

## 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

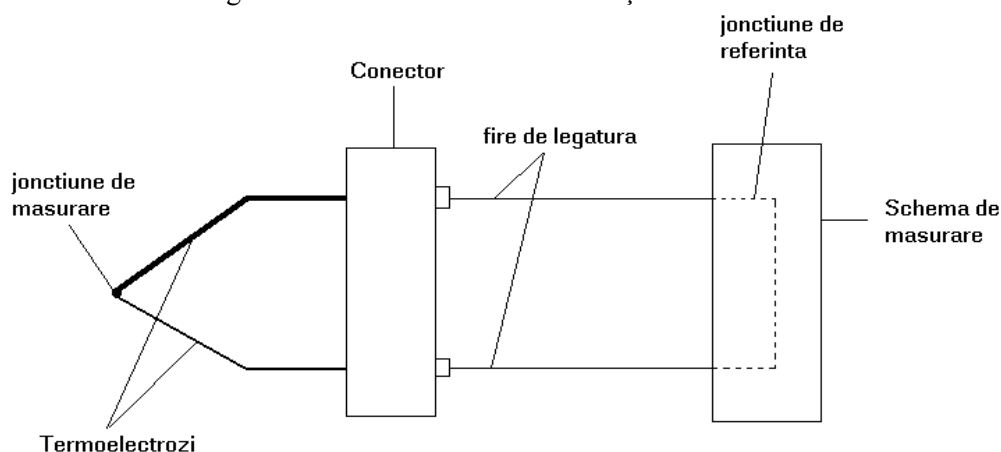


Fig.1.1. Termocuplul; reprezentare principială și conectare în circuitul de măsurare a temperaturii

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  $\theta$  a joncțiunii de măsurare și temperatura  $\theta_0$  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:

-  $\theta_0$  este temperatura de referință la care termorezistența are valoarea cunoscută  $R_{\theta_0}$ .

-  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  sunt coeficienții ce caracterizează modul de variație al rezistenței în funcție de diferența între temperatura  $\theta$  și cea de referință  $\theta_0$ .

De regulă se neglijează coeficienții  $\beta, \gamma, \dots$  pe lângă  $\alpha$  (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 ( $\frac{dR}{d\theta} < 0$ ).

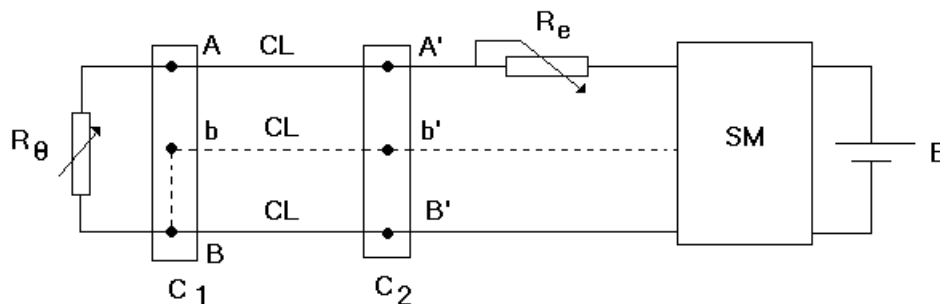


Fig.1.2. Termorezistența; reprezentare principală și conectare în circuitul de măsurare

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

$R_{\theta}$  - 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:

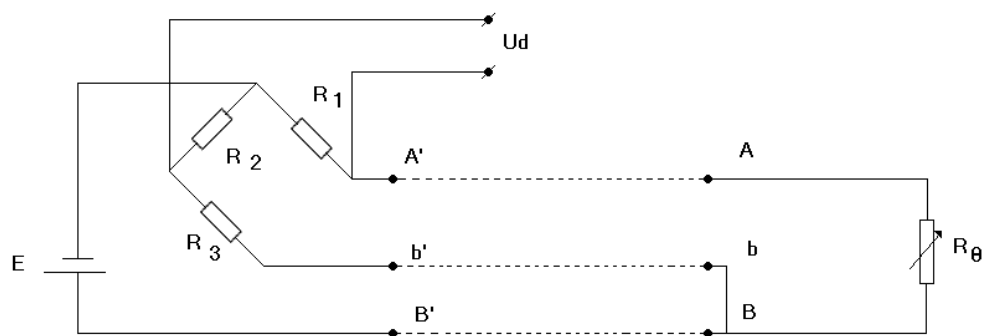


Fig.1.3. Schema de conectare a termorezistenței la puntea de măsurare în conexiunea cu 3 fire

- 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.

