

Instrumentație destinată măsurării deplasării

Deplasarea reprezintă mărimea care caracterizează schimbările de poziție ale unui corp sau ale unui punct caracteristic față de un sistem de referință.

Deplasările pot fi *liniare* - când corpul (punctul caracteristic) efectuează o mișcare de translație - reprezentate printr-un vector a cărui direcție rămâne aceeași pe tot timpul mișcării, respectiv *unghiulare* - când corpul (punctul caracteristic) se rotește în raport cu o referință - reprezentate printr-un vector (modul + fază) cu faza variabilă față de referința considerată.

Situarea la foarte mică distanță a unui corp (punct) față de un reper fix se numește *proximitate*. Deplasarea simultană - liniară și unghiulară - a unui punct pe diferite axe în raport cu un sistem de coordonate poartă numele de *traietorie*.

Instrumentația din această clasă → diversitatea lor funcțională și constructivă.

După tipurile de elemente sensibile (ES) și principiile de funcționare se disting:

- cu ES parametrice tip *R, L, C*
- cu ES fotoelectrice și modulator al fluxului de radiație luminoasă
- cu ES de tip generator
- cu ES tip laser
- cu ES ultrasonice

Instrumentație destinată măsurării deplasării cu elemente sensibile de tip parametric (R, L, C)

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Există trei modalități practice de realizare a instrumentației rezistive:

a) *cu variație discontinuă* (cu contacte), care realizează variații în trepte ale rezistenței electrice, transformând o deplasare mecanică (sau abaterile față de o dimensiune dată) în impulsuri electrice (fig.a și fig.b).

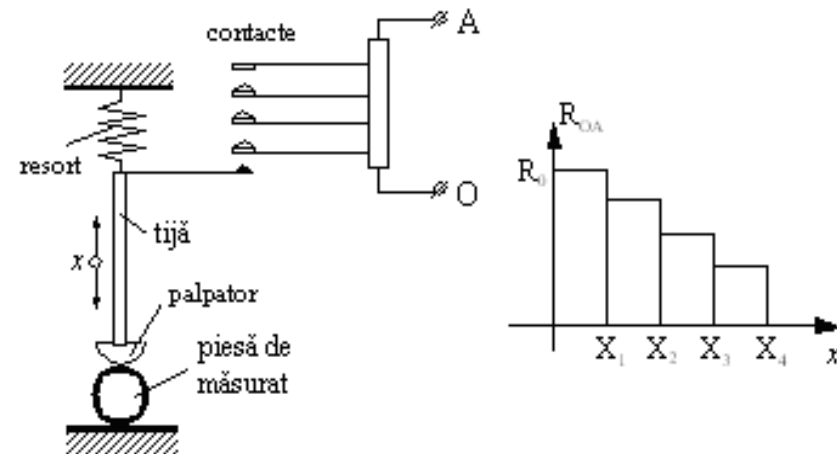
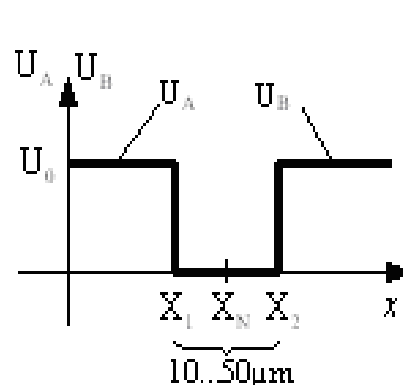
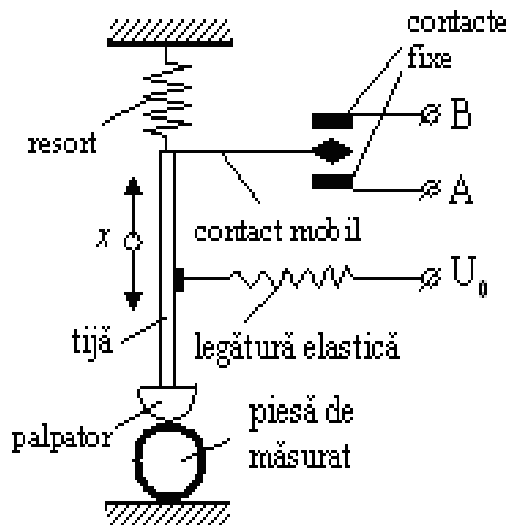


