

Aplicația I.1

STUDIUL UNOR TRADUCTOARE DE TEMPERATURĂ

1.1. Principiul lucrării

În cadrul aplicației se vor studia principiile de funcționare ale unor traductoare de temperatură având ca elemente sensibile termocupluri și termorezistențe, cu adaptorul având semnalul de ieșire unificat de curent continuu în gama $4 \div 20$ mA.

1.1.1. Termocuplul

Termocuplul este un element sensibil de tip generator. Principiul de funcționare al termocuplului se bazează pe efectul termoelectric (Seebeck) și anume apariția unei tensiuni electromotoare într-un circuit format din două metale diferite, atunci când între joncțiunile acestora apare o diferență de temperatură.

Constructiv, termocuplul este alcătuit din două fire (termoelectrozi) din metale sau aliaje diferite, sudate între ele la unul din capete, astfel încât să constituie o joncțiune de măsurare, respectiv o joncțiune de referință obținută la capetele libere (fig.1.1).

Firele de legătură sunt alcătuite fie din același material din care sunt alcătuiți

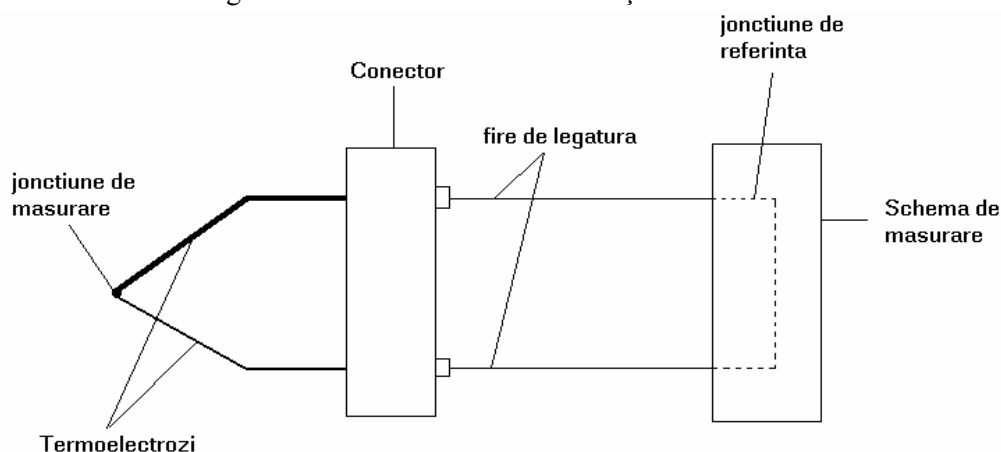


Fig.1.1. Termocuplul; reprezentare principală și conectare în circuitul de măsurare a temperaturii

termoelectrozii, fie dintr-un material cu tensiune de contact identică pe domeniul maxim de variație a temperaturii mediului în care se află joncțiunea de referință, având rolul de a prelungi joncțiunea de referință în zone cu temperatură joasă, sau până la

placa de borne a adaptorului, unde este mai ușor de a fi menținută constantă, sau se poate face compensarea acestor variații prin metode electrice/electronice.

Pentru protejarea termocuplurilor împotriva acțiunilor fizico-chimice și mecanice se folosesc diverse tipuri de învelișuri protectoare, teci, carcase etc.

Tensiunea termoelectromotoare E_{TC} generată de termocuplu este – în limitele unei erori de neliniaritate acceptate - proporțională cu diferența între temperatura θ a joncțiunii de măsurare și temperatura θ_0 a joncțiunii de referință:

$$E_{TC} = K_{TC}(\theta - \theta_0) \quad (1.1)$$

unde prin K_{TC} s-a notat sensibilitatea termocuplului exprimată în $[mV/^{\circ}C]$, care depinde de natura celor doi termoelectrozi.

Datorită inerției termice a învelișurilor de protecție, în regim dinamic termocuplurile se comportă ca elemente de întârziere. În cazul unui singur înveliș de protecție, aplicând transformata Laplace ecuației diferențiale de regim dinamic, se poate scrie:

$$E_{TC}(s) \approx \frac{K_{TC}}{Ts + 1} \Delta\theta(s) \quad (1.2)$$

unde $E_{TC}(s)$ și $\Delta\theta(s)$ sunt transformatele Laplace ale ieșirii E_{TC} și intrării $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, iar T este constanta de timp a termocuplului (dată în principal de învelișul de protecție).

Metalele cele mai des utilizate pentru construirea termoelectrozilor sunt:

- **Cromel - Alumel** (care sunt aliaje având în compoziție 90% Ni și 10% Cr, respectiv 95% Ni și 5% AL+Mg) folosit în gama $0^{\circ}C - 900^{\circ}C$ ($1200^{\circ}C$), cunoscut sub denumirea de **termocuplu tip K**.

