

Lucrarea nr. 11

TERMOCUPLUL

Cuprins

- I. Scopul lucrării
- II. Noțiuni teoretice
- III. Desfășurarea lucrării
- IV. Temă de casă
- V. Anexă

I. Scopul lucrării

În cadrul lucrării de laborator se vor studia principiile de funcționare ale unor traductoare de temperatura având ca element sensibil termocupluri, termorezistente și adaptor cu semnal de ieșire unificat de curent continuu.

II. Noțiuni teoretice

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 cu joncțiunile situate la temperaturi diferite.

Constructiv, termocuplul este alcătuit din două fire (termoelectrozi) din metale sau aliaje diferite, sudate între ele, astfel încât să constituie o joncțiune de măsurare și o joncțiune de referință (Fig.1).

Firele de legătură sunt alcătuite din același material din care sunt alcătuite și termoelectrozii, fie din material cu o tensiune de contact apropiată și au rolul de a prelungi joncțiunea de referință în zone cu temperatura joasă, mai ușor de a fi menținută constantă.

III. Desfășurarea lucrării

În fig. 1 se prezintă schema electronică a termocuplului

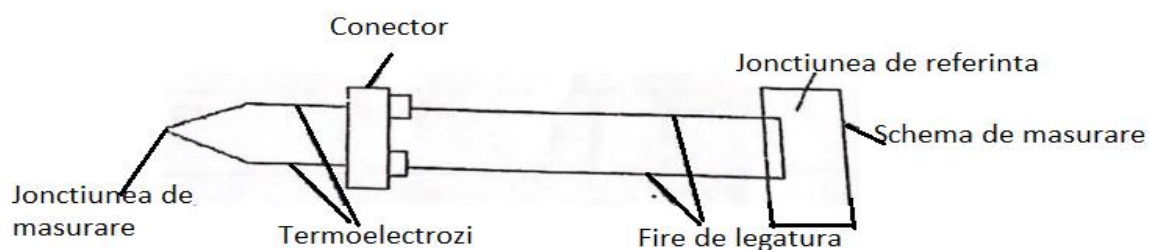


Figura 1 - Conectarea termocuplului

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

Tensiunea termoelectromotoare generata de termocuplu este direct proporțional cu diferența între temperatura Θ a jonctiunii de masura și temperatura Θ_0 a jonctiunii de referința:

$$E_{TC} = K_{TC}(\Theta - \Theta_0)$$

- prin K_{TC} s-a notat constanta termocuplului care depinde de natura celor doi termoelectrozi.

Datorate inertei termice a invelisurilor de protecție, în regim dinamic termocuplurile se comporta ca elemente de intarziere. În cazul unui singur înveliș de protecție se poate scrie:

$$E_{TC}(s) = (K_{TC}/T_s + 1) \Delta\theta(s)$$

- unde $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, iar T_s este constanta de timp a termocuplului.

Metalele cele mai des utilizate pentru construirea termoelectrozilor sunt:

- cromel-alumel (sunt aliaje care au în compoziție 90% Ni și 10% Cr, folosite în gama 0-900°C)
 - Fier-constantan (folosite în gama 0°-500°C)
 - platina-rhodin (folosite în gama 800°-1400°C)

În tabelul de mai jos sunt date comparativ caracteristicile termocuplurilor fier-constantan, cromel - alumel, platin-rhodin:

Caracteristici	Fier-Constantan	Cromel-Alumel	Platin-Rhodin
Domeniul de utilizare	0°-500°C	0°-1000°C	0°-1300°C
Precizie	medie	medie	ridicată
Stabilitate chimica	buna	buna	foarte buna

Termorezistența este un element sensibil de tip parametric al cărui principiu de funcționare se bazează pe fenomenul de variație a rezistenței electrice a unui fir metalic în funcție de temperatura sa.