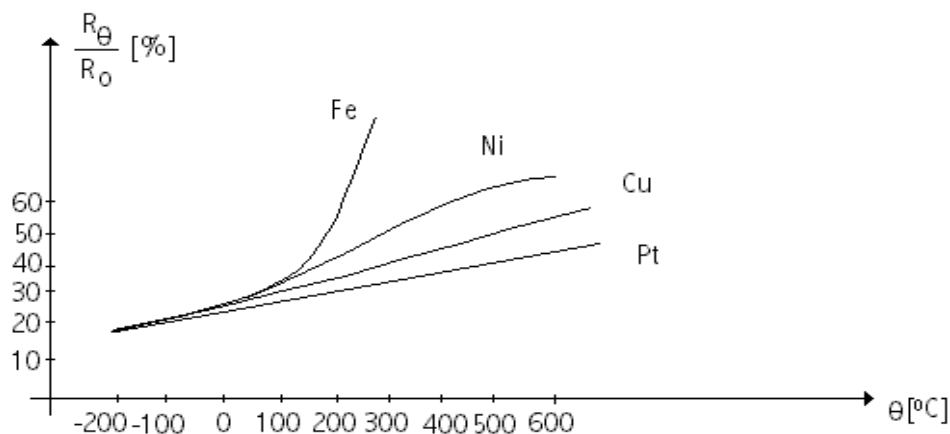


Fig.1.4. Dependența rezistenței electrice cu temperatura la principalele tipuri de termorezistențe

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,  $R_\theta$  rezistența la temperatura  $\theta$ ).

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.

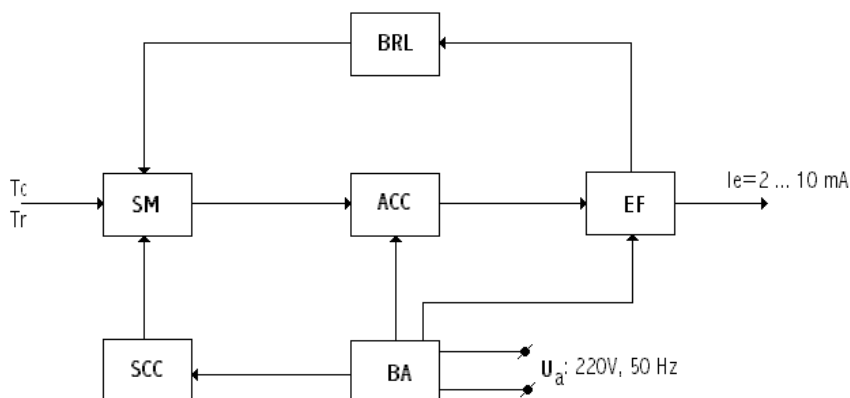


Fig.1.5. Schema funcțională a adaptorului pentru termocuplu/termorezistență în conexiunea cu 4 fire (2 fire pentru alimentare și 2 fire pentru semnalul de ieșire)

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  $R_\theta$  (și deci de  $\theta$ ).

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  $\theta_0$  și temperatura reală de referință este  $\theta_0' = \theta_0 + \Delta\theta$ , apare o 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  $\Delta E_{Tc}$ , dar cu polaritate opusă:  $U_d = -\Delta E_{Tc}$ .

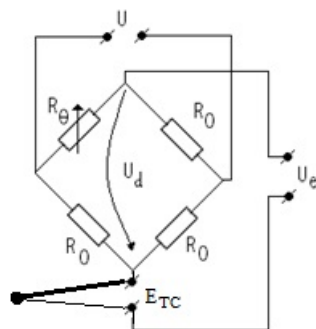


Fig.1.6. Schema de măsurare pentru termocuplu

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  $\theta$  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.

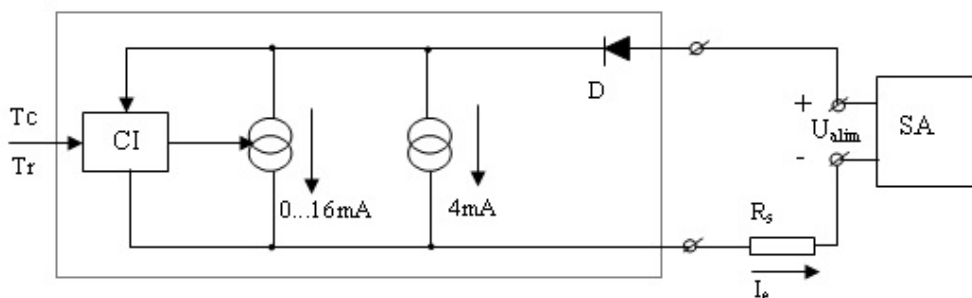


Fig.1.7. Schema principală a adaptorului de termocuplu/termorezistență în conexiunea pe două fire și modalitatea de folosire în circuitul de măsurare

#### 1.1.4. Protocolul de comunicație HART

Protocolul HART (**H**ighway **A**ddressable **R**emote **T**ransducer) este – în prezent - cel mai folosit protocol de comunicație cu traductoare inteligente utilizate în automatizare, în monitorizarea proceselor industriale și în instrumentație. Protocolul HART continuă să crească în popularitate fiind recunoscut în industrie ca un standard global pentru instrumentație inteligentă. Protocolul este ușor de folosit dând posibilitatea comunicării bidirecționale în mod digital, simultan cu semnalul analogic 4-20 mA utilizat de echipamentele și traductoarele tradiționale. Soluția de comunicație oferită de protocolul HART este importantă pentru că păstrează cablarea existentă într-un anumit sistem clasic, înlocuind traductoarele și instrumentația clasică cu traductoare și instrumentație inteligentă capabile să comunice prin semnal digital. Astfel, se obține un sistem performant, capabil să comunice cu calculatoare aflate la distanță, permițând reconfigurare, diagnosticare, citire date etc.