- **Fier - Constantan** folosit în gama $0^{\circ}C - 500^{\circ}C$, cunoscut ca **termocuplu de tip J**.

- **Platină-Rhodium - Platină** folosit în gama $0^{\circ}C - 1300^{\circ}C$ ($1400^{\circ}C$), cunoscut ca **termocuplu de tip S**.

În tabelul de mai jos sunt date, comparativ, caracteristicile termocuplurilor Fier-Constantan, Cromel-Alumel, (Platină-Rhodium 10%) – Platină:

Caracteristica	Fier-Constantan	Cromel-Alumel	Platină-Rhodium (10%) – Platină
Domeniu de utilizare	0 – 500 °C	0 – 1000 °C	0 – 1300 °C
Precizie	Medie	medie	Medie
Stabilitate chimică	Slabă	bună	foarte bună

1.1.2. Termorezistența

Termorezistența este un element sensibil de tip parametric al cărui principiu de funcționare se bazează pe fenomenul variației rezistenței electrice a unui fir metalic

în funcție de temperatura sa. Legea generală de variație a rezistenței cu temperatura este de forma:

$$R_{\theta} = R_{\theta_0} \left[1 + \alpha(\theta - \theta_0) + \beta(\theta - \theta_0)^2 + \gamma(\theta - \theta_0)^3 + \dots \right] \quad (1.3)$$

unde:

- θ_0 este temperatura de referință la care termorezistența are valoarea cunoscută R_{θ_0} .

- $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ sunt coeficienții ce caracterizează modul de variație al rezistenței în funcție de diferența între temperatura θ și cea de referință θ_0 .

De regulă se neglijează coeficienții β, γ, \dots pe lângă α (de exemplu pentru platină $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-2} \text{ grad}^{-1}$, $\beta = 5,8 \cdot 10^{-7} \text{ grad}^{-1}$), astfel încât caracteristica (1.3) se consideră aproximativ liniară.

Termorezistențele se caracterizează prin aceea că au coeficient de variație cu temperatura pozitiv ($\frac{dR}{d\theta} > 0$). Spre deosebire de acestea, *termistoarele* care sunt rezistențe realizate prin sinterizarea unor pulberi semiconductoare, au un coeficient de variație cu temperatura a rezistenței negativ ($\frac{dR}{d\theta} < 0$).

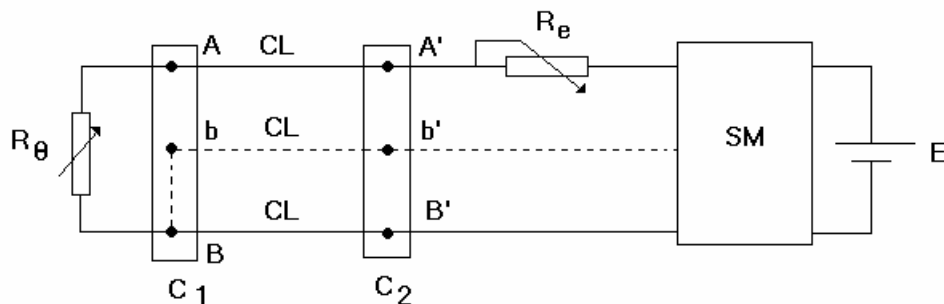


Fig.1.2. Termorezistența; reprezentare principală și conectare în circuitul de măsurare

În fig.1.2 este reprezentată schematic o termorezistență și conexiunile sale la schema de măsurare, la care semnificația elementelor este următoarea:

R_{θ} - termorezistența construită din firul metalic bobinat pe un suport izolant din material ceramic sau sticlă și care este introdusă în tuburi de protecție similare cu cele menționate la termocupluri;

C_1 - conector ce reprezintă bornele de ieșire A, B, b ale termorezistenței;

C_2 - conector ce reprezintă bornele de intrare A', B', b' în aparatul de măsurat;

CL - cablu de legătură;

R_e - rezistență de echilibrare;

SM - schemă de măsurare.

