

# STUDIUL CONTACTELOR ELECTRICE

## 1. Noțiuni teoretice

Prin contact electric se înțelege ansamblul compus din două piese metalice prin a căror atingere se realizează trecerea curentului între două conductoare.

Contactele electrice servesc în general la închiderea și deschiderea circuitelor electrice.

Contactul electric introduce în circuit o rezistență suplimentară, denumită rezistență de contact, a cărei prezență este pusă în evidență prin experimentul prezentat în Fig. 1.1.

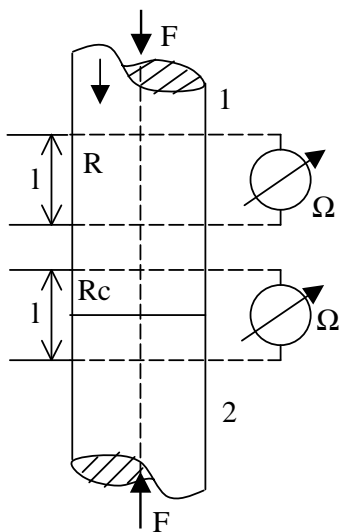


Fig.1.1

Dacă se măsoară rezistența ohmică a unei porțiuni de lungime „l” cuprinsă între două bare metalice (1) și (2), apăsate reciproc cu o forță F, se constată că, valoarea obținută pentru rezistența ohmică a porțiunii de lungime „l” care cuprinde zona de contact, este superioară valorii obținute pentru un segment de aceeași lungime „l”, dar aflat în afara zonei de contact, aceasta din urmă fiind egală cu rezistența conductorului de lungime „l” și secțiune S calculată cu relația:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (1.1)$$

Rezistența de contact  $R_c$  are două componente:

$$R_c = R_s + R_p \quad (1.2)$$

unde:  $R_c$  – rezistența totală de contact;

$R_s$  – rezistența corespunzătoare stricțiunii liniilor de curent;

$R_p$  – rezistența peliculară (rezistența determinată de către pelicula de oxid și respectiv de reducerea secțiunii de

trecere a curentului datorită moleculelor de aer absorbite de către piesele metalice în zona de contact).

Valoarea rezistenței de contact este influențată de următorii factori:

- forța de apăsare axială F (Fig. 1.1);
- forma geometrică a suprafețelor aflate în atingere;
- natura și starea suprafeței de contact;
- încălzirea contactului.

Rezistența de stricțiune este componenta  $R_s$  din relația (1.2). Această componentă este prezentă chiar și la contactele cu o suprafață foarte curată. Ea se datorează naturii rugoase (neregularităților microscopice) a suprafeței de contact (Fig. 1.2).

Astfel, îngustarea secțiunii de trecere a liniilor de curent (Fig. 1.2.a) cauzează o sporire a rezistenței de contact, care are ca efecte mărirea locală a densității de curent până la  $10^5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  și respectiv creșterea pierderilor locale prin efectul Joule-Lenz cât și a valorii căderii de tensiune pe locul de contact. Rezistența  $R_s$  nu depinde de mărirea suprafeței de contact. Factorul ce influențează esențial mărirea rezistenței de contact, este forța de apăsare. Curbele  $R_s = f(F)$  pot fi approximate prin hiperbole (Fig. 1.3) până la valori ale forței  $F=200\text{N}$ , după care au o variație aproape liniară.

