

LUCRARE DE LABORATOR LAB-05

CONVERTOARE TENSIUNE-CURENT

Autor: Conf.dr.ing. Constantin Harja

1. SCOPUL LUCRĂRII

Scopul prezentei lucrări de laborator este studierea și testarea convertoarelor tensiune-curent, în curent continuu și în curent alternativ. Lucrarea cuprinde aspecte referitoare la utilizarea, clasificarea, principiile de funcționare, proiectarea și realizarea convertoarelor tensiune-curent.

2. GENERALITĂȚI

Convertoarele tensiune-curent sunt blocuri funcționale uzuale în structura aparatelor electronice de măsură și control. Astfel de convertoare se utilizează la realizarea convertoarelor tensiune-frecvență, a generatoarelor de tensiune liniar variabilă controlate în tensiune, a convertoarelor analog-numerice și la transmiterea semnalelor pe linii lungi sau pe sarcini inductive. O aplicație tipică a convertoarelor tensiune-curent este aceea de bloc de ieșire pentru aparatele destinate sistemelor de măsurare și/sau automatizare care lucrează cu curenți unificați (4...20 mA etc.).

Convertoarele tensiune-curent pot fi realizate și cu ieșiri multiple. Acestea sunt utilizate la realizarea convertoarelor numeric-analogice cu generatoare de curenți ponderați. În aceste caz, curenții de ieșire sunt proporționali cu puterile cifrei doi, iar numărul de ieșiri este egal cu numărului de biți ai convertorului.

Convertoarele tensiune-curent pot genera curenți unidirecționali (de o singură polaritate) sau bidirecționali (de ambele polarități).

Convertoarele tensiune-curent unidirecționale provin din generatoarele de curent constant cu tranzistor bipolar sau cu efect de câmp, tensiunea de referință fiind înlocuită cu o tensiune de comandă variabilă.

Cel mai simplu convertor tensiune-curent bidirecțional, pentru sarcini flotante, se poate obține conectând impedanța de sarcină în locul rezistenței de reacție intrare-ieșire a unui amplificator operațional în montaj inversor.

Schemele de convertoare tensiune-curent diferă și în funcție de modul cum se conectează rezistența de sarcină. Din acest punct de vedere, rezistența de sarcină poate fi flotantă sau poate avea în mod obligatoriu o bornă conectată la masă.

În ceea ce privește intrarea, convertoarele tensiune-curent pot avea intrare simplă (o singură bornă de semnal, a doua fiind în mod obligatoriu masa) sau intrare diferențială (cu două borne de semnal și una de masă), caz în care tensiunea de comandă poate fi și flotantă.

Parametrul esențial pentru un convertor tensiune-curent este, ca la orice sursă de curent, rezistența echivalentă de ieșire, deoarece se manifestă ca o rezistență fizică conectată în paralel cu sarcina. Acest parametru poate fi uneori mai greu de realizat la un nivel performant, decât precizia sau stabilitatea.

Convertoarele tensiune-curent pentru sarcini cu o bornă la masă și tensiune de intrare flotantă se realizează plecând de la configurațiile cunoscute de amplificatoare diferențiale. Aceste tipuri de convertoare au performanțe mai slabe decât cele unidirecționale pentru că sunt afectate de tensiunile de mod comun și de imposibilitatea împerecherii perfecte a rezistențelor din rețeaua de reacție, fapt ce se reflectă în reducerea rezistenței de ieșire a convertorului. De exemplu, un convertor tensiune-curent unidirecțional poate avea o rezistență de ieșire cu valoarea tipică de $10^9 \Omega$, pe când unul bidirecțional doar de $10^5 \dots 10^6 \Omega$.

3. SCHEMA ELECTRICĂ A CONVERTORULUI TENSIUNE-CURENT

Convertorul tensiune-curent studiat în continuare este un convertor bidirecțional cu intrare diferențială și sarcină conectată la masă (sau alt potențial, fără depășirea gamei dinamice a tensiunii de ieșire), conform *Fig.1*.

Convertorul tensiune-curent este realizat cu amplificatorul operațional U_3 și rezistențele aferente ($R_1 \dots R_5$). Repetoarele de tensiune U_1 și U_2 au numai rolul de a asigura o impedanță mare de intrare. Ele pot lipsi dacă sursa de semnal de intrare are o impedanță de ieșire suficient de mică, comparativ cu impedanța de intrare a convertorului tensiune-curent.