Legătura bb' se utilizează la schema de conectare în punte a termorezistenței, schemă ce compensează influența temperaturii asupra conductoarelor de legătură (conexiunea cu trei conductoare) – fig.1.3 – la care:

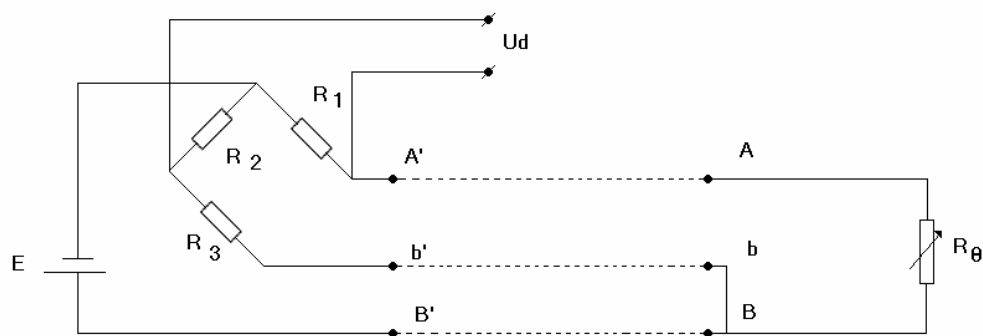


Fig.1.3. Schema de conectare a termorezistenței la puntea de măsurare în conexiunea cu 3 fire

- E - sursă de alimentare a punții;
- R_1, R_2, R_3 - rezistențe din punte;
- U_d - tensiunea de dezechilibru a punții (puntea funcționează în regim dezechilibrat);
- R_{c1}, R_{c2} - rezistențele firelor de legătură; ele apar în brațe adiacente ale punții și din această cauză modificările lor cu temperatura se compensează.

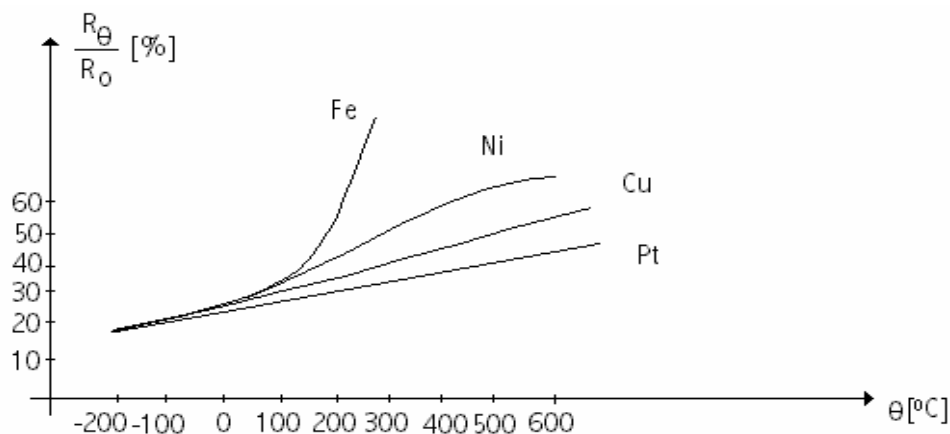


Fig.1.4. Dependența rezistenței electrice cu temperatura la principalele tipuri de termorezistențe

Termorezistențele se construiesc atât din metale nobile (Pt) cât și din metale comune (Cu, Ni, Fe). În fig.1.4 sunt trasate curbele de variație a rezistenței electrice cu temperatura pentru principalele tipuri de termorezistențe (R_0 reprezintă rezistența la 0°C, R_θ rezistența la temperatura θ).

În tabelul 1.1 sunt date comparativ caracteristicile termorezistențelor din Pt, Cu și Ni.

Tabelul 1.1

Caracteristici	Pt	Cu	Ni
Liniaritate	foarte bună	foarte bună	slabă
Sensibilitate	acceptabilă	bună	mare
Domenii de utilizare	-200°C - +900°C	0°C - +120°C	0°C - +250°C
Stabilitate chimică	foarte bună	instabil	bună

În regim dinamic datorită masei termice a învelișului de protecție, termorezistențele se comportă, pe zonele de liniaritate, ca elemente de întârziere și, în maniera în care s-a dedus relația (1.2), rezultă:

$$R(s) = \frac{K_{Tc}}{T_s + 1} \Delta\theta(s) \quad (1.4)$$

în condițiile neglijării masei termice a suportului.

1.1.3. Adaptoare pentru elemente sensibile de tip termocuplu și termorezistență

În scopul unificării aparaturii de măsurare industrială a temperaturii, adaptoarele pentru termocupluri și termorezistențe au structuri similare cu cea reprezentată în fig.1.5. Elementul sensibil (termorezistența sau termocuplul) se introduce într-o schemă de măsurare SM care preia variațiile acestuia (de rezistență sau de tensiune) și le transformă în variații de tensiune continuă.

Pentru ca același adaptor să poată fi utilizat cu elemente sensibile care sunt construite pentru domenii de lucru diferite, în schema de măsurare se prevede un bloc de gamă prin care se fixează gama de lucru a adaptorului.

