

CAPITOLUL 5

TRADUCTOARE DE TEMPERATURĂ



5.1 Generalități

Traductoarele de temperatură sunt cunoscute sub denumirea de *termometre*.

Sunt de două tipuri:

- *cu contact cu obiectul de măsurat* și
- *fără contact cu obiectul de măsurat*.

Traductoarele cu contact cu obiectul de măsurare se împart la rândul lor în două categorii:

a) cu senzori neelectrici:

- bazate pe dilatarea: - solidelor (metale). Sunt cu tijă sau cu bimetal;
- lichidelor (mercur, alcool);
- gazelor (manometre).

- cu senzori chimici, la care orice dilatare a unui corp poate fi preluată de un traductor de deplasare, realizându-se astfel un termometru bazat pe dilatare. Ca exemple, amintim: *termometrele cu bimetal* ($-20^{\circ}\text{C} \dots +400^{\circ}\text{C}$, acuratețe $\pm 2\%$ și timp de răspuns 45 s);

b) cu senzori electrici: termorezistoare, termocupluri, joncțiuni p-n. etc

Când contactul direct al traductorului cu obiectul de măsurare nu este posibil (temperatura este foarte înaltă sau punctul în care trebuie măsurată nu este accesibil), pentru măsurarea temperaturii se utilizează pirometre, termometre în infraroșu, captatoare de imagini în infraroșu (scanere IR), senzori cu fibre optice.

Datorită inerției termice, constanta de timp a termometrelor depinde de tipul senzorului, rezistența termică dintre senzor și obiectul de măsurare, starea de agregare și de agitație a mediului, locul de montare al senzorului, tipul adaptorului electronic folosit, etc. Pentru termometrele cu termorezistoare, termistoare și termocupluri fără teacă de protecție, constantele de timp sunt de aproximativ 1s. Pentru senzori cu teacă metalică, constantele de timp cresc. Constante de timp foarte mici au termometrele cu fotodectoare cuantice în IR.

Adaptorul electronic folosit trebuie poziționat lângă punctul de măsurare, pentru a preveni degradarea semnalului datorită erorilor introduse de diferențele de temperatură (instabilitatea temperaturii joncțiunii de referință, la termocupluri sau dezechilibrarea rezistenței firelor de legătură, la termorezistoare).

Tensiunile furnizate de termocupluri sau de adaptoarele electronice ale termorezistoarelor și termistoarelor au nivel mic și sunt supuse la zgomote. De aceea, adaptoarele electronice convertesc uzual tensiunea în curent, de exemplu 4 ... 20 mA, acesta putând fi transmis pe distanțe mari, fără a fi afectat de perturbații. Unitățile de condiționare folosite asigură atât filtrarea trece jos, pentru eliminarea zgomotelor de înaltă frecvență, cât și izolarea electrică, pentru eliminarea buclilor de masă.

În funcție de tipul ieșirii și de modul de comandă, traductoarele de temperatură se încadrează în patru clase:

- analogice,
- cu intrări și ieșiri numerice,
- cu ieșiri numerice și
- pentru monitorizarea proceselor.

Un traductor analogic ideal dă la ieșire o tensiune care depinde liniar de temperatură.

În cazul traductoarelor cu intrări și ieșiri numerice, datele numerice reprezentând temperatura sunt transmise spre un microcontroler printr-o magistrală serie. Pe aceeași magistrală se transmit și datele de la microcontroler la traductor, pentru a stabili limita de temperatură la care o ieșire numerică de la traductor va întrerupe microcontrolerul. Acest tip de traductor se utilizează de exemplu la controlul vitezei unui ventilator sau a frecvenței de tact a unui microprocesor, la măsurarea temperaturii în calculatoare, unități de disc dur, etc.

Traductoarele din a treia clasă au diverse tipuri de ieșiri numerice pe o singură linie. Adăugând o referință de tensiune și un comparator la un traductor analogic, ieșirea se poate întrerupe atunci când se depășește o anumită temperatură fixată. De asemenea, aceste traductoare pot avea încorporate linii de întârziere, caz în care datele de ieșire sunt sub forma frecvenței sau perioadei unui semnal logic.