Fig.b. Instrument rezistiv cu variație discontinuă pentru sortări dimensionale

Fig.a. Instrument rezistiv cu variație discontinuă pentru verificări dimensionale



A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Caracteristici (la instrumentația cu variație discontinuă):

Cu referire la fig.a se observă că, în funcție de dimensiunea piesei de măsurat, se va închide contactul superior U_{OB} sau inferior U_{OA} sau nici unul, dacă piesa se înscrie în domeniul (X_1 , X_2). În consecință, rezistența electrică între punctul comun U_0 și punctele A sau B poate fi zero (contact închis) sau infinită (contact deschis).

Rezoluția este de 10...100 μ m și este limitată de distanța minimă dintre contacte și tensiunea U_0 aplicată. Dacă distanța este foarte mică și tensiunea mare pot apare fenomene de străpungere prin aer (arc electric).

Știind că tensiunea de străpungere în aer pur este de 20 kV/cm rezultă că - pentru o distanță de 10 μ m între contacte - trebuie ca $U_{OA}/d \leq 20$ kV/cm, astfel că se obține $U_{OA} \leq 20$ V.

→

pentru obținerea unei rezoluții superioare, este necesar să se lucreze cu tensiuni foarte mici, ceea ce conduce la limitarea utilizării acestor variante de traductoare

În plus apar fenomene de coroziune datorate agenților externi, care distrug contactele și fenomene de eroziune datorită arcului electric, care duc la deteriorarea suprafeței de contact.

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Din aceste considerente contactele se fac din aliaje și materiale rezistente și costisitoare, cum ar fi:

- platină + iridiu - rezistente la coroziune dar nu și la eroziune;
- wolfram + molibden - rezistente la eroziune dar mai puțin la coroziune;
- argint - pentru cazurile mai puțin pretențioase.

În mod similar lucrează elementul rezistiv din fig.b, cu observația că rezistența electrică R_{OA} are o variație în trepte, de unde și posibilitatea folosirii acestuia la operații de sortare dimensională.