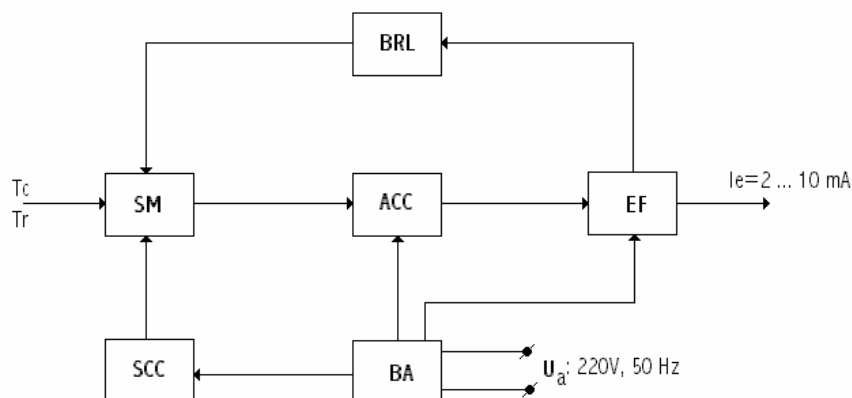


Fig.1.5. Schema funcțională a adaptorului pentru termocuplu/termorezistență în conexiunea cu 4 fire (2 fire pentru alimentare și 2 fire pentru semnalul de ieșire)

Semnalul de la ieșirea schemei de măsurare este - în continuare - amplificat (având în vedere că variațiile sunt mici) de către amplificatorul de curent continuu ACC (realizat fie discret pe principiul amplificatorului cu modulare - demodulare, fie integrat la adaptoarele de construcție mai recentă), apoi este aplicat etajului final EF, care reprezintă un convertor de tensiune continuă - curent continuu, așa încât la ieșirea acestuia rezultă semnalul unificat de curent continuu I_e .

Pentru mărirea stabilității schemei, rejecției perturbațiilor și liniarizarea caracteristicii statice a ansamblului element sensibil + adaptor se utilizează blocul de reacție și liniarizare BRL.

Blocul de gamă, aflat în componența schemei de măsurare SM, este realizat sub forma unei punți Wheatstone de rezistențe alimentate de la sursa de curent continuu, cu factor mare de stabilitate, SCC, pe diagonala de alimentare.

Adaptorul este alimentat de la 220 V, 50 Hz prin intermediul unui bloc de redresare și alimentare cu tensiuni continue stabilizate BA, necesare funcționării tuturor părților sale componente.

În cazul termorezistențelor, SM este o schemă de măsurare de tip punte Wheatstone funcționând în regim dezechilibrat (fig.1.3), tensiunea de dezechilibru fiind dependentă de R_θ (și deci de θ).

În cazul termocuplurilor se utilizează o SM cu o structură asemănătoare de punte Wheatstone, dar cu rol doar de compensare a variației tensiunii E_{TC} în funcție de modificarea temperaturii capetelor libere – fig.1.6; astfel, dacă etalonarea termocuplului s-a făcut la θ_0 și temperatura reală de referință este $\theta_0' = \theta_0 + \Delta\theta$, apare o

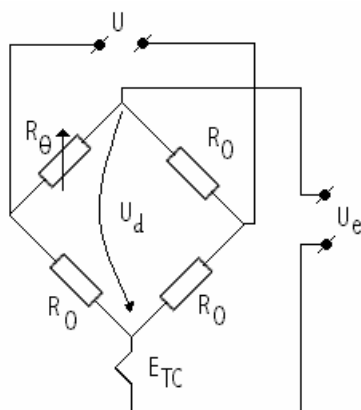


Fig.1.6. Schema de măsurare pentru termocuplu

eroare $\Delta E_{TC} = -K_{TC} \cdot \Delta\theta_0$. Această eroare este compensată de tensiunea U_d a punții care este calculată să varieze la fel ca ΔE_{TC} , dar cu polaritate opusă: $U_d = -\Delta E_{TC}$.

O situație frecvent întâlnită în adaptoarele actuale pentru termocupluri/termorezistențe este construcția acestora în conexiunea pe două fire (aceleași fire sunt folosite atât pentru alimentarea adaptorului cât și pentru culegerea semnalului unificat de ieșire). În principiu se evidențiază o structură de două surse de curent – fig.1.7 – una debitând curentul constant de la limita inferioară a domeniului

(4mA) și cealaltă un curent proporțional cu temperatura θ din intrare variind în limite standardizate (0...16mA). Așadar, în circuitul de intrare CI din fig.1.7 sunt cuprinse toate circuitele necesare pentru a asigura comanda sursei variabile de curent sub forma unei tensiuni proporționale cu temperatura de măsurat. Dioda D din structura adaptorului are rolul de protecție la conectarea sursei de alimentare - accidentală – cu polaritatea inversată. Astfel de adaptoare au o formă constructivă adecvată montării în cutia de borne a termocuplului/termorezistenței, în consecință nu mai necesită compensarea firelor de legătură (în cazul termorezistențelor) și prelungirea capetelor libere ale termocuplurilor, conexiunile externe fiind conforme montajului din fig.1.7.