A patra clasă de traductoare de temperatură, pentru monitorizarea proceselor, în plus față de facilitățile celor cu intrări și ieșiri numerice, monitorizează tensiunile de alimentare ale sistemului.

5.2 Traductoare de temperatură cu termorezistoare

Termorezistoarele (engl. RTD - *resistance temperature detector*) funcționează pe baza creșterii rezistivității la creșterea temperaturii. Variația rezistenței R_T a conductoarelor metalice crește astfel cu temperatura mediului, după o relație de forma:

$$R_T = R_0 (1 + A \cdot T + B \cdot T^2)$$

în care R_0 este rezistența electrică la 0°C în $[\Omega]$ iar A și B sunt două constante de material.

Metalele tipice folosite la realizarea termorezistoarelor sunt platina ($-200 \dots +850^\circ\text{C}$), nichelul ($-60 \dots +150^\circ\text{C}$) și cuprul ($-50 \dots +150^\circ\text{C}$).

Platina este cel mai folosit material, datorită gamei mari de temperaturi, stabilității și rezistenței la agenți chimici de coroziune.

Constructiv, termorezistoarele pot fi:

- cu teacă de protecție (din cupru, oțel carbon sau oțel inoxidabil);
- fără teacă de protecție, pentru măsurători de laborator.

Termorezistoarele se realizează în două variante:

- bobinate sau
- miniatură, prin depunere pe suport ceramic.

Termorezistoarele bobinate au o înfășurare plană sau cilindrică pe suport izolat din mică, ceramică sau sticlostratitex, cu un fir bobinat neinductiv și fixat pe suport prin impregnare sau presare mecanică. În interiorul carcasei se introduce praf de ceramică de mare puritate iar conexiunile de legătură sunt scoase printr-un izolator de ceramică.

Pentru realizarea legăturilor electrice se folosesc două, trei sau chiar patru fire, la scheme de măsurare tip punte Wheatstone. Varianta cu două fire de legătură este destinată aplicațiilor în care termorezistorul este conectat direct la schema de măsurare, pentru a reduce erorile date de rezistența firelor lungi de legătură. Când există o distanță semnificativă între termorezistor și schema de măsurare se folosește legătura cu trei fire. Acuratețea acestei variante este utilă în multe aplicații industriale. În configurația cu patru fire, o pereche de fire furnizează curentul de excitație, iar cealaltă pereche măsoară tensiunea pe termorezistor, minimizând căderea de tensiune pe firele de legătură și dând acuratețe mare. Curentul de măsurare maxim admis este aproximativ 1mA . Valori mai mari produc încălziri ale termorezistorului și deci creșterea erorilor.

Avantajele termorezistoarelor sunt următoarele:

- repetabilitate și stabilitate: termometrul cu termorezistență de Pt este folosit ca instrument standard;
- sensibilitate mai mare decât la termocupluri - termorezistoarele de Pt și Cu dau răspuns mai liniar decât termocuplurile;
- neliniantățile pot fi corectate prin proiectarea corespunzătoare a schemei de măsurare;
- flexibilitate;
- folosesc fire de legătură de Cu și nu necesită compensări suplimentare.

5.3 Traductoare de temperatură cu termocupluri

Termocuplurile sunt realizate din două fire de metale sau aliaje diferite, sudate împreună la unul din capete, formând astfel joncțiunea de măsurare (joncțiunea caldă). Celelalte două capete formează joncțiunea de referință (joncțiunea rece).

Prin încălzirea joncțiunii de măsurare, datorită efectelor Seebeck, Peltier și Thomson, la capetele libere apare o tensiune termoelectromotoare proporțională cu diferența de temperatură între cele două joncțiuni și dependentă de materialul termoelectrozilor:

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

În tabelul 5.1 sunt date principalele tipuri de termocupluri și caracteristicile acestora.

Tabelul 5.1

Electrodul pozitiv	Electrodul negativ	Domeniul de temperatură [°C]	Sensibilitatea medie [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]	Notăție standard
70%Pt – Rh	94%Pt – Rh	0 ... 1700	7	B
90%Pt – Rh	Pt	0 ... 1500	10	S
87%Pt – Rh	Pt	0 ... 1500	11	R
Cromel	Alumel	150 ... 1200	39	K
Cu	Constantan	-150 ... 350	44	T
Fe	Constantan	-150 ... 700	53	J
Cromel	Constantan	0 ... 950	76	E

Cromel este un aliaj Ni-Cr-Fe-Mn, alumel este un aliaj Ni-Mn-Al-Si-Fe, iar constantan este un aliaj Cu-Ni.