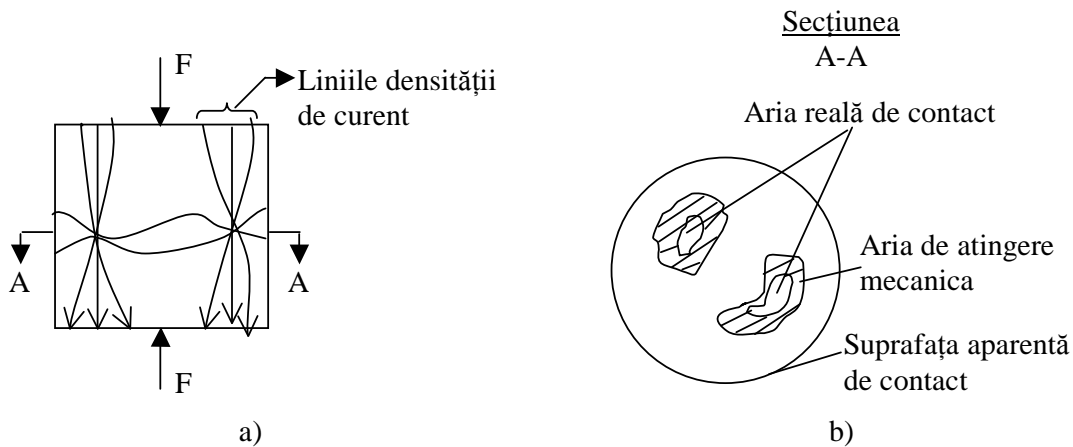


Fig. 1.2

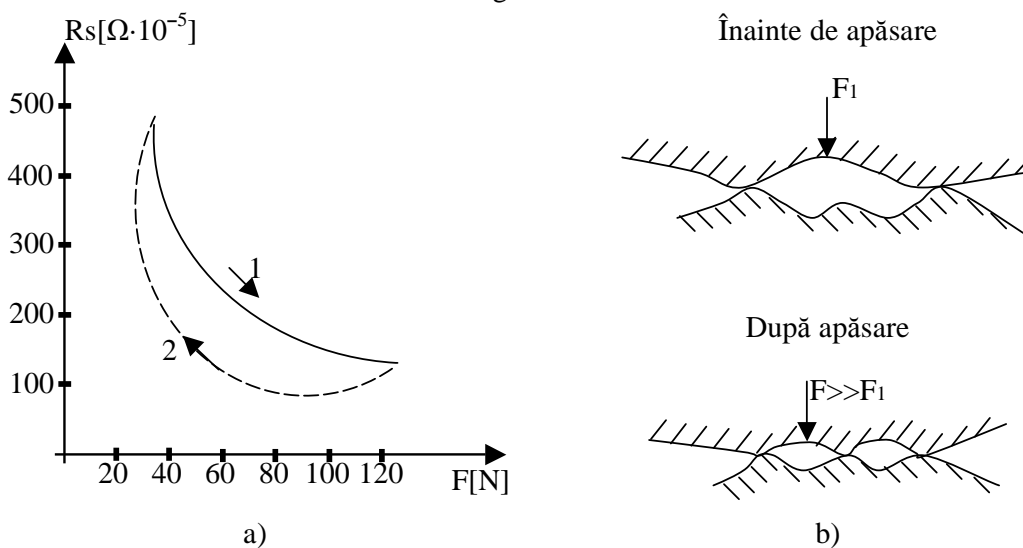


Fig. 1.3

Dependența între rezistența de stricțiune și forța de apăsare în contact este dată de expresia:

$$R_s = c \cdot F^{-m} \quad (1.3)$$

unde:

- $m$  – coeficient ce depinde de forma contactelor și numărul punctelor de contact (la contactele plane  $m=1$ ; la contactele plan-sfera  $m=0,5$ );
- $c$  – coeficient ce depinde de materialul contactului, starea și prelucrarea suprafeței de contact.

De exemplu pentru contactele din:

a) Cu – Cu:  $c = (0,08 \div 0,14) \cdot 10^{-2}$

b) Al – Al:  $c = 1,6 \cdot 10^{-2}$

În Fig. 1.3.a), curba (1) corespunde valorilor crescătoare ale forței, iar curba (2) valorilor descrescătoare ale acesteia. Se observă că, valorile mai mici ale lui  $R_s$ , de pe curba (2), corespund descreșterii lui  $F$ . Aceasta se explică prin deformațiile permanente ce se produc în zona de contact la creșterea forței (Fig 1.3.b).

Dependența rezistenței de stricțiune față de temperatură, este dată de următoarea lege:

$$R_s(\theta) = R_{s0} \cdot \left[ 1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha_R \cdot (\theta - \theta_0) \right] \quad (1.4)$$

unde:

$\alpha_R [^{\circ}\text{C}^{-1}]$  - coeficientul termic al rezistenței ohmice pentru materialul din care sunt confecționate piesele din contract;

$R_{s0}$  - valoarea rezistenței de stricțiune la temperatura  $\theta_0$ ;

$R_s(\theta)$  - valoarea rezistenței de stricțiune la temperatura  $\theta$ .

Termenul  $R_p$  din relația (1.2) se numește rezistență peliculară, și este datorată existenței în zona de contact a peliculelor semiconductoare care împiedică realizarea contactului metalic pur. Peliculele semiconductoare din zona de contact sunt determinate de oxidarea suprafețelor de contact (în cazul contactelor din metale nenobile), corelată cu absorbția de către piesele de contact a moleculelor de aer.

Producerea peliculei de oxid (a peliculei disturbatoare) în zona de contact, conduce la creșterea rezistenței de contact ca urmare a apariției unei rezistențe ohmice suplimentare, iar absorbția de molecule de aer de către piesele de contact determină sporirea rezistenței de contact ca urmare a micșorării secțiunii de trecere a curentului electric, datorită reducerii numărului de neregularități microscopice din zona de contact (Fig. 1.3) între care se realizează trecerea curentului.

Pentru reducerea rezistenței de contact este necesară înlăturarea peliculei disturbatoare, ceea ce se realizează prin ruperea mecanică a acesteia (ca urmare a frecării reciproce a contactelor electrice, după atingerea acestora, în timpul efectuării cursei în contact), respectiv prin străpungerea electrică a peliculei disturbatoare (fenomen denumit fritare și care poate avea loc atunci când în zona de contact există o intensitate a câmpului electric de  $(10^6 - 10^7)$  V/cm, ceea ce corespunde la o diferență de potențial de (150-200)V între piesele de contact).

Între forța de apăsare „F” în zona de contact și încălzirea acestei zone exista relația:

$$F = \frac{A \cdot I^2 \cdot \pi \cdot H_B}{16 \cdot \lambda^2 \cdot \left( \arccos \frac{T_0}{T_m} \right)^2} \quad (1.5)$$

unde:

$A = 2,42 \cdot 10^{-8}$  [ $\text{V}^2 \cdot \text{grad}^{-2}$ ] reprezintă constanta lui Franz-Wiedeman- Lorenz;

$I$  - curentul ce străbate contactele electrice [A];

$H_B$  - durezza Brinell a materialului contactului [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ];

$\lambda$  - conductivitatea termică a contactelor [ $\frac{\text{W}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}}$ ];

$T_0$  - temperatura absolută măsurată pe calea de curent, într-un punct suficient de depărtat de zona de contact, astfel încât temperatura acestuia să nu mai fie practic influențată de încălzirea din zona de contact [K];

$T_m$  - temperatura absolută măsurată în zona de contact [K].