Analizând schema electrică din *Fig.1*, se poate ușor observa că acest tip de convertor tensiune-curent provine dintr-un amplificator diferențial.

Valorile rezistențelor sunt următoarele:

- $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega \pm 0,25\%$; $R_5 = 200 \Omega \pm 0,25\%$.

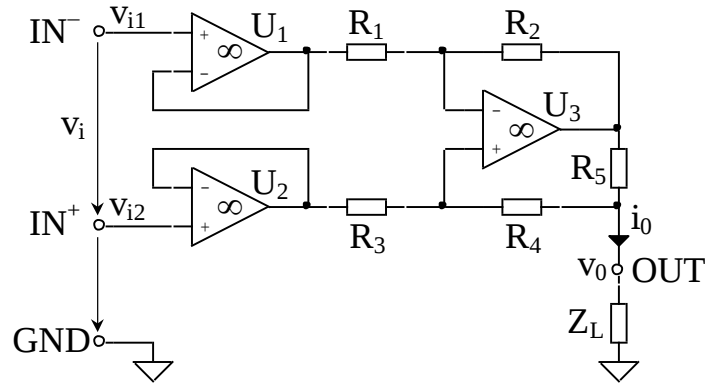


Fig.1. Schema electrică a convertorului tensiune-curent.

Neglijând erorile statice ale amplificatoarelor operaționale, din condiția de echipotențialitate a intrărilor amplificatorului U_3 ($v^+ = v^-$) și considerând pentru simplificarea calculelor $v_{i1} = 0$, se obține expresie a caracteristicii de transfer:

$$i_0 = -\frac{v_i}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2 R_3 - R_1 (R_4 + R_5)}{R_1 (R_3 + R_4)} \cdot \frac{v_0}{R_5}. \quad (1)$$

Dacă se impun condițiile:

$$R_1 = R_3 \quad \text{și} \quad R_2 = R_4 + R_5; \quad (2)$$

expresia funcției de transfer capătă forma finală:

$$i_0 = -\frac{v_i}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1} = -\frac{v_{i1} - v_{i2}}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1}. \quad (3)$$

Pentru determinarea rezistenței de ieșire a convertorului tensiune-curent, în Fig.1 se consideră $v_{i1} = v_{i2} = v_i = 0$, iar la ieșire se consideră aplicată o sursă de tensiune de test cu valoarea V_L , datorită căreia va apare un curent de sens contrar lui i_0 , notat cu I_0 . Calculele necesare pentru determinarea relației dintre I_0 și V_L sunt aceleași și se obține o expresie de aceeași formă cu (1). Ca urmare, cu observațiile de mai sus, dacă în (1) se face $v_i = 0$, se obține expresia rezistenței de ieșire:

$$R_0 = -\frac{V_L}{I_0} = \frac{R_1 (R_3 + R_4)}{R_1 (R_4 + R_5) - R_2 R_3} R_5. \quad (4)$$

Se observă că rezistența de ieșire depinde de îndeplinirea condițiilor precizate prin (2), adică de abaterea rezistențelor de la valoarea calculată. Dacă se consideră:

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{R_1} &= (k - \delta); & \frac{R_4}{R_3} &= (k + \delta); \\ R_1 &= R_2 = R_3 = R_4 = R \gg R_5; \end{aligned} \quad (5)$$

(4) devine:

$$R_0 \cong \frac{R_1(R_3 + R_4)}{R_1 R_3 [(k + \delta) - (k - \delta)]} R_5 = \frac{R_5}{\delta}. \quad (6)$$

unde δ este abaterea raportului k de la valoarea calculată.

Valoarea lui abaterii δ poate fi exprimată funcție de eroarea rezistențelor:

$$\frac{R + \Delta R}{R - \Delta R} = k + \delta \Rightarrow \delta = \frac{2\Delta R}{R} \Rightarrow R_0 \cong R_5 \frac{R}{2\Delta R} = R_5 \frac{1}{2\varepsilon_R}, \quad (7)$$

unde ΔR este eroarea absolută, iar ε_R eroarea relativă a rezistențelor.

4. PROBLEME TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

4.1. Se deduc, efectuând toate operațiile, (3) și (7) și se calculează valorile lor numerice.

4.2. Considerând că tensiunea de intrare nominală este $V_{in} = 1$ V și că tensiunea maximă de ieșire a amplificatorului operațional $U_3 = 10$ V se calculează valoarea maximă a rezistenței de sarcină.

