

STUDIUL BIMETALULUI SI A RELEELOR TERMICE

1. Notiuni teoretice

Bimetalul (fig.1), este un ansamblu executat din două lamele metalice (1 și 2) de grosime apropiată sau egală, cu coeficienți de dilatare, sudate intim între ele pentru a evita alunecarea una față de alta, care sub influența temperaturii poate efectua o deplasare limitată dezvoltând și o anumită forță.

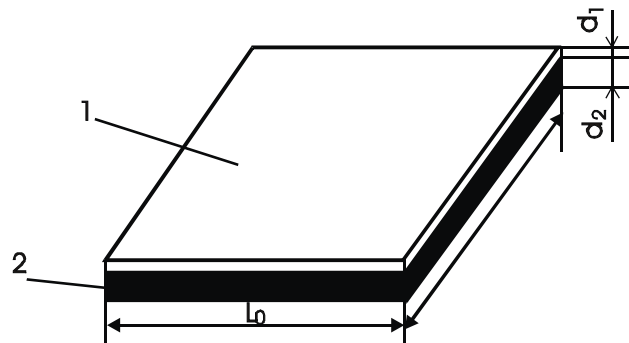


Fig.1 Lamelă bimetalică

1. element activ (α_1, E_1)
2. element pasiv (α_2, E_2) cu $\alpha_2 \neq \alpha_1$

unde: α_1, α_2 - coeficienți de dilatare liniară a elementelor componente

E_1, E_2 - modulele de elasticitate ale celor două elemente

1.1 Parametrii bimetalului

a) deformația elementului bimetal

Pentru simplificare se fac următoarele aproximații:

- încălzirea bimetalului este uniformă;
- secțiunea transversală a bimetalului rămâne plană și perpendiculară pe axa ei longitudinală;
- coeficienții de dilatație liniară rămân constanți.

Cu aceste ipoteze și cu notațiile din fig.2, rezultă deformația elementului bimetalic:

$$f = 0.75 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot (\theta_1 - \theta_0) \cdot \frac{l^2}{d} \quad (1)$$

unde: f = săgeata (deformația) [cm]

$\alpha_1 - \alpha_2$ = diferența coeficienților de dilatare a elementelor componente ale bimetalului;

$\theta_1 - \theta_0 =$ supratemperatura bimetalului față de temperatura θ_0 la care aceasta este nedeformată;

$l_0 =$ lungimea totală a bimetalului [cm]

$d =$ grosimea bimetalului [cm]

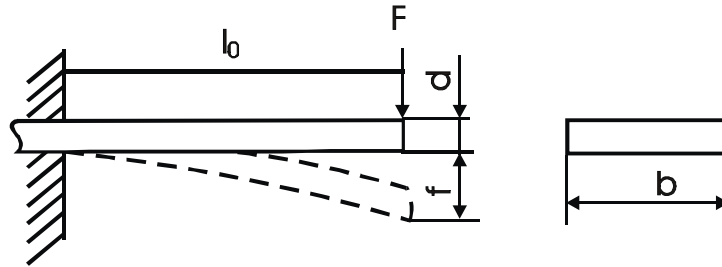


Fig.2

b) Forța dată de elementul de bimetal:

$$F = \frac{E \cdot b \cdot d^3}{4 \cdot l^3} \cdot f \quad [\text{N}] \quad (2)$$

unde:

$E =$ modulul de elasticitate [N/cm^2]

$b =$ lățimea lamelei de bimetal [cm]

$f =$ săgeata [cm]

c) Solicitățile care apar în secțiunea transversală

$$\sigma = \frac{6 \cdot F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (3)$$

d) Legea de variație în timp a încălzirii elementului bimetalic aproximând că parametrii nu variază cu temperatura:

$$\theta = \theta_f (1 - e^{-t/\tau}) \quad [^\circ\text{C}] \quad (4)$$

$$\theta_f = \frac{RI^2}{\alpha \cdot S_{ext}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

Constanta de timp

$$\tau = \frac{mc}{\alpha \cdot S_{ext}} \text{ [s]} \quad (6)$$

$$m = \gamma \cdot b \cdot d \cdot l_0 \quad (7)$$

$$R = \rho \cdot \frac{l_0}{b \cdot d} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot F \cdot l_0}{b \cdot d^2} \quad (9)$$

unde:

θ_f = supratemperatura finală [°C]

