

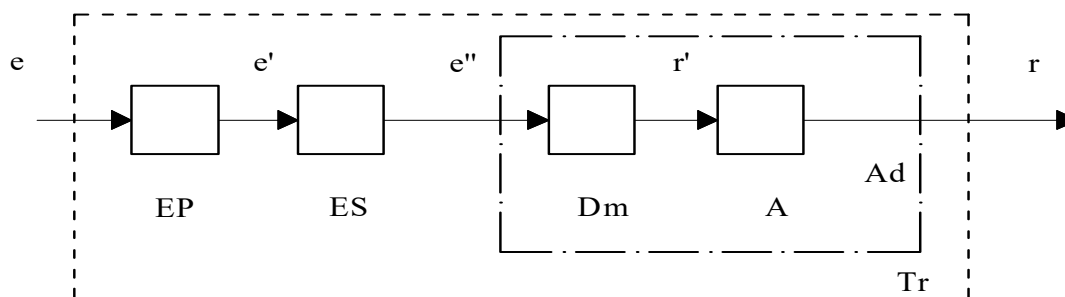
CURS

AUTOMATIZAREA INSTALȚIILOR I

TRADUCTOARE DE TEMPERATURĂ

Traductoare de temperatură

Într-un sistem de reglare automată, traductorul este un element capabil să măsoare un parametru tehnologic și să-l transforme într-un semnal compatibil cu comparatorul de la intrarea regulatorului.



Tr – traductor;

Ad – adaptor;

EP – element primar,

ES – elementul sensibil, care furnizează la ieșire un semnal e'' , apt pentru a fi transmis direct la distanță, ca informație asupra măsurătorii

Dm – dispozitivul de măsură, care asigură afișarea mărimii măsurate

A – dispozitiv de conversie - amplificare, care asigură transmiterea informației „ r ”.

Traductoare de temperatură

Principalele performanțe care trebuie să fie luate în considerare la alegerea unui traductor sunt:

- **liniaritatea** – este o caracteristică statică a traductorului și reflectă proporționalitatea între mărimea de ieșire și mărimea de intrare a traductorului în regim staționar;
- **sensibilitatea** – este calitatea de a determina variații mari ale mărimii de ieșire, la apariția unor variații reduse ale mărimii de intrare;
- **precizia** – care se indică prin clasa de precizie, definită ca un raport al erorii admisibile a traductorului, în regim staționar și domeniul de variație al mărimii de la ieșire, ce poate fi măsurat;
- **fidelitatea** – este calitatea traductorului de a furniza informații utile numai asupra parametrului măsurat, cu influențe minime a efectelor altor parametrii ce intervin în proces;

Traductoare de temperatură

- **finețea** – este calitatea traductorului de a realiza funcția de conversie a unei mărimi de o anumită natură fizică, într-o mărime de altă natură fizică, cu un consum minim de energie;
- **viteza de răspuns** – este o performanță de dinamică, ce reflectă durata și suprareglajul mărimii de ieșire a traductorului (durata de la apariția variației mărimii de intrare și până la stabilirea valorii staționare a mărimii de ieșire).

Traductoarele de temperatură

- bazate pe dilatări (liniare sau volumetrice)
- bazate pe modificarea rezistenței electrice în funcție de temperatură
- bazate pe generarea unei tensiuni electrice în funcție de temperatură
- bazate pe radiația corpurilor (pirometrie)

Traductoare de temperatură

Termorezistențele (termorezistoarele)

Sunt traductoare de tip **parametric** care funcționează pe baza modificării rezistenței electrice a **firului metalic termorezistiv** odată cu modificarea temperaturii.

Rezistența electrică apare în primul rând din cauza agitației termice și ea depinde, pentru o temperatură dată, de natura materialului, precum și de prezența impurităților, respectiv a defectelor din rețeaua cristalină, de lungimea și secțiunea firului termorezistiv.

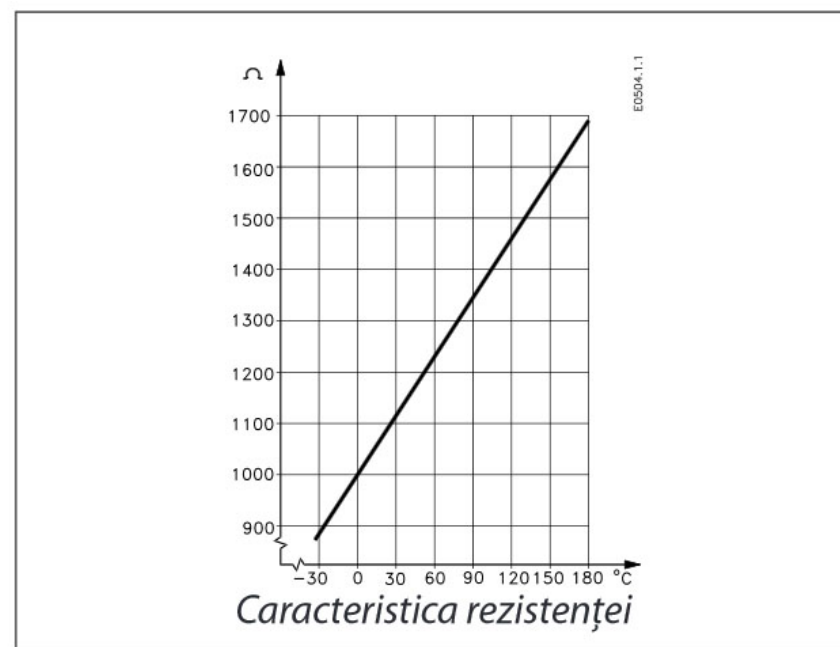
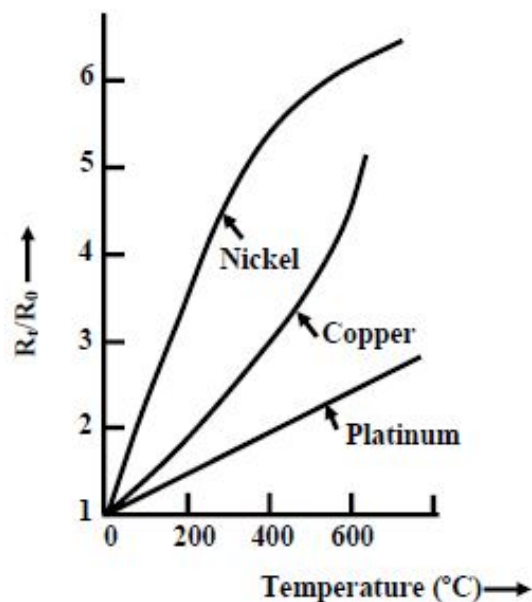
Criteriile privind alegerea metalelor din care se confectionează termorezistoarele sunt:

- **rezistivitate mare** pentru obținerea unor traductoare de dimensiuni reduse;
- **coeficient de variație a rezistivității cu temperatura ridicat** pentru a avea o sensibilitate ridicată;

Traductoare de temperatură

- **o bună liniaritate** a caracteristicii de transfer pentru a nu necesita circuite de liniarizare suplimentare;
- asigurarea unei **purități cât mai ridicate** pentru reproductibilitate;
- **stabilitate** în timp și la acțiunea agenților chimici;
- **prețul** de cost cât mai scăzut.

În prezent, ca materiale pentru realizarea termorezistoarelor metalice se folosesc: platina, nichelul, cuprul și wolframul.



Traductoare de temperatură

Termorezistoarele din platină (Pt) se folosesc în intervalul de temperatură (-180 ... +600 °C), eventual extins între -200 și +1000 °C.

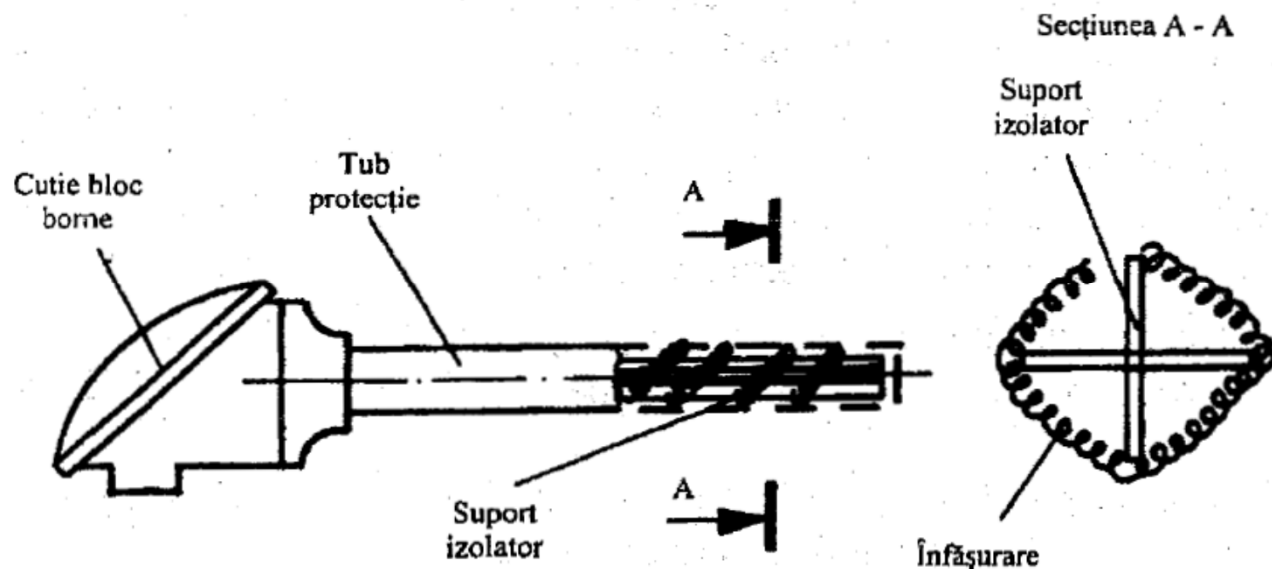
Termorezistoarele din nichel (Ni) se folosesc în domeniul -100 ... +250 °C principalul lor dezavantaj fiind legat de neliniaritatea pe care o prezintă în jurul temperaturii de 350 °C.

Termorezistoarele din cupru (Cu) au domeniul de măsurare limitat la intervalul -50 ... + 180 °C.

Deși wolframul are o sensibilitate și liniaritate superioară platinei, este relativ puțin folosit la construcția termorezistoarelor, datorită modificărilor pe care le suferă structura cristalină în timp.

Rezistența nominală a termorezistoarelor metalice la 0 °C poate fi 25, 50, 100, 500 sau 1000 de Ω , ultimele fiind folosite în special pentru temperaturi joase;

Traductoare de temperatură



Configurația unui traductor de tip termorezistență

Timpul de răspuns al acestor traductoare este de ordinul secundelor în apă și de ordinul zecilor de secunde în aer.

La termorezistoarele din platină firul are diametrul de ordinul zecilor de micrometri și o lungime de câțiva zeci de centimetri; firele de legătură de la termorezistor la blocul de borne sunt din nichel .