b) *cu variație continuă*

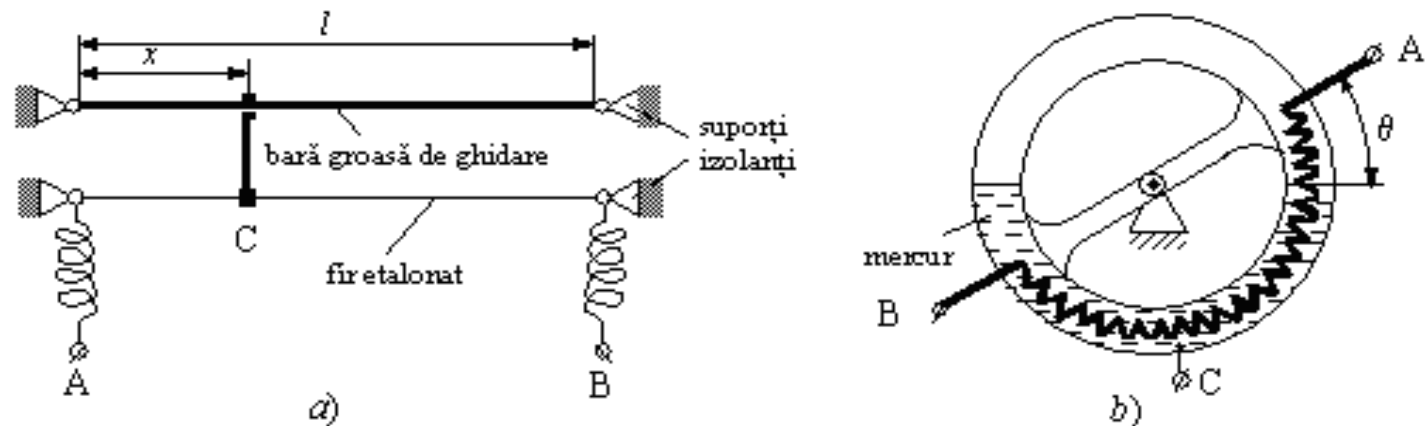


Fig.c. Instrumentație rezistivă cu variație continuă



A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Se compun dintr-un fir etalonat (un conductor electric de secțiune S , lungime l , realizat dintr-un material cu rezistivitatea ρ) pe care culisează un cursor C - fig.c,*a* - astfel că

$$R_{tot} = R_{AB} = \rho \frac{l}{S} \quad \text{și} \quad R_x = R_{AC} = \rho \frac{x}{S} = \rho \frac{x}{l} \frac{l}{S} = R_{tot} \frac{x}{l}.$$

Pentru deplasări unghiulare, în fig.c,*b* este prezentată o variantă cuprinzând un tor pe jumătate umplut cu mercur și un fir rezistiv având o variație uniformă a rezistenței pe toată lungimea semicercului.

În acest mod, pentru $\theta = 0$ rezultă $R_{AC} = 0$, iar pentru $\theta \neq 0$ se obține

$$R_{AC} = R_x = \frac{R_{tot}}{\pi} \theta \quad \text{cu observația că } \theta \text{ poate varia între } 0 \text{ și } \pi \text{ radiani.}$$

c) *cu variație cvasicontinuă* sunt cele mai utilizate în practică și constau în bobinarea pe o carcasă izolantă liniară sau circulară a unui fir conductor dintr-un material de mare rezistivitate (fig.d,*a* și *b*).

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

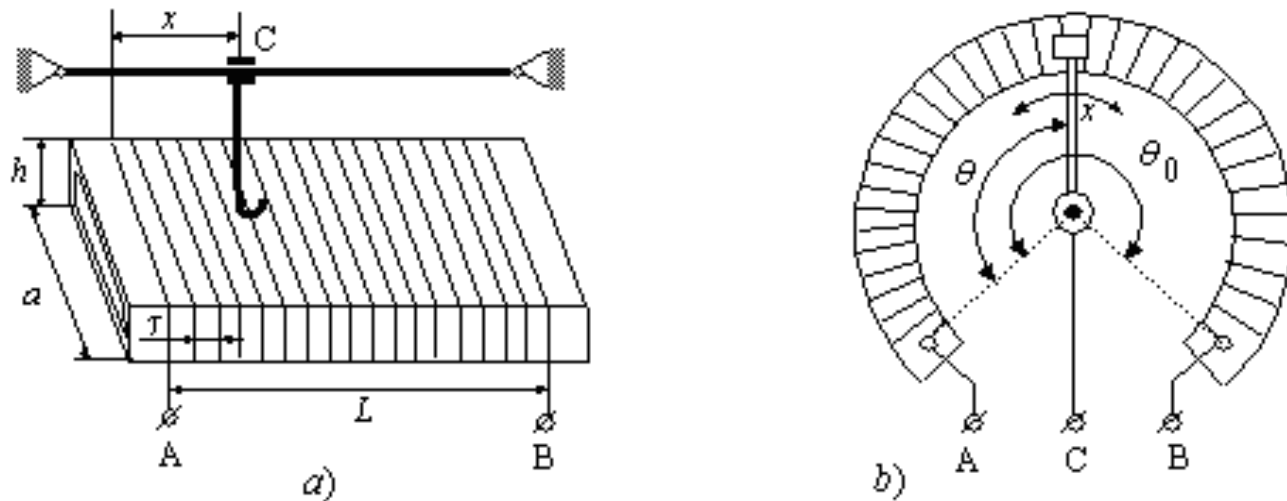


Fig.d. Instrumentație rezistivă cu variație cvasicontinuă: a) - varianta liniară; b) - varianta circulară