Supratemperatura  $\tau_m$  din zona de contact (măsurată în punctul de contact, în raport cu temperatura  $T_0$  existentă pe calea de curent la o distanță mare de acest punct) va fi:

$$\tau_m = T_m - T_0 = (5 \div 10)^{\circ} \text{C} \quad (1.6)$$

Această valoare poate fi calculată cu relația:

$$\tau_m = \frac{U_s}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} \quad (1.7)$$

unde

$$U_s = R_s \cdot I,$$

reprezintă căderea de tensiune din zona de contact datorită stricțiunii curentului (adică căderea de tensiune măsurată după înlăturarea peliculei disturbatoare);

$\rho$  – rezistivitatea materialului pieselor de contact.

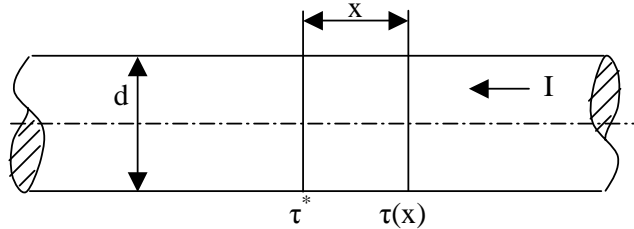


Fig. 1.4

Pentru două contacte (Fig.1.4) parcurse de curentul  $I$  în regim de lungă durată, dacă se notează cu  $\tau^*$  încălzirea măsurată chiar în zona de contact, atunci încălzirea  $\tau(x)$ , măsurată la distanța „ $x$ ” de zona de contact va fi definită de următoarea relație:

$$\tau(x) = (\tau^* - \tau_{\max}) \cdot e^{-\beta x} + \tau_{\max} \quad (1.8)$$

unde:

$\tau(x)$  – încălzirea într-un punct situat la distanța „ $x$ ” de zona de contact (Fig. 1.4)

$$\beta = \sqrt{\frac{\alpha \cdot l_p - \alpha_R \cdot \rho_0 \cdot J^2 \cdot A}{\lambda \cdot A}} \quad (1.9)$$

$$l_p = \pi \cdot d, \quad (1.10)$$

reprezintă perimetrul contactului;

$\alpha_R$  – coeficientul de variație al rezistenței cu temperatura:

Tabelul 1.1

Material	Cupru	Alamă	Fier	Fontă
$\alpha_R$ [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$

$\alpha$  – coeficient ce definește schimbul generalizat de căldură între suprafața exterioră a contactului și mediul ambiant.

Pentru un conductor cu diametrul  $d = 18\text{mm}$  situat orizontal, în aer liber liniștit,  $\alpha = 18$  [ $\text{W} / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2$ ].

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} [\text{m}^2], \quad (1.11)$$

reprezintă secțiunea transversală a contactului;

$\lambda$  – conductivitatea termică a materialului contactului;

Tabelul 1.2

Material	Cupru	Alamă	Fier	Fontă
$\lambda$ [ $\text{W} / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$ ]	390	110	80	40

$$J = \frac{I}{A} \left[ \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \right], \text{ este densitatea de curent din contact; } \quad (1.12)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_{0\max}}{1 - \alpha_R \cdot \tau_{0\max}} \quad (1.13)$$

iar

$$\tau_{0\max} = \frac{\rho_0 \cdot J^2 \cdot A}{\alpha \cdot \ell_p} \quad (1.14)$$

reprezintă încălzirea în regim termic staționar, a unui punct al căii de curent situat suficient de departe de punctul de contact, astfel încât să nu mai fie influențat de încălzirea zonei de contact.

$\rho_0$  – valoarea la 0°C a rezistivității căii de curent.

Tabelul 1.3

Material	Cupru	Alamă	Fier	Fontă
$\rho_0 [\Omega \cdot m]$	$1,59 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$15 \cdot 10^{-8}$

Tabelul 1.4

Material	Cupru	Alamă	Fier	Fontă
$H_B [N \cdot m^{-2}]$	$4,4 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^8$

## 2. Chestiuni de studiat

2.1 Determinarea curbei de dependență a rezistenței de contact față de forța de apăsare, pentru diferite tipuri constructive de contacte electrice, realizate din diverse metale.

2.2 Stabilirea valorii forței de apăsare care determină aceeași mărime pentru rezistența de contact, atât pentru contactele de suprafață, cât și pentru cele punctiforme realizate din același material.

2.3 Stabilirea (în funcție de natura materialului și a formei contactului) valorii minime a forței de apăsare pe contact, pentru care rezistența electrică de contact nu mai depinde practic de creșterea forței de apăsare.

2.4 Determinarea coeficienților „c” și „m” din relația lui Holm:  $R_c = c \cdot F^{-m}$

## 3. Scheme electrice și aparate utilizate

Pentru a efectua lucrarea, se utilizează dispozitivul prezentat în Figura 3.1.

