.39.

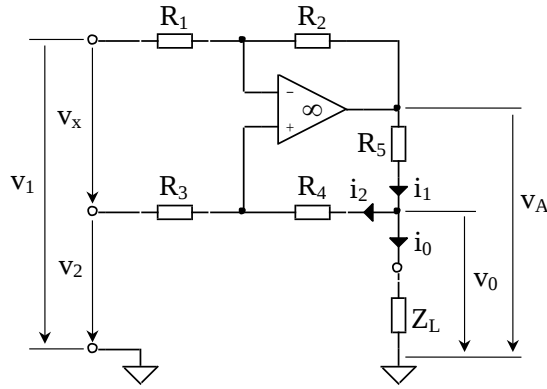


Fig.II.39. Convertor tensiune-curent bidirecțional.

Pentru calculul curentului de ieșire se consideră AO ideal și $v_2 = 0$, deci $v_1 = v_x$. În aceste condiții, tensiunea la intrarea IN^+ a AO are expresia:

$$v^+ = \frac{R_3}{R_3 + R_4} v_0, \quad (\text{II.104})$$

iar tensiunea pe intrarea IN^- a AO este dată de relația:

$$\begin{aligned} v^- &= v_x + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (v_0 + R_5 i_0 + R_5 i_2 - v_x); \\ &= v_x \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (v_0 + R_5 i_0 + R_5 i_2); \end{aligned} \quad (\text{II.105})$$

unde curentul i_2 este dat de relația:

$$i_2 = \frac{v_0}{R_3 + R_4}. \quad (\text{II.106})$$

Având în vedere că $v^+ = v^-$, din (II.104), (II.105) și (II.106) se obține:

$$i_0 = -\frac{v_x}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2 R_3 - R_1 (R_4 + R_5)}{R_1 (R_3 + R_4)} \cdot \frac{v_0}{R_5}. \quad (\text{II.107})$$

Dacă este îndeplinită condiția:

$$R_1 = R_3 \quad \text{și} \quad R_2 = R_4 + R_5, \quad (\text{II.108})$$

din (II.107), rezultă:

$$i_0 = -\frac{v_x}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1}. \quad (\text{II.109})$$

Pentru determinarea rezistenței de ieșire, în Fig.II.39 se consideră $v_x = 0$, iar dacă la ieșire se aplică o sursă de tensiune de test: $v_t = v_0$, apare un curent de sens contrar: $i_t = -i_0$. Astfel, dacă în (II.107) se face $v_x = 0$, se obține expresia rezistenței de ieșire:

$$R_0 = -\frac{v_0}{i_0} = \frac{R_1 (R_3 + R_4)}{R_1 (R_4 + R_5) - R_2 R_3} R_5. \quad (\text{II.110})$$

Rezistența de ieșire reflectă dependența curentului generat de tensiunea de ieșire, adică de rezistența de sarcină, provocată de abaterea rezistențelor de la valorile de calcul, datorită toleranțelor și instabilității. Dacă acest aspect se exprimă astfel:

$$\frac{R_2}{R_1} = (k - \delta); \quad \frac{R_4}{R_3} = (k + \delta) \quad \text{și} \quad R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \gg R_5; \quad (\text{II.111})$$

se obține:

$$R_0 \cong \frac{R_1(R_3 + R_4)}{R_1 R_3 [(k + \delta) - (k - \delta)]} R_5 = \frac{R_5}{\delta}, \quad (\text{II.112})$$

unde δ este abaterea raportului k de la valoarea de calcul. Valoarea abaterii δ poate fi exprimată funcție de eroarea rezistențelor astfel:

$$\frac{R + \Delta R}{R - \Delta R} = k + \delta \Rightarrow \delta = \frac{2\Delta R}{R} \Rightarrow R_0 \cong R_5 \frac{R}{2\Delta R}. \quad (\text{II.113})$$

Dacă $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 100 \text{ }\Omega$ și $\varepsilon_R = \pm 0,1\%$, rezultă $R_0 = 50 \text{ k}\Omega$, valoare care comparativ cu cea a convertorului din Fig.II.36 ($1 \text{ G}\Omega$) este insuficientă în majoritatea aplicațiilor.

II.6.1.3. Convertoare cu ieșire în curent unificat

În acest caz sarcina trebuie conectată cu o bornă la masa, ca urmare schema trebuie să permită acest fapt. Deplasarea caracteristicii de transfer din zero se poate realiza prin sumarea unei tensiuni de referință cu tensiunea de intrare, astfel ca să existe un curent diferit de zero pentru $v_x = 0$. Curentul de ieșire având valoarea tipică de 4-20 mA este necesar un tranzistor la ieșire, conform Fig.II.40.

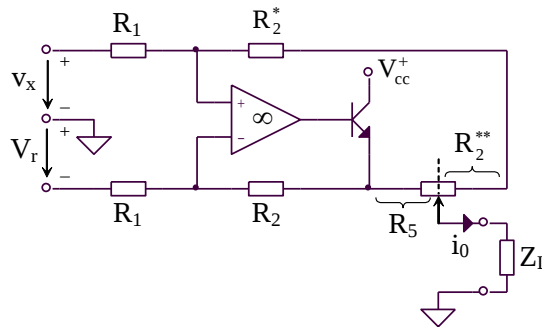


Fig.II.40. Convertor tensiune-curent pentru sisteme de curenți unificați.