Formele desenate corespund unor elemente sensibile rezistive cu pas uniform, la care $\Delta R/\Delta x = ct$. Distanța dintre două spire (cazul liniar - fig.d,a) este $\tau = L/N = x/N_x$ unde L este lungimea totală, N - numărul total de spire, N_x - numărul de spire corespunzător lungimii x , iar τ se numește pasul de bobinare. Rezultă că

$$R_x = \rho \frac{l_s}{\pi d^2} N_x = \frac{R_{tot}}{N} N_x = \frac{R_{tot}}{L} x = \frac{N R_{sp}}{L} x \quad \text{unde} \quad R_{sp} = \rho \frac{l_s}{\pi d^2}$$

rezistența unei spire având lungimea $l_s = 2h + 2a$ și diametrul sârmei d .

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Pentru cazul unghiular - pasul de bobinare este $\tau_u = \theta_0/N$, iar

$$R_\theta = \frac{R_{tot}}{\theta_0} \theta \quad \text{cu} \quad \theta_0 = 240^\circ \dots 330^\circ.$$

Pentru creșterea domeniului de măsurare se construiesc variante de elemente rezistive unghiulare multitur, alcătuite din 10 structuri circulare dispuse elicoidal, cunoscute sub denumirea de *helipoți*.

Sunt situații cerute de practică în care variația rezistenței cu deplasarea trebuie să fie neliniară. Ca modalități de realizare se disting:

- prin *bobinare cu pas uniform* pe carcasse profilate - fig.e,a - forma profilului fiind determinată de forma caracteristicii neliniare pe care trebuie să o realizeze elementul rezistiv; presupunând că se dorește dependența $Rx = f(x)$, rezultă

$$R_x = \int_0^x \rho \frac{2a + 2h(x)}{S} N'_x dx \quad \text{unde } N'_x = N/L = 1/\tau = \text{ct} \text{ întrucât pasul de bobinare este uniform. În consecință}$$
$$\frac{dR_x}{dx} = \rho \frac{2a + 2h(x)}{S\tau} = f'(x) \quad \text{din care rezultă forma profilului}$$

