



Instrumentație pentru măsurarea temperaturii

Principii de funcționare; categorii

Temperatura este în prezent cea mai măsurată și reglată mărime fizică, apreciindu-se că - în medie - din totalul punctelor de măsurare din sfera aplicațiilor industriale și domestice, 50% sunt temperaturi, iar peste 20% din bucelele de reglare au ca obiect temperatura.

Scara practică internațională de temperatură, adoptată în 1968 la Conferința Generală de Măsură și Greutăți - SIPT 68 - arată că unitatea de măsură a temperaturii este Kelvin-ul [K], dar în aplicații se mențin gradul Celsius [$^{\circ}\text{C}$] și gradul Fahrenheit [$^{\circ}\text{F}$].

Principiile de funcționare ale traductoarelor de temperatură au la bază fenomenul de schimb de căldură între corpuri cu temperaturi diferite și dependența unor proprietăți fizice ale corpurilor de temperatură (deformări elastice, alungiri, modificări de volum, variații de rezistență electrică, t.t.e.m., parametri de semiconductor, variații de radianță calorică etc), care pot fi puse în evidență prin procedee simple.

În funcție de modul de preluare a energiei termice de către elementul sensibil se disting două mari categorii:

- instrumentație de temperatură *cu contact*
- instrumentație de temperatură *fără contact*.



1. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termomecanice

În *prima categorie*, la care *elementul sensibil* se află în *contact direct* cu mediul, *preluarea energiei termice* făcându-se prin *conductibilitate sau convecție*, intră:

- instrumentație de temperatură bazată pe efecte termomecanice (pe principiul dilatării corpurilor, manometrice);
- instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice (termocupluri, termorezistențe, termistoare, cu dispozitive semiconductoare, cu piezocristale); sunt cele mai utilizate în domeniul $-200^{\circ}\text{C} \dots +1600^{\circ}\text{C}$.

În *a doua categorie*, la care *elementul sensibil* nu se află în *contact cu mediul*, *funcționând pe baza energiei radiante a corpurilor încălzite*, intră întreaga gamă de piometre (de radianță integrală sau totală, de radianță spectrală sau monocromatică, de raport sau de culoare).

1. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termomecanice

Această categorie de instrumentație are elemente sensibile a căror funcționare se bazează pe proprietatea corpurilor (solide, lichide sau gazoase) de a-și modifica un parametru (lungimea, volumul, presiunea) în funcție de temperatura mediului în care sunt imersate, efectul fiind o deplasare liniară sau unghiulară, preluată prin intermediul unor traductoare de deplasare adecvate și prelucrată corespunzător de adaptor.

1. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termomecanice

1.1. *Instrumentație de temperatură cu tijă* - fig.a - care are la bază dilatarea liniară a corpurilor.

Dacă se consideră o tijă metalică de lungime l_0 la temperatura θ_0 , aceasta va avea lungimea l la temperatura θ , conform relației:

$$l = l_0 [1 + \delta_{med} (\theta - \theta_0)]$$

unde δ_{med} este coeficientul de dilatare liniară medie, pe intervalul de temperatură considerat $\theta - \theta_0$, al tijeii. Ca materiale utilizate, pentru tubul metalic: oțel, alamă (cu δ mare), iar pentru tijă: invar, ceramică, cuarț.

- **Caracteristici:** În mod obișnuit instrumentația de temperatură cu tijă asigură o precizie de 1...5%, pe un domeniu maxim de temperatură 0...1000°C, tija având lungimea de 40...600mm.

- **Utilizări:** ca termocontacte pentru supravegherea și semnalizarea depășirii limitelor în rezervoare de prelucrare sau în depozite.

- **Avantaje:** urmăresc temperatura medie, fiind ieftine, robuste, cu putere mare de acționare

- **Dezavantaje:** sunt puțin precise, de dimensiuni mari, cu timp mare de stabilizare.

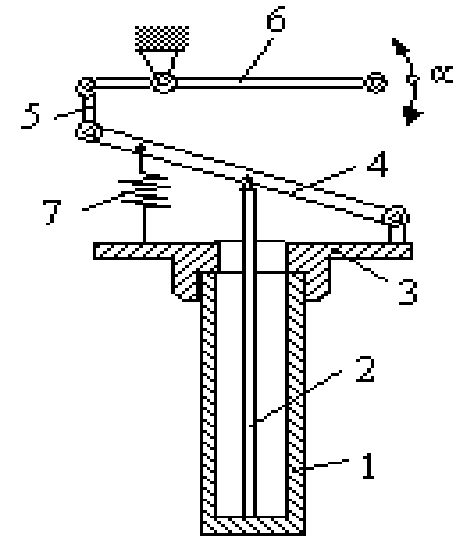


Fig.a. Element sensibil tip tijă

1 - tub metalic; 2 - tijă de invar;

3 - corp de susținere; 4, 5, 6 - amplificator mecanic cu pârghii;

7 - resort

1. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termomecanice

1.2. Instrumentație de temperatură cu lamele bimetalice - fig.b - se bazează tot pe dilatarea liniară a corpurilor solide, fiind însă alcătuite din două metale 1 și 2, sub formă lamelară, cu coeficienți de dilatare liniară diferiți $\delta_1 \ll \delta_2$, lipite la temperatura de referință θ_0 .