τ = constanta de timp a elementului termobimetalic [s]

m = masa elementului bimetalic [g]

γ = densitatea volumică a elementului bimetalic [g/mm³]

S_{ext} = suprafața exterioară a elementului bimetalic [mm²]

c = căldura specifică [$W \cdot s / g^{\circ}C$]

1.2 Tipuri constructive de termobimetale

1. Element termobimetalic drept, încastrat la un capăt.
2. Element termobimetalic ștanțat în formă de U, încastrat la un capăt.
3. Element termobimetalic îndoit, încastrat la un capăt.
4. Element termobimetalic ondulat, încastrat la un capăt.
5. Element termobimetalic în formă de spirală plană.
6. Element termobimetalic în formă de rondelă perforată.
7. Element termobimetalic în formă de spirală elicoidală.

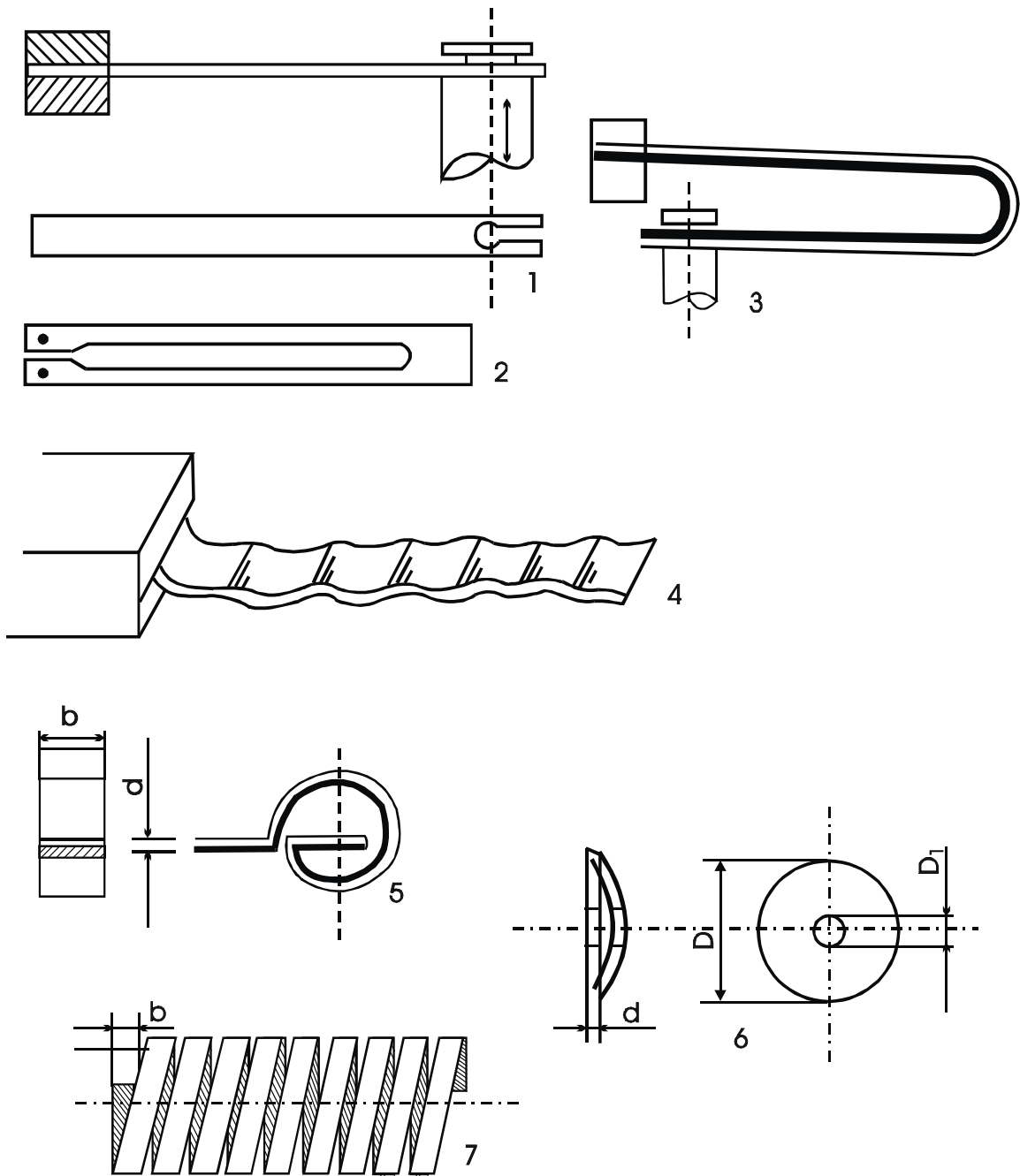


Fig. 3

1.3 Moduri de încălzire ale bimetalearor

1. Încălzire directă.
2. Încălzire indirectă.
3. Încălzire combinată.
4. Încălzire directă prin intermediul unui transformator de curent.
5. Încălzire indirectă prin intermediul unui transformator de curent.