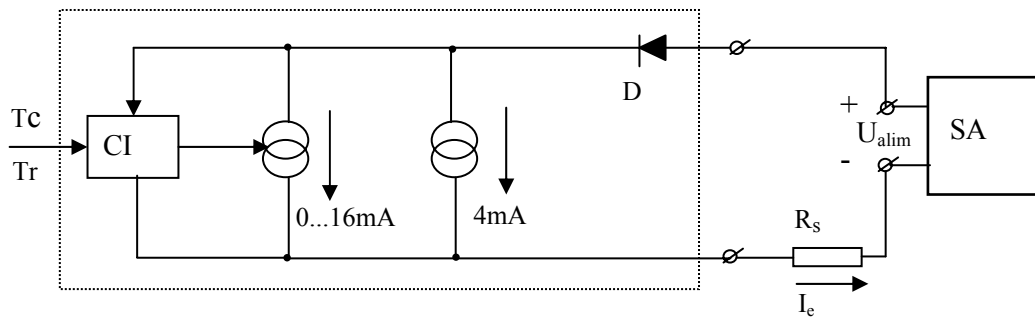


Fig.1.7. Schema principală a adaptorului de termocuplu/termorezistență în conexiunea pe două fire și modalitatea de folosire în circuitul de măsurare

1.2. Chestiuni de studiat

- 2.1. Determinarea caracteristicii statice a termocuplului.
- 2.2. Determinarea caracteristicii statice a traductorului de temperatură cu termocuplu.
- 2.3. Determinarea experimentală a sensibilității termocuplului.
- 2.4. Determinarea erorii de neliniaritate pentru termocuplu și trasarea curbei erorilor.
- 2.5. Determinarea caracteristicii statice a termorezistenței .
- 2.6. Determinarea caracteristicii statice a traductorului de temperatură cu termorezistență.
- 2.7. Determinarea experimentală a sensibilității termorezistenței.
- 2.8. Determinarea erorii de neliniaritate pentru termorezistență și trasarea curbei erorilor.
- 2.9. Determinarea caracteristicilor dinamice în timp pentru traductorul cu termocuplu.
- 2.10. Determinarea caracteristicilor dinamice în timp pentru traductorul cu termorezistență.
- 2.11. Determinarea performanțelor de regim dinamic: constanta de timp T, timpul de creștere t_c , timpul de stabilizare t_s pentru cele două traductoare.

1.3. Schema de montaj și modul de lucru

Pentru efectuarea experimentelor, în vederea obținerii rezultatelor conform punctelor 2.1 ÷ 2.11, se folosește montajul din fig.1.8, în care:

- CE este un cuptor electric capabil să producă o creștere a temperaturii între

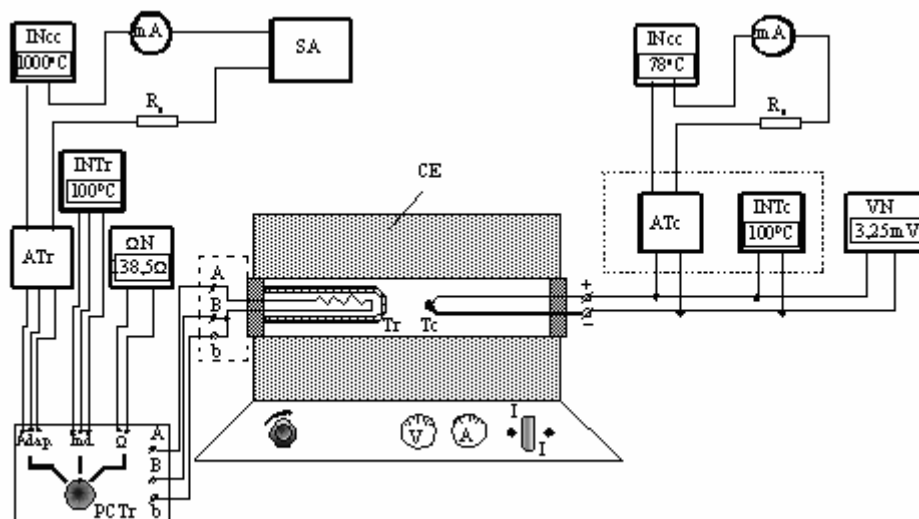


Fig.1.8. Schema de montaj pentru studiul traductoarelor de temperatură cu termocuplu și termorezistență