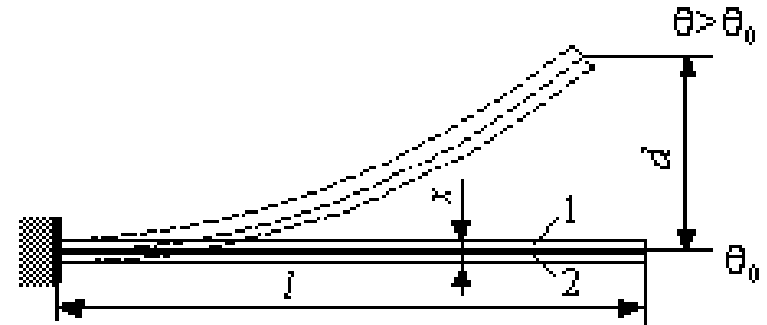


Fig.b. Lamelă bimetalică

Deplasarea d a capătului liber cauzată de variația temperaturii $\Delta\theta = |\theta - \theta_0|$ este:

$$d = K_{12} \Delta\theta \frac{l^2}{x}$$

unde l este lungimea bimetalului, x - grosimea acestuia, K_{12} - constantă care depinde de diferența coeficienților $\delta_1 - \delta_2$ și raportul modulelor de elasticitate ale celor două metale.

Ca materiale utilizate în construcția bimetalurilor se folosesc aliaje metalice (fier - nichel - crom) pentru lamela cu coeficient mare de dilatare termică, respectiv invar pentru lamela cu coeficient mic de dilatare termică.

În practică, pentru creșterea sensibilității, elementul sensibil bimetalic se realizează sub formă plan spiralată sau elicoidală (fig.c).

1. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termomecanice

• **Caracteristici. Utilizări.** În general elementele sensibile de temperatură bimetalice se utilizează la supravegheri și reglări bipoziționale pentru procese termice simple, cu domeniul de măsurare maxim cuprins între -100°C și $+600^{\circ}\text{C}$, asigurând o precizie de 1...3%.

Au avantajul că sunt foarte ieftine, robuste, cu forță mare de acționare, dar dezavantajul că sunt mai puțin precise, de dimensiuni mari (mai mici totuși decât cele cu tijă), cu timp mare de răspuns.

1.3. Instrumentație de temperatură manometrică - fig.d - își bazează funcționarea pe variația cu temperatura a presiunii sau volumului unui fluid (lichid, gaz, vapori saturați) aflat într-un recipient închis etanș.

Domeniul temperaturilor de lucru este între -50°C ... $+350^{\circ}\text{C}$ cu lichid de lucru, respectiv între -210°C ... $+550^{\circ}\text{C}$ cu gaz de lucru, precizia realizată fiind de 1...2%.

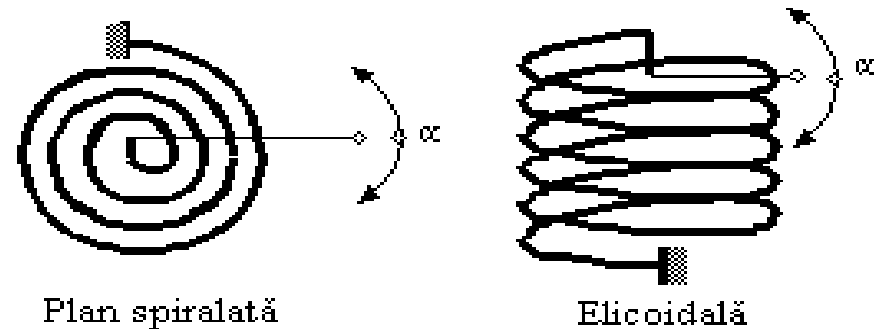


Fig.c. Modalități de creștere a sensibilității la bimetale

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Ca utilizări frecvente: reglări bipoziționale, sau sunt înglobate în regulatoare directe de temperatură (au avantajul existenței unei energii mari de acționare).

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

În această categorie intră instrumentația cu cea mai mare diversitate constructivă și utilizare industrială, deoarece:

- acoperă domenii largi de temperaturi, între -200°C și $+1800^{\circ}\text{C}$;
- au o bună precizie, fiind realizate în mod curent pentru clase 0,2 ... 1;
- au o construcție relativ simplă și pretabilă unei producții de serie mare;
- nu prezintă piese în mișcare;
- sunt capabile să lucreze în medii ambiante agresive cu variații mari de presiune, umiditate, temperatură, vibrații, șocuri.

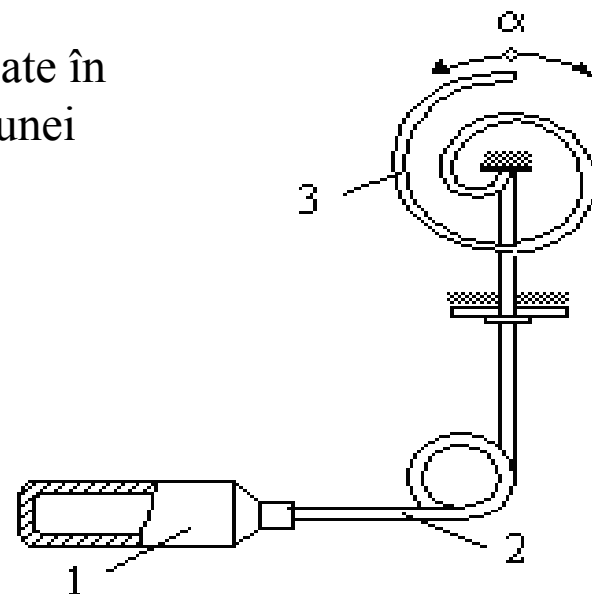


Fig.d. Element sensibil de temperatură manometric

1 - rezervor manimetric; 2 - tub capilar; 3 - tub Bourdon

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Elementele sensibile cu frecvența de utilizare cea mai mare sunt termocuplurile, termorezistențele, termistoarele, peliculele rezistive, semiconductoarele; acestea se prezintă în diverse tipodimensiuni și forme constructive, recomandabile unei anumite aplicații sau pentru un domeniu mai larg, dând astfel posibilitatea utilizatorului să implementeze soluția cu eficiență maximă.