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

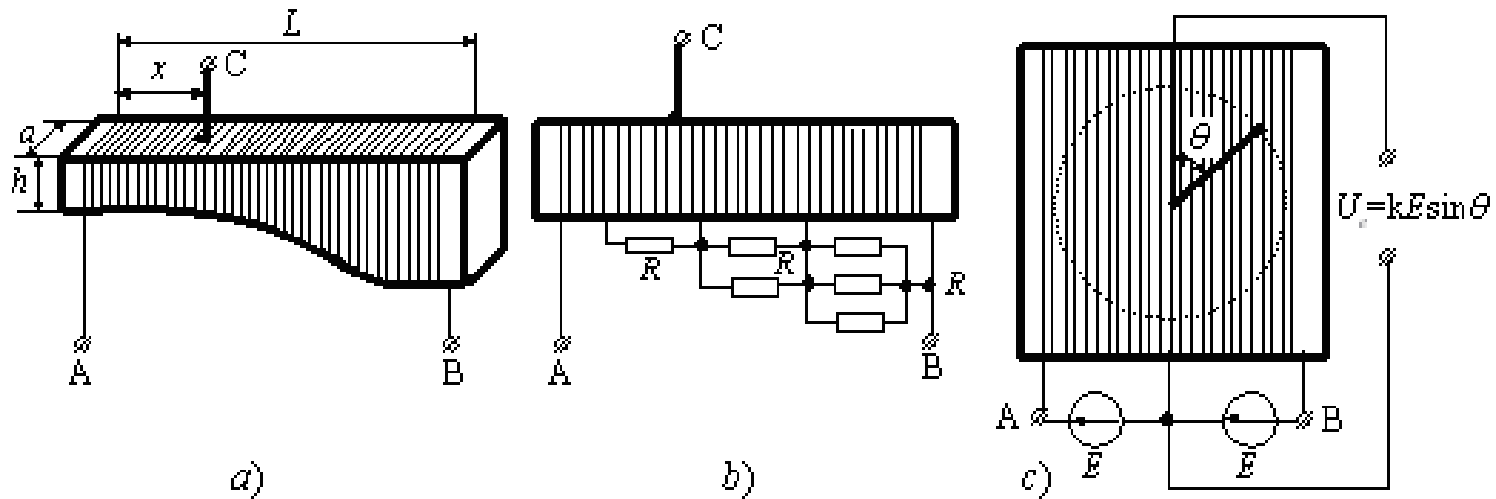


Fig.e. Modalități de realizare a elementelor rezistive cu caracteristică neliniară: a) - prin bobinarea cu pas uniform pe carcase profilate; b) - prin ponderarea unui element rezistiv cu rezistențe fixe; c) - exemplu de obținere a unei variații sinusoidale.

$$h(x) = \frac{1}{2} \frac{S\tau}{\rho} f'(x) - a.$$

- prin *ponderarea unui element rezistiv liniar cu rezistențe fixe*
 - fig.e,b – punctele de contact și valorile rezistențelor asociate fiind alese funcție de caracteristica neliniară dorită pentru elementul sensibil; în exemplul din figură se prezintă posibilitatea realizării unei dependențe de tip pătratic a rezistenței elementului sensibil cu deplasarea.



A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

- prin bobinarea cu pas constant pe o carcasă pătrată și realizarea unei configurații de alimentare care să permită obținerea unei dependențe dorite (periodică, având în vedere repetabilitatea valorilor la depășirea unei rotații complete a cursorului); un exemplu de obținere a unei variații sinusoidale este prezentat în fig.e,c.

Problemele constructive care le ridică elementele sensibile rezistive se referă la:

- *firul conductiv*, care se realizează din materiale de mare rezistivitate și o foarte bună stabilitate cu temperatura; ca materiale se folosesc manganina (85% Cu, 12% Mn, 3% Ni) și constantanul (60% Cu + 40% Ni), iar diametrul conductorului este de 0,05 ... 0,1 mm. Firul conductiv poate fi izolat sau nu, izolațiile folosite fiind email-ul sau oxizii metalici.

La folosirea firelor izolate se permite obținerea unui pas de bobinare mai mic.

- *cursorul*, care se realizează din benzi sau fire din aliaje mai moi ca argint + grafit, cupru + grafit, aur + argint, aur + paladiu.

- *carcasa* – se realizează din materiale ceramice, sticlă, pertinax, textolit, metale izolate prin vopsele. După bobinare, firul rezistiv este rigidizat pe carcasă cu lacuri sau rășini speciale.

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Modalitățile de utilizare în circuit ale elementelor sensibile rezistive pot fi (fig.f):

