

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

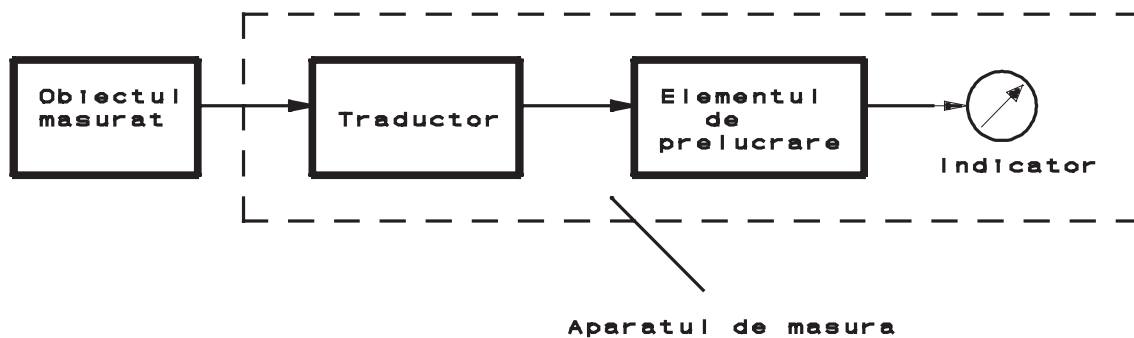


Figura 1. Structura unui aparat pentru măsurarea mărimilor neelectrice

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.

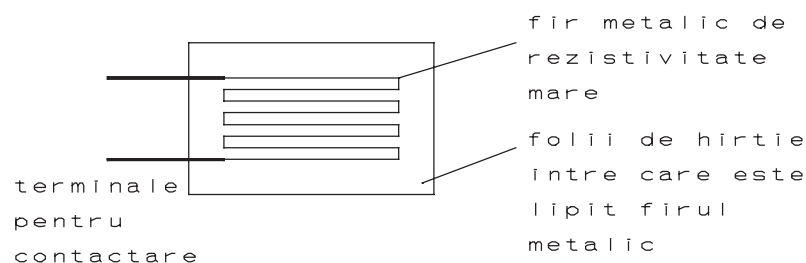


Figura 2. Tensometru cu fir metalic

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

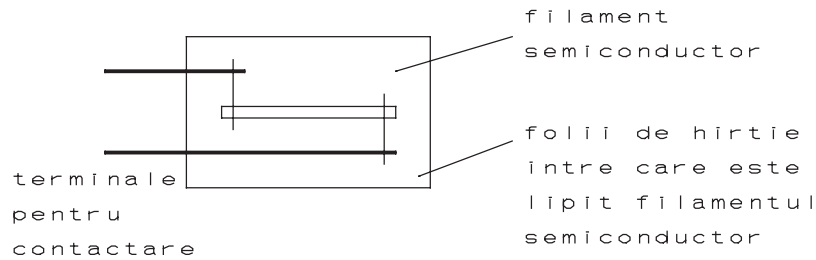


Figura 3. Tensometru cu fir semiconductor

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

$$S_m = 1 + 2\mu + m(1 - 2\mu) \quad (5)$$

Pentru majoritatea materialelor in domeniul deformatiilor elastice $\mu=0.3$, iar in domeniul deformatiilor mai mari, plastice $\mu=0.5$. Daca $m=1$ (de exemplu; la constantan), rezulta

$$S_m = 2$$

independent de operarea tensometrului in domeniul elastic sau plastic.

Pentru un tensometru cu filament semiconductor presupunind cazul uzual in care directia efortului mecanic si directia curgerii curentului coincid, se poate arata că:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_1 \sigma \quad (6)$$

unde π_1 este coeficientul piezorezistiv longitudinal, iar σ este efortul longitudinal. Rezulta:

$$S_s = \pi_1 E \quad (7)$$

unde E este modulul de elasticitate longitudinal. Valorile tipice ale sensibilitatii S_s sînt de ordinul 100.

Influenta variatiilor de temperatura este determinata de urmatoarele cauze:

- modificarea sensibilitatii in functie de temperatura de lucru;
- dependenta valorii nominale a rezistentei tensometrului de temperatura de lucru;

OBSERVAȚIE

Aceste doua efecte sînt mult mai accentuate la tensometrele semiconductoare.

- diferenta intre coeficientii de dilatare ai tensometrului si ai materialului a carui stare de efort se masoara.

Liniaritatea tensometrului (sensibilitatea, in mod ideal trebuie sa fie independent de efort) este mai buna la tensometrele cu fir metalic.

O privire de ansamblu asupra valorilor tipice ale parametrilor pentru diferite tipuri de tensometre rezulta din tabelul I.

1.2. CIRCUITE DE MASURARE

Un circuit de masurare trebuie sa permita atingerea urmatoarelor obiective:

- punerea in evidenta a variatiilor de rezistenta a tensometrelor;
- eliminarea influentei factorilor de mod comun (de exemplu variatiile induse de temperatura, de imbatrinirea tensometrelor);
- compensarea efectului dat de diferentele intre valorile rezistentei traductoarelor (echilibrarea de zero);
- eventual, compensarea electrica a indicatiei corespunzatoare unei solicitari statice mari, pentru a se putea masura cu o sensibilitate sporita variatii mici in jurul acestei solicitari statice;
- eventual, reducerea sau chiar compensarea unor nelinearitati in caracteristica de transfer a traductorului.

Aceste obiective se realizeaza cu usurinta in circuite de tip "punte neechilibrata" in care unul sau mai multe brate ale puntii sînt constituite chiar de traductorul, respectiv de traductoarele in cauza. Pentru aceste puncti, in absenta solicitarii, traductoarele au valoarea nominala si tensiunea din diagonala de masura, este nula. La aparitia solicitarii traductoarele isi modifica valoarea, puntea se dezechilibreaza, tensiunea din diagonala de masura fiind dependenta monoton de variatia relativa a valorii rezistentei traductorului.

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.

Sînt posibile doua solutii: jumătate de punte (semipunte) și punte întreaga.

Circuitul de tip jumătate de punte este ilustrat în figura 4.

