

PUNȚI ȘI TRADUCTOARE TENSOMETRICE

I NOȚIUNI TEORETICE

1. INTRODUCERE

Structura generala a unui aparat electronic pentru masurarea unei marimi neelectrice este indicat in figura 1.

In cazul puntilor tensometrice blocurile indicate in schema din figura 1 se

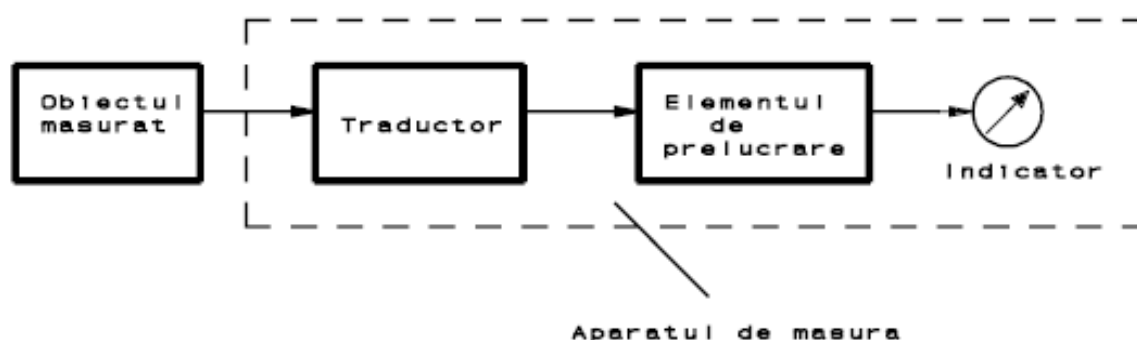


Figura 1. Structura unui aparat pentru măsurarea mărimilor neelectrice

particularizeaza astfel :

- Obiectul măsurat este efortul mecanic într-un corp elastic sau alungirea sa relativa;
- Traductorul este un tensometru cu fir metalic sau cu filament semiconductor;
- Elementul de prelucrare este fie o punte tensometrica de c.c. (pentru tensometrele cu filament semiconductor), fie o punte tensometrica cu unda modulata (pentru tensometrele cu fir metalic);
- Indicatorul este un instrument electromagnetic sau numeric ce indică direct in deformatii relative ale corpului măsurat.

1.1. TENSOMETRE

Structura tipica a unui tensometru cu fir metalic este indicata in figura 2, iar a unui tensometru cu filament semiconductor, in figura 3.

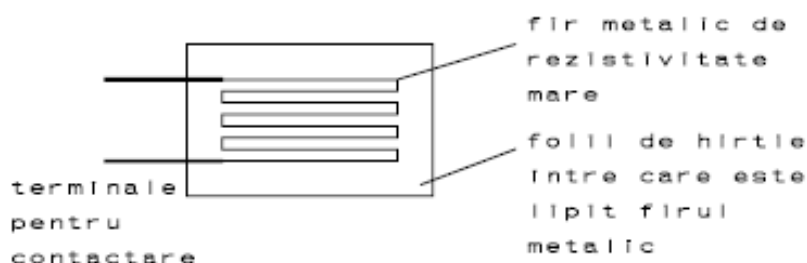


Figura 2. Tensometru cu fir metalic

Aspectul ambelor tipuri de tensometre justifica si denumirea larg utilizata de marca tensometrica.

Marca tensometrica se lipeste cu ajutorul unor rasini sau cimenturi speciale pe corpul

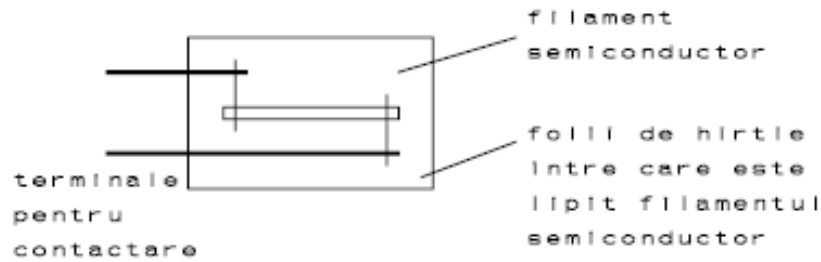


Figura 3. Tensometru cu fir semiconductor

a carui deformatie se masoara. Deformatia corpului sau ceea ce este echivalent, tensiunea mecanica se transmite in acest fel cu un randament foarte bun tensometrului.