Traductoare de temperatură

Variația rezistenței termorezistențelor metalice se poate calcula cu o relație de forma:

$$R_T = R_0(1 + A \cdot T + B \cdot T^2), \text{ în care:}$$

R_T este rezistența electrică a termorezistorului;

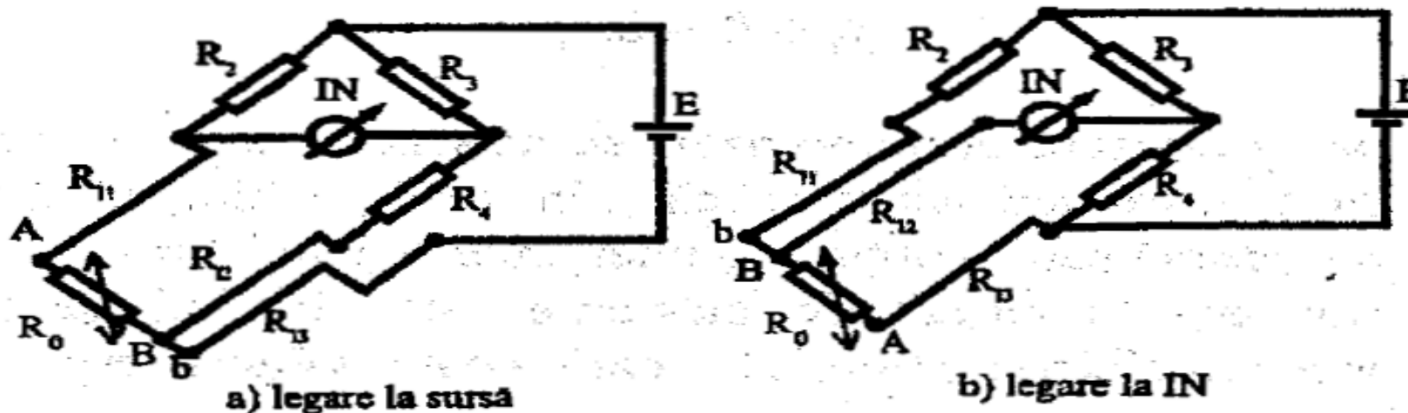
R_0 este rezistența electrică a termorezistorului la temperatura de 0°C în Ω ;

A și B sunt constante ce țin de natura materialului.

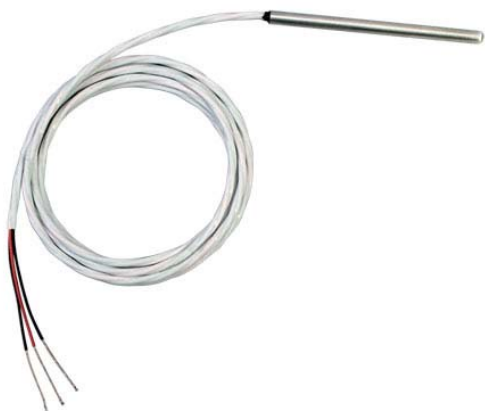
Traductoare de temperatură

O largă răspândire în practică o au punțile de rezistențe (Wheatstone) care conțin într-unul din brațe un termorezistor; deoarece în majoritatea cazurilor termorezistorul este plasat la o distanță apreciabilă de punte, pentru a reduce influența rezistențelor de linie, el se conectează prin 3 fire.

La puntea Wheatstone este valabilă relația $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$.



Traductoare de temperatură



ESMT



ESM-10



ESM-11



ESMB-12



ESMC



ESMU

Traductoare de temperatură

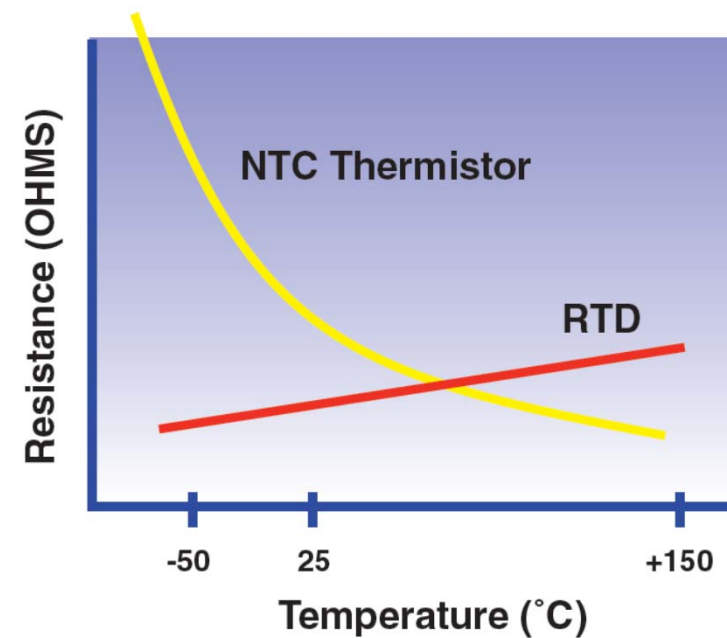
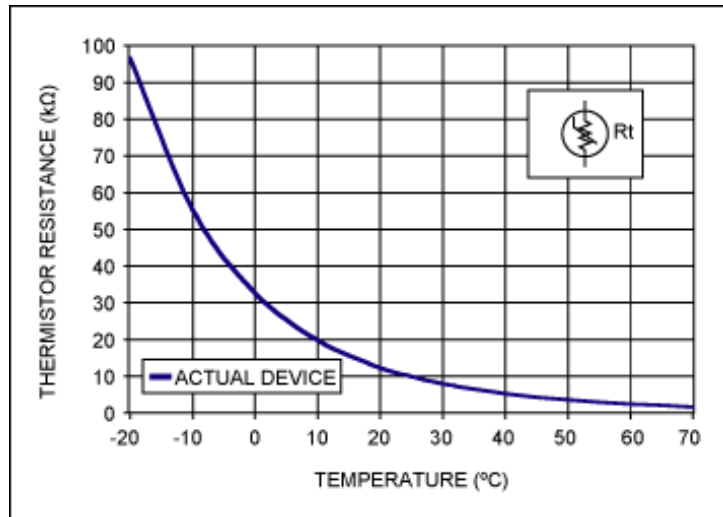
Termistoarele

Sunt traductoare de tip **parametric** care funcționează pe baza modificării rezistenței electrice a **materialului semiconductor** odată cu modificarea temperaturii.