Pentru schema de mai sus, curentul de ieșire este dat de relația:

$$I_0 = \frac{v_x + V_r}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1}, \quad (\text{II.114})$$

din care, se poate observa că, dacă:

$$v_x = 0 \Rightarrow I_0^0 = \frac{V_r}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1} = 4 \text{ mA}; \quad (\text{III.115})$$

tensiunea V_r fiind obținută de obicei cu ajutorul unui diode Zener de referință.

II.6.2. CONVERTOARE CURENT -TENSIUNE

Cel mai simplu convertor curent-tensiune (C/I-U) este o rezistență utilizată de obicei în conexiune cuadripolară și denumită de *șunt*. Această rezistență poate fi conectată în bucla de reacție a unui AO, conform Fig.II.41.a. Valoarea curentului este limitată superior de curentul maxim de ieșire și inferior de valoarea curenților de polarizare sau de decalaj ai AO.

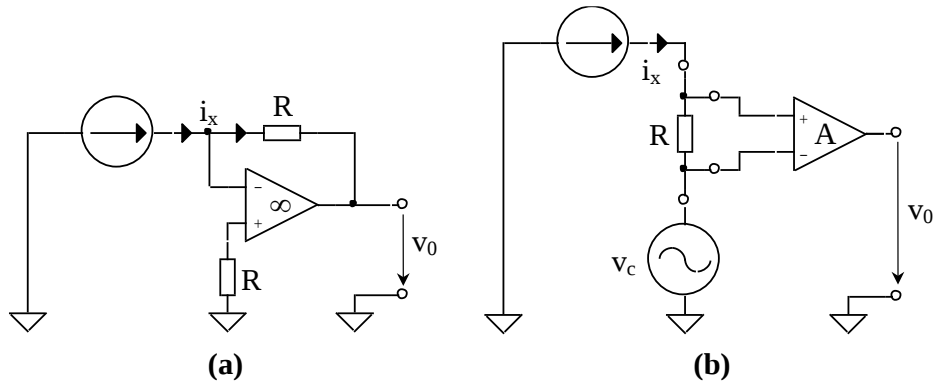


Fig.II.41. Conversoare curent-tensiune:

(a) – măsurare la nivelul masei; (b) – măsurare la potențial flotant.

Pentru măsurarea curentului într-un punct de potențial flotant șuntul se asociază cu un *amplificator diferențial* cu impedanță mare pe mod comun, Fig.II.41.b. Însă șuntul introduce o eroare sistematică datorită rezistenței proprii. O soluție eficientă este reprezentată în Fig.II.42.

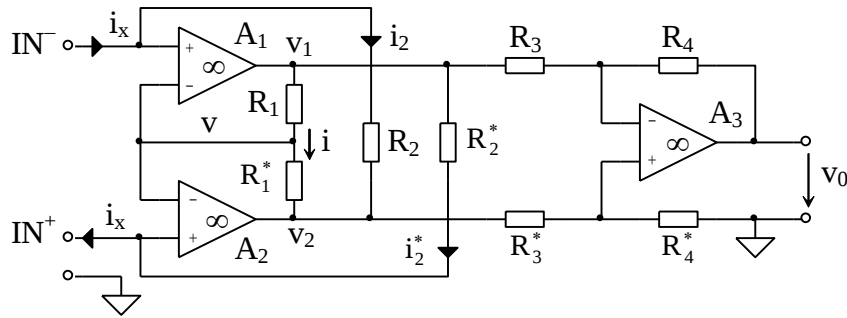


Fig.II.42. Conversor curent-tensiune pentru măsurări la potențial flotant.

Neglijând erorile statice ale amplificatoarelor operaționale, se poate observa că diferența de potențial dintre intrările IN^- și IN^+ este nulă. Curentul de intrare care intră prin borna IN^- se închide prin rezistența R_2 și ieșirea A_2 , iar curentul de intrare care iese prin borna IN^+ circulă de la ieșirea A_1 prin rezistența R_2^* . Diferența de potențial de la ieșirile A_1 și A_2 , $(v_1 - v_2)$ se aplică etajului diferențial A_3 . Analizând schema din Fig.II.42, pentru determinarea funcției de transfer se pot scrie relațiile:

$$i = \frac{v_1 - v}{R_1} = \frac{v - v_2}{R_1^*}; \quad (II.116)$$

$$v_1 = v + R_2^* i_2^* \quad \text{și} \quad v_2 = v - R_2 i_2. \quad (II.117)$$

Înlocuind (II.117) în (II.116), se obține:

$$i_2 = \frac{R_1^*}{R_1} \cdot \frac{R_2^*}{R_2} i_2^*. \quad (II.118)$$

Dacă este îndeplinită condiția: $R_1 = R_1^*$ și $R_2 = R_2^*$, rezultă:

$$i_2 = i_2^* = i_x. \quad (II.119)$$

În acest caz, pe baza (II.117) se obține forma finală a funcției de transfer:

$$v_0 = -\frac{R_4}{R_3} (v_1 - v_2) = -2R_2 \frac{R_4}{R_3} i_x. \quad (II.120)$$

Convertorul curent-tensiune, conform *Fig.II.42*, acceptă curenți de intrare de ambele polarități, deci este un convertor bidirecțional.

Rejecția tensiunilor de mod comun este asigurată de etajul diferențial A_3 și depinde în cea mai mare parte de împerecherea rezistențelor din rețeaua de reacție. Totodată, o importanță deosebită o are și împerecherea rezistențelor $R_1 - R_1^*$, $R_2 - R_2^*$, de care depinde egalitatea curenților prin cele două borne de intrare – IN^- și IN^+ .