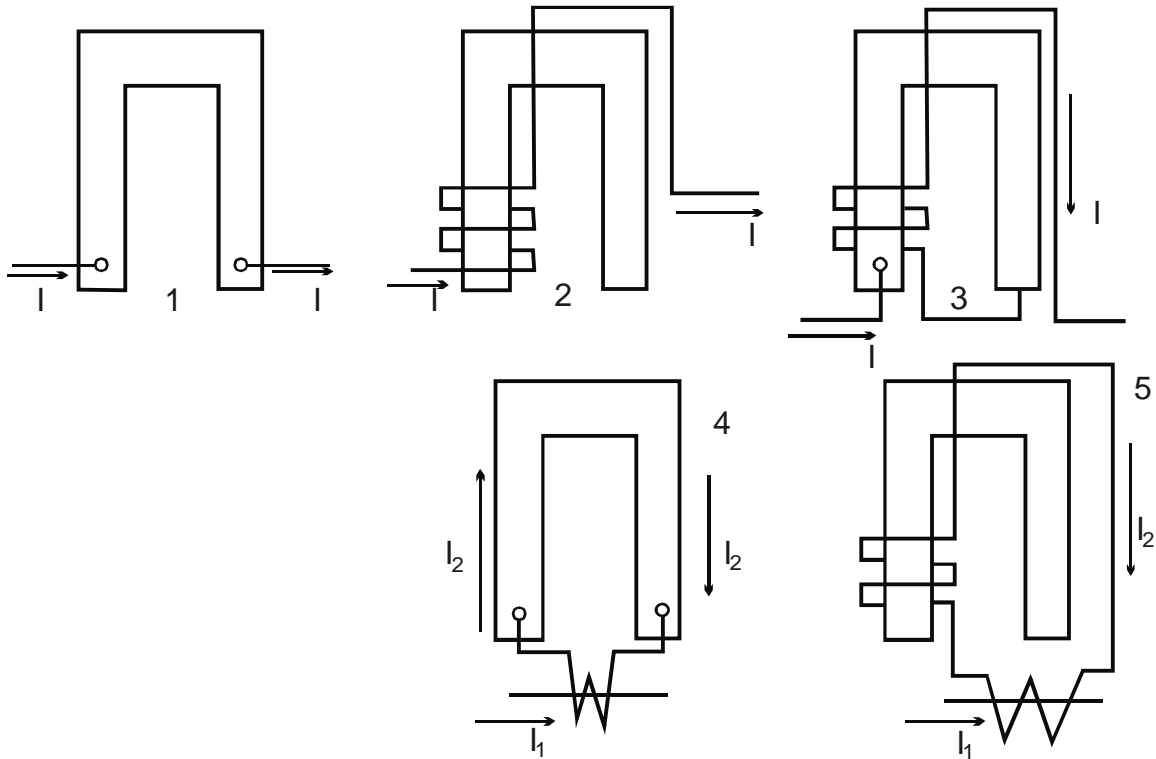


Fig. 4

1.4 Utilizările termobimetalului

Termobimetalul este utilizat în instalații pentru reglajul temperaturii, pentru măsurarea mărimilor electrice (ampermete și wattmeter termobimetalice), deasemenea pentru măsurarea mărimilor neelectrice (măsurarea și controlul temperaturii, presiunii, umidității).

Termobimetalul este utilizat pentru protejarea instalațiilor electrice împotriva depășirii încălzirii maxime admise, protecția realizându-se cu rele termice.

Relele termice tripolare asigură protecția la suprasarcină a receptoarelor electrice. Relele termice sunt constituite din lamele bimetalice care dilatându-se diferit în urma încălzirii produse de trecerea unui current electric (prin ele sau prin înfășurarea care le înconjoară), se înconvoaie și deschid un contact electric din ansamblul lor.

