

LUCRAREA NR. 7

STUDIUL CONTACTELOR ELECTRICE

7.1. Rezistența de contact

Contactele electrice sunt elemente constructive ale căilor de curent, constituite din piese metalice prin atingerea cărora se obține conducția electrică. Atingerea pieselor de contact se realizează sub acțiunea unei forțe F_c de apăsare în contact, produsă de obicei cu ajutorul unor dispozitive mecanice (resorturi pretensionate).

Prezența unui contact electric pe calea de curent introduce întotdeauna o rezistență de trecere suplimentară, numită rezistență de contact, R_c . Existența rezistenței de contact se explică pe seama a două procese care se pun în evidență la nivelul contactului: acțiunea liniilor de curent și acoperirea suprafețelor de contact cu pelicule disturbatoare. Se consideră astfel că rezistența de contact are două componente, rezistența de stricțiune, R_s , respectiv rezistența peliculară, R_p .

Indiferent de rugozitatea suprafețelor de contact, atingerea acestora nu poate avea loc decât într-un număr finit de puncte, figura 7.1a. În aceste condiții, suprafața reală de contact, A_c , rezultă întotdeauna mai mică decât suprafața aparentă de contact, dependentă de dimensiunile geometrice ale pieselor.

Suprafața reală de contact, $A_c[m^2]$, se poate calcula cu relația dată de *Hölm*:

$$A_c = \frac{F_c}{\xi \cdot H} = n \cdot \pi \cdot a^2, \quad (7.1)$$

unde: $F_c [N]$ este forța de apăsare în contact,

$H [N/m^2]$ - duritatea materialului de contact,

n - numărul microsuprafețelor de contact,

$a [m]$ - raza microsuprafeței circulare,

$\xi < 1$ – coeficient de corecție a durității H , având valori mai mici în cazul vârfurilor de contact decât cele determinate macroscopic.

Pentru contacte punctiforme, fig.7.1b, suprafața reală de contact se calculează cu relația:

$$A_c = \frac{F_c}{H} = \pi \cdot a^2 \quad (7.2)$$

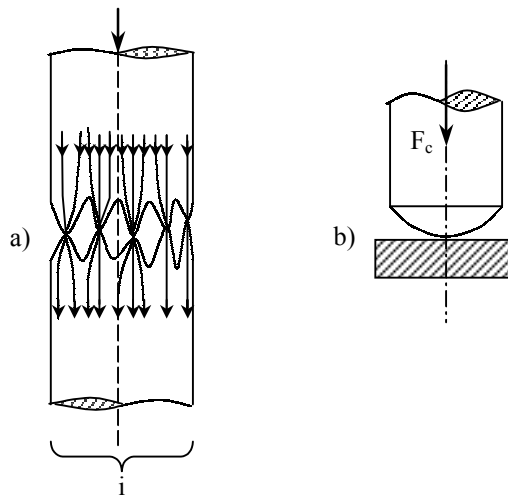


Fig. 7.1: Contact electric: a – contact real,
b- contact punctiform

Duritatea H a contactelor este de aceeași natură cu duritatea *Brinell*, dar diferă de aceasta /2/, în cazul contactelor electrice valorile acesteia fiind, în general, mai mici; din aceste motive, duritatea H poate fi înlocuită în calcule cu rezistența la strivire, σ_p [N/m²], a materialului de contact.

Din cele arătate se trage concluzia că rezistența de stricțiune este o consecință a discontinuității suprafețelor transversale a căii de curent în zona contactului electric.

Rezistența de stricțiune, R_s [Ω], pentru un contact punctiform se determină pe baza *teoriei modelului sferei de conductivitate infinită*, respectiv a *modelului microsuprafeței de contact eliptice*, /1/, fiind dată de relațiile:

$$R_s = \begin{cases} \frac{\rho}{\pi \cdot a}, & \text{în cazul modelului sferic} \\ \frac{\rho}{2 \cdot a}, & \text{în cazul modelului eliptic} \end{cases} \quad (7.3)$$

unde: ρ [$\Omega \cdot m$] este rezistivitatea materialului de contact, iar a [m] este raza microsuprafeței de contact.