Avantajele termocuplurilor sunt următoarele:

- gamă mare de temperaturi (-190 ... +1820°C),
- rezistență la șocuri și vibrații,
- dimensiuni reduse și
- timp mic de răspuns.

Dependența tensiunii termoelectromotoare generată de termocupluri de diferența de temperatură între joncțiunea de măsurare (caldă) și joncțiunea de referință (rece) nu este perfect liniară. De aceea, pentru măsurători de precizie, ea se citește din tabele speciale, elaborate de organisme de standardizare.

Pentru a nu modifica legea de variație a tensiunii electromotoare generată de un termocuplu, prelungirea firelor de legătură se face prin conductoare de aceeași

natură cu electrozii (pentru termocuplurile ieftine, cu erori mai mari) sau prin conductoare cu proprietăți apropiate de cele ale electrozilor, dar care să realizeze și o compensare pentru gama de temperatură uzuală a joncțiunii de referință (+50 ... +100°C).

Orice variație a temperaturii joncțiunii de referință se transmite integral ca eroare a temperaturii de măsurare. Pentru a îndepărta această sursă de eroare, fie se termostatează joncțiunea de referință (soluție folosită numai în măsurătorile de laborator), fie în circuitul de măsurare se generează o tensiune compensatoare liniar dependentă de temperatura joncțiunii de referință.

În funcție de modul de legătură al joncțiunii de măsurare la teaca de protecție, termocuplurile sunt disponibile în trei variante:

- legate la teaca de protecție (conectată la masă): varianta asigură un bun transfer al caldurii la joncțiunea de măsurare;
- izolate de teaca de protecție: timpul de răspuns este mare;
- cu sudura expusă în afara tecii de protecție: timpul de răspuns este foarte scurt.

Liniarizarea termocuplurilor

Pentru măsurarea temperaturii folosind termocuplul este nevoie de două canale de măsurare, unul pentru transmiterea tensiunii generate de termocuplu (tipic cu etaje cu ieșire în curent), iar celălalt pentru monitorizarea temperaturii joncțiunii de referință (cu termistor sau cu traductor integrat liniar de temperatură).

Compensarea joncțiunii de referință

Înainte de a converti tensiunile termoelectrice în valori echivalente de temperatură, este necesar să se compenseze tensiunile generate la punctul în care firele termocuplului intră în contact cu firele de cupru ale circuitelor de condiționare a semnalelor.

Tabelele de conversie și algoritmi standard se bazează pe menținerea joncțiunilor de referință la 0°C.

5.4 Traductoare de temperatură cu termistoare

Termistoarele sunt rezistoare dependente de temperatură, realizate din oxizi metalici (mangan, nichel, cobalt, cupru și fier) sau din materiale semiconductoare. În funcție de curba de variație a rezistenței cu temperatura, termistoarele sunt de două feluri:

- cu coeficient negativ de variație a rezistenței cu temperatura (NTC) și
- cu coeficient pozitiv de variație a rezistenței cu temperatura (PTC).

La termistoarele de tip NTC, rezistența scade la creșterea temperaturii după o lege exponențială dată de material:

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

unde R_T este rezistența la temperatura măsurată T [K], R_{T_0} este rezistența la temperatura de referință, tipic $+25^\circ\text{C}$ (are valori de $10\Omega \dots 40\text{M}\Omega$) iar β este o constantă de material.

Sensibilitatea termistoarelor de tip PTC este foarte mare, dar domeniul de temperaturi este limitat ($-100 \dots +400^\circ\text{C}$ pentru cele din oxizi metalici și $-150 \dots +150^\circ\text{C}$ pentru cele din materiale semiconductoare).

Caracteristica de variație a rezistenței cu temperatura este neliniară (fig. 5.1), utilizându-se pentru liniarizare rezistoare serie și paralel. În funcție de tipul aplicației, există disponibile modele liniarizate de producător și modele cu gamă extinsă de temperatură.