Semnificația notațiilor este următoarea:

I<sub>1</sub> - comutator pentru alimentarea de la rețeaua de 220V/50Hz;

SF - siguranțe fuzibile de 220V/6A;

L<sub>1</sub> - bec de semnalizare de culoare albă, care prin aprindere indică prezența tensiunii de alimentare în primarul P al transformatorului Tr;

S<sub>1</sub> - secundarul transformatorului Tr , 2V/200A;

S<sub>2</sub> - secundarul transformatorului Tr , 25V/5A;

1C - contactor de tip TCA - 63 (220V/63A);

2C - contactor tip CM - 6 (220V/6A);

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> - comutatoare cu câte 12 poziții pentru conectarea consecutivă a termocuplelor (plasate pe contactele C<sub>3</sub>; C<sub>4</sub>; C<sub>5</sub>; C<sub>6</sub>) la milivoltmetrul mV (14,09mV/300°C);

I<sub>2</sub> - comutator cu 3 poziții (poziția 1 corespunde conectării milivoltmetrului mV la comutatorul K<sub>1</sub>, iar poziția 2, conectării milivoltmetrului mV la comutatorul K<sub>2</sub>);

1C<sub>1,2,3</sub> – contacte principale ale contactorului 1C;

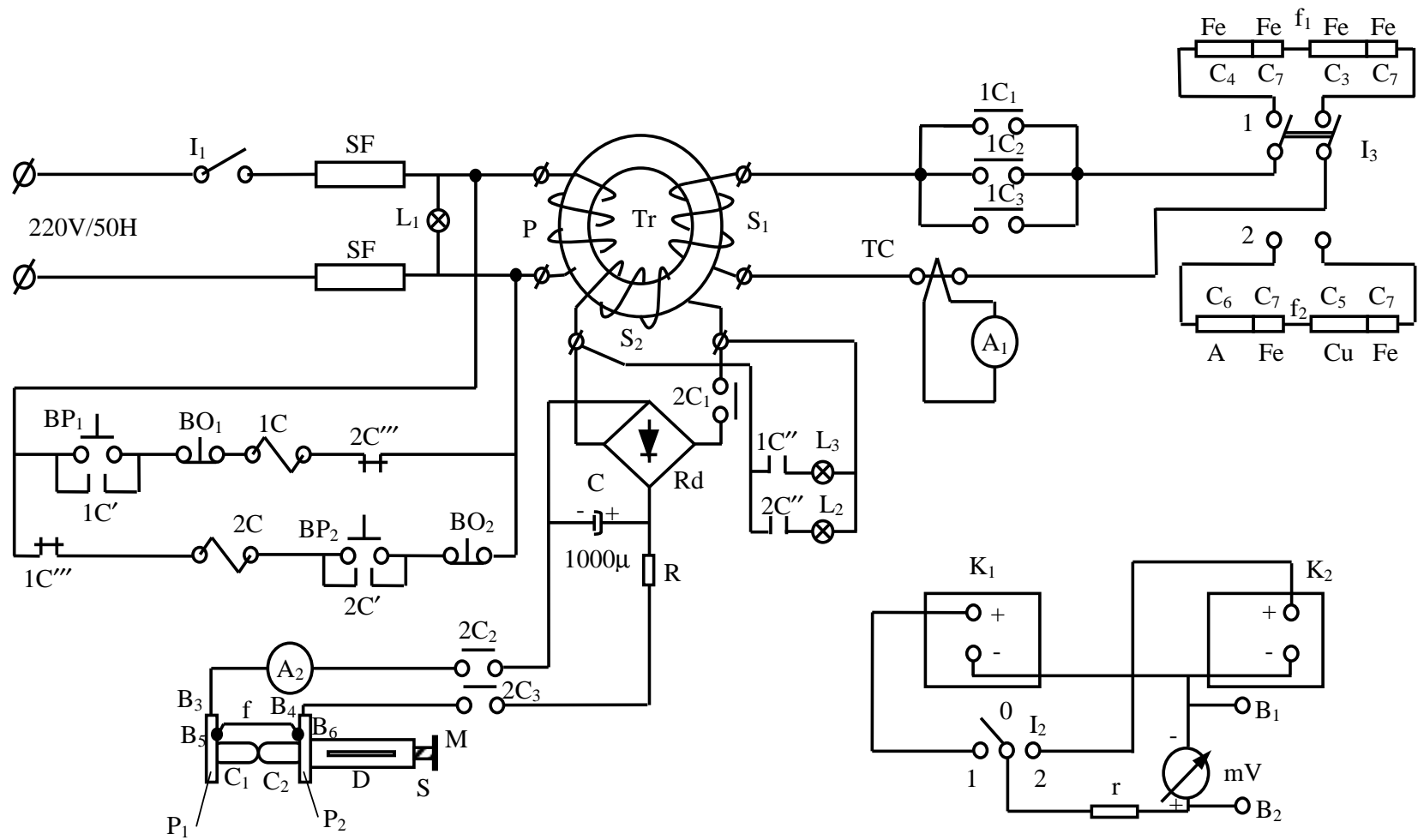


Fig. 3.1

$2C_{1,2,3}$  – contacte principale ale contactorului 2C;  
 $1C', 1C'', 1C'''$  – contacte auxiliare ale contactorului 1C;  
 $2C', 2C'', 2C'''$  - contacte auxiliare ale contactorului 2C;  
 $A_1$  – ampermetru de 5A c.a.;  
 $A_2$  - ampermetru de 5A c.c.;  
TC - transformator de măsură de curent (200A/5A);  
 $I_3$  - comutator (heblu) cu 2 poziții, care închis în poziția 1 conectează la secundarul  $S_1$  al transformatorului Tr contactele  $C_3-C_5-C_7$ , iar în poziția 2 conectează contactele  $C_5-C_6-C_7$ ;  
 $BP_1-BO_1$ - butoane de pornire, respectiv de întrerupere a alimentării cu curent intens de la secundarul  $S_1$ ;  
 $R_d$  - punte redresoare;  
C - condensator electrolitic de  $1000\mu F$ , pentru filtrarea tensiunii redresate;  
R - rezistență pentru protejarea împotriva închiderii pe scurtcircuit a punții redresoare  $R_d$ ;  
r - rezistența montată în serie cu milivoltmetrul mV, pentru a asigura ca circuitul de măsură (termocuplul + rezistență „r”) să aibă o rezistență de  $20\Omega$ , deci implicit „r” asigură corectitudinea indicațiilor de pe cadranul milivoltmetrului;  
 $BP_2-BO_2$ - butoane de pornire, respectiv de oprire a alimentării cu curent continuu de la puntea redresoare  $R_d$ ;  
 $C_1-C_2$  – contactele pentru care se efectuează determinările de la punctele 2.1 ÷ 2.4 din „Chestiuni de studiat”;  
 $P_1-P_2$  - piese în care se fixează prin înșurubare contactele  $C_1-C_2$ ;  
D - dinamometru ( $0 \div 18$  daN), la care forța de apăsare asupra contactelor  $C_1-C_2$  se reglează cu manivela M, șurubul S și culisa C; citirea indicațiilor dinamometrului se face prin intermediul vizorului V;  
P - resoarte ce asigură obținerea aceleiași valori ale forței de apăsare asupra contactelor  $C_3-C_7$ ;  $C_4-C_7$ ;  $C_5-C_7$ ;  $C_6-C_7$ ;  
f - fir de șuntare pentru contactele  $C_1-C_2$ , în scopul asigurării protecției milivoltmetrului mV;  