În funcție de natura materialelor utilizate la construcția termistoarelor, acestea pot avea coeficient de variație a rezistivității negativ - numite termistoare NTC (engl.- Negative Temperature Coefficient) sau pozitiv - numite termistoare PTC (engl.- Positive Temperature Coefficient).

Cea mai mare răspândire o cunosc termistoarele care realizează sensibilități mai mari cu circa un ordin de mărime decat termorezistoarele metalice. Ele sunt realizate din amestecuri de oxizi metalici (MgO , MgAl_2O_4 , Mn_2O_3 , Fe_3O_4 , NiO) sau săruri (ZnTiO_4 , BaTiO_3) - cu lianți, supuse unor procese de sintetizare. Au forme miniaturale de discuri, cilindri, perle, permițând măsurarea cvasipunctuală a temperaturii, cu o viteză de răspuns ce poate fi de ordinul milisecundelor.

Traductoare de temperatură

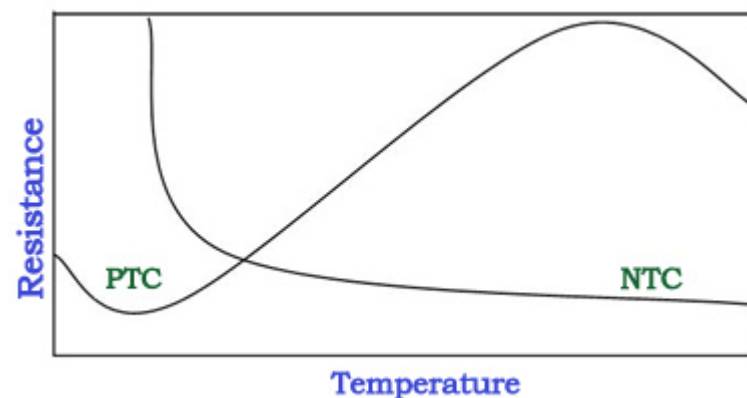
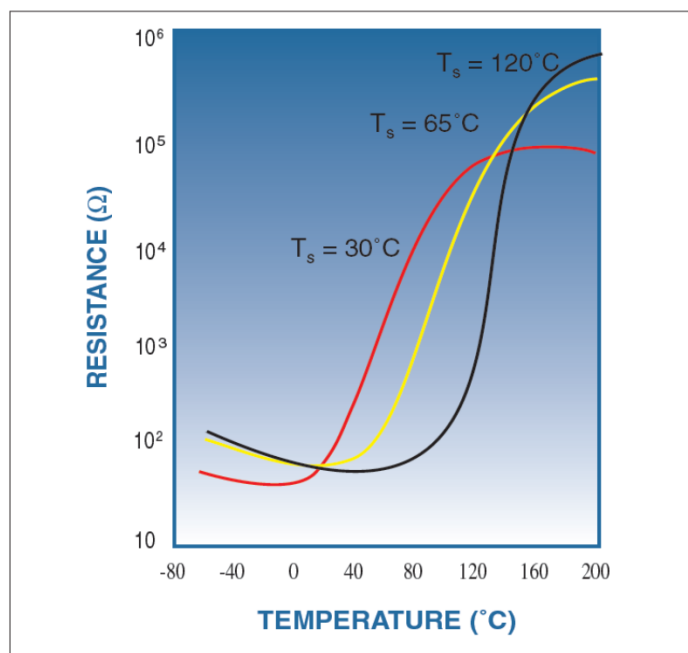


Variația rezistenței cu temperatura la termistoarele NTC
(variația este exponențială)

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Traductoare de temperatură

Domeniul de măsurare se poate întinde de la $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ până la circa $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, însă sunt sensibile la șocurile termice care pot distruge materialul protector.



Datorită sensibilității lor foarte mari, termistoarele sunt indicate la măsurarea diferențială a temperaturii, atingând rezoluții de ordinul $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Traductoare de temperatură



Traductoare de temperatură

Termocuplul

Este un traductor de tip **generator** care la variația temperaturii față de o valoare de referință generează o tensiune termoelectromotoare (t.t.e.m.) a cărei valoare se modifică odată cu modificarea temperaturii.

Are la bază efectul termoelectric direct (efectul Seebeck), care constă în apariția unei tensiuni termoelectromotoare într-un circuit format din două conductoare de natură diferită, atunci când cele două joncțiuni (puncte de sudură) se află la temperaturi diferite. Explicația fizică a fenomenului termoelectric constă în faptul că o dată cu creșterea temperaturii, crește și mobilitatea purtătorilor de sarcină în mod diferit în cele două materiale, conducând la un fenomen de migrare a purtătorilor de sarcină de la zonele mai calde spre zonele mai reci.

Efectul invers este *efectul Peltier*: dacă un termocuplu este parcurs de un curent injectat din exterior, de o anumită polaritate, are loc un fenomen de transport de căldură de la joncțiunea mai rece la joncțiunea mai caldă (pompă de căldură), fenomen ce își găsește o serie de aplicații, ca de exemplu, la realizarea minifrigiderelor.