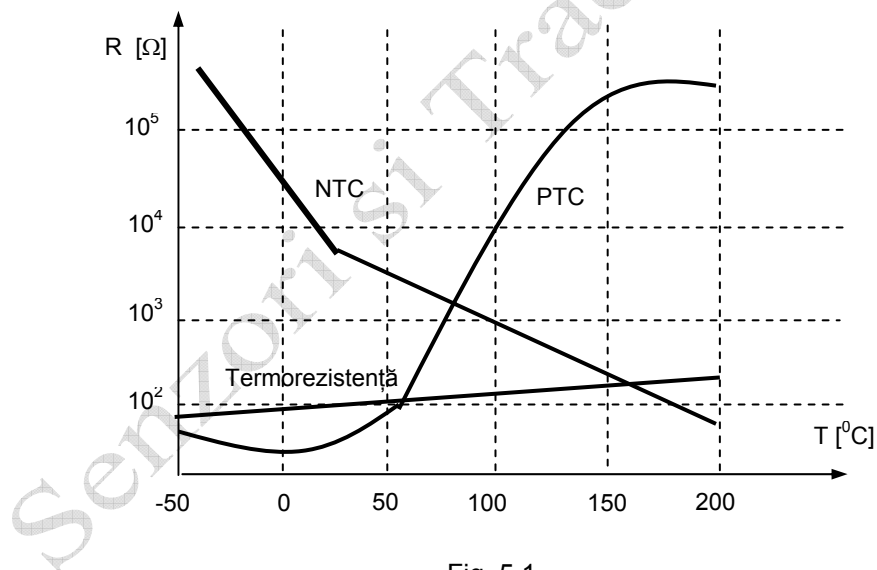


Fig. 5.1

Caracteristica de variație a rezistenței termistoarelor cu coeficient negativ de temperatură (NTC) cu temperatura este o funcție exponențială negativă.

Sensibilitatea termistoarelor de tip NTC este tipic $-3 \dots -6$ iar gama temperaturilor de funcționare este cuprinsă în limitele $-250 \dots +650^\circ\text{C}$.

Variantele uzuale de termistoare sunt cele în suport de sticlă, disc, baghetă sau cip. Dimensiunile mici au ca efect timp scurt de răspuns.

Termistoarele cu coeficient pozitiv de temperatură (PTC) sunt caracterizate de o scădere lentă a rezistenței până la o temperatură de prag, după care rezistența crește cu peste trei ordine de mărime, așa cum se observă în fig. 5.1. Termistoarele PTC sunt utilizate ca dispozitive cu prag de temperatură sau ca siguranțe cu revenire automată, în aplicațiile de comutare.

5.5 Traductoare integrate de temperatură

5.5.1 Senzori integrați de temperatură

Termorezistoare integrate cu peliculă subțire

În tehnologia siliciului, valorile absolute ale rezistențelor au toleranțe mari (tipic $\pm 20\%$), însă împerecherea raportului a două rezistențe este foarte bună ($\pm 0,1\%$). De aceea, pentru rezistoarele integrate, schema de măsurare tipică este în punte. Gama de temperaturi măsurate este $-50 \dots + 180^\circ\text{C}$.

Termorezistoarele cu straturi subțiri au avantajul unei game de temperaturi mai mari. Materialele folosite pentru construcția acestora sunt polisiliciul, care însă are dependență la efort, și platina. Termorezistorul de platină, tip Pt 100, are valoarea rezistenței de $100\ \Omega$ la 0°C și este folosit ca senzor de referință de temperatură. Termorezistorul de tip Pt.1000, cu rezistența de $1000\ \Omega$ la 0°C , este folosit pentru curenți de măsurare mai mici.

Termocupluri integrate

Termocuplurile integrate se bazează pe efectul Seebeck termoelectric și sunt obținute prin sudarea la un capăt a două fire din metale diferite. Se măsoară diferența de temperatură între sudură și capetele libere.

Variația de tensiune la ieșire este direct proporțională cu diferența de temperatură:

$$\Delta V = \alpha_S \cdot \Delta T$$

unde α_S este coeficientul Seebeck exprimat în [V/K].