 $f_1-f_2$  - conductoare pentru legarea în serie a contactelor  $C_3-C_7$ ;  
 $B_1-B_2$  - borne de acces direct la milivoltmetrul mV, atunci când comutatorul  $I_2$  se găsește pe poziția „0”;  
 $L_2-L_3$  - becuri de semnalizare ce indică prezența curentului continuu ( $L_2$  – roșu) în contactele  $C_1-C_2$ , respectiv alternativ ( $L_3$  – verde) în circuitul secundarului  $S_1$  al transformatorului Tr;  
 $B_3-B_4$  - borne pentru racordul circuitului de curent continuu la contactele  $C_1-C_2$ ;  
 $B_5-B_6$  - borne pentru racordul firului de șuntare „F” la contactele  $C_1-C_2$ .

#### 4. Modul de lucru

**4.1** Determinarea pe cale experimentală a curbei de dependență a rezistenței de contact față de:

- forța de apăsare pe contacte;
- forma contactelor;
- materialul contactelor.

Se face utilizând succesiv metoda ampermetru - voltmetru și respectiv puntea Thomson pentru măsurarea valorii rezistenței de contact, apoi comparând rezultatele obținute și explicând cauzele ce determină diferența dintre ele.

4.1.1 Înaintea de începerea lucrării, la bornele B<sub>5</sub>-B<sub>6</sub> se va racorda cordonul “f” (realizat din conductor flexibil multifilar de cupru cu secțiunea de 2,5 cm<sup>2</sup>). Acesta are rol de a proteja milivoltmetrul mV, la o eventuală desfacere a contactelor.

Se va utiliza schema din Fig. 3.1 efectuând-se următoarele operații:

- în piesele P<sub>1</sub>- P<sub>2</sub> se fixează prin înșurubare prima pereche de contacte C<sub>1</sub> – C<sub>2</sub> , pentru care se fac determinările experimentale. (Alegerea formei și materialului acestor contacte se va face pe baza criteriilor ce se vor expune în continuare);
- comutatorul I<sub>2</sub> se pune pe poziția din mijloc (“0”);
- se vor racorda cu cordoane flexibile bornele B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub> la bornele B<sub>3</sub>-B<sub>4</sub>;
- se închide I<sub>1</sub> alimentându-se astfel pupitrul la tensiunea de 220V/50Hz, fapt marcat prin aprinderea becului de semnalizare L<sub>1</sub>(alb);
- se apasă pe BP<sub>2</sub>, alimentându-se astfel bobina electromagnetului contactorului 2C, ceea ce va determina producerea următoarelor fenomene în schemă: închiderea contactului auxiliar 2C’ și deci autoreținerea contactului; închiderea contactului 2C’’ și aprinderea lămpii de semnalizare L<sub>2</sub>(roșie), care indică prezența curentului continuu; deschiderea contactului auxiliar normal închis 2C’’’, care va împiedica închiderea contactorului 1C, prin apăsarea accidentală pe butonul BP<sub>1</sub>; închiderea contactelor principale 2C<sub>1÷3</sub>, ceea ce va conduce la alimentarea circuitului contactelor C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> cu curent continuu, a cărui intensitate I va fi măsurată de ampermetrul A<sub>2</sub>, iar căderea de tensiune U<sub>m</sub> între contacte, se va citi la milivoltmetrul mV.