Deosebirea intre cele doua tipuri de tensometre se afla in fenomenele fizice diferite pe care se bazeaza functionarea lor.

La tensometrul cu fir metalic un prim factor de modificarea valorii rezistentei il constituie variatia relativa a lungimii firului care este practic egala cu variatia relativa a dimensiunii corpului masurat. Variatia sectiunii transversale si variatia de rezistivitate indusa de modificarea volumului firului metalic introduc efecte neneglijabile, care au o pondere apropiata de cea a variatiei lungimii firului.

La tensometrul cu filament semiconductor efectele determinate de variatia dimensiunilor sînt neglijabile in comparatie cu efectul dat de variatia de rezistivitate a materialului semiconductor indusa de efortul mecanic.

Parametrii tensometrelor

Sensibilitatea unui tensometru este definita de relatia

$$S = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (1)$$

Pentru un tensometru cu fir metalic, tinind cont ca raportul intre deformatia transversala si cea longitudinala este

$$\frac{\Delta A}{A} = -2\mu \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

unde A este aria sectiunii transversale, l - lungimea firului, μ - coeficientul lui Poisson si de faptul ca pentru metale se poate admite o variatie de rezistivitate proportionala cu volumul metalului:

$$\rho = \rho_0 \left(1 + m \frac{\Delta V}{V}\right) = \rho_0 \left[1 + m(1-2\mu) \frac{\Delta l}{l}\right] \quad (3)$$

unde m este o constanta pentru un material dat, se obtine:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho} = [1 + 2\mu + m(1-2\mu)] \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

sau

Tabelul I. Valorile tipice ale parametrilor tensometrelor

| Parametrii | Unitatea de măsură | Tensometrul metalic | Tensometrul semiconductor |
|---|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Sensibilitatea | - | 2 | 100 ⁽¹⁾ |
| Coeficientul de temperatură al rezistivității | ppm/°C ⁽²⁾ | ±(10...20) | 700...7000 |
| Coeficientul de dilatare liniară | ppm/°C | 10...20 | 3 |
| Domeniul de deformații măsurabil | μstrain ⁽³⁾ | 10000 | 100...3000 |
| Toleranța asupra valorii nominale | % | ±10 | ±10 |

Note: ⁽¹⁾ Sensibilitatea poate avea și valori negative în funcție de tipul de conductivitate și de orientarea cristalografică.

⁽²⁾ ppm înseamnă părți pe milion, adică 10⁻⁴%

⁽³⁾ Strain este o "unitate" de măsură a deformației relative ("strain" înseamnă în limba engleză efort);

1 strain = o deformație relativă de 1,

deci

1 strain = o deformație relativă de 10⁻⁶.

Echipament experimental utilizat:

- Unitatea de bază **LabVolt - F:A:C:E:T**
- Platforma **Transducer Fundamentals**
- Multimetricu

Tensometrul folosit în lucrare este alcătuit dintr-un conductor plat, în formă de zig-zag, montat pe o folie de suport, ca în figura de mai jos. Conductorul are la capete pad-uri, pe care sunt lipite terminale pentru conectare.

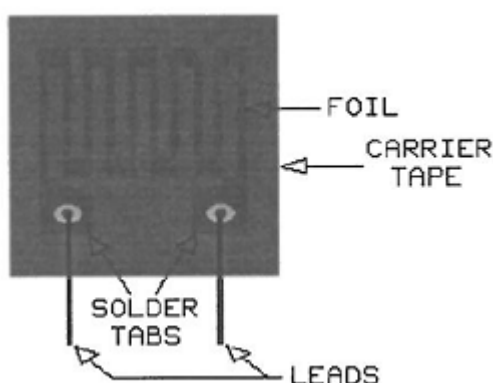


Fig. 4 Marca tensometrică utilizată în platforma de laborator

În practică, tensometrul este atașat, folosind un adeziv special, pe suprafața obiectului pe care se dorește a se realiza măsurarea.

