

CURS – 2

CIRCUITE DE CONDIȚIONARE A SEMNALELOR

Autor: Conf.dr.ing. Constantin Harja

II.1. SURSE DE SEMNAL AFERENTE SAPD

Sursele de semnal pentru un SAPD sunt în ultimă instanță de natură electrică, semnalele neelectrice fiind convertite în semnale electrice cu ajutorul senzorilor și traductoarelor, care pot îndeplini una sau mai multe din următoarele funcții:

- conversia unei mărimi neelectrice într-un semnal electric intermediar;
- condiționarea semnalului electric intermediar până la nivel de semnal unificat;
- conversia analog-numerică și procesarea numerică a datelor inițiale.

Din punct de vedere constructiv senzorii și traductoarele pot avea o structură variabilă, începând de la cea mai simplă cum ar fi de exemplu termorezistența sau termocuplul, pot include convertoare realizate cu componente discrete sau hibride sau pot fi realizați sub formă de convertoare integrate, cu ieșire analogică sau numerică, pentru acestea din urmă fiind deja consacrat termenul de *senzor (traductor) inteligent*.

Clasificarea senzorilor și traductoarelor se poate face după mai multe criterii, cu rol determinant asupra structurii convertoarelor de intrare, dar și de prelucrare a semnalelor, astfel:

- a) în funcție de tipul mărimii electrice generate, având la bază clasificarea mărimilor de măsurat în *mărimi pasive și mărimi active*:
- *senzori parametrice*, generând la ieșire o mărime electrică pasivă, de *grad 0* sau de *tip parametric* (rezistență, inductivitate sau capacitate);
 - *senzori/traductoare generatoare*, generând la ieșire o mărime electrică activă, de *grad 1* sau de *tip intensitate* (curent, tensiune sau sarcină);
- b) în funcție de forma de variație în timp a semnalului electric generat:
- *senzori/traductoare analogice*, generând la ieșire un semnal analogic;
 - *senzori/traductoare cu ieșire în impulsuri sau în frecvență*;
 - *senzori/traductoare cu ieșire numerică*, compatibilă tot mai mult cu interfețele de comunicație date, fiind o caracteristică definitorie pentru *senzorii inteligenți*.

Cunoașterea caracteristicilor surselor de semnal pentru un SAPD este necesară pentru proiectarea circuitelor de condiționare a semnalelor de intrare, astfel încât să se asigure o compatibilitate cât mai largă cu circuitele de conversie analog-numerică.

II.2. CIRCUITE PASIVE DE CONDIȚIONARE A SEMNALELOR

O serie de semnale electrice prezintă o natură sau un nivel energetic care necesită sau permite o condiționare parțială sau totală realizabilă cu circuitele electrice pasive. Din această categorie ar putea fi menționate următoarele cazuri tipice:

- condiționarea tensiunilor de la un anumit nivel ($0 \dots 1/2/5/10$ V sau $\pm 1/2/5/10$ V) în sus, cum ar de exemplu tensiunea rețelei de c.a., când este de regulă suficientă doar o adaptare de nivel, realizabilă cu divizoare sau transformatoare de tensiune;

- condiționarea curenților de la un anumit nivel (0/4...20 mA) în sus, cum ar fi de exemplu curenții consumații pe rețeaua de c.a. sau în diverse procese industriale, când este suficientă conversia în tensiune cu șunturi sau transformatoare de curent;
- condiționarea semnalelor de la senzorii parametrici, când pentru conversia în tensiune este suficient sau necesar inițial un montaj potențiometric sau în punte.

II.2.1. CIRCUIT DE CONDIȚIONARE POTENȚIOMETRIC

Montajul potențiometric reprezintă soluția cea mai simplă de conversie în tensiune a mărimii de ieșire a unui senzor parametric rezistiv. Spre deosebire de montajul în punte, prezintă inconvenientul că variația utilă de semnal este suprapusă peste o componentă continuă de valoare considerabilă care trebuie eliminată ulterior.