Traductoare de temperatură

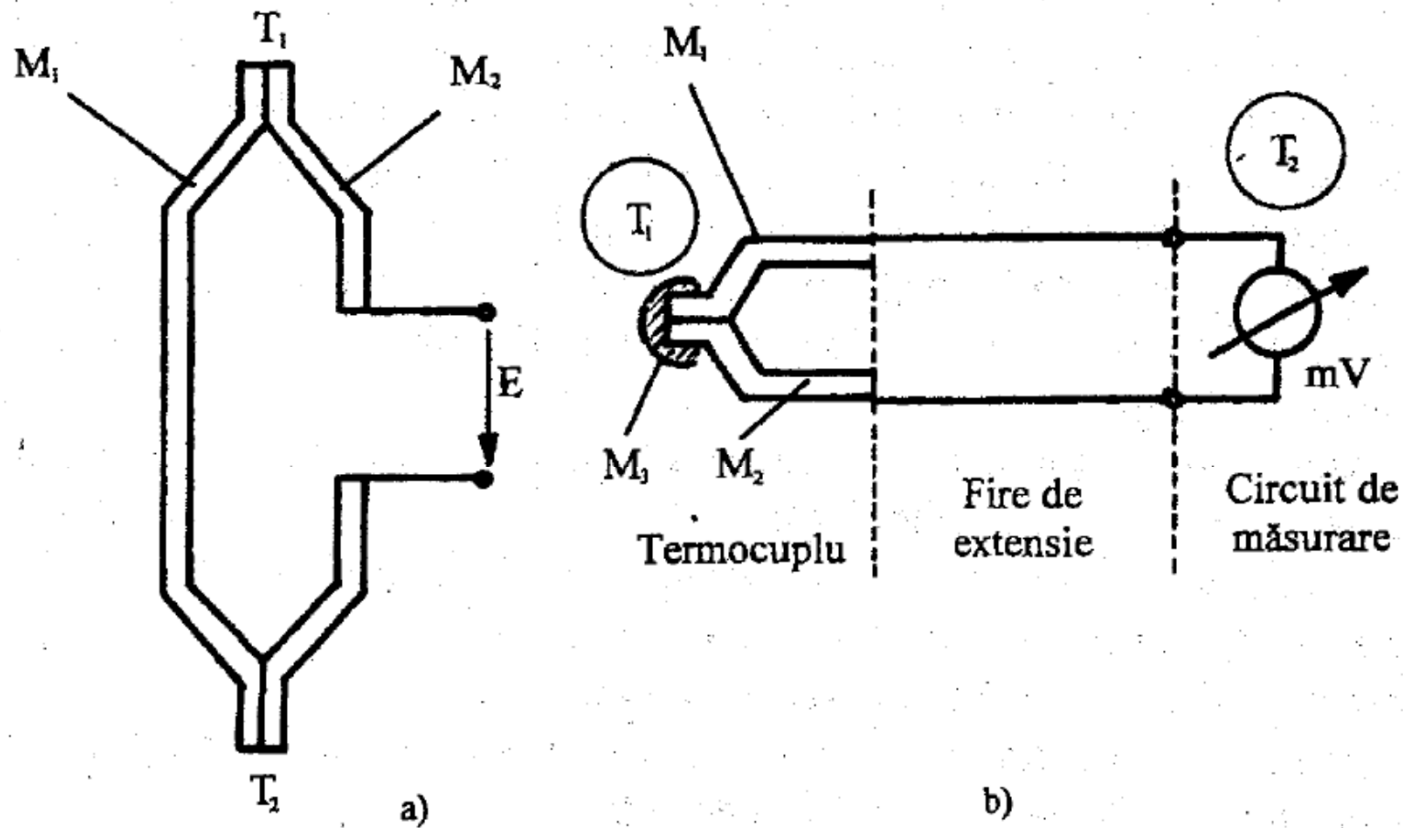


Fig. 12.10. Termocuplul:
a) schema de principiu; b) schema folosită în practică.

Traductoare de temperatură

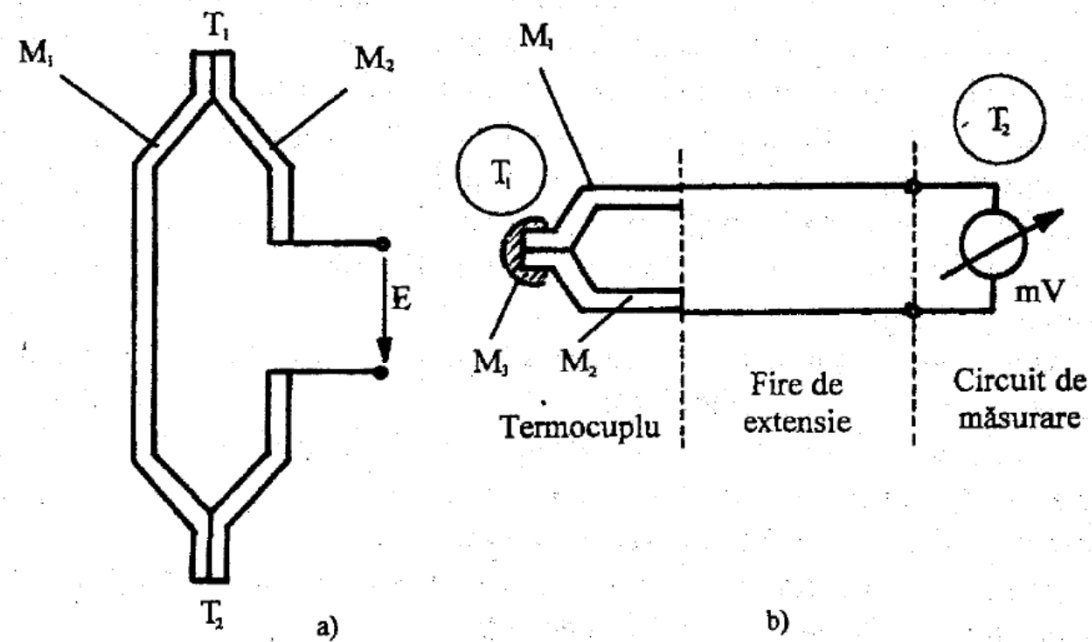


Fig. 12.10. Termocuplul:
a) schema de principiu; b) schema folosită în practică.

$$E_T \approx S_T (T - T_0)$$

Traductoare de temperatură

Atât construcția cât și utilizarea traductoarelor termogeneratoare se realizează pe baza următoarelor legi:

1. **Legea circuitului omogen (Thomson):** într-un circuit format dintr-un material omogen nu apare tensiune termoelectromotoare, indiferent de diferența de temperatură care există între diferite puncte ale sale.

Aceasta lege permite utilizarea unor conductoare de legătură (cabluri de extensie) între termocuplu și circuitul de măsurare.