Rezistența peliculară, R_p , se pune în evidență ca urmare a formării pe suprafețele de contact a unor pelicule disturbatoare cu proprietăți semiconductoare. Compoziția chimică și grosimea peliculei disturbatoare depind de natura materialului de contact, de temperaturile de funcționare precum și de compoziția chimică a mediului în care contactele electrice funcționează.

Rezistența peliculară, R_p [Ω] se poate calcula cu o relație de forma:

$$R_p = \frac{R_{p0}}{A_c} \quad (7.4)$$

R_{p0} [$\Omega \cdot m^2$] fiind rezistența superficială specifică, iar A_c [m^2] – suprafața reală de contact.

În practica proiectării obișnuite, calculul contactelor electrice se efectuează numai pe rezistența de stricțiune; corecțiile, atunci când este cazul, se introduc cu ajutorul relației:

$$R_c = R_s + R_p. \quad (7.5)$$

Ținând seama de (7.1), (7.3), (7.4), pentru un contact cu n puncte de atingere, în calculul căruia se adoptă modelul microsuprafeței de contact eliptice, relația (7.5) devine de forma:

$$R_c = \frac{\rho}{2 \cdot a \cdot n} + \frac{R_{p0}}{n \cdot \pi \cdot a^2} \quad (7.6)$$

7.2. Influența forței de apăsare în contact asupra rezistenței de contact

În cazul contactului punctiform, raza microsuprafeței circulare de contact se calculează cu relația (7.2), din care rezultă:

$$a = \sqrt{\frac{F_c}{\pi \cdot H}} \quad (7.7)$$

substituind (7.7) în (7.3), se obține:

$$R_s = \frac{\rho}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot H}{F_c}} \quad (7.8)$$

Relația (7.8) evidențiază faptul că un contact electric poate fi asimilat cu o porțiune a căii

de curent, având rezistența electrică dependentă de valorile forței de apăsare F_c .

Pentru un contact cu n puncte de atingere, prin eliminarea parametrului a între relațiile (7.1), (7.6), se obține:

$$R_c = \frac{\rho}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \xi \cdot H}{n \cdot F_c}} + \frac{R_{p0} \cdot \xi \cdot H}{F_c} \quad (7.9)$$

Pentru determinarea rezistenței de contact în cazul contactelor realizate prin acoperiri metalice, se consideră rezistivitatea materialului de bază și duritatea materialului utilizat pentru acoperire, /2/.

În calculul contactelor electrice, relația (7.9) se consideră uzual sub forma restrânsă:

$$R_c = c \cdot F_c^{-m} + e \cdot F_c^{-1}, \quad (7.10)$$

Valorile parametrilor c , m , e fiind determinate pe cale experimentală; în tabelul 7.1 sunt date valorile parametrilor c și e , /2/, pentru $m = 0,6$; $R_{p0} = 10^{-12} \Omega \cdot m^2$ și $\xi = 0,45$.

Tabelul 7.1.

Coeficienții funcției de aproximație			
Materialul contactelor	Unități SI		
	c	m	e
Argint	$0,842 \cdot 10^{-4}$	0,6	$2,250 \cdot 10^{-4}$
Cupru neoxidat	$0,935 \cdot 10^{-4}$		$2,480 \cdot 10^{-4}$
Aluminiu	$1,342 \cdot 10^{-4}$		$1,350 \cdot 10^{-4}$
Sinterizat Cu-W	$1,972 \cdot 10^{-4}$		$12,600 \cdot 10^{-4}$
Cupru cositorit	$0,596 \cdot 10^{-4}$		$0,225 \cdot 10^{-4}$
Cupru argintat	$0,918 \cdot 10^{-4}$		$2,250 \cdot 10^{-4}$

În figura 7.2 este reprezentată grafic curba de variație $R_c = R_c(F_c)$ pentru un contact electric. Histerezisul pus în evidență se explică prin valorile mai mari ale numărului n al punctelor de contact înregistrat la scăderea forței F_c deoarece anterior, la creșterea acesteia, în unele puncte de contact a fost depășită limita domeniului de elasticitate al materialului.