În general senzorii pot fi plasați la diferite distanțe față de SAPD și ca urmare trebuie luată în considerare și influența conductoarelor de legătură. Pentru analiza montajului potențiometric se utilizează schema din Fig.II.1, unde R_x reprezintă rezistența senzorului, R_L – rezistențele conductoarelor de conexiune, iar R – o rezistență de balast cu rol de rezistență de sarcină pentru senzor. Rezistența internă a sursei de alimentare V_c și de intrare a convertorului care preia tensiunea v_0 s-au neglijat, deoarece în practică sunt îndeplinite de regulă condițiile necesare în acest sens.

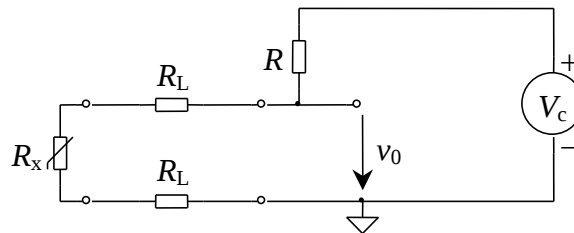


Fig.II.1. Circuit de condiționare potențiometric.

Din Fig.II.1 se observă că rezistența echivalentă văzută la bornele montajului potențiometric are expresia:

$$R_x^* = R_x + 2R_L, \quad (II.1)$$

corespunzătoare unui senzor echivalent care ar include și rezistența conductoarelor de legătură.

În absența mărimii neelectrice de intrare sau pentru o valoare de referință a acesteia, cum ar fi de exemplu 0°C pentru temperatură, senzorul prezintă o valoare de repaus R_{x0} , pentru care tensiunea de ieșire înregistrează valoarea corespunzătoare V_0 :

$$V_0 = \frac{R_{x0} + 2R_L}{R_{x0} + 2R_L + R} V_c = \frac{R_{x0}^*}{R_{x0}^* + R} V_c, \quad (II.2)$$

unde R_{x0}^* reprezintă rezistența de repaus a senzorului echivalent conform (II.1).

În prezența mărimii neelectrice de intrare sau la modificarea acesteia față de valoarea de referință considerată, apare o variație de rezistență a senzorului față de valoarea de repaus, care produce o variație corespunzătoare a tensiunii de ieșire:

$$v_0 = V_0 + \Delta v_0 = \frac{R_{x0}^* + \Delta R_x}{R_{x0}^* + \Delta R_x + R} V_c = \frac{R_{x0}^* + \Delta R_x^*}{R_{x0}^* + \Delta R_x^* + R} V_c, \quad (II.3)$$

unde, conform (II.1), s-a avut în vedere că $\Delta R_x^* = \Delta R_x$, deoarece $R_L = \text{const.}$

Din (II.3) se observă că tensiunea de ieșire conține o componentă constantă de repaus V_0 , peste care apare suprapusă variația de tensiune Δv_0 , generată de ΔR_x :

$$\Delta v_0 = v_0 - V_0 = \left(\frac{R_{x0}^* + \Delta R_x^*}{R_{x0}^* + \Delta R_x^* + R} - \frac{R_{x0}^*}{R_{x0}^* + R} \right) V_c. \quad (\text{II.4})$$

Dacă se introduce notația:

$$k = R / R_{x0}^*, \quad (\text{II.5})$$

(II.4) poate fi exprimată într-o formă mai convenabilă, astfel:

$$\Delta v_0 = \frac{k}{1+k} \frac{\Delta R_x^*}{R_{x0}^*} V_c. \quad (\text{II.6})$$

a) Eroarea de neliniaritate. (II.6) reflectă o eroare de neliniaritate datorită faptului că variația utilă de rezistență a senzorului intervine și la numitor. Explicitând această eroare conform expresiei:

$$\varepsilon_n = 1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{1+k} \frac{\Delta R_x^*}{R_{x0}^*}}, \quad (\text{II.7})$$

