

# STUDIUL COMPORTĂRII DINAMICE A UNEI TERMOREZISTENȚE (TERMOMETRUL INDUSTRIAL CU REZISTENȚĂ ELECTRICĂ)

## 1. Scopul lucrării

Studiul comportării dinamice a unui element sensibil - termometru industrial cu rezistență electrică (termorezistență).

## 2. Considerații teoretice

În cadrul unui sistem de reglare automată, elementele sensibile (ale dispozitivelor de automatizare) au rolul de a urmări variațiile mărimii reglate. Elementul sensibil trebuie să sesizeze cât mai exact și rapid variațiile mărimii reglate, pentru ca acțiunea dispozitivului de automatizare să corespundă situației din proces. Din acest motiv la aprecierea calității elementelor sensibile, pe lângă precizia de măsurare, se iau în considerare și proprietățile dinamice ale acestora.

Termorezistența constă în esență dintr-un suport cilindric sau plan din sticlă sau material ceramic pe care se înfășoară rezistența electrică din fir de platină, cupru sau nichel, în funcție de domeniul de temperatură la care va fi utilizat. În figura 1 se prezintă schema fizică a unei termorezistențe din platină:

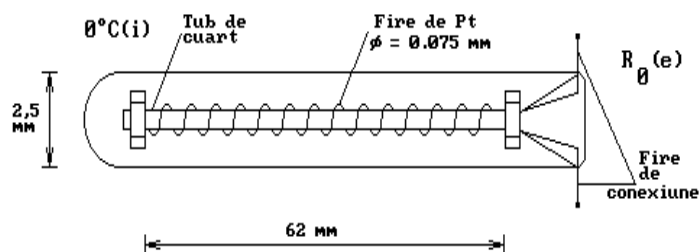


Figura 1. Termorezistența din platină

Suportul pe care este montată termorezistența poate fi confecționat din diferite materiale: ceramică, safir sintetic, cuarț, etc.; montarea rezistenței poate fi făcută, de asemenea, în diferite feluri (răsucită elicoidal, nerăsucită, montată elicoidal sau longitudinal, etc). Firul folosit pentru confecționarea unei termorezistențe are diametrul cuprins între 0,01 și 0,5 mm. Un conductor are o rezistență electrică  $R_0$  proporțională cu lungimea, secțiunea și cu rezistivitatea acestuia. Valoarea unei rezistențe depinde de temperatură, dar pentru anumite intervale de variație a temperaturii dependența este liniară, exprimată prin relația (1):

$$R_{\theta} = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)] \quad (1)$$

în care:  $R_{\theta}$  - rezistența la temperatura  $\theta$ , [ $\Omega$ ];

$R_0$  - rezistența la temperatura  $\theta_0$ , [ $\Omega$ ];

$\alpha$  - coeficient de temperatură, [ $1/^{\circ}\text{C}$ ].

Deoarece  $\alpha$  nu este dependent numai de natura metalului folosit se obișnuiește să se ia în calcule o valoare medie, stabilită pentru intervalul 0-100 $^{\circ}\text{C}$  prin relația (2):

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0} \quad (2)$$

Platina se caracterizează prin coeficient mare de temperatură, reproductibilitate mare a valorilor și stabilitate în timp. Totuși, coeficientul de temperatură al platinei se micșorează odată cu creșterea temperaturii.

Nichelul are o sensibilitate de două ori mai mare decât a platinei și o rezistivitate puțin mai mare. Limitarea utilizării lui se datorează unei tranziții pe care acesta o suferă în jurul temperaturii de 350 $^{\circ}\text{C}$ .

Cuprul are o sensibilitate puțin mai mare decât platina, la temperatura camerei, iar diminuarea ei cu temperatura este mai mică decât la platină. Având însă o rezistivitate mică, și oxidându-se ușor, nu este totdeauna convenabil pentru confecționarea termometrelor cu rezistență.

Folosirea industrială cu bune rezultate a termorezistențelor înseamnă obținerea de valori optime privind precizia de măsurare, stabilitatea, timpul de răspuns, rezistența la coroziune, etc.