Legea generală de variație a rezistenței cu temperatura este de forma:

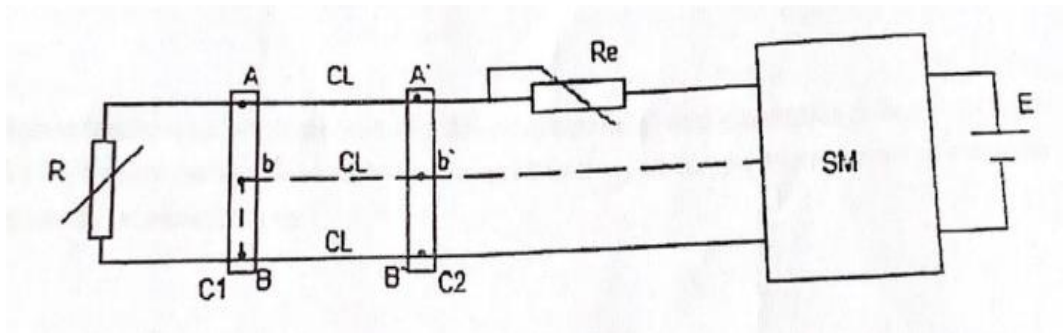
$$R_{\theta} = R_{\theta_0} [1 + \alpha(\theta - \theta_0) + \beta(\theta - \theta_0)^2 + \gamma(\theta - \theta_0)^3 + \dots]$$

unde:

- θ_0 este temperatura de referința la care termorezistența are valoarea cunoscută R_{θ_0}
- $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ sunt coeficienți ce caract. modul de variație al rezistenței în funcție de diferența dintre temperatura θ și cea de referința θ_0 .

În Fig-2 este reprezentată schematic o termorezistență și conexiunile sale la aparatul de măsurat.

Figura 2 - Conectarea termorezistenței



⇒ R-termorezistență constituită din firul metalic bobinat pe un suport izolat din material ceramic sau sticlă; este introdusă în tuburi de protecție similare cu cele menționate la termocupluri

⇒ C1-conector ce reprezintă bornele de ieșire A,B,b ale termorezistenței

⇒ C2-conector ce reprezintă bornele de intrare A',B ,b* în aparatul de măsurat

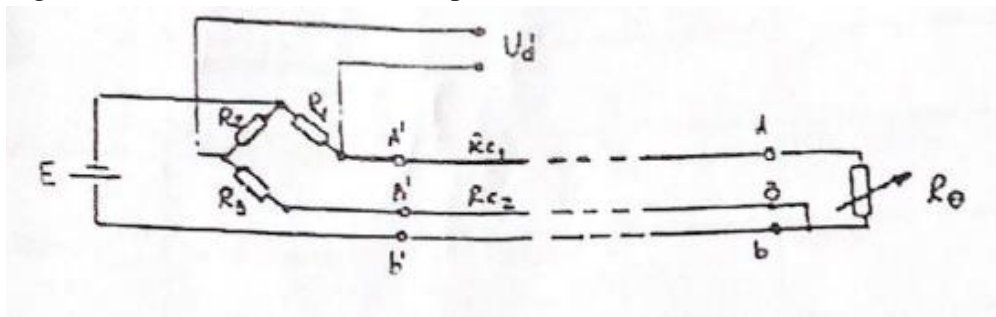
⇒ CL-cablu de legătură

⇒ Re-rezistență de echilibrare

⇒ SM-schema de măsurare

Legătura bb se utilizează la schema de conectare în punte a termorezistenței, schema ce compensează influența temperaturii asupra conductoarelor de legătură.