Protocolul de comunicație HART permite transmiterea până la patru măsurări într-un singur mesaj. În plus, dacă se utilizează numai comunicația digitală, se pot cupla pe aceeași linie - în paralel - mai multe dispozitive inteligente, în configurația “multidrop”. În acest caz semnalul analogic este setat la valoarea minimă pentru toate dispozitivele (4 mA).

Protocolul HART a fost dezvoltat de firma Rosemount (în anul 1980), iar ulterior a fost făcut public și declarat complet deschis, toate drepturile aparținând organizației independente HART Communication Foundation (HCF), care întreține protocolul și eventualele dezvoltări ulterioare.

Există astăzi peste 100 de membri HCF, majoritatea având produse care respectă protocolul de comunicație HART și care acoperă o gamă largă de măsurări.

Traductoarele dotate cu comunicația HART pot achiziționa date și pot face transmisia acestora atât sub formă analogică cât și digitală pe un singur canal (o singură linie) – fig.1.8.

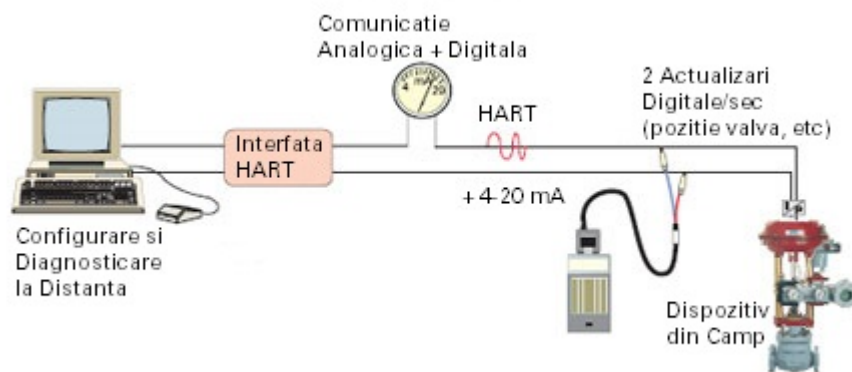


Fig. 1.8. Comunicația HART

HART este un protocol pentru comunicație digitală care se bazează pe adăugarea unui semnal digital modulat peste semnalul analogic unificat 4-20 mA. Semnalul digital este modulat în frecvență astfel: 0 logic cu o frecvență de 1200 Hz, iar 1 logic cu o frecvență de 2200 Hz – fig.1.9. Întrucât semnalul modulat HART are valoare mică și are forma de undă sinusoidală, valoarea lui medie este nulă și nu afectează semnificativ valoarea semnalului unificat, acesta (semnalul analogic) putând fi utilizat în continuare. Protocolul HART permite deci extinderea funcțiilor sistemelor actuale permitând comunicația simultană în semnal unificat și în semnal digital.

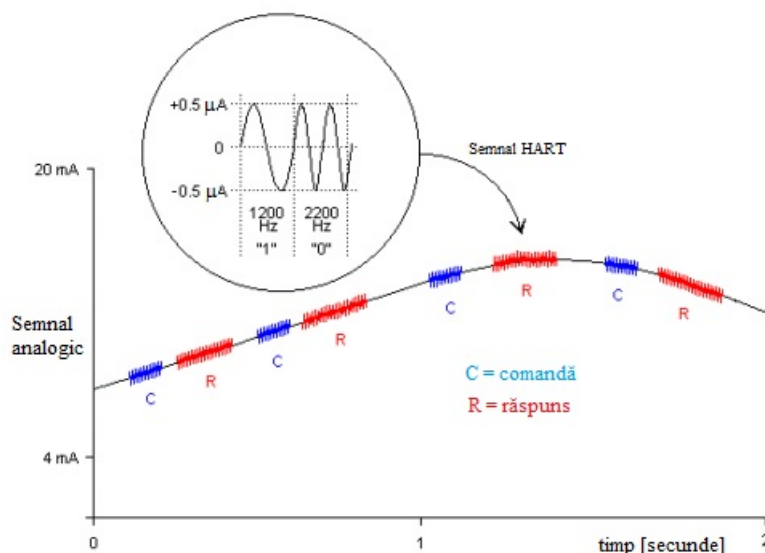


Fig. 1.9. Semnalul digital suprapus peste semnalul analogic la protocolul de comunicație HART