Amplasarea și alegerea constructiv-dimensională a termorezistențelor trebuie să țină seama de domeniul temperaturilor măsurate, mediul și presiunea de lucru, modul de amplasare, lungimea de imersie, condițiile climatice etc. În figura 2 se prezintă un element industrial de măsurare a temperaturii.

Comportarea dinamică a acestui sistem având ca **mărime de intrare temperatura mediului în care se află și ca mărime de ieșire rezistența electrică  $R_{\theta}$  a bobinei**, poate fi redată prin următoarea ecuație diferențială:

$$T \cdot e'(t) + e(t) = K_s \cdot i(t) \quad (3)$$

în care:

- $i(t)$  – variația mărimii de intrare, [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $e(t)$  – variația mărimii de ieșire, [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $K_s$  – coeficientul de transfer al E.S.;
- $T = R \cdot C$  – constanta de timp a E.S., [s];
- $C = m_1 \cdot c_{p1} + m_2 \cdot c_{p2}$  - coeficientul de capacitate al E.S.(capacitate calorică), [ $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ].
- $m_1$  – masa suportului, [kg];
- $c_{p1}$  – căldura specifică a suportului, [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ];
- $m_2$  – masa sârmei, [kg];
- $c_{p2}$  – căldura specifică a sârmei, [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ];
- $R = 1 / (A \cdot \alpha_t)$  – rezistența termică la transferul căldurii dintre mediul măsurat și E.S., [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ].
- $A$  – suprafața exterioră a E.S, [ $\text{m}^2$ ].
- $\alpha_t$  – coeficientul de transfer al căldurii, [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ].

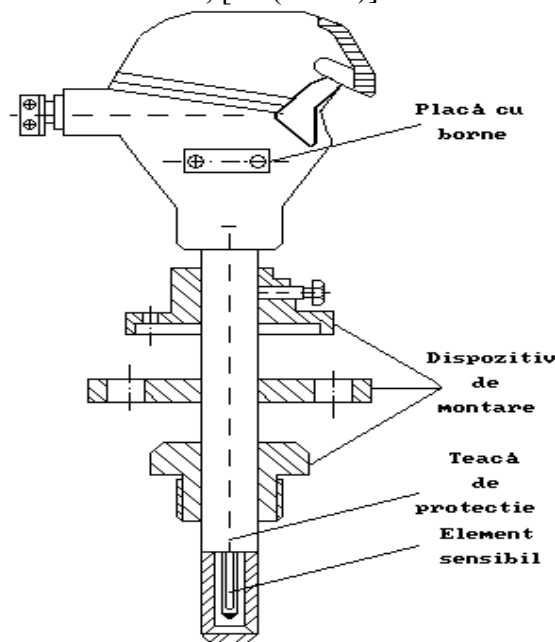


Figura 2. Termorezistența industrială-schma fizică

Soluția ecuației (3), în cazul unei variații sub formă de semnal treaptă a mărimii de intrare  $i(t) = i_0$ , este de forma :

$$e(t) = K_s \cdot i_0 \cdot (1 - e^{-t/T}) \quad (4)$$

și reprezintă expresia răspunsului la semnal treaptă, redată în figura 3, curba a.

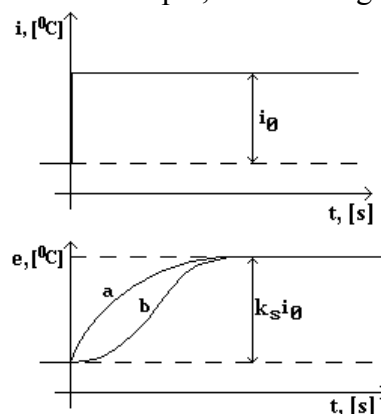


Figura 3. Comportarea dinamică a termorezistențelor

În **condiții industriale**, elementele sensibile pentru măsurarea temperaturii sunt **prevăzute de obicei cu unul sau două manșoane de protecție**, adăugându-se prin aceasta elementului sensibil unul sau două elemente de acumulare termică. În asemenea situații, **comportarea dinamică a elementului sensibil se va exprima printr-o ecuație diferențială de ordinul II sau chiar superior**, iar răspunsul la semnal treaptă va avea forma curbei b din figura 3. În concluzie, utilizarea manșoanelor de protecție mărește întârzierea de indicație a elementului sensibil, fapt care complică reglarea automată a temperaturii.