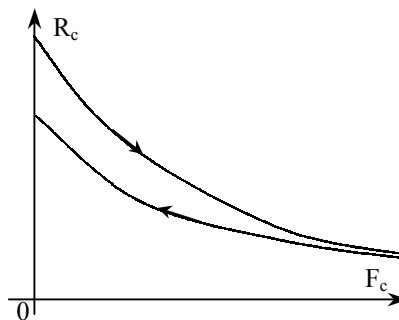


Fig.7.2: Caracteristica rezistenței de contact.

7.3. Solicitarea termică și electroeroziunea contactelor

La bornele unui contact electric închis și parcurs de un curent de intensitate I , se înregistrează căderea de tensiune pe contact U_c , dată de relația:

$$U_c = R_c \cdot I, \quad (7.11)$$

R_c fiind rezistența de contact.

Încălzirea în regim permanent a contactului se calculează cu relația /1/:

$$T_c = \sqrt{\frac{U_c^2}{4L} + T_p^2} \text{ [K]} \quad (7.12)$$

unde: T_c [K] – temperatura suprafeței de contact;

U_c [V] – căderea de tensiune pe contact;

$L = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ (V/K)}^2$ – cifra Loreny pentru metale;

T_p [K] – temperatura de regim permanent a căii de curent în puncte suficient de îndepărtate de suprafața de contact.

Relația (7.12) prezintă o mare importanță practică, deoarece permite evaluarea temperaturii de regim permanent pe suprafața de contact prin măsurarea căderii de tensiune pe contact.

În mod obișnuit, pentru încălzirea în regim permanent a contactelor, se acceptă ca admisibile valorile $T_c - T_p = (5 \div 10) \text{ K}$. Solicitarea termică în regim permanent de funcționare a unui contact electric se încadrează în limitele impuse dacă este verificată relația:

$$T_c - 273,15 \leq \theta_{ad}^c \quad (7.13)$$

unde: θ_{ad}^c [°C] este temperatura admisibilă pe suprafața de contact în cazul solicitării termice de lungă durată, având valori precizate în norme.

Contactele electrice de comutație sunt supuse, în special la deschidere, acțiunii arcului electric, care produce electroeroziunea suprafețelor de contact. Intensitatea acestui proces de uzură electrică este hotărâtoare pentru durata de viață a contactelor, exprimată prin numărul N de acționări în sarcină.

Pentru determinarea numărului de acționări în sarcină se utilizează relații de calcul verificate pe cale experimentală, de forma:

$$N = \begin{cases} 10^9 \frac{Q}{q_a \cdot t_a \cdot I}, & I \leq 5 \text{ A} \\ 10^9 \frac{Q}{q \cdot I^2}, & I > 5 \text{ A} \end{cases} \quad (7.14)$$

unde: Q [kg] reprezintă uzura electrică a contactului (pierderea de masă după N acționări),

I [A] - intensitatea curentului întrerupt

t_a [s] - durata de ardere a arcului electric,

q_a, q - constante de material, având valorile precizate în tabelul 7.2.

Tabelul 7.2.

Materialul	q_a [kg/C]	q [kg/A ²]
Cupru	3	$2 \cdot 10^{-4}$
Argint	$1,8 \div 5$	$5 \cdot 10^{-5}$

Impunând o valoare admisibilă pentru pierderea de masă Q a pieselor de contact, cu relațiile (7.14) se poate evalua numărul maxim de acționări în sarcină pe care contactul îl poate realiza.

7.4. Programul lucrării

7.4.1. Determinarea experimentală a caracteristicii $R_c(F_c)$

Curba de variația a rezistenței de contact, R_c , în funcție de forța de apăsare în contact, F_c , se determină experimental cu ajutorul unui dispozitiv existent în laborator.