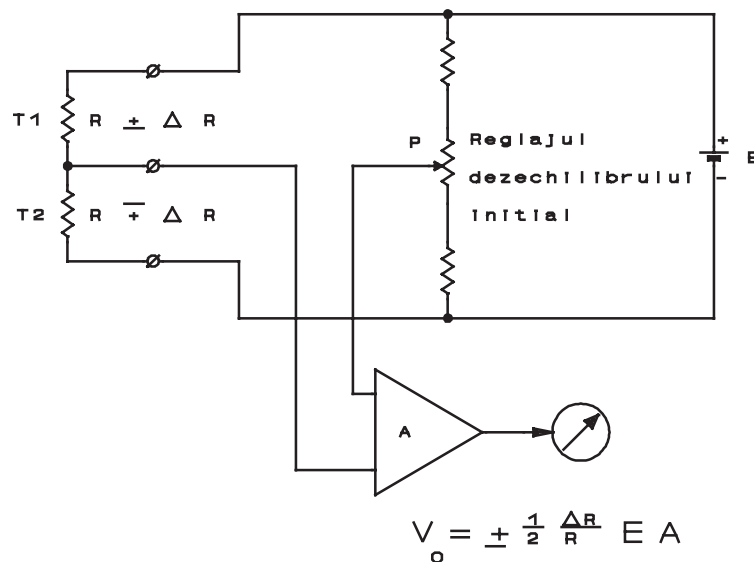


Figura 4. Configurația jumătate de punte (semipunte)

Cele doua traductoare (T_1 , T_2) se monteaza astfel incit rezistența unuia sa creasca, iar a celuilalt sa scada (de exemplu: tensometrele se lipesc pe fete opuse ale barei a carei deformare se masoara, unul lucrind la intindere, iar celalalt la compresiune). Restul punții se realizeaza în aparatul de masura unde se afla sursa de alimentare pentru punte (E),

amplificatorul diferential (A), care citeste tensiunea de dezechilibru si elementele de reglaj (P) al dezechilibrului initial determinat de diferenta dintre valorile rezistentei traductoarelor.

Circuitul de punte intreaga este ilustrat in figura 5.

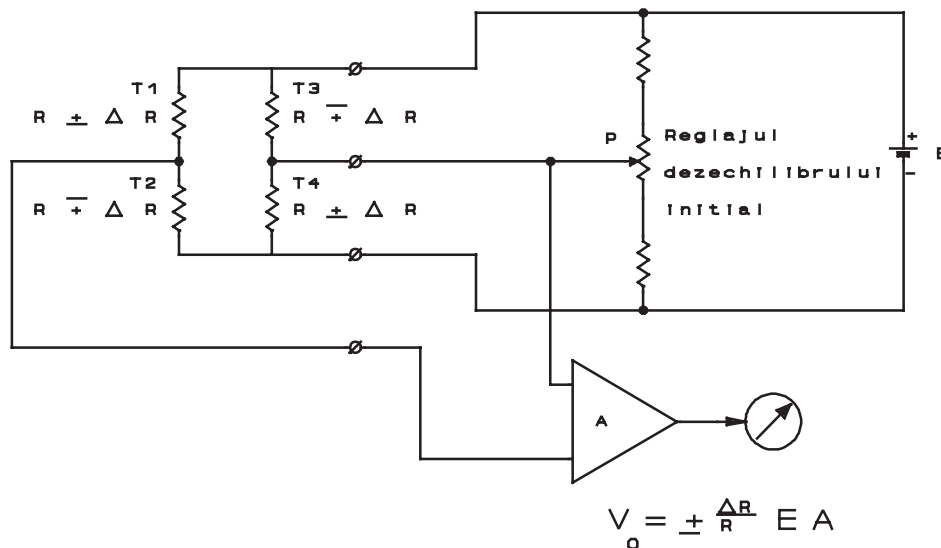


Figura 5. Configurația de tip punte întreagă

Cele patru traductoare (T_1, T_2, T_3, T_4) se monteaza in asa fel incit rezistenta a doua din ele sa scada, iar a celorlalte doua sa creasca.

In aparatul de masurare se afla sursa de alimentare pentru punte (E), amplificatorul diferential (A) care citeste tensiunea de dezechilibru si elementele de reglaj (P) al dezechilibrului initial determinat de diferenta intre valorile rezistentei traductoarelor.

2. AMPLIFICATOR DE MĂSURĂ CU FRECVENȚĂ PUTĂTOARE N 2314

Amplificatorul de măsură cu frecvență purtătoare N 2314 face parte din sistemul modular de aparatură tensometrică N 2300, fiind conceput în consecință din punct de vedere funcțional și constructiv. Aparatul poate lucra cu elemente sensibile tensorezistive și inductive constituite în punte completă sau semipunte, cărora le furnizează alimentarea (5kHz) și ale căror variații, sub acțiunea mărimii mecanice de măsurat, le pune în evidență sub forma unei tensiunii de ieșire.

Cu traductoare adecvate, avînd elemente sensibile de tipurile menționate, aparatul poate fi utilizat pentru măsurarea diverselor mărimi cum ar fi: deformații mecanice, forțe, cupluri, presiuni, deplasări, etc. Împreună cu alte module ale sistemului N 2300, amplificatorul N 2314 poate constitui ansamble de măsurare specializate.

A. Caracteristici tehnice

- Domeniul de măsură: $0... \pm 100.000 \mu\text{m/m}$ (μstrain) (în 10 scări);
- Scara cea mai sensibilă:
 - $\pm 100 \mu\text{m/m}$ (respectiv $37 \mu\text{V/V}$) cu 1 traductor activ, $K = \min. 1,5$, tensiunea punții $4V_{ef}$;
 - $\pm 50 \mu\text{m/m}$ (respectiv $19 \mu\text{V/V}$) în condițiile de mai sus cu $8V_{ef}$ la punte;
- Comutarea scărilor: în raportul 1; 2; 5;
- Condiții de funcționare (de referință și nominale):

| Mărimea de influență | Condiții de referință | Condiții nominale |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Temperatura mediului ambiant | +20°C±2°C | -5°C...+40°C |
| Umiditatea relativă a aerului | 40% - 60% | 10%...90% |
| Presiunea atmosferică | 990mbar - 1013mbar | 600mbar...1060mbar |
| Tensiunea de alimentare | ±(21V - 23V) | ±(21V - 25V) |