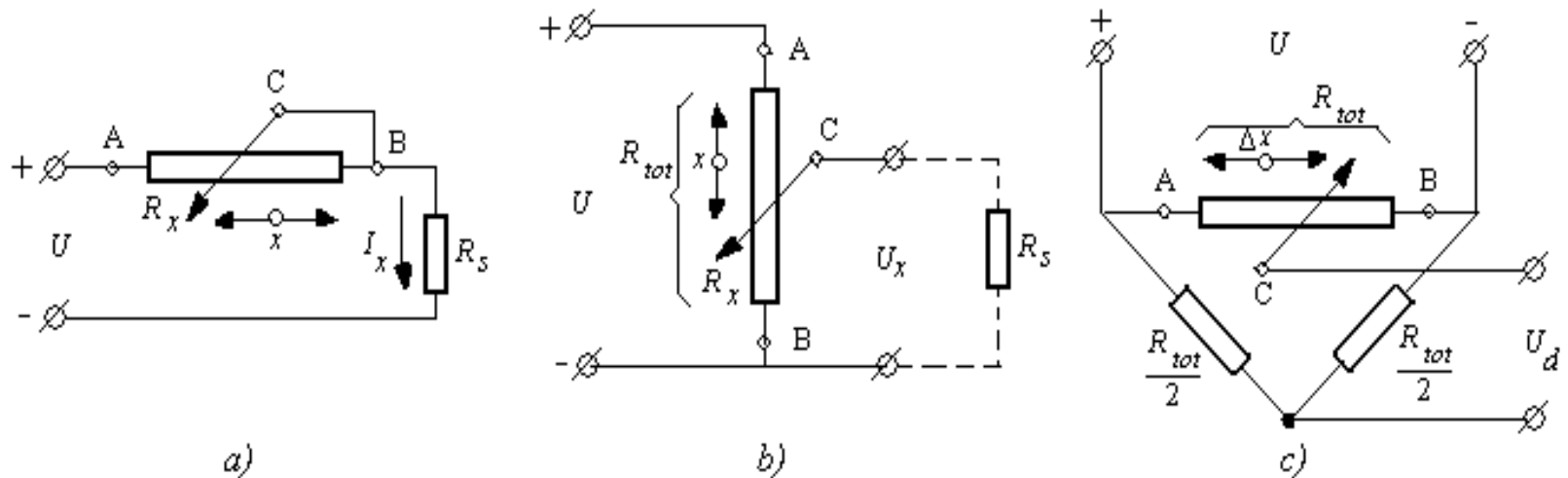


Fig.f. Modalități de utilizare în circuit ale elementelor sensibile rezistive: a) - montaj reostatic; b) – montaj potențiomtric; c) – montaj în punte

a) *montajul reostatic* – fig.f,a – la care mărimea de intrare este deplasarea x a cursorului, iar mărimea de ieșire este curentul I_x prin circuit

$$I_x = \frac{U}{R_x + R_s} = \frac{U}{\frac{R}{L}x + R_s} \xrightarrow{R_s \rightarrow 0} \frac{U}{R} \frac{L}{x}$$



A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Deoarece, pentru $R_s = 0$ și $x \rightarrow 0$ rezultă $I_x \rightarrow \infty$, este necesară existența unei rezistențe serie cu elementul sensibil pentru limitarea curentului în poziția inițială de zero.

b) *montajul potențiomtric* – fig.f,b – la care mărimea de intrare este deplasarea x a cursorului, iar mărimea de ieșire este tensiunea U_x . Dacă $R_s \rightarrow \infty$ atunci

$$U_x = \frac{U}{R_{tot}} R_x, \quad \text{iar pentru cazul unui element sensibil} \quad U_x = \frac{x}{L} U.$$

liniar, bobinat cu pas uniform,

c) *montajul în punte* – fig.f,c – la care mărimea de intrare este deplasarea cursorului $\pm \Delta x$ față de poziția de mijloc, care corespunde unei variații $\pm \Delta R_x$ de rezistență, iar ieșirea este tensiunea de dezechilibru U_d ; în consecință:

$$\text{- pentru } \Delta R_x = 0 \quad \Rightarrow \quad U_d = 0$$

$$\text{- pentru } \Delta R_x \neq 0 \quad \Rightarrow \quad U_d = \frac{U}{2} \frac{\pm \Delta R_x}{R_{tot}}.$$

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Cele mai semnificative performanțe în regim static pentru elementul sensibil rezistiv - în montajul potențiomtric - cel mai folosit în practică

Rezoluția – definită ca variația cea mai mică a intrării care poate fi discriminată la ieșire – depinde, în principal, de doi factori: pasul de bobinare $\tau = L/N$ și construcția cursorului (fig.g). Astfel,

a) Considerând cazul când $b < (\tau - d)$ – fig.g,a – unde b este lățimea cursorului, iar d diametrul firului rezistiv, ceea ce corespunde situației în care cursorul nu scurtecircuitează două spire alăturate, atunci rezoluția, definită în valori ale mărimii de ieșire, va fi:

$$\Delta U_x = U_x - U_{x-1}$$

unde U_x este tensiunea corespunzătoare pentru N_x spire, iar U_{x-1} tensiunea corespunzătoare pentru $N_x - 1$.