2.1. Termocuplul - fig.e - reprezintă ansamblul a două conductoare omogene, de natură diferită, denumite termoelectrozi, sudate la unul din capete - sudura este denumită joncțiune de măsurare sau sudură caldă - care este imersat în mediul cu temperatura de măsurat, la capetele libere, care constituie joncțiunea de referință sau sudura rece, aflate la temperatura θ_0 , apărând o tensiune termoelectromotoare E_{TC} (t.t.e.m.) - efect Seebeck - a cărei valoare este dată de relația

$$\text{aproximativă: } E_{TC} = K_{TC} (\theta - \theta_0) \quad (*)$$

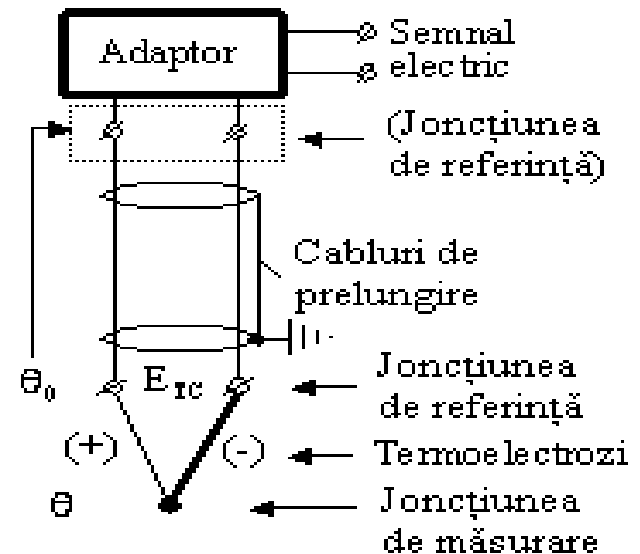


Fig.e. Termocuplul (reprezentare principală și conectare în circuit)

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

în care K_{TC} [mV/°C] este *sensibilitatea termocuplului* (uzual între 0,005 și 0,07 mV/°C), dependentă de natura celor doi termoelectrozi; temperatura de referință se consideră - de regulă - $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$, valoare pentru care sunt date caracteristicile statice tabelate ale termocuplului.

De menționat că este foarte greu să se mențină sudura rece la o temperatură $\theta_0 = \text{ct.}$

Tabelul 2.1. Tipuri de termocupluri utilizate frecvent în aplicațiile industriale

Tipul	Simbolul	Domeniul de utilizare [°C]	Sensibilitatea medie K_{TC} [mV/°C]
Fier - Constantan (40% Ni+60%Cu)	J	-200 ... +760	0,0537
Cupru – Constantan (40%Ni+40%Cu)	T	-270 ... +400	0,0427
Cromel (90%Ni+10%Cr) - Alumel (94%Ni+2%Al+Si+Mn+Fe)	K	-270 ... +1000	0,0631
Platină - Platină Rhodiu (90%Pt+10%Rh)	S	0 ... +1400	0,00643
Platină - Platină Rhodiu (87%Pt+13%Rh)	R	0 ... +1500	0,00687

Notă: Primul element este termoelectrodul “+”, iar al doilea termoelectrodul “-”.



2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Relația (*) este valabilă pentru domenii mici de funcționare ale termocuplurilor, liniarizarea - pentru cazul funcționării pe domenii mari de funcționare – fiind făcută în adaptor.

T.t.e.m. dată din $^{\circ}\text{C}$ în $^{\circ}\text{C}$ - conform standardizării internaționale - presupune ca temperatura joncțiunii de referință θ_0 să fie menținută la 0°C .

Pentru realizarea joncțiunii de referință 0°C , metodele folosite în aplicațiile industriale constau în măsurarea temperaturii θ_0 la plăcuța de borne unde sunt aduse cablurile de prelungire și folosirea unor tehnici compensatorii adecvate. Printre cele mai folosite metode practice de realizare a joncțiunii de referință 0°C se disting:

- *menținerea joncțiunii de referință la o temperatură constantă pozitivă*, superioară valorii maxime previzionale a locului unde, cu ajutorul cablurilor de prelungire, este adusă joncțiunea – fig.f.

Placa metalică PM este adusă la temperatura θ_0 (uzual se folosesc valorile $\theta_0 = 50^{\circ}\text{C}$, 60°C sau 70°C) cu ajutorul rezistenței încălzitoare RI , menținerea constantă a temperaturii fiind realizată de blocul de termoreglare BTR, pe baza informației termice primite de la termorezistența TR ; în placa metalică sunt implantate termocuplurile miniatură $TC_1' \dots TC_{24}'$, conectate extern, împreună cu termocuplurile de proces corespunzătoare $TC_1 \dots TC_{24}$ la șirul de cleme așa cum este prezentat în fig.f.