Pentru a înțelege cum funcționează protocolul HART este prezentată în continuare structura mesajelor de tip HART:

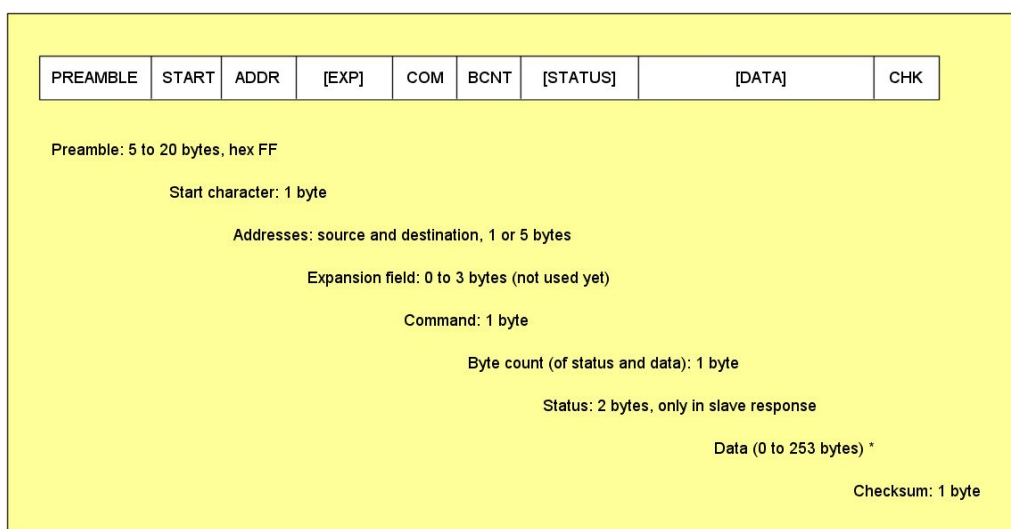


Fig. 1.10. Structura mesajelor de tip HART

Câmpul PREAMBLE, între 5 și 20 bytes are rolul de a ajuta receptorul să se sincronizeze pe șirul de caractere recepționat.

Caracterul de START poate avea diferite valori indicând tipul de mesaj: master to slave, slave to master, sau burst mesaj burst de la slave, precum și formatul adresei: scurt sau lung.

Câmpul ADDR include adresa master-ului și adresa slave-ului. În format scurt adresa slave-ului este pe 4 biți, iar în format lung de 38 biți.

Caracterele din câmpul COM conțin comenzi HART de tip:

- Universal 0-30
- Practice 32-126
- Specifice perifericelor 128-253

Caracterul BCNT conține numărul de cuvinte al mesajului. Receptorul utilizează această valoare pentru a ști dacă mesajul este gata. (Nu există un caracter special pentru "Sfârșit mesaj").

Câmpul STATUS este format din două caractere, fiind prezent doar în răspunsul slave-ului. Câmpul conține informații despre erorile survenite în transmisia mesajului, starea comenzii primite, starea unității respective.

Câmpul DATA poate sau nu să fie prezent în funcția de comandă. Se recomandă o lungime maximă de 25 de caractere pentru a păstra o durată rezonabilă a timpului de transmisie a unui mesaj.

Cuvântul CHK conține valoarea expresiei sau exclusiv între toți octeții transmiși anterior. Din această valoare, împreună cu bitul de paritate atașat, se poate determina dacă a avut loc o eroare de comunicație.

### 1.1.5 Traductor de temperatură cu protocol HART

În cadrul lucrării se folosește traductorul de temperatură SITRANS TH 300 – fabricație Siemens (fig.1.11) – montat pe un suport ca în fig.1.12. Acesta permite preluarea semnalelor de la termocupluri sau termorezistențe, în montaj simplu sau diferențial (semnal diferență dintre două termocupluri, respectiv două termorezistențe). Semnalul de ieșire este în curent continuu 4 - 20 mA în conformitate cu caracteristica elementului sensibil, peste care se suprapune semnalul digital HART.



Fig 1.11. SITRANS TH 300 Siemens



Fig 1.12. Traductorul SITRANS TH 300 montat pe suportul de lucru

Pentru efectuarea lucrării se utilizează două traductoare SITRANS TH 300, la intrarea unuia fiind conectat un termocuplu, iar la intrarea celuilalt o termorezistență. În fig.1.13 se prezintă modalitatea conectării unui termocuplu (similar se realizează montajul pentru o termorezistență).