Mai multe termocupluri legate în serie formează o termopilă. Materialele folosite pentru realizarea termopilelor sunt aliaje de tip: Si-Al, polisiliciu-Al, polisiliciu-Au, bismut-antimoniu, bismut-Te, etc.

Cele mai utilizate termopile sunt cele din polisiliciu, datorită compatibilității cu procesele circuitelor integrate standard.

Tranzistoare integrate

Dependența de temperatură a joncțiunii p-n din siliciu se folosește ca senzor în diode și tranzistoare, în configurație cu două terminale (baza și colectorul sunt scurtcircuitate), însă acuratețea tranzistoarelor este mai bună.

Când tranzistorul este folosit la un curent de colector constant sau proporțional cu temperatura absolută, tensiunea V_{BE} scade aproape liniar cu temperatura, conform relației:

$$V_{BE} = V_{BE0} - \lambda T,$$

unde λ este o constantă care depinde de densitatea curentului de polarizare și de parametrii de proces iar T este temperatura absolută.

Sensibilitatea tranzistorului este de ordinul - 2 mV/K.

Când se scurtcircuitază baza și colectorul, se obține o variație logaritmică a tensiunii pe joncțiune:

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_C}{A_E \cdot J_S},$$

unde I_C este curentul de colector, A_E este suprafața emitorului, J_S este densitatea curentului de saturație ce depinde de profilul de dopare, T este temperatura absolută, q este sarcina electronului și k este constanta Boltzmann ($k/q = 86,17 \mu\text{V/K}$).

5.5.2 Traductoare integrate cu ieșire proporțională cu temperatura absolută

În traductoarele integrate de temperatură, circuitele electronice de amplificare, polarizare, liniarizare și conversie analog-numerică sunt integrate pe același substrat cu tranzistorul senzor de temperatură.

Semnalul folosit este diferența ΔV_{BE} între tensiunile bază emitor a două tranzistoare care funcționează la raport constant al densităților curenților de emitor:

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln(p \cdot r)$$

unde cele două tranzistoare sunt identice, $r = A_{E2}/A_{E1}$ este raportul suprafețelor de emitor iar $p = I_{C1}/I_{C2}$ este raportul curenților de colector menținut constant.

Sursele de curent care folosesc tranzistoare integrate ca senzori de temperatură dau un curent calibrat de ieșire, de $1 \mu\text{A}/\text{K}$, stabilizat la variațiile tensiunii de alimentare.

Când gama de temperatură de interes este mică, se folosește o referință de tensiune sau alt tranzistor și un amplificator diferențial, pentru a obține semnal de ieșire zero la temperatura dorită (scalare pentru măsurare în $^{\circ}\text{C}$).

Se realizează tipic traductoare integrate de temperatură cu ieșire în curent, în tensiune sau în frecvență (pentru interfațare cu microcontrolere).

5.5.3 Traductoare integrate de temperatură cu ultrasunete

Aceste traductoare măsoară temperatura prin detectarea timpului de întârziere a undelor ultrasonore care se propagă în substraturi piezoelectrice. Se folosesc undele ultrasonore de suprafață și undele ultrasonore plate, ce pot fi generate și detectate cu traductoare interdigitate. Materialele folosite și dimensiunile substratului depind de temperatură.

Traductorul integrat de temperatură cu unde ultrasonore conține senzorul ultrasonor și circuite electronice dedicate, legate într-o buclă de reacție pozitivă, ce formează un oscilator cu frecvența dependentă de temperatură.

Cristalul piezoelectric folosit este cuarțul cu tăieturi speciale, în gama de temperaturi de $-100 \dots +200^{\circ}\text{C}$.

5.6 Termometre în infraroșu

Termometrele în infraroșu (IR) măsoară temperaturi fără contact cu obiectul de măsurat, cu un timp de răspuns de ordinul ms. În cazul termometrului în IR, nu interesează conductivitatea termică a obiectului măsurat, factorii importanți fiind următorii:

- vederea directă între termometrul în IR și obiectul de măsurat,
- elementele optice trebuie să fie protejate împotriva prafului și condensului,
- în general, termometrele în IR măsoară doar temperatura suprafețelor, radiația termică depinzând de materialul obiectului măsurat și de gradul de finisare a suprafeței.