Forma constructivă și modurile de încălzire a lamelor termobimetalice utilizate în construcția releelor termice, au fost prezentate anterior.

1.5. Principiul de funcționare a releelor termice.

În fig.5 este reprezentat un tip de releu termic tripolar cu întreruperea bruscă a contactului în vederea evitării formării arcului electric la întrerupere, folosind principiul zăvorului bimetalic.

Lamelele bimetalice L acționează prin intermediul unei tije izolante comune T asupra pârghiei componente B, care eliberează colțarul C provocând astfel deschiderea contactelor K din circuitul de comandă.

Reglajul se face prin deplasarea articulației A, variind astfel distanța între capătul tije T și pârghia B.

Acest tip de releu are declanșarea liberă, la apăsarea pe butonul O, contactele K sunt menținute deschise în tot cuprinsul operației de dezăvorâre.

Dacă condițiile de declanșare există încă, pârghia B este înclinată și colțarul C nu poate reveni în poziție normală nemaipermițând închiderea contactelor K.

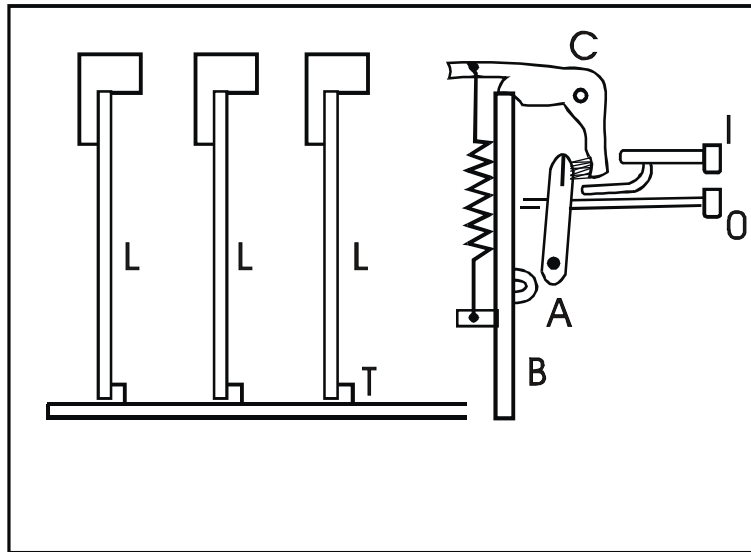


Fig.5

În fig. 6 este prezentată schema de principiu după care realizează protecția motoarelor electrice cu ajutorul releelor termice.

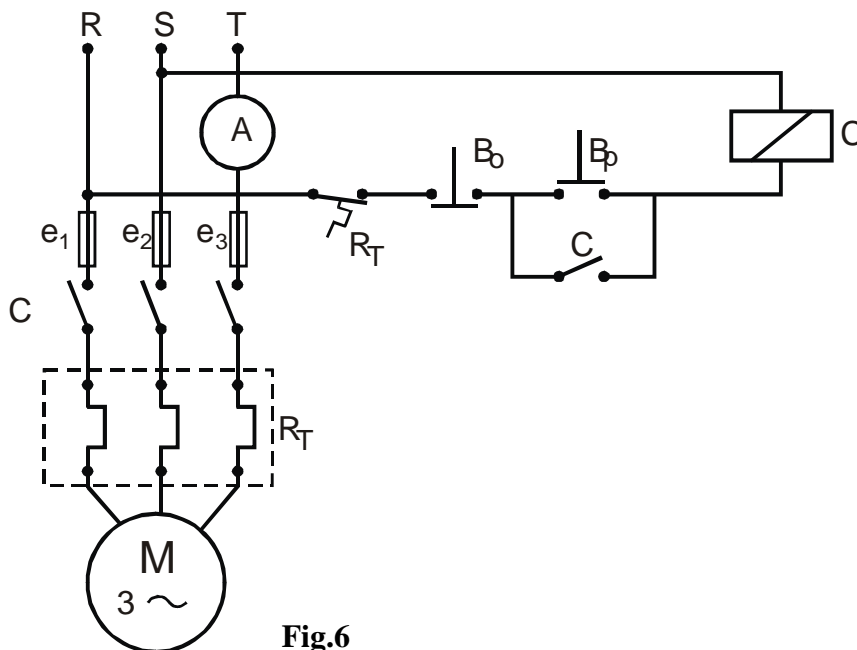


Fig.6

M = motor asincron
 C = contactor
 e_1, e_2, e_3 = siguranțe fuzibile
 R_r = releu termic
 B_0 = buton oprire
 B_p = buton pornire
 A = ampermetru 10° c.c.