4.3. Se calculează valorile componentelor schemei din Fig.0, astfel încât să se obțină un convertor tensiune-curent cu următoarele caracteristici:

- tensiunea diferențială de intrare: 0...10 V;
- curentul de ieșire: 0...10 mA;
- rezistența de sarcină: max. 1 k Ω ;
- tensiunea de ieșire a amplificatorului $U_3 = \text{max. } 11$ V;
- rezistența echivalentă la intrările U_3 : max. 10 k Ω .

4.4. Determinarea erorii de neliniaritate în curent continuu:

- se conectează o intrare la masă, la cealaltă intrare se aplică o tensiune continuă – v_i cu valorile $v_{ik} = (0, 0,25, 0,5, 0,75, 1)V_{in}$ ($k = 1...5$) și se măsoară valorile corespunzătoare ale curentului de ieșire – i_{0k} ;
- se calculează admitanța de transfer – J_{21} în punctul ($v_{i5} = V_{in}$, i_{03}) cu relația:

$$J_{21} = \frac{i_{05}}{v_{i5}}; \quad (8)$$

- se calculează valorile curentului de ieșire de pe caracteristica ideală de transfer (în sensul de liniară):

$$i_{0k}^{\circ} = J_{21} v_{ik} ; \quad (9)$$

- se calculează eroarea absolută:

$$\Delta i_{0k} = i_{0k} - i_{0k}^{\circ} ; \quad (10)$$

- se selectează eroarea absolută maximă și se calculează eroarea de neliniaritate:

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta i_{0\max}}{i_{0\max}^{\circ}} 100[\%]; \quad (11)$$

- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului de mai jos.

Tabel 1/2. Date experimentale convertor tensiune-curent

v_i	i_0	i_0°	Δi_0	ε_n
v_{i1}	i_{01}	i_{01}°	Δi_{01}	$\Delta i_{0\max} = ?$ $\varepsilon_n = ?$
:	:	:	:	
v_{i5}	i_{05}	i_{05}°	Δi_{05}	

4.5. Determinarea erorii de neliniaritate în curent alternativ:

- se repetă operațiile de la pct.4.4 pentru curent alternativ, calculându-se în prealabil valoarea efectivă nominală a tensiuni de intrare – V_{in} , astfel ca valoarea de vârf a curentului de ieșire să nu depășească valoarea de 5 mA.
- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului de mai sus.

4.6. Se compară datele experimentale obținute în curent alternativ cu cele obținute în curent continuu și se precizează cauzele diferențelor dintre ele.

4.7. Determinarea rezistenței de ieșire:

- se conectează ambele intrări la masă, se aplică la ieșire o tensiune alternativă – V_L cu valoarea vârf-vârf de max. 10 V și frecvența de aprox. 50 Hz și se măsoară curentul – I_0 absorbit de convertor;
- se calculează cu ajutorul celor două valori (V_L și I_0) rezistența de ieșire și se compară cu valoarea teoretică, conform (7).

4.8. Realizarea unui convertor tensiune-curent pentru gama 1...5 mA:

- se analizează și se precizează completările necesare schemei din Fig.10 pentru a se obține un convertor tensiune-curent pentru curent unificat în gama de 1...5 mA (pentru curent mai mare, ex.: 4...20 mA, trebuie introdus un tranzistor la ieșirea U_3 pentru a se evita supraîncărcarea acestuia);

- se realizează practic convertorul tensiune-curent în gama 1...5 mA și i se ridică caracteristica de transfer;
- se proiectează un convertor tensiune-curent pentru gama 4...20 mA.

4.9. Se analizează comportarea și caracteristicile metrologice ale schemei din Fig.1 și se propun măsuri de îmbunătățire a performanțelor.

5. ÎNTREBĂRI

- 5.1. Care sunt utilizările tipice ale convertoarelor tensiune-curent?
- 5.2. Care sunt tipurile principale de convertoarelor tensiune-curent?
- 5.3. Care este efectul unei rezistențe de ieșire a convertoarelor tensiune-curent de valoare redusă?
- 5.4. Ce modificări trebuie aduse schemei unui convertor tensiune-curent de uz general pentru a-l face capabil să lucreze în sistemele de curenți unificați?