Figura 3 - Schema de conectare în punte a termorezistenței:



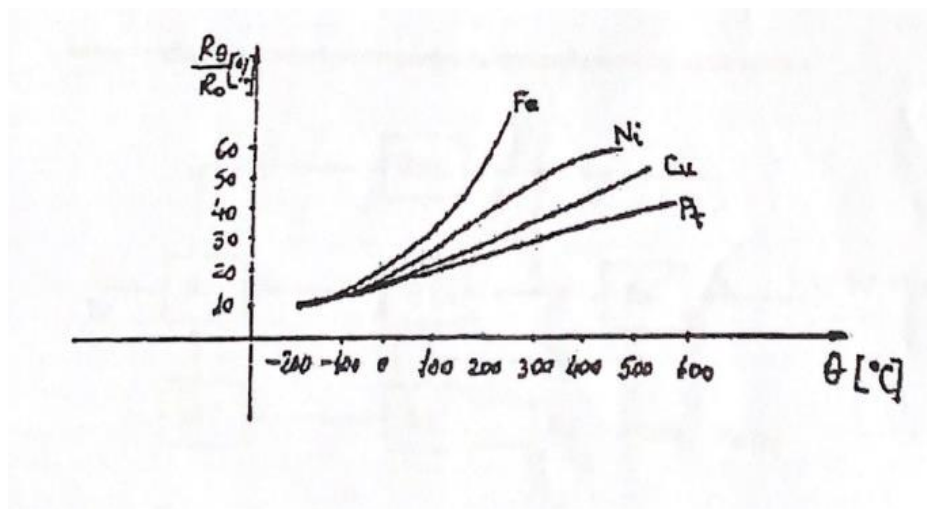
⇒ E-sursa de alimentare a punții

⇒ R_1, R_2, R_3 -rezistențe din punte

⇒ U_d -tensiunea de dezechilibru a punții

⇒ 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

Termorezistentele se construiesc atât din metaleobile cat si din metale comune. În figura 4 sunt trasate curbele de variație a rezistenței electrice cu temperatura pentru principalele tipuri de termorezistente.



În tabelul de mai jos sunt date comparativ caracteristicile termorezistentelor din Pt, Cu și Ni:

Caracteristici	Pt	Cu	Ni
	Foarte buna	Foarte buna	Slabă
Sensibilitate	Acceptabilă	Buna	Mare
Domenii de utilizare	200°-500°C	0°-120°C	0°-250°C
Stabilitate chimica	Foarte buna	Instabil	Buna

În regim dinamic datorita masei termice a invelisului de protectie termorezistentele se comporta pe zonele liniarizate ca elemente de intarziere:

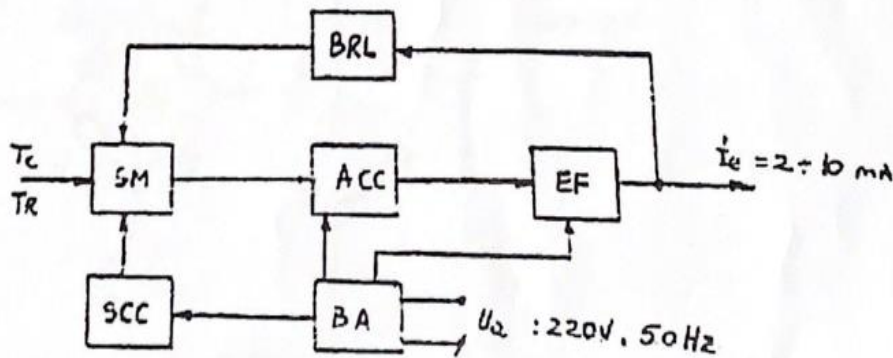
$$R(s) = \frac{K_{TB}}{Is+1} \Delta\Theta(s)$$

Adaptoare pentru elemente sensibile de tip termocuplu si termorezistenta.

În scopul unificării aparaturii de măsurare industrială a temperaturii adaptoarele pentru termocupluri si termorezistente au structuri similare ca aceea reprezentată în Figura 5.

Elementul sensibil (termorezistenta sau termocuplul) se introduce într-o schema de masurare SM care preia variațiile acestuia (de rezistenta sau de tensiune) și le transforma în variații de tensiune continua.