- Semnal de ieșire: ±10V (max. 20mA);
- Traductoare utilizabile:
 - rezistive: 50Ω...1000Ω;
 - inductive: 5mH...25mH ($Q \geq 2$);
- Configurația punții: 1, 2 sau 4 traductoare, schema cu 4, 5 sau 6 fire;
- Tensiunea punții: 1V_{ef}, 2V_{ef}, 4V_{ef} sau 8V_{ef};
- Plaja de echilibrare activă raportată la un braț al punții:
 - ΔR/R: ±2,2%: { 10 trepte brute a 0,4%,
 - (ΔL/L: ±11%) { 10 trepte medii a 0,4%
 - | și un reglaj fin de 0,044% pentru R
- Indicator de echilibru cu diode electroluminiscente cu sensibilitate de 0,1% din capătul de scală;
- Dezechilibrul C tolerat fără echilibrare:
 - ± 0,5mV/V pe scalele 100μm/m - 1000μm/m;
 - ± 5mV/V pe scalele 2.000μm/m - 10.000μm/m;
 - ± 50mV/V pe scalele 20.000μm/m - 100.000μm/m;
- Liniaritatea: 0,02% din capătul de scală;
- Asimetria indicației: ≤ 0,02%;
- Deriva de zero la comutarea scalei: ≤ 0,05% din capătul de scală;
- Eroarea de sensibilitate la comutarea scalei:
 - ≤ 0,05% pentru scalele 1.000μm/m, 10.000μm/m și 100.000μm/m;
 - ≤ 0,1% pentru celelalte scale;
- Semnal intern de calibrare: ± 10.000μm/m ± 0,1% (tipic 0,05%);
- Eroarea de inserare a unui semnal extern de etalonare: ≤ 0,02%;
- Limitele de reglaj ale amplificării: 1...2;
- Frecvența purtătoare: 5.000Hz ± 1%;
- Banda de frecvență:
 - a) Cu lărgimea de bandă maximă: 0Hz...1.000Hz (-1dB);
Supracreștere la saltul treaptă: ≤ 10%;
Front de răspuns la saltul treaptă: ≤ 0,3ms;
 - b) Cu supracreștere minimă: 0Hz...500Hz (-1dB);
Supracreștere la saltul treaptă: ≤ 3% (tipic 0%);
Front de răspuns la saltul treaptă: ≤ 0,6ms (tipic 0,3ms);
- Zgomotul raportat la intrare: (U_p = 4V)
 - La lucrul cu bandă maximă: ≤ 0,5μV/V (tipic 0,35μV/V);
 - La lucrul cu supracreștere minimă: ≤ 0,35μV/V (tipic 0,25μV/V);
- Domeniul de temperaturi: -5°C ÷ + 40°C;
- Variația sensibilității cu temperatura: ≤ 0,03%/°C;
- Deriva de zero cu temperatura: ≤ (0,025μV/V ± 0,01% din capătul de scală)/°C;
- Deriva de zero suplimentară cu punte dezechilibrată activ și compensată cu organele interne: ≤ 0,06μV/V/°C pentru fiecare mV/V de dezechilibru (tipic 0,02μV/V/°C);

- Deriva de zero suplimentară cu punte dezechilibrată reactiv: $\leq 0,5\mu\text{V}/\text{V}/^\circ\text{C}$ pentru fiecare mV/V dezechilibru reactiv (tipic $0,2\mu\text{V}/\text{V}/^\circ\text{C}$);
- Variația sensibilității în timp: $\leq 0,1\%/24\text{h}$ cu punte $4 \times 350\Omega$;
- Deriva de zero în timp: $\leq 0,06\mu\text{V}/\text{V} \pm 0,02\%$ din capătul de scară pe 24h cu punte $4 \times 350\Omega$;
- Dimensiuni: modul în sistemul 19" cu panoul $177\text{mm} \times 55\text{mm}$, adâncime: cca. 400mm;
- Greutatea: cca. 2kg.

B. MODUL DE FUNCȚIONARE

Aparatul N 2314 este un amplificator cu frecvență purtătoare și demodulare sincronă, care alimentează puntea de traductoare în curent alternativ (5kHz) și pune în evidență dezechilibrul acesteia după metoda indicației directe.

Modul de funcționare rezultă din schema bloc reprezentată în figura 6. Generatorul intern, sinusoidal de 5kHz alimentează simetric față de masă, puntea de traductoare flotantă (fără punct de masă). Aceasta poate fi conectată după sistemul cu 4, 5 sau 6 fire, ultimele două situații asigurând reducerea apreciabilă a erorilor provocate de cablu chiar în cazul măsurătorilor la distanțe mari (de ordinul sutelor de metri).

Acest efect se obține prin reglarea automată a amplitudinii generatorului, astfel încât să se mențină constantă tensiunea prescrisă de alimentare a punții, indiferent de lungimea cablului.

Reglajul oscilatorului se efectuează cu ajutorul firelor de control ale cablului. Tensiunea dintre acestea, este detectată și comparată cu o tensiune de referință. Semnalul de eroare comandă rezistența unui tranzistor cu efect de câmp și prin cetsa, tensiunea oscilatorului. Pentru protecția la scurtcircuit, acest reglaj iese din funcțiune la sarcini mari, când oscilatorul devine generator de curent.

Configurația circuitului punții de traductoare (fără punct de masă) asigură insensibilitatea la elementele reactive parazite. Totodată tensiunile de dezechilibru reactive care apar la ieșirea punții sînt tolerate de dinamica amplificatorului de intrare. Pentru dezechilibre reactive foarte mari se pune în funcțiune sistemul de echilibrare automată de fază constituit dintr-un defazor, un formator, un detector sincron de componentă reactivă, un filtru și un modulator. Acest sistem generează un semnal de reechilibrare care se aplică la intrarea amplificatorului sumator.

Depășirea nivelului (activ și reactiv) tolerat în amplificator este semnalizată de un indicator cu diodă electroluminiscentă. Dacă aceasta dioda rămîne aprinsă se introduce echilibrarea automată de fază. Un al doilea indicator cu diode electroluminiscente indică echilibrul componentei active cu o precizie de 0,1% din capătul de scală. Acesta este amplasat la ieșirea amplificatorului de curent continuu care urmează detectorului sincron al semnalului util și filtrului pentru stabilirea benzii de frecvență dorită. Calibrarea aparatului se poate efectua cu ajutorul semnalului intern cu două polarități ($\pm 10.000\mu\text{m}/\text{m}$), fie din exterior, de la sertarul N 2338, sau de la un alt dispozitiv de calibrare.

Pentru asigurarea unei bune stabilități în funcționare, alimentarea diferitelor grupări de etaje se face din trei surse: direct de la $\pm 22\text{V}$ (obținută de la unul din modulele N 2321, N 2322, N 2323); o sursă de $\pm 16\text{V}$ stabilizată cu circuite active și o sursă de $\pm 15\text{V}$ stabilizată cu diode Zener.