În figura de mai jos este prezentat modul de montare a tensometrului pe o bară de metal. Orientarea tensometrului este aleasă în funcție de direcția pe care efortul va fi aplicat pe bară. În acest caz, bara este fixată la un capăt, iar forța poate fi aplicată la capătul liber, pentru a schimba poziția barei în sus sau în jos.

Tensometrul este orientat astfel încât secțiunile mai lungi ale conductorului să fie paralele cu lungimea barei. Acest montaj maximizează compresia sau tensiunea tensometrului față de forța aplicată pe bară.

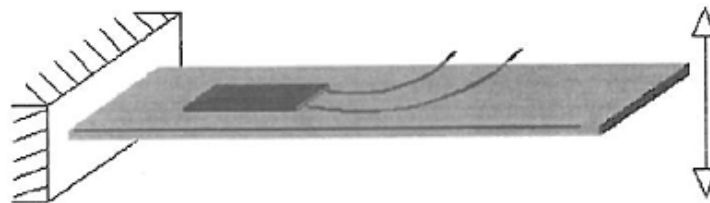


Fig. 5 Lamelă cu tensometrul montat

Rezultatele măsurătorilor depind și de suprafața pe care este montat tensiometrul. De exemplu, în prima figură de mai jos, capătul liber al barei este împins în sus. Partea de deasupra barei va fi comprimată, iar partea de dedesubt va fi tensionată. Când bara este împinsă în jos, cele două efecte (compresia și tensiunea) vor fi inversate.

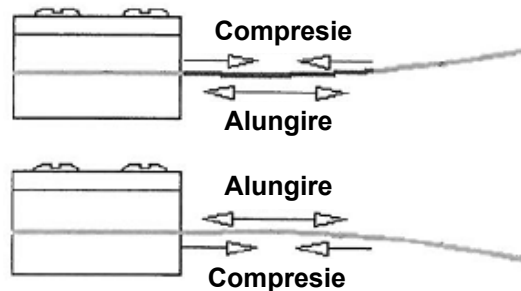


Fig. 6 Deformările de pe fețele lamelei

Când mai multe tensometre sunt montate pe un obiect pentru a măsura efortul în mai multe direcții, circuitul rezultat se numește celulă de sarcină.

Valoarea nominală a rezistenței tensometrului de pe placa de lucru este de 120Ω.

În momentul de flexare maximă a barei, rezistența se mărește cu 0,4Ω. Care este procentul maxim de variație a rezistenței?

Din cauza valorii mici de modificare a rezistenței, se folosește de obicei o punte Wheatstone și un amplificator.

În figura următoare se află schema bloc de pe placa de lucru. Simbolul tensometrului este același cu al unui potențiomtru. Litera ϵ indică faptul că rezistența este funcție de efortul mecanic.

Înșirea punții intră într-un convertor curent-tensiune, a cărui ieșire este amplificată de un amplificator operațional. Acesta are o ajustare de offset, pentru a compensa eventuale erori apărute în circuit.

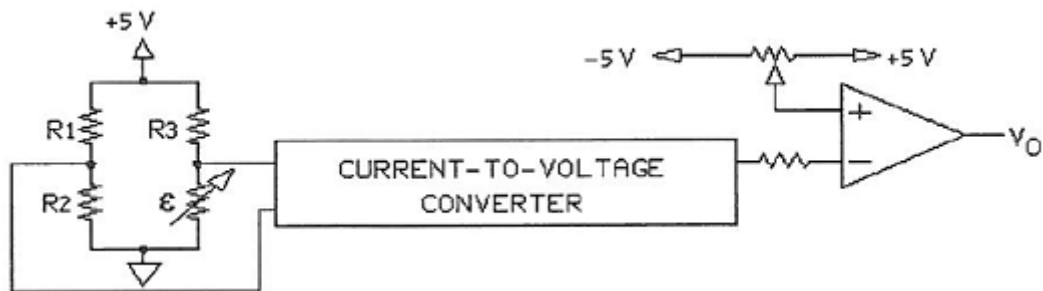


Fig. 7 Schema de principiu a platformei de laborator

În figura de mai jos se află schema circuitului implementat pe placa de lucru.