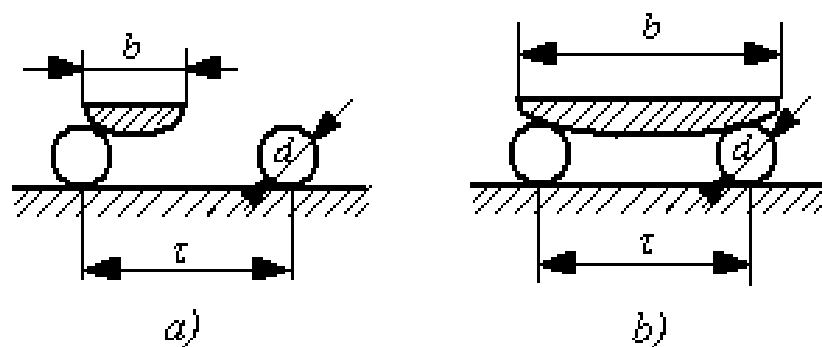


Fig.g. Analiza rezoluției la un element sensibil rezistiv liniar

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Deoarece

$$U_x = \frac{U}{N} N_x \quad \text{și} \quad U_{x-1} = \frac{U}{N} (N_x - 1) \quad (*) \quad \text{rezultă că} \quad \Delta U_x = \frac{U}{N} = \frac{U}{L} \frac{L}{N} = \frac{U}{L} \tau = ct$$

deci rezoluția este constantă pe tot domeniul de funcționare al traductorului. Caracteristica statică a elementului sensibil arată ca în fig.h,a, la care principalul dezavantaj constă în întreruperile care au loc la trecerea de pe o spiră pe alta.

b) dacă $b \geq (\tau - d)$ – fig.g,b – atunci se pot scrie aceleași relații (*) pentru cazul când cursorul se află pe spira N_x , respectiv $N_x - 1$, iar în situația scurtcircuitării celor două spire alăturate tensiunea pe cursor devine

$$U_{x-1}^* = \frac{U}{N-1} (N_x - 1)$$

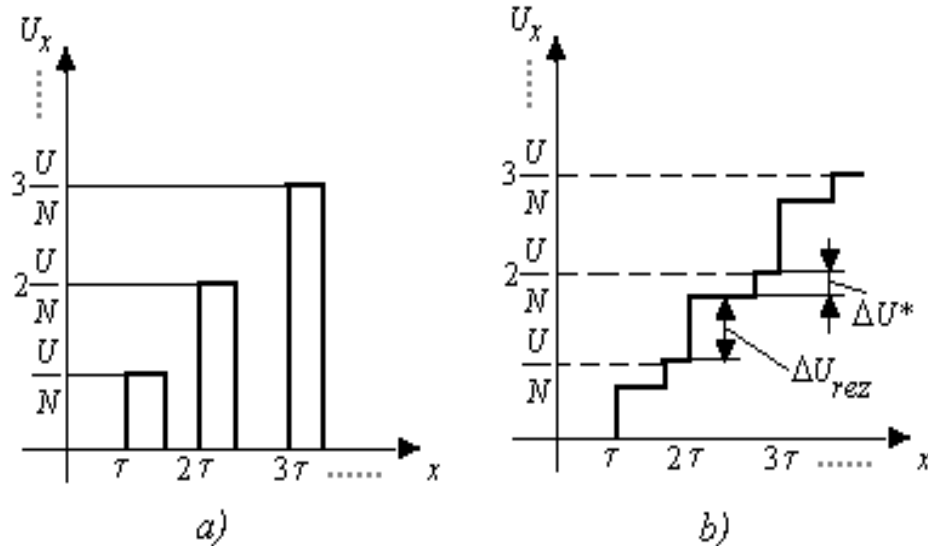


Fig.h. Caracteristica statică a elementului sensibil rezistiv pentru cazurile exemplificate în fig.g13