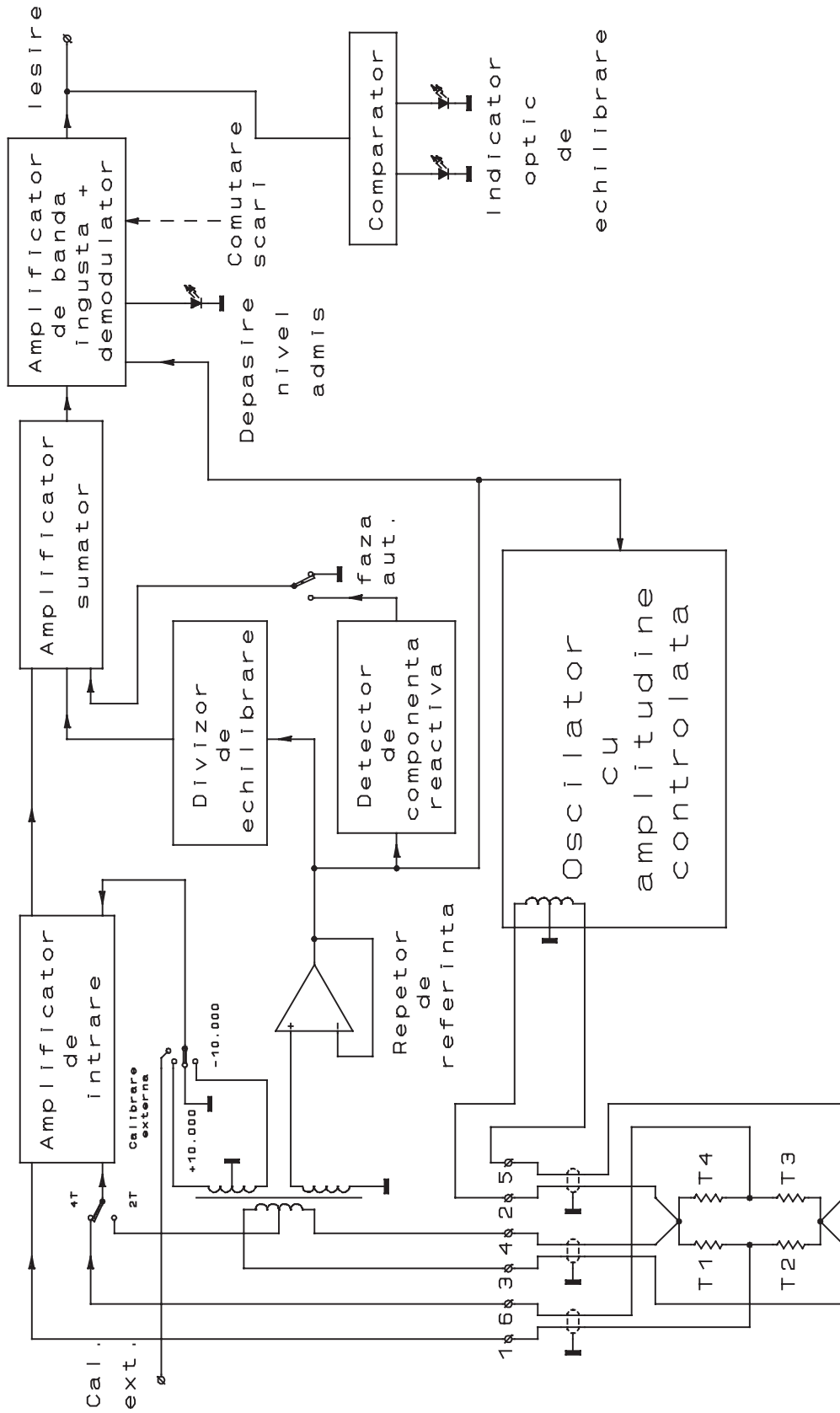


Figura 6. Schema bloc a amplificatorului cu frecvență purtătoare N 2314

C. Instrucțiuni de exploatare (extras)

C.1. Destinația elementelor de comandă și acces

Pe panoul frontal al aparatului sînt dispuse următoarele elemente de comandă și acces (vezi figura 7):

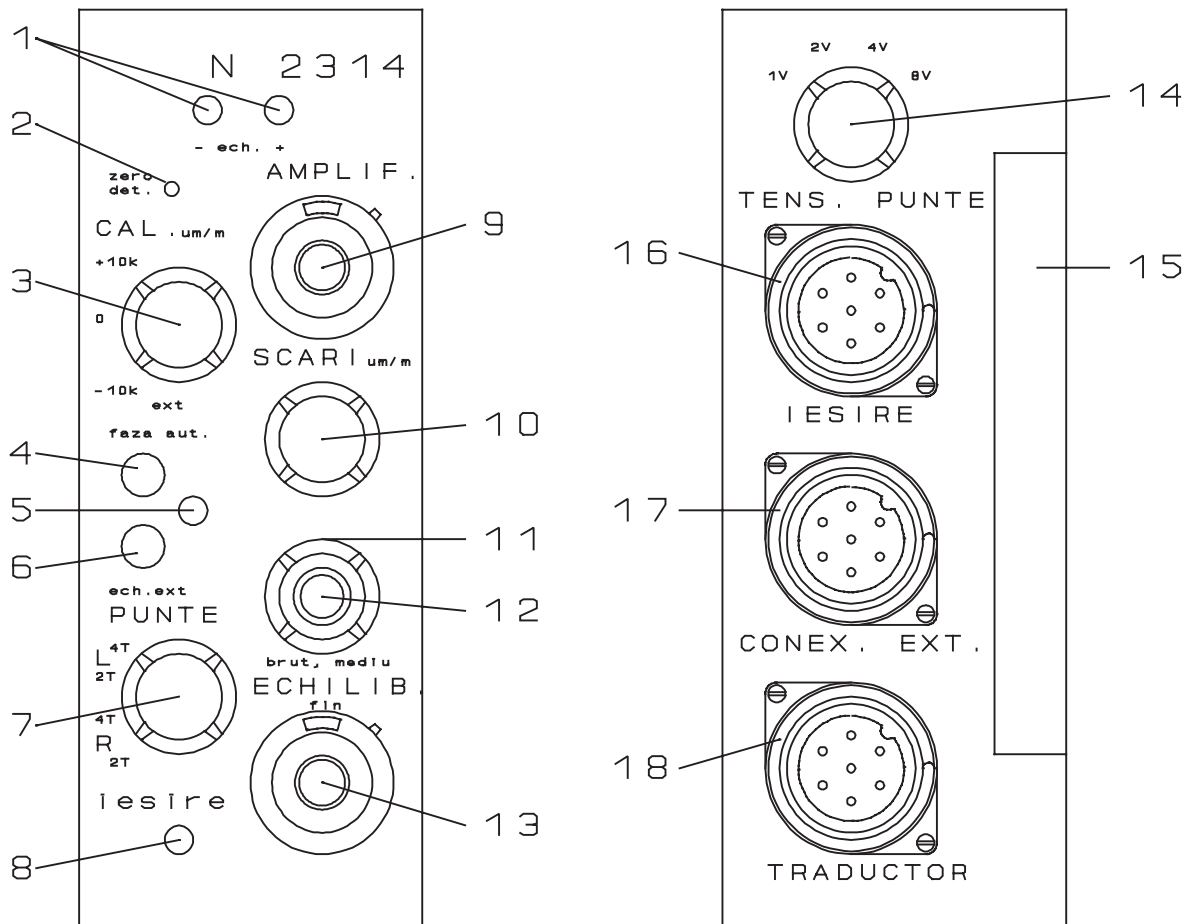


Figura 7. Amplasarea elementelor de comandă și conectare ale amplificatorului cu frecvență purtătoare N 2314