**Notă**

a) Comutatorul I<sub>1</sub> va fi deconectat numai în gol, adică după ce în prealabil s-a apăsă pe butonul BO<sub>1</sub> sau BO<sub>2</sub>. Rezistența măsurată se va calcula cu relația:

$$R_m = \frac{U_m}{I} \cdot 10^{-3} \quad (4.1)$$

unde:

- U<sub>m</sub> = căderea de tensiune în contact, [mV];
- I = curentul ce străbate contactul, [A].

b) Rezistența firului de șutare se va calcula la începutul lucrării cu relația (4.2) o singură dată, ea rămânând constantă pe tot parcursul lucrării:

$$R_f = \frac{U_f}{I} \cdot 10^{-3}, \quad (4.2)$$

unde:

- U<sub>f</sub> = căderea de tensiune pe firul de șutare, [mV];
- I = curentul ce străbate firul de șutare, [A].

Se va determina rezistența de contact, atunci când asupra acestora acționează o forță axială constantă de 1daN și apoi o forță variabilă de (1÷18) daN, crescătoare și descrescătoare.

Pentru fiecare din perechile de contacte alese din tabelul 4.1, se vor face câte 8 determinări pentru 8 valori crescătoare și respective descrescătoare ale forței (F=1÷18daN) realizate cu dinamometru D, prin intermediul manetei M și a șurubului S.

Forma și materialul pieselor de contact se vor alege din următorul tabel:

Tabelul 4.1

Nr.crt	Materialul contactelor	Forma Contactelor
1.	alamă - alamă	plan – plan
2.	alamă - alamă	vârf – vârf
3.	alamă – alamă	sferă* - sferă*
4.	alamă – alamă	plan – vârf



5.	alamă – alamă	sferă – plan
6.	alamă – alamă	vârf – sferă
7.	cupru - cupru	plan -plan
8.	cupru –cupru	vârf – vârf
9.	cupru –cupru	sferă – sferă
10.	cupru –cupru	plan – vârf
11.	cupru –cupru	sferă – plan
12.	cupru –cupru	vârf – sferă
13.	aluminu - aluminu	plan -plan
14.	aluminu – aluminu	vârf – vârf
15.	aluminu – aluminu	sferă – sferă
16.	aluminu – aluminu	plan – vârf
17.	aluminu – aluminu	sferă – plan
18.	aluminu – aluminu	vârf – sferă
19.	oțel - oțel	plan - plan
20.	oțel – oțel	vârf – vârf
21.	oțel – oțel	sferă – sferă
22.	oțel – oțel	plan – vârf
23.	oțel – oțel	sferă – plan
24.	oțel – oțel	vârf – sferă
25.	cupru - alamă	plan - plan
26.	cupru – alamă	vârf – plan
27.	cupru – alamă	sferă – plan
28.	cupru – alamă	vârf – sferă
29.	cupru – alamă	sferă – sferă
30.	aluminu - cupru	plan - plan
31.	aluminu – cupru	vârf – plan
32.	aluminu – cupru	sferă – plan
33.	aluminu – cupru	vârf – sferă
34.	aluminu – cupru	sferă – sferă
35.	aluminu - alamă	plan - plan
36.	aluminu – alamă	sferă – sferă
37.	aluminu – alamă	plan – vârf
38.	aluminu – alamă	vârf – sferă
39.	aluminu – alamă	sferă – plan
40.	oțel - aluminu	plan – plan
41.	oțel – aluminu	sferă – sferă
42.	oțel – aluminu	plan – vârf
43.	oțel – aluminu	plan – sferă
44.	oțel – aluminu	sferă – vârf
45.	oțel - alamă	plan – plan
46.	oțel – alamă	plan – vârf
47.	oțel – alamă	sferă – vârf
48.	oțel – alamă	sferă – sferă
49.	oțel – alamă	plan - sferă
50.	oțel - cupru	plan – plan
51.	oțel – cupru	plan – sferă
52.	oțel – cupru	sferă – vârf

53.	oțel – cupru	vârf – plan
54.	oțel - cupru	sferă - sferă

\*) – În tabelul anterior spre a simplifica scrierea, s-a utilizat termenul “sferă” pentru contactul emisferic.

Folosind valorile  $R_f$  și  $R_m$  determinate anterior, rezistența de contact  $R_c$  se calculează cu formula:

$$R_c = \frac{R_m \cdot R_f}{R_f - R_m} \quad (4.3)$$

Rezultatele obținute pentru rezistența de contact măsurată corespunzător unei forțe constante de 4 daN se vor trece în tabelul 4.2

Tabelul 4.2

Nr. crt.	Materialul contactelor	Forma contactelor	F	$R_f$	I	U		$R_m$	$R_c$
			[daN]	[ $\Omega$ ]	[A]	[ $^{\circ}$ C]	[mV]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]
1.	cupru - cupru	plan – sferă	4						
			.						

Valoarea rezistenței de contact  $R_c$  măsurată pentru  $F = 1$  daN la creșterea forței, se va compara cu valoarea finală corespunzătoare la  $F = 1$  daN, la descreșterea forței, explicându-se cauzele care determină diferența dintre cele două valori. Rezultatele obținute se vor trece în tabelul 4.3, și pe baza lor se va trasa curba  $R_c = f(F)$  pentru fiecare dintre perechile de contacte studiate, evidențiindu-se relația existentă între diferența dintre porțiunile de ducere (corespunzătoare lui  $F$  crescător) și de întoarcere (corespunzătoare lui  $F$  descrescător) ale curbei  $R_c = f(F)$  și materialul, respectiv forma contactelor, pentru contactele poziția: 5; 11; 17; 23; 39; 43; 49; 51, din tabelul 4.1.

În timpul măsurătorilor este interzisă deschiderea contactelor, deoarece acest lucru duce la schimbarea punctului de contact, generând astfel erori de măsurare.