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

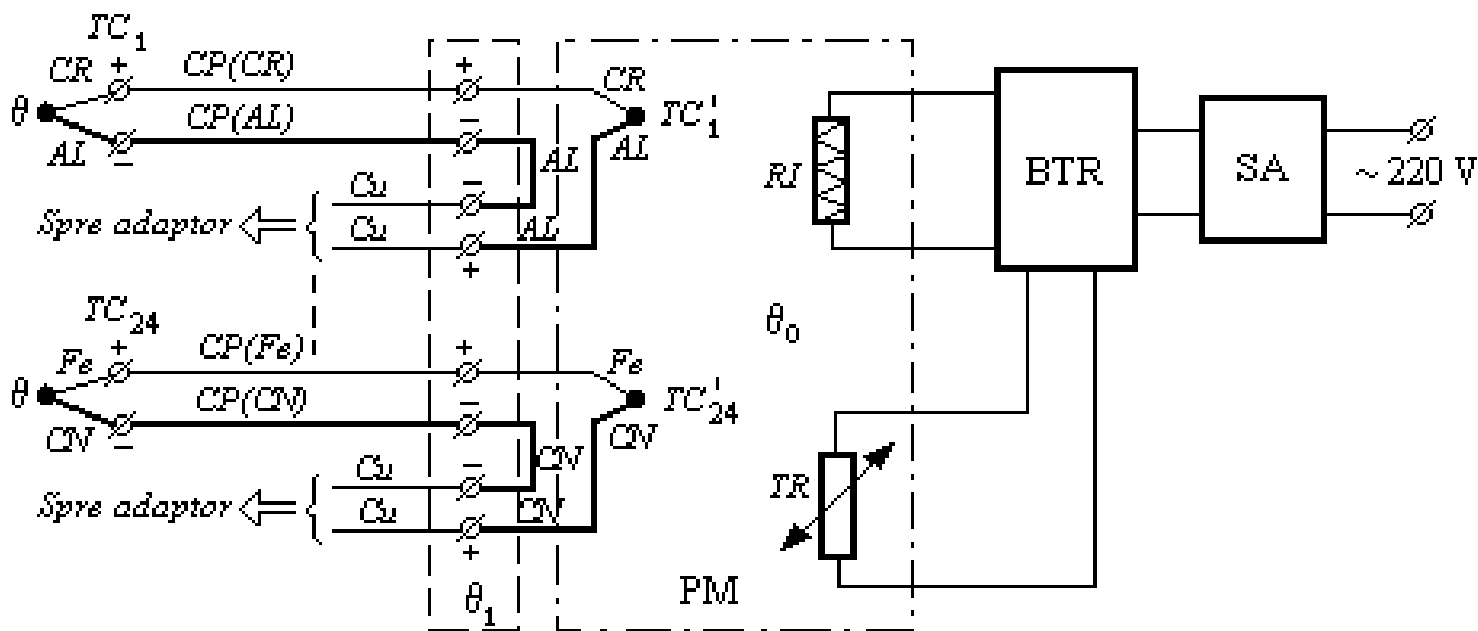


Fig.f. Metoda menținerii joncțiunii de referință la o temperatură constantă pozitivă:

$TC_1 \dots TC_{24}$ – termocupluri de proces; $TC'_1 \dots TC'_{24}$ – termocupluri miniatură de referință; CP – cabluri de prelungire; Cu – conductoare de cupru; PM – placă metalică; RI – rezistență de încălzire; TR – termorezistență; BTR – bloc de termoreglare; SA – surse de alimentare

În conformitate cu legile circuitelor termoelectrice, luând ca referință conductoarele de cupru prin care se asigură conexiunea în adaptor, la fiecare circuit termoelectric (I) ... (24), apar 4 termocupluri – câte două în opoziție – cu referire la circuitul (I), două cromel (CR) – alumel (AL) și două alumel (AL) – cupru (Cu), astfel că t.t.e.m. prezentă la bornele adaptorului va fi

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

$$E_{TC}^{(1)} = E_{TC1}(\theta) - E_{TC1}(\theta_0) + E_{AL-Cu}(\theta_1) - E_{AL-Cu}(\theta_1) = E_{TC1}(\theta - \theta_0)$$

așadar valoarea corespunzătoare termocuplului TC_1 , având joncțiunea de referință la temperatura θ_0 . Corecția de referință diferită de 0°C se asigură în adaptor prin sumarea în intrare a unei tensiuni echivalente $E_{TC1}(\theta_0)$.

- prin utilizarea unei doze compensatoare - fig.g - care constă în înserierea cu termocuplul TC , adus la bornele dozei compensatoare prin cablurile de prelungire CP , a tensiunii de dezechilibru U_{CD} obținută de la puntea rezistivă Wheatstone, alimentată în diagonală AB cu curentul constant I .

Puntea cuprinde în structura sa rezistența R_T , realizată din cupru (Cu) sau nichel (metale cu coeficient de variație a rezistenței cu temperatura mare), celelalte rezistențe fiind realizate din constantan sau manganină (aliaje cu coeficient de variație a rezistenței cu temperatura neglijabil).