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

astfel că apare un salt de tensiune

$$\Delta U^* = U_{x-1}^* - U_{x-1} = \frac{U}{N-1}(N_x - 1) - \frac{U}{N}(N_x - 1) = \frac{U}{N(N-1)}(N_x - 1),$$

iar rezoluția ia valoarea

$$\Delta U_{rez} = \frac{U}{N} - \Delta U^* = \frac{U}{N} \left(1 - \frac{N_x - 1}{N-1} \right) = \frac{U}{N} \frac{N - N_x}{N-1}.$$

Se observă că pentru $N_x = 1$ rezultă $\Delta U_{rez} = U/N$, deci când cursorul se apropie de punctul de referință rezoluția tinde către cazul a), iar când $N_x = N$ rezultă $\Delta U_{rez} = 0$, așadar cu cât cursorul străbate mai multe spire cu atât rezoluția scade.

Sensibilitatea – definită ca variația ieșirii raportată la variația corespunzătoare a intrării – este de forma

$$S = \frac{\Delta U_x}{\Delta x} = \frac{U}{L}$$

deci depinde de U și L . Pentru creșterea sensibilității trebuie ca U să crească iar L să se micșoreze. Totuși, tensiunea U este limitată din considerații de încălzire a bobinajului, iar micșorarea lui L este impusă de diametrul conductorului.

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Liniaritatea este dependentă de valoarea rezistenței de sarcină R_s . Pentru cazul normal, în care R_s are o valoare finită, se poate scrie

$$U_x = \frac{U}{R_{tot} - R_x + \frac{R_x R_s}{R_x + R_s}} \frac{R_x R_s}{R_x + R_s} = U \frac{R_x R_s}{(R_{tot} - R_x)(R_x + R_s) + R_x R_s}.$$

Cu notațiile $\frac{R_x}{R_{tot}} = x$ și $\frac{R_{tot}}{R_s} = m$ se obține

$$\frac{U_x}{U} = \frac{\frac{R_x}{R_{tot}}}{\left(1 - \frac{R_x}{R_{tot}}\right)\left(1 + \frac{R_x}{R_s}\right) + \frac{R_x}{R_{tot}}} = \frac{x}{(1-x)(1+mx) + x} = \frac{x}{1+mx(1-x)}$$

care are reprezentarea din fig.i.

A. Instrumentație rezistivă pentru deplasări și dimensiuni

Se observă că pentru ca influența rezistenței de sarcină să fie cât mai mică trebuie ca $R_s \gg R_{tot}$ (în practică se consideră suficientă îndeplinirea condiției $R_s \geq 10 \cdot R_{tot}$).

Zgomotele care apar la instrumentația rezistivă pot avea drept cauze următoarele:

- zgomotul propriu oricărui rezistor datorat agitației termice interne;
- zgomotul provocat de trecerea cursorului de pe o spiră pe alta (mai pronunțat atunci când cursorul prezintă o uzură importantă);
- efectul termoelectric care apare la sudura terminalelor, având în vedere că se folosesc conductori de legătură diferiți de materialul rezistiv al spirelor).

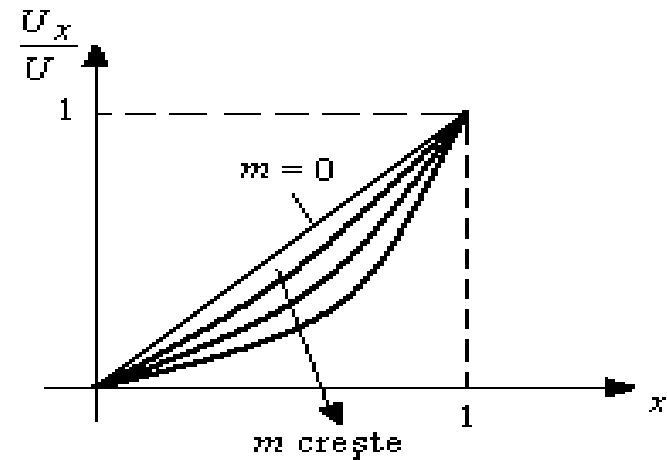


Fig.i. Dependența liniarității de rezistența de sarcină la un element sensibil rezistiv în montaj potențiometric