Tabelul 4.3

Nr. crt.	Materialul contactelor	Forma contactelor	F	I	U		$R_f$	$R_m$	$R_o$
			daN	[A]	[ $^{\circ}$ C]	[mV]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]
1.	cu - cu	plan - plan	1						
			2						
			.						
			.						
			.						
			8						
			7						
			.						
			.						
			1						

#### Observație importantă.

Echipamentul didactic prezentat în Fig.3.1, permite utilizarea și unui milivolmetru exterior pentru măsurarea rezistenței de contact prin metoda ampermetru – voltmetru, între contactele  $C_1$  și  $C_2$ . În acest caz se va proceda întocmai ca la punctul 4.1, cu deosebirea că milivolmetru exterior se va racorda la bornele  $B_3 - B_4$  în locul milivolmetrului mV atașat echipamentului didactic.

Firul “f” va rămâne racordat la bornele  $B_5 - B_6$ .

Utilizarea unui milivolmetru exterior de o clasă de măsură superioară (0,1 – 0,2) celui conținut în echipamentul didactic, este necesară atunci când se urmărește obținerea unui grad ridicat de precizie în măsurarea rezistenței de contact.

#### 4.1.2.

Determinările anterioare se vor repeta utilizând măsurarea rezistenței de contact cu puntea Thomson, și comparând rezultatele obținute pe această cale cu cele obținute în tabelele 4.2 și 4.3. În acest scop:

- se apasă pe butonul BO<sub>2</sub> întrerupând astfel alimentarea cu curent continuu, după care se deschide I<sub>1</sub>;
- se desface firul de șuntare “f” de la bornele B<sub>5</sub> – B<sub>6</sub>;
- bornele R<sub>x</sub> ale punții Thomson, se vor racorda la bornele B<sub>3</sub> – B<sub>4</sub>, după care se trece la măsurarea directă a rezistenței de contact R<sub>c</sub>, deoarece firul “f” fiind scos, utilizarea relației (4.3) nu mai are sens.

Rezultatele determinărilor se vor trece în tabele identice cu tabelele 4.2 și 4.3, notându-le respectiv cu 4.2’ și 4.3’.

4.2. Stabilirea forței care asigură o valoare egală a rezistenței de contact în cazul contactelor de suprafață și respectiv punctiforme, realizate din același material, se va face trasând pe aceeași diagramă, pe baza datelor din tabelul 4.3, curbele R<sub>c</sub> = f(F) pentru contactele: 1-2; 7-8; 13-14 și 19-20.

În acest caz, pentru același material vor rezulta curbe asemănătoare cu cele din figura 4.1. Se va duce o paralelă la axa absciselor, astfel încât aceasta să intersecteze curbele 1 și 2 respectiv în punctele A și B, și se notează cu R<sub>c1</sub> ordonata respectivă. Abscisele F<sub>1</sub> și F<sub>2</sub> ale acestor puncte, vor reprezenta valoarea forței pentru care rezistența de contact corespunzătoare contactelor punctiforme, este egală cu cea din cazul contactelor de suprafață, pentru aceeași natură a materialului pieselor de contact.

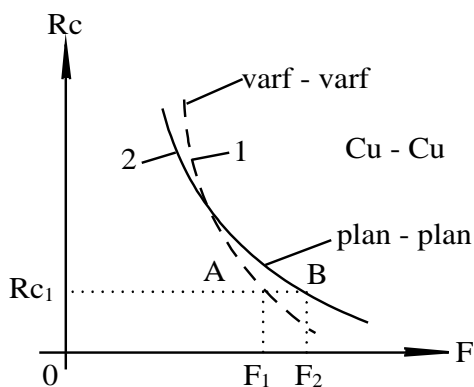


Fig. 4.1

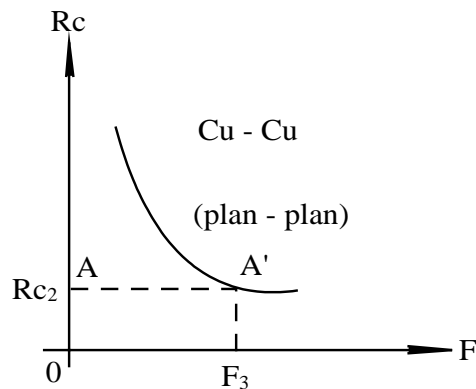


Fig. 4.2

Rezultatele determinărilor se vor trece în următorul tabel:

Tabelul 4.4

Nr. curent al contactelor din tabel 4.1	Materialul contactelor	Forma contactelor	R <sub>c1</sub> [Ω]	F <sub>1</sub> [daN]	F <sub>2</sub> [daN]
1	Am - Am	plan – plan			
2		vârf – vârf			
7	Cu - Cu	plan – plan			
8		vârf – vârf			

13	Al - Al	plan – plan			
14		vârf – vârf			
19	OL - OL	plan – plan			
20		vârf – vârf			

**4.3** Determinarea valorii minime a forței de apăsare pe contact, la care pentru un anumit material și o formă dată a pieselor de contact rezistența electrică de contact nu se mai modifică odată cu creșterea forței de apăsare, se va face pentru cele 8 perechi de contacte menționate la paragraful 4.2 anterior.