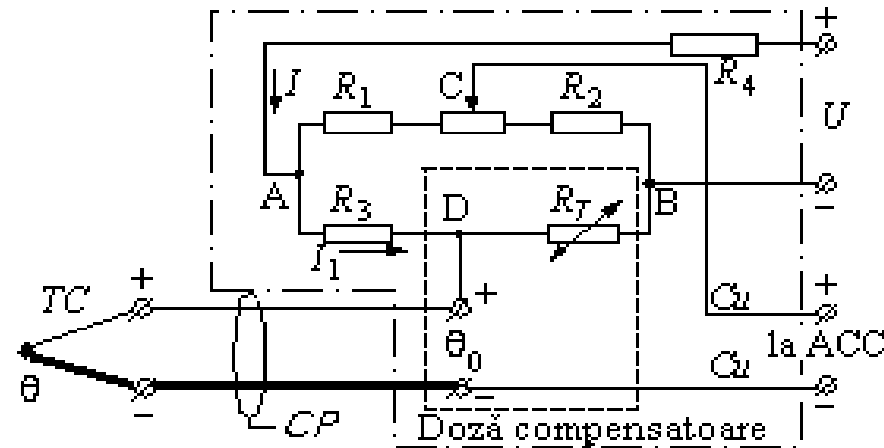


Fig.g. Metoda dozei compensatoare pentru realizarea joncțiunii de referință 0°C

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Valoarea rezistenței R_T la 0°C se alege astfel încât, la modificarea temperaturii joncțiunii de referință într-o gamă destul de largă, variația suplimentară a căderii de tensiune de pe latura BD să fie egală cu corecția de t.t.e.m. care trebuie aplicată termocuplului.

În ipoteza simplificatoare că atât termocuplul cât și rezistența R_T au caracteristici statice liniare pe domeniul maxim de variație a temperaturii joncțiunii de referință $\Delta\theta_0^{\max} = \theta_0^{\max}$ (s-a considerat $\theta_0^{\min} = 0^{\circ}\text{C}$ și puntea echilibrată la această temperatură), atunci:

$$R_T^{\max} = R_T^0 \left(1 + \alpha_{R_T} \theta_0^{\max}\right) \quad \text{și} \quad \Delta U_{BD}^{\max} = \left(R_T^{\max} - R_T^0\right) I_1 = R_T^0 \cdot \alpha_{R_T} \cdot \theta_0^{\max} \cdot I_1$$

unde α_{R_T} este coeficientul de variație al rezistenței R_T cu temperatura, R_T^0 și R_T^{\max} sunt valorile lui R_T la 0°C , respectiv θ_0^{\max} , iar ΔU_{BD}^{\max} reprezintă variația de tensiune pe rezistența R_T corespunzătoare variației maxime de temperatură $\Delta\theta_0^{\max}$.

Condiția de compensare a variației de temperatură presupune egalitatea:

$$E_{TC} \left(\theta_0^{\max}\right) = \Delta U_{BD}^{\max} \quad \text{din care rezultă valoarea necesară pentru rezistența } R_T^0:$$
$$R_T^0 = \frac{E_{TC} \left(\theta_0^{\max}\right)}{\alpha_{R_T} \cdot \theta_0^{\max} \cdot I_1}$$

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

- prin utilizarea unei diode semiconductor - ca senzor de temperatură - încastrată în placa de borne la care sunt aduse cablurile de prelungire (fig.h).

Compensarea joncțiunii de referință este realizată de rezistențele R_1 , R_2 și dioda D_1 , care este montată pe placa de borne unde sunt aduse cablurile de prelungire CP.

La o diodă semiconductoră - aflată în conducție directă și alimentată în curent constant - căderea de tensiune anod-catod U_{AC} este dependentă de temperatură după relația:

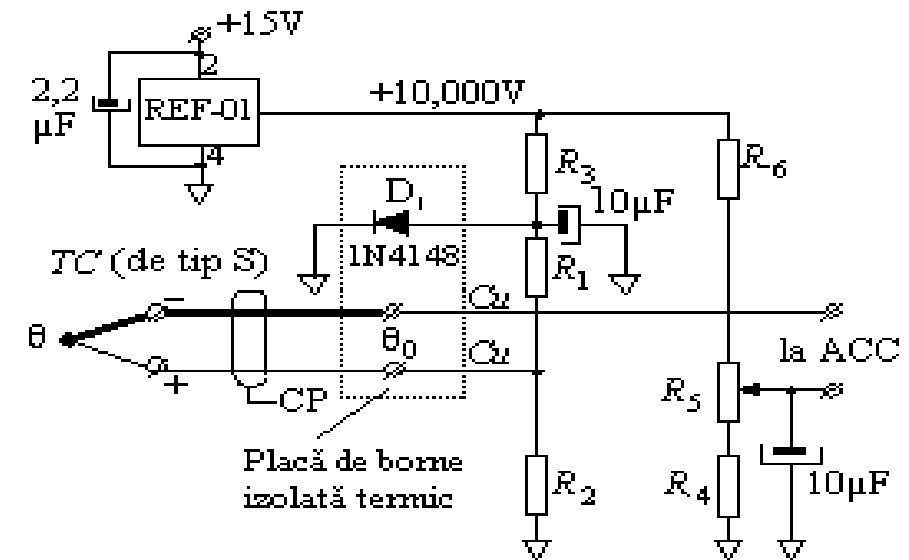


Fig.h. Compensarea joncțiunii de referință prin utilizarea unei diode semiconductoră

$$U_{AC} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_A + I_0}{I_0}$$

unde I_A este curentul de alimentare, I_0 - curentul de saturație, q - masa electronului, k - constanta lui Boltzmann, T - temperatura absolută.

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Dacă $I_A = \text{ct}$, adică dacă se introduce dioda într-un circuit alimentat în curent constant, tensiunea U_{AC} are – teoretic – o dependență liniară de T , astfel că pe o plajă mare de temperatură (practic $-20^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$), funcție de tipul diodei, se obține o dependență cu bună liniaritate, având o sensibilitate de $2 \dots 2,5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

În cazul schemei din fig.h, rezistența R_3 asigură curentul constant prin dioda D_1 , astfel că divizorul alcătuit din R_1 și R_2 este alimentat cu tensiunea dependentă de temperatura θ_0 culeasă la bornele diodei D_1 .