Întârzierea de indicație depinde de constantele de timp ale elementelor de acumulare termice. De aceea elementul sensibil propriu-zis și manșoanele de protecție se realizează cu masă cât mai mică, iar dacă este posibil trebuie să se asigure un contact termic cât mai bun între ele. Locul de măsurare se alege în acel punct al instalației unde circulația fluidului se face cu viteză mare ( $\alpha$  - mare,  $R$  - mic).

Constantele de timp ale termometrului industrial cu rezistență electrică de obicei nu pot fi calculate din datele constructive și funcționale ale acestuia. Determinând însă experimental răspunsul la un semnal de intrare tip, se poate deduce o ecuație diferențială care redă, cu bună aproximație, comportarea dinamică a elementului sensibil.

### 3. Descrierea instalației experimentale

Instalația de laborator cuprinde:

- Rezervor termostatat cu apă caldă prevăzut cu termometru și agitator
- Termorezistență de platina Pt-100 prevăzută cu un manșon
- Vas cu apă la temperatura camerei
- Multimetru digital MASTECH – MAS 345 (Instr. A/N) pentru urmărirea variațiilor de rezistență electrică ale termorezistenței (mărimea de ieșire a elementului sensibil – variabilă dependentă).
- Calculator

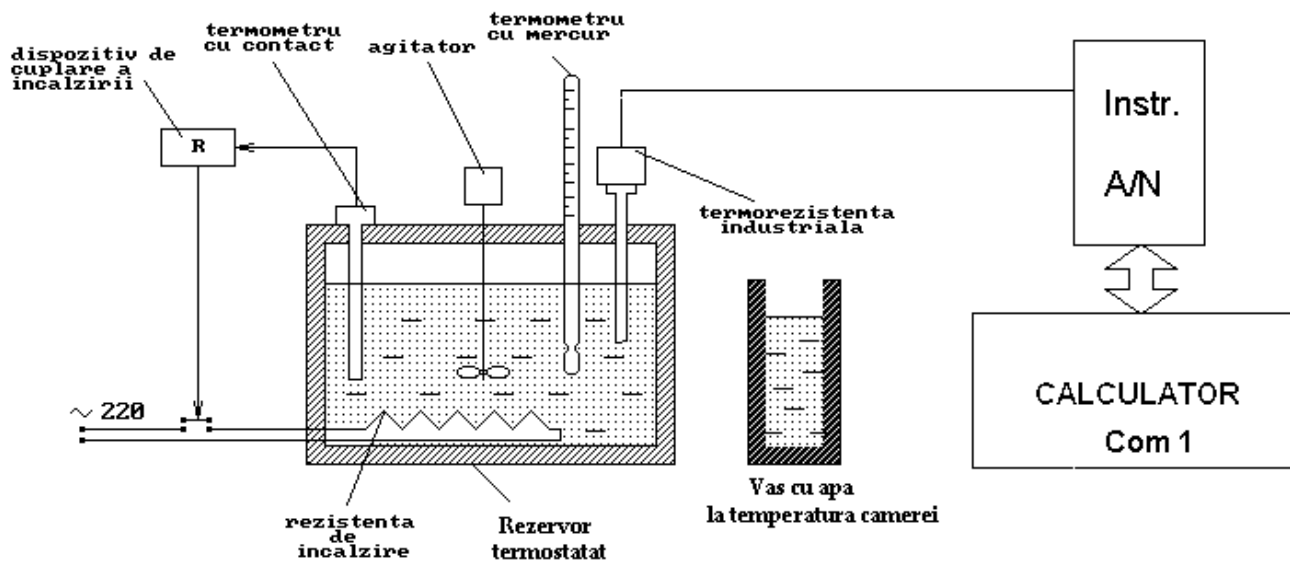


Figura 4. Instalația experimentală

### 4. Modul de lucru

Se determină experimental răspunsul la semnal treaptă al unui termometru industrial cu rezistență electrică (termorezistență Pt-100) prevăzut cu un manșon de protecție.