Pentru fiecare dintre aceste contacte se va trasa (pe baza datelor din tabelul 4.3) curba  $R_c=f(F)$ , după care punând o riglă pe axa  $OR_C$  și un echer pe axa  $OF$  (figura 4.2) se va trasa axa absciselor până când aceasta se va suprapune practic pe porțiunea aproape orizontală (corespunzătoare valorilor mai mari ale forței  $F$ ) a curbei  $R_C = f(F)$ . Abscisa  $F_3$  a primului punct de intersecție  $A'$  între orizontala  $AA'$  și curba  $R_C = f(F)$ , va reprezenta valoarea minimă a forței de apăsare pentru care rezistența de contact  $R_{c_2}$  practic nu se mai modifică odată cu creșterea forței de apăsare.

Rezultatele măsurătorilor se vor trece în Tabelul 4.5:

**4.4.** Determinarea coeficienților „c” și „m” din relația lui Holm (1.3), se va face analitic pentru contactele nr.crt. 5; 9; 16; 24; 28; 30; 39; 42; 47; 53, la care s-au efectuat determinările de la punctul 4.1, utilizând rezultatele măsurătorilor conținute în tabelul 4.3 și procedând în felul următor:

Tabelul 4.5

Nr. curent al contactelor din tabel 4.1	Materialul contactelor	Forma contactelor	$R_{c_2}$ [ $\Omega$ ]	$F_3$ [daN]
1	Am - Am	plan – plan		
2		vârf – vârf		
7	Cu - Cu	plan – plan		
8		vârf – vârf		
13	Al - Al	plan – plan		
14		vârf – vârf		
19	OL - OL	plan – plan		
20		vârf – vârf		

- se aleg două valori ale forței  $F_1$  și  $F_2$  astfel încât raportul lor să fie circa 1/4;
- se scrie sistemul de ecuații pentru cele două forțe  $F_1$  și  $F_2$ , la care vor corespunde respectiv rezistențele de contact  $R_{c1}$  și  $R_{c2}$  calculate anterior în tabelul 4.3;

$$R_{c_1} = c \cdot F_1^{-m} \quad (4.4)$$

$$R_{c_2} = c \cdot F_2^{-m} \quad (4.5)$$

Rezolvarea acestui sistem permite determinarea coeficienților „c” și „m”. Rezultatele obținute se vor trece în tabelul 4.6, și se vor compara cu valorile teoretice [1]; [2]; [3], explicându-se cauzele abaterilor constatate.

Tabelul 4.6

Nr. crt.	Materialul contactelor	Forma contactelor	$F_1$ [daN]	$R_{c_1}$ [ $\Omega$ ]	$F_2$ [daN]	$R_{c_2}$ [ $\Omega$ ]	c	m
1								
2								
.								

Cu valorile „c” și „m” din tabelul 4.6 înlocuite în formula (1.3), se vor trasa pentru fiecare dintre contactele studiate curbele  $R_{Ccalc} = f(F)$  pentru valori ale forței F cuprinse între 1daN și 18daN, calculând în prealabil  $R_{Ccalc}$  corespunzător valorilor F și trecându-se în tabelul 4.7

Tabelul 4.7

Nr. crt.	Materialul contactelor	Forma contactelor	c	m	F [daN]	$R_{Ccalc}$ [ $\Omega$ ]
1					1	
2					.	
3					.	
.					.	
.					18	

Curbele  $R_{Ccalc} = f(F)$  pentru același tip de contacte studiate, se vor reprezenta pe aceeași diagramă, explicând cauzele ce determină diferențele dintre alura lor.

### 5. Observații și concluzii

În acest paragraf al referatului de laborator se vor interpreta rezultatele experimentale și cele determinate pe cale analitică în cadrul lucrării de laborator, explicându-se cauzele abaterilor unora față de celelalte. În afară de aceasta se va explica natura cauzelor ce condiționează următoarele fenomene:

- faptul că pe unele porțiuni curba de ducere a caracteristicii  $R_c=f(F)$ , (corespunzătoare valorilor crescătoare ale lui F) se află deasupra curbei de întoarcere (corespunzătoare valorilor descrescătoare ale lui F); să se constate și să se explice corelația existentă între acest fenomen și natura materialului, respective forma contactelor;

- se vor trage concluzii referitoare la tipul formei pieselor de contact, care asigură o rezistență de contact mai mică pentru aceeași valoare a forței de apăsare, observându-se cazurile în care forța de apăsare este mai mare, pentru aceeași valoare a rezistenței de contact (fig.4.1) și explicându-se cauzele acestui fenomen, corelate cu forma și natura materialului contactelor electrice;

- diferența dintre curbele  $R_c=f(F)$ , atunci când acestea sunt ridicate utilizând măsurarea rezistenței de contact prin metoda ampermetru – volmetru, respectiv cu ajutorul punții Thomson (tabelele 4.2; 4.3; 4.2' și 4.3');

- diferența între curbele experimentale  $R_c=f(F)$  și cele analitice  $R_{Ccalc}=f(F)$ , trasate pe baza datelor din tabelul 4.7;

### BIBLIOGRAFIE

- 1 HORTOPAN, G - Aparate electrice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- 2 PEICOV, AL. - Aparate electrice, Reprografia Univ. Craiova, 1981.
- 3 PEICOV, AL. - Proiectarea și construcția aparatelor electrice, curs predate la anul IV de la Facultatea de Electrotehnică din Craiova.
- 4 SUCIU, I. - Bazele calculului solicitărilor termice ale aparatelor electrice, Editura Tehnică, București, 1980.