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. - "- ech. -" | - Diode electroluminiscente indicatoare de echilibru (LED2 și LED3); |
| 2. - "zero det." | - Potențiometrul ajustabil pentru reglaj zero detector (P001); |
| 3. - "CAL $\mu\text{m}/\text{m}$ " | - Comutator pentru generarea semnalelor interne de calibrare și pentru trecerea aparatului pe poziția "calibrare externă" (KIII); |
| 4. - "fază aut." | - Comutator (prin apăsare) pentru lucrul cu echilibrare automată de fază (KV); |
| 5. - - | - Indicator de suprasarcină cu diodă electroluminiscentă (LED1); |
| 6. - "ech. ext." | - Comutator (prin apăsare) pentru deconectarea organelor interne de echilibrare (KVI); |
| 7. - "PUNTE" | - Comutator pentru configurația punții și tipul de traductoare utilizate (KII); |
| 8. - "instr." | - Diodă electroluminiscentă pentru indicarea conectării |

- instrumentului modulului de afișare (LED4) la ieșirea amplificatorului;
- | | |
|---------------------------------------|--|
| 9. - "AMPLIF." | - Potențiomtru helicoidal cu blocare pentru reglajul amplificării (P1); |
| 10. - "SCĂRI $\mu\text{m}/\text{m}$ " | - Comutatorul scalelor de sensibilitate (KI); |
| 11. - "ECHILIBRARE - brut" | - Comutator pentru echilibrare brută (10 trepte a $1\text{mV}/\text{V}$) (KIV-1); |
| 12. - "ECHILIBRARE - mediu" | - Comutator pentru echilibrare medie (10 trepte a $0,1\text{mV}/\text{V}$) (KIV-2); |
| 13. - "ECHILIBRARE - fin" | - Potențiomtru helicoidal pentru echilibrare fină ($0,11\text{mV}/\text{V}$) (P2). |

Pe panoul din spate al aparatului sînt dispuse următoarele elemente de comandă și acces (vezi figura 7):

- | | |
|---------------------|--|
| 14. - "TENS PUNTE" | - Comutatorul tensiunii de alimentare a punții (KVII); |
| 15. - - | - Terminalul plăcii de fund cu contacte pentru conectorul casetei; |
| 16. - "IEȘIRI" | - Conector rotund cu 7 contacte pentru semnalele de ieșire (Mu1); |
| 17. - "CONEX. EXT." | - Conector rotund pentru interconexiuni exterioare și calibrare externă (Mu2); |
| 18. - "TRADUCTOR" | - Conector rotund pentru traductoare. |

C.2. Conectarea traductoarelor

Se pot conecta la aparat traductoare rezistive între 25Ω și 1000Ω sau traductoare inductive între 2mH și 20mH în semipunte sau punte completă (vezi B.4.).

Conectarea punții de traductoare la aparat se efectuează conform schemelor de la punctul C.3.

Înainte de constituirea punții și lipirea terminalelor cablului se va verifica izolația traductoarelor față de piesa pe care sînt lipite și continuitatea lor.

Pentru conectarea traductoarelor se utilizează cablul tip CETTY $3 \times 2(18 \times 0,10)$, CS 411977 Electromureș. Este posibilă și utilizarea altor tipuri de cablu cu următoarele observații:

- În cazul necranării separate a diagonalelor punții, capacitățile între fire apar în paralel pe brațele acestora și asimetriile capacitive ale cablului pot provoca dezechilibre reactive mari;
- Încărcarea diagonalei de măsură a punții prin capacitățile față de ecran trebuie apreciată în fiecare caz;
- La conectarea cu 5 fire a punții la aparat, asimetriile rezistive și capacitive ale cablului afectează precizia de măsură, introducînd o eroare în circuitul de stabilizare a tensiunii oscilatorului.

C.3. Alegerea configurației punții

Corespunzător modului de conectare și tipului traductoarelor utilizate, comutatorul "PUNTE" poate fi adus într-una din următoarele poziții:

4T(R) și 4T(L): conectarea unei punți complete de traductoare rezistive respectiv inductive (conform figurilor 8, 9 și 10).

2T(R) și 2T(L): conectarea unei semipunți de traductoare rezistive respectiv inductive cu unul sau două brațe active (conform figurilor 11 - 14).

Deosebirea între poziția R și L este aceea că, în acel de al doilea caz, plaja de echilibrare este $\pm 27,5\text{mV}/\text{V}$ (față de $\pm 5,5\text{mV}/\text{V}$ în primul caz), iar rezoluția echilibrării este de $0,1\mu\text{V}/\text{V}$ (față de circa $0,02\mu\text{V}/\text{V}$).

Cu observația de mai sus, este posibil să se lucreze de asemenea cu traductoare rezistive pe poziția L și invers.

C.3.1. Conexiuni pentru configurația 4T (punte completă)

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu firele ecranate în perechi asigură corecția optimă a erorilor datorate distanței dintre traductor și aparat și este prezentată în figura 8.

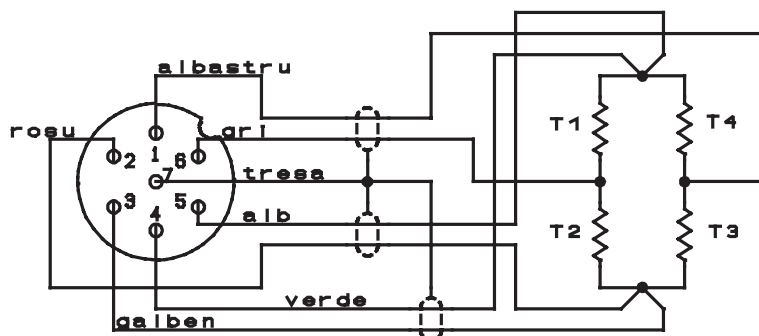


Figura 8. Conectarea cu 6 fire ecranate în perechi a punții complete

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu 5 fire ecranate în comun introduce erori datorate asimetriei cablului și este prezentată în figura 9.