0 - 1200°C; alimentarea acestuia se face de la rețeaua de 220 V curent alternativ 50 Hz; atât curentul cât și tensiunea care asigură alimentarea rezistenței de încălzire fiind indicate de aparatele montate pe panoul cuptorului (A,V); pentru reglarea curentului de încălzire se acționează asupra manetei reostatului de reglaj aflată în stânga panoului cuptorului;

- Tc - termocuplu de tip Cromel-Alumel (tip K), având domeniul de funcționare 0 - 1200°C;

- Tr - termorezistență Pt 100 cu domeniul 0 - 850°C (rezistența este din Platină și are 100 Ω la 0°C), prevăzută, în cutia de borne, cu 3 legături notate cu A, B, b în vederea cuplării acesteia utilizând conexiunea cu 3 fire; termorezistența este introdusă într-o teacă de protecție realizată din oțel inoxidabil;

- ATc - adaptor pentru termocuplu realizat în conexiunea cu 2 fire;
- ATr - adaptor pentru termorezistență realizat în conexiunea cu 2 fire;

ATc și ATr au următoarele caracteristici: semnalul de ieșire 4 ÷ 20 mA c.c. rezistență de sarcină 0 – 660 Ω, precizie de 0,2 %; alimentarea cu energie electrică se face diferit: de la 220 V c.a. 50 Hz pentru ATc (acesta are în carcasă transformator, redresor și stabilizator de tensiune), respectiv de la sursa de c.c. SA cu tensiunea de 24 V pentru ATr;

- INTc - indicator numeric de temperatură (cu blocul de gamă special construit pentru termocuplul Cromel-Alumel); INTc este montat în aceeași carcasă cu

ATc, primind alimentarea cu energie de la aceeași sursă (acest aspect este evidențiat în fig. 1.8 prin linia punctată care înconjoară cele două elemente);

- VN - multimetru numeric, cu rezoluție $3^{1/2}$ digiți, folosit ca voltmetru pentru măsurarea t.t.e.m. generate de termocuplul Tc;
- Ω N - multimetru numeric, cu rezoluție $3^{1/2}$ digiți, folosit ca ohmetru;
- INTr – indicator numeric pentru termorezistență (valoarea indicată corespunde temperaturii în $^{\circ}\text{C}$ măsurate de termorezistență);
- INcc – indicatoare numerice pentru semnal unificat de curent continuu (primesc la intrare curentul unificat în plaja de variație $4 \div 20$ mA și dau o indicație numerică între 0 și 1000);
- mA - miliampermetre de c.c. clasă 0,2;
- R_s - rezistențe de sarcină 0 - 660 Ω (de multe ori se preferă conectarea miliampermetrelor direct la ieșirea adaptoarelor);
- PCTr – placă de comutare a termorezistenței la intrarea unuia din cele 3 elemente figurate în montaj (termorezistența fiind un element sensibil de tip parametric nu poate fi conectată decât la un singur circuit de intrare, de aceea se folosește un comutator montat pe această placă).

Punctele 2.1, 2.2, 2.5, 2.6 se efectuează simultan în felul următor:

- comutatorul de pe placa PCTr se fixează pe poziția „Ind.”, deci termorezistența se conectează la intrarea indicatorului numeric INTr;
- se conectează aparatele la rețea – CE, SA, INTc+ATc, INTr, Ω N, INcc, VN – cu observația că maneta reostatului de reglaj al curentului de alimentare pentru rezistența de încălzire a cuptorului electric se pune pe poziția de minim;
- înainte de a introduce termocuplul Tc în cuptor se citește pe indicatorul INTc valoarea temperaturii mediului ambiant (această valoare - $\theta_0[^{\circ}\text{C}]$ - se notează, fiind ulterior necesară la corectarea valorilor obținute); citirea este corectă dacă indicația voltmetrului numeric VN este 0,00mV (joncțiunile de măsurare și referință sunt la aceeași temperatură).
- se crește progresiv curentul de alimentare al cuptorului electric prin acționarea manetei până când ampermetrul arată 2,5-3 A.

3.1. Pentru studiului traductorului de temperatură cu termocuplu se notează din 5°C în 5°C , pe domeniul 0 - 100°C (conform indicațiilor date de INTc) tensiunea termo-electromotoare a termocuplului, indicată de VN și curentul de ieșire din adaptorul ATc, dat de mA și INcc.