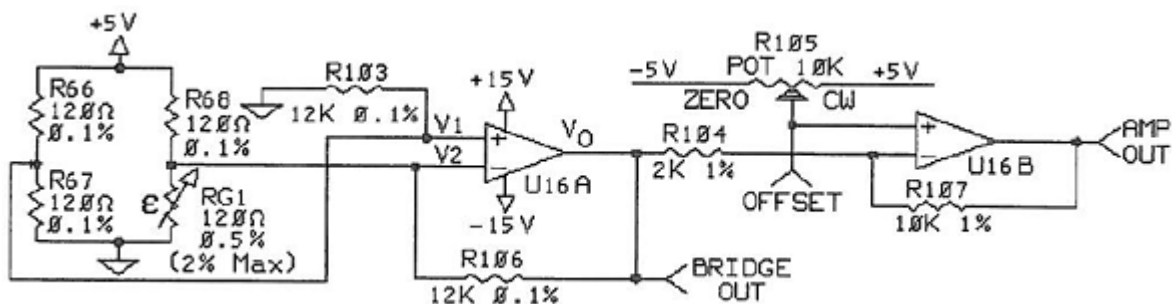


Fig. 8 Schema electrică a platformei de laborator

Traductorul este parte a punții Wheatstone, împreună cu rezistoarele R66 - R68. În circuit sunt folosiți rezistoare de precizie (toleranță 0,1%) pentru a minimiza erorile cauzate de valoarea mică de variație a rezistenței tensometrului.

Rezistența nominală a tensometrului este de 120Ω. Variația maximă de 2% se referă la toleranța tensometrului după ce a fost instalat pe suprafața barei. În timpul acestui proces, rezistența nominală a tensometrului se poate modifica.

Ieșirile punții sunt conectate la un amplificator operațional (U16A) cu feedback, care este configurat ca un convertor curent-tensiune. Ecuația de ieșire a amplificatorului operațional este:

$$V_o = \frac{V}{2} * \frac{\Delta R}{R_N} * \frac{R_F}{R_N}$$

unde V este tensiunea de alimentare a punții (+5V); R_N este rezistența nominală a tensometrului (120Ω); R_F este rezistența de feedback (12kΩ); ΔR este modificare de rezistenței datorată efortului mecanic.

Înlocuind valorile cunoscute, ecuația poate fi simplificată:

$$V_0 = \frac{5 \times \Delta R \times 12 \text{ k}\Omega}{2 \times 120^2} = 2.083 \times \Delta R$$

Tensiunea de ieșire a amplificatorului operațional devine:

$$\text{AMP OUT} = 5 \times V_0 = 5 \times (2.083 \times \Delta R) = 10.42 \times \Delta R$$

Terminalul BRIDGE OUT din circuit este conectat la ieșirea U16A. Deoarece acesta nu are compensare de offset, orice diferență în punte datorată toleranțelor rezistoarelor, drift-ului cu temperatura, etc, este amplificată la ieșirea BRIDGE OUT. Potentiometrul R105 are rol în a realiza o ajustare la zero a acestor erori.

Pentru a calibra circuitul, trebuie avut în vedere ca asupra ansamblului să nu fie aplicată nici o tensiune mecanică. După aceea, potentiometrul poate fi reglat pentru a avea 0V la ieșirea AMP OUT.

II. DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

Partea I. Măsurarea directă a variației rezistenței tensometrului

1. Setezi multimetrul să măsoare ohmi.
2. Conectați sondele la bornele indicate în circuitul STRAIN GAUGE pentru a măsura rezistența traductorului.
3. Ajustați ansamblul astfel încât să nu fie aplicat stres mecanic pe capătul liber al barei.
4. Măsurați rezistența nominală (fără stres mecanic): $R_N = \text{___} \Omega$.

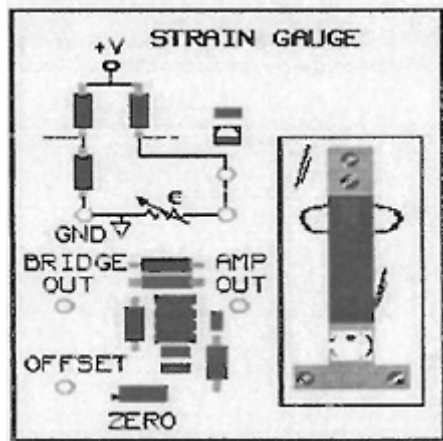


Fig. 9 Amplasarea componentelor pe platforma de laborator

5. Observați valoarea rezistenței pe măsură ce roțiți mânerul la maxim în sens orar (aproximativ 4 rotații). Notați rezultatele din 0,5 în 0,5 rotații și reprezentați grafic dependența rezistenței.
6. Când ajungeți la maxim, notați rezistența în cazul compresiei maxime: $R_{C(\max)} = \text{___} \Omega$.

7. Rotiți mânerul în sensul invers al acelor de ceasornic, până la maxim (aproximativ 8 rotații). În acest moment, capătul liber al barei este împins în jos. Tensiometrul este sub tensiune maximă.
8. Notați valoarea rezistenței maxime de tensiune: $R_{T(max)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.



maximum compressive strain
 $R_{C(max)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$
 nominal (unstressed)
 $R_N = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$
 maximum tensile strain
 $R_{T(max)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Ați măsurat rezistența pentru trei poziții ale barei.

9. Calculați valoarea ΔR în cazul compresiei maxime: $\Delta R_C = R_N - R_{C(max)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.
10. Calculați valoarea ΔR în cazul tensiunii maxime: $\Delta R_T = R_N - R_{T(max)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.
11. Reveniți cu capătul barei în poziția fără stres mecanic.
12. Retrageți conexiunile multimetrului din circuit.
13. Setați multimetrul să măsoare tensiune continuă și conectați terminalele la bornele GND (-) și BRIDGE OUT (+).
14. Introduceți un conector cu două terminale pentru a completa circuitul punții.

Partea a II-a. Măsurarea variației rezistenței tensometrului cu ajutorul montajului experimental

1. Măsurati tensiunea de la BRIDGE OUT. S-a calculat anterior o valoare de 0V atunci când traductorul nu are aplicat stres mecanic. Totuși, măsurătoare actuală nu este 0V. De ce?

Erorile ce apar în circuitul punții pot fi ajustate cu ajutorul potențiometrului POT din etajul celui de-al doilea amplificator operațional.

2. Mutați sonda + a multimetrului la ieșirea AMP OUT. Valoarea tensiunii are trebui să fie 0V în cazul fără tensiune mecanică. Totuși măsurătoare poate indica valori diferite, datorită erorilor în circuitul punții.
3. Realizați procedura de calibrare a circuitului punții.
 - a) Rotiți mânerul pentru a nu avea stres mecanic asupra barei.
 - b) Setati multimetrul pe tensiune continuă și conectați terminalele la bornele AMP OUT (+) și GND (-).
 - c) Introduceți un conector cu două terminale pentru a completa circuitul punții.
 - d) Ajustați potențiometrul pentru a avea la ieșirea AMP OUT $0V \pm 50mV$.
 - e) Circuitul tensometrului este calibrat. NU modificați poziția potențiometrului pe parcursul lucrării.
4. Notați poziția punctului de pe mâner (de exemplu după poziția orelor ceasului).