În tabelul 1 sunt prezentate punctele caracteristice ce trebuie respectate de către relele termice.

Curenții de lucru ai releelor termice.

Tabelul 1.

Curentul de suprasarcină ca multiplu al curentului reglat	Timpul de acționare	Starea inițială
1.05 I_r	Să nu acționeze sub 2h	Pornind din stare rece
1.2 I_r	Sub 2h	Pornind din stare caldă
1.5 I_r	Sub 2 minute	Pornind din stare caldă

Curentul reglat I_r poate fi orice curent cuprins în scara de reglaj a aparatului, domeniu în care utilizatorul trebuie să-și încadreze curentul absorbit de motor. Acest domeniu, conform STAS 4480-1968 este $I_r = (0.6 - 1)I_s$ unde:

I_s - este curentul de serviciu al releului termic [A]

Curentul nominal al receptorului (motorului) se citește pe plăcuța motorului sau se poate calcula cu relația:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\eta\cos\varphi} \text{ [A]} \quad (10)$$

unde:

P – puterea activă a motorului [kw]

U – tensiunea între faze [V]

η - randament

$\cos\varphi$ - factor de putere

În general putem lua:

$$\eta = 0.9 \text{ și } \cos\varphi = 0.8$$

2. CHESTIUNI DE STUDIAT

Se vor studia bimetalul B și releul termic R_T (tip TSA) din punct de vedere constructiv, ridicându-se schițe constructive aferente.

Se va determina caracteristica de protecție (fig.7), $ta_1 = f_1(I)$ pentru starea rece și respectiv $ta_2 = f_2(I)$ pentru stare caldă a bimetalului B.

Se vor determina pe cale experimentală și analitic următoarele caracteristici: $\theta = f_3(I)$; $f = f_4(I)$; $F = f_5(I)$; $f = f_6(\theta)$; $F = f_7(\theta)$ pentru bimetalul B.

Se va determina analitic $\sigma_{compres} = f_8(\theta)$ și $\sigma_{intindere} = f_8(\theta)$ pentru bimetalul B.

Se vor ridica experimental caracteristicile de declanșare $t_d = f(I)$ pentru releul termic R_T (tip TSA) având $I_N = 32A$, $I_S = 4.5A$

- caracteristica de declanșare la reglaj maxim $I_1 = 4.5A$
- caracteristica de declanșare la reglaj minim $I_2 = 3A$

Se va realiza reglajul și verificarea protecției la supratemperatur pentru motorul asincron cu următoarele caracteristici:

$P_N = 1.5KW$; $U_N = 380V$; $I_N = 3.62A$; $\cos \rho = 0.81$ folosind montajul din fig.6.