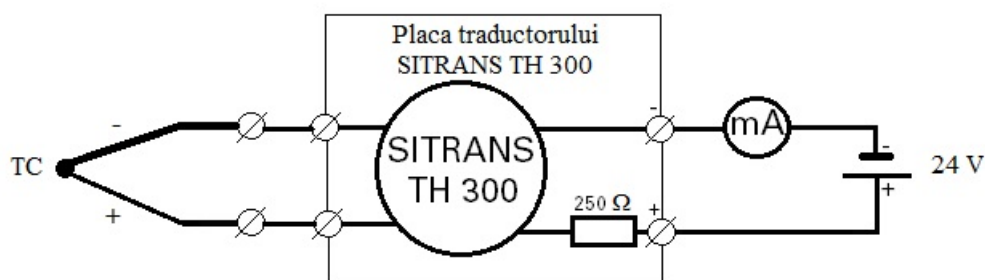


Fig 1.13. Diagrama plăcii traductorului SITRANS TH 300

Configurarea inițială a traductorului SITRANS TH 300 se poate face folosind un comunicator portabil sau - mai convenabil - cu un modem HART și software-ul de parametrizare SIMATIC PDM. Datele de configurare sunt apoi stocate permanent în memoria non-volatilă (EEPROM).

După conectarea corectă a elementului sensibil și a sursei de alimentare, traductorul SITRANS TH 300 dă în ieșire un semnal de curent continuu proporțional

cu temperatura, iar LED-ul de diagnoză afișează o lumină verde. În caz de scurtcircuit, LED-ul afișează o lumină roșie intermitentă, iar în situația unei defecțiuni a dispozitivului culoarea roșie a LED-ului de diagnoză este permanentă.

## 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 studiul traductoarelor de temperatură cu termocuplu și termorezistență se folosește montajul din fig.1.14, la care elementele din schemă au următoarea semnificație:

IT este o incintă termostatăă capabilă să producă o creștere a temperaturii între temperatura ambiantă (pozitivă) și  $+400^{\circ}\text{C}$ ; alimentarea acesteia se face de la rețeaua de 220 V curent alternativ 50 Hz; pentru fixarea temperaturii de încălzire se acționează asupra butoanelor de reglaj aflate deasupra incintei termostate;

Tc - termocuplu tip Cromel-Alumel (tip K), având domeniul de funcționare  $0 - 1200^{\circ}\text{C}$ ;

Tr - termorezistență Pt 100 cu domeniul  $0 - 850^{\circ}\text{C}$  (rezistența este din platină și are  $100\ \Omega$  la  $0^{\circ}\text{C}$ ), prevăzută, în cutia de borne, cu 3 legături notate cu A, B, b în vederea cuplării acesteia la adaptorul TH 300 folosind conexiunea cu 3 fire;

INT - indicator de temperatură al incintei termostate (valoarea indicată corespunde temperaturii în  $^{\circ}\text{C}$  și poate fi citită direct de pe display-ul aflat pe incinta termostatăă);

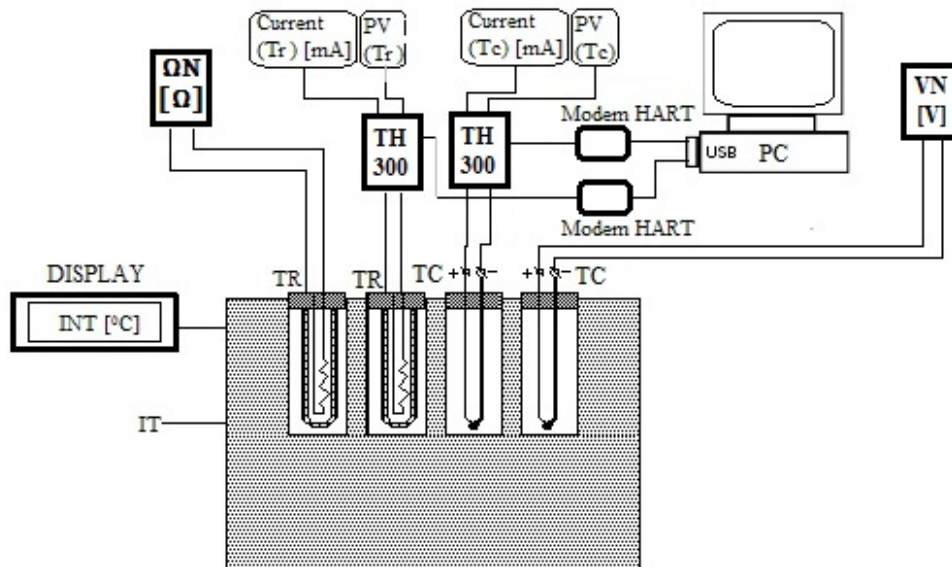


Fig 1.14. Schema de montaj pentru studiul traductoarelor de temperatură cu termocuplu și termorezistență

VN - multimetru numeric, cu rezoluție  $3\frac{1}{2}$  digiți, folosit ca voltmetru pentru măsurarea t.e.m. generate de termocuplul Tc;

$\Omega$ N - multimetru numeric, cu rezoluție  $3\frac{1}{2}$  digiți, folosit ca ohmetru;

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

- Se conectează cablurile USB de la modemurile HART la calculator;
- Se identifică porturile COM pentru fiecare modem astfel: click dreapta pe **Computer/ Properties/ Device Manager/ Ports (COM & LPT)**; în fig.1.15 se prezintă o captură a imaginii de pe ecranul calculatorului.