Determinările experimentale cuprind etapele:

1. Se pornește rezervorul termostatat.
2. Se pornește multimetrul și se fixează pe măsurare de rezistență (rezistență generată de firul de Pt al termorezistenței).
3. Se pornește calculatorul. Se pornește softul de achiziție de date MASView (Version 2).
4. Se intră în opțiunea *Configuration* de pe bara de meniuri și se citește intervalul de măsurare (ex. 1s, 5s, 10s, etc.).

5. Se introduce termometrul industrial în vasul cu apă la temperatura camerei.
6. Se demarează achiziția prin apăsare pe butonul *Start* (▶)
7. Se așteaptă instalarea regimului staționar (valori constante ale rezistenței electrice în timp).
8. Se șterg datele achiziționate prin apăsare pe butonul *Clear data*.
9. Se așteaptă apariția primului set de date și apoi se introduce brusc termometrul în rezervorul cu apă caldă (semnal treaptă).
10. Când se atinge noul regim staționar, se oprește achiziția de date prin apăsare pe butonul *Stop* (||).
11. Se salvează setul de date prin apăsare pe butonul *Save as Excel* (X).
12. Se închide softul de achiziție de date *MAS\_View*.

### 5. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor

1. Pentru prelucrarea și interpretarea rezultatelor, acestea trebuie importate în Excel astfel:

Deschidere Excel ⇒ *Data* ⇒ *Import external data* ⇒ *Import data ...* ⇒ Căutare fișier salvat (se setează opțiunea *Files of type* pe *All files*) ⇒ *Open* ⇒<sup>Pasul 1</sup> *Next* ⇒<sup>Pasul 2</sup> (pentru a separa coloanele se alege ca *Delimiters* și *Comma*) *Next* ⇒<sup>Pasul 3</sup> *Finish* ⇒ OK

2. Se salvează fișierul Excel în directorul *Lucrari studenți* (*File* ⇒ *Save as ...* ⇒ *Save*)
3. În acest fișier se vor realiza următoarele operații:
  - Se creează două coloane alăturate: timp  $t$ , [s] și temperatură, [°C]
  - În coloana timp, valorile se incrementează cu valoarea intervalului de măsurare (ex. din 5 în 5s, din 10 în 10 s, etc). Se pornește de la valoarea 0.
  - Pentru calculul temperaturii se trasează, în foaia de lucru 2, dreapta de etalonare a termorezistenței Pt 100 pe intervalul 0–100°C. Se folosesc valorile din tabelul următor:

Temperatură, [°C]	Rezistență, [Ω]
0	100
10	103.96
20	107.91
30	111.85
40	115.78
50	119.7
60	123.6
70	127.49
80	131.37
90	135.24
100	139.1

Se obține o relație de forma:  $R[\Omega] = a \cdot T[ C ] + b$

- Se reprezintă grafic variația temperaturii în funcție de timp ( $T = f(t)$ ), obținându-se caracteristica de răspuns la semnal treaptă a termorezistenței (figura 5).

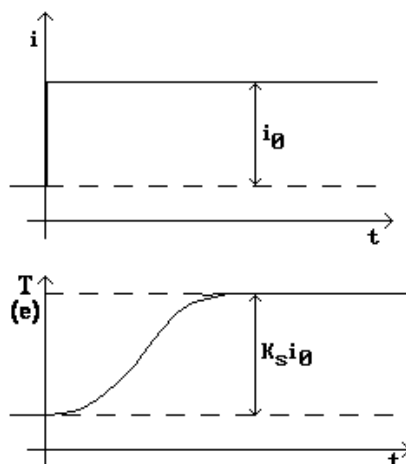


Figura 5. Răspunsul la semnal treaptă a termorezistenței

4. Se imprimă dreapta de etalonare, graficul obținut  $T = f(t)$  și setul de date.
5. Prelucrând curbele experimentale prin metoda rapoartelor indicative descrisă în Anexa 1, se deduce tipul de element de reglare care descrie comportarea dinamică a termometrului cu rezistență electrică și manșon de protecție (se determină ordinul sistemului –  $n$  și coeficienții  $b$  și  $T$ ).
6. Întrucât comportarea dinamică a termometrului studiat poate fi aproximată printr-un element proporțional de ordinul II cu constante de timp inegale, ecuația răspunsului la semnal treaptă va avea următoarea formă:

$$T(t) = k_s \cdot i_0 \cdot \left( 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} \varepsilon^{-t/T_1} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \varepsilon^{-t/T_2} \right) \quad (5)$$

În această ecuație se introduc valorile găsite pentru  $T_1$  și  $T_2$ .

7. Verificarea exactității cu care constantele de timp determinate reflectă comportarea dinamică a termorezistenței studiate, se face în baza relației de mai sus, care exprimă răspunsul la semnal treaptă a elementelor proporționale de ordinul II. Pentru aceasta se calculează variația mărimii de ieșire  $T(t)$  în anumite momente  $t$  ale regimului tranzitor și se compară valorile obținute din calcul cu cele găsite experimental.

### Anexa 1. Metoda rapoartelor indicative

Din caracteristica de răspuns la semnal treaptă se determină în felul indicat în figura 1, timpul necesar mărimii de ieșire pentru a efectua 10%, 30%, 50%, 70% și 90% din variația totală. Valorile respective ale timpului se notează cu  $t_1$ ,  $t_3$ ,  $t_5$ ,  $t_7$  și  $t_9$ .

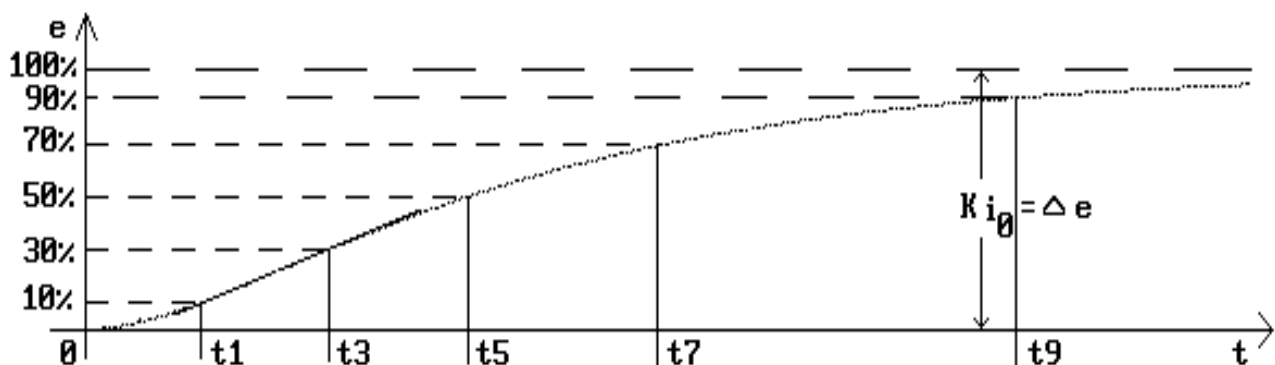


Figura 1. Determinarea rapoartelor indicative

Se calculează rapoartele indicative  $t_1/t_9$ ,  $t_1/t_7$ ,  $t_1/t_5$ ,  $t_1/t_3$ ,  $t_3/t_7$  și  $t_3/t_5$  și în baza lor folosind graficul din figura 2 se **determină ordinul sistemului ( $n$ )**. Dacă răspunsul la semnal treaptă a fost corect determinat, toate rapoartele trebuie să ducă aproximativ același  $n$ .