Figura 5 : Schema funcțională a adaptorului pentru termocuplu sau termorezistența :



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 gama prin care se fixează temperatura de lucru.

Semnalul de la ieșirea schemei de măsurare poate în continuare amplificat de carte, amplificatorul de curent continuu ACC (realizat fie discret pe principiul amplificatorului cu modulare-demodulare, fie interpretat la adaptoarele de construcție mai recentă), apoi este aplicat etajului final EF care reprezintă un convertor tensiune continuă - curent continuu, astfel încât la ieșirea acestuia rezultă semnalul unificat de curent continuu.

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

Blocul de gama aflat în componenta chimică de măsurare este realizat sub forma unei punți Wheatstone de rezistențe alimentată în c.c. de la sursă, cu factor mare de stabilitate, SCC.

Adaptorul este alimentat de la 220V, 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 schema de măsurare de tip punte Wheatstone funcționând în regim dezechilibrat (Figura 3), tensiunea de dezechilibru, fiind dependentă de $R\Theta$ (deci de Θ).

În cazul termocupurilor se utilizează SM cu o structură asemănătoare de punte Wheatstone dar cu rol doar de compensare a variației tensiunii E_{rc} în funcție de modificarea temperaturii capetelor libere, figura 6.

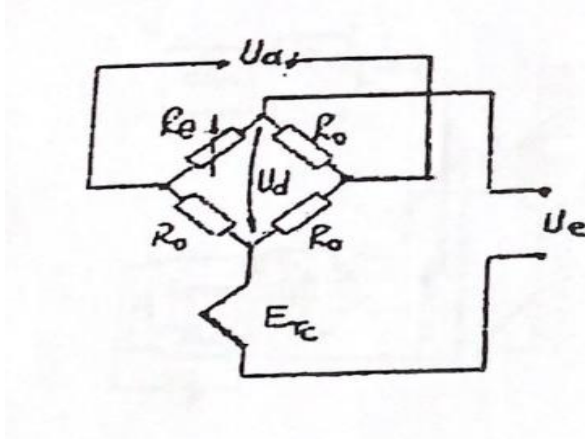


Figura 6. Schema de masurare cu compensarea capetelor libere pentru traductorul de termocuplu:

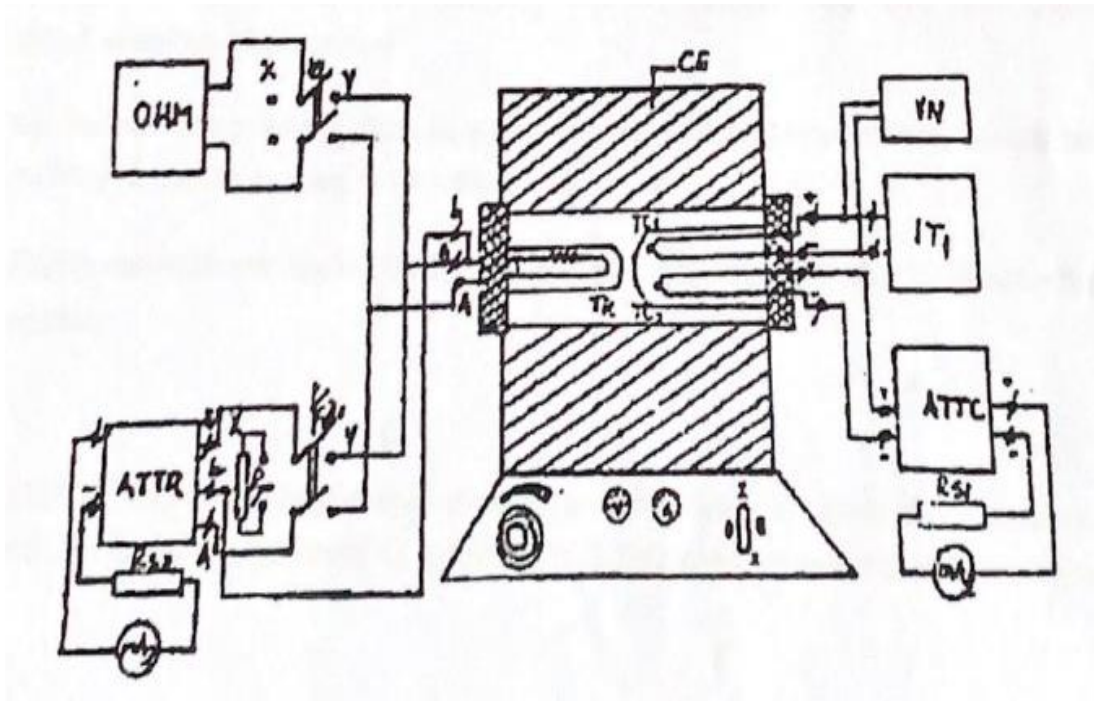
Caracteristici de studiat:

1. Determinarea caracteristicii statice a termocuplului ;
2. Determinarea caracteristicii statice a traductorului de temperatura cu termocuplu ;
3. Determinarea experimentală a sensibilității termocuplului ;
4. Determinarea erorii de neliniaritate pentru termocuplu și trasarea curbei erorilor;
5. Determinarea caracteristicii statice a termorezistentei;
6. Determinarea caracteristicii statice a traductorului de temperatura cu termorezistentă;
7. Determinarea experimentală a sensibilității termorezistentei;
8. Determinarea erorii de neliniaritate pentru termorezistentă și trasarea curbei erorilor;
9. Determinarea caracteristicilor dinamice pentru traductorul cu termocuplu;
10. Determinarea caracteristicilor dinamice pentru traductori și termorezistentă;
11. Determinarea performanțelor de regim dinamic;

Schema de montaj al modul de lucru:

Pentru efectuarea experimentelor, în vederea obținerii rezultatelor conform punctelor 1-11, se folosește montajul din figura 7.

Figura 7 - Schema de montaj pentru studiul traductoarelor de temperatura cu termocuplu și termorezistentă.



CE - este un cuptor electric capabil sa producă o creștere a temperaturii între 0-1200°C, alimentarea acestuia se face de la rețeaua de 220V;

- atat curentul cat și tensiunea care asigura alimentarea rezistenței de încălzire tind indicate de aparatele montate pe panoul cuptorului(A, V);

- pentru reglarea curentului de încălzire se actioneaza asupra manetei reostatului de reglaj aflată în stânga panoului cuptorului;

TC1- termocuplu de foarte mare precizie de tip Platin_hodin;

TCZ- termocuplu Fe-Constantan cu funcționare pe domeniul 0-500°C;

TR -termorezistenta Pt100 cu domeniul 0-500°C prevăzută în cutia de borne cu 3 legături notate cu A,B,b in vederea cuplării acesteia, utilizand conexiune cu 3 fire;

ATTC- adaptor pentru termocuplu tip ELT 162- F752;

ATTR- adaptor pentru termorezistenta tip ELT 162- F754;

(cele doua adaptoare au următoarele caracteristici: semnal de ieșire 2-10mA c.c., rezistenta de sarcina 0-3kΩ, precizie 0.5%, alimentare 220V c.a., 50Hz);

IT- indicator de temperatura (cu blocul de gama special construit pentru termocuplul Fe-Constantan);

VN- multimetru numeric tip E 0302 folosit ca voltmetru;

OHM- multimetru numeric tip E 0302 folosit ca ohmetru;

mA1, mA2- miliampermetre de c.c. clasa 0.5;

Rs1, Rs2- rezistente de sarcina 0-3k0 (de multe ori se prefera conectarea miliampermetrelor direct la iesirea adaptoarelor);

Rp- termorezistenta de platina (se utilizează pentru verificarea și etalonarea adaptorului ATTR la temperatura mediului ambiant);

K1,K2- comutatoare bipolare duble pentru cuplarea termorezistentei TR pe unul din cele 2 aparate;

ATENȚIE! Nu se admite alimentarea unui adaptor cu ieșire în curent dacă acesta nu are cuplată la ieșire o rezistență de sarcină între 0-3kΩ, conform specificațiilor de catalog.