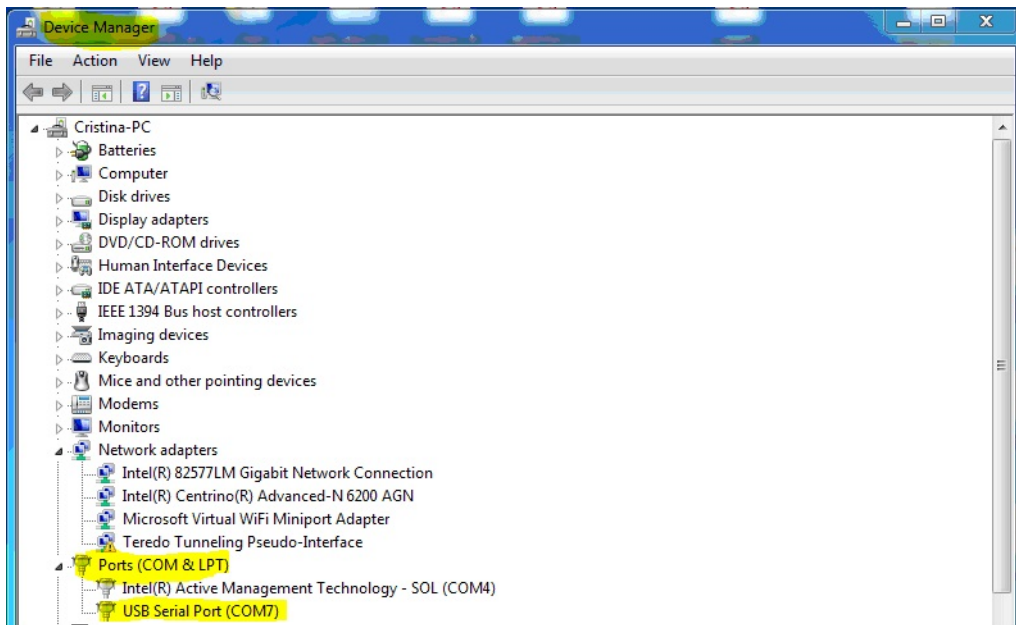


Fig.1.15. Fereastra Device Manager Ports

- Se lansează în execuție programul **PACTware 4.1** aflat pe Desktop. În fereastra **Project** se identifică câmpul **Device tag/ HOST PC** (fig.1.16).

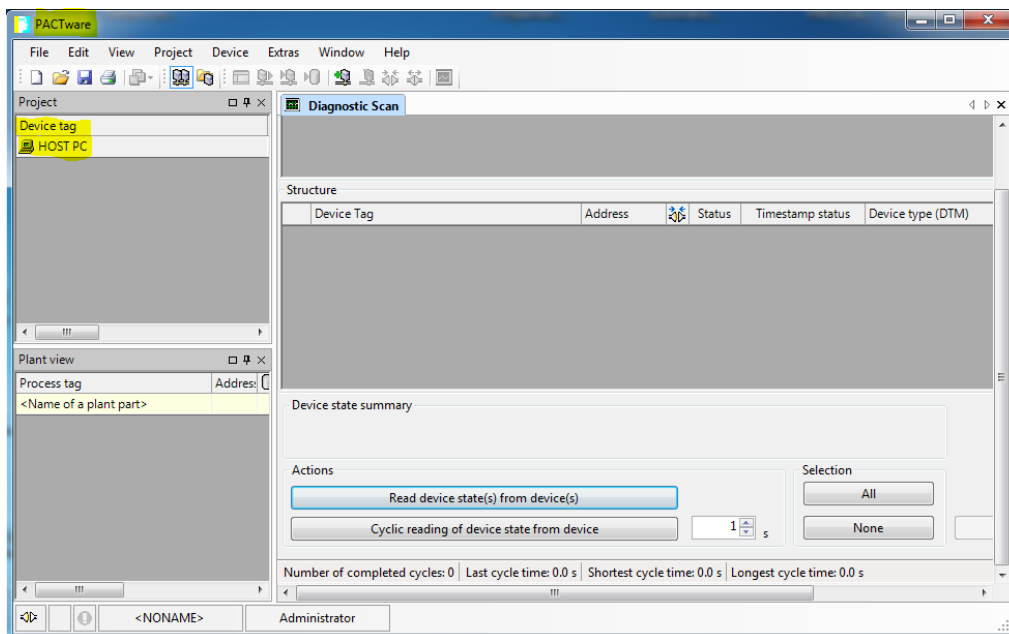


Fig.1.16. Fereastra Project a programului PACTware 4.1

- Se face click dreapta pe **HOST PC** și se selectează **Add device**. În noua fereastră, se selectează câmpul **Protocol/HART/Driver/HART Communication**, după care se apasă butonul **OK**.