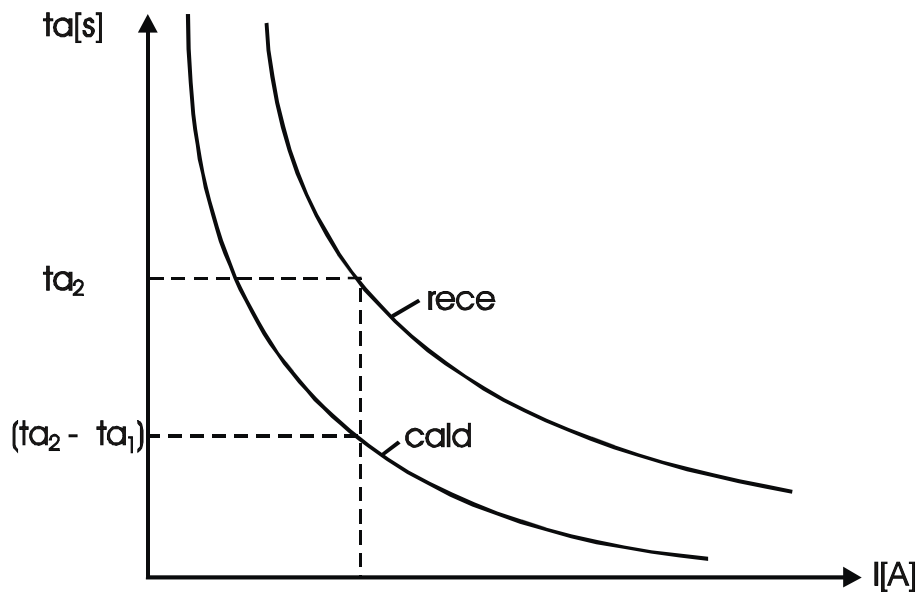


Fig.7

3. SCHEME DE LUCRU ȘI APARATE UTILIZATE

În fig.8 sunt prezentate forma constructivă și caracteristica bimetalului B, utilizat (VAC 7436).

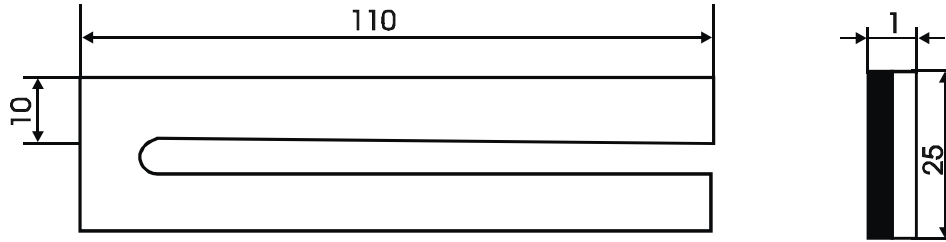


Fig.8

- săgeata specifică: $K_0 = 0.21 \cdot 10^{-4} (1/^\circ\text{C})$
- rezistivitatea: $\rho_{20} = 1.08 \cdot 10^{-6} (\Omega\text{m})$
- modul de elasticitate: $E = 13.5 \cdot 10^{10} (N/m^2)$
- căldura specifică: $C = 0.46 \cdot 10^3 (W \cdot s/kg \cdot \text{grad})$
- tensiunea maximă de înconvoiere: $\sigma_{20^\circ} = 4 \cdot 10^8 (N/m^2)$
- constructivitatea termică: $\lambda = 6.3 (W/m^2)$
- greutatea specifică: $\gamma = 7.8 \cdot 10^3 (kg/m^3)$
- diferența coeficienților de dilatație liniară ai elementului (cele două părți componente – active și pasive): $\alpha_1 - \alpha_2 = 50 \cdot 10^{-3} (^\circ\text{C})^{-1}$