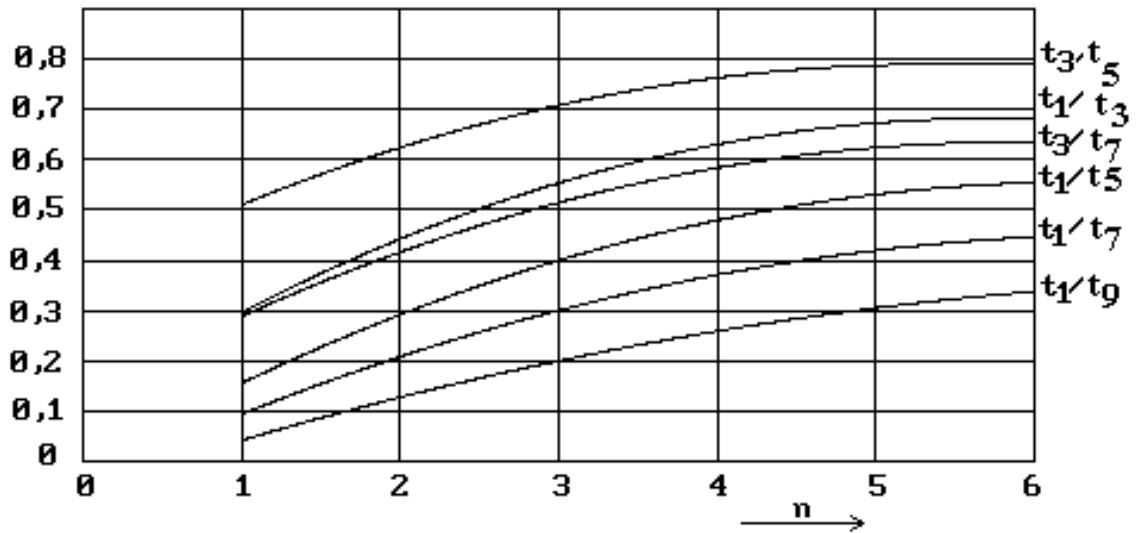


Figura 2. Determinarea lui n

Dacă rapoartele indicative corespund unui ordin n mai mic decât 2, elementul trebuie totuși aproximat printr-un sistem de ordinul doi, însă cu constante de timp diferite. Cele două constante de timp se notează:  $T_1 = T$  și  $T_2 = b \times T$ .

Pentru determinarea coeficientului b se folosește dependența lui de rapoartele indicative, redată în figura 3, iar valoarea constantei de timp T se găsește în figura 4, în baza valorii obținută pentru b.