Teoria radiației IR se bazează pe principiul că toate corpurile cu temperatură mai mare ca zero absolut ($0\text{K} = -273,16^{\circ}\text{C}$) radiază energie. Căldura din aceste corpuri determină vibrații moleculare care induc vibrații electronice, deci emisie electromagnetică.

Amplitudinea radiației depinde de emisivitatea corpului, ce se definește ca raportul între energia radiată de un obiect la o anumită temperatură și energia emisă de un radiator perfect (corp negru) la aceeași temperatură. Un corp negru este un corp ideal care emite toată radiația termică primită.

Alte proprietăți ale corpului care influențează radiația emisă sunt transparența și reflectivitatea. Cele mai multe obiecte nemetalice au reflectivitate scăzută, nu sunt transmissive și au emisivitate $> 0,9$. Metalele cu suprafață strălucitoare sau lustruite au reflectivitate mare și emisivitate scăzută.

Distribuția radiației emise se deplasează spre lungimi de undă mai mici cu creșterea temperaturii. Astfel, termometrele în IR sunt realizate cu diverse scări de lungimi de undă, pentru a oferi performanțe bune pe diverse game.

Din punct de vedere constructiv, termometrele în IR sunt instrumente portabile, cu afișaj numeric, dotate cu microcontroler pentru compensare și calibrare și senzori sensibili în infraroșu. Realizează măsurători rapide și fără contact cu obiectul de măsurat pentru temperaturi de $-40 \dots +1700^{\circ}\text{C}$. Obiectul măsurat poate avea dimensiuni foarte mici.

Termometrele moderne în infraroșu au ca parte analogică fotodectoarele și preamplificatoarele, în rest toate celelalte circuite sunt numerice (convertoare analog-numerice, circuite-numerice programabile, memorii ROM și EEPROM și procesoare numerice de semnale), ieșirile fiind analogice și /sau numerice. Cele mai folosite sunt termometrele în infraroșu cu două lungimi de undă. Legăturile de date permit transferul datelor între termometre în infraroșu, calculatoare și alte instrumente și dispozitive de control. Interfețele standard cele mai folosite sunt cele serie, RS-232 sau RS-485.

5.7 Pirometre

Pirometrele se folosesc la măsurarea temperaturilor mari, tipic peste 1000°C , pe baza radiațiilor totale, parțiale sau monocromatice emise de corpurile măsurate.

Pirometre de radiație totală.

Se compun dintr-un sistem optic și un sistem electric de măsurare, închise într-o carcasă metalică denumită lunetă. Sistemul optic este format din lentile obiectiv și ocular și diafragme. Sistemul electric de măsurare este alcătuit din termopile, montate cu joncțiunile de măsurare pe plăcuțe receptoare de radiații din platină înnegrită, centrate pe axul lunetei.

Constantele de timp ale măsurătorilor sunt 2...3 s.

Pirometre de radiație parțială.

- *Piometrul optic cu filamemt* funcționează pe baza comparării, prin intermediul ochiului, a densității spectrale a luminanței energetice a corpului

măsurat, cu luminanța spectrală variabilă a unei lămpi cu incandescență. Curentul prin filament dă informația de temperatură a corpului.

- *Pirometrul fotoelectric* măsoară densitatea spectrală a emitanței energetice a corpurilor, utilizând fotodectoare în benzi de câțiva μm în jurul unei anumite lungimi de undă. Tipic, se folosesc două fotodectoare identice pentru măsurare (de exemplu, fotodiode duale), pentru eliminarea inconvenientului recalibrărilor periodice.

- *Pirometrele de culoare* funcționează pe baza raportului densităților spectrale ale emitanțelor energetice, pentru două lungimi de undă ale radiațiilor corpului a cărui temperatură se măsoară.

Radiațiile sunt trecute printr-un disc rotitor prevăzut cu filtre de culoare pentru cele două lungimi de undă, de exemplu roșu și verde. Semnalul electric de la fotodetector, cu faza variabilă în funcție de lungimea de undă la care emitanța energetică este maximă, este amplificat și aplicat unui servomotor care deplasează un filtru colorat în calea radiațiilor până la obținerea egalității emitanțelor energetice spectrale pentru cele două lungimi de undă.