2. **Legea metalelor intermediare (Volta):** într-un circuit izoterm nu se generează tensiune termoelectromotoare, indiferent de natura elementelor ce formează circuitul.

Consecințele imediate ale acestei legi sunt:

- termocuplele nu au tensiune de offset (dacă: $\Delta T \rightarrow 0$ și $E \rightarrow 0$);
- lipirea conductoarelor ce formează jonctiunea se poate face și cu un alt material;
- jonctiunea "rece" poate fi formată și din circuitul de măsurare cu condiția ca toate elementele acestuia să aibă aceeași temperatură.

Traductoare de temperatură

3. **Legea metalelor succesive (în paralel):** tensiunea termoelectromotoare generată de un termocuplu format din conductoarele A și B este egală cu diferența tensiunilor termoelectromotoare generate de termocuplele formate A și C respectiv, C și B, dacă diferența de temperatură dintre joncțiuni este aceeași.

Pe baza acestei legi se poate face etalonarea termocuplelor luându-se, de obicei, un material de referință cum este plumbul sau platina.

4. **Legea temperaturilor intermediare:** tensiunea termoelectromotoare echivalentă diferenței de temperatura $T_2 - T_1$ este egală cu suma tensiunilor termoelectromotoare obținute pentru diferențele de temperatură $T_2 - T_3$ și, respectiv, $T_3 - T_1$.

Această lege permite realizarea corecțiilor la schimbarea temperaturii de referință.

Materialele folosite la construcția termocuplelor pot fi conductoare sau semiconductoare; ele trebuie să asigure o sensibilitate ridicată și să aibă stabilitate în timp și la acțiunea agenților exteriori. Realizarea joncțiunii se face prin răsucire, sudură sau lipire, eventual folosind cel de-al treilea material.

Traductoare de temperatură

Deși sensibilitatea termocuplurilor este mai redusă decât sensibilitatea termorezistoarelor, ele oferă o serie de **avantaje** ca:

- generează o tensiune electromotoare fără componentă de offset și nu produce semnal de ieșire dacă nu există o diferență de temperatură;
- nu interferează cu alte mărimi de influență (cu excepția luminii și eventual a unor radiații nucleare care pot produce – transmutații (fierul și nichelul sunt stabili din acest punct de vedere);
- nu necesită polarizări inițiale în circuitul de măsurare.

Ca **dezavantaje** ale termocuplurilor pot fi citate:

- scăderea sensibilității la temperaturi joase;
- fenomene de evaporare, contaminare chimică sau chiar topire la temperaturi ridicate;
- zgomotul termic propriu ce limitează pragul de sensibilitate.

Traductoare de temperatură

În concluzie, construcția termocuplelor trebuie să asigure tensiuni mecanice reduse în întregul interval de temperatură ce se măsoară, cât și de protecție la posibilitățile de contaminare chimică sau radiații nucleare. Diametrul conductoarelor poate fi impus din condiții referitoare la rezistența interioară (zgomotul tennic propriu), însă determină și temperatura maximă la care poate fi folosit termocuplul.

Diametrul	mm	3,25	1,63	0,81	0,33
T_{\max}	°C	870	650	540	430

Dependența temperaturii maxime pe care o poate măsura un termocuplu de chromel / constantan în funcție de diametrul conductoarelor.

Chromel este un aliaj Ni-Cr-Fe-Mn, Alumel este un aliaj Ni-Mn-Al-Si-Fe iar Constantanul este un aliaj Cu-Ni.

În denumirea termocuplelor primul material desemnează electrodul pozitiv pentru o diferență de temperatură pozitivă.

Traductoare de temperatură

Denumirea termocuplului	Cod	Domeniul de temperatură (°C)	Sensibilitatea $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Chromel/constantan	E	-270...870	70 valoare medie
Fier/constantan	J	-210...800	52,9 la 0°C 63,8 la 700°C
Cupru/constantan	T	-270...370	15 la -200°C 60 la 350°C
Chromel/alumel	K	-270...1250	40 valoare medie
Platină-rodiu(13%) /platină	R	-50...1500	10 valoare medie
Platină-rodiu(10%) /platină	S	-50...1500	6,4 la 0°C 11,5 la 1000°C
Platină-rodiu (30%)/ Platină-rodiu (6%)	B	0...1700	6 valoare medie
Wolfram-reniu (5%)/ Wolfram-reniu (26%)	-	0...2760	13 valoare medie
Horning (Bi:95% Sn:5%)/ Bi:97% Sb:3%	-	<100	100 pt. aplic. speciale