Punctele 1, 2, 5, 6 se efectuează simultan felul următor:

- comutatoarele K1, K2 se pun pe poziția "x" ;
- se conectează aparatele la rețea (maneta reostatului de reglaj al curentului de alim pentru rezistența de încălzire a cuptorului fiind pe poziția de minim);
- se crește progresiv curentul de alimentare al cuptorului electric prin acționarea manetei până când ampermetru de pe panou arată 5A;

Pentru studiul traductorului de temperatura cu termocuplu se notează din 10°C în 10°C, pe domeniul 0-200°C (conform indicațiilor date de IT) tensiunea electromotoare a termocuplului, indicată de VN și curentul de ieșire din adaptorul ATTE dat de mA1.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

IT (°C)	20	30	40	200
VN (mV)					
mAtc (mA)					

Pentru studiul traductorului de temperatura cu termorezistență comutatorului K2 va sta în principal pe poziția "y", iar la atingerea unei valori de temperatura (indicată de IT) pentru care se dorește citirea curentului din adaptor și a rezistenței termorezistenței se notează valoarea indicată de mA2, se trec imediat K2 pe poziția "x" și K1 pe "y" și se citește valoarea rezistenței OHN. După aceasta se trec din nou K2 pe "y" și K1 pe "x".

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

IT (°C)	25	35	45	205
OHN (Ω)					
mA2 (mA)					

Se reprezintă grafic dependențele din tabelele de mai sus, $E_{TC}(\Theta)$, $I_{C(TC)}(\Theta)$, $R(\Theta)$, $I_{C(TR)}(\Theta)$. Pentru punctele 3 și 7 se consideră caracteristicile statice $E_{TC}(\Theta)$ respectiv $R(\Theta)$ și se calculează sensibilitatea relativă definită prin relațiile:

$$ST(TC) = \frac{\Delta E_{TC}/E_{TC}}{\Delta \theta/\theta}, \quad ST(TA) = \frac{\Delta R/R}{\Delta \theta/\theta}$$

În punctele $\frac{\theta_{min}, (\theta_{max} - \theta_{min})}{4}$, $\frac{(\theta_{max} - \theta_{min})}{2}$, $3 \frac{(\theta_{max} - \theta_{min})}{4}$, θ_{max} pentru $\Delta\theta = 10^\circ\text{C}$.

Pentru punctele 4 și 8 se consideră din nou caracteristicile statice $E_{TC}(\theta)$ și $R(\theta)$, iar erorile de neliniaritate se calculează cu formulele următoare :

$$E_{e(TC)}[\%] = \frac{\Delta E_{TC(e)}(\theta)}{E_{TC_{max}}(\theta) - E_{TC_{min}}(\theta)}$$

- unde $\Delta E_{TC(e)}(\theta) = E_{TC(r)}(\theta) - E_{TC(i)}(\theta)$

$E_{TC(r)}(\theta)$ fiind valoarea de pe caracteristica reala

$E_{TC(i)}(\theta)$ fiind valoarea de pe caracteristica ideala obtinuta prin unirea punctelor extreme ale caracteristicii reale

$$E_{I(TR)}[\%] = \frac{\Delta R_I(\theta)}{R_{max}(\theta) - R_{min}(\theta)}$$

- unde $\Delta R_I(\theta) = R_r(\theta) - R_i(\theta)$

Daca ambele caracteristici (reala si ideala) sunt foarte apropiate și erorile nu se pot determina grafic, atunci se determina caracteristica ideala analitic ,se calculeaza valorile de pe aceasta caracteristica în punctele în care s-a ridicat caracteristica reala si apoi se utilizeaza formulele de mai sus.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