Pentru un anumit tip și material de contact se aleg piesele de contact și se montează în dispozitivul de încercare. De la trusa de curent-tensiune se fixează o valoare a curentului continuu prin contacte din domeniul $50 \div 100$ A. Forța de apăsare în contact, F_c , se modifică prin reglarea dinamometrului. Rezultatele obținute se trec în tabelul 7.3.

Tabelul 7.3.

Tipul și materialul contactului: Intensitatea curentului $I = \dots\dots A$											
F_c [N]											
U_c [V]											
R_c [Ω]											
n											
a [m]											
c [unități SI]											
m [unități SI]											
T_c [K]											
T_p [K]											
$T_c - T_p$ [K]											
N											

7.4.2. Determinarea rezistenței de contact R_c

Valorile rezistenței de contact se calculează cu relația (7.11) și se trec în tabelul 7.3.

7.4.3. Determinarea numărului punctelor de contact și a razei unei microsuprafețe de contact

Numărul n al punctelor de contact se determină cu relația (7.9), în care se consideră $R_{p0}=0$ și $\xi=0,5 \div 0,6$; apoi, utilizând relația (7.1), se calculează valorile razei a , corespunzătoare unei microsuprafețe de contact, constantele de material sunt date în Anexa 1.

Rezultatele obținute se trec în tabelul 7.3, pentru fiecare valoare a forței de apăsare în contact.

7.4.4. Evaluarea parametrilor c și m

Se trasează curba $R_c(F_c)$ obținută experimental și pe cale grafică, se definește curba medie $R'_c(F_c)$.

Pentru două puncte suficient de îndepărtate de aceasta, $A(F_{c1}, R'_{c1})$, $B(F_{c2}, R'_{c2})$, ținând seama de (7.10) în care se consideră $e = 0$, se formează sistemul de ecuații:

$$\begin{cases} R'_{c1} = c \cdot F_{c1}^{-m} \\ R'_{c2} = c \cdot F_{c2}^{-m} \end{cases} \quad (7.16)$$

în care necunoscutele sunt c și m .

Valorile obținute pentru parametrii c și m în urma rezolvării sistemului (7.16) se trec în tabelul 7.3, comparându-se cu cele precizate în tabelul 7.1; se explică eventualele diferențe.

7.4.5. Evaluarea temperaturii de regim permanent a suprafeței de contact și a numărului maxim de acționări

Valorile temperaturii T_c , înregistrate în regim permanent de pe suprafața de contact, se calculează cu relația (7.12) pentru fiecare valoare a căderii de tensiune U_c conținută în tabelul 7.3 și pentru o valoare a temperaturii T_p , precizată de conducătorul lucrării.

Se evaluează masa M a pieselor de contact și se consideră pentru uzura admisibilă a acestora valoarea $Q = (0,4 \div 0,5) \cdot M$.

Cu una din relațiile (7.14) se calculează și se trece în tabelul 7.3 numărul maxim, N , de acționări în sarcină pe care contactul studiat îl poate realiza, comutând curentul având intensitatea I cu valoarea de la § 4.1.

7.5. Conținutul referatului

- 5.1. Schema electrică a montajului utilizat la încercările experimentale.
- 5.2. Tabelul 7.3, cu datele prelucrate.
- 5.3. Reprezentarea grafică a caracteristicilor $R_c(F_c)$, $R'_c(F_c)$, $T_c - T_p = f(F_c)$.
- 5.4. Observații și concluzii.

7.6. Bibliografie

- /1/ Baraboi A. Echipamente electrice, curs. Institutul politehnic Iași, 1989, p. 113-119.
- /2/ Hortopan Gh., Aparate electrice, EDP, București, 1980.
- /3/ Suci I., Bazele calculului solicitărilor termice ale aparatelor electrice. Editura Tehnică București, 1980.
- /4/ Gheorghiu Ioan, Popa Sorin Eugen, Puiu-Berizintu Mihai, "Echipamente electrice pentru centrale, stații și posturi de transformare", Ed. Tehnica-Info Chișinău, 2003.

NOTĂ: Pentru calcule se consideră duritatea cuprului $H = 70 \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$.