5.8 Termografie în infraroșu

Termografia în infraroșu descrie echipamentele de preluare a imaginilor termice în IR, utilizate în următoarele aplicații:

- inspecția sistemelor electrice, în scopul depistării conexiunilor sau echipamentelor calde sau anormal de reci;
- inspecția sistemelor mecanice, pentru frecări excesive și curgeri anormale ale fluidelor;
- inspecția acoperișurilor, pentru detectarea izolațiilor umede: detectarea pierderilor de energie prin pereții exteriori ai clădirilor;
- monitorizarea proceselor,
- analize medicale, cantitative și ale plăcilor de circuit electronice, etc.

Un sistem de termografie în IR conține un captator termic de imagini în infraroșu (scaner IR sau IR imager), o placă de achiziție de imagini, soft pentru procesarea de imagini și un monitor video.

Măsurătorile sunt făcute în două benzi spectrale: $3\text{...}5 \mu\text{m}$ sau $8\text{...}12 \mu\text{m}$, datorită transmisiei bune a radiației infraroșii prin atmosferă, în aceste două benzi de lungimi de undă. Informația obținută trebuie corectată, astfel încât temperatura măsurată să fie funcție numai de temperatura obiectului.

Trebuie să se țină seama de asemenea de mărimea obiectului. Pentru un obiect a cărui imagine spectrală pe fotodetector este mai mică decât fotodetectorul, scanerul va măsura o temperatură care este o medie a temperaturii obiectului și mediului înconjurător. Pentru mărirea rezoluției, se folosește un sistem optic de

mărire a imaginii obiectului și nu o amplificare electronică a semnalului. Se elimină astfel efectele difracțiilor optice, aberații sau umbriri.

Rezultatele măsurătorilor nu sunt identice în cele două benzi de lungimi de undă. Acestea diferă datorită condițiilor atmosferice, distanței până la obiect, tipul obiectului a cărui temperatură se măsoară, radiația obiectelor înconjurătoare, etc.

Toate aceste condiții specifice aplicației se compensează prin programul software din sistemul de procesare de imagini.

Scanerile în infraroșu sunt, în general, de două tipuri:

- cu suprafețe de fotodiode care necesită răcire la temperaturi criogenice, au diferențe de temperaturi echivalente de zgomot de $0,01^{\circ}\text{C}$, sunt scumpe, se folosesc în laborator și lucrează în banda $3 \dots 5 \mu\text{m}$;

- cu suprafețe de fotodiode la temperatura camerei, în banda $0,9 \dots 2,5 \mu\text{m}$, cu diferențe de temperaturi echivalente de zgomot de 1°C .

5.9 Emisometre cu transformată Fourier în infraroșu

Emisometrele cu transformată Fourier în infraroșu (FT-IR) sunt instrumente folosite în procesul de măsurare simultană a emitanței spectrale a suprafețelor și temperaturii în gama $100 \dots 2000^{\circ}\text{C}$, prin determinarea unor parametri ca radianța, reflexia direcțională și transmisia direcțională într-o gamă spectrală mare, în infraroșu apropiat și mijlociu, folosind tehnici interferometrice cu laser.

Emisometrele cu transformată Fourier în IR au aplicații în:

- controlul calității proprietăților radiative ale materialelor în industrie,
- cercetarea și producerea de noi materiale,
- măsurări de temperatură prin tehnici optice în infraroșu apropiat și mijlociu,
- determinarea proprietăților de transfer de căldură ale unor materiale.

5.10 Traductoare de temperatură cu fibre optice

Traductoarele de temperatură cu fibre optice permit măsurarea fără contact a temperaturilor mari, de până la 1800°C . Există două variante de traductoare de temperatură cu FO și anume:

- cu senzor tip sondă din FO: acestea au timpul de răspuns de ordinul $0,5 \text{ s}$ și acuratețea de $\pm 0,5 \%$

- cu FO dispusă în buclă, în tot spațiul măsurat: acestea folosesc variația indicelui de refracție a FO cu temperatura, au lungimi de zeci de km (în clădiri mari, tunele, etc.) și pot detecta variații de temperatură de 1°C până la distanța de aproximativ 5 m de FO, folosind reflectometru optic în domeniul timp.