Se observă că sub câmpul **HOST PC** s-a adăugat o ramură asociată tipului de comunicație pe un anumit port COM. Se face click dreapta pe câmpul COM și se selectează **Parameter**. În noua fereastră se alege tipul interfeței de comunicație – **HART modem** și tipul interfeței seriale - **portul COM asociat unuia dintre modemurile HART identificate la pasul 2** asociat termocuplului/termorezistenței; de asemenea, se deselectează check box-ul **Multimaster and Burst mode support**, după care se apasă butonul **Apply** și respectiv **OK**. Se observă modificarea câmpului COM cu cel selectat. Se face click dreapta pe această ramură, se selectează **Add device**. În noua fereastră, se selectează câmpul **Protocol/All Devices/HART/Device/Generic HART DTM**, după care se apasă butonul **OK**. Se observă apariția câmpului **GENERIC**. Se face click dreapta pe acesta și se selectează **Connect**. După conectarea dispozitivului, se face din nou click dreapta și se selectează **Load from device**. Din nou click dreapta și se selectează **Measured value/ Measured Values Display**. După selectare se va deschide o fereastră cu valori măsurate exemplificată în fig.1.17.

Valorile care ne interesează sunt (marcate cu galben în fig.1.17):

- **PV** – Primary variable în grade Celsius;
- **Current** – Primary variable în mA.

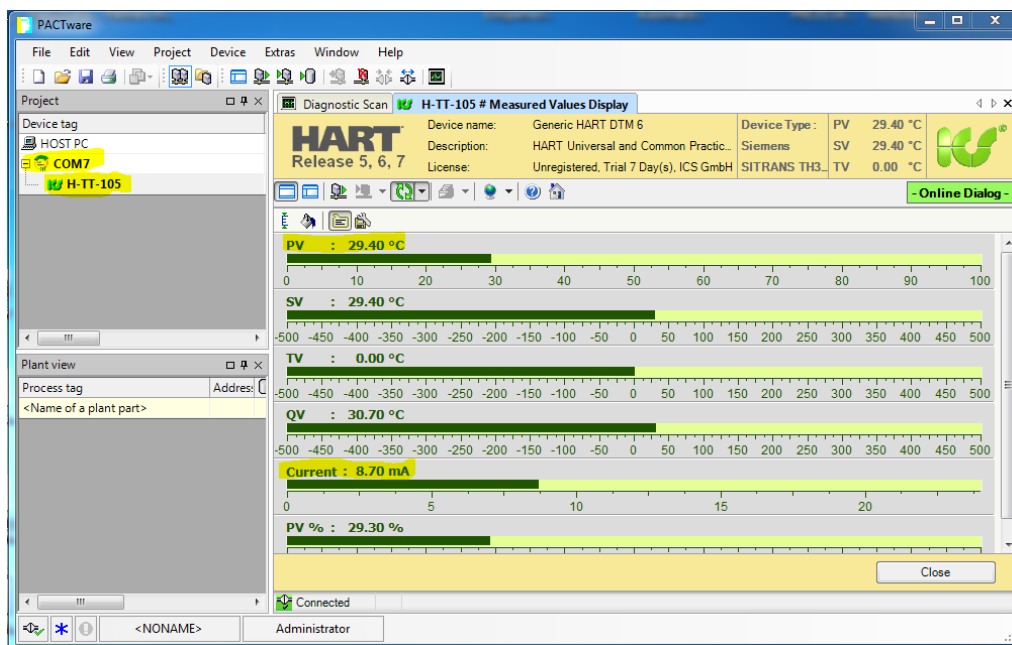


Fig.1.17. Fereastra cu valorile măsurate ale programului **PACTware 4.1**

- Se procedează similar pentru cel de-al doilea port COM identificat la pasul 2 asociat termocuplului/termorezistenței.

Înainte de a introduce termocuplul Tc în incinta termostată se citește pe indicatorul INT de pe incinta termostată valoarea temperaturii mediului ambiant (această valoare –  $\theta_0$  [°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).

3.1. Pentru studiul traductorului de temperatură cu termocuplu se notează din 5°C în 5°C, pe domeniul 35°C - 100°C (conform indicațiilor date de INT) tensiunea termo-electromotoare a termocuplului, indicată de VN, curentul de ieșire (Current) în mA și temperatura în °C (PV) indicate în fereastra PACTware.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

INT [°C]	35	40	45	...	100
VN [mV]					
Curent(Tc) [mA]					
PV(Tc) [°C]					

3.2. Similar, pentru studiul traductorului de temperatură cu termorezistență se notează din 5°C în 5°C, pe domeniul 35°C - 100°C (conform indicațiilor date de INT) valoarea rezistenței termorezistenței, indicată de  $\Omega_N$ , curentul de ieșire (Current) în mA și temperatura în °C (PV) indicate în fereastra PACTware.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