NOTĂ: Adaptorul ATc este etalonat pentru domeniul 0 - 500°C , iar indicatorul INcc primește la intrare curentul unificat în gama 4 – 20 mA și afișează rezultatul între 0 și 1000; în consecință, pentru a afla valoarea curentului de ieșire din indicația INcc, trebuie făcută conversia conform relației

$$I_e [\text{mA}] = 4\text{mA} + 0,016[\text{mA}/^{\circ}\text{C}] \cdot \text{INcc}[^{\circ}\text{C}] \quad (1.5)$$

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

INTc [$^{\circ}\text{C}$]	25	30	35	...	100
VN [mV]					
mA(Tc) [mA]					
INcc(Tc) [$^{\circ}\text{C}$]					

3.2. Pentru studiul traductorului de temperatură cu termorezistență comutatorul de pe placa PCTr va sta în poziția “Ind”, iar la atingerea unei valori de temperatură (indicată de INTr), pentru care se dorește citirea curentului din adaptor și a rezistenței termorezistenței, se trece rapid comutatorul pe poziția „Adap.”, respectiv pe poziția „Ω”, notându-se valoarea indicată de mA(Tr), respectiv valoarea rezistenței pe VΩ. După efectuarea celor două citiri, se trece din nou comutatorul pe poziția „Ind” așteptându-se atingerea următoarei valori prestabilite.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

INTr [°C]	25	30	35	...	100
VΩ [Ω]					
mA(Tr) [mA]					
INcc(Tr) [°C]					

NOTĂ. Similar ca la termocuplu, în cazul indicatorului numeric pentru termorezistență se va aplica aceeași relație de conversie, cu observația că adaptorul este calibrat pentru domeniul 0°C ÷ 200°C.

3.3. Se reprezintă grafic dependențele din tabelele de mai sus: E_{TC}(θ), I_{e(TC)}(θ), R(θ), I_{e(Tr)}(θ), ținând seama de următoarele precizări:

- În cazul termocuplului se procedează – mai întâi - la corecția indicațiilor t.t.e.m. generate de termocuplul Tc; în acest scop, din ANEXA C – Tabelul 2 – se găsește valoarea corespunzătoare temperaturii θ₀[°C], care se adună la fiecare indicație obținută la VN (de exemplu, dacă mediul ambiant a avut temperatura de 25°C, atunci atunci la fiecare valoare citită la VN se va adăuga 1,000mV, la 28°C ... 1,122mV etc). Valorile astfel obținute reprezintă caracteristica statică experimentală E_{TC}(θ) a termocuplului pe intervalul 25°C ... 100 °C. Curentul de ieșire din adaptorul de termocuplu I_{e(TC)}(θ) rezultă din indicațiile INcc(Tc) cărora li se aplică transformarea pusă în evidență prin relația (1.5).
- În cazul termorezistenței, caracteristica statică experimentală R(θ) reprezintă chiar indicația VΩ [Ω], în timp ce curentul de ieșire din adaptorul de termorezistență I_{e(Tr)}(θ) se obține din indicațiile INcc(Tr) aplicând transformarea exprimată prin relația (1.5).

3.4. Pentru punctele 2.3 și 2.7 se consideră caracteristicile statice experimentale E_{TC}(θ), respectiv R(θ) și se calculează sensibilitatea relativă definită prin relațiile:

$$S_{r(TC)} = \frac{\frac{\Delta E_{TC}}{E_{TC}}}{\frac{\Delta \theta}{\theta}} \quad \text{și} \quad S_{r(TR)} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta \theta}{\theta}} \quad (1.6)$$

în punctele θ_{min}, $\frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{4}$, $\frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{2}$, $\frac{3}{4}(\theta_{max} - \theta_{min})$, θ_{max}, pentru Δθ = 10°C.

3.5. Pentru punctele 2.4. și 2.8. se consideră, de asemenea, caracteristicile statice experimentale $E_{TC}(\theta)$, respectiv $R(\theta)$, iar erorile de neliniaritate se calculează cu formulele (1.7) și (1.8):

$$\varepsilon_{nel(TC)}[\%] = \frac{\Delta E_{TC}(\theta)}{E_{TC\ max}(\theta) - E_{TC\ min}(\theta)} \cdot 100 \quad (1.7)$$

în care $\Delta E_{TC}(\theta) = |E_{TC(\text{exp})} - E_{TC(\text{id})}|$, unde $E_{TC(\text{exp})}$ este valoarea de pe caracteristica statică experimentală, iar $E_{TC(\text{id})}$ valoarea de pe caracteristica statică ideală obținută din ANEXA C – Tabelul 2; punctele extreme sunt $E_{TC(\text{max})}$ - valoarea maximă de la 100°C, respectiv $E_{TC(\text{min})}$ - valoarea minimă de la 25°C considerate pe caracteristica statică experimentală.

$$\varepsilon_{nel(TR)}[\%] = \frac{\Delta R(\theta)}{R_{\max}(\theta) - R_{\min}(\theta)} \cdot 100 \quad (1.8)$$

unde $\Delta R(\theta) = |R_{\text{exp}}(\theta) - R_{\text{id}}(\theta)|$, cu $R_{\text{exp}}(\theta)$ obținută din caracteristica statică experimentală, iar $R_{\text{id}}(\theta)$ obținută din ANEXA D – Valorile termorezistenței de Pt 100 cu $\alpha = 0,00385$; valorile extreme se consideră similar ca la termocuplu (pe caracteristica statică experimentală).