(II.6) devine:

$$\Delta v_0 = \frac{k}{(1+k)^2} \frac{\Delta R_x^*}{R_{x0}^*} (1 - \varepsilon_n) V_c. \quad (\text{II.8})$$

b) Eroarea de atenuare. Din cauza rezistenței finite a conductoarelor de legătură, conform (II.1), variația relativă de rezistență a senzorului echivalent rezultă mai mică decât a senzorului efectiv, deoarece ΔR_x se raportează nu la R_x , ci la $R_x + 2R_L$, ceea ce are ca efect reducerea sensibilității senzorului, conform expresiei:

$$\frac{\Delta R_x^*}{R_{x0}^*} = \frac{\Delta R_x}{R_{x0} + 2R_L} = \frac{\Delta R_x}{R_{x0}} \frac{1}{1 + 2R_L / R_{x0}}. \quad (\text{II.9})$$

Dacă se exprimă eroarea de atenuare ca un factor de pierderi:

$$\varepsilon_a = 1 - \frac{1}{1 + 2R_L / R_{x0}}, \quad (\text{II.10})$$

(II.8) devine:

$$\Delta v_0 = \frac{k}{(1+k)^2} \frac{\Delta R_x}{R_x} (1 - \varepsilon_a) (1 - \varepsilon_n) V_c. \quad (\text{II.11})$$

Se observă că sensibilitatea depinde de raportul k , a cărui valoare optimă pentru sensibilitate maximă este $k = 1$, deci (II.11) devine:

$$\Delta v_0 = \frac{1}{4} \frac{\Delta R_x}{R_x} (1 - \varepsilon_a) (1 - \varepsilon_n) V_c. \quad (\text{II.12})$$

În aplicații practice sunt posibile o serie de simplificări în (II.12). De exemplu, dacă distanța senzor – SAPD este mică, rezistența conductoarelor de legătură poate avea un efect neglijabil, deoarece condiția $R_L \ll R_{x0}$ conduce la $\varepsilon_a \rightarrow 0$. În alte cazuri, cum ar fi mărcile tensometrice care prezintă variații foarte mici de rezistență sau funcționarea senzorilor pe intervale reduse de variație, este posibil de îndeplinit condiția $\Delta R_x \ll R_{x0} + 2R_L$ și astfel eroarea de atenuare devine

neglijabilă. Dacă ambele condiții menționate mai sus sunt îndeplinite simultan, (II.12) devine:

$$\Delta v_0 \cong \frac{1}{4} \frac{\Delta R_x}{R_{x0}} V_c. \quad (\text{II.13})$$

c) **Eroarea suplimentară cu temperatura.** Influența temperaturii se manifestă asupra obiectului de măsurat alterând măsurandul și asupra circuitului de măsurare provocând variația rezistenței senzorului și a conductoarelor de legătură. Neglijând efectul temperaturii asupra neliniarității și atenuării și considerându-l numai pe cel asupra sensibilității, din (II.8) se poate calcula variația suplimentară a tensiunii de ieșire generată de variația cu temperatura a rezistențelor menționate:

$$\Delta v_0^\theta = \frac{k}{(1+k)^2} \left(\frac{\Delta R_x^\theta}{R_x + 2R_L} + \frac{2\Delta R_L^\theta}{R_x + 2R_L} \right) V_c, \quad (\text{II.14})$$

unde indicele θ se referă la variația mărimilor respective cu temperatura.

II.2.2. CIRCUIT DE CONDIȚIONARE ÎN PUNTE

Schema unui montaj în punte este reprezentată în *Fig.II.2*, unde s-a păstrat intact montajul potențiometric împreună cu notațiile aferente pentru a evidenția trecerea la montajul de punte.

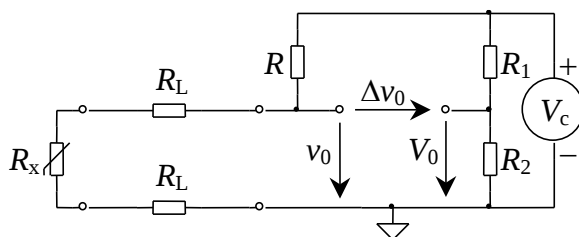


Fig.II.2. Circuit de condiționare în punte.