$\theta(^{\circ}\text{C})$	20	25	30	35	40
$E_{u(C)}$						
$E_{u(R)}$						

- Se trasează apoi curbele de erori;

Pentru punctele 9, 10 și 11 se procedeaza în modul următor:

-se scot termocuplul si termorezistenta din cuptor(cuptorul,avand temperatura de peste 150°C) și se racesc în aer pana cand indicatorul IT arată temperatura mediului ambiant(aproximativ); se trec apoi K1 pe "x" și K2 pe "y"

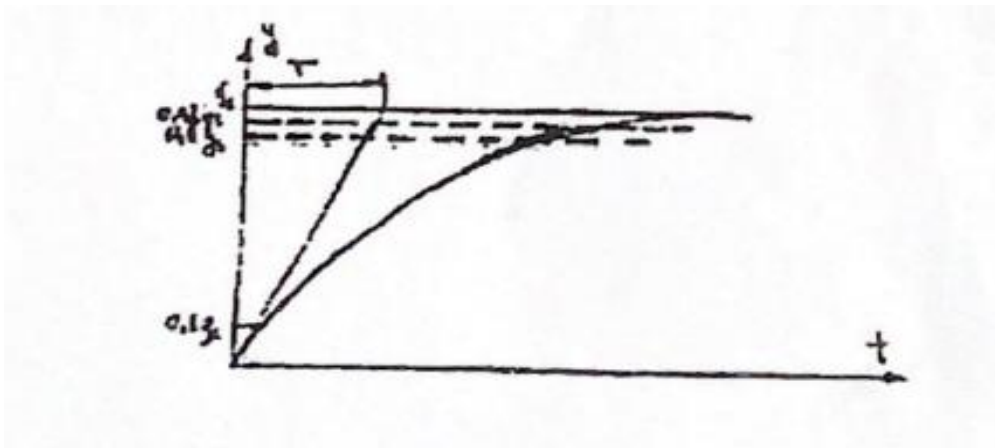
-se rotește cursorul de la reostatul de regal al curentului de încălzire spre stanga pana cand curentul devine zero; cuptorul, avand inertie termica mare va menține un timp suficient pentru experiment o temperatura constanta

-se introduc termocuplul si termorezistenta in cuptor și se citesc indicațiile voltmetrului VN ale miliampermetrului mA1 și ale miliampermetrului mA2 din 10 în 10 secunde pana cand, timp de 60 de secunde, indicațiile VN, mA1 și mA2 raman aceleasi.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

t(s)	0	10	20	30	40
VN(mV)						
mA1(mA)						
mA2(mA)						

Pe baza rezultatelor din tabelul de mai sus se reprezinta caracteristicile dinamice $e_{TC}(t)$, $i_e(TC)(t)$ care au aspectele din figura de mai jos unde prin Y, s-a notat valoarea stationara. Din caracteristicile dinamice se determina T, t_c si t_s .



Chestionar, observații și concluzii:

-Pe baza rezultatelor experimentale și a prelucrării datelor se vor face aprecieri asupra sensibilității și liniarității termocuplului, termorezistenței, precum și traductoarelor cu termocuplu și respectiv la termorezistența.

-Comparați sensibilitatea locală cu sensibilitatea globală (de pe caracteristica ideală) pentru caracteristicile statice determinate $E_{TC}(\Theta)$, $R(\Theta)$.

-Cum poate fi influențată caracteristica dinamică a unui termocuplu sau termorezistență?

-Indicați care sunt sursele de neliniaritate în cazul traductoarelor de temperatura cu termocuplu și în cazul traductoarelor de temperatura cu termorezistență

-Ce calități trebuie să aibă amplificatoarele utilizate în adaptoare pentru traductoarele prezentate?

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

-Care sunt neliniaritățile specifice ale traductoarelor studiate?