Rezultatele obținute din prelucrarea datelor conform precizărilor anterioare se trec într-un tabel de forma:

θ [°C]	25	30	35	40	45	50	55	60	...
$\varepsilon_{nel(TC)}$									
$\varepsilon_{nel(TR)}$									

Se trasează apoi curbele de erori $\varepsilon_{nel(TC)}(\theta)$, $\varepsilon_{nel(TR)}(\theta)$.

3.6. Pentru punctele 2.9, 2.10 și 2.11 se procedează în modul următor:

- se scot termocuplul și termorezistența din cuptor (cuptorul având temperatura de aproximativ 100°C) și se răcesc în aer, până când indicatoarele INTc și INTr arată temperatura mediului ambiant (aproximativ); se trece apoi comutatorul de pe placă pe poziția „Adap.”.

- se rotește cursorul de la reostatul de reglaj al curentului de încălzire spre stânga până când curentul devine zero; cuptorul, având inerție termică mare, va menține un timp suficient pentru experiment o temperatură constantă.

- se introduc – simultan - termocuplul și termorezistența în cuptor și se citesc indicațiile INcc(Tc), INcc(Tr) din 20 de secunde în 20 de secunde, până când, timp de 60 de secunde, indicațiile la ambele aparate rămân aceleași.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

t [s]	0	20	40	...
INcc(Tc) [°C]				
INcc(Tr) [°C]				

Valori calculate				
$i_{e(TC)} [mA]$				
$i_{e(TR)} [mA]$				

NOTĂ: Valorile calculate $i_{e(TC)}(t)$, $i_{e(TR)}(t)$ se obțin din $IN_{cc}(T_c)$, respectiv $IN_{cc}(T_r)$, aplicând transformarea exprimată prin relația (1.5).

Pe baza rezultatelor din tabelul de mai sus se reprezintă caracteristicile dinamice în timp $i_{e(TC)}(t)$, $i_{e(TR)}(t)$, care au aspectele din fig.1.9, unde prin y_s s-a notat valoarea de regim staționar. Pe fiecare din cele două grafice trasate experimental, se pun în evidență indicatorii specificați la punctul 2.11.

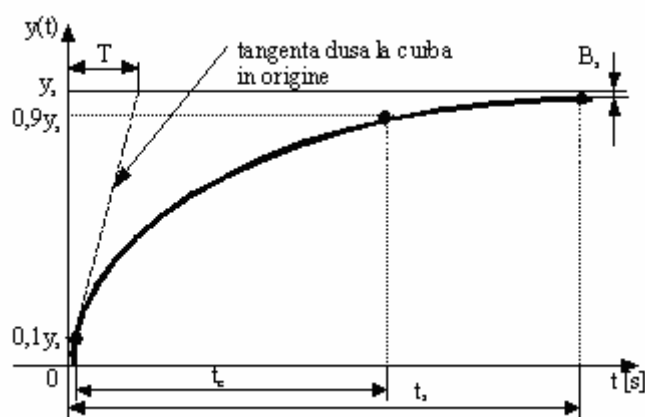


Fig.1.9. Indicatorii dinamici puși în evidență pe caracteristica dinamică din domeniul timpului

1.4. Observații, concluzii, chestionar

4.1. Pe baza rezultatelor experimentale și a prelucrării datelor se vor face aprecieri asupra sensibilității și liniarității termocuplului, termorezistenței, precum și a traductoarelor cu termocuplu și termorezistență.

4.2. Comparați sensibilitatea locală cu sensibilitatea globală (de pe caracteristica experimentală) pentru caracteristicile statice determinate $E_{TC}(\theta)$, $R(\theta)$.

4.3. Cum poate fi influențată caracteristica dinamică a unui termocuplu sau a unei termorezistențe?

4.4. Indicați care sunt sursele de neliniaritate în cazul traductoarelor de temperatură cu termocuplu și în cazul traductoarelor de temperatură cu termorezistență.

4.5. Ce calități trebuie să aibă amplificatoarele utilizate în adaptoarele pentru traductoarele precizate?

4.6. La ce tip de funcție de intrare corespund caracteristicile dinamice ridicate? Ce condiție trebuie îndeplinită ca să se apropie de cazul ideal?

4.7. Care sunt neliniaritățile specifice ale traductoarelor studiate?