Din *Fig.II.2* se observă că puntea a rezultat prin completarea montajului potențiometric (*Fig.II.1*) cu divizorul R_1 , R_2 , dimensionat astfel încât în repaus (absența măsurandului) puntea să fie la echilibru, adică $v_0 = V_0$ sau $\Delta v_0 = 0$. Condiția de echilibru se exprimă transcriind (II.5) astfel:

$$k = R/R_{x0}^* = R_1/R_2. \quad (\text{II.15})$$

În aceste condiții, considerând (II.1) și (II.2), la echilibru este valabilă relația:

$$v_0 = V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_c = \frac{R_{x0}^*}{R_{x0}^* + R} V_c. \quad (\text{II.16})$$

Cu observațiile de mai sus, considerând rezistențele punții (R , R_1 și R_2) ideale, toate concluziile studiului asupra montajului potențiometric, exprimate analitic prin (II.3)...(II.14), rămân perfect valabile în aceleași condiții și pentru montajul în punte.

Dacă sensibilitatea este aceeași în ambele cazuri, totuși puntea este superioară calitativ deoarece, spre deosebire de montajul potențiometric unde componenta utilă a tensiunii de ieșire, Δv_0 , este suprapusă peste tensiunea de repaus V_0 , echivalentă cu o tensiune de decalaj, montajul în punte elimină acest decalaj, furnizând la ieșire numai componenta utilă Δv_0 . În cazul montajului potențiometric decalajul V_0 poate anulat pe convertorul care preia tensiunea de ieșire.

Un alt avantaj al montajului în punte este acela că permite conectarea senzorului nu numai prin 2, ci și prin 3, 4 sau 6 conductoare de legătură, soluții care permit reducerea aproape integrală a influenței rezistenței conductoarelor. Spre exemplificare, se prezintă în *Fig.II.3* conexiunea cu trei

conductoare. În acest caz, ideea de bază este plasarea a câte unui conductor de legătură în două brațe adiacente ale punții, al treilea fiind în serie cu tensiunea de ieșire sau de alimentare.

În aceeași ordine de idei, dacă condițiile din mediul de măsurare permit, se mai poate utiliza și soluția de plasare a uneia din rezistențele punții în exterior împreună cu senzorul.

În *Fig.II.3* se observă că 2 dintre conductoarele de legătură apar în brațele punții constituite de R și R_x , iar al 3-lea apare în serie cu tensiunea de ieșire. Efectul conductoarele din brațele punții, inclusiv variația lor cu temperatura, se compensează reciproc, iar efectul conductorului aflat în serie cu tensiunea de ieșire este neglijabil deoarece curentul de ieșire este practic zero.

A doua variantă de conexiune prin trei conductoare se poate obține dacă în *Fig.II.3* se inversează locul tensiunii de alimentare cu cel al tensiunii de ieșire. În ambele cazuri se obțin rezultate optime dacă este îndeplinită condiția $R_1 = R_2 = R$.

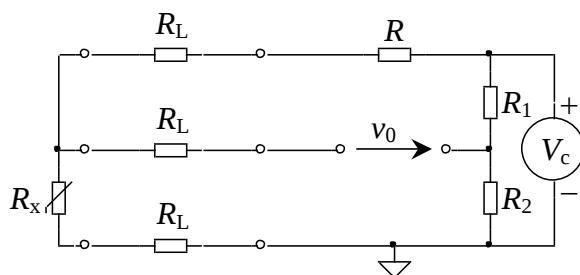


Fig.II.3. Conectarea senzorului la punte prin trei conductoare.

În afară de montajul potențiometric, pentru senzorii rezistivi mai pot fi realizată conversia în tensiune și prin aplicarea pe senzor unui curent constant, utilizându-se conexiunea dipolară sau cuadripolară, situație în care circuitul de condiționare nu mai introduce neliniaritate proprie.

În cazul punților, pentru creșterea sensibilității și reducerea neliniarității, în afară de puntea cu un singur braț activ (senzor) se mai pot utiliza în cazul senzorilor diferențiali sau dacă măsurandul prezintă variații de sens contrar și punți cu 2 sau 4 brațe active care includ senzori. Din aceleași considerente se poate opta pentru alimentarea punții cu curent constant, în loc de tensiune constantă.