Traductoare de temperatură



Traductoare de temperatură

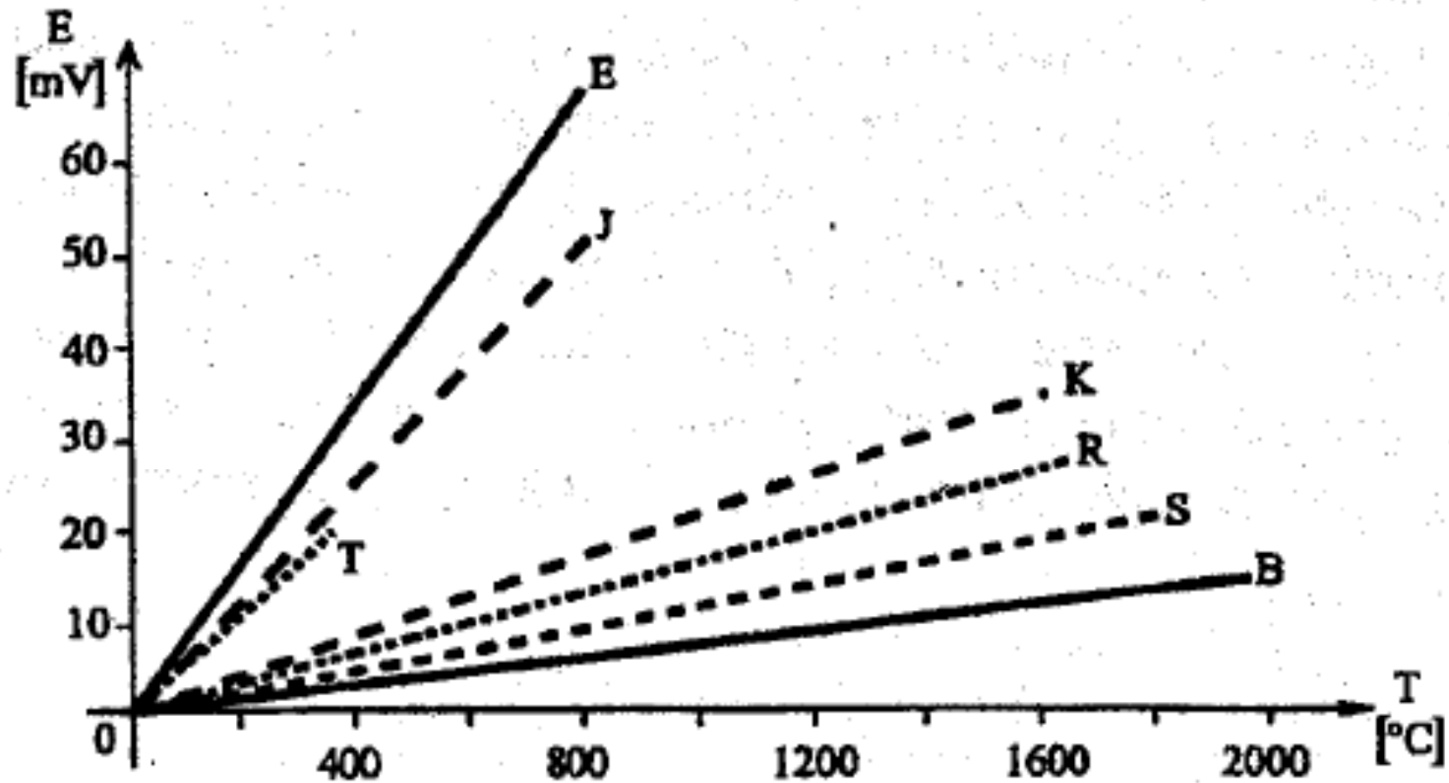


Fig. 12.11. Dependența tensiunii termoelectromotoare în funcție de diferența de temperatură.

Traductoare de temperatură

Traductoare pirometrice (pirometrele)

Termenul de pirometrie derivă de la cuvântul grecesc piro=foc, noțiunea referindu-se la metodele de măsurare a temperaturii prin metode fără contact, pe baza legilor radiației termice.

Toate substanțele emit energie radiantă care depinde de temperatura absolută a suprafeței corpurilor respective. În figură este prezentată distribuția energiei radiante în raport cu lungimea de undă pentru un corp la temperatura de 1000°C și respectiv 650°C. Din diagramă rezultă că radiația termică depinde puternic de temperatură și este predominant în domeniul infraroșu; de exemplu, în cazul în care temperatura corpului este de 1000°C, doar $1/60 \times 10^6$ din radiație se află în domeniul vizibil, iar dacă temperatura este sub 500°C, practic întreaga radiație este plasată în zona de infraroșu.

Fenomenele de radiație termică sunt descrise printr-o serie de legi, deduse din legile termodinamicii: aceste legi au fost stabilite pentru un corp "negru absolut"- care este un emițător sau receptor total al energiei radiante. În realitate, corpurile nu îndeplinesc condiția de mai sus, motiv pentru care se introduce un coeficient de corecție care depinde de natura corpului și starea suprafeței acestuia, cât și de lungimea de undă a radiației.

Traductoare de temperatură

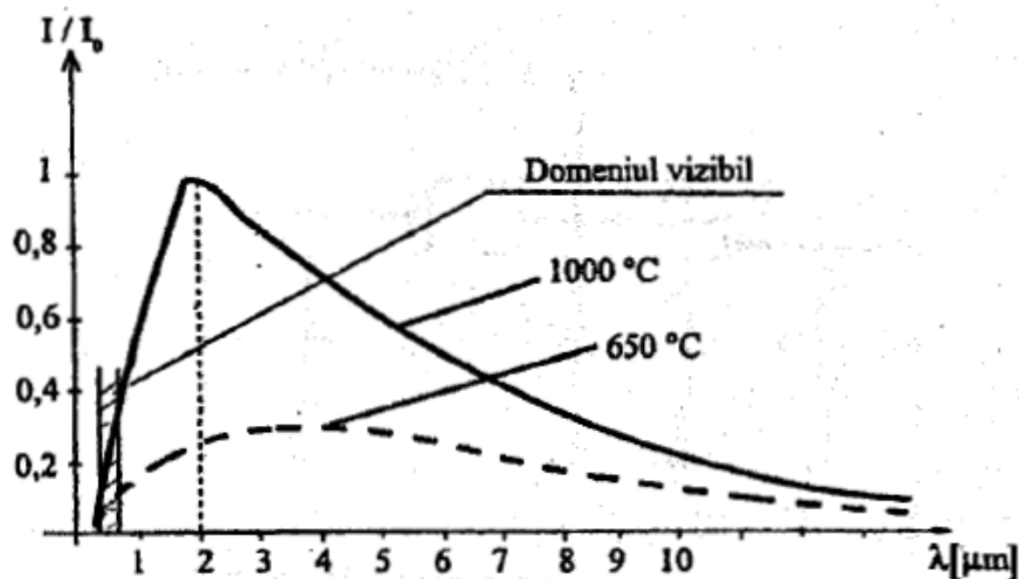


Fig. 12.18. Dependența intensității radiante în funcție de lungimea de undă.

Pirometrele se clasifică în:

- pirometre de radiație totală;
- pirometre de bandă îngustă (monocromatice);
- pirometre cu dispariție de filament;
- pirometre bicromatice.