Deoarece rezistențele R_1 și R_2 sunt de mare precizie, rezultă că pe R_2 se va obține o cădere de tensiune proporțională cu $\Delta\theta_0$ și egală cu $E_{TC}(\Delta\theta_0)$, față de o tensiune constantă corespunzătoare temperaturii $\theta_0=0^{\circ}\text{C}$. Deci:

$$U_{R_2} = U_{R_2}(\theta_0 = 0^{\circ}\text{C}) + \Delta U_{R_2}(\Delta\theta_0) \quad \text{unde:} \quad \Delta U_{R_2}(\Delta\theta_0) = E_{TC}(\Delta\theta_0)$$

Cum termocuplul este înseriat cu căderea de tensiune pe rezistența R_2 , rezultă că la intrarea în amplificatorul diferențial de c.c. ACC se va aplica:

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

$$\Delta U_i = U_{R_2} + E_{TC} - U_{R_5} = U_{R_2} (0^0 C) + \Delta U_{R_2} (\Delta\theta_0) + E_{TC} (\theta) - E_{TC} (\Delta\theta_0) - U_{R_5} = E_{TC} (\theta) + U_{R_2} (0^0 C) - U_{R_5}.$$

Din potențiometrul R_5 - prin scurtcircuitarea termocuplului cu o sârmă de cupru - se asigură $U_e = A_{\text{dif}} \cdot \Delta U_i = 0V$ (ieșirea din amplificatorul diferențial ACC egală cu 0V), deci căderea de tensiune pe R_5 compensează căderea de tensiune pe R_2 la referință 0^0C .

Întrucât termocuplurile fac parte din categoria elementelor sensibile generatoare, adaptoarele pentru acestea sunt de tipul amplificatoare de curent continuu – convertor semnal unificat de ieșire. În realizarea adaptoarelor pentru termocupluri se au în vedere o serie de particularități ca:

- valoarea redusă a t.t.e.m. generate de un termocuplu, care impune utilizarea unor amplificatoare de c.c. performante – impedanță de intrare și amplificare mari, tensiune de offset și derivă termică mici;
- neliniaritatea caracteristicii statice a termocuplului, care, pentru domenii uzuale de măsurare, depășește valoarea maximă impusă traductoarelor industriale, ceea ce implică utilizarea adecvată în adaptor a schemelor de liniarizare;

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

- compensarea joncțiunii de referință, având în vedere că, de regulă, prin intermediul cablurilor de prelungire, termocuplul este adus direct la bornele de intrare ale adaptorului;
- protecția adaptorului în situația întreruperii termocuplului (datorită sensibilității amplificatorului de c.c. utilizat la intrarea în adaptor, semnalele parazite care apar în cazul deteriorării termocuplului pot produce distrugerea acestuia);
- separarea galvanică a semnalului de ieșire din adaptor de circuitul de intrare în care se conectează termocuplul și/sau de sursele de alimentare;
- modalitatea diferită de conectare în circuit utilizând transmisia pe 2, respectiv 4 fire.

Pentru detalii a se vedea bibliografia recomandată !

2.2. Termorezistența - fig.i - se obține prin bobinarea antiinductivă, pe un suport izolant, a unui fir metalic, urmată de rigidizarea cu o rășină termorezistentă. Ca materiale pentru firul conductor se utilizează metale (Pt, Cu, Ni, Fe, Wf), sau aliaje (bronz fosforos).

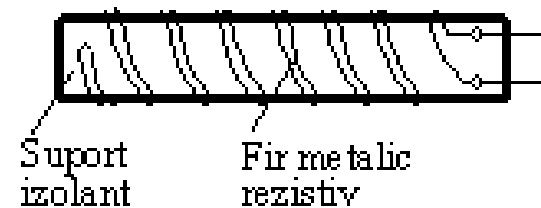


Fig.i. Termorezistență (reprezentare principială)



2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

În general, dependența $R_\theta = f(\theta)$ la o termorezistență este neliniară, însă pe intervale relativ mici de temperatură se poate scrie o dependență aproximativă:

$$R_\theta = R_{\theta_0} [1 + \alpha_{TR} (\theta - \theta_0)]$$

unde α_{TR} este coeficientul mediu de variație cu temperatura al termorezistenței, iar R_{θ_0} este rezistența la temperatura de referință θ_0 .

În scopul comparării proprietăților termice ale materialelor folosite în confecționarea elementelor sensibile se utilizează coeficientul de temperatură α_0^{100} , definit pe intervalul 0°C ... 100°C prin relația

$$\alpha_0^{100} = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad \text{sau raportul } W_{100} \text{ al rezistențelor} \quad W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0}$$

unde R_0, R_{100} reprezintă rezistențele firului la 0°C , respectiv 100°C .

S-a observat experimental că α_0^{100} este cu atât mai mare cu cât puritatea metalului utilizat este mai ridicată, crescând de asemenea odată cu înlăturarea tensiunilor mecanice ale firului rezistiv.