INT [°C]	35	40	45	...	100
$\Omega_N$ [ $\Omega$ ]					
Current(Tr) [mA]					
PV(Tr) [°C]					

3.3. Se reprezintă grafic dependențele din tabelele de mai sus:  $E_{TC}(\theta)$ ,  $I_{e(TC)}(\theta)$ ,  $R(\theta)$ ,  $I_{e(Tr)}(\theta)$ , 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  $\theta_0$  [°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  $E_{TC}(\theta)$  a termocuplului pe intervalul 35°C ... 100 °C. Curentul de ieșire din adaptorul de termocuplu  $I_{e(TC)}(\theta)$  este cel citit prin programul PACTware, notat Current (Tc) [mA].

- În cazul termorezistenței, caracteristica statică experimentală  $R(\theta)$  reprezintă chiar indicația  $\Omega_N$  [ $\Omega$ ], în timp ce curentul de ieșire din adaptorul de termorezistență  $I_{e(Tr)}(\theta)$  este cel citit prin programul PACTwere, notat Current (Tr) [mA].

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

$$S_{r(TC)} = \frac{\frac{\Delta E_{TC}}{E_{TC}}}{\frac{\Delta \theta}{\theta}} \quad \text{și} \quad S_{r(TR)} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta \theta}{\theta}} \quad (1.5)$$

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

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 (1.6) și (1.7):

$$\varepsilon_{nel(TC)}[\%] = \frac{\Delta E_{TC}(\theta)}{E_{TC\ max}(\theta) - E_{TC\ min}(\theta)} \cdot 100 \quad (1.6)$$

în care  $\Delta E_{TC}(\theta) = |E_{TC(exp)} - E_{TC(id)}|$ , unde  $E_{TC(exp)}$  este valoarea de pe caracteristica statică experimentală, iar  $E_{TC(id)}$  valoarea de pe caracteristica statică ideală obținută din ANEXA C – Tabelul 2; punctele extreme sunt  $E_{TC(max)}$  - valoarea maximă de la  $100^\circ\text{C}$ , respectiv  $E_{TC(min)}$  - valoarea minimă de la  $35^\circ\text{C}$  considerate pe caracteristica statică experimentală.

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

unde  $\Delta R(\theta) = |R_{exp}(\theta) - R_{id}(\theta)|$ , cu  $R_{exp}(\theta)$  obținută din caracteristica statică experimentală, iar  $R_{id}(\theta)$  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:

$\theta[^\circ\text{C}]$	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 (cele conectate prin modem HART la PC) din incinta termostată (incinta având temperatura de aproximativ 100°C) și se răcesc în aer, până când indicațiile din ferestrele **PACTware** arată – cu aproximație - temperatura mediului ambiant.

- incinta termostată, având fixată temperatura de 100°C, va menține un timp suficient pentru experiment o temperatură constantă.

- se introduc – simultan - termocuplul și termorezistența în incinta termostată și se citesc indicațiile PV(Tc) și PV(Tr), din 20 de secunde în 20 de secunde, până când, timp de 60 de secunde, ambele indicații rămân aceleași.

Rezultatele se trec într-un tabel de forma:

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

Valori citite din PACTware				
Current (Tc) [mA]				
Current (Tr) [mA]				

**NOTĂ:** Valorile citite  $\text{Current}(T_c)(t)$ ,  $\text{Current}(T_r)(t)$  sunt valorile notate din PACTware la punctul 3.1., respectiv 3.2. Pe baza rezultatelor din tabelul de mai sus se reprezintă caracteristicile dinamice în timp  $\text{Current}(T_c)(t)$ ,  $\text{Current}(T_r)(t)$ , care au aspectele din fig.1.18, 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.

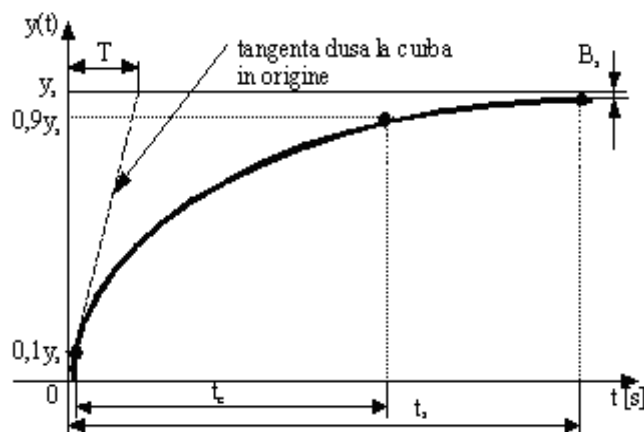


Fig.1.18. Indicatorii dinamici puși în evidență pe caracteristica dinamică din domeniul timpului

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

4.6. Care sunt neliniaritățile specifice ale traductoarelor studiate?