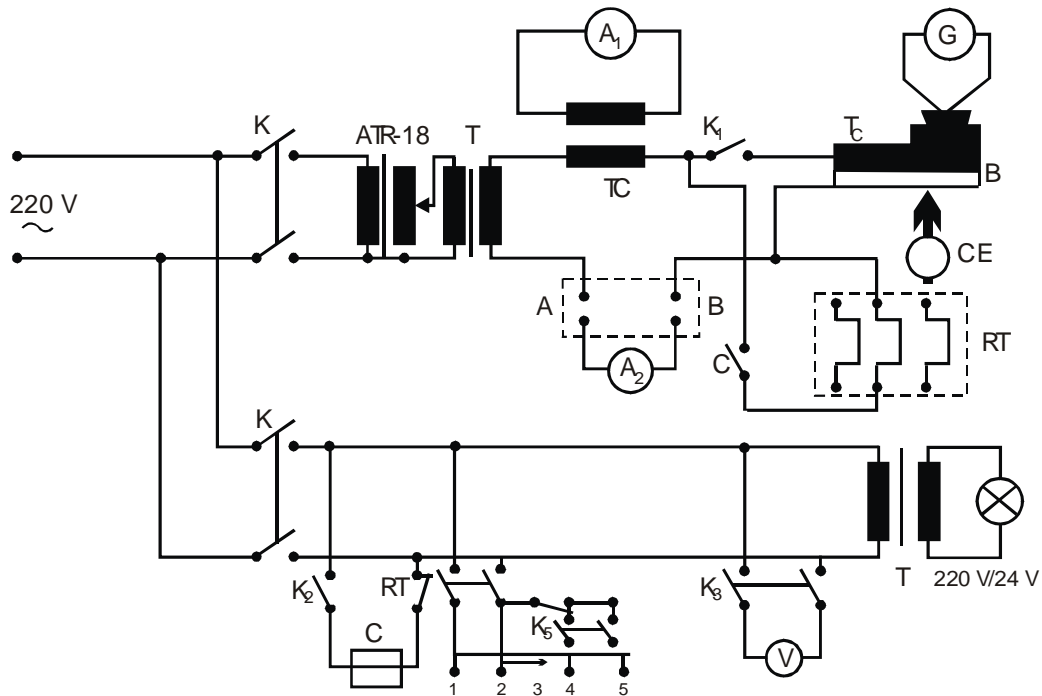


Fig. 9

AT – autotransformator ATR-18;
T – transformator de curenți intensi;
TC – transformator de măsură pentru 50/5 A;
 A_1 - ampermetru 10A;
 A_2 - ampermetru 50 A;
K – întreruptor general pachet;
K1 - K2 – întreruptoare pachet;
K3 - K4 - K5 – întreruptoare bipolare;
Te- termistor;
D – dinamometru (1 diviziune = 0.15 N)
C.C. – ceas comparator pentru măsurarea săgeții
G - aparat pentru măsurarea rezistenței termistorului (digital multimeter E 0502)
V – ventilator pentru răcire, $U_N = 220V$;
CE – cronometru electric

4. MODUL DE LUCRU

4.1 Se studiază bimetalul B și releul termic tip TSA, identificându-se tipul constructiv și funcțional, ridicând și schițe constructive.

4.2 Pentru determinarea caracteristicilor de protecție pentru starea rece și caldă se vor efectua operațiunile indicate în continuare pentru fiecare valoare a curentului I reglat:

- a) se reglează ceasul comparator CC astfel încât să indice valoarea 0
- b) se trece comutatorul K pe poziția "1"
- c) se trece comutatorul K1 pe poziția "1"
- d) cu ajutorul ATR 18 se va regla curentul I prin bimetalul B
- e) se trece comutatorul K pe poziția "0"
- f) se trece comutatorul K4 pe poziția "1" pornind ventilatorul V răcindu-se bimetalul până ce acul indicator de la ceasul comparator CC revine la "0", moment în care se trece comutatorul K4 pe poziția "0", oprindu-se ventilatorul V.
- g) comutatorul K5 se va afla pe poziția "0"
- h) se trece comutatorul K3 pe poziția "1"
- i) se trece comutatorul K1 pe poziția "1" cronometrându-se timpul corespunzător săgeții $f = 1.2 \text{ mm}$ și la $f = 3 \text{ mm}$. Săgeata se citește pe ceasul comparator CC, iar timpul realizării săgeții la cronometru.
- j) se trece comutatorul K1 pe poziția "0"
- k) se efectuează punctul f
- l) se reiau operațiunile începând cu punctul c până la k inclusiv, pentru alte valori reglate ale curentului I.
- m) când caracteristicile de protecție au fost ridicate, se trece comutatorul K pe poziția "0".

Rezultatele se trec în tabelul 2

I(A)	5	8	10	12	15	25	30	40	50
f(mm)									
1,2 ta ₁ (s)									
3 ta ₂ (s)									
ta ₂ (s)- ta ₁ (s)									

ta₁(s) = f (I) reprezintă caracteristica de protecție pentru starea rece

ta₂(s)- ta₁(s) = f (I) reprezintă caracteristica de protecție pentru starea caldă

Notă:

Se consideră săgeata f = 1.2 mm în regim stabilizat pentru curentul nominal I = 5A.

4.3 Pentru determinarea caracteristicilor $\theta = f_3(I)$, $f = f_4(I)$, $F = f_5(I)$; $f = f_6(\theta)$; $F = f_7(\theta)$ se vor efectua următoarele operații pentru fiecare valoare a curentului I reglat:

- se desface scurtcircuitul bornelor AB și se montează ampermetrul A₂ (10A).
- se introduce g în circuit la bornele termistorului Te.
- se reglează determinările de la punctul 4.2 a-g.
- se cuplează sursa de alimentare efectuând operațiile de la punctul 4.2 h, sursa rămânând cuplată până la atingerea regimului stabilizat (valoarea indicată de G rămâne constantă) moment în care se efectuează determinările.
- se trece K1 pe poziția "0"
- se efectuează punctul 4.2 f
- se reiau operațiile de mai sus pentru altă valoare a curentului
- se efectuează punctul 4.2 m

Rezultatele se trec în tabelul 3

I(A)	4	6	8	10	12
R _{Te} (Ω)					
θ(°C)					
α ₁ = (div)					
F=0.15					
f(mm)					

Pentru determinarea forței F se procedează astfel: se trage (fig.10) cu ajutorul cârligului dinamometrului D de partea neîncăsată (liberă) al metalului B până când acul indicator al ceasului comparator va indica valoarea 0, acesta semnificând că forța indicată de dinamometru este egală cu cea de apăsare a bimetalului. În moment se va citi indicația α₁ la dinamometru. Temperatura θ se determină utilizând curba de etalonare a termistorului Te plasată pe pupitrul modul aferent lucrării de laborator.