Alte caracteristici care permit compararea termorezistențelor între ele sunt:



2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

- materialul din care este confecționat elementul sensibil (platină, cupru, nichel, mai rar wolfram și molibden);
- valoarea rezistenței la 0°C - R_0 - și eroarea sa tolerată (se construiesc termorezistențe de $100\Omega\pm 0,1\%$, $100\Omega\pm 0,2\%$, $50\Omega\pm 0,1\%$, $50\Omega\pm 0,2\%$, mai rar $46\Omega\pm 0,1\%$ și $53\Omega\pm 0,1\%$);
- constanta de timp (se disting termorezistențe cu constantă de timp mică $T \leq 15\text{s}$, medie $15\text{s} < T \leq 90\text{s}$ și mare $T > 90\text{s}$);
- intervalul de măsurare, în funcție de care există termorezistențe de joasă temperatură ($-200^{\circ}\text{C}\dots+30^{\circ}\text{C}$), de medie temperatură ($0^{\circ}\text{C}\dots+250^{\circ}\text{C}$), de înaltă temperatură ($0^{\circ}\text{C}\dots+650^{\circ}\text{C}/+850^{\circ}\text{C}$);
- gradul de protecție mecanică, climatică, antiexplozivă;
- clasa de precizie delimitată prin eroarea tolerată admisă raportului W_{100} (clasa I - $\pm 0,0005$, clasa II - $\pm 0,001$, clasa III - $\pm 0,002$).

Tipurile uzuale de termorezistențe standardizate sunt prezentate în tabelul 2.2.

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Tabelul 2.2. Principalele caracteristici ale termorezistențelor uzuale standardizate

Tip termorezistență	Clasa de precizie	Domeniul de măsurare	Eroarea tolerată a rezistenței R_0 [%]	Valoarea nominală pentru W_{100}	Eroarea tolerată pentru W_{100}
Platină 100Ω sau 50Ω la 0°C	I	-200 ... +650	±0,05	1,391 sau 1,385	±0,0005
	II	-200 ... +850	±0,1	1,391 sau 1,385	±0,001
Cupru 100Ω sau 50Ω la 0°C	II	-50 ... +180	±0,1	1,426	±0,001
	III	-50 ... +180	±0,2	1,426	±0,002
Nichel 100Ω la 0°C	III	-60 ... +180	±0,2	1,617	±0,004

Deși mai sensibile sunt Fe, Ni și Cu, din motive de liniaritate, cel mai bun și – în consecință – cel mai utilizat material în construcția termorezistenței este Platina deoarece are temperatura de topire foarte mare (1769°C), nu se oxidează și asigură o reproductibilitate a caracteristicii foarte bună.



2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Rezistența nominală, dată la $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$, a termorezistenței tehnice de platină este de $100\Omega \pm 0,05\%$ (valoarea cea mai frecvent utilizată) și - mai rar - $50\Omega \pm 0,025\%$; firul rezistiv are diametrul tipic de 0,05mm, dar poate ajunge până la 0,5mm atunci când se dorește extensia limitei superioare a domeniului de utilizare. Analog termocuplului, elementul sensibil termorezistiv se introduce în teacă de protecție prevăzută cu cutie de borne.

În prezent, datorită dezvoltărilor tehnice deosebite, s-au realizat termorezistențe speciale ca:

- “rețea rezistivă” realizată prin bobinare plană pe un suport izolant (similară unei mărci tensometrice), folosită în special la măsurări de temperaturi joase;
- “peliculă rezistivă” obținută prin depunere catodică sau printr-un procedeu chimic a unui strat de platină; au rezistența nominală până în $2000\Omega \pm 0,1\%$, dimensiuni foarte mici care asigură obținerea unor constante de timp foarte mici ($<0,15\text{s}$), făcându-le oportune pentru utilizări la măsurări în medii gazoase, tunele de vânt și aer condiționat;
- “fire/pelicle calde” obținute din tungsten, platină sau aliaj platină-iridiu, cu dimensiuni foarte mici (firul cald are lungimea activă 1...2mm și diametrul 3,8...5 μm , iar pelicula caldă are grosimea tipică de 0,1 μm), permițându-se obținerea unui răspuns în frecvență foarte bun, de unde și utilizarea acestora în măsurări dinamice (tunele aerodinamice, fluide cu turbulențe etc).

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

2.3 Termistoarele sunt rezistențe electrice realizate din materiale semiconductoare (oxizi de Mn, Ni, Co, Cu), care au un coeficient de variație cu temperatura $|\alpha| \geq (8...10) \cdot \alpha_{TR}$ (fig.j).

Dependența rezistență-temperatură respectă aproximativ o lege exponențială de forma:

$$R_T = R_0 e^{b \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

în care R_T și R_0 sunt rezistențele termistorului la temperaturile T , respectiv T_0 în [K], iar b o constantă dependentă de materialul din care este confecționat termistorul (cu valori cuprinse între 2500 și 13000 K⁻¹).

Tehnologic, termistoarele se realizează prin sinterizarea, la temperaturi înalte și în atmosfere riguros controlate, a pulberilor din oxizi semiconductori sub formă de plăcuțe, discuri, baghete, perle.