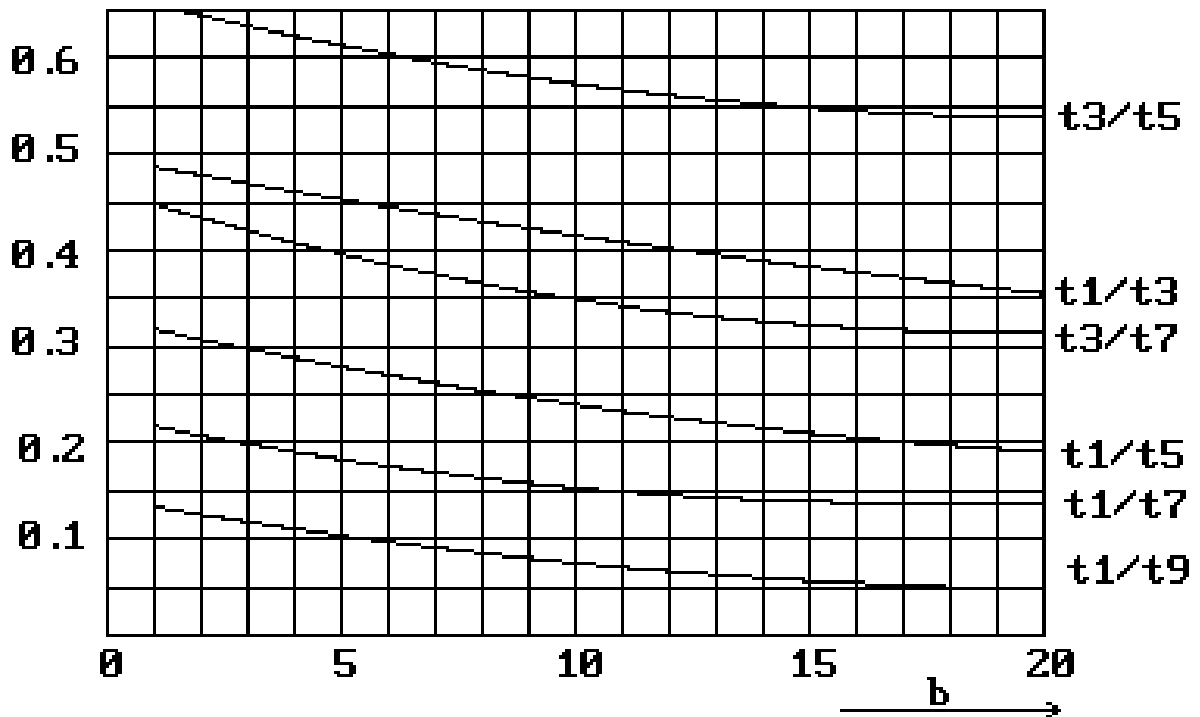


Figura 3. Determinarea lui b

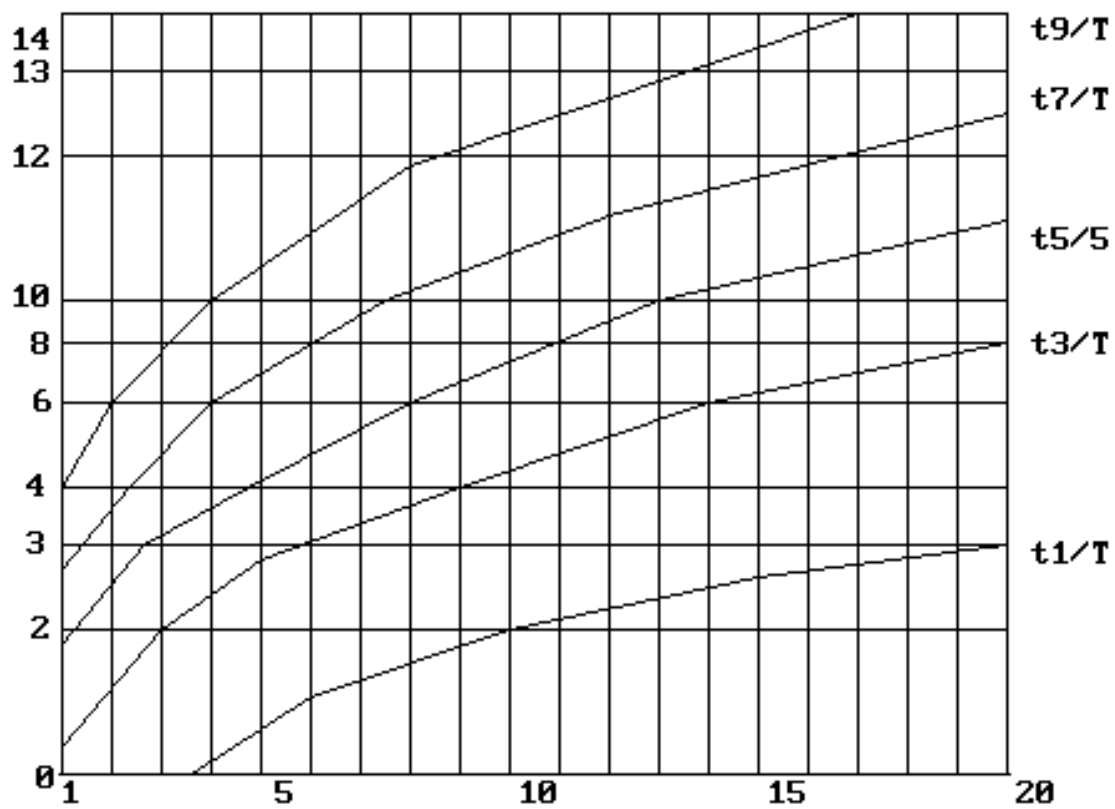


Figura 4. Determinarea lui T