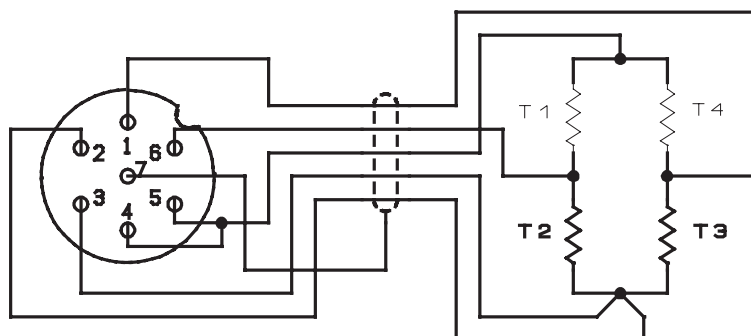


Figura 9. Conectarea cu 5 fire ecranate în comun a punții complete

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu 4 fire ecranate în comun nu face corecția erorilor datorate distanței dintre traductor și aparat, este utilizată numai la distanțe mici sau cu calibrare direct la punte și este prezentată în figura 10.

C.3.2. Conexiuni pentru configurația 2T (semipunte)

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu firele ecranate în perechi asigură corecția optimă a erorilor datorate distanței dintre traductor și aparat și este prezentată în figura 11.

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu 5 fire ecranate în comun nu introduce erori datorate asimetriei cablului și este prezentată în figura 12.

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu 4

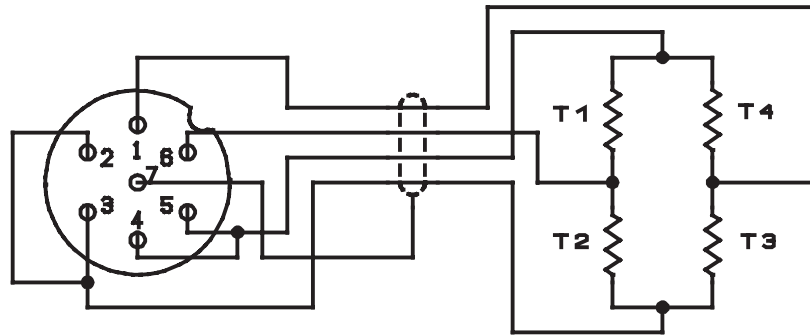


Figura 10. Conectarea cu 4 fire ecranate în comun a punții complete

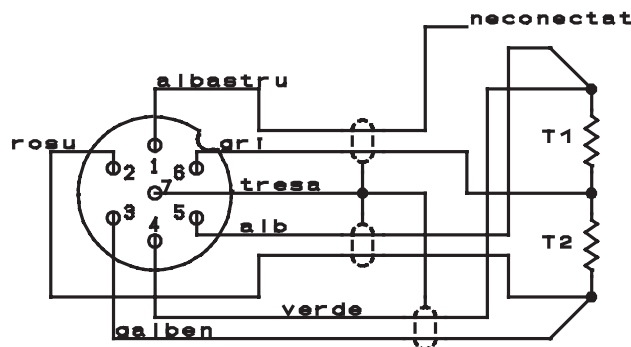


Figura 11. Conectare cu 5 fire ecranate în perechi a semipunții

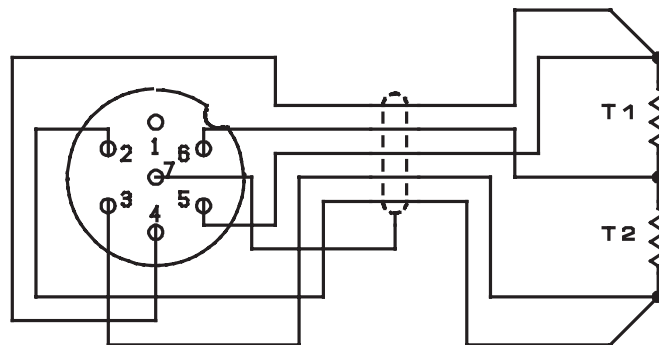


Figura 12. Conectarea cu 5 fire ecranate în comun a semipunții

fire ecranate în comun: corecția erorilor datorate distanței dintre traductor și aparat este afectată de asimetria cablului și este prezentată în figura 13.

Conexiunile externe la mufa TRADUCTOR (Mu3) prin conector ștecher la cablu cu 3 (sau 4) fire ecranate în comun nu face corecția erorilor datorate distanței dintre traductor și aparat, este utilizată numai la distanțe mici sau cu calibrare direct la punte și este prezentată în figura 14.

C.4. Alegerea tensiunii de alimentare a punții

Cu ajutorul comutatorului "TENS. PUNTE" această tensiune poate fi stabilită la valorile de $1V_{ef}$, $2V_{ef}$, $4V_{ef}$ și $8V_{ef}$. Valoarea utilizată cel mai frecventă este de $4V_{ef}$.

La alegerea tensiunii de alimentare se vor avea în vedere următoarele:

- sensibilitatea necesară: sensibilitatea este proporțională cu tensiunea de alimentare

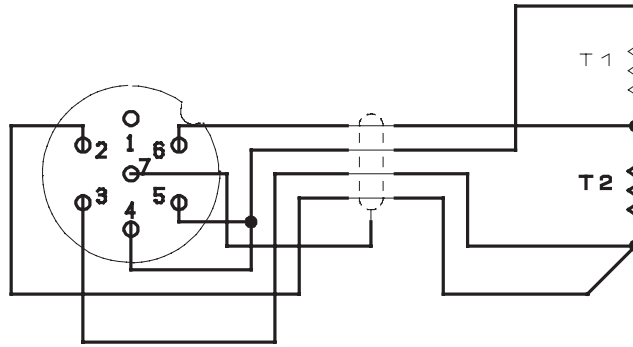


Figura 13. Conectare cu 4 fire ecranate în comun a semipunții

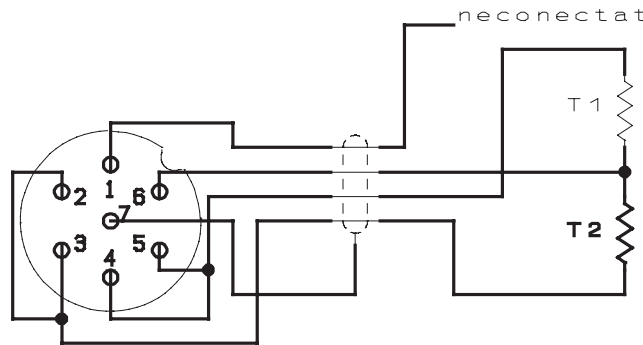


Figura 14. Conectarea cu 3 (sau 4) fire ecranate în comun a semipunții

a punții;