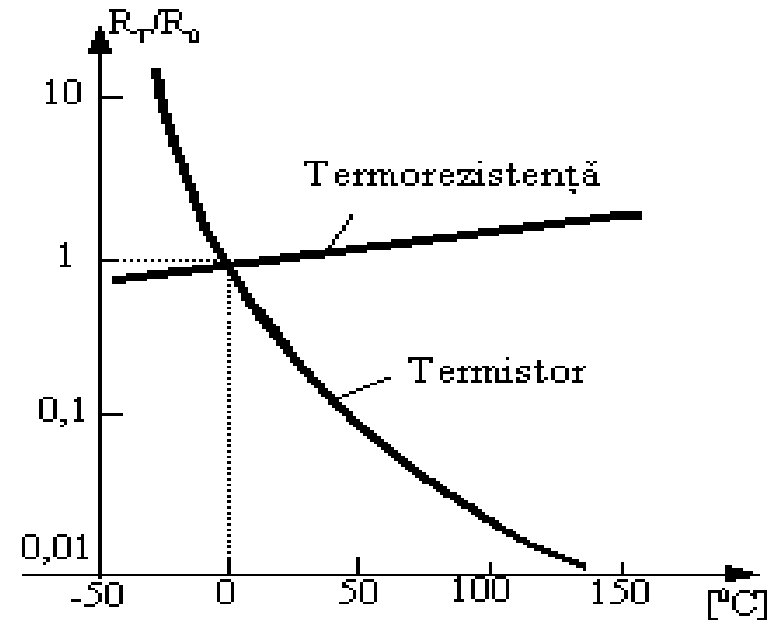


Fig.j. Raportul rezistențelor R_T/R_0 la un termistor și o termorezistență



2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Realizările tehnologice actuale permit obținerea de termistoare cu o reproductibilitate a caracteristicii rezistență-temperatură sub 1...2%, pe domenii de utilizare cuprinse între -80°C și $+150^{\circ}\text{C}$.

Ca **avantaje** - în raport cu termorezistențele - se remarcă sensibilitatea mult mai mare, precum și valoarea nominală a rezistenței de ordinul $\text{k}\Omega$ -lor, ceea ce conduce la neglijarea rezistenței firelor de legătură.

Ca **dezavantaje**, pregnante sunt dependența puternic neliniară a rezistenței cu temperatura și reproductibilitatea slabă în procesul de fabricație. Primul dezavantaj este anulat de unele firme producătoare prin comercializarea de termistoare liniarizate, obținute prin asamblarea - în aceeași capsulă - a unui grup conținând 1...3 termistoare împreună cu rezistențe serie, paralel, paralel-serie

2.4. Elementele sensibile semiconductoare își bazează funcționarea pe dependența de temperatură a tensiunii directe - în cazul unei diode semiconductoare - respectiv a tensiunii bază-emitor - în cazul unui tranzistor - atunci când acestea sunt străbătute de un curent constant.

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

Senzorii integrați de temperatură folosesc fie tranzistoare duale (cu un grad ridicat de împerechere) străbătute de curenți de colector diferiți, fie tranzistoare de arie diferită, străbătute de curenți de colector identici. Un exemplu de senzor integrat de temperatură, realizat cu tranzistoare identice, străbătute de curenți de colector diferiți, este sursa de curent AD 590, a cărei schemă de principiu este prezentată în fig.k. La un tranzistor bipolar în conexiunea emitor comun, curentul de colector I_c în funcție de tensiune bază-emitor U_{BE} , în cazul când $U_{BE} \gg kT/q$, este de forma:

$$I_c \cong \alpha_F I_{ES} \exp\left(\frac{qU_{BE}}{kT}\right) (*)$$

unde α_F este factorul de amplificare în curent direct, I_{ES} - curentul de saturație al diodei emitor-bază măsurat cu colectorul scurtcircuitat la bază, q - masa electronului, k - constanta lui Boltzmann, T - temperatura absolută.

Din relația (*) se obține:

$$U_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_c}{\alpha_F I_{ES}}$$

rezultând o dependență liniară între U_{BE} și T în ipoteza $I_c = ct$ și neglijând efectul factorului rezidual $\alpha_F I_{ES}$.

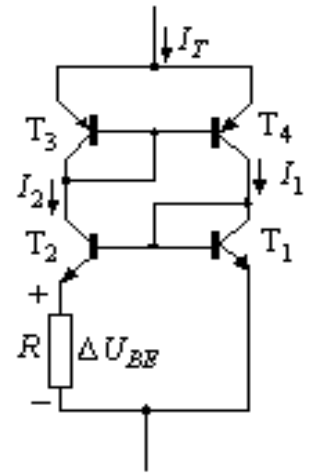


Fig.k. Schema de principiu a senzorului integrat AD 590

2. Instrumentație de temperatură bazată pe efecte termoelectrice

În cazul circuitului AD 590, tranzistorul T_2 este alcătuit din 8 tranzistoare identice cu T_1 puse în paralel, astfel că raportul $r = I_{c1}/I_{c2} = \text{ct}$, iar tensiunea diferență ΔU_{BE} , obținută pe rezistența R , este:

$$\Delta U_{BE} = U_{BE_1} - U_{BE_2} = \frac{kT}{q} \ln r$$

Datorită oglinzii de curent - realizată cu tranzistoarele T_3 și T_4 - curenții I_1 și I_2 sunt "obligați" să fie egali, deoarece tensiunile bază-emitor ale acestor tranzistoare sunt egale. În consecință:

și, prin alegerea corespunzătoare a lui R , care în procesul de fabricație se ajustează cu laser, rezultă:

$$I_T = I_1 + I_2 = 2 \frac{\Delta U_{BE}}{R} = \left(\frac{2k}{qR} \ln r \right) T$$

$$\frac{I_T}{T} = 1 \frac{\mu\text{A}}{\text{K}}$$

adică o sursă de curent, care generează un curent proporțional cu temperatura absolută în domeniul $-55^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$ cu o precizie de $\pm 0,5^\circ\text{C}$; alimentarea acestui circuit se poate face de la o sursă de tensiune continuă între $+4\text{V}$ și $+30\text{V}$.