Traductoare de temperatură

Lanțul de măsurare pentru orice pirometru presupune ca de la corpul a cărui temperatură se masoară, radiația să se poată propaga spre un traductor fotodetector sau termic; în ceea ce privește fenomenele de propagare pot apare erori din cauza necunoașterii exacte a emisivității, precum și atenuărilor atmosferice (datorate prezenței vaporilor de apă sau a unor gaze ca CO_2 , O_3 , fum, praf etc.) și respectiv a filtrelor optice folosite. De asemenea, utilizarea pirometrelor este limitată de caracteristica de sensibilitate a fotodetectorilor; în tabelul sunt prezentate limitele inferioare ale intervalului de temperatură pentru principalele tipuri de fotodetectori.

Tipul fotodetectorului	Fotodiode		Fotorezistoare			
Temperatura minimă (°C)	Si	Ge	Pb S	Pb Se	In Sb	Hg Cd Te
	600	200	100	50	0	-50

Traductoare de temperatură

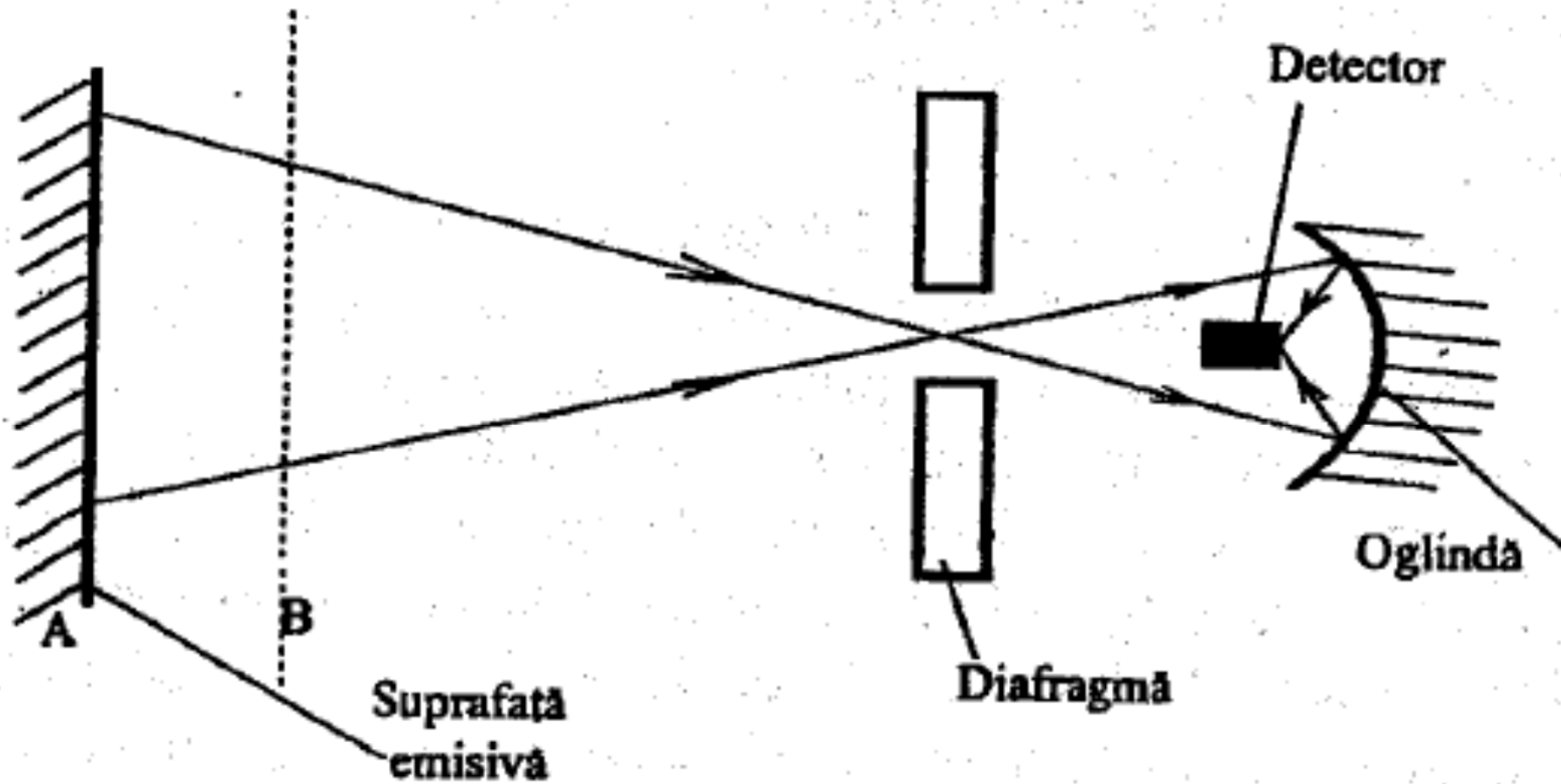


Fig. 12.19. Pirometru de radiație totală.

Traductoare de temperatură

Pirometrele de bandă îngustă (monocromatice) selectează cu ajutorul unor filtre optice și a unor fotodetectoare care au sensibilitatea maximă în centrul benzii de trecere a filtrului optic, numai o fracțiune din spectrul de radiație terestră. Pe același principiu funcționează pirometrele cu dispariție de filament, care contin suplimentar o lampă etalon cu filament din wolfram. Metoda de măsurare este o metodă de comparație; pe imaginea suprafetei radiante ce emite o radiație în spectrul vizibil se suprapune lampa etalon. Prin reglarea curentului din filament se modifică temperatura acestuia și implicit culoarea filamentului; în momentul în care imaginea filamentului dispare se obține egalitatea între temperatura măsurată T_m și temperatura filamentului. Valoarea curentului prin filament constituie o măsură a temperaturii măsurate.