- curentul maxim admis: acesta poate rezulta în cazul traductoarelor rezistive din limitări de disipație. Lipirea traductoarelor pe suprafața unor corpuri izolate termic reduce puterea disipată permisă. Creșterea disipației poate duce la mărirea derivei de zero. În cazul traductoarelor inductive există de asemenea limitări ale tensiunii de lucru, indicate uneori chiar de fabricant;
- limitările generatorului intern: sub acțiunea unui circuit de protecție, acesta trece în regim de limitare de curent. În tabelul de mai jos se indică limita inferioară a rezistenței în ohmi a unui braț pentru diferite tensiuni și configurații de punte, pentru un cablu cu lungimea de cel mult 100m:

| Tensiunea de alimentare a punții (V_{ef}) | 1 | 2 | 4 | 8 |
|--|----|----|----|-----|
| - Semipunte | 25 | 25 | 25 | 25 |
| - Punte completă | 50 | 50 | 50 | 100 |

C.5. Punerea în funcțiune a aparatului

Înainte de punerea în funcțiune sînt necesare următoarele operații:

- Comutatoarele "SCĂRI" și "CAL." se stabilesc pe poziția "T";
- Organele de echilibrare (brut, mediu și fin) se stabilesc în poziția mediană;
- Comutatorul "TENS. PUNTE" se stabilește pe $1V_{ef}$, $2V_{ef}$, $4V_{ef}$ sau $8V_{ef}$ după necesitate;
- Se conectează traductorul (traductoarele) la mufa "TRADUCTOR" și se stabilește

- comutatorul "PUNTE" pe configurația dorită;
- Clapele "fază aut." și "echil. ext." sînt neapăsate;
 - În cazul lucrului în sistem de comutare manuală sau automată a punctelor de măsură la mufa "TRADUCTOR" se montează cablul de legătură cu dispozitivele de comutare conform manualului de instrucțiuni ale acestora.

Se conectează la rețea unitatea de afișare N 2323 și se acționează întrerupătorul de rețea.

C.6. Echilibrarea punții de intrare

În vederea efectuării echilibrării se poate utiliza indicatorul propriu cu diode electroluminiscente al amplificatorului N 2314, sau cu modulul de afișare N 2323.

Efectuarea echilibrării cu ajutorul modulului de afișare numerică N 2323 asigură cea mai bună rezoluție (0,1 μ m/m deci 0,1% din capătul scalei celei mai sensibile). Rezoluția indicatorului propriu cu diode electroluminiscente, 0,1% din capătul de scală (aceeași pe toate scalele) este de asemenea mult mai bună decît cea a unităților de afișare analogică. Utilizarea acestui indicator de echilibru poate să ducă însă la o durată mai mare a operației, decît în cazul instrumentului cu zero la mijloc, mai ales pentru un operator insuficient familiarizat cu aparatura. Utilizarea sa va hotărîta deci în funcție de condițiile măsurării.

Pentru echilibrarea cu ajutorul unuia dintre modulele de afișare se procedează astfel:

- Se rotește comutatorul scării în sens orar pîna se obține o indicație suficientă, inferioară capătului de scală;
- Prin acționarea organelor "ECHILIBRARE" (brut, mediu și fin) se reduce indicația la zero, trecîndu-se progresiv pe scări mai sensibile. Este de preferat ca operația să se încheie pe scara pe care urmează să se efectueze măsurătorile. În cazul utilizării indicatorului propriu, poziția de echilibru se obține în situația în care nici una dintre diode nu luminează. Butoanele organelor de echilibrare se rotesc în sens antiorar cînd luminează dioda din dreapta (dezechilibru "+") și în sens orar cînd luminează dioda din stîngă ("-"). Operația se efectuează cu comutarea pe scări din ce în ce mai sensibile și se încheie cu acționarea butonului pentru echilibrare fină.

În prezența unui dezechilibru puternic (activ sau reactiv) dioda electroluminiscentă pentru indicarea suprasarcinii, amplasată lîngă clapa "fază aut." este aprinsă. Dacă aceasta nu se stinge la acționarea organelor de echilibrare, aparatul fiind pe scara pe care urmează a se efectua măsurarea, în timp ce la ieșire se obține indicația de echilibru, se apasă clapa "fază aut.". Dacă în această situație dioda se stinge, se poate face ajustarea definitivă a echilibrului. În caz contrar, situație puțin probabilă, dezechilibrul reactiv maxim tolerat este depășit.

Dacă indicatorul de suprasarcină rămîne aprins și nici nu se obține indicația de echilibru la ieșire, deși traductoarele au toleranța admisă a rezistenței, în punte există o defecțiune (braț în scurtcircuit sau întrerupt). Este de reținut că dezechilibrul reactiv maxim tolerat, atît cu, cît și fără echilibrare automată de fază variază față de valorile indicate la punctul A., proporțional cu raportul $4/U_p$, unde U_p este tensiunea de alimentare a punții.

Astfel, pentru $U_p = 1V_{ef}$ se tolerează valori de 4 ori mai mari pe aceleași poziții ale butonului scării, cărora le corespund însă sensibilități de 4 ori mai reduse.

C.7. Calibrarea aparatului

Prin operația de calibrare se stabilește o anumită corespondență, cît mai simplă, între mărimea măsurată și indicație, respectiv mărimea de ieșire a amplificatorului. Există mai multe posibilități pentru efectuarea calibrării:

- Calibrarea directă, cu ajutorul unei valori cunoscute a mărimii de măsurat aplicată traductorului;

- Calibrare electrică. Aceasta se poate efectua la rîndul ei în trei moduri:
 - Cu ajutorul semnalului de calibrare intern;
 - Cu ajutorul modulului de etalonare N 2338, unui divizor inductiv sau a altui dispozitiv de etalonare conectate la intrarea de calibrare externă (conectorul "CONEX. EXT.");
 - Cu ajutorul modulului de etalonare N 2338, unui divizor inductiv sau a altui dispozitiv de etalonare conectate în locul punții de traductoare.

C.7.1. Efectuarea calibrării cu semnal intern în cazul măsurărilor tensometrice

Cu ajutorul butonului "CAL" se pot genera semnalele $\pm 10.000\mu\text{m/m} \pm 0,1\%$ pentru o sensibilitate a traductoarelor $K = 2$ ($\pm 5.000\mu\text{m/m}$).

Întru-cît, datorită sistemului de conectare a punții de traductoare la aparat printr-un cablu cu 6 fire, semnalele interne de calibrare se obțin ca o fracțiune din tensiunea de alimentare a punții, indiferent de distanța dintre aparat și traductoare, calibrarea cu semnal intern este afectată de erori suplimentare foarte mici, chiar la lungimi de cablu mari.