5. Rotiți mânerul exact o rotație în sens trigonometric și măsurați tensiunea de ieșire: $V_O = \text{___} V$.
6. Rotiți mânerul încă o rotație în sens trigonometric (două rotații față de poziția de start) și măsurați tensiunea de ieșire: $V_O = \text{___} V$.
7. Rotiți mânerul încă o rotație în sens trigonometric (trei rotații față de poziția de start) și măsurați tensiunea de ieșire: $V_O = \text{___} V$.
Notați cele trei valori într-un tabel.
8. Calculați diferența de tensiune electrică dintre rotații:

$$DV = V(2 \text{ turns}) - V(1 \text{ turn})$$

$$DV = V(3 \text{ turns}) - V(2 \text{ turns})$$

9. Se repetă măsurătorile pentru rotații în sens orar.
10. Sa se reprezinte grafic V_O în funcție de numărului de rotații și să se pună în evidență eventualele neliniarități

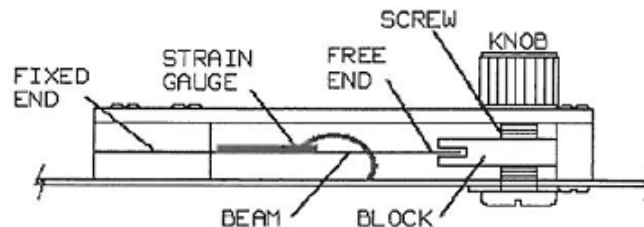
ÎNTREBĂRI

1. Care este scopul punții și a amplificatorului în circuit?
 - a) să convertească variația rezistenței în tensiune
 - b) să mărească ieșirea relativ mică a tensometrului
 - c) varianta a) și varianta b)
 - d) nici una din variantele de mai sus.
2. În momentul flexării barei, tensometrul indică:
 - a) efortul mecanic pe suprafață în locul în care traductorul este plasat
 - b) efortul mecanic pe suprafață la capătul liber la barei
 - c) variație a lungimii barei
 - d) variație a lățimii barei



3. Care parametrul al tensometrului variază în funcție de efortul mecanic aplicat?
 - a) tensiunea
 - b) inductanța
 - c) rezistența
 - d) capacitatea
4. Efortul este definit ca:
 - a) deformarea unui solid în urma stresului mecanic
 - b) deformarea unui solid fără stres mecanic
 - c) stresul mecanic aplicat unui solid
 - d) tendința unui solid de a reveni la forma originală, atunci când nu se mai aplică stres mecanic asupra lui

5. Ce unitate de măsură este folosită pentru efortul mecanic?
 - a) Inchi
 - b) procente
 - c) microstrain
 - d) toate cele de mai sus
6. Sensibilitatea unui tensometru este dată de:
 - a) modulul elasticității
 - b) factorul de deformare
 - c) rezistența nominală
 - d) raportul stres / deformare
7. Pe montajul din figura următoare, tensometrul va indica efortul:
 - a) la capătul fix al barei
 - b) la capătul liber al barei
 - c) în locul în care tensometrul este fixat pe bară
 - d) în orice punct de-a lungul barei



8. Se presupune că circuitul din figura 8 are ieșirea calibrată la 0V atunci când asupra tensometrului nu există stres mecanic. Dacă se aplică efort mecanic, astfel încât rezistența crește la 120,35Ω, care este valoarea tensiunii la AMP OUT?
 - a) 3,65V
 - b) 3,50V
 - c) 0,35V
 - d) 0,035V
9. Ce expresie reprezintă sensibilitatea unui tensometru?
 - a) $\Delta R / R$
 - b) $\Delta L / L$
 - c) $(\Delta R / R) / (\Delta L / L)$
 - d) σ / e
10. Ecuația ce implică efortul aplicat unui solid și deformarea rezultată $E = \sigma / e$ este cunoscută ca:
 - a) Legea lui Maxwell
 - b) Legea lui Hooke
 - c) Legea lui Burke
 - d) modulul de elasticitate
11. Ce parametru al tensometrului nu variază atunci când se aplică efort mecanic?
 - a) lungimea
 - b) rezistența
 - c) stresul
 - d) factorul de deformare