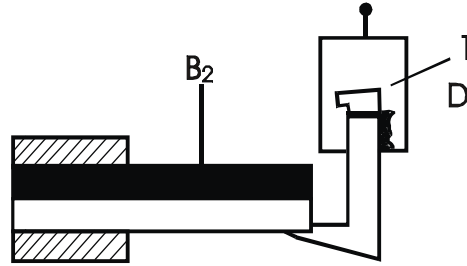


Fig.10 Determinarea forței F cu ajutorul dinamometrului

4.4 Pentru determinarea caracteristicii $\sigma_{compres} = f_8(\theta)$ și $\sigma_{int\ indere} = f_8(\theta)$ se realizează relația (9) și datele din tabelul 3.

4.5 Pentru determinarea caracteristicilor de declanșare a releului TSA 32 cu $I_s = 4.5A$ se efectuează următoarele operații, comutatoarele K1-K5 fiind inițial pe poziția „0”, atât pentru situația de reglaj maxim, cât și pentru cea de reglaj minim.

- Comutatorul K5 se află pe poziția „1”.
- Se trece comutatorul K pe poziția „1”.
- Se trece comutatorul K1 pe poziția „1”.
- Cu ajutorul ATR 18 se va regla curentul I prin bimetalul B ce va fi trecut apoi prin releul termic RT.
- Se trece comutatorul K1 pe poziția „0”.
- Se trece comutatorul K3 pe poziția „1”.
- Se trece comutatorul K2 pe poziția „1” cronometrându-se timpul necesar pentru declanșarea releului termic R.
- Se trece comutatorul K2 pe poziția „0”.
- Se rearmează releul termic RT.
- Se reiau operațiile începând cu punctul 4.5 b, pentru o altă valoare a curentului reglat.

Rezultatele se trec în tabelul 4 și 5.

Caracteristica de declanșare la reglaj maxim.

Tabelul 4

$I_2 = 4.5A$	$1.2I_2$	$1.5I_2$	$2I_2$	$3I_2$	$4I_2$	$5I_2$	$6I_2$
$I(A)$							
$td(s)$							

Caracteristica de declanșare la reglaj minim

Tabelul 5

$I_1 = 3A$	$1.2I_1$	$1.5I_1$	$2I_1$	$3I_1$	$4I_1$	$5I_1$	$6I_1$
$I(A)$							
$td(s)$							

Notă: Înainte de efectuarea operațiilor 4.5 a - j se procedează la reglarea releului termic pentru valorile $I_2 = 4.5A$, respectiv $I_1 = 3A$, utilizând butonul de reglaj al acestuia.

- 4.6 a) Se realizează montajul din fig. 6.
- b) Se calculează curentul absorbit de motor cu relația (10)
- c) Se rotește butonul de reglaj până se va aduce indicatorul în dreptul valorii curentului motorului. Verificarea unui bun reglaj se face astfel:
- se pornește motorul la sarcina nominală realizând o frânare prin sabot până în momentul în care ampermetrul indică curentul calculat la punctul 4.5 b.
 - cu motorul în plin mers se scoate o siguranță din amonte, întrerupându-se o fază
 - se va cronometra timpul în care se realizează declanșarea din momentul scoaterii siguranței, releul urmând, în cazul unui reglaj corect, să declanșeze în maxim 2 minute.
 - dacă nu declanșează, este necesar să se rotească butonul de reglaj spre limita inferioară a scalei, până când releul declanșează.
 - se montează siguranța la loc și se verifică dacă releul nu declanșează la pornirea motorului.

5. Bibliografie

- 1) Călin S. - Protecția prin relee, Editura tehnică, București, 1975
- 2) Peicov Al. – Aparate electrice, Curs pentru secția de Electromecanică, Reprografia Universității din Craiova, 1981