Calibrarea decurge în modul următor:

- Întru-cît valoarea semnalelor de calibrare înscrisă pe panou $\varepsilon_{\text{cal.}} = \pm 10.000\mu\text{m/m}$ este valabilă numai pentru $K = 2$, se calculează deformația ε^* echivalentă semnalului de calibrare pentru valoarea K , efectuată cu ajutorul relației

$$\varepsilon_{\text{cal.}}^* = \frac{2}{K} \varepsilon_{\text{cal.}} = \frac{20.000}{K} [\mu\text{m/m}]$$

- Se echilibrează aparatul;
- Se trece comutatorul "SCĂRI" pe poziția "0", se verifică și eventual se ajustează "în această" situație echilibrul cu șurubelnița ("zero det.");
- Se trece apoi aparatul pe scara de $10.000\mu\text{m/m}$ sau $20.000\mu\text{m/m}$, după cum $\varepsilon_{\text{cal.}}^*$ este mai mic sau mai mare de $10.000\mu\text{m/m}$ și se reglează sensibilitatea pentru a se obține la ieșire indicația corespunzătoare valorii $\varepsilon_{\text{cal.}}^*$. Se verifică dacă pentru semnalul de calibrare de semn opus indicația este aceeași. Dacă se consideră necesară micșorarea erorii provocate de asimetrie, se reverifică și eventual se reajustează cît mai precis zero și apoi se reglează sensibilitatea astfel încît abaterile indicației de la valoarea $\varepsilon_{\text{cal.}}^*$ să fie egale și opuse pentru cele două sensuri de dezechilibru.
- Se trece apoi aparatul pe scara pe care urmează să se efectueze măsurarea. Indicația de zero nu va avea, în urma acestei comutări, o variație mai mare de 0,05%. Dacă se consideră necesar se reface zero.

C.8. Efectuarea reglajului "zero det."

Se efectuează în prealabil echilibrul punții cu ajutorul organelor "ECHILIBRARE", "brut", "mediu" și "fin" pînă la un reziduu neechilibrat de max. $10\mu\text{m/m}$ (1V la ieșire pe scara de $100\mu\text{m/m}$, $U_p = 4V_{\text{ef}}$). Sec trece apoi comutatorul "SCĂRI" pe poziția "0" și se reglează cu o șurubelniță potențiometrul "zero det." prin orificiul de acces amplasat pe panoul din față, deasupra comutatorului "CAL." pînă la obținerea indicației zero la unitatea de afișare. Este indicat ca citirea să se efectueze pe unitatea N 2323 sau pe un alt voltmetru numeric conectat la ieșire.

C.9. Efectuarea măsurărilor

După echilibrare și calibrare se poate efectua măsurarea propriu-zisă. În timpul măsurării, elementele de echilibrare și reglaj al amplificării nu trebuie atinse. Pentru evitarea

manevrelor greșite, butoanele "AMPLIF." și "ECHILIBRARE-fin" sînt prevăzute cu sistem de blocare. În acest scop pîrghia de blocare se apasă spre panou și se rotește în sens orar pînă la refuz fără a se forța.

II. DESFASURAREA LUCRARI

1. Se studiaza schema bloc, modul de funcționare, punerea in funcțiune și modul de lucru pentru amplificatorul N 2314 utilizînd descrierea dată anterior;
2. Se calibrează aparatul N 2314 pentru o sensibilitate a tensometrelor $K = ???$;
3. Ca aplicație a modului de lucru cu acest amplificator se determină sensibilitatea unor tensometre cu fir metalic de rezistență egală, lipite pe o lamelă de oțel. Se utilizeaza atît montajul de tip semipunte cît și montajul de tip punte întreagă.
Alungirea relativa a lamelei de oțel de egală deformare se determină cu formula:

$$\varepsilon_{real} = \frac{\Delta l}{l} |_{real} = \frac{h}{l^2} d \quad (9)$$

unde: h este grosimea lamelei egală cu ???mm;
 l lungimea lamelei egală cu ???mm;
 d depasarea capătului liber al lamelei citită pe șurubul micrometric.

Determinarea dependenței variației relative a rezistenței tensometrului $\Delta R/R$ în funcție de alungirea relativă $= \Delta l/l$ se realizează în următoarele etape:

- a. se avansează șurubul micrometric cu cîte 0,5mm de la poziția de contact cu lamela de oțel pînă la o deplasare de maximum 5mm:
Pentru fiecare poziție a șurubului micrometric:
 - b. se calculează cu relația (9) alungirea relativa reală;
 - c. se citește indicația instrumentului ε_{citat} .
 - d. se aproximează linear dependența $\varepsilon_{real}(\varepsilon_{citat})$, se determină panta acestei dependențe;
4. Se reprezintă grafic dependența $\Delta R/R$ în funcție de ε_{real} .

III. INTREBĂRI

1. Modelind amplificatorul diferential prin simbolul sa se redeseneze schema din figura 7 punindu-se in evidenta ideea pe care se bazeaza realizarea circuitului puntii PR9306.
2. Ce se regleaza din RI, R 33, R 5, R 7 si care este plaja de reglaj ?
3. De ce pentru masurarea cu semipunte exista o singura gama pentru rezistenta nominala a tensometrelor (100 ... 1000), iar pentru puntea intreaga doua game (100 ... 300 si 300 ...1000) ?
4. De ce sursele de alimentare trebuie sa fie independente ?
5. Ce rol are dioda Zener DZ (figura 7)? care sînt valorile maxima si minima care pot fi

acceptate pentru tensiunea de strapungere ?

6. Ce rol are grupul R 28, C 1 ? Care este banda la 3 dB a amplificatorului diferential ?

7. Cum se calculeaza elementele divizorului R 22, R 23 ?

8. Ce eroare si asupra carui parametru al puntii PR9306 introduce tensiunea de offset a etajului TS 4, TS 5 ? Dar a etajului TS 7, TS 8 ?

Din datele cuprinse in descrierea parametrilor puntii PR9306 sa se estimeze valoarea maxima a tensiunii de ofset a etajului TS 4, TS 5, luata in considerare la proiectarea schemei.

9. Sa se estimeze valoarea curentilor de polarizare ai amplificatorului diferential (curentii de baza ai tranzistoarelor TS 4, TS 5). Ce eroare si asupra carui parametru al puntii PR9306 - introduc acesti curenti de polarizare ?

10. De ce se alimenteaza circuitul de masurare cu tensiune stabilizata ??

11. Cum se realizeaza protectia la scurtcircuit a stabilizatorului ? De ce este necesara aceasta protectie ?

12. Sa se calculeze valoarea tensiunii la iesirea din stabilizator.

13. Cum influenteaza variatia tensiunii de la iesirea stabilizatorului calibrarea aparatului ?

14. Din valorile elementelor din schema electrica sa se deduca ca sensibilitatea tensometrului pentru care este valabila calibrarea este $s = 100$.

15. Presupunind tensometre cu rezistenta nominala de 1000 sa se estimeze valoarea maxima care poate fi acceptata pentru capacitatea cablului care leaga circuitul de masurare de puntea PR 9306, astfel incat raspunsul in frecventa